



УНИВЕРЗИТЕТ “СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ”



МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ – СКОПЈЕ  
РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА

**СКРИПТА**

(прва верзија)

НАСЛОВ:

# ***РЕГУЛАЦИЈА И АВТОМАТИЗАЦИЈА НА ХЕП***

АВТОРИ:

*Проф. д-р АТАНАСКО ТУНЕСКИ*

*Асс. м-р ДАРКО БАБУНСКИ*

*Пом. Асс. м-р ЕМИЛ ЗАЕВ*

СКОПЈЕ 2008

КРАТКА СОДРЖИНА

<b>1</b>	<b>СИСТЕМИ ЗА СУПЕРВИЗОРНО УПРАВУВАЊЕ И АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>СОВРЕМЕНИ СИСТЕМИ ЗА ДИГИТАЛНО УПРАВУВАЊЕ И АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ - ДЕФИНИЦИИ, СПОРЕДБИ И РАЗЛИКИ.....</b>	<b>1</b>
1.1.1.	РАСПРЕДЕЛЕНИ УПРАВУВАЧКИ СИСТЕМИ.....	2
1.1.2.	ПРОГРАМАБИЛНИ ЛОГИЧКИ КОНТРОЛЕРИ.....	3
1.1.3.	СИСТЕМИ ЗА СУПЕРВИЗОРНО УПРАВУВАЊЕ И АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ.....	4
1.1.4.	ДРУГИ ДИГИТАЛНИ СИСТЕМИ ЗА УПРАВУВАЊЕ И АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ.....	5
<b>1.2.</b>	<b>SCADA СИСТЕМ- ОПШТИ ДЕФИНИЦИИ.....</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>SCADA СИСТЕМИ - СОСТАВНИ ДЕЛОВИ, ПРИМЕНА И ОПШТ ПРИМЕР.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>КОМПОНЕНТИ НА ЕДЕН СОВРЕМЕН SCADA СИСТЕМ.....</b>	<b>10</b>
2.1.1	ТЕРЕНСКА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА.....	12
2.1.2	ТРЕНД ВО СОВРЕМЕНИТЕ СЕНЗОРИ ПРИМЕНЕТИ ВО АКВИЗИЦИОНИ СИСТЕМИ.....	13
<b>2.2</b>	<b>ОСНОВИ НА КОНДИЦИОНИРАЊЕ НА СИГНАЛИ ЗА КОМПЈУТЕРСКИ БАЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ.....</b>	<b>16</b>
2.2.1	ОСНОВНИ ФУНКЦИИ НА КОНДИЦИОНИРАЊЕТО НА СИГНАЛИТЕ.....	17
2.2.2	ТИПОВИ НА СЕНЗОРИ КАЈ КОЈ ШТО ИМА ПОТРЕБА ОД КОНДИЦИОНИРАЊЕ НА СИГНАЛИТЕ.....	21
<b>2.3</b>	<b>ТЕРЕНСКА СТАНИЦА.....</b>	<b>22</b>
2.3.1	ТЕРЕНСКА ТЕРМИНАЛНА ЕДИНИЦА - RTU.....	22
2.3.1.1	ХАРДВЕРСКИ СОСТАВ НА RTU УРЕД.....	22
2.3.1.2	СОФТВЕРСКА ФУНКЦИОНАЛНОСТ ВО RTU.....	23
2.3.1.3	ОСНОВИ НА РАБОТЕЊЕ НА RTU УРЕДОТ.....	24
2.3.1.4	СПЕЦИФИКАЦИИ НА ЕДЕН RTU УРЕД.....	25
2.3.2	ПРОГРАМАБИЛНИ ЛОГИЧКИ КОНТРОЛЕРИ.....	25
2.3.2.1	ВЛЕЗНИ МОДУЛИ.....	27
2.3.2.2	ИЗЛЕЗНИ МОДУЛИ.....	27
2.3.2.3	PLC ОПЕРАЦИИ.....	28
2.3.2.4	ЕДИНИЦА ЗА ПРОГРАМИРАЊЕ.....	29
2.3.2.5	RAM/ROM.....	30
2.3.2.6	ПРОГРАМИРАЊЕ.....	30
2.3.2.7	АДРЕСИРАЊЕ.....	30
2.3.2.8	ИНТЕРПРЕТАЦИЈА НА ПРОГРАМИРАН ДИЈАГРАМ.....	31
2.3.2.9	БРОЈАЧИ.....	33
2.3.2.10	ТАЈМЕРИ.....	34
<b>2.4</b>	<b>РАЗЛИКА ПОМЕЃУ RTU И PLC.....</b>	<b>35</b>
<b>2.5</b>	<b>КОМУНИКАЦИСКА МРЕЖА.....</b>	<b>36</b>
2.5.1	ВОВЕД.....	36
2.5.2	ПРВО НИВО, НИВО НА ФИЗИЧКО ПОВРЗУВАЊЕ.....	37
2.5.2.1	ЕТЕРНЕТ.....	37
2.5.2.2	PSTN МРЕЖИ.....	38
2.5.2.3	БЕЗЖИЧЕН LAN – WLAN.....	39
2.5.2.4	ИНТЕРНЕТ.....	39
2.5.3	ВТОРО НИВО, НИВО НА ПРОТОКОЛИ (СПЕЦИЈАЛИЗИРАНИ) КОИ ГО ДЕФИНИРААТ И ПРВОТО НИВО Т.Е. ФИЗИЧКОТО ПОВРЗУВАЊЕ.....	40
2.5.3.1	Foundation FIELDBUS.....	40
2.5.3.2	PROFIBUS.....	41
2.5.3.3	MODBUS.....	42

2.5.3.4	САР.....	42
2.6.4	ТРЕТО НИВО, НИВО НА ОРС – SCADA СОФТВЕР .....	42
<b>2.6</b>	<b>ЦЕНТРАЛНА МОНИТОРИНГ СТАНИЦА .....</b>	<b>43</b>
<b>2.7</b>	<b>ТИПИЧНИ SCADA КОНФИГУРАЦИИ .....</b>	<b>47</b>
2.7.1	КОНФИГУРАЦИЈА ОД ТОЧКА ДО ТОЧКА .....	47
2.7.2	КОНФИГУРАЦИЈА ОД ТОЧКА ДО ПОВЕЌЕ ТОЧКИ.....	47
2.7.3	КОМУНИКАЦИСКИ МОДОВИ.....	48
<b>2.8</b>	<b>ОДРЕДУВАЊЕ НА ПРОЦЕСИТЕ И РЕДОСЛЕД НА ДЕЈСТВИЈА ЗА УСПЕШНО ИМПЛЕМЕНТИРАЊЕ НА ДИСКРЕТНО УПРАВУВАЊЕ СО SCADA СИСТЕМ .....</b>	<b>49</b>
2.8.1	ОПИС НА РЕДНИТЕ ДЕЈСТВА .....	50
<b>2.9</b>	<b>БЕНЕФИЦИИ ОД ПРИМЕНА НА SCADA СИСТЕМИ.....</b>	<b>52</b>
<b>3</b>	<b>МОДЕЛИРАЊЕ НА ХИДРОПОСТРОЈКА.....</b>	<b>55</b>
<b>3.1</b>	<b>ВОВЕД.....</b>	<b>55</b>
<b>3.2</b>	<b>МОДЕЛ НА ХИДРОЕЛЕКТРИЧНА ПОСТРОЈКА СО ВОДОСТАН.....</b>	<b>57</b>
<b>3.3</b>	<b>МОДЕЛ НА ХИДРОЕЛЕКТРИЧНА ПОСТРОЈКА БЕЗ ВОДОСТАН .....</b>	<b>58</b>
3.3.1	НЕЛИНЕАРЕН МОДЕЛ НА ПОСТРОЈКА СО КРУТ ЦЕВКОВОД .....	59
3.3.2	ЛИНЕАРИЗИРАН МОДЕЛ НА ХИДРАУЛИЧНА ТУРБИНА .....	61
<b>3.4</b>	<b>МОДИФИЦИРАЊЕ НА МОДЕЛИТЕ НА ТУРБИНСКА ПОСТРОЈКА СО ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ПОДАТОЦИ .....</b>	<b>63</b>
<b>3.5</b>	<b>АНАЛИЗА НА СТАТИЧКИТЕ И ДИНАМИЧКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА МАТЕМАТИЧКИТЕ МОДЕЛИ НА ТУРБИНСКА ПОСТРОЈКА .....</b>	<b>68</b>
<b>4</b>	<b>ПРОЕКТИРАЊЕ НА ЗАКОН НА УПРАВУВАЊЕ СО ХИДРОПОСТРОЈКА .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1</b>	<b>ВОВЕД.....</b>	<b>73</b>
<b>4.2</b>	<b>ИЗБОР НА МОДЕЛ НА ОБЈЕКТ НА УПРАВУВАЊЕ - ХИДРОПОСТРОЈКА .....</b>	<b>75</b>
<b>4.3</b>	<b>ЗАКОНИ НА УПРАВУВАЊЕ .....</b>	<b>78</b>
4.3.1	ПРОПОРЦИОНАЛНО УПРАВУВАЊЕ.....	79
4.3.2	ПРОПОРЦИОНАЛНО - ИНТЕГРАЛНО - ДЕРИВАТИВНО (ПИД) УПРАВУВАЊЕ.....	84
<b>4.4</b>	<b>СТАБИЛНОСТ НА ПРОЕКТИРАНИТЕ ЗАКОНИ НА УПРАВУВАЊЕ ПРИ ИЗОЛИРАНА РАБОТА НА ХИДРАУЛИЧНАТА ПОСТРОЈКА.....</b>	<b>89</b>
4.4.1	КРИТЕРИУМ НА СТАБИЛНОСТ ПО РОТ - ХУРВИЦ .....	90
4.4.2	ГРАНИЦИ НА СТАБИЛНОСТА.....	93
4.4.3	МЕТОД НА ТРАГОВИ НА КОРЕНИ.....	94
<b>4.5</b>	<b>СИСТЕМ ЗА ПРИДВИЖУВАЊЕ НА СПРОВОДНИОТ АПАРАТ.....</b>	<b>98</b>
<b>5</b>	<b>КОМПЈУТЕРСКИ СИМУЛАЦИИ НА МОДЕЛ НА ХИДРОЕНЕРГЕТСКА ПОСТРОЈКА.....</b>	<b>100</b>
<b>5.1</b>	<b>ВОВЕД.....</b>	<b>100</b>
<b>5.2</b>	<b>ДИНАМИКА НА ЕНЕРГЕТСКИОТ СИСТЕМ.....</b>	<b>101</b>
5.2.1	ИЗОЛИРАНА РАБОТА НА ХИДРОЕНЕРГЕТСКАТА ПОСТРОЈКА .....	101
5.2.2	МОДЕЛИРАЊЕ НА ОПТОВАРУВАЊЕТО НА ЕНЕРГЕТСКИОТ СИСТЕМ.....	104
5.2.3	ОПТОВАРУВАЊЕ НА ГЕНЕРАТОРОТ.....	108
5.2.4	УПРАВУВАЊЕ НА ФРЕКВЕНЦИЈАТА ПРИ ОПТОВАРУВАЊЕ.....	108
5.3	МОДЕЛ НА ХИДРОЕНЕРГЕТСКА ПОСТРОЈКА.....	112
5.3.1	ЛИНЕАРИЗИРАН МОДЕЛ НА ХИДРОЕНЕРГЕТСКА ПОСТРОЈКА.....	112
5.3.2	ПОДОБРЕН НЕЛИНЕАРЕН МОДЕЛ НА ХИДРОЕНЕРГЕТСКАТА ПОСТРОЈКА.....	114
<b>6</b>	<b>СОСТАВ НА ДИГИТАЛЕН СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ И СУПЕРВИЗИЈА НА ХИДРОЦЕНТРАЛА, УПРАВУВАЧКИ АЛГОРИТМИ И РАВЕНКИ НА ЗАВИСНОСТИ ВО СИМУЛАЦИСКИ SCADA ПРОГРАМ.....</b>	<b>118</b>

<b>6.1 ОПИС НА ПОЕДИНИ ЕЛЕМЕНТИ ОД ХИДРОЦЕНТАЛА КОИ ВЛЕГУВААТ ВО СИСТЕМ ЗА ДИГИТАЛНО УПРАВУВАЊЕ .....</b>	<b>118</b>
6.1.1 ОСНОВНИ РАЗГЛЕДУВАЊА .....	119
6.1.2 ГЛАВНА ВЛЕЗНА ПОРТА .....	119
6.1.3 ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ .....	120
6.1.4 ГЕНЕРАТОР .....	121
<b>6.2 РЕГУЛАТОРИ .....</b>	<b>122</b>
6.2.1 СЕНЗОР ЗА БРЗИНА .....	124
6.2.2 УПРАВУВАЊЕ - ДИГИТАЛНО .....	125
6.2.2.1 УПРАВУВАЧКИ ХАРДВЕР – PLC .....	126
6.2.3 ЕЛЕКТРОХИДРАУЛИЧКИ СОСТАВ .....	127
6.2.3.1 ХИДРАУЛИЧЕН ЦИЛИНДЕР – СЕРВОМОТОР И НЕГОВО ВЛИЈАНИЕ ВО СИСТЕМОТ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХЕЦ .....	129
6.2.4 РЕГУЛИРАН СОСТАВ .....	131
6.2.5 ПРИНЦИП НА РАБОТЕЊЕ НА ДИГИТАЛЕН РЕГУЛАТОР .....	134
6.2.5.1 ОПШТ ПРИНЦИП НА РАБОТА НА РЕГУЛАТОР ЗА АВТОМАТСКА РЕГУЛАЦИЈА НА ФРЕКВЕНЦИЈА И СНАГА КАЈ ТУРБИНА .....	134
6.2.5.2 ФУНКЦИОНАЛЕН ПРИКАЗ НА РЕАЛЕН ДИГИТАЛЕН РЕГУЛАТОР ЗА АВТОМАТСКА РЕГУЛАЦИЈА НА ФРЕКВЕНЦИЈА И СНАГА НА СОСТАВОТ ТУРБИНА-ГЕНЕРАТОР .....	136
<b>6.3 ПОДГОТВИТЕЛНИ ЧЕКОРИ ПРИ ДИЗАЈНИРАЊЕ НА SCADA СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХИДРО ТУРБИНА .....</b>	<b>137</b>
6.3.1 МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ .....	137
6.3.2 СИНТЕЗА НА КОНТРОЛЕР .....	139
6.3.3 ДЕФИНИРАЊЕ НА МЕРНИ МЕСТА И ИНСТРУМЕНТИ, УПРАВУВАЧКИ ЕДИНИЦИ (PLC), РЕДОСЛЕДНА ЛОГИКА, УПРАВУВАЧКИ АЛГОРИТМИ, ГРЕШКИ И АЛАРМИ .....	141
6.3.4 ПРЕДТЕСТ СО СИМУЛАЦИЈА .....	141
6.3.5 ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ВО ЕЛЕКТРАНАТА .....	141
<b>6.4 ОПИС НА ХАРДВЕР, МРЕЖИ И ПРОТОКОЛИ ЗА SCADA СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ И СУПЕРВИЗИЈА СО ХЕЦ .....</b>	<b>142</b>
6.4.1 ОСНОВНИ ПРЕПОРАКИ ПРИ ИЗБОР НА PLC ЕДИНИЦИ, ИЗРАБОТКА НА МРЕЖА И ДЕФИНИРАЊЕ НА ПРОТОКОЛ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХЕЦ .....	142
6.4.2 PLC КОНТРОЛЕРИ ОД ПОЗНАТИ ПРОИЗВЕДУВАЧИ .....	143
6.4.2.1 ABB CS-31 СИСТЕМ .....	143
6.4.2.2 S7 400 СИСТЕМ - ОСНОВНИ РАЗГЛЕДУВАЊА .....	146
6.4.2.3 СПОРЕДБА, ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАТОЦИ НА ДИСКУТИРАНИТЕ СИСТЕМИ СИМЕНСОВИОТ S7 400 И ABB CS 31 СИСТЕМОТ .....	154
<b>6.5 БЛОК ДИЈАГРАМ НА ТИПИЧЕН СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХЕЦ .....</b>	<b>155</b>
<b>6.6 ХИЕРАРХИЈА НА ФУНКЦИИ НА ТИПИЧЕН СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХЕЦ 158</b>	
6.6.1 ПРВО НИВО НА УПРАВУВАЊЕ – ЛОКАЛНО МАНУЕЛНО УПРАВУВАЊЕ ....	158
6.6.2 ВТОРО УПРАВУВАЧКО НИВО – АВТОМАТСКО УПРАВУВАЊЕ .....	159
6.6.3 ТРЕТО НИВО НА УПРАВУВАЊЕ – SCADA НИВО .....	159
<b>6.7 УПРАВУВАЧКИ ФУНКЦИИ И РАБОТНИ МОДОВИ НА СИСТЕМОТ ЗА УПРАВУВАЊЕ СПОРЕД НИВОТО НА УПРАВУВАЊЕ .....</b>	<b>160</b>
6.7.1 УПРАВУВАЧКИ ФУНКЦИИ И РАБОТНИ МОДОВИ НА PLC НИВО .....	160
А. Управувачки функции и работни модови на единичното PLC .....	160
Б. Управувачки функции и работни модови на заедничкото PLC .....	161
6.7.2 УПРАВУВАЧКИ ФУНКЦИИ И РАБОТНИ МОДОВИ НА SCADA МАСТЕР СТАНИЦАТА – SCADA НИВО .....	161
<b>6.8 КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ НА ТИПИЧЕН СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО МАЛА ХЕЦ .....</b>	<b>162</b>

6.8.1	УПРАВУВАЧКА ТАБЛА НА ТУРБИНСКА ЕДИНИЦА .....	162
6.8.1.1	ЕДИНИЧНО PLC.....	162
6.8.1.2	ОСНОВНИ ПОДАТОЦИ ЗА РЕГУЛАТОРОТ- РЕГУЛАЦИОНО PLC .....	164
6.8.2	ЗАЕДНИЧКИ СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ .....	167
6.8.2.1	ЗАЕДНИЧКА УПРАВУВАЧКА ТАБЛА И ЗАЕДНИЧКО PLC .....	167
6.8.2.2	ЗАЕДНИЧКО PLC .....	167
6.8.3	ПРОГРАМАБИЛЕН ЛОГИЧКИ КОНТРОЛЕР ЗА ВЛЕЗНАТА ПОРТА .....	168
6.8.4	СИСТЕМ ЗА СУПЕРВИЗОРНО УПРАВУВАЊЕ И АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ 169	
<b>6.9</b>	<b>МЕРНИ МЕСТА, ИНСТРУМЕНТИ И НИВНИ ОЗНАКИ ВО SCADA ПРОГРАМ. 170</b>	
6.9.1	СЕНЗОРИ И МЕРНИ МЕСТА.....	170
6.9.2	СЕНЗОРИ, МОТОРИ И СОЛЕНОИДИ.....	172
<b>6.10</b>	<b>ДЕФИНИРАЊЕ НА АЛГОРИТМИ НА УПРАВУВАЊЕ..... 175</b>	
6.10.1	МАНУЕЛНО УПРАВУВАЊЕ .....	175
6.10.2	ВЛЕЗНА ПОРТА .....	175
6.10.2.1	ВЛЕЗНА ПОРТА – ПОЧЕТНА СОСТОЈБА .....	175
6.10.2.2	ВЛЕЗНА ПОРТА – ОТВОРАЊЕ.....	175
6.10.2.3	ВЛЕЗНА ПОРТА – ПУМПАЊЕ ВО ОТВОРЕНА ПОЗИЦИЈА .....	176
6.10.2.4	ВЛЕЗНА ПОРТА – ЗАТВОРАЊЕ.....	176
6.10.3	ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ .....	176
6.10.3.1	ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ – ПОЧЕТНА СОСТОЈБА.....	176
6.10.3.2	БАЛПАС НА ТУРБИНСКИОТ ВЕНТИЛ – ОТВОРАЊЕ.....	176
6.10.3.3	БАЛПАС НА ТУРБИНСКИОТ ВЕНТИЛ – ЗАТВОРАЊЕ.....	176
6.10.3.4	ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ – ПРОВЕРКА НА ПРИТИСОК ПОЗАДИ ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ 177	
6.10.3.5	ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ – ОТВОРАЊЕ.....	177
6.10.3.6	ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ – ЗАТВОРАЊЕ .....	177
6.10.4	ХИДРАУЛИЧЕН АГРЕГАТ НА РЕГУЛАТОРОТ НА БРЗИНА (ХАРБ) .....	177
6.10.4.1	ХАРБ – ПОЧЕТНА СОСТОЈБА.....	178
6.10.4.2	ХАРБ – ПУМПАЊЕ .....	178
6.10.4.3	ХАРБ – ПОДИГАЊЕ НА СИГУРНОСНАТА ТЕЖИНА.....	178
6.10.4.4	ХАРБ – СПУШТАЊЕ НА СИГУРНОСНАТА ТЕЖИНА .....	178
6.10.4.5	ХАРБ – ПРОВЕРКА НА ЗАТВОРНОСТА НА СИГУРНОСНАТА ТЕЖИНА 178	
6.10.5	МЕХАНИЧКО КОЧЕЊЕ .....	178
6.10.5.1	МЕХАНИЧКО КОЧЕЊЕ – КОЧЕЊЕ.....	178
6.10.5.2	МЕХАНИЧКО КОЧЕЊЕ – ОСЛОБОДУВАЊЕ .....	179
6.10.5.3	МЕХАНИЧКО КОЧЕЊЕ – СПОНТАНО СТАРТИРАЊЕ.....	179
6.10.6	ИНЈЕКТИРАЧКА ПУМПА НА ПОТПОРНОТО ЛЕЖИШТЕ .....	179
6.10.6.1	ИНЈЕКТИРАЧКА ПУМПА НА ПОТПОРНОТО ЛЕЖИШТЕ – СТАРТНА СОСТОЈБА.....	179
6.10.6.2	ИНЈЕКТИРАЧКА ПУМПА НА ПОТПОРНОТО ЛЕЖИШТЕ – СТАРТИРАЊЕ 179	
6.10.6.3	ИНЈЕКТИРАЧКА ПУМПА НА ПОТПОРНОТО ЛЕЖИШТЕ – ИСКЛУЧУВАЊЕ .....	179
6.10.7	ВОДА ЗА ЛАДЕЊЕ.....	180
6.10.7.1	ВОДА ЗА ЛАДЕЊЕ – СТАРТНА СОСТОЈБА .....	180
6.10.7.2	ВОДА ЗА ЛАДЕЊЕ – ОТВОРАЊЕ.....	180
6.10.7.3	ВОДА ЗА ЛАДЕЊЕ – ЗАТВОРАЊЕ.....	180
6.10.8	ИСТЕЧНИ ВОДИ – ЦУРЕЊЕ .....	180
6.10.8.1	ИСТЕЧНИ ВОДИ – СТАРТНА СОСТОЈБА .....	180
6.10.8.2	ИСТЕЧНИ ВОДИ – ПУМПАЊЕ.....	181
6.10.8.3	ИСТЕЧНИ ВОДИ – СЕКУНДАРНО ПУМПАЊЕ.....	181
6.10.8.4	ИСТЕЧНИ ВОДИ – ИТНО ПУМПАЊЕ.....	181
6.10.9	ЗГРАДА НА ХИДРОЦЕНТРАЛАТА .....	181
6.10.9.1	ЗГРАДА НА ХИДРОЦЕНТРАЛАТА – ВЛЕЗ.....	181
6.10.9.2	ЗГРАДА НА ХИДРОЦЕНТРАЛАТА – ИЗЛЕЗ.....	181
6.10.9.3	ЕЛЕКТРИЧНО КОЧЕЊЕ.....	182

6.10.10	ЕДИНИЦАТА ПОДГОТВЕНА ЗА СТАРТИРАЊЕ .....	182
6.10.11	СТАРТИРАЊЕ НА ЕДИНИЦАТА .....	182
6.10.12	НОРМАЛНО ЗАТВОРАЊЕ НА ЕДИНИЦАТА .....	183
6.10.13	ИТНО ЗАТВОРАЊЕ НА ЕДИНИЦАТА .....	184
6.10.14	МИРУВАЊЕ НА ЕДИНИЦАТА .....	185
<b>6.11</b>	<b>ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ НА ХИДРОЦЕНТРАЛА.....</b>	<b>186</b>
6.11.1	ИЗВЕДЕНИ ЗАВИСНОСТИ НА ОСНОВНИТЕ ПАРАМЕТРИ .....	186
<b>7</b>	<b>ИЗРАБОТКА И ОПИС НА SCADA КОМПЈУТЕРСКА АПЛИКАЦИЈА ЗА СИМУЛАЦИЈА СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХЕЦ .....</b>	<b>189</b>
<b>7.1</b>	<b>СТРУКТУРА НА SCADA АПЛИКАЦИЈА ЗА СИМУЛАЦИЈА .....</b>	<b>189</b>
7.1.1	ГЛАВЕН ПАНЕЛ.....	191
7.1.2	УПРАВУВАЧКА СТРУКТУРА НА ЕДНА ЕДИНИЦА .....	192
7.1.3	УПРАВУВАЧКА ХИДРАУЛИКА НА ТУРБИНСКИОТ КОНТРОЛЕР .....	193
	ПРЕЗЕНТАЦИЈА НА РАБОТЕЊЕ И МОЖНОСТИ НА SCADA КОМПЈУТЕРСКА АПЛИКАЦИЈА ЗА СИМУЛАЦИЈА НА ХЕЦ.....	195
5.1.4.1	ПОВРЗУВАЊЕ НА КОНТРОЛНИТЕ ОБЈЕКТИ (ВИДЛИВИ СЛИКИ) СО ИЗРАЗИТЕ НА ЗАВИСНОСТИ (ВЛЕЗНИ СИГНАЛИ).....	198
<b>8</b>	<b>ПРИМЕРИ ЗА РЕАЛИЗИРАНА СИМУЛАЦИЈА НА SCADA СИСТЕМ.....</b>	<b>199</b>
<b>8.1</b>	<b>ПРИМЕР 1.....</b>	<b>199</b>
<b>8.2</b>	<b>ПРИМЕР ЗА РЕАЛИЗИРАНА СИМУЛАЦИЈА НА SCADA СИСТЕМ ЗА СУПЕРВИЗИЈА И АКВИЗИЦИЈА ВО ЛАБОРАТОРИСКА ПУМПНА ПОСТРОЈКА .....</b>	<b>209</b>
8.2.1	ОПИС НА ИНСТАЛАЦИЈА И МЕТОДОЛОГИЈА НА МЕРЕЊА .....	209
8.2.2	ИЗРАБОТКА НА ПРОГРАМА ВО ИЗБРАН СОФТВЕР - LOOKOUT .....	212

## 1 СИСТЕМИ ЗА СУПЕРВИЗОРНО УПРАВУВАЊЕ И АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ

### 1.1 СОВРЕМЕНИ СИСТЕМИ ЗА ДИГИТАЛНО УПРАВУВАЊЕ И АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ - ДЕФИНИЦИИ, СПОРЕДБИ И РАЗЛИКИ

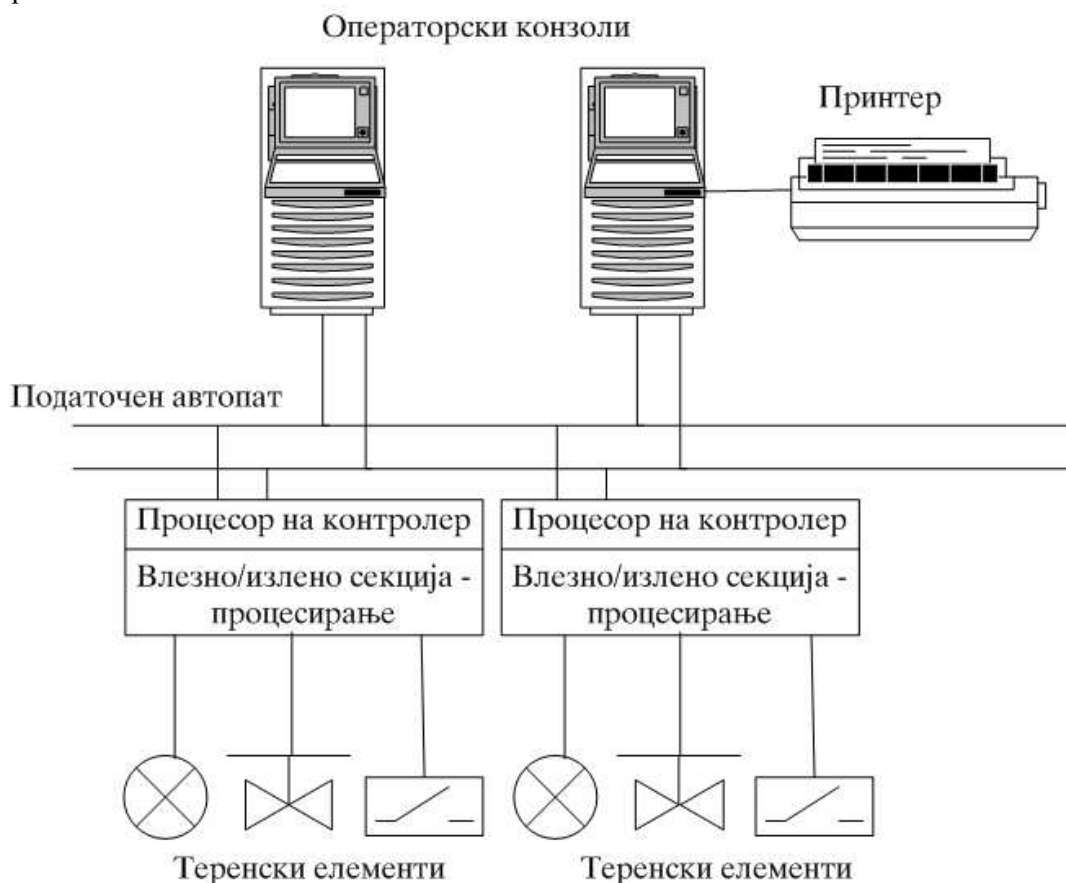
Под автоматските системи за дигитално управување и аквизиција на податоци се подразбира употреба на компјутеризиран систем за да се автоматизира задачата. Задачата може да биде едноставно вклучување и исклучување на мотор (управување) како одговор на прекинувач (инструмент) или отчитување на температурата секои пет минути (аквизиција на податоци) и зачувување на податоците за подоцнежнo користење. Од друга страна пак, задачата може да биде далеку посложена и да се однесува на комплексно управување со производство, собирање и прикажување на податоци на операторите.

Во најголем број на случаи сите дигитални системи за управување можеме да ги распределиме во три категории: програмабилни логички контролери - *PLC (Programmable Logic Controller)*, распределени управувачки системи - *DCS (Distributed Control System)* и систем за супервизорно управување и аквизиција на податоци - *SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition System)*. Границите помеѓу овие системи во денешно време се драстично поместени и се преклопуваат [11]. Историски гледано, *DCS* системите биле наменети за аналогно управување со повратна врска, *PLC* било наменето за замена на реле логиката а *SCADA* системите се користеле при собирање на податоци, најчесто од теренски единици. Денес, *DCS* системите можат да заменат реле логика, *PLC* може да се употреби при аналогно управување со повратна врска а *SCADA* системите можат да ги направат и двете работи.

Сите дигитални системи претставуваат комбинација на хардвер и софтвер [11]. Хардверот го претставува физичкиот дел од дигиталниот систем како што се микропроцесорите, аналогно – дигиталните конвертори, кабли, напојувања итн. Софтверот го претставува оној дел од дигиталниот систем што опстојува како бинарни податоци и е извршуван или користен од микропроцесорите. Софтверот е неопипливиот дел од дигиталниот систем бидејќи опстојува во мемориските чипови, дискети, хард дискови и касети. Со други зборови дигиталните системи се составени од микропроцесор и софтвер. Софтверот кој го користи микропроцесорот има неколку нивоа. Првото ниво е нивото на оперативниот систем. Ова базично ниво на софтвер му овозможува на микропроцесорот да пристапи и управува со останатите делови од хардверот какви што се *RAM* меморијата, монитор, тастатура итн. Сите дигитални системи имаат некој вид на оперативен систем, а некој од нив користат стандардни оперативни системи каков што е на пример *DOS*. Второто ниво на софтверот се користи за конфигурација и извршување на управувачката логика и функцијата на аквизиција на податоци (конфигурациски софтвер). Некои модули од овој систем служат за конфигурација на влезовите и излезите од системот а некои за конфигурирање на графичкиот интерфејс.

### 1.1.1. РАСПРЕДЕЛЕНИ УПРАВУВАЧКИ СИСТЕМИ

Распределени управувачки системи - *DCS (Distributed Control System)* претставува современ хардверски и софтверски систем кој извршува управувачки и аквизициони функции [11]. Тоа вклучува: графички интерфејс за операторот, алармирање, собирање на историски податоци, трендови, континуално управување, пакети за комплетно конфигурирање, генерирање репорти, комуникациски способности со други системи итн. Сите овие елементи се испорачуваат како еден пакет, од еден производител. На сликата 1.1 е претставен типичен *DCS* систем.



Слика 1.1: Типичен изглед на еден *DCS* систем

Една типична *DCS* архитектура се состои од неколку хардверски и софтверски модули. Некои модули извршуваат конверзија на влезни и излезни сигнали и изведуваат логички функции – овие се нарекуваат модули на контролерот. Други модули ги прикажуваат податоците и овозможуваат на операторите да управуваат со логичките функции – овие се операторски модули. Хардверските модули во *DCS* системот поврзани со дигитален комуникациски линк кој се нарекува податочен автопат (*data highway*). Податочниот автопат е интегрален дел од *DCS* системот па честопати тој се нарекува и рбет (*backbone*) на системот.

*DCS* има минимум една операторска конзола, еден контролерски модул и еден принтер. Може да имаме повеќе такви модули. Контролерскиот модул



може да ја извршува логиката и да управува со функцијата без операторскиот модул, но операторскиот модул е потребен на персоналот за да може да врши набљудување и управување со активностите. Некои производители на *DCS* нудат и модули кои вршат собирање на историски податоци (собирање на податоци на хард диск) или пак комуникациски модули за комуникација со други дигитални системи (*PC* или мрежа).

*DCS* системите ги конфигурираме на тој начин што комбинираме едноставно програмирање, пополнување-на-празнините за стандардните влезови и излези и управувачки алгоритми (какви што се аналогните влезови, аналогни излези, пропорционално интегрално деривативни функции, дигитални излези, дигитални влезови итн.) и програмирање во јазик од повисоко ниво (какви што се јазикот *C* или *PASCAL*), за нестандартни видови на точки и управувачки алгоритми (какви што се на пример старт секвенциите). Во конфигурацијата на *DCS* системите спаѓа и одредување на начинот на кој точките ќе бидат групирани за алармирање, собирање на историја, известување и создавање на графики за операторот. Конфигурацијата на *DCS* се извршува преку операторската конзола во податочната база која е заедничка за сите хардверски модули во системот. Производителите можат да имаат и свои конфигурациски софтвери кои се инсталираат на персонални компјутери и ги пренесуваат резултантните апликациски дата бази во соодветните *DCS* модули.

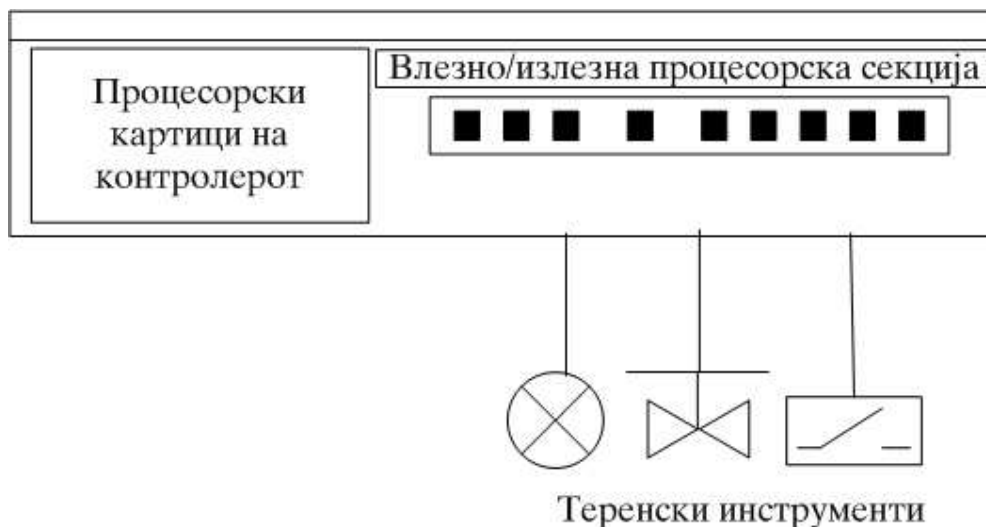
*DCS* системите се употребуваат за големи управувачки системи со многу аквизициони апликации, без разлика дали се работи за аналогна или дискретна аквизиција на податоци и управување. *DCS* системите се едни од најскапите дигитални системи за управување.

### 1.1.2. ПРОГРАМАБИЛНИ ЛОГИЧКИ КОНТРОЛЕРИ

Програмабилен логички контролер – *PLC* (*Programmable Logic Controller*) претставува комбинација на хардвер и софтвер кој извршува две функции - управување и аквизиција на податоци [11]. Типична *PLC* архитектура се состои од процесор и влезно/излезен подсистем. Вобичаено, процесорот и влезно/излезниот подсистем се состои од групи на монтирачки картици. Управувачките и аквизиционите функции се извршуваат во процесорот а конверзијата на сигналите за теренските уреди се извршува во влезно/излезниот подсистем. Типична *PLC* конфигурација е претставена на слика 1.2.

*PLC* уредот многу потсетува на контролерскиот модул во *DCS* системите. Една значајна разлика помеѓу нив е тоа што *PLC*-то е дизајнирано како самостоен уред. Ова го прави *PLC* уредот атрактивен избор за посветени управувачки функции какви што се управувањето со некој генератор или горилник кај кој е потребно минимално комуницирање помоѓу операторот и машината и минимална аквизиција на податоци. *PLC* уредите честопати се евтени, флексибилни и самостојни решенија.

Конфигурацијата на *PLC* уредите побарува изработка на програм во т.н. скалест дијаграм. За таа цел произведувачите изработуваат сопствен софтвер во кој оваа програма се создава. Конфигурацијата со помош на овој софтвер се извршува на некој персонален компјутер а потоа резултантниот апликационен програм се вметнува во *PLC* уредот за да се тестира и извршува.



Слика 1.2: PLC и негова поврзаност со инструментите

За да се зголеми функционалноста, *PLC* уредите можеме да ги поврземе меѓусебно со помош на микропроцесорски базиран *HMI* (*Human Machine Interface*) кој подржува, слики, аларми, собирање историја, графици итн. На овој начин, архитектурата почнува многу да личи на *DCS* архитектура, а функционалноста и структурата им се речиси исти. Многу произведувачи на *PLC* уреди нудат и стандардни мрежи за меѓусебно поврзување на *PLC* уредите и *HMI*.

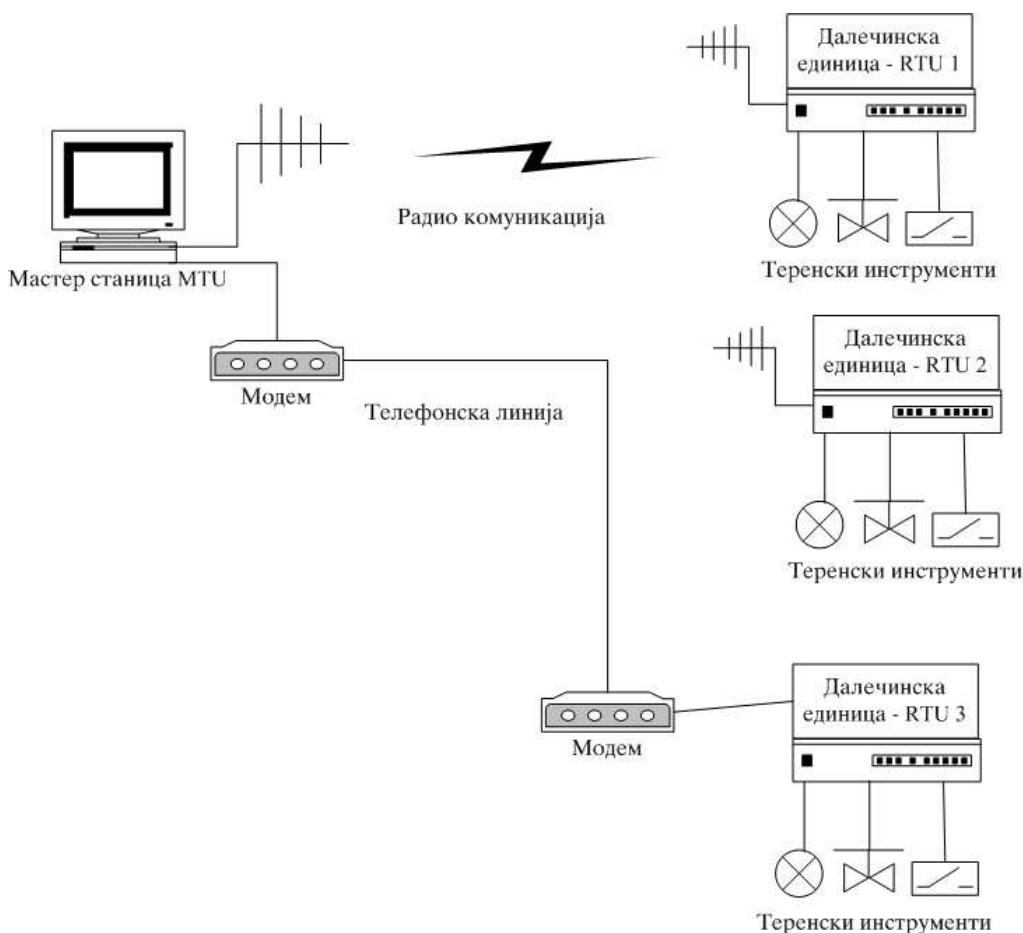
### 1.1.3. СИСТЕМИ ЗА СУПЕРВИЗОРНО УПРАВУВАЊЕ И АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ

Систем за супервизорно управување и аквизиција на податоци – *SCADA* (*Supervisory Control And Data Acquisition*) во минатото подразбирал систем кој собира и испраќа информации на далечински локации. Вообичаено има само надзорничка улога бидејќи не е потполно одговорен за примарната управувачка функција. Во најголем број на случаи некој друг систем (како што е *PLC*-то) е одговорен за примарното управување, а *SCADA* системот едноставно ги надгледува и пријавува активностите [11]. Во денешно време *SCADA* системите имаат проширена управувачка функција и овозможуваат моментална пресметка и менување на дефинираните точки и вредности при нивната комуникација со примарните управувачки системи.

Примарна одлика на *SCADA* системите, која значајно ги одделува од останатите системи за дигитално управување, е нивната можност за комуникација користејќи многу различни методи. Ова ги прави особено корисни за собирање и испраќање на информации и управувања до и од различни други дигитални системи. Со помош на различни протоколи, *SCADA* системите се способни за комуникација преку телефонски линии, *UHF/VHF* радиа, етернет, микробранови системи, сателитски системи, и фиброоптички кабли.

Типичен *SCADA* систем се состои од мастер единица – *MTU* (*Master Terminal Unit*) и една или повеќе далечински единици – *RTU* (*remote terminal unit*). Мастер единица може да биде некој персонален компјутер (или мрежа од компјутери) на кој е инсталиран *SCADA* софтвер со операторска графика и управувачка функција, или пак некој хардверски модул кој функционира како

собирач на податоци за некој друг дигитален систем. Како далечинска единица може да се користи некоја специјализирана хардверска единица за SCADA системи како што се тоа RTU единиците или пак некој PLC уред. MTU и RTU комуницираат по принципот мастер – потчинет. Слика 1.3.



Слика 1.3: Типичен SCADA систем

#### 1.1.4. ДРУГИ ДИГИТАЛНИ СИСТЕМИ ЗА УПРАВУВАЊЕ И АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ

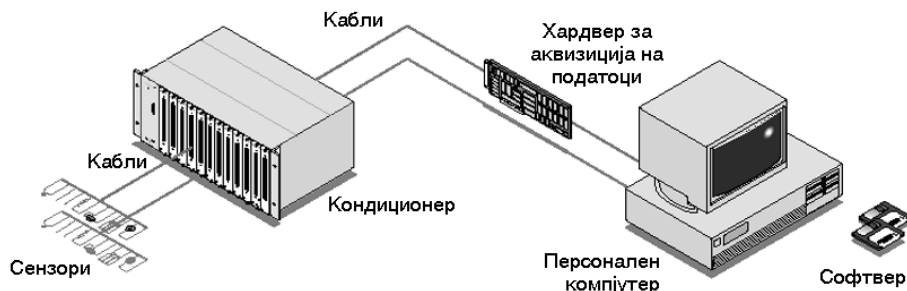
Многу дигитални системи не спаѓаат во DCS, PLC, SCADA категориите. Такви се персоналните компјутери PC, микрокомпјутерите, индустриските бас системи, паметните теренски уреди и други. Од сите овие најинтересни се персоналните компјутери.

##### I. Систем за аквизиција и управување со помош на персонални компјутери

Персоналните компјутери се дизајнирани за општа употреба и нивната моќност во последно време е драстично зголемена а нивната цена постојано опаѓа. Како моќени уреди за обработка на податоци нивната применливост како примарни уреди за управување и аквизиција на податоци е неоспорлива. Овие

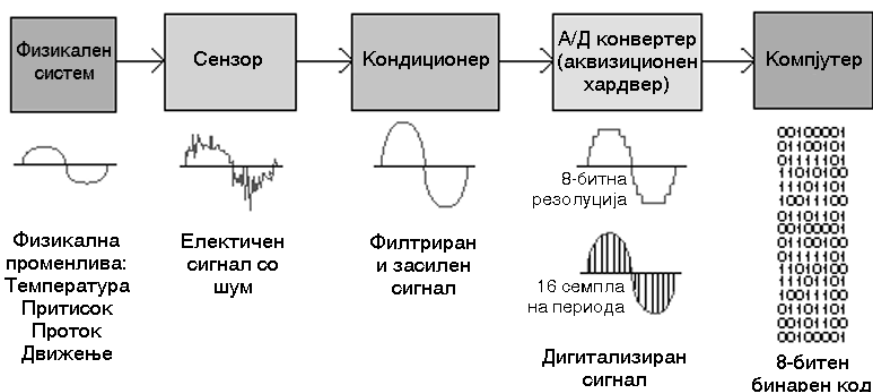
системи може да бидат изведени како специјализирани за одредена област на примена, или како отворени системи со можност за примена во била која област [35]. Кога се користи како примарен уред за управување и аквизиција на податоци влезовите и излезите можат да се доведуваат до РС-то на различни начини, но најчесто нив можеме да ги сврстиме во три групи (слика 1.6) [11].

Првата група на сигнали од сензорите може да се доведе до компјутерот преку картички кои извршуваат конверзија на сигналите а се в штекуваат директно во компјутерот.



Слика 1.4: Елементи на типичен компјутеризиран аквизиционен систем [35]

Главната трансформација на сигналите, во отворен компјутеризиран аквизиционен систем е прикажана на слика 1.5.



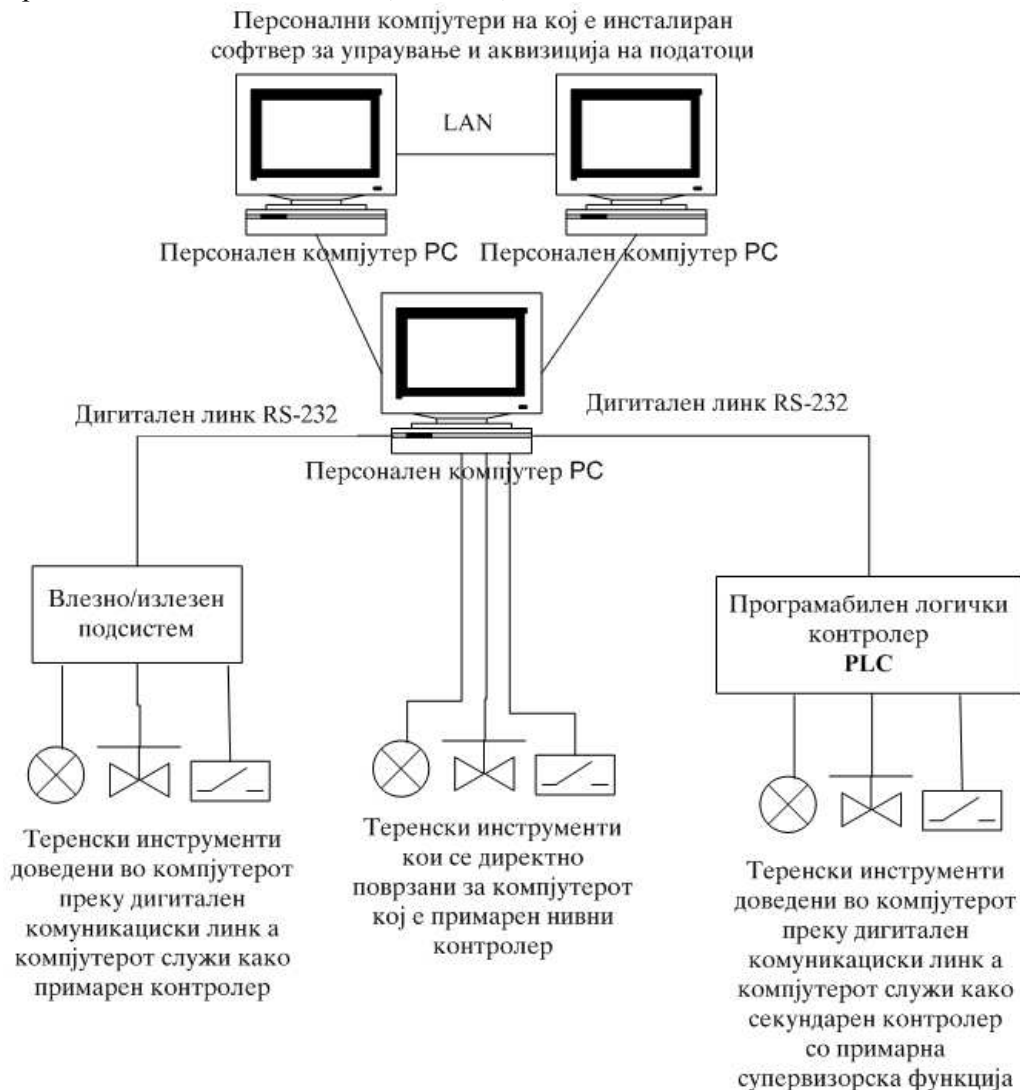
Слика 1.5: Трансформација на сигналите

Главни елементи и функционални делови на компјутеризираните аквизициони системи се:

- сензори
- кондиционери (нормализатори) на сигнал
- хардвер (картичка) за аквизиција на податоци
- персонален компјутер
- кабли
- софтвер

Втората група на сигнали може да се доведе преку самостојни специјализирани влезно излезни подсистеми кои комуникаираат со компјутерот преку серискиот порт, дигитален линк (RS – 232).

Третата група влезови и излези можат да бидат донесени до компјутерот преку некој друг дигитален систем (на пример преку некое *PLC*) исто така со користење на дигитален линк (*RS – 232*).



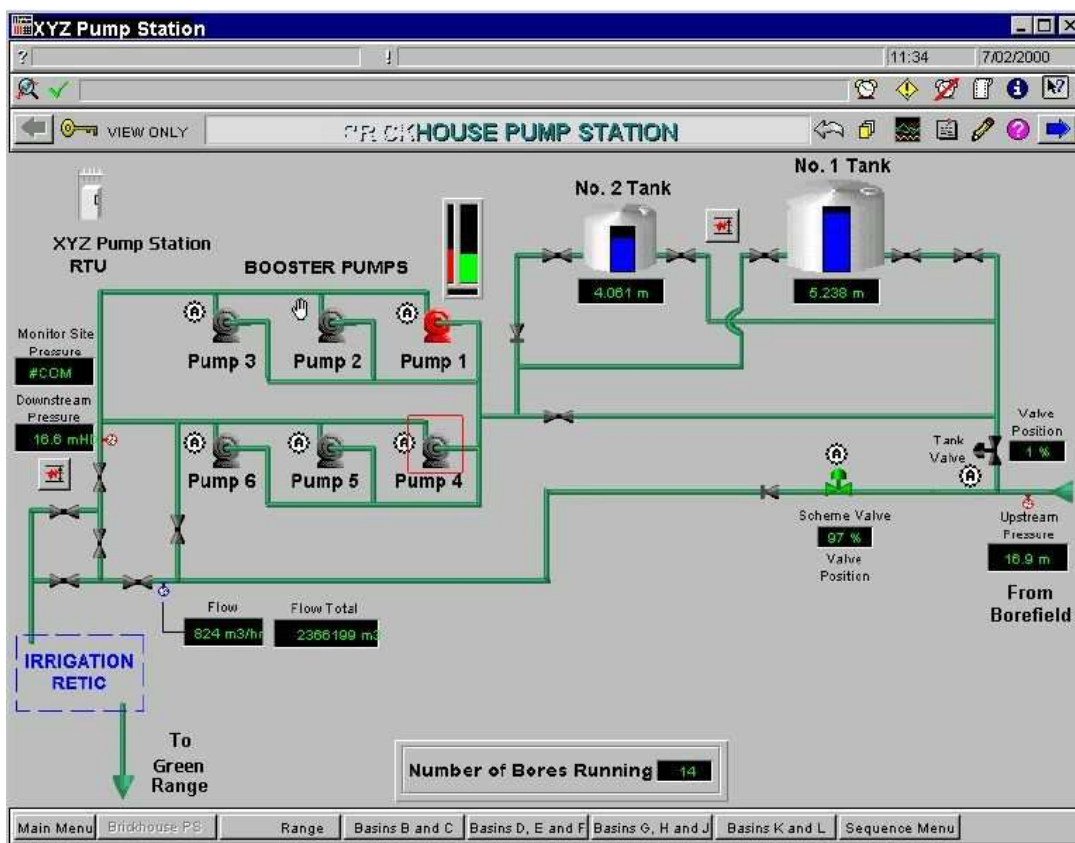
Слика 1.6: Систем на управување со персонален компјутер како директна управувачка единица

## II. Паметни инструменти

Трансмитерите, протокомерите итн. се сметаат за паметни доколку тие подржуваат дигитален комуникациски линк или филдбас. Паметните теренски инструменти овозможуваат комуникација со теренот директно од некое општо место за комуникација како што се компјутерските канцеларии. Преку дигиталниот линк можеме да собираме податоци или пак да го конфигурираме уредот. Некои од податоците кои можеме да ги добиеме преку дигиталниот комуникациски линк се: променливите на процесот, информации за насловот, конфигурациски податоци (ранг, граници, итн.) и некои дијагностики. Некои паметни уреди можат да спроведуваат и управувачки функции како што е *PID* алгоритмот [11].

## 1.2. SCADA СИСТЕМ- ОПШТИ ДЕФИНИЦИИ

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) претставува систем наменет за истовремено мерење и управување. Системот има функција да собира информации, ги пренесува до централата, ги спроведува потребните анализи и управувања за да на крај да ги прикаже на неколку операторски екрани [1].



Слика 1.7: SCADA дисплеј, операторски интерфејс

SCADA системите се користат за супервизија и управување на постројки или на некоја опрема. Управувањето може да биде автоматско или пак со интерактивни команди зададени од оператор.

За SCADA системите се вели дека претставуваат комбинација на систем за телеметрија (*telemetry*) и систем за аквизиција на податоци (*data acquisition*) [33]. Телеметрија претставува техника која се користи за трансмисија и прием на информации или податоци преку медиум. Информациите можат да бидат мерења какви што се напон, брзина, проток итн. Тие податоци се пренесуваат до друга локација преку медиум какви што се кабел, телефон или радио. Информациите можат да доаѓаат од повеќе локации. Сите локации се соодветно адресирани и вметнати во системот. Аквизиција на податоци се однесува на методот кој се користи за пристап и управување со информации или податоци од опремата која се управува и надгледува. Соберените податоци потоа се

предаваат на системот за телеметрија кој е подготвен за пренос на различни страни. Тие можат да бидат аналогни или дигитални информации соберени од сензори, какви што се протокомер, амперметар итн. Тоа исто така можат да бидат податоци наменети за управување со опрема какви што се актуатори, релиња, вентили, мотори итн.

SCADA системот вообичаено се состои од централна терминална единица (*Master Terminal Unit - MTU*), една или повеќе теренски единици за собирање на податоци и за управување (*Remote Terminal Units - RTU's* или *PLC - Programmable Logic Controller*) и софтвер кој се употребува за супервизија и управување на теренски поставените податочни елементи. Кај современите SCADA системи преовладуваат отворените управувачки системи (управување со отворено коло) и комуникации на големи раздалечености, иако некој елементи на управување со затворено коло (со повратна врска) и кратки растојанија исто така можат да бидат присутни.

Аквизицијата на податоците во прва рака се остварува со помош на *RTU* или *PLC* кој ги сканираат теренските влезови кој се поврзани за *RTU/PLC*- то. Централната единица врши сканирање на *RTU* или *PLC*-то. Потоа добиените податоци се обработуваат во централната единица за да се одредат променетите и алармните состојби. Доколку постојат некој алармни состојби тие вообичаено се прикажуваат на дисплејот во посебни листи за аларми.

Податоците можат да бидат воглавно од три типа. Аналогните податоци најчесто се прикажуваат на графици. Дигиталните податоци (*on/off*) можат да служат како алармна ситуација кога ќе се постигне некоја од двете состојби. Пулсните податоци најчесто се акумулираат или пак се собираат.

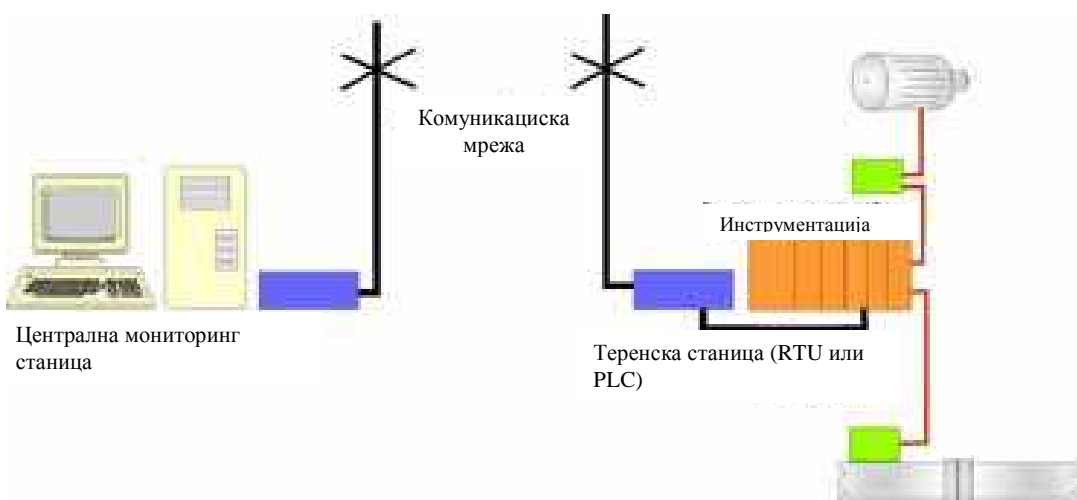
Примарен интерфејс кон операторот е графички дисплеј кој претставува постројка или еден дел од опремата претставени во графичка форма. *On-line* податоците се претставени со графички форми- *foreground* поставени над статички *background*. Како што се менуваат теренските податоци така се менуваат и графичките форми. Одредени вредности (аналогните податоци) можат да се прикажуваат со бројки или со графици или пак со бинарни форми пр. Отворено/Затворено за бинарните податоци. Еден систем може да има многу такви дисплеи а операторот може да избира било кој од нив во текот на времето.

## 2. SCADA СИСТЕМИ - СОСТАВНИ ДЕЛОВИ, ПРИМЕНА И ОПШТ ПРИМЕР

### 2.1 КОМПОНЕНТИ НА ЕДЕН СОВРЕМЕН SCADA СИСТЕМ

SCADA системот вообичаено се состои од централна терминална единица (*Master Terminal Unit - MTU*) со инсталиран софтвер кој се употребува за супервизија и управување на теренски поставените елементи, една или повеќе теренски единици за собирање на податоци и за управување (*Remote Terminal Units - RTU's* или *PLC - Programmable Logic Controller*) и опрема која служи за нивно поврзување. Со други зборови за еден SCADA систем може да се каже дека е составен од следниве четири базични елементи [1][33]:

1. Теренска инструментација
2. Теренски станици (*RTU* или *PLC*)
3. Комуникациски станици и опрема за поврзување
4. Централна мониторинг станица



Слика 2.1: Основни компоненти на еден современ SCADA систем [33]

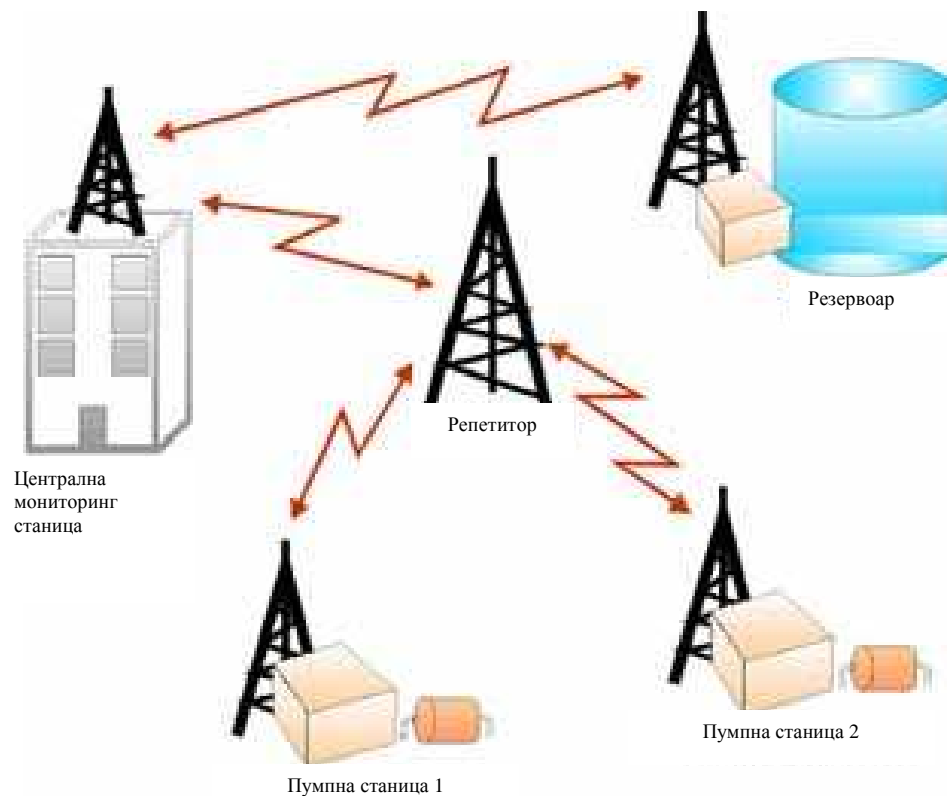
Теренска инструментација е составена од уреди, сензори и актуатори, кој се директно поврзани со постројката или опремата. Тие создаваат аналогни или дигитални сигнали кои се надгледувани од теренската станица. Овие сигнали најчесто се кондиционираат пред да влезат во станицата за да се осигураме дека ќе бидат компатибилни со влезовите/излезите од *RTU*-то или *PLC*-то на теренската станица.

Теренската станица е инсталирана на оддалечената постројка или опрема која што треба да биде надгледувана и управувана од централната компјутерска постројка. Таа може да се состои од *RTU* или од *PLC*.

Комуникациската мрежа е медиум кој служи за трансфер на информации од една локација на друга. Тоа може да се изврши со помош на телефонска линија, радио или кабел.



Централната мониторинг станица (CMS) се однесува на локацијата на централниот компјутер. Неколку работни станици можат да бидат прикачени на CMS. На CMS е инсталиран софтвер/програм кој служи за мониторинг и интеракција со различни типови на податоци, потребни за оптимално работење на надгледуваната постројка.



Слика 2.2: Изглед на еден современ SCADA систем за дистрибуција на вода

### 2.1.1 ТЕРЕНСКА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА

Под теренската инструментација се подразбираат уреди кој што се директно поврзани за опремата или машините што ги контролираме и надгледуваме со SCADA системот. Тоа се или сензори за мониторинг на одредени параметри или актуатори за управување со одредени модули на системот. Изборот на сензорите е строго поврзан со природата на процесот кој се набљудува и чија величина се мери.

Сензорите ги конвертираат физичките големини (како што се протокот, брзината, ниво на флуид, влажност, проводност итн.) во стандардни електрични сигнали (во струја или напон) кои можат да бидат отчитани од теренските станици. Уредите кои го обезбедуваат таквиот стандарден интерфејс се нарекуваат трансјусери.

Како излез од теренската инструментација може да бидат вредности во аналоген или дигитален облик. Стандардни електрични сигнали на излезите од индустриските сензори се во ранг од 0 до 5 V, 0 до 10 V, 4 до 10 mA, 0 до 20 mA. Доколку сензорите ги поставиме на мала оддалеченост од контролерите (RTU или PLC) тогаш е најдобро да избереме сензори со напонски излези а доколку сензорите се на голема оддалеченост од контролерите тогаш се користат сензори со струен излез. Доколку излезите од сензорските уреди се во аналогна форма а истите треба да бидат спроведени до некој дигитален уред за обработка на податоци како што се PLC уредите и персоналните компјутери во тој случај потребно е сигналите од сензорите да се сведат во дигитален облик. Најприкладен начин на конвертирање на сигналите е со употреба на таканаречени дистрибуирани влезно/излезни модули со мултиплексирани аналогни влезови. Овие модули имаат вграден А/Д конвертор кој ги конвертира аналогните сигнали во дигитални податоци со одредена точност и резолуција.

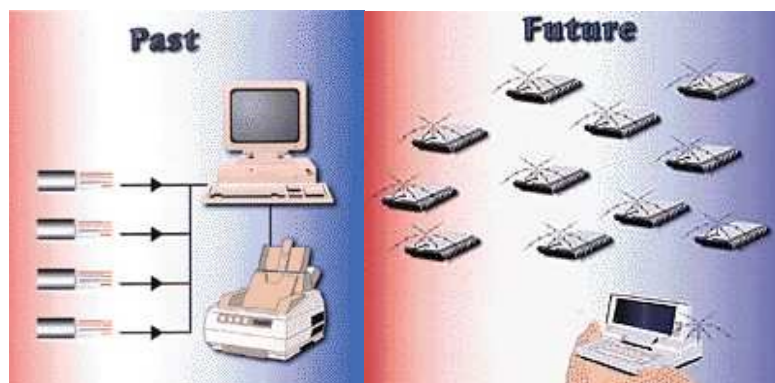
Дигитални излези се користат за да се дефинира дискретниот статус на опремата. Најчесто со 1 се означува кога опремата е *on*, и со 0 кога опремата е *off*. Единицата може да означува и полно а нулата празно.

Актуаторите се користат за да вклучат или исклучат одредена опрема. Дигиталните и аналогните влезови се користат и за управување. На пример, дигиталните влезови можат да се користат за вклучување или исклучување на одредени модули од опремата. Аналогните влезови се користат за управување со брзината на моторите или пак со позицијата на моторизираниот вентил.

Понекогаш сигналите од сензорите се недоволно силни или недоволно спремни за веднаш да можат да бидат внесени во единицата за собирање и обработка на податоците. Поради тоа се јавува потребата од нивно претходно процесирање т.е. кондиционирање. Кондиционирањето опфаќа функции какви што се засилувањето на сигналот, филтрирање, електрична изолација и мултиплексирање.

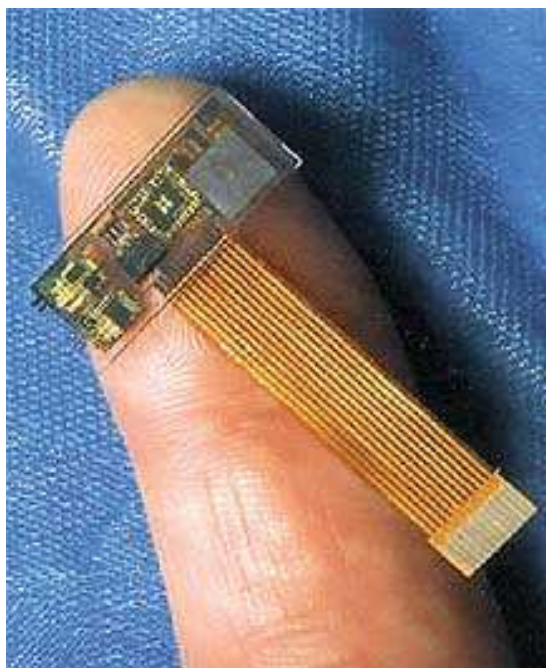
## 2.1.2 ТРЕНД ВО СОВРЕМЕНИТЕ СЕНЗОРИ ПРИМЕНЕТИ ВО АКВИЗИЦИОНИ СИСТЕМИ

Современите мерни системи одат кон интегрирање на интелигентни сензори со современата опрема за безжичана комуникација [36]. Се повеќе производителите на сензори размислуваат за воведување на безжичната технологија во нивните уреди бидејќи цената на радио уредите се повеќе паѓа а квалитетот расте. Во исто време трошоците поврзани со инсталирање, тестирање, одржување и техничка поддршка за жичаните системи расте бидејќи современите монополски системи се се по сложени. Во индустријата се поголем замав заземаат мрежи составени од безжичани сензори кој можат да работат во нечисти средини. Во жичаните мерни мрежи составени од индивидуално поврзани сензори излезот од сензорите најчесто е сигнал од 4-20 mA кој го претставува параметарот што го мериме. Во осумдесетите години кога ваквите системи се појавија голем дел од индустријата ги прифати со отворени раце. Мрежните топологии каква што е "Ethernet" технологијата на поврзување на сензорите значајно ги намалуваат трошоците за зажичување на сензорите. Во ваквите стандарди, сепак е потребно секој од сензорите да биде зажичен до еден дигитален концентратор. Воведувањето на интелигентните сензори во ваквите топологии создава нови можности така на пример сегашните безжичани сензорски системи даваат можност за "peer to peer" комуникација меѓу самите сензори (слика 2.19).



Слика 2.19: Комуникација во современите мерни системи некогаш и сега

Појавата на нови сензори и актуатори базирани на микроелектромеханичките системи (*MEMS*) воведуваат нови решенија во досега естаблираните технологии. Многу автоматски "air bag" системи во денешно време се дизајнирани да користат "state-of-the-art" *MEMS* акцелерометри. Новите генерации на инк џет принтери користат глави за принтање изработени со *MEMS* технологија. Доколку прикачине жици за тие миниатурни уреди можеме да предизвикаме проблеми па дури и нивно не функционирање, а овие проблеми можат да се избегнат токму со примената на безжичаните технологии.



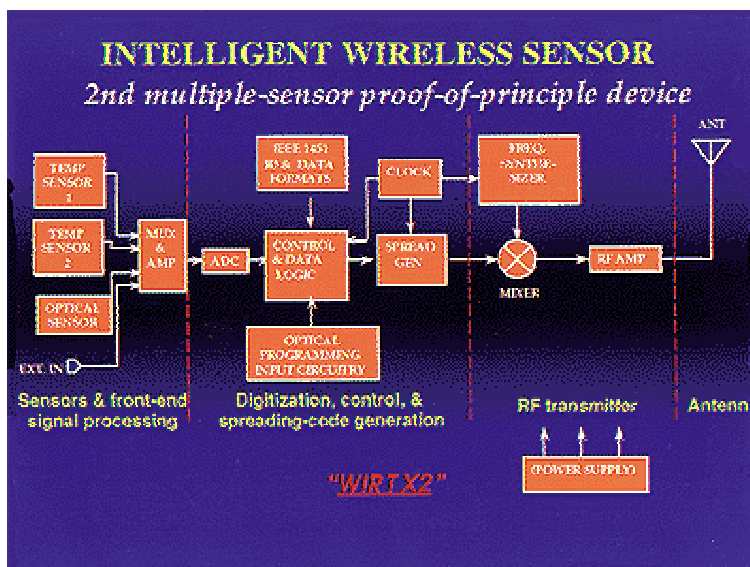
Слика 2.20: Современ безжичен микроелектромеханички сензор

Центарот за интелигентни сензори во Германија прави миниатурни сензори базирани на мултичипни модули. На сликата 2.20 е прикажан еден таков сабмикронски сензор за позиционирање, дизајниран да мери позиција на материјал за време на монтажа [36]. Во овој случај е прикажан и опашестиот кабел потребен за безжичана комуникација со што се остраниваат можностите од не работење и се задоволуваат барањата за сензор со мала маса. Се по често се применуваат безжичани сензори во потребите на армијата. Постојат и миниатурни сензори дизајнирани со мали маси и микронска електроника но со потреба од кабли за да бидат поврзани. Овие уреди со примена на безжичаната технологија можат да бидат многу по корисни и разнолики.

Досегашната пракса на употребување на различни мерни компоненти групирани во субсистеми и функционални блокови (како на пример: сензорски блок, кондиционерски блокови итн.) ја држи цената на мерните системи релативно висока додека цените на другите електронски уреди паѓаат. За производителите на сензорски мерни системи вистински предизвик претставува интегрирање на сензорот, процесирањето на сигнал, дигитализирање, формирање на информација, комуникација и напојување во еден ист пакет лесен за производство. Мешањето на аналогните, дигиталните и колата за радио фреквенции на еден ист стандарден уред претставува голем технолошки предизвик за денешницата кој што дури во денешно време успеа да стане доволно јасен. Целосно интегрираната електроника ни нуди консумација на мало количество на енергија што е од особено значење за примената во теренски услови кога животот на батеријата ни е од посебно значење. Денешните "сензорски чипови" се високо интегрирани, точни и можат да ги пренесат нивните отчитувања во инженерски единици компатибилни со постоечките системи за аквизиција на податоци.

Првиот комерционален интегриран сензор е произведен во 1988 од *Computational Systems, Inc.* На него се интегрирани сензор, кондиционирање на сигнал и пренос на сигнал на еден единствени чип. На сликата 2.21 се прикажани функционалните елементи на едно-чипен безжичен температурен сензор. Тој е составен од следниве модули:

- сензор и модул за првична обработка на податоците
- дигитализатор, управувач и генератор на код за испраќање
- трансмитер
- антена

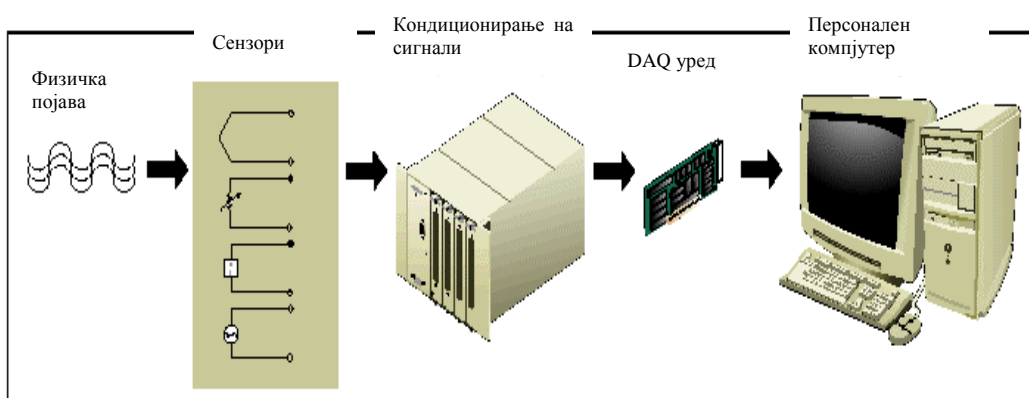


Слика 2.21: Функционален распоред на модулите во интелигентен едно-чипен безжичен сензор

Еден ваков интелигентен сензор може да врши: префрлање на необработени подаци, аларми за *on-off* состојби или пак да префрла само мала сума на податоци потребна да се надолжни новата состојба на опремата. Вметнувањето на интелигенција во сензорите го намалува и *bandwidth*-от потребен за меѓусебната комуникација.

## 2.2 ОСНОВИ НА КОНДИЦИОНИРАЊЕ НА СИГНАЛИ ЗА КОМПЈУТЕРСКИ БАЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ

Компјутерски-базирани системи за мерење се користат во широка палета на апликации. Во лаборатории, во теренската служба и во производните погони, овие системи се однесуваат како општи мерни инструменти прилагодени за мерење на напонски сигнали. За многу од сензорите кои се користат во реалниот свет има потреба од кондиционирање на сигналите пред да влезат во компјутерски базирани мерни системи за да можат да бидат ефективно и точно регистрирани. Системите за кондиционирање на сигналот во себе можат да вклучат функции какви што се засилување на сигналот, слабење на сигналот, филтрирање, електрична изолација, симултано семплирање и мултиплексирање. Многу сензори побаруваат возбудна струја или напон, довршување со мост, линеаризација или силно засилување за да работат точно. Заради сите овие причини најголем дел од компјутерски базирани мерни системи вклучуваат некој вид на кондиционирање на сигналите како додаток на plug-in DAQ уредите, како што е прикажано на слика 2.22 [35].



Слика 2.22: Кондиционирање на сигналите кај компјутерски базирани системи за аквизиција на податоци (DAQ)

Кондиционирањето на сигналите е една од најважните но и најзапоставените компоненти на системот за аквизиција на податоци. Со помош на кондиционирањето успеваме секој сигнал од реалниот свет да го доведеме во дигитализаторот. Многу сигнали имаат потреба од подготовка пред да бидат дигитализирани. Голем број сензори побаруваат специјална технологија на кондиционирање, а ниеден инструмент ја нема таа способност да ги овозможи сите типови на кондиционирање за сите типови на сензори. На пример, термопаровите произведуваат многу мали напонски сигнали, кој бараат засилување, филтрирање и линеаризација. Други сензори, како што се мерните мостови, термисторите, RTD-ата и акцелометрите, бараат додатна енергија (најчесто е тоа електрична енергија) за да можат да работат, т.е. за да се изврши засилувањето и филтрирањето. Други сигнали бараат изолација за да го

заштитат системот од високи напони. Сите овие техники на подготвување на сигналите се форми на кондиционирање на сигналите. Ни еден инструмент неможе да ни ја пружи флексибилноста потребна за да се направат сите овие мерења.

Со помош на кондиционирањето на сигналите можеме да ги комбинираме потребните технологии за да ги донесеме различните типови на сигнали во еден единствен аквизиционен систем. Современите компјутерски базирани системи за мерење и автоматизација треба да овозможуваат програмабилни влезни параметри и цврста интеграција со соодветниот софтвер за да се справат со скалирањето и управувањето со каналите. Поради ова системот треба да ги овозможи сите потребни кондиционерски технологии, што е доказ за неговата точност. Бидејќи постојат широк круг на техники на кондиционирање, улогата и потребата за секоја од нив може да биде збунувачка. Заради тоа тука ќе бидат обработени најчестите типови на кондиционирање на сигнали, нивната функционалност и примери за тоа каде ни се потребни.

### 2.2.1 ОСНОВНИ ФУНКЦИИ НА КОНДИЦИОНИРАЊЕТО НА СИГНАЛИТЕ

Независно од типот на сензорите што се користат правилниот избор на опрема за кондиционирање на сигналите може да го подобри квалитетот и перформансите на самиот ситем. Кондиционирањето на сигналите е корисно за сите типови на сигнали [35].

- **Засилување**

Бидејќи сигналите во реалните апликации се многу мали по амплитуда, кондиционирањето на сигналите може да ја подобри точноста на податоците. Амплификаерите го зголемуваат нивото на влезниот сигнал за подобро софпаѓање со рангот од аналого-дигиталниот конвертор (*ADC*), и поради тоа ја подобруваат резулцијата и чувствителноста на мерењето. Многу *DAQ* уреди имаат *onboard* засилувачи токму поради овие причини, но, многу од сензорите, на пример како што се термопаровите, имаат потреба од додатно засилување.

Додатно, со користење на надворешни кондиционери на сигнали сместени близу до изворот на сигнал, или сензорот го подобруваме соодносот на сигналот кон шумот со зголемување на нивото на сигналот пред да биде под влијание на шумот од околината.

Типични сензори кој бараат засилување се термопаровите и мерните мостови.

- **Смалување**

Смалувањето е обратно од засилувањето. Тоа е потребно кога напонот што треба да се дигитализира е над влезниот опсег на дигитализаторот. Овој тип на кондиционирање на сигнали ја смалува амплитудата на влезниот сигнал така што кондиционираниот сигнал е во рангот на *ADC*. Смалувањето е неопходно кога мериме високи напони.

- **Филтрирање**

Додатно, кондиционерите на сигнали можат да содржат филтри за да го одбијат несаканиот шум во одреден опсег на фреквенции. Речиси сите *DAQ* апликации се подложени на некое ниво од 50-60 Hz шум здобиен од електричните кабли или машини. Поради ова најголем дел од кондиционерите вклучуваат нископропусни филтри дизајнирани специјално да обезбедат максимално одбивање на шумот од 50-60 Hz .

Друга вообичаена примена на филтрите е да го спречи алајсингот на сигналите- феномен кој се појавува кога сигналот е подсемплиран (семплиран премногу бавно). Никвистовата теорема вели дека кога семплираме аналоген сигнал, секоја компонента на сигналот на фреквенции поголеми од една половина од семплирачката фреквенција во семплирачките податоци се јавува како понизок фреквентен сигнал. Оваа дисторзија на сигнал можеме да ја избегнеме само со отстранување на било која компонента на сигналот над една половина од семплирачката фреквенција со нископропусни филтри пред самиот сигнал да биде семплиран.

Така на пример, мерењето со термопарови вообичаено бара нископропусни филтри за да го отстрани шумот од сигналот предизвикан од напојната линија. Мерењата на вибрации вообичаено побаруваат антиалајсинг филтри за да ги отстранат компонентите од сигналот кој се преку фреквентниот опсег на аквизициониот систем.

- **Изолација**

Неправилното заземјување на системот е еден од најчестите случаи на мерни порблеми, покрај шумот и оштетените мерни уреди. Кондиционирањето на сигналите со изолација може да ги спречи најголем дел од овие проблеми. Таквите уреди го пренесуваат сигналот од неговиот извор до мерниот уред без физичко поврзување со користење на трансформатор, оптички или капацитативни спојни техники. Освен што ги прекинува заземјувачките кола, изолацијата ги блокира високо-волтажните грпки и ги одбива високите напони и заради тоа ги штити и операторите и скапата мерна инструментација.

- **Мултиплексирање**

Дигитализаторот е најскапиот дел од аквизициониот ситем. Со мултиплексирањето е овозможено да го распоредиме бројот на сигнали во еден дигитализатор и со тоа да постигнеме ефективен и евтин начин да ја прошириме сумата на сигнали за нашиот систем. Мултиплексирањето е неопходно за апликации со многу канали.

- **Возбудување**

Многу сензори, како што се *RTD*, мерните мостови и акселометрите бараат некоја форма на енергија за да го извршат мерењето. Возбудувањето е технологија на кондиционирање на сигнали за да се доведе потребната енергија. Возбодувањето може да биде некој извор на струја или напон, зависно од типот на сензорот.

- **Линеаризација**



Некој типове на сензори произведуваат напонски сигнали кој не се линеарно поврзани за физичката големина која што ја мериме. Линеаризацијата, процесот на претставувањето на сигналот од сензорот како физичка мерна величина, може да се направи или со кондиционирање или софтверски. Термопаровите се класичен пример каде што е потребна линеаризација.

- **Симултано семплирање**

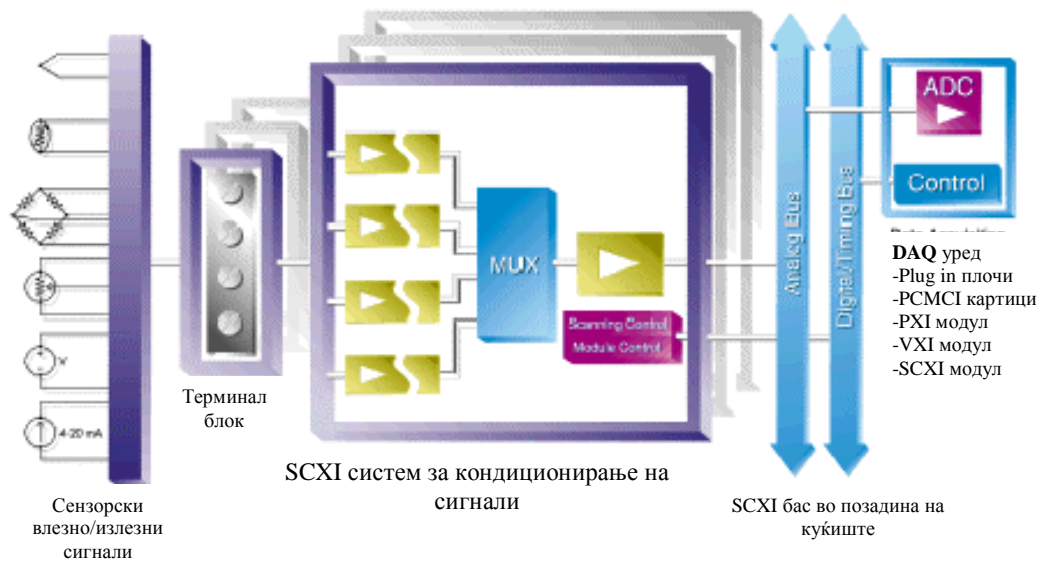
Кога е потребно да мериме два или повеќе сигнали во ист временски момент, потребно ни е симултано семплирање. Кондиционирањето може да ни овозможи многу по евтино симултано семплирање отколку да нарачуваме дигитализатор за секој канал. Типична апликација која ни бара симултано семплирање е мерењето на вибрации и истовремено мерење на фазното поместување.

Многу сензори бараат комбинирање на претходно дискутираните кондициски техники. Термопаровите се класичен пример за тоа бидејќи тие имаат потреба од засилување, линеаризација, филтрирање а понекогаш и изолација. Идеално, добра мерна платформа треба да овозможи избор на типот на кондиционирање на сигналот, потребен за соодветната апликација. Кај некој системи, кондиционирањето на сигналот е опција но кај други системи е неопходна потреба за да се извршат потребните мерења.

Како по некое правило, мерните системи треба да вклучуваат и кондиционирање на сигнали доколку се планира користење на било кој од следниве сензори: термопарови, *RTD*, термистори, мерни мостови, сензори за сила/напон/момент, акцелерометри, мешани ниско-високо напонски извори, струјни извори, извори на отпор.

Еден од најпознатите произведувачи на системи за кондиционирање на сигнали е *National Instruments*. Системот за кондиционирање е познат под името *SCXI (Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation)* прикажан на слика 2.23 [35]. *SCXI* е модерна модуларна платформа за кондиционирање на сигнали инсталирани на едно или повеќе куќишта. *SCXI* системот ни нуди широка палета на кондициони модули- со аналогни излези, со аналогни влезови, со дигитални влезови/излези, бројач/тајмер, прекинувачи и мултиплексери. Кон аналогните влезни модули, можеме да поврземе голем број на сензори, какви што се: термопаровите, *RTD*, термисторите, мерните мостови, акцелометрите, и др. Модулите ги кондиционираат влезните сигнали и ги мултипликсираат кон задниот bus од куќиштето, каде што тие се пренасочуваат кон уредот за аквизиција за да бидат дигитализирани.

*SCXI* архитектурата има многу предности како кондициско решение. *SCXI* ги инкорпорира сите критични технологии потребни за да се изгради еден високо-перформансен, целосно интегриран и лесен за користење систем за кондиционирање на сигнали. Тој е модуларен и заради тоа и лесен за проширување, па затоа е идеален за средно и високо канални апликации. Неговата модуларност ни овозможува да мериме мешани типови на сигнали во еден систем.



Слика 2.23: NI SCXI систем за кондиционирање на сигнали

## 2.2.2 ТИПОВИ НА СЕНЗОРИ КАЈ КОЈ ШТО ИМА ПОТРЕБА ОД КОНДИЦИОНИРАЊЕ НА СИГНАЛИТЕ

Сензорите се уреди кој конвентираат еден тип на физички феномен, како што се температура, сила, притисок во друг. Тие можат да бидат активни и пасивни. Пасивни се оние кај кој влезниот сигнал ја обезбедува енергијата и за излезниот сигнал. Активни сензори се оние кај кој што е потребно да донесеме посебен извор на енергија за да се изврши потребната конверзија на влезниот феномен [35].

Највообичаените сензори ги конвертираат физичките величини во електрични величини, какви што се напонот и отпорот. Карактеристиките на сензорите ја дефинираат потребата од кондиционирање на сигналите за дадениот мерен систем. Табелата 2.4 ги сумира потребите од кондиционирање и основните карактеристики на некои основни типови на сензори.

Сензор	Електрични карактеристики	Потреба од кондиционирање на сигналот
Термопар	Ниско напонски излез Мала чувствителност Нелинеарен излез	Референтен температурен сензор Високо засилување Линеаризација
RTD	Низок отпор (вообичаено 100 оми) Мала чувствителност Нелинеарен излез	Возбудна струја Четири жичена/три жичена конфигурација Линеаризација
Мерач на сила	Низок отпор Мала чувствителност Нелинеарен излез	Напонско или струјно возбудување Високо засилување Комплетирање со мост Линеаризација Калибрирање на отстапувањата
Струјно излезен уред	Струен излез (4-20mA вообичаено)	Отпорник за прецизирање
Термистор	Отпорнички уред Висока отпорност и чувствителност Многу не линеарен излез	Струјно возбудување или напонско возбудување со референтен отпорник Линеаризација
Активни мерачи на забрзување	Високо напонски или струен излез Линеарен излез	Извор на енергија Средно засилување
АС-Линеарно вариабилен Диференцијален Трансформатор (LVDT)	АС напонски излез	АС возбудување Демодулација Линеаризација

**Табела 2.4:** Електрични карактеристики и основни барања за кондиционирање на сигналот кај вообичаените сензори

## 2.3 ТЕРЕНСКА СТАНИЦА

Теренската инструментација сврзана со постројката или опремата што се надгледува и управува се поврзува со теренската станица за да овозможи манипулација со процесот на самата теренска страна. Теренската станица исто така се користи за прибирање на податоци од опремата и нивен пренос до централниот SCADA систем. Теренска станица може да биде или RTU (*remote terminal unit*) или пак PLC (*Programmable Logic Controller*). Исто така може да биде модуларна единица или едноплочена единица.

### 2.3.1 ТЕРЕНСКА ТЕРМИНАЛНА ЕДИНИЦА - RTU

RTU (*Remote Terminal Unit*) уредот претставува мала компјутеризирана единица која ја дава потребната интелигенција на терен и овозможува централната SCADA единица да комуницира со теренската инструментација [1]. Таа е самостојна единица за аквизиција и управување. Нејзината функција е да управува со опремата на процесот на терен, собира податоци од теренската опрема и да ги праќа назад до централниот SCADA систем [34].

Постојат два основни типови на RTU – единечно RTU, кое е компактно и ги содржи сите влезови и излези на една плоча, и модуларно RTU кое има одделен CPU модул, и може да има други модули додадени, вообичаено со втиснување на модулот на заеднички “*backplane*”, нешто слично како кај матичната плоча на домашните компјутери.

Единечното RTU нормално има фиксен број на влезови и излези, да речеме 16 дигитални влезови, 8 дигитални излези, 8 аналогни влезови и 4 аналогни излези. Нормално не е вообичаено нејзиниот капацитет да се проширува.

Модуларното RTU нормално е дизајнирано да биде проширено со додавање на додатни модули. Типично тоа можат да бидат 8 аналогни влезни модули и 8 дигитални излезни модули. Некои специјализирани модули какви што се GPS временските синхронизатори, можат да бидат додадени.

#### 2.3.1.1 ХАРДВЕРСКИ СОСТАВ НА RTU УРЕД

RTU претставува мал компјутеризиран уред со следниве хардверски уреди:

- CPU и RAM меморија
- ROM меморија за складирање на програми и податоци
- Комуникациски способности, овозможени преку сериски портови или со вградени модеми
- Сигурно напојување (со батериски “*backup*”)
- Watchdog тимер (за да се обезбеди рестарт на RTU доколку нешто откаже)
- Електрична заштита од електрични пречки
- Влезно/излезни приклучоци за Дигитални влезови, дигитални излези, аналогни влезови и аналогни излези
- Часовник за “*real time*”



Слика 2.24: Функционален распоред на хардверот во една RTU единица [34]

### 2.3.1.2 СОФТВЕРСКА ФУНКЦИОНАЛНОСТ ВО RTU

Од сите RTU уреди се бара да извршуваат одредена функционалност. Во многу уреди разни функционалности можат да имаат полиња на делување кои се пресекуваат и да не бидат издвоени како посебни модули, какви што овде ќе бидат наведени [34].

- Оперативен систем на реално време (*Real time operating system*). Тоа може да биде посебен оперативен систем, или пак може да биде код кој ќе отпочне да работи како еден кружен процес на скенирање на влезите и надгледување на комуникациските портови.
- Драјвер за комуникацискиот систем како линк до SCADA мастер станицата
- Драјвери за уредите на Влезно/Излезниот систем односно до теренските уреди
- SCADA апликација, пример скенирање на влезови, процесирање и складирање на податоци, одговарање на побарувањата од SCADA мастер станица преку комуникациската мрежа
- Некој метод за да им овозможи на корисничките апликации да бидат подесени во RTU уредот. Ова може да биде едноставно подесување на

параметри, вклучување или исклучување на одреден влез/излез или тоа може да претставува целосна програмабилна околина

- Дијагностицирање
- Некои *RTU* уреди можат да имаат и систем на фајлови со поддршка за вметнување на нови фајлови. Ова ги потпомага корисничките програми и конфигурациските фајлови.

### 2.3.1.3 ОСНОВИ НА РАБОТЕЊЕ НА *RTU* УРЕДОТ

*RTU* уредот ги скенира своите влезови со прилично голема брзина. Тој може да врши и мало процесирање како на пример: одредување на промена на состојба, време на појавување на промена, зачувување на податоци и нивна подготовка за повлекување од *SCADA* мастерот. Некои *RTU* уреди имаат способност да иницираат испраќање на податоци до *SCADA* мастерот, иако повообичаена е ситуацијата во која *SCADA* мастерот го врши побарувањето на податоците, т.е. *SCADA* мастерот врши повлекување на податоците. *RTU* уредот може да врши и процесирање на аларми. Кога *SCADA* мастерот ќе изврши побарување на податоци *RTU* уредот мора соодветно да одговори, тоа побарување може да биде многу едноставно, како на пример 'дај ми ги сите податоци' или пак тоа може да биде некоја многу комплицирана функција која треба се изврши.

Поголемите *RTU* уреди се способни да обработуваат илјадници влезови па дури и да контролираат помали '*sub RTU*' уреди. Тие се и поскапи. Процесирачката моќ на *RTU* уредот се движи во рангови од мали 8 битни процесори со минимална меморија па се до поголеми и посовршени *RTU* уреди способни за временско бележење на податоци со точност во милисекунди.

*RTU* уредите можеме да ги поделиме во следниве категории според големината:

- Мали самостојни системи кои имаат батерии што траат една година па и повеќе. Тие системи ги логираат податоците во *EPRM* или *FLASH ROM* и ги предаваат податоците со физички пристап до нивната меморија на операторот. Тоа се системи со еден процесор и со минимална меморија и не поднесуваат софистицирани комуникациски протоколи.
- Мали самостојни системи кои се вклучуваат периодично и ги снабдуваат сензорите со енергија, ги вршат потребните мерења и испраќаат извештаи. Вообичаено користат батерии на сончева енергија. Овие системи имаат многу подобри комуникациски способности и можат да бидат поврзани на сложени комуникациски мрежи
- Средни системи, составени од индустриски компјутери, вклучувајќи ги и персоналните компјутери
- Големи системи, со кои контролираат цели постројки па поради тоа се поврзани со високобрзински *LAN*. Такви системи се *DCS* системите.

Вообичаено *RTU* уредите се произведуваат како специјализирани уреди па поради тоа има мал недостаток од стандарди, особено во областа на комуникацијата па поради тоа не е препорачливо да се мешаат уреди од еден производител со уреди од друг производител. Честопати проблемот се решава со воведување на протокол конвертори и емулятори. Некои попознати

стандарди се: *DNPs* и *IEC870* за комуникација и *IEC1131-3* за програмирање на *RTU* уреди.

### 2.3.1.4 СПЕЦИФИКАЦИИ НА ЕДЕН *RTU* УРЕД

Карактеристики на еден *RTU* уред се [34]:

- Температурниот опсег се движи од -10 до 65 °C
- Релативната влажност од 0 до 95 %
- Заштита од прашина, вибрации, дожд, сол и магла
- Имунитет на електрични шумови
- Физичка големина
- Потрошувачка на енергија
- Влезно/Излезна способност и капацитет, точноста на аналогните влезови и излези и типовите на сигнали кај дигиталните В/И пример 0 до 5 V итн.
- Програмабилност и конфигурабилност
- Дијагностицирање, локално и далечинско
- Комуникациски способности вклучувајќи го радио, *PSTN*, подземна линија, микро бранови, сателит, X.25. Користењето на *PSTN* наведува на тоа дека *RTU* уредот ќе отчитува и складира податоци додека *RTU* уредот не е конектиран и дека *SCADA* мастерот може да се приклучи и да ги повлече податоците од базата со податоци
- Комуникациски протоколи, најчесто тоа се *DNP3*, *IEC870*, *MMS*.
- Можност за *peer to peer* комуникација вклучувајќи ги и зачувувањето и испраќањето на податоци доколку има отежнати комуникации
- Брзина на пренос на податоци
- Присутност на сериски портови за комуникација со *PLC*
- Компатибилност со *SCADA* мастер протоколот
- Доколку е потребно временско назначување на податоците, потребно е временското назначување да биде со точност од една милисекунда, а ова да се постигне е потребно да се има брз процесор и точен временски сигнал како што е сигналот од *GPS*
- Максимален број на адреси
- Јасна индикација на локалните аларми
- Запишување на сите грешки и далечински пристап до тие грешки
- Софтверско филтрирање на аналогните влезни канали

### 2.3.2 ПРОГРАМАБИЛНИ ЛОГИЧКИ КОНТРОЛЕРИ

Основната причина зошто се појавува *PLC* (компјутерски базиран елемент, наречен програмабилен логички контролер (*Programmable Logic Controller*)) во индустријата во 1960 год е високата цена на чинење на сложените управувачки системи кои што, во тоа време, во основа биле сочинети од релиња. Најчеста примена на релињата е за електромагнетни прекинувачи. Најчесто едно *DC* реле се користи за управување со *AC* елементи. Со воведување на *PLC* во индустријата во 1960 год. се појавува и потребата од изнаоѓање на начин како тие лесно и разбирливо да се програмираат. Програмирањето преку скалести дијаграми е едно соодветно решение. Ние сме приморани да создаваме вакви скалести дијаграми заради тоа што *PLC*-то не ги

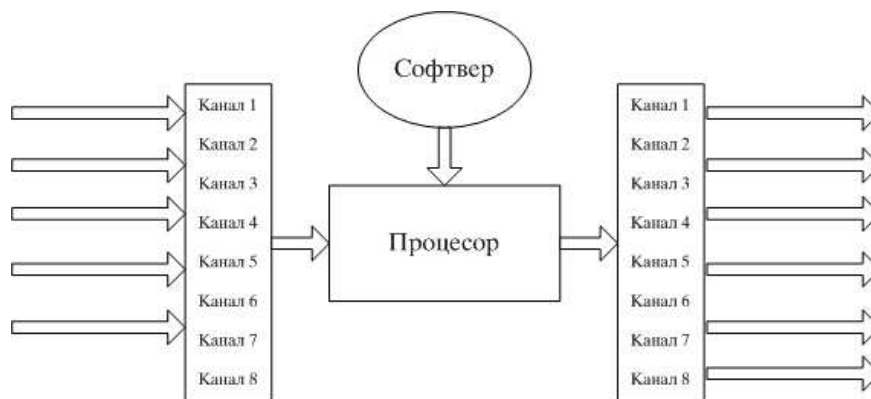
разбира класичните шематски дијаграми. *PLC*-то препознава само кодови. Најчесто секое *PLC* е опремено со софтвер кој што го претвара скалестиот дијаграм во код, така што ние сме поштедени од учењето на кодирањето на *PLC*-то.

Во денешно време, *PLC* уредите не се само едноставна замена за реле логиката туку тие се и најчест начин на спроведување на дискретното управување. Предностите на *PLC*-то пред логичките контролери со релиња се очигледни [38]:

- *PLC*-то употребува влезни и излезни променливи кои се од бинарна природа исто како што е и компјутерот
- Многу од управувачките релиња во скалестиот дијаграм можат да бидат заменети со софтвер, што од друга страна значи дека ќе имаме намалување на хардверските откажувања
- Многу е олеснето правењето на промени во програмираниот редослед на настани бидејќи имаме промени само во софтверот
- Специјалните функции, какви што се временското поместување на делувањето и броењето на импулси е многу лесно да се формираат софтверски итн.

Основни елементи на едно *PLC* се:

- Процесор
- Влезно/Излезни модули
- Софтвер



Слика 2.25: Структура на програмабилен логички контролер (*PLC*)

Процесорот е всушност компјутер кој што го извршува програмот за да се извршат операциите дефинирани во скалестиот дијаграм или со Булови равенки[38]. Процесорот врши аритметички и логички операции врз влезните променливи за да ја определи состојбата на излезните променливи. Процесорот, бидејќи е компјутер, може да изврши само една операција во времето. Процесорот, како и секој друг компјутер е сервиска машина па затоа тој мора



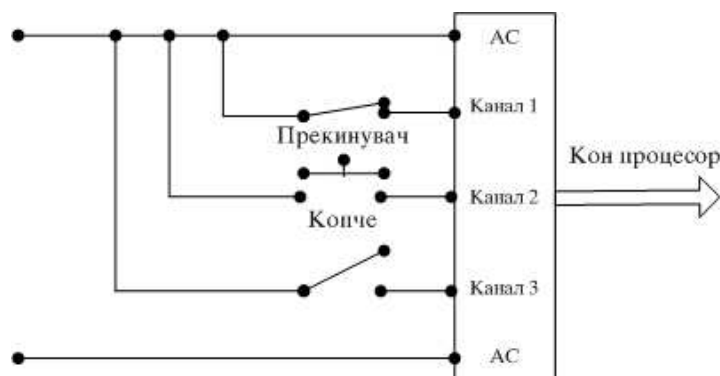
редно да го семплира секој влез, да го пресметува програмот на скалестиот дијаграм, да го создава секој од излезите и потоа го повторува целиот процес.

### 2.3.2.1 ВЛЕЗНИ МОДУЛИ

Влезните модули ги испитуваат состојбите на физичките прекинувачи и другите влезни елементи и ја заменуваат нивната состојба со форма која што му одговара на процесорот [38]:.

Влезните и излезните модули најчесто се напојуваат со (110V) 220V AC. Да претпоставиме дека прекинувачите се поврзани со PLC-то како што тоа е прикажано на следнава сл.2.26. Ако некој прекинувач е затворен тогаш влезот ќе биде 220 V а ако е некој отворен тогаш ќе биде 0V AC.

Задача на влезниот модул е да го претвори ова во облик 1 или 0, состојба која што е потребна за процесорот. Влезните модули имаат одреден број на канали. Секој канал е опремен со индикаторско светло за да покаже дали одреден влез е вклучен или исклучен.

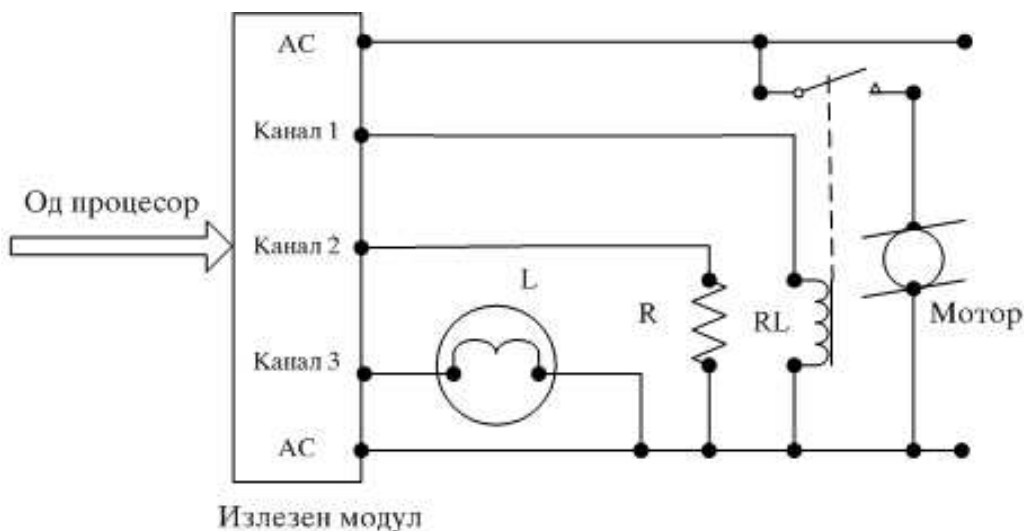


Слика 2.26: Типично поврзување на влезниот модул на PLC

### 2.3.2.2 ИЗЛЕЗНИ МОДУЛИ

Излезниот модул ги снабдува излезните елементи како што се моторите, светлата, соленоидите со AC моќ. Ако бараната моќ е поголема, можеме да користиме надворешно реле [38]:.

Излезниот модул за разлика од влезниот, ги прифаќа состојбите 1 и 0 од процесорот и ги користи за да ги вклучи или исклучи АС управуваните елементи. Слично како и влезниот модул и излезниот има одреден број на канали снабдени со индикаторски светла.



Слика 2.27: Типично поврзување на излезниот модул на PLC

### 2.3.2.3 PLC ОПЕРАЦИИ

Типична операција на едно PLC не е симултана и не е континуална за целиот скалест дијаграм. Операцијата на програмабилниот контролер можеме да ја разделиме на два мода, Влезно/Излезен (В/И) скенирачки мод и извршен мод [38]:.

#### - В/И Скенирачки мод

Низ В/И сканирачки мод, процесорот ги внесува (заменува) новите состојби на сите излези и ги внесува состојбите на сите влезови, еден по еден канал во текот на времето. Времето потребно за ова зависи од брзината на процесорот.

#### - Извршен мод

Низ овој мод процесорот ја пресметува секоја гранка од програмот во облик на скалест дијаграм, и тоа редно почнувајќи од првата гранка па се до последната. При пресметката на гранките, ја разгледуваме последната позната состојба на секој прекинувач и реле контакт во гранката и ако откриеме некоја ВИСТИНСКА (TRUE) патека до излезниот елемент тогаш излезот се енергезира.

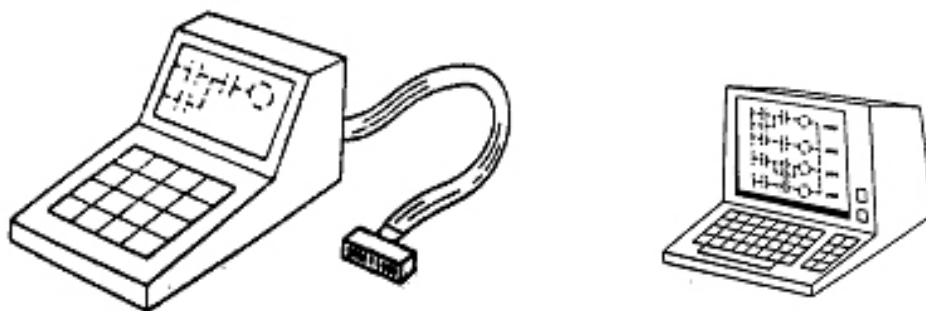
На крај од скалестиот дијаграм, В/И мод се внесува повторно и сите излезни елементи се снабдени со Вклучено или Исклучено состојби откриени од извршувањето на програмот на скалестиот дијаграм. Сите влезови се семплирани па извршниот мод почнува од почеток.

#### - Време на скенирање

Важна карактеристика на програмабилниот контролер е тоа колку време е потребно за комплетен круг од В/И скенирање и извршување. Типично време потребно за скенирање и извршување е 20 милисекунди.

### 2.3.2.4 ЕДИНИЦА ЗА ПРОГРАМИРАЊЕ

Програмирачката единица е надворешен електронски пакет кој се поврзува за програмабилниот контролер кога треба да го програмираме [38]:. Единицата вообичаено дозволува внесување на програмот во вид на симболи за скалестиот дијаграм. Единицата го пренесува програмот во меморијата на програмабилниот контролер. Два вообичаени типови се прикажани на сликата 2.28 а) и б). Единицата на слика 2.28 а) прикажува само една гранка од скалестиот дијаграм во моментот. Корисникот може да внесе програм, да врши дијагностички тестови, да го води програмот низ програмабилниот контролер и да овозможи промена на инсталираниот програм. Инсталираниот програм е сместен во привремена меморија и може да биде изгубен без батериска поткрепа. Кога програмот ќе биде готов за конечна инсталација на *PLC* тој може да биде непроменливо сместен во *ROM* меморија.



Слика 2.28: а) Преносна програмирачка единица за *PLC*  
б) Терминална програмирачка единица за *PLC*

Друг тип на програмирачка единица е дадена на сликата 2.28 б) и на неа во исто време на екранот можеме да ги видиме сите гранки на скалестиот дијаграм. Програмот се сместува во привремена меморија.

Кај овие единици секогаш постои можноста да го изгубиме програмот поради недостиг или пад на енергија. Затоа е препорачливо програмот да го сместиме на трајна меморија.

### 2.3.2.5 RAM/ROM

Привремената меморија која ја користиме додека вршиме тестирања и пресметки се нарекува *RAM*. Програмот сместен во *RAM* меморијата лесно можеме да го модифицираме. Ова ни е потребно бидејќи по извршените тестирања и пресметки врз него честопати потребно е да се извршат некакви корекции.

Кога програмот ќе го доведеме до неговата крајна верзија, потребно е да го сместиме на некоја постојана непроменлива-меморија *ROM*. Откако програмот ќе го сместиме на *ROM* тој е подготвен да го внесеме во програмабилниот контролер. Програмабилниот контролер по внесувањето на програмата станува подготвен за индустриска употреба.

### 2.3.2.6 ПРОГРАМИРАЊЕ

Програмабилниот контролер може да биде програмиран директно во симболи на скалест дијаграм преку програмирачката единица. Програмабилниот контролер нема вистински релиња или пак реле контакти. Единствени вистински елементи се оние кои се дел од процесот кој го контролираме, а тоа се, гранични прекинувачи, мотори, соленоиди итн. Ние користиме симболи и за релињата и за контактите и покрај тоа што тие се софтверски симболи.

### 2.3.2.7 АДРЕСИРАЊЕ

При конструирањето на скалестиот дијаграм секој прекинувач, излезен елемент ги одредуваме со одредена ознака. На пример, *CRI* се однесува на управувачкото реле (*Control Relay*) 1, и контактите за тоа реле се означени со истата ознака. Останатите ознаки се *LSI* за граничен прекинувач (*Limit Switch*), *MI* за реле на мотор (*Motor Relay*) итн.

Програмабилниот контролер користи сличен начин за да ги идентифицира елементите, но тоа е адреса на елементот или каналот [38]. Адресите се користат за да ги идентифицираме физичките и софтверските елементи во однос на следниве категории:

1. Физички влезни елементи- вклучени или исклучени
2. Физички излезни елементи- вклучени (енергизирани) или исклучени (де-енергизирани)
3. Програмирани управувачки релиња , намотки и контакти
4. Програмирани временски релиња, намотки и контакти
5. Програмирани бројачи и контакти

Адресното означување зависи од типот на програмабилниот контролер. За покажувачки цели ние ќе ја направиме следнава дефиниција на адреси:

Функција

| Адреси

Влезни канали	00 до 07
Излезни канали	08 до 15
Внатрешни релиња	16 до 31
Тајмери (мерачи на време)	32 до 39

### 2.3.2.8 ИНТЕРПРЕТАЦИЈА НА ПРОГРАМИРАН ДИЈАГРАМ

Има голема разлика помеѓу интерпретацијата на физичкиот скалест дијаграм и програмираниот скалест дијаграм. Разликата произлегува од фактот дека програмираниот дијаграм се базира на логичка интерпретација на симболот а не на физичката состојба [38].

Во гранката на програмираниот дијаграм, дали ќе биде вклучен или исклучен излезот се одредува со тестирање на елементите на гранката за *TRUE* или *FALSE* состојба. Ако постои целосна *TRUE* патека се до излезот, излезот ќе биде *TRUE* односно *ON*.

Во физичкиот дијаграм, симболот за *NO* контакт покажува нормално отворен контакт низ кој струјата неможе да тече освен ако контактот не го затвориме. Ако на пример тоа е притисно копче некој мора да ги затвори контактите со притискање на копчето. Ако се тоа контакти на некое реле, тогаш релето мора да биде енергизирано.

За нормално затворени контакти, идеата е во тоа што струјата ќе тече се додека контактите не се отворат. Ако е тоа притисно копче, некој мора да ги отвори контактите и да ја прекине струјата со притискање на копчето. Ако се тоа контакти од некое реле, тогаш релето мора да биде енергизирано за да ги отвори контактите и да ја прекине струјата која поминува низ контактите.

Во програмираниот дијаграм, симболот за нормално отворен контакт кажува дека елементот треба да биде интерпретиран како *FALSE* ако контактот го тестираме и го најдеме отворен, и *TRUE* ако го најдеме затворен. Ова испитување го нарекуваме “испитување *ON*” и овде важи- ако е *ON* тогаш е *TRUE*. Тоа е многу слично како и во физичкиот дијаграм.

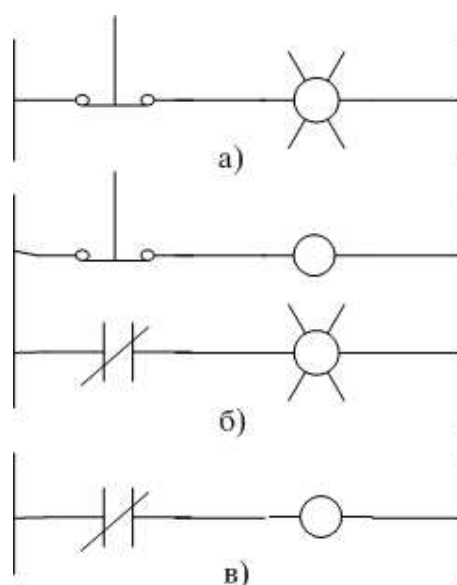
Нека го разгледаме програмираниот *NC* симбол. Ако направиме тест и го најдеме затворен, тогаш тој е *FALSE*, и ако го тестираме и пронајдеме отворен тогаш тој е *ON*. Ова не е како кај физичкиот *NC* симбол. Ова испитување го нарекуваме “испитување *OFF*” и овде важи- ако е *OFF* тогаш е *TRUE*.

Сликата 2.29 го илустрира овој концепт. Да претпоставиме дека имаме физичко *NC* притисно копче како прекинувач и дека сакаме со притискање на копчето да запалиме црвено светло. Најпрво да ја разгледаме физичката интерпретација. Сликата 2.29 а) покажува дека неможеме само едноставно да го поврземе светлото за прекинувачот. Во ваков случај, кога прекинувачот ќе го притиснеме светлото ќе се изгаси.

Сликата 2.29 б) покажува физичко решение на проблемот со помош на управувачко реле, *CRI*. *CRI* е нормално енергизирано и неговите контакти се

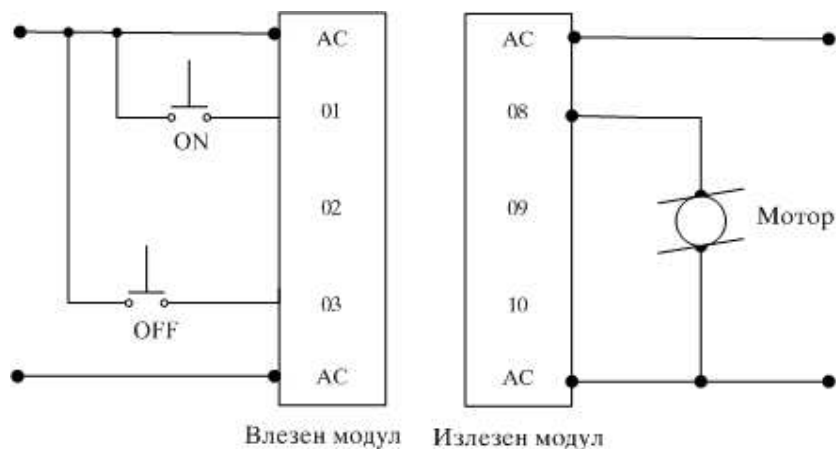
отворени па светлото ќе биде изгасено (*OFF*). Кога ќе го притиснеме копчето, *CRI* ќе биде де-енергизирано, затвора и црвеното светло светнува [38]:

Во програмираниот систем нам не ни треба физичко или пак програмирано реле за да го направиме ова. Сликата 2.29 в) покажува дека нам ни е потребно да имаме само симбол “испитување *OFF*” поврзан директно за светлото. Значи, ако прекинувачот не е притиснат, проверката на симболот покажува дека тој е затворен, затоа тој логички се интерпретира дека е *FALSE* и светлото не е енергизирано од програмот. Кога копчето е притиснато прекинувачот е проверен како да е отворен и затоа ќе имаме логичко *TRUE* и светлото ќе биде запалено.



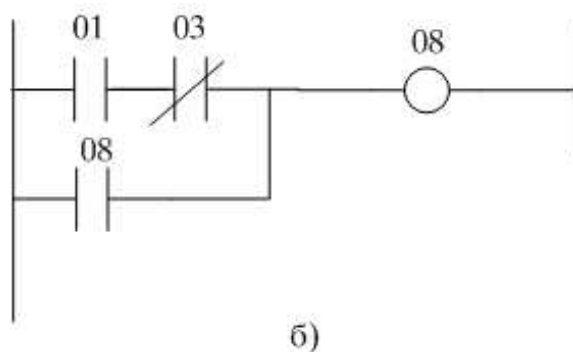
Слика 2.29: Користење на *NC* за палење на сијалица со: а) логика со релиња б) со *PLC*

Да предпоставиме дека сакаме да примениме запалка за палење и гасење на мотор со помош на два *NO* притисни копчиња како прекинувачи. Сликата 2.30 а) покажува како прекинувачите и моторот се физички поврзани за влезните и излезните канали на *PLC*-то.



Слика 2.30: а) Дијаграм на поврзување на старт/стоп систем за мотор

Кај програмираниот скалест дијаграм ние сакаме моторот да се запали ако *PB1* е притиснато. Ова ќе предизвика висока состојба кај каналот 01. Заради ова ние треба да спроведеме испитување *ON* за состојбата на овој елемент од гранката. Ние сакаме моторот да биде вклучен се додека влезниот канал 03 не е снабден со енергија (тоа значи *PB2* не е притиснато). Затоа на овој канал треба да спроведеме *OFF* испитување (Дали е *OFF*(исклучено)?). Ако е да, тогаш каналот е *TRUE*). Значи скалестиот дијаграм на сл. 2.30 б. ќе биде бараното решение.



Слика 2.30: б) Скалест дијаграм на старт/стоп систем за мотор

### 2.3.2.9 БРОЈАЧИ

Бројач е едноставен инструмент кој што е наменет само за една работа-броење. И покрај тоа, во зависност од производителот, постојат повеќе видови на бројачи.

Бројачите можат да бројат нагоре - нагорни бројачи (кога бројат 1, 2, 3, ...) можат да бројат надолу - надолни бројачи (кога бројат ..., 3, 2, 1) или можат да бројат нагоре - надолу (кога бројат 1, 2, 3, 4, 3, 2, 1, 2, ..) наречени нагоре/надолу бројачи. Многу од произведувачите имаат само еден или најмногу два од типовите бројачи но тие можат да бидат искористени за броење нагоре или надолу.

Бројачите можат да бидат хардверски или софтверски. Високо - брзинските бројачи се вообичаено хардверски додека обичните (нормалните) бројачи се софтверски. Софтверските бројачи физички не постојат во *PLC*-то туку тие се симулирани во софтверот. Хардверските постојат во *PLC*-то па тие се независни од времето на скенирање. По правило секогаш се користат софтверски бројачи освен ако пулсовите за броење не надоаѓаат побрзо од  $2x$  од времето на скенирање. ( на пр. ако времето на скенирање е  $2\text{ ms}$  а пулсовите надоаѓаат секои  $3\text{ ms}$  тогаш треба да користиме хардверски бројачи.

За да ги користиме нив мора да знаеме 3 работи:

1. Од каде доаѓаат пулсовите кои што сакаме да ги броиме (вообичаено доаѓаат од некој влез).
2. Колку пулса треба да изброиме пред да реагираме.
3. Кога и како ќе го ресетираме бројачот за да почне со броењето од почеток

Вообичаено, во бројачот е потребно да имаме два влеза , едниот ја има адресата на влезот од кој што доаѓаат пулсовите за броење а другиот ја има адресата на сигналот за ресетирање.

Ознаката на бројачот е во два дела. Со едниот дел го означуваме името на бројачот (т.е. неговата адреса), а со вториот дел означуваме колку пулса сакаме да изброиме пред да реагираме.

### 2.3.2.10 ТАЈМЕРИ

Тајмерот е точно она што и самиот збор за него кажува, тој е инструкција која што чека одредено време пред да направи нешто. Постојат неколку типа на тајмери:

1. Вклучно-одложувачки тајмери кои што чекаат одредена сума на време пред да вклучат нешто. Ова се највообичаениот тип на тајмери.
2. Исклучно-одложувачки. Овој тајмер едноставно го одложува исклучувањето. Доколку имаме потреба одреден елемент од системот да биде исклучен по определено време по претстанокот на одреден сигнал тогаш го користиме овој тајмер.

Типот на тајмерите во голема мера, како и бројачите, зависи од произведувачите. Затоа овде се опишани само основните типови.

За да ги користиме тајмерите претходно мора да знаеме:



Со што ќе го вклучиме тајмерот. Вообичаено тоа е некој од влезовите. Колкаво одложување сакаме да имаме пред да реагираме.

Кога инструкциите пред тајмерот се *TRUE*, тајмерот отпочнува со отчукувањето. Кога времето ќе измине тајмерот автоматски ќе си ги затвори контактите. Големината на тактот во голема мера зависи од произведувачот на тајмерот но вообичаено се среќаваат тајмери со 10 и 100 *ms* зголемувања.

Вообичаено имаат само еден влез со адреса на влезот чиј што сигнал треба да го одложиме. Слично како и бројачите и тајмерите имаат ознака со која што го означуваат со едниот дел името на тајмерот а со другиот времето до реакција.

## 2.4 РАЗЛИКА ПОМЕЃУ *RTU* И *PLC*

*PLC* претставува мал индустриски компјутер чија што намена на почетокот била да ја замени реле логиката. Содржи влезови и излези како што имаат и *RTU* уредите. Снабдени се со програм кој извршува циклус, скенирајќи ги влезовите и превзема акција врз база на тие влезови. Оригинално, *PLC* уредите немале комуникациски способности но тие отпочнале да се користат во околини во кои комуникацијата била посакувана особина. Така се развиле комуникациски модули за *PLC* уреди, кои подржуваат *Ethernet* и *MODBUS* комуникациски протоколи, па така комуникацијата е област во која овие уреди значајно напредуваат. За разлика од *RTU* уредите, *PLC* уредите имаат многу подобри програмабилни способности, но затоа пак *RTU* уредите оригинално имаат подобри комуникациски способности во отежнати околини. Како што одминува времето, се повеќе особините на *RTU* уредите се поклопуваат со оние на *PLC* уредите па може да се каже дека надоаѓа време во кое границите помеѓу *RTU* уредите и *PLC* уредите ќе исчезнат [34].

Значи за *RTU* уредот може да се каже дека претставува крут компјутер со многу добри радио способности добар за користење во ситуации каде комуникациите се отежнати. Една негативност на *RTU* уредот е неговата слаба програмабилност. Како и да е модерните *RTU* уреди имаат подобрена програмабилност компатибилна со онаа на *PLC* уредите.

За *PLC* уредите може да се каже дека претставуваат мали индустриски компјутери вообичаено употребувани во фабриките. Нивната главна улога била да ја заменат реле логиката применета на некој процес или постројка. Денеска се почесто се користат во *SCADA* системите поради нивната добра програмабилност. Во почетокот тие немале сериски комуникациски портови за да се поврзат со радио опремата за пренос на податоци но во денешно време *PLC* уредите имаат завидни комуникациски способности и широка поддршка на популарните радио единици кои се користат во големите *SCADA* системи [33].

## 2.5 КОМУНИКАЦИСКА МРЕЖА

### 2.5.1 ВОВЕД

Денешните мрежни решенија, специјализирани за управување со процеси, се состојат од интелегентни уреди кои се во можност не само да испраќаат податоци туку и да испраќаат информации за нивниот статус и здравствена состојба. Мрежа составена од вакви интелегентни уреди може да ги има следниве бенефиции – се редуцираат инсталациските трошоци, побрза мрежна комуникација и намалени трошоци за одржување. Со ваквите мрежи крајните корисници можат лесно да извршат статистички анализи на процесите поради зголемениот број на вредни информации кои се враќаат од теренот.

Едни од најчесто употребуваните мрежни решенија се *Ethernet*, *Foundation Fieldbus*, *PROFIBUS*, *DeviceNet*, *Controller area network*, *Serial (RS-232/422/485)* [39].

Мрежата се состои од неколку нивоа.

- *Првото ниво* е физичко ниво на поврзување. Тука постојат различни типови на мрежни решенија кои можеме да ги користиме: изнајмени линии, радио пренос, етернет, фиброоптички, сериско врзување, кружна дознака (*token ring*) итн.
- *Второто ниво* е ниво на мрежен протокол, т.е. јазик кој ќе го користат уредите за размена на податоците. Специјализираните уреди можат да користат некои протоколи кои се во општа употреба како на пример протоколот *TCP/IP*, *NetBeui* итн., или пак производителите на уредите за управување со процеси имаат стандардизирано свои протоколи. Честопати можеме да видиме како групи на произведувачи формираат и развиваат еден протокол со цел нивните уреди да бидат компатибилни. Специјализирани протоколи за управување со процеси, создадени од групи производители и стандардизирани од страна на некои држави - главни производители на уреди за автоматско управување се: *Foundation Fieldbus*, *PROFIBUS*, *DeviceNet*, *Controler Area Network (CAN)*, *Modbus* итн.
- *Трето ниво* е ниво на *OPC (OLE for process control)*. Ова ниво служи за интегрирање на сите собрани информации во една корпорација по начинот на *OPC*. Собраните информации на овој начин можат да бидат споделувани, или пак можеме да ги ставиме на интернет со што операторите и инженерите можат да го управуваат и контролираат процесот од далечина (било каде од светот). *OPC* функционира како софтверски интеграционен алат со кој се собираат сите овие работи на едно место. *DCS*, *SCADA*, *HMI* и други апликациски софтвери, како што е *NI Lookout SCADA* софтверот, можат да се однесуваат како *OPC* клиенти и сервери и на тој начин да постигнат промена на податоци во реално време помеѓу различни апликации.

## 2.5.2 ПРВО НИВО, НИВО НА ФИЗИЧКО ПОВРЗУВАЊЕ

### 2.5.2.1 ЕТЕРНЕТ

На почетокот *Етернетот* била замислена како внатрешно-канцелариска информациска технологија. Како што индустриските мрежи стануваат се попопуларни, Етернетот станува се повеќе вметнат во мрежите за високобрзинска комуникација помеѓу работните *PC* станици и индустриската мрежа.

*Со помош на Етернетот се гради LAN (Local Area Network).*

Етернетот користи чувствителен на носачот, повеќекратно пристапен, откривач на судири ("*Carrier Sense, Multiple Access, Collision Detect*") дата линк протокол. Секоја точка од Етернет мрежата ја слуша трансмисијата и проверува дали пакетот е наменет за неа. Точката која се совпаѓа со адресата на пакетот е онаа која одговара. Доколку се открие судир, точката го паузира преносот и се обидува повторно после одредено време [39].

Важно е да напоменеме дека Етернетот претставува физичко ниво на поврзување а не протокол. Типичен мрежен протокол ги извршува следниве функции: ги дефинира адресите на компјутерите и уредите за да тие можат да се идентификуваат помеѓу себе на мрежата, одредува како податоците ќе бидат пренесувани, ги обработува податоците кога ќе стигнат на крајната дестинација. Многу индустриски мрежни протоколи спроведуваат и додатни функции како што се: приоритизација на пораките, временска синхронизација, детерминистичен одговор во реално време, редунација, зголемена поузданост и податочен интегритет. Етернетот, кој е де факто стандард, надоврзан со стандардните индустриски протоколи какви што се *TCP/IP*, *Foundation fieldbus*, *PROFIBUS* и *OPC* ги прави мрежните решенија на база на Етернет многу атрактивни и евтини за поврзување и соработка помеѓу фабриката автоматизација, управувањето со процесите и бизнис апликациите.

Друг тип на физичко поврзување претставува *RS-485 магистралата*. Ова е најупотребуваната мрежа во фабричките хали за индустриски апликации. *RS-485* бара пар на упредени жици до сите приклучени корисници. Ова е полудуплекс магистрала која подржува до 32 модула поврзани на неа, и е наменета за работа за растојанија до 1.2 километри. Голема предност на овие две мрежи (етернет *LAN*, *RS-485* магистрала) е нивната потполна независност но тие се претежно наменети за мали растојанија.

Користењето на кабли за меѓусебно поврзување е најчесто во фабрички хали. Каблирањето не е практично кога се во прашање големи географски раздалечености поради високата цена на каблите, облогите и зголемената работна рака при нивното инсталирање. Тука спаѓаат: приватните кабелски мрежи, изнајмените кабелски мрежи и фиброоптичките кабли. Кабелските и радио комуникациските линии се континуални додека постојат и *dial* конекции.

Комуникациската мрежа ја опфаќа и комуникациската опрема потребна за пренос на податоци до и од различни положби. Доколку не е возможно да се изведе директно кабелско поврзување помеѓу уредите тогаш се користат разни дополнителни уреди дизајнирани за пренос на податоци а тоа се: телефонски модеми, радио уреди и кабелски преносници.

*PLC (RTU)* уредите ги конвертираат влезните аналогни, пулсирачки и статусни информации во бинарен протокол, *CAN*, *MODBUS*, итн. Овие битови

на бинарниот протокол треба да бидат претворени во тонови пред да бидат пренесени преку телефон или радио. Сите телефонски и радио кола се во основа гласовни кола, оригинално дизајнирани да пренесуваат човечки глас. Тие не пренесуваат пулсирања многу добро.

### 2.5.2.2 PSTN МРЕЖИ

PSTN (Personal System Telecommunication Network) телефонската мрежа се употребува за пренос на податоци преку *dial-up* модеми инсталирани на секоја страна која е поврзана во комуникацискиот систем. Ова решение може да се спроведе само ако постои кабелска инфраструктура и ако системот е непрактично да работи во *on-line* мод. *PSTN* е прифатливо решение за периодичен мониторинг и детекција на аларми. Како негови карактеристики можат да се наведат: секоја трансмисија на податоци бара да се воспостави телефонска врска, глобалната мрежа дава екстензивна доверливост, брзината на пренос е од 14,4 *kb/s* до 56 *kb/s*, употребата на постоечката инфраструктура имплицира ниска почетна цена, цената на чинење е пропорционална на времетраењето на воспоставената врска. За да се воспостави врска е потребен модем.

Модемите ги преведуваат тие дигитални битови или пулсови во фреквентно поместени тонови. Тоновите се модулираат со дигитални информации. Поради тоа модемот е модулатор (*modulator*). Од друга страна, модемот ги декодира примените фреквентно поместени тонови во дигитални пулсирања. Поради ова модемот е исто така и демодулатор (*demodulator*). Поради тоа тој го добил името модем (*modem*). Двожичаните модеми кои се произведуваат масовно за потребите на компјутерската технологија не се користат често кај *RTU (PLC)* уредите, тука се повеќе застапени супер поузданите четирижичани *Bell-202* модеми, кои немаат комплексни крајни протоколи. Некои *PLC (RTU)* уреди имаат вградени модеми но кај мастер станицата мора да постои самостоен модем. Користењето на телефонски линии е вообичаено поевтино решение кога се работи за големи растојанија.

Изнајмени линии се користат во системите кои побаруваат онлајн конекција со теренските станици. При изнајмените линии станиците комуницираат помеѓу себе преку модеми но без бирање. Ова е добро решение за системи кои бараат брз одзив на далечинската станица. Изнајмените линии можат да бидат скапо решение бидејќи една линија е потребна за една станица. Карактеристично е: системот е цело време *on-line* и нема потреба од воспоставување на конекција, голема достапност, голема пропустност и употреба на брзи модеми (пример *DSL*), зголемени експлоатациони трошоци.

Линии со повремено свонење можат да се користат кај системи кај кои е потребно повремено абдејтирање на податоците. Во ваков случај можат да се користат обичните телефонски линии. Централната станица може да зазвони на бројот на теренската единица за да ги добие отчитувањата и да испрати команди.

Свонењето има предност во малите иницијални трошоци. Мобилната телефонија исто така може да биде искористена, а нејзината предност е во тоа што без проблем покрива големи географски површини. При користењето на телефоните незгодно е тоа што теренската единица постојано мора да биде контактирана со свонење што е многу непрактично.

### 2.5.2.3 БЕЗЖИЧЕН LAN – WLAN

WLAN е начин на конфигурирање на LAN со употреба на радио канал. Примарно е наменет за компјутерски мрежи. Тој го употребува IEEE 802.11 протоколот и обезбедува 64 kb/s до 11 Mbit/s на проток кој е премногу за далечинско управување. Комуникацијата се обавува во таканаречениот ISM (Industrial, scientific, medicine) радио опсег (900 Hz, 2.4 MHz, 5.7 MHz) кои се слободни за комуникација. Сеуште, максималната моќност на зрачење е ограничена на 100 mW во Европа со што е ограничен опсегот на примена – 10 km со усмерена антена. Вообичаено работното растојание е во опсег од неколку стотици метри.

#### Радио модеми

Користењето на радио модемите за поврзување со теренските единици е најекономичното решение. Кај радио системите постојаната конекција е возможна. За локации каде директен радио линк неможе да се воспостави, се поставува радио репитер за да се поврзат страните. Радио комуникациите се слични на кабелските комуникации. Единствена разлика е во тоа што радио трансмитерот на секоја страна треба да се вклучи кога единицата емитува и исклучи за да прима. Сите PC модеми и теренски уреди го обавуваат ова автоматизирано. Во некои случаи радио комуникацијата може да биде единствено решение. При користење на радио уредите треба да знаеме кои фреквенции ни се на располагање, па така во Америка, на пример, постојат четири главни фреквенции кои можат да бидат искористени. Две од нив (150 и 450 MHz) се лиценцирани, додека другите две (920 MHz и 2.4 GHz) се за општа употреба но тоа истовремено значи дека ќе ги користат истовремено сите што имаат некакви радио уреди. Изнајмените фреквенции истовремено се и поквалитетни па така тие можат да се користат и при растојанија до 100 km, без репитери т.е. доколку двете страни се наоѓаат на видното поле. Во Македонија се на располагање две фреквенции: 12,5 или 25 kHz широки бранови. Доколку помеѓу двете страни има одредени опструктори, пример некој рид, во тој случај ни се потребни репитери на врвот на тој рид.

### 2.5.2.4 ИНТЕРНЕТ

Во последните години Интернетот ги сврзува оддалечените интегрирани системи во еден систем. Интернет поврзувањето е направено со користење на т.н. TCP/IP опрема. Придобивките од интернет поврзувањето се очигледни: најпопуларната глобална мрежа обезбедува широкоприменлива телеметрија и управување на далечина од еден главен компјутер кој може да биде било кој PC, може да се набљудуваат податоците во оддалечената локација од било кој пребарувач, но тука се и недостатоците кои најчесто се однесуваат на отежнатата сигурност на системите поврзани на глобалната комуникациска мрежа Интернет.

### 2.5.3 ВТОРО НИВО, НИВО НА ПРОТОКОЛИ (СПЕЦИЈАЛИЗИРАНИ) КОИ ГО ДЕФИНИРААТ И ПРВОТО НИВО Т.Е. ФИЗИЧКОТО ПОВРЗУВАЊЕ

Протокол едноставно претставува јазик со кој теренските единици (*RTU*, *PLC*), компјутерите и другите уреди го користат за да комуницираат помеѓу нив. Многу од нив се за интерна употреба на самите производители на уредите и имаат за цел да ве ограничат на производите од производителот. Може да се каже дека првиот протокол бил Морсеовиот код, серија од точки и црти. Тој патувал преку челични жици, а успева да достигне и до бродовите преку радиа и светилки. Морсеовит код е бит протокол, тежок за отчитување.

Секој сет од битови треба да се интерпретира засебно. Битовите протоколи сеуште се во употреба, особено во големите и комплексни *SCADA* системи за дистрибуција на електрична енергија. *PLC* протоколите честопати се бит ориентирани бидејќи тие се дизајнирани да отчитуваат и командуваат еден специфичен сет влезови или излези. Така на пример, вклучи го соленоидот број 214 е типична *PLC* команда. Овие битовни протоколи се тешки за луѓето и компјутерите. Два протокола сега доминираат во светот. Првиот е чистиот говорен јазик на луѓето, Англиски, Македонски итн. Дури и *RTU* уредите можат да го користат овој чист говорен протокол. Вториот доминантен протокол е *ASCII* (*American Standard Code for Information Interchange*). Тој е прифатен од целиот свет. Виртуелно, сите компјутери, принтери и модеми комуницираат со *ASCII*. Тој е одличен *RTU* протокол и лесно се генерира и отчитува од компјутерите.

*Fieldbus* претставува генеричко име за дигиталните комуникациски протоколи за индустриски мерења и управувачки апликации. Некои од нив се: *Modbus*, *Foundation Fieldbus*, *CAN*, *Profibus*, *DirectNet*, итн. Со воведување на *TCP/IP* стандардот во уредите за управување станува интересно да се имплементира *fieldbus* протоколот во *TCP/IP*. Концептот е да се пакуваат податоците во постоечкиот *fieldbus* формат и понатаму да се транспортира тој пакет во *TCP/IP*. Така во моментот постојат *MODBUS/TCP*, *Ethernet/TCP* и *Profibus* на Етернет.

#### 2.5.3.1 Foundation FIELDBUS

*Foundation fieldbus* е дизајниран специјално за примена во управување со процеси. *Fieldbus* фондацијата е составена од повеќе од 140 компании кои се светски лидери во автоматизација на системи, уреди и сервиси.

*Foundation fieldbus* користи две физички нивоа, *H1* (31.25 kb/s) или високобрзински етернет (*high speed Ethernet- HSE*, со брзини од 10 или 100 Mb/s), надополнети со еден ист *Fieldbus* протокол [40]. Разликата помеѓу овие два типа е во тоа што *H1* користи *bus/tree* топологија, потребно е напојување на басот, може да има од 2 до 32 уреди а должината на кабелот може да изнесува до 1900 метри, додека *HSE* користи топологија ѕвезда, не е потребно напојување на басот, нема ограничувања околу бројот на уредите а најголемата должина на кабелот може да биде 100 метри. За разлика од другите стандардни протоколи *fieldbus* протоколот има едно дополнително ниво а тоа е корисничкото ниво. Ова ниво го сочинуваат три типа на блокови:

- Ресурсни блокови – ги опишуваат карактеристиките на уредот како што се името, производителот и серискиот број,
- Функциски блокови – спроведуваат управување и го контролираат однесувањето на влезовите и излезите од уредот,
- Трансдјусерски блокови – ги раздвојуваат функциските блокови од функциите потребни да читаат/запишуваат локалните влезови/излези.

*Foundation fieldbus* комуницира со уредите преку сет од функциски блокови. Како основни функциски блокови се сметаат: аналоген влез *AI*, аналоген излез *AO*, дискретен излез *DO*, дискретен влез *DI*, пропорционален/диференцијален *PD*, пропорционален/интегрален/диференцијален *PID*, итн. кои што се дефинирани од фондацијата, но некои функциски блокови ги дефинираат и самите производители. Апликации можат да бидат создадени за *fieldbus* со конектирање на влезови и излези од функциски блокови. Втората важна одлика на фондациониот *fieldbus* е можноста за опишување на уредите. Во описот на уредите спаѓа опис на функциите кои се на располагање во уредот. Со користење на описот на уредите, мастер станицата може да ги добие потребните информации за да го создаде интерфејсот за интеракција со уредот, да ги конфигурира параметрите, да изврши калибрирање, дијагностика и други функции.

### 2.5.3.2 PROFIBUS

*PROFIBUS* е водечки *fieldbus* систем во Европа а се користи и насекаде низ светот во производната, процесната и градежната автоматизација. *PROFIBUS* е составен од повеќе од 640 компании кои се светски лидери во автоматизација на системи, уреди и сервиси.

*PROFIBUS* е стандардизирана од германскиот *DIN 19245* и европскиот филдбас стандард *EN 50170*. *PROFIBUS* е дизајниран да исполни низа апликациски побарувања како што се:

- високобрзинско, временски критично пренесување на податоци помеѓу контролерите и влезно/излезните уреди
- комплексна комуникација помеѓу програмабилните контролери

*PROFIBUS* фамилијата се состои од три компатибилни верзии – *DP*, *FMS* и *PA*. *PROFIBUS – DP* на пример, е дизајнирана за високобрзинско, евтино комуницирање помеѓу индустриските контролери и теренските влезно/излезни уреди. На мрежа создадена на база на *PROFIBUS – DP*, централните контролери како што се *PLC* уредите или *PC* компјутерите комуницираат со теренските уреди какви што се вентилите, моторите, влезно/излезни уреди итн. – преку високобрзински сериски линк. Значи, *RS-485* и фиброоптичко физичко поврзување се користат кај *PROFIBUS – DP*. Доколку се користи *RS – 485* тогаш брзината може да изнесува од 9.6 *kb/s* до 12 *Mb/s*, можат да се приклучат 32 уреди на еден сегмент без репетитери и 127 со репетитери, а должината може да достигне и до 10 *km*.

### 2.5.3.3 MODBUS

*MODBUS* Протокол е спресијализиран *PLC* протокол. *MODBUS* како и другите *PLC* протоколи е протокол “од точка до точка”, дизајниран да чита и запишува на индивидуални влезови и излези во *PLC* уредите вообичаено во фабричките хали. Системите “од точка до точка” не се дизајнирани за користење во мулти поинт апликации. Апликацијата на ваков протокол во системи со многубројни аналогни и дигитални влезови и излези резултира во преголемо влечење (*polling*) и чекање на одговори. Честопати во пракса нарачателите на *SCADA* системите се ограничени на *MODBUS* протоколи кои во нивните постројки се поставени како стандард. Поради ова се појавуваат разни модификации на овие протоколи кои се прилагодуваат да користат *ASCII* стандард како нивна основа.

### 2.5.3.4 CAP

*CAP* (*Compressed ASCII Protocol*) е широко употребуван *RTU* протокол дизајниран за *SCADA* master – *RTU* комуникации.

Специјални *RTU* протоколи се прилагодуваат за брза и поефикасна *RTU* комуникација во *SCADA* системите. *RTU* протоколите воглавно се прават на база на *ASCII*. Тие се разликуваат од протоколите “од точка до точка” (најчесто користени кај *PLC* уредите) во тоа што сите информации од *RTU* уредот вклучувајќи го и полето за конфигурација на влезовите/излезите, се доставени во еден блок како одговор на едно побарување. Овие блокови се приспособени за комуникација преку радио или кабелски врски. За *CAP* протоколот може да се каже дека е еден од најдобрите *RTU* протоколи, создаден од големите петрохемиски, електрични и компаниите за водени ресурси. Тој се користи насекаде низ светот. Модерните софтверски пакети како што е *LOOKOUT* имаат одлични, тествани драјвери за *CAP* протоколот. *MODBUS* протоколот станува стандард за комуникација помеѓу *PLC* уредите поради неговата широка употреба насекаде во светот. Секој производител се труди да наметне свој одреден протокол. Барањата од протоколите кои се користат кај *PLC* уредите и *RTU* уредите се разликуваат во низа аспекти: *PLC* уредите најчесто се користат во *SCADA* за фабричките хали и во други локално управувани системи, имаат потреба од брз пристап за читање и промена на единечни индивидуални точки, додека, од *RTU* уредите за *SCADA* системите има потреба од брз пристап до сите нивни информации за брза промена на информациите на централната станица.

### 2.6.4 ТРЕТО НИВО, НИВО НА OPC – SCADA СОФТВЕР

Трето ниво е ниво на *OPC* (*OLE for process control*). Ова ниво служи за интегрирање на сите собрани информации во една корпорација (целина) по начинот на *OPC*, со што *SCADA* системот го добива своето правилно значење на еден целокупен систем на управување - од фабричките хали до бизнис канцелариите.

*OPC* дефинира сет од стандардни *COM* приклучоци со што се дефинираат стандардни објекти, методи и своини како и *DCOM* со што се овозможува *OPC* уредите да користат објекти на други мрежни компјутери. Со



помош на овие стандарди *SCADA* софтверот може да разменува податоци во реално време со *OPC* серверите. *OPC* спецификациите исто така дефинираат и стандарден механизам за *OPC* клиентските апликации да можат да ги пребаруваат *OPC* серверите за бараните податоци. *SCADA* системите ги користат овие спецификации на *OPC* во своите софтверски решенија со кои се овозможува размена на податоци во реално време помеѓу *SCADA* серверите и клиентите. *OPC* исто така овозможува лесно поврзување помеѓу софтверски и хардверски компоненти од различни производители на автоматски компоненти. Производните компании лесно можат да ги интегрираат тие компоненти во еден автоматизиран и бизнис систем. Интеграциските трошоци исто така се намалуваат поради тоа што сите софтверски и хардверски компоненти се поврзуваат со еден индустриски стандард. *OPC* серверите го заменуваат приватниот драјверски софтвер на влезно/излезните уреди. *OPC* клиентските апликации, *SCADA* софтверот, можат да комуницираат и разменуваат податоци со било кој *OPC* сервер.

Собраните информации на овој начин можат да бидат споделувани, или пак можеме да ги ставиме на интернет со што операторите и инженерите можат да го управуваат и контролираат процесот од далечина (било каде од светот). *OPC* функционира како софтверски интеграционен алат со кој се собираат сите овие работи на едно место. *SCADA* софтвери, како што е *NI Lookout SCADA* софтверот, можат да се однесуваат како *OPC* клиенти и сервери, и на тој начин да постигнат промена на податоци во реално време помеѓу различни апликации кои се копактибилни.

## 2.6 ЦЕНТРАЛНА МОНИТОРИНГ СТАНИЦА

Централната мониторинг станица (*CMS – Central Monitoring Station*), е мастер единица на еден *SCADA* систем. Таа е надлежна за собирање на информации од теренските станици и за превземање на потребни акции врз основа на детектираните настани. *CMS* станицата може да биде само една компјутерска станица или пак може да биде поврзана за работни станици со мрежа за да се овозможи поделба на информациите од *SCADA* системот.

На *CMS* станицата е инсталиран *Man-Machine Interface (MMI)* програм. Графички приказ, со објекти кои ја менуваат состојбата на целата постројка, односно процес, може да биде прикажан на мониторот за полесна идентификација на елементите од реалниот систем. Секоја влезно-излезна точка на теренските единици може да биде прикажана со графички приказ кој кореспондира со отчитувањата од влезот-излезот т.е. со неговата моментална состојба. Така на пример отчитувањата на протокот можат да бидат прикажани со слика на протокомер, резервоар може да биде прикажан со слика на резервоар полн со течност во зависност од моменталното ниво итн.

Сите параметри кои имаат гранични вредности, активирачки вредности итн. можат да бидат внесени во овој програм и испратени до соодветната теренска единица за изменување на нивните работни параметри. Овој *SCADA* програм може да има и посебен прозорец за аларми, на кој ќе се прикажуваат името на алармот, опис, вредност, активирачка вредност, време, дата и други важни информации. Сите аларми можат да бидат зачувани на посебен документ за подоцнежнo разгледување. Разни графици и извештаи можат да бидат креирани и искористени за подоцнежни потреби. Пристапот на овој програм може да биде со различни нивоа за различни корисници, т.е. за корисниците се

креираат лозинки со привилегии за пристап за различни корисници. Сите акции на корисниците се зачувуваат на посебен документ за подоцнежен преглед.

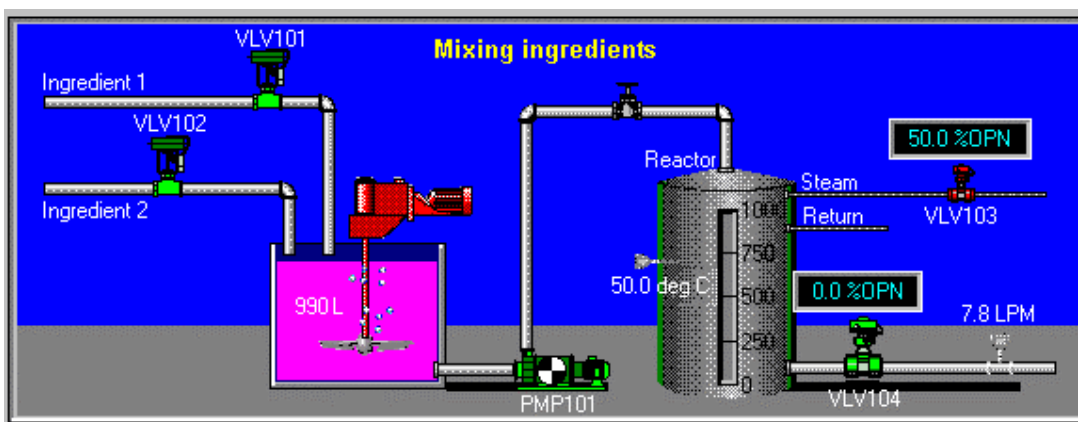
Објектно ориентираните софтвери (*Object Oriented Software - OOS*) овозможуваат низа предности пред останатите *SCADA* софтвери. Заради тоа нивната употреба во денешно време е значително зголемена воглавно поради следниве причини:

- *OOS* ни овозможуваат брзо и лесно креирање на контролни панели со голема сложеност со едноставно “*drag and drop*”. Контролните панели се состојат од прекинувачи, копчиња, бар графови, дигитални покажувачи, тренд графици и други компоненти кои ние можеме да ги користиме за визуелно надгледување и управување со сите наши влезови во *SCADA* системот. Панелите можат да бидат на целиот екран, минимизирани или било која друга величина. Тие можат да бидат “*pop-up*” и да се појавуваат кога ќе се појави некој настан, како на пример кога ќе се притисне некое копче или кога некој аларм ќе се активира. Нема граница на бројот на панелите ниту пак на објектите што можат да бидат прикажани на секој од панелите.

Можат да се користат стандардни слики од библиотеките на софтверот или пак може да создадеме наши сопствени и да ги вметнеме. На пример можеме да си нацртаме наши прекинувачи и да ги користиме место стандардните кои ни се нудат. Можеме да користиме и вистински слики од нашата постројка. Некои објекти не се видливи на панелот туку само служат за формирање на управувачките функции.

Контролните панели претставуваат прозорци во нашиот *SCADA* систем. Ние ги користиме нив за да управуваме со опремата со преклопување на прекинувачи, притискање на копчиња и вртење на потенциометри. На одредени управувања можеме да им назначиме нивоа на сигурност, како и на цели управувачки панели. Истиот објект можеме да го претставиме повеќе пати, без разлика дали е тоа на истиот управувачки панел или пак на некој друг. Така на пример кога ќе завртиме некој потенциометар на еден управувачки панел, сите копии на тој потенциометар се завртуваат истовремено на сите останати управувачки панели.

Одличен *SCADA* софтверски пакет кој ги има сите предности на објектно ориентиран софтвер е *Lookout*, од *National Instruments* [12].



Слика 2.31: Апликација изработена во *NI Lookout* [12]

- *OOS* објекти лесно се креираат и поврзуваат. Така на пример, постојат потенциометарски и прекинувачки класи на објекти од кои ние можеме да креираме било кој број на потенциометри и прекинувачи, само со користење на тие две класи на објекти. *Lookout* софтверскиот пакет, на пример, има голема библиотека со различни класи на објекти. Креирањето на објект е релативно лесно. Најпрвин се одбира саканата класа на објект од листата на постоечки класи на објекти. Со ова го дефинираме типот на објектот кој ние го сакаме. Потоа на тој објект му се доделува уникатно име и се дефинираат неговите параметри. Различните објекти можеме лесно да ги поврзуваме, дозволувајќи сигналите да преминуваат помеѓу нив, на ист начин како што се поврзуваат временското реле со стартното реле на некој мотор. Ова може да се направи со едноставно меѓусебно поврзување на членовите на базата на податоци, или пак со поврзување на базата на податоци со параметри. Така на пример, ние можеме да направиме некој нумерички член на базата на податоци или пак некој потенциометар извор на граничен параметар на некој аларм објект. Кога го подесуваме потенциометарот, граничниот лимит на алармниот објект се менува исто така. Како што креираме и поврзуваме објекти, ние формираме мрежа, или систем кој содржи многу објекти. Сите тие се поврзани и ја оформуваат нашата управувачка стратегија. Патот на сигналите на нашиот систем извира од сензорите на теренските единици и завршува во визуелните индикатори и бази на податоци на управувачките панели од софтверскиот пакет. Вака проектираниот систем може да донесува многу сложени одлуки, со или без интеракција со операторот, испрограмирани во *SCADA* софтверот.

- *OOS* е целосно воден од настани и се разликува од циклично водените софтвери. Постарите циклично водени *SCADA* софтвери го извршуваат кодот секвентно од врвот кон доле, тогаш го отпочнуваат кругот од почеток т.е. назад од врвот за да го извршат истиот код од почеток. Поради ова овие програми се нарекуваат програми со “бесконечен круг”. Дадениот код може да се изврши милиони пати пред да се забелжи промена на променливата која се набљудува. Ова ја троши компјутерската моќ и ги успорува одговорите на често појавуваните настани.

Колку повеќе задачи додаваме во еден циклус, толку поспор станува одсивот на тие настани. Исто така колку повеќе имиња додаваме во централната база на податоци, брзината и вкупните перформанси опаѓаат. Цикличната логика мора да скенира голема база за да ги прочита нејзините вредности. Колку што е поголема базата на податоци, толку подолго му треба на кругот за да ги открие податоците што му требаат и да одлучи што да прави.

Како спротивност на овие стари, гломазни, тешки за конфигурирање и скапи за одржување *SCADA* софтвери, *OOS* се целосно водени од настани. Секој објект останува во состојба на мирување, неправедно ништо се додека не се појави некој настан.

*Настан* претставува промена на вредноста на некој податок. Кога ќе се промени влезниот сигнал, објектот се активира и ја обработува вредноста според она што е програмиран да го прави. Објектот испраќа сигнали кон надвор само доколку резултатот од ова процесирање предизвика промена. На овој начин сигналот патува низ *OOS* софтверот, создавајќи верижна реакција која ги вклучува само објектите во синцирот. Ова се нарекува активно обавестување. Пасивна нотификација, која се користи во постарите софтвери,

побарува константни бесконечни циклични проверки на промени во голема база на податоци.

Додавањето објекти во *OOS* системите, побарува помали барања од процесорското време споредено со додавањето на наслови во базата на податоци во традиционалните циклично водени системи. Бидејќи *OOS* системите се целосно водени од настани, редоследот по кој ги создаваме објектите и меѓусебно ги поврзуваме не влијае врз тоа како работи управувањето и супервизијата со системот. Нема потреба за долги и комплексни графикони за да се решат програмските конфликти. На крај резултатот е во тоа што времето за додавање на објекти во *OOS* програмите е многу помало отколку конфигурирањето на старите циклични програми.

- *OOS* комуницира лесно со теренските единици, преку *SQL* или *DDE* податочни бази и преку *WEB*. Голем број на софтверски пакети (на пример *LOOKOUT*) имаат посебни драјвери за одредени произведувачи на теренски единици (*PLC*, *RTU*) иако теренските единици на познатите произведувачи користат стандардни *CAN* и *MODBUS* протоколи. Сите *OOS* објекти треба да имаат околина на делување и начин како да пристапат до системските ресурси како што се сериски портови, хард дискови, мултимедиални функции и други. На пример повеќе *RTU* објекти можат да користат еден комуникациски порт на нашиот компјутер. *Lookout* има специјална сервисна функција со која се овозможува сите објекти да добијат пристап до комуникацискиот порт по одреден редослед. Со својот *Serial Port Communication Service (SPCS)* врши арбитража на користењето на серискиот порт помеѓу различни *RTU*, *PLC*, *HART* протоколни сензори и други уреди. Тој овозможува еден сериски порт да комуницира преку радио и преку кабел, со различни драјвери за секој уред, со различни брзини, дата битови и паритети. Со постарите, циклични водени системи, потребно е да се назначи еден одреден драјвер на еден специфичен сериски порт. Во тие системи, повеќе драјвери не можат да делат еден ист сериски порт. Најголем број од системите со бази на податоци сега користат *SQL (Structural Query Language)* за размена на податоци. Најлесен начин за да се префрлат податоци од компјутер на кој е инсталиран *LOOKOUT* на друг компјутер е да се направи *Lookout* да складира *SCADA* базни податоци во *Excel* формат, или пак во *Access* податочна табела. Стандардните *Windows SQL* изрази испраќаат и примаат податоци назад и напред. *DDE (Dynamic Data Exchange)* често се користи за поврзување на живи податоци од еден *Windows* софтверски пакет (како што е *Lookout*) до некој друг *Windows* софтверски пакет. По воспоставување на *DDE* линк, секоја промена на вредноста на некој податок во изворниот пакет автоматски и веднаш ги обновува поврзаните вредности во вториот софтверски пакет.

- *SCADA* системите со *OOS* софтверските пакети се многу евтини решенија.

Цената на чинење на *SCADA* системите секојдневно опаѓа поради фактот дека компјутерската технологија брзо напредува и нуди евтини решенија. Така на пример еден мал систем со околу 50 влезно/излезни точки чини \$750 за *Lookout* софтверот. Десет *LMR RTU* уреди, секој со вграден модем и пет влезови/излези е помалку од \$600 секој. Кабелски или радио модем за *Windows* компјутер е околу \$300. Па така еден *OOS SCADA* систем со 10 *RTU* уреди и со 50 влезови/излези, кој работи преку постоечки кабли или радио, ќе чини околу

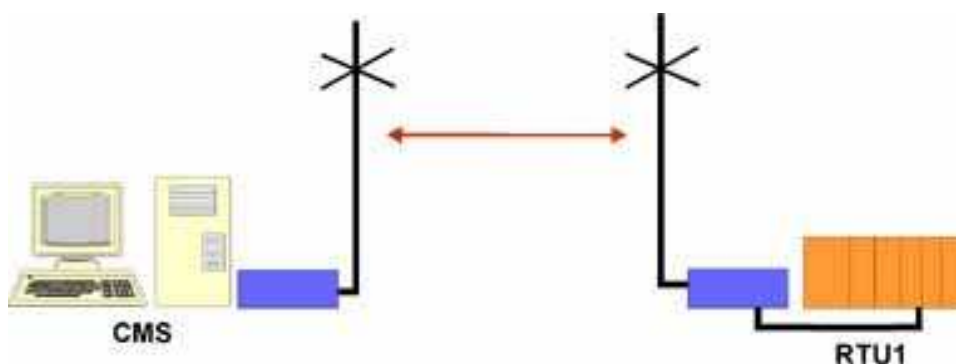
7000 долари. На ваквиот систем можеме лесно да го испрограмираме, да му додадеме вистински фотографии од процесот, да му додадеме автоматско печатење на аларми и репорти, и на тој начин да добиеме современ систем за дигитално управување кој има многу повеќе функции од стариот а чини 10 пати помалку.

## 2.7 ТИПИЧНИ SCADA КОНФИГУРАЦИИ

Постојат две типични мрежни конфигурации на SCADA системи. Тоа се следниве конфигурации: од точка до точка и од точка до повеќе точки [1][33].

### 2.7.1 КОНФИГУРАЦИЈА ОД ТОЧКА ДО ТОЧКА

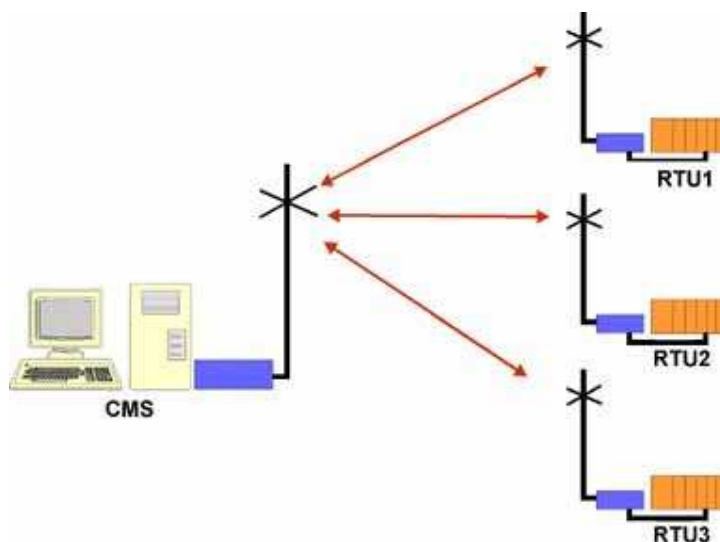
Конфигурацијата од точка до точка е наједноставниот систем за пренос на податоци. Овде податоците се разменуваат помеѓу две станици. Едната станица е сетирана како мастер а втората како потчинет. Како пример може да се посочи подесеноста на две RTU уреди: едниот за резервоар а другиот за водна пумпа сместени на различна локација. Кога резервоарот ќе се испразни, теренската единица која е сместена кај резервоарот ќе испрати команда ПРАЗНО до втората теренска единица. Кога ќе биде примена оваа команда, RTU уредот, сместен крај водната пумпа, ќе отпочне со пумпање на вода за резервоарот. Кога ќе се наполни резервоарот, теренската единица на резервоарот ќе испрати друга команда – ПОЛНО до теренската единица на пумпата за да ја стопира нејзината работа.



Слика 2.32: Конфигурација од точка до точка

### 2.7.2 КОНФИГУРАЦИЈА ОД ТОЧКА ДО ПОВЕЌЕ ТОЧКИ

Конфигурација од точка до повеќе точки имаме во случаи каде еден уред е дизајниран како мастер единица за повеќе потчинети единици. Мастер станицата е вообичаено главниот компјутер кој е сместен во контролна соба, додека потчинетите компјутери претставуваат теренски единици (RTU, PLC) сместени на различни локации на постројката. На секој потчинет теренски уред му е доделена единствена адреса или идентификационен број.



Слика 2.33: Конфигурација од точка до повеќе точки

### 2.7.3 КОМУНИКАЦИСКИ МОДОВИ

Постојат два мода на комуникација, систем на влечење и систем на упаѓање [1][33].

#### - Систем на влечење

Во системот на влечење или систем Мастер/Потчинет, мастерот ја има целосната контрола над комуникациите. Мастер единицата врши редовно влечење на податоци (праќа и прима податоци) од секоја потчинета единица по одреден редослед. Потчинетата единица одговара на мастер единицата само кога ќе добие барање. Ова е наречено полу-двојна метода. Секоја потчинета единица има своја единствена адреса за да овозможи точна идентификација. Доколку потчинетата единица не одговори на барањето во одреден временски период, мастер единицата го повторува барањето неколку пати а потоа продолжува да влече од следната потчинета единица.

Предности:

- Процесот на собирање податоци е многу едноставен
- Можноста за појава на колизија (судиири) во мрежата е отстранета
- Врска со дефект лесно се открива

Негативности:

- Времето на чекање се зголемува со бројот на потчинети единици
- Сите комуникации помеѓу потчинетите единици мора да поминат преку мастер единицата со што се јавува извесно усложнување

### - Систем на упаѓање

Системот на упаѓање е исто така познат како систем *Report by Exception (RBE)* или извештај по исклучок. Во ваквиот систем потчинетите единици ги надгледуваат своите влезови. Кога тие ќе откријат големи промени или кога тие ќе ја надминат границата, потчинетата единица иницира комуникација со мастер единицата и отпочнува трансфер на податоци. Системот е дизајниран да детектира грешки и да го обнови процесот за да се справи со сударите (*collisions*). Пред било која единица да почне со пренос на податоци мора најпрво да провери дали било која друга единица пренесува. Ова може да биде направено со најпрво чувствување на носачот на преносниот медиум. Доколку некоја друга единица пренесува, потребна е некоја форма на временско одложување пред единицата да се обиде повторно. Многубројните судири резултираат во нестабилен систем и можност за паѓање на системот. За да се справи со ова, доколку и после неколку обиди потчинетата единица сеуште не успеала да ја пренесе својата порака до мастерот, единицата чека од мастерот тој да изврши повлекување.

#### Предности:

- Се намалуваат непотребните преноси на податоци како што е тоа во случај на влечење на податоци
- Брза детекција на итни информации
- Дозволена е комуникацијата потчинет до потчинет

#### Негативности:

- Мастер единицата може да открие прекината врска после некој временски период а тоа е кога системот ќе биде анкетиран.
- Потребна акција од страна на операторот доколку е потребно да го знаеме последниот статус и вредности на информациите
- Може да се појави голем судир на податоци и да предизвика одложување на комуникацијата

## 2.8 ОДРЕДУВАЊЕ НА ПРОЦЕСИТЕ И РЕДОСЛЕД НА ДЕЈСТВИЈА ЗА УСПЕШНО ИМПЛЕМЕНТИРАЊЕ НА ДИСКРЕТНО УПРАВУВАЊЕ СО SCADA СИСТЕМ

Процесот е одреден преку два дела. Првиот дел ги содржи *целите на процесот* а вториот природата на *хардверот* кој ќе се употреби за постигање на целите [38].

### - Цели на процесот

Општа (целосна) цел на процесот е дефинирана како краен резултат на постројката. Оваа цел потоа ја разбиваме на индивидуални, независни секундарни цели на кои всушност се применува управувањето.

Како пр. ќе го земеме правењето на колачи во некоја индустриска постројка. Во постројката влегуваат сурови матријали, се обработуваат на одреден начин и на крај излегуваат од нејзе како готови производи-колачи подготвени за

продажба. Крајната цел може да ја поделиме на неколку секундарни цели како што се: припрема на тестото, печење и на крај пакување. Дискретен управувачки систем ќе биде применет на секој независен дел од општата цел.

#### - Хардвер

За да бидат остварени целите на процесот потребен е соодветен хардвер. Хардверот кој ќе биде применет е цврсто зависен од природата на индустријата. За оној кој ќе треба да го развие (конструира) управувањето со процесот од суштинско значење е да ја разбере природата на хардверот и неговите карактеристики. Општо, постојат само две базични категории:

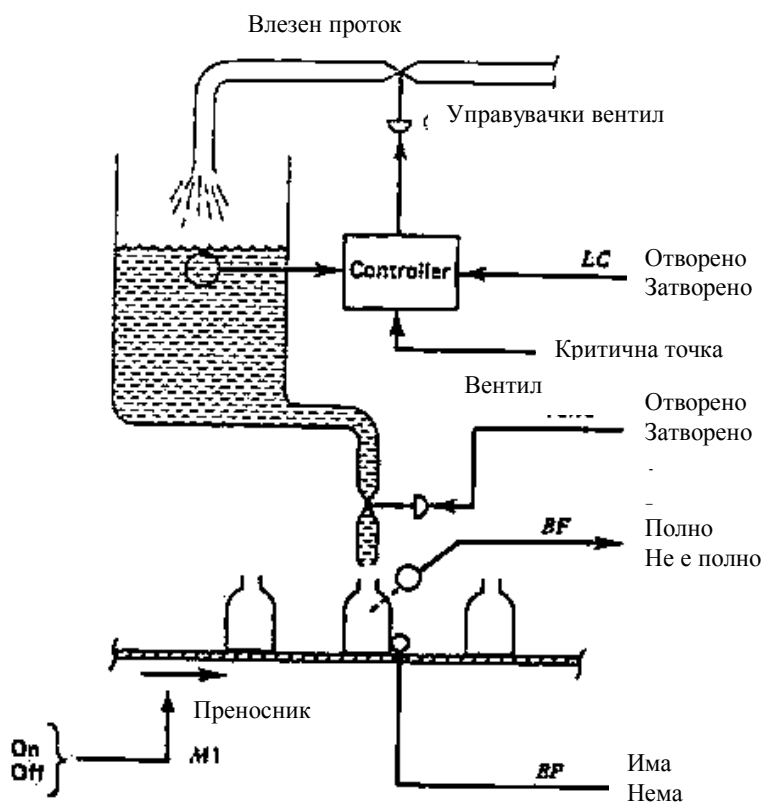
1. Влезни елементи на контролниот систем. Функцијата на овие елементи е идентична со функцијата на мерните елементи на континуалниот систем. Во случај на дискретно управување влезот може да има само две состојби, како на пример граничните прекинувачи: отворени или затворени, компаратори: високо или ниско, копчиња: притиснати или непритиснати.
2. Излезни елементи, кои ги прифаќаат командите од системот за управување. Во дискретното управување излезните елементи прифаќаат само дво-состојбни команди како што се светло: вклучено или исклучено, мотор: врти или неврти итн.

#### 2.8.1 ОПИС НА РЕДНИТЕ ДЕЈСТВА

Откако за еден процес ќе ги дефинираме целите и хардверот ни преостанува уште да опишеме како овој хардвер ќе биде насочен за да ги исполни целите. Редица од дејствија што ќе го води системот низ операциите за да се постигнат запишаните цели мора да биде опишана.

Одредувањето на редните дејствија започнува со краток опис на дејствата што мора да се појават за да се постигне целта. Во еден систем типично можат да постојат: почетна фаза (*start up*) и работна фаза (*running*).





Слика 2.34: Комбинирано управување со ниво

За да биде појасно, опис на редните дејствија ќе направиме на примерот со полначот на шишиња (сл. 2.34). Шишињата во овој пример се движат по преносник. Цел во овој пример е да ги наполниме шишињата кои редно, едно по едно доаѓаат по преносникот. Под претпоставка дека кога ќе биде зададена команда да биде стопиран командниот систем, влезниот вентил е доведен до затворена позиција. Тогаш редоследот би бил:

1. Почетна фаза (предполнење на резервоарот)
  - A. Преносникот стопиран, излезниот вентил затворен
  - B. Стартување на системот за контрола на нивото
    1. Делување одредено време за да се достигне критичната (потребната точка)

- 2. Алтернативно - Додавање на сензор за да системот познае кога критичната точка е постигната
  - C. Кога нивото ќе биде постигнато, запрети го управувањето со нивото
  - D. Оди на работната фаза
2. Работна фаза
- A. Старт на преносникот на шишиња
  - B. Кога шишето е на својата позиција
    - 1. Стоп за преносникот
    - 2. Отвори го излезниот вентил
    - 3. Вклучи го системот за управување со нивото за да го задржиме нивото константно за време на полнењето на шишето
  - C. Кога шишето ќе биде полно:
    - 1. Затвори го излезниот вентил
    - 2. Стопирај го управувањето со нивото
  - D. Оди на чекорот (2. A) и повтори

Ако добро приметиме, хардвер беше додаден на системот во моментот на конструкција на редоследот на дејствија.

Втор начин на претставување на редоследот на дејствија е со симболички график.

## 2.9 БЕНЕФИЦИИ ОД ПРИМЕНА НА SCADA СИСТЕМИ

Бенефициите од примената на SCADA системите најпросто можат да се објаснат при автоматизација на пумпни постројки. SCADA систем може да врши набљудување на резервоарите и да управува со пумпите 24 часа на ден, седум дена во неделата вклучувајќи ги и празниците. Една од клучните стандардни бенефиции кај овие системи е можноста за заштеда на електрична енергија со избегнување на трошење во вршните периоди од денот. Оваа програма за заштеда на електричната енергија обезбедува поевтино пумпање.

Мануелното работење со пумпите е нималку ефикасно како што е тоа SCADA системот, кога станува збор за автоматизација. Честопати операторот со пумпите како и одредено возило мора да бидат на располагање деноноќно за да го надгледуваат и управуваат системот. Како спротивност, SCADA системот без проблем може да врши континуирано надгледување на системот и да врши брзо управување со пумпите додека мануелно тоа би одзело многу повеќе време. Понекогаш оваа разлика во време може да биде доволно голема за да предизвика разлика во времето на резервоарот. Автоматизација може да се изврши и со серија на тајмери, ниво сонди и други електро-механички или електро-хидраулички уреди. Предност на ваквата автоматизираност над целосен SCADA систем е помалата цена на чинење. Доколку се работи за едноставен систем за автоматизација тогаш ова може да биде погодно решение, но кога се работи за комплексни системи додавањето на електричната опрема ја зголемува комплексноста на каблирањето, опремата и одржувањето стануваат поскапи.

Ваквите системи лесно можат да бидат претворени во SCADA системи. SCADA системите ќе внесат поголема интелигенција во системот и ќе овозможат повеќе опции. Управувањето со системот ќе стане централизирано, и

сите значајни контроли со пумпите ќе можат да бидат направени и изменети на едно место.

Автоматизацијата која се постигнува со воведување на SCADA систем е клучната придобивка од SCADA системите. Со нивно воведување многу брзо ќе можат да се пресметаат и матријалните придобивки како што се заштеда на електрична енергија, намалување на потребата од работна сила, помали трошоци за превозни средства итн. Но, оправданоста на воведувањето на SCADA системи особено во управувањето со водните ресурси нетреба да се гледа само во автоматизираноста на процесот, туку и во низа други придобивки кои се својствени само на SCADA системите.

Друга клучна придобивка од SCADA системите е алармирањето. SCADA системот може брзо да го алармира операторот со постројката доколку пумпата има дефект или пак резервоарот постигне недозволено ниво. На тој начин, доколку се работи за постројка за снабдување со вода на население, може да се избегне катастрофалната ситуација одредено население да остане подолго време без вода поради ненавремено откривање на дефектот.

Како поевтина варијанта, алармни уреди можат да бидат инсталирани на самите електро-механички уреди кои ќе вршат обавестување. Овие аларми мораат да имаат резервни батерии за поддршка а понекогаш се потребни и резервни телефонски линии и модеми со што се зголемуваат трошоците а работењето не се подобрува. SCADA системите можат да ги детектираат проблемите од една централна локација која е физички оддалечена од проблематичната област. Доколку се расипе пумпа, се расипе напојување или пак комуникациската врска е прекината SCADA системите сеуште можат да го откријат дефектот и да извршат алармирање. Доколку се работи за чувствителен управуван систем тогаш самите SCADA мастери можат да имаат свои помошни компјутери кои би ја превзеле работата во случај на дефект на мастерот. Некои теренски единици имаат можност да продолжат да работат самостојно дури и ако целата централна SCADA мастер станица целосно пропадне.

Друга стандардна предност на SCADA системите е дигиталното алармирање на пејџер. Доколку се појави аларм, SCADA системот може да испрати порака до операторот со известување за состојбата. Со оваа предност, се овозможува целосно отстранување на луѓето од постројката, и нивна интервенција само доколку има проблеми за отстранување со кои SCADA системот неможе да се справи.

SCADA системот може да изврши архивирање на информациите за системот и да генерира извештаи и графови кои се критични за модерните информатички системи. Управителите со постројките можат да ги следат потрошувачката и произведувањето на одредени графици, да вршат соодветно споредување и да постапуваат според потребите. Ова е потребна алатка доколку сакаме да ја зголемиме ефикасноста на системот.

Автоматизацијата направена со електро-механички/хидраулички елементи овозможува добивање на лентести графикони и механичко зачувување. Така добиените информации операторот мора физички да ги собира од секој уред, по однапред дефиниран редослед, и потоа рачно да ги претвори во бараниот формат кој е разбирлив за личноста за која се наменети информациите.

SCADA системот ги зачувува информациите електронски. Извештаите и графовите можат да бидат генерирани во формати лесни за разбирање, а архивирани податоци лесно можат да се копираат и зачувуваат. Информации и архиви можат да бидат генерирани за сите објекти на набљудување, со помош

на овие податоци можат да се генерираат различни трендови за ефикасноста или продуктивноста на системот во текот на една година, месец, ден или час. Некои системски проблеми можат да бидат разоткриени со едноставно набљудување на историските системски податоци.

Од овде следи дека *SCADA* системите се основа за добро управување со модерните системи.

### 3 МОДЕЛИРАЊЕ НА ХИДРОПОСТРОЈКА

#### 3.1 ВОВЕД

При моделирањето на хидрауличните турбини односно вкупните хидраулични постројки кои опфаќаат акумулација, доводен тунел, цевковод, водостан, хидраулична турбина со помошните уреди како уреди за регулација и слично, се поставуваат следните барања:

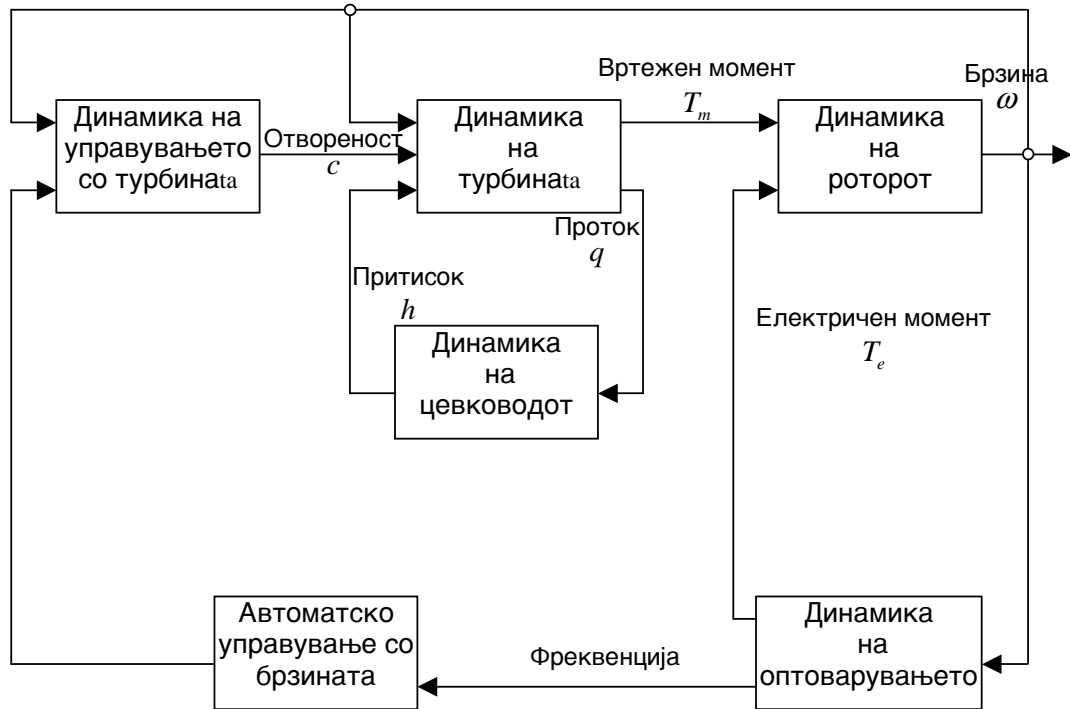
- Возможность да се изведат симулации за преодна стабилност подолги од 10 секунди
- Да ги опфати осцилациите при мали фреквенции
- Да овозможи повторно воспоставување на системот по прекин
- Да опфати одбивање на преоптоварување и прифаќање на оптоварување
- Да ја опфати динамиката на хидрауличен удар и сл.

Бидејќи моќноста на персоналните компјутери е се поголема, овозможено е да се користат се подетални и посложени модели на хидраулична турбина со помошните уреди и на нив да се изведуваат симулации со широк дијапазон на промена на различните параметри кои влијаат на однесувањето на моделираните системи.

Во досегашната пракса [5], [8], [9], [10], [16], [17], [20], [22], [24], [25], [26] и [31] најчесто се користат моделите препорачани од IEEE [6] кои се погодни за широк дијапазон на примени. Основните типови на математички модели кои се препорачани се:

- модел на хидраулична турбина вклучувајќи ги и цевководите за пренос на водата и
- модели на управување со брзината на хидрауличните турбини.

Моделите на хидрауличната турбина можат да бидат линеарни и нелинеарни. Линеарните модели се едноставни и даваат добри резултати само во околината на работната точка на турбината, во чија околина се линеаризирани. Бидејќи се едноставни системи од понизок ред (најчесто втор или трет) тие се едноставни и брзи за симулирање поради што се користат за анализа на апсолутната и релативната стабилност на моделираните системи хидраулична турбина - цевковод, со или без регулатор. Нелинеарните модели се применуваат таму каде промените на брзината и моќноста се големи, како при проучувањето на посебна работа, одбивање на преоптоварување и воспоставување на системот по прекин. Тие даваат добри резултати во целото работно подрачје на хидрауличната турбина. На слика 3.1 е прикажан блок дијаграм кој ги содржи основните елементи на моделот на хидраулична турбина заедно со сите помошни уреди кои ја опкружуваат во еден енергетски систем. Во понатамошно разгледување не се земаат моделите на управувањето со оптоварувањето и оптоварувањето на електричната мрежа.



Слика 3.1: Блок дијаграм на целосен систем хидраулична турбина - управување

Во оваа глава се прикажани два типа на математички модели на хидраулична турбина:

- првиот тип е модел на хидраулична турбина кој е претставен во простор на состојба и претставува линеаризиран модел на целокупната хидроелектрична постројка без генераторот и оптоварувањето на електричната мрежа, во тој модел влез е отвореноста на спроводниот апарат, нарушувачки влезови се протокот низ турбината и оптоварувањето, додека излез претставува промената на аголната брзина на турбината [4].
- Вториот тип на модел на хидраулична турбина е нелинеарен модел кај кој влезот е отвореноста на спроводниот апарат додека излезот е механичката моќност на излезното вратило на турбината [6].

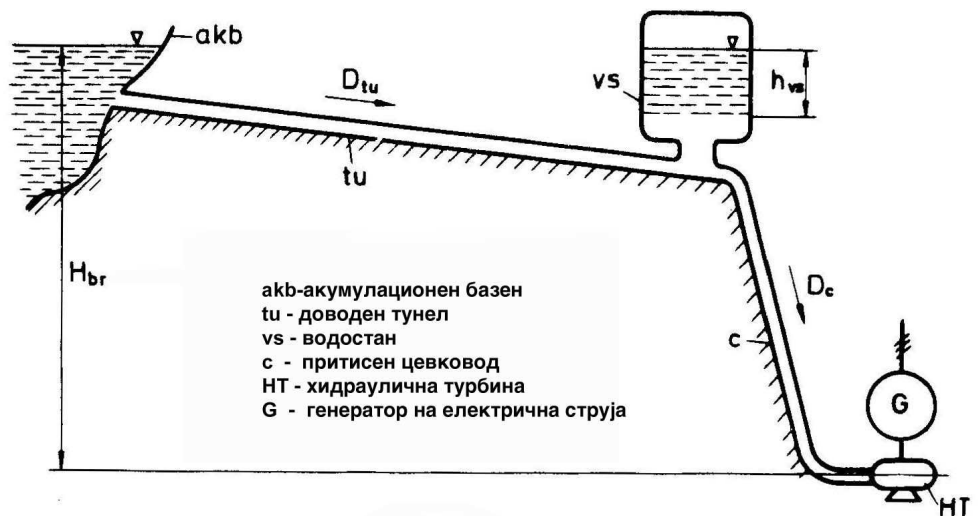
Досегашните истражувања на полето на динамичките карактеристики на хидрауличните турбини се задржуваат повеќе врз вториот тип на модели кој е препорачан од IEEE [6], кои даваат задоволителни резултати во симулациите, но неколку автори предлагаат и одредени модификации на нелинеарниот модел базирани врз експериментални мерења на хидропостројките, како [5], [9], [10], [12], [22] и [25], но тие ја намалуваат воопштеноста на презентираниите модели т.е. се применливи само на оние постројки на кои што се извршени мерењата, врз чија основа се добиени зависимости кои се применуваат при модифицирањето. Во таа насока во оваа глава се предложени модификации врз основа на анализата на резултатите на моделските испитувања на францис турбина, кои досега не се земени во предвид од ниеден автор и кои при анализата на статичките карактеристики на математичкиот модел на системот хидраулична турбина - цевковод, даваат резултати кои се многу блиску до реалните резултати добиени со моделски испитувања и се

многу сериозни кандидати при изборот на модел врз кој понатаму ќе се имплементира управувањето.

### 3.2 МОДЕЛ НА ХИДРОЕЛЕКТРИЧНА ПОСТРОЈКА СО ВОДОСТАН

Основно обележје на хидроенергетските постројки секако се струјните процеси. Изучувањето на нестационарните работни режими тука се од големо значење, посебно појавите на хидрауличен удар, кој е изразито несакана појава во постројките. Со користење на претходно добиените математички модели се одредува моделот на една хидроелектрана, под претпоставка дека во долгите цевководи се јавува крут хидрауличен удар. Ова е вообичаен приод кон решавање на проблемот, бидејќи земањето во предвид на еластичните својства на ѕидовите на цевководите, би довеле до изразито сложени математички модели на постројката.

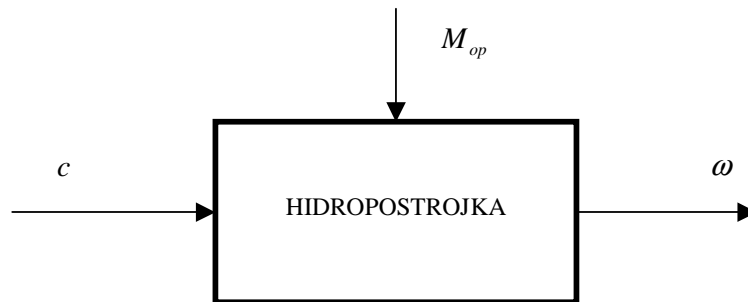
Упростена шема на една хидропостројка (хидроелектрана) прикажана е на слика 3.5 [4].



Слика 3.5: Шема на хидроелектрична постројка

Од акумулациониот басен, со доводниот тунел водата пристигнува до притисниот цевковод. Поради намалување на штетното дејство на хидрауличниот удар на крајот од доводниот тунел поставен е водостан. Со користење на висинската разлика (пад), водата низ цевководот доаѓа до работното коло на хидрауличната турбина, каде енергијата на водената струја се претвора во механичка работа. Спрегата на хидрауличната турбина и генераторот означена како хидроагрегат, овозможува производство на електрична енергија со пропишан квалитет и во потребни количества. Практично, претходно кажаното значи дека бројот на

вртежи на хидроагрегатот, односно неговата аголна брзина на вртење  $\omega$ , треба да се одржува на саканото ниво  $\omega_s$  се додека интензитетите на нарушувањата се во дозволените граници. Дијаграмот на усвоената постројка е прикажан на слика 3.6



Слика 3.6: Дијаграм на една хидропостројка

Треба да се напомене дека посложените хидропостројки имаат и одводен тунел, долен водостан, сифон и др. Динамиката на овие делови од постројката не се разликува суштински од тука разгледуваните.

Одредувањето на математичкиот модел ќе се спроведе етапно, земајќи предвид дека може да се проучува посебно динамиката на составните делови на постројката. Имајќи во предвид дека одделни делови се веќе разгледувани, ќе ги користиме добиените резултати, но со нагласок да се внимава на условите под кои се изведени. Со користење на влезно-излезни равенки ќе се изврши поврзување на основните делови на системот во заеднички математички модел. Основна претпоставка која го дефинира моделот на хидропостројката поаѓа од фактот дека во доводниот тунел и цевковод, во нестационарни работни режими, се јавува крут хидрауличен удар.

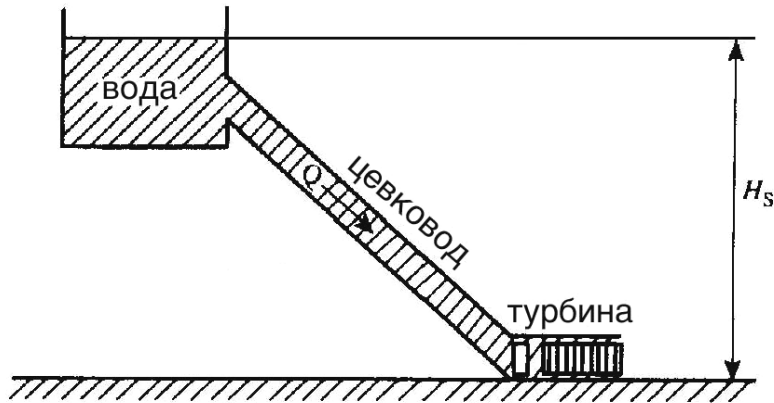
### 3.3 МОДЕЛ НА ХИДРОЕЛЕКТРИЧНА ПОСТРОЈКА БЕЗ ВОДОСТАН

Кај реакциските турбини, како Францис турбините, само дел од водената енергија се претвора во кинетичка енергија во спроводниот апарат, додека останатата конверзија на енергијата се изведува во роторот на турбината. Моќноста на турбината се регулира преку протокот низ турбината со помош на лопатките на спроводниот апарат.



### 3.3.1 НЕЛИНЕАРЕН МОДЕЛ НА ПОСТРОЈКА СО КРУТ ЦЕВКОВОД

На слика 3.9 е прикажана шема на турбинска инсталација каде водата струи низ цевковод и низ турбината, за на крајот да излезе во долната вода.



Слика 3.9: Шематски приказ на турбинска постројка без водостан

Цевководот е моделиран под претпоставка дека токот е некомп्रेसибилен, па брзината на промена на протокот во цевководот се одредува со изедначување на брзината на промена на моментот на водата во цевководот со силата предизвикана од притисокот на водата во цевководот т.е.

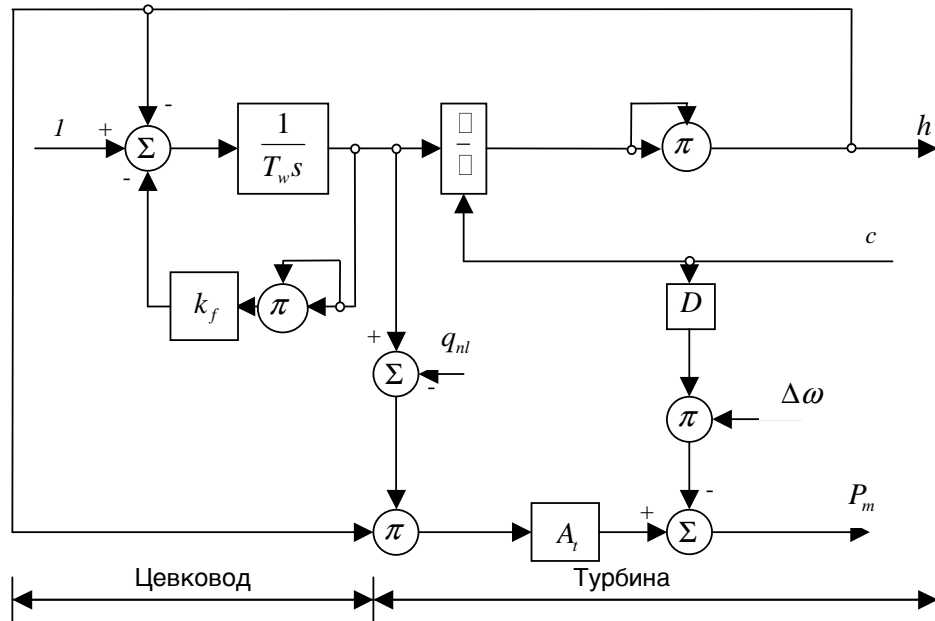
$$\rho L \frac{dQ}{dt} = (H_s - H_l - H) A \rho g \quad (3.67)$$

каде  $Q$  е волуменски проток,  $L$  е должина на цевководот,  $A$  е попречен пресек на цевководот,  $g$  е земјино забрзување и  $\rho$  е густина на водата. Силата на притисокот се определува со одредување на притисокот на секој крај на цевководот. На влезот во цевководот силата на водата е пропорционална на статичкиот притисок  $H_s$ , додека на влезот во спроводниот апарат е пропорционална на притисокот низ турбината  $H$ . Поради триењето во цевководот постои и сила на триење на водата која се претставува со загубата на притисок  $H_l$ . Претходната равенка може да се преведе во единични големини во однос на  $h_{base}$ , кој претставува статички притисок над турбината, во нашиот случај еднаков на  $H_s$ , и  $q_{base}$  кој претставува проток низ турбината при потполно отворен спроводен апарат и притисок еднаков на  $h_{base}$ . Со делење на двете страни на равенката (3.67) со  $h_{base} q_{base}$  се добива:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{1}{T_w} (1 - h_l - h) \quad (3.68)$$

каде  $q = Q/q_{base}$  и  $h = H/h_{base}$  се единичен проток, и единичен притисок, респективно додека  $T_w = Lq_{base}/Agh_{base}$  е време на поаѓање на водата. Теоретски  $T_w$  се дефинира како време потребно протокот во цевководот да се промени во  $q_{base}$  кога притисокот во заградата ќе добие вредност  $h_{base}$ . Загубата на притисок  $h_l$  е пропорционална на

квадратот на протокот и зависи од димензиите на цевководот и коефициентот на триење, но можеме да претпоставиме дека тој член  $h_t = k_f q^2$  може да се занемари. На слика 3.10 е прикажан блок дијаграмот на нелинеарниот модел на цевковод и турбина дефиниран со равенка (3.68)



Слика 3.10: Блок дијаграм на нелинеарен модел на хидраулична турбина

При моделирањето на хидрауличната турбина треба да се изврши моделирање и на хидрауличните карактеристики и на излезната хидраулична моќност. Најнапред притисокот низ турбината ја има следната зависност од протокот дефинирана од карактеристиката на вентилот:

$$Q = kc\sqrt{H} \quad (3.69)$$

каде што  $c$  е отвореноста на лопатките на спроводниот апарат помеѓу 0 и 1, додека  $k$  е константа. Равенката (3.69) може да се преведе во единечни големини при  $c = 1$ , т.е. потполна отвореност на спроводниот апарат ако ги поделиме двете страни со  $q_{base} = k\sqrt{h_{base}}$  со што добиваме:

$$q = c\sqrt{h} \quad (3.70)$$

Моќноста на турбината е пропорционална на производот од протокот и притисокот и зависи од коефициентот на полезно дејство. За да се земе во предвид дека коефициентот на полезно дејство не е 1, вкупниот проток низ турбината се намалува за единечната вредност на протокот низ турбината кога нема оптоварување  $q_{nt}$ .

$$P_m = A_t h_r (q_r - q_{nt}) = \frac{\text{моќност на турбината (MW)}}{\text{моќност на генераторот (MVA)}} \quad (3.71)$$

коэффициентот  $A_t$  е внесен поради доведување на равенката во единични големини во однос на моќноста на генераторот во (MVA), и се пресметува со следната равенка добиена при пресметковно оптоварување:

$$A_t = \frac{\text{моќност на турбината (MW)}}{\text{моќност на генераторот (MVA)} h_r (q_r - q_{nl})} \quad (3.72)$$

Ако во равенката (3.71) го внесеме и придушувањето кое зависи од отворањето на спроводниот апарат, тогаш равенката за моќност на турбината при било кое оптоварување може да се напише:

$$P_m = A_t h (q - q_{nl}) - Dc \Delta \omega \quad (3.73)$$

каде  $D$  е коэффициент на придушување на турбината. Равенките (3.70) и (3.73) го дефинираат нелинеарниот модел на хидраулична турбина прикажан на слика 3.10 во облик на блок дијаграм каде што отвореноста на спроводниот апарат е управуваната променлива.

### 3.3.2 ЛИНЕАРИЗИРАН МОДЕЛ НА ХИДРАУЛИЧНА ТУРБИНА

Класичниот модел на хидраулична турбина [5], [6], е практично линеаризираниот модел добиен во претходното поглавје т.е. линеаризираните верзии на равенките (3.68), (3.70) и (3.71), кои се линеаризираат околу работна точка. Линеарниот модел е валиден за мали промени на механичката моќност околу иницијалната работна точка. Со линеаризацијата добиваме:

$$\frac{d\Delta q}{dt} = -\frac{\Delta h}{T_w}, \Delta q = \frac{\partial q}{\partial c} \Delta c + \frac{\partial q}{\partial h} \Delta h, \Delta P_m = \frac{\partial P_m}{\partial h} \Delta h + \frac{\partial P_m}{\partial q} \Delta q \quad (3.74)$$

Со внесување на лапласовиот оператор  $s$  и со елиминација на  $\Delta h$  и  $\Delta q$  од равенките се добива:

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta c} = \frac{\left[ \frac{\partial q}{\partial c} \frac{\partial P_m}{\partial q} - T_w s \frac{\partial P_m}{\partial h} \frac{\partial q}{\partial c} \right]}{1 + T_w s \frac{\partial q}{\partial h}} \quad (3.75)$$

каде парцијалните изводи се:

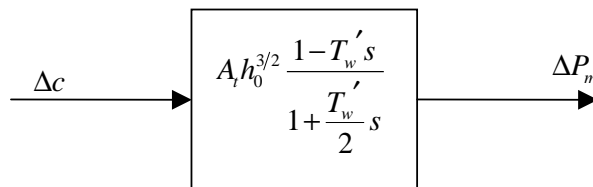
$$\frac{\partial q}{\partial h} = \frac{1}{2} \frac{c_0}{\sqrt{h_0}}, \frac{\partial q}{\partial c} = \sqrt{h_0}, \frac{\partial P_m}{\partial h} = A_t h_0, \frac{\partial P_m}{\partial q} = A_t (q_0 - q_{nl}) \approx A_t q_0 \quad (3.76)$$

Наставката "0" претставува почетна вредност. Со замена во равенката (3.75) и земајќи во предвид дека  $q_0 = c_0 \sqrt{h_0}$  се добива:

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta c} = A_t h_0^{3/2} \frac{1 - T_w' s}{1 + \frac{T_w'}{2} s} \quad (3.77)$$

каде  $T_w' = T_w \frac{q_0}{h_0} = \frac{L}{Ag} \frac{Q_0}{H_0}$ . Вообичаено  $T_w'$  е помеѓу 0,5 и 5 s.

Ова е класичната дефиниција на времето на поаѓање на водата, но зависи од вредностите на протокот и притисокот околу работната точка, со што зависи и од оптоварувањето. Ако е потребно константата  $A_t$  може да се апсорбира во отвореноста на спроводниот апарат, кога таа ефикасно врши конверзија меѓу отвореноста на спроводниот апарат и единечната моќност на хидрауличната турбина во однос на моќноста на генераторот во MVA. Блок дијаграмот на линеарниот модел на хидраулична турбина е прикажан на слика 3.11.

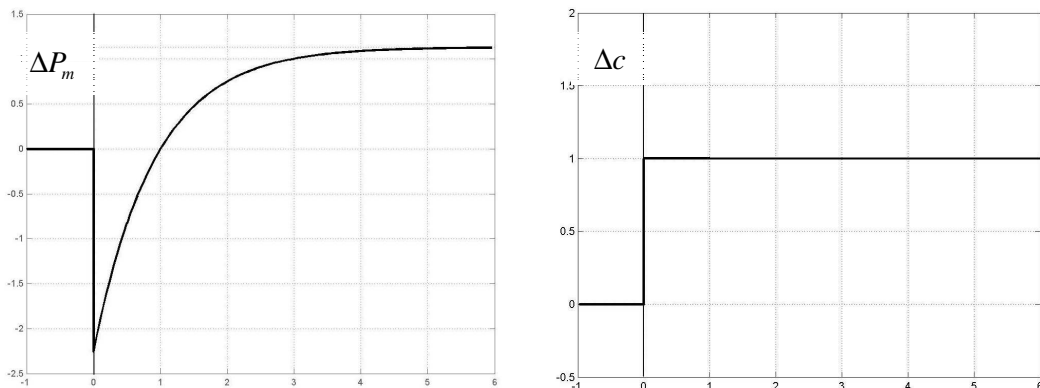


**Слика 3.11:** Блок дијаграм на линеарниот модел на хидраулична турбина

Равенката (3.77) опишува една интересна и важна карактеристика на хидрауличните турбини. Ако сакаме да ја намалиме излезната моќност на турбината, тогаш треба да ги затвориме лопатките на спроводниот апарат. Бидејќи протокот во цевководот не може да се промени веднаш, тогаш поради истиот проток а помалиот напречен пресек на меѓулопатичниот простор на спроводниот апарат, брзината на струење ќе се зголеми, што предизвикува иницијално зголемување на моќноста на турбината се додека по кратко време не се намали протокот во цевководот, а со тоа и моќноста на турбината. Овој ефект во равенката (3.77) е опишан со минусот во броителот.

На слика 3.12 е прикажана карактеристиката, но кога имаме отварање на лопатките на спроводниот апарат и имаме почетно опаѓање на моќноста на турбината.

Иако линеаризириот модел на хидраулична турбина е успешно користен и во проучување на статички и динамички одзив и стабилност, сепак IEEE комитетот [5], [6], препорачува за понатамошни испитувања да се користат нелинеарните модели посебно при проучувањето на енергетските карактеристики бидејќи веќе не е проблем да се изведе симулација на нелинеарен модел.



Слика 3.12: Одзив на линеарниот модел на турбината при отсочна промена на спроводниот апарат

### 3.4 МОДИФИЦИРАЊЕ НА МОДЕЛИТЕ НА ТУРБИНСКА ПОСТРОЈКА СО ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ПОДАТОЦИ

Со цел за подобрување на резултатите од симулациите на математичките модели на турбинските постројки добиени во претходните поглавја, треба да се изврши модификација на математичките модели на турбинските постројки со емпириски функции на зависимости помеѓу независните променливи во математичките модели, како и корекциски функции на излезот на математичките модели добиени со помош на моделски испитувања врз модел на реална турбинска постројка како во [5], [9], [10], [12], [22] и [25] каде што како функции со кои се извршува модификација на постоечките линеарни и нелинеарни блок дијаграми се користат зависностите помеѓу механичката моќност на турбината и протокот  $P_m = f(q)$  и зависноста помеѓу отвореноста на спроводниот апарат и протокот  $c = f(q)$ . Користени се моделски испитувања на францис турбина чии карактеристики се прикажани во табела 3.1:

1	Моќност на генераторот при оптимална работа	31,1 MVA
2	Моќност на турбината при оптимална работа	28 MW
3	Оптимален проток	28,5 m <sup>3</sup> /s
4	Оптимален напор	81 m
5	Оптимален коефициент на полезно дејство	94 %
6	Номинален проток	37 m <sup>3</sup> /s
7	Номинален напор	85,2 m
8	Максимален проток	37 m <sup>3</sup> /s
9	Максимален напор	91,7 m
10	Отвореност на спроводен апарат при оптимална работа	80 %
11	Максимална отвореност на спроводен апарат	100 %
12	Максимална моќност на турбината	28 MW
13	Геодетска висина H <sub>geo</sub>	94,7 m
14	Должина на притисен цевковод	330 m
15	Дијаметар на притисен цевковод	4,5 m

16	Напречен пресек на притисен цевковод	15,904 m <sup>2</sup>
17	Време на поаѓање на водата T <sub>w</sub>	0,8263 s
18	Коефициент на загуби низ цевковод	0,0011 m/(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup>
19	Брзина на фронт на хидрауличен удар низ цевковод	1200 m/s

Табела 3.1: Карактеристики на Францис турбина

Бр.	МОДЕЛ					ПРОТОТИП			
	C [pu]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Y [J/kg]	P [KW]	η	H <sub>p</sub> [m]	Q <sub>p</sub> [m <sup>3</sup> /s]	η <sub>p</sub>	P <sub>p</sub> [KW]
1	0,9	0,4843	116,54	46,275	0,8206	75,5	39,440	0,8411	24540
2	0,85	0,4681	116,87	46,134	0,8439	75,7	38,130	0,8644	24448
3	0,8	0,4473	116,38	44,799	0,8613	75,4	36,430	0,8818	23729
4	0,75	0,4277	116,42	43,633	0,8771	75,4	34,830	0,8976	23102
5	0,7	0,4083	116,73	42,289	0,8881	75,6	33,250	0,9086	22385
6	0,675	0,3957	115,73	41,062	0,8982	75	32,230	0,9187	21749
7	0,65	0,3875	116,63	40,761	0,9027	75,5	31,560	0,9232	21569
8	0,625	0,3766	116,69	39,808	0,9075	75,6	30,670	0,9280	21082
9	0,6	0,3632	115,46	38,266	0,9132	74,8	29,590	0,9337	20243
10	0,575	0,3534	115,71	37,39	0,916	74,9	28,780	0,9365	19797
11	0,55	0,3392	116,31	36,181	0,9178	75,3	27,630	0,9383	19138
12	0,525	0,3231	116,03	34,341	0,9176	75,1	26,320	0,9381	18183
13	0,5	0,3097	116,82	32,822	0,9079	75,7	25,230	0,9284	17366
14	0,45	0,2806	116,49	29,165	0,893	75,4	22,860	0,9135	15436
15	0,4	0,2492	116,01	25,338	0,8773	75,1	20,300	0,8978	13417
16	0,35	0,2189	114,99	21,554	0,857	74,5	17,830	0,8775	11419
17	0,3	0,19	115,91	18,033	0,8194	75,1	15,480	0,8399	9564
18	0,25	0,16	116,49	13,19	0,7082	75,4	13,030	0,7287	7022

Табела 3.2: Измерени и пресметани вредности на моделот на францис турбина при геодетска висина од 75 [m]

Измерените вредности за моделот при геодетска висина од 75 [m] како и пресметаните вредности преку коефициентите на сличност се прикажани во табела 3.2. Измерени се 18 точки при отвореност на спроводниот апарат од 25% до 90% т.е. во теоретското работно подрачје на турбината. Во табела 3.3 се прикажани пресметаните вредности за прототипот но претворени во бездимензиски вредности кои се означуваат со р.у. (per unit - единечна мерка во однос на референтна вредност).

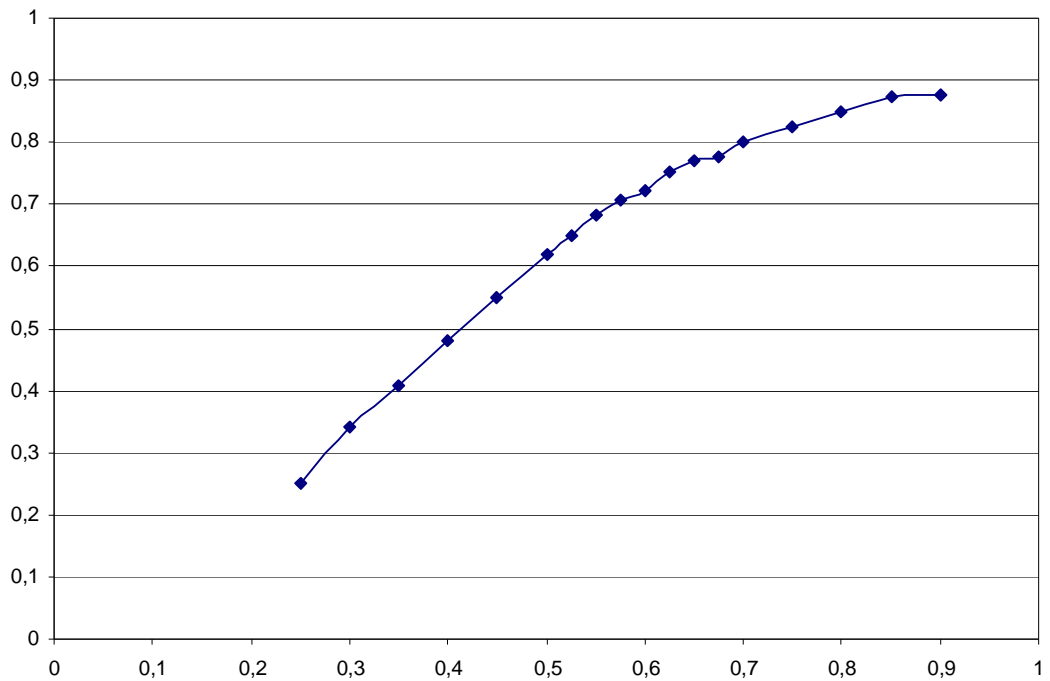
Бр.	C [pu]	H <sub>p</sub> [pu]	Q <sub>p</sub> [pu]	η <sub>p</sub>	P <sub>p</sub> [pu]
1	0,9	0,797254	1,066	0,8411	0,876429
2	0,85	0,799366	1,031	0,8644	0,873143
3	0,8	0,796199	0,985	0,8818	0,847464
4	0,75	0,796199	0,941	0,8976	0,825071
5	0,7	0,79831	0,899	0,9086	0,799464

6	0,675	0,791975	0,871	0,9187	0,77675
7	0,65	0,797254	0,853	0,9232	0,770321
8	0,625	0,79831	0,829	0,9280	0,752929
9	0,6	0,789863	0,800	0,9337	0,722964
10	0,575	0,790919	0,778	0,9365	0,707036
11	0,55	0,795143	0,747	0,9383	0,6835
12	0,525	0,793031	0,711	0,9381	0,649393
13	0,5	0,799366	0,682	0,9284	0,620214
14	0,45	0,796199	0,618	0,9135	0,551286
15	0,4	0,793031	0,549	0,8978	0,479179
16	0,35	0,786695	0,482	0,8775	0,407821
17	0,3	0,793031	0,418	0,8399	0,341571
18	0,25	0,796199	0,352	0,7287	0,250786

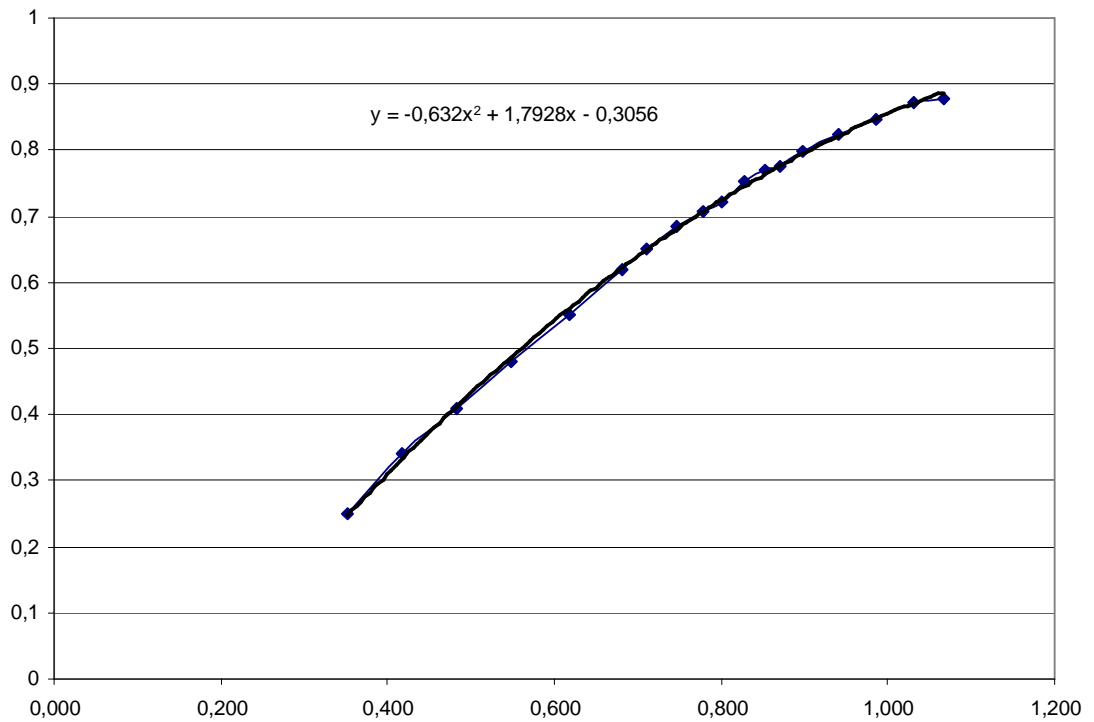
**Табела 3.3:** Пресметани вредности за прототипот на францис турбина при геодетска висина од 75 [m] во р.и.

Графичките зависности помеѓу измерените променливи и отвореноста на спроводниот апарат се прикажани на сликите 3.16 до 3.19. Од дијаграмот на слика 3.16 може да се одреди коефициентот  $A_f$  како тангенс на аголот што го зафаќа тангентата на кривата во работната точка со позитивниот дел на апсцисата, како и волуменските загуби низ турбината означени со  $q_{nl}$  кои се добиваат за отвореност на спроводниот апарат кога излезната моќност е еднаква на нула т.е. за онаа отвореност за која кривата ја сече апсцисата.

Емпириските функции се добиени со полиномна апроксимација на кривите со кои се поврзани измерените точки, и тоа најчесто се полиномни апроксимации од втор ред, бидејќи имаме голем степен на поклопување на измерените и апроксимираните криви, но можат да бидат и апроксимации од повисок ред, како кај зависноста на коефициентот на полезно дејство од отвореноста на спроводниот апарат каде апроксимацијата од втор ред не задоволи со точноста па поради тоа е искористена апроксимација од петти ред, но со тоа се зголемува сложеноста на добиениот математички модел на хидрауличната постројка, а со тоа и времетраењето на пресметките.

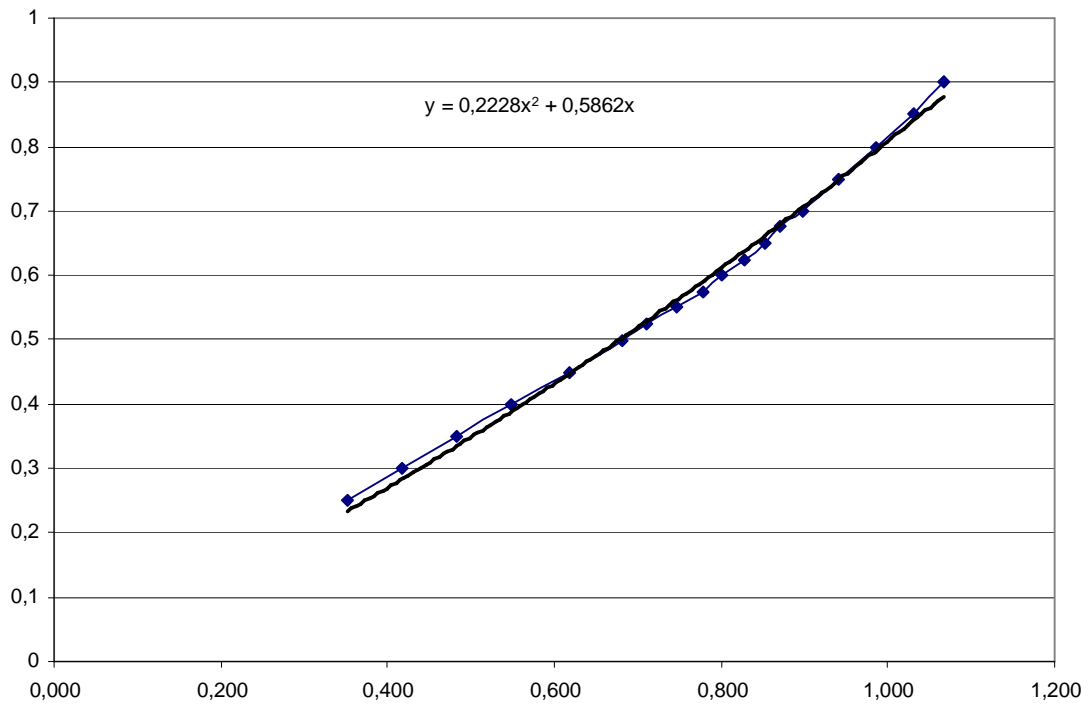


Слика 3.16: Зависност помеѓу отвореноста на спроводниот апарат и излезната моќност  $P = f(c)$

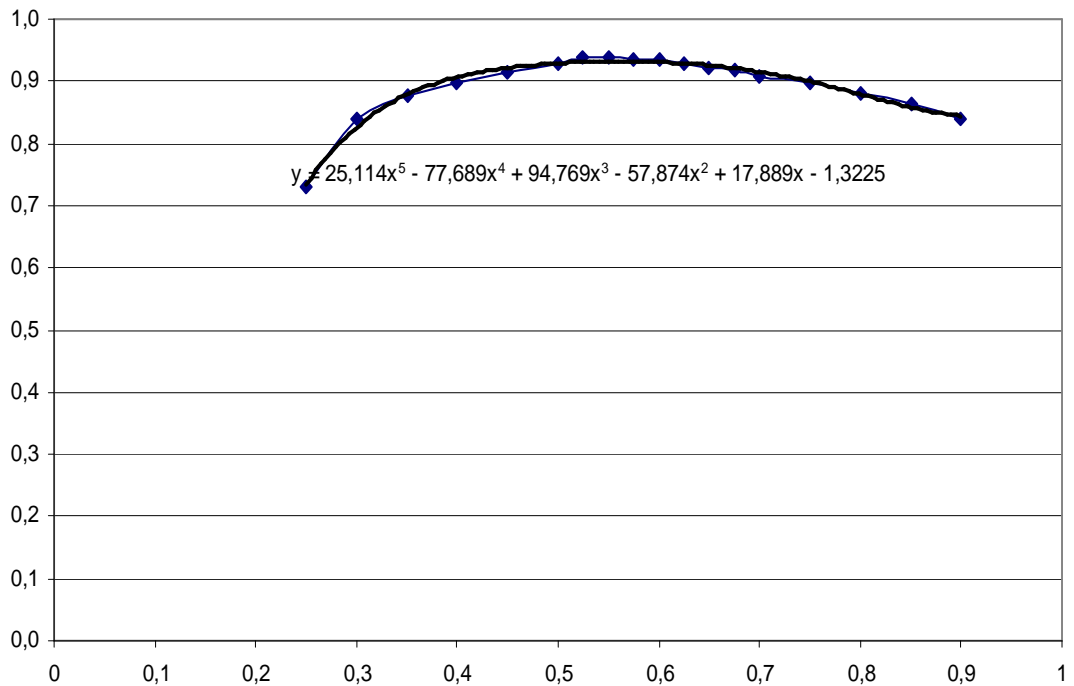


Слика 3.17: Зависност помеѓу протокот и излезната моќност  $P = f(q)$





Слика 3.18: Зависност помеѓу протокот и отвореноста на спроводниот апарат  $c = f(q)$



Слика 3.19: Зависност помеѓу отвореноста на спроводниот апарат и коефициентот на полезно дејство  $\eta = f(c)$

Равенките кои ги одредуваат зависностите помеѓу променливите на моделот на турбинска постројка се:

Равенка на зависност помеѓу излезната моќност и протокот (слика 3.17):

$$P = 0.632q^2 + 1.7928q - 0.3056 \quad (3.81)$$

Равенка на зависност помеѓу отвореноста на спроводниот апарат и протокот (слика 3.18):

$$c = 0.2228q^2 + 0.5862q \quad (3.82)$$

Равенка на зависност помеѓу коефициентот на полезно дејство и отвореноста на спроводниот апарат (слика 3.19):

$$\eta = 25.114c^5 - 77.689c^4 + 94.769c^3 - 57.874c^2 + 17.889c - 1.3225 \quad (3.83)$$

Треба да се нагласи дека добиените равенки (3.81), (3.82) и (3.83) важат само за турбинската постројка за која се изведени моделските испитувања и чии карактеристики се прикажани во табела 3.1 и тоа само во околината на работната точка. Возможно е и да се направи анализа со која ќе се добијат и апроксимирани полиномни равенки за различни измерени геодетски висини, па во зависност од тоа на која кота е горната вода т.е. која е геодетската висина да се користат тие равенки при понатамошна анализа, но тука сме ограничени само на геодетските висини за кои имаме добиено измерени вредности.

За да се применат равенките на друга турбинска постројка треба да се изведат соодветни моделски испитувања и со истата анализа на резултатите да се добијат коефициентите на апроксимативните полиномни равенки, кои не мора да бидат од ист ред како тука добиените, туку редот на полиномните равенки ќе се одреди врз основа на степенот на поклопување на апроксимираната полиномна крива со измерената крива.

### 3.5 АНАЛИЗА НА СТАТИЧКИТЕ И ДИНАМИЧКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА МАТЕМАТИЧКИТЕ МОДЕЛИ НА ТУРБИНСКА ПОСТРОЈКА

Со цел да се изврши избор на математички модел кој најдобро ја симулира реалната турбинска постројка, потребно е да се изврши анализа на статичките и динамичките карактеристики на математичките модели на турбинската постројка, кои се добиваат со помош на симулирање на однесувањето на математичките модели на турбинската постројка при некои специфични влезови. Потоа се споредуваат резултатите од симулациите со резултатите од реалните моделски испитувања извршени над моделот на францис турбина, и врз основа на тие споредби се врши избор на модел кој најдобро ја симулира работата на реалната турбинска постројка, кој понатаму се зема како објект на управување, на кој понатаму се проектира управувањето. Од динамичките карактеристики во овој момент важно ни е само дали моделите се стабилни, додека споредбата се врши помеѓу статичките карактеристики на математичките модели и реално измерените зависимости на моделот на францис

турбина, поточно зависноста помеѓу излезната механичка моќност и отвореноста на спроводниот апарат која е прикажана на слика 3.16. Симулациите на статичките и динамичките карактеристики на математичките модели на турбинската постројка се изведени со помош на софтверот "MATLAB" односно еден негов дел кој се нарекува "SIMULINK". Вредностите на излезната механичка моќност на математичките модели се одредувани за оние отворености на спроводниот апарат за кои имаме измерени вредности при моделските испитувања. Притоа, за сите влезни вредности т.е. за сите отворености на спроводниот апарат динамичките одзиви беа стабилни, без осцилации, со релативно кратко време на смирување, освен моделот со патувачки бранови на кој му треба подолго време на смирување. Вредноста на излезната механичка моќност која е користена при статичката анализа кај сите модели е одредена за време кое е петпати поголемо од времето на смирување за соодветниот математички модел, што за сите модели освен тој со патувачки бранови беше околу 10 [s], додека за моделот со патувачки бранови беше околу 50 [s]. Вредностите на параметрите потребни за симулациите, а кои не се наведени во табела 3.1 се наведени во табела 3.4.

1	Коефициент на засилување $A_t$	1.3976
2	Волуменски загуби низ турбината $q_{nl}$	0.1256 [pu]
3	Импеданса на брановите $Z_0$	47.793
4	Време на патување на бранот $T_e$	0.275 [s]
5	Коефициент $\alpha$	$6.813 \cdot 10^{-6}$
6	Коефициент $\kappa$	0.55
7	Коефициент $K_1$	0,26279
8	Коефициент $K_2$	0,64034

**Табела 3.4:** Карактеристики на Францис турбина потребни за симулациите

Симулациите се изведени во "SIMULINK" со следните параметри:

Почетно време: 0 [s]

Време на завршување: 10 [s] (за моделот со патувачки бранови 50 [s])

Начин на решавање на диференцијалните равенки: нумерички

Метод на решавање: ode45 (Dormand-Prince) со варијабилен чекор

Влезот во моделите е константна вредност, што се интерпретира како отскочна функција од нула до таа константа, што значи дека отворањето на спроводниот апарат се изведува моментално од нула до вредноста за која што се изведува симулацијата и за која имаме измерени резултати. Како што е претходно наведено отвореноста на спроводниот апарат се движи помеѓу 0.25 и 0.9 [pu]. Симулации со претходно дефинираните параметри се изведени за следните модели на турбински постројки: линеарен модел прикажан на слика 3.4, нелинеарен модел прикажан на слика 3.10, нелинеарен модел со патувачки бранови прикажан на слика 3.13, модифицирани нелинеарни модели прикажани на сликите 3.21, 3.22, 3.23, 3.24 и 3.25 и модифицираниот линеарен модел прикажан на слика 3.26. Споредбените резултати од симулациите се прикажани во табела 3.5.

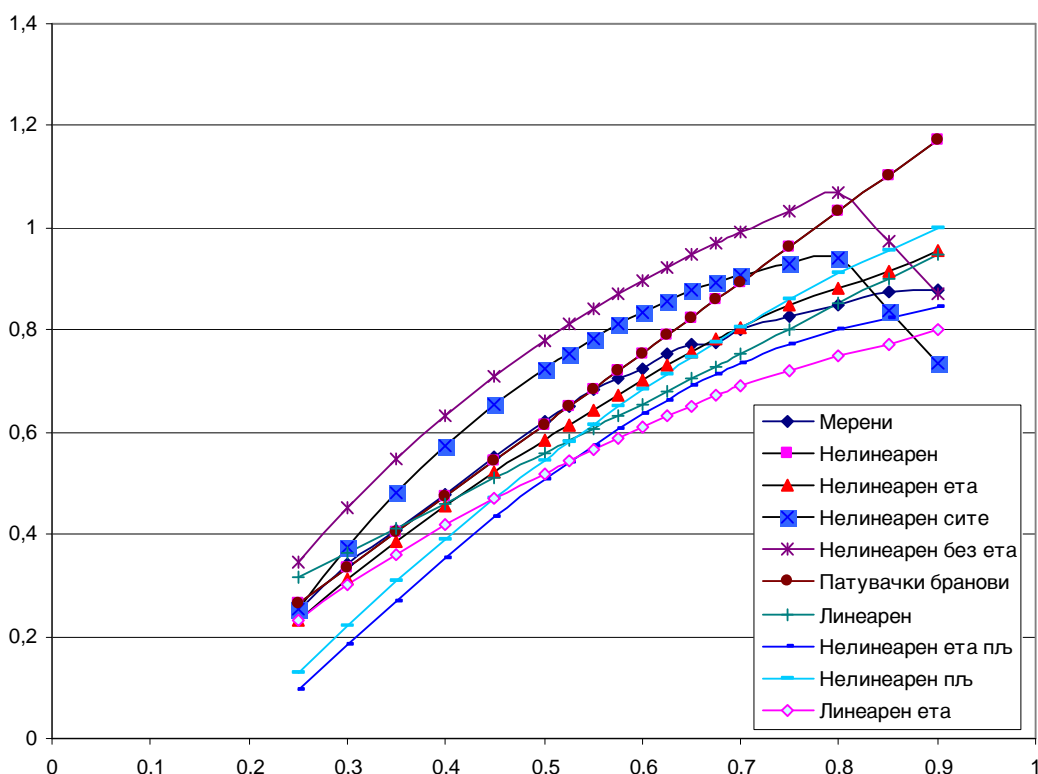
ИЗМЕРЕНИ			СИМУЛАЦИИ								
Бр.	C [pu]	P <sub>p</sub> [pu]	Модел сл. 3.10	Модел сл. 3.23	Модел сл. 3.25	Модел сл. 3.22	Модел сл. 3.13	Модел сл. 3.4	Модел сл. 3.24	Модел сл. 3.21	Модел сл. 3.26
1	0,9	0,8764	1,1716	0,9542	0,73364	0,86917	1,1709	0,94829	0,84401	0,99992	0,80043
2	0,85	0,8731	1,1019	0,9164	0,83633	0,97443	1,1016	0,89953	0,82127	0,95689	0,77204
3	0,8	0,8474	1,0323	0,8835	0,93902	1,0683	1,0322	0,85077	0,7998	0,90989	0,74784
4	0,75	0,8250	0,9621	0,8474	0,92898	1,0331	0,9626	0,80201	0,7723	0,85889	0,72116
5	0,7	0,7994	0,893	0,805	0,9089	0,99323	0,89294	0,75325	0,73565	0,80391	0,68929
6	0,675	0,7767	0,8581	0,7813	0,89464	0,9714	0,8581	0,72888	0,7137	0,77493	0,67129
7	0,65	0,7703	0,8232	0,7561	0,8776	0,94824	0,82324	0,7045	0,68945	0,74495	0,65201
8	0,625	0,7529	0,7884	0,7296	0,85787	0,92372	0,78837	0,68012	0,66307	0,71397	0,63163
9	0,6	0,7229	0,7535	0,702	0,83559	0,89777	0,7535	0,65574	0,63476	0,68199	0,61032
10	0,575	0,7070	0,7186	0,6735	0,8109	0,87036	0,71862	0,63136	0,60469	0,64902	0,58823
11	0,55	0,6835	0,6837	0,6442	0,78393	0,84141	0,68374	0,60698	0,57303	0,61505	0,56551
12	0,525	0,6493	0,6489	0,6143	0,75472	0,81088	0,64885	0,5826	0,53991	0,58009	0,54225
13	0,5	0,6202	0,614	0,5839	0,7233	0,77868	0,61396	0,55822	0,50542	0,54412	0,51852
14	0,45	0,5512	0,5442	0,5215	0,65342	0,70902	0,54416	0,50946	0,43241	0,4692	0,46951
15	0,4	0,4791	0,4743	0,4561	0,57292	0,63181	0,47434	0,4607	0,35392	0,3903	0,41777
16	0,35	0,4078	0,4045	0,3866	0,47986	0,5463	0,40451	0,41194	0,27002	0,3074	0,36185
17	0,3	0,3415	0,3347	0,3117	0,37308	0,45164	0,33467	0,36318	0,18216	0,22052	0,30001
18	0,25	0,2507	0,2648	0,2309	0,25471	0,34681	0,26481	0,31442	0,09522	0,12966	0,23093

Табела 3.5: Измерени вредности и вредности добиени со симулација на моделот на францис турбина

На сликите 3.28, 3.30, 3.32, 3.34, 3.36, 3.38, 3.40, 3.42, 3.44 и 3.45 се прикажани споредбените дијаграми на зависностите помеѓу излезната механичка моќност и

отвореноста на спроводниот апарат, добиени со симулација и измерените зависимости, на секој модел, додека на сликите 3.27, 3.29, 3.31, 3.33, 3.35, 3.37, 3.39, 3.41 и 3.43 се прикажани динамичките одзиви на секој модел одделно за отворање на спроводниот апарат во облик на отскочна функција за 0.5 [pu] или отворање од 0 до 0.5 [pu].

Како што е претходно наведено, од динамичките одзиви може да се види дека сите системи се стабилни за отвореноста на спроводниот апарат од 0.5 [pu], но треба да се напомене дека за сите отворености на спроводниот апарат одзивите од математичките модели се стабилни. Исто така треба да се напомене дека сите математички модели имаат почетен негативен одзив како што е прикажано на слика 3.12, некои поголем, како линеарниот модел, некои помал, како кај нелинеарните модели кај кои е скоро неприметен, но при помали размери на дијаграмите може да се примети оваа специфичност на одзивите на математичките модели на турбинските постројки. Од динамичките одзиви исто така може да се примети дека времето на поставување на одзивите за влез отскочна функција е помало од 2 [s], освен за моделот со патувачки бранови (слика 3.13) за кој времето на поставување е некаде околу 15 [s], но вредностите на одзивот во стационарна состојба се еднакви со нелинеарниот модел од слика 3.10 т.е. се разликуваат само по тоа што во моделот со патувачки бранови е внесено временско доцнење поради еластичниот цевковод.



**Слика 3.45:** Споредба на сите статички карактеристики на моделите и измерената статичка карактеристика

Од сликите кои ги содржат споредбите на статичките карактеристики на симулираните математички модели и измерените статички карактеристики можеме да приметиме дека моделите од сликите 3.10 и 3.13 имаат еднакви статички

карактеристики, иако во динамиката се разликуваат многу. Може да се примети дека статичките карактеристики на нелинеарниот (слика 3.10) и линеарниот (слика 3.4) математички модел се прави линии додека измерената статичка карактеристика на моделот на францис турбина е нелинеарна, поради што се изведени сите модификации. Исто така мора да се примети дека нелинеарниот модел од слика 3.10 се до 0.6 [pu] скоро идеално се поклопува со измерената статичка карактеристика.

Од сликите со споредбите на статичките карактеристики, можеме да приметиме дека сите модификации се успешни во изменувањето на линеарната статичка карактеристика на моделите на слика 3.10 и 3.4, но се приметувва дека најповеќе се приближуваат до реалниот модел на францис турбина модификациите од слика 3.23, 3.21 и 3.24 и тоа по тој редослед. Модификацијата од слика 3.23 дава скоро идеално поклопување на симулираната и измерената статичка карактеристика, како што беше претпоставено, поради тоа што скоро идеално ја прати кривината на измерената статичка карактеристика. Исто така треба да се нагласи дека модифицираниот линеарен модел од слика 3.26 доста добро ја прати измерената статичка карактеристика, но сепак линеарните модели имаат многу нагласен почетен негативен одзив, поради што при проектирањето на управувањето треба да се внимава на ублажувањето на ефектите на почетниот негативен одзив.

Поради сите горенаведени причини моделите од слика 3.10, 3.11 и 3.23 се избираат за објекти на управување, т.е. на тие модели ќе се проектира понатаму управување, кое ќе овозможи најдобра работа на турбинската постројка.

## 4 ПРОЕКТИРАЊЕ НА ЗАКОН НА УПРАВУВАЊЕ СО ХИДРОПОСТРОЈКА

### 4.1 ВОВЕД

Во претходната глава е дефиниран математичкиот модел на хидрауличните постројки кои опфаќаат акумулација, притисен цевковод, хидраулична турбина, извршена е симулација на статичките и динамичките карактеристики на добиените математички модели и врз основа на споредба со резултатите измерени при моделски испитувања на моделот на хидрауличната турбина, се избрани математички модели кои ќе се користат како објекти на управување и за кои ќе се проектира закон на управување. Законот на управување, треба да се имплементира во контролер кој управува со фреквенцијата на вртење т.е. брзината на вртење на хидрауличната постројка.

Поради важната улога на управувањето кај хидрауличните турбини при производство на електрична енергија, изведени се огромно количество на истражувања за да го откријат влијанието на промената на параметрите на управувањето на вкупните перформанси на хидрауличната постројка, но главно на стабилноста и преодното однесување по голема промена на оптоварувањето на мрежата. Еволуцијата на управувањето кај хидрауличните турбини го отсликува напредокот на технологијата. Најповеќе користено управување пред шеесетите години од минатиот век беа механичко-хидрауличките регулатори со тахометар како сензор на брзината и механички амортизер за да се обезбедат карактеристиките на привремениот пад. Во седумдесетите години од минатиот век популарно беше електро-хидрауличкото управување кое користеше PID (пропорционални, интегрални и деривативни) контролери, но во последно време аналогната електроника е заменета со адекватна дигитална електроника, со користење на микрокомпјутери, кои обезбедуваат дополнителна флексибилност и надежност. Со напредокот во технологијата на управувањето, анализите на перформансите на постоечките регулатори станаа многу важна тема.

Една од поголемите потешкотии при проектирање на добро управување се појавува како последица на фактот што хидрауличната турбина е високонелинеарен уред чии карактеристики се менуваат во зависност од непредвидливото оптоварување на мрежата врз хидрауличната постројка. Овие нелинеарности го отежнуваат проектирањето, бидејќи управувањето кое е проектирано за работната точка, т.е. условите кои владеат во работната точка, може да не работи под сите други услови. Претходното води кон проектирање на таканаречен распоред на засилувањето за PID контролерите. Променливите за кои се прави распоред се отвореноста на спроводниот апарат и големината на брзинската грешка. Но, во пракса повеќето од управувањата се проектирани на линеаризиран математички модел на хидраулична турбина во една од работните точки т.е. при определено оптоварување на мрежата, и потоа контролерот се подесува повторно за да може да обезбеди разумно добра стабилност и регулација на брзината при најлошите услови за работа [22], [25]. Последица на овој метод е што управувањето проектирано по определен критериум за оптималност, најверојатно нема да овозможи оптимални перформанси во другите услови на работа. Исто така, не постои гаранција дека системот со повратна врска ќе остане стабилен при сите работни услови, освен ако не се спроведат исцрпни анализи за стабилноста на системот.

Иако хидрауличната турбина е високо нелинеарна, параметрите и се менуваат со текот на времето и е мултиваријабилна, сепак при проектирањето на управувањето ќе мора да се направи компромис т.е. управувањето ќе се проектира на линеаризираниот математички модел на хидраулична турбина, бидејќи земањето во предвид на напредните техники на управување кои ги опфаќаат сите фактори е сеуште недоволно истражено подрачје и е надвор од подрачјето кое го обработува оваа тема, иако ќе биде опфатено во понатамошната работа.

Примарните функции на управувањето на хидрауличната турбина кога управува со постројка која е поврзана во производство на електрична енергија се:

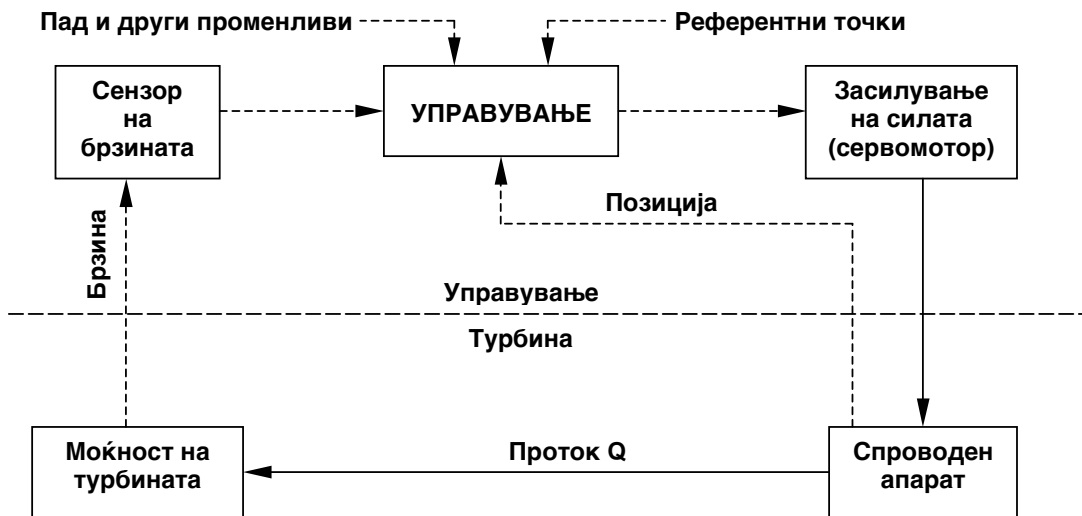
- Да ја одржува и прилагодува брзината на хидропостројката пред вклучувањето на постројката во мрежа
- Да ја одржува фреквенцијата на системот по промената на излезот на турбината
- Кога работи паралелно со други постројки да изврши распределба на оптоварувањето на мрежата, како и на неговите промени така како што е претходно дефинирано, во зависност од грешката на фреквенцијата на системот
- Да го одржува излезот од системот при интервенции од страна на ракувачите со постројката
- Да ја заштити постројката од неконтролиран побег при непредвидена изолација од оптоварувањето на мрежата, или да иницијализира исклучување при некои услови кои се неприфатливи.

Управувањето е посебно важно кај хидропостројки кои што користат автоматизирани вклучувања и исклучувања. Кај изолиран систем и со единечна генераторска постројка, управувањето управува со фреквенцијата, додека кај поголем систем, управувањето покрај со фреквенцијата управува и со оптоварувањето на постројката.

Управувањето со хидраулична турбина има три главни делови покажани на слика 4.1, и тие се:

- Сензор на брзината кој ја отчитува брзината на турбината и обезбедува одзив пропорционален на брзината
- Управување кое ја споредува брзината на хидрауличната турбина со посакуваната (референтна) брзина и обезбедува на излез управувачки сигнал
- Засилувач на моќноста кој произведува механичка сила потребна за позиционирање на спроводниот апарат во зависност од управувачкиот сигнал на управувањето.





Слика 4.1: Блок дијаграм на систем хидраулична турбина - управување

Треба да се нагласи дека секое управување треба да биде проектирано со внимателна анализа на последиците од негово откажување, како и за работа во таканаречен "fail-safe" или сигурен режим на работа, без откажувања. За да се изведе тоа, ќе треба да се изведе таканаречена "cost-benefit" анализа на редундантни компоненти, секундарни автоматски или рачни системи, како и при проектирањето да се применуваат докажани и сигурни модели.

Треба да се нагласи дека постои доволно простор за проектирање и оптимизација на перформансите на управувањето со хидрауличната турбина дури и во лимитираната структура на PID контролерот.

#### 4.2 ИЗБОР НА МОДЕЛ НА ОБЈЕКТ НА УПРАВУВАЊЕ - ХИДРОПОСТРОЈКА

Бидејќи законите на управување со хидрауличната турбина припаѓаат на групата линеарни закони за управување ќе бидат изведени за линеарниот математички модел на хидрауличната постројка дефиниран во претходните поглавја со равенките (3.74), (3.75), (3.76) и (3.77), кои претставуваат линеаризирани верзии на равенките (3.68), (3.70) и (3.71) околу иницијалната работна точка на хидрауличната постројка. Равенките кои го карактеризираат линеарниот модел на хидраулична постројка се:

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta c} = \frac{\left[ \frac{\partial q}{\partial c} \frac{\partial P_m}{\partial q} - T_w s \frac{\partial P_m}{\partial h} \frac{\partial q}{\partial c} \right]}{1 + T_w s \frac{\partial q}{\partial h}} \quad (4.1)$$

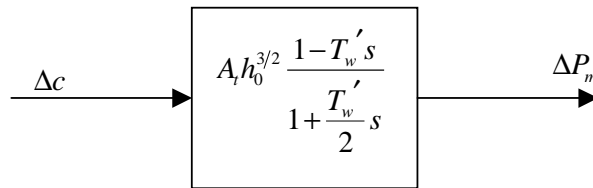
каде парцијалните изводи се:

$$\frac{\partial q}{\partial h} = \frac{1}{2} \frac{c_0}{\sqrt{h_0}} \quad \frac{\partial q}{\partial c} = \sqrt{h_0} \quad \frac{\partial P_m}{\partial q} = A_t h_0 \quad \frac{\partial P_m}{\partial h} = A_t (q_0 - q_{nl}) \approx A_t q_0 \quad (4.2)$$

Наставката “0” претставува почетна вредност. Со замена во равенката (4.1) и земајќи во предвид дека  $q_0 = c_0 \sqrt{h_0}$  се добива:

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta c} = A_t h_0^{3/2} \frac{1 - T_w' s}{1 + \frac{T_w'}{2} s} \quad (4.3)$$

каде  $T_w' = T_w \frac{q_0}{h_0} = \frac{L}{Ag} \frac{Q_0}{H_0}$  е време на поаѓање на водата, кое зависи од вредностите на протокот и притисокот околу работната точка, со што зависи и од оптоварувањето. Вообичаено  $T_w'$  е помеѓу 0,5 и 5 секунди. Ако е потребно константата  $A_t$  може да се апсорбира во отвореноста на спроводниот апарат, кога таа ефикасно врши конверзија меѓу отвореноста на спроводниот апарат и единечната моќност на хидрауличната турбина во однос на моќноста на генераторот во MVA. Блок дијаграмот на линеарниот модел на хидраулична турбина е прикажан на слика 4.2.



Слика 4.2: Блок дијаграм на линеарниот модел на хидраулична турбина

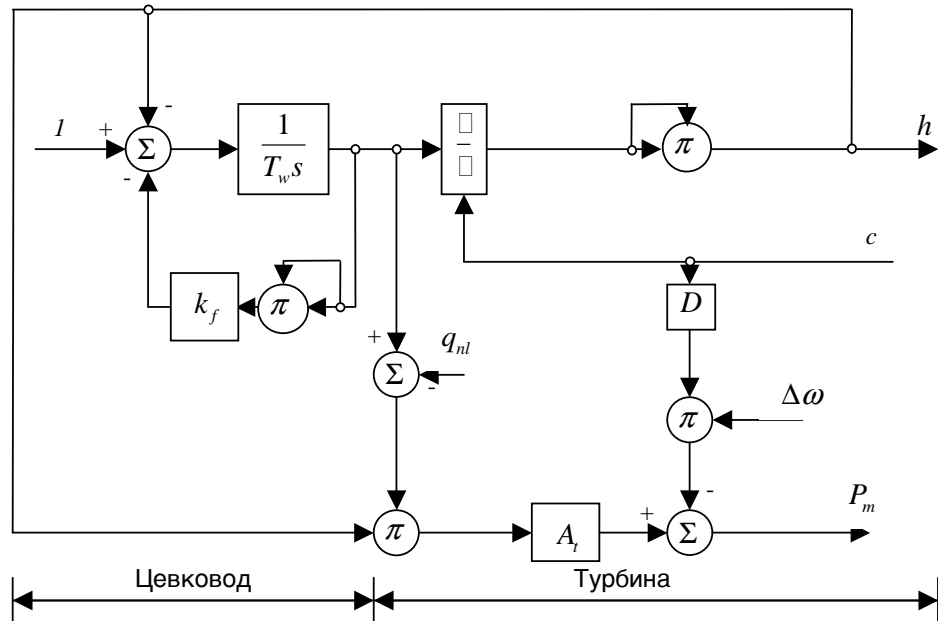
Законите на управување што ќе се проектираат за линеарниот математички модел на хидраулична постројка дефиниран со равенките (4.1), (4.2) и (4.3), потоа ќе се применат на нелинеарниот математички модел на хидраулична постројка дефиниран со следните равенки дефинирани во претходните поглавја, со цел да се анализира влијанието на добиените закони на управување врз нелинеарен објект на управување:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{1}{T_w} (1 - h_t - h) \quad (4.4)$$

$$q = c \sqrt{h} \quad (4.5)$$

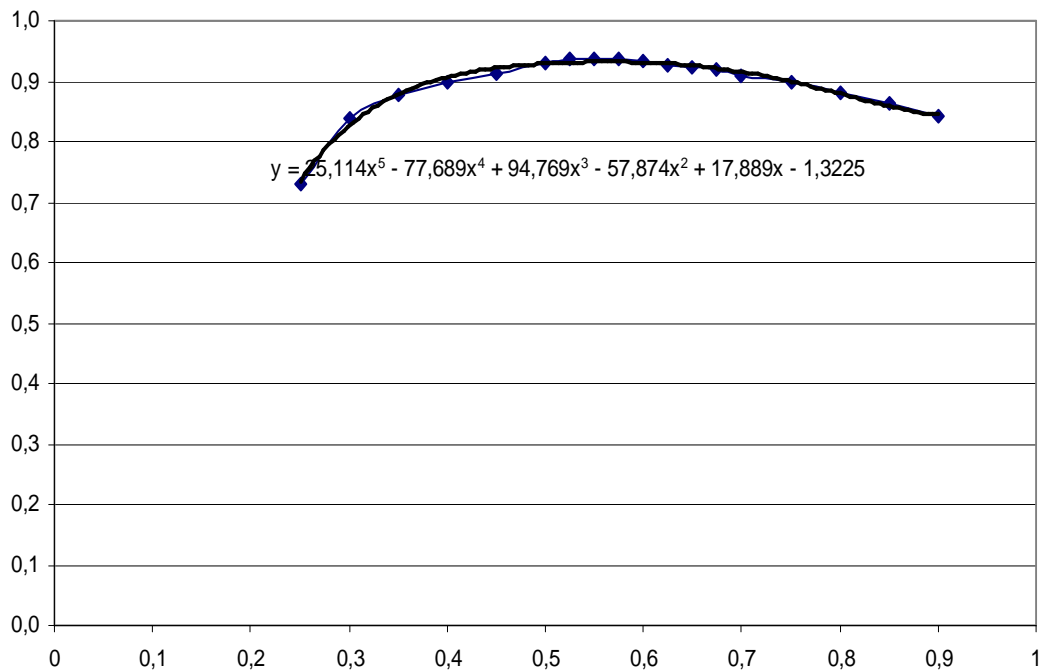
$$P_m = A_t h (q - q_{nl}) - Dc \Delta \omega \quad (4.6)$$

На слика 4.3 е прикажан блок дијаграмот на нелинеарниот модел на цевковод и турбина дефиниран со равенките (4.4), (4.5) и (4.6):



Слика 4.3: Блок дијаграм на нелинеарен модел на хидраулична турбина

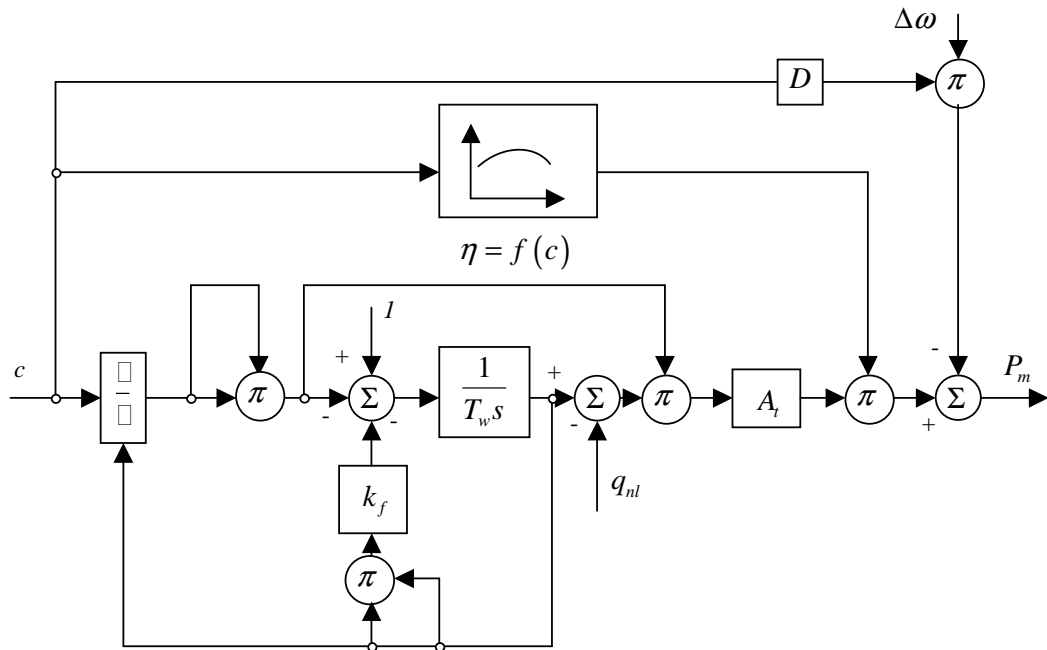
Исто така законите на управување ќе се применат и на модифицираниот нелинеарен математички модел на хидраулична постројка со емпириската зависност  $\eta = f(c)$  која е дефинирана со следната емпирирска равенка произлезена од дијаграмот на слика 4.4 добиен со моделски испитувања на реален модел на хидраулична турбина:



Слика 4.4: Зависност помеѓу отвореноста на спроводниот апарат и коефициентот на полезно дејство  $\eta = f(c)$

$$\eta = 25.114c^5 - 77.689c^4 + 94.769c^3 - 57.874c^2 + 17.889c - 1.3225 \quad (4.7)$$

Блок дијаграмот на модифицираниот нелинеарен модел на турбинска постројка е прикажан на слика 4.5.



Слика 4.5: Модифициран нелинеарен блок дијаграм на турбинска постројка со зависноста помеѓу отвореноста на спроводниот апарат и коефициентот на полезно дејство  $\eta = f(c)$

### 4.3 ЗАКОНИ НА УПРАВУВАЊЕ

Законите на управување со хидрауличната турбина кои што ќе бидат опишани во понатамошните поглавја припаѓаат на групата линеарни закони на управување и тие се: Пропорционално управување (P), Пропорционално интегрално управување (PI), Пропорционално интегрално деривативно управување (PID) и Робустно управување т.е. проектирање на таканаречен Robust контролер.

Линеарните закони на управување ќе се проектираат за линеаризираниот математички модел на хидраулична турбина, за потоа да се применат на нелинеарните модели на хидраулична турбина како и на модифицираните модели на хидраулична турбина со аналитичките функции добиени од моделските испитувања на францис турбина.

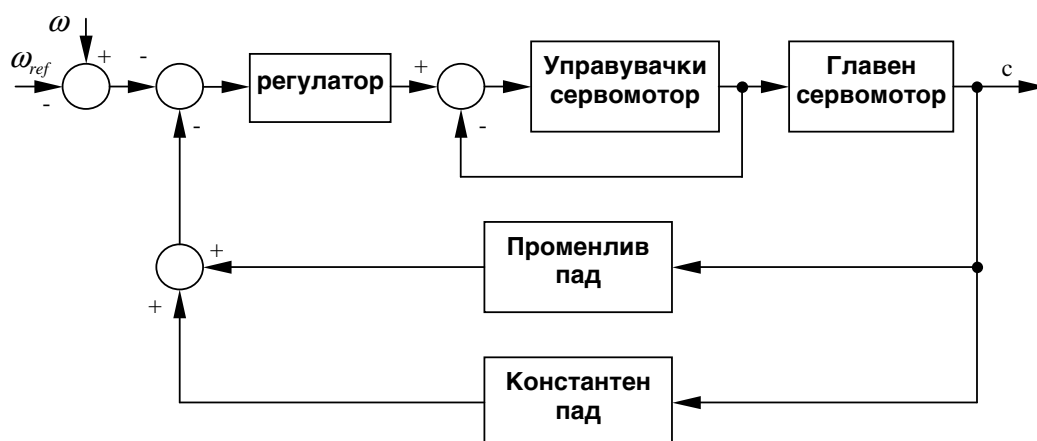
Проектирањето на линеарните закони на управување е своевиден компромис бидејќи примената на напредните техники на управување кои ги опфаќаат нелинеарните закони на управување се сеуште недоволно истражени, како во теоријата така и во праксата.

### 4.3.1 ПРОПОРЦИОНАЛНО УПРАВУВАЊЕ

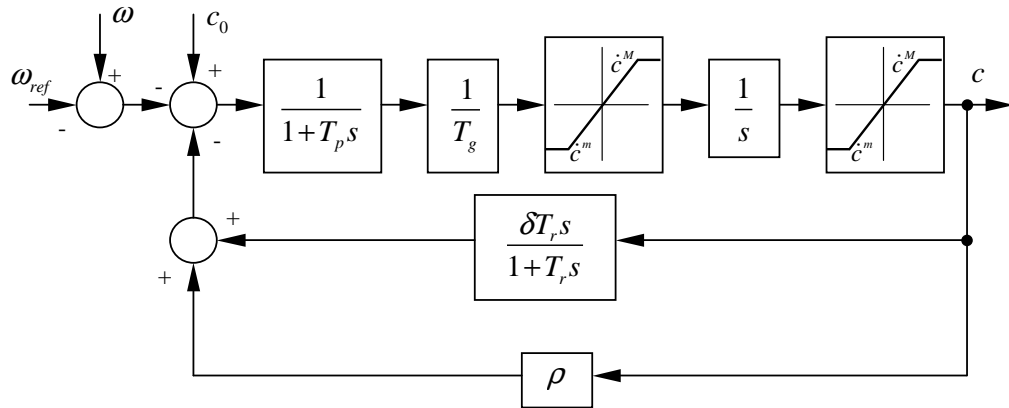
Хидрауличните турбини поради нивните иницијални инверзни карактеристики на одзивот кога излез е моќноста за влез промена на отвореноста на спроводниот апарат (слика 3.12), имаат потреба од обезбедување на променлив пад во повратна врска на управувањето со брзината за да се добијат стабилни управувачки перформанси. Изразот "променлив пад" означува дека при брзи промени во фреквенцијата, управувањето обезбедува висока регулација (ниско засилување) со цел да се обезбеди стабилно управување на брзината.

За мали промени на фреквенцијата, како и во стабилна состојба, управувањето обезбедува нормална ниска регулација (високо засилување) што се остварува со помош на таканаречениот константен или статички пад. Константниот пад ја дефинира регулацијата на брзината при стабилна состојба. Тој се дефинира како пад на брзината во проценти или во бездимензионални единечни големини, која треба да го придвижи спроводниот апарат од минимум до максимум отвореност без промена на референтната брзина. Елементот со променлив пад овозможува намалување на почетната брзина на спроводниот апарат за да водниот ток во цевководот може да ги стигне лопатките на спроводниот апарат и да се прилагоди на нивното придвижување. За да го постигне тоа тој го намалува засилувањето на управувачкиот елемент при брзи промени на отвореноста на спроводниот апарат.

Функцискиот блок дијаграм на математичкиот модел на пропорционално управување со променлив пад во повратна врска е прикажан на слика 4.6. Од слика 4.6 може да се види дека управувањето на хидрауличната турбина содржи два сервомотори со цел да се обезбеди доволна сила за придвижување на лопатките на спроводниот апарат, при што управувачкиот сервомотор управува со главниот сервомотор кој е со далеку поголеми димензии. За да се обезбеди бараното движење на лопатките на спроводниот апарат треба да се обезбеди негативна повратна врска по позицијата на двата сервомотори, како што е покажано на слика 4.6



Слика 4.6: Функциски блок дијаграм на систем на пропорционално управување на хидраулична турбина



Слика 4.7: Блок дијаграм на систем на пропорционално управување на хидраулична турбина

Главниот сервомотор е моделиран со интегрирачки елемент, со време на интеграција  $T_g$ , и два ограничувачи. Првиот ограничувач ја ограничува отвореноста на спроводниот апарат помеѓу потполно отворен и потполно затворен, додека вториот е ограничувач на брзината на отворање и затворање на спроводниот апарат. Ограничувањето на брзината е многу важно бидејќи ако спроводниот апарат се затвори премногу брзо, може да дојде до појава на хидрауличен удар кој може да ја оштети целата хидраулична постројка, како и цевководот. Бидејќи е избран единечен мерен систем, со максимална отвореност на спроводниот апарат која е единица, ограничувањето на брзината мора да се дефинира како делови од максималната отвореност на спроводниот апарат во секунда. Управувачкиот сервомотор е моделиран со повратна врска по позицијата, и со доцнење од прв ред со временска константа  $T_p$ .

Системот има две главни повратни врски. Пропорционалната повратна врска обезбедува карактеристика на константен (статички) пад чија вредност е  $\rho$ , додека повратната врска со диференцијалниот елемент врши корекција на променливиот пад на вредност  $\delta$ . Типични вредности на параметрите препорачани од [20] се:  $T_p = 0.04[s]$ ,  $T_g = 0.2[s]$ ,  $T_r = 5T_w$ ,  $\delta = 2.5T_w/T_m$  и  $\rho = 0.03 \div 0.06$  каде  $T_w$  е време на поаѓање на водата додека  $T_m$  е механичка временска константа на постројката.

Ако се занемарат нелинеарностите кои ограничувачите ги внесуваат во математичкиот модел, тогаш можеме да добиеме преносна функција од трет ред која го опишува системот за управување на хидрауличната турбина:

$$\frac{\Delta c}{\Delta \omega} = \frac{(1+T_r s)}{\frac{T_p T_r T_g}{\rho} s^3 + \frac{(T_p + T_r) T_g}{\rho} s^2 + \frac{T_g + T_r (\rho + \delta)}{\rho} s + 1} \quad (4.8)$$

Во равенката (4.8), според блок дијаграмот на систем на пропорционално управување на хидраулична турбина прикажан на слика 4.7 се употребени следните ознаки:

$T_p$  - временска константа на управувачкиот вентил

$T_g$  - временска константа на главниот вентил

$\rho$  - коефициент на константниот (статички) пад во повратна врска

$\delta$  - коефициент на променливиот пад во повратна врска

$T_r$  - време на повторно поставување на системот или временска константа на пригушна перница

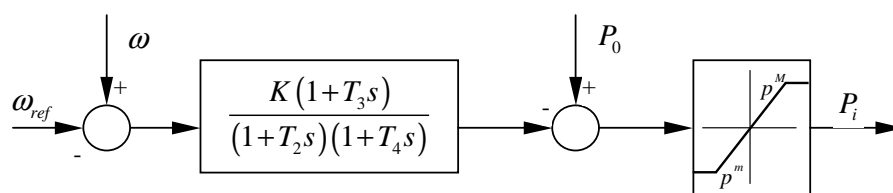
Бидејќи временската константа  $T_p$  е неколку пати помала од временските константи  $T_g$  и  $T_r$ , таа може да се занемари со цел да се добие преносна функција од втор ред:

$$\frac{\Delta c}{\Delta \omega} = \frac{K(1+T_3s)}{(1+T_2s)(1+T_4s)} \quad (4.9)$$

каде:

$$K = \frac{1}{\rho}, T_2 \approx \frac{T_r T_g}{[T_g + T_r(\rho + \delta)]}, T_3 = T_r \text{ и } T_4 = \frac{[T_g + T_r(\rho + \delta)]}{\rho}$$

вообичаено  $T_4 \gg T_2$ , од што произлегува  $T_2 + T_4 \approx T_4$ . Ако на добиената преносна функција додадеме ограничувач на спроводниот апарат ќе го добиеме поедноставениот блок дијаграм на пропорционално управување на хидраулична турбина со константен и променлив пад прикажан на слика 4.8.



**Слика 4.8:** Поедноставен блок дијаграм на систем на пропорционално управување на хидраулична турбина

Типични вредности на параметрите според [20] се дадени во табела 4.1:

$\rho$	$T_1$ [s]	$T_2$ [s]	$T_3$ [s]	$T_4$ [s]
0.02-0.04	-	0.5	5	50

**Табела 4.1:** Типични вредности на параметрите на математичкиот модел од равенка (4.2)

Според [6] ако ја претставиме преносната функција во директна гранка:

$$g_1 = \frac{1}{\rho \left(1 + \frac{s}{\rho}\right)} \quad (4.10)$$

и инверзната преносна функција во повратната гранка:

$$\frac{1}{h_1} = \frac{1 + sT_r}{sT_r\delta} \quad (4.11)$$

под услов дека  $T_p$  е многу помал од  $T_r$  и да се занемарат нелинеарностите на ограничувањата на позицијата и брзината. Преносната функција на затворено коло тогаш ќе биде:

$$G = \frac{g_1}{1 + g_1 h_1} \quad (4.12)$$

ако  $g_1 \ll 1/h_1$  тогаш  $g_1 h_1 \ll 1$  и преносната функција на затворено коло е приближно  $G \approx g_1$ , додека ако  $1/h_1 \ll g_1$  тогаш  $g_1 h_1 \gg 1$  и преносната функција на затворено коло е приближно  $G \approx 1/h_1$ . Оттука одзивот на системот со затворено коло може да се апроксимира ако се нацртаат  $g_1$  и  $1/h_1$  и ако се избераат најмалите одзиви од двете засилувања при било која фреквенција како апроксимација на одзивот на системот со затворено коло при истата фреквенција. Тоа е прикажано на слика 4.9.

На слика 4.9 се гледа дека брзинското управувачко коло ќе има приближно засилување од  $1/\rho$  во стабилна состојба и при мали фреквенции и "променливо" засилување  $1/\delta$  за фреквенции над  $1/T_r$ . Еквивалентна временска константа  $1/\delta$  [s] ќе резултира од втората пресечна точка на дијаграмите на  $g_1$  и  $1/h_1$ .

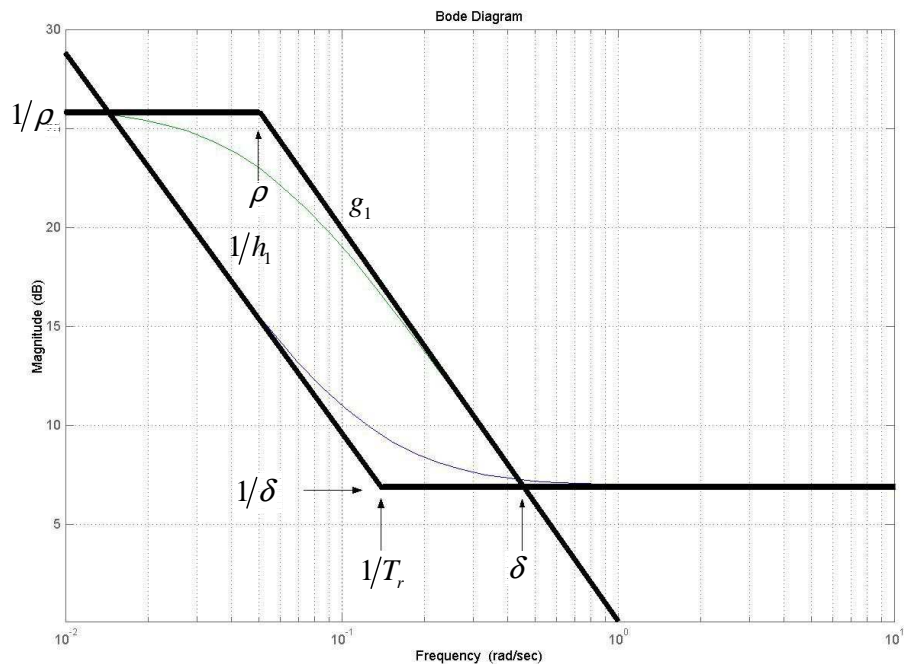
Според [6] колото за брзинска регулација ќе има прифатлива стабилност ако:

- Преодното засилување  $1/\delta$  не премине вредност:

$$\frac{1}{\delta} \leq 1.5 \frac{H}{T_w} \quad (4.13)$$

- Фреквенцијата каде бодовиот дијаграм ја сече хоризонталната оска  $W_c \approx 1/2H\delta$  се наоѓа во подрачјето помеѓу  $1/T_r$  и  $\delta$ . Со тоа се намалува доцнењето на фазата под дејство на управувањето.





**Слика 4.9:** Апроксимација на бодеовиот дијаграм на одзивот на системот дефиниран со равенките (4.10), (4.11) и (4.12)

Според [6] препорачано е да се пресметува променливиот пад според:

$$\delta = \frac{T_w}{H [1.15 - (T_w - 1)0.075]} \quad (4.14)$$

Каде  $H [s]$  е инерцијална временска константа.

Равенката (4.14) резултира со фреквенција на пресек блиску до  $1/2T_w$  и поради тоа го задоволува првото барање.

Исто така според [6] се препорачува константата  $T_r$  да се пресметува според:

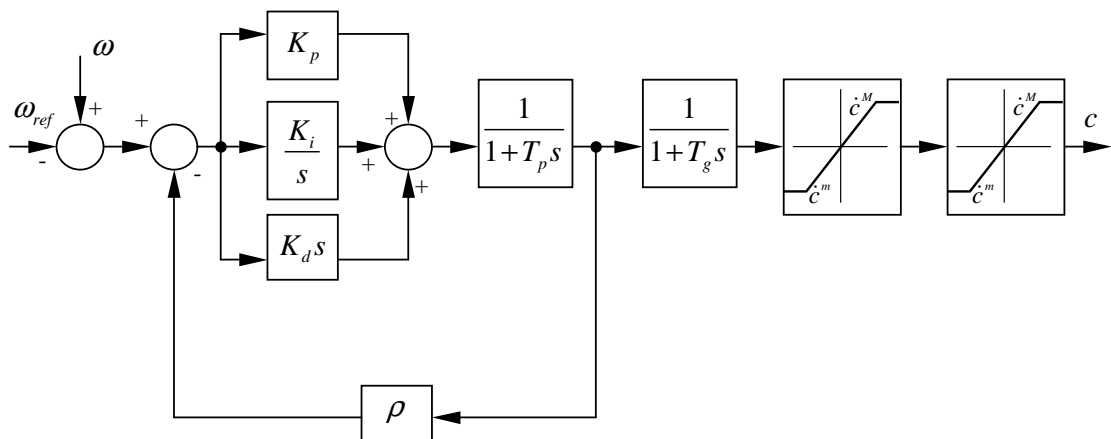
$$T_r = T_w [5 - (T_w - 1)0.5] \quad (4.15)$$

За фреквенции на пресек околу  $1/2T_w$ , вредностите на  $1/T_r$  се од ред  $1/5T_w$  и го минимизираат нискофреквентното фазно доцнење под дејство на управувањето.

Треба да се наведе дека засилувањето на сервомоторите треба да биде многу големо, помеѓу 5 и 10 [6] со што го минимизира високофреквентното фазно доцнење под дејство на управувањето.

#### 4.3.2 ПРОПОРЦИОНАЛНО - ИНТЕГРАЛНО - ДЕРИВАТИВНО (ПИД) УПРАВУВАЊЕ

Во многу случаи потребни се покомлексни облици т.е. закони на управување од пропорционалното управување, без разлика дали е вклучен променливиот пад или не. Поради тоа се преминало на закон на управување кој ги инкорпорира и интегралната и деривативната акција. Така се доаѓа до таканареченото пропорционално-интегрално-деривативно (ПИД) управување, кое е прикажано на слика 4.10.



Слика 4.10: Блок дијаграм на ПИД управување вклучувајќи динамика на сервомоторите

ПИД управувањето е еден од најкористените закони на управување во хидрауличните постројки за производство на електрична енергија. ПИД управувањето може да биде имплементирано како механичко, пневматско, електрично или како што е најприменето сега како компјутерско управување. ПИД управувањето е лесно за поставување и конфигурирање, со цел да обезбеди можности за подобрување во извршувањето на законот на управување. Главната предност на користење на дигитални контролери е дека е поосетлив на мали грешки и е поспособен за брза реакција, од другите типови. Дополнително дигиталните контролери можат со сигурност да се репродуцираат и да произведат идентични одзиви од сите постројки кои се вклучени во мрежа, за разлика од механичките или електричните контролери. Многу важна карактеристика на ПИД контролерите, посебно на дигиталните ПИД контролери е тоа што трите параметри можат одделно да се подесуваат, оттука контролерот може точно да се подеси на вредностите кои се потребни за соодветната хидраулична постројка.

Пропорционалниот член на контролерот произведува управувачки сигнал пропорционален на грешката во системот, така што:

$$u(t) = K_p e(t) \quad (4.16)$$

каде што  $u(t)$  е излезот од контролерот, додека  $e(t)$  е сигналот на грешка, а  $K_p$  е коефициент на пропорционално засилување. Начинот на дејство е следен: ако во

системот се појави отскачна промена во управуваната променлива, ниските вредности на  $K_p$  ќе овозможат стабилен одзив, но грешката во стабилна состојба ќе биде голема. Големите вредности на  $K_p$  овозможуваат подобри перформанси во стабилна состојба, но полош преоден одзив. Оттука дејството на пропорционалниот член се користи за намалување на грешката во стабилна состојба, иако со зголемување на коефициентот на пропорционално засилување  $K_p$  се намалуваат временската константа и придушувањето на системот. Пропорционалниот член никогаш не може да ја елиминира грешката во стабилна состојба, бидејќи секогаш ќе постои некоја грешка, што ќе обезбеди продукција на управувачки излез.

Вообичаен начин за намалување на грешката во стабилна состојба е со вклучување на интегрален член во контролерот. Кај интегралниот член управувачкиот сигнал е пропорционален на интегралот на сигналот на грешка, така што:

$$u(t) = K_i \int e(t) dt \quad (4.17)$$

каде што  $K_i$  е коефициент на интегралното засилување. Се додека постои сигнал на грешка, интеграторот тежи да го зголеми управувачкиот сигнал, при што ја води постројката кон посакуваниот излез. Откога ќе ја елиминира грешката, континуираниот управувачки излез се користи за одржување на управувачкиот сигнал неопходен за одржување на условите за стабилна состојба. Но, иако интегралниот член ја елиминира грешката во стабилна состојба, тоа го постигнува на сметка на стабилноста, т.е. ја намалува стабилноста на системот. Тоа се случува бидејќи интегралниот член ја зголемува амплитудата на осцилирање и времето на смирување со внесување на дополнителни  $90^\circ$  фазно доцнење на сите фреквенции, поради внесување на пол во координатниот почеток, што ги намалува претекот на фаза и засилување.

Со цел да се намалат осцилациите се додава трет член во контролерот, кој обезбедува управувачки сигнал пропорционален на временскиот извод (брзина на промена) на сигналот на грешка така што:

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4.18)$$

каде што  $K_d$  е коефициентот на деривативно засилување. Бидејќи излезниот управувачки сигнал реагира само на брзината на промена на сигналот на грешка, тој нема никаков ефект на работата во стабилна состојба, каде што брзината на промена на грешката е нула. Чистата деривативна повратна врска не е практична за имплементација и најчесто се користи како комбинација со пропорционалното и/или интегралното засилување со цел да се зголеми придушувањето на системот. Деривативниот член внесува предничење на фазата за  $90^\circ$ , со внесување на нула во координатниот почеток, што го зголемува претекот на фаза на системот и со тоа го зголемува придушувањето на системот. Зголемувањето на претекот на фазата овозможува да се користат повисоки вредности на  $K_p$  и  $K_i$  отколку кога не би се користеле во комбинација.

Вкупната преносна функција на ПИД контролерот прикажан на слика 4.10 со занемарување на динамиката на сервомоторите е:

$$G(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (4.19)$$

често преносната функција на ПИД контролерот може да се напише преку интегралната и деривативната временска константа:

$$G(s) = K_p \left[ 1 + \frac{1}{sT_i} + T_d s \right] \quad (4.20)$$

каде што:

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} - \text{интегрална временска константа}$$

$$T_d = \frac{K_d}{K_p} - \text{деривативна временска константа}$$

Најчесто користена комбинација на два члена од ПИД контролерот е комбинацијата помеѓу пропорционалниот и интегралниот член т.е. ПИ контролер, чија преносна функција е:

$$G(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (4.21)$$

ПИ контролерот ги користи предностите на пропорционалниот и на интегралниот член бидејќи поради внесувањето на пол во координатниот почеток се елиминира грешката во стабилна состојба, додека поради внесување на нула во  $-1/T_i$  се намалува амплитудата на осцилациите и се елиминира намалувањето на претекот на фазата и засилувањето. Ако од слика 4.6 се занемари деривативниот член и динамиката на сервомоторите тогаш преносната функција на системот во директна гранка  $g_1$  е:

$$g_1 = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (4.22)$$

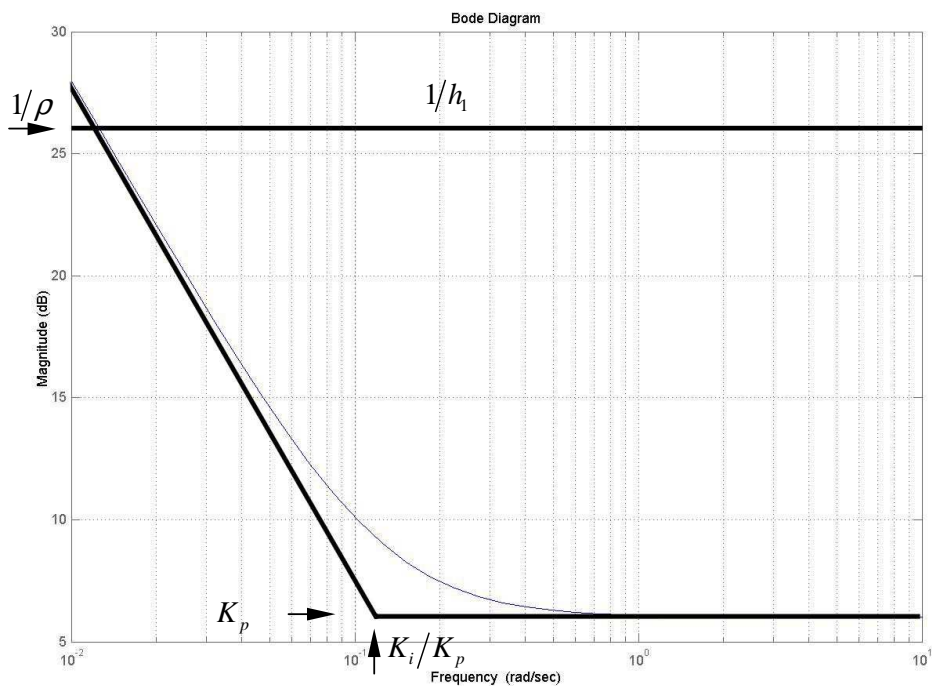
додека инверзната преносна функција во повратна гранка  $1/h_1$  е:

$$\frac{1}{h_1} = \frac{1}{\rho} \quad (4.23)$$

Ако се нацрта бодеовиот дијаграм за преносните функции  $g_1$  и  $1/h_1$  земајќи ја во предвид анализата изведена во поглавјето 4.3.1 и прикажана на слика 4.9 и споредувајќи го бодеовиот дијаграм т.е. одзивите во фреквентен домен на слика 4.11

со тој на слика 4.9 може да се заклучи дека двете управувања обезбедуваат зголемување на променливиот пад.

Целите на подесувањето се идентични во двата случаи т.е. променливиот пад  $\delta$  е дефиниран со  $1/K_p$  додека  $K_p/K_i$  е еднакво на времето на повторно поставување на системот  $T_r$ . Единствено треба да се внимава фреквенцијата на пресек да не биде блиску до инверзите на временските константи на помалиот сервомотор т.е. управувачкиот сервомотор  $1/T_p$ .



**Слика 4.11:** Апроксимација на бодеовиот дијаграм на одзивот на системот дефиниран со равенките (4.21), (4.22) и (4.23)

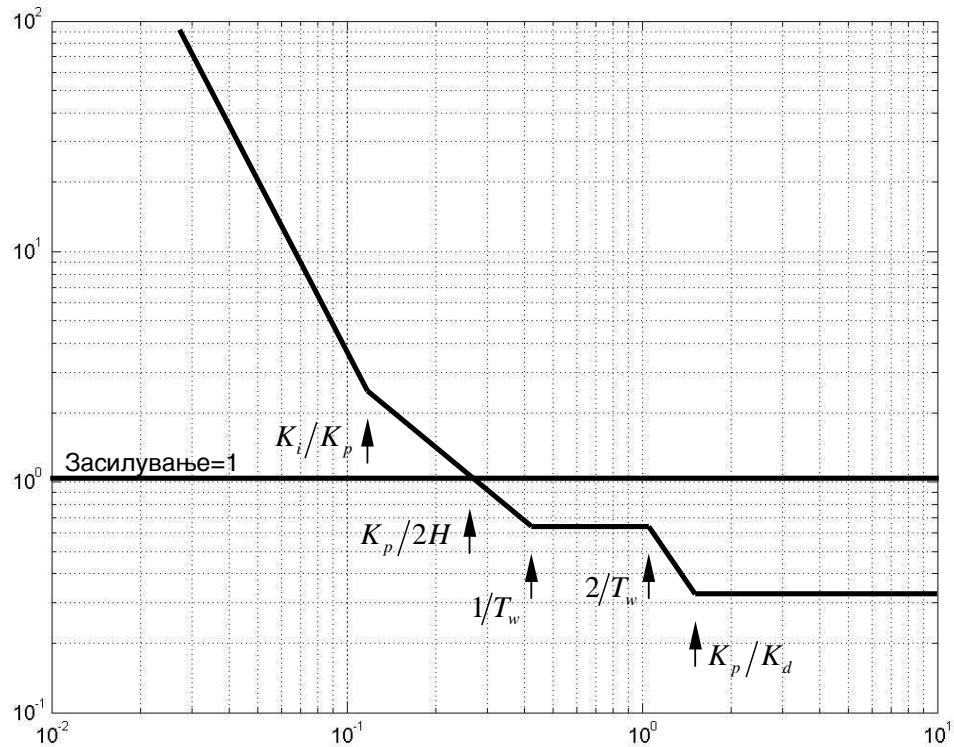
Ако извршиме анализа на ПИД контролерот прикажан на слика 4.10 и дефиниран со равенките (4.19) и (4.20) ќе заклучиме дека целта на воведувањето на деривативниот член е да ја помести фреквенцијата на премин надвор од ограничувањата што ги наметнува ПИ контролерот. Ако се изведе подесување на ПИД контролерот препорачано во [6] ќе добиеме:

$$\delta = \frac{1}{K_p} = 0.625 \frac{T_w}{H} \quad (4.24)$$

$$T_r = \frac{K_p}{K_i} = 3.33 T_w \quad (4.25)$$

$$\frac{K_p}{K_d} > \frac{3}{T_w} \quad (4.26)$$

Фреквентниот одзив т.е. бодеовиот дијаграм за подесувањата според равенките (4.24), (4.25) и (4.26) е прикажан на слика 4.12.



**Слика 4.12:** Апроксимација на бодеовиот дијаграм на одзивот на системот дефиниран со равенките (4.19) и (4.20)

Променливото засилување  $1/\delta$  се зголемува за 60% преку вообичаените ПИ вредности. Тоа резултира и со околу 60% зголемување на фреквенцијата на премин, и поради тоа се зголемува брзината на одзив на контролерот. Штетните последици по стабилноста се спречени од предничењето на фазата, кое е последица на деривативниот член. Сепак постои ризик дека растот на амплитудата поради деривативниот член, во комбинација со хидрауличниот систем, можат да резултираат со втор преод на повисоки фреквенции. Тоа во комбинација со високото доцнење на фаза на овие фреквенции, со сигурност ќе резултира со нестабилност на управувачкото коло. Поради се претходно наведено е воведен минимален лимит на вредноста на  $K_p/K_d$  дефиниран со равенката (4.26). Посебно треба да се нагласи дека во пракса не може да се реализира идеален диференцијатор, па поради тоа најчесто се користи водечки компензатор, т.е. компензатор со еден пол и една нула, каде што нулата е поблиску до координатниот почеток од полот т.е. таа е побрза од полот.

Принципите на ПИД управувањето можат да се применат и во дигиталното управување, при што математичкиот модел на контролерот се трансформира во

дискретен математички модел со помош на билинеарната апроксимација за да се добие:

$$G(z) = K_p + K_i \frac{T_{sa}(z+1)}{2(z-1)} + K_d \frac{2(z-1)}{T_{sa}(z+1)} \quad (4.27)$$

каде:

$$z = e^{sT_{sa}}$$

$T_{sa}$  - време на семплирање.

Изборот на времето на семплирање е лимитирано со брзината на компјутерот и физичките можности на системот. Фреквенцијата на семплирање мора да биде еднаква на најмалку двапати поголема фреквенција од највисоката значајна фреквенција на сигналот. Брзините на семплирање користени во пракса, генерално се многу поголеми и може да бидат помеѓу 4 и 20 пати поголеми од фреквентниот опсег на системот.

#### 4.4 СТАБИЛНОСТ НА ПРОЕКТИРАНИТЕ ЗАКОНИ НА УПРАВУВАЊЕ ПРИ ИЗОЛИРАНА РАБОТА НА ХИДРАУЛИЧНАТА ПОСТРОЈКА

Во случај на изолирана работа на хидрауличната постројка управувањето мора да ја одржува фреквенцијата на системот константна, иако хидрауличните постројки во поголемиот дел од времето се поврзани на електричната мрежа, поради што при проектирањето на законот на управување мора да се земе во предвид динамиката на електричната мрежа. Од повеќето од хидрауличните постројки во некој период ќе се бара да обезбедат изолирано оптоварување без разлика дали случајно или намерно. На пример кога енергетскиот систем ќе се подели на помали мрежи. Дури и кога имаме изолирана работа, динамичките карактеристики на оптоварувањето на мрежата ќе варираат, и мораат да бидат земени во предвид при проектирањето на управувањето.

При дефинирањето на вкупната преносна функција на хидрауличните постројки, која го опфаќа објектот на управување и законот на управување, со цел на проучување на стабилноста се направени следните претпоставки:

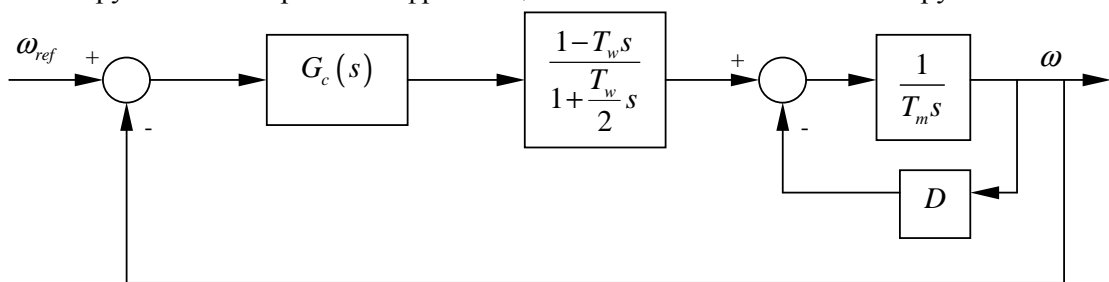
- хидрауличната постројка работи со мали промени на оптоварувањето
- водата е некомп्रेसибилна и не се зема во предвид елестичен ефект во цевководот. Исто така временската константа на водата се зема дека е константна при максимална вредност на оптоварувањето
- хидрауличната постројка работи во точка на дијаграмот излезна моќност - отвореност на спроводен апарат, таква што мала промена во позицијата на лопатките на спроводниот апарат ќе предизвика пропорционална промена на вртежниот момент во стална состојба т.е. претпоставена е линеарна зависност помеѓу отвореноста на спроводниот апарат и излезната моќност

- динамиката на спроводниот апарат е претпоставена доволно брза за да може да биде занемарена.

На слика 4.13 е прикажана хидрауличната постројка која се користи за проучување на стабилноста. Се користи линеарниот математички модел за хидраулична постројка дефиниран со равенката (4.3). Електричниот генератор е претставен преку механичката временска константа  $T_m = 2H [s]$  при што  $H$  претставува момент на инерција на електричниот генератор. Бидејќи се разгледува промената на фреквенцијата со промената на моќноста, тогаш динамиката на оптоварувањето се моделира со моделот на константна моќност дефиниран со равенката (4.28):

$$\Delta P = \Delta P_0 + D\Delta f \quad (4.28)$$

Каде што придушвањето на оптоварувањето  $D$  е пропорционално на оптоварувањето на мрежата и фреквенциската сензитивност на оптоварувањето.



**Слика 4.13:** Блок дијаграм на хидраулична постројка која вклучува управување, хидраулична турбина и електричен генератор

Од слика 4.13 може да се добие преносната функција на директна гранка:

$$G(s) = \frac{G_c(s)(1 - T_w s)}{\left(1 + \frac{T_w s}{2}\right)(T_m s + D)} \quad (4.29)$$

каде што  $G_c(s)$  е преносната функција на управувањето кое може да биде ПИД управување со преносната функција дефинирана со равенка (4.19) или (4.20)

#### 4.4.1 КРИТЕРИУМ НА СТАБИЛНОСТ ПО РОТ - ХУРВИЦ

Преодниот одзив на линеарен систем со затворено коло може да се одреди од позицијата на половите на затвореното коло на комплексната рамнина. Системот станува нестабилен ако барем еден од половите на затворено коло се наоѓа во десната комплексна полурамнина. Комплексните полови можат да се пресметаат со решавање на карактеристичната равенка на системот, дефинирана со следната равенка:



$$1 + GH = 0 \quad (4.30)$$

Ротовиот метод го одредува бројот на полиноми на затвореното коло во десната полурамнина користејќи ги коефициентите на карактеристичната равенка, без да ја решава карактеристичната равенка. Карактеристичната равенка на затворено коло може да се напише во полиномен облик со следната равенка:

$$A(s) = A_0 s^n + A_1 s^{n-1} + A_2 s^{n-2} + \dots + A_{n-1} s + A_n \quad (4.31)$$

Потребен услов за стабилноста на системот е сите решенија на равенката (4.31) да имаат негативен реален дел, што би значело дека сите коефициенти  $A_i$  треба да се позитивни. Ако некој од коефициентите е негативен или нула тогаш може да се покаже дека има полиноми на затворено коло во десната полурамнина или кои лежат на имагинарната оска. Но во секој случај овој тест не е доволен за стабилност.

Добро познатиот Ротов тест пресметува правоаголна матрица чии членови се функции од коефициентите  $A_i$ . Доволен услов за стабилност на системот е да сите членови на првата колона на матрицата се позитивни. Овој услов ќе биде искористен за да се добие аналитички израз за границите на стабилност на системот во зависност од вредностите на параметрите на хидрауличната постројка и управувањето.

Ако во равенка (4.30) ја замениме равенката (4.29) и според слика 4.13 видиме дека  $H(s) = 1$  ќе ја добиеме следната карактеристична равенка на системот:

$$\left[ K_p + K_d s + \frac{K_i}{s} \right] \left[ \frac{1 - T_w s}{1 + \frac{T_w}{2} s} \right] \left[ \frac{1}{T_m s + D} \right] + 1 = 0 \quad (4.32)$$

по средување се добива:

$$s^3 (0.5 - X_3) + s^2 (X_3 - X_1 + 1 + 0.5 X_4) + s (X_1 - X_1 X_2 + X_4) + X_1 X_2 = 0 \quad (4.33)$$

каде што:

$$X_1 = \frac{K_p T_w}{T_m}, \quad X_2 = \frac{K_i T_w}{K_p}, \quad X_3 = \frac{K_d}{T_m} \text{ и регулацијата на системот } X_4 = D \frac{T_w}{T_m}$$

**- Ротов критериум**

За да се одреди Ротовата табела коефициентите од карактеристичната равенка (4.33) се поставуваат во две редици почнувајќи со првиот и вториот коефициент и продолжувајќи со парните и непарните коефициенти. Оттука табелата може да се напише на следниот начин:

	$A_0s^3 + A_1s^2 + A_2s + A_3 = 0$	
$s^3$	$A_0$	$A_2$
$s^2$	$A_1$	$A_3$
$s^1$	$B_1 = -\frac{\det \begin{bmatrix} A_0 & A_2 \\ A_1 & A_3 \end{bmatrix}}{A_1}$	0
$s^0$	$C_1 = -\frac{\det \begin{bmatrix} A_1 & A_3 \\ B_1 & 0 \end{bmatrix}}{B_1}$	

Сите елементи на претходната табела т.е.  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $B_1$  и  $C_1$  треба да бидат позитивни, за да се обезбеди стабилен одзив т.е. да биде задоволен Ротовиот критериум за стабилност.

- $A_0$  ќе биде позитивно ако  $0.5 - X_3 > 0$  што подразбира  $X_3 < 0.5$ , од каде произлегува дека деривативната константа треба да биде  $K_d < 0.5T_m$
- $A_1$  ќе биде позитивно ако  $1 - X_1 + X_3 + 0.5X_4 > 0$  што резултира со  $X_1 < 1 + X_3 + 0.5X_4$
- $A_2$  ќе биде позитивно ако  $X_1 - X_1X_2 + X_4 > 0$  што резултира со  $X_2 < 1 + \frac{X_4}{X_1}$
- $A_3$  ( $C_1$ ) ќе биде позитивно ако  $X_1X_2 > 0$
- $B_1$  ќе биде позитивно ако  $A_1A_2 - A_0A_3 > 0$  што резултира со:

$$(1 - X_1 + X_3 + 0.5X_4)(X_1 - X_1X_2 + X_4) - (0.5 - X_3)(X_1X_2) > 0 \quad (4.34)$$

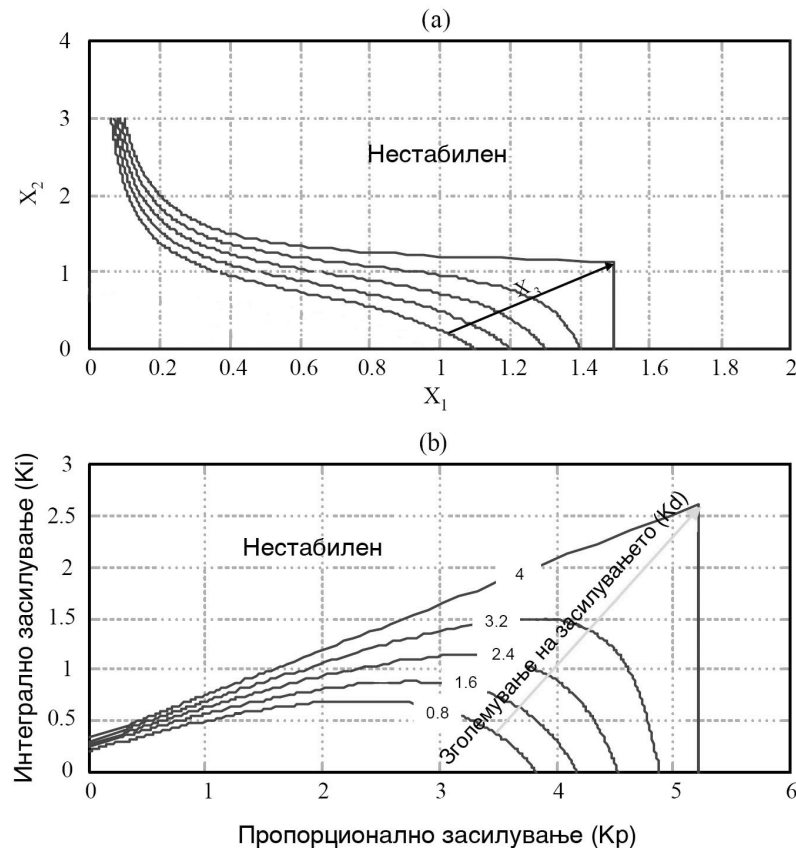
Ако сите претходно наведени услови се задоволени тогаш границите на стабилноста на системот ќе се постават ако равенката (4.34) се изедначи со нула, со што се добива:

$$X_1^2 (X_2 - 1) + X_1 (1 - 1.5X_2 + X_3 - 0.5X_4 - 0.5X_2X_4) + (X_4 + X_3X_4 + 0.5X_4^2) = 0 \quad (4.35)$$

#### 4.4.2 ГРАНИЦИ НА СТАБИЛНОСТА

За да се одредат границите на стабилноста треба да се реши равенката (4.35) и да се нацртаат зависностите помеѓу различните параметри. За да се направи тоа, искористен е софтверскиот пакет "MATLAB". На слика 4.14 се прикажани зависностите помеѓу  $X_1$  и  $X_2$  со промена на  $X_3$  во чекори од по 0.1, од 0 до 0.4, додека вредноста на  $X_4$  е фиксирана на 0.2. Ефектот на  $X_3$  е илустриран како зголемување на регионот на стабилност, со зголемување на вредноста на  $X_3$  кон нејзината граница на стабилност, која е дефинирана со првиот услов на Ротовиот критериум од претходното поглавје, т.е.  $X_3 < 0.5$ .

Добивката од дефинирањето на границите на стабилноста во зависност од  $X_1$  и  $X_2$  се согледува од нивната дефиниција, каде што може да се види дека се универзални параметри кои не зависат од ниту еден специфичен параметар на системот.



**Слика 4.14:** Приказ на границите на стабилност за  $X_4 = 0.2$

Треба да се напомене дека саморегулацијата на хидрауличната турбина и поврзаното оптоварување делуваат во насока да ги намалат промените на брзината и да ја

зголемат стабилноста на постројката, но бидејќи не може да се одреди големината на саморегулацијата, претпоставката за чисто активно оптоварување кај изолираниот систем ќе даде многу конзервативна процена на регулациските способности на хидрауличната постројка.

#### 4.4.3 МЕТОД НА ТРАГОВИ НА КОРЕНИ

Ефектот на промената на коефициентот на засилување на преносната функција на системот врз динамичкото однесување на системот, поврзан на изолирано оптоварување, се анализира со помош на методот на трагови на корени. Траговите на корени покажуваат какво е влијанието на коефициентот на засилување и на другите параметри на системот, врз положбата на половите во комплексната рамнина. Половите кои се наоѓаат во десната комплексна полурамнина, предизвикуваат нестабилност на системот и тие треба да се избегнуваат. Поради тоа половите треба да лежат во левата комплексна полурамнина, и тоа колку се полево, толку системот е постабилен, но со тоа се зголемува придушувачето на системот, т.е. се успорува системот. Од друга страна оддалеченоста на половите од реалната оска ја означува фреквенцијата на осцилирањето во преодниот одзив на системот т.е. тие полови што се блиску до реалната оска ќе имаат мала фреквенција, додека тие полови што се подалеку ќе имаат повисока фреквенција.

Системот е претставен со слика 4.13, додека преносната функција на отворено коло е дефинирана со равенка (4.29) која по замената на  $G_c(s)$  има облик:

$$G(s) = \frac{(K_p s + K_i + K_d s^2)(1 - T_w s)}{s \left(1 + \frac{1}{2} T_w s\right) (T_m s + D)} \quad (4.36)$$

додека по средувањето се добива следната равенка:

$$G(s) = \frac{-X_3 s^3 + s^2 (X_3 - X_1) + s (X_1 - X_1 X_2) + X_1 X_2}{s(1 + 0.5s)(s + X_4)} \quad (4.37)$$

каде што:

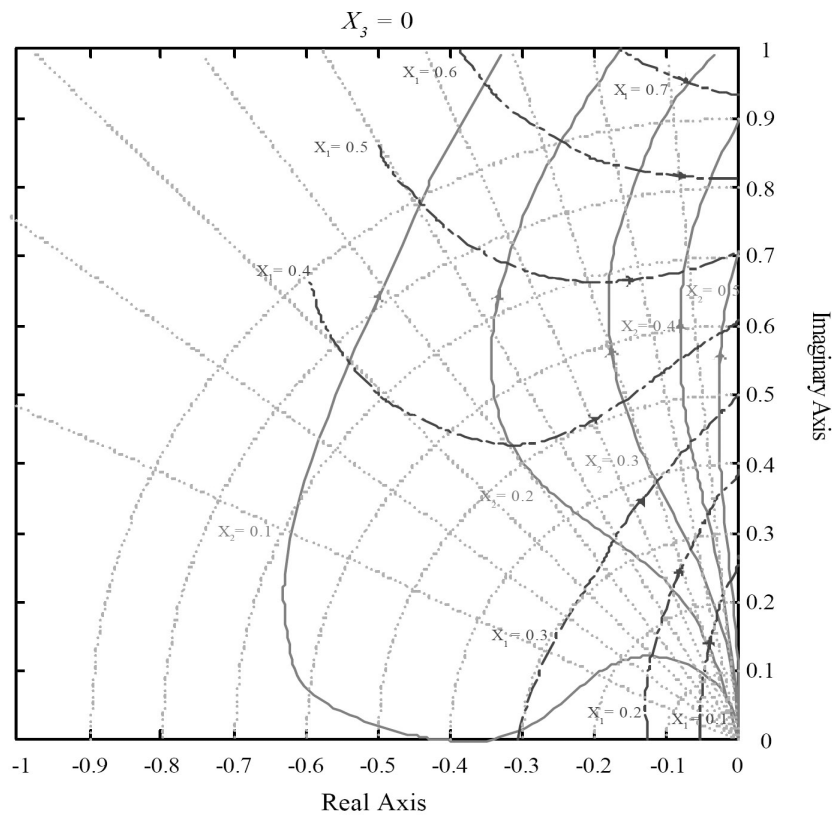
$$X_1 = \frac{K_p T_w}{T_m}, \quad X_2 = \frac{K_i T_w}{K_p}, \quad X_3 = \frac{K_d}{T_m} \text{ и регулацијата на системот } X_4 = D \frac{T_w}{T_m}$$

се дефинирани како во претходното поглавје.

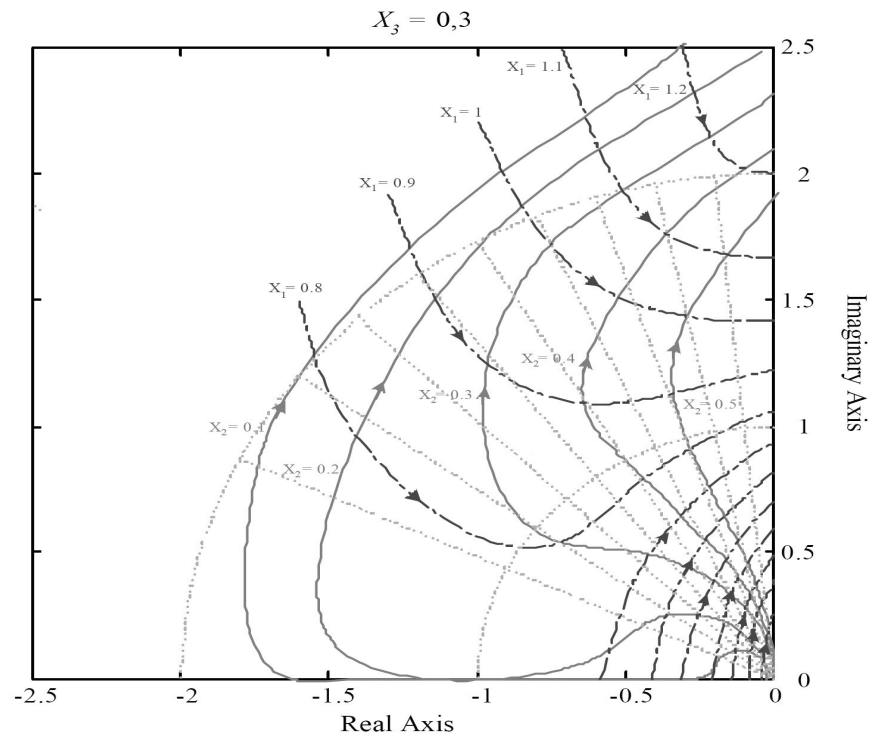
Промената на изгледот на траговите на корени кои се пресметуваат и цртаат со помош на софтверскиот пакет "MATLAB" се појавува при вредност на  $X_3 = 0.45$ . Положбата на корените на преносната функција на отворено коло на системот дефиниран со равенката (4.37) се користи при евалуација на стабилноста на системот. Ако се постави регулацијата на системот  $X_4 = 0$ , т.е. под претпоставка на оптоварување кое не се менува со фреквенцијата, тогаш траговите на корени при промена на вредностите на  $X_1$  и  $X_2$  за некои типични вредности на  $X_3$  се

претставени на слика 4.15, 4.16 и 4.17. На слика 4.15 е прикажан случајот кога  $X_3 = 0$ . Полните линии претставуваат трагови на корени за фиксирана вредност на  $X_2$  додека вредноста на  $X_1$  се менува. Се приметова дека кога вредноста на  $X_1$  се зголемува, комплексните полови почнуваат да се приближуваат до имагинарната оска, па дури и навлегуваат во десната полурамнина, што е нестабилен регион.

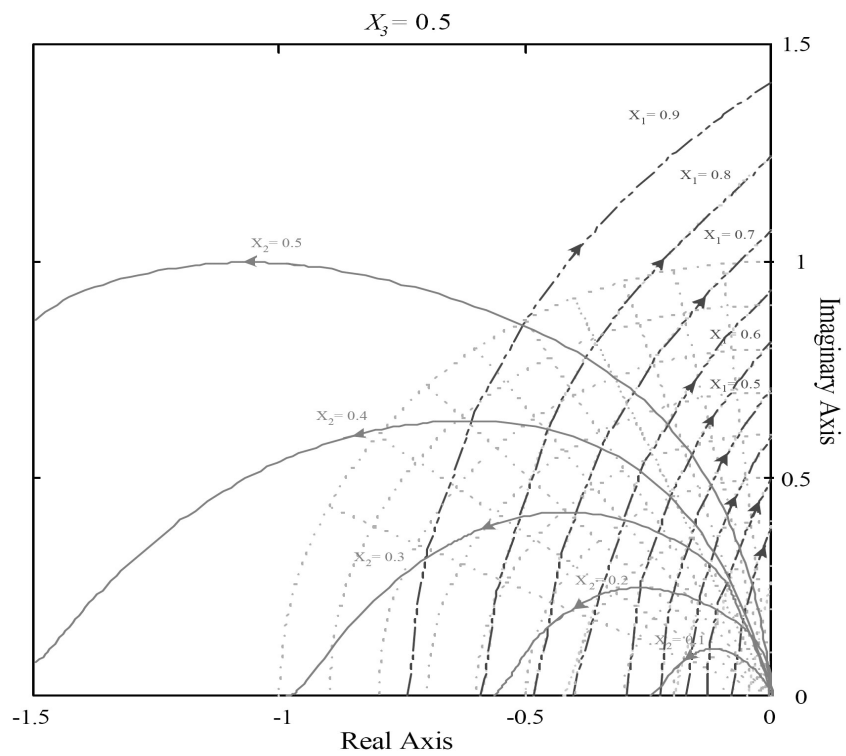
Испрекинатите линии ги претставуваат траговите на корени за фиксирана вредност на  $X_1$  додека вредноста на  $X_2$  се менува. И тука се приметова дека кога вредноста на  $X_2$  се зголемува, комплексните полови почнуваат да се приближуваат до имагинарната оска, па дури и навлегуваат во десната полурамнина, слично како и при зголемувањето на  $X_1$ .



Слика 4.15: Траг на корени за систем со  $X_3 = 0$

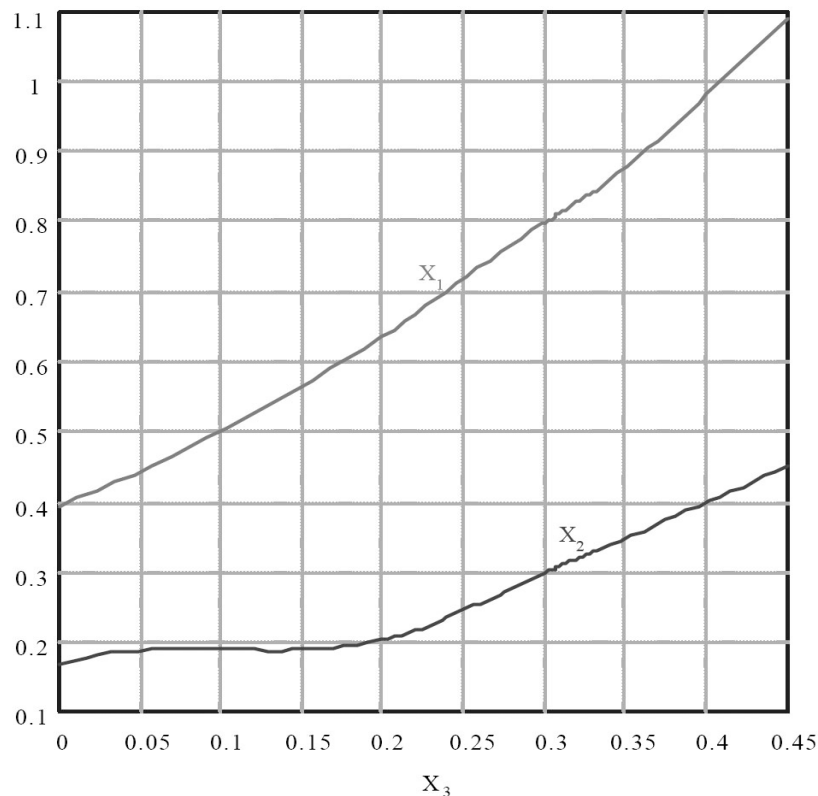


Слика 4.16: Траг на корени за систем со  $X_3 = 0.3$



Слика 4.17: Траг на корени за систем со  $X_3 = 0.5$

Влијанието на деривативното засилување врз траговите на корени е прикажано на слика 4.16 и 4.17 т.е за  $X_3 = 0.3$  и  $X_3 = 0.5$ . Со додавањето на  $X_3$  се зголемува зоната на стабилност. Треба да се напомене дека трагот на корени на слика 4.17, има различен облик од траговите на корени прикажани на слика 4.15 и 4.16, при што со зголемувањето на вредноста на  $X_1$  траговите на корени се приближуваат кон реалната оска, со што се докажува промената на обликот на трагот на корени за вредност на  $X_3 = 0.45$ .



Слика 4.18: Вредности на  $X_1$  и  $X_2$  за различни вредности на  $X_3$

Оптималните вредности на системот се менуваат со менувањето на вредноста на  $X_3$ , така што вредностите на  $X_1$  и  $X_2$ , исто така ќе се менуваат со менување на вредноста на  $X_3$ , и тоа според дијаграмот на слика 4.18, на кој се гледа дека за повисоки вредности на  $X_3$ , се зголемуваат и вредностите на  $X_1$  и  $X_2$ . Ефектот на  $X_3$  врз преодниот одзив на системот, е таков што системот се смирува побрзо и има помал прескок, со зголемување на вредноста на  $X_3$ . Но, мора да се напомене дека при  $X_3 = 0.45$  системот е многу активен, па може да предизвика дополнителен прескок, при брзиот одзив предизвикан од високите вредности на интегралното засилување. Но зголемувањето на  $X_3$  е ограничено со вредноста  $X_3 = 0.5$ , која ја добивме како граница на стабилноста со помош на Ротовиот метод.

Ако има потреба од брз одзив на хидрауличната постројка при промена на оптоварувањето, тогаш е препорачливо да се избере вредност на  $X_3 = 0.4$ . Во овој случај со користење на слика 4.18, ПИД засилувањата треба да ги имаат следните вредности [22]:

$$K_p = 0.97 \frac{T_m}{T_w}, K_i = 0.39 \frac{T_m}{T_w^2} \text{ и } K_d = 0.4T_m$$

#### 4.5 СИСТЕМ ЗА ПРИДВИЖУВАЊЕ НА СПРОВОДНИОТ АПАРАТ

Протоколот на водата низ хидрауличната турбина се управува со помош на спроводниот апарат, чијашто позиција зависи од управувачкиот сигнал на управувањето. Динамиката на системот за придвижување на спроводниот апарат е прикажана како двостепен актуатор со внатрешна повратна врска. Излезот од управувањето кој е електричен сигнал, служи као влезен сигнал во сервомоторите на актуаторот, со што ја подесува позицијата на лопатките на спроводниот апарат. Генерално, динамиката на системот за придвижување на спроводниот апарат може да се прикаже со следната линеарна преносна функција од втор ред, која ги поврзува саканата и реалната позиција на лопатките на спроводниот апарат:

$$G_s(s) = \frac{1}{(T_1s+1)(T_2s+1)} \quad (4.63)$$

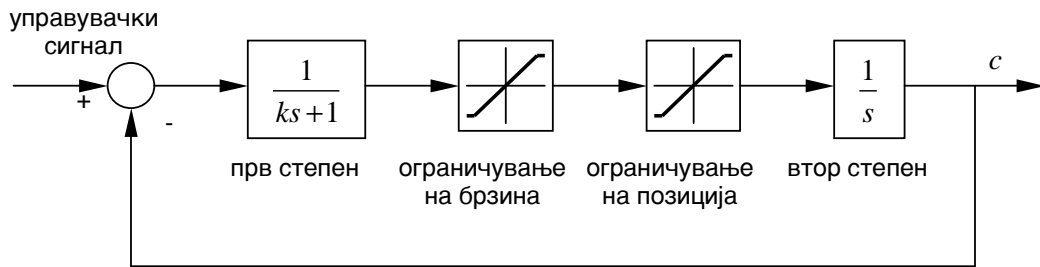
Временските константи  $T_1$  и  $T_2$  се одредуваат со карактеристиките на притисокот и протоколот на системот за придвижување на спроводниот апарат, вклучувајќи ги и сервомоторите.

Треба да се нагласи дека динамиката на системот за придвижување на спроводниот апарат содржи нелинеарност, поради ограничувањата на отвореноста на лопатките на спроводниот апарат т.е. постоењето на физички горна и долна граница на отвореноста на лопатките на спроводниот апарат, поради што се наметнува ограничување и на соодветните променливи на математичкиот модел на системот за придвижување на спроводниот апарат. Кога управувачкиот сигнал е во подрачјето дефинирано со долната граница (потполно затворен) и горната граница (потполно отворен), влезниот сигнал проаѓа кон сервомоторите непроменет. Кога влезниот сигнал се наоѓа нагвор од границите, тогаш тој се сведува на горната или долната граница.

Треба да се нагласи дека системот за придвижување на спроводниот апарат треба да има ограничувач на брзината на дејство, поради едноставна причина што доколку лопатките на спроводниот апарат се отвораат или затвораат пребрзо, тогаш водата поради сопствената инерција не ќе може да го следи нивното движење со што се создаваат услови за несакани појави во постројката како што е хидрауличен удар.

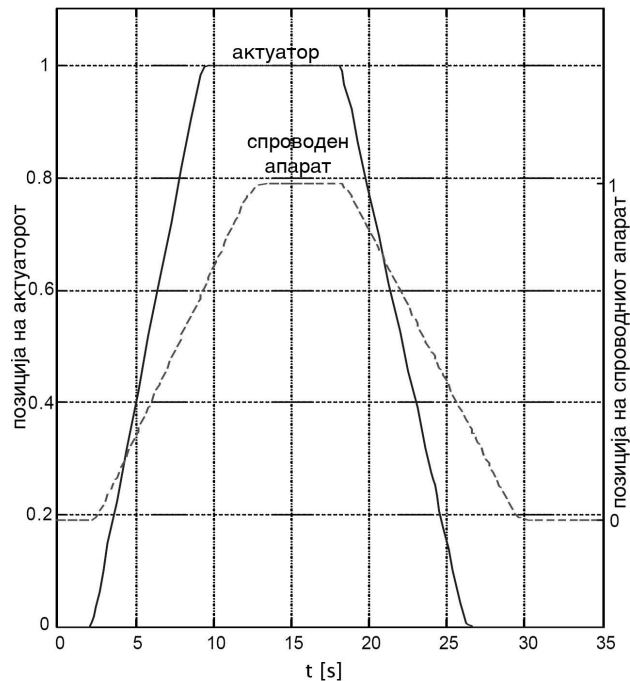
Моделот на системот за придвижување на спроводниот апарат, кој ќе се користи понатаму во симулациите е прикажан на слика 4.30.





Слика 4.30: Блок дијаграм на системот за придвижување на спроводниот апарат

Направен е еден тест кој треба да го верифицира моделот на системот за придвижување на спроводниот апарат со користење на **feed forward** сигнал во затвореното коло на сервомоторите. Влезниот сигнал е со трапезен облик како што е прикажано на слика 4.31



Слика 4.31: Симулација на придвижување на спроводен апарат

На слика 4.31 може да се види дека актуаторот и спроводниот апарат поаѓаат во исто време, но актуаторот е нешто побрз, поради вградениот ограничувач на брзина. Треба да се напомене дека при затворањето на лопатките на спроводниот апарат треба да се води сметка за брзината т.е. да не се дозволи зголемување на притисокот пред лопатките на спроводниот апарат поради пребрзо затворање и со тоа да се доведе до појава на хидрауличен удар.

## 5 КОМПЈУТЕРСКИ СИМУЛАЦИИ НА МОДЕЛ НА ХИДРОЕНЕРГЕТСКА ПОСТРОЈКА

### 5.1 ВОВЕД

Во претходните две глави е дефиниран математичкиот модел на хидрауличните постројки кои опфаќаат акумулација, притисен цевковод, хидраулична турбина, извршена е симулација на статичките и динамичките карактеристики на добиените математички модели и врз основа на споредба со резултатите измерени при моделски испитувања на моделот на хидрауличната турбина, се избрани математички модели кои се искористени како објекти на управување и за кои се проектирани закони на управување.

Законите на управување, се имплементирани во контролер кој управува со фреквенцијата на вртење т.е. брзината на вртење на хидрауличната постројка. Проектирани се три линеарни закони на управување: Пропорционално управување, Пропорционално-Интегративно-Дериватвно управување и Робустно управување. Законите на управување се проектирани за линеаризираните математички модели на хидраулична постројка, но ќе се применат и на нелинеарните модели со цел да се согледа промената на карактеристиките на новодобиените системи, во однос на проектираните системи.

Во оваа глава ќе се изврши систематска интеграција на моделите на хидрауличната постројка, управувањето и моделот на оптоварувањето на мрежата кој ќе се дефинира во оваа глава.

Интеграцијата на моделот ќе се изведе со помош на софтверската алатка "MATLAB" бидејќи со тоа се поедноставуваат симулациите на интегрираниот систем, кои се изведуваат со софтверската алатка за симулации вградена во "MATLAB" наречена "SIMULINK" која е специјализирана алатка за изведување на симулации на процеси кои се функции од времето.

Главната цел во оваа глава е да се добие математички модел на целокупна хидраулична постројка за производство на електрична енергија, кој ќе се користи за симулација на однесувањето на реална постројка за производство на електрична енергија, при проектирање на нови постројки, но и при подобрување на перформансите на веќе постоечка постројка, како и за проектирање на нови закони на управување.

Треба да се нагласи дека линеаризираните динамички модели на постројката без управување кои генерално се користат за предвидување на карактеристиките на хидрауличната постројка, се карактеризираат со недостатоци кога се подложени на брзи промени на влезното оптоварување, поради што се проектираат нелинеарните модели кои опфаќаат управување и динамиката на оптоварувањето на електричниот систем на кој е поврзана постројката.

## 5.2 ДИНАМИКА НА ЕНЕРГЕТСКИОТ СИСТЕМ

Енергетскиот систем треба да биде стабилен при широко подрачје на нарушувања, со цел да ја задржи сигурноста на работење. Енергетските системи се идентификуваат преку физичка реализација со генератори на електрична енергија и оптоварувања како надополнување на комерцијалните граници за електричната енергија. Протокот на активната и реактивната моќност во преносните водови се независни една од друга, бидејќи активната моќност зависи од аголот под кој делот што праќа го води делот што ја прима моќноста, додека реактивната моќност зависи од амплитудата на напонот. Треба да се напомене дека само активната моќност има влијание на стабилноста на енергетскиот систем, поради што понатаму ќе се моделира само активната моќност, која ќе се користи за управување со фреквенцијата.

Во наредните поглавја ќе се разгледува единечна постројка која снабдува изолирано оптоварување, додека моделот на генераторот е базиран на равенката за ротационо движење на синхрона електрична машина. Понатаму ќе бидат објаснети различните типови на оптоварување и нивната репрезентација за проучување на стабилноста на системот.

### 5.2.1 ИЗОЛИРАНА РАБОТА НА ХИДРОЕНЕРГЕТСКАТА ПОСТРОЈКА

Наједноставна репрезентација на енергетски систем е во случај на еден генератор кој опслужува изолирано оптоварување т.е. островско работење. Тоа се јавува при вонредни состојби како повторно воспоставување на системот по прекин или при поделба на енергетскиот систем на помали островски системи. Во случај на големи меѓусебно поврзани енергетски системи, сите генераторски единици кои работат како регулатори на фреквенција ќе придонесат за вкупна промена на генерираната моќност независно од локацијата на промената на оптоварувањето. Во случај на работа при мало, изолирано оптоварување, постројката мора да ја одржува фреквенцијата на системот константна. Тоа е многу важна разлика бидејќи критериумот за стабилноста на системот се разликува од таа за постројка поврзана на голем енергетски систем, што ни дозволува да ја разбереме динамиката на генераторот за различни услови на оптоварување.

Динамичкото однесување на генераторите во енергетскиот систем е од фундаментално значење за вкупниот квалитет на снабдувањето со енергија. Синхрониот генератор ја претвора механичката енергија во електрична енергија со специфичен напон и фреквенција. Изворот на механичка енергија може да биде дизел мотор, парна турбина или хидраулична турбина, што е тука случај. Кој и да е изворот на механичка енергија, основно својство кое што мора да го има е, брзината да е скоро константна без разлика на побарувачката на енергија. Анализата на секој енергетски систем при одредување на преодната стабилност, ги вклучува и механичките својства на машината бидејќи по секое нарушување, тие го дотеруваат аголот на роторот со цел да ги исполнат наметнатите услови за пренос на енергија. Динамиката на електричната енергија има многу кратки временски константи во споредба со хидрауличните временски константи, па така тие можат да се игнорираат.

Механичките равенки на ротационата машина се многу добро утврдени и тие се базираат на равенката на ротација на масата. За потребите на управувачката анализа, генераторската постројка се моделира со линеарна диференцијална равенка од прв ред, која го опишува одзивот при мали пертурбации. Равенката на ротација ги поврзува аголот на ротација на роторот на генераторот со забрзувачкиот момент, кој е разлика помеѓу активниот момент на излезната оска на генераторот и електромагнетниот момент кој претставува реактивен момент.

Кога постои рамнотежа помеѓу активниот и реактивниот момент, се добива константна аголна брзина на оската на генераторот. Секоја нерамнотежа ќе предизвика забрзување или забавување на генераторот, во согласност со законите на движење на ротирачко тело, дефинирани со равенка (5.1)

$$M_{acc} = J \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = M_{meh} - M_{elec} \quad (5.1)$$

каде што:

$M_{acc}$  - Забрзувачки момент [ $Nm$ ]

$J$  - Комбиниран момент на инерција на генераторот и турбината [ $Kgm^2$ ]

$\delta_m$  - Агол на ротација на роторот [ $rad$ ]

$M_{meh}$  - Механички момент [ $Nm$ ]

$M_{elec}$  - Електричен момент [ $Nm$ ]

Ако ја напишеме равенката (5.1) во зависност од аголната брзина  $\omega_m$ , која е прв извод од аголот на ротација  $\delta_m$ , ќе добиеме:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M_{meh} - M_{elec} \quad (5.2)$$

Кинетичката енергија на ротационото тело е:

$$E_k = \frac{J \omega_m^2}{2} \quad (5.3)$$

тогаш со користење на равенката (5.3) можеме да ја нормализираме равенката (5.2) во однос на единичната константа на инерција  $H$ , која е дефинирана како кинетичка енергија на машината при номинален број на вртежи во однос на номиналната волт ампер моќност на машината. Со користење на  $\omega_{m0}$ , која ја означува номиналната аголна брзина во радијани во секунда, добиваме:

$$\frac{2HVA_{base}}{\omega_{m0}^2} \frac{d\omega_m}{dt} = M_{meh} - M_{elec}$$

(5.4)

Аголната брзина на вртливото електро-магнетно поле на машината  $\omega$  мерено во радијани во секунда, е поврзана со механичката аголна брзина на роторот  $\omega_m$  со односот  $\omega = \omega_m / p_n$ , каде што  $p_n$  претставува број на парови на полови на генераторот. Равенката на движењето во единечен облик може да се напише со користење на аголната брзина на електро-магнетното поле  $\omega$ .

$$2H \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \bar{M}_{meh} - \bar{M}_{elec}$$

(5.5)

Треба да се нагласи дека  $M_{base} = \frac{VA_{base}}{\omega_{m0}}$

Равенката (5.5) е добиена со делење на равенката (5.4) со  $M_{base}$ .

Пожелно е равенката (5.5) да се изрази преку механичката и електричната моќност. Бидејќи моќноста е еднаква на моментот помножен со аголната брзина, тогаш ако ја развиеме околу работната точка и ако ги занемариме членовите од втор ред ќе добиеме:

$$\Delta \bar{P} = \bar{\omega}_0 \Delta \bar{M} + \bar{M}_0 \Delta \bar{\omega}_0$$

(5.6)

од равенките (5.5) и (5.6) се добива:

$$\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e = \bar{\omega}_0 (\Delta \bar{M}_{meh} - \Delta \bar{M}_{elec}) + (\bar{M}_{meh0} - \bar{M}_{elec0}) \Delta \bar{\omega}$$

(5.7)

Во стабилна состојба механичкиот момент и електричниот момент се еднакви ( $M_{meh0} \cong M_{elec0}$ ).

Со комбинирање на равенките (5.5) и (5.6), девијацијата на единечната брзина  $\Delta \omega$  на роторот како функција на девијациите на механичката и електричната моќност може да се претстават со следната равенка:

$$\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e = 2Hs \Delta \bar{\omega}$$

(5.8)

Механичката временска константа на генераторот  $T_m$  може да се пресмета од равенката (5.5):

$$\frac{d\bar{\omega}}{dt} = \frac{\bar{M}_{acc}}{2H}$$

(5.9)

Механичката временска константа претставува време потребно номиналниот момент да го забрза роторот од состојба на мирување до номиналната брзина. Ако интегрираме во текот на времето и ако знаеме дека номиналната аголна брзина  $\omega = 1$  [pu] и номиналниот момент на забрзување  $M_{acc} = 1$  [pu] се добива:

$$1 = \frac{1}{2H} \int_0^{T_m} 1 dt$$

(5.10)

тогаш механичката временска константа  $T_m = 2H$ .

Како што е дефинирано претходно за единечната константа на инерција  $H$ :

$$H = \frac{E_{k0}}{MVA_{rating}}$$

(5.11)

каде што кинетичката енергија  $E_{k0}$  е дефинирана со равенката (5.3) за номиналната аголна брзина  $\omega_{m0}$ .

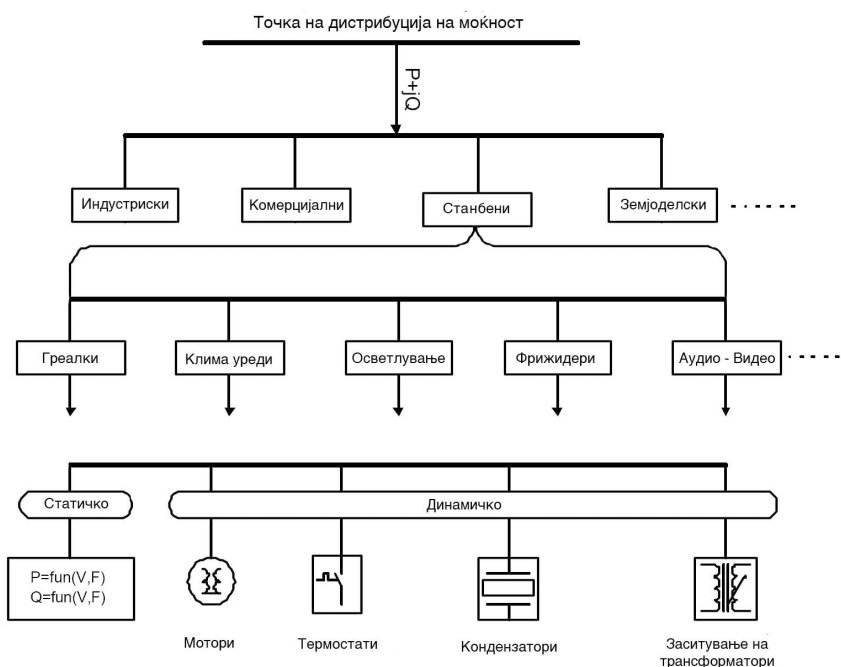
## 5.2.2 МОДЕЛИРАЊЕ НА ОПТОВАРУВАЊЕТО НА ЕНЕРГЕТСКИОТ СИСТЕМ

Поимот оптоварување може да се дефинира како постројка поврзана на енергетскиот систем така што конзумира активна или реактивна моќност. Моделирањето на оптоварувањето е квалитативно различно од моделирањето на генераторот. Прилично е едноставно да се проектираат модели на типични оптоварувачки компоненти како што се сијалици, греалки и фрижидери, но тоа е само мал дел од проблемот бидејќи точната поврзаност помеѓу потрошувачите и нивните меѓудејства се многу тешки да се предвидат. Промените во составот на оптоварувањето се рефлектира врз обрасците на потрошувачите при користење на различни уреди. Во секој случај тие зависат од начинот на живеење на потрошувачите, но и од многу други фактори. Дури и ако составот на оптоварувањето се знае егзактно, ќе биде непрактично да се претставува секоја посебна компонента на оптоварувањето.

При проучување на стабилноста на енергетските системи вообичаена пракса е да се претстават карактеристиките на композитното оптоварување, така како што се гледани од најголемиот дел на точки на дистрибуција на моќност. Како што е претставено на слика 5.1, вкупното оптоварување се категоризира во класи на оптоварување т.е. потрошувачи и секоја категорија се репрезентира во

зависност од компонентата на оптоварувањето т.е. потрошувачот. Историски, карактеристиките на оптоварувањето се поделени во две категории: статичко и динамичко [22].

Статичкиот модел ги претставува активните и реактивните моќности како функции од напонот на преносот и фреквенцијата во било кој временски период. Вообичаено е да се претстави оптоварувањето со посебно разгледувани активна моќност  $P$  и реактивна моќност  $Q$ , кои можат да се претстават со комбинација на константна импеданса, струјни и елементи на моќност, така што статичките оптоварувања можат да се претстават со полиноми или со други алгебарски функции.



Слика 5.1: Моделирање на оптоварувањето по компоненти

Претставувањето се базира на зависноста на напонот и фреквенцијата од оптоварувањето, разгледувано во ограничено подрачје на промена и често се базира само на измерените криви  $\partial P/\partial f$  и  $\partial Q/\partial f$  поради тоа што тие вредности сеуште се најдобро проучени и најгенерално достапни податоци. Традиционално, моделот презентира зависност помеѓу моќноста и напонот како експоненцијална функција, вообичаено во следниот облик:

$$P = P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^a$$

$$Q = Q_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^b$$

(5.12)

Експонентите се:

$$a = \frac{\partial P}{\partial V}$$

$$b = \frac{\partial Q}{\partial V}$$

(5.13)

при  $V = V_0$  каде што индексот "0" ги идентификува вредностите на соодветните променливи при почетните услови на работа. Во [22] се идентификувани параметрите за различни оптоварувања и е дефинирано дека "a" има вредности помеѓу 0 и 2.

Статичките модели на оптоварување кои вклучуваат зависност од фреквенцијата вообичаено се дефинираат со множење на експоненцијалниот модел на оптоварувањето со фактор на фреквентна чувствителност, со што се добиваат следните равенки за оптоварувањето:

$$P = P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^a (1 + D_{pf} \Delta f)$$

$$Q = Q_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^b (1 + D_{qf} \Delta f)$$

(5.14)

каде што  $P_0$  и  $Q_0$  се поврзани оптоварувања при номиналната фреквенција,  $D_{pf}$  и  $D_{qf}$  се параметри на фреквентна чувствителност на моделот и  $D_{pf}$  има вредности помеѓу 0 и 3 додека  $D_{qf}$  има вредности помеѓу -2 и 0 во зависност од типот на оптоварувањето.

Моделите на статичкото оптоварување можат да се класифицираат преку три различни репрезентации [22] како што е прикажано на слика 5.2:

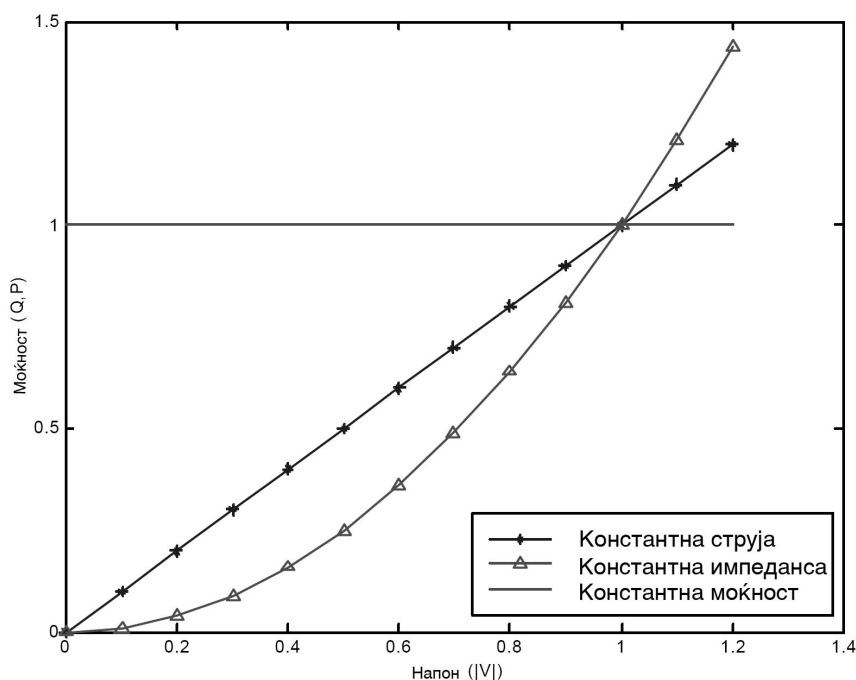
- Модел со константна моќност - моќноста не се менува со промената на амплитудата на напонот, кој се нарекува и константен МВА модел и се добива ако експонентите се постават на вредност нула



- Модел со константна импеданса - моќноста се менува директно со квадратна промена на амплитудата на напонот, кој се добива со поставување на експонентите на вредност два
- Модел со константна јачина на струја - моќноста се менува директно со промена на амплитудата на напонот, кој се добива со поставување на експонентите на вредност еден.

Подрачјето на промена на фреквенцијата и напонот зависи од природата на нарушувањата. Случајно намалување на производство на енергија ќе доведе до опаѓање на фреквенцијата и напонот, додека намалување на оптоварувањето ќе доведе до зголемување на фреквенцијата и напонот на енергетскиот систем.

Динамичкиот модел ги претставува активните и релативните моќности во било кој момент на времето како функции на напонот на преносот и фреквенцијата во минато и сегашно време. Одзивот на повеќето композитни оптоварувања на промените на фреквенцијата и напонот е брз и одзивот на стална состојба се постигнува многу брзо. Затоа, не се користат динамичките модели т.е. поради тоа што повеќето компоненти на енергетскиот систем имаат многу спори одзиви, се користат статичките модели на оптоварување. Но, сепак студиите на осцилации и долгорочна стабилност бараат да се моделира динамиката на оптоварувањето.



Слика 5.2: Карактеристики на различните модели на оптоварување

### 5.2.3 ОПТОВАРУВАЊЕ НА ГЕНЕРАТОРОТ

Во некои случаи од генераторот може да биде побарано да обезбеди изолирано оптоварување, поради што е неопходно да се подобри моделот на генераторот со цел да се земат во предвид карактеристиките на моќноста на локалното оптоварување. Вообичаено прифатен статички модел е тој кој ја претставува активната моќност преку моделот на константна јачина на струја и реактивната моќност преку моделот на константна импеданса.

Како што е наведено претходно повеќето од оптоварувањата се состојат од голема количина на различна опрема, со различни брзини на одзив, поради што се користи моделот на статичко оптоварување од равенката (5.14). Под претпоставка на константен напон и со користење на модел на константна јачина на струја, активната моќност може да се изрази како:

$$P_L = P_0 + P_0 D_{pf} \Delta f \quad (5.15)$$

Ако равенката (5.15) се линеаризира со занемарување на членовите од втор ред, ќе се добие линеарна равенка која посебно ги дефинира промените на оптоварувањето кои не се чувствителни на фреквенцијата и тие кои се чувствителни на промена на фреквенцијата.

$$\Delta P_L = \Delta P_0 + D \Delta f \quad (5.16)$$

Придушниот член  $D = P_0 D_{pf}$  е пропорционален на поврзаното оптоварување и параметарот на чувствителност на фреквенцијата. Оттука придушнувањето ќе биде блиску до нула ако постројката е лесно оптоварена.

Со комбинирање на равенката на оптоварувањето (5.16) со моделот на генераторот дефиниран со равенката (5.8) се добива преносна функција која го опишува механичкото движење на една машина поврзана со оптоварување со придушнување  $D$ :

$$\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e = (T_m s + \bar{D}) \Delta \bar{\omega} \quad (5.17)$$

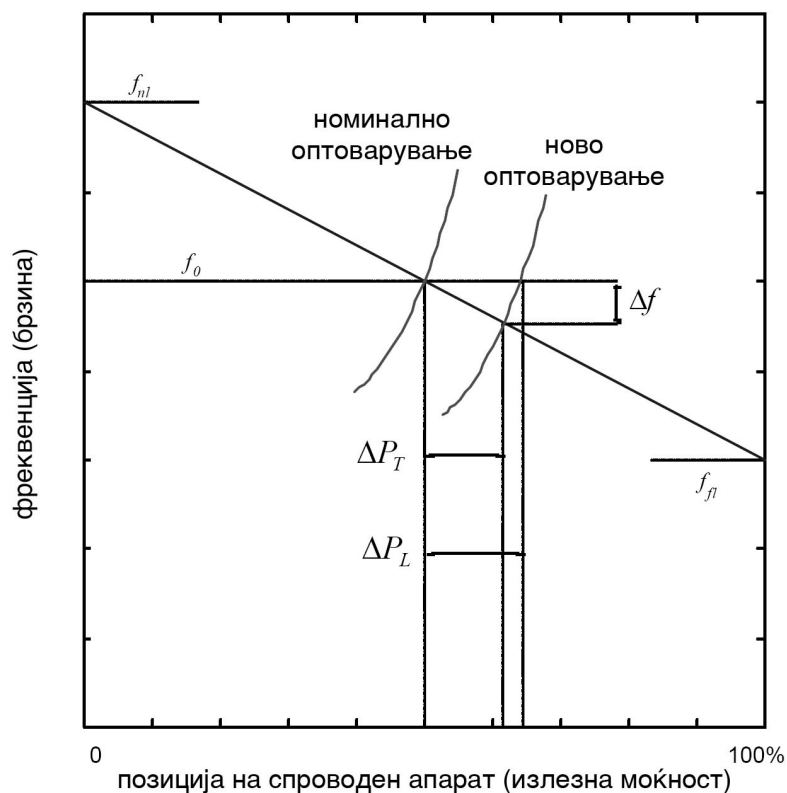
### 5.2.4 УПРАВУВАЊЕ НА ФРЕКВЕНЦИЈАТА ПРИ ОПТОВАРУВАЊЕ

Принципот на работа на синхроните генератори бара тие да се вртат со константна брзина. Реалната генерирана моќност зависи од моментот на хидрауличната турбина, кој е управуван преку отвореноста на лопатките на спроводниот апарат на хидрауличната турбина.

За управување со генераторите се користат два типа на закони на управување. Првиот тип се нарекува изохроно (константна брзина) управување, каде

управувањето продолжува да го подесува излезот од генераторот се додека мерената фреквенција не се изедначи со референтната фреквенција. Изохроното управување најчесто се користи при изолирана работа на генераторот или кога опслужува релативно мал енергетски систем. Тогаш само еден генератор се користи да одговори на промените на оптоварувањето. Изохроното управување никогаш не се користи кога има повеќе генератори, бидејќи за да се користи треба прво да се реши поделбата на оптоварувањето по еден генератор, но дури и ако се изведе поделбата на оптоварувањето ќе има дополнителни спротивставувања помеѓу генераторите за тоа кој да се наметне во управувањето со фреквенцијата. Изохроното управување со брзината ќе предизвика хидрауличната турбина да се оптовари потполно ако нејзината референтна фреквенција е само малку поголема од таа на енергетскиот систем, или целосно да се растовари ако референтната фреквенција на хидрауличната турбина е само малку помала од таа на енергетскиот систем [22].

Вториот тип на закон на управување е опаѓачко управување (регулација на брзина) каде управувањето ги отвора лопатките на спроводниот апарат на фиксирана позиција, одредена со зависноста помеѓу брзината (фреквенцијата) на енергетскиот систем и референтната брзина. Падот на брзина делува како компензација на сталната состојба, земајќи ја во предвид референтната константна фреквенција. Брзината на турбината неможе да се промени кога генераторот е врзан за енергетскиот систем, но е возможно да се промени референтната брзина на управувањето. Оттука сите управувачки машини ќе го преземат оптоварувањето, ако фреквенцијата на енергетскиот систем опадне и ќе се ослободат од оптоварувањето, ако фреквенцијата на енергетскиот систем порасне. Поради тоа без разлика какво управување на турбината да е употребено, секогаш ќе биде подесено да обезбеди малку опаѓачка карактеристика со зголемување на оптоварувањето. Вредноста на падот на брзината  $\rho$  ја определува брзината во зависност од карактеристиката на оптоварувањето на генераторската постројка, како што е прикажано на слика 5.3.



Слика 5.3: Карактеристика на управување со пад на брзина

Падот на брзината на генераторот се дефинира со следната равенка:

$$\rho = \frac{\Delta f (\Delta \omega)}{\Delta P} = \frac{f_{nl} - f_{fl}}{f_0} \quad (5.18)$$

каде што:

$\Delta P = \Delta P_g - \Delta P_l$  - вишок на моќност, претставува разлика помеѓу генерираната моќност и оптоварувањето

$f_{nl}$  - фреквенција во стална состојба без оптоварување

$f_{fl}$  - фреквенција во стална состојба при полно оптоварување

$f_0$  - номинална фреквенција

Типичната карактеристика на пад или "регулација на брзината" е 4% во земјите на Европска унија, што значи дека девијација на фреквенцијата од 4% предизвикува 100% промена на излезот на генераторот.

Карактеристиката на управувањето со фреквенцијата на енергетскиот систем зависи од карактеристиката на падот на брзината на управувањето и од

Фреквентните карактеристики на придрушувањето на оптоварувањето  $D$  кое ја претставува чувствителноста на оптоварувањето на системот од фреквенцијата т.е. промената на моќноста за зададена промена на фреквенцијата. Типични вредности за  $D$  се 1% до 2% т.е. вредноста на  $D = 2$  значи дека промената на фреквенцијата од 1% ќе предизвика промена на оптоварувањето од 2%. Колку се помали промените на фреквенцијата за зададена промена на оптоварувањето, толку системот е покрут.

Девијацијата на фреквенцијата во стална состојба, при промена на оптоварувањето  $\Delta P_t$  за енергетски систем со генератор кој работи во мод на опаѓачка брзина е зададена со:

$$\Delta f_{ss} = \frac{-\Delta P_t}{\frac{1}{\rho} + D} = \frac{-\Delta P}{\beta}$$

(5.19)

Карактеристиката на фреквентниот одзив на енергетскиот систем  $\beta$ , која се нарекува и крутост, се изразува во  $[MW/Hz]$ . Физичкото значење на  $\beta$  се дефинира со следната формулација: ако енергетскиот систем е подложен на отскочна промена на оптоварувањето, тогаш ќе се промени статичката фреквенција обратно пропорционално на неговата крутост.

На слика 5.3 е прикажана зависноста во стална состојба помеѓу промената на оптоварувањето, промената на фреквенцијата и зголемувањето на излезната моќност во случај на делување на управувањето. Зголемувањето на излезната моќност на постројката која е под управување е дефинирано со следната равенка:

$$\Delta P_t = -\frac{f_{ss}}{\rho}$$

(5.20)

Единечната преносна функција, која го користи целосното оптоварување како номинална моќност и  $50[Hz]$  како номинална фреквенција може да се претстави со следната равенка:

$$\frac{\Delta F(s)}{\Delta P_g(s) - \Delta P_t(s)} = \frac{1}{T_m s + \beta}$$

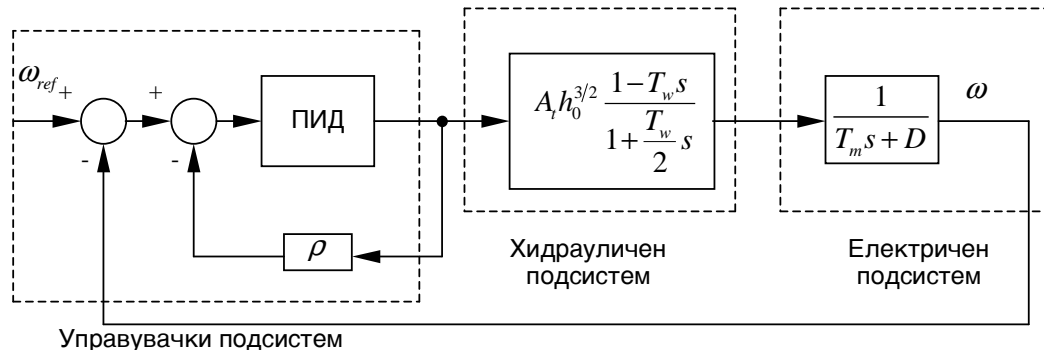
(5.21)

Линеаризираната равенка (5.21) се користи да го претстави енергетскиот систем за управување со фреквенцијата на оптоварувањето.

### 5.3 МОДЕЛ НА ХИДРОЕНЕРГЕТСКА ПОСТРОЈКА

Историски гледано моделите на хидроелектричните центри биа концентрирани на однесувањето на постројки со низок до среден базичен пад, кои се поврзани на изолирано оптоварување. Во моделите имаше тенденција да се користат релативно едноставни репрезентации на хидрауличниот и механичкиот подсистем, како што е прикажано на слика 5.4. Во тој модел комбинацијата на цевководот и хидрауличната турбина е презентирана со класична линеарна преносна функција дефинирана со равенката (3.77), која ги поврзува промените на механичката моќност со промените на отвореноста на лопатките на спроводниот апарат, што претпоставува идеална турбина која работи со номиналниот проток и напор и ја користи временската константа на поаѓање на водата  $T_w$  за да го претстави преодното однесување на хидрауличниот подсистем.

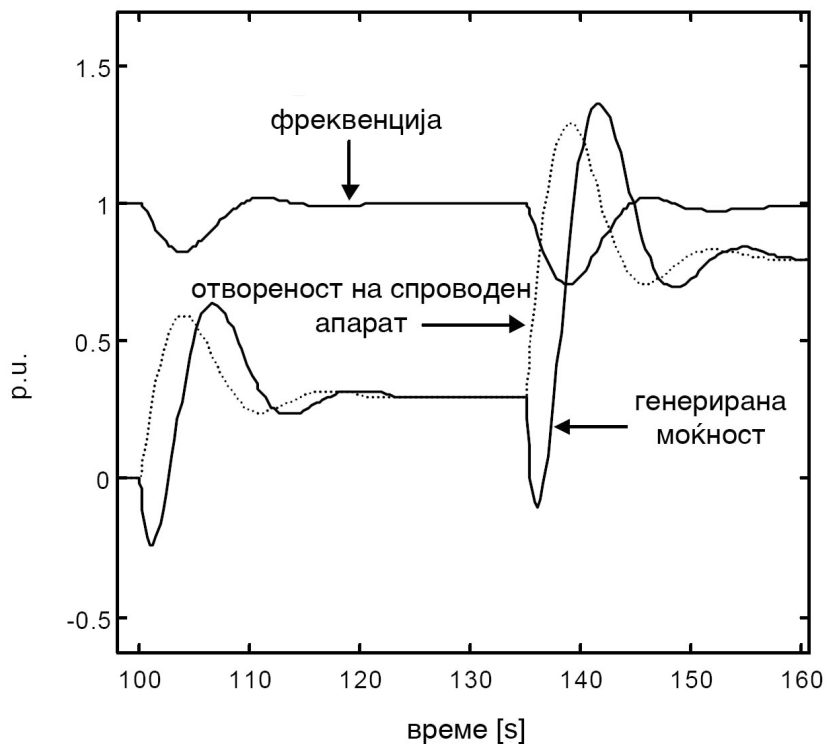
Управувањето на турбината е моделирано како класично управување со фреквенцијата и тоа ПИД управување дефинирано со равенките (4.19) и (4.20) и генератор дефиниран со класичната равенка на ротационо движење на машина, која ги поврзува инерцијата на ротирачката постројка  $T_m$  со забрзувачкиот момент  $M_{acc}$ . Оптоварувањето се претставува со моделот со константна јачина на струја дефиниран со равенка (5.12) додека условите на оптоварувањето зависат од вредностите на придушувањето на оптоварувањето  $D$ .



Слика 5.4: Блок дијаграм на динамика која е погодна за основно оптоварена хидроелектрична централа

#### 5.3.1 ЛИНЕАРИЗИРАН МОДЕЛ НА ХИДРОЕНЕРГЕТСКА ПОСТРОЈКА

Иако линеаризирианиот модел е користен во многу студии, присутните апроксимации се издржани само за постројки со низок до среден базичен пад и не е можно да се користат за многу постројки кои имаат брз одзив, кои тежнеат да работат при високи падови. Едноставна илустрација на ограничувањето на линеаризирианиот модел на хидраулична постројка е прикажан на слика 5.5, на која е прикажано однесувањето на постројката при почетно зголемување на оптоварувањето за 30% (0.3 pu), по што по кратко време следи дополнително зголемување на оптоварувањето за 50% (0.5 pu).



**Слика 5.5:** Одзив на хидрауличната постројка при отскочен влез на оптоварувањето на мрежата

Почетниот дел на кривите на слика 5.5 покажува дека постројката тежнее да го прифати зголемувањето на оптоварувањето за 30% и да обезбеди враќање на фреквенцијата на референтната вредност. Но кога се појавува зголемувањето на оптоварувањето за 50%, се покажува неточноста на моделот на постројката. Имено од слика 5.4 може да се примети дека, за да го неутрализира нарушувачкиот влез на оптоварувањето на мрежата, отвореноста на лопатките на спроводниот апарат се зголемува над 1 [pu], што физички е неизводливо, пред да се смири на вредноста во стална состојба од 80 % отвореност.

Временската константа на поаѓање на водата  $T_w$  се пресметува со почетните вредности на протокот и падот. Оттука за симулациски студии линеаризираниот модел на хидраулична постројка има потреба за различни вредности на  $T_w$  поради промената на протокот во различни работни точки во кои би се симулирал системот. Линеаризираниот модел е валиден само кога вредноста на оптоварувањето на постројката не се менува многу од иницијалното оптоварување. За нелинеарниот модел, вредноста на  $T_w$  се пресметува за номиналните вредности на протокот и падот. Промената на ефективната временска константа на поаѓање на водата е имплицитно дефинирана во нелинеарните изрази на моделот, од што произлегува дека  $T_w$  е валидна за сите работни услови т.е. работни точки.

Постои голема потреба од модел на хидраулична постројка кој со сигурност ќе ја прикажува вистинската состојба на системот, поради тоа треба да се вклучат влијателни фактори како: влијанието на енергетскиот систем, ограничувањата на отвореноста на лопатките на спроводниот апарат и феноменот на хидрауличен удар, предизвикан од пребрзото затворање на лопатките на спроводниот апарат, посебно кај моделите на хидраулична постројка со еластични цевководи.

### 5.3.2 ПОДОБРЕН НЕЛИНЕАРЕН МОДЕЛ НА ХИДРОЕНЕРГЕТСКАТА ПОСТРОЈКА

Досега математичкото моделирање на хидрауличниот систем се сведе на математичко моделирање на поединечните подсистеми како хидраулична турбина со цевковод и помошна опрема, управување, електричен подсистем, кои се дел од еден голем хидроенергетски објект за производство на електрична енергија. Сепак иако сите овие подсистеми се моделирани потребно е подсистемите да се интегрираат и да формираат математички модел на целокупниот хидроенергетски систем.

Интеграцијата на системот не е изведена аналитички туку е изведена со интеграција на симулираните модели на подсистемите во програмскиот пакет "SIMULINK" и тоа на најниско ниво т.е. интеграција на ниво на поединечни блокови од моделираните подсистеми во еден голем систем кој ги содржи следните три подсистеми:

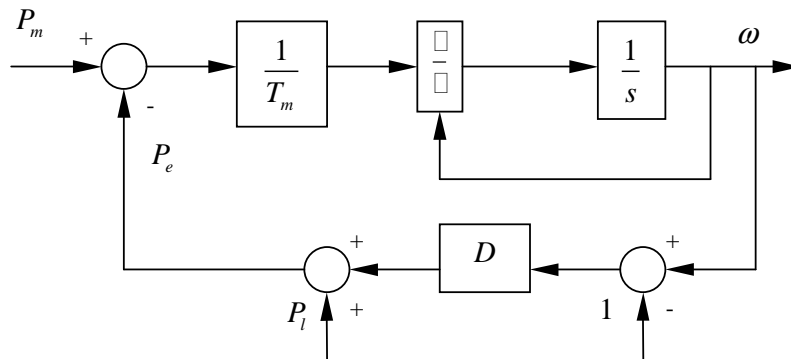
- Хидрауличен подсистем кој се состои од воден столб над турбината и динамика на спроводниот апарат
- Електричен подсистем кој се состои од енергетски систем, генератор, моќноста пренесена помеѓу нив и промените на оптоварувањето на мрежата
- Управувачки подсистем кој се состои од управување со аголната брзина на хидрауличната турбина.

Примарната цел на проектирање на математичкиот модел на хидроенергетска постројка е да се изврши анализа на одзивот на постројката при управување со фреквенцијата, при што како што е претходно нагласено се занемарува влијанието на големината на енергетскиот систем на кој е поврзана постројката, како и влијанието на другите хидроенергетски постројки поврзани во енергетскиот систем, како осцилациите меѓу соседните постројки, т.е. се разгледува островско работење на хидроенергетската постројка.

Моделирањето на енергетскиот систем се сведува на моделирање на равенките (5.16) и (5.17) т.е. на нивна мала модификација дефинирана со равенките (5.22), која е претставена на слика 5.6.



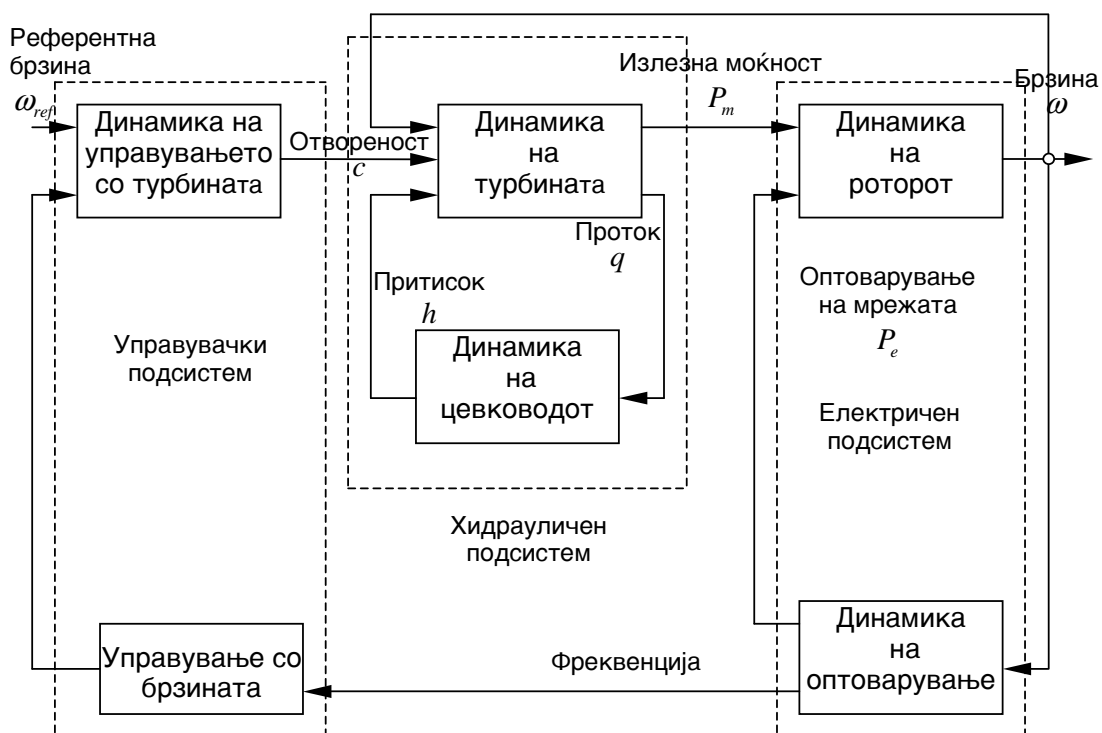
$$\begin{aligned} \dot{\omega} &= \frac{1}{T_m} (P_m - P_e) \\ P_e &= P_l + D(\omega - 1) \end{aligned} \quad (5.22)$$



Слика 5.6: Блок дијаграм на електричниот подсистем на хидроенергетската постројка

Во стална состојба постројката и енергетскиот систем ќе работат на референтната брзина (фреквенција). Размената на моќност помеѓу постројката и енергетскиот систем е еднаква на разликата во аголот на оските помеѓу постројката и енергетскиот систем.

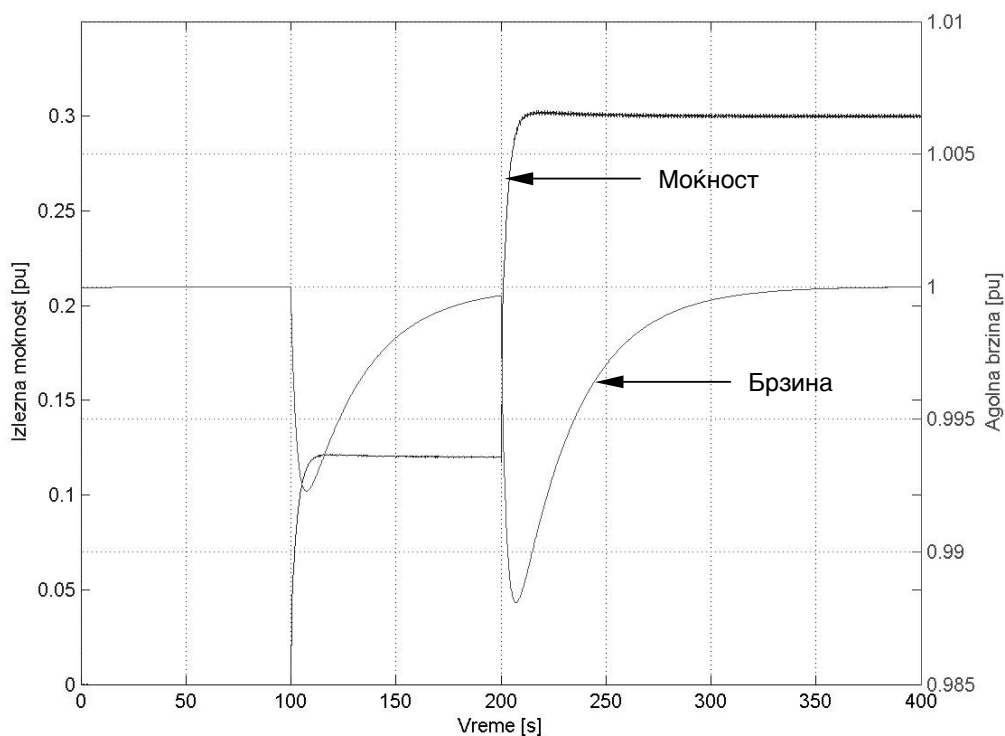
Интегрираниот модел на хидроенергетскиот систем со земање во предвид на електричниот подсистем прикажан на слика 5.6, е прикажан на слика 5.7.



**Слика 5.7:** Блок дијаграм на хидроенергетската постројка

За да се илустрираат подобрувањата на структурата на моделот, направен е симулациски тест при што турбината е приклучена на енергетски систем со моќност  $28[MW]$  со придушување на оптоварувањето  $D = 0.75$ . Постројката е конфигурирана како единствен регулатор на фреквенцијата во системот и да нема дефиниран пад на брзината.

Како влез е внесено отскочно нарушување на оптоварувањето на мрежата од  $0.12[pu]$  во време  $t = 100[s]$ , потоа уште едно отскочно нарушување од  $0.18[pu]$  во време  $t = 200[s]$ , формирајќи вкупен влез од  $0.3[pu]$  после  $t = 200[s]$ . Одзивот на системот е прикажан на слика 5.8



**Слика 5.8:** Одзив на постројката на отсочни промени во оптоварувањето

На слика 5.8 се гледа дека постројката работи на номиналната аголна брзина  $\omega = 1 [pu]$  се додека не се случи првиот влез, тогаш имаме нарушување на аголната брзина кое е помало од 1% т.е. постројката малку забавува, но после определено време брзината се враќа на номиналната вредност, кога повторно се случува нарушувачки влез кој е поголем, па и нормално е нарушувањето на брзината т.е. забавувањето на постројката да биде поголемо сега околу 1.2% што е секако во рамките на дозволената девијација на брзината на постројката, по што се враќа на номиналната вредност и продолжува да работи на номиналната вредност на аголната брзина, при што можеме да приметиме дека постројката после  $t = 200 [s]$  генерира за 30% поголема моќност поради зголеменото оптоварување на мрежата.

## 6 СОСТАВ НА ДИГИТАЛЕН СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ И СУПЕРВИЗИЈА НА ХИДРОЦЕНТРАЛА, УПРАВУВАЧКИ АЛГОРИТМИ И РАВЕНКИ НА ЗАВИСНОСТИ ВО СИМУЛАЦИСКИ SCADA ПРОГРАМ

### 6.1 ОПИС НА ПОЕДИНИ ЕЛЕМЕНТИ ОД ХИДРОЦЕНТРАЛА КОИ ВЛЕГУВААТ ВО СИСТЕМ ЗА ДИГИТАЛНО УПРАВУВАЊЕ

Дизајнирањето или реконструкцијата на една хидро постројка за производство на електрична енергија опфаќа неколку инженерски дисциплини. *Машинскиот аспект* го сочинуваат дизајнирањето, производството и селекцијата на турбината и нејзиниот *регулатор*, разните типови на вентили, лежишта, сензори, сервомотори и друга опрема со која што се конвертира хидрауличната енергија во некој друг вид на енергија - механичка. Електричниот аспект го опфаќа дизајнирањето, производството и селектирањето на генераторот, контролниот систем, прекинувачките скретници (*switchgear*) и друга опрема неопходна произведената механичка енергија да се конвертира во електрична. Градежниот аспект ги опфаќа градежните работи: почнувајќи од хидролошкото студирање на земјиштето, изградбата на браната, електраната, цевководите итн. [2]. Честопати овие дисциплини се испреплетуваат меѓусебно и нивното разграничување е многу тешко. Така на пример познавањата на феномените при флуидните течења се карактеристика на машинските инженери па многу природно е да се претпостави дека тие ќе бидат оние кои ќе дефинираат кои места и величини е потребно да се мерат, притоа знаејќи дека измерените физички величини честопати се претвораат во соодветна електрична величина која понатаму се дигитализира за да се испрати во некој уред за собирање на податоци. Постапувањето и изборот на вентилите се исто така во областа на машинството но честопати тие се покренуваат со електромотори управувани од некој дигитален уред. Јадрото на хидрауличната постројка го сочинува склопот *турбина-генератор*, затоа за да се направи добро регулирање на турбината потребно е да се познаваат основните карактеристики и на генераторите. При конструкциите на турбинските регулатори во минатото се користеле механички сензори за брзината на вртење, а контролните функции на регулаторите ги вршеле *механичко-хидраулични* елементи. Тие се покажале како доста нестабилни па биле заменети со регулатори со *аналогна електроника* за контролната функција со засилувачките сервомотори кои го движат спроводниот апарат. Во денешно време се користи *дигитална електроника* за извршување на контролната функција на регулаторите. Така во турбинските регулатори кои порано спаѓаа во елементи од чисто машинската област сега се вметнати дигитални елементи кои ја вршат најбиталната функција на регулаторот: управување со сервомоторите на спроводниот апарат но и со низа други елементи. Во дигитални контролни елементи спаѓаат микропроцесорите и програмабилните логички контролери (*PLC*) напоени со разни софтверски програми. Тие вршат управување со разни електромотори и сервомотори извршувајќи најразлични алгоритми како што се на пример автоматизирано стартување и гасење на турбината, отворање и затворање на оддалечената влезна порта на цевководот итн. Употребата на дигиталните управувачи за автоматско управување во уреди кои се употребуваат во хидроелектраните но и во индустријата а кои порано спаѓаа во чисто машинската струка ја наметнува потребата од нивно подетално запознавање иако по својата природа

дигиталните уреди не се од чиста машинска област. SCADA системите се во самиот врв на системот за управување со една хидроцентрала, а тие во себе содржат елементи за собирање на податоци но и елементи со кои се врши централизирано управување и набљудување со работата на хидроцентралата и нејзината околина.

### 6.1.1 ОСНОВНИ РАЗГЛЕДУВАЊА

Честопати општите механички дискусии за турбините се ограничуваат на разгледување на некоја вертикална Францис турбина или пак на некоја вертикална аксијална машина. Тие дискусии ги опфаќаат структурите со разните водни премини, како што се спиралата, дифузорот, вентилите, спроводниот апарат и турбинскиот ротор, но исто така тука спаѓаат и дискусиите кој се однесуваат на регулаторот, турбинските лежишта и заптивање. Во ова истражување ќе биде разгледувана една хидро-електрична постројка со вертикална Францис турбина, нејзини карактеристични составни делови но посебно внимание ќе се посвети на системите за управување, регулаторите и нивните механизми кои во последно време се исклучиво дигитални, ќе се потенцираат и својствата што треба да ги имаат современите системи за автоматско управување со една турбина како и насоките во кој треба да се усовршуваат тие системи.

Како карактеристични составни делови на една хидроелектрана кои што влегуваат во еден современ систем на управување и супервизија на централа можат да се наведат (види слика 5.3): влезните всисни структури-решетки, главната влезна порта, доводниот цевковод, спиралата, статорските лопатки, спроводниот апарат, дифузорот, излезните дифузорски порти, турбината, генераторот, лежиштата на турбината и генераторот, разладниот и системот за подмачкување на лежиштата, регулаторот на турбината па дури и системите за разладување и вентилација на централата и системите за зачувување на околината [2].

### 6.1.2 ГЛАВНА ВЛЕЗНА ПОРТА

Главната влезна порта честопати се смета за последна од линијата елементи за контрола на водениот тек (слика 5.3). Таа може да припадне и во уредите за итно запирање на работата на постројката. Карактеристично за неа е тоа што се наоѓа на одредено растојание од електраната кое може да достигне и до неколку стотици метри. Уредите за управување со нејзиното отворање и затворање честопати се наоѓаат на самиот терен, близу портата. Поради ова условите за нивно работење и поврзување се отежнати а треба и да им се обезбеди посебно напојување [2].

Постојат најразлични видови на порти кои во главно се разликуваат меѓусебно по изгледот на затвораот и по придвижувачот на затвораот. Така наречените радијални порти се употребуваат при површинските затворања, а затвораците вообичаено имаат облик на парче цилиндер со хоризонтална оска. Радијалните порти имаат доволно голема тежина затворањето да го извршат под дејство на гравитационите сили, а отворањето се врши со помош на синцири или сајли и систем на ваљаци за подигање.

Најчесто употребуван систем за регулирано подигање и спуштање на портите е системот составен од хидрауличен сервомотор и клипњача. Така на пример портите базично се составени од рамна квадратна или кружна челична плоча која целосно го затвора водениот тек, водена во челично или бетонско куќиште, клипњача и сервомотор т.е. хидрауличен цилиндер. Овој концепт се применува кај голем број на порти, но тие најчесто носат имиња на произведувачите. Вообичаено место за инсталација на портите е предната страна на браните во тунелско окно кое завршува со лежиште за затвораот и поклопец на лежиштето. Тука е прицврстен и хидрауличниот цилиндер кој се придвижува од маслото под притисок од електрични пумпи.

Една таква порта придвижувана од хидрауличен цилиндер ќе биде искористена и во нашата постројка.

### 6.1.3 ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ

Пред турбината вообичаено постои сферичен или пак пеперуткаст вентил (слика 5.3) [2]. Тој се поставува на доводниот цевковод пред влезот во спиралата. Овој вентил се користи секој пат кога единицата се стопира. Исто така тој може да послужи за изолација на една единица доколку се работи за централа со повеќе единици кои се снабдуваат со вода од еден доведен цевковод.

Турбинските вентили нормално работат под нула проточни услови и поради тоа имаат еден балансирачки бајпас цевковод со кој најпрво се изедначуваат притисоците од обете страни на вентилот пред отворање или затворање. Бајпас цевководите вообичаено имаат два посебни вентила, еден рачен и еден автоматски. Автоматскиот служи за нормално работење додека рачниот се употребува при итни случаи.

Бидејќи турбинските вентили служат и за итно запирање на турбината тие треба да можат да извршат затворање и при максимален проток кон турбината. Максимален проток може да се појави при максимален турбински учинок, турбински побег или при некоја катастрофа како што е пукање на цевководот. Голем број на турбински вентили можат да бидат употребувани и за регулирање на протокот низ турбината но сепак тоа не е нивна примарна употреба и при нормални услови тие не се користат за тоа бидејќи предизвикуваат намалување на расположивиот пад, а можат да предизвикаат и турбулентно протекување низ турбината и појава на кавитација.

Дизајнираниот притисок на затворачките турбински вентили мора да го вклучи и најлошиот случај, појавата на струен удар при итно затворање на спроводниот апарат.

Турбинскиот вентил го придвижува хидрауличен сервомотор, најчесто управуван од некој маслен систем каков што е системот за управување со спроводниот апарат. Хидрауличните системи вообичаено завршуваат со еден двојно активирачки цилиндер (отворањето и затворањето на цилиндерот е хидраулички), но заради упростување може да се користи и хидрауличен цилиндер со единечно дејство наспроти тег.

Турбинскиот вентил е еден од најтешките елементи на централата и честопати е оној кој ја диктира носивоста на кранот во електраната.

Најчесто се употребуваат пеперугастите и сферичните но постојат и други видови на турбински вентили. Пеперугастите вентили се карактеризираат

со снажен, компактен и едноставен дизајн поради што се евтини и често употребувани. Тие се составени од еден диск монтиран на осовина кој ротира во цилиндрично тело. Вообичаено дискот е поставен паралелно со линијата на течење за да овозможува глатко хидраулично течење и ги балансира силите врз вентилот или пак е поставен под прав агол за да овозможи целосно затворање. Треба да се има во предвид дека овој вентил за разлика од сферичните предизвикува загуби на падот па поради тоа не се користи при големи падови.

Сферичните вентили имаат тело обликувано како шуплива сфера со бандажи или други врски за монтирање на вентилот во цевоводниот систем. Телото е направено од две или повеќе секции споени со бандажи со завртки за да може роторот да се вади и става. Роторот е во форма на топка и има цилиндрична дупка низ нејзиниот центар а од нејзините страни е подржана на две ротирачки осовини. Во отворена позиција роторскиот отвор е паралелен на протокот и водениот ток поминува низ него со минимални загуби. За да се затвори вентилот, роторот на вентилот се завртува за 90 степени од оската на роторскиот отвор.

Честопати можат да се видат конструкции кои содржат два вентили од кои едниот служи како работен а другиот е за подршка и се користи при сервисирање на работниот.

Во нашата постројка ќе биде користен еден пеперуткаст вентил (слика 5.3).

#### 6.1.4 ГЕНЕРАТОР

Генераторот вообичаено се сврстува во електро елемент, но тој содржи голем број на механички компоненти. Механичките компоненти на генераторот ги вклучуваат: лежиштата и системот за подмачкување, потпирачите на лежиштата, статорската рамка, роторскиот пајак и раб, плочите за кочници и котви, воздушното куќиште, воздушното ладење, кочниците и нивните цилиндри (слика 5.3).

Кај генераторите со вертикално вратило за најважна механичка компонента се сметаат потпорните лежишта. Вообичаено се употребуваат двонасочно водени лежишта доколку генераторскиот ротор е потпрен од горната страна (обесен генератор) и еднонасочно водени лежишта доколку роторот е потпрен одоздола (чадор генератор). Кај хоризонталните единици исто така постои потпорно лежиште за да се неутрализираат аксијалните сили од турбината. Потпорните лежишта мораат да издржат подолг период на работа со минимално одржување. Поради ова флуидот кој се користи за подмачкување мора да биде адекватно изладен, без контаминации, и да има високи мазиви својства низ целата температурна област на работење. Исто така тој треба да има високи изолациони особини. Системот за управување и супервизија треба да ја надгледува температурата на лежиштата бидејќи зголемените температури над нормалната работна температура е показател за неправилно работење на постројката и оштетување на лежиштата. Лежиштата спаѓаат во потрошен материјал па пожелно е да се чуваат како резервни делови со што се заштедува на време при нивно менување.

Најголем дел од вертикалните генератори се опремени со системи за подмачкување на лежиштата што имаат високо-притисни пумпи за создавање на висок притисок во системот за подмачкување бидејќи треба да создадат еден

тенок маслен филм од неколку микрометри во лежиштето при ниските брзини на турбината, т.е. при стартирање на турбината и при нејзино запирање.

Ладењето на статорот и роторот на генераторот е критично за одржување на работните температури на сврзните и конструкциските материјали. Честопати кај малите единици ладењето е од амбиенталниот околен воздух. Новите генератори се опремени со воздушни куќишта и воздух-вода разменувачи на топлина, кои го користат рециркулаторскиот воздух помеѓу статорот и роторот. Циркулацијата низ генераторот најчесто се постигнува со помош на перки монтирани на роторот. Зголеменото ладење може да предизвика создавање на кондензација што може да предизвика оштетување на генераторот. Поради ова се наметнува фактот дека генераторската температура исто така треба да биде надгледувана од системот за управување и супервизија.

Хидро генераторите се опремени со систем за кочење. Системот за кочење треба да обезбеди намалување на брзината на единицата како и мирување на единицата при цурење на спроводниот апарат. Вообичаените дизајни користат кочнички папучи монтирани на клип на некој цилиндер кои кочат наспроти кочен прстен монтиран на роторот. Цилиндрите најчесто се напојувани со масло од маслениот систем на сервомоторот на спроводниот апарат. Кочниците се вклучуваат при 40% од целосната брзина при запирање на единицата.

Генераторите се опремени и со систем за подигнување кој се користи за подигнување на машинските ротирачки делови на одредено растојание доволни за промена или подесување на потпорните лежишта или пак за намалување на притисокот врз потпорните лежишта при стопирани единици.

## 6.2 РЕГУЛАТОРИ

Регулаторот служи за промена на протокот низ хидрауличната турбина со цел за одржување на брзината на единицата и фреквенцијата на системот. Исто така, тој го одржува балансот помеѓу водениот инпут во турбината и бараната моќност на системот [2].

Основните функции на регулаторот на хидраулична турбина кога управува со единица директно поврзана на АС систем се:

- Одржување и прилагодување на брзината на единицата пред единицата да се поврзе на мрежата
- Одржување на фреквенцијата на системот по синхронизацијата, со помош на подесувања на турбинскиот учинок
- Кога работи во систем паралелно со други единици да го распредели оптоварувањето помеѓу другите единици според планираниот начин а како одговор на грешката во фреквенцијата на системот
- Да го подеси учинокот на турбината како одговор на командите на операторот
- Да ја заштити единицата од неконтролиран побег како резултат од наглото губење на електричното оптоварување или пак да иницира затворање на единицата поради појава на абнормални услови

Регулаторот е клучна компонента во инсталации каде имаме автоматско стартирање и запирање на единицата. Доколку се работи за изолиран систем со една генераторска единица регулаторот управува и со фреквенцијата. Доколку



се работи за голем систем, регулаторот може да се користи за да се поклопат фреквенциите на системот за синхронизација, за да се регулира оптоварувањето на единицата и допринесува за управување со фреквенцијата на системот.

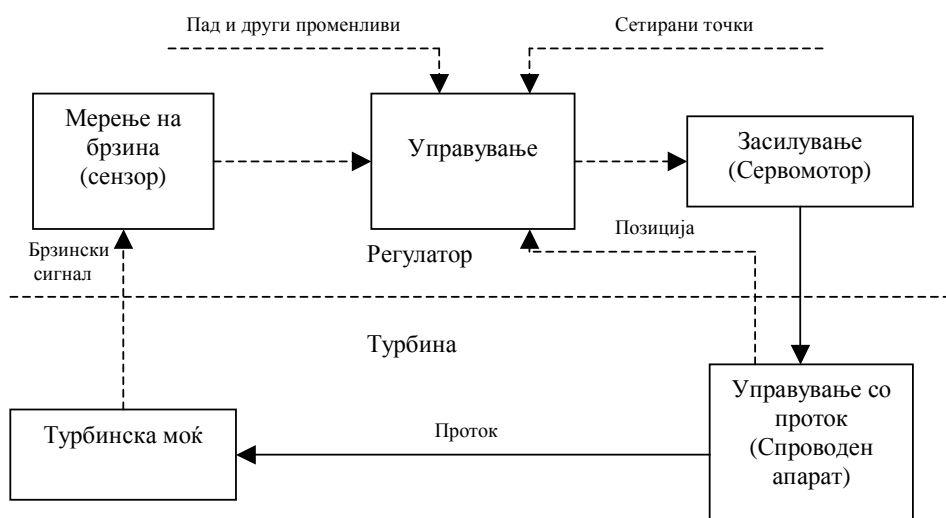
Во основа регулаторите можеме да ги сместиме во три групи: механичко - хидраулични, аналогно - електронички и дигитални регулатори. Механичко-хидрауличните регулатори се најпрво развиените регулатори. Тие регулатори користат хидрауличко засилување како функција од детектираната брзина за да обезбедат сила која го контролира протокот низ турбината. Кога регулаторот ќе детектира дека посакуваната брзина опаѓа, го отвора спроводниот апарат а со тоа се зголемува моќноста на турбината. Кога ќе се зголеми брзината спроводниот апарат се подзатвора за да се намали моќноста на турбината. Со ова спроводниот апарат се позиционира пропорционално на промените на брзината предизвикани од промените на оптоварувањето. Кога една ваква единица ќе се поврзе на мрежата, резултантните промени на турбинскиот излез допринесуваат за вкупната нестабилност на фреквенцијата на целиот систем.

Како нивна замена се појавија регулаторите со аналогна електроника. Тие ја користат аналогната електроника за да ги извршуваат контролната функција која кај претходните регулатори се вршеше механички. Овие регулатори обезбедуваат електронско *PID* дејство со што се подобри управувањето а полугите и цилиндрите кои предизвикуваа осцилаторни движења беа исфрлени.

Трета генерација на регулатори се дигиталните кои користат микропроцесори, програмабилни логички контролери (*PLC*) и софтверски програми за да ја извршуваат управувачката функција. Овие регулатори можат да обезбедат управување со брзината, оптоварувањето, протокот, нивото на вода или пак било кој друг системски параметар со користење на најразлични алгоритми.

Основниот принцип на работа на еден регулатор е прикажан на следнава слика и содржи три главни делови [2]:

- Сензорски елемент за сензирање на турбинската брзина и обезбедува излез кој е пропорционален на брзината
- Контролен елемент кој ја споредува турбинската брзина со посакуваната брзина и произведува излезен сигнал кој ја претставува побаруваната управувачка акција
- Засилувачки елемент кој произведува механичка сила потребна за позиционирање на уредите за управување со водениот тек (спроводен апарат, лопатки, игли или дефлектори) како одговор на излезниот сигнал од контролниот елемент



Слика 4.1: Основен блок дијаграм на регулатор [2].

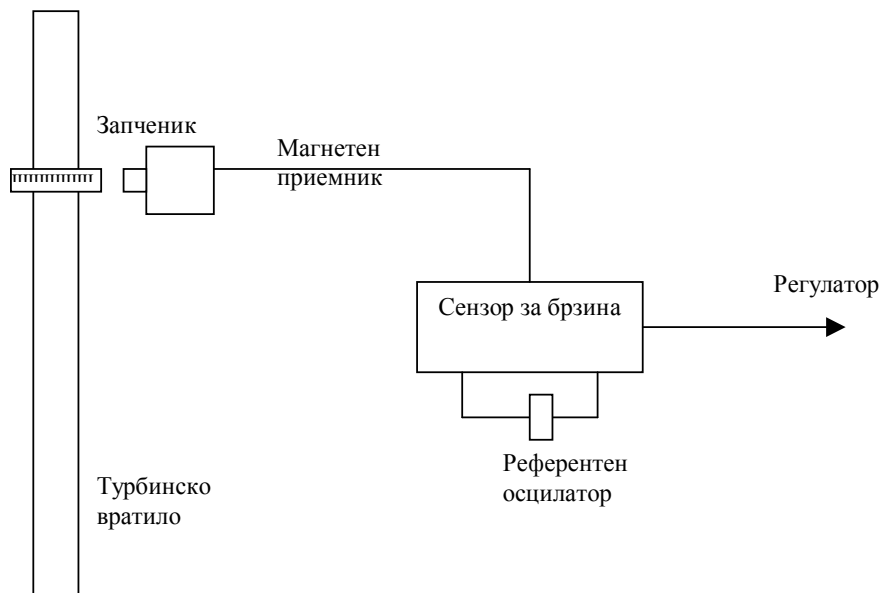
### 6.2.1 СЕНЗОР ЗА БРЗИНА

Најстариот механизам за одредување на брзината на турбината е тахометарот. Како што е добро познато тахометарот во својата основна форма се состои од два тега поставени на краевите од две раце. Тие раце ротираат околу оската на ротација на тој начин што теговите се движат радијално на оската. Со текот на времето овој основен дизајн претрпел низа измени но основниот принцип на работа е задржан. Тој се користи во механичките регулатори.

Денешните сензори за брзина се електрични. Честопати се користат мали *DC* генератори со постојано магнетно поле чии што излезен напон е пропорционален на брзината. Карактеристично за аналогните и дигиталните регулатори е тоа што користат сензори за фреквенција. Еден од методите што се користат да произведат фреквентен излез пропорционален на брзината го користи излезниот напон од малиот генератор како внес во фреквентно сензитивна мрежа која обезбедува сигнал апроксимативно пропорционален на девијациите во брзината од рамнотежната вредност.

Еден метод на мерење на брзината кој во денешно време е во широка употреба користи запченик и магнетски приемник. Запченикот може да биде поставен на турбинското вратило или пак да имаме некое додатно вратило и преносник. Излезната фреквенција на приемникот е мерена од сензорот за брзина за да се одреди брзината на вратилото [2].

Во нашата *SCADA* програма ќе користиме ваков метод за мерење на брзина на турбината.



Слика 4.2: Електронско мерење на брзината

## 6.2.2 УПРАВУВАЊЕ - ДИГИТАЛНО

Дигитално управуваниот регулатор може да ја контролира брзината, излезот на единицата, нивото на вода, или било кој друг параметар на системот кој може да биде измерен од некој трансдјусер, прекинувач или контакт. Главната предност на дигиталниот регулатор е разновидноста и леснотијата со која може да се направат промените. Тој овозможува лесно поврзување со компјутерските системи.

Дигиталниот регулатор може да изврши многу додатни управувачки функции кои со механичките а и со аналогните регулатори се невозможни [2]. Дигиталните регулатори ги имаат следниве функции:

- Управување со брзината и моќноста
- Контрола на генераторот: Тие можат да овозможат т.н. *VAR* управување (*Voltage And Reactive Power*)
- Управување со доточните и истечните води
- Управуваат со протокот
- Управувачки редоследи: Регулаторите со помош на релиња вршат одредени управувачки алгоритми следени по некој редослед. Па така тие можат да вршат автоматски старт, гасење или пак кочење на единицата. Овие алгоритми се најлесно променливи и лесно се дополнуваат со нови во дигиталните регулатори
- Далечинско управување: Дигиталните регулатори можат да стартираат, стопираат или променат претходно зададени точки или параметри на

регулаторот. Тие можат да испраќаат и примаат податоци преку комуникациски линкови

- Кај дигиталните регулатори со помош на софтверски програми можат да се одржуваат регионите со висока ефективност на работа на единицата а да се одбегнуваат грубите зони на работа. Податоци за турбината можат да бидат вметнати во тие програми и со тоа да се избегнат зоните на кавитација на турбината
- Овозможуваат двојно управување, управување со два сервоцилиндри, како кај каплан турбините потребно е да се изврши поставување на спроводниот апарат и лопатките на роторот на оптимални позиции

Дигиталните регулатори можат да бидат применети во било која конфигурација поради леснотијата на промената на софтверот. Софтверот кај дигиталните регулатори ги врши функциите на механичките и аналогните регулатори со уреди какви што се управувачки мотори, соленоиди и позициони прекинувачи.

### 6.2.2.1 УПРАВУВАЧКИ ХАРДВЕР – PLC

Управувачкиот хардвер се состои од едно или повеќе засебни *PLC* уреди. Поради компактност најдобро е да биде едно *PLC* од познат производител за да не би се усложнувала конструкцијата непотребно. Потребно е да се користи модуларно *PLC* па така вообичаено имаме една главна процесорска единица и неколку додатни аналогни и дигитални влезно/излезни модули.

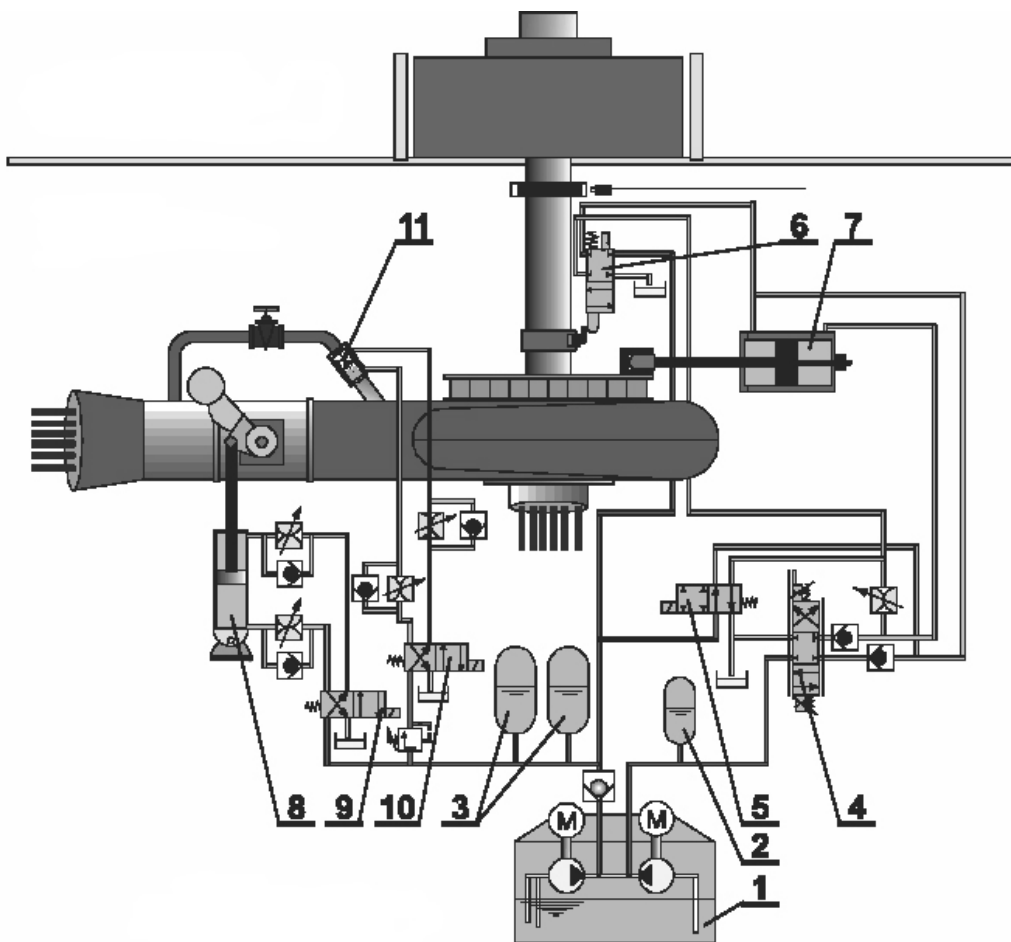
Софтверот кој се користи за имплементација на алгоритмот зависи од производителот. Тој може да биде команден, скалест или пак во последно време се применува графички т.е. блоковен тип. Алгоритмите се одвиваат во реално време со временски чекори од 5 до 15 ms зависно од производителот [41].

Еден ваков регулатор овозможува изведување на сите функции на турбинска регулација потребни за работа на агрегатот, како и автоматско стартување на агрегатот на називниот број на вртежи, автоматска синхронизација и приклучување на мрежа и оптеретување на зададената снага. Исто така регулаторот има можности за промена на режимите на работа: мрежно или самостојно, рачно или автоматско. Во него се вградени и различни заштити како што се: заштита од побег, индикации за неисправност на вентилот за брзо затворање и индицирање на некорелираност помеѓу големината на отвореноста на спроводниот апарат и моќноста на агрегатот [41].

Еден просечен регулатор ги има следниве квалитативни карактеристики: овозможува статичка грешка на хидрауличниот цилиндер помала од 0,4%, статичка грешка на бројот на вртежи во празен од (без оптеретување) помала од 0,4% и статичка грешка на регулираната снага да не преминува преку 0,25% [41].

### 6.2.3 ЕЛЕКТРОХИДРАУЛИЧКИ СОСТАВ

Електро-хидрауличкиот состав се состои од: уреди за напојување со хидраулична енергија и цевковод (означени на сликата со 1, 2 и 3), управувачки хидраулични компоненти (4, 5, 6, 9,10, 11) и извршен орган-сервомотор (7 и 8) [41].



Слика 4.3: Практична изведба на електрохидраулички состав [26]

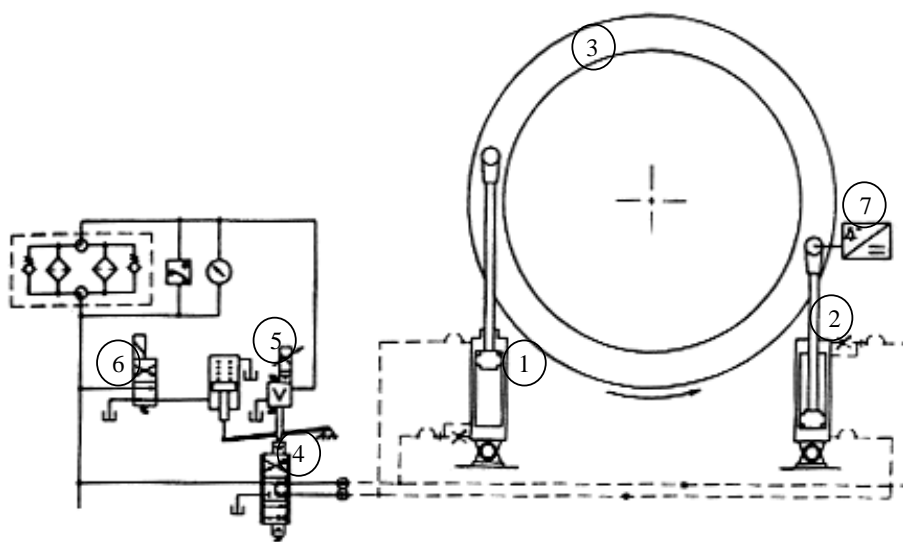
1. Резервоар со главна и помошна пумпа, 2. и 3. Акумулатори, 4. пропорционален распоредник на спроводниот апарат, 5., 6., 9.,10. и 11. распоредници, 7. и 8. извршен орган-сервомотор

Хидраулични пумпи го создаваат притисокот во *системот за напојување* со хидраулична енергија. Постарите системи на регулатори работат со мали притисоци, од 1000 до 2000  $kPa$ . Новите работат со повисоки притисоци (околу 7000  $kPa$ ) со што е овозможена примена на помали вентили, акумулатори, цевки и сервомотори за да ги постигнат истите цели, а бидејќи се помали тоа значи дека се и поевтини [2].

Главните делови на стандардно напојувањето со хидраулична енергија се две пумпи со променлив проток, од кои едната е главна, другата е помошна и два односно три мембрански акумулатори (еден за подсистемот за управување на турбината и два за останатите подсистеми) за смалување на вршните притисоци и акумулирање на енергија [41]. Акумулаторите на притисок

(позиција 2 и 3) овозможуваат регулаторот да работи и кога притисните пумпи не работат. Со тоа се овозможува затворање на турбинската постројка во итни случаи при откажување и на двете пумпи. Општо, акумулаторот треба да биде така дизајниран да минималниот притисок во нив овозможува затворање-отворање-затворање на сервомоторот при исклучени пумпи. Прекинувачи за минимален и максимален притисок во системот ги покренуваат и запираат пумпите. Пумпите црпат масло од резервоарот за масло кој вообичаено е дизајниран да прифати поголема количина на масло од максимално потребното. Прекинувачи за ниво на течност се користат за да се индицира падот на нивото под минималното. Додатна опрема на овој систем е системот за загревање или ладење на маслото до работната температура на системот за регулација, доколку за тоа има потреба.

Управувачкиот хидрауличен дел на составот се состои од електро-хидраулични вентили стандардно изведени и еден пропорционален распоредник (4) со вграден давач на одот на главниот клип на распоредникот [41]. Позицијата на главниот клип на пропорционалниот распоредник е регулирана со помош на електричен соленоид а поместувањето на клипот е пропорционално на големината на протокот на излез од пропорционалниот вентил.



Слика 4.4: Управувачка хидраулика на сервомотор [2]; 1. и 2. Сервомотори, 3. Спроводен апарат, 4. Пропорционален распоредник, 5. Електро-хидраулично поместување на клипот на пропорционалниот распоредник, 6. Распоредник, 7. Давач на позиција на сервомотор

Притисокот обезбеден од притисниот систем на регулаторот преку трипозициониот пропорционален вентил овозможува управување со прстенот на спроводниот апарат. Додатното фино филтрирање и повратокот и системот за итни случаи обезбедуваат заштита на турбината. На сликата 4.4 е прикажан и давачот на позиција.

Извршниот орган е сервомотор т.е. хидрауличен цилиндер (7) од слика 4.3 кој што има давач на одот на клипот. Со помош на овој сигнал се затвора регулационата повратна врска за позицијата на спроводниот апарат [41].

### 6.2.3.1 ХИДРАУЛИЧЕН ЦИЛИНДЕР – СЕРВОМОТОР И НЕГОВО ВЛИЈАНИЕ ВО СИСТЕМОТ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХЕЦ

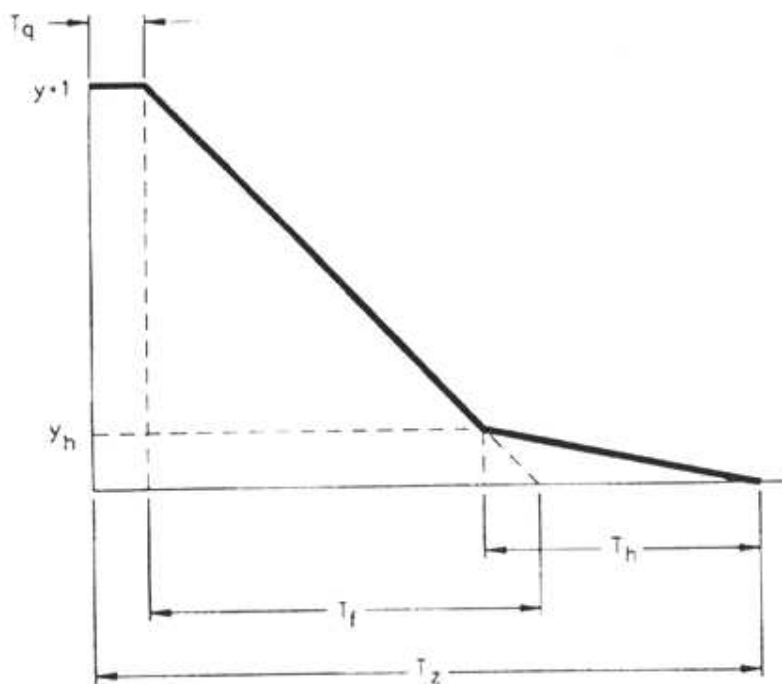
Транзиентни услови по дефиниција се појавуваат при било која промена на протокот низ турбината. Природата и интензитетот на транзиентите зависи од севкупните карактеристики на хидроцентралата - вклучувајќи го и типот и карактеристиките на регулаторот. Лошо воден регулатор може да предизвика сериозни осцилации на притисок и моќност во системот и сериозни опасности за централата.

Примарен регулатор на проток е спроводниот апарат. Спроводниот апарат е одговорен за нагло запирање, промена на оптоварувањето и нагло отворање. Доколку уредите за регулација на проток не си ја завршат работата со затворање на турбината, тогаш турбинските вентили ја превземаат улогата на затвораачи за да се спречи оштетувањето на турбинските уреди. Наглото затворање и отворање на спроводниот апарат е од основно значење за анализата на транзиентните услови.

*Наглото затворање* е важна операција која предизвикува високи притисоци и напрегања во системот. Доколку затворањето е извршено премногу бргу, зголемувањата на притисоците би биле премногу големи, доколку е извршено премногу споро ротирачките делови би добиле неприфатливо големи брзини. Поради ова мора да се најде некое оптимално решение. Глобалниот систем за управување мора да го има имплементирано во себе оптималниот начин на управување, вклучувајќи го и наглото затворање како посебен алгоритам и треба да внимава дали тој исправно се спроведува.

Вообичаено наглото затворање на спроводниот апарат се иницира по нагло излегување на постројката од мрежа, т.е. по снемивање на оптоваравање на постројката, а со цел да се спречи турбината да ја зголеми својата брзина до брзини на побег.

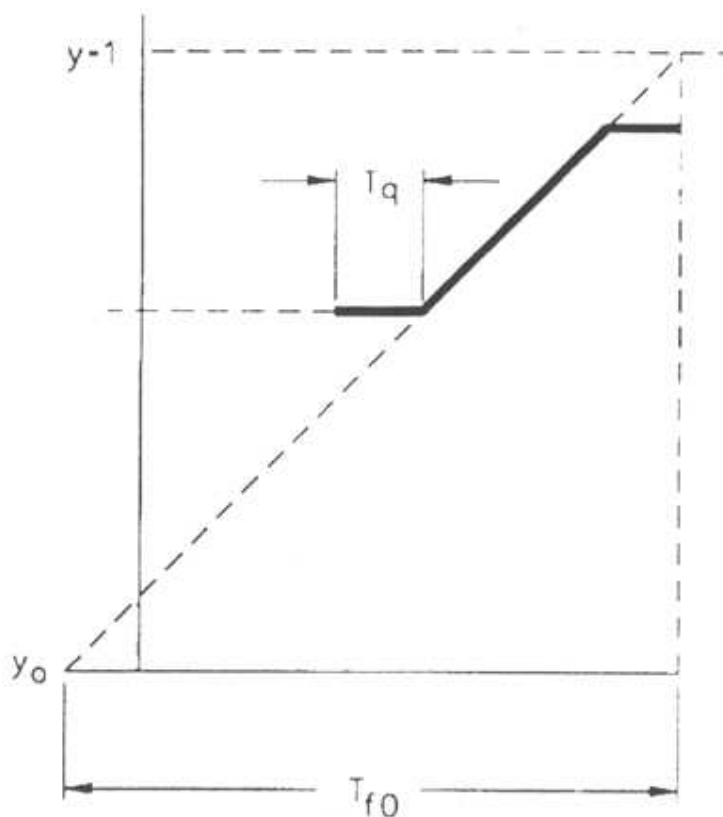
Како што е прикажано на сликата 4.5 ова се постигнува со нагло поместување на клипот на сервомоторот. На оваа слика е прикажано релативното поместување на клипот,  $y$ , во текот на времето за типичен сервомотор при операцијата на нагло затворање од позиција на целосно оптоварена постројка. На сликата можеме да ги видиме следните параметри карактеристични за секој сервомотор:  $T_q$  = мртво време на сервомоторот,  $T_f$  = минимално време на затворање од целосно отворена позиција,  $T_h$  = време на пригушување (амортизирање, ублажување на ударот),  $T_z$  = Тотално време на затворање. Клипот на сервомоторот се поместува со максимална брзина се додека не се постигне транзициската позиција,  $y_h$ . Вредноста на мртвото време вообичаено се движи од 0.2 до 0.7 секунди. Транзиентната позиција  $y_h$  е помеѓу 0.05 и 0.2. Истиот облик на кривата прикажана на оваа слика е валидна и при затворање од позиција на делумно оптоварување [2].



Слика 4.5: Нагло затворање на сервомотор од позиција на целосно оптоварена постројка

Нагло отворање е дадено на сликата 4.6. Доколку отворањето се изврши премногу нагло тогаш е можно да се создадат разни вакуми, кои предизвикуваат оштетувања на постројката и го загрозуваат нејзиното функционирање. На сликата можат да се видат типичните параметри на еден сервомотор важни за неговото функционирање при нагло отворање. Тие се:  $T_q$  = Мртво време на сервомоторот,  $T_{fo}$  = минимално време на отворање од затворена ( $y=0$ ) до целосно отворена ( $y=1$ ) позиција. Вредноста на мртвото време е исто како и при наглото затворање и се движи во граници од 0.2 до 0.7 секунди. Вредноста на  $T_{fo}$  мора да се пресмета, вообичаено со претпоставка да не се појави вакум кој може да ги оштети цевководите [2].





Слика 4.6: Нагло отворање на сервомотор од спроводен апарат

#### 6.2.4 РЕГУЛИРАН СОСТАВ

Хидроенергетската единица е составена од турбина со соодветен цевковод и синхрон генератор. Основни податоци битни за турбинската регулација се: називниот пад  $H_B$  (m), називниот проток  $Q_B$  ( $m^3/s$ ), должината на притисниот цевковод  $L_c$  (m), базната моќност на генераторот  $P_B$  (MW), називната брзина  $\omega_B$  ( $min^{-1}$ ), називната фреквенција на генераторот  $f=50Hz$ , и инерцијален момент на роторот  $Jm$  ( $kgm^2$ ) [41].

Карактеристиките на регулаторите во голема мера зависат од: типот на турбината, моментот на инерција на составот турбина-генератор, инерцијата на водениот столб и карактеристиката на оптоварувањето.

Кај Францис турбината регулаторот управува со позицијата на спроводниот апарат. Кај Каплан турбината, освен позицијата на спроводниот апарат потребно е да се управува и со позицијата на лопатките на турбината. Пелтон турбината пак се управува со позицијата на иглата и со позицијата на дефлекторот.

Во системот турбина-генератор, во текот на времето оптоварувањето на генераторот (претставено со моментот на генераторот  $M_G$ ) се менува. Во некои моменти обртниот момент што го развива турбината  $M_T$  може да е поголем или пак помал од моментот кој му е потребен на генераторот. Разликата на овие два момента ( $M_T - M_G$ ) доколку  $M_T > M_G$  ќе се троши на забрзување на обртните маси поставени на заедничка осовина [6][15]. Ако е  $J$  момент на инерција на обртните маси на турбината и генераторот, тогаш од динамичката рамнотежа на

инерцијалниот момент на ротирачките маси  $J(d\omega/dt)$  а врз база на законот за промена на количеството на движење следи:

$$J(d\omega/dt) = M_T - M_G \quad (4.1)$$

Каде што  $\omega$  е агловата брзина на роторот на турбината. Од равенката се гледа дека со промена на моментот на генераторот се променува и фреквенцијата на електричната енергија што се произведува. Во случај кога  $M_T > M_G$  доаѓа до забрзување т.е.  $(d\omega/dt)$  е поголемо од 0, а кога  $M_T < M_G$ ,  $(d\omega/dt)$  е помало од 0, па следи успорување.

Моќноста на турбината можеме да ја изразиме на следниов начин:

$$N_T = M_T \omega = H \eta \rho g Q, \quad (4.2) \text{ оттука следи:}$$

$$M_T = (H \eta \rho g Q) / \omega \quad (4.3)$$

Од последната равенка се гледа дека моментот на турбината зависи пропорционално од протокот низ турбината (односно од отвореноста на спроводниот апарат), а обратнопропорционално на агловата брзина. Доколку  $\omega$  го одржуваме константно и под претпоставка дека падот  $H$  е непроменлив тогаш од равенката гледаме дека моментот на турбината можеме да го управуваме само со промена на протокот, т.е. со промена на отвореноста на спроводниот апарат.

Од равенката (1) се гледа дека многу важен параметар на составот турбина-генератор е масениот момент на инерција  $MD^2$  ( $kgm^2$ ) [2]. Големината на машинскиот инерцијален момент влијае на големината на моменталната промена на брзината, предизвикана од промена на оптоварувањето. Со промената на оптоварувањето на единицата се менува ротационата кинетичка енергија. Кинетичката енергија е пропорционална на масениот момент на инерција помножен со брзината на вртење. Според тоа колку е поголем масениот момент на инерција, толку е помала промената на брзината потребна да ја апсорбира зададената варијација на енергијата. Овој ефект е познат како ефект на замаец.

Колку е поголем замајниот момент толку повеќе време имаат уредите за управување со вода, спроводниот апарат, да реагираат на соодветен начин. Брзината на единицата, типот на генераторот и типот на турбината го фиксираат моментот на инерција. Големи промени на  $MD^2$  може да чини многу. Големината која се користи за да се измери ефектот на замаецот е механичкото време на стартување вообичаено одбележано со  $T_m$ .  $T_m$  е време потребно машината да забрза од мирување до предодредената брзина со апликација на одредениот обртен момент на одредената моќност.

Инерцијата на водениот столб и волуменот на водата исто така влијае врз работата на регулаторот. Кога регулаторот ќе побара одредена промена на позицијата на уредите за регулација на водата, потребно е одредено време за да се резвие потребната торзија. Инерцијата на водата има на располагање ограничена сила за да ја забрза водата на новозададениот проток. Распоживиот пад ја одредува големината на таа сила.

Затоа, доколку оптоварувањето е нагло може да предизвика штета со тоа што ќе побара од регулаторот нагло отворање на спроводниот апарат, побрзо од тоа што водата може да забрза. Во текот на овој период на недостаток на торзионен момент (што го обезбедува водата протекувајќи низ турбината)

турбината ќе успори. Ситуацијата дополнително може да се усложни доколку оптоварувањето се намали со што и отворот на спроводниот апарат ќе се намали но тоа нема да предизвика значајни промени на протокот. Поради ова, брзината на протокот низ турбината моментално ќе се зголеми со што ќе предизвика зголемување на обртниот момент, наместо бараното намалување. Терминот што се користи за мерење на инерцијата на водата е време за стартирање на водата  $T_w$ .  $T_w$  е дефинирано како време потребно водата во цевководниот систем да забрза од мирување на одредената брзина при одреден пад [2].

*Оптоварувачките карактеристики (Load Characteristics)* на системот кој се напојува со енергија, т.е. на кој што му се предава произведената електрична моќност, се важни за одредување на глобалната стабилност на системот. За жал, вообичаено околу нив неможе да се стори ништо па тие мораат да се земат во предвид такви какви што се при дизајнирање на управувањето.

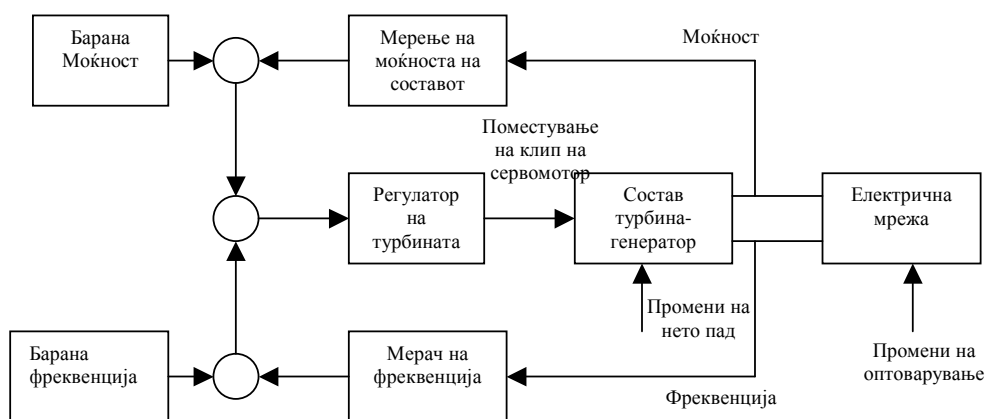
Генераторите со константна екситација произведуваат напон директно пропорционален на брзината. Еден таков генератор кој напојува отпорничко оптоварување (сијалица) би имал излезна моќност пропорционална на квадрат од брзината и баран обртен момент, торзија, директно пропорционален на брзината [2]. Тоа значи дека ваквото оптоварување има позитивно пригушување. Модерните генератори имаат брзи напонски регулатори кои ги компензираат промените во брзината и го одржуваат константен напонот на системот. Во ваков случај излезната моќност ќе остане константна бидејќи нема промени на напонот. Бидејќи моќноста е пропорционална на производ од брзината и торзиониот момент, намалување на торзиониот момент ќе биде придружено со зголемување на брзината, со што ќе се појави негативно пригушување. Системите со мало пригушување покажуваат поголема нестабилност што значи управувачкиот регулатор треба да изврши многу поголемо стабилизирачко влијание. Според тоа треба да имаме во предвид дека другите управувачки уреди како што се регулаторите на напон и регулаторите на притисок а кои дејствуваат на ист управуван систем, можат да имаат негативно дестабилизаторско влијание на системот за регулација на брзината.

Турбинскиот регулатор е само еден од елементите во хиерархијата на контролни елементи кои дејствуваат во повеќекратниот управувачки систем составен од напонски регулатори, стабилизатори на моќност итн. Секој од овие системи дејствувајќи самостојно на системот обезбедува стабилност но нивна комбинација предизвикува нестабилности. Решение на овој проблем се наоѓа со одредување на величината за која е потребна најточно управување (да речеме брзината) и креирање на управување најточно и најбрзо што е можно за таа величина а сметајќи ги останатите величини за константни. Потоа управувањата на секундарните променливи намерно се прави значително споро за да претпоставката за константни вредности е задоволително точна.

Промената на обртниот момент со промената на брзината го карактеризира отпорничкото оптоварување, опишано претходно, но постои и друг тип на оптоварување, синхроно. Во овој случај, торзијониот еквилибрум не е воспоставен само кон синхроната брзина, туку постои и дополнителна торзија која е зависна од релативната позицијата на роторот на алтернаторот кон синхроното поле. Оваа анализа не е во склопот на нашето разгледување.

## 6.2.5 ПРИНЦИП НА РАБОТЕЊЕ НА ДИГИТАЛЕН РЕГУЛАТОР

### 6.2.5.1 ОПШТ ПРИНЦИП НА РАБОТА НА РЕГУЛАТОР ЗА АВТОМАТСКА РЕГУЛАЦИЈА НА ФРЕКВЕНЦИЈА И СНАГА КАЈ ТУРБИНА

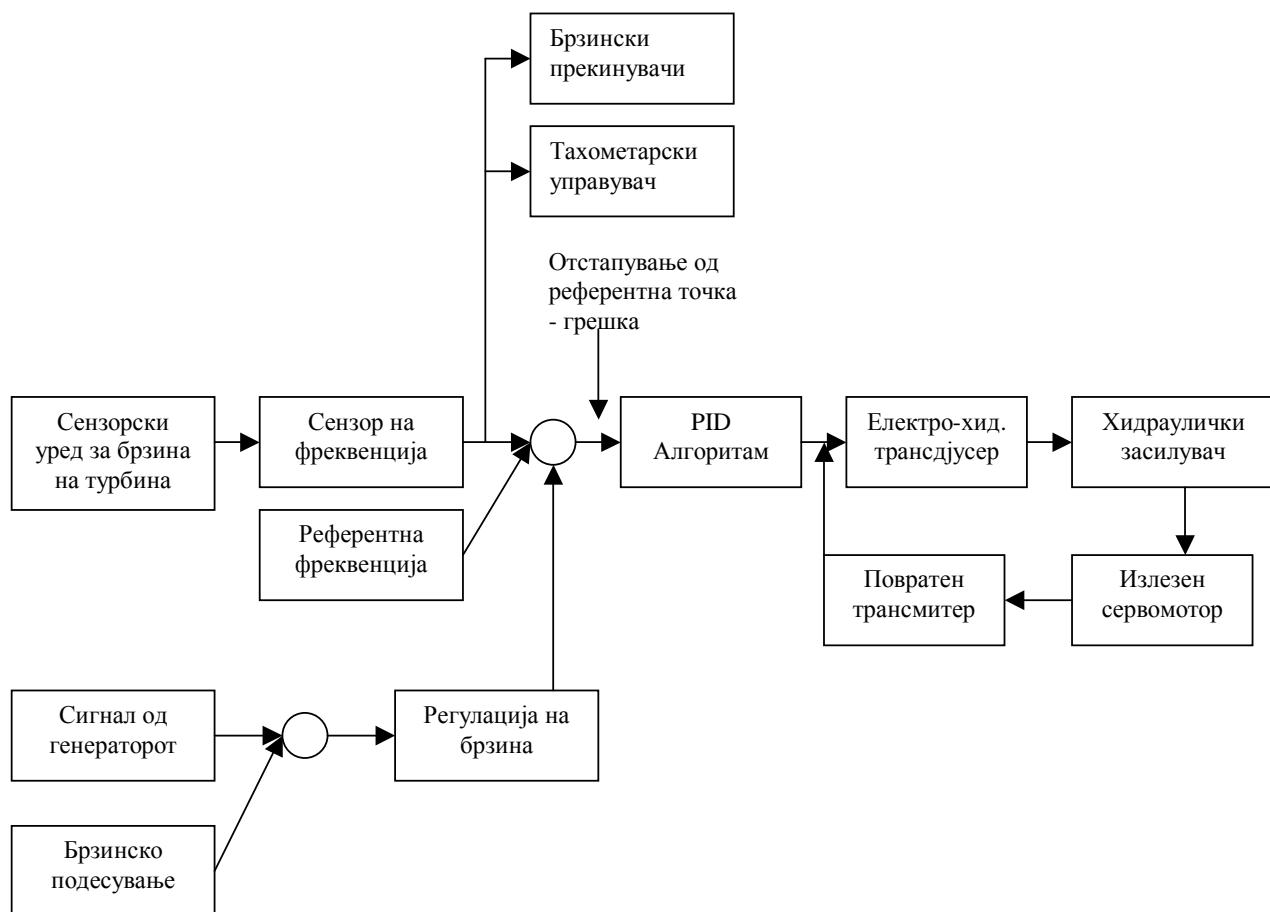


Слика 4.7: Принцип на автоматска регулација на фреквенција и снага на составот турбина – генератор [42]

На сликата 4.7 и сликата 4.8 е прикажан основниот принцип на работа на автоматската регулација на фреквенцијата и моќноста на еден турбински регулатор. Од сликата се гледа дека турбинскиот регулатор има два основни круга на регулација:

- регулационен круг на фреквенцијата (или брзината на вртење)
- регулационен круг на моќност

За време додека составот не е приклучен на електричната мрежа, моќноста е нула, па активен е само регулациониот круг за регулација на фреквенцијата. Кога постројката ќе ја приклучиме на мрежата тогаш фреквенцијата е диктирана од мрежата. Регулациониот круг на моќност во составот за регулација на единицата овозможува регулација на моќноста која што ја произведува составот турбина – генератор. Кога фреквенцијата и снагата ќе се урамнотежат, суматорот помеѓу нив има сигнал нула.



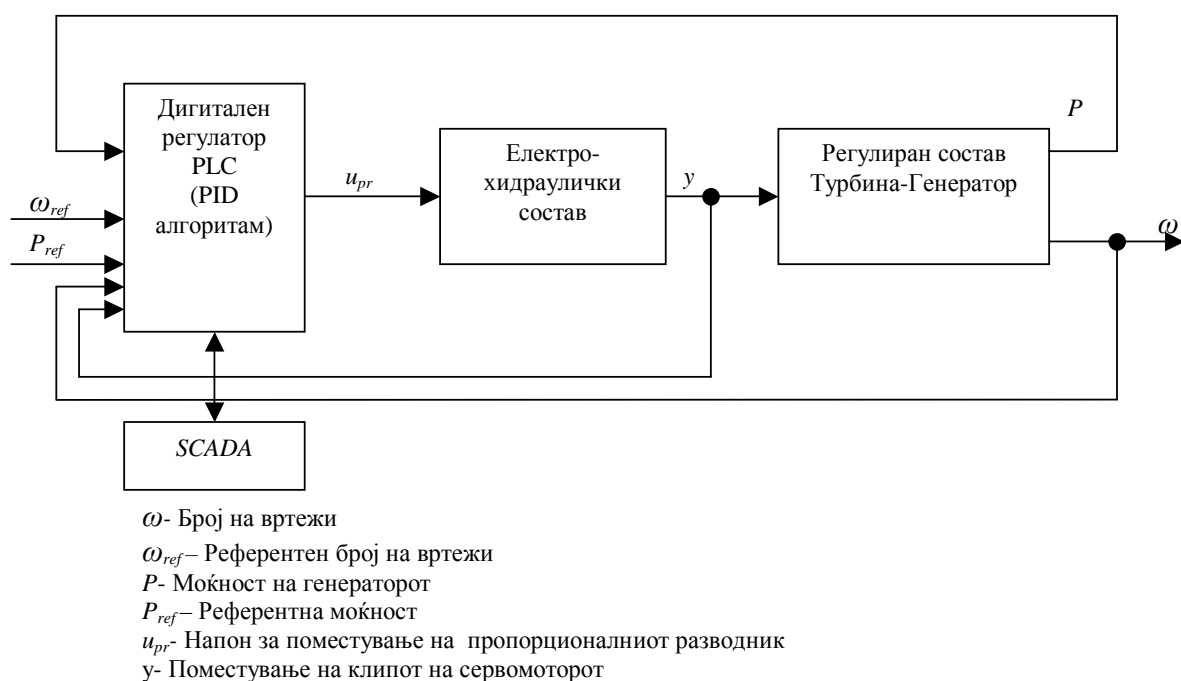
Слика 4.8: Блок дијаграм на типичен дигитален регулатор [2]

Без разлика кој тип на сензорски уред за брзина ќе се користи (тахометар или електронски), неговиот излезен сигнал претставува влез за сензорот за фреквенција на единицата. Подесувањата на брзината претставуваат друг влез (Слика 4.8). Повратниот сигнал од генераторот се комбинира со овие влезови за да обезбеди регулација. *PID* Алгоритмот го пресметува сигналот на грешка и создава електричен сигнал за електро-хидрауличкиот трансдјусер. Електро-хидрауличкиот трансдјусер е првиот управуван вентил. Моторот на трансдјусерот го конвертира електричниот сигнал во хидраулично течење помеѓу пилот вентилот и распоредникот за да ги помрдне сервомоторите [2].

Наместо механички повратен сигнал, трансмитерот ги надгледува позициите на сервомоторот и обезбедува повратен сигнал за електрониката на системот. Одовде, дигиталното управување ги извршува истите електронски функции како и аналогното но со многу помалку елементи. Дигиталното управување обезбедува стабилност и брз одговор и нуди многу поголеми подобрувања со помош на софтверот.

### 6.2.5.2 ФУНКЦИОНАЛЕН ПРИКАЗ НА РЕАЛЕН ДИГИТАЛЕН РЕГУЛАТОР ЗА АВТОМАТСКА РЕГУЛАЦИЈА НА ФРЕКВЕНЦИЈА И СНАГА НА СОСТАВОТ ТУРБИНА-ГЕНЕРАТОР

Врз основа на направени споредби од повеќе реално изведени регулатори [41] [42] [2] во овој труд направен е функционален приказ на основните составни делови на дигитален регулатор со цел да се види неговата поврзаност со SCADA системот.



Слика 4.9: Функционален приказ и основни составни делови на реален дигитален регулатор

Од сликата 4.9 можеме да видиме дека во дигиталниот регулатор (*PLC*) има неколку влезови. Овие влезови можеме да ги сврстае во два вида. Едните влезови претставуваат референтни вредности на снагата  $P_{ref}$  и брзината на вртење (фреквенцијата)  $\omega_{ref}$ , а вторите претставуваат повратни сигнали од моќноста  $P$  и брзината на вртење  $w$  на генераторот како и повратен сигнал од положбата на сервомоторот на спроводниот апарат. И овде како и на Слика 4.7 можеме јасно да видиме дека принципот на два регулациони круга, регулационен круг на фреквенција и регулационен круг на моќност, е запазен. Доколку се јави девијација помеѓу референтниот/бараниот и повратниот сигнал тогаш се употребува *PID* алгоритмот врз произведената грешка со што се пресметува колку и во која насока треба да се помести сервомоторот на спроводниот апарат. Во тој случај од *PLC* уредот излегува електричен сигнал  $u_{pr}$

кон електро-хидрауличниот состав, соодветен на бараното поместување у. Во електро-хидрауличниот состав тој електричен сигнал се прифаќа од првиот електро-хидрауличен трансдјусер, електро-хидрауличен пропорционален распоредник, кој електричното движење на моторот го претвара во хидраулично течење кон сервомоторот. Со поместување на сервомоторот се менува и протокот т.е. моќноста. Значи трет регулационен круг е регулациониот круг на положбата на сервомоторот. Со него се остварува проверка дали регулаторот ја постигнал бараната положба на сервомоторот. Од оваа слика може да се види дека дигиталниот регулатор овозможува комуницирање со надреденото ниво на управување –SCADA.

Електронските и хидрауличните делови на дигиталниот регулатор функционираат на дигитален принцип. Електронските делови ја мрерат фреквенцијата на генераторот кој е покренуван од турбината, поместувањето на хидрауличниот цилиндер на спроводниот апарат (а со тоа и моќноста на турбината), ја даваат сетпоинтот и сабсетпоинтот на фреквенцијата со некоја негативна косина спрема моќноста на турбината, ја пресметуваат девијацијата на тие фреквенции, ја засилуваат (по *PID* закон) оваа девијација и предаваат логички управувачки сигнал  $+1/0/-1$  на намотките на хидрауличните вентили.

На сликата 4.9 се прикажани и основните составни делови на еден дигитален регулатор групирани по принципот на следење на информациите, а тие според оваа слика се:

1. Управувачки хардвер - *PLC* напоен со соодветен софтвер
2. Електро хидрауличен состав
3. Регулиран состав

### 6.3 ПОДГОТВИТЕЛНИ ЧЕКОРИ ПРИ ДИЗАЈНИРАЊЕ НА SCADA СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХИДРО ТУРБИНА

SCADA системите претставуваат врв на супервизорното управување. Поради тоа пред да се програмира SCADA програмата мора да бидат извршени низа подготвителни постапки а програмата на самиот крај ги обединува сите елементи од системот ХЕЦ. SCADA програмите можат да имаат своја улога и при дизајнирањето на управувањето за симулација и увидување на можните грешки во управувачките алгоритми. За да се овозможи што е можно пореална симулација на динамиката на турбината се употребуваат теоретски математички модели на системите комбинирани со податоци добиени од лабораториски испитувања. Чекорите на програмирање SCADA програма за управување со хидро турбина започнуваат со математичко моделирање а завршуваат со самата имплементација во постројката при што се вршат последните прилагодувања и подесувања.

#### 6.3.1 МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ

Целокупниот систем на управување се дели на неколку подсистеми. За секој подсистем се користи соодветен математички модел. Првиот чекор во дизајнирањето е анализа на моделите со цел да се добијат информации за динамиката на системот. Моделите понатаму се искористуваат за синтеза на регулаторот и во дефинирањето на алгоритмите за детекција на грешки. Исто така моделите можат да се искористат при тестирање на функционалноста на регулаторот. Општо, нелинеарни модели се користат при анализите а линеаризирани модели се користат при синтеза на регулаторот [26].

Посебни подсистеми на целосниот систем се :

1. Хидраулички систем за позиционирање: постојат готови модели кои можат да се искористат при анализата на динамиката на хидрауличкиот систем за позиционирање, вклучувајќи го притисокот и протокот низ одредени компоненти (пропорционален вентил, хидраулички цилиндер, ...). Исто така постојат развиени модели кои можат да се искористат за симулација на кинематиката на системот за позиционирање.

Позицијата на пропорционалниот вентил е во функција од излезниот напон од регулаторот. Позицијата на сервомоторот е одредена функција од позицијата и брзината на пропорционалниот вентил, а со тоа таа е во функција од излезниот напон од регулаторот. Оваа функционална зависност многу варира во зависност од производителите на хидрауличниот состав за позиционирање на сервомоторот.

2. Динамика на доводниот цевковод: може да биде опишана со помош на параметарски модел адекватен за анализа на динамиката на цевководот преку должински димензии. Доколку се земат во обзир губитоците во цевководот тогаш и тие треба да бидат вклучени во моделот. Типична карактеристика на управуваниот систем со вклучено влијание на динамиката на цевководот е нон-минимум фазно однесување. Динамичките појави во притисниот цевковод можат да се опишат со следниве равенки [41]:

$$\begin{aligned} \dot{q}_{TC} &= -\frac{1}{T_w}(h_{TC} - h_{VS} - h_{STAT} + h_{GTC}) \\ \dot{h}_{TC} &= -k(q_T - q_{TC}) \\ h_{GTC} &= k_{TC}|q_{TC}|q_{TC} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Ознаките што се користени во овие равенки го имаат следново значење:  $q_T$  - проток на излез од притисниот цевковод,  $q_{TC}$  - проток на влез во притисниот цевковод,  $h_{GTC}$  - пад на притисокот поради губитоци во цевководот,  $h_{STAT}$  - стационарен притисок,  $h_{TC}$  - динамички притисок на излез од цевководот,  $h_{VS}$  - притисок на водната комора,  $k$  и  $T_w$  - коефициенти кои зависат од должината на цевководот, напречниот пресек на цевководот, протокот и називната притисна висина,  $k_{TC}$  - коефициент на падот на притисокот поради губитоци во цевководот.

3. Водната турбина е представена со две статички нелинеарни функции: проток и моќност [41].



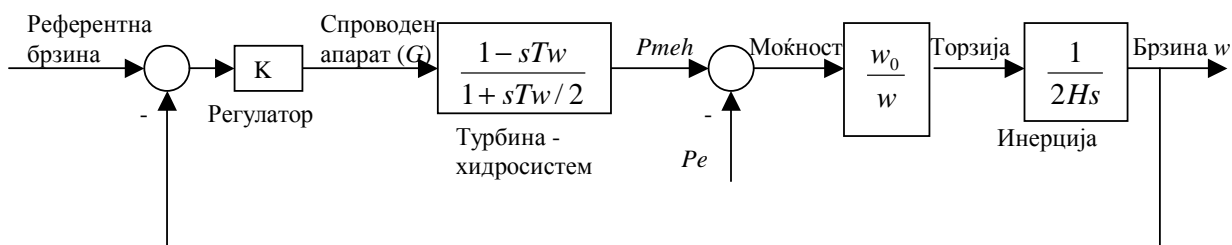
$$\begin{aligned} q_T &= \sqrt{h_{TC}} A_t y \\ P_m &= (q_T - q_{NL}) h_{TC} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Каде што  $A_t$  претставува т.н. засилување на турбината,  $q_{NL}$  – проток при празен од на турбината,  $y$  - отвореност на спроводниот апарат. Овде можат да се користат модели сугерирани од *IEEE Working Group*.

Роторот на турбината во интеракција со оптоварувањето на мрежата може да биде опишан со систем од прв ред доколку системот работи изолирано, додека модели од втор и повисок ред се користат за да се прикаже работата на системот поврзан на мрежа со осцилации на моќност [41].

$$\dot{\omega}_N = \frac{1}{T_m \omega_N} (P_m - P_{el}) \quad (4.6)$$

Каде што  $\omega_N$  е кружната брзина на агрегатот,  $T_m$  – механичка временска константа која зависи од моментот на инерција на роторот, базната снага на генераторот и називната брзина на турбината,  $P_m$  – механичка снага на турбината,  $P_{el}$  - електрична снага на агрегатот.



Слика 4.10. Линеарен модел на хидраулична турбина и регулација на брзината кај изолирано оптоварување на турбина [43]

### 6.3.2 СИНТЕЗА НА КОНТРОЛЕР

Главни управувачки врски кои мораат да се реализираат се управувањето со брзината, управувањето со активната моќност и управувањето со системот за позиционирање на хидрауличниот цилиндер. Дополнителни управувачки кругови можат да бидат управувањето со нивото на вода и управувањето со протокот.

Системот за позиционирање на цилиндерот е секогаш активен додека останатите системи работат во различни модови.

Од системот за позиционирање на цилиндерот се бара голема точност при статичката состојба и добро следење на референците бидејќи другите управувачки повратни врски (управување со брзината) зависат од системот за позиционирање т.е. тој е внатрешна повратна врска. Еден од најчестите

проблеми кои се јавуваат во овој систем е појавата на мртва зона во системот на засилување (го вклучува и прстенот на регулаторот).

Управувањето со брзината има повеќе задачи. При стартирање на единицата да ја донесе брзината на номинална и да ја следи референтно зададената. Во изолирана работа на турбината управувачот со брзина треба да ги компензира оптоварувањата. Параметрите на контролерот се разликуваат во зависност од модовите на работа со цел да се постигнат оптимални работни квалитети.

Задачата на управувањето со активната моќност е да ја контролира електричната моќност кога единицата е поврзана на мрежа .

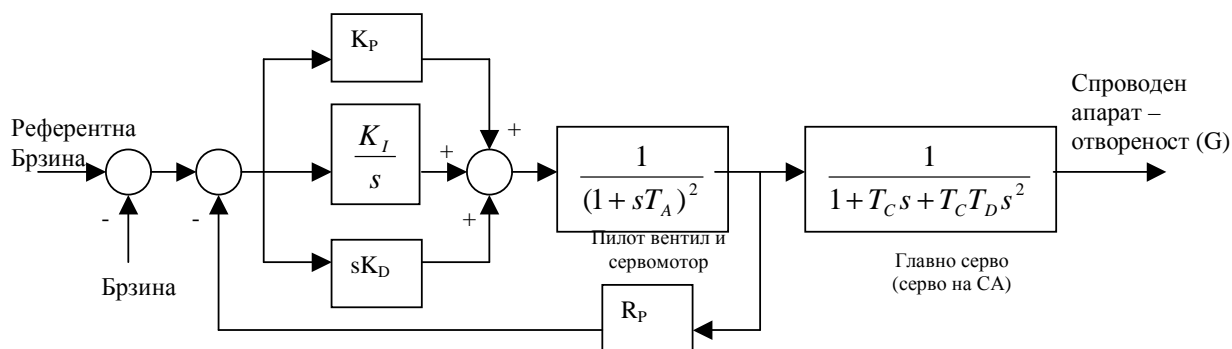
$$y_{ref} = \left( K_{p1} + \frac{K_{i1}}{s} + \frac{K_{d1}s}{T_{d1}s+1} \right) (\omega_{ref} - \omega) \quad - PID \text{ регулатор} \quad (4.7) [41]$$

$$y_{ref} = \left( K_2 P_{ref} + K_{p2} + \frac{K_{i2}}{s} \right) (P_{ref} - P) \quad - PI \text{ регулатор}$$

*PID регулатор* се користи при подигање на турбината на називна брзина т.е. при изолирана работа. Со овој регулатор и добро избрани параметри се обезбедува стабилност без да се натера хидрауличниот цилиндер во заситување. *PI регулатор* може да се користи при работа на агрегатот во мрежа. Со овој регулатор се овозможува прелазните појави да се одвиваат без надвишување на снагата и со минимални динамички промени во притисниот цевковод.

Синтеза на контролерот се прави со добро познати методи какви што се имплементација на полови, оптимизација на одредена функција итн.

Параметрите на контролерот можат да бидат предодредени за различни работни модови и работни точки (да речеме за различни падови).



**Слика 4.11:** PID Регулатор со вклучена динамика на пилот вентилот и сервомотор и главниот сервомотор. Константите  $K_p$ ,  $K_I$  и  $K_D$  претставуваат пропорционално, интегрално и диференцијално засилување. Константите  $T_A$ ,  $T_C$  и  $T_D$  се временски константи на пилот сервото и главното серво, соодветно.  $R_p$  претставува перманентно пригушување (*Permanent Droop*) [43].

### 6.3.3 ДЕФИНИРАЊЕ НА МЕРНИ МЕСТА И ИНСТРУМЕНТИ, УПРАВУВАЧКИ ЕДИНИЦИ (*PLC*), РЕДОСЛЕДНА ЛОГИКА, УПРАВУВАЧКИ АЛГОРИТМИ, ГРЕШКИ И АЛАРМИ

За да се состави една *SCADA* програма мора да имаме претходно јасно дефинирани влезно/излезни сигнали (мерни места и инструменти, актуатори и мотори) на *PLC* и *SCADA* ниво. Редоследната логика и управувачките алгоритми го дефинираат начинот на функционирање на целиот систем на управување па поради тоа тие треба да бидат видливи и во *SCADA* програмата. Можните грешки и аларми во системот кои се важни треба претходно да се знаат за да се внесе нивната логика при програмирањето на *SCADA* програмата. Стартната и стоп логика за различни услови и во различни модови на работа, рачно или автоматски треба да биде претходно дефинирана. Алгоритмите за детекција на грешки користат логички или математички модели на подсистемите и компонентите на управувачкиот систем за да генерираат сигнали корисни за операторите. Алгоритмите се имплементираат во микроконтролери (*PLC*) кои работат во *real-time*. Графички ориентирани програмски модули се многу флексибилни и функционални.

### 6.3.4 ПРЕДТЕСТ СО СИМУЛАЦИЈА

Пред системот за управување да биде имплементиран во електраната корисно е да бидат направени предтестови на системот за управување за да се докаже функционалноста на системот. Тоа може да се направи ако вистинскиот хардвер на системот за управување е поврзан со вистинскиот систем на хидраулично засилување. Единицата е заменета со *real-time* математички модел имплементиран во некоја програма.

### 6.3.5 ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ВО ЕЛЕКТРАНАТА

Откако ќе поминат сите предтестови и хардверот имплементиран во електраната потребно е да се направи тестирање на системот за управување во вистинските услови. При тоа е потребно да се извршат различни мерења и да се прати динамичкото однесување на системот за да се потврди исправноста на системот за управување а доколку е потребно можат да бидат извршени и извесни промени.

## 6.4 ОПИС НА ХАРДВЕР, МРЕЖИ И ПРОТОКОЛИ ЗА SCADA СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ И СУПЕРВИЗИЈА СО ХЕЦ

### 6.4.1 ОСНОВНИ ПРЕПОРАКИ ПРИ ИЗБОР НА PLC ЕДИНИЦИ, ИЗРАБОТКА НА МРЕЖА И ДЕФИНИРАЊЕ НА ПРОТОКОЛ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХЕЦ

При избор на контролерите е битно да се обрне внимание на можноста за нивно лесно поврзување со сензорите и мерните кругови битни за нивната работа преку стандардни дигитални и аналогни влезно-излезни единици.

Контролерите треба да се хардверски и софтверски модуларно структурирани за да се овозможи евентуална надоградба или уведување на нови функции.

Најголем дел од функциите на управување и регулација треба да се решат програмски (софтверски). Тоа значи дека програмски треба да се решат функциите на стартирање и запирање на агрегатот како и потребните регулациски алгоритми.

Од самиот регулатор пак се бара лесно приклучување на LAN што упатува на тоа дека е потребно да се користи стандарден индустриски *ETHERNET* за комуникација со наредените системи.

Освен функцијата на управување со електраната од системот за управување се бара да обезбеди и разни функции на заштита (на пример заштита од побег, заштита од падот на притисокот во хидрауличниот систем итн.).

Системот за управување треба да овозможува лесни и едноставни интервенции во вградените алгоритми и функции па поради тоа треба да се изберат софтверски алатки кои се лесни и едноставни за употреба.

Меѓусебното поврзување на регулаторите и мерните претворувачи како и целиот LAN препорачливо е да биде изведен со оптички кабли со што се смалува можноста за влијание на пречките и се зголемува брзината на работа на целиот информатички состав.

## 6.4.2 PLC КОНТРОЛЕРИ ОД ПОЗНАТИ ПРОИЗВЕДУВАЧИ

### 6.4.2.1 ABB CS-31 СИСТЕМ

*ABB Procontic CS 31* [13] системот е дизајниран за да изврши упростување на имплементацијата и каблирањето. Тој е интегриран приватен (не е отворен кон другите производители) систем наменет за автоматизација на сложени системи. *CS 31* е составен од следниве елементи:

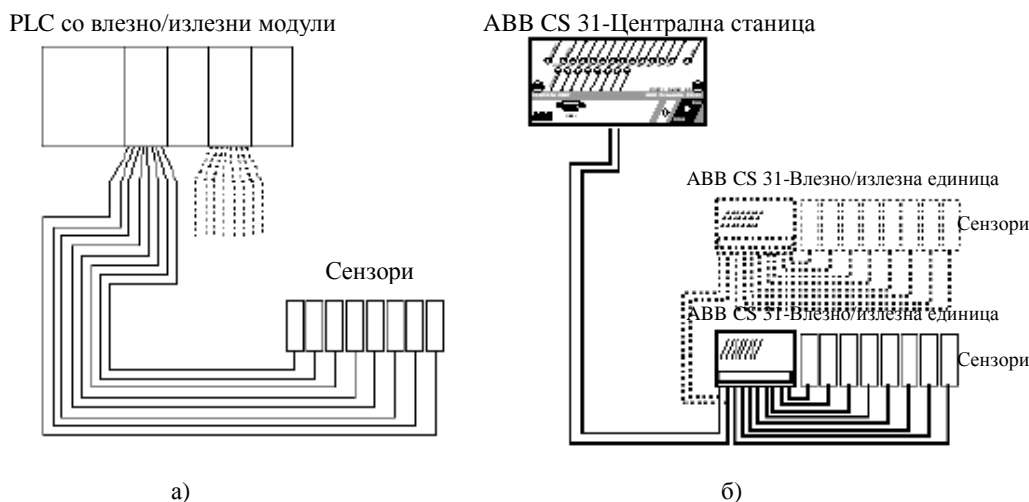
- централна единица, затворена во компктно куќиште
- далечински влезно/излезни plug-in единици, кои лесно се преместуваат
- едноставно каблирање со двожичен кабел (*RS 485*), кој се користи за поврзување на централната единица со влезно/излезните далечински единици

#### I. Опис на системот

Системот *ABB CS 31* претставува децентрализиран систем на автоматско управување со што се овозможува:

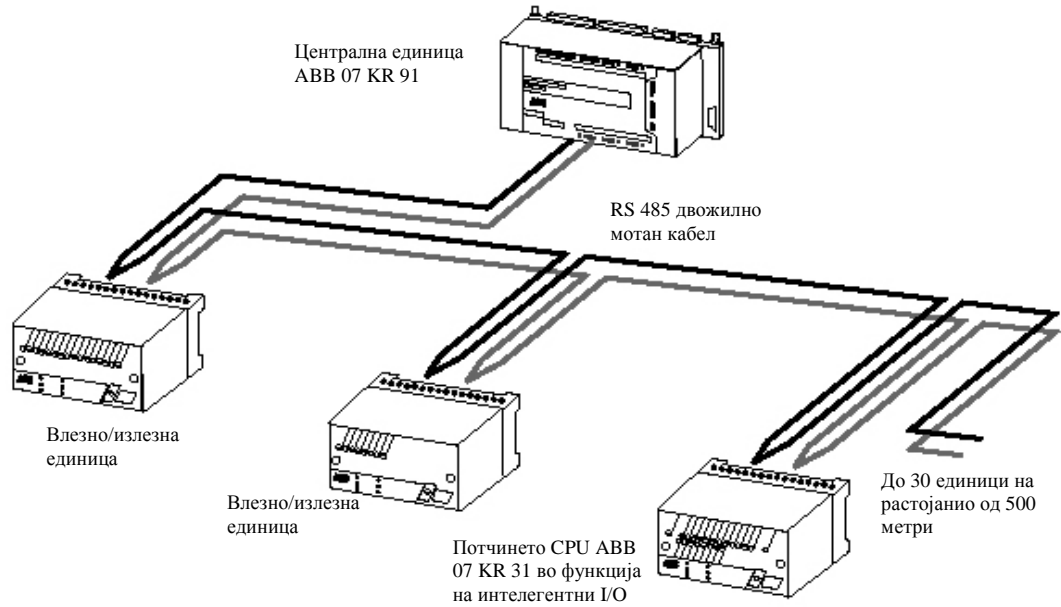
- Централната единица може да биде монтирана на управувачкиот панел
- Влезно/излезните единици можат да бидат монтирани локално до самите сензори и актуатори

Како пример може да се истакне поврзувањето на централната единица за далечинските единици сместени негде на линијата за производство. Со овој систем се овозможува намалување на цената на чинење на каблирањето и до 80% (слика 4.12).

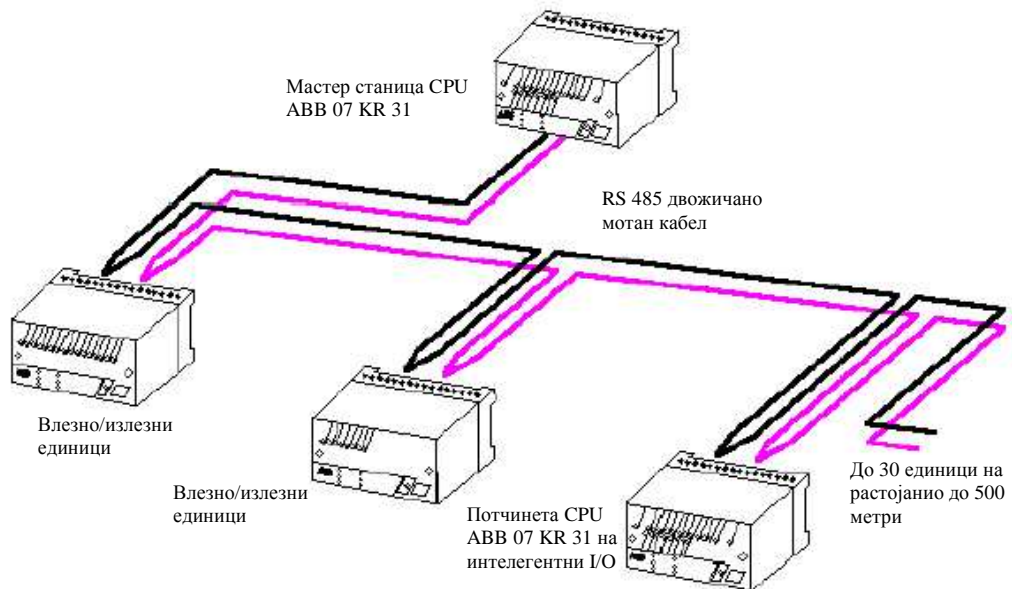


а) Конвенционално каблирање на сензорите со PLC уред  
 б) Упростено каблирање со *ABB CS 31* систем

## II. Примери на конфигурации со ABB CS 31



Слика 4.13: Пример на комплексно процесирање со децентрализиран систем



Слика 4.14: Пример на конфигурација на едноставен процес со интелигентни влезно/излезни единици

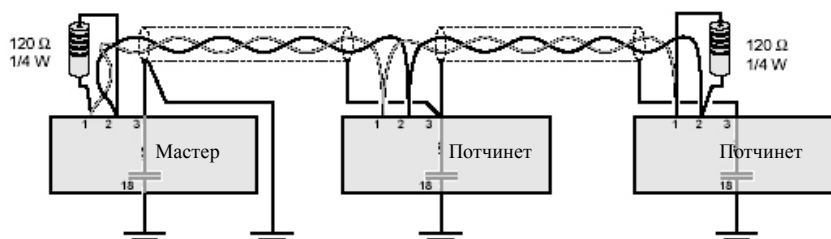
### III. Карактеристики и бенефиции на ABB CS 31

Главни бенефиции на овој систем можат да се наведат: редукација на трошоците за каблирање (дизајнирање, материјали и време на проверка), конфигурабилни влезно/излезни единици, зголемени дијагностички функции, лесно инсталирање на нови единици и тоа во време на работење на системот, едноставно програмирање бидејќи сите далечински влезно/излезни канали се конфигурираат како тие да се централизирани, далечинските влезно/излезни единици се интегрален дел а не додатна единица, програмабилна сериска комуникациска (RS 232) конекција за модем, принтер, операторски дисплеј итн.

Системот CS 31 е базиран на два типа на централни единици: единиците какви што се 07 KT 93 се дизајнираат комплексни апликации со високи нивоа на функционалност (манипулација со податоци, PID регулација итн.), и вториот тип се единиците 07 KT 31 со кој се изведуваат помали децентрализирани апликации со добар сооднос на Цена/Перформанси.

Системот CS 31 има зголемени дијагностички функции. За таа цел секоја од далечинските единици содржат микропроцесор кој е посветен на менаџирање на влезовите и излезите и дијагностика. Дијагностицирањето се врши со помош на тест копчето кој се наоѓа на предната страна од далечинската единица а резултатите се прикажуваат на лед диодите кои го сигнализираат статусот на влезовите/излезите. Резултатите од дијагностицирањето можат да се вметнат во SCADA програмот и со тоа да се овозможи ефективен менаџмент со грешките.

Сите далечински единици се лесно заменливи, дури и при процес во работење. Системот може да се состои од неколку централни единици, но само една од нив е мастер, а сите други се потчинети. Доколку комуникацијата помеѓу нив се прекине или мастер единицата се расипе индивидуалните потчинети единици продолжуваат со работење. CS 31 бас претставува RS 485 сериска линија и оклопен замотан двожилен кабел. CS 31 бас е мастер-потчинет бас. Тоа значи само една мастер единица може да е присутна на еден бас. Мастер станицата најчесто е сместена на крај од басот но може да биде и негде во средината. Максималната раздалеченост помеѓу далечинските единици е 500 метри.



Слика 4.15: Најчеста местоположба на мастер станицата

Како основни податоци за една CPU единица од типот 07 KT 93 можат да се наведат: 14 K flash EPROM, два програмабилни RS 232 портови, RS 485

системски бас, *real time* часовник, функции од повисок ред *PID*, *ARCNET* комуникација вградено, 24 дигитални влеза и 16 излеза, 24 V DC напојување итн.

#### 6.4.2.2 S7 400 СИСТЕМ - ОСНОВНИ РАЗГЛЕДУВАЊА

S7 400 е програмабилен контролер. Речиси секоја автоматизација може да се изврши со помош на соодветен сет од S7 400 компоненти [44].

##### I. Компоненти на Siemens S7 400

S7 400 претставува модуларен програмабилен контролер и негови компоненти се:

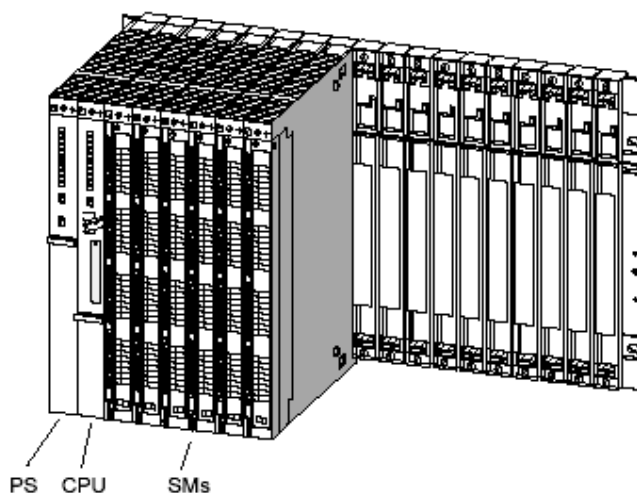
- Куќиште: Постојат три видови на куќиште: универзално куќиште, централно куќиште и експанзиционо куќиште. Функцијата на куќиштето е да обезбеди механичко и електрично поврзување помеѓу модулите на S7 400.
- Модули за напојување (PS): Нивната функција е да извршат конвертирање на мрежната струја од 220 V AC или 24 V DC во 5 V DC или 24 V DC работни напони кои се потребни за да се напојува S7 400.
- CPU Централна процесорска единица: Нејзината функција е да го извршува корисничкиот програм како и да комуницира со другите централно процесорски единици или уреди за програмирање преку мултипоинт интерфејс
- Мемориски картички: Имаат задача да го зачуваат корисничкиот програм и параметри
- Сигнални модули (SM): Постојат неколку вида на сигнални модули: модули за дигитални влезови, модули за дигитални излези, модули за аналогни влезови и модули за аналогни излези. Нивната задача е да обезбедат интерфејс помеѓу PLC уредот и процесот.
- Интерфејс модули: Нивната функција е да обезбедат меѓусебно поврзување на различните куќишта присутни на мрежата
- Канал за кабли: Се користи за рутирање на каблите и како вентилација
- PROFIBUS бас кабли и кабли за поврзување на уредите за програмирање: служат за поврзување на CPU единицата со уредите за програмирање
- PROFIBUS бас терминал: Служи за поврзување на S7 400 за другите S7 400 уреди или уреди за програмирање
- RS 485 репетитори: Нивната функција е да ги засилуваат податочните сигнали на бас линиите и ги поврзуваат бас сегментите
- Уред за програмирање или PC: служи за програмирање, подесување, остранивање на грешките и назначување на параметрите од S7 400.

S7 400 програмабилниот контролер се состои од централно куќиште (CR) и едно или повеќе експанзициони куќишта (ER), доколку е потребно. ER се користи кога нема доволно слотови во CR за да се реализира апликацијата, или пак кога сакаме сигналните модули да бидат инсталирани во непосредна



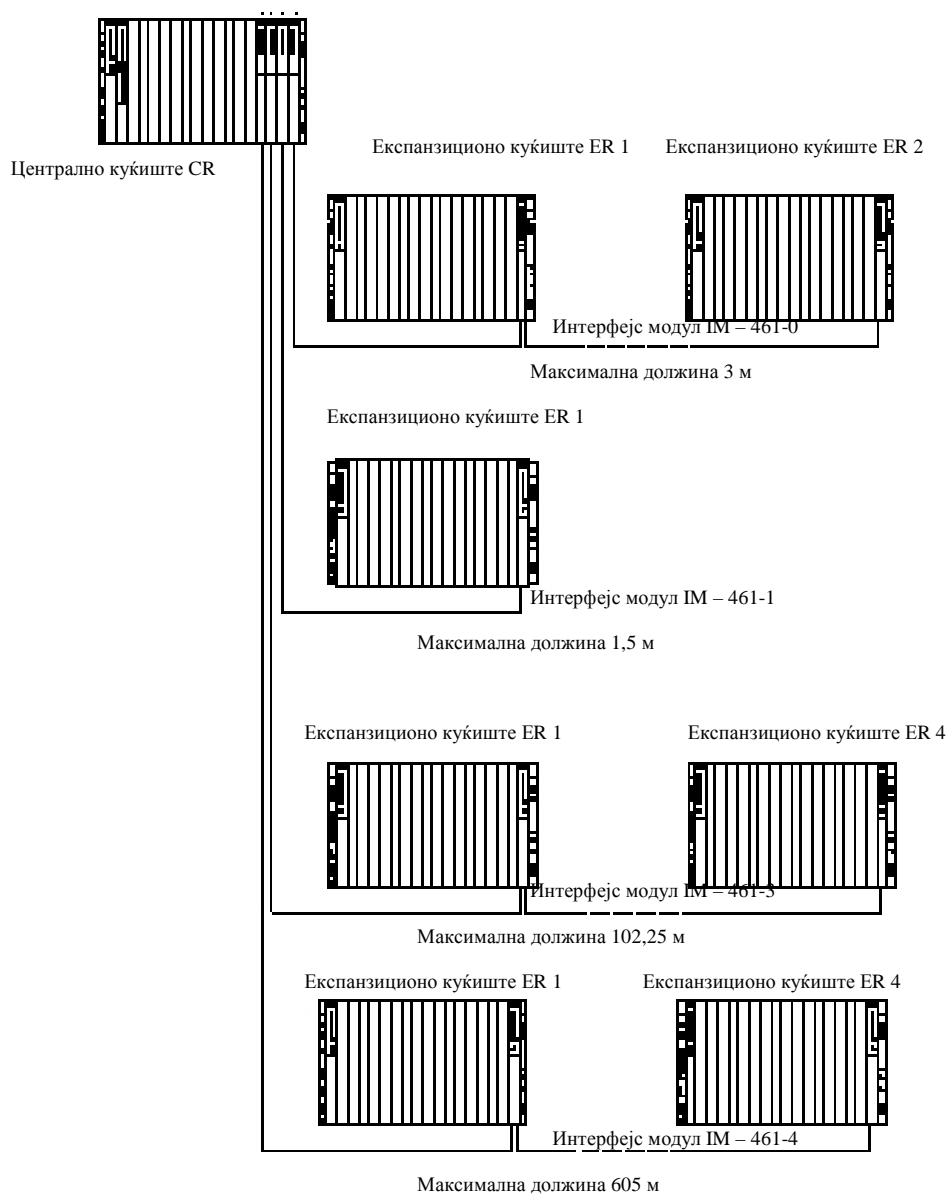
близина на процесот кој треба да се автоматизира. Кога се користат *ER* потребно е да се употребат модули за интерфејс, и тоа интерфејс модули за испраќање се инсталираат во *CR*, а интерфејс модули за прифаќање се инсталираат на секое *ER*.

Куќиштето кое ја содржи *CPU* единицата е познато како централно куќиште (*CR*) додека куќиштата кои содржат различни други модули во системот и се поврзани за централното куќиште се експанзионите куќишта (*ER*).



Слика 4.16: Централно куќиште со 18 слотови

За да се поврзе едно или повеќе *ER* за *CR* мора да се инсталира барем еден интерфејс модул за испраќање. Модулите за испраќање имаат два приклучоци. На секој од тие два приклучоци може да се прикачи синџир од четири *ER*. Постојат различни типови на интерфејс модули но во основа можеме да ги сврстиме во модули за локална и далечинска употреба.



Слика 4.17: Начини на поврзување на централното куќиште и експанзиционите куќишта

## II. Мрежно работење со Siemens S7 400

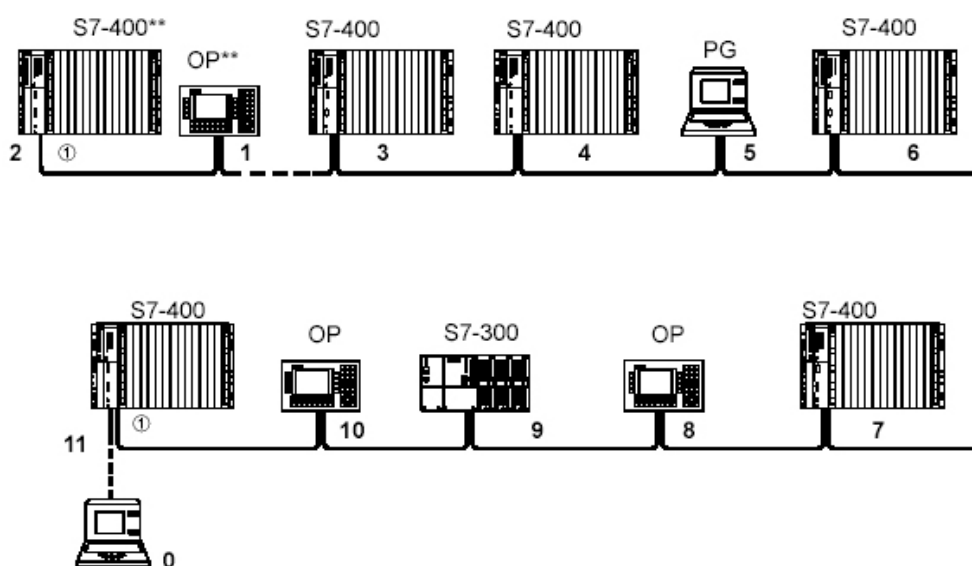
Постојат повеќе начини на формирање на мрежа со Сименсовите S7 400 уреди.

Еден начин веќе беше дискутиран претходно – со помош на експанзициони куќишта.

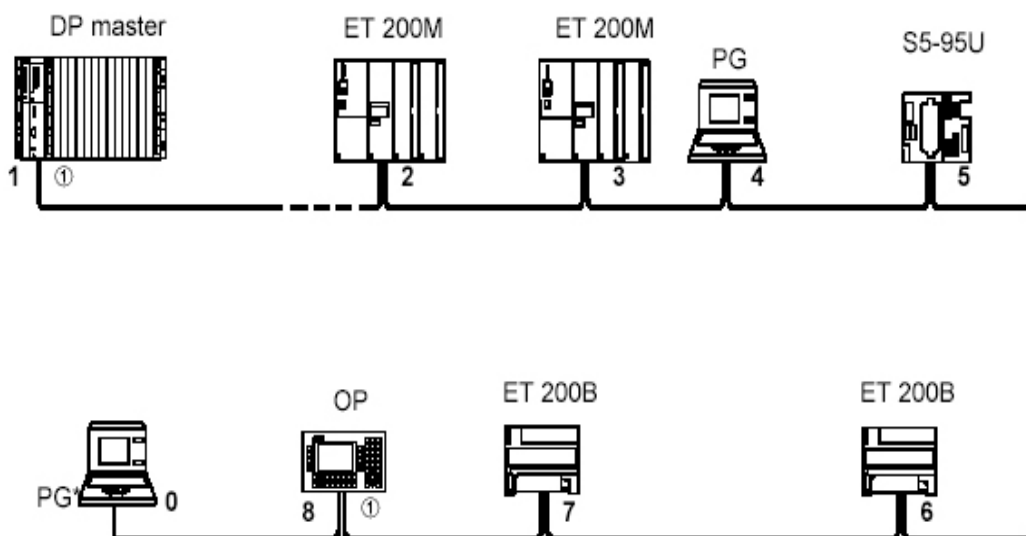
Вториот начин да се формира мрежа е со користење на далечински влезно/излезни системи. Влезно/излезните системи какви што се сименсовите уреди: *ET 200M*, *ET 200 U/B/C* и сите *PROFIBUS DP* потчинети уреди, работат во стандарден логички распоред за далечински В/И. Овие В/И далечински уреди се директно поврзани со *CPU* единицата преку *PROFIBUS DP*.

Трет начин на формирање на мрежа се однесува на формирањето на мрежа помеѓу неколку индивидуални *S7 400* програмабилни контролери. Два или повеќе *S7 400* уреди можат да формираат мрежа и да комуницираат меѓусебно со помош на мултипоинт интерфејсот на *CPU* единицата. За да комуницираат *S7 400* единиците нивните *CPU* мораат да бидат меѓусебно поврзани со помош на *PROFIBUS DP* кабли преку нивниот интерфејс за мултипоинт комуницирање. За тоа се користат бас конектори или *PROFIBUS DP RS 485* бас терминали.

*S7 400* има интегрирано два интерфејса: мултипоинт интерфејс со кој се поврзува на мултипоинт конфигурирана мрежа и *PROFIBUS DP* интерфејс со кој се поврзува на *PROFIBUS DP* мрежа. Со користење на *Simatic Net CP Ethernet* се поврзува на индустриски *Ethernet* а со *Simatic Net CP PROFIBUS* за *PROFIBUS DP* мрежа. Со помош на оптичките бас терминали можеме *S7 400* да го претставиме како една *PROFIBUS DP* точка и да го поврземе на оптичка мрежа.



Слика 4.18: Пример на MPI мрежа



Слика 4.19: Пример на PROFIBUS DP мрежа

Максималната должина на еден сегмент (може да содржи 32 уреди) при MPI мрежа е 50 м при максимална брзина од 12 Mbps, а максималната должина на еден сегмент при PROFIBUS DP мрежа е 1000 м при брзини од 187.5 Kbps, а максимална брзина од 12 Mbps на пренос на податоци се постига при должини од 100 м.

Разликата помеѓу овие две мрежи, мрежата MPI и PROFIBUS DP, е во тоа што PROFIBUS DP функционира на принципот мастер – потчинет, додека MPI се состои претежно од единици со иста важност кои комуницираат меѓусебно.

### III. Адресирање

За да се управува некој процес сите канали (влезни и излезни) од сигналните модули мораат да добијат соодветни адреси. Мора да биде воспоставено уникатно одбележување помеѓу географската физичка локација на каналот и адресата на каналот во корисничкиот програм. Географската адреса на одреден канал е перманентно одбележана и таа се состои од тоа: во кое куќиште е сигналниот модул инсталиран, во кој слот е сместен сигналниот модул и кој канал од сигналниот модул е адресиран. Логичката адреса на модулот а поради тоа и на каналот е слободно избрана. Таа се користи во програмот за да се адресира (т.е. да се прочита или за да се запише нешто) одреден влез или излез. Физичката локација на дефинираниот модул не е потребно да се знае за време на програмирањето. Поврзување помеѓу логичката и географската адреса се врши со помош на софтверот за програмирање на логичките контролери а во случајот тоа е добро познатиот Сименсов STEP 7. Значи адресирањето може да се изврши во два чекори и тоа најпрво се одредува географската адреса на каналот од неговата локација во целата конфигурација и назначување на логичка адреса на географската адреса во програмот STEP 7.

#### IV. Комуникациски системи кои се користат во сименсовите мрежи

Современите високобрзински комуникациски системи се базираат на комуникациски системи какви што се локалните мрежи *LAN*. Тие можат да бидат имплементирани на неколку начини: електрично, оптички или со комбинација електрично-оптички.

*SIEMENS* како една од водечките компании за производство на опрема за автоматизација со широк спектар на автоматски уреди има создадено сопствен систем за комуникација кој се нарекува *SIMATIC NET*. Овој комуникациски систем се базира на национални и интернационални стандарди според *ISO/OSI* референтни модели. *SIMATIC NET* вклучува:

- комуникациска мрежа составена од трансмисијска медија, медиум и трансмисијски компоненти и соодветни трансмисијски техники
- Протоколи и сервиси за трансмисија на податоците помеѓу уредите споменати погоре
- Модули во програмабилните логички контролери (или компјутер) кои воспоставуваат конекција со комуникациската мрежа. Тоа се модули кои уште се нарекуваат комуникациски процесори *CP*.

*SIMATIC NET* комуникациските системи се базираат на следниве комуникациски мрежи:

- *AS* интерфејс: со помош на актуатор-сензор интерфејсот *SIMATIC NET* овозможува формирање на мрежа и автоматизација на најниското автоматско ниво со поврзување на бинарните актуатори и сензори за програмабилните контролери со помош на *AS* бас кабел.
- *PROFIBUS*: комуникациска мрежа наменета за ќелии и теренски единици која се подложи на *PROFIBUS* стандардот со најчеста мастер - потчинет техника. Оваа мрежа работи со испреплетен пар (*twisted pair*) или фибер оптички кабел.
- Индустриски *Ethernet*: комуникациска мрежа наменета за ќелиската област која користи baseband технологија со *IEEE 802.3* стандард и *CSMA/CD* медиумски пристап. Оваа мрежа работи со брзина од *10 Mbps* со триаксијални кабли, стаклени фибер-оптички кабли и обложени (*twisted pair*) двојичени испреплетени кабли.
- Брз индустриски *Ethernet*: комуникациска мрежа со брзина од *100 Mbps*. Оваа мрежа работи со стаклени фибер-оптички кабли или со обложени испреплетени двојичени кабли.

#### V. Комуникација во индустриска околина – Индустриски *Ethernet*

Побарувањата од комуникација во индустриска околина значајно се разликуваат од оние во канцелариски комуникации. Индустриската околина влијае на сите аспекти на комуникација, какви што се активните и пасивните мрежни компоненти, прикачените автоматски уреди (*PC, PLC, RTU* итн.), мрежните топологии и концепти, пристапноста, протокот на податоци, условите на околината итн. Мрежните протоколи за индустриска комуникација се оптимизирани за специјалните услови, па така класичните протоколи како што е *TCP/IP* сега може да се применат во процесното управување.

Индустрискиот *Ethernet*, специјално дизајниран *Ethernet* за индустријата ги користи постоечките стандарди на *Ethernet* мрежни стандарди *IEEE 802.3* со мали и корисни измени за да може да се користи во индустриски комуникации. Првиот индустриски *Ethernet* користел коаксијален кабел (остаток од *office Ethernet*) како трансмисиски медиум, а подоцна е воведен триаксијалниот кабел и е добиен стандардот *SINEC H1*. Во последно време трансмисијата преку фибер-оптички кабли и испреплетени двојичени кабли како и воведувањето на брзиот *Ethernet* ја зголемија брзината на пренос на податоци и до 10 пати. Кај класичниот *10 Mbps Ethernet*, најголемиот распон до кој што може мрежниот протокол да комуницира без грешки е 4520.

Индустрискиот *Ethernet* може да се формира со индустриски испреплетени двојични кабли (*10BASE-T*) или пак на фибер-оптички кабли. Индустриски испреплетени двојични кабли (*10BASE-T*) се базираат на стандардот *IEEE 802.3i*, а мрежата работи со брзина од *10 Mbps*. Трансмисиски медиум е обложен кабел со два пара испреплетени жици со карактеристична импеданса од 100 ома, на чии краеве има *RJ-45* конектори. Врските помеѓу два електрично активни компоненти се од крај до крај, што значи дека секогаш има директен линк помеѓу елементот кој испраќа сигнали (пример *PC*, *PLC*) и мрежната компонента (*HUB*, *SWITCH*) која има улога да го регенерира примениот сигнал и да го дистрибуира до сите излезни портови. Во *Simatic Net* индустриски *Ethernet* оваа задача на *hub* ја имаат електричните линк модули (*ЕЛМ*), оптичките линк модули (*ОЛМ*), оптичките свич модули (*ОСМ*) и електричните свич модули (*ЕСМ*). Максимална должина помеѓу мрежната компонента и мрежната точка е 100 м.

Фибер-оптичката варијанта на мрежно поврзување се базира на стандардот од *IEEE 802.3i* наречен *10BASE-FL*. Трансмисиски медиум е фибер-оптички кабел со стаклени влакна од типот *62.5/125* или *50/125* микрометри. Фибер-оптичките линкови се секогаш поврзувања од типот од крај до крај помеѓу два активни компоненти. Тоа значи дека секогаш постои директно поврзување помеѓу мрежните компоненти и порт од друга мрежна компонента. Една мрежна компонента е одговорна за регенерирање на примените сигнали и нивно дистрибуирање на излезните портови. Во *Simatic Net* индустриски *Ethernet* оваа задача ја имаат оптичките линк модули (*ЕЛМ*).

## VI. Пример на индустриски *Ethernet* со употреба на сименсови компоненти

На сликата 4.20 е прикажан пример на комбинација од различни топологии и генерации на продукти за формирање на индустриски *Ethernet*.

### - Мрежа 1

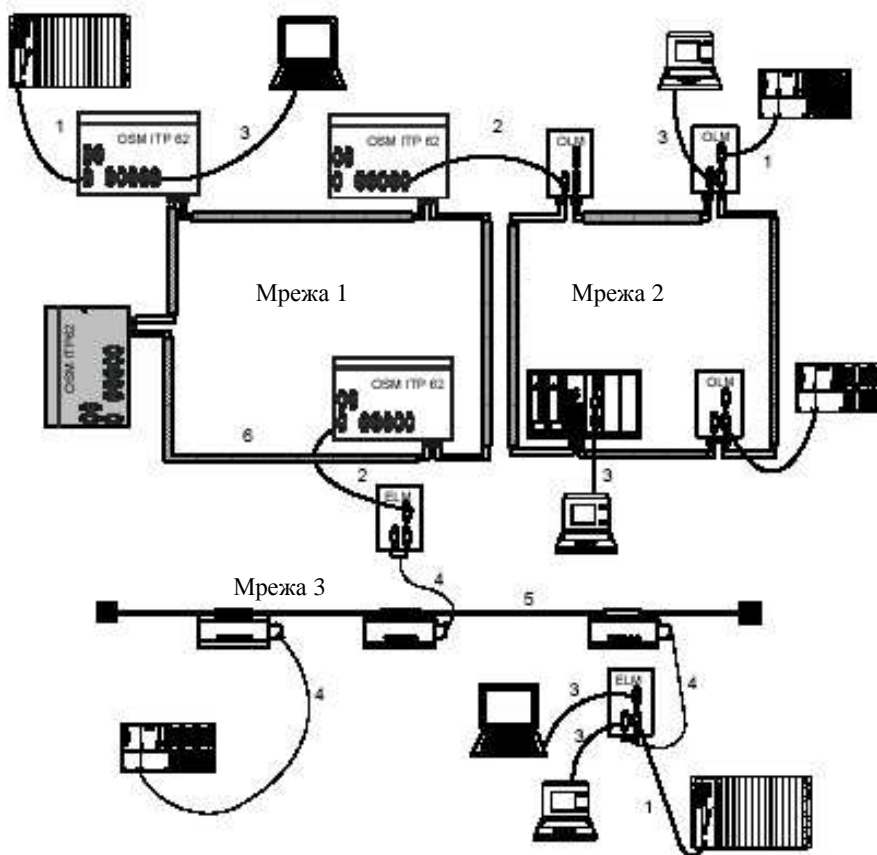
Во високобрзинската мрежа 1, четири *ОСМ* свичови формираат круг со брзина од *100 Mbps*. Доколку се употребат соодветни активни мрежни елементи за автоматизација во тој случај портовите на *ОСМ* свичовите наменети за испреплетени двојичени кабли исто така можат да функционираат на *100 Mbps*. Бидејќи *ОСМ* елементите работат како свичови, максималните дозволени должини се земаат во предвид при конфигурирање на мрежата (100 метри за испреплетени двојични кабли и 3000 метри за фибер оптички кабли).

**- Мрежа 2**

Мрежата 2 исто така формира круг. ОЛМ модулот и звездениот спојник работат на 10 Mbps со етернет пристап на медиумот за пренос. Максималната должина на индивидуалните конекции помеѓу два порта се лимитирани на 100 m за испреплетен пар и 3100 m за фибер-оптички конекции помеѓу два ОЛМ.

**- Мрежа 3**

Мрежата 3 претставува мал систем кој постоел со години и кој е базиран на триаксијален кабел. *Simatec Net ELM* овозможува овој систем да биде поврзан за модерна голема мрежа со свичинг технологија.



**Слика 4.20:** Пример на мрежа со современ индустриски Ethernet (1. ITP стандард 9/15, 2. TP XP кабел, 3. TP кабел 9/RJ 45, 4. 727-1 кабел, 5. тријаксијален кабел, 6. оптички кабел)

#### **6.4.2.3 СПОРЕДБА, ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАТОЦИ НА ДИСКУТИРАНИТЕ СИСТЕМИ СИМЕНСОВИОТ S7 400 И ABB CS 31 СИСТЕМОТ**

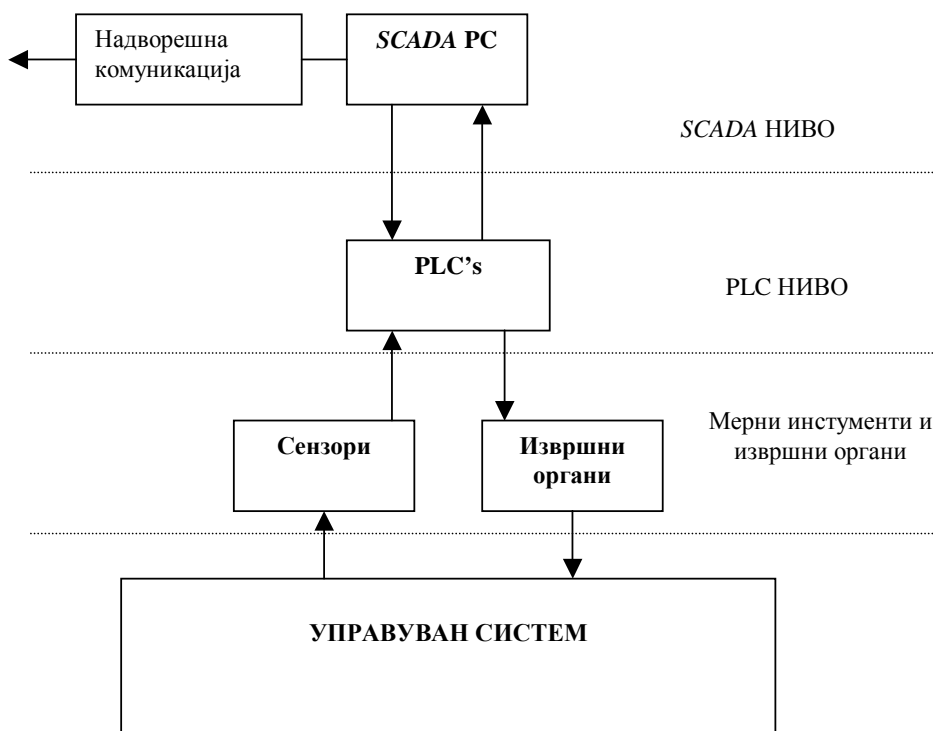
Сименсовиот S7 400 систем претставува моќен модуларен систем. Со него можат да се реализираат сите типови на процесни апликации. Овој систем се карактеризира со голем степен на поузданост. Поради ова со нив се изведуваат апликации за кои се потребни големи брзини на обработка на податоците и висок степен на сигурност, какви што се динамичките турбински системи. Заради ова овие системи се и едни од најскапите. Нивна главна предност е големиот избор на мрежни решенија со кој можат да се изведуваат сите можни апликации како и тоа што спаѓаат во отворените системи т.е. овозможуваат поврзување со стандардни протоколи и каблирање. Како една негативност може да се наведе големиот број на правила, кои треба да се почитуваат при формирањето на мрежата, наметнати од производителот и покрај тоа што спаѓа во отворените системи.

ABB CS 31 системот има сосема задоволителни карактеристики за да биде употребен и во најсложените системи за процесно управување. Тој претставува затворен систем на еден производител. ABB CS 31 системот е децентрализиран систем со лесно, упростено и едноставно за разбирање поврзување помеѓу централната единица и влезно/излезните модули. Едноставно формирање на систем и неговата цена на чинење претставуваат негова главна предност.



## 6.5 БЛОК ДИЈАГРАМ НА ТИПИЧЕН СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХЕЦ

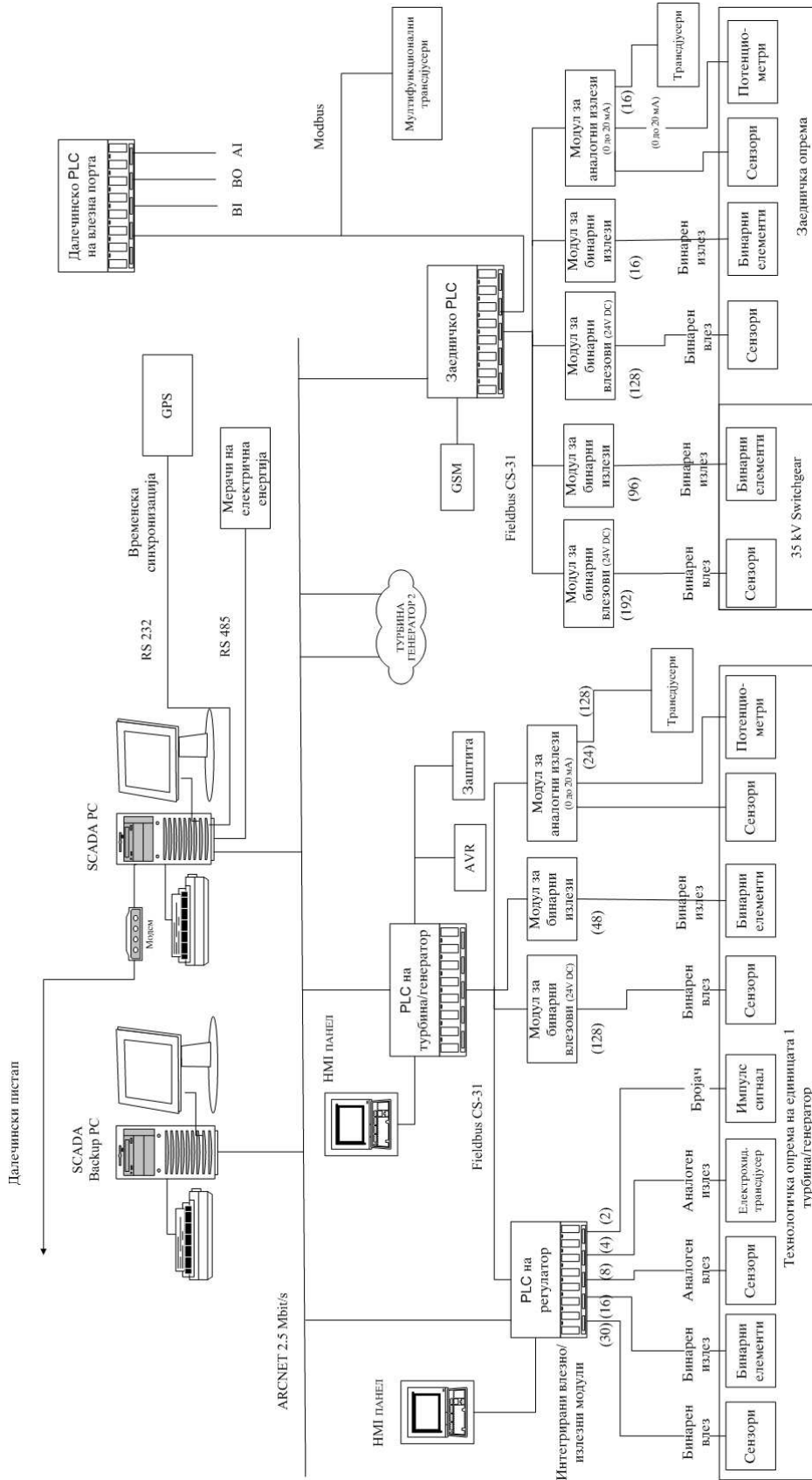
Врз база на разгледаниот пример [21] и врз база на консултираната литература [1] [2], во овој труд креирани се сликите 4.21 и 4.22.



Слика 4.21: Нивелираност на системот за управување со ХЕЦ

Системот за управување се состои од две управувачки нивоа (слика 4.21). Првото, пониското ниво на управување го сочинуваат *PLC* контролерите. Тие ги собираат сигналите кои доаѓаат од управуваниот систем ги обработуваат и испраќаат управувачки сигнали кон извршните органи-соленоиди и мотори. Второто, супериорно ниво е *SCADA* нивото. Тука се собираат и обработуваат сите поважни информации, се набљудува работата на постројката и може да се испраќаат управувачки сигнали од страна на операторите

Системот за управување се базира на *PLC* – контролери поврзани со *PC* - компјутери опремени со *SCADA* софтвер. Блок дијаграм на еден систем за управување е прикажан на сликата 4.22 [21].



Слика 4.22: Блок дијаграм на типичен систем за управување со мала хидроцентрала

Од блок дијаграмот на слика 4.22 се гледа дека систем за управување со мала хидроцентрала вообичаено се состои од:

- Едно засебно *PLC* за секоја единица кое ќе ја врши функцијата на управување со единицата и координирање на сите елементи на единицата. Тоа се нарекува единично *PLC*. Тоа се поврзува со *AVR* и со мултифункционалната заштита на генераторот со некој податочен линк како што е *MODBUS* и снабдено е со *HMI* ( *Human Machine Interface* ) преку кое може да се врши локално управување
- Функцијата регулатор може да биде сместена во посебно *PLC* на таа управувачка единица, регулаторско *PLC*. Неговата функција е да ги извршува контролните кругови на управувањето со моќноста и брзината на единцата и поместувањето на спроводниот апарат. Снабдено е со *HMI* преку што се врши локално управување и репрограмирање.
- Едно заедничко *PLC* посветено на заедничките додатни сервиси на централата и на *switchgear*. Тоа немора да има *HMI* бидејќи сите додатни функции можат да се вршат преку *SCADA* софтверот на *PC* со кој што е тоа во директен контакт
- Едно далечинско *PLC* за управување со влезната порта и со снабдувањето со вода сместено на браната, надвор од централата. Тоа комуницира со заедничкото *PLC* преку *MODBUS* [21]. (или пак со *PROFIBUS-dp* [26]) или некој друг поспор податочен линк. Брзината на овој линк е мала 1,5 *Mbit/s* но доволна со оглед на малиот број на податоци што треба да се пренесуваат преку него.
- Комуникацијата меѓу самите *PLC*- а и помеѓу нив и *SCADA PC*- то се врши со некој побрз линк, како што е *ARCNET* со брзина 2.5 *Mbit/s* [21]. или пак со стандардниот индустриски *ETHERNET* чија брзина е 10 *Mbit/s* [26]. Овој тип на линк овозможува еднолично поврзување на *PLC* нивото и *SCADA* нивото.
- *SCADA* нивото се состои од едно или повеќе *PC* компјутери и може да биде поврзано со модем со надворешноста т.е. со *DCS* систем (*Distribution Control System*). Оптимално е да има два компјутери од кои едниот ги врши сите функции додека другиот служи за backup. Тие се снабдуваат со електрична енергија преку *UPS* за да можат да продолжат да функционираат 30 до 60 минути и без електрична енергија. За бележење на податоците имаат принтер и *CD* режач. Модемското поврзување со надворешноста овозможува низа предности, меѓу кои и надворешна интервенција и откривање на грешки без присуство на оператор за сервисирање и одржување. *PC* - то може да биде поврзано преку сериски линк за мерачи на моќност на мрежата и со *GPS* ресивер за временска синхронизација.

Единичното и регулаторското *PLC* се сместуваат во близина на единицата, во машинската хала. *SCADA* системот и заедничкото *PLC* можат да сместат во засебна просторија наречена соба за управување (*control room*). Комуникациските линкови треба да бидат заштитени од електрични влијанија какви што се различните електрични празнења, напонски удари итн.

## 6.6 ХИЕРАРХИЈА НА ФУНКЦИИ НА ТИПИЧЕН СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХЕЦ

Управувачките функции на системот за управување можат да се нивелираат хиерархиски во три нивоа на управување :

### 6.6.1 ПРВО НИВО НА УПРАВУВАЊЕ – ЛОКАЛНО МАНУЕЛНО УПРАВУВАЊЕ

Првото ниво на управување овозможува локално мануелно управување на една единица од контролните табли на единицата, т.е. од *HMI* терминалот на единичното *PLC*. За да се овозможи поузданост и сигурност во работењето, при мануелното управување, за важните управувачки кола се дефинирани блокирачки технолошки услови за да се спречат евентуалните грешки при неточните мануелни команди. На пример блокирачки услови се употребуваат при исклучувачките операции. Истите тие блокирачки кола се употребуваат и за команди од повисоките нивоа на управување. Освен ова, локални тест копчиња се потребни за тестирање на помошните елементи на единицата при тестирање и одржување на единицата. Локалното мануелно управување се користи претежно во процедурите за тестирање и одржување, но тоа исто така овозможува мануелно управување на опремата независно од автоматизираните процедури. Автоматскиот начин на работа е предвиден како основен мод на работење и тој се овозможува во второто и третото ниво на управување [21].

Единичното и заедничкото *PLC* потребно е да бидат активни постојано дури и при локалните мануелни процедури бидејќи *PLC*-то ги надгледува работните услови на технолошката опрема и ја штити опремата од абнормални услови на работа. *PLC*-ињата вршат перманентно собирање на податоци од технолошката опрема кои се потребни за автоматски мониторинг функции како и понатамошно обработување на податоците. Автоматските мониторинг функции ја штитат опремата од работење во опасни услови како што се високи температури, премногу високи или ниски притисоци на маслото и ги намалуваат опасностите за нејзино оштетување. Така на пример, единичното *PLC* ја надгледува единицата со помош на сензори (проток, ниво на масло, притисок, температура итн.) и на тој начин создава систем на заштита од механички дефекти. Според тоа, функционирањето на единичното *PLC* е од есенционално значење за работењето на единицата. Ова наведува на потребата од користење на *PLC* контролери од реномирани произведувачи (*Siemens, ABB, ...*).

Освен заштитата што ја овозможува единичното *PLC*, неколку механички и сите електрични дефекти влијаат директно на заштитните уреди, независно од функционирањето на *PLC*-то, што ни овозможува сигурносно прекинување и гасење на единицата и во абнормални услови кога неколку дефекти ќе се појават симултано.

Системот за управување е базиран на *DC* управувачки напон. Загубата на главниот управувачки напон резултира со итно исклучување на единицата. Затворањето на спроводниот апарат автоматски се спроведува, се затвора турбинскиот вентил, генераторскиот прекинувач прекинува.

## 6.6.2 ВТОРО УПРАВУВАЧКО НИВО – АВТОМАТСКО УПРАВУВАЊЕ

Второто ниво на управување е претставено со автоматскиот мод на работење на програмираните логички контролери (*PLC*), кои се посветени на управување со групи на технолошки поврзана опрема (единиците на електраната, заедничката опрема итн.). Како главен пример на автоматскиот мод на работа се автоматските секвенци на стартирање и гасење на единицата. Алгоритмите на автоматските секвенци се прикажани во поглавје 4.9.

Сите функции на автоматско управување за автоматизирано сигурносно работење на опремата се имплементирани во *PLC*-ињата, како што следи:

- Аквизиција на податоци и супервизија на работењето (електрични и температурни мерења)
- Алармирање и сигнализирање
- Автоматски старт, нормално гасење, контролирано гасење и електрично кочење на единицата

Алармите и работниот статус, мерните и мониторинг информации се прикажуваат на *HMI* терминал на единичниот *PLC*.

Автоматските функции имплементирани во единичното *PLC* се независни од функционирањето на *SCADA* опремата на третото ниво на управување. Тоа значи дека единицата може да функционира независно од компјутерската опрема на третото управувачко ниво, со сите функции на безбедно и автоматско работење.

Независноста од *SCADA* компјутерите овозможува автоматско управување на единиците преку управувачките табли на единиците а со користење на директен пристап до единичното *PLC* преку *HMI* терминали и локалните управувачки уреди лоцирани на управувачката табла во машинската сала близу до работните единици. Управувачкиот систем на единицата комуницира со екситацискиот систем (*AVR*).

Податочниот комуникациски линк помеѓу самите *PLC*-иња (на пример помеѓу единичното и заедничкото *PLC*) се користи за ефективно управување и супервизија на системот, додека податочниот линк со *AVR* и заштитата на генераторот повеќе е наменета за мониторинг.

Деталната логика на работење на единицата и нејзините придружни елементи се дефинираат со управувачки алгоритми по кој се програмираат програмабилните логички контролери. Тие се програмираат со користење на соодветен апликациски софтвер. Пожелно е да се изработи функционални блок дијаграми за изработената програма за да се овозможи лесно одржување и изменување.

## 6.6.3 ТРЕТО НИВО НА УПРАВУВАЊЕ – *SCADA* НИВО

Третото управувачко ниво го овозможува *SCADA* компјутерската опрема. Ова ниво ни овозможува целосно управување и супервизија на електраната од една контролна соба сместена во електраната како и модемска комуникација со надворешноста. *SCADA* управувачкото ниво е составено од два компјутери (еден работен и еден за backup) и нивните периферијали какви што се монитор, тастатура, маус и принтери. Архивирање на податоците може да се прави на CD или DVD [21]. *SCADA* програмерите изработуваат програма која црпи податоци

од *PLC*-ата ги обработува и така обработени им ги презентира на операторите [1]. На екранот може графички да се види работата на целата постројка, да се донесат решенија на база на присутните аларми и историја на податоци или пак да се смени некоја зададена вредност на варијабилите.

*SCADA* компјутерот ги чува сите податоци во своја база. Доколку има потреба дел од податоците (вообичаено логирање на оператори и аларми) перманентно можат да бидат испишувани на некој матричен печатар.

Системот за заштита и итно запирање работи автоматизирано и постојано ја заштитува опремата од дефекти. Единицата автоматски се гаси доколку системот за заштита открие некоја грешка. Единицата се гаси и доколку се открие грешка во самиот систем на заштита бидејќи не е безбедно единицата да работи без соодветна заштита. Овој систем може да работи независно од работењето на *PLC* контролерите.

## 6.7 УПРАВУВАЧКИ ФУНКЦИИ И РАБОТНИ МОДОВИ НА СИСТЕМОТ ЗА УПРАВУВАЊЕ СПОРЕД НИВОТО НА УПРАВУВАЊЕ

### 6.7.1 УПРАВУВАЧКИ ФУНКЦИИ И РАБОТНИ МОДОВИ НА *PLC* НИВО

#### **А. Управувачки функции и работни модови на единичното *PLC***

Системот на управување овозможува единиците, односно централата да работи со висок степен на корисно дејство односно со оптимално оптоварување под зададени услови со одржување на бараните работни параметри (на пример промена на падот, факторот на моќност итн.). Единицата се оптоварува според бараната вредност на протокот или други работни променливи (активна моќност, нето пад), зависно од селекцијата. Реактивната моќност на генераторот се контролира со помош на заедничкиот контролер (заедничкото *PLC*) и системот на екситација според бараната вредност на факторот за моќност или напонот на мрежата, зависно од селекцијата.

Можни модови на работа на второто ниво на управување можат да бидат:

- автоматски
- чекор-по-чекор
- автоматски неактивен

Во автоматскиот мод на работа операторот само дава команда за стартирање на одреден програмиран редослед на извршување на операции (на пример стартирање на единицата). Понатамошна интервенција на операторот не е потребна за нормално извршување на целосниот редослед. Автоматскиот мод на работа е основниот мод на работа на единицата.

Чекор-по-чекор модот го извршува програмскиот редослед по чекори, кои се дефинирани со управувачкиот алгоритам. Секој пат кога одреден чекор ќе биде подготвен за извршување, операторот дозволува чекорот да продолжи со потврдна команда. Овој мод на работа се користи при процедурите на проверка или при тестирање на опремата.

Автоматскиот неактивен мод овозможува да ја управуваме единицата мануелно со поддршка на програмабилните логички контролери *PLC*. Во овој мод, автоматските команди се блокирани но индикцијата на логичките услови е активна. Операторот може да ја стартира единицата со мануелни команди до моторите, соленоидите итн., со помош на *HMI*. Овој мод е корисен при основното тестирање, подесувањето на сензорите и тестирањето на процедурите за откривање на дефекти.

## **Б. Управувачки функции и работни модови на заедничкото *PLC***

Ова заедничко *PLC* се користи за процесирање на сигналите кои доаѓаат од заедничката опрема на сите единици и на другата опрема во електраната која треба да се набљудува и управува, вклучувајќи го *switchgear*. Тоа е опремено со софтвер за управување со моќност.

Единиците можат да се управуваат единечно или заеднички, онака како што е селектирано од страна на операторот на *SCADA* нивото. Соодветно копче е вметнато во нашата *SCADA* апликација за симулирање на работата на хидроцентрала.

### **6.7.2 УПРАВУВАЧКИ ФУНКЦИИ И РАБОТНИ МОДОВИ НА *SCADA* МАСТЕР СТАНИЦАТА – *SCADA* НИВО**

Следниве управувачки функции можат да се изведат од *SCADA* работната станица во собата за управување:

- Автоматски старт/стоп на индивидуалните единици (преку единичните *PLC* контролери)
- Индивидуално подесување на оптоварувањето на станиците (активно и реактивно оптоварување)
- Итно гаснење/ контролирано гаснење на индивидуалните станици
- Заедничко управување со единиците (преку единичното и заедничкото *PLC*)
- Управување со 35 кV прекинувачи на кола (*on/off*), вклучувајќи ја и автоматизираната синхронизација (преку заедничкото *PLC*)
- Управување со заедничката помошна опрема во електраната (преку заедничкото *PLC*)

На *SCADA* нивото целата опрема на централата се прикажува со слики и со моменталниот статус на опремата, како и приказ на дел од мерените аналогни и дигитални сигнали. Исто така, преку влегување во разни прозори се овозможува директно управување со опремата. Бинарните сигнали кои се од операционо значење се снимаат на хард дискот во операциски дневник. Одредени аналогни сигнали се проверуваат дали се на своите гранични вредности, а сигналите кои си ги надминале своите граници се презентираат како аларми и на екранот и во алармниот дневник. Алармните и дефектните сигнали треба да бидат јасно одделени на мониторот и на операцискиот дневник од операционите сигнали.

SCADA нивото ни овозможува лесна комуникација со надворешноста. Тоа ни остава простор да овозможиме далечинско дијагностицирање на проблемите. Така на пример доколку се појави дефект кој локалните специјалисти неможат да го решат постои можност компјутерот со SCADA информациите да биде модемски поврзан со надворешната подршка за дијагностицирање, решавање и отстранување на проблемот. Преку SCADA нивото се доаѓа до допир со сите PLC уреди од PLC нивото кои со SCADA компјутерот се поврзани со *Ethernet* (или *ARCNET*) врска [21].

## 6.8 КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ НА ТИПИЧЕН СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО МАЛА ХЕЦ

### 6.8.1 УПРАВУВАЧКА ТАБЛА НА ТУРБИНСКА ЕДИНИЦА

Системот за управување со единицата вообичаено се сместува во ормар за управување со единцата (Т1) каде што се инсталираат електронските и помошните уреди за управување со турбинската единица. Тоа се:

- Единичното *PLC* со придружните влезно/ излезни и комуникациски модули
- Дигиталниот турбински регулатор на единичното *PLC*
- Дигиталната заштита на генераторот
- Кондиционер на аналогните сигнали
- Помошни релиња и контактори
- Напојување за системот за управување

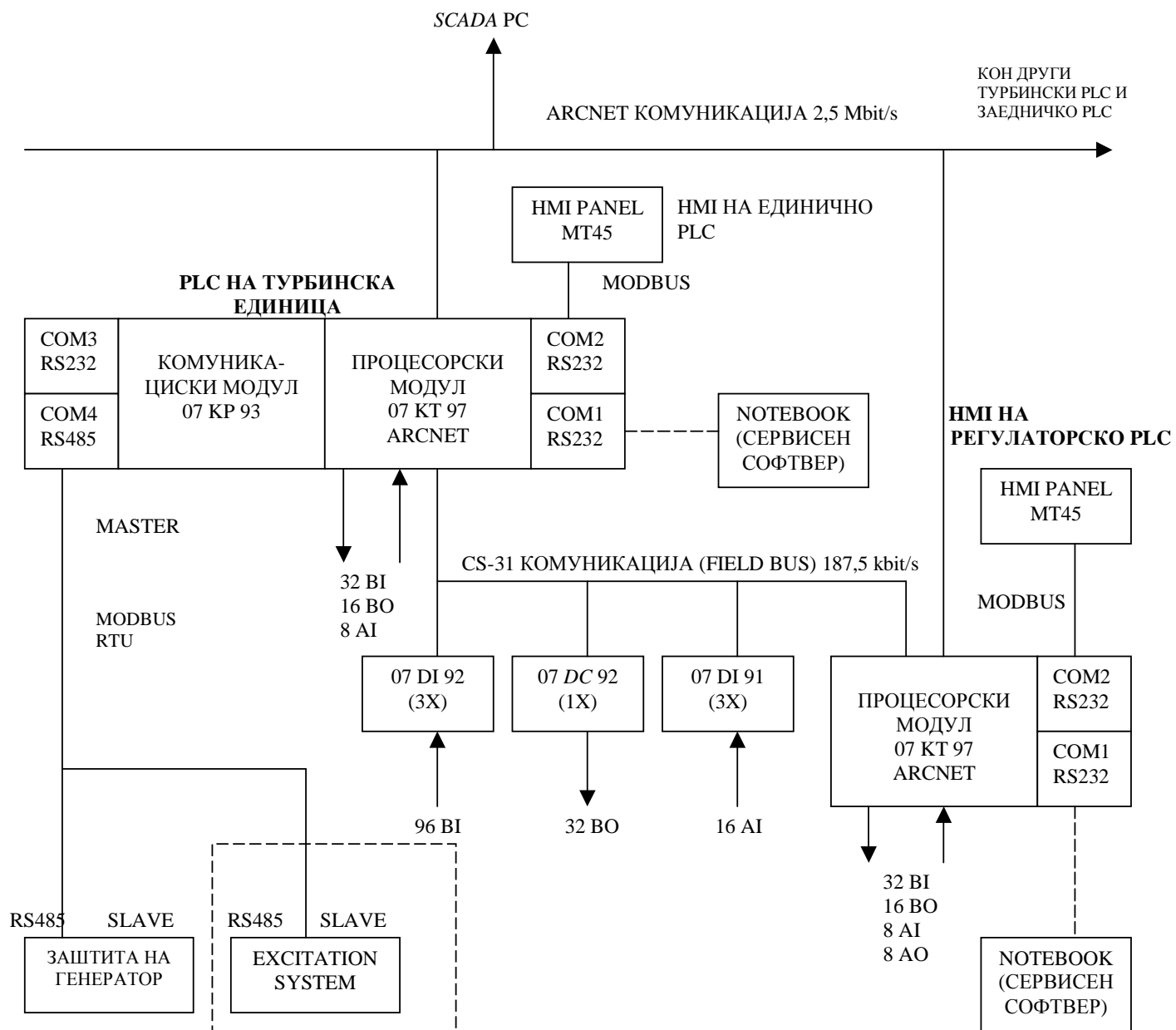
#### 6.8.1.1 ЕДИНИЧНО *PLC*

Единичното *PLC*, од типот на *ABB 07 KT 97 ARCNET*, е опремено со *CPU* модул, со соодветен комуникациски интерфејс (*Ethernet*, *Arcnet*) за *SCADA*, сериски порт за *MODBUS* комуникација со *AVR* (екситациски систем) и заштитата на генераторот и со *fieldbus CS-31* за комуникација со влезно излезните модули и *slave PLC*-ата (види сл.4.23).

За да се задоволат барањата на една мала централа на прикажаниот пример секое единично *PLC* е опремено со 128 бинарни влезови (влезови од сензорите и управуваните уреди), 48 бинарни излези (управувачки и сигнални излези) и 24 аналогни влезови (сигнали од сензорите и сензорите). Аналогните влезови можат да процесираат *DC* струјни сигнали (од 4 до 20 *mA*), сигнали од *Pt100* температурни сензори итн. Изолирачки релеи за бинарните излези се потребни да се монтираат на таблата *TI* за управување со помошните уреди, соленоиди итн., на 110 *V DC* или 230 *V AC* напон. Напојувањето на *PLC*-та е од посебно дизајнираното напојување на системот за управување и работи на 24 *V DC* напон. Напојувањето на системот за управување се снабдува со напон од *AC* и *DC* извори со што се обезбедува напојување за *PLC* ата и за нивните периферијални уреди [21].

Ормарот за управување се состои од едно куќиште, со една или две врати за да се овозможи лесен пристап до нејзините внатрешни делови заради тестирање и одржување. Сместен е во машинската хала близу до работната единица (сл. 4.24).





Слика 4.23: Блок дијаграм на единично PLC со неговите периферни уреди [21]



Слика 4.24: Фотографија на внатрешноста од управувачко ормарче за турбинска единица [41]

### 6.8.1.2 ОСНОВНИ ПОДАТОЦИ ЗА РЕГУЛАТОРОТ-РЕГУЛАЦИОНО *PLC*

Како пример е земено, *ABB PLC* од типот *07 KT 97 ARCNET* (со исти процесор како и единичното *PLC*). Со него може да се постигне[21]:

- Опсег на брзинските подесувања 0-150 %
- Опсег на отвореноста 0-100 %
- Статички опсег на подесувања 0-10 %
- *Dead band* <0.02 % и *Dead time* <0.10 s
- Неосетливост на управувањето со брзината < 0.02 %, *PID* управување
- Неосетливост на управувањето со позицијата < 0.2 %, *PI* управување
- Неосетливост на управувањето со протокот < 0.5 %, *PI* управување
- Работна температура од 0 до 50 °C

- Влажност до 95 %

Дигиталниот регулатор (и единичното *PLC*) вообичаено е опремен со алфанумерички управувачки терминал (*HMI*) со копчиња и *LCD* дисплеј (слика 4.25), со што се овозможува управување со регулаторот на локално ниво од самата машинска соба. Тоа овозможува мониторинг на регулаторот, подесувања на параметрите на регулаторот, индикација на работните стадиуми, алармирачки и дефекциони сигнали итн.

Сигналот од сензорот за број на вртежи до регулаторот доаѓа во пулсирачки облик. Поради тоа е потребно да се користат дигитално/аналогни конвертори кои се поставуваат пред *PLC* уредот. Овие конвертори се користат исто така и при мерењето на фреквенцијата на мрежата која се користи како споредувачка вредност за дефинирање на брзината при синхронизацијата.

Софтверот на турбинскиот регулатор може да се подели во четири базични групи:

- системски софтвер на управувачкиот систем
- апликациски софтвер на регулаторот
- визуализационен софтвер на терминалот (*HMI*)
- Софтверски пакет за параметризација

Вообичаени влезови во регулаторот се аналогни сигнали. Алгоритмите на регулаторот ги обработуваат (процесираат) овие сигнали заедно со надворешните сигнали и команди од терминалот или комуникацискиот линк и создаваат управувачки сигнали. Резултатите од ова процесирање се користат како влезови во надворешни електронски уреди. Уредите ги адаптираат овие сигнали за електро-хидрауличките конвертери.

Регулаторот содржи алгоритми за следниве задачи:

- мерење на брзината и проценување на граничните брзини
- генерација на регулационите константи
- промена на параметрите на регулаторот во зависност од работната точка
- синхронизација на брзината
- регулација на брзината, отвореноста, протокот или активната моќност
- корекција на одредени променливи во зависност од работните барања на пример: урамнотежување на фреквенцијата, регулација на падот, дијагностицирање на управувачкиот систем и периферната опрема итн.

Самиот регулатор може да има три основни мода на работа. Основниот мод на работа му е автоматски при што тој добива наредби од супериорното ниво на управување *SCADA*, преку комуникацискиот линк.

Втор мод на работа му е мануелното управување со регулаторот при што тој добива наредби од локалниот *HMI*. Терминалот ни дозволува промена на модовите на работење, управување со регулаторот за време на стартирање и гасење, внесување на вредности на регулираните променливи и подесување на основните параметри на регулаторот. Тој исто така може да ги прикажува вредностите на мерните променливи и дефектите на регулаторот со време на нивно појавување.

Трет мод на работење е сервисниот со директно управување на елементите при нивно тестирање и подесување.

Единечното *PLC* преку *MODBUS* линк е во директен контакт со системот за екситација и со системот на генераторска заштита. Системот за екситација и системот на заштита на генераторот имаат многу функции кои не се област на интересирање на ова истражување. Меѓу другото системот за екситација треба да врши автоматска екситација на генераторот, автоматско напонско споредување на генераторскиот напон со оној на мрежата (пред синхронизацијата), напонска регулација, автоматска синхронизација, екситација на електричното кочење, заштита од напонски удар итн. Системот на заштита се состои од мултифункционални дигитални заштитни релиња и служи за генераторска заштита и заштита на главниот напонски трансформатор.



Слика 4.25: Фотографија на надворешен изглед од управувачко ормарче [44]

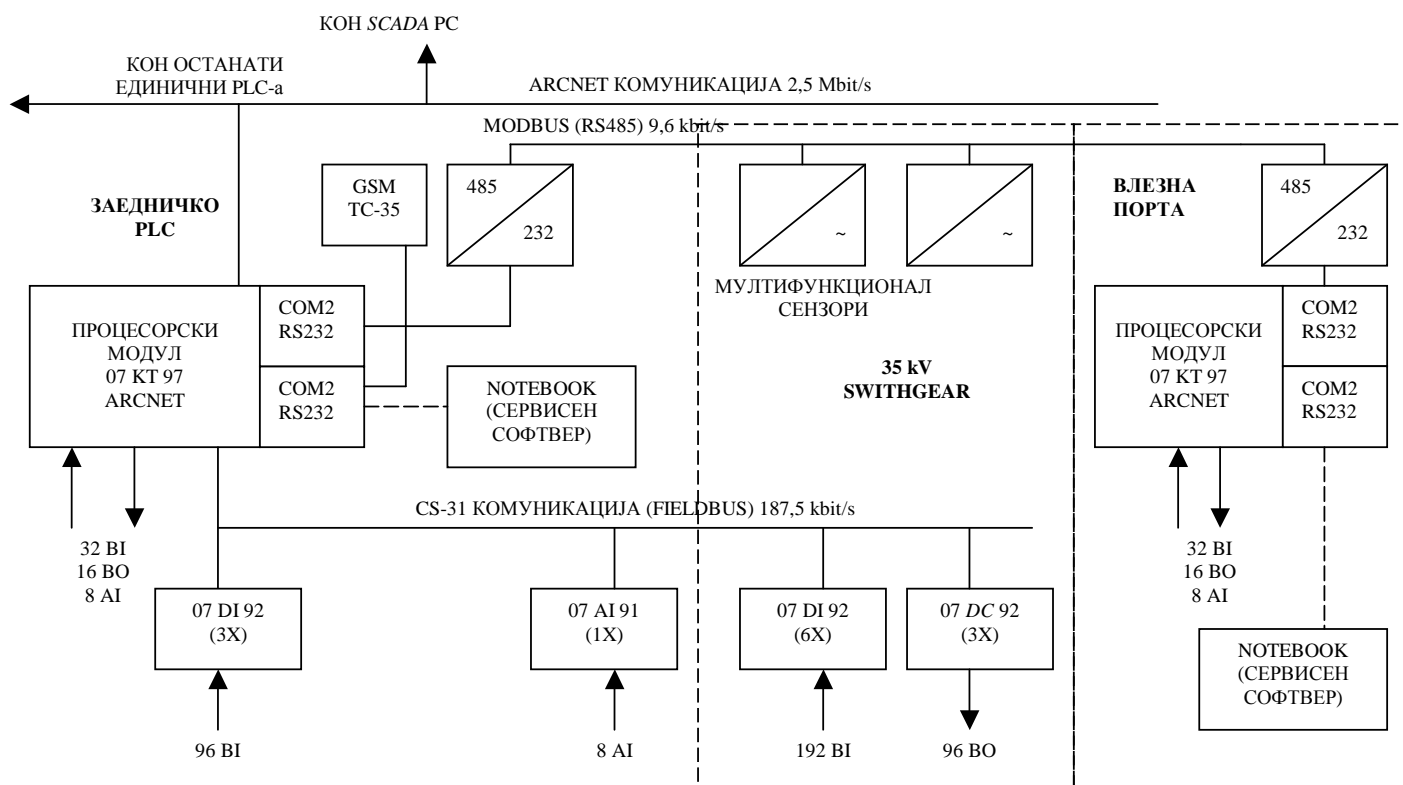
## 6.8.2 ЗАЕДНИЧКИ СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ

### 6.8.2.1 ЗАЕДНИЧКА УПРАВУВАЧКА ТАБЛА И ЗАЕДНИЧКО PLC

Заедничкиот управувачки и заштитен систем се поставува на заедничка управувачка табла (Т2) каде што ќе бидат инсталирани неопходните електронски и помошни уреди како што следи[21]:

- Заедничко PLC со своите влезни излезни модули вклучувајќи ги и помошните релиња и контактори
- Заедничкиот синхронизаторски сет за 35 kV-те напојувања
- Дигитална заштита од струен удар за 35 kV-те напојувања и 10 kV -то напојување
- Ресивер за временско синхронизирање (GPS)
- Прекунапонски граничници за АС напојните кола и комуникациски линкови

### 6.8.2.2 ЗАЕДНИЧКО PLC



Слик 4.26: Блок дијаграм на заедничкото PLC со своите периферијални уреди [21]

Заедничкото PLC е опремено со CPU модул, со соодветен комуникациски интерфејс (ARCNET) за SCADA, сервиски порт за MODBUS

комуникација со мултифункционални сензори и со *FIELD BUS CS-31* за комуникација со влезно излезните модули и останатите *PLC*-а.

За да се задоволат барањата на една мала централа заедничкото *PLC* е опремено со најмалку 128 бинарни влезови  $24\text{ V DC}$  (влезови од сензорите и управуваните уреди), 16 бинарни излези  $24\text{ V DC}$  (управувачки и сигнални излези) и 16 аналогни влезови (сигнали од сензорите и сензорите).

Освен овие влезно/излезни модули кои се монтирани на заедничката управувачка табла *T2* во ормарчето можат да се постават и додатни влезно излезни модули кои ќе се монтираат на друго место. Така на пример ќе бидат потребни 192 бинарни влезови  $24\text{ V DC}$  (влезови од сензорите и управуваните уреди), 96 бинарни излези  $24\text{ V DC}$  (управувачки и сигнални излези) за управување со  $35\text{ kV switchgear}$  кои се поставуваат на друга табла.

Аналогните влезови можат да процесираат *DC* струјни сигнали (од 4 до  $20\text{ mA}$ ), сигнали од *Pt100* температурни сензори итн. Изолирачки релеи за бинарните излези се потребни да се монтираат на таблата *T1* за управување со помошните уреди, соленоиди итн., на  $110\text{ V DC}$  или  $230\text{ V AC}$  напон.

Напојувањето на *PLC*-та е од посебно дизајнираното напојување на системот за управување и работи на  $24\text{ V DC}$  напон. Напојувањето на системот за управување се снабдува со напон од *AC* и *DC* извори со што се обезбедува напојување за *PLC* - ата и за нивните периферијални уреди [21].

Таблата за управување се состои од едно куќиште - ормарче, со една или две врати за да се овозможи лесен пристап до нејзините внатрешни делови заради тестирање и одржување и сместено е во собата за управување.

### 6.8.3 ПРОГРАМАБИЛЕН ЛОГИЧКИ КОНТРОЛЕР ЗА ВЛЕЗНАТА ПОРТА

Ова *PLC* се инсталира на самата брана кај што е постројката за влезната порта. Задачата на ова *PLC* е локално управување и аквизиција на податоци за наредениот систем, системот за управување на централата.

За да се задоволат барањата на нашиот пример, локалното *PLC* за управување со влезната порта има *CPU* единица со сериски комуникациски модул, за комуникација со заедничкото *PLC* (*MODBUS* протокол) преку оптички кабел. Тоа треба да биде опремено со најмалку 32 бинарни влезови  $24\text{ V DC}$  (влезови од сензорите и управуваните уреди), 16 бинарни излези  $24\text{ V DC}$  (управувачки и сигнални излези) и 8 аналогни влезови (сигнали од сензорите и сензорите).

Тоа *PLC* заедно со своите податоци, помошни релиња итн. треба да бидат сместени на една локална управувачка табла *T3*. За локално управување ќе се користат сигнални лампи и копчиња монтирани на таблата *T3* и поврзани со ова *PLC* [21].

#### 6.8.4 СИСТЕМ ЗА СУПЕРВИЗОРНО УПРАВУВАЊЕ И АКВИЗИЦИЈА НА ПОДАТОЦИ

Систем за супервизорно управување и аквизиција на податоци – *SCADA* го претставува највисокото ниво на управување со централата. *SCADA* опремата овозможува сеопфатно управување и супервизија на централата од собата за управување, вклучувајќи ја и модемската (или некој друг начин) комуникација со надворешноста т.е. со некој друг центар за управување од повисоко ниво.

*SCADA* нивото се состои од едно или повеќе *PC* компјутери со целокупна периферна опрема (слика 4.22). Оптимално е да има два компјутери од кои едниот ги врши сите функции додека другиот служи за *backup*. Тие се снабдуваат со електрична енергија преку *UPS* за да можат да продолжат да функционираат 30 до 60 минути и без електрична енергија. За бележење на податоците имаат принтер и *CD* режач. Модемското поврзување со надворешноста овозможува низа предности, меѓу кои и надворешна интервенција и откривање на грешки без присуство на оператор за сервисирање и одржување. *PC*-то може да биде поврзано преку сериски линк за мерачи на моќност на мрежата и со *GPS* приемник за временска синхронизација [21].

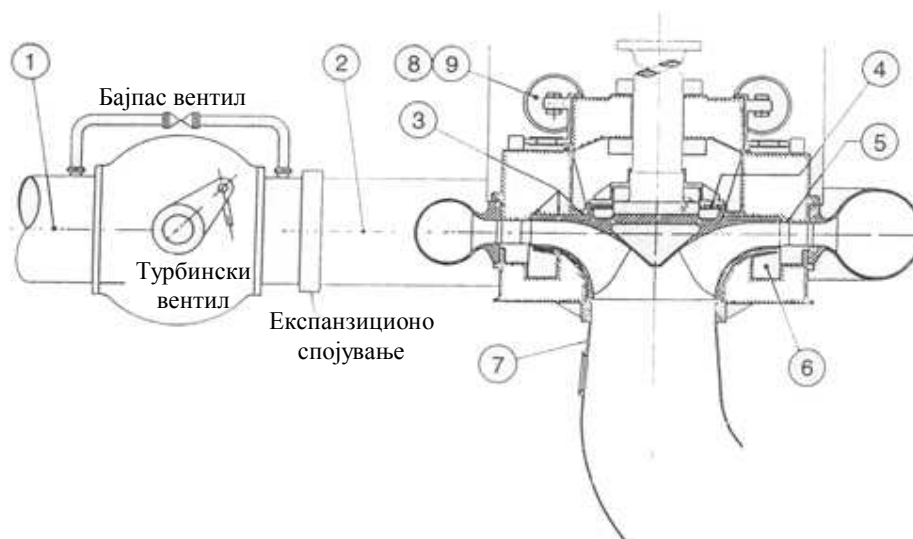
Ова ниво ни дава можност да ја надгледуваме електричната заштита, па така сите електрични заштити што се извршиле ќе бидат логирани на работниот, алармниот и дефектниот дневник на *SCADA* програмата.

## 6.9 МЕРНИ МЕСТА, ИНСТРУМЕНТИ И НИВНИ ОЗНАКИ ВО SCADA ПРОГРАМ

### 6.9.1 СЕНЗОРИ И МЕРНИ МЕСТА

Сензорите се уреди кои ги претвараат физичките квантитети во еквивалентни сигнали, вообичаено електрични, за мерни и други цели. Типични сензори кои се употребуваат во глобалниот систем за управување со една хидроцентрала и кои се дел од SCADA системот за управување се [2]:

- Сензори за притисок со кои се надгледуваат сите критични притисоци во турбинските водни премини, водниот систем за ладење, хидрауличниот агрегат на сервомоторот, и опремата за компримирање на воздух. Типични места на кои се поставуваат се прикажани на сликата 4.27.



**Слика 4.27:** Типични локации на сензорите за мерење притисок

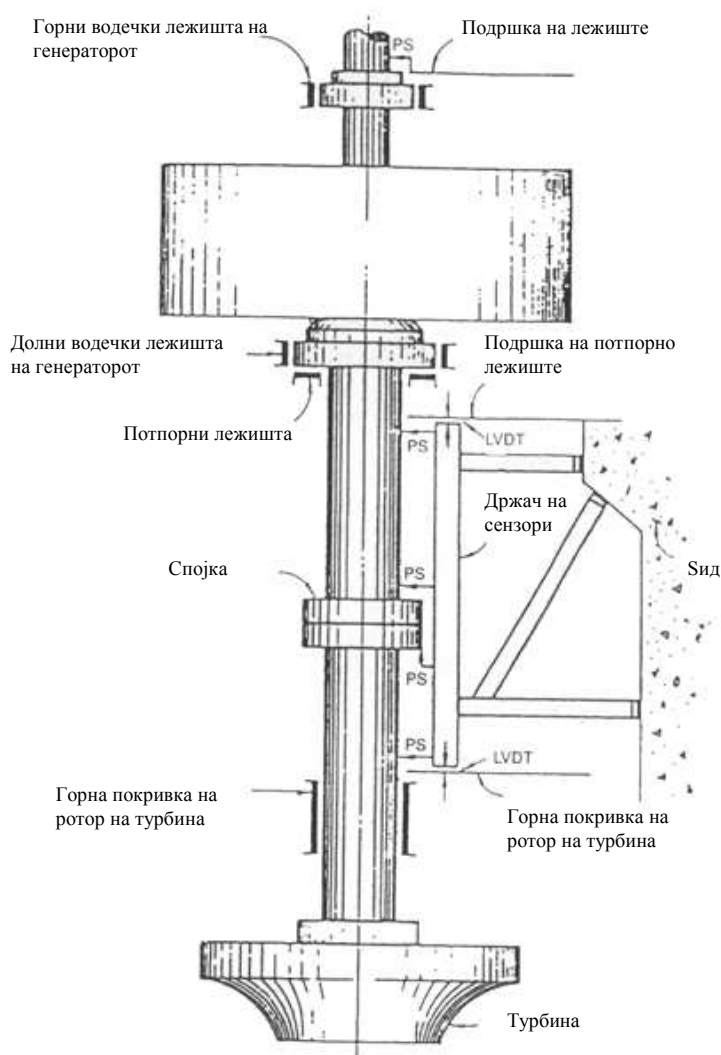
1. Притисок во доведен цевковод, 2. Притисок во спирала, 3. Притисок на горна покривка на роторот, 4. Воедначување на притисокот во комората, 5. Притисок на врв од роторот, 6. Притисок на долен обрач, 7. Притисок во дифузор, 8 и 9. Притисок во сервомотор при отворање и затворање на спроводен апарат [2]

- Сензори за мерење на вибрациите на вратилото, поместувањето и истрошеноста. Типични места на кои се поставуваат се прикажани на сликата 4.28.
- LVDT и линеарни потенциометри за мониторинг на структурните дефлекции и сервомотори, спроводниот апарат и ротационите турбински вентили. Дефлекциските сензори се прикажани на сликата 4.28.
- Тахометарски уреди за мерење на брзината на единицата
- Сензори за мерење на моќност на генераторскиот излез
- Напонски мерни мостови за да се мерат напрегањата на материјалите во цевководите, турбинските поклопци, и генераторските потпирачи.
- Температурни сензори за мерење на температурата на лежиштата, ладилната вода и воздух и структурните делови



- Електрични контакти за да се индицираат настани какви што се старт и стоп сигнали, отворени и затворени позиции на вентили и други уреди и одредени состојби во алгоритмите на автоматското управување
- Протокомери за мерење на протокот итн.

Кондиционерите на сигналите од сензорите се потребни и се употребуваат за да се изврши совпаѓање на излезните сигнали од сензорите со влезните сигнали во *PLC* уредите или пак во *PC* картичките за обработка на сигнали и управување.



Слика 4.28: Типични локации на вибрационите и сензорите за дефлекција на единицата [2]

## 6.9.2 СЕНЗОРИ, МОТОРИ И СОЛЕНОИДИ

Во табелите 4.1, 4.2, 4.3 и 4.4 од оваа глава се означени голем дел од сензорите кои ќе бидат прикажани во компјутерската апликација за симулација на работата на хидроцентрала. Воглавно се работи за дигитални сензори и актуатори какви што се: Граничните Прекинувачи (ГП), Притисните Прекинувачи (ПП), Ниво Прекинувачи (НП), стартери на Електромотори (М) и Соленоиди (С) но има и аналогни: Термометри (Т), Протокомери (ПМ) итн. Во првата колона се дадени називите на сензорите, во втората - типот на сензорот, а во последната колона се дадени ознаките во SCADA програмата. Ознаките во последната колона од табелите се составени од букви (кратенки од сензорите и актуаторите) и бројки (првата бројка го означува бројот на сензорот а втората бројка ја означува местоположбата). Така на пример ознаката ГП 2.1 значи дека се работи за граничен прекинувач број 2 кој се наоѓа на влезната порта (означена со број 1 во табела 4.1).

<b>1. Влезна порта (ВП) во цевководот</b>		
<b>Опис на сензорот</b>	<b>Тип на сензор диг/аналог</b>	<b>Ознака (скратеница)</b>
Граничен прекинувач: ВП затворено	дигитален	ГП 1.1
Граничен прекинувач: ВП полнење	дигитален	ГП 2.1
Граничен прекинувач: ВП пумпање старт	дигитален	ГП 3.1
Граничен прекинувач: ВП отворено	дигитален	ГП 4.1
Притисен прекинувач: притисок позади ВП (L1 = [kPa])	дигитален [Mpa]	ПП 1.1
Електромотор на пумпата 1 на хидрауличниот агрегат на влезната порта	моќност [ kW]	М 1.1
Електромотор на пумпата 2 на хидрауличниот агрегат на влезната порта	моќност [ kW]	М 2.1
Соленоид на распоредникот на ВП	U = [V] DC,P=[W]	С 1.1
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на ВП	дигитален	НП 1.1

Табела 4.1: Сензори, мотори и соленоиди на влезната порта

<b>2. Цевковод</b>		
<b>Опис на сензорот</b>	<b>Тип на сензор диг/аналог</b>	<b>Ознака (скратеница)</b>
Воден проточен прекинувач: прекумерен проток во цевководот Н1= [m <sup>3</sup> /s]	дигитален	ВПП 1.2
Термометар: температурата на водата во доводниот цевковод	аналоген од-до [°C]	Т 1.2
Протокомер: протокот низ доводниот цевковод Н1=[m <sup>3</sup> /s], Н2=[m <sup>3</sup> /s]	аналоген од - до [m <sup>3</sup> /s]	ПМ 1.2

Табела 4.2: Сензори, мотори и соленоиди на притисниот цевковод

<b>3. Турбински вентил (ТВ) и регулатор(Р)</b>		
<b>Опис на сензорот</b>	<b>Тип на сензор диг/аналог</b>	<b>Ознака (скратеница)</b>
Граничен прекинувач: ТВ затворено	дигитален	ГП 1.3
Граничен прекинувач: ТВ отворено	дигитален	ГП 2.3
Граничен прекинувач: Бајпас на ТВ затворено	дигитален	ГП 3.3
Граничен прекинувач: Бајпас на ТВ отворено	дигитален	ГП 4.3
Притисен прекинувач: притисок позади ВП (L1 = [kPa])	дигитален [MPa]	ПП 1.3
Електромотор на пумпата 1 на хидрауличниот агрегат на регулаторот	P=[ kW]	М 1.3
Електромотор на пумпата 2 на хидрауличниот агрегат на регулаторот	P=[ kW]	М 2.3
Соленоид на сигурносната тежина	U= [V] DC,P=[W]	С 1.3
Соленоид на пропорционалниот распоредник за спроводниот апарат - затворено	U= [V] DC,P=[W]	С 2.3
Соленоид на пропорционалниот распоредник за спроводниот апарат - отворено	U= [V] DC,P=[W]	С 3.3
Соленоид на распоредникот на кочниците	U= [V] DC,P=[W]	С 4.3
Соленоид на распоредникот на турбинскиот вентил	U= [V] DC,P=[W]	С 5.3
Соленоид на распоредникот на бајпасот	U= [V] DC,P=[W]	С 6.3
Притисен прекинувач: пумпа на хидрауличниот агрегат на регулаторот on/off, L1=[MPa], H1= [MPa]	дигитален, [MPa]	ПП 2.3
Притисен прекинувач: низок притисок во хидрауличниот агрегат на регулаторот, L1=[MPa], H1=[MPa]	дигитален, [MPa]	ПП 3.3
Притисен прекинувач: гушење на филтерот на спроводниот апарат	дигитален	ПП .3
Притисен прекинувач: притисок во кочниците, L1=[MPa]~[MPa]	дигитален, [MPa]	ПП 4.3
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на спроводниот апарат	дигитален	НП 1.3
Термометар: температурата на водата во резервоарот на хидрауличниот агрегат	PT100 0 ~ 100 C	Т 1.3
Брзински сензор L4=0%, L3=30%, L2=80%, L1=95%, H1=130%,	С 0 ~200%	БС 1.3
Позиционен сензор: сервомотор на спроводниот апарат	аналоген, од - до [mm]	ПС 1.3
Граничен прекинувач: сигурносна тежина затворено	дигитален	ГП 5.3
Граничен прекинувач: спроводен апарат затворено	дигитален	ГП 6.3

Термометар: температурата на водечкото лежиште Н1=[ <sup>0</sup> С], Н2=[ <sup>0</sup> С]	РТ100 0 ~ 100 [ <sup>0</sup> С]	Т 2.3
Термометар: температурата на резервоарот на водечкото лежиште Н1=[ <sup>0</sup> С], Н2=[ <sup>0</sup> С]	РТ100 0 ~ 100 [ <sup>0</sup> С]	Т 3.3
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на водечкото лежиште	дигитален	НП 2.3

Табела 4.3: Сензори, мотори и соленоиди на турбинскиот вентил и регулатор

<b>4. Генератор</b>		
<b>Опис на сензорот</b>	<b>Тип на сензор диг/аналог</b>	<b>Ознака (скратеница)</b>
Електромотор на инјектирачката пумпа на потпорното лежиште	[kW]	М 1.4
Притисен прекинувач: притисок во сегментите на потпорното лежиште	дигитален	ПП 1.4
Граничен прекинувач: механичките кочници ослободени	дигитален	ГП 1.4
Термометар: температурата на потпорното лежиште Н1=[ <sup>0</sup> С], Н2=[ <sup>0</sup> С]	РТ100 0 ~ 100 [ <sup>0</sup> С]	Т 1.4
Термометар: температурата на резервоарот на потпорното лежиште Н1=[ <sup>0</sup> С], Н2=[ <sup>0</sup> С]	РТ100 0 ~ 100 [ <sup>0</sup> С]	Т 2.4
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на водечкото лежиште	дигитален	НП 1.4
Термометар: температурата на горното водечко лежиште Н1=[ <sup>0</sup> С], Н2=[ <sup>0</sup> С]	РТ100 0 ~ 100 [ <sup>0</sup> С]	Т 3.4
Термометар: температурата на резервоарот на горното водечко лежиште Н1=[ <sup>0</sup> С], Н2=[ <sup>0</sup> С]	РТ100 0 ~ 100 [ <sup>0</sup> С]	Т 4.4
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на горното водечко лежиште	дигитален	НП 2.4
Термометар: температурата на долното водечко лежиште Н1=[ <sup>0</sup> С], Н2=[ <sup>0</sup> С]	РТ100 0 ~ 100 [ <sup>0</sup> С]	Т 5.4
Термометар: температурата на резервоарот на долното водечко лежиште Н1=[ <sup>0</sup> С], Н2=[ <sup>0</sup> С]	РТ100 0 ~ 100 [ <sup>0</sup> С]	Т 6.4
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на долното водечко лежиште	дигитален	НП 3.4
Термометар: температура на намотките на генераторот L1, L2, L3 > Н1=[ <sup>0</sup> С], Н2=[ <sup>0</sup> С]	РТ100 0 ~ 100 [ <sup>0</sup> С]	Т 7.4

Табела 4.4: Сензори, мотори и соленоиди на генератор

## 6.10 ДЕФИНИРАЊЕ НА АЛГОРИТМИ НА УПРАВУВАЊЕ

Бенифициите од примена на SCADA системите се многубројни но како една од главните придобивки се смета автоматизацијата на процесите. Компјутеризираното супервизорно управување овозможува лесно вметнување на алгоритми на управување. SCADA апликацијата за симулација креирана во овој труд следи однапред зададени алгоритми на однесување, слично како и реалните SCADA апликации [21], со цел најрепрезентативно да ги прикаже процесите кои се одвиваат во една хидроцентрала. Поради тоа, во оваа глава ќе бидат дефинирани главните управувачки алгоритми кои апликацијата ќе ги симулира.

### 6.10.1 МАНУЕЛНО УПРАВУВАЊЕ

За да се обезбеди сигурност во работењето сите електромотори и соленоиди треба да бидат опремени со мануелно управување - копчиња за тестирање (на пример ако го притиснеш копчето - електромоторот е *on*, а ако го испуштиш – електромоторот е *off*).

### 6.10.2 ВЛЕЗНА ПОРТА

#### 6.10.2.1 ВЛЕЗНА ПОРТА – ПОЧЕТНА СОСТОЈБА

- Влезната порта е затворена (ГП 1.1 ON, ГП 2.1 и ГП 3.1 и ГП 4.1 OFF)
- Електромоторите на пумпите 1 и 2 на хидрауличкиот агрегат се стопирани (М 1.1 и М 2.1 OFF)
- Соленоидот на распоредникот на влезната порта е без напон (С 1.1 OFF)
- Ниско ниво на масло во резервоарот не е индицирано (НП 1.1 OFF)

#### 6.10.2.2 ВЛЕЗНА ПОРТА – ОТВОРАЊЕ

- Турбинскиот вентил на двете единици затворен (ГП 1.3 ON, ГП 2.3 OFF), централата непотопена
- Вклучување на електромоторите на пумпите 1 и 2 на хидрауличниот агрегат (М 1.1 и М 2.1 ON)
- Позицијата на полнење е достигната за 20 секунди (ГП 2.1 ON), а ако не FAILURE – позицијата на полнење на влезната порта не е достигната
- Запри ги двата електромотора (М 1.1 и М 2.1 OFF)
- Полнењето на цевководот е во прогрес
- Притисокот во потисниот цевковод е достигнат за 3 минути (ПП1.1 ON), а ако не FAILURE – цевководот не е наполнет
- По три минути стартирај ги двата електромотори 1 и 2 (М 1.1 и М 2.1 ON)
- Влезната порта на цевководот е отворена за 15 минути (ГП 4.1 ON), ако не FAILURE – влезната порта не е отворена
- Стоп на двата електромотори (М 1.1 и М 2.1 OFF)

### **6.10.2.3 ВЛЕЗНА ПОРТА – ПУМПАЊЕ ВО ОТВОРЕНА ПОЗИЦИЈА**

- Позицијата отворено на влезната порта е напуштена (ГП 4.1 OFF)
- Позицијата за пумпање е достигната (ГП 3.1 ON)
- Стартирање на двата електромотора (М 1.1 и М 2.1 ON)
- Влезната порта на цевководот е отворена за 30 секунди (ГП 4.1 ON), ако не FAILURE – влезната порта не е отворена
- Стоп на двата електромотора (М 1.1 и М 2.1 OFF)

### **6.10.2.4 ВЛЕЗНА ПОРТА – ЗАТВОРАЊЕ**

- Стоп на двата електромотори (М 1.1 и М 2.1 OFF)
- Вклучување на соленоидот на распоредникот на влезната порта (С 1.1 ON)
- Влезната порта е затворена за една минута (ГП 1.1 OFF), ако не ALARM - влезната порта не е затворена
- Исклучување на соленоидот на распоредникот на влезната порта (С 1.1 OFF)

## **6.10.3 ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ**

### **6.10.3.1 ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ – ПОЧЕТНА СОСТОЈБА**

- Турбински вентил затворен (ГП 1.3 ON и ГП 2.3 OFF)
- Бајпасот на турбинскиот вентил затворен (ГП 3.3 и ГП 4.3 OFF)
- Соленоидот на распоредникот на турбинскиот вентил исклучен (С 5.3 OFF)
- Соленоидот на распоредникот на бајпасот на турбинскиот вентил исклучен (С 6.3 OFF)

### **6.10.3.2 БАЈПАС НА ТУРБИНСКИОТ ВЕНТИЛ – ОТВОРАЊЕ**

- Вклучување на соленоидот на распоредникот на бајпасот на турбинскиот вентил (С 6.3 ON)
- Бајпасот на турбинскиот вентил отворен за 20 секунди (ГП 4.3 ON), ако не failure – бајпасот на турбинскиот вентил не е отворен

### **6.10.3.3 БАЈПАС НА ТУРБИНСКИОТ ВЕНТИЛ – ЗАТВОРАЊЕ**

- Исклучување на соленоидот на распоредникот на бајпасот на турбинскиот вентил (С 6.3 OFF)

- Бајпасот на турбинскиот вентил затворен за 20 секунди (ГП 3.3 ON), ако не FAILURE – бајпасот на турбинскиот вентил не е затворен

#### **6.10.3.4 ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ – ПРОВЕРКА НА ПРИТИСОК ПОЗАДИ ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ**

- Притисокот позади турбинскиот вентил е присутен за 3 минути (ПП 1.3 ON), ако не FAILURE притисок позади турбинскиот вентил не е присутен

#### **6.10.3.5 ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ – ОТВОРАЊЕ**

- Доколку притисокот позади турбинскиот вентил не е присутен (ПП 1.3 OFF), стартирај го алгоритмот 4.10.3.2 за отворање на бајпасот на турбинскиот вентил и алгоритмот 4.10.3.4 за проверка на притисокот позади турбинскиот вентил
- Вклучување на соленоидот на распоредникот на турбинскиот вентил (С 5.3 ON)
- Отворањето на турбинскиот вентил е во прогрес
- Турбинскиот вентил е отворен за 40 секунди (ГП 2.3 ON), ако не FAILURE – турбинскиот вентил не е отворен
- Ако бајпасот на турбинскиот вентил е отворен (ГП 4.3 ON), стартирај го алгоритмот 4.10.3.3 за затворање на бајпасот на турбинскиот вентил

#### **6.10.3.6 ТУРБИНСКИ ВЕНТИЛ – ЗАТВОРАЊЕ**

- Исклучување на соленоидот на распоредникот на турбинскиот вентил (С 5.3 OFF)
- Затворањето на турбинскиот вентил е во прогрес
- Турбинскиот вентил е затворен за 40 секунди (ГП 1.3 ON), ако не FAILURE – турбинскиот вентил не е затворен

#### **6.10.4 ХИДРАУЛИЧЕН АГРЕГАТ НА РЕГУЛАТОРОТ НА БРЗИНА (ХАРБ)**

Пумпите 1 и 2 на хидрауличниот агрегат се поврзани паралелно 1+1 (електромотори М 1.3 и М 2.3) (само една пумпа може да биде вклучена), важноста (главна и споредна пумпа) се вклучува рачно или автоматски дури и при работни услови.

Хидрауличниот агрегат е опремен со воздушни акумулатори. Работниот притисок на маслото во хидрауличниот агрегат е одржувано со притисен хистерезис (од L1 до H1) од страна на притисниот прекинувач за пумпите on/off (ПП 2.3).

#### **6.10.4.1 ХАРБ – ПОЧЕТНА СОСТОЈБА**

- Двете пумпи се исклучени (М 1.3 и М 2.3 OFF)
- Ниско ниво на масло во резервоарот не е индицирано (НП 1.3 OFF)

#### **6.10.4.2 ХАРБ – ПУМПАЊЕ**

- Кога притисниот прекинувач on/off за пумпите е on (ПП 2.3 ON), вклучи ја главната пумпа на ХАРБ (М 1.3 или М 2.3 ON)
- Кога притисниот прекинувач on/off за пумпите е off (ПП 2.3 OFF), исклучи ја главната пумпа на ХАРБ (М 1.3 или М 2.3 OFF)

#### **6.10.4.3 ХАРБ – ПОДИГАЊЕ НА СИГУРНОСНАТА ТЕЖИНА**

- Вклучи го соленоидот на сигурносната тежина (С 1.3 ON)
- Сигурносната тежина е подигната за 1 секунда (ГП 5.3 OFF), ако не FAILURE – сигурносната тежина не е подигната

#### **6.10.4.4 ХАРБ – СПУШТАЊЕ НА СИГУРНОСНАТА ТЕЖИНА**

- Исклучи го соленоидот на сигурносната тежина (С 1.3 OFF)
- Сигурносната тежина е спуштена за 1 секунда (ГП 5.3 ON), ако не ALARM – сигурносната тежина не е спуштена
- Спуштена сигурносна тежина = стартна состојба

#### **6.10.4.5 ХАРБ – ПРОВЕРКА НА ЗАТВОРНОСТА НА СИГУРНОСНАТА ТЕЖИНА**

- Доколку спроводниот апарат не е затворен за 5 секунди (ГП 6.3 OFF), ALARM – спроводниот апарат не е затворен
- Доколку алармот дека бајпасот на турбинскиот вентил не е затворен и алармот дека спроводниот апарат не е затворен се активни тогаш FAILURE – спроводниот апарат и бајпасот на турбинскиот вентил не се затворени

### **6.10.5 МЕХАНИЧКО КОЧЕЊЕ**

#### **6.10.5.1 МЕХАНИЧКО КОЧЕЊЕ – КОЧЕЊЕ**

- Вклучи го соленоидот на распоредникот на кочниците (С 4.3 ON)
- Притисокот во кочниците е присутен за една минута (ПП 4.3 ON) ако не ALARM – притисокот во кочниците не е присутен



### **6.10.5.2 МЕХАНИЧКО КОЧЕЊЕ – ОСЛОБОДУВАЊЕ**

- Исклучи го соленоидот на распоредникот на кочниците (С 4.3 OFF)
- Притисокот во кочниците е ослободен за една минута (ПП 4.3 OFF), ако не FAILURE – притисокот во кочниците не е ослободен
- Кочниците се ослободени за 2 минути (ГП 1.4 ON), ако не FAILURE – Кочниците не се ослободени

### **6.10.5.3 МЕХАНИЧКО КОЧЕЊЕ – СПОНТАНО СТАРТИРАЊЕ**

- Кога единицата не работи и ќе постигне брзина  $>0\%$  од називната (*rated*) брзина ( $\omega > 0\%$ , БС 1.3 L4 OFF), стартирај го алгоритмот 4.10.5.1 за механичко кочење и алгоритмот 4.10.4.2 за пумпање во ХАРБ и алгоритмот 4.10.6.3 за исклучување на пумпите за инјектирање на масло во носечкото лежиште - алармирај ALARM спонтано механичко кочење отпочна
- Кога  $0\%$  од називната брзина ќе се постигне ( $\omega = 0\%$ , БС 1.3 L4 ON) и алармот за спонтано стартирање ќе се прекине, по 10 минути стопирај го алгоритмот 4.10.4.2 за пумпање во хидрауличниот агрегат

## 6.10.6 ИНЈЕКТИРАЧКА ПУМПА НА ПОТПОРНОТО ЛЕЖИШТЕ

### **6.10.6.1 ИНЈЕКТИРАЧКА ПУМПА НА ПОТПОРНОТО ЛЕЖИШТЕ – СТАРТНА СОСТОЈБА**

- Инјектирачката пумпа на потпорното лежиште е стопирана (М 1.4 OFF)

### **6.10.6.2 ИНЈЕКТИРАЧКА ПУМПА НА ПОТПОРНОТО ЛЕЖИШТЕ – СТАРТИРАЊЕ**

- Вклучи го електромоторот на инјектирачката пумпа на потпорното лежиште (М 1.4 ON)
- Притисокот на маслото во група на сегменти е достигнат за 10 секунди (ПП 1.4 ON), ако не failure – притисок во група на сегменти не е присутен
- Кога  $0\%$  од називната брзина е премината ( $\omega > 0\%$ , БС 1.3 L4 OFF), притисните прекинувачи на групата сегменти повеќе не се проверуваат ПП 1.4
- Кога  $95\%$  од називната брзина е постигната ( $\omega = 95\%$ , БС 1.3 L1 ON), исклучи ја инјектирачката пумпа (М 1.4 OFF)

### **6.10.6.3 ИНЈЕКТИРАЧКА ПУМПА НА ПОТПОРНОТО ЛЕЖИШТЕ – ИСКЛУЧУВАЊЕ**

- Кога брзината ќе падне под 95 % ( $\omega < 95\%$ , БС 1.3 L1 ON) или пак синхронизирачкиот струен прекинувач е исклучен, вклучи ја инјектирачката пумпа на потпорното лежиште
- Кога 0% од називната брзина ќе се постигне ( $\omega = 0\%$ , БС 1.3 L4 ON), исклучи ја инјектирачката пумпа на потпорното лежиште

#### 6.10.7 ВОДА ЗА ЛАДЕЊЕ

##### 6.10.7.1 ВОДА ЗА ЛАДЕЊЕ – СТАРТНА СОСТОЈБА

- Вентилот на водата за ладење е затворен

##### 6.10.7.2 ВОДА ЗА ЛАДЕЊЕ – ОТВОРАЊЕ

- Вклучи го електромоторот на вентилот за отворање на цевководот на ладилната вода
- Вентилот за ладилната вода е отворен за 1 минута, ако не FAILURE – вентилот на ладилната вода не е отворен
- Исклучи го електромоторот од вентилот на ладилната вода
- Откако вентилот на ладилната вода ќе се отвори, сите притисни и проточни прекинувачи дефинирани во 4.11.2 се проверуваат

##### 6.10.7.3 ВОДА ЗА ЛАДЕЊЕ – ЗАТВОРАЊЕ

- Овој алгоритам е супериорен во однос на оној за отворање
- Кога 0% од називната брзина е постигната, вклучи го електромоторот на вентилот за ладилната вода за затворање, сите притисни и проточни прекинувачи дефинирани во 4.11.2 се проверуваат
- Вентилот на ладилната вода се затвора за 1 минута, ако не *alarm* – вентилот на ладилната вода не е затворен
- Исклучи го електромоторот на вентилот на ладилната вода

#### 6.10.8 ИСТЕЧНИ ВОДИ – ЦУРЕЊЕ

Пумпите 1 и 2 на истечните води се поврзани 2+0, важноста (главна и споредна) се променува рачно или автоматски дури и при работни услови. Електромоторите се стартираат со закаснување од 10 секунди. Алгоритмите за истечните води се континуално активни

##### 6.10.8.1 ИСТЕЧНИ ВОДИ – СТАРТНА СОСТОЈБА

- Пумпите на истечните води се стопирани

#### **6.10.8.2 ИСТЕЧНИ ВОДИ – ПУМПАЊЕ**

- Кога ќе се постигне третото ниво во јамата за истечните води, вклучи ја главната пумпа
- Кога ќе се постигне четвртото ниво во јамата за истечните води, вклучи ја секундарната пумпа
- Кога ќе се достигне второто ниво во јамата за истечните води, исклучи ја секундарната пумпа
- Кога ќе се постигне првото ниво во јамата за истечните води, исклучи ја главната пумпа

#### **6.10.8.3 ИСТЕЧНИ ВОДИ – СЕКУНДАРНО ПУМПАЊЕ**

- Кога ќе се постигне петото ниво во јамата за истечните води, вклучи ги двете пумпи
- Кога ќе се постигне второто ниво во јамата за истечните води, исклучи ја секундарната пумпа
- Кога ќе се постигне првото ниво во јамата за истечните води, исклучи ја главната пумпа

#### **6.10.8.4 ИСТЕЧНИ ВОДИ – ИТНО ПУМПАЊЕ**

- Кога зградата на централата е потопена, вклучи ги двете пумпи
- кога ќе се постигне второто ниво во јамата за истечните води, исклучи ја секундарната пумпа
- кога ќе се постигне првото ниво во јамата за истечните води, исклучи ја главната пумпа

#### **6.10.9 ЗГРАДА НА ХИДРОЦЕНТРАЛАТА**

##### **6.10.9.1 ЗГРАДА НА ХИДРОЦЕНТРАЛАТА – ВЛЕЗ**

- Кога ќе се отвори влезната врата на зградата на централата а влезен код не е внесен во рок од 3 минути, ALARM – Забранет влез во централата
- Кога ќе се внесе безбедоносниот код, исклучи ја сигурносната опрема на зградата на централата

##### **6.10.9.2 ЗГРАДА НА ХИДРОЦЕНТРАЛАТА – ИЗЛЕЗ**

- Кога ќе се внесе безбедоносниот код, а влезната врата на зградата на централата не е затворена во рок од 3 минути, ALARM – Погрешно напуштање на централата
- Кога ќе се внесе безбедоносниот код, вклучи ја сигурносната опрема на зградата на централата

### 6.10.9.3 ЕЛЕКТРИЧНО КОЧЕЊЕ

- Електричната заштита на генераторот работи со сет на параметри за електрично кочење
- По исклучување на синхронирачкиот автоматски прекинувач *QM1* при процесот на исклучување на постројката, провери ја струјата на роторската и статорска струја дали е 0 и вклучи го прекинувачот за електрично кочење *QM241*
- Возбуди ја проектираната статорска струја, одржувај ја проектираната статорска струја цело време за време на електричното кочење (при опаѓачка брзина)
- Кога ќе се постигне 0% од проектираната брзина, исклучи ја возбудата и исклучи го прекинувачот за електрично кочење
- Кога електричното кочење нема да помине во најдобар ред и прекинувачот на електричното кочење е исклучен, вклучи ја повторно електричната заштита на генераторот за да се постават повторно сите параметри за нормално работење

### 6.10.10 ЕДИНИЦАТА ПОДГОТВЕНА ЗА СТАРТИРАЊЕ

- Нема активни дефекти и аларми
- Влезната порта отворена, алгоритам 4.10.2.2 Влезна порта – отворање
- Притисок во цевководот е присутен ( ПП 1.1 ON)
- Турбинскиот вентил затворен, алгоритам 4.10.3.1 Турбински вентил – Стартна состојба
- Бајпасот на турбинскиот вентил затворен, алгоритам 4.10.3.1 Турбински вентил – Стартна состојба
- Сигурносна тежина спуштена, алгоритам 4.10.4.4 ХАРБ – Сигурносна тежина спуштена
- Спроводен апарат затворен, алгоритам 4.10.4.5 ХАРБ – Проверка на тоа дали спроводниот апарат е затворен
- Вентилот на ладилната вода затворен, алгоритам 4.10.7.1 Вода за ладење-почетна состојба
- Пумпата за потпорни лежишта е исклучена, алгоритам 4.10.6.1 Инјектирачката пумпа на турбинскиот вентил - стартна состојба
- Електричните услови – стартни услови (нема да бидат дискутирани)

### 6.10.11 СТАРТИРАЊЕ НА ЕДИНИЦАТА

#### ЧЕКОР 1

- Стартирање на часовникот за мерење на поминатото време
- Стартирање на алгоритмот 4.10.4.2 ХАРБ – пумпање
- Низок притисок на маслото во ХАРБ (ПП 3.3) не се проверува се дури сензорот за притисок ПП 3.3 не се исклучи
- Стартирање на алгоритмот 4.10.3.2 Бајпас на турбински вентил – отворање (услов потребен за да се стартира ЧЕКОР 2)
- Стартирање на алгоритмот 4.10.7.2 Вода за ладење – отворање (услов потребен за да се стартира ЧЕКОР 5)
- Стартирање на алгоритмот 4.10.5.2 Механичко кочење – ослободување (услов потребен за да се стартира ЧЕКОР 4)

#### ЧЕКОР 2

- Стартирање на алгоритмот 4.10.3.4 Турбински вентил – Проверка на притисокот позади вентилот (услов потребен за стартирање на ЧЕКОР 3)
- Стартирање на алгоритмот 4.10.6.2 Инјектирачка пумпа на потпорното лежиште – стартирање (услов потребен за стартирање на ЧЕКОР 4)

#### ЧЕКОР 3

- Кога притисниот прекинувач за пумпање во ХАРБ ќе се исклучи (ПП 2.3 OFF), стартирање на алгоритмот 4.10.3.5 Турбински вентил – отворање (услов потребен за да се изврши чекор 4)

#### ЧЕКОР 4

- стартирање на алгоритмот 4.10.4.3 ХАРБ – Подигање на сигурносната тежина (услов за да се изврши ЧЕКОР 5)

#### ЧЕКОР 5

- Стартирање на турбинскиот регулатор

#### ЧЕКОР 6

- Кога ќе се постигне 80% од називната брзина (*rated*) (БС 1.3 L2 ON), вклучи го возбудувачот (*exciter*)

#### ЧЕКОР 7

- Кога ќе се постигне 95% од номиналната брзина (БС 1.3 L1 ON), вклучи го синхронизирањето кое ги вклучува подесувањата на напонот и брзината

#### ЧЕКОР 8

- Вклучи го фазниот автоматски прекинувач QM1
- Крај на часовникот за мерење на изминато време
- ТУРБИНАТА РАБОТИ НОМИНАЛНО

Доколку опфатеното време за стартирање на турбината е поголемо од 5 минути тогаш FAILURE – времето за стартирање на турбината измина

### 6.10.12 НОРМАЛНО ЗАТВОРАЊЕ НА ЕДИНИЦАТА

#### ЧЕКОР 1

- Стартирање на часовникот за мерење на изминато време
- Исклучување на активната и реактивната моќност

#### ЧЕКОР 2

Откако ќе се исклучи синхронизирачкиот автоматски прекинувач QM1:

- Стартирање на алгоритмот 4.10.6.3 Инјектирачка пумпа на потпорното лежиште – гаснење
- Стартирање на алгоритмот 4.10.4.4 ХАРБ – спуштање на сигурносна тежина
- Стартирање на алгоритмот 4.10.4.5 ХАРБ – Проверка на затвореноста на спроводниот апарат

#### ЧЕКОР 3

- Стартирање на алгоритмот 4.10.3.6 Турбински вентил – затворање
- Стартирање на алгоритмот 4.10.10 Електрично кочење

#### ЧЕКОР 4

- Доколку електричното кочење не се изврши и 30% од номиналната брзина е достигната (БС 1.3 L3 ON), стартирање на алгоритмот 4.10.5.1 Механичко кочење – кочење

#### ЧЕКОР 5

- Кога ќе се постигне 0% од номиналната брзина (БС 1.3 L4 ON) и електричното кочење ќе се изврши, стартирај го алгоритмот 4.10.5.1 Механичко кочење – кочење

#### ЧЕКОР 6

- Стартирање на алгоритмот 4.10.7.3 Вода за ладење – затворање
- Крај на часовникот за мерење на изминато време
- ЕДИНИЦАТА Е ПОДГОТВЕНА ЗА СТАРТИРАЊЕ

Доколку изминатото време за извршување на постапката на затворање надмине 5 минути, тогаш ALARM – времето за затворање на постројката е изминато.

#### 6.10.13 ИТНО ЗАТВОРАЊЕ НА ЕДИНИЦАТА

##### ЧЕКОР 1

- Стартирање на часовникот за мерење на изминато време
- Стопирање на регулаторот на турбината
- Исклучување на прекинувачот за де-екситација
- Исклучување на синхронизацискиот автоматски прекинувач QM1
- Стартирање на алгоритмот 4.10.4.4 ХАРБ - спуштање на сигурносна тежина
- Стартирање на алгоритмот 4.10.6.3 Инјектирачка пумпа на потпорното лежиште – гаснење

##### ЧЕКОР 2

- Стартирање на алгоритмот 4.10.3.6 Турбински венитил – затворање

#### ЧЕКОР 3

- Доколку нема активен електричен FAILURE, итното затворање продолжува со ЧЕКОР 3 од нормалното затворање
- Доколку има активен електричен FAILURE, итното затворање продолжува со ЧЕКОР 4 од нормалното затворање

Доколку изминатото време е поголемо од 5 минути, тогаш ALARM времето предвидено за итно затворање на единицата измина

Трет начин на затворање на единицата е итно затворање на единицата со спуштање на влезната порта. Тоа се реализира со симултано отпочнување на постапката 4.10.13 за итно затворање на единицата и стартирање на алгоритмот 4.10.2.4 Влезна порта – затворање.

#### 6.10.14 МИРУВАЊЕ НА ЕДИНИЦАТА

Откако ќе поминат 10 минути од гаснење на единицата:

- Стопирај го алгоритмот 4.10.4.2 ХАРБ – Пумпање
- Низок притисок во резервоарот на ХАРБ повеќе не се проверува (ПП 3.3)
- Стартирање на алгоритмот 4.10.5.2 Механичко кочење - ослободување
- МИРУВАЊЕ

## 6.11 ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ НА ХИДРОЦЕНТРАЛА

Основни податоци за една ХЕЦ потребни да се изработи SCADA програма за симулација на реален систем се дадени табела 4.5 .

Оптимален проток	28,5 m <sup>3</sup> /s
Оптимален напор	81 m
Моќност на турбината при оптимална работа	28 MW
Моќност на генераторот при оптимална работа	31 MVA
Отвореност на спроводниот апарат при оптимална работа	80 %
Максимален проток	37 m <sup>3</sup> /s
Максимален напор	91.7 m
Максимална моќност на турбината	28 MW
Максимална отвореност на спроводен апарат	100 %
Геодетска висина	94,7 m
Дијаметар на притисен цевковод	4,5 m
Должина на притисен цевковод	330 m
Коефициент на загуби низ цевковод	0.0013

Табела 4.5: Основни параметри на ХЕЦ Шпиље

### 6.11.1 ИЗВЕДЕНИ ЗАВИСНОСТИ НА ОСНОВНИТЕ ПАРАМЕТРИ

На основа на лабораториски мерења, дадени во табела 4.6, добиени се податоци за реална централа (табела 4.7).

No	A0	A0 pu	Q [m <sup>3</sup> /s]	Y[J]	P [W]
1	1,8	0,9	0,4843	116,54	46,275
2	1,7	0,85	0,4681	116,87	46,134
3	1,6	0,8	0,4473	116,38	44,799
4	1,5	0,75	0,4277	116,42	43,633
5	1,4	0,7	0,4083	116,73	42,289
6	1,35	0,675	0,3957	115,73	41,062
7	1,3	0,65	0,3875	116,63	40,761
8	1,25	0,625	0,3766	116,69	39,808
9	1,2	0,6	0,3632	115,46	38,266
10	1,15	0,575	0,3534	115,71	37,39
11	1,1	0,55	0,3392	116,31	36,181
12	1,05	0,525	0,3231	116,03	34,341
13	1	0,5	0,3097	116,82	32,822
14	0,9	0,45	0,2806	116,49	29,165
15	0,8	0,4	0,2492	116,01	25,338
16	0,7	0,35	0,2189	114,99	21,554
17	0,6	0,3	0,19	115,91	18,033
18	0,5	0,25	0,16	116,49	13,19

Табела 4.6 : Лабораториски мерења за ХЕЦ Шпиље



No	H <sub>p</sub> (m)	H <sub>p pu</sub>	Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>p pu</sub>	P <sub>p</sub> (MW)	P <sub>p pu</sub>	P <sub>p pu</sub> %	Q <sub>p pu</sub> %	A <sub>0 pu</sub> %
1	75,5	0,797	39,440	1,066	24,54	0,876	87,64	106,59	90
2	75,7	0,799	38,130	1,031	24,448	0,873	87,31	103,05	85
3	75,4	0,796	36,430	0,985	23,729	0,847	84,75	98,46	80
4	75,4	0,796	34,830	0,941	23,102	0,825	82,51	94,14	75
5	75,6	0,798	33,250	0,899	22,385	0,799	79,95	89,86	70
6	75	0,792	32,230	0,871	21,749	0,777	77,68	87,11	67,5
7	75,5	0,797	31,560	0,853	21,569	0,770	77,03	85,30	65
8	75,6	0,798	30,670	0,829	21,082	0,753	75,29	82,89	62,5
9	74,8	0,790	29,590	0,800	20,243	0,723	72,30	79,97	60
10	74,9	0,791	28,780	0,778	19,797	0,707	70,70	77,78	57,5
11	75,3	0,795	27,630	0,747	19,138	0,684	68,35	74,68	55
12	75,1	0,793	26,320	0,711	18,183	0,649	64,94	71,14	52,5
13	75,7	0,799	25,230	0,682	17,366	0,620	62,02	68,19	50
14	75,4	0,796	22,860	0,618	15,436	0,551	55,13	61,78	45
15	75,1	0,793	20,300	0,549	13,417	0,479	47,92	54,86	40
16	74,5	0,787	17,830	0,482	11,419	0,408	40,78	48,19	35
17	75,1	0,793	15,480	0,418	9,564	0,342	34,16	41,84	30
18	75,4	0,796	13,030	0,352	7,022	0,251	25,08	35,22	25

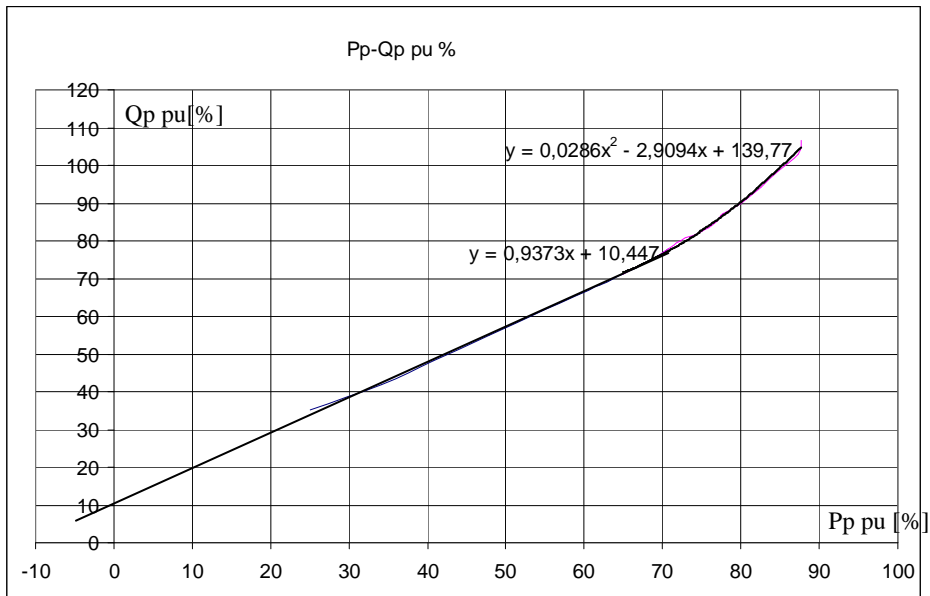
Табела 4.7 : Вредности на параметрите за систем прототип изведени од лабораториски мерења на модел систем

Во табелата 4.7 се дадени и единичните (*per unit*) вредности на големините:  $H$  – геодетска висина,  $P$  – моќност,  $A_0$  – отвореност на спроводен апарат и  $Q$  - проток, кои најчесто се користат при цртањето на графици на зависности. Тие се добиваат со делење на одредена измерена величина при некоја отвореност на спроводниот апарат со максималната. Максимална моќност на турбината е  $28 MW$ , максимален проток е  $37 m^3/s$  и геодетска висина  $94,7 m$ , максимален од на спроводниот апарат е  $2 m$ . Со цел овие вредности да се направат што е можно појасни за отчитување во *SCADA* апликацијата, единечните вредности се претставени во процентуален облик.

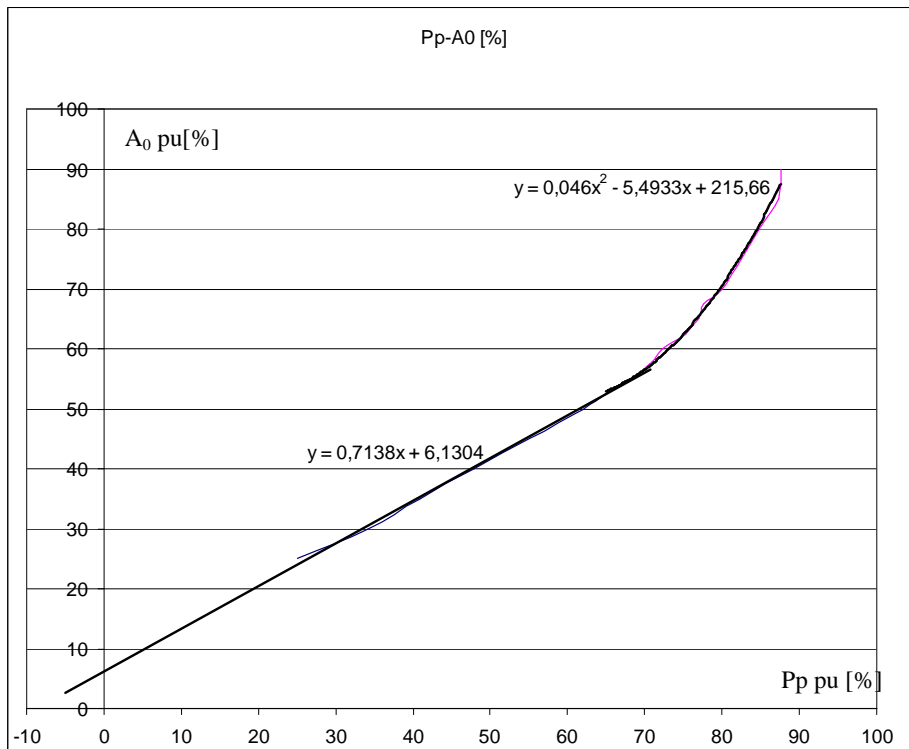
Со помош на овие експериментални вредности направени се графици на зависности на протокот и отвореноста на спроводниот апарат од бараната моќност на турбината (сл. 4.29 и сл. 4.30). Од графициите се гледа дека кривата на зависност на експерименталните вредности најдобро се опишува со праволиниската зависност до 70 %, а потоа интерполацијата е направена со крива од втор ред. Добиените равенки на криви од прв и втор ред ќе бидат внесени во програмата и ќе послужат како изворни сигнали за видливи објекти.

$$\begin{aligned}
 y_{Q_p} &= 0.286x_{P_p}^2 - 2.9094x_{P_p} + 139.77 \\
 y_{Q_p} &= 0.9373x_{P_p} + 10.447 \\
 y_{A_0} &= 0.046x_{P_p}^2 - 5.4933x_{P_p} + 215.66 \\
 y_{A_0} &= 0.7138x_{P_p} + 6.1304
 \end{aligned}
 \tag{4.8}$$

Каде што:  $Y_{Q_p}$  = проток низ турбина,  $x_{P_p}$  = барана моќност на турбината,  $y_{A_0}$  = отвореност на спроводниот апарат.



Слика 4.29: Потребен проток во зависност од бараната снага на турбина



Слика 4.30: Потребна отвореност на спроводниот апарат во зависност од бараната снага на турбина

## 7 ИЗРАБОТКА И ОПИС НА SCADA КОМПЈУТЕРСКА АПЛИКАЦИЈА ЗА СИМУЛАЦИЈА СИСТЕМ ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ХЕЦ

### 7.1 СТРУКТУРА НА SCADA АПЛИКАЦИЈА ЗА СИМУЛАЦИЈА

Од реалните примери разгледани во ова истражување можеме да видиме дека комуникацијата на SCADA апликацијата со PLC-ата е овозможена преку комуникациски сервери на кој се инсталирани драјвери за контролерите (PLC). Комуникацијата со контролерите се врши преку некој индустриски протокол, како што е индустриски *Ethernet (SINEC H1)*, преку фибер-оптички кабли или пак е користен *ARCNET* протоколот (*2.5 Mbit/s*) како на слика 4.22. PLC уредите од другата страна се поврзани со сензори и актуатори од кои во реално време ги добиваат сите податоци и ги испраќаат до SCADA компјутерската апликацијата. За изработка на SCADA апликацијата може да се користат специјализирани пакети за програмирање на супервизорно управување, но програмата може да се изработи и во некој програмски јазик како што е тоа C++ и др.

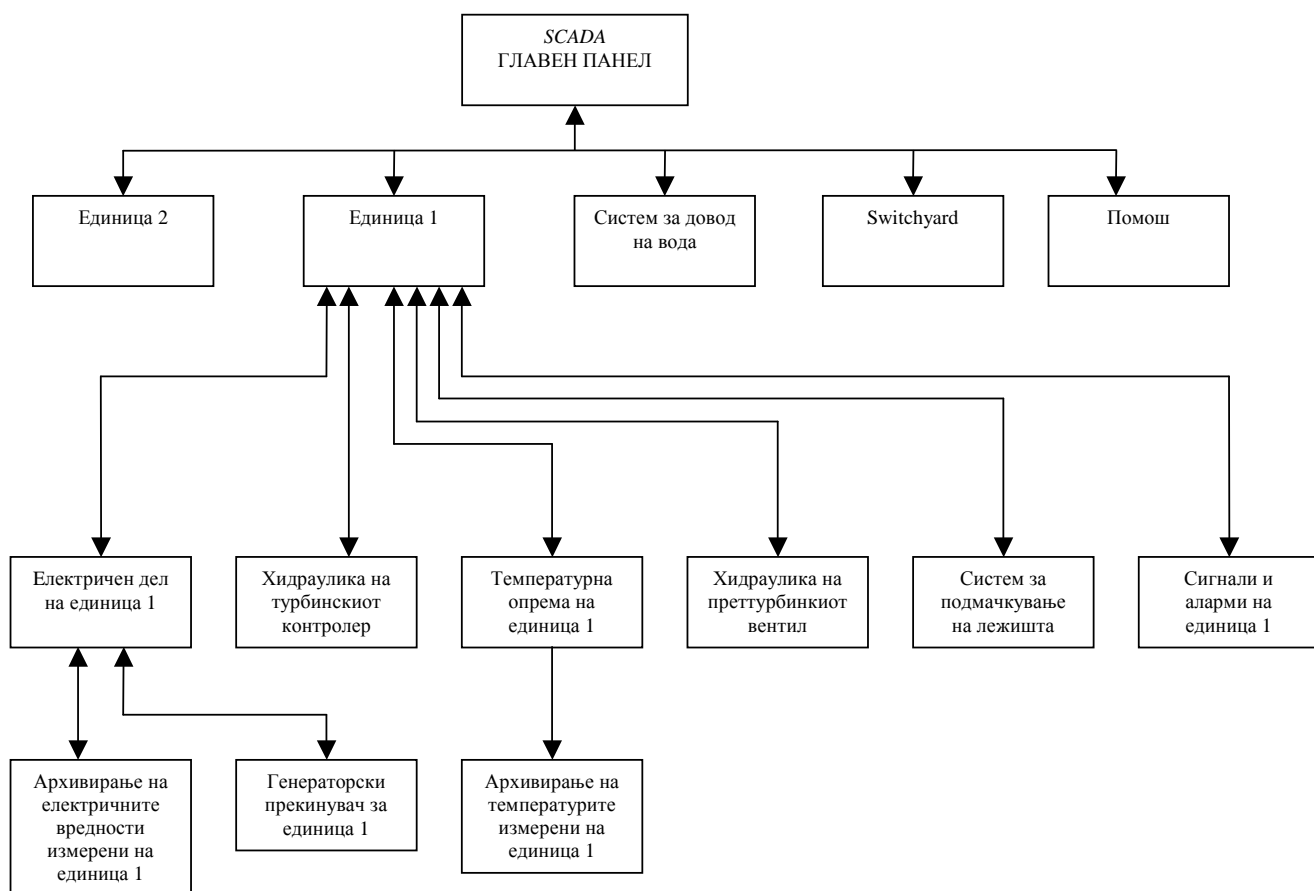
Постојат повеќе специјализираните програми за SCADA програмирање: *LOOKOUT (National instruments)*, *FIX32 (Intellution)*, *ITOUCH (Wanderware)* итн. За изработка на симулационата програма во овој труд е одлучено да се користи програмата *LOOKOUT* на *National Instruments* поради едноставноста на работењето во програмата и големата *Web* поддршка и помош.

Врз база на извршените анализи и можности во оваа магистарска работа е моделирана симулациона SCADA апликација за управување со ХЕЦ, која ја симулира работа на една реална централа и може да служи за анализа на централа. Таа своите податоци не ги аквизира од реален систем туку од виртуелно креирани објекти: равенки (изрази) на зависности, прекинувачи, потенциометри итн. Зависностите се добиват врз база на мерења извршени на реален систем и се дадени во претходното поглавје (равенки 4.8). Со оваа SCADA апликацијата за симулацијане не се опфатени преодните режими и динамичките однесувања на подсистемите. Динамичките однесувања во специјализиран SCADA софтвер тешко се симулираат па затоа најдобро е да се користи некоја надворешна потпрограма (изработена со друг софтвер, како што е *Matlab*) што би ги симулирала динамичките однесувања на подсистемите (доводниот цевковод, турбината, *PID* регулаторот) прикажани со равенките 4.4, 4.5, 4.6, и 4.7. Симулација на динамичкото однесување на системот за управување со хидроцентрала во SCADA софтвер би било добра тема за понатамошна работа.

Една типична апликацијата е составена од затворени логички целини кои ги прикажуваат процесите кои се одвиваат во централата. Тие се претставени на посебни контрол панели за супервизорно управување. Една SCADA апликација за управување со хидроцентрала може да содржи педесетина управувачки панели а секоја од нив претставува дел од управуваниот процес. Структурата на управувањето на SCADA апликацијата е пирамидална. На врвот се наоѓа т.н. главен (*main*) панел кој му ги прикажува основните информации на операторот (под нормални работни услови). Од овој панел операторот може да оди понатаму до панелите кои ги претставуваат турбинските единици. Структурата на SCADA апликацијата е прикажано на слика 5.1 [41].

Во овој труд се изработени три основни панели: главен панел, единичен панел – панел на една турбинска единица, панел на хидрауликата на турбинскиот контролер и неколку помошни панели. Преку овие панели се

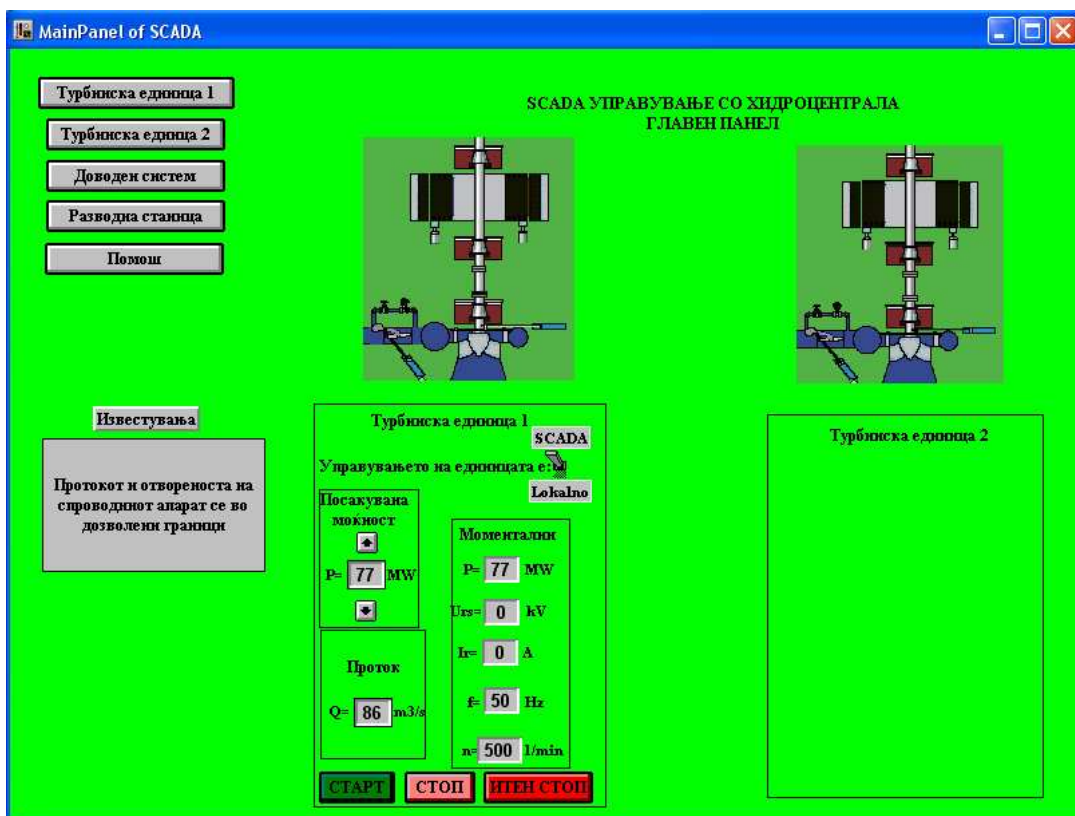
прикажуваат главните алгоритми на автоматско работење (дадени во поглавје 4.10) во хидроцентралата: стартирање, стопирање и стационарно работење. Исто така на нив можеме да ги следиме промените на основните параметри во текот на времето при пуштање на постројката во работа (моќноста, протокот, број на вртежи и отвореноста на спроводниот апарат) како и промените на состојбата на одреден број на сензори и актуатори (дефинирани во поглавје 4.9.2). Програмата дава можност за следење на стационарните промени на основните параметри при промена на некоја од нив од страна на операторот, притоа прикажувајќи реални вредности следејќи ги равенките 4.8.



Слика 5.1: Управувачка структура на SCADA апликација [41]

### 7.1.1 ГЛАВЕН ПАНЕЛ

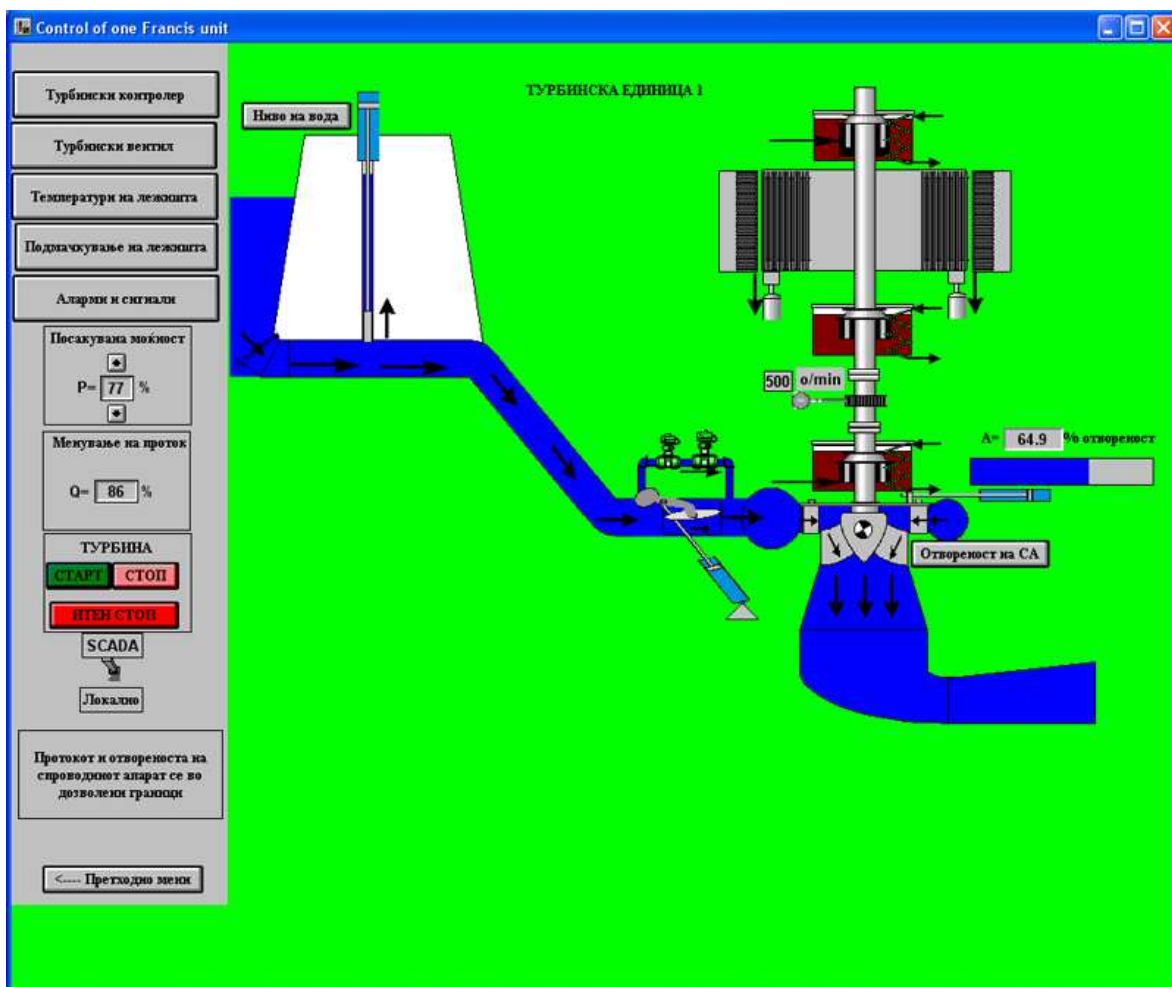
Главниот панел на SCADA апликацијата за симулација, креирана во овој труд, претставува врв на апликацијата и влезно пано за другите панели кои ги претставуваат поедините единици и процесите кои тие ги извршуваат. Главното пано е прикажано на сликата 5.2. Со помош на копчиња поставени на горната лева страна се врши селектирање на процесите кои се управуваат. Со притискање на некое од тие копчиња, операторот оди подлабоко во управуваниот процес за да види детали од селектираниот процес. Селектирањето на единиците освен со овие копчиња може да биде и директно со притискање на сликата која ја претставува единицата. На главниот панел се прикажани и основните вредности на променливите кои се важни за работење на единиците. Одовде операторот може да ја стартува работата на единицата со притискање на копчето СТАРТ, да управува со моќноста што треба да се произведе од единицата со зголемување или намалување на вредноста преку потенциометарските стрелки, или пак може да ги запре единиците со притискање на копчето СТОП/ИТЕН СТОП. Од главниот панел SCADA апликацијата се разгранува на пет фундаментални гранки на процесот, како што е веќе прикажано на сликата 5.1 до кој се пристапува со копчињата поставени горе лево, но во овој труд е изработен само панелот на турбинската единица 1.



Слика 5.2: Главен панел на SCADA апликацијата за управување со централа

### 7.1.2 УПРАВУВАЧКА СТРУКТУРА НА ЕДНА ЕДИНИЦА

Управувачката структура на една од единиците е дадена на слика 5.3 каде што е претставен управувачкиот панел на единицата. **Целиот софтвер е изведен на македонски јазик и кирилично писмо.** Одредени делови од процесот се прикажани со графички објекти со цел да му се олесни на операторот при управувањето на процесот. Објектите со нивните анимации и промена на состојбата (пр. промена на состојбата на вентилите) ги прикажуваат работните состојби на некои од важните делови на таа единица. Доколку е потребно да се оди подлабоко во процесот тогаш тоа е можно да се направи со притискање на копчињата кои ги активираат посакуваните панели, па операторот може да ги види управувањата кои му се достапни за тој процес и од тоа ново ниво. Исто така тој од овде може да врши вклучување и исклучување на единицата, менување на начинот на работа на единицата, да се управува со моќноста што треба да се произведе од единицата итн. Единичниот панел се разгранува на пет фундаментални гранки, како што е прикажано на сликата 5.3 до кој се пристапува со копчињата поставени горе лево. Во овој труд е изработен само панелот на турбинскиот контролер т.е неговиот хидрауличен дел прикажан на слика 5.4 и до него може да се пристапи преку копчето Турбински контролер.

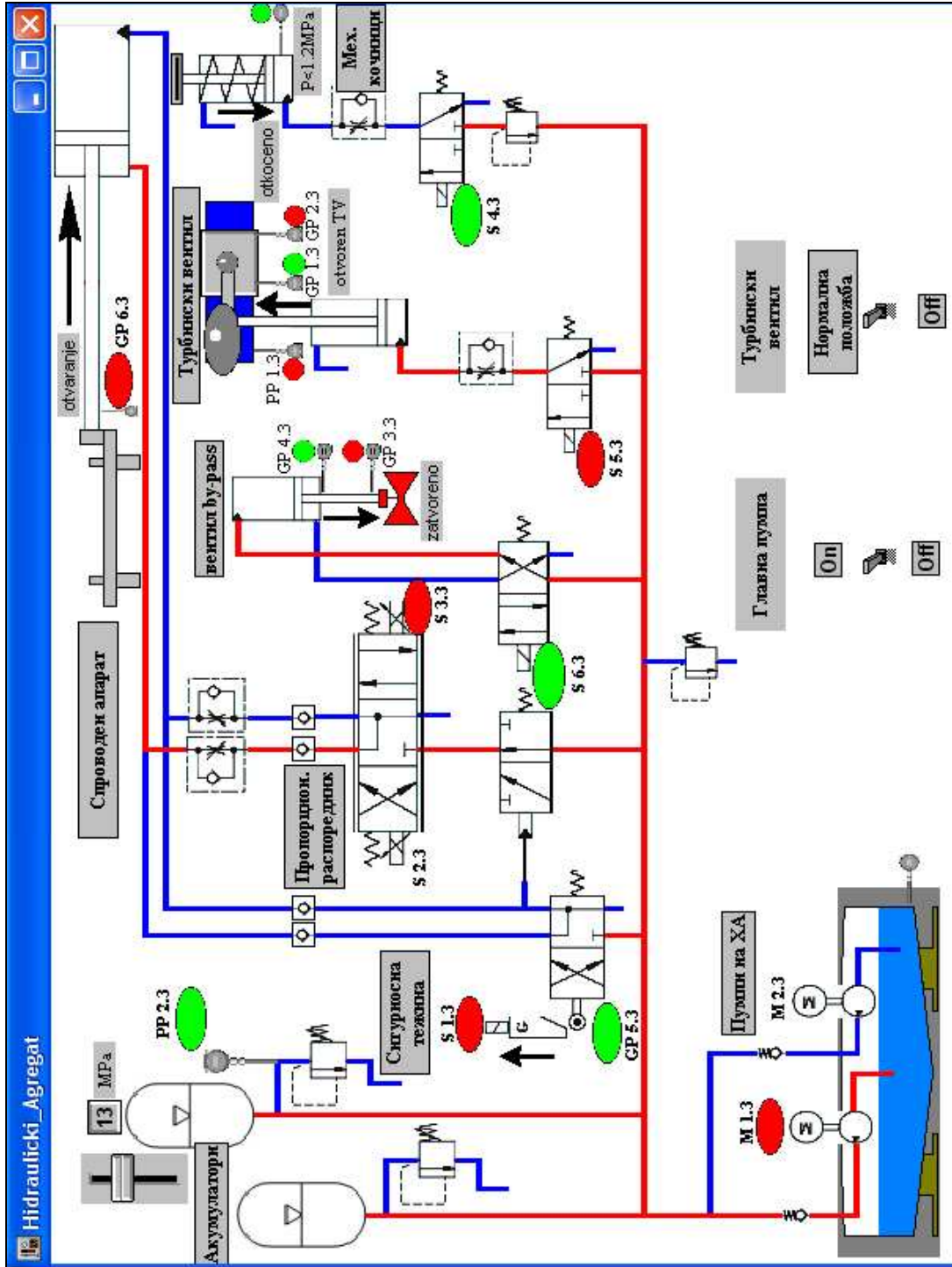


Слика 5.3: Управувачки панел на турбинската единица 1

### 7.1.3 УПРАВУВАЧКА ХИДРАУЛИКА НА ТУРБИНСКИОТ КОНТРОЛЕР

Со избирање на копчето Турбински контролер од главното мени на една турбинска единица можеме да ја набљудуваме и управуваме работата на турбинскиот контролер. При процесот на запирање и пуштање во работа на единицата можеме јасно да видиме кои елементи се под притисок, кои вентили се отворени а кои затворени, дали на време се отвораат/затвораат, дали го запазуваат редоследот итн., т.е. да видиме дали контролерот функционира според пропишаните алгоритми на работа наведени во поглавјето 4.10. Тука се прикажани голем број од мерните места, инструменти, актуатори и сервомотори дадени во поглавјето 4.9.

Со помош на прекинувачот за главната пумпа можеме да ја вклучиме/исклучиме главната пумпа на хидрауличкиот систем или пак можеме да извршиме затворање на турбинскиот вентил со прекинувачот за турбински вентил, доколку има итна потреба за исклучување од работа на единицата. Промената на состојбата на одреден елемент: за вклучување на соленоидите на распоредниците, за вклучување на некој прекинувач, за цевка и сад под притисок - се означуваат со црвена боја, и обратно за исклучување се означуваат со зелена боја односно цевките кои не се под притисок со плава боја. Со помош на стрелки јасно можеме да ја видиме насоката на движење на сервомоторите. За да му се олесни работата на операторот и за да може полесно да ја прати работата на одредени елементи, кои се од голема важност за операторот, освен што нивната состојба се означува со соодветна боја и со стрелки, на операторот му се нуди и текстуално известување (на македонски јазик, кирилица) за состојбата во која се наоѓаат. На пример за турбинскиот вентил тој добива известување: ЗАТВОРЕН ТВ - кога вентилот е затворен, ОТВОРАЊЕ НА ТВ – кога вентилот е во фаза на отворање, ОТВОРЕН ТВ – кога вентилот е отворен. Доколку некоја од овие фази не биде извршена во пропишан временски период тој ќе биде алармиран.



Слика 5.4: Управувачки панел на хидрауличкиот агрегат на турбинскиот контролер



## ПРЕЗЕНТАЦИЈА НА РАБОТЕЊЕ И МОЖНОСТИ НА SCADA КОМПЈУТЕРСКА АПЛИКАЦИЈА ЗА СИМУЛАЦИЈА НА ХЕЦ

При вклучување на апликацијата најпрво треба да внесеме корисничко име и лозинка. Во зависност од тоа за кој корисник се работи, дали корисникот е



администратор или пак некој кој нема право да донесува одлуки туку само да набљудува, апликацијата му доделува соодветно ниво на сигурност, му скратува или му додава можност за менување на параметрите. Понатамошните разгледувања ќе се однесуваат на корисник со администраторски права, т.е. сите можности на апликацијата ќе ни бидат на располагање.

Откако апликацијата ќе се стартува, автоматски ни се отвора прозорецот на главниот панел. Од главниот панел, преку копчињата поставени на горната лева страна можеме да навлеземе во пет потпроцеси на електраната. Тука ни се видливи двете турбински единици, можеме да избереме во каков мод на работење ќе функционираат единиците: рачно или автоматски, можеме да видиме како со менување на посакуваната моќност се менуваат протокот и отвореноста на спроводниот апарат. Тука ни се достапни трите основни команди: СТАРТ, СТОП, ИТЕН СТОП на единиците. Со притискање на копчето Турбинска единица 1, или пак со покажување и кликање на самата единица, целосно ќе ја набљудуваме и управуваме работата на единицата 1 т.е. ќе го отвориме паното за управување со турбинската единица 1 (Слика 5.2).

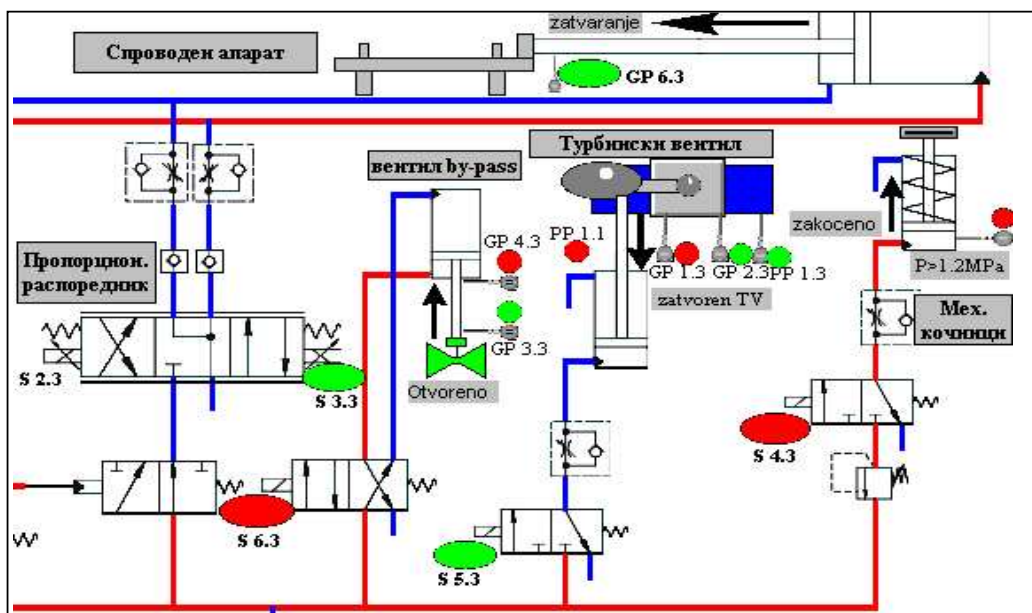
На паното за управување со една турбинска единица видлива ни е постројката од браната па се до дифузорот на турбината (слика 5.3). Тука ни се видливи во напречен пресек: горното ниво на акумулацијата, браната, влезната порта, притисниот цевковод, турбинскиот вентил, *by-pass* цевководот и вентилот, сифонот, дифузорот, спроводниот апарат, турбината, генераторот, лежиштата, системот за подмачкување на лежишта, системот за ладење на лежишта, механичките кочници на генераторот итн. опишани во поглавјето 4.1. Исто како и од главното (основно) пано така и од ова единично пано можеме да извршиме стартирање и запирање на една единица, можеме да ги менуваме протокот и отвореноста на спроводниот апарат во зависност од посакуваната снага, можеме да го видиме бројот на вртежи на турбината, можеме да видиме дали некој сервомотор не си ја извршил задачата итн. Оттука можеме да навлеземе подлабоко во поедини процеси и да ја набљудуваме и управуваме работата со поедини елементи. Така на пример со притискање на копчето Турбински контролер можеме одблизу да ја набљудуваме работата на хидрауличкиот агрегат за турбинската единица.

На почетокот целата постројка е во состојба на мирување. Доколку се наоѓаме во автоматскиот мод на работење, со притискање на копчето СТАРТ, единицата отпочнува со работење и отпочнуваат да се извршуваат алгоритмите на СТАРТИРАЊЕ опишани во поглавје 4.10.11:

- Најпрво се подига влезната порта и отпочнува полнењето на притисниот цевковод. Полнењето на цевководот во оваа апликација се извршува за 30 секунди (на реален систем му требаат неколку минути). Кога

сензорите за притисок во притисниот цевковод ќе дадат сигнал за постигнат притисок пред турбинскиот вентил (ПП1.1 ON), се вклучува главната пумпа на хидрауличкиот агрегат на турбинската единица (M1.3) и после 5 секунди се постига потребниот притисок во хидрауличниот систем. Работата на хидрауличниот систем на турбинскиот контролер може да се набљудува на посебно пано за хидрауличкиот агрегат, слика 5.4.

- После 35 секунди, може да отпочне отворањето на бајпасот на турбинскиот вентил (се вклучува соленоидот С6.3 на распоредникот на бајпасот т.е. поцрвенува), кое трае 10 секунди после што треба да добиеме сигнал од ГП 4.3 дека бајпасот е отворен, слика 5.5 (тој се активира и ја менува бојата од зелена во црвена).



Слика 5.5: Состојба на вентилите и соленоидите во четириесет и петата секунда

- Од моментот кога соленоидот С6.3 на распоредникот на бајпасот ќе се вклучи па се до изедначување на притисокот пред и после турбинскиот вентил, изминува 90 секунди, после што се вклучува притисниот прекинувач ПП1.3 (во апликацијата станува црвен).
- Условите за да се отпочне со отворање на турбинскиот вентил се исполнуваат за 125 секунди, после кои се вклучува соленоидот С5.3 на турбинскиот распоредник и започнува отворањето на турбинскиот вентил. Отворањето на турбинскиот вентил трае 20 секунди, после кои би требало да добиеме сигнал од ГП2.3 дека турбинскиот вентил е отворен (во апликацијата најпрво соленоидот С5.3 а после 20 секунди и ГП2.3 поцрвенуваат а операторот добива и текстуално известување за состојбата на вентилот).
- Откако ќе се отвори турбинскиот вентил, започнува процесот на затворање на вентилот на бајпасот, соленоидот С6.3 се исклучува (станува зелен), а после 10 секунди вентилот на бајпасот е затворен (ГП3.3 ON-поцрвенува).

- После изминати 146 секунди потребно е да се отвори и вентилот на водниот систем за ладење на маслото за подмачкување на лежиштата.
- Механичките кочници започнуваат да се ослободуваат од притисок после изминати 147 секунди од почетокот на стартниот алгоритам, со исклучување на соленоидот С4.3 (кој до тоа време бил вклучен). Притисокот во сервомоторот на кочниците треба да се ослободи за 30 секунди (ПП4.3 OFF-позеленува), по што роторот на турбината е слободен и може да се врти (изминати се 177 секунди од почетокот на алгоритмот).
- Системот за подмачкување се иницира во 178 секунда, со вклучување на инјектиракката пумпа на потпорното лежиште.
- Отворањето на спроводниот апарат започнува со подигање на сигурносната тежина (се вклучува соленоидот С1.3 кој ја подига за една секунда) во 180 – тата секунда.
- Во 180 – тата секунда се вклучува регулаторот на брзина. Управувањето со брзината има повеќе задачи: при стартирање на единицата да ја донесе брзината на номинална и да ја следи референтно зададената, во изолирана работа на турбината управувачот со брзина треба да ги компензира оптоварувањата. Параметрите на контролерот се разликуваат во зависност од модовите на работа со цел да се постигне оптимални работни квалитети. Задачата на управувањето со активната моќност е да ја контролира електричната моќност кога единицата е поврзана на мрежа. *PID* регулатор се користи при подигање на турбината на називната брзина т.е. при изолирана работа. *PI* регулатор може да се користи при работа на агрегатот во мрежа.
- Регулаторот треба да овозможи отворање на спроводниот апарат со брзина од 3% во секунда. Тоа значи дека за да се отвори спроводниот апарат 80% (работна отвореност) потребни се минимум 27 секунди.
- Единицата ќе ја постигне називната брзина на вртење (во нашиот случај 500 обртаи во минута) за 210 секунди по што може да настапи поврзување на единицата на мрежа.

Сета оваа редоследна логика можеме да ја видиме на единичниот панел и на панелот на хидрауличниот агрегат на турбинскиот регулатор. Од главниот панел и од единичниот панел можеме да извршиме поставување на посакувана моќност на турбината. Врз основа на извршени лабораториски мерења за модел турбина на турбината Шпиље добиени се равенки (поглавје 4.11.1) според кои со поставување на одредена вредност на моќноста можеме да видиме колкав ќе биде протокот и отвореноста на спроводниот апарат на реалниот систем. Сето тоа е вметнато во процентуален облик во апликацијата. Од единичниот панел можеме да извршиме влегување во неколку други панели, на пример, панел за менување на нивото на водата во горниот резервоар, панел за рачно менување на отвореноста на спроводниот апарат итн.

#### 5.1.4.1 ПОВРЗУВАЊЕ НА КОНТРОЛНИТЕ ОБЈЕКТИ (ВИДЛИВИ СЛИКИ) СО ИЗРАЗИТЕ НА ЗАВИСНОСТИ (ВЛЕЗНИ СИГНАЛИ)

Она што е специфично за овде изведената SCADA апликација е тоа што таа нема допир со реален систем. Сите делови на реалниот систем кој е претставен се изведуваат со виртуелни објекти. Објектите меѓусебно се поврзуваат со изрази на зависности (*expressions*) и функционираат врз база на однапред дефинирани алгоритми. Објекти кои создаваат контролни (излезни) сигнали можат да бидат: потенциометри, прекинувачи, притисни копчиња итн. Овие сигнали претставуваат влезови во изразите на зависности кои својот видлив излез можат да го претстават во неколку облици: нумерички (со бројки), логички (со некој графички приказ) или пак текстуален. На тој начин се врши програмирање на апликацијата. Овие изрази на зависности понекогаш знаат да бидат многу сложени. Еден таков израз е изразот со кој се дава зависноста на протокот од посакуваната снага (равенки 4.8):

$$\text{if}(\text{Switch3On\_Off\_na\_SA\_racno\_upravuanje}, -0.0061 * \text{Pot1OtvorenostNaSA}^2 + 1.8167 * \text{Pot1OtvorenostNaSA} - 7.1553, \text{if}(\backslash\backslash.\backslash\text{MainPanel}\backslash\text{Pot1BaranaSnaga} < 70, 0.94 * (\backslash\backslash.\backslash\text{MainPanel}\backslash\text{Pot1BaranaSnaga}) + 10.447, 0.0286 * (\backslash\backslash.\backslash\text{MainPanel}\backslash\text{BaranaSnaga})^2 - 2.9 * (\backslash\backslash.\backslash\text{MainPanel}\backslash\text{Pot1BaranaSnaga}) + 139.77))$$

Излезот од овој израз е нумерички а тој се формира според полиномски израз врз база на следниве влезни сигнали: логичкиот излез од прекинувачот со кој се дефинира функционирањето на спроводниот апарат, потенциометарот на спроводниот апарат и потенциометрот на бараната снага.

## 8 ПРИМЕРИ ЗА РЕАЛИЗИРАНА СИМУЛАЦИЈА НА SCADA СИСТЕМ

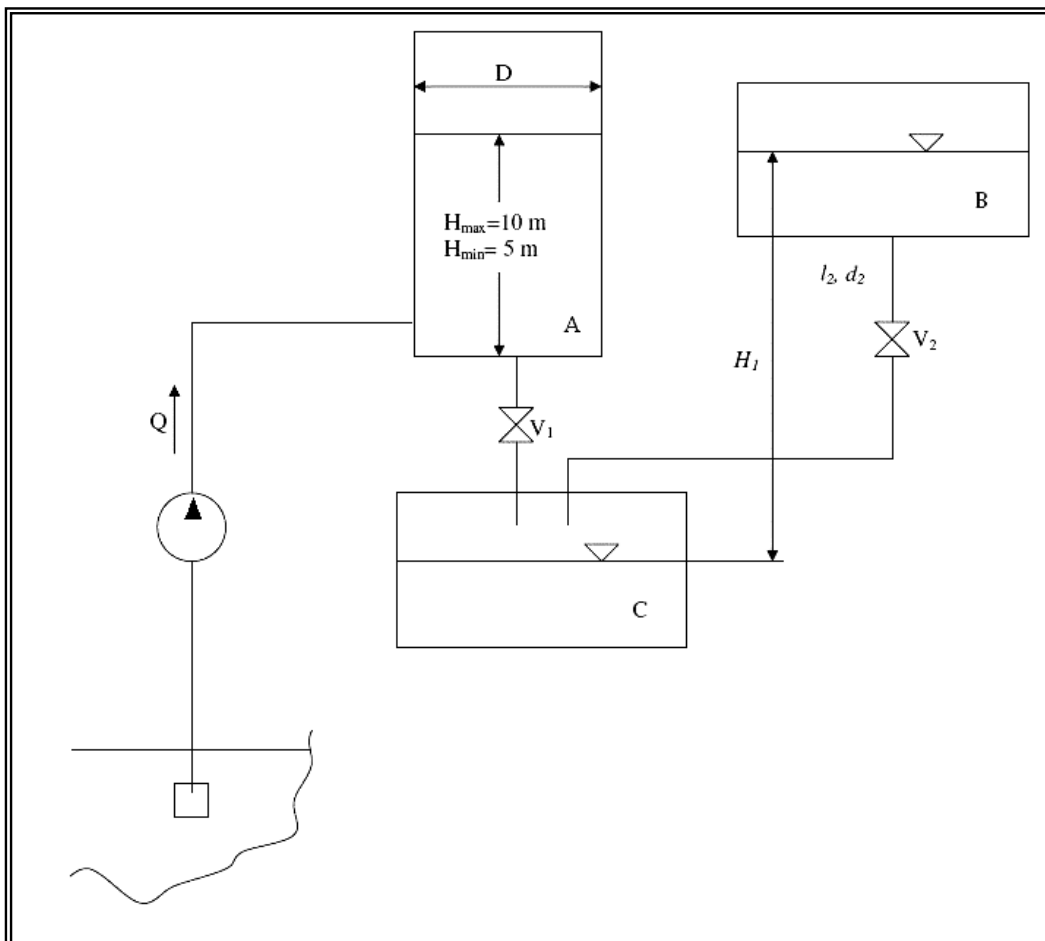
### 8.1 ПРИМЕР 1

Да се направи симулација изработена во **NI Lookout** на системот даден на сликата. Пумпата има капацитет од  $Q[m^3/s]$ . Резервоарот има напречен пресек  $D$  а максималното дозволено ниво на вода во него е  $H_{\max} = 10m$ .

По достигнување на максималното ниво пумпата мора да се исклучи од работа а да се отвори вентилот  $V_1$  и да започне празнењето на резервоарот А.

Кога резервоарот А ќе се испразни на минималното ниво од  $H_{\min} = 5m$ , вентилот  $V_1$  треба да се затвори, вентилот  $V_2$  да се отвори а пумпата повторно да се вклучи во работа се додека нивото на резервоарот А не го достигне максималното ниво. Вентилот  $V_2$  да биде отворен се додека од резервоарот В не истече волумен  $V[m^3]$ .

**Потребни вредности:**  $Q = 1m^3/s$ ,  $D = 1,2m$ ,  $V = 3m^3$ ,  $d_2 = 50cm$ ,  $\lambda_2 = 0.025$ ,  $l_2 = 15m$ ,  $\xi_{V_2} = 3$ ,  $H_1 = 12m$



**Пресметка на потребните величини:**

- Време на почетно полнење на резервоарот А кога е вклучена пумпата:

$$Q = 1 \text{ m}^3 / \text{s} , D = 1,2 \text{ m} ;$$

$$Q = \frac{V_1}{t_1} \Rightarrow t_1 = \frac{V_1}{Q} ;$$

$$V_1 = A_1 \cdot H = \frac{\pi D^2}{4} H = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} 10 = 11,3 \text{ m}^3 ;$$

$$t_1 = \frac{V_1}{Q} = \frac{11,3}{1} = 11,3 [\text{sec}]$$

**Забелешка:** За време на празнење на резервоарот А до минималната висина  $H_{\min} = 5 \text{ m}$ , како и време за повторно полнење до максималната висина, е усвоено да биде половина од времето потребно за полнење на А, односно 5,6[sec].

- Време на истекување на волумен  $V = 3 \text{ m}^3$  од резервоарот В кон С:

$$\frac{p_{at}}{\rho g} + H_1 = \frac{p_{at}}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} (\lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \xi_{v_2}) ;$$

$$H_1 = \frac{v_2^2}{2g} (\lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \xi_{v_2}) ;$$

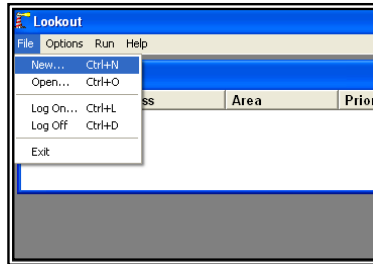
$$v_2 = \sqrt{\frac{2gH_1}{\xi_{v_2} + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 12}{3 + 0,025 \frac{15}{0,5}}} = 7,9 [\text{m/s}] ;$$

$$Q_2 = v_2 A_2 = v_2 \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = 7,9 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 1,55 [\text{m}^3 / \text{s}] ;$$

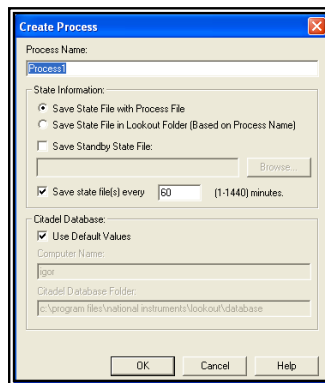
$$t_2 = \frac{V}{Q_2} = \frac{3}{1,55} = 1,9 [\text{sek}]$$

**Упатство за изработка на симулација во NI Lookout**

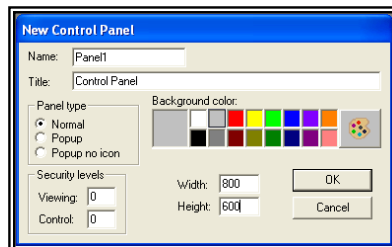
Симулацијата е изработена во програмскиот пакет на National Instruments – Lookout. Откако ќе го отвориме програмот за изработка на нова контролна табла потребно е да се одбере: “File > New”.



Во наредниот прозорец “Create Process” ни се нуди можност да го внесеме името на процесот кој се контролира/симулира

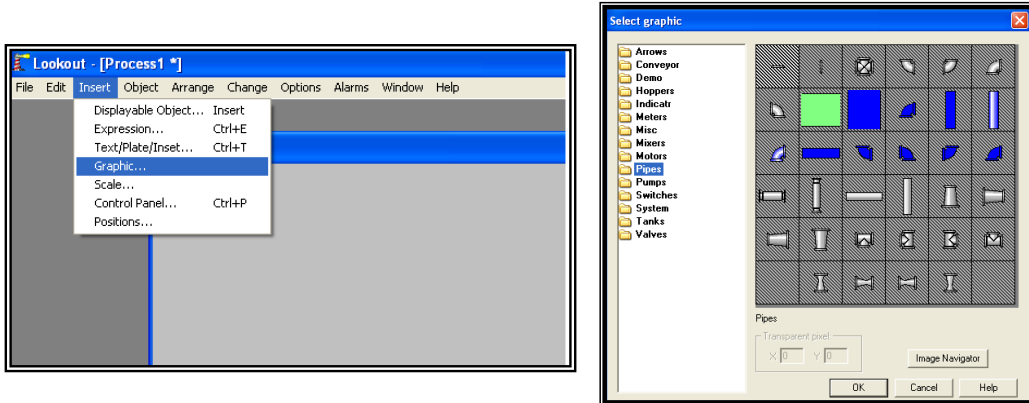


Откако ќе притиснеме на ОК продолжуваме со прозорецот “New Control Panel” каде што можеме да ги подесуваме изгледот и големината на контролната табла. Овде се задава името на контролната табла, позадинската боја, типот на панелот, безбедносни вредности, и димензиите на панелот кои што треба внимателно да се подесат за да може програмот да се прикажува и на постари монитори со помала резолуција. Како препорака е стандардната резолуција 800x600 која што е избрана и за оваа симулација.

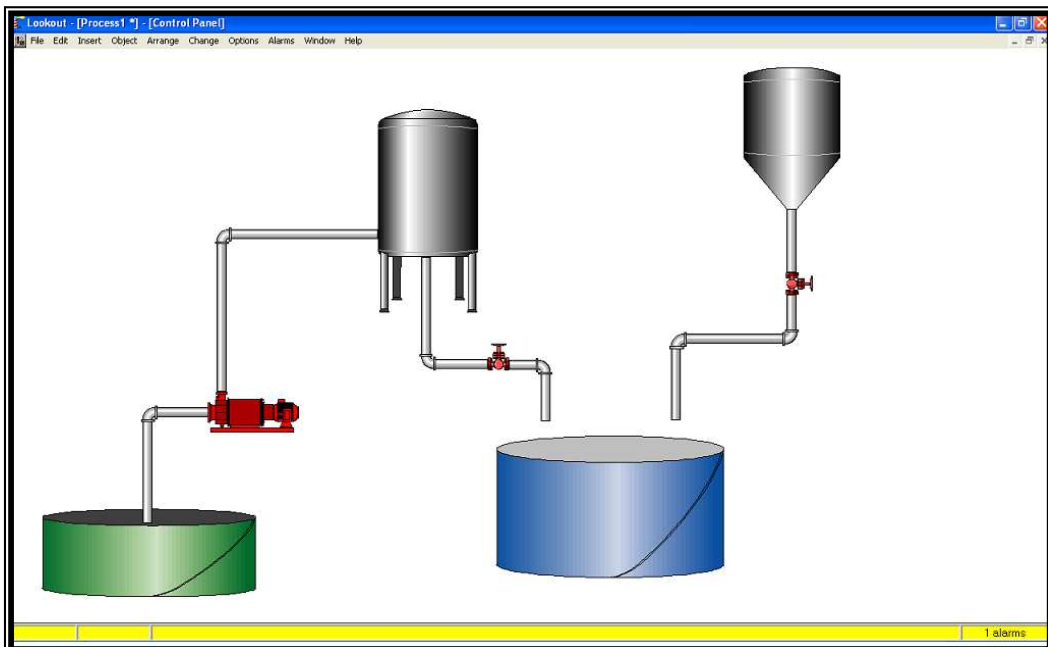


Со тоа е креирана новата контролна табла и сега на неа ќе бидат поставени сликовито сите елементи од хидрауличната инсталација кои се контролираат и надгледнуваат.

Во горниот дел од програмот се наоѓа менито “Insert > Graphic” каде што можат да се најдат најразлични готови графички компоненти како што се: резервоари, цевки и колена, пумпи, вентили и др. Постои можност и сами да нацртаме некоја компонента која што ни е потребна, меѓутоа сега за симулацијата се користени само оние кои се нудат како готови.

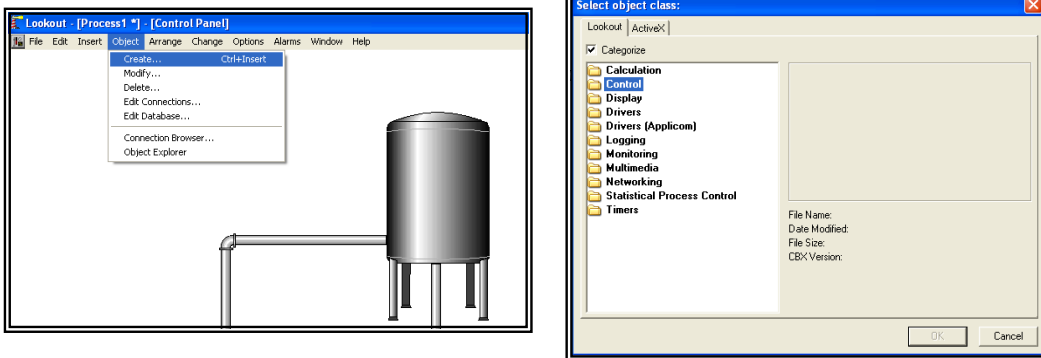


Овде треба да се запази редоследот на процесот и неговиот изглед. Сите компоненти кои ќе се одберат треба така да се распоредат за да даваат визуелна сличност со процесот кој се управува. Во нашиот случај контролната табла треба да изгледа слично како на цртежот од задачата, односно како на сликата доле:

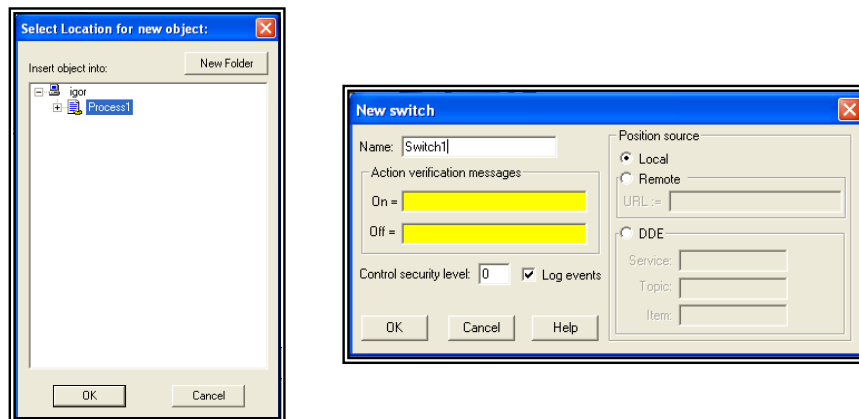


Сега се креира “Switch” од менито “Object > Create” кој што ќе го користиме како тастер за стартување на пумпата, односно процесот. Од менито “Select object class” избираме “Control > Switch”.

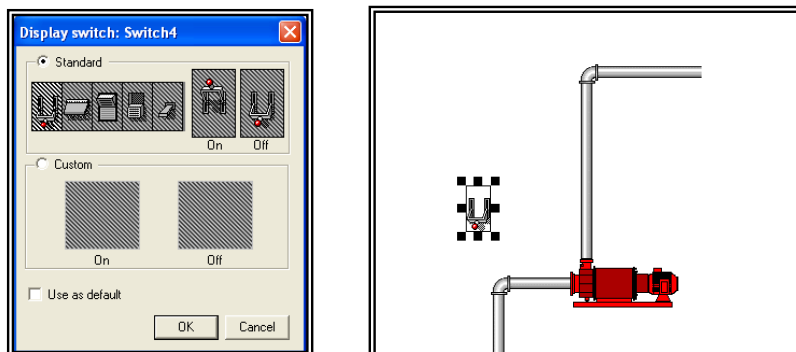




Откако сме притиснале на “Switch” се отвара менито “Select Location for new object” каде што треба да селектираме каде сакаме да биде креиран објектот. Селектираме “Process1” и продолжуваме на ОК каде треба да го внесеме името на објектот. Овде се наоѓаат две жолти полиња после “On” и “Off” каде што можеме да напишеме некое прашање кое ќе биде поставувано секогаш кога ќе сакаме да го стартуваме или стопираме процесот. Текстот треба да биде напишан во наводници.

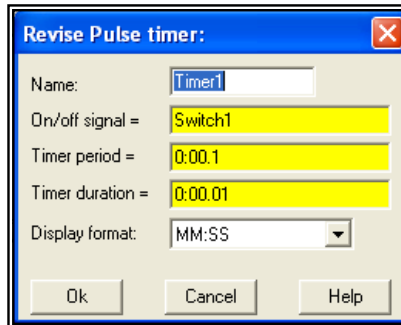


Во наредното мени се избира изгледот на објектот во делот “Standard”. Може да се користи и делот “Custom” каде што се избира слика посебно за On и Off. Откако ќе притиснеме на ОК се креира објектот и потоа него можеме да го поставеме било каде на панелот.



Ова е комплетната постапка за креирање на објект и таа е слична при креирање на секој објект, па поради тоа, во наредниот текст нема да биде објаснувана туку ќе се обрни внимание само на побитните работи.

Бидејќи симулацијата е процес кој се одвива во некое време, треба да се креира објект кој ќе ни дава сигнал за времето. Тоа е објектот “Pulse” кој што се наоѓа во Object > Create > Control > Pulse.

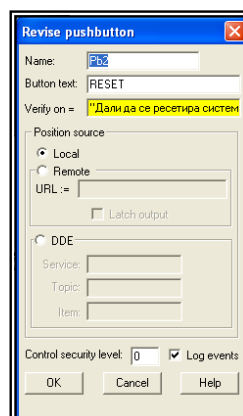


Објектот претставува тајмер кој што е така сетиран за да на секоја десетинка од секундата дава сигнал кој што, на пример потоа, може да биде одбројуван од некој бројач. На тој начин е овозможено одредени процеси временски да бидат одвоени или да се случуваат последователно.

На местото на “On/off signal=” стои “Switch1” кое што кажува кога да почне тајмерот да дава пулсирачки сигнали. Ова значи дека кога “Switch1” е On, тајмерот се вклучува, во спротивно тој е исклучен и не дава никаков сигнал. За период на кој што тајмерот дава сигнал е поставено 0:00.1 кое што означува дека тајмерот ќе дава сигнал на секоја десетинка од секундата. Времето на траење на сигналот е стоти дел од секундата, што значи дека после тоа тој станува Off, се додека не помине десети дел од сеундата.

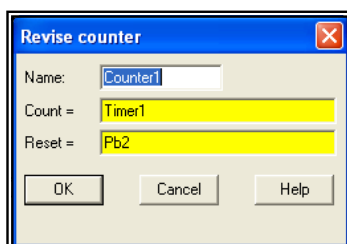
На овој начин сме добиле прецизно одбројување на времето кое што ќе ни биде потребно во симулацијата.

Сега ќе креираме “Рестарт” тастер кој што ќе го ресетира процесот. Тој се креира во Object > Create > Control > PushButton и во неговото мени треба да се внесе текстот кој што ќе стои на тастерот “RESET” и, во жолтата линија, прашањето кое ќе ни го поставува секогаш кога ќе го притиснеме тастерот.

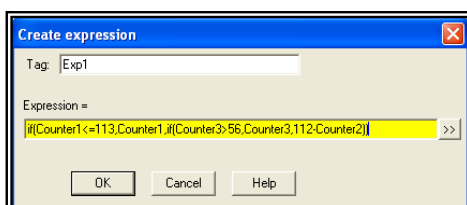


Овој тастер истотака може да се постави било каде на контролната табла.

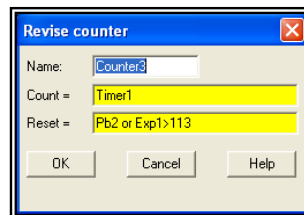
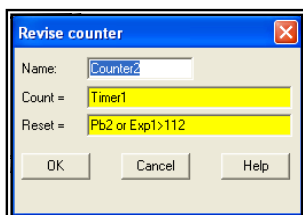
Следно што се креира во симулацијата е бројач кој што се креира во Object > Create > Control > Counter. Во менито на бројачот се внесува името на бројачот (во нашиот случај го задржуваме понуденото име), што тој брои и што ќе го ресетира. На местото на “Count=” се внесува “Timer1” што значи дека бројачот ќе ги брои неговите пулсови а на местото на “Reset=” се внесува “Pb2” што значи дека него ќе го ресетира тастерот “RESET” кој што предходно го креиравме.



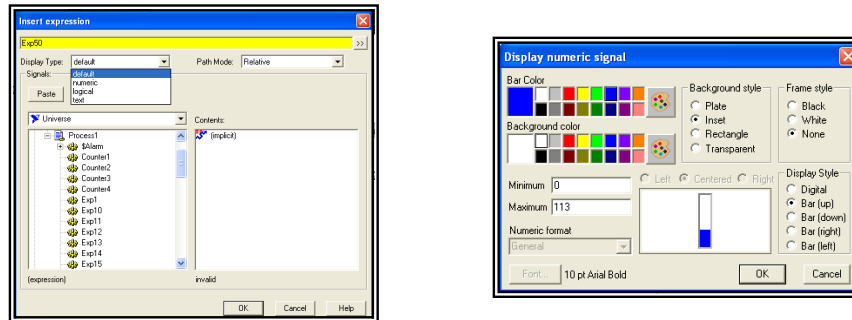
Сега ќе креираме услов (expression) кој што ќе го поврземе со креираниот бројач. Тој “expression” ќе ни го прикажува полнењето на резервоарот А и него ќе го најдеме во Object > Create > Control > expression. Во неговото мени се внесува името (го користиме понуденото име) и во жолтата линија каде што пишува “Expression =” се внесуваат сите услови (логички код) според кои што ќе функционира креираниот објект. Во овој случај таму стои изразот:  
**if(Counter1<=113,Counter1,if(Counter3>56,Counter3,112-Counter2))**  
 кој што покасно ќе биде анализиран и детално објаснет.



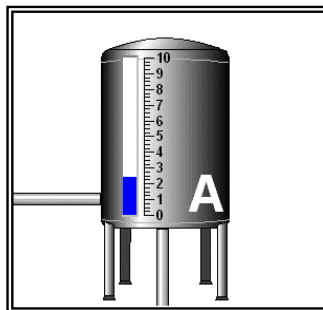
Во овој израз се искористени објектите “Counter2” и “Counter3” кои што исто така треба да се креираат на истиот начин како што беше презентирано во горниот текст. Овие бројачи добиваат периодични сигнали од објектот “Timer1” а разликата е во тоа што објектот “Counter2” се ресетира во моментот кога “Pb2 or Exp1>112” а објектот “Counter3” се ресетира во моментот кога “Pb2 or Exp1>113”. Овде е искористена логичката функција “ИЛИ” кој што ја има како готова. Објектите се прикажани на следните слики:



Од како ќе притиснеме на ОК во менито “Create expression” се отвара ново мени во коешто кај “Display Type” треба да стои “Default”. Во наредното мени многу важно е за “Display Style” да се избере “Bar (up)”. За “Bar Color” се избира сина боја, а кај “Background Color” се избира бела боја. Исто така многу важно е да се внесе за “Maximum” – 113 (поделби на Bar-от) кое што фактички ќе ни бидат оние 113 десетинки за кои што пресметавме во првиот дел дека ќе ни се потребни за да се наполни резервоарот. Ова е прикажано на сликите:



Од како ќе го креираме Bar-от на ОК, ја подесуваме неговата големина и го поставуваме кај резервоарот А. Веднаш до Bar-от можеме да поставиме скала која што се наоѓа во менито “Insert > Scale” и на неа треба да е означено од 0 до 10. Исто така во “Insert > Text” можеме да ги внесеме буквите со кои е означен секој од резервоарите како што е прикажано на сликата:



Сега ќе дадеме објаснување за изразот кој што стои во објектот “Exp1” : **if(Counter1<=113,Counter1,if(Counter3>56,Counter3,112-Counter2)).**

Тоа претставува логичка функција во која што треба да се внесат три параметри, одделени со запирка.

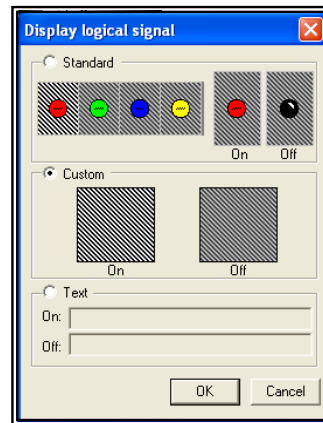
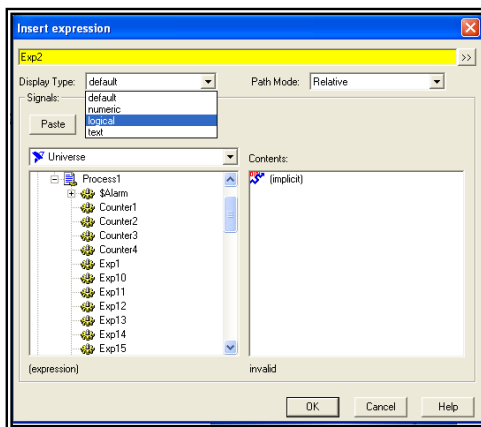
Најпрво се внесува условот кој што може да биде исполнет или не, потоа со запирка се одделува и се пишува параметарот за “True” кој што ќе се извршува само ако е првиот услов задоволен. Со наредната запирка се означува полето каде што треба да стои параметарот за “False”, односно што да се случи ако првиот услов не е исполнет.

Во овој израз на местото на “False” е поставен нов израз кој што исто така треба да ги содржи горенаведените параметри.

- Со овој услов кој е напишан во објектот “Exp1” е овозможен приказ на полнење на резервоарот А со тоа што, како што беше наведено во задачата, најпрво резервоарот се полни од 0 до максималните 10 метри, а потоа неговото ниво периодично осцилира помеѓу 10 и 5 се додека не биде прекинат или ресетиран системот.

Следно што треба да се креира се т.н. “живи” пумпа и цевковод кои што го поврзуваат резервоарот А со долниот резервоар од каде што се црпи водата. Тоа се постигнува со повторно креирање на објект во менито Object > Create > Control > expression. Овде треба за “Display Type” да стои “Logical” кое што овозможува за исполнет услов - да се прикаже зелена пумпа (пумпата работи) а во спротивно - црвена пумпа (пимпата не работи). Во овој објект е напишан условот: **if(Counter1>112 and Counter3<57 or Switch1=off,0,1)** со чија што логика се обавува функцијата на “вклучување” и “исклучување” на пумпата.

Потоа во наредното мени се штиклира “Custom” и се одбира соодветната слика посебно за “On” и за “Off”.



Истото треба да се направи (да се креираат нови expression-и) и за цевките, колената, стрелките и екранот на којшто се испишува (онолку expression-и колку што има компоненти овој дел од цевната инсталација), кои што исто така ќе го користат истиот услов како и пумпата и ќе работат заедно со неа.

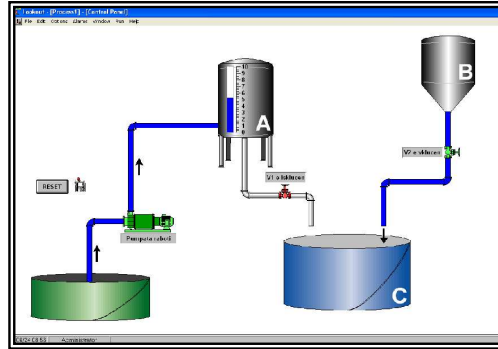
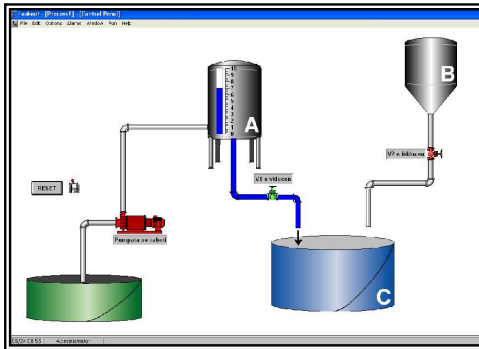
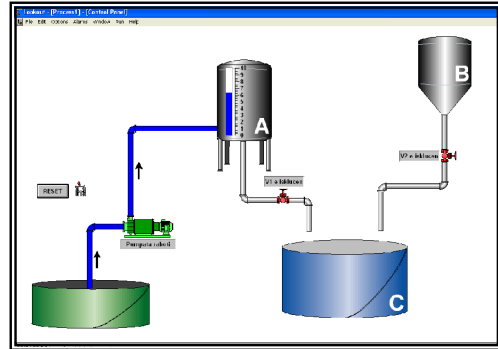
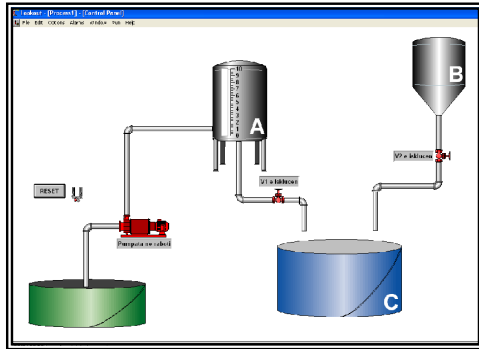
На истиот начин се изведуваат и вентилот V1 и цевната инсталација која што го празни резервоарот А во резервоарот С. Овде исто така се креираат толку expression-и колку што има компоненти, меѓутоа овие го користат условот: **if(Counter1>112 and Counter3<57 or Switch1=off,0,1)** кој што ја обавува нивната функција.

На крај остана уште да се симулира истекување на одреден волумен V од резервоарот В во С. Ова се изведува едноставно како и во предходниот случај само што овде треба да се креира уште еден бројач кој исто така добива сигнал од објектот “Timer1” меѓутоа за негово ресетирање стои: “Pb2 or Counter3<57”.

Во менито Object > Create > Control > expression се креираат вентилот V2 и цевната инсталација а како услов кој што го користат овие објекти стои: **if(Counter1>113 and Counter3>56 and Switch1=on and Counter4<19,1,0)**

на кој што со подвлечено е означен делот кој што кажува дека волуменот  $V$  истекува за 19 десетинки од секундата, како што се доби со пресметката во првиот дел.

Конечно симулацијата изгледа вака и таа се стартува со “Ctrl + Space” и со директно кликање на тастерот кој што го поставивм на контролната табла.



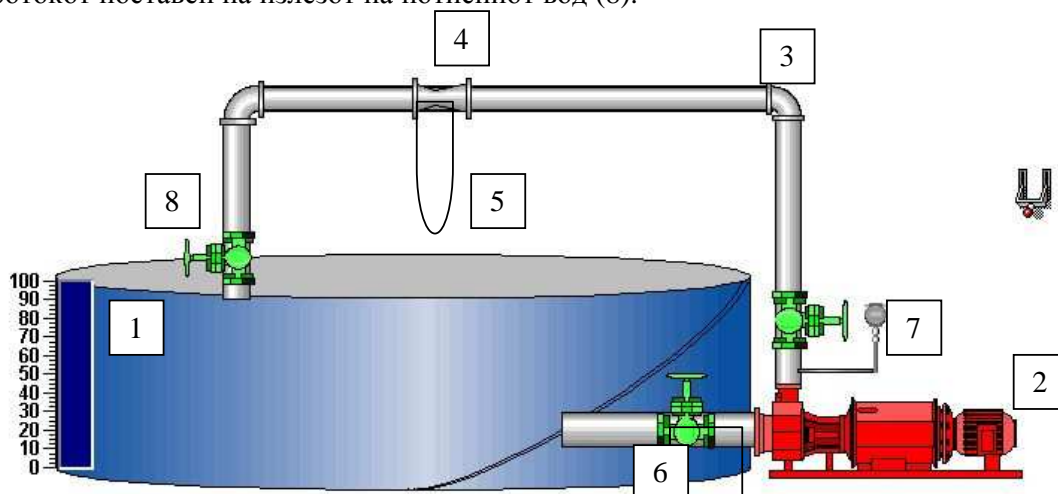
## 8.2 ПРИМЕР ЗА РЕАЛИЗИРАНА СИМУЛАЦИЈА НА SCADA СИСТЕМ ЗА СУПЕРВИЗИЈА И АКВИЗИЦИЈА ВО ЛАБОРАТОРИСКА ПУМПНА ПОСТРОЈКА

Примерот е презентирани во семинарската работа на авторот по предметот ”Мерни методи, мерења и обработка на податоци од областа хидротехника и автоматика” [46] кај проф. д-р Александар Ношпал и на IFAC конференција во Истанбул, Република Турција, 2003 година [47].

Изработката на програма која во реално време ќе прикажува измерени податоци на компјутерски екран од сензори поставени на лабораториска пумпна инсталација со помош на постоечка аквизициона картичка *NI AT-MIO 16L* не беше во можност да се реализира поради тоа што пристапната евалуациона верзија на избраниот *SCADA* софтвер (*Lookout*) немае соодветни драјвери за комуникација со картичката. Поради тоа искористени се мерења добиени од лабораториските вежби по предметот Хидраулични Пумпи на истата таа лабораториска инсталација, а изработена е програма која овозможува симулација на мерниот систем. Со ова е овозможено студентите поблиску да се запознаат со целиот мерен систем и начинот на лабораториските мерења а и добивање осет за вредностите што треба да ги добиваат и тоа уште пред да отидат во лабораторијата.

### 8.2.1 ОПИС НА ИНСТАЛАЦИЈА И МЕТОДОЛОГИЈА НА МЕРЕЊА

На следната слика дадена е упростена скица на лабораториската пумпна инсталација. Таа се состои од: челичен резервоар (1), центрифугална пумпа (2) со карактеристики  $h=60\text{ m}$ ,  $Q=53\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $N=14,9\text{ kW}$ ,  $n=2920\text{ vrt}/\text{min}$ , потисен вод (3), мерна бленда (4), *U* цевка со жива (манометар) (5), *U* манометар на влез во пумпата (6), манометар на излез на пумпата (7) и вентил за регулирање на протокот поставен на излезот на потисниот вод (8).



Слика 3.1: Лабораториска пумпна мерна инсталација

1. Челичен резервоар, 2. Центрифугална пумпа, 3. Потисен вод, 4. Мерна бленда, 5. *U* Цевка со жива (манометар), 6. *U* Манометар на влез во пумпата, 7. Манометар на излез на пумпата и 8. вентил за регулирање на протокот поставен на излезот на потисниот вод

Центрифугалната пумпа црпе вода од резервоарот и ја транспортира низ потисниот вод повторно назад во него. За мерење на притисокот на влез на пумпата се користи  $U$  цевката (6) која што на еданата страна има допир со атмосферскиот притисок, на излез притисокот се мери со манометар (7) а за мерење на протокот низ потисниот вод се користи  $U$  цевката (5) која што го мери падот на притисокот низ мерната бленда (4). Протокот низ системот се регулира со излезниот вентил (8).

Мерењата течат на тој начин што најпрво се отвора вентилот (8) максимално и се вршат отчитувања на манометрите (5,6 и 7), потоа се подзатвора излезниот вентил (8) за одредена вредност и повторно се вршат отчитувања и се така до максимално затворен вентил.

Од извршените мерења и средување на резултатите искористени се следниве податоци:

Број на мерење	Притисок на влез $p_1$ [Pa]	Притисок на излез $p_2$ [Pa]	Проток $Q$ [m <sup>3</sup> /s]
6	98665	701569	0.00171
5	93329	751569	0.0035
4	86658	701569	0.00471
3	80654	651569	0.00592
2	68647	551569	0.00684
1	75318	401569	0.00717

**Табела 3.1:** Експериментално добиени податоци со лабораториски мерења

Овие податоци се искористени за аналитичко добивање (квадратно приближување) на зависноста  $p_1$ ,  $p_2$  и  $Q$  од отвореноста на излезниот вентил кои подоцна ќе бидат искористени во софтверот за симулација на пумпната постројка.

Кривите кои ги претставуваат овие зависности се:

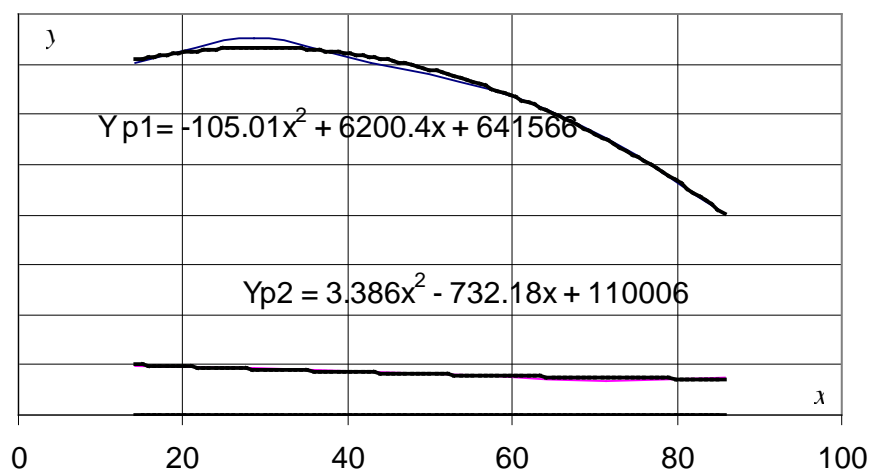
$$Y_{p_1} = 3,386x^2 - 732,18x + 110006 \quad (1)$$

$$Y_{p_2} = -105,01x^2 + 6200,4x + 641566 \quad (2)$$

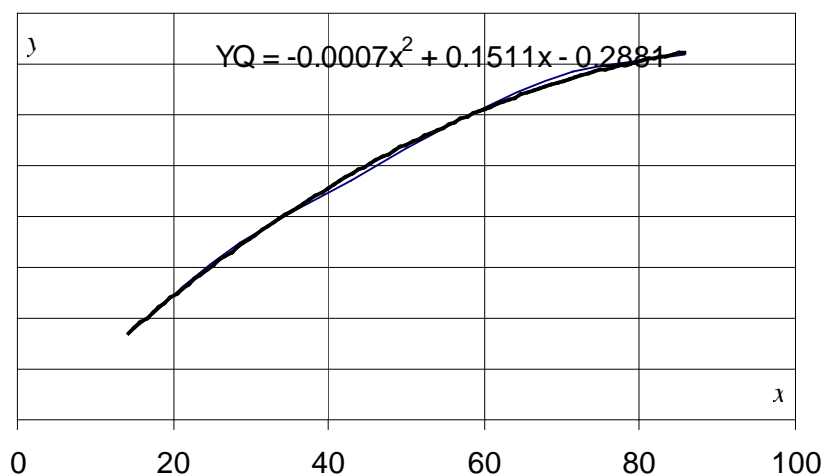
$$Y_Q = -0,0007x^2 + 0,1511x - 0,2881 \quad (3)$$

Каде што  $x$  се движи од 0 до 100 % и ја претставува отвореноста на излезниот вентил.





Слика 3.2: Зависност на кривите  $Y_{p1}$  и  $Y_{p2}$  од отвореноста на вентилот (8);  $Y_{p1}$  = притисок  $p_1$ ,  $Y_{p2}$  = притисок  $p_2$ ,  $x$  = отвореност на излезниот вентил (8)



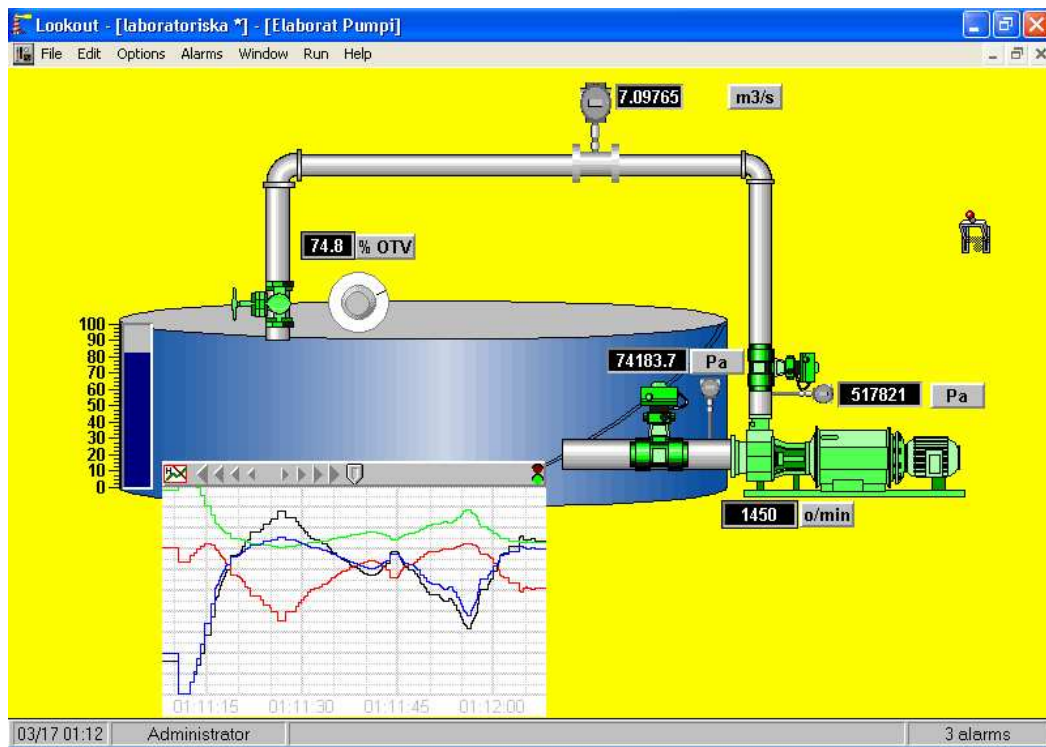
Слика 3.3: Зависност на кривата  $Y_Q$  од отвореноста на вентилот (8);  $Y_Q$  = проток,  $x$  = отвореност на излезниот вентил (8)

## 8.2.2 ИЗРАБОТКА НА ПРОГРАМА ВО ИЗБРАН СОФТВЕР - LOOKOUT

Еден од најчесто употребуваните комерцијални SCADA софтвери е *Lookout* производ на *National Instruments*. За оваа прилика е избран токму *Lookout* поради пристапната евалуациона верзија и едноставната работа со самиот софтвер. Софтверот содржи голем број на веќе подготвени *слики* (слики на пумпи, вентили, мерни инструменти и.т.н.), *графикони* (прикажување на мерењата во текот на времето, прикажување на различни зависности и.т.н.) и *објекти* (драјвери за различни типови на *PLC*-иња како што се *National Instruments*, *Siemens*, *Allen Bradley* и.т.н.) кои што во голема мера ја олеснуваат работата на програмерите. Овој софтвер може да се користи и за симулација.

Со помош на овој софтвер е изработена програма за симулација на мерењата во постоечката лабораториска пумпна постројка на МФС.

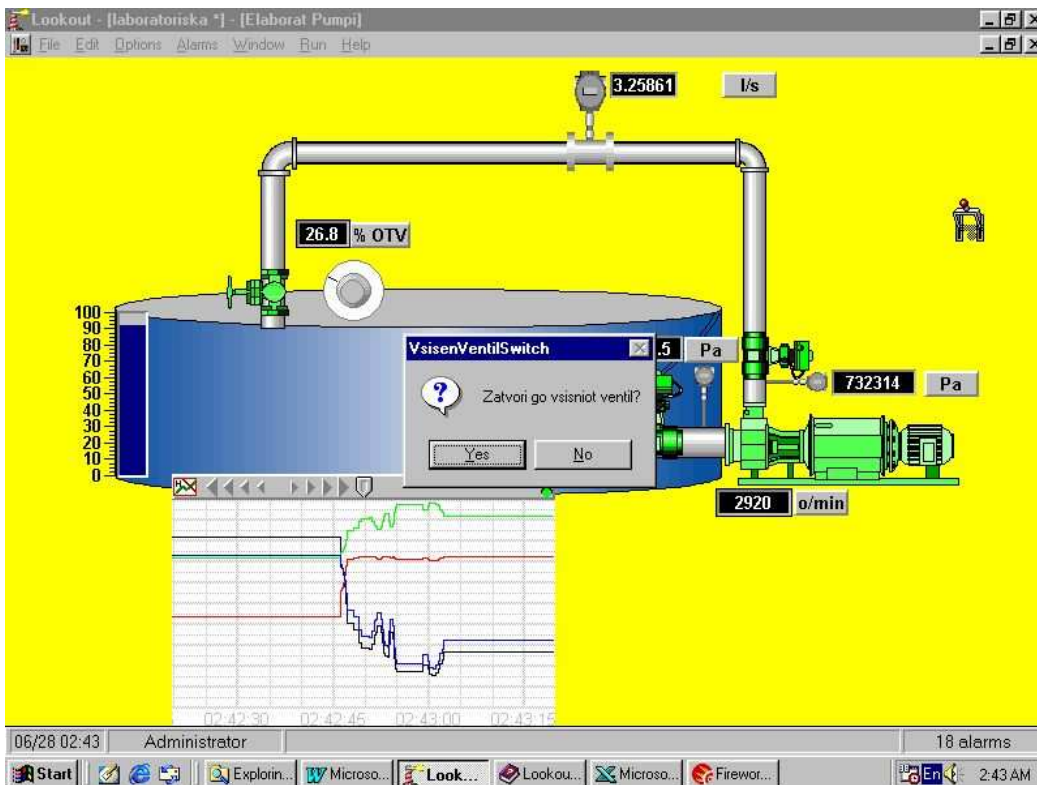
Програмата е од наједноставен тип и се состои од само еден прозорец. Во прозорецот е прикажана целата мерна инсталација и еден графикон кој ја покажува зависноста на протокот и мерените притисоци во текот на времето. Заради упростување на сликата, мерењето на протокот кој во суштина се мери со падот на притисокот на мерната бленда поставена на потисниот вод е прикажан едноставно со еден протокомер на кој веднаш се отчитува протокот, а истото тоа е направено и со у цевката за мерење на притисокот на влез во пумпата која што е заменета со манометар на кој се отчитува влезниот притисок.



Слика 3.4: Главен прозорец (пумпа во работа)

Елементите кои се вклучени (отворени) се прикажани со зелена боја додека исклучените (затворените) елементи се прикажуваат со црвена боја. За да се

вклучи одреден објект во прозорецот треба да се покаже на него, да се кликне со десниот клик и по поставеното прашање да се одговори потврдно.



Слика 3.5: Главен прозорец (интерактивна работа)

Мерењето може да започне дури откако ќе се вклучи главниот прекинувач и откако ќе се вклучат сите вентили. Со помош на еден потенциомер е прикажана процентуалната отвореност на излезниот вентил. Со негово вртење се менува и отвореноста а со тоа и протокот, излезниот и влезниот притисок во пумпата.