

# REPUBLIKA E SHQIPËRISË UNIVERSITETI POLITEKNIK FAKULTETI I INXHINJERISË ELEKTRIKE

# Disertacion

Ι

# Paraqitur nga

# MSc. Ing. Eni SAQE

# Për marrjen e gradës shkencore

# Doktor

në Inxhinieri Elektrike - Elektroenergjitik

Tema: NJË VLERËSIM I MODELEVE MATEMATIKE TË NYJEVE GJENERUESE, NËPËRMJET KRAHASIMIT TË VLERAVE TË MATURA DHE SIMULIMEVE TË KRYERA

Kandidati	Udhëheqës Shkencor	
MSc. Ing. Eni Saqe	Prof.as.Dr. Marialis Celo	
Mbrohet më datë 10.03. 2016 para jurisë të miratuar nga rektori i UPT me		
numër 1474/1 Prot. më datë 09.02	.2016:	
1. Prof. Dr. Raimonda BUHA	ALJOTI Kryetare - Oponente	
2. Prof. Dr. Aleksander XHU	VANI Anëtar	
3. Prof. Dr. Gëzim KARAPIO	CI Anëtar - Oponentë	
4. Prof. Dr. Nako HOBDAR	Anëtar	

5. Prof. Dr. Piro CIPO

Anëtar

# Një vlerësim i modeleve matematike të nyjeve gjeneruese, nëpërmjet krahasimit të vlerave të matura dhe simulimeve të kryera

1	Hyr	je		7
	1.1	Hidro	centrali Vau i Dejës	7
	1.2	Qëllir	ni i punimit	8
	1.3	Arsye	et e përzgjedhjes të kësaj Teme	8
	1.4	Objek	tiva dhe metodika	8
	1.5	Instru	mentat e përdorur për matjet	9
	1.6	Form	at e matjeve	9
2	Vësl	htrim a	nalitik i nyjeve të hidrocentralit	10
	2.1	Nyjet	hidraulike	10
	2.1.	1 Ç	ështje të përgjithshme	10
	2.1.2	2 A	naliza e kollonës së ujit në tubin me presion të padegëzuar	12
	2.1.	3 A	naliza e tubit të deviacionit nën presion	17
	2.1.4	4 A	naliza e kullës së ekuilibrit	18
	2.1.:	5 M	lodeli e përgjithshëm i sistemit hidraulik	22
	2.	.1.5.1	Bllokskema jolineare	22
	2.	.1.5.2	Funksioni transmetues	22
	2.1.	6 A	naliza e kollonës elastike të ujit	24
	2.	.1.6.1	Fenomeni fizik dhe ekuacionet për rastin e kollonës elastike	24
	2.	.1.6.2	Modeli i tubit nën presion duke marrë parasysh elasticitetin	29
	2.	.1.6.3	Modeli i plotë i sistemit hidraulik duke marrë parasysh edhe elasticitetin	. 30
	2.1.7	7 A	naliza e turbinës ideale sëbashku me tubin nën presion	31
	2.	.1.7.1	Rasti i turbinës ideale	31

	2.1.7.	2 Rasti i turbinës joideale
2.2	Rre	egullatori i shpejtësisë
2.	2.1	Puna në ishull dhe rregullumi në Centrale
2.	2.2	Sjellja kalimtare
2.	2.3	Sjellja e frekuencës
2.	2.4	Shpërndarja e ngarkesës aktive për agregatët të lidhur në parallel 40
2.	2.5	Centralet pjesmarrëse në rregullim41
2.	2.6	Rregullimi i shpejtësisë dhe rregullimi fuqi frekuencë
2.	2.7	Rregullatori i shpejtësisë ose rregullimi primar
2.	2.8	Turbinat e ujit
2.3	An	aliza e gjeneratorit sinkron
2.	3.1	Çështje të përgjithshme
2.	3.2	Sistemet e përdorshme të koordinatave në analizën e gjeneratorit sinkron 47
2.	3.3	Vektorët hapësinor kompleks të sistemit trefazor
2.	3.3.1T	ransformimi i njëvlershëm nga një sistem koordinativ këndrejtë në një tjetër
kė	endrejt	ë
2.	3.3.2	Fransformimi i ekuacioneve të tensioneve në njësi të emërtuara51
2.	3.3.3V	/lerat e çastit të fuqisë dhe momentit rrotullues
2.	3.4	Paraqitja e madhësive në njësi relative bazë për makinën sinkrone
	2.3.4.	1 Madhësitë referuese bazë për makinën sinkrone
	2.3.4.	2 Transformimi i ekuacioneve të tensionit në njësi relative
	2.3.4.	3 Transformimi i fluksit magnetik në njësi relative
	2.3.4.	4 Transformimi i momentit rrotullues në njësi relative
2.	3.5	Elemente të teorisë me dy akse të makinës sinkrone 59
	2.3.5.	1 Paraqitja principale dhe skema e zëvendësimit
	2.3.5.	2 Rillogaritja e sistemit trefazor lidhur me akset gjatësor dhe tërthor
	2.3.5.	3 Ekuacionet e tensioneve

	2.3.5	.4 Ekuacionet e flukseve magnetike	68
	2.3.5	.5 Momenti rrotullues dhe ekuacioni i lëvizjes	70
	2.3.5	.6 Përmbledhja e sistemit të ekuacioneve [39] [6] [35]	71
	2.3.6	Transformimi i sistemit të ekuacioneve të makinës sinkrone	72
	2.3.6	.1 Parametrat e gjeneratorit sinkron	72
	2.3.6	7.2 Transformimi i ekuacioneve elektrike të gjeneratorit	73
	2.3.6	5.3 Sjellja në gjendjen mbikalimtare e gjeneratorit	75
	2.3.6	.4 Sjellja në gjendje kalimtare e gjeneratorit	76
	2.3.6	5.5 Sjellja në gjendje të vendosur e gjeneratorit	76
	2.3.6	.6 Mardhëniet mekanike të gjeneratorit dhe bllokskema jolineare	76
2	2.4 Rr	egullatori i tensionit në makinat sinkrone	79
	2.4.1	Sjellja e tensionit në klemat e gjeneratorit	80
	2.4.2	Shpërndarja e fuqisë reaktive	83
	2.4.3	Sinkronizimi me rrjetin e fortë	83
	2.4.4	Sjellja e tensionit kur ai në rrjetin e fortë nuk pranohet konstant	83
	2.4.5	Sistemet e eksitimit dhe rregullatori i tensionit në GS	85
	2.4.5	.1 Sistemi i eksitimit me gjenerator të rrymës të vazhduar	85
	2.4.5	.2 Sistemi i eksitimit me gjenerator të rrymës alternative	86
	2.4.5	.3 Eksitimi statik	87
	2.4.5	.4 Rregullatori i tensionit në makinën sinkrone	87
3	Matjet	me anë të softit Labview	89
	3.1.1	Skema Principiale e montuar për realizimin e matjeve	89
	3.1.2	Matjet e rregjistruara	90
	3.1.3	Llogaritja e vlerave fizike nga vlerat e papërpunuara të marra nga matjet	91
	3.1.3	.1 Tregimi dhe analiza e matjeve të kryera	92
	3.1	1.3.1.1 Matja 1	92
	3.1	1.3.1.2 Matja 2	93

3.1	.3.1.3	Matja 3	
3.1	.3.1.4	Matja 4	94
3.1	.3.1.5	Matja 5	95
3.1	.3.1.6	Matja 6	96
3.1	.3.1.7	Matja 7	
3.1	.3.1.8	Matja 8	
3.1	.3.1.9	Matja 9	
3.1	.3.1.10	Matja 10	
3.1	.3.1.11	Matja 11	
3.1	.3.1.12	Matja 12	
4 Modelin	mi, Sim	ulimi dhe identifikimi në ambjentin matlab i nyjeve të Hidrocer	ntralit Vau i
Dejës			
4.1 Mo	odeli hiq	draulik	
4.1.1	Kinem	natika e tubit me presion	105
4.1.2	Dinam	nika e tubit me presion	105
4.1.3	Karakt	teristika e aparatit drejtues	
4.1.4	Llogar	ritja e koefiçientit të fërkimit për tubin me presion	112
4.1.5	Simuli	ime të modelit hidraulik	113
4.1.5.	.1 Si	imulimi i modelit hidraulik Matja 4	113
4.1.5.	.2 Si	imulimi i modelit hidraulik Matja 6	113
4.1.5.	.3 Si	imulimi i modelit hidraulik Matja 7	114
4.1.5.	.4 Si	imulimi i modelit hidraulik Matja 8	114
4.2 Rre	egullato	ori i turbinës	115
4.2.1	Identif	fikimi i Rregullatorit të turbinës	117
4.2.2	Simuli	ime të modelit të rregullatorit të shpejtësisë	117
4.2.2.	.1 Si	imulimi i modelit të RASH-it Matja 4	117
4.2.2.	.2 Si	imulimi i modelit të RASH-it Matja 6	118

4.2.2	2.3 Simulimi i modelit të RASH-it Matja 7	
4.2.2	2.4 Simulimi i modelit të RASH-it Matja 8	
4.3 Ri	regullatori automatik i tensionit	
4.3.1	Ushqimi i rotorit	
4.3.2	Rregullimi	
4.3.2	2.1 Shpjegimi i principit të operimit	
4.3.3	Rregullatori automatik dhe funksionet e tij	
4.	.3.3.1.1 Sistemi i ndryshimit të vlerës së dhënë të tensionit r	në bazë të fuqisë
re	eaktive (Compound)	
4.	.3.3.1.2 Limit i mbieksitimit	
4.	.3.3.1.3 Limit i nëneksitimit	
4.	.3.3.1.4 Limiti Volt/Herz	
4.	.3.3.1.5 Vlera e dhënë e tensionit	
4.	.3.3.1.6 Konvertues Sinjali	
4.	.3.3.1.7 Rregullaori i tensionit	
4.	.3.3.1.8 Stabilizuesi i luhatjeve të rrjetit	
4.3.4	Bllokskema dhe simulimet	
4.3.4	4.1 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 4	
4.3.4	4.2 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 6	
4.3.4	4.3 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 7	
4.3.4	4.4 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 8	
4.4 M	Iodeli i gjeneratorit sinkron	
5 Modeli	limi, Simulimi dhe identifikimi në ambjentin matlab i Hidrocent	ralit Vau i Dejës
127		
5.1 Pa	arametrat e simulimit	
5.2 Fo	forma përfundimtare e nënmodeleve në Simulink	
5.2.1	Modeli i hidraulik	
5.2.2	Modeli i Rregullatorit të shpejtësisë	
5		

	5.2.3	Modeli i Rregullatorit të tensionit	
	5.2.4	Modeli i gjeneratorit sinkron	
	5.3 P	Procesi Identifíkimit	
	5.3.1	Algoritmi i identifikimit	
	5.4 B	Bashkimi i nënmodeleve për identifmimin e agregatit të plotë	
	5.4.1	Parametrat e Identifikuar	
	5.5 S	Simulimet e modelit të plotë	
	5.5.	1.1 Simulimi Matja4	
	5.5.	1.2 Simulimi Matja6	
	5.5.	1.3 Simulimi Matja7	
	5.5.	1.4 Simulimi Matja 8	
6	Përfun	ndime	
7	Biblog	grafia	
8	Aneks	5	
	8.1 S	Simbolika	
	8.2 L	ista e Figurave	

# 1 Hyrje

## 1.1 Hidrocentrali Vau i Dejës

HEC Vau i Dejës ndodhet në pjesën verilindore të Shqipërisë, në fund të kaskadës së lumit Drin, pranë qytetit të Shkodrës [1]. Baseni i këtij HEC-i ka një kapacitet prej 580 milion m3 ujë. Edhe ky impiant është vënë në punë në dy faza: njësia 1, 2 dhe 3 në vitin 1970 dhe njësia 4 dhe 5 në vitin 1975. Diga është 90 m e lartë. Ka dy tunele furnizimi që çojnë ujin në të pesta njësitë



Fig. 1 Skema principale e HEC Vau Dejës

e instaluara. Kapaciteti i instaluar është 250 MW me një prodhim mesatar vjetor prej 1,000 GWh. Impianti është i lidhur me rrjetin 220 kV të transmetimit.



Fig. 2 Harta e Shqipërisë ku tregohet HEC Vau i Dejës

## 1.2 Qëllimi i punimit

Në Hidrocentralin Vau i Dejës u realizuan matje të cilat u regjistruan me anë të softit kompjuterik LabVIEW. Qëllimi i matjeve ishte që të merrej një përgjigje shkalle në varësi të kohës për të gjitha pjesët që janë të rëndësishme për funksionin e agregatit. Matjet duhet të jepnin mundësinë e identifikimit të parametrave me të rëndësishëm matematik, që duhen për studime të tilla. Me qëllim që regjistrimet e matjeve të ishin sa me frutdhënëse për identifikimin e saktë të modelit, u ndryshua gradualisht pika e punës të fuqisë aktive si dhe e fuqisë reaktive të agregatit, gjatë kohës që hidrocentrali ishte i sinkronizuar me rrjetin. Duke u bazuar në dokumentacionin teknik dhe raportet e komisionimit u zhvilluan nënmodelet kryesore të hidrocentralit. Me anë të softwarit Matlab/Simulink u identifikuan parametrat e nënmodeleve. Modeli i plotë i hidrocentralit përbëhet nga pjesa hidraulike, modeli i tubinës Francis, model i rregullatorit të tensionit si edhe model i rendit të 5-të i gjeneratorit. Për të verifikuar modelin matematik të hidrocentralit simulimet u krahasuan me vlerat e matura. Modeli i plotë i centralit mundet të përdoret me vonë për të bërë analiza dinamike të rrjetit. [2]

# 1.3 Arsyet e përzgjedhjes të kësaj Teme

Është përzgjedhur Vau i Dejës si një nga Hidrocentralet kryesore në Sistemin Energjitik Shqiptar që është përdorur historikisht për rregullimin fuqi frekuencë.

Me realizimin e këtij objekti realizohet një hap i vogël për realizimi e një modeli me të saktë të sistemit Energjitik Shqiptar.

# 1.4 Objektiva dhe metodika

Baza mbi të cilën mund të ngrihej një objekt i tillë është realizimi i matjeve, për gjendje të ndryshme punë me rezolucion sa me të lartë, për të regjistruar sjelljet dinamike dhe statike të sistemit.

Një objektiv tjetër gjatë vizitës në central ishte marrja e të gjithë të dhënave të mundshme nga dokumentacioni i centralit për të krijuar modelet dhe karakteritikat sa më të afërta me pajisjet përkatëse fizike.

Për realizimin e objektivës kërkohëj një studim i thelluar i literaturës relevanteë botërore. Kjo literaturë duhej të përmbante një thellim për konceptet fizike dhe modelet përkatëse matematike të proçeseve që ndodhin në një Hidrocentral.

Për përfitimin e modelit të përshtatshëm të HEC-it nevojitet që të modelohen sa më saktë nyjet përkatëse:

- Nyjet Hidrike dhe turbina
- Rregullatori i shpejtësisë
- Gjeneratori
- Rregullatori i tensionit

# 1.5 Instrumentat e përdorur për matjet

Për realizimin e matjeve u përdor një kompjuter personal me kartë të integruar për marjen e të dhënave nga National Instruments (PCI-6034E për Desktop, ose ekuivalëntja me USB për laptop). Software NI Labview full development system. Kabëll i skremuar (SH68-68-EP për kartën PCI-6034 ose ekuivalente për laptop) për lidhjen me kartën përkatëse. Një bllok lidhjesh (CB-68LP I/O) nga National Instruments. Blloku klemnikave nga Phoenix me mbajtjet përkatëse. Janë përdorur kontakte për ndarjen nga qarku elektrik (me optokopler) phoenix tipi EMG 17-OE-24- DC/TTL/100 dhe EMG 10-OV-5- DC/24DC/1.për mbrojtjen e kanaleve matës. Të pashmangshme për realizimin e matjeve ishin gjithashtu rezistenca preçizionit të lartë të madhësive të ndryshme [3].



Fig. 3 Skema principale e realizimit te matjeve

# 1.6 Format e matjeve

Gjatë matjeve u regjistruaran këto rregjime:

Agregati është i fikur dhe jepet komanda për sinkronizim me rrjetin.

Pika e punës të agregatit rritet me nga 5 MW deri në fuqinë maksimale 50 MW

Pika e fuqisë rritet me një hap të vetëm nga 5 MW në 40 MW

Ulja e fuqisë të kërkuar nga 50 MW me nga 15 MW deri në vlerën 5MW.

## 2 Vështrim analitik i nyjeve të hidrocentralit

#### 2.1 Nyjet hidraulike

#### 2.1.1 Çështje të përgjithshme

Kur 1 kg ujë bie nga lartësia H metra dhe e çliron të gjithë energjinë kinetike të tij, atëherë në rastin ideal, puna e kryer në një sekondë do të jetë  $1 \cdot H$  [4]. Në qoftë se nga e njëjta lartësi bie prurja (ose fluksi) Q për sekondë e ujit, atëherë në kushtet e sipërpërmendura, fuqia në dalje të turbinës  $P_t$  dhe më pas në dalje të gjeneratorit  $P_{el}$ , do të ishte:

$$P_{el} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \tag{1}$$

Ku

 $P_t$ ,  $P_{el}$  Fuqia në dalje përkatësisht të turbinës dhe gjeneratorit ideal, në  $N \cdot m$ 

$$\rho$$
 densiteti i ujit,  $\left[kg / m^3\right]$ 

*g* Përshpejtimi i rënies së lirë,  $[m/s^2]$ 

- Q fluksi ujit që futet në turbinë,  $[m^3 / s]$
- *H* rënia e plotë nga niveli i sipërm deri në hyrje të turbinës, [m]

Shfrytëzimi i plotë i gjithë energjisë të ujit nuk është i mundur të realizohet. Për shkak të humbjeve në segmente të ndryshme të shndërrimit të energjisë, vetëm një pjesë e saj kthehet në

fuqi mekanike të turbinës  $P_t$  dhe me pas në fuqi elektrike të gjeneratorit  $P_{el}$ , prandaj

$$P_{el} = \eta \rho. g. Q. H \tag{2}$$

Ku  $\eta$  është koefiçienti i punës së dobishme, i cili merr vlerë gjithnjë më të vogël së 1 dhe për këtë rast është

$$\eta = \eta_h \cdot \eta_t \cdot \eta_{el} \tag{3}$$

ku

- $\eta_h$  është koefiçienti i punës së dobishme që i përgjigjet rrjedhjes së ujit prej nivelit të bjefit të sipërm deri sa futet në turbinë.
- $\eta_t$  është koefiçienti i punës së dobishme të turbinës.
- $\eta_{el}$  koefiçienti i punës së dobishme të gjeneratorit.

Fillimisht do të shohim mbështetjen teorike për modelin që lidhet me rrjedhjen e ujit prej nivelit të sipërm të rezervuarit deri sa kthehet në punë mekanike nga turbina. Kjo përfshin rrjedhjen e ujit prej nivelit të sipërm të rezervuarit nëpër tubin e derivacionit, tek kulla e ekuilibrit, tubin me presion (ose në shtyllen e ujit), aparatin drejtues të turbinës, si edhe vetë turbinën.

Sa të thjeshta duken në pamje të parë fenomenet që ndodhin nga rrjedhja e ujit që nga baseni deri sa kthehet në punë mekanike në turbinë, aq edhe të ndërlikuara janë ato. Meqënëse çeshtja kryesore është kthimi i energjisë së ujit në energji mekanike në turbinë, le të shohim si ndikojnë këto hallka në punën e turbinës. Dinamika e tubit me presion është nga më të rëndësishmet në këto hallka.

Shtylla e ujit në tubin me presion [5] ndikon në mënyrë thelbësore në punën e turbinës hidraulike; ndikimi i saj lidhet edhe me

- 1. inercinë e zhvendosjes së ujit
- 2. shtypshmërinë e tij
- 3. elasticitetin e tubave ushqyes.

Këto fenomene në thelb ndikojnë si vijon.

Për shkak të inercisë [5], fluksi i ujit që futet në turbinë mbetet mbrapa në kohë, në krahasim me hapjen e portës nga organi drejtues; kjo bën që edhe fuqia e turbinës t'i nënshtrohet një proçesi kalimtar; si rrjedhim hapja e shpejtë e organit drejtues nuk sjell rritjen po në këtë mënyrë të fuqisë së turbinës, por fillimisht një zvogëlim të fuqisë së saj. Me fjale të tjera, mbas një hapje të menjëhershme të aparatit drejtues, dhe përpara se prurja të ketë pasur kohë që të ndryshoj në mënyrë të dukshme, shpejtësia e ujit në rrotën e punës bie për shkak të zmadhimit të sipërfaqës së portës së ujit. Kjo bën [6] që fuqia e transmetuar në këtë rrotë të bjerë përpara së të kaloj gradualisht në gjendjen e re të vendosur. Ky është një faktor mjaft i rëndësishëm që e bën turbinën hidraulike një nyje të vështirë gjatë rregullimit të shpejtësisë. Inercia e rrjedhjes së ujit ndikon në fuqinë e turbinës. Gjatë hapjes së menjëhershme të portës sipas një funksioni shkallë p.sh. nga vlera 0.9 në 1, fluksi i ujit që futet në turbinë nuk ndryshon po sipas këtij funksioni; kjo sjell, sikurse thamë, që edhe fuqia e turbinës jo vetëm që nuk do të rritet, por do të zvogëlohet.

Shtypshmëria e ujit dhe elasticiteti i mureve të tubit shkaktojnë një valë bredhëse të presionit dhe të prurjes së ujit, një dukuri kjo e zakonshme që lidhet me konceptin e njohur si grusht hidraulik. Grushti hidraulik ndodh kur një ndryshim i presionit mbi ose poshtë vlerës normale, sjell ndryshimin e madhësisë së prurjes. Këto ndryshime të papritura të kërkesës për ujë ndodhin gjatë luhatjes së menjëhershme të ngarkesës.

Grushti hidraulik [5] ndodh tek të gjitha pikat e tubit me presion dhe në rastë të veçanta mund të sjelle shqetësime të mëdha si p.sh. mund të dëmtoj valvulat, aparatin drejtues të turbinës si edhe tubin me presion.

Karakteristikat e turbinës dhe tubit nën presion përcaktohen [5]nga tre madhësi bazë të cilat lidhin shpejtësinë e ujit në tubin me presion, përshpejtimin e tij dhe ndikimin e gravitetit me prodhimin e fuqisë mekanike në turbinë.

Paraqitja jolineare e zhvilluar me poshtë është veçanrisht e rëndësishme kur shqyrtohen problemet që lidhen me ndryshime të mëdha të shpejtësisë dhe fuqisë për rastin e punës në ishull të njësisë, shkarkimit të ngarkesës dhe atij të rikthimit në punë të sistemit mbas një blackout-i. [5] [7] [6].



2.1.2 Analiza e kollonës së ujit në tubin me presion të padegëzuar

Fig. 4 Skema e pergjithshme e një hidrocentrali:G gjeneratori,T turbina,Q prurja e ujit,A prerja tërthore, L gjatësia, Indekset;s tubi deviacionit, w kulla e ekuilibrit, c tubi nën presion, D rregullatori i presionit

Për të nxjerrë mardhëniet e nevojshme për këtë qëllim, nisemi nga rasti me i thjeshtë kur njësia

turbin-gjenerator ushqehet nga një rezervuar shumë i madh me një tub me presion të padegëzuar

- (Fig. 4) [8]dhe me kushtet që vijojnë
- 1. Nuk përfillet inercia e ujit
- 2. Kollona e ujit pranohet e pashtypshme
- 3. Muret e tubit me presion janë të ngurta ose joelastike

Duke pranuar që uji në tubin nën presion trajtohet përafërsisht si një masë solide, për të nxjerrë shkallën e ndryshimit të energjisë së fluksit të ujit në raport me rënien e tij, nisemi nga ligji i dytë i Njutonit. Sipas këtij ligji përshpejtimi është proporcional me forcën, ndërsa faktori i proporcionalitetit është masa e objektit [5] [8] [9].

$$F = m a \tag{4}$$

Duke pasur parasysh edhe bilancin e ruajtjes së energjisë, shkruajmë

$$W_c = L_c \cdot \frac{dv_c}{dt} m = mgH_a - mgH - mgH_c$$
<sup>(5)</sup>

Ku

- $W_c$  energjia e kollonës së ujit ose e tubit me presion
- $L_c$  gjatësia e tubit me presion
- $v_c$  shpejtësia e lëvizjes së ujit në fillimin e tubit me presion
- *H* rënia e shfrytëzueshme e ujit

 $H_c$  humbjet për shkak të fërkimit të ujit në tubin me presion

- $H_a$  niveli i ujit në fund të tubit deviacionit
- $Q_c$  prurja në fillimin të tubit me presion

Mardhënia (5) mund të transformohet më tej

$$L_c \frac{dv}{dt} = gH_a - gH - gH_c \tag{6}$$

Prej nga

$$\frac{L_c}{A_c}\frac{dQ_c}{dt} = gH_a - gH - gH_c \tag{7}$$

Humbjet në tubin me presion  $H_c$  të shkaktuara nga fërkimi i ujit me muret e këtij tubi, me afërsi të mjaftueshme merren [8] proporcionale me katrorin e prurjes në fillimin e tubit nën presion  $Q_c$ , pra:

$$gH_c = k_c Q_c \left| Q_c \right| \tag{8}$$

(9)

ku

$$Q_c = v_c A_c \tag{10}$$

Pjestojmë (8) me prurjen bazë  $Q_r$  dhe rënien bazë  $H_r$  për t'i kthyer në njësi relative bazë

$$\frac{L_c}{A_c H_r Q_r} \frac{dQ_c}{dt} = \frac{gH_c - gH - gH_c}{H_r Q_r}$$
(11)

duke shënuar

$$q_c = \frac{Q_c}{Q_r}; h = \frac{H}{H_r}; h_c = \frac{H_c}{H_r}$$
(12)

Duke patur parasysh se koefiçienti i fërkimit të tubit me presion [8]është

$$C_c = \frac{k_c Q_c^2}{g H_r} \tag{13}$$

Fitojmë

$$\frac{L_c Q_r}{A_c H_r g} \frac{dq_c}{dt} = h_a - h - h_c \tag{14}$$

Zëvendësojmë

$$T_c = \frac{L_c Q_r}{A_c H_r g} = \frac{L_c V_r}{H_r g}$$
(15)

ku  $T_c$  quhet konstante kohe e inercisë së ujit që shpesh njihet edhe si koha e lëshimit të ujit Kjo konstante ka kuptim të qartë fizik,ajo përfaqëson kohën e nevojshme që i duhet ujit që në nivelin  $H_r$  të përshpejtohet nga gjendja e qetësisë deri në shpejtësinë bazë  $V_r$  [10] [5]. Vëmë në dukje së  $T_c$  e dhënë nga (15) përfaqëson konstanten e kohës për një kollonë uji në kushtet e ngarkesë nominale. Për ngarkesë të njësisë të ndryshme nga ajo nominale, llogaritet konstantja faktike e inercisë së ujit si vijon [11]:

$$T = \frac{qh_r}{q_r h} T_{cr} \tag{16}$$

Me zëvendësimin e (15) në ekuacionin (14) fitojmë

$$T_c \frac{dq_c}{dt} = h_a - h - h_c \tag{17}$$

Humbjet nga fërkimi në tubin me presion jepen nga mardhënia

$$h_c = c_c q_c \left| q_c \right| \tag{18}$$

 $c_c$  është koefiçienti i fërkimit me tubin nën presion.

Duke transformuar sipas Laplasit këtë mardhënie fitojmë

$$T_c sq_c = h_a - h - h_c \tag{19}$$

Ose

$$q_c = \frac{1}{sT_c} \left( h_a - h - h_c \right) \tag{20}$$

që përfaqëson modelin e tubit me presion në kushtet e dhëna në këtë paragraf. Për këtë ekuacion mund të ndërtohen modelet [8] si në Fig. 5 ose Fig. 6.



Fig. 5 Modeli i tubit me presion variant i parë



Fig. 6 Modeli i tubit me presion variant i dytë

Duke linearizuar ekuacionin e humbjeve fitojmë modelin linear

$$T_{c} \frac{d\Delta q_{c}}{dt} = \Delta h_{a} - \Delta h - \Delta h_{c}$$
<sup>(21)</sup>

$$\Delta h_c = 2c_c \left| q_0 \right| \Delta q_c = c_{c0} \Delta q_c \tag{22}$$

Në bazë të (22) mund të ndërtohet modelet [8]si në Fig. 7 ose Fig. 8.



Fig. 7 Modeli linear varianti i parë



#### Fig. 8 Modeli linear varianti i dytë

Deri tani në folëm për rastin kur proçeset janë të qëndrueshme dmth. prurja ose shpejtësia e lëvizjes së ujit është e pandryshueshme në kohë. Le ta zëmë së në intervalin e kohës  $\Delta t$  për shkak të hapjes së aparatit drejtues, shpejtësia në tubin me presion rritet në masën  $\Delta v$ , ndërsa humbjet në të rritën për madhësinë  $\Delta H_i$  [5] [10]. Në bazë të ligjit të dytë të Njutonit mund të shkruajmë:

$$\rho AL_c \frac{d\Delta v}{dt} = -\rho g A \Delta H \tag{23}$$

Duke pjestuar me madhësitë nominale  $H_r$  dhe  $V_r$ , mardhënia (23) kthehet në njësi relative bazë si vijon:

$$\left[\frac{L_c V_r}{gH_r}\right] \frac{d\Delta v}{dt} = -\Delta h \tag{24}$$

Ose

$$T_c \frac{d\Delta v}{dt} = -\Delta h \tag{25}$$

Mardhënia (25)paraqet një karakteristikë të rëndësishme. Ajo tregon ndikimin e ndryshimit të presionit ndaj ndryshimit të shpejtësisë. Shenja minus në të, tregon së çdo rritjeje të njërës i përgjigjet një zvogëlim i tjetrës.

Kështu kur mbyllim portën e ujit [5], zvogëlojmë kështu prerjen e saj tërthore, dhe rrjedhimisht bëjmë një rritje të presionit të ujit ose një ndryshim pozitiv; kjo sjell përkatësisht një zvogëlim të përshpejtimit të lëvizjes ose një ndryshim negativ. Edhe e anasjellta është e vërtetë. Hapjes së portës së ujit ose ndryshimit negativ të presionit, i përgjigjet rritja e prurjes së ujit dhe përkatësisht një ndryshim pozitiv i përshpejtimit. Përshpejtimi maksimal do të ndodhë menjëherë pas hapjes së portës, meqënëse e gjithë diferenca e presionit do të shkojë në rritjen e këtij përshpejtimi.

#### 2.1.3 Analiza e tubit të deviacionit nën presion

Trajtimi i tubit të deviacionit kryhet në mënyrë krejt të ngjashme dhe me po të njëjtat kushte me atë të tubit nën presion.

Nisemi nga ekuacioni

$$W_{s} = L_{s} \cdot \frac{dv_{s}}{dt} \cdot m = m \cdot g \cdot H_{b} - m \cdot g \cdot H_{a} - m \cdot g \cdot H_{s}$$
<sup>(26)</sup>

- $W_s$  energjia e ujit në tubin deviacionit
- $L_{\rm s}$  gjatësia e tubit të deviacionit

v shpejtësia e lëvizjes së ujit në tubin e deviacionit

 $H_{h}$  lartësia në nivelin e sipërm të ujit, ose në fillim të tubit të deviacionit

- $H_a$  rënia e shfrytëzueshme në fund të tubit të deviacionit
- $H_s$  humbjet për shkak të fërkimit të ujit në tubin e deviacionit

Mbas veprimeve të ngjashme si në paragrafin e mësipërm fitohet modeli

$$T_s \frac{dq_s}{dt} = h_b - h_a - h_s \tag{27}$$

ku

$$T_s = \frac{L_s Q_r}{A_s H_r g} \tag{28}$$

dhe

$$h_s = C_s q_s \left| q_s \right| \tag{29}$$



#### Fig. 9 Modeli i tubit te deviacionit jolinear

Këtij modeli i përgjigjet bllokskema e Fig. 9.

Duke linearizuar ekuacionin e humbjeve [8], fitohet modeli linear

$$T_s \frac{d\Delta q_s}{dt} = \Delta h_b - \Delta h_a - \Delta h_s \tag{30}$$

$$\Delta h_s = 2c_s \left| q_{s0} \right| \Delta q_s = c_{s0} \Delta q_s \tag{31}$$

ndërsa koefiçienti i fërkimit të tubit të deviacionit është:

$$c_s = \frac{k_s Q_s^2}{g H_r} \tag{32}$$

të cilës i përgjigjet bllokskema ose funksioni transmetues i Fig. 10.



#### *Fig. 10 Modeli i tubit deviacionit linear* 2.1.4 Analiza e kullës së ekuilibrit

Modeli i saktë i kullës së ekuilibrit është mjaft i ndërlikuar [12] [8].Energjia në fundin e tubit të deviacionit ose përkatësisht në fundin e kullës së ekuilibrit,është e barabartë me shumën e energjisë potenciale të ujit në nivelin e sipërm të kullës së ekuilibrit  $H_w$  me energjinë kinetike të rrjedhjes së ujit në fundin e tubit të deviacionit.

Në rastin kur shpejtësia e rrjedhjes së ujit është e ulët, me saktësi të mjaftueshme, energjia e plotë e ujit merret në përpjestim të drejtë [13] [12] [8] me katrorin e prurjes së ujit në tubin e deviacionit energjia kinetike e ujit dhe humbjet në kullën e ekuilibrit nuk merren parasysh;prandaj

$$W_a = m \cdot g \cdot H_a = m \cdot g \cdot H_w + m \cdot k_w \cdot Q_s^2$$
<sup>(33)</sup>

ku

 $W_a$  është energjia e ujit në nivelin  $H_a$  të fundit të tubit të deviacionit

 $H_{w}$  niveli i sipërm i ujit në kullën e ekulibrit

 $H_a$  rënia e shfrytzueshme e ujit në fund të tubit të deviacionit

 $Q_s$  prurja nga tubi i deviacionit

 $k_{w}$  koeficient i kullës së ekulibrit

Nuk është e vështirë të vërejmë(33) se kur prurja  $Q_s$  është e barabartë me zero edhe  $H_a = H_w$ dhe kur  $Q_s \neq 0$  edhe  $H_a \neq H_w$ .

Me veprime të thjeshta, fitohet

$$g \cdot H_a = g \cdot H_w + K_w \cdot Q_s^2 \tag{34}$$

dhe

$$Q_s = Q_c + Q_w \tag{35}$$

ku

$$Q_w = A_w \frac{dH_w}{dt} \tag{36}$$



Fig. 11 Kulla e ekuilibrit

Me tej analiza e kullës së ekuilibrit kryhet në mënyrë krejt të ngjashme dhe me po të njëjtat kushte me rastet e mëparshme.

Pjestojmë të dy anët e barazimit (34) me  $Q_N^2 \cdot H_N$ 

$$\frac{g \cdot H_a}{Q_r^2 \cdot H_r} = \frac{g \cdot H_w}{Q_r^2 \cdot H_r} + \frac{k_w \cdot Q_s^2}{Q_r^2 \cdot H_r}$$
(37)

dhe pastaj me:

$$\frac{Q_r^2}{g} \tag{38}$$

Prej (37)

$$h_a = h_w + \frac{K_w \cdot Q_r^2}{H_r \cdot g} q_s^2 \tag{39}$$

Po qe se shënojmë

$$k_w = \frac{K_w \cdot Q_r^2}{H_r \cdot g} \tag{40}$$

Kemi

$$h_a = h_w + k_w \cdot q_s^2 \tag{41}$$

Në qoftë së të dy anët e mardhënies

$$Q_w = A_w \cdot \frac{dH_w}{dt} \tag{42}$$

i pjestojmë me  $Q_r \cdot H_r$ , fitojmë:

$$\frac{Q_w}{Q_r \cdot H_r} = \frac{A_{ku}}{Q_r \cdot H_r} \cdot \frac{dH_w}{dt}$$
(43)

$$\frac{1}{H_r} \cdot q_w = \frac{A_w}{Q_r} \cdot \frac{dh_w}{dt}$$
(44)

$$q_{w} = \frac{A_{w} \cdot H_{r}}{Q_{r}} \cdot \frac{dh_{w}}{dt}$$
<sup>(45)</sup>

$$q_w = T_w \cdot \frac{dh_w}{dt} \tag{46}$$

ku

$$T_w = \frac{A_w \cdot H_r}{Q_r} \tag{47}$$

 $T_w$  është konstantja e kohës së inercisë së ujit të kullës së ekuilibrit për të cilën kemi folur më parë.

Duke u nisur nga (35), fitohet lehtë mardhënia

$$q_s = q_c + q_w \tag{48}$$

dhe prej këtej bllokskema përkatëse (Fig. 12). Koefiçienti  $k_w$  mund të fitohet në mënyrë teorike [13] ose më mirë mund të nxirret në mënyrë eksperimentale nëpërmjet identifikimit.



Fig. 12 Bllokskema e kullës së ekulibrit për rastin jolinear

Duke linearizuar energjinë kinetike [8]kemi

$$\Delta h_a = \Delta h_w + k_{w0} \cdot \Delta q_s, me \ k_{w0} = 2k_w q_0 \tag{49}$$

$$\Delta q_w = T_w \cdot \frac{d\Delta h_w}{dt} \tag{50}$$

$$\Delta q_s = \Delta q_c + \Delta q_w \tag{51}$$

Dhe modeli linear jepet në Fig. 13, ku  $q_{s0} = q_{c0} = q_0$ 



Fig. 13 Bllokskema e kullës së ekuilibrit e linearizuar

#### 2.1.5 Modeli e përgjithshëm i sistemit hidraulik

#### 2.1.5.1 Bllokskema jolineare

Duke i trajtuar bashkë bllokskemat e Fig. 6, Fig. 9 dhe Fig. 12 fitohet bllokskema e sistemit hidraulik [8]e Fig. 14.



## Fig. 14 Modeli jolinear i sistemit hidraulik 2.1.5.2 Funksioni transmetues

Me ndihmën e ekuacioneve (30), (31), (49), (50), (51), (21) dhe (22) fitohet bllokskema e Fig. 14 prej së cilës mund të nxirren [8] mardhëniet e linearizuara ndërmjet energjisë së dobishme  $\Delta h$  dhe sasisë së ujit  $\Delta q_c$  ose ndryshimit të rënies bruto  $\Delta h_0$ .

$$G(s) = G_w(s) + G_c(s) = \frac{c_{s0} + sT_s}{1 + s(k_{w0} + c_{s0})T_w + s^2 T_w T_s} + (c_{c0} + sT_c)$$

$$G_b(s) = \frac{1 + sk_{w0}T_w}{1 + s(k_{w0} + c_{s0})T_w + s^2 T_w T_s}.$$
(52)

Ndryshimi i rënies bruto në shumicën e rasteve ose është zero ose ndryshon shumë ngadalë; prandaj për analizën e proçeseve dinamike nuk është nevoja të merret parasysh.

Funksioni transmetues  $G_{w}(s)$  përfaqëson [8]ndikimin e tubit të deviacionit dhe kullës ekuilibrit.



Fig. 15 Funksioni transmetues i sistemit hidraulik

Një ndryshim i prurjes së ujit ka si rrjedhim lëkundje që shuhen me veçoritë [8] që vijojnë

$$\omega_{0} = \frac{1}{\sqrt{T_{w}T_{s}}} \qquad \omega_{e} = \omega_{0}\sqrt{1-\zeta^{2}}$$

$$\zeta = \frac{1}{2}(k_{w0} + c_{s0})\sqrt{\frac{T_{w}}{T_{s}}}$$
(53)

Ku  $\omega_0$  është frekuenca e rezonances,  $\omega_e$  frekuenca e lëkundjeve vetiake, ndërsa  $\zeta$  koefiçienti i shuarjes.

Për të patur një shuarje të mirë [8] duhet që konstantja e kohës  $T_w$  dhe së bashku me të edhe prerja tërthore e kullës së ekulibrit të kenë vlera të mëdha. Në shumicën e rasteve lëkundjet zgjasin nga 100 në 300 sekonda,ndërsa  $T_c$  është e rendit 1 sekondë. Kështu që për proçese të ngadalshme mund të mospërfillim ndikimin e tubit nën presion dhe kështu që  $G(s) = G_w(s)$ 

Anasjelltas gjatë analizës së proçeseve sekondarë (rregullimit primar të numrit të rrotullimeve) rënia  $h_a$  mund të pranohet konstante dhe kështu që pranohet  $G(s) = G_c(s)$ . Për përmasimin e përshtatshëm të kullës së ekulibrit proçeset e ngadalshme duhet të studjohen veças me ato të shpejtat.

Funksioni transmetues  $G_c(s)$  përshkruan ndikimin e tubit nën presion ndaj energjisë së shfrytëzueshme h. Ky ndikim ka natyre diferenciale. Për rënie të mëdha, h paraqet praktikisht presionin në fundin e këtij tubi. Kur zvogëlojmë fluksin e ujit do të kemi goditje hidraulike. Kjo goditje mund të marrë vlera të mëdha po qe se zvogëlimi bëhet i shpejtë.

Prandaj është e mira që t'i shmangemi zvogëlimit shumë të shpejtë të fluksit të ujit.

Por ka raste sidoqoftë që fuqia duhet zvogëluar me shpejtësi. Në këto raste tek turbinat me reaksion, ku futen edhe turbinat Francis, vendoset një ventil presioni; kur presioni e kapërcen vlerën tij të regjistuar nga ne, një sasi uji devijohet përpara së të futet në turbinë.

2.1.6 Analiza e kollonës elastike të ujit

#### 2.1.6.1 Fenomeni fizik dhe ekuacionet për rastin e kollonës elastike

Marrja parasysh e elasticitetit të ujit dhe të tubave është veçanërisht i rëndësishëm për rënie më të mëdha së 100 m [8]; kjo meqënëse në këtë rast vështirësohet stabilizimi i rregullimit të numrit të rrotullimeve.

Në rastin kur kollona e ujit është elastike [5] [14], sikurse është thënë, ndodh lindja e të ashtuquajturit grusht hidraulik. Me hapjen ose mbylljen e aparatit drejtues, ndodh zvogëlimi ose përkatësisht rritja e presionit në tub. Ky ndryshim sjell nga ana e vet lindjen e valës bredhëse sëpari që nga porta e ujit deri tek rezervuari dhe më pas në kahjen e kundërt. Kur HEC-i ka kulle ekulibri,vala bredhëse luhatët ndërmjet saj dhe portës. Është e qartë së po të mos kishte humbje gjatë fërkimit, valët bredhëse do të luhateshin pafund ndërmjet këtyre dy skajeve.

Le ta shohim fenomenin vetëm për shkak të elasticitetit të ujit, dmth muret e tubit nën presion i pranojmë absolutisht të ngurtë. Le ta zëmë së në çastin t=0 në kushtet kur prurja është Q dhe shpejtësia V, kryejmë mbylljen e menjëhershme të portës. Po të pranojmë që uji është i pashtypshëm, ndaj aparatit do të lind një shtypje shkatërruese pambarimisht e madhe (*pmm*); kjo qartësohet lehtë po të kemi parasysh ligjin e dytë të Njutonit

$$F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \tag{54}$$

Ndryshimit  $\Delta v \neq 0$  të shpejtësisë për  $\Delta t = 0$ , i përgjigjet pjestimi i një numri të fundëm me zero, pra forca F do të ishte *pmm* dhe e gjithë sasia e ujit do të merrte në çast shpejtësinë zero. Në të vërtetë, me mbylljen e portës, shtypen fillimisht vetëm ato grimca [5]që bien fillimisht në kontakt me të; më pas ato shtypen nga grimcat që vijnë mbas tyre dhe që lëvizin me shpejtësinë e tyre të mëparshme v. Kjo shtypje bën që të lindi një valë uji me kahje të kundërt me atë të lëvizjes normale të tij. Grimcat që ndodhen në ballin e kësaj valë shtypen edhe me tej nga grimcat e rrjedhjes normale. Është e kuptueshme që në ketë rast, energjia kinetike e ujit në lëvizje, shndërrohet në energji elastike duke shtypur ujin si edhe tubin në kontakt me të deri sa ajo të arrij sipërfaqen e sipërme të rezervuarit. Meqënëse kjo valë zhvendoset me shpejtësinë dtë zërit në ujë, koha që i duhet asaj që të përshkruaj gjatësinë e tunelit  $L_c$  [5]është:

$$T_L = \frac{L_c}{a} \tag{55}$$

Madhësia  $T_L$  është koha që i duhet valës që të përshkruaj gjatësinë e tunelit.

Le të nxjerrim ekuacionet që i përgjigjen këtij proçesi .

Në një segment të shkurtër të çfardoshëm të tubit nën presion, që fillimisht e pranojmë pa humbje,në largesinë  $_{xL_c}$  prej fillimit të tij, zhvillohet energjia e shpejtimit ose forca e shpejtimit [8]

$$-gdH = L_{c}dx\frac{dv}{dt} = \frac{L_{c}dx}{A_{c}}\frac{dQ_{c}}{dt} \qquad \left[\frac{J}{kg}\right]$$
  
$$-\rho A_{c}gdH = \rho L_{c}dx\frac{dQ_{c}}{dt} \qquad [N].$$
 (56)

Kjo forcë që vepron në kohën dt, në sajë të elasticitetit të ujit dhe të tubit, shkakton një ndryshim të sasisë së ujit tek elementi  $L_{dx}$ 

$$-\frac{dQ_c}{dt}dt = (\frac{1}{\varepsilon} + \frac{D}{Ed})\rho A_c g dh \qquad [m^2].$$
<sup>(57)</sup>

ku  $\mathcal{E}$  është konstantja e elasticitetit të materialit të tubit, D dhe d janë përkatësisht diametri dhe trashësia e tubit. Nga ekuacioni (56) dhe (57) rrjedh;

$$-\frac{\partial H}{dx} = \frac{L_c}{gA_c\varepsilon} \frac{\partial Q_c}{\partial t}$$
  
$$-\frac{\partial Q_c}{dx} = (\frac{1}{\varepsilon} + \frac{D}{Ed})\rho A_c L_c g \frac{\partial H}{dt}.$$
 (58)

Ekuacionet (58) janë ekuacionet valore.Valët e presionit(valët e zërit) që përhapen në ujë me shpejtësi*a* e cila përcaktohet nga mardhënia

$$\frac{1}{a^2} = \rho(\frac{1}{\varepsilon} + \frac{D}{Ed}). \tag{59}$$

Madhësia *a* është e rendit [8] [5]  $1000 \frac{m}{s}$ . Po të futen sipas ekuacioneve (15), (17), (18) madhësitë e paraqitura në njësi relative, konstanten e kohës  $T_c$  si edhe humbjet e fërkimit në tub, fitohen ekuacionet diferenciale që vijojnë, [15]

$$-\frac{\partial h}{\partial x} = T_c \frac{\partial L_c}{\partial t} + c_c \left| q_c \right| q_c$$
  
$$-\frac{\partial q_c}{\partial x} = \frac{T_c}{\left(2\rho_A\right)^2} \frac{\partial h}{\partial t}, \qquad me \qquad 2\rho_A = \frac{T_c}{T^*}.$$
 (60)

Madhësitë Elektrike	Ekuivalentet hidrike
u	h
i	<i>q</i>
$Z_{w0} / Z_m$	$2\rho_A$
$T^*$	$T^*$
$CZ_N$	$T^*$ / 2 $ ho_A$
$L/Z_N$	$T_{tp}$
$R/Z_N$	$c_{tp}  q_{tp}  o \sec_{tp0}$

Tab. 1 [8] Ngjashmëria ndërmjet linjave të transmetimit dhe tubave të presionit( $Z_r$  =vlera bazë e rezistencës së linjës elektrike,  $Z_{w0}$  rezistenca valore për  $\emptyset = \infty$ )

Fenomenet që ndodhin pas mbylljes së portës së ujit në turbinë janë fenomene valore mjaft të ngjashme me përhapjen e valëve bredhëse në linjat e gjata elektrike.

Prandaj u pa e arsyeshme që për të qartësuar ato t'i referohemi kësaj ngjashmërie [10]; për këtë qëllim shpejtësisë v të ujit, i vihet në përkatësi vala e rrymës I; rënies H tensioni U, ndërsa rezistencës Z ose R, hapja e portës së ujit ose e aparatit drejtuesY.

Ekuacionet (60) janë të ngjashëm me ekuacionet e linjave elektrike të dhëna me poshtë në qoftë së këto të fundit i sjellim në njësi relative bazë [16] [17] [10] [5] [18]

$$-\frac{\partial 1}{\partial x} = R'i + L'\frac{\partial i}{\partial t}$$
  
$$-\frac{\partial 1}{\partial x} = G'u + C'\frac{\partial u}{\partial t}.$$
 (61)

Rasti elektrik [16] që trajtohet i përgjigjet një linje homogjene me rezistencë valore  $Z_1$  në të cilën bien valë të vazhduara të tensionit dhe/ose të rrymës dhe kërkohet të përcaktohen valët e reflektuara si edhe ato shumare të tyre ose me fjale të tjera të llogaritet proçesi kalimtar për rastin kur në fund të saj është lidhur një rezistencë  $Z_2$ .Hapjes së portës do t'i përgjigjet rasti i linjës të hapur në fundin e saj $(Z_2 = 0)$ , ndërsa arritjes së valës në nivelin e sipërm të rezervuarit i përgjigjet rasti të linjës në lidhje të shkurtër  $(Z_2 \rightarrow 0)$ .

Sikurse në çdo proçes kalimtar në linja [16] tensioni dhe rryma në to përbëhet nga shuma e valës rënëse  $U_e$  ose  $I_e$  me atë të reflektuar  $U_r$  ose  $I_r$ .



Fig. 17 Vala  $\varphi_1$  bie në një linjë homogjene të konsumatorit Z2

Fig. 16 Skema e Petersenit.  $Z_1$  përfaqëson rezistencën e linjës homogjene,  $Z_2$  rezistencën e konsumatorit

$$U = U_e + U_r$$

$$I = I_e + I_r$$
(62)

Në Fig. 17 tregohet [16]vala rënëse, ndërsa në Fig. 16 skema ekuivalente e Petërsenit. Në bazë të skemës së Petërsenit kemi

$$I_2 = \frac{2 \cdot U_{e1}}{Z_1 + Z_2} \tag{63}$$

Vala e reflektuar e tensionit është

$$U_{r1} = U_{e1} - I_2 \cdot Z_1 = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \cdot U_{e1} = rU_{e1}$$
(64)

ku  $r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$ 

Ndërsa ajo e rrymës është

$$I_{r1} = -\frac{U_{r1}}{Z_1} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot I_{e1} = -rU_{e1}$$
(65)

Në çdo çast kohë në linjë tensioni dhe rryma do të gjenden si shumë algjebrike e valëve përkatëse rënëse me ato të reflektuarat.

$$U = U_{e1} + U_{r1} = \frac{2 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot U_{e1}$$
(66)

$$I = \frac{U_{e1} - U_{r1}}{Z_1} = \frac{2 \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot I_{e1}$$
(67)

Nga (64) vërejmë se kur  $Z_2 \rightarrow \infty$ , r=1 kështu që vala e reflektuar  $U_{r1}$  është e barabartë në vlerë me valën rënëse  $U_{e1}$  dhe ka shenjë pozitive; pra edhe sipas 62 tensioni i plotë në linjë merr vlerë sa dyfishi i valës rënëse  $U = 2 \cdot U_{e1}$ .

Në [16]Fig. 18 paraqitet fillimisht vala rënëse ende pa shkuar deri tek fundi i hapur i linjës, pastaj tregohet ajo pas reflektimit nga fundi i linjës së hapur.

Vala e plotë e tensionit në ketë rast është sa dyfishi i valës rënëse. Me fjale të tjera vala rënëse e presionit ruan vlerën e vetë deri sa shkon në fund tek porta e mbyllur (pra  $Z_2 \rightarrow \infty$ ), pastaj lëviz në kthim me vlerë sa dyfishi i vlerës fillestare.



Fig. 18 Rënia e valës së tensionit dhe të rrymës në linjën me rezistencë Z<sub>1</sub>. Në fund linja është e hapur Z<sub>2</sub>= $\infty$ grimcat e fundi të ujit kanë arritur në nivelin e sipërm të rezervuarit kjo i përgjigjet lidhjes së shkurtër të linjës  $Z_2 \rightarrow 0$  .dhe r = -1. Në këtë rast nga formula e ngjashme përkatëse që nxirret duke këmbyer vendet dhe indekset 2 me ato 1 në 64 do të dilte që vala e reflektuar e tensionit do të kishte shenjë negative, pra ajo tani do të ketë shenjë të kundërt me valën që vjen nga fundi i linjës për në krye të saj; kështu që kur vala e tensionit ka shkuar edhe një herë deri në fundin e çkyçur të linjës, tensioni i plotë do të bëhet sa vlera fillestare rënëse e saj. Veprojmë në mënyrë të ngjashme me valët rënëse dhe të reflektuar të rrymës që sipas ngjashmërisë i përgjigjen shpejtësisë të valëve përkatëse të lëvizjes së lëngut

Nga formula (65), kur  $Z_2 \rightarrow \infty$ , r = -1, vala e reflektuar e rrymës ka vlerë të barabartë me modulin e valës rënëse por me shenjë të kundërt, prandaj me përparimin e valës së reflektuar, rryma shumare në kthim bëhet zero. Kjo ndodh deri sa vala arrin nivelin e rezervuarit ku  $Z_2 \rightarrow 0$ Në këto kushte kur vala e presionit që vjen nga porta e hapur arrin sipërfaqen e sipërme të rezervuarit, meqënëse presioni në kollonën e ujit mbetet i ulët, vala e zakonshme me presion normal, niset përsëri nga sipërfaqja e sipërme e rezervuarit në drejtim të aparatit drejtues.

Kështu ndërmjet këtyre dy skajeve do të kemi valë bredhëse deri sa ato të shuhen për shkak të humbjeve në fërkim. Koha e nevojshme që vala të zhvendoset nga aparati drejtues deri në sipërfaqe të rezervuarit dhe kthimi mbrapsh deri tek aparati drejtues është  $t = 2 \cdot T_L$ .

#### 2.1.6.2 Modeli i tubit nën presion duke marrë parasysh elasticitetin

Nga ngjashmeria me linjat elektrike, në kushtet kur kemi kryer linearizimin e ekuacioneve, Fitojmë [8]:

$$h_{a} = h_{ae} + h_{ar}$$

$$h = h_{ae} e^{-(K+sT_{L})} + h_{ar} e^{K+sT_{L}} = h_{e} + h_{r}$$

$$q_{c} = \frac{h_{ae}}{2\rho_{A}} e^{-(K+sT_{L})} - \frac{h_{ar}}{2\rho_{A}} e^{K+sT_{L}}$$

$$q_{ca} = \frac{h_{ae}}{2\rho_{A}} - \frac{h_{ar}}{2\rho_{A}}.$$
(68)

ku  $h_a$  dhe  $q_{ca}$  janë energjia dhe fluksi i ujit në hyrje ndërsa h dhe  $q_{ca}$  ato në dalje të tubit nën presion.Shuarja e presionit të valës merret parasysh me bllokun  $e^{-\kappa}$ , që i përgjigjet bllokut  $e^{-\alpha l}$  të përcjellshmërisë elektrike.

$$\alpha l = \frac{R}{2Z_{w0}} \quad \rightarrow \quad K = \frac{c_{c0}}{4\rho_A} \tag{69}$$

Pas lëshimesh të arsyeshme fitojmë përfundimisht ekuacionet

$$q_{ca} = \frac{h}{2\rho_A} sT_L + q_c$$

$$h_a = h + sT_c q_{cm} + h_c$$
(70)

$$q_{cm} = \frac{1}{2} (\mathbf{q}_{cm} + \mathbf{q}_{c}) = \mathbf{q}_{c} + \frac{hsT_{L}^{2}}{2T_{c}}, \qquad \mathbf{h}_{c} = \mathbf{c}_{tp} \left| q_{cm} \right| q_{cm}^{-}.$$
(71)

Në bazë të ekuacioneve (70) dhe (71) nxirret bllokskema e dhënë në figurë i cili ka dhënë edhe rrezultate me të mira [8]. Në këtë model  $q_{ca}$  për shkak të ndikimit të vogël nuk merret parasysh edhe në këtë model frekuenca e lëkundjes bazë modelohet më saktë, në qoftë se bëhet zëvendësimi  $T^* = T2\sqrt{2\pi}$ 



Fig. 19 Funksioni transmetues i tubit nën presion duke marrë parasysh elasticitetin

#### 2.1.6.3 Modeli i plotë i sistemit hidraulik duke marrë parasysh edhe elasticitetin

Duke linearizuar [8] mardhëniet (70) dhe (71) dhe duke marrë  $T^*$  në vend të T, kemi

$$\Delta q_{ca} = \frac{sT_L^{*2}}{T_c} \Delta h + \Delta q_c$$
  

$$\Delta h_a = \Delta h + sT_c \Delta q_{cm} + c_{c0} \Delta q_{cm}$$
  

$$\Delta q_{cm} = \frac{1}{2} (\Delta q_{ct} + \Delta q_c).$$
(72)

Po të përjashtohen  $\Delta q_{cm}$  dhe  $\Delta q_{ca}$  fitohet funksioni transmetues i tubit nën presion me elasticitet

$$\Delta h = \frac{\Delta h_a - (c_{c0} + sT_c)\Delta q_c}{1 + \frac{c_{c0}T_L^{*2}}{2T_c}s + \frac{T_L^{*2}}{2}s^2} = \frac{\Delta h_a - (c_{c0} + sT_c)\Delta q_c}{K(s)}$$
(73)

Bllokskema [8] e dhënë me parë ka vlerë edhe në këto kushte. Ajo përfaqëson një përshtatje të modelit të ndërtuar më parë, por tani duke marrë parasysh e elasticitetin



Fig. 20 Modeli i plotë jolinear i nyjeve hidrike kur merret parasysh edhe elasticiteti

## 2.1.7 Analiza e turbinës ideale sëbashku me tubin nën presion

## 2.1.7.1 Rasti i turbinës ideale

Deri tani ne kemi parë modelet e nyjeve që shoqërojnë fluksin e ujit deri në turbinë. Tani do të analizojmë rastin më të thjeshtë kur të gjitha janë ideale: turbina, uji dhe tubi nën presion janë të pashtypshëm, dhe do të shohim sëbashku tubin nën presion me turbinën [10]; gjithashtu do të pranojmë që:

- 1. shpejtësia e ujit ndryshon në përpjestim të drejtë me hapjen e aparatit drejtues dhe me rrënjën katrore të rënies neto
- 2. fuqia në dalje e turbinës është në përpjestim të drejtë me prodhimin e rënies dhe të prurjes së ujit në një sekondë (ose shpejtësisë) dhe meqënëse jemi në rastin ideal, fuqia mekanike e turbinës është e barabartë me atë të ujit që futet në të  $P_m = P_{hyd}$

Ne mund të shkruajmë [10] [18]

$$V = K_v \cdot Y_T \cdot \sqrt{H} \tag{74}$$

ku

V është shpejtësia e ujit

 $Y_T$  pozicioni i aparatit drejtues

- *H* rënia e shfrytëzueshme
- $K_V$  konstante proporcionaliteti

Për ndryshime të vogla rreth pikës së punës, kemi

$$\Delta V = \frac{\partial V}{\partial H} \cdot \Delta H + \frac{\partial V}{\partial Y_T} \cdot \Delta Y_T$$
(75)

Duke zëvendësuar [10] [18]derivatët e pjesëshme të kryera mbi (74) dhe pastaj duke pjestuar me  $V_r = K_V Y_{Tr} \sqrt{H_r}$ , fitojmë

$$\frac{\Delta V}{V_r} = \frac{\Delta H}{2 \cdot H_r} + \frac{\Delta Y_T}{Y_{Tr}}$$
(76)

$$\Delta \nu = \frac{1}{2} \cdot \Delta h + \Delta y_T \tag{77}$$

Indeksi *r* tregon së flitet për vlerat bazë të punës normale, simboli  $\Delta$  për ndryshime të vogla të variablit përkatës, kurse kalimi nga gërma të mëdha në të vogëla tregon së kemi kaluar në njësi relative ndaj vlerave të vendosura të punës normale.

Fuqia mekanike e turbinës është në përpjestim të drejtë me prodhimin e presionit dhe shpejtësisë së ujit

$$P_m = K_p \cdot H \cdot V \tag{78}$$

Linearizojmë për zhvendosje të vogla dhe pastaj e normalizojmë duke pjestuar të dy anët me  $P_{m0} = K_p \cdot H_r \cdot V_r$ ; kështu fitojmë

$$\frac{\Delta P_m}{P_{mr}} = \frac{\Delta H}{H_r} + \frac{\Delta V}{V_r}$$
(79)

$$\Delta p_m = \Delta h + \Delta \nu \tag{80}$$

Duke zëvendësuar (77) tek (80) marrim

$$\Delta p_m = 1, 5 \cdot \Delta h + \Delta y_T \tag{81}$$

Duke zëvendësuar nga (77) tek (81), fitojmë

$$\Delta p_m = 3 \cdot \Delta \nu - 2 \cdot \Delta y_T \tag{82}$$

Prej (77) dhe (81), fitojmë:

$$T_{c} \cdot \frac{d\Delta v}{dt} = 2 \cdot \left(\Delta y_{T} - \Delta v\right) \tag{83}$$

$$\Delta \nu = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \cdot T_{tp} \cdot s} \cdot \Delta y_T \tag{84}$$

Zëvendësojmë  $\Delta v$  nga (84) tek (82dhe rigrupojmë kufizat

$$\frac{\Delta p_m}{\Delta y_T} = \frac{1 - T_c \cdot s}{1 + \frac{1}{2} \cdot T_c \cdot s}$$
<sup>(85)</sup>

Kjo na jep mardhënien ndërmjet fuqisë mekanike të turbinës ideale ndaj ndryshimit të hapjes së portës nga ana e aparatit drejtues ose e thënë ndryshe jep funksionin transmetues të turbinës ideale. Tani mund të thuhet edhe ndryshe pse fillimisht zvogëlohet fuqia e turbinës. Vërejmë se funksioni transmetues i dhënë më sipër ka një zero në gjysëm planin e djathtë të planit kompleks për  $s = 1/T_{tp}$ . Kjo në literaturë thuhet së paraqet sistem me fazë jominimale [5] [10].



Fig. 21 Përgjigja e plotë e fuqisë së turbinës kur ndodh hapja e menjëhershme e portës së ujit

Sjellja e sistemit për rastin kur aparati drejtues hapet menjëherë dmth kalon menjëherë nga gjendja zero në vlerën 1 ose kur në sistem vepron funksioni shkallë njësi, përgjigja mund të gjendet duke përdorur teoremën e vlerës fillestare

$$\Delta p_m(0) = \lim_{s \to \infty} s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1 - T_c \cdot s}{1 + 0.5T_c \cdot s} = -2 \tag{86}$$

dhe atë të vlerës përfundimtare

$$\Delta p_m(\infty) = \lim_{s \to 0} s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1 - T_c \cdot s}{1 + 0.5T_c \cdot s} = 1$$
(87)

Përgjigja e plotë do të jetë

$$\Delta p_m(t) = \left[1 - 3 \cdot e^{-(2/T_c) \cdot t}\right] \cdot \Delta y_t \tag{88}$$

dhe ka pamjen si në Fig. 21. Për nxjerrjen e kësaj varësie është pranuar një vlerë e konstantes së kohës psh  $T_c = 4$ . Kur ndodh hapja e menjëhershme e portës së ujit ose kalimit të aparatit drejtues nga vlera zero në atë 1, shtësa e fuqisë së turbinës në vend që të rritet, zvogëlohet në një masë mjaft të madhe duke marr vlerën -2 në njësi relative. Më pas ajo rritet në formë eksponenciale me konstante kohë  $T_c / 2$  deri sa arrin gjendjen e re të vendosur në vlerën 1 në njësi relative. Siç thamë me sipër hapjes së menjëhershme të portës duke hapur aparatin drejtues nuk i përgjigjet rritja e menjëhershme e fluksit të ujit, për shkak të inercisë të tij. Si rrjedhojë presioni i ujit nëpër turbinë zvogëlohet, dhe me këtë zvogëlohet përkatësisht edhe fuqia e saj. Pas këtij çasti fillestar, uji përshpejtohet hap pas hapi deri sa arrin gjendjen e re të vendosur që i përgjigjet edhe gjendjes së re të vendosur të fuqisë së turbinës.



Reduktimi me hop i hapjes se portes

Fig. 22 Varësite e fuqisë, rënies dhe shpejtësisë së ujit per rastin kur porta mbyllet ne masën 0.1 në njësi relative kur konstantja e kohës  $T_c = 1$ 

Në Fig. 22 jepen [10] varësitë e fuqisë, rënies dhe shpejtësisë së ujit për rastin kur porta mbyllet në masën 0.1 në njësi relative dhe konstantja e kohës është  $T_c = 1$ .



Fig. 23 Qark elekrik i lidhur ne seri me një burim tensioni te vazhduar

Rasti është krejt i ngjashëm [10]me qarkun elektrik R, L të lidhur në seri (Fig. 23) me një burim tensioni të vazhduar. Duke patur parasysh ligjin e komutimit sipas të cilit rryma në një induktor nuk mund të ndryshoj me hop si edhe mardhëniet

$$I = U / R \tag{89}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{1}{L} \left( E_0 - U \right) \tag{90}$$

$$P = U \cdot I \tag{91}$$

mund të vërehet lehtë që me rritjen e menjëhershme të rezistencës R, rryma nuk ndryshon në çast, por do të zvogëlohet gradualisht në mënyrë eksponenciale. Për një rezistencë R të caktuar, konstantja e kohës së zvogëlimit eksponencial të rrymës përcaktohet nga induktiviteti L i bobinës. Tensioni në rezistencë do të rritet menjëherë, për shkak të rritjes së rezistencës; kjo bën që edhe fuqia fillimisht të rritet. Përgjigjet e l, U dhe P u përgjigjen përkatësisht ndryshimit të shpejtësisë, rënies dhe pozicionit të aparatit drejtues.

#### 2.1.7.2 Rasti i turbinës joideale

Le të shohim rastin kur hapja  $y_T$  e aparatit drejtues është në përpjestim të drejtë me sipërfaqen efektive të prerjes tërthore të hapjes të portës.

Funksioni transmetues i turbinave joideale mund të nxirret [10] [5], duke u nisur nga shprehja e përgjithshme që vijon

$$\Delta v = a_{11} \cdot \Delta h + a_{12} \cdot \Delta \omega + a_{13} \cdot \Delta y_T \tag{92}$$

$$\Delta p_m = a_{21} \cdot \Delta h + a_{22} \cdot \Delta \omega + a_{23} \cdot \Delta y_T \tag{93}$$

Meqënëse ndryshimi i shpejtësisë është i vogël veçanërisht kur njësia është e sinkronizuar me një sistem të fuqishem, kufiza e dytë mund të mospërfillet.

Në këto kushte mund të shkruhet

$$\Delta v = a_{11} \cdot \Delta h + a_{13} \cdot \Delta y_T$$

$$\Delta p_m = a_{21} \cdot \Delta h + a_{23} \cdot \Delta y_T$$
(94)
(95)

Ku koeficientët  $a_{ij}$  janë derivatët e pjesshme të shpejtësisë dhe të fuqisë mekanike përkatësisht ndaj ndryshimit të rënies h, dhe ndryshimit të pozicionit të aparatit të drejtimit  $y_T$ . Përderisa varësitë janë jolineare, vlera e koefiçentëve varet nga pika e punës së turbinës dhe mund të vlerësohen nga karakteristikat e turbinës në pikën e punës.

Duke zëvendësuar (77) dhe (81) përkatësisht me (94) dhe (95), funksioni transmetues merr pamjen:

$$\frac{\Delta p_m}{\Delta y_T} = a_{23} \frac{1 + (a_{11} - a_{13} \cdot a_{21} / a_{23}) \cdot T_{p} \cdot s}{1 + a_{11} \cdot T_p \cdot s}$$
(96)
Koefiçentët a ndryshojnë në kufinj të gjërë nga njëri tip në tjetrin. Për një turbinë Francis pa humbje ato marrin vlerat [10].( $a_{11} = 0, 5, a_{13} = 1, a_{21} = 1, 5$  dhe  $a_{23} = 1, 0$ ); kurse në [19] jepen vlerat tipikë të këtyre koefiçentëve për një turbinë me fuqi 40MW për rastin e punës pa ngarkesë dhe me ngarkesës nominale.

Në të vërtetë sipërfaqja e prerjes tërthore efektive e portës A (në njësi relative) është një funksion jolinear ndaj hapjes  $y_T$  të aparatit drejtues.

$$A = f(\mathbf{y}_T) \tag{97}$$

Kjo varësi do të shihet në kapitujt pasardhës.

# 2.2 Rregullatori i shpejtësisë

## 2.2.1 Puna në ishull dhe rregullumi në Centrale

Në qoftë se një Central furnizon i vetëm një ngarkesë atëherë fuqia e prodhuar duhet t'i përshtatet vazhdimisht ngarkesës. Ku kriteret që i vendosen centralit janë mbajta konstante e frekuencës të rrjetit dhe tensionit nëpërmjet rregullimit përkatës (Fig. 24). Frekuenca e rrjetit, të paktën në ngarkesat pasive, përcaktohet nga numri i rrotullimeve i agregatit sinkron. Ky përcaktohet nga rregullatori i shpejtësisë i cili nëpërmjet furnizimit me lëndë djegëse ose me ujë, mundohet të ruajë numrin e rrotullimeve të rotorit konstante. Qëndrueshmëria e tensionit realizohet nëpërmjet rregullatorit të tensionit, i cili përcakton rrymën e eksitimit, dhe si rrjedhojë e tensionin në bornat e gjeneratorit [17].

Sjellja e agregatit në ishull është interesante për dy arsye:

Së pari sepse në raste emergjence puna në ishull është vërtetë e mundur, si psh. kur ikën ushqimi kryesor në një impjant të rëndësisë të lartë edhe gjeneratori diesel duhet të furnizojë impjantin me energji [17].

Së dyti sepse çdo rrjet, rrjeti kombëtar i transmetimit OST ose edhe gjithë rrjeti i bashkuar evropian ENTSO-E, në një përafrim të madh, të paktën në lidhje me frekuencën, sillet si një sistem në ishull, fuqia e gjeneratorit të së cilit është shuma e gjithë fuqive të centraleve edhe ngarkesa është shuma e të gjithë ngarkesave së bashku.



*Fig. 24 Rregullatori i shpetësisë të agregatit sinkron* **2.2.2** Sjellja kalimtare

Në vijim do shohim sjelljen e frekuencës të agregatit që është duke punuar pa ngarkesë dhe i kyçim një ngarkesë pasive.

## 2.2.3 Sjellja e frekuencës

Frekuenca është ekuivalente me numrin e rrotullimeve të agregatit. Në rastin më të thjeshtë jepet numri i rrotullimeve nga ekuacioni (98) [17]

$$J\frac{d\omega_m}{dt} = M_t - M - M_v \tag{98}$$

Ku

M = Është momenti elektrik i frenimit që varet nga rendimenti i tij

 $M_t$  = Momenti rrotullues që zhvillon turbinë

 $M_{\nu}$  = Momenti i humbjeve të turbinës i cili merr parasysh, humbjet e punës pa ngarkesë mekanike dhe magnetike të grupit gjenerator sinkron dhe turbinë.

J = Moment i inercisë i grupit

Gjatë punimit pa ngarkesë është M = 0. Momenti i turbinës mbulon vetëm humbjet pa ngarkesë. Meqë këto konsiderohen të vogla mund të themi që në përafrim momenti i turbinës është zero edhe sasia e ujit që nevojitet për të rrotulluar turbinën është shumë e vogël.

Kur kyçim një ngarkesë aktive kërcen momenti M tek vlera përkatëse e ngarkesës. Ndërkohë që momenti i turbinës në çastin e parë ngelet i ndryshuar. Prandaj vlen shprehja:

$$J\frac{d\omega_m}{dt} = -M \longrightarrow \frac{d\omega_m}{dt} = \frac{-M}{J}$$
<sup>(99)</sup>

Numri i rrotullimit të agregatit bie në formë lineare me pjerrësinë  $M/_J$ . Sapo rregullatori i shpejtësisë të kuptojë devijimin, ai do të rrisi lëndën djegëse ose ujin në mënyrë që momenti i turbinës të rritet, deri sa të arrijë shpjetësinë e kërkuar prapë. Proçeset që ndodhin gjatë kyçjes të ngarkesës tregohen në Fig. 25. Shpejtësia arrin vlerën e kërkuar, kur integrali sipas kohës i devijimit të shpejtësisë bëhet zero. Kur kemi një çkyçje ngarkese invertohen vetëm shenjat para momentit dhe shpejtësisë të rrotullimit [17].

Një luhatje e përkohshme shpejtësie edhe si pasoje edhe e frekuencës nuk mund të menjanohen. Por kjo është po aq më e vogël, sa më e vogël është luhatja e ngarkesës në krahasim me fuqinë e gjeneruar edhe sa më mirë është programuar rregullatori i shpejtësisë. Rrjetet e forta kanë një mbajtje frekuence shumë më të mirë së sa rrjetet e vogla në ishull, meqë mundësia e një devijimi ngarkese, të madhe në përqindje, është me e vogël së në rrjetet e vogla. Një avari e një centrali të madh prej 1000 MW në rrjetin ENTSO-E me një fuqi të përgjithshme prej më shumë se 200 000 MW (0.5 % e fuqisë të plotë) mund të suportohet lehtë. Në një rrjetë që punon në ishull me një fuqi prej 10 MW, kyçja e një konsumatori industrial prej 500 kW (5% e fuqisë) jep përkohësisht një luhatje të ndjeshme të frekuencës [17].

Kyçja e një ngarkese reaktive, praktikisht nuk ka ndikim tek shpejtësia e rrotullimit, meqë nuk ka fuqi aktive të kërkuar ( $\cos \varphi = 0$ ) dhe rrjedhimisht nuk kemi moment frenimi në bosht të gjeneratorit [17].



Fig. 25 Devijimi i shpejtësisë(frekuencës) kur kycet ngarkesa

#### 2.2.4 Shpërndarja e ngarkesës aktive për agregatët të lidhur në parallel

Në Fig. 27a) shpejtësia e agregatit mbahet në formë absolute konstante ndërmjet punës pa ngarkesë (0) dhe ngarkesës të plotë (1) (rregullimi jostatik). Në këtë rast një punim në paralel i qëndrueshëm nuk është i mundur, meqë për ndryshime të vogla ndërmjet agregatëve dhe rregullatorëve, ndryshon karakteristika e shpërndarjes të ngarkesës. Në Fig. 27 b) tregohet karakteristika kur *statika* merr vlerën 5 %, që domethënë ndërmjet punës pa ngarkesë (0) dhe ngarkesës të plotë (1) kemi një rënie të shpejtësisë prej 5 %. Shpërndarja e ngarkesës është në këtë rast uniformë dmth.  $P_1 \approx P_2$  me fuqi të plotë  $P_1 + P_2 = P_L$  ku  $P_L =$  fuqia e plotë. Në këtë rast do luhatej edhe frekuenca e rrjetit në ishull ndërmjet punës pa ngarkesë edhe me ngarkesë me 5%. Një luhatje e tillë nuk është e tolerueshme pasi kërkesat ndaj frekuencës janë që mos të ketë luhatje më të mëdhaja së disa të mijtat e saj. Në praktikë për të eleminuar këtë efekt përdoret rregullimi sekondar ose i thënë ndryshe edhe rregullimi fuqi frekuencë, i cili merr parasysh edhe fuqinë e parashikuar të këmbimeve me vendet fqinjë. Duhet përmendur që rregullatori i shpejtësisë por duke dhënë një pikë të re punë për centralin përkatës, i cili me anë të rregullatori lokal të fuqisë jep një pikë pune të re për rregullatorin primar të shpejtësisë [17].





b) Karakteristika statike e rregullatorit

#### 2.2.5 Centralet pjesmarrëse në rregullim

Jo të gjithë centralet marrin pjesë në rregullim por vetëm centralet të caktuara si të tilla. Kështu p.sh. hidrocentralet që varen nga prurja e lumit (pa pellg ujëmbledhës), duhet të shfrytzojnë ujin që kanë në dispozicion, dhe të prodhojnë energjinë përkatëse. E njëjta gjë vlen për TEC-et e mëdha të cilët duhet për arsye ekonomike duhet të punojnë me rendiment maksimal pa u aktivizuar në rregullim. Vetëm Centralet e rregullimit kanë një karakteristikë të statikës prej 5%, siç u tha më lart. Centralet e tjera kanë një karakteristikë të pandryshushme shumë më të pjerrët, e cila e mban fuqinë në formë automatike tek vlera e kërkuar [17].



Fig. 28 karakteristika e rregullimit a) Central rregullator me karakteristikë statike te spostueshme 5%

b) Central me fuqi konstante

## 2.2.6 Rregullimi i shpejtësisë dhe rregullimi fuqi frekuencë

Pikat kryesore për një furnizim cilësor me energji elektrike janë siguria e furnizimit dhe kualiteti i tensionit, dmth. ruajtja e gjithë cilësive të tensionit, si frekuenca, amplituda, forma dhe simetria. Në këtë nënkapitull do trajtojë problemin e ruajtjes konstante të frekuencës.

Devijime të frekuencës ndodhin për shkak të ndryshimeve të vazhdueshme të frekuencës ose për shkak të avarive në sistem edhe ato duhet të korigjohen nga automatika në formë të menjëhershme duke përshtatur fuqinë e furnizuar nga turbinat. Kjo gjë realizohet nëpërmjet rregullimit sekondar LFC (Load Frequency Control) dhe tercial në system. Rregullimi sekondar në rastin tonë realizohet nëpërmjet softit *Network Manager* të instaluar në qëndrën dispecer, i cili llogarit një pikë të re punë të agregatëve në rregullim, në bazë të shkëmbimeve aktuale me vendet fqinjë dhe skedulimit të parashikuar nga dispeçerat. Rregullimi tercial presupozon veprim manual nga operatorët e qëndrëns dispeçer, të cilët në rast defiçit të ndjeshëm shkëmbimi, aktivizon rezervat manuale, duke urdhëruar operatorët nëpër centralet gjeneruese për të sinkronizuar agregatë të rinj [20].

## 2.2.7 Rregullatori i shpejtësisë ose rregullimi primar

Sipas [20] qarku i mbyllur i linearizuar i rregullatorit të shpejtësisë, i cili i neglizhon efektet e vogla anësore, mund të jepet nga bllokskema në Fig. 29. Efektet e vogla anësore si efekti i vetërregullimit<sup>1</sup> ose furnizimi i dy agregatëve nga një tub i përbashkët, e influencojnë vetëm pak rregullatorin e shpejtësisë.

Rregullatori i shpejtësisë bashkë me (motorin hidraulik) servomotorin me përforcuesin e fuqisë jepet nga funksioni transmetues R(s), ky urdhëron (komandon) përqindjen e hapjes të turbinës

*a* dhe si pasojë edhe fuqinë e saj. Funksioni i transmetimit  $G_t(s)$  përfaqëson nyjet hidraulike që janë trajtuar në nënkapitullin përkatës [20]. Per thellime te metejshme [21] [22] [23] [24] [22]

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Efekti i vetërregullimit të ngarkesës shpjegohet si vijon: me rritjen e ngarkesës e cila në praktikë është gjithmonë aktivo-induktive kemi një ulje të tensionit dhe si pasojë e uljes te tensionit kemi edhe një rënie të ngarkesës e cila varen nga tensioni, pra kemi një efekt vetërregullimi. Ky efekt duhet marrë parasysh ne punën në ishull pasi në një sistem të fortë ky efekt është i papërfillshëm.



Fig. 29 Bllokskema e rregullatorit te shpejtesisë

Duke u bazuar në teorinë e rregullimit automatik [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32]nga Fig. 29 nxjerrim funksionin e transmetimit të qarkut të hapur [20]:

$$G_0 = R(s) \cdot G_t(s) \frac{1}{T_m s}$$
<sup>(100)</sup>

Ndërsa funksioni i drejtëpërdrejtë i transmetimit është:

$$G_{drejt} = \frac{\Delta n}{\Delta n_{duhet}} = \frac{G_0}{1 + G_0} \tag{101}$$

Duke zëvendësuar funksionin e transmetimit të qarkut të hapur në atë të drejtpërdrejtë marrim:

$$\frac{\Delta n}{\Delta n_{duhet}} = \frac{R(s) \cdot G_t(s)}{R(s) \cdot G_t(s) + T_m s}$$
(102)

Ndërsa funksioni i transmetimit të gabimit jepet nga:

$$G_{g} = \frac{\Delta n}{\Delta P} = \frac{G_{direkt}}{1 + G_{0}} = \frac{\frac{1}{T_{m}s}}{1 + R(s)G(s)\frac{1}{T_{m}s}}$$
(103)

nga ku arrimë në përfundimin:

$$G_g = \frac{\Delta n}{\Delta P} = \frac{1}{T_m s + R(s)G(s)}$$
(104)

Nga funksioni i transmetimit të gabimit dhe të qarkut të hapur ne mund të shprehim mardhënien e gjithë bllokskemës si vijon [20]:

$$\Delta n = \frac{R(s) \cdot G_t(s)}{R(s) \cdot G_t(s) + T_m s} \cdot \Delta n_{duhet} - \frac{1}{R(s) \cdot G_t(s) + T_m s} \cdot \Delta p \tag{105}$$

Për rastin kur sistemi rregullimit automatik të shpejtësisë është në gjendje të vazhduar mund të shkruajmë mardhëniet:

$$\Delta p = \Delta p_t = R(0) \cdot G_t(0) \cdot (\Delta n_{duhet} - \Delta n) = \frac{1}{\sigma} (\Delta n_{duhet} - \Delta n)$$
(106)

nga ku marrim me

$$\Delta n = \Delta n_{dhene} - \boldsymbol{\sigma} \cdot \Delta p \tag{107}$$

karakteristikën statike të rendimentit të rregullatorit të shpejtësisë [20]. Madhësia  $\sigma = \frac{1}{R(0)G(0)}$  është statika e qëndrueshme e rregullatorit të shpejtësisë ose shkurt statika. Nga teoria e rregullimit automatik shohim çfarë forme duhet të marë prodhimi  $R(s) \cdot G_r(s)$  në mënyrë që qarku i rregullimit të sillet sipas kërkesave tona. Për një sistem rregullator turbinë të rendit të dytë funksioni transmetues i turbinës do dukej si mëposhtë:

$$G_{c}(s) = \frac{R(s) \cdot G_{t}(s)}{R(s) \cdot G_{t}(s) + T_{m}s} = \frac{1 + sT_{d}}{1 + \frac{2\zeta}{\omega_{0}} + \frac{s^{2}}{\omega_{0}^{2}}}$$
(108)

9

Ku  $\omega_0$  është frekuenca e rezonancës (që është e njëjtë me frekuencën e qarkut të hapur),  $\zeta$  është koefiçienti i amortizimit dhe  $\omega_0^2 T_d$  tregon pjerrësinë fillestare të përgjigjes të rregullatorit. Nga formula me lartë (108) marrim përgjigjen:

$$R(s) \cdot G_{t}(s) = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{1 + sT_{d}}{1 + sT_{1}} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{\frac{1}{T_{d}} + s}{\frac{1}{T_{1}} + s}$$
(109)

Kalimi në planin e kohës të funksionit transmetues  $R(s) \cdot G_r(s)$  na jep:

$$T = \frac{1}{\sigma \omega_0^2 T_m}, \sigma_t = \sigma \frac{T_1}{T_d} = \frac{1}{\omega_0 T_m (2\zeta - \sigma \omega_0 T_m)}$$
(110)

Madhësia  $\sigma$  quhet statika kalimtare edhe është reciproke me limitin e  $_{R(s) \cdot G_{r}(s)}$  kur  $s \longrightarrow \infty$ . Shpejtësia e rregullimit  $\omega_{0}$  vendoset në përgjithësi në atë formë që me përafërsi të vlej mardhënia:

$$\mathbf{G}_{t}(s) = \mathbf{G}_{t}(0) = \mathbf{K} \tag{111}$$

Për të realizuar këtë kërkesë në Hidrocentralet  $\mathcal{O}_0$  duhet të jetë shumë më e vogël se konstantja

e kohës të tubit me presion  $\frac{1}{T_{tp}}$ .

Dhe meqë  $G_t(s) \longrightarrow K$  funksioni transmetues i rregullatorit është

$$R(s) = \frac{1}{\sigma K} \cdot \frac{1 + sT_d}{1 + sT_1}$$
(112)

Realizimi praktik i rregullatorit në hidrocentrale shpesh jep një funksion transmetues të tipit:

$$R(s) = \frac{1}{\sigma K} \cdot \frac{1 + sT_d}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)}$$
(113)

Ku konstantja e kohës  $T_2$  ka efekt të vogël në shpejtësinë e përgjithshme të rregullatorit [20].

#### 2.2.8 Turbinat e ujit

Një bllokskemë e përdorur shpesh në turbinat me ujë [20] tregohet në Fig. 30. Diferenca e vlerës të dhënë me vlerën aktuale i dërgohet sërvomotorit ndihmes me lidhje të kundërt, i cili e pason sinjalin tek sërvomotori kryesor, pozicioni i të cilit komandon hapjen e aparatit drejtues nëpërmjet karakteristikës jolineare të aparatit drejtues. Përforcimi  $\frac{1}{T_s}$  i servomotorit kryesor në përgjithësi nuk është linear për të kompesuar efektin jolinearizues të aparatit drejtues. Sikurse nisja ashtu edhe shpejtësia përfundimtare e servomotorit kryesor kufizohen. Si karakteristika statike ashtu edhe dinamika e rregullimit përcaktohen kryesisht nga lidhja e kundërt e qëndrueshme si edhe nga ajo kalimtare. Nga skema marrim funksionin transmetues



Fig. 30 Rregullatori i shpejtësisë i një turbine me ujë

$$R(s) = \frac{\Delta a}{\Delta (n_{dhene} - n)};$$

$$R(s) = \frac{1}{\sigma K} \cdot \frac{1 + sT_d}{1 + s(T_d \frac{\sigma_t}{\sigma} + \frac{T_s K_p}{\sigma}) + s^2 \frac{T_s K_p}{\sigma} (T_p + T_d) + s^3 \frac{T_p T_d T_s K_p}{\sigma}}{\sigma}$$
(114)

Meqë konstantja e kohës  $T_p = \frac{T_x}{K_p}$  është e vogël mundemi t'a thjeshtojmë atë duke kaluar nga funksioni transmetues i rendit të tretë në funksionin transmetues të rendit të dytë (115) ku me përafrim mund të themi që  $T_x = T_s K_p \ll T_d \sigma_t$ :

$$R(s) = \frac{1}{\sigma K} \cdot \frac{1 + sT_d}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)}$$
(115)

Me madhësinë  $y_0$  Fig. 30 jepet pozicioni që duhe të të mari aparati drejtues që t'i përgjigjet shpejtësisë të kërkuar të rotorit të turbinës. Për shkak të varësisë të vogël të funksionit transmetues  $G_t(s)$  nga frekuenca mundet që marxhi fazor i rregullimit të jetë më i vogël seç duhet edhe si pasojë përgjigjja e sistemit të rregullimit të ketë një amortizim të vogël edhe një sjellje me karakteristikë luhatëse, megjithëse është stabile. Për të menjanuar këtë efekt mund të rritet stabiliteti duke shtuar një faktor proporcional  $\frac{1}{K}$  para rregullatorit.

Sikur kemi shtjelluar me parë, që mos të kemi grusht hidraulik, duhet të ulet shpejtësia me të cilën zvogëlohet prurja e ujit në tubin me presion. Në rastin e një turbinë francis kjo realizohet

nëpërmjet një rregullatori presioni i cili në rast se kalohet shpejtësia kritike e servomotorit kryesor (e cila është ekuivalente me pozicionin e servomotorit ndihmës) e kalon një pjesë të ujit nëpërmjet rregullatorit të presionit. Një skemë tipike [20] e rregullatorit të presionit jepet në Fig. 31.



Fig. 31 Bllokskema tipike e një regullatori presioni te një turbine francis

## 2.3 Analiza e gjeneratorit sinkron

## 2.3.1 Çështje të përgjithshme

Gjeneratorët sinkron, transformatorët trefazor dhe linjat e transmetimit [33] përbëjnë nyjet kryesore të sistemit elektroenergjitik. Gjeneratori sinkron shëndron fuqinë mekanike të turbinës  $p_T$  në fuqi elektrike  $p_e$  dhe kështu ai është një nyje lidhëse ndërmjet njësisë së prodhimit dhe rrjetit të transmetimit të energjisë elektrike. Hidrogjeneratorët, për shkak të shpejtësisë së ulët përgatiten me pole të dukshme. Në stator ata përmbajnë tri pështjella të sfazuara në hapësirë për 120<sup>°</sup>, ndërsa në rotor zakonisht përveç pështjellës së eksitimit që ushqehet me rrymë të vazhduar përmbajnë (ose që mund të trajtohen si të tilla) edhe pështjellën e qetësimit gjatësor dhe atë tërthor.

Qëllimi ynë është të analizojme proçeset fizike që ndodhin në gjeneratorin sinkron në bazë të të cilave të mund të ndërtojmë ekuacionet që lidhin këto madhësi me ndikim në punën e tij. Me pas në bazë të këtyre ekuacioneve të ndërtojmë modelin që përafron atë në mënyrë të kënaqshme në proçesin llogaritës. Gjatë analizës së gjeneratorit sinkron, për ta bërë atë të zgjidhshëm, bëhen një sëri lëshimesh [34] [35]. Në analizën e mëposhtme do të pranohen lëshimet që vijojnë:

- Qarku magnetik i gjeneratorit sinkron pranohet i pangopur; kjo sjell si rrjedhoj që varësia e flukseve magnetike nga rryma elektrike është lineare dhe mund të zbatohet kështu edhe parimi i mbivendosjes
- Pështjellat e statorit dhe të rotorit që janë në fakt të shpërndara në hapësirë, zëvendësohen me pështjella të përqëndruara.
- Humbjet e fuqisë aktive në qarkun magnetik pranohen të papërfillshme.
- Induksioni magnetik në hapësirën ajerore të gjeneratorit sinkron, sikurse edhe format e tensionit ose të rrymës pranohen së ndryshojnë sipas ligjit sinusoidal.
- Rezistencat aktive dhe reaktive të pështjellave të makinës pranohen të pavarura nga temperatura dhe frekuenca;në mënyrë të veçantë nuk përfillet fenomeni i efektit sipërfaqësor.

Praktika tregon së gabimet që shkaktojnë lëshimet e mësipërme zakonisht janë të pranueshme.

2.3.2 Sistemet e përdorshme të koordinatave në analizën e gjeneratorit sinkron

Në [34] trajtohen hollësisht koordinatat e përdorshme gjatë analizës së proçeseve në gjeneratorët sinkron. Ato janë 1) abc, 2) odq, 3) OXR.

Koordinatat *abc* përfaqësojnë tre akse të palëvizshem ndaj statorit dhe të zhvendosur për 120<sup>°</sup> njëri nga tjetri. Analiza në ketë sistem mundëson konceptimin më të lehtë të proçeseve, por zgjidhja e disa problemeve në bazë *vetëm* të këtij sistemi paraqet vështirësi të mëdha shpesh të pakapërcyeshme.

Sistemi i dytë përmban dy koordinata d dhe q të zhvendosura për 90° njëra nga tjetra dhe që rrotullohen me shpejtësin të barabartë me atë të rotorit. Komponentja  $\theta$  në vektorin përkatës shtyllor përfaqëson komponenten nuleare, e cila nuk mund të paraqitet në vektorin hapësinor. Sistemi i tretë XR përmban po ashtu dy koordinata X dhe R të zhvendosura për 90° njëra nga tjetra por që rrotullohen me shpejtësi sinkrone. Edhe këtu komponentja  $\theta$  në vektorin përkatës shtyllor përfaqëson komponenten nuleare, e cila nuk mund të paraqitet në vektorin hapësinor. Ky system i tretë ka një përparësi mjaft të madhe, qoftë edhe me sistemin e dytë, sepse dukuritë fizike [34] në sistemin elektroenergjitik mund të analizohen në koordinata vetiake dq për çdo gjenerator dhe në të njëjtën kohë të kalohen në një këndvështrim të përbashkët, duke përballuar kështu vështirësitë që lindin nga fakti që çdo gjenerator sinkron ka dinamiken e tij, kurse rrjeti trefazor është statik.

## 2.3.3 Vektorët hapësinor kompleks të sistemit trefazor

Në analizën e proçeseve në makinën sinkrone një vend të rëndësishëm zenë vektorët hapësinor; më poshtë do të jepet kuptimi i këtyre vektorëve.

Le të kemi një sistem trefazor simetrik. Flukset magnetike [36] [37] me amplitudë  $\Psi_m$  të çdo fazë të statorit, me lëshimet që kemi pranuar, ndryshojnë po ashtu në mënyrë sinusoidalë dhe janë të zhvendosur për 120° njëra nga tjetra. Nga mbledhja gjeometrike në hapësirë e këtyre flukseve magnetike përftohet një fluks shumar me amplitudë të barabartë me  $3/2 \cdot \Psi_m$  si vijon

$$\dot{\psi}_{\Sigma} = \psi_a + a \cdot \psi_b + a^2 \cdot \psi_c = \frac{3}{2} \cdot \psi_m \cdot e^{j\omega t}$$
(116)

ku  $a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j \cdot \sqrt{\frac{3}{2}}$ 

Është e qartë së vektori hapësinor i fluksit magnetik  $\dot{\psi}_{\Sigma}$  përfaqëson një vektor që rrotullohet me shpejtësi këndore  $\omega$  në kahjen antiorare.

Në qoftë se këtë vektor e pjestojmë me 3/2 fitojmë vektorin e fluksit magnetik të njërës fazë psh fazës a. Ky vektor quhet vektori hapësinor i Blondelit për fluksin magnetik. Në mënyrë të ngjashme fitohen vektorët hapësinor të Blondelit edhe për rrymat ose tensionet.

Kështu me vlerat e çastit të rrymave të sistemit trefazor  $i_a, i_b, i_c$ , mund të ndërtohet vektori hapësinor [34] i Blondelit  $i^B$  që ka pamjen:

$$i^{B} = \frac{2}{3} \left[ i_{a} + a \cdot i_{b} + a^{2} \cdot i_{c} \right]$$
(117)

Indeksi B na tregon se kemi të bëjmë me vektorin hapësinor të Blondelit dhe se ai është i përcaktuar në sistemin koordinativ të palëvizshëm(në lidhje me statorin) *abc*. Në rastin e përgjithshëm ky vektor hapësinor ndryshon në kohë si gjatësinë edhe pozicionin .Sikurse u tha me sipër, në rastin e sistemit trefazor simetrik ky vektor hapësinor ka modul konstant dhe të barabartë me rrymën fazore,ndërsa këndi ndryshon me shpejtësi këndore  $\mathcal{O}$  në kahjen antiorare.

$$\dot{c}^{B} = I_{f} \cdot e^{j\omega t} \tag{118}$$

Meqënëse vektori hapësinor sipas (117), bazohet në vlerat e çastit të rrymës, atëherë atë mund ta përdorim jo vetëm për gjendje të stabilizuar, por edhe për çdo proçes kalimtar. Po qe se rryma nuk e përmban komponenten nuleare dmth ka vend mardhënia

$$\dot{i}_a + \dot{i}_b + \dot{i}_c = 0 \tag{119}$$

atëherë, ky vektor hapësinor e përshkruan plotësisht sistemin trefazor. Në shumicën e rasteve, këto komponentë nuleare janë zero, meqënëse pështjellat e gjeneratoreve sinkron nuk lidhen në trekëndësh por në yll dhe të cilat nuk e përmbajnë përcjellsin neutral [38]. Kur këto komponente ekzistojnë ato duhet të merren parasysh në mënyrë të vecantë. Megjithatë duhet thënë së në rast së vleftat fazore të çastit janë periodike, por përmbajnë komponentët e renditjes së drejtë, të kundërt dhe nuleare (gje që ka vend në regjimin asimetrik të vendosur apo kalimtar) ato mund të simetrizohen sipas metodës së komponentëve simetrikë. Mund të thuhet gjithashtu [34] se komponentët e renditjes së kundërt dhe renditjes nuleare janë në përpjestim me komponenten e renditjes së drejtë dhe koefiçenti i proporcionalitetit nuk varet nga koha.

Nga sa u tha më sipër arrimë në përfundimin se llogaritja e proçesit kalimtar në rastin e përgjithshëm të asimetrisë në rrjetin trefazor mund të reduktohet në llogaritjen e proçesit kalimtar të vektorit simbolik fazor të renditjes së drejtë (të fazës *l* e cila merret si fazë bazë për zbërthimin në komponentë simetrike).

Është e qartë së vektorët hapësinor mund të përdoren edhe për madhësitë e tjera të sistemit trefazor.

Vektori hapësinor i Blondelit krahas përparësisë që lidhet me interpretimin e lehtë fizik të tij [34], ka edhe të meta:

- mosruajtja e parimit të reciprocitetit ndërmjet rotorit dhe statorit tek gjeneratori sinkron
- nuk ruan të ashtuquajturën invariabilitet të formulës së fuqisë

Për të mënjanuar këto të meta, përdoret vektori hapësinor i Parkut.

Po të merret përsëri si shembull rryma,ky vektor llogaritet si më poshtë:

$$i^{P} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \left(i_{a} + a \cdot i_{b} + a \cdot i_{c}^{2}\right)$$
(120)

Nga një krahasim i thjeshtë mund të vërehet lehtë së vektori hapësinor i Blondelit dhe ai i Parkut lidhen ndërmjet tyre si vijon

$$i^P = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \cdot i^B \tag{121}$$

(122)

# 2.3.3.1Transformimi i njëvlershëm nga një sistem koordinativ këndrejtë në një tjetër këndrejtë

Për të lehtësuar analizën dhe modelimin e proçeseve të ndryshme fizike është e përshtatshme që ekuacionet fillimisht të shkruhen në sistemin koordinativ që është me i lehtë për proçesin përkatës. Pastaj duke përdorur mundësinë që të jep përdorimi i aparatit matematik, të kalohet në një sistem tjetër koordinativ i cili na lejon zgjidhje më të lehtë të problemit.

Në këtë paragraf do të tregohet [39] se kur njihet një vektor në një sistem këndrejtë koordinatash, si do të ishte pamja e tij në një sistem të dytë koordinatash këndrejtë.

Në sistemin fillestar të koordinatave \$ me akse +1,+*j* ose real (Res) dhe imagjinar (Ims) si në Fig. 32, vektori i rrymës  $I^s$  paraqitet në formën:



Fig. 32 Transformimi i koordinatave e vektorit hapësinor I

Është e qartë së sikurse I dhe  $\theta$  janë madhësi të ndryshueshme në kohë.

I njëjti vektor tek një sistem i dytë i koordinatave këndrejtë k (përkatësisht real (Rek) dhe imagjinar (Imk) do të kishte pamjen

$$I^{k} = I \cdot e^{j(\theta - \theta_{k})} \tag{123}$$

ku $\theta_k$  është këndi ndërmjet dy sistemeve të koordinative s dhe k

Në rastin e përgjithshëm  $\theta_k$  është një kënd i ndryshueshem në kohë Duke marrë parasysh (128), ekuacioni (129) merr pamjen

$$\boldsymbol{I}^{k} = \boldsymbol{I}^{s} \cdot \boldsymbol{e}^{-j\theta_{k}} \tag{124}$$

Prej nga mund të nxirret

$$I^s = I^k \cdot e^{j\theta_k} \tag{125}$$

Dy ekuacionet e fundit paraqësin mardhëniet themelore për kalimin nga një sistem koordinativ tek një tjetër.

#### 2.3.3.2 Transformimi i ekuacioneve të tensioneve në njësi të emërtuara

Le të shkruajmë në sistemin koordinativ të palëvizshëma, b, c për çdo fazë të statorit, ligjin e dytë të Kirkofit. Në rastin e ngarkesës simetrike aktivo –induktive, ekuacionet [34, 35] për fazat e veçanta do të jenë:

$$U_{a} = I_{a}R + \frac{d\Psi_{a}}{dt}$$

$$U_{b} = I_{b}R + \frac{d\Psi_{b}}{dt}$$

$$U_{c} = I_{c}R + \frac{d\Psi_{c}}{dt}$$
(126)

Ku  $U_a, U_b, U_c$  janë tensionet fazore,  $\Psi_a, \Psi_b, \Psi_c$  flukset e pështjellave, ndërsa  $I_a, I_b, I_c$  rrymat po ashtu fazore.

Për t'i paraqitur këta ekuacione në mënyrë më të përmbledhur dhe për të gjetur vektorin hapësinor, shumëzojme ekuacionin e dytë me  $a = e^{j2\pi/3}$  dhe të tretin me  $a^2 = e^{-j2\pi/3}$  dhe pasi t'i mbledhim të tre ekuacionet e shumëzojme atë me 2/3, fitojmë

$$U^{s} = I^{s}R + \frac{d\Psi^{s}}{dt}$$
(127)

Në formulën (127) madhësitë  $U, I, \Psi$  janë tani vektor shtylle me tre element.

Ndryshimi i këtij ekuacioni nga ai (126) është së në këtë të fundit tensionet, flukset dhe rrymat janë vektor hapësinor kompleks me tre elemente. Kështu që ky ekuacion paraqet njëherësh mardhëniet për të tri fazat.

Vëmë në dukje së vektori hapësinor rrotullohet në kahjen antiorare me një shpejtësi këndore psh që i përgjigjet numrit *n* të rrotullimeve të rotorit.

Ekuacioni hapësinor (127) mund të transformohet në koordinata të tjera k të cilat mund të rrotullohen me një shpejtësi tjetër këndore psh me shpejtësi këndore që i përgjigjet frekuencës 50 Hz. Duke u nisur nga mardhënia (125) tek e cila kryejmë zëvendësimet  $U^s = U^k e^{j\theta_k}$ ;  $I^s = I^k e^{j\theta_k}$  dhe  $\Psi^s = \Psi^k e^{j\theta_k}$  fitojmë

$$U^{k}e^{j\theta_{k}} = I^{k}e^{j\theta_{k}}R + \frac{d(\Psi^{k}e^{j\theta_{k}})}{dt}$$
(128)

Ose me tej

$$U^{k}e^{j\theta_{k}} = I^{k}e^{j\theta_{k}}R + \frac{d\Psi^{k}}{dt}e^{j\theta_{k}} + j\frac{d\theta_{k}}{dt}\Psi^{k}e^{j\theta_{k}}$$
(129)

Dhe pas pjestimit me  $e^{j\theta_k}$  fitojmë përfundimisht

$$U^{k} = I^{k}R + \frac{d\Psi^{k}}{dt} + j\frac{d\theta_{k}}{dt}\Psi^{k}$$
<sup>(130)</sup>

Është shumë interesant të interpretohet [39]kjo mardhënie.

Tensioni i induktuar përmban dy përbërës

- 1. Përbërsja  $\frac{d\Psi_k}{dt}$  i përgjigjet tensionit të induktuar si rrjedhoj e ndryshimit në kohë të fluksit  $\Psi^k$
- 2. Përbërsja  $j(d\theta_k / dt)\Psi^k$  i përgjigjet tensionit të induktuar si rezultat i rrotullimit të sistemit të koordinatave *k* ndaj atyre *s* me shpejtësi këndore  $d\theta_k / dt$ .

Vëmë në dukje së mardhënia (130) mund të përdoret edhe në rastin më të përgjithshëm kur kemi të bëjmë me një vektor hapësinor sëbashku me diferencialet e veta dhe na duhet të bëjmë transformim koordinatash.

### 2.3.3.3Vlerat e çastit të fuqisë dhe momentit rrotullues

Vlera e çasti e fuqisë jepet nga mardhënia

$$P = \frac{3}{2} \operatorname{Re}\left\{U^{*s} I^{s}\right\}$$
(131)

Ku  $U^{*s}$  është vlera kompleksë e konjuguar e tensionit  $U^s$ 

$$P = \frac{3}{2} \operatorname{Re}\left\{ \left[ U_a + \vec{a}^* U_b + (\underline{a}^*) U_c \right] \frac{2}{3} \left[ I_a + \underline{a} I_b + \underline{a}^2 I_c \right] \right\},\tag{132}$$

Ose

$$P = \frac{2}{3} \left\{ U_a I_a + U_b I_b + U_c I_c - \frac{1}{2} \left[ U_a (I_b + I_c) + U_b (I_a + I_c) + U_c (I_a + I_b) \right] \right\}$$
(133)

Përfundimisht

$$P = U_a I_a + U_b I_b + U_c I_c, (134)$$

Një mardhënie e rëndësishme gjatë studimin të proçeseve kalimtare të makinës sinkrone është edhe nxjerrja e ekuacionit të vlerave të çastit të momentit elektromagnetik të saj.

Po të shënojmë me *p* numrin e çiftpoleve të makinës dhe me  $\Psi^{*s}$  vektorin hapësinor kompleks të fluksit të makinës,vlera e çastit e momentit që zhvillon makina do të jetë.

$$M_{e} = \frac{3}{2} p \operatorname{Im} \left\{ \Psi^{*s} I^{s} \right\}$$
(135)

Pas disa transformimesh [39]momenti rrotullues në koordinatat k do të jetë

$$M_e = \frac{3}{2} R_e \left\{ -jpd\underline{\psi}^{*k} I^k \right\} = \frac{3}{2} p \operatorname{Im} \left\{ \underline{\psi}^{*k} I^k \right\}.$$
(136)

Në qoftë së dëshirojmë që madhësitë  $\underline{\psi}^{*k}$  dhe  $I^k$  të shprehen përsëri në koordinatat e sistemit s, atëherë për këtë na ndihmon mardhënia (125)

$$M_{e} = \frac{3}{2} p \operatorname{Im}\left\{\underline{\psi}^{*s} e^{j\theta_{k}} \underline{I}^{s} e^{-j\theta_{k}}\right\} = \frac{3}{2} p \operatorname{Im}\left\{\underline{\psi}^{*s} \underline{I}^{s}\right\}$$
(137)

Nga ky rezultat nxjerrim edhe përfundimin e rëndësishëm që pohon se vlera e çastit e momentit rrotullues nuk varet nga sistemi koordinativ i zgjedhur.

## 2.3.4 Paraqitja e madhësive në njësi relative bazë për makinën sinkrone

### 2.3.4.1 Madhësitë referuese bazë për makinën sinkrone

Zakonisht analiza e sistemit energjitik bëhen me madhësitë e shprehura në njësi relative bazë. Mënyrat si bëhet kalimi nga madhësit e emërtuara në ato relative si dhe përparësitë që ka analiza përkatëse trajtohen hollësisht në [34]. Në këtë material ne do të prekim vetëm disa elemente që lidhen me këtë problem.

Për të kaluar nga madhësitë e emërtuara në ato relative, sëpari duhet të kemi madhësitë bazë [39] [6], si të tilla për makinën sinkrone zakonisht merren madhësitë nominale të saj; konkretisht

Tensionet e fazës	$\widehat{\mathbf{U}}_{Gn} = \sqrt{2} \cdot \hat{U}_{Gn,ef},$
Rrymat e fazës	$\hat{I}_{Gn} = \sqrt{2} \cdot I_{Gn,ef},$
Frekuenca këndore	$\Omega_n = 2 \cdot \pi \cdot 50 Hz,$
Flukset magnetike	$\hat{\Psi}_{Gn} = \frac{\hat{U}_{Gn}}{\Omega_n},$
Fuqitë	$S_{Gn} = 3 \cdot U_{Gn,ef} \cdot I_{Gn,ef},$
Momenti rrotullues	$M_{Gn} = \frac{S_{Gn}}{\Omega_{Gn}},$
Shpejtësia këndore mekanike	$\Omega_{Gn} = \omega_{Gn} \left[ s^{-1} \right] / p$
Rezistenca e plotë	$Z_{Gn} = \frac{\hat{U}_{Gn}}{\hat{I}_{Gn}},$
Induktivitetet	$L_{Gn} = \frac{\hat{\Psi}_{Gn}}{I_{Gn}}.$

Për makinën sinkrone nëvojiten edhe madhësitë relative bazë si për tensionin  $U_e$  ashtu dhe për rrymën  $I_e$  të eksitimit. Për ketë qëllim nuk i referohemi pikës së punës në regjimin nominal të makinës, por asaj të punës pa ngarkesë të saj. Kjo bëhet meqënëse në pështjellat e qetësimit në regjimin e qëndrueshëm të makinës sinkrone nuk kalojnë rryma,kështu që për këto madhësi referuese nuk disponohen vlerat nominale.Vlerat bazë të këtyre madhësive që po i shënojmë  $I_{e0}$  dhe  $U_{e0}$  zgjidhen të tilla që sistemi i ekuacioneve përkatës të dalë sa me i thjeshtë. Kështu që në punën e qëndrueshme të makinës [6] ka vend barazimi  $i_e = u_e$ 

#### 2.3.4.2 Transformimi i ekuacioneve të tensionit në njësi relative

Fillimisht do të tregohet së si ekuacionet e tensioneve mund të transformohen [39, 35] nëpërmjet futjes së madhësive të referuara  $\underline{U}^s = \underline{u}^s \hat{U}_n$ ,  $\underline{I}^s = \underline{i}^s \hat{I}_n$  dhe  $\underline{\Psi}^s = \underline{\psi}^s \hat{\Psi}_n$ , prej këtej rrjedh

$$\underline{u}^{s}\hat{U}_{n} = \underline{i}^{s}\hat{I}_{n}R + \frac{d\left(\underline{\psi}^{s}\hat{\Psi}_{n}\right)}{dt}$$
(138)

Po të pjestohet ky ekuacion me  $\hat{U}_n$  dhe duke pasur parasysh se  $\hat{\Psi}_n = U_n \left( \omega_n \left[ s^{-1} \right] \right)$ , fitohet

$$\underline{u}^{s} = \underline{i}^{s} r + \frac{1}{\omega_{n}} \frac{d\underline{\psi}^{s}}{dt}$$
(139)

Ku r është në njësi relative

$$r = R \frac{\hat{I}_n}{\hat{U}_n} \tag{140}$$

Mund të vërehet së në ekuacionin e tensionit në njësi relative bën pjesë faktori  $1/\omega_n$ . Ky faktor futet përderi sa koha nuk është paraqitur në njësi relative.

Le të shohim transformimin e ekuacionit të tensioneve tek një sistem koordinativ k. Në bazë të ekuacionit (130), këndi  $\mathcal{G}_k$  ndaj këtij sistemi referimi,përderisa frekuenca relative është  $f_k$ , do të ndryshoje në formën

$$\mathcal{G}_{k} = \mathcal{G}_{k0} + \int_{0}^{t} f_{k} \omega_{n} dt \tag{141}$$

ku  $g_{k_0}$  është vlera fillestare e  $g_k$  për t = 0. Kështu që derivati ndaj kohës i këndit  $g_k$  do të jetë

$$\frac{d\mathcal{G}_k}{dt} = f_k \omega_n. \tag{142}$$

Po të zëvendësohet në ekuacionin (130) madhësitë e emërtuara nëpërmjet vlerave të tyre të referuara, pasi të kemi bërë një trasformim të ngjashëm me atë të ekuacionit (139), fitohet

$$\underline{u}^{k} = \underline{i}^{k} r + \frac{1}{\omega_{n}} \frac{d\underline{\psi}^{k}}{dt} + jf_{k} \psi^{k}.$$
<sup>(143)</sup>

Në kufizen e fundit që i përgjigjet tensionit të induktuar nga rrotullimi nuk futet më frekuenca rrethore nominale  $\omega_n$ , sepse rrotullimi i sistemit të referimit është shprehur nëpërmjet frekuencës  $f_k$ . Vëmë në dukje se kjo e fundit mund të jetë e ndryshueshme në kohë.

#### 2.3.4.3 Transformimi i fluksit magnetik në njësi relative

Për të sqaruar transformimin e fluksit magnetik në njësi relative i referohemi Fig. 33. Në ketë figurë paraqitet sistemi me dy pështjella të çiftuara [34].Shënojmë  $L_1$  dhe  $L_2$  induktivitetet vetiake të pështjellave, ndërsa me  $L_h$ , induktivitetin reciprok ndërmjet tyre; flukset e tyre në njësi të emërtuara do të jenë:



Fig. 33 Dy pështjella te çiftuara

$$\Psi_{1} = L_{1}I_{1} + L_{h}I_{2}$$
(144)  
$$\Psi_{2} = L_{2}I_{2} + L_{h}I_{1}$$
(145)

Le ta zëmë së njohim rrymat nominale të dy pështjellave dhe në këto kushte të reduktojmë madhësitë e rotorit në ato të statorit. Në ketë rast vlerat nominale të flukseve si edhe të rrymave do të jenë të njëjta për të dy pështjellat. Duke përdorur madhësitë relative bazë [39] kemi

$$\psi_1 \hat{\Psi}_n = L_1 i_1 \hat{I}_n + L_h i_2 \hat{I}_n \tag{146}$$

$$\psi_2 \hat{\Psi}_n = L_2 i_2 \hat{I}_n + L_h i_1 \hat{I}_n.$$
(147)

Duke pjestuar të dy anët e barazimeve me  $\hat{\Psi}_n$ , fitohet flukset në madhësi relative

$$\psi_1 = l_1 i_1 + l_h i_2 \tag{148}$$

$$\psi_2 = l_2 i_2 + l_h i_1 \tag{149}$$

Prej këtej induktivitetet në njësi relative, janë

$$l_{1} = L_{1} \frac{\hat{I}_{n}}{\hat{\Psi}_{n}} = \omega_{n} L_{1} \frac{\hat{I}_{n}}{\hat{U}_{n}} = x_{1}$$
(150)

$$l_{2} = L_{2} \frac{\hat{I}_{n}}{\hat{\Psi}_{n}} = \omega_{n} L_{2} \frac{\hat{I}_{n}}{\hat{U}_{n}} = x_{2}$$
(151)

$$l_h = L_h \frac{\hat{I}_n}{\hat{\Psi}_n} = \omega_n L_h \frac{\hat{I}_n}{\hat{U}_n} = x_h.$$
(152)

Në nxjerrjen e këtyre mardhënieve është marrë parasysh që  $\hat{\Psi}_n = \hat{U}_n / \omega_n$ . Në këto kushte induktivitetet e referuara  $l_1, l_2, I_n$ . do të jenë të barabarta me  $x_1, x_2, x_n$ .

Në makinat e rrymës alternative [39] zakonisht reaktancat jepen në njësi relative bazë; por reaktancat në njësi relative janë të pavarura nga frekuenca, sepse sipas (150) dhe (151) ato llogariten në bazë të po asaj frekuence nominale  $\mathcal{O}_n$ .

Kështu që për flukset mund të shkruhet

$$\psi_1 = x_1 \dot{i}_1 + x_h \dot{i}_2 \tag{153}$$

$$\psi_2 = x_2 i_2 + x_h i_1. \tag{154}$$

Në qoftë së nuk njihen vlerat nominale të pështjellës 2, (siç ndodh psh për pështjellat e eksitimit dhe të qetësimit tek makinat sinkrone),atëherë madhësitë  $\hat{\Psi}_{2n}$  dhe  $\hat{I}_{2n}$  brenda disa kufijve të caktuar, mund të zgjidhen të çfardoshme. Kur i zgjedhim pra sipas dëshirës, dhe për pështjellën i kemi marrë si më parë si njësi bazë  $\hat{\Psi}_n$  dhe  $\hat{I}_n$ , prej ekuacioneve (144), fitojmë

$$\psi_1 \hat{\Psi}_n = L_1 i_1 \hat{I}_n + L_n i_2 \hat{I}_{2n} \tag{155}$$

$$\psi_2 \hat{\Psi}_{2n} = L_2 i_2 \hat{I}_{2n} + L_h i_1 \hat{I}_n.$$
<sup>(156)</sup>

Duke pasur parasysh (150), po të pjestojmë ekuacionin e parë me  $\hat{\Psi}_n$  dhe të dytin me  $\hat{\Psi}_{2n}$ , Fitojmë

$$\psi_1 = x_1 i_1 + L_h \frac{\hat{I}_{2n}}{\hat{\Psi}_n} i_2 \tag{157}$$

$$\psi_2 = L_2 \frac{\hat{I}_{2n}}{\hat{\Psi}_{2n}} i_2 + L_h \frac{\hat{I}_n}{\hat{\Psi}_{2n}} i_1.$$
(158)

Madhësitë e çfardoshme bazë  $\hat{\Psi}_{2n}$  dhe  $\hat{I}_{2n}$  zgjidhen të tilla që në këta dy ekuacione kufiza pranë  $i_2$  të jetë e barabartë me 1. Prej këtej rrjedh

$$\hat{I}_{2n} = \frac{\hat{\Psi}_n}{L_h} \tag{159}$$

$$\hat{\Psi}_{2n} = L_2 \hat{I}_{2n} = \frac{L_2}{L_h} \hat{\Psi}_n.$$
(160)

Prej këtej koefiçienti pranë  $i_i$  në ekuacionin (160) do të jetë

$$L_{h}\frac{\hat{I}_{n}}{\hat{\Psi}_{2n}} = \frac{L_{h}^{2}}{L_{2}}\frac{\hat{I}_{n}}{\hat{\Psi}_{n}} = \frac{L_{h}^{2}}{L_{1}L_{2}}L_{1}\frac{\hat{I}_{n}}{\hat{\Psi}_{n}} = \frac{L_{h}^{2}}{L_{1}L_{2}}\mathbf{x}_{1} = (1-\sigma)\mathbf{x}_{1}$$
(161)

Këtu kemi futur koefiçientin e ri të shpërndarjes [39] [6]

$$\sigma = 1 - \frac{L_h^2}{L_1 L_2} \tag{162}$$

Së fundi flukset në njësi relative do të marrin pamjen

$$\psi_1 = x_1 i_1 + l_2 \tag{163}$$

$$\psi_2 = i_2 + (1 - \sigma) x_1 i_1. \tag{164}$$

# 2.3.4.4 Transformimi i momentit rrotullues në njësi relative

Për të paraqitur edhe momentin në njësi relative bazë zëvendësojmë në ekuacionin (135) madhësitë bazë; vlera bazë e momentit rrotullues [39] do të jetë

$$M_{n} = \frac{3}{2} \frac{\hat{U}_{n} \hat{I}_{n}}{\Omega_{n}} = \frac{2}{3} p \frac{\hat{U}_{n} \hat{I}_{n}}{\omega_{n}} = \frac{3}{2} p \Psi_{n} I_{n}$$
(165)

Prej këtej

$$m_e M_n = \frac{3}{2} p \operatorname{Im} \left\{ \underline{\Psi}_s^{*s} \hat{\Psi}_n i^s \hat{I}_n \right\},$$
(166)

Që në formë të thjeshtuar paraqitet

$$m_e = \operatorname{Im}\left\{\underline{\psi}_s^{*s} \underline{i}^{s}\right\} \tag{167}$$

Kështu që momenti rrotullues në njësi relative nuk varet nga numri i çiftpoleve p. Po kështu në këtë mardhënie nuk bën pjesë as koefiçienti 3/2.

## 2.3.5 Elemente të teorisë me dy akse të makinës sinkrone

# 2.3.5.1 Paraqitja principale dhe skema e zëvendësimit







Fig. 34 Paraqitja skematike e një makine sinkrone a)Pështjella trefazore e statorit b)Pështjella e zëvendëesimit e statorit në sistemin koordinativ dyfazor

c) Pështjella e zëvendësimit e statorit në sistemin koordinativ dyfazor me rotor te lëvizshëm Në Fig. 34a paraqitet në mënyrë skematike një makinë sinkrone me pole të dukshme [39] [6]. [35] Për thjeshtësi është marrë një makinë me një çift pole (por kjo është krejt e njëvlershme edhe për çdo çift polesh përderisa na interesojnë gradët elektrike). Në bazë të lëshimeve të pranuara [34] [6], aksi i rotorit bën një kënd  $\phi_p$  me pështjellën e zëvendësimit të fazës së statorit. Rotori përmban po ashtu edhe një pështjellë qetësimi. Kjo pështjellë edhe pse është e shpërndarë në hapësirë, zëvendësohet me dy pështjella të përqëndruara, njëra nga të cilat (ajo D) ndodhet sipas aksit të polit gjatësor dhe tjetra sipas aksit tërthor (ajo Q). Këndi ndërmjet këtyre dy akseve është 90° (Fig. 34 a).

Fusha rrotulluese trefazore e krijuar nga tre pështjellat a, b dhe c mund të zëvendësohet prej dy pështjellave të zhvendosura njëra nga tjetra për 90<sup>°</sup> në hapësirë si në Fig. 34b. Këto dy pështjella të zëvendësimit të statorit shënohen përkatësisht me simbolet  $\alpha$  dhe  $\beta$ . Tensionet dhe rrymat përkatëse paraqiten në sistemin e koordinatave  $\beta$  dhe kjo bëhet e dukshme nëpërmjet simbolit  $\beta$  të vendosur në krye të madhësisë përkatëse.

Është e qartë së rrotullimi i rotorit bën që të ndryshoj edhe çiftimi ndërmjet pështjellave të statorit me të rotorit. Në bazë të teorisë së makinave sinkrone me dy akse, pështjellat  $\alpha$  dhe  $\beta$  [39] zëvendësohen me pështjella dyfazore d dhe q (Fig. 34ac). Aksi i pështjellës së zëvendësimit d përputhet me aksin gjatësor të rotorit, ndërsa aksi i pështjellës q përputhet me atë tërthor. Këto pështjella zëvendësimi rrotullohen me shpejtësi këndore elektrike  $\omega$  të barabartë me atë të rotorit ndaj statorit të palëvizshem. Tensionet, rrymat etj., në ketë pështjellë zëvendësimi të rotorit janë madhësi të vazhduara. Në ketë mënyrë proçesi lehtësohet meqënëse madhësitë alternative kalimtare zëvendësohen me madhësi të vazhduara kalimtare. Përveç këtyre, është e rëndësishme të thuhet së meqënëse akset tërthore dhe gjatësore janë pingul ndërmjet tyre, ata nuk janë të lidhur reciprokisht në mënyrë magnetike. Në këto kushte pështjellat punojnë në mënyrë të pavarura njëra nga tjetra, prandaj mund të ndërtojmë skema zëvendësimi për secilën prej tyre, pavarsisht nga pështjella tjetër siç jepet në Fig. 35. Në aksin gjatësor tre pështjellat janë lidhur në mënyrë magnetike:pështjella e qetësimit D dhe ajo e eksitimit  $\mathcal{C}$  . Pështjella e qetësimit është e lidhur në të shkurtër.

Në aksin tërthor janë të çiftuara [39] [6]dy pështjella Fig. 35b dhe pikërisht pështjella e zëvendësimit e statorit q dhe ajo e qetësimit Q



Fig. 35 Skema e zëvendësimit me dy aksë e makinës asinkrone a)Aksi gjatësor ,b) aksi tërthor

Kahjet e vendosura në Fig. 34 dhe Fig. 35 i përgjigjen punës së makinës sinkrone në regjimin gjenerator.

Transformimi i vektorit hapësinor [6] të gjeneratorit i paraqitur në akset R dhe l që rrotullohet me shpejtësi këndore sinkrone  $\omega_N = 2\pi 50$  Hz, tek sistemi koordinativ i palëvizshëm ndaj akseve të rotorit d-q, që rrotullohet me shpejtësi këndor  $\omega_G = 2\pi n_G$ .kryhet nga mardhënia

$$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \phi_p - \cos \phi_p \\ \cos \phi_p \sin \phi_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R \\ x_I \end{bmatrix}$$
(168)

ku  $\phi_p$  është këndi i aksit të polit të gjeneratorit në sistemin R-I të koordinatave (shih Fig. 34) 2.3.5.2 Rillogaritja e sistemit trefazor lidhur me akset gjatësor dhe tërthor

Tre tensionet e statorit  $u_{sa}$ ,  $u_{sb}$ ,  $u_{sc}$  të Fig. 34a mund të paraqiten me ndihmën e një vektori hapësinor  $u_s^s$  [39]d.m.th.

$$u_{s}^{s} = \frac{2}{3} \Big[ u_{sa} + a u_{sb} + a^{2} u_{sc} \Big]$$
(169)

Ky vektor hapësinor shpreh vlerën e çastit të tensionit në njësi relative. Indeksi s edhe këtu

tregon së referimi bëhet ndaj sistemit të koordinatave të palëvizshme të statorit.

I njëjti vektor hapësinor duke u ndarë në pjesën reale dhe imagjinare sipas akseve të palëvizshem  $\alpha$  dhe  $\beta$ , është

$$\boldsymbol{\mathcal{U}}_{s}^{s} = \boldsymbol{\mathcal{U}}_{s\alpha}^{s} + j\boldsymbol{\mathcal{U}}_{s\beta}^{s} \tag{170}$$

Ku $u_{s\alpha}^s$  paraqet pjesën reale ndërsa  $u_{s\beta}^s$  pjesën imagjinare të vektorit hapësinor.

Pasi të barazojmë mardhënien (169) me (170) dhe pastaj të ndajmë pjesën reale nga ajo imagjinare, fitojmë së pari

$$u_{s\alpha}^{s} = \frac{2}{3} \left[ u_{sa} - \frac{1}{2} u_{sb} - \frac{1}{2} u_{sc} \right] = u_{sa}$$
(171)

Mardhënia e dytë në (171), pra që  $u_{s\alpha}^s = u_{s\alpha}$ , fitohet në kushtet që komponentët nuleare kanë vlerën zero ose  $u_{s\alpha} + u_{sb} + u_{sc} = 0$ .

Së dyti

$$u_{s\beta}^{s} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[ u_{sb} - u_{sc} \right]$$
(172)

Në ekuacionet (171) dhe (172)nuk flitet për transformim koordinatash por thjeshtë kalimi nga sistemi trefazor a, b, c në atë dyfazor  $\alpha, \beta$ . Në Fig. 34c mund vërehet së nga sistemi dyfazor i koordinatave  $\alpha$  dhe  $\beta$  kalohet përsëri në një sistem dyfazor të koordinatave, por tani të emërtuar d dhe q. Sistemi i ri dyfazor d dhe q, që quhet edhe sistemi i koordinatave të rotorit (sepse këto koordinata rrotullohen me shpejtësi këndore të njëjtë me atë të rotorit), rrotullohet me këndin  $\theta$  ndaj atij  $\alpha$  dhe  $\beta$ .

Vektori hapësinor i tensionit të statorit i shprehur ndaj sistemit të koordinatave të rotorit, në bazë të mardhënies (124) ka pamjen

$$u_s^r = u_s^s e^{-j\theta} \tag{173}$$

Indeksi *r* tek  $u_s^r$  tregon se i referohemi sistemit të koordinatave k=r të rotorit. Rrotullimi i rotorit sjell edhe ndryshimin e këndit  $\theta$  si vijon

$$\theta = \theta_0 + \int_0^t \omega dt = \theta_0 + \omega_n \int_0^t n dt$$
(174)

Ku <sup>*n*</sup> është numri i rrotullimeve të rotorit ndërsa  $\mathcal{O}_n$  shpejtësia këndore që i përgjigjet numrit <sup>*n*</sup> të rrotullimeve të tij. Edhe vektorin  $u_s^r$  mund ta ndajmë në përbërësen reale  $u_d$  dhe atë imagjinare  $u_q$ 

$$u_s^r = u_d + ju_q \tag{175}$$

Duke barazuar (174) me (175) dhe duke ndarë pjesën reale me atë imagjinare, kemi

$$u_d = u_{s\alpha}^s \cos\theta + u_{s\beta}^s \sin\theta \tag{176}$$

$$u_{q} = -u_{s\alpha}^{s} \sin \theta + u_{s\beta}^{s} \cos \theta \tag{177}$$

Për të fituar  $u_d$  dhe  $u_q$  prej tensioneve  $u_{sa}$ ,  $u_{sb}$ ,  $u_{sc}$  të rrymës trefazore, mund të kryejmë edhe transformimet që vijojnë. Zëvendësojmë (171) tek (173), fitojmë

$$u_{d} + ju_{q} = u_{s}^{r} = u_{s}^{s}e^{-j\theta} = \frac{2}{3}\left[u_{sa} + u_{sb}e^{j\frac{2\pi}{3}} + u_{sc}e^{j\frac{4\pi}{3}}\right]e^{-j\theta}$$
(178)

Duke veçuar pjesën reale nga ajo imagjinare, kemi

$$u_{d} = \frac{2}{3} \left[ u_{sa} \cos \theta + u_{sb} \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) + u_{sc} \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \right]$$
(179)

$$u_q = -\frac{2}{3} \left[ u_{sa} \sin \theta + u_{sb} \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) + u_{sc} \sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \right]$$
(180)

Në të njëjtën mënyrë mund të llogariten edhe madhësitë e tjera si psh. rrymat e statorit dhe flukset magnetike sipas akseve gjatësore dhe tërthore.

Në qoftë se jepen madhësitë sipas aksit gjatësor dhe tërthor si psh tensionet  $u_d$  dhe  $u_q$  mund të kalohet edhe anasjelltas tek madhësitë trefazore.

Sëpari nëpërmjet transformimit të koordinatave të  $\underline{u}_s^r$  llogarisim atë  $\underline{u}_s^s$ . Prej ekuacioneeve (170),(173) dhe (175) kemi

$$u_{s\alpha}^{s} + ju_{s\beta}^{s} = \underline{u}_{s}^{s} = \underline{u}_{s}^{r} e^{j\vartheta} = \left(u_{d} + ju_{q}\right)e^{j\vartheta}$$
(181)

Duke ndarë pjesën reale nga ajo imagjinare, fitojmë

$$u_{s\alpha}^{s} = u_{d}\cos\vartheta - u_{q}\sin\vartheta \tag{182}$$

$$u_{s\beta}^{s} = u_{d}\sin\vartheta + u_{q}\cos\vartheta. \tag{183}$$

Që të përcaktojme  $u_{sa}$ ,  $u_{sb}$  dhe  $u_{sc}$  i referohemi projeksioneve të vektorit hapësinor në akset real dhe imagjinar, prej ku fitojmë

$$u_{sa} = R_e \left\{ \underline{u}_s^s \right\} = u_{s\alpha}^s \tag{184}$$

$$u_{sb} = R_e \left\{ \underline{u}_s^s a^{-1} \right\} = -\frac{1}{2} u_{s\alpha}^s + \frac{\sqrt{3}}{2} u_{s\beta}^s$$
(185)

$$u_{sc} = R_e \left\{ \underline{u}_s^s a^{-2} \right\} = -\frac{1}{2} u_{s\alpha}^s - \frac{\sqrt{3}}{2} u_{s\beta}^s$$
(186)

Këto madhësi mund të fitohen edhe direkt nga  $u_a$  dhe  $u_q$ . Për ketë zëvendësojmë  $\underline{u}_s^s$  nëpërmjet  $\underline{u}_s^r e^{j\theta}$  dhe duke patur parasysh së  $a^{-1} = e^{-j\theta}$ . Rrjedh

$$u_{sa} = R_e \left\{ \underline{u}_s^r e^{j\vartheta} \right\} = u_d \cos \vartheta - u_q \sin \vartheta \tag{187}$$

$$u_{sb} = R_e \left\{ \underline{u}_s^r e^{j\vartheta} e^{-j2\pi/3} \right\} = u_d \cos\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right) - u_q \sin\left(\vartheta - \frac{2\pi}{3}\right)$$
(188)

$$u_{sc} = R_e \left\{ \underline{u}_s^r e^{j\vartheta} e^{-j4\pi/3} \right\} = u_d \cos\left(\vartheta - \frac{4\pi}{3}\right) - u_q \sin\left(\vartheta - \frac{4\pi}{3}\right). \tag{189}$$

Gjatë punës normale kemi.  $u_{sa} = u_s \cos \omega t$ ,  $u_{sb} = u_s \cos(\omega t - 2\pi/3)$  dhe  $u_{sc} = u_s \cos(\omega t - 4\pi/3)$  Duke i vendosur këto mardhënie në (171) dhe (172), dhe pastaj pas një transformimi trigonometrik të (172), fitojmë

$$u_{s\alpha}^s = u_s \cos \omega t \tag{190}$$

$$u_{s\beta}^s = u_s \sin \omega t \tag{191}$$

Kështu  $u_{s\alpha}^{s}$  dhe  $u_{s\beta}^{s}$  janë tensionet alternative të cilët janë zhvendosur për 90° njëri nga tjetri.Këtu  $\mathcal{O}$  është e barabartë me shpejtësinë këndore elektrike të rotorit,që është konstante gjatë punës normale të qëndrueshme të saj. Prej (174) rrjedh  $\mathcal{G} = \mathcal{G}_{0} + \omega t$ . Po të futet ky kënd në (179) dhe (180), pas transformimeve trigonometrike kemi këtë rezultat

$$u_d = u_s \cos \theta_0 \tag{192}$$

$$u_d = -u_s \sin \mathcal{G}_0. \tag{193}$$

Meqënëse  $\mathcal{G}_0$ . është madhësi konstante edhe tensionet gjatësore  $u_d$  dhe tërthore  $u_q$  në punë të qëndrueshme janë konstante. Në saj të transformimit të koordinatave të pështjellave të statorit në sistemin e koordinatave të lëvizshme të rotorit, gjatë punës së qëndrueshme, pështjellat e zëvendësimit marrin të njëjtat madhësi të vazhduara. Ky konstatim ka vlerë natyrisht edhe për madhësitë e tjera si për  $i_d$ ,  $i_q$  si edhe për flukset  $\psi_d$  e  $\psi_q$ . Këndi  $\mathcal{G}_0$  varet prej gjendjes së ngarkesës së makinës sinkrone. Ai mund të shprehet [39] edhe prej këndit  $\mathcal{G}_0 = \delta + \pi/2$ .

## 2.3.5.3 Ekuacionet e tensioneve

Do të flitet për ekuacionet e tensioneve të qarqeve të veçanta, si ai i pështjellave të statorit, të pështjellave të qetësimit dhe të pështjellës së eksitimit.

I kemi trajtuar me parë ekuacionet e tensioneve të tre fazave të statorit nëpërmjet futjes së vektorit hapësinor kompleks të përmbledhur në një ekuacion të vetëm vektorial.

Pas paraqitjes së këtij ekuacioni në madhësi të referuara [39] [35] në bazë të ekuacionit (139), kemi këtë ekuacion të tensioneve për statorin

$$\underline{u}_{s}^{s} = \underline{i}_{s}^{s} r_{s} + \frac{1}{\omega_{n}} \frac{d\Psi_{s}^{s}}{dt}$$
<sup>(194)</sup>

Ky ekuacion ka vend në koordinatat e palëvizshme ndaj statorit *abc*. Duke kaluar në koordinatat dq të vendosura në rotorin e lëvizshëm, kryejmë shndërrimin e këtyre ekuacioneve në këto koordinata me madhësitë e referuara; kështu fitohet (143). Në këtë rast duhet të kemi parasysh që sistemi i koordinatave k përputhet me sistemin e koordinatave r të rotorit dhe që sistemi i koordinatave rrotullohet me frekuencën relative  $f_k$  që i përgjigjet numrit të rrotullimeve të çastit n të makinës sinkrone. Kështu prej (143) rrjedh

$$\underline{u}_{s}^{r} = \underline{i}_{s}^{r} r_{s} + \frac{1}{\omega_{n}} \frac{d\Psi_{s}^{r}}{dt} + jn\Psi_{s}^{r}$$
<sup>(195)</sup>

Duke ndarë vektorët hapësinor kompleks në përbërëset përkatëse sipas aksit gjatësor dhe tërthor

$$\underline{u}_{s}^{r} = u_{d} + ju_{q}; \quad \underline{i}_{s}^{r} = i_{d} + ji_{q}; \quad \underline{\Psi}_{s}^{r} = \Psi_{d} + j\Psi_{q}$$
(196)

dhe pas ndarjes në pjesën reale dhe imagjinare, fitojmë

$$u_d = i_d r_s + \frac{1}{\omega_n} \frac{d\Psi_d}{dt} - n\Psi_q$$
<sup>(197)</sup>

$$u_q = i_q r_s + \frac{1}{\omega_n} \frac{d\Psi_q}{dt} + n\Psi_d$$
<sup>(198)</sup>

prej këtej vërehet së tensioni  $u_d$  i aksit gjatësor varet edhe nga fluksi tërthor  $\Psi_q$ , i cili këtu përfaqësohet nga kufiza  $n\Psi_q$ . Po kështu tensioni  $u_q$  i aksit tërthor varet edhe nga fluksi gjatësor  $\Psi_d$  që përfaqësohet këtu nga kufiza  $n\Psi_d$ . Është e qartë së këto induktime nuk lindin nga çiftimi magnetik ndërmjet dy akseve, por prej rrotullimit të aksit dq ndaj koordinatave të palëvizshme *abc*.

Në rastin e regjimit të qëndrueshëm  $\omega = konst$  në kushtet që nuk merret parasysh as rezistenca aktive [17] [6], ekuacionet (197) dhe (198)marrin pamjen

$$u_d = -\frac{\Omega_G}{\Omega_N} \Psi_q = -\omega_G \Psi_q \tag{199}$$

$$u_q = \omega_G \Psi_d, \qquad (200)$$

Në bazë të skemës së zëvendësimit të pështjellës së qetësimit të lidhur në të shkurtër [39] [6] [35]Fig. 35, për aksin gjatësor dhe tërthor, sëpari në njësi të emërtuara kemi

$$0 = I_D R_D + \frac{d\Psi_D}{dt}$$
(201)

$$0 = I_Q R_Q + \frac{d\Psi_D}{dt}$$
(202)

Gjatë futjes së madhësive bazë duhet të kemi parasysh së vlerat bazë të rrymave dhe flukseve të pështjellave të qetësimit nuk janë përcaktuar se në regjimin e qëndrueshëm rrymat në pështjellat e qetësimit janë zero.Kështu vlerat bazë  $\hat{I}_{Dn}$ ,  $\hat{I}_{Qn}$ ,  $\hat{\Psi}_{Dn}$ ,  $\hat{\Psi}_{Qn}$  zgjidhen sipas dëshirës. Duke zgjedhur  $I_D = i_D \hat{I}_{Dn}$  dhe  $\Psi_D = \Psi_D \hat{\Psi}_{Dn}$ , për aksin gjatësor sipas (201) Fitojmë

$$0 = i_D + \frac{\widehat{\Psi}_{Dn}}{\widehat{I}_{Dn}R_D}\frac{d\psi_D}{dt}$$
(203)

Po qe se madhësia bazë zgjidhet e tillë që

$$\frac{\Psi_{Dn}}{\widehat{I}_{Dn}} = L_D \tag{204}$$

Fitojmë:

$$0 = i_D + T_D \frac{d\Psi_D}{dt} = i_D + T_D \psi_D$$
<sup>(205)</sup>

ku  $L_D$  është induktiviteti i pështjellës së qetësimit sipas aksit gjatësor(shih Fig. 35a), ndërsa

$$T_D = \frac{L_D}{R_D} \tag{206}$$

është konstantja e kohës e pështjellës së qetësimit sipas aksit gjatësor.

Krejt në mënyrë të ngjashme mund të shndërrohet edhe ekuacioni i tensionit për pështjellën e qetësimit sipas aksit tërthor.

Po të merret vlera bazë e tillë që

$$\frac{\widehat{\Psi}_{Qn}}{\widehat{I}_{Qn}} = L_Q \tag{207}$$

atëherë kemi

$$0 = i_{\varrho} + T_{\varrho} \frac{d\psi_{\varrho}}{dt} = i_{\varrho} + T_{\varrho} \psi_{Q}$$
<sup>(208)</sup>

ku

$$T_Q = \frac{L_Q}{R_Q} \tag{209}$$

është konstantja e kohës e pështjellës së qetësimit sipas aksit tërthor.

Së fundi ndërtojmë ekuacionin e tensionit për qarkun e eksitimit.

Prej figurës Fig. 35a në njësi të emërtuara kemi

$$U_e = I_e R_e + \frac{d\Psi_e}{dt}$$
(210)

Me qëllim që të mos ndërlikohet pa arsye sistemi i ekuacioneve në njësi relative, madhësitë bazë do t'i zgjedhim sipas dëshirës  $\hat{U}_{en}$   $\hat{I}_{en}$  dhe  $\hat{\Psi}_{en}$  dhe në mënyrë të tillë që ekuacionet të rezultojnë sa më të thjeshtë. Po të zëvendësojmë  $\hat{U}_e = u_e \hat{U}_{en}$ ,  $\hat{I}_e = i_e \hat{I}_{en}$ ,  $\hat{\Psi}_e = \psi_e \hat{\Psi}_{en}$  në (210), dhe pas pjestimit me  $\hat{U}_{en}$  kemi

$$u_e = \frac{\widehat{I}_{en}R_e}{\widehat{U}_{en}}i_e + \frac{\widehat{\Psi}_{en}}{\widehat{U}_{en}}\frac{d\Psi_e}{dt}$$
(211)

Duke zgjedhur  $\hat{U}_{\scriptscriptstyle en}$ në mënyrë që

$$\widehat{U}_{en} = \widehat{I}_{en} R_e \tag{212}$$

mundemi që kufizën e dytë në (211) ta transformojmë si vijon

$$\frac{\widehat{\Psi}_{en}}{\widehat{U}_{en}} = \frac{\widehat{\Psi}_{en}}{\widehat{I}_{en}R_e} = \frac{L_e}{R_e} = T_e$$
(213)

ku  $T_e$  është konstantja e kohës të pështjellës së eksitimit.

Vlerat bazë për rrymën dhe fluksin magnetik duhet të plotësojnë kushtin

$$\frac{\widehat{\Psi}_{en}}{\widehat{I}_{en}} = L_e \tag{214}$$

Kështu fitohet ekuacioni i tensionit për qarkun e eksitimit

$$u_e = i_e + T_e \frac{d\Psi_e}{dt} = i_e + T_e \psi_e^{\bullet}$$
<sup>(215)</sup>

#### 2.3.5.4 Ekuacionet e flukseve magnetike

Për përshkrimin e plotë të proçeseve kalimtare në makinën sinkrone duhet të ndërtohen edhe ekuacionet e flukseve të pështjellave të ndryshme [39, 35]. Për ketë do t'i referohemi Fig. 35. Le të shohim së pari flukset që lidhen me pështjellën tërthore të trajtuar me parë. Flukset në njësi relative bazë mund të nxirren drejtpërdrejtë nga ekuacionet (163) dhe (164). Po të zëvendësojmë në to indeksin 1 me q dhe indeksin 2 me Q, kemi

$$\psi_q = -i_Q - x_q i_q \tag{216}$$

$$\Psi_Q = i_Q + (1 - \sigma_Q) x_q i_q \tag{217}$$

Këtu  $x_q$  është reaktanca sinkrone sipas aksit tërthor të makinës sinkrone dhe

$$\sigma_Q = 1 - \frac{L_{qQ}^2}{L_q L_Q} \tag{218}$$

Është koefiçienti i përhapjes ndërmjet pështjellës së statorit dhe asaj të qetësimit në aksin tërthor Në aksin gjatësor ka tre pështjella të çiftuara me njëra tjetrën (shih Fig. 35a). Flukset e këtyre pështjellave në madhësi të emërtuara lidhen ndërmjet tyre si vijon

$$\begin{split} \psi_d &= -L_d I_d + L_{dD} I_D + L_{de} I_e \\ \psi_D &= L_D I_D - L_{dD} I_D + L_{eD} I_e \\ \psi_e &= L_e I_e + L_{de} I_d + L_{eD} I_D \end{split}$$
(219)

T'i shprehim të gjitha madhësitë në njësi relative, duke patur parasysh së  $\Psi_d = \psi_d \hat{\Psi}_n$  dhe  $I_d = i_d \hat{I}_n$ . Fluksi i pështjellës së statorit në njësi relative do të jetë

$$\Psi_{d} = -\frac{L_{d}\widehat{I}_{Dn}}{\widehat{\Psi}_{n}}\dot{i}_{d} + \frac{L_{dD}\widehat{I}_{Dn}}{\widehat{\Psi}_{n}}\dot{i}_{D} + \frac{L_{de}\widehat{I}_{en}}{\widehat{\Psi}_{n}}$$
(220)

Koefiçienti i kufizes së parë është i barabartë me induktivitetin në njësi relative, i cili është po ashtu i barabartë me reaktancen në njësi relative dmth.

$$l_d = \frac{L_d I_n}{\widehat{\Psi}_n} = \frac{\omega_n L_d I_n}{\widehat{U}_n} = x_d \tag{221}$$

Ku  $x_d$  është reaktanca sinkrone sipas aksit gjatësor. Në dy kufizat e tjera të (220) madhësitë e  $\hat{I}_{Dn}$  dhe  $\hat{I}_{en}$  mund të zgjidhen sipas dëshirës.

Në këto kushte ato zgjidhen të tilla që koefiçentët të jenë të barabartë me 1. Prandaj madhësitë bazë do të jenë

$$\widehat{I}_{Dn} = \frac{\widehat{\Psi}_n}{L_{dD}}$$
(222)

dhe

$$\widehat{I}_{en} = \frac{\widehat{\Psi}_n}{L_{de}}$$
(223)

Kështu që fluksi i plotë i pështjellës së statorit në njësi relative do të jetë

$$\mathcal{Y}_d = -x_d i_d + i_D + i_e \tag{224}$$

Nga ekuacioni i dytë i (219), pas futjes së madhësive relative, fitojmë

$$\psi_D = \frac{L_D \hat{I}_{Dn}}{\hat{\Psi}_{Dn}} \dot{i}_D - \frac{L_{dD} \hat{I}_n}{\hat{\Psi}_{Dn}} \dot{i}_d + \frac{L_{eD} \hat{I}_{en}}{\hat{\Psi}_{Dn}} \dot{i}_e$$
(225)

Sipas ekuacionit (204)  $\hat{\Psi}_{Dn} / \hat{I}_{Dn} = L_D$ , kështu që koefiçenti i kufizës së parë është i barabartë me 1. Po të zëvendësohet  $\hat{I}_{Dn}$  nëpërmjet (222), atëherë madhësia bazë  $\hat{\Psi}_{Dn}$  do të jetë

$$\widehat{\Psi}_{Dn} = L_{Dn}\widehat{I}_{Dn} = \frac{L_D}{LdD}\widehat{\Psi}_n$$
(226)

Më tej

$$\frac{L_{dD}\hat{I}_n}{\hat{\Psi}_{Dn}} = \frac{L_{dD}^2}{L_D}\frac{\hat{I}_n}{\hat{\Psi}_n} = \frac{L_{dD}^2}{L_dL_D}L_d\frac{\hat{I}_n}{\hat{\Psi}_n} = (1 - \sigma_D)x_d$$
(227)

Në ketë formulë është futur koefiçenti i përhapjes i pështjellës së qetësimit ndaj asaj të statorit sipas aksit gjatësor

$$\sigma_D = 1 - \frac{L_{dD}^2}{L_d L_D}$$
(228)

Po të zëvendësohet  $\hat{I}_{en}$  tek kufiza e tretë e (225), me  $\hat{I}_{en}$  e (223) dhe  $\hat{\Psi}_{Dn}$  me atë (226), kemi

$$\frac{L_{eD}\hat{I}_{en}}{\hat{\Psi}_{Dn}} = \frac{L_{eD}L_{dD}}{L_{de}L_{D}} = \mu_{D}$$
(229)

Tani marrim fluksin e referuar të pështjellës së qetësimit

$$\psi_{D} = i_{D} - (1 - \sigma_{D}) x_{d} i_{d} + \mu_{D} i_{e}$$
<sup>(230)</sup>

Në mënyrë krejt të njëjtë mund të transformohet edhe ekuacioni i tretë i (219). Pas transformimit fluksi i pështjellës së eksitimit do të marrë pamjen

$$\psi_{e} = i_{e} - (1 - \sigma_{e}) x_{d} i_{d} + \mu_{e} i_{D}$$
<sup>(231)</sup>

Është interesante të shohim edhe njëherë më nga afër kuptimin e madhësive referuese bazë të qarkut të eksitimit. Në gjendjen e punës pa ngarkesë dhe gjendje të qëndrueshme, dmth në rastin kur  $i_d = 0$  dhe  $i_D = 0$  në bazë të ekuacionit (224) kemi  $\Psi_d = i_e$ . Për të njëjtat arsye edhe  $i_q = 0$ ,  $i_Q = 0$  dhe sipas (216) kemi  $\Psi_q = 0$ , prandaj është e vërtetë që  $\Psi_s = \Psi_d = i_e$ . Vlera nominale  $\Psi_n$  e fluksit të statorit në punën pa ngarkesë krijohet prej vlerës nominale të rrymës së eksitimit  $I_{en}$ . Kjo përcaktohet sipas karakteristikës së fluksit ndaj rrymës së eksitimit  $\Psi = f(I_e)$  në regjimin e punës pa ngarkesë të makinës për shpejtësi sinkrone. Fluksi bazë  $\Psi_{en}$  në këtë rast i përgjigjet rrymës nominale të eksitimit për këtë regjim të punës pa ngarkesë.

#### 2.3.5.5 Momenti rrotullues dhe ekuacioni i lëvizjes

Momenti rrotullues elektromagnetik i makinës sinkrone [39, 35]rrjedh prej mardhënies së përgjithshme (167).Po qe se për fluksin dhe rrymën i referohemi vektorëve hapësinor të statorit, atëherë moment rrotullues që është i pavarur nga sistemi i koordinatave, ka pamjen

$$m_e = \operatorname{Im}\left\{\underline{\psi}_s^{*s} \underline{i}^{s}\right\} \tag{232}$$

Duke zëvendësuar  $\underline{\Psi}_{s}^{r} = \Psi_{d} + j\Psi_{q}$  dhe  $\underline{i}_{s}^{r} = \underline{i}_{d} + j\underline{i}_{q}$ , kemi

$$m_e = \psi_d i_q - \psi_q i_d. \tag{233}$$

Kur momenti rrotullues elektromagnetik me momentin e jashtëm të ngarkesës nuk janë në ekuilibër, atëherë në bazë të ekuacionit të lëvizjes do të bëhet përshtatja e nevojshme duke shpejtuar ose ngadalësuar rotorin. Në madhësi të emërtuara ekuacioni i lëvizjes është

$$J\frac{d\Omega}{dt} = M_e - M. \tag{234}$$

Ku J është moment i inercisë i masës që rrotullohet,  $\Omega$  shpejtësia këndore mekanike e rotorit, ndërsa M momenti i ngarkesës në boshtin e motorit. Po të pjestohen të dy anët e barazimit me momentin nominal  $M_n$  dhe të zëvendësohet  $\Omega = n\Omega_n$  ku n është numri i referuar i rrotullimeve, kemi

$$\frac{J\Omega_n}{M_n}\frac{dn}{dt} = m_e - m.$$
(235)

Faktori dn/dt është i barabartë me konstanten e kohës  $T_m$ .Kështu ekuacioni i lëvizjes mund të shkruhet në formën

$$T_m \frac{dn}{dt} = m_e - m \tag{236}$$

Konstantja mekanike e kohës jepet nga

$$T_m = \frac{J\Omega_n}{M_n}$$
(237)

të cilën mund ta transformojmë si vijon

$$T_m = \frac{J\Omega_n^2}{\Omega_n M_n} = \frac{J\Omega_n^2}{S_n} = \frac{2W}{S_n}$$
(238)

Konstantja mekanike e kohës është e barabartë me dyfishin e energjisë kinetike W të masave, të cilat rrotullohen me numrin nominal të rrotullimeve të motorit, referuar fuqisë së plotë  $S_n$ . Një kuptim tjetër të qartë fizik ka konstantja mekanike e kohës që lidhet me kohën e lëshimit. Ajo është e barabartë me kohën që i duhet motorit që nën veprimin e momentit nominal nga gjendja e qetësisë të arrij shpejtësinë nominale.

### 2.3.5.6 Përmbledhja e sistemit të ekuacioneve [39] [6] [35]

Ekuacionet e tensioneve

Pështjella -d	$u_d = -\frac{\Omega_G}{\Omega_N} \Psi_q = -\omega_G \Psi_q,$	
Pështjella -q	$u_q = \omega_G \Psi_d,$	
Pështjella -e	$\mathbf{u}_e = \dot{i}_e + T_e \cdot \dot{\Psi}_e,$	
Pështjella –D	$0 = i_D + T_D \cdot \dot{\Psi}_D$	
Pështjella –Q	$0 = i_{\mathcal{Q}} + T_{\mathcal{Q}} \cdot \dot{\Psi}_{\mathcal{Q}}  . \tag{2}$	39)

Ekuacionet e flukseve magnetike

Pështjella -d	$\psi_d = i_D + i_e - x_d i_d$
Pështjella –q	$\psi_q = -i_q - x_q i_q$
Pështjella –e	$\psi_e = i_e - (1 - \sigma_e) x_d i_d + \mu_e i_D$
Pështjella –D	$\psi_D = i_D - (1 - \sigma_D) x_d i_d + \mu_D i_e$
Pështjella –Q	$\psi_Q = i_Q + (1 - \sigma_Q) x_q i_q$
### 2.3.6 Transformimi i sistemit të ekuacioneve të makinës sinkrone

### 2.3.6.1 Parametrat e gjeneratorit sinkron

Le të kujtojmë sëpari parametrat e zakonshëm [6]të makinës sinkrone

 $x_d$  = eaktanca sinkrone sipas aksit gjatësor d $\chi_d$  = reaktanca kalimtare sipas aksit d  $\mathbf{\chi}_{d}^{''}$  = reaktanca mbikalimtare sipas aksit d  $x_q$  = reaktanca sinkrone sipas aksit tërthor q $\chi_{q}^{"}$  = reaktanca mbikalimtare sipas aksit q  $T_{d}^{'}$  = konstantja kalimtare e kohës sipas aksit d $T_{d}^{"}$  = konstantja mbikalimtare e kohës sipas aksit d $T_{q}^{"}$  = konstantja mbikalimtare e kohës sipas aksitq Gjatë analizës së gjeneratorit sinkron përdoren gjerësisht edhe parametrat që vijojnë të makinës sinkrone.

$$T_{e} = \frac{L_{e}}{R_{e}} \qquad \text{konstantja e kohës e pështjellës së eksitimit,}$$

$$T_{D} = \frac{L_{D}}{R_{D}} \qquad \text{konstantja e kohës e pështjellës së qetësimit gjatësor,}$$

$$T_{Q} = \frac{L_{Q}}{R_{Q}} \qquad \text{konstantja e kohës e pështjellës së qetësimit tërthor,}$$

$$x_{d} = \frac{\omega_{b}L_{d}}{Z_{b}} \qquad \text{reaktanca sinkrone sipas aksit d,}$$

$$x_{q} = \frac{\omega_{b}L_{q}}{Z_{b}} \qquad \text{reaktanca sinkrone sipas aksit q,}$$

$$\sigma_{D} = 1 - \frac{L_{dD}^{2}}{L_{d}L_{D}} \text{ koefiçienti i përhapjes ndërmjet pështjellave D dhe d,}$$

$$\sigma_{Q} = 1 - \frac{L_{qQ}^{2}}{L_{q}L_{Q}} \text{ koefiçienti i përhapjes ndërmjet pështjellave Q dhe q,}$$

$$\sigma_{e} = 1 - \frac{L_{de}^{2}}{L_{d}L_{e}}$$
 koefiçienti i përhapjes ndërmjet pështjellave d dhe e  

$$\mu_{e} = \frac{L_{eD}L_{de}}{L_{dD}L_{e}}$$
 koefiçienti i transformimit i pështjellës e,  

$$\mu_{D} = \frac{L_{eD}L_{dD}}{L_{de}L_{D}}$$
 koefiçienti i transformimit i pështjellës D

### 2.3.6.2 Transformimi i ekuacioneve elektrike të gjeneratorit

Në bazë të ekuacioneve (239) mund të llogariten rrymat e rotorit [6] $i_{e}$   $i_{D}$  dhe  $i_{Q}$ 

$$i_{D} = \frac{-\mu_{D}}{\sigma_{eD}} \psi_{e} - \frac{1}{\sigma_{eD}} \psi_{D} + \frac{(1 - \sigma_{e})(1 - \mu_{D})}{\sigma_{eD}} x_{d} i_{d}$$
(240)

$$i_{e} = \frac{1}{\sigma_{eD}} \psi_{e} - \frac{\mu_{e}}{\sigma_{eD}} \psi_{D} + \frac{(1 - \sigma_{e})(1 - \mu_{D})}{\sigma_{eD}} x_{d} i_{d}$$
(241)

$$i_{\mathcal{Q}} = \psi_{\mathcal{Q}} - (1 - \sigma_{\mathcal{Q}}) x_q i_q \tag{242}$$

Ku  $\sigma_{\scriptscriptstyle eD}$  do të jetë

$$\sigma_{eD} = 1 - \mu_e \mu_D = 1 - \frac{L_{eD}^2}{L_e L_D}$$
(243)

Që të nxjerrim ekuacionet e flukseve dhe të rrymave bëjmë zëvendësimin e rrymave të mësipërme në ekuacionet (239) dhe pastaj përdorim shkurtimet [40] që vijojnë:

$$\chi_{d}^{"} = (1 - \frac{(1 - \sigma_{D} - \mu_{D} + \mu_{D}\sigma_{e})(1 - \sigma_{e} - \mu_{e} + \mu_{e}\sigma_{D})}{\sigma_{eD}} x_{d}$$
(244)

Ku

$$\mathbf{x}_{q} = \sigma_{Q} \mathbf{x}_{q} \tag{245}$$

Ku konstantja mbikalimtare e kohës e punës pa ngarkesë sipas aksit d është

$$T_{d0}^{"} = T_D \sigma_{eD} \tag{246}$$

Ndërsa konstantja mbikalimtare e kohës e punës pa ngarkesë sipas aksit q

$$T_{q0}^{"} = T_Q \tag{247}$$

Dhe konstantja e kohës të punës pa ngarkesë

$$T_{d0} = T_e \tag{248}$$

Pas veprimeve matematike fitojmë:

për flukset

$$\dot{\Psi}_{e} = -\frac{1}{T_{d0}} \left( \frac{1}{\sigma_{eD}} \psi_{e} - \frac{\mu_{e}}{\sigma_{eD}} \psi_{D} + \frac{(1 - \sigma_{e})(1 - \mu_{D})}{\sigma_{eD}} x_{d} \dot{i}_{d} - u_{e} \right)$$
(249)

$$\dot{\Psi}_{D} = -\frac{1}{T_{d0}} (-\mu_{D} \psi_{e} + \psi_{D} + (1 - \sigma_{D})(1 - \mu_{e}) x_{d} i_{d})$$
<sup>(250)</sup>

$$\dot{\psi}_{Q} = -\frac{1}{T_{q0}} (\psi_{Q} + (1 - \sigma_{Q}) x_{q} i_{q})$$
<sup>(251)</sup>

për rrymat

$$i_{d} = \frac{1}{\chi_{d}} \left( -\psi_{d} + \frac{1 - \mu_{D}}{\sigma_{eD}} \psi_{e} + \frac{1 - \mu_{e}}{\sigma_{eD}} \psi_{D} \right)$$
(252)

$$i_q = \frac{1}{\chi_q} (-\psi_q - \psi_Q) \tag{253}$$

Koeficientët e tjerë të përhapjes  $\sigma_e, \sigma_D, \sigma_Q, \sigma_{eD}$  dhe koeficientët transfomimit  $\mu_D$  dhe  $\mu_e$  mund të shprehen nëpërmjet reaktancave të makinës [39]

$$\sigma_{e} = \frac{\chi_{d}}{x_{d}}, \sigma_{D} = \frac{\chi_{d}\chi_{d}}{x^{2}}, \sigma_{Q} = \frac{\chi_{q}}{x_{q}}, \sigma_{eD} = \frac{\chi_{d}}{x^{2}}, \qquad T_{q}^{"} = \frac{\chi_{q}}{x_{Q}}T_{Q0}^{"}$$
(254)

$$\mu_{D} = \frac{x_{d} (\chi_{d}' - \chi_{d}')}{x^{2}}, \mu_{e} = \frac{(x_{d} - \chi_{d}')}{x_{d}} \quad \text{ku } x^{2} = \chi_{d} \chi_{d}' + x_{d} (\chi_{d} - \chi_{d}')$$
(255)

gjë që na ndihmon për thjeshtim të mëtejshëm [6]të ekuacioneve (249 deri 253)

$$\dot{\psi}_e = -\frac{1}{T_d} (\psi_e - \frac{x_d - x_d}{x_d} \frac{u_q}{\omega_G} - \frac{x_d}{x_d} u_e)$$
(256)

$$\dot{\psi}_{D} = -\frac{1}{T_{d}} (\psi_{D} - \frac{x_{d}}{x^{2}} (\chi_{d} - \chi_{d}) \frac{u_{q}}{\omega_{G}})$$
(257)

$$\dot{\psi_Q} = -\frac{1}{T_q^{"}} (\psi_Q - \frac{x_q - \chi_q}{x_q} \frac{u_q}{\omega_G})$$
(258)

$$i_d = \frac{1}{\chi_d} \left( -\frac{u_q}{\omega_G} + \frac{\chi_d}{\chi_d} \psi_e + \frac{x^2}{x_d x_d} \psi_D \right)$$
(259)

$$i_q = \frac{1}{\chi_a} \left( \frac{u_d}{\omega_G} - \psi_Q \right) \tag{260}$$

Në këto ekuacione konstantet e kohës të punës pa ngarkesë janë zëvendësuar me konstantet e lidhjes së shkurtër

$$T_{d}^{'} = \frac{\chi_{d}}{\chi_{d}} T_{d0}^{'}, T_{d}^{''} = \frac{\chi_{d}^{''}}{\chi_{d}^{''}} T_{d0}^{''}, T_{q}^{''} = \frac{\chi_{q}^{''}}{\chi_{q}} T_{q0}^{''}$$
(261)

Me ketë bashkësi ekuacionesh mund të përshkruhen të tre gjendjet e gjeneratorit

- mbikalimtare •
- kalimtare dhe ajo •
- e qëndrueshme •

për sqarimin e të cilave na ndihmojnë diagramat vektoriale të gjeneratorit

### 2.3.6.3 Sjellja në gjendjen mbikalimtare e gjeneratorit

Ndajmë [6]tensionin në dy përbërës  $u_p = u_{pd} + j u_{pq}$  në ekuacionet (259) dhe (260)

$$\boldsymbol{u}_{Pq}^{"} = \left(\frac{\boldsymbol{x}_{d}^{"}}{\boldsymbol{x}_{d}} \cdot \boldsymbol{\omega}_{G} \cdot \boldsymbol{\Psi}_{e} + \frac{\boldsymbol{x}^{2}}{\boldsymbol{x}_{d}} \cdot \boldsymbol{\omega}_{G} \cdot \boldsymbol{\Psi}_{D}\right), \qquad (262)$$
$$\boldsymbol{u}_{Pd}^{"} = \boldsymbol{\omega}_{G} \cdot \boldsymbol{\Psi}_{Q} \qquad (263)$$

$$\omega_G \cdot \Psi_Q \tag{263}$$

fitohet ekuacioni i përgjithshëm kompleks i gjeneratorit





$$\underline{u}_{P}^{"} = (\Psi_{e} \cdot \Psi_{D} \cdot \Psi_{Q} \cdot t) = \underline{u}_{G} + j \cdot \omega_{G} \cdot \underline{x}_{d}^{"} \cdot \underline{i}_{d} - \omega_{G} \cdot \underline{x}_{q}^{"} \cdot \underline{i}_{q}, \qquad (264)$$

i cili përshkruan në formë të përgjithshme sjelljen elektromagnetike të gjeneratorit për të gjithë intervalet e kohës

### 2.3.6.4 Sjellja në gjendje kalimtare e gjeneratorit

Flukset  $\Psi_D$  dhe  $\Psi_Q$  të pështjellës me pak dredha të qetësimit [6]për të cilat  $\Psi_D = \Psi_Q = 0$ , kalimin nga gjendja mbikalimtare në atë kalimtare deri në arritjen e gjendjes së vendosur e bëjnë sipas ekuacioneve

$$\Psi_D = \frac{x_d}{x^2} \cdot \left(x_d \cdot x_d^{"}\right) \cdot \frac{u_q}{\omega_G}$$
(265)

$$\Psi_Q = \frac{1}{x_q} \cdot \left( \dot{x_d} \cdot \dot{x_q} \right) \cdot \frac{u_d}{\omega_G}$$
(266)

Po të vendosen këta flukse në ekuacionet (259,260), fitohet ekuacioni që vijon i cili është i vlefshëm vetëm gjatë intervalit të proçesit kalimtar

$$\underline{u}_{P} = (\Psi_{e}, t) = j \cdot \omega_{G} \cdot \Psi_{e} = \underline{u}_{G} \cdot \omega_{G} \cdot x_{d} \cdot i_{d} - \omega_{G} \cdot x_{q} \cdot i_{q}.$$
(267)

### 2.3.6.5 Sjellja në gjendje të vendosur e gjeneratorit

Në gjendjen e vendosur të punës së gjeneratorit [6]me  $\psi_e = 0$  kemi fluksin e detyruar të pështjellës së eksitimit. Sipas ekuacionit (256) ai arrin gjendjen e vendosur tek vlera

$$\Psi_e = \frac{1}{x_d} \cdot \left( x_d \cdot x_d \right) \cdot \frac{u_q}{\omega_G} + \frac{x_d}{x_d} \cdot u_e.$$
(268)

Po të vendoset kjo mardhënie në ekuacionin (264),do të kemi kështu ekuacionin e gjendjes së vendosur të gjeneratorit

$$\underbrace{u}_{P}(t) = j \cdot \omega_{G} \cdot u_{e} = \underbrace{u}_{G} + j \cdot \omega_{G} \cdot x_{d} \cdot \dot{i}_{d} - \omega_{G} \cdot x_{q} \cdot \dot{i}_{q},$$
(269)
  
i polit (Fig. 26)

që quhet edhe tensioni i polit.(Fig. 36).

Kështu u tregua se me modelin e zgjedhur të gjeneratorit janë marrë parasysh të gjitha zonat e rëndësishme të lëkundjeve të rrjetit. Është marrë parasysh veçanërisht saktë ndikimi qetësues i pështjellave të rotorit. Thjeshtime të mëtejshme të ekuacioneve elektrike të gjeneratorit nuk bëhen.

### 2.3.6.6 Mardhëniet mekanike të gjeneratorit dhe bllokskema jolineare

Momenti elektrik [6] i gjeneratorit  $m_e$  llogaritet nga rryma e gjeneratorit  $i_G$  dhe nga fluksi i rotorit  $\Psi_G$  sipas formules

$$m_e = \left| i_G x \Psi_G \right| = \left( \Psi_d \cdot i_q - \Psi_q \cdot i_d \right). \tag{270}$$

Këtu ekuacioni i momenteve i mësipërm është paraqitur në njësi relative ndaj momentit të plotë nominale  $M_{GN} = S_{GN} / \Omega_N$  Duke u nisur nga moment i turbinës  $m_T = p_T / \omega_G$  dhe ndaj momentit të plotë nominal  $m_{eT} = m_e / \cos \phi_N$  fitohet ekuacioni i lëvizjes së gjeneratorit

$$\dot{\omega}_G = \frac{1}{T_A} \cdot (\mathbf{m}_T - \mathbf{m}_{eT}).$$
 (271)

 $T_A$  i përgjigjet konstantes nominale të kohës të të gjitha pjesëve të lëvizeshme të rotorit dhe të turbinës.

Ndryshimit të numrit të rrotullimeve  $\mathcal{O}_{G}$  me integrimin e

$$\dot{\varphi}_{P} = \Omega_{N} \cdot (\omega_{G} \cdot \omega_{G,soll}) = \Omega_{N} \cdot \Delta \omega_{G}$$
<sup>(272)</sup>

na shpie tek një ndryshim i pozicionit të rotorit në sistemin R-I të koordinatave(shih Fig. 34c). Transformojmë ekuacionet diferenciale(256-258), (271) dhe (272) nëpërmjet operatorit të Laplasit s = d/dt në planin e pasqyrimeve, dhe mund të nxjerrim kështu bllokskemën e plotë të gjeneratorit [6].

Madhësitë e hyrjes së gjeneratorit janë, tensioni në klemat e gjeneratorit në koordinata polare  $u_G = u_G \cdot e^{j \cdot \varphi_{u,G}}$ ,tensioni i eksitimit të gjeneratorit  $u_e$  dhe fuqia e turbinës  $p_T$ . Flukset  $\phi_p$ ,  $\omega_G$ ,  $\psi_e$ ,  $\psi_D$  dhe  $\psi_Q$  që lindin në gjenerator, bëjnë që të kemi në klemat e gjeneratorit në sistemin R-I të koordinatave rryma  $\dot{l}_G = \dot{l}_{RG} + j \cdot \dot{l}_{IG}$ .

Ky model jolinear i gjeneratorit është mjaft i përshtatshëm për simulimet në rrjetin në të cilin ngarkesa ndryshon në diapazone të mëdha.

$$p_T = p_G, \tag{273}$$

$$\delta = \arctan \frac{p_G}{u_G^2},\tag{274}$$



Fig. 37 Bllokskema e gjeneratorit sinkron

### 2.4 Rregullatori i tensionit në makinat sinkrone

Në Fig. 38 Skema principale e një makine sinkrone me rregullator tensioni., tregohet skema principale e një makinë sinkrone me rregullatorin përkatës të tensionit. Sistemi i eksitimit me Rregullatorin e tensionit të integruar rregullon tensionin e eksitimit  $U_f$ , në funksion të ngarkesës, pra duke mbajtur tensionin në klemat e gjeneratorit sinkron në vlerën  $U_{dhene}$ . Për arsye përmasimi tënsion i fushës të eksitimit nuk mund të tejkalojë një vlerë të caktuar  $U_{f \max}$ .

Në gjendje të vendosur rënia e tensionit në pështjellat e gjeneratorit  $jX_d$  *l* kompensohet plotësisht, dmth. që rregullatori kundërvepron efektin e reaktancës të brendshme të gjeneratorit edhe makina sinkrone sillet duke u parë nga rrjeti si një *burim tensioni ideal*. Në kushtet kalimtare (dinamike) kjo vlen vetëm në qoftë se shpejtësia e ndryshimit të ngarkesës është shumë më e vogël së shpejtësia e reaksionit të rregullatorit të tensionit. Në qoftë së kemi ndryshime të menjëhershme të ngarkesës duhet marrë parasysh efekti i qarkut rregullues të tensionit. Rrymat e lëshimit mbikalimatare  $I_k$  dhe kalimtare  $I_k$  nuk influencohen nga rregullatori i tensionit meqë janë madhësi që i gjejmë vetëm mbas një avarie. Gjatë lidhjes të shkurtër rregullatori mundohet të ruaje tensionin deri tek vlera e tij maksimale  $E_{P_{\text{max}}} = KU_{f_{\text{max}}}$  Edhe në rast të një ndryshimi të menjëhershëm të tensionit të eksitimit nuk influencohet dot vala mbikalimtare për shkak të inercisë të bobinës të eksistimit, shiko Fig. 39. Vetëm vala kalimtare fillon nën efektin e rregullatorit të tensionit të marri një vlerë përfundimtare me amplitudë më të madhe [17]. Vlera stacionare e rrymës kalimtare shprehet nga ekuacioni



Fig. 38 Skema principale e një makine sinkrone me rregullator tensioni.



Fig. 39 Rrymat e lidhjes të shkurtër në nj.r.b. dhe konstantet e kohës te komponenteve mbikalimtare dhe kalimtare

$$I_{kr} = \frac{E_{p\max}}{X_d} = \frac{\beta U_0}{X_d} = \beta I_{K0}$$
(275)

Faktori  $\beta$  varet nga parametrizimi i rregullatorit të tensionit. Në përgjithësi ai është afër vlerës 4. Rrjedhimisht vlera kalimtare e rrymës të lidhjes të shkurtër bëhet rreth 2 -3 herë e rrymës nominale, kur  $x_d = 1.3 - 2[pu]$ . Por duhet thënë që rryma kalimtare e lidhjes të shkurtër nuk ka kuptim praktik gjatë operimit normal të impiantit, meqë mbrojtja e çkyç lidhjen e shkurtër shumë më shpejtë (maksimum pas disa 100 ms) sesa rryma e lidhjes të shkurtër të arrijë vlerën kalimtare [17].

#### 2.4.1 Sjellja e tensionit në klemat e gjeneratorit

Nga një vrojtim i diagramave vektoriale [17] të makinës sinkrone del se rënia e brendeshme e tensionit për ngarkesë induktive  $x_d I$  është në fazë me tensionin në klemat e tij, dhe rryma e eksitimit duhet të rritet shumë me tëpër së ajo e punës pa ngarkesë. Në rastin e ngarkesës kapacitive ndodh e anasjellta dmth rënia e brendshme e tensionit zvogëlohet dhe prandaj edhe rryma e eksitimit duhet të zvogëlohet. Për ngarkesë reaktive këndi ndërmjet tensionit dhe fem është praktikisht zero.

Në rastin e ngarkesës së pastër aktive rënia e brendshme e tensionit është pingul me tensionin në klema, prandaj tensioni i eksitimit dhe rryma përkatëse duhet të rritën në vlera më të vogla në krahasim me rastin e ngarkesës induktive.

Në rast të një kyçje ngarkese induktive të menjëhershme Fig. 40 ku shpejtësia e agregatit është konstante dhe ngarkesa aktive R=0, kemi sjelljen e tensionit në funksion të kohës si në Fig. 40. ku rasti a është kur nuk kemi rregullim automatik të tensionit dhe rasti b) kur rregullimi automatik i tensionit vepron për të kthyer tensionin në vlerën e kërkuar.

Në Fig. 41, Fig. 42 dhe Fig. 43 shohim si sillet tensioni për kyçje të ngarkesave të tipit të ndryshëm kur rregullatori i tensionit është i aktivizuar.



Fig. 41 Ndikimi i kyçjes tç ngarkesës induktive tç menjëhershme nç klemat e GS dhe veprimi i RAT



Fig. 42 Ndikimi i kyçjes të ngarkesës kapacitive të menjëhershme në klemat e GS dhe veprimi i RAT



Fig. 43 Ndikimi i kyçjes te ngarkesës aktive te menjëhershme në klemat e GS dhe veprimi i RAT

Në Fig. 44 tregohet sjellja e tensionit në dalje të gjeneratorit në 3 raste [17]. Siç duket nga figura goditjet kryesore të tensionit jepen nga ngarkesat reaktive, dhe si rrjedhoje mjafton që rregullatorit të konceptohet në formë të atillë që të otimizojë devijimet për shkak të ngarkesës reaktive.





#### 2.4.2 Shpërndarja e fuqisë reaktive

Një problem në analogji me rregullimin e shpejtësisë del edhe për tensionin në funksion të fuqisë reaktive. Edhe këtu sugjerohet për centralet një karakteristikë tensioni me një statik prej 5%, në mënyrë që të garantohet shpërndarja e fuqisë reaktive në formë të njëtrajtshme. Një rregullim sekondar për tensionin në përgjithësi nuk përdoret, meqë nuk quhet e nevojshme. Toleranca e tensionit jepet në përqindje, edhe përveç kësaj mbajtja e tensionit në vlerat e kërkuara konsiderohet si një problem lokal edhe jo global. Një rregullim tensioni mund të realizohet në formë lokale aty ku është nevoja. Për këtë përdoren transformatorët duke ndryshuar ancafkat ose njësitë e kompensimit. Por me një rregullim global të tensionit do kishim një optimizim më të mirë të rrjetit [17].

### 2.4.3 Sinkronizimi me rrjetin e fortë

Kur një gjenerator punon i sinkronizuar me një rrjetë të fortë atëherë në formë të përafruar mund të themi që frekuenca dhe pjesërisht edhe tensioni diktohen nga rrjeti i fortë. Lind pyetja e stabilitetit edhe kufirit të punës së gjeneratorit sinkron gjatë furnizimit me energji. Që t'i afrohemi kësaj pyetjeje, e pranojmë rrjetin me frekuencë konstante. Në formë ekzakte kjo vlen vetëm për rrjetet me fuqi të instaluar pafundsisht të madhe. Nga ana e frekuencës rrjeti ENTSO-E mund të pranohet pafundësisht i madh, meqë për çdo central edhe në qoftë i madh ai, ka ndikim pmv në frekuencën e rrjetit evropian. Në një idealizim të dytë pranojmë dhe tensionin të pandryshueshëm në një rrjetë të fortë.

Teorikisht mund të themi që në rast se GS është i lidhur me një rrjet të fortë në lidhje me frekuencën dhe tensionin, mbas sinkronizimit të tij, GS nuk ka me nevojë për rregullim shpejtësie ose rregullim tensioni, meqë të dy madhësitë janë të paracaktuara nga rrjeti i fortë. Në të vërtetë janë të dy rregullatorët për mekanizmin e shpërndarjes të flukseve si edhe për mbajtjen e frekuencës dhe tensionit të pashmangshme. [17]

### 2.4.4 Sjellja e tensionit kur ai në rrjetin e fortë nuk pranohet konstant

Pranimi që në një rrjetë të fortë frekuenca është konstante është e saktë, ndërkohë që pranimi që tensioni është konstant është një përafrim i trashë. Ky pranim e quan fuqinë e lidhjes të shkurtër të rrjetit pafundësisht të madhe, ose e thënë ndryshe impedancën e rrjetit, që pranohet si një burim tensionit, të barabartë me zero. Në të vërtetë fuqia e lidhjes të shkurtër të rrjetit ka një vlerë të fundme. GS lidhet me rrejtin në përgjithësi gjithmonë nëpërmjet një reaktancë  $X_Q$ (Indeksi Q sipas normes IEC909), e cila është shuma e reaktancës të transformatorit, reaktancës të linjës të transmetimit si dhe reaktancën e brendshme të rrjetit elektrik

Skema principale jepet në Fig. 45.



#### Fig. 45 GS lidhur me rrjetin e fortë

Në krahasim me frekuencën, e cila mund të konsiderohet në sistemin e përbashkët evropian si e qëndrushme, tensioni mund të ketë ndryshime të mëdha në nyjet lokale të rrjetit (Amplituda e tensionit si edhe vlera efektive). Këto ndryshime varen kryesisht nga karakteristika e rrjetit si edhe nga flukset e fuqisë reaktive në rrjet. Kyçjet me hop të ngarkesës reaktive p.sh. kyçja e motorëve të mëdhenj, shkakton luhatje tensioni të ndjeshme, ndërkohë që ndryshimet e ngarkesës aktive kanë një infulence të vogël në luhatjet e tensionit. Arsyet e këtyre dukurive u trajtuan me lartë.

Duke marrë masat e duhura në planifikimin dhe operimin e rrjetit ruhet tensioni në të gjitha nyjet e ngarkesave, gjatë punës në gjendje të vazhduar, në një diapazon prej  $\pm 5-10\%$  afër tensionit të dhënë, pavarësisht nga ngarkesa e rrjetit. Kjo realizohet me anë të rregullatorëve të tensionit në gjeneratorë, ndryshimit të ancafkave të transformatorëve nën ngarkesë si edhe nëpërmjet impjanteve të kompensimit.

Nga pikëpamja e stabilitetit të tensionit mund të thuhet që ky varet nga ngarkesa e linjave të transmetimit. Në rast së fuqia e transmetuar e kalon një vlerë limit të caktuar, atëherë mund të kemi një kolaps tensioni, ku duhet të kemi parasysh që një rol të rëndësishëm luan kërkesa lokale për fuqi reaktive. Kolapsi i tensionit në rastin e një ngarkese të zakonshme aktivoinduktive, paralajmërohet nga një rënie tensioni e madhe që e tejklalon ndjeshëm limit e mësipërm. Në praktikë kjo mund të ndodhi në rrjetet e dobëta, kur nuk vepron rregullimi i tensionit ose në raste avarie (një çkyçje të një impianti të madh ose të një linjë transmetimi të rëndësishme) dhe furnizimi i pjesës të ngelur të rrjetit nuk arrin të mbuloje kërkesat lokale dhe në rast së shkarkimi automatik i ngarkesës nuk funksionon mirë ose nuk është taruar në rregull [17].

### 2.4.5 Sistemet e eksitimit dhe rregullatori i tensionit në GS

Fuqia e rrymës të vazhduar e sistemit të eksitimit në makinat e mëdha sinkrone me ngarkesë nominale ka vlerat e disa të mijtave të fuqisë të GS. Sistemi i eksitimit mund të realizohet në forma të ndryshme. Në centralet e vjetra furnizohet eksitimi nga një gjenerator i rrymës të vazhduar, i cili është i montuar tek rotori i GS. Për shkak të zhvillimeve të fundit në elektroniken e fuqisë sistemet e reja të eksitimit realizohen sot me anë të një skeme radrizimi e cila e kthen rrymën alternative në të vazhduar, ku sistemi përbëhet nga pjesë të rrotullueshme edhe nga pjesë statike [20].

### 2.4.5.1 Sistemi i eksitimit me gjenerator të rrymës të vazhduar

Ndërtimi i sistemit të eksitimit tregohet në Fig. 46. Gjeneratori i rrymës të vazhduar në përgjithësi ka një sistem eksitimi të pavarur edhe rrotullohet nga turbina, dhe si i tillë ka një shpejtësi rrotullimi konstante. Për sa kohë nuk punojmë në zonën e ngopjes është tensioni  $U_f$  në përpjestim të drejtë me rrymën  $I_e$  në bobinën e eksitimit, dhe kalon nëpërmjet unazave përcjellëse tek fusha e GS.

Makina e rrymës të vazhduar mund të shprehet nga këto mardhënie:

$$U_e = R_e I_e + \frac{d\Psi_e}{dt}$$
(276)

$$U_f = K \Psi_e n \tag{277}$$

$$I_e = \frac{\Psi_e}{L_e} + f(\Psi_e), \qquad (278)$$



Fig. 46 a) Sistemi i eksitimit me gjenerator të rrymës të vazhduar b) Bllokskema

Ku shpejtësia e rrotullimit *n* në p.u. është  $n \approx 1$ , funksioni i ngopjes është në pjesën lineare të punës 0. Tensioni i eksitimit  $U_e$  furnizohet nga një makinë e rrymës të vazhduar ose nga përforcues elektronik.

Bllokskema që përmban edhe limitet ( ngopjen, tensionin maksimal të amplifikatorit) tregohet në figurën Fig. 46b. Konstantja e kohës (e qarkut të pangopur) varion në përgjithësi afër vlerës 0.5 deri në 1 s [20].

### 2.4.5.2 Sistemi i eksitimit me gjenerator të rrymës alternative

Në vend të makinës të rrymës të vazhduar mund të përdorim një eksitues të rrymës alternative, rryma alternative e të cilit me anë të skemës të radrizimit furnizon bobinën e fushës të gjeneratorit sinkron Fig. 47. Eksituesi i rrymës alternative përbëhet në përgjithësi nga një makinë sinkrone e vogël e cila në kushte optimale është projektuar për një frekuencë rreth 500 HZ. Në kundërshtim me projektimet standart të makinës sinkrone, në këtë rast është bobina e fushës statike dhe bobina kryesore rrotullohet sëbashku me diodat radrizuese si një trup i vetëm. Ky konstruksion lejon mënjanimin e unazave të ushqimit, dhe rrjedhimisht uljen e kostos të mirëmbajtjes. Në këtë rast flasim edhe për sistem eksitimi pa furça. Meqë eksituesi i rrymës alternative nga ana dinamike gjithashtu përshkruhet me anë të një konstante kohë vlen bllokskema Fig. 46b edhe për ketë rast [20].



Fig. 47 Larte- Sistem eksitimi me eksitues të rrymës alternative dhe sistemi radrizimi Poshtë- Sistem eksitimi statik me eksitues të jashtëm edhe nga klemat e GS

### 2.4.5.3 Eksitimi statik

Në Fig. 48 tregohet realizimi i eksitimit statik. Eksitimi kontrollohet në përgjithësi nga Gjysmëpërcjellësa (normalisht tiristore), të cilët ushqehen nga një burim ushqimi i jashtëm ose nga vetë tensioni i makinës sinkrone. Në rastin e ushqimit nga makina sinkrone vendoset edhe një trasnformator rryme në paralel për furnizimin e skemës, kjo për arsye se në rast se kemi lidhje të shkurtër sigurojmë ushqimin edhe nëpërmjet një komponenteje që varet nga rryma. Sipas [20] konstantja e kohës të eksitimit është mjaft e vogël edhe mund mos të merret parasysh, si rrjedhojë eksitimi statik mundëson një rregullim më të shpejtë. Fig. 49 tregon bllokskemën përkatëse. Unazat e ushqimit në ketë rast nuk mund të mënjanohen [20].



Fig. 48 Sistemi i eksitimit statik me furnizim të jashtëm ose/edhe nga klemate e GS



Fig. 49 Bllokskema e një eskituesi statik

### 2.4.5.4 Rregullatori i tensionit në makinën sinkrone

Në Fig. 50a tregohet në formë skematike realizimi i rregullatorit të tensionit në makinën sinkrone. Përveç rregullatorit të tensionit në përgjithësi është integruar edhe një njësi për stabilizimin e luhatjeve (PSS=power system stabilizer) dhe limituesi përkatës. Kufizimet janë të vlefshme për rrymën e statorit, rrymën e fushës (rotorit) si edhe këndin e polit (ose fuqinë reaktive kapacitive). Në lidhje me stabilitetin e tensionit është sidomos kufizimi i rrymës të fushës thelbësor. Kufinjtë e tij varen nga karakteristika përkatëse e mbingarkesës. Në përgjithësi rryma e fushës mund të arrijë katërfishin e rrymës nominale për 10 sekonda pa shaktuar probleme. Por mbas maksimum 100 sekondash vlera e rrymës duhet të ketë arritur vlerën

nominale ose maksimum 10% më të lartë së ajo. Fig. 50b tregon qarkun e rregullimit të një rregullatori tensioni ku G(s) është funksioni i transmetimit të gjeneratorit sinkron, dhe E(S) është funksioni i transmetimit të sistemit të eksitimit bashkë me rregullatorin e tensionit. Funksioni transmetues i gjeneratorit sinkron është dhënë në pjesën teorike përkatëse ndërsa sistemi i eksitimit edhe rregullatori i tensionit do e shohim pak me afër në vijim [20].



Fig. 50 Regullatori i tensionit të GS. a) bllokskema e RAT;b)Funksioni transmetimit;c) Skema e zëvendësimit të ngarkesës

Per thellime te metejshme [41] [42] [43] [35] [44] [45] [46] [47] [48] [49].

## 3 Matjet me anë të softit Labview

### 3.1.1 Skema Principiale e montuar për realizimin e matjeve

Në Vaun e Dejës janë realizuar matjet për madhësitë fizike kryesore që nevoiten për identifikimin e nyjeve të hidrocentralit. Matjet janë realizuar me ndihmën e Universitetit të Rostockut duke përdorur Softin LabView megjithë Instrumentet e nevojshme për këtë qëllim. Fig. 51 tregon skemen principale të lidhjes për realizimin e matjeve. Për këto matje është përdorur një rezolucion kohe shumë i lartë (0.05 sek) në mënyrë që të jemi në gjendje të analizojmë sjelljet dinamike të centralit.

Provat janë bërë kur Agregati ka qënë i sinkronizuar me rrjetin dhe janë marrë 11 sinjale. Ku duhet thënë që për fuqinë aktive patëm mundësi të marrim matje nga dy burime të ndryshme prandaj edhe fuqisë aktive i është dedikuar kanali 3 dhe 11. Për prurjen në turbinë nuk kishte mundësi matjeje, pasi edhe vetë PLC e centralit nuk e merte këtë si matje por e llogariste. Rrjedhimisht edhe në këtë punim prurja q do duhet llogaritur.



Fig. 51 Skema principale e lidhjes për realizimin e matjeve në hidrocentral

Kanali	Emri	Simboli	Vlera nominale	Njësia
1	Shpejtësia	n	136.4	$\left[\frac{rrot}{\min}\right]$
2	Pozicioni aparatit drejtues	$G_{\scriptscriptstyle VP}$	100	[%]
3	Fuqia aktive	р	50	[MW]
4	Pressioni në dhomën spirale	SP	5.2	[bar]
5	Rënia neto	h	52	[m]
6	Tensioni Gjeneratorit	U <sub>G</sub>	10.5	[kV]
7	Rryma eksitimit	i <sub>e</sub>	1150	$\begin{bmatrix} A \end{bmatrix}$
8	Tensioni i eksitimit	<i>U</i> <sub>e</sub>	145	$\begin{bmatrix} V \end{bmatrix}$
9	Rryma e gjeneratorit	i <sub>g</sub>	3250	$\begin{bmatrix} A \end{bmatrix}$
10	Fuqia reaktive	$q_{g}$	31	[MVAr]
11	Fuqia aktive	$P_{g}$	50	[MW]

Kanalet e përdorura për matjen janë:

Tab. 2Matjet e rregjistruara me anë të softit dhe aparaturave të LabView

### 3.1.2 Matjet e rregjistruara

Në hidrocentralin Vau i Dejës u regjistruan gjithsej 12 seanca matjesh të cilat u ruajtën në 12 direktori të ndryshme. Këto direktori kanë formatin \*.dat edhe mund të hapen me çdo editor teksti. Një fragment i një matjeje të tillë mund të shikohet tek Fig. 52.

0 0 speed 1 GV position 2 active power 3 spiral pressure 4 turbine head 5 generator voltage 6 excitation current 7 excitation voltage 8 generator current 9 preactive power 10 lo active power	% 0, % 0, MW 0, bar 0, m 0, kV 0, kA 0, V 0, kA 0, MVar 0, MW 0,	$\begin{array}{ccccc} 000 & 200,000 \\ 000 & 100,000 \\ 000 & 60,000 \\ 000 & 10,000 \\ 000 & 80,000 \\ 000 & 13,125 \\ 000 & 1,500 \\ 000 & 4,00,000 \\ 000 & 4,040 \\ 000 & 73,530 \\ 000 & 58,825 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 4 & 000 \\ 4 & 000 \\ 4 & 000 \\ 0 & 000 \\ 4 & 000 \\ 0 & 000 \\ 0 & 000 \\ 0 & 000 \\ 0 & 000 \\ 0 & 000 \\ 0 & 000 \\ 0 & 000 \\ 0 & 000 \end{array}$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c} 1.000\\ 1.000\\ 1.000\\ 1.000\\ 1.000\\ 5.000\\ 5.000\\ 5.000\\ 0.500\\ 0.500\\ 0.500\\ 0.500\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.800\\ 0.800\\ 0.800\\ 0.000\\ 0.800\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.$	$\begin{array}{c} 4.000\\ 4.000\\ 4.000\\ 4.000\\ 0.250\\ 0.600\\ 0.644\\ 10.000\\ 10.000\\ 10.000\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.000\\ 0.$	$\begin{array}{c} 4.000\\ 4.000\\ 4.000\\ 4.000\\ 0.250\\ 0.600\\ 0.644\\ 10.000\\ 10.000\\ 10.000\end{array}$
MESSWERTE									
$\begin{array}{c} -2, 1550 & -1, 5466 & 0, 8035 \\ -2, 1553 & -1, 5446 & 0, 8014 \\ -2, 1561 & -1, 5427 & 0, 8041 \\ -2, 1567 & -1, 5381 & 0, 8038 \\ -2, 1577 & -1, 3350 & 0, 80408 \\ -2, 1577 & -1, 3350 & 0, 80408 \\ -2, 1577 & -1, 3350 & 0, 80408 \\ -2, 1578 & -1, 5294 & 0, 8035 \\ -2, 1578 & -1, 5294 & 0, 8035 \\ -2, 1585 & -1, 5285 & 0, 8038 \\ -2, 1585 & -1, 5285 & 0, 8038 \\ -2, 1585 & -1, 5285 & 0, 8038 \\ -2, 1585 & -1, 5285 & 0, 8038 \\ -2, 1585 & -1, 5285 & 0, 8038 \\ -2, 1585 & -1, 5285 & 0, 8038 \\ -2, 1585 & -1, 5285 & 0, 8038 \\ -2, 1585 & -1, 5285 & 0, 8038 \\ -2, 1600 & -1, 5264 & 0, 8035 \\ -2, 1600 & -1, 5264 & 0, 8037 \\ -2, 1606 & -1, 527 & 0, 8038 \\ -2, 1606 & -1, 527 & 0, 8038 \\ -2, 1606 & -1, 527 & 0, 8038 \\ -2, 1605 & -1, 5063 & 0, 8035 \\ -2, 1604 & -1, 5063 & 0, 8035 \\ -2, 1628 & -1, 5063 & 0, 8035 \\ -2, 1628 & -1, 5063 & 0, 8035 \\ -2, 1628 & -1, 4986 & 0, 8035 \\ -2, 1632 & -1, 4986 & 0, 8035 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8035 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8035 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8035 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8038 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8038 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8038 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8038 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8038 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8038 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8038 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8038 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8038 \\ -2, 1652 & -1, 4986 & 0, 8038 \\ -2, 1652 & -1, 4728 & 0, 8038 \\ -2, 1654 & -1, 4667 & 0, 8038 \\ -2, 1656 & -1, 4667 & 0, 8038 \\ -2, 1656 & -1, 4667 & 0, 8038 \\ -2, 1656 & -1, 4670 & 0, 8038 \\ -2, 1656 & -1, 4470 & 0, 8037 \\ -2, 1664 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1664 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1667 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1667 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0, 8038 \\ -2, 1668 & -1, 4470 & 0$	2.0465 - 2.860 2.0557 - 2.869 2.0557 - 2.869 2.0574 - 2.869 2.0574 - 2.869 2.0574 - 2.869 2.0574 - 2.869 2.0575 - 2.869 2.0593 - 2.869 2.0593 - 2.869 2.0593 - 2.869 2.0593 - 2.869 2.0593 - 2.869 2.0593 - 2.869 2.0581 - 2.869 2.0681 - 2.869 2.0681 - 2.869 2.0681 - 2.869 2.0685 - 2.869 2.0685 - 2.869 2.0685 - 2.869 2.0695 - 2.869 2.0695 - 2.869 2.0695 - 2.869 2.0695 - 2.869 2.0695 - 2.869 2.0755 - 2.869 2.0996 - 2.869 2.0997 - 2.869 2.0996 - 2.869 2.0996 - 2.869 2.0996 - 2.869 2.0997 - 2.869 2.0996 - 2.869 2.0976 - 2.869 2.0976 - 2.869 2.0977 - 2.869 2.0977 - 2.869 2.0774	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	1202         0.1301           1202         0.1301           1203         0.1301           1202         0.1302           1202         0.1302           1202         0.1302           1202         0.1302           1202         0.1302           1202         0.1302           1202         0.1302           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1301           1202         0.1302           1203         0.1302           1204         0.1301           1205         0.1301           1206         0.1301           1207         0.1302           1208         0.1302           1209         0.1302           1201 <td><math display="block">\begin{array}{ccccc} -0.336 &amp; -0.\\ -0.0356 &amp; -0.\\ -0.0354 &amp; -0.\\ -0.0353 &amp; -0.\\ -0.0333 &amp; -0.\\ -0.0335 &amp; -0.\\ -0.0335 &amp; -0.\\ -0.0335 &amp; -0.\\ -0.0351 &amp; -0.\\ -0.0351 &amp; -0.\\ -0.0351 &amp; -0.\\ -0.0351 &amp; -0.\\ -0.0335 &amp; -</math></td> <td>00400         0.0067           0018         0.0052           0031         0.0052           0031         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0079           0018         0.0061           0040         0.0073           0012         0.0073           0037         0.0073           0040         0.0070           0041         0.0061           0037         0.0073           0040         0.0067           0041         0.0061           0042         0.0061           0043         0.0061           0044         0.0067           0040         0.0061           0024         0.0061           0034         0.0071           0034         0.0072           0034         0.0073           0034         0.0073           0034         0.0073           0034         0.0074           0037<td><math display="block">\begin{array}{c} 0,000\\ 0,100\\ 0,200\\ 0,300\\ 0,400\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 1,100\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 3,000\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\</math></td><td></td><td></td><td></td></td>	$\begin{array}{ccccc} -0.336 & -0.\\ -0.0356 & -0.\\ -0.0354 & -0.\\ -0.0353 & -0.\\ -0.0333 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0351 & -0.\\ -0.0351 & -0.\\ -0.0351 & -0.\\ -0.0351 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -0.\\ -0.0335 & -$	00400         0.0067           0018         0.0052           0031         0.0052           0031         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0064           0037         0.0079           0018         0.0061           0040         0.0073           0012         0.0073           0037         0.0073           0040         0.0070           0041         0.0061           0037         0.0073           0040         0.0067           0041         0.0061           0042         0.0061           0043         0.0061           0044         0.0067           0040         0.0061           0024         0.0061           0034         0.0071           0034         0.0072           0034         0.0073           0034         0.0073           0034         0.0073           0034         0.0074           0037 <td><math display="block">\begin{array}{c} 0,000\\ 0,100\\ 0,200\\ 0,300\\ 0,400\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 1,100\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 3,000\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\</math></td> <td></td> <td></td> <td></td>	$\begin{array}{c} 0,000\\ 0,100\\ 0,200\\ 0,300\\ 0,400\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 0,500\\ 1,100\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 1,200\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 2,2000\\ 3,000\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\ 3,200\\$			

Fig. 52 Një fragment i një matjeje të regjistruar nga softi LabView

### 3.1.3 Llogaritja e vlerave fizike nga vlerat e papërpunuara të marra nga matjet

Për shkak se vlerat e matura dhe të regjistruara nga softi LabView janë vlera të anës sekondare rryme ose tensioni të papërpunuara, ato duhen përpunuar në mënyrë që të na japin vlerat reale fizike të agregatit numer 5 të matur në HEC Vau Dejës. Për t'i përpunuar këto matje siç na duhen, ne do na duhet të bëjmë një llogaritje të vogël për të gjetur koefiçentin me të cilin duhet të shumëzojmë vektorin e marë nga LabView për secilin kanal. Këtë koefiçent e gjejmë duke marrë në konsideratë vlerat minimale dhe maksimale fizike të mundshme dhe duke u dhënë atyre përkatësinë e vlerave minimale dhe maksimale të matura. Për të gjetur vlerën reale fizike (X) pastaj vlerën e matur (Y) e shumëzojmë me koefiçentin e gjetur.

<i>Vlera_</i> min e matjes	<i>Vlera_</i> e matur Y	<i>Vlera_</i> max e matjes
Minimumi_Fizik	<i>Vlera_</i> reale Fizike X	Maksimumi_Fizik

Nga sa më lartë shkruajmë ekuacionin:

$$\frac{y - mat\min}{x - fiz\min} = \frac{mat\max - mat\min}{fiz\max - fiz\min}$$
(279)

Ku Vlerat minimale dhe maksimale fizike si edhe vlerat minimale dhe maksimale të matura i marrim nga dokumentacioni dhe i kemi konstante për secilën vlerë të matur.

Zgjidhja e (279) sipas X na jep (280) që kemi përdorur për të kthyer matricën e matur në matricë me vlera fizike.

$$x = \frac{(y - mat \min) \cdot (fiz \max - fiz \min)}{mat \max - mat \min} + fiz \min$$
(280)

### 3.1.3.1 Tregimi dhe analiza e matjeve të kryera

Tre matjet e para Fig. 53, Fig. 54dhe Fig. 55 u shfrytëzuan për të kalibruar sistemin e matjeve në Labview dhe për tu bindur mbi saktësinë e matjeve. Si të tilla këto matje janë cilësuar si të gabuara edhe nuk janë marrë parasysh në këtë punim.

### 3.1.3.1.1 Matja 1



Fig. 53 Matja 1

# 3.1.3.1.2 Matja 2



*Fig. 54 Matja 2* 3.1.3.1.3 Matja 3



Fig. 55 Matja 3

#### 3.1.3.1.4 Matja 4

Në matjen 4 përveç regjistrimit të proçesit të sinkronizimit me rrjetin është ndryshuar "setpointi" i fuqisë reaktive për të parë sjelljen e rregullatorit të tensionit. Matja 4 është matja e parë që është realizuar për identifikimin e rregullatorit të tensionit.Në matjen numer 4 mund të shohim që në çastin e kohës t=0 jepet komanda për sinkronizimin me rrjetin. Mbas rreth 200 sekondash agregati është i sinkronizuar me rrjetin dhe për arsye të identifikimit të rregullatorit të tensionit janë dhënë pikatë e punës (setpointe) të ndryshme të fuqisë reaktive. Siç duket edhe nga grafiku i matjeve me rritjen e rrymës të eksitimit rritet edhe fuqia reaktive e cila ndikon edhe në tensionin tek bornat e gjeneratorit. Ky i fundit ka në çastet e para gjatë proçesi t të



#### Fig. 56 Matja 4

sinkronizimit një tension prej rreth 11 kV dhe stabilizohet në tensionin 9.4 kV mbas sinkronizimit. Me rritjen e fuqisë reaktive në 28 MVAr rritet edhe tensioni në bornat e gjeneratorit në mbi 10 kV.

## 3.1.3.1.5 Matja 5

Matja 5 është regjistruar për kohën pak më shumë së 2 minuta, që përbën përgatitjen për matjen e ardhshme, edhe nuk është shqyrtuar në ketë punim, pasi hidrocentrali është lenë në këtë kohë në gjendje të vendosur.



Fig. 57 Matja 6

### 3.1.3.1.6 Matja 6

Në provën 6 është ndryshuar "setpointi" i fuqisë aktive gradualisht nga vlera 5 MW me hap 5 MW deri në vlerën e plotë të pikës të punës rreth 50 MW. Kjo është prova e parë për identifikimin e Rregullatorit të shpejtësisë bashkë me fuqinë aktive. Në këtë provë duket qartë se me rritjen e fuqisë aktive të vendosur, pra me hapjen e aparatit drejtues bie dhe lartësia neto e presionit e shfrytëzuar nga turbina. Kjo vjen si pasojë e rritjes të humbjeve të fërkimit në tubin me presion për arsye të rritjes të prurjes. Teoria e sjelljes të rregullatorit të shpejtësisë tregon që kur kemi një hapje në çast të aparatit drejtues të rregullatorit të shpejtësisë, rritja e menjëhershme e sipërfaqës efektive tërthore, në të cilën kalon uji sjell një rritje të turbinës. Për pasoje fuqia aktive e prodhuar nga turbina bie në çastin e parë nën vlerën fillestare të fuqisë për ta kaluar atë, pastaj rritet përsëri gjatë proçesit kalimtar duke synuar vlerën e re të vendosur. Në një vështrim të kujdesshëm mund të vërejmë së efekti që pritet nga teoria këtu nuk zbatohet plotësisht. Siç tregon Fig. 58, fuqia në çastin e zhvendosjes të pozicionit të aparatit



Fig. 58 Fragment i matjes 6 per qellim te identifikimit te rregullatorit te shpejstesisë

drejtues të turbinës nuk ndryshon aspak, por fillon të reagojë për shkak të prurjes të shtuar vetëm pas rreth 4 sekondash; pas kësaj kohë fillon proçesi kalimtar që synon pikën e re të punës.

Kjo sjellje na lë të kuptojme që rregullatori i turbinës DTL-595 prodhuar nga Andritz, hapjen fillestare e ka ngadalësuar për të ekuivalentuar humbjen e presionit në çastin e parë për shkak të prurjes së shtuar.



Fig. 59 Matja 6

### 3.1.3.1.7 Matja 7

Në provën 7 është ulur "setpointi" i fuqisë aktive gradualisht duke filluar nga prodhimi maksimal 50 MW me nga 15 MW deri në vlerën 5 MW. Kjo është prova e dytë për identifikimin e rregullatorit të shpejtësisë bashkë me fuqinë aktive. Kjo provë synon identifikimin e sjelljes të rregullatorit të shpejtësisë për ulje të mëdha të pikës të punës.



Fig. 60 Matja 7

### 3.1.3.1.8 Matja 8

Në provën 8 është rritur "setpointi" i fuqisë aktive me një hap të madh duke filluar nga 5 MW dhe duke shkuar në vlerën 40 MW. Kjo është prova e tretë për identifikimin e rregullatorit të shpejtësisë bashkë me fuqinë aktive. Kjo provë synon identifikimin e sjelljes të rregullatorit të shpejtësisë për rritje të mëdha të pikës të punës.



Fig. 61 Matja 8

## 3.1.3.1.9 Matja 9

Matja 9 është regjistruar për rreth 3 minuta, që përfaqëson përgatitjen për matjen e ardhshme, edhe nuk është shqyrtuar në këtë punim pasi hidrocentrali është lënë në këtë kohë në gjendje të vendosur.



Fig. 62 Matja 9

### 3.1.3.1.10 Matja 10

Në matjen 10 është rritur "setpointi" i fuqisë reaktive me nga 5 MVAr duke nisur nga vlera 5 MVAr deri në vlerën 35 MVAr. Matja 10 është matja e dytë që është kryer për identifikimin e rregullatorit të tensionit.



Fig. 63 Matja 10

### 3.1.3.1.11 Matja 11

Në matjen 11 është ulur "setpointi" i fuqisë reaktive me një shkallë 10 MVAr. Matja 11 është matja e tretë që është kryer për identifikimin e rregullatorit të tensionit edhe synon të vlerësojë sjelljen e këtij rregullatori për ulje relativisht të mëdha të fuqisë reaktive.



Fig. 64 Matja 11

### 3.1.3.1.12 Matja 12

Në matjen 12 është parë sjellja e rregullatorit të fuqisë në rast avarie (Shkarkimi i menjëhershëm i ngarkesës(Zbrosi)). Agregati ishte para shtypjes të pulsantit të çkyçjes së menjëhershme të agregatit në kushtet e një rregjimi të vendosur me një prodhim prej 40 MW fuqi aktive dhe 27 MVAr fuqi reaktive. Me çkyçjen e agregatit dhe për pasoje shkarkimin e ngarkesës, shpejtësia e matur e agregatit nuk e tejkalon vlerën 120 % të shpejtësisë nominale.



Fig. 65 Matja 12

# 4 Modelimi, Simulimi dhe identifikimi në ambjentin matlab i nyjeve të Hidrocentralit Vau i Dejës

### 4.1 Modeli hidraulik

Për realizimin e modelit praktik të pjesëve përbërëse të hidrocentralit u desh që përveç bazave teorike të përdoreshin kryesisht dokumentacioni i centralit si edhe karakteristika të nyjeve përbërëse të nxjerra bazë të matjeve të kryera. Sistemi hidrik u modelua nga tubi me presion duke marrë parasysh elasticitetin e ujit. Variablat hyrëse të sistemit hidrik janë pozicioni i aparatit drejtues  $y_T$  (vektori i matur në kanalin 2 të matjes) dhe niveli i sipërm i rënies  $h_{ow}$ , i cili përbëhet nga vektori hyrës i matur  $h_n$  (kanali 5 i matjes) shtuar konstanten e nivelit të poshtëm të ujit  $h_t = 21/52(pu)$  (ku 52[m] është vlera relative bazë e rënies). Si variabel dalës marrim nga modeli fuqinë hidraulike në dhomën sprirale të turbinës  $P_{hyd}$ . Të dhënat e sistemit hidraulik të vaut të Dejës janë si vijon:

$h_n = 52[m]$	Rënia nominale
$Q_n = 103[\frac{m^3}{s}]$	Prurja nominale
$l_{Dr} = 60[m]$	Gjatësia e tubit me presion
$\rho = 1000 \left[\frac{kg}{m^3}\right]$	Densiteti i Ujit
$\Phi_{Dr} = 5,54[m]$	Diametri i tubit me presion
$A_{Dr} = \pi r^2 = \pi (\frac{\Phi_{Dr}}{2})^2 = 24.77[\text{m}^2]$	Sipërfaqja e prerjes tërthore
	të tubit me presion
$\kappa = 5 \cdot 10^{-10} [Pa^{-1}]$	Koeficient i presionit të ujit
$g = 9.81[\frac{m}{s^2}]$	Konstante e gravitacionit

Meqë Vau Dejës nuk ka kullë ekuilibri, tub derivacioni dhe as rregullator presioni (bypass presioni në fund të tubit me presion) modeli hidraulik i Vaut të Dejës modelohet vetëm nga tubi i presionit dhe nga shtypshmëria e ujit siç tregohet në Fig. 66.



#### Fig. 66 Bllokskema e modelit hidraulik

Për të gjetur konstantet e kohës të tubit me presion [50] [51] [52] u përdorën vlerat fizike dhe gjeometrike të dhëna me lartë.

### 4.1.1 Kinematika e tubit me presion

Siç pamë në kapitullin e vështrimit analitik ekuacioni i prurjeve për tubin me presion jepet nga (281)

$$\mathbf{\dot{q}}_{adr} = \frac{1}{T_{wdr}} \left( h_{adr} - h_{edr} - \Delta h_{dr} \right)$$
(281)

Ku

$$T_{wdr} = \frac{l_{dr} \cdot Q_n}{A_{dr} \cdot g \cdot H_n}$$
(282)

Nga zbatimet e të dhënave të Vaut të Dejës tek (282) marrim:

 $T_{wdr} = \frac{60 \cdot 103}{24.1051 \cdot 9.81 \cdot 52} = 0.50258s$ 

### 4.1.2 Dinamika e tubit me presion

Për të modeluar proçeset kalimtare të presionit në tubin me presion, modelit të këtij i shtohet konstantja e kohës  $T_L^*$ . Shkaku i këtyre proçeseve kalimtare në tubin me presion është shtypshmëria e kollonës të ujit në të, e cila vihet re kur ka ndryshime të prurjes.

$$\dot{h}_{edr} = \frac{1}{T_L^*} (q_{adr} - q_{edr})$$
(283)

$$T_l^* = \frac{l_{Dr}^2 \cdot \rho \cdot \kappa}{2 \cdot T_{wdr}}$$
(284)

Për konstanten e elasticitetit të kollonës të ujit në tub marrim vlerën  $T_l^* = 0.00179s$ .

### 4.1.3 Karakteristika e aparatit drejtues

Në këtë pjesë të modelit llogaritet prurja në turbinë në varësi të presionit para turbinës. Karakteristika e hapjes të aparatit drejtues të turbinës në funksion të sipërfaqes së prerjes tërthore të hyrjes, të ujit në turbinë tregohet në Fig. 67. Për të identifikuar këtë karakteristikë ishin në dispozicion vetëm matja e fuqisë aktive të gjeneratorit  $P_G[MW]$ , pozicioni i aparatit drejtues  $y_T[\%]$  dhe h[m]. Gjetja e sipërfaqes tërthore të hapjes të portës të aparatit drejtues aT llogaritet nga formula (Torricelli) [50] [53] [11] [54] [55] [15]  $a_T = \frac{q_T}{\sqrt{h_{edr} - h_{uv}}}$ 



Fig. 67 Karakteristika e hapjes të aparatit drejtues yT në funksion me sipçrfaqes te prerjes tërthore aT te hyrjes të ujit në turbinë

Duke qënë se nuk kishim mundësi të masnim as prurjen as sipërfaqen tërthore të aparatit drejtues *aT* për llogaritjen e këtyre të dyjave u veprua në ketë mënyrë [50] [51]:

- Nga matjet mund të merreshin 10 pika në të cilat turbina ka qënë në rregjim të vazhduar.
- Për këto 10 pika shikoj kurbën e efiçencës të turbinës Fig. 68 ku jepet mardhënia  $\eta = f(h) = f(\mathbf{P}_G)$
- Nga kjo kurbë mundem të lexojë koefiçentin e punës të dobishme të turbinës vetëm për 6 pikat e sipërme të punës, pasi kurba nuk ka të dhëna për rregjim më të vogël se 0.5 p.u.
- Nga këto 6 pika duke marrë edhe koefiçentin e punës të dobishme të gjeneratorit [56]
   [57] [58] u gjet rendimenti total i i bllokut turbinë-gjenerator

$$\boldsymbol{\eta}_{totale} = \boldsymbol{\eta}_t \cdot \boldsymbol{\eta}_G \tag{285}$$

• Duke përdorur 6 pikat e  $\eta_{totale}$  u arrit të llogaritet fuqia hidraulike që futet në turbinë me formulën:

$$P_{hyd} = \frac{P_G}{\eta_{Total}}$$
(286)

• Prurja *q*(pu) u llogarit nga formula:

$$q_{(pu)} = \frac{P_{hyd(pu)}}{h_{(pu)}}$$
(287)

• Duke pasur 6 pikat e llogaritura të prurjes  $q_{(pu)}$  si edhe vlerat stacionare të rënies neto  $h_{(pu)}$  të marra nga matjet u llogariten 6 pikat përkatëse të prerjes të sipërfaqjes tërthore të apartit drejtues nga formula:

$$a_T = \frac{q_{(pu)}}{\sqrt{h_{(pu)}}}$$
 (288)

Duke pasur 6 pikat stacionare të seksionit tërthor dhe 6 pikat stacionare të matura të pozicionit të aparatit drejtues u ndërtua kurba yT=f(aT) e dhënë në Fig. 67.

- Këto 6 pika në funksion të pozicionit të aparatit drejtues  $y_T[\%]$  janë treguar me pika blu në Fig. 67 dhe kurba e inteërpoluar e këtyre pikave është treguar me vijë të kuqe.
- Nga kjo kurbë u lexuan 4 pikat e poshtme stacionare edhe u vendosën tek tabela në excel për aT.
• Që këtu u bënë llogaritjet mbrapsht për të gjetur 4 pikat e poshtme të të gjithë madhësive që u gjetën me lartë.

Së fundmi mund të themi që mardhënia yT=f(aT) vendoset në modelin hidraulik për llogaritjen e prurjes. Ku yT është pozicioni i aparatit drejtues në hyrje të modelit që vjen nga rregullatori i shpejtësisë. Sipërfaqja e prerjes tërthore të aparatit drejtues aT që del nga mardhënia e mësipërme shumëzohet me rrënjën e rënies neto për të marrë prurjen q(pu). Prurja q(pu) shumëzohet në model me rënien neto për të marrë fuqinë hidraulike (fuqia e ujit para hyrjes në turbinë) [50] [51].



Fig. 68 Kurba e efiçences të turbinës (shell curve origjinale) H-P-Ita



Fig. 69 Kurba e karakteristikës të turbinës e interpoluar (shell curve-3D) Ita[%]-Q[m³/s]-h[m]



Fig. 70 Kurba e karakteristikës të turbinës e interpoluar (shell curve-3D) Pmek[MW]- $Q[m^3/s]-h[m]$ 



Fig. 71 Kurba e karakteristikës të turbinës e interpoluar (shell curve-3D) P\_humbjet[MW]-Q[m³/s]h[m]

#### 4.1.4 Llogaritja e koefiçientit të fërkimit për tubin me presion

Sipas Fig. 66 humbja e presionit në tubin me presion llogaritet nga formula  $\Delta h_{dr} = R_{dr} \cdot q_{dr}^2$ Për të llogaritur koefiçentin e fërkimit të tubit me presion u vlerësuan vlerat stacionare në matjen 6. Baza e kësaj llogaritjeje ishte mendimi, që niveli i bjefit të sipërm gjatë provave është konstant [50] [51]. Kështu që komponentja dinamike e presionit neglizhohet për ketë llogaritje. Në gjendje të qëndrueshme pune jepet presioni në fund të tubit me presion ose në hyrje të trubinës nga niveli i presionit të bjefit të sipërm minus humbjen e presionit për shkak të fërkimit në muret e tubit me presion sipas ekuacionit (5)

$$h_{ow_{stat}} = q_{stat}^2 \cdot R_{dr} + h_{edr_{stat}}$$
(5)

Pra nqs. niveli i bjefit të sipërm është konstant kemi:

$$h_{ow1} = h_{ow2}$$

$$q_1^2 \cdot R + h_{edr1} = q_2^2 \cdot R + h_{edr2}$$

$$R = \frac{h_{edr2} - h_{edr1}}{q_1^2 \cdot q_2^2}$$

Për llogaritjen e koefiçentit të fërkimit të tubit u përdorën të 10 gjendjet e qëndrueshme të matjes 6 dhe mbas këtyre llogaritjeve u morr mesatarja e të 9 koefiçentëve të fërkimit është  $R_{mes} = 0.0002437$ .

### 4.1.5 Simulime të modelit hidraulik



### 4.1.5.1 Simulimi i modelit hidraulik Matja 4





Fig. 73 Simulimi modelit hidraulik matja 6





Fig. 74 Simulimi modelit hidraulik matja 7 4.1.5.4 Simulimi i modelit hidraulik Matja 8



Fig. 75 Simulimi modelit hidraulik matja 8

#### 4.2 Rregullatori i turbinës

Në Vau të Dejës Rregullatori i shpejtësisë është instaluar nga Andritz dhe është i tipit DTL 595. Sipas [59] ky rregullator ka të implementuar një llogjikë operimi që zgjidhet në varësi të nëvojes aktuale të sistemit. Një sensorikë e brendshme e rregullatorit monitoron devijimin e frekuencës në varësi të frekuencës referuese 50 Hz. Në qoftë se limiti i poshtëm ose i sipërm tejkalohet, atëherë shfaqet mesazhi "isolatëd nëtwork (internal detection)", në formë alternative ky sinjal mund të jepet edhe në formë binare nga një sinjal i jashtëm, dhe gjendja e operimit të rregullatorit kalon në ishull deri sa limitet e frekuencës mos të tejkalohen më. Për shkak të mos pajisjes të autorizimit për matje të një skeme operimi në ishull, ku HEC-i sinkronizuar të stakohet nga rrjeti i fortë në një çast ngarkese nominale dhe në vijim të furnizojë vetëm një ngarkesë lokale në ishull, ky funskion i rregullatorit nuk ishte i mundur të modelohej. Gjithashtu vihet re që Vau i Dejës, rregullatorin primar e ka të deaktivizuar  $\frac{1}{\sigma} = 0 \rightarrow \sigma \approx \infty$ . Përveç kësaj në rregullator është dhënë mundësia për të kyçur një bllokim aktivizimi për rregullatorin e shpejtësisë për një diapazon të caktuar (psh.  $n_G = \pm 0.001 pu$ ) ku HEC-i gjatë kohës që punon i sinkronizuar me rrjetin nuk reagon ndaj devijimeve të frekuencës, më të vogla së kjo vlerë. Supozohet të jetë lënë kështu për arsye të uljes të amortizimit të elementeve të rregullatorit. Si rrjedhim gjatë punës sinkrone me rrjetin Vau i Dejës nuk është i aktivizuar në rregullimin primar pra nuk merr pjesë në rregullimin shumë të shpejtë të frekuencës. Bllokimi i aktivizimit është i stakuar kur HEC-i punon në ishull.

Kontrolli i aparatit drejtues realizohet nga motorit ndihmës (pilot servo), i cili komandohet me anë të një elektrovalvule nga pjesa elektronike DTL. Kjo nëpërmjet skemës pneumatike e lëviz pistonin e motorit ndihmës tek pozicioni i kërkuar nga dalja e DTL595. Kuptohet që edhe elementet veprues të apartit drejtues janë hidraulik për shkak të forcave të mëdha që duhen për ta zhvendosur atë. Lidhja e kundërt e motorit ndihmës dhe e aparatit drejtues realizohet nëpërmjet një dhënësi linear magnetik. Shpejtësia e aparatit drejtues është e ndryshme për hapje ose për mbyllje, një gjë që ka ndikim tek dinamika e sistemit [50] [51]. Madhësitë hyrëse të rregullatorit të shpejtësisë janë numri i rrotullimeve të gjeneratorit  $n_{mess}$ , fuqia e matur në bornat e gjeneratorit  $p_{G_mess}$  dhe pika e punës referuese e gjeneratorit  $p_{G_set}$ .



#### Fig. 76 Rregullatori i shpejtesisë Vau Dejes

Vektorët me indeksin *mess* janë vektorët e matur në kanalet përkatës. Vektori  $p_{G\_set}$  është gjeneruar nga vlerat statike të punës në matjen përkatëse. Dalja e rregullatorit të turbinës është pozicioni i aparatit drejtues  $y_{T\_sim}$ . Në HEC Vau Dejës janë vendosur për të pestë agregatët rregullator turbinë të tipit DTL 595 të Andritzit shiko Fig. 76.

Rregullatori i turbinës DTL 595 është i përbërë nga një pjesë elektronike edhe nga një pjesë hidraulike. Gjatë punës në paralel ai operohet ose në formën e operimit "*Opening Controller me madhësi të rregullueshme*  $y_T$ " ose në formën "*Power Controller me madhësi të rregullueshme*  $p_G$ ". Në rast devijimi nga vlera nominale e frekuencës  $n_G = 1pu$  përcaktohet kontributi për rikthimin e frekuencës nga statika e rregullatorit ( $\frac{1}{\sigma} = 0 \rightarrow \sigma \approx \infty$ ), ku siç thamë më lartë në kushtet e punës kur u realizuan matjet kontributi i frekuencës ishte i vendosur në zero, dmth. që agregati mos të merrtë pjesë në rregullimin e shpejtësisë.

#### 4.2.1 Identifikimi i Rregullatorit të turbinës

Rregullatori i turbinës është pjesa kyçe e modelit të hidrocentralit. Ai përbëhet nga rregullator shpejtësie me statikë të qëndrueshme, nga aktorët hidraulik me elktrovalvulat përkatëse si dhe nga motori ndihmës dhe motori kryesor. Rregullatori duhet modeluar sa më saktë të jetë e mundur duke identifikuar parametrat me qëllim të arritjes të gabimit më të vogël të mundshëm kuadratik. Për shkak se nuk qe e mundur të bëheshin matje për shembull për pozicionin e motorit ndihmës (nuk dihej në cilat klema mund të merren këto sinjale) u mundua të identifikohet një model sa më i saktë pa i pasur këto të dhëna. Nga pikat stacionare u llogarit funksioni . Kjo kurbë u vendos në model në dalje të pjesës elektronike të tij për të dhënë pikën e references për pozicionin e aparatit drejtues [50] [51].

#### 4.2.2 Simulime të modelit të rregullatorit të shpejtësisë



#### 4.2.2.1 Simulimi i modelit të RASH-it Matja 4

*Fig. 77 Simulimi modelit regullatorit te shpejtesisë matja 4* Gabimi mesatar për këtë simulim është 1.25%.

#### 4.2.2.2 Simulimi i modelit të RASH-it Matja 6



Fig. 78 Simulimi modelit regullatorit të shpejtësisë matja 6 4.2.2.3 Simulimi i modelit të RASH-it Matja 7

Gabimi mesatar për këtë simulim është 0.76%.



Fig. 79 Simulimi modelit regullatorit te shpejtesisë matja 7

Gabimi mesatar për simulimin 7 është 0.0476%, Ndërsa për matjen 8 ai është 0.2446%.



4.2.2.4 Simulimi i modelit të RASH-it Matja 8

Fig. 4-15 Simulimi modelit regullatorit të shpejtësisë matja 8

## 4.3 Rregullatori automatik i tensionit

Për të realizuar modelin e rregullatorit automatik të tensionit, u studiua dokumentacioni [60] përkatës i rregullatorit i lënë nga ABB në central.

Nga [60] del që në Vau të Dejës (edhe në Fierze) është përdorur sistemi i eksitimit me rregullator tensioni të intergruar  $ES202C1F2 \mu P$  eksitues ky i tipit statik. Siç del nga teoria janë eksituesit e tipit statik me furçe dhe në formë principale mund të jepen nga Fig. 81 [20].



Fig. 81 Sistemi i eksitimit statik me furnizim të jashtëm ose/edhe nga klemate e GS

Funksioni kryesor i sistemit të eksitimit [60] është frunizimi me rrymë të vazhduar bobinën e rotorit, për të prodhuar fluksin që i duhet gjeneratorit për operim. Rryma e furnizuar në rotor është e garantuar edhe për kushte pune të ndryshme (ngarkesë kapacitive ose induktive).

Sistemi i eskitimit ka dy elemente furnizimi me energji dhe eksituesi statik. Me anë të një çelësi tek paneli eksitimit është e mundur të përzgjidhet rruga e furnizimit.

Një transformator eksitimi i lidhur në klemat e gjeneratorit përbën furnizimin kryesor me energji. Gjithashtu ka edhe një furnizim të dytë i cili merret nga nevojat vetiake të centralit. Sistemi i eksitimit i tipit *ES202C1F2*  $\mu P$  nga ana funksionale ka dy detyra:

#### 4.3.1 Ushqimi i rotorit

- Pjesa e ushqimit përmban një tiristor me ure 3-fazore që përcjell vetëm nga njëri kah, i cili ka për detyrë të radrizoje tensionin.
- Si edhe një pajisje e cila riqarkullon rrymën e fushës për deeksitim të shpejtë. Ajo ka për detyre shkarkimin e energjisë të mbetëur në induktivitetin e rotorit, si edhe të mbrojtjes atë.

#### 4.3.2 Rregullimi

Rregullatori përmban një rregullator automatik edhe një rregullator të pavarur manual.

Çdo rregullator kontrollon furnizimin e rrymës të furnizuar në fushë. Ky kontroll përmban një diapazon të gjerë funksionesh [60]:

- Rregullimi i tensionit në klemat e gjeneratorit, dhe në rast nëvoje të fuqisë reaktive në rrjet.
- Monitorimi që kushtet më të mira nga pikëpamje e stabilitëtit sigurohen.
- Rikthimi i gjeneratorit sa me shpejtë në kushtet e punës mbas një avarie.

#### 4.3.2.1 Shpjegimi i principit të operimit

Në mungesë të induksionit mbetës të fushës magnetike kryesore përdoret një furnizim i marrë nga sistemi i baterive për energjizimin e fushës të rotorit për disa sekonda. Mbas kësaj një transformator MV/LV i lidhur në zbarat e gjeneratorit furnizon eksituesin. Ura 3 –fazore me tyristore furnizon rrymën e eksitimit sipas nevojave të makinës. Në qoftë se nevojitet një ndërprerje e menjëhershme e furnizimit të fushës, një deksitues statik shkarkon energjinë e ndoshur në rotor akoma duke mënjanuar dëme në fushën e rotorit ose në sistemin e eksitimit. Rregullatori duke pasur një konfigurimit të saktë të transformatorit të tensionit edhe të rrymës sipas [60] vepron duke ndryshuar këndin përcjellës<sup>2</sup> të tyristorit si edhe në rrymën e eksitimit për të optimizuar tensionin e GS si edhe duke mënjanuar e rregjimet jashtë kapacitetit të tij. Rregullimi përmban këto funksionë:

- Rregullim me lidhje të kundërt me komponentë rrymë dhe me rregullator tensioni.
- Limit mbi-eksitimi
- Limit nën-eksitimi
- Limit V/Hz
- Sistem për stabilizimin e luhatjeve
- Rregullim manual të rrymës të eksitimit
- Lidhje të kundërt të rrymës.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Këndi përcjellës i tyristorit është këndi në të cilën ky përcjell rrymën. P.sh. një diodë ideale përcjell vetëm gjysmën e sinusoidës të plotë dhe prandaj ka një kënd përcjellje prej 180°.

#### 4.3.3 Rregullatori automatik dhe funksionet e tij

Rregullatori automatik është i pajisur me një sërë funksionesh edhe pajisjesh. Ato shpjegohen në vazhdimësi [60]:

# 4.3.3.1.1 Sistemi i ndryshimit të vlerës së dhënë të tensionit në bazë të fuqisë reaktive (Compound)

Ky funksion siç u tha dhe më parë merr në dalje të gjeneratorit edhe një komponentë rryme, përveç komponentes të tensionit. Duke pasur këto të dhëna sistemi llogarit fuqinë reaktive aktuale të dhënë në sistem edhe në bazë të saj ndryshon edhe vlerën e kërkuar të tensionit në klemat e GS. Kalibrimi i këtij sistemi ndryshon nga -20 deri në + 20% kur punohet si gjenerator [60].

#### 4.3.3.1.2 Limit i mbieksitimit

Qëllimi i këtij funksioni është moslejimi i një mbingarkese në fushën e rotorit. Vlerat këtu mund të marrin vlerën nga (1-1.3) *Ien* [60] [61].

#### 4.3.3.1.3 Limit i nëneksitimit

Limiti nëneksitimit është gjithashtu i vendosur që mos ta lejojë GS të punojë jashtë limiteve të saj të lejuara nga karakteristika e gjeneratorit. Një nëneksitim i gjeneratorit shkakton uljen nën limit të tensionit edhe rrjedhimisht rritjen e rrymës në klema të GS. Klemat e GS mund të tejnxehen dhe ai mund të dali edhe nga sinkronizmi. Prandaj ky funksion është i aplikuar në Hec Vau Dejës edhe limiti i nëneksitimit përcaktohet nga karakteristika e GS dhe është gjithmonë aktiv [60] [61].

#### 4.3.3.1.4 Limiti Volt/Herz

Qëllimi i këtij funksioni është mbajtja e fluksit të rotorit dhe gjatë proçeseve kalimtare të frekuencës brenda vlerave të lejuara. Një tejkalim i vlerave të lejuara shkakton ngopjen e qarkut magnetik dhe si rrjedhojë tejnxehjen e statorit. [60]

#### 4.3.3.1.5 Vlera e dhënë e tensionit

Vlera e dhënë e tensionit furnizon rregullatorin tek nyja llogjike plus dhe përbëhet nga këto komponentë:

 Butonat e rritjes dhe uljes të tensionit mund të përdoren nga operatorët për të ndryshuar referencën e tij. Diapazoni i ndryshimit është nga 70-110% të tensionit nominal të gjeneratorit.

Gjithashtu është instaluar një funksion linear rritës (ramp) për të energjizuar rotorin në formë graduale gjatë startimit [60].

#### 4.3.3.1.6 Konvertues Sinjali

Konvertuesi i sinjalit ka detyrën të përkthejë vlerën e matur të tensionit në klema të përshatshëm për sinjalin e komandimit që duhet të transmetojë [60].

#### 4.3.3.1.7 Rregullaori i tensionit

Rregullatori amplifikon sinjalin e gabimit (diferencen) ndërmjet tensionit të dhënë dhe tensionit të matur. Tensioni i dhënë kufizohet përpara nga limituesit dhe i shtohet vlera e *Compoundimit* (komponentja e rrymës aktive dhe reaktive) dhe vlera e stabilizuesit të luhatjeve.

Në HEC Vau i Dejës komponëntja aktive e rrymës të compoundimit është 0, ndërsa ajo reaktive është 20% [60].

#### 4.3.3.1.8 Stabilizuesi i luhatjeve të rrjetit

Stabilizuesi i luhatjeve është vendosur brenda qarkut të rregullimit të rregullatorit për të përmirësuar stabilitetin elektromekanik të GS.

Sinjali i stabilizimit është proporcional me devijimin e fuqisë aktive dhe frekuencës, të cilat shkaktohen si pasojë e avarive në sistem. Megjithë se sipas dokumentacionit [60] kemi një stabilizues luhatjesh të instaluar, simulimet me një stabilizues luhatjesh nuk përputhen me hidrocentralin, dhe të paktën për kushet e simuluara blloku për stabilizimin e luhatjeve nuk është përdorur në skeme.

#### 4.3.4 Bllokskema dhe simulimet

Për identifikimin e rregullatorit të tensionit u ndërtua skema Fig. 82. Simulimet e matjeve për skemën e mëposhtme jepen në vijim.



Fig. 82 Bllokskema në simulink për simulimin e regullatorit të tensionit

#### 4.3.4.1 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 4



Gabimi mesatar për këtë simulim është 1.4%

4.3.4.2 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 6



Gabimi mesatar për këtë simulim është 1.1%.

Fig. 84 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 6

# 4.3.4.3 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 7



Gabimi mesatar për këtë simulim është 4.9%

Fig. 85 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 7 4.3.4.4 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 8

Gabimi mesatar për këtë simulim është 2.5%.



Fig. 86 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 8

# 4.4 Modeli i gjeneratorit sinkron



Fig. 87 Modeli i rendit të 5-të i gjenartorit sinkron në simulink

# 5 Modelimi, Simulimi dhe identifikimi në ambjentin matlab i Hidrocentralit Vau i Dejës

# 5.1 Parametrat e simulimit

Simulimi eshte realizuar me hap konstant integrimi, i cili ka vleren 0.01 sekonda. Metoda e perdorur eshte metoda ode45 ne matlab e cila bazohet ne metoden *"eksplicite Runge-Kutta Dormand-Prince pair"* per ekuacione diferenciale [62] [63] [64] [65] [66].

# 5.2 Forma përfundimtare e nënmodeleve në Simulink

Mbasi tek të katër modelet ishte bërë një identifikim i parë dhe ishte arritur një saktësi e cila nuk vlente më tek modeli i mbyllur. Kjo për shkak të ndërveprimit të variablave të nënmodeleve të ndryshëm shiko Fig. 93. Parametrat duheshin identifikuar edhe njëherë, pasi modeli mbas sintezës nuk përputhej më me atë realin. Përpunimi i të 4 nënmodeleve në atë përfundimtarin, ku hapat e ndjekur janë si viijon:

- Përcaktimi i variablave hyrës dhe dalës për të 4 nënmodelet.
- Zhvillimi i Bllokskemës kryesore (shiko Fig. 93).
- Simulim i plotë i modelit.

Kërkimi i identifikimit të gabimit duke:

- Arritur një llogaritje më të saktë të vlerave fillestare të simulimit
- Si dhe riidentifikimi e kurbave përbërëse të modelit edhe njëherë.

Kjo pjesë përbën një punë me investim të madh kohor, pasi edhe gabime shumë të vogla të parametrave ose/edhe kurbave të përdorura në model japin një gabim shumë të madh në rezultat. Modeli përfundimtar i zhvilluar në simulink i nënmodeleve jepet në vijim.

#### 5.2.1 Modeli i hidraulik

Tek modeli hidraulik veçanërisht ishte e nevojshme të shtohej blloku i funksionit të humbjeve. Funksioni i humbjeve i llogaritur, nga  $p_v = 1 - \eta_{total}(pu)$ , u desh të identifikohej sipas simulimeve për diapazone të ndryshme të pikës të punës. Fuqia e simuluar e gjeneratorit përcakton tek kurba në simulink sa janë humbjet aktuale në njësi relative bazë, këto i hiqen fuqisë hidraulike të marrë nga modeli në simulink. Fuqia e turbinës del si e tillë nga modeli hidraulik edhe hyn tek modeli i gjeneratorit. Në fakt humbjet e gjeneratorit janë marrë parasysh që në këtë kurbë, kështu që në modelin e gjeneratorit mund të anashkalojmë humbjet dhe të marrim parasysh vetëm dinamikën e gjeneratorit.



Fig. 88 Modeli Hidraulik i implementuar në modelin e plotë të Hec Vau Dejës

#### 5.2.2 Modeli i Rregullatorit të shpejtësisë

Ky model nuk kishte nevojë ndryshime cilësore shiko



*Fig. 89 Modeli i rregullatorit të shpejtësisë i implementuar në modelin e plotë të Hec Vau Dejës* **5.2.3** Modeli i Rregullatorit të tensionit

Modeli i rregullatorit të tensionit tregohet në Fig. 90.



Fig. 90 Modeli i regullatorit të tensionit i implementuar në modelin e plotë të Hec Vau Dejës



5.2.4 Modeli i gjeneratorit sinkron

Fig. 91 Modeli i gjeneratorit sinkron i implementuar në modelin e plotë të Hec Vau Dejës

# 5.3 Procesi Identifikimit

Proçesi i identifikimit është i ndarë në disa hapa. Pikat e matjes janë baza kryesore mbi të cilën identifikohen fillimisht nënmodelet e centralit në formë të ndarë, dhe së fundmi në formë të bashkuar. Pra baza e punës është tabela që krijohet në bazë te vlerave stacionare të punës te centralit [53]. Kjo tabelë bën të mundur identifikimin e lidhjeve të ndryshme ndërmjet madhësive të centralit

Identifikimi është bërë sipas kësaj rradhe:

- Identifikimi i pikës te punës te fuqisë aktive të dhënë nga operatorët.
- Përafrimi i kurbës te rendimentit për turbinën francis duke u nisur nga dokumentacioni.
- Përafrimi i funksionit të humbjeve të turbinës dhe gjeneratorit.
- Përafrimi i funksionit ndërmjet sipërfaqes tërthore të apartit drejtues dhe pozicionit të tij.
- Identifikimi i pjesës hidraulike.
- Identifikimi i gjeneratorit dhe rregullatorit të tensionit.

#### 5.3.1 Algoritmi i identifikimit

Për identifikimin u përdor metoda e katrorëve më të vegjël [53] [67](Fig. 92). Gabimi kuadratik ndërmjet matjeve dhe simulimit është kërkuar te zvogëlohet duke ndryshuar parametrate e modelit. Në fund parametrate optimal janë gjetur. Kjo procedurë është programuar ne Matlab.



Fig. 92 Principi i procesit të identifikimit me anë të metodës të katrorëve më të vegjël

# 5.4 Bashkimi i nënmodeleve për identifmimin e agregatit të plotë

Të katër nënmodelet janë bashkuar si në diagramën e sinjaleve të modelit të plotë të agregatit



# 5.4.1 Parametrat e Identifikuar

Ne tabelen [2] me poshte jepen parametrat e modelit te plote te identifikuar.

Pjesa Hidraulike							
TWDR		TL	TL		RDR		
0.5026 s	0.00	0.00179 s		0.001			
Rregullatori I shpejtesise							
Rregullatori		Aparati Drejtues					
PI Serv		Servomoto	omotori kryesor		Servomotori ndihmes		
$K_{p} = 0.83$		$K_{d_ms} = 1$			$K_{d_ps} = 1$		
		$T_{a\_ms} = 0.1$			$T_{a_{-}ps} = 1$		
$T_i = 14$		$T_{b_{ms}} = 1$			$T_{b_{-}ps} = 0.1$		
		$T_{ms} = 10$			$T_{ps} = 0.5$		
Gjeneratori							
X <sub>d</sub>	Xd		Xd		$X_q$	Xq	
0.8 0.3			0.2		0.45	0.22	
T <sub>A</sub>	A T <sub>d</sub>		T <sub>d</sub>		$T_q$	r <sub>S</sub>	
5	5 2.13		0.038		0.055	0.013	
Rregullatori I tensionit							
K <sub>P</sub>	]	Γ <sub>5</sub>	$T_{\text{Excm}}$		K <sub>qc</sub>	K <sub>pc</sub>	
10		1.1378 s	0.5 s -0.		2	0	

Tab. 3 Parametrat e identifikuar

# 5.5 Simulimet e modelit të plotë

Në figurat mëposhtë tregohen simulimet e modelit të plotë për matjet e identifikuara.

# 5.5.1.1 Simulimi Matja4



Fig. 94 Figura e parë e simulimit të Matjes 4



Vlera mesatare e gabimit të fuqisë të simuluar me atë të matur është 0.83%.







Fig. 96 Figura e tretë e simulimit të Matjes 4





Fig. 97 Figura e katërt e simulimit të Matjes 4



Fig. 98 Figura e pestë e simulimit të Matjes 4









Vlera mesatare e gabimit të fuqisë të simuluar me atë të matur është 0.4%



Fig. 101 Figura e tretë e simulimit të Matjes 6



Fig. 102 Figura e katërt e simulimit të Matjes 6



Fig. 103 Figura e pestë e simulimit të Matjes 6




Fig. 104 Figura e parë e simulimit të Matjes 7



Vlera mesatare e gabimit të fuqisë të simuluar me atë të matur është 1.86%.





Fig. 106 Figura e tretë e simulimit të Matjes 7



Fig. 107 Figura e katërt e simulimit të Matjes 7



Fig. 108 Figura e pestë e simulimit të Matjes 7









Vlera mesatare e gabimit të fuqisë të simuluar me atë të matur është 6.33%



Fig. 111 Figura e tretë e simulimit të Matjes 8







Fig. 113 Figura e pestë e simulimit të Matjes 8

## 6 Përfundime

- U realizuan matjet me anë të paketës Labview për rregjimet ku pika e punës të agregatit rritet me nga 5 MW deri në fuqinë maksimale, si dhe për rregjimet ku pika e fuqisë rritet me një hap të vetëm nga 5 MW në 40 MW si edhe ulja e fuqisë të kërkuar nga 50 MW me nga 15 MW.
- U realizuan simulimet për të parë saktësinë e modelit në krahasim me matjet e HEC-it
- Nga Simulimet e agregatit të trajtuara duket një saktësi e lartë dinamike e modelit me veprën reale. Kjo është e jashtëzakontë, duke pasur parasysh që vepra fizike nuk është lineare dhe modeli i përshtatët vepres në një diapazon të gjerë punë.
- Matjet në ishull do mundësonin analizën e një modeli që do tregonte aftësitë e centralit për të punuar në këto kushte dhe si rrjedhojë nëse mund të aktivizohej në rikthimin e sistemit mbas blackout-i.
- Ky model mund të zgjerohet duke lidhur të pestë agregatët në paralel dhe duke pasur një model të gjithë centralit.
- Për të arritur një shkallë më të lartë të sjelljes dinamike të modelit informacionë të mëtejshme do nevojiteshin për regullatorët e shpejtësisë dhe matjes. Psh. sensore për matjen e reagimit të motorit ndihmës të rregullatorit të shpejtësisë do mundësonte një identifikim më të saktë të tij. Gjithashtu një detajim mbi mënyrat e veprimit të rregullatorit të tensionit në luhatjet të menjëhershme do ishte frutdhënës mbasi nga identifikimi del që në luhatje të mëdha rregullatori i tensionit kalon në një funksion transmetimi tjetër i cili nga të dhënat e disponueshme ishte i pamundur të identifikohej.
- Qëllimi i vënë vetës për identifikimin e një modeli për një nyje gjeneruese në Shqipëri u realizua nëpërmjet një modelimi të funksioneve transmetues të nyjeve përbërëse, kalimi i këtyre funksioneve në Simulink/Matlab, dhe identifikimi i parametrave të tyre nëpërmjet metodës të katrorëve më të vegjël. Rrezultatet e këtij modeli janë me saktësi të lartë statike dhe dinamike.

#### 7 Biblografia

- [1] KESH.sha. [Online]. Available: http://www.kesh.al/content.aspx?id=22&idd=52.
- [2] E. Saqe, T. Haase, F. Prillwitz und S. E. Al-Ali, "Simulation model of the hydro power plant Vau i Dejes with software matlab/simulink," *Medpower*, 2008.
- [3] A. H. F. Prillwitz, "Meßsystem zur bestimmung der OWAG-pflichtigen Wassermenge für das PSW Geestacht," Universität Rostock, Rostock, 2002.
- [4] R. Thoman, Die Wasserturbinen. Ihre Berechnung und Konstruktion, Stuttgart: Verlag von Konrad Wittwer. Königlich Technische Hochschule, 1908.
- [5] S. P. M. D. I. J. German Ardul Munoz-Hernandez, Modelling and Controlling Hydropower Plants, London : Springer-Verlag, 2013.
- [6] Harald Weber Dissertacion, "Dynamische Netzreduktion zu Modalanalyse von Frequenz und Leistungspendelungen in Ausgedehnten elektrischen Energieübertragungsnetzen," Universität Stuttgart, 1990.
- [7] F. A. Schleif, "The coordination of hydraulic turbine governors for power system operation," *IEEE Trans.*, Bde. %1 von %2PAS-85, , Nr. Power Apparat. Syst., p. 750– 756, 1966.
- [8] V. Carstan, Elektrische Energie versorgung 2, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- [9] D. J. N. J. B. M. F. V. D. M. E, "HYDRO TURBINE MODEL FOR SYSTEM DYNAMIC STUDIES," in *IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 4*, November 1994.
- [10] P. S. Kundur, Power system stability and control, Palo Alto, California: McGraw-Hill, Inc..
- [11] C. Gencoglu, "Assessment of the effect of Hydroelektric power plants governer settings on low frequency inter area oscillations," Middle East Technical University, 2010.
- [12] G. Andre, Chambres d'equilibre., Lausanne: F.Rouge, 1956.
- [13] B. Lucien, Stabililite de reglage de installations hydroelectriques., Paris: Payot,Lausanne Dunod, 1960.
- [14] J. Parmakian, "Water Hammer Analysis," in Dover Publication, New York, 1963.
- [15] E. Truckenbrodt, Strömungsmechanik, Heidelberg, New York: Springer Berlin, 1968.
- [16] B. Golemi, Bazat teorike te elektroteknikes, Tirana: Shtypshkronja e dispensave, 1986.
- [17] V. Carstan, Elektrische Energie-Versorgung1, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.

- [18] S. S. Monika Soni, "Modeling of Hydraulic turbine for analyzing effect of penstock parameter variation on mechanical power," *International Journal of Engineering Research and General Science*, Bd. 3, Nr. 3, pp. 605-611, May-June 2015.
- [19] J. R.Oldenburgerand J.Donelson, "dynamicResponseof a Hydroelectric Plant," AIEE Trans. Vol. PAS-81, PartIII, pp. pp403-419, October 1962.
- [20] V. Crastan, Elektrische Energieversorgung 3, Berlin Heidelberg : Springer-Verlag , 2012.
- [21] E. Welfonder, "Dynamic interactions between power plants and power systems," in *Pergamon*, 1999.
- [22] I. W. G. o. P. M. a. E. S. M. f. S. D. P. Studies, "Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for Dynamic Studies," Bd. Vol. 7, Nr. No. 1, February, 1992.
- [23] "Oscillation behaviour of the enlarged European power system under deregulated energy market conditions," in *Control Engineering Practice 13 Elsevier*, 2005.
- [24] "AUTOMATIC GENERATION CONTROL FOR HYDRO SYSTEMS," in *IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 3, No. 1*,, 1988.
- [25] J. J. Buchholz, Vorlesungsmanuskript Regelunstechnik und Flugregler, München,: GRIN Verlag, 2007.
- [26] H. Unbehauen, Regelungstechnik I, Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag |GWV Fachverlage GmbH, 2008.
- [27] H. Unbehauen, Regelungstechnik II, Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH, 2007.
- [28] G. Karapici, "Automatika e Sistemeve Elektroenergjetike Pj.I," SHBLU, Tirane, 1985.
- [29] G. Karapici, "Automatika e Sistemeve Elektroenergjetike Pj.II," SHBLU, Tirane, 1986.
- [30] G. Karapici, "Leksione të Kontrollit Automatik," Tirane, 2012.
- [31] P. P. d. Marango, Bazat e automatikes 1, Tirane: Shtepia Botuese e Librit Universitar, 2011.
- [32] J. Lunze, Reglungstechnik 1, Berlin Heidelberg : Springer , 2007.
- [33] O. I. Elgerd, Electric Energy Systems Theory: An Introduction, New York: Tata Mc Graw-Hill Publishing Company, 1976.
- [34] Ali Dedej, R. Cako, Proceset Kalimtare Ne Sistemin Elektroenergjetik 1, Tirane: Shblu, 1997.

- [35] D. Schröder, "Elektrische Antriebe 3 Leistungselektronische Bauelemente," Springer, Berlin ; Heidelberg ; New York; Barcelona; Budapest ; Hongkong ; London ; Mailand ; Paris; Santa Clara, 1996.
- [36] B. Golemi, Bazat Teorike te Elektroteknikes 1, Tirane: shblu, 2011.
- [37] C.-M. Ong, Dynamic Simulation of electric machinery using Matlab/Simulink, New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- [38] K.-D. D. D. S. Klaus Heuck, Elektrische Energieversorgung, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien, 2010.
- [39] H. Bühler, Einführung in die Theorie geregelter Drehstromantriebe Band 1:Grundlagen, Basel: Springer Basel AG, 1977.
- [40] K.Bonfert, Betriebsverhalten der Synchronmaschine-Bedeutung der Kenngroessen fuer Planung und Betrieb elektrischer Anlagen und Antriebe, Berlin ,Heidelberg: Springer-Verlag, 1962.
- [41] D. Schröder, "ElektrischeAntriebe Regelung vonAntriebssystemen," Springer, Berlin Heidelberg, 2009.
- [42] D. Schröder, "Elektrische Antriebe –Grundlagen," Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.
- [43] D. Schröder, "Elektrische Antriebe 4 Leistungselektronische Schaltungen," Springer, Berlin Heide1berg, 1998.
- [44] D. Schröder, "Elektrische Antriebe 2 Regelung von Antrieben," Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1995.
- [45] J. Isaachsen, Die Bedingungen f
  ür eine gute Regulirung, Berlin: Verlag von Julius Springer, 1899.
- [46] D. H. H. G. JUrgen Voss, Zentrale Blindleistungs- Spannungsoptimierung in elektrischen Energieversorgungssystemen, Opladen: Westdeutscher Verlag, 1984.
- [47] W. Leonhard, Regelung in der elektrischen Antriebstechnik, Stuttgart: B. G. Teubner, 1974.
- [48] W. Leonhard, Control of Electrical Drives, Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag, 2001.
- [49] W. Leonhard, "Regelung elektrischer Antriebe," Springer, berlin Heidelberg, 2000.

- [50] P. H. Weber, D. F.Prillwitz und D. T.Haase, "Messung, Modellierung und Identifikation des Wasserkraftwerks Innertkirchen II," Universität Rostock, Rostock, 2000.
- [51] D. Z. H. Weber, "Inselbetriebsversuche im Kraftwerk Bärenburg der Kraftwerke Hinterrhein AG (KHR) und entwicklung eines zugehörigen dynamischen Modells," NOK Nordschweitzerische Kraftwerke, 1995.
- [52] G. Lein, Instationäre Vorgänge in Analagen mit Hydraulischen Machinen, Stuttgart: Vorlesungsmaniscript der Universität Stuttgart, 1988.
- [53] A. H. Milos Golubovic, "Measurement/Modeling/Identification of hydro Power plant Bajina Basta," University of Rostock, Rostock, 2003.
- [54] A.Pfarr, Die Turbinen fur Wasserkraftbetrieb, Berlin: Verlag von Julius Springer, 1912.
- [55] M. Adolph, Einführung in die Strömungsmaschinen, Berlin Heidelberg : Springer-Verlag , 1959.
- [56] O. Happoldt, "Elektrische Kraftwerke und Netze," Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1978.
- [57] D.-l. H. Happoldt, Elektrische Kraft-werke und Netze, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1956.
- [58] D. . B. R. Oswald, "Elektrische Kraftwerke und Netze 7 Auflage," Springer, Heidelberg Dordrecht London New York, 2011.
- [59] Andritz, "Control and governing concept for single regulating turbines," Dokumentacioni centralit.
- [60] A. A. B. Boveri, "Sytem Description, Power Plant Documentation".
- [61] M. K. E. Welfonder, "Limitation control procedures, required for power plants and power systems Possibility for reducing future blackouts," in *ELSEVIER*, 2007.
- [62] O. Heaviside, ""Mathematics is an experimental science, and definitions do not come first, butlater on,"," 28 10 2015. [Online]. Available: http://www4.ncsu.edu/~rsmith/MA573\_F15/Lecture4.pdf.
- [63] W. D. Pietruszka, MATLAB und Simulink in der Ingenieurpraxis Modellbildung, Berechnung und Simulation, Wiesbaden: B. G.Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, 2006.
- [64] A. Tewari, Modern Control Design With MATLAB and SIMULINK, New York: JOHN WILEY & SONS, LTD.

- [65] A. Z. Elsherbeni, Matlab Simulations for Radar Systems Design, Boca Raton London New York Washington, D.C.: Chapman & Hall/CRC CRC Press LLC, 2004.
- [66] R. E. WHITE, COMPUTATIONAL MATHEMATICS Models, Methods, and Analysis with MATLAB and MPI, Boca Raton London New York Washington, D.C.: Chapman & Hall/CRC, 2004.
- [67] S. E. A.-. A. T. H. H. W. L. S. Fred Prillwitz, "Simulation model of hydro power plant Shkopeti," *Eurosim Congress on Modeling and Simulation*, Bd. Ljubljana, Nr. Modeling and Simulation, Septemeber, 9-13, 2007.

### 8 Aneks

#### 8.1 Simbolika

Wc energjia e shfrytëzueshme e kollonës së ujit ose e tubit nën presion,

 $_{\rho}$  densiteti i ujit,

m masa e ujit,

<sup>8</sup> përshpejtimi i rënies së lirë,

F forca,

 $P_{i}, P_{el}$  fuqia në dalje përkatësisht të turbinës dhe gjeneratorit ideal,

P<sub>m</sub> Fuqia mekanike e turbinës

 $\eta_h$  koefiçenti i punës së dobishme që i përgjigjet rrjedhjes së ujit prej nivelit të bjefit të sipërm deri sa futet në turbinë ,

 $\eta_t$  koefiçenti i punës së dobishme të turbinës,

- $\eta_{el}$  koefiçenti i punës së dobishme të gjeneratorit,
- A<sub>s</sub> prerja tërthore e tubit të derivacionit,
- A<sub>w</sub> prerja tërthore e kullës së ekuilibrit,
- A<sub>c</sub> prerja tërthore e tubit nën presion,
- L<sub>c</sub> gjatësia e tubit nën presion,
- Ls gjatësia e tubit të deviacionit,
- H<sub>ow</sub> niveli i ujit në bjefin e sipërm,

H<sub>b</sub> niveli bruto i ujit,

H<sub>w</sub> niveli i ujit në kullën e ekuilibrit,

H<sub>uw</sub> niveli i ujit në bjefin e poshtëm,

*H* rënia e shfrytëzueshme e ujit në tubin nën presion,

H<sub>s</sub> humbjet për shkak të fërkimit të ujit në tubin e derivacionit,

 $H_c$  humbjet për shkak të fërkimit të ujit në tubin me presion,

*H<sub>a</sub>* rënia e shfrytëzueshme e ujit në fund të tubit derivacionit,

- $H_r$  rënia bazë e ujit,
- h<sub>s</sub> humbjet për shkak të fërkimit në tubin e derivacionit në njësi relative bazë,
- $h_a$  rënia e shfrytëzueshme ose energjia e ujit hyrje të tubit nën presion në njësi relative bazë,
- $h_c$  humbjet për shkak të fërkimit të ujit në tubin me presion në njësi relative bazë,

- $h_w$  humbjet për shkak të fërkimit të ujit në kullën e ekulibrit në njësi relative bazë
- *h* rënia e shfrytëzueshme e ujit në tubin nën presion në njësi relative bazë,
- V<sub>c</sub> shpejtësia e lëvizjes së ujit në tubin me presion,
- v shpejtësi e lëvizjes së ujit
- Vr shpejtësia bazë e lëvizjes së ujit,
- $v_c$  shpejtësia e lëvizjes së ujit në tubin me presion në njësi relative bazë,
- *Q* prurja e ujit që futet në turbinë,
- $Q_s$  prurja në tubin e derivacionit,
- $Q_W$  prurja në kullën e ekuilibrit,
- $Q_c$  prurja në tubin me presion,
- Q<sub>D</sub> prurja në tubin e rregullatorit të presionit,
- $Q_r$  prurja bazë,
- q prurja e ujit që futet në turbinë në njësi relative bazë,
- $q_{ca}$  prurja e ujit në hyrje të tubit nën presion,
- $q_s$  prurja në tubin e derivacionit në njësi relative bazë,
- $q_W$  prurja në kullën e ekuilibrit në njësi relative bazë,
- $q_c$  prurja në tubin me presion në njësi relative bazë,
- cc koeficient i fërkimit i tubit nën presion,
- c<sub>s</sub> koeficient i fërkimit i tubit të derivacionit,
- ks konstante e fërkimit e tubit të derivacionit,
- kw konstante e fërkimit e kullës së ekulibrit,
- K<sub>p</sub> konstante proporcionaliteti
- T<sub>s</sub> konstante nominale e inercisë në tubin e derivacionit,
- T<sub>c</sub> konstante nominale e inercisë së ujit,
- Tw konstante e inercisë së ujit të kullës së ekulibrit,
- T konstante e inercisë së ujit për ngarkesë të ndryshme nga ajo nominale,
- s operatori i Laplasit,
- $\omega_0$  frekuenca e rezonancës
- $\mathcal{O}_e$  frekuenca e lëkundjeve vetiake
- $\zeta$  koefiçienti i shuarjes
- $I_{l}$  koha që i duhet valës që të përshkruaj gjatësinë e tunelit a
- A shpejtësia e përhapjes së valës së ujit

D	diamet	ri i tubit.	
d	trashësia e tubit,		
ε	konstante e elasticitetit të materialit të tubit,		
Ŕ	rezistenca elektrike në njësinë e gjatësisë së linjës elektrike,		
Ľ	induktiviteti në njësinë e gjatësisë së linjës elektrike,		
Ġ	përcjel	lshmeria elektrike në njësinë e gjatësisë së linjës elektrike,	
Ċ	kapaci	teti elektrik në njësinë e gjatësisë së linjës elektrike,	
Y	pozicioni i aparatit drejtues,		
$Z_1$	rezistenca valore e linjës homogjenë,		
$Z_2$	rezistenca e konsumatorit,		
U <sub>e</sub> ,I <sub>e</sub>	Vala rė	énëse e tensionit dhe e rrymës,	
Ur,Ir	valët e reflektuara të tensionit dhe rrymës,		
Res Ims	emërtim i aksit real emërtim i aksit imagjinar,		
lpha , $eta$	sistem	koordinatash dyfazore,	
$\begin{array}{c} L_i\\ L_h\\ l_i\\ l_h\\ \mathbf{D}, \mathbf{Q} \end{array}$		induktivitet në njësi të emërtuara, induktivitet reciprok në njësi të emërtuara, induktivitet në njësi relative bazë, induktivitet reciprok në njësi relative bazë, pështjella e qetësimit gjatësor dhe tërthor ,	
$U_a, U_b$	, $U_c$	tënsionë fazore,	
$\hat{U}_n$		tënsion bazë,	
$U_{e0}$		tënsion bazë i eksitimit	
$I_a, I_b,$	$I_{c}$	rrymat fazore,	
$\hat{I}_n$		rrymë bazë	
$I^s, I^k$		vektori i rrymës i paraqitur në sistemin $s$ dhe $k$ të koordinatave,	
$I_{e0}$		rrymë bazë e eksitimit	
$\Psi_a, \Psi_a$	$_{b}, \Psi_{c}$	flukset e pështjellave,	
$\hat{\Psi}_n$		fluks bazë,	
s = d/d	dt	operatori i Laplasit,	
n Ø		numri i rrotullimeve të rotorit, shpejtësi këndore,	

$\omega_N = 2\pi 50$	shpejtësi këndore sinkrone,
$\omega_G = 2\pi n_G$	shpejtësi këndore e rotorit të gjeneratorit,
$f_k$	frekuencë relative,
θ	kënd ndërmjet vektorëve,
$\sigma = 1 - \frac{L_h^2}{L_1 L_2}$	koeficient përhapje,
$M_n$	vlera bazë e momentit rrotullues,
m <sub>e</sub>	momentit rrotullues në njësi relative bazë,
J	moment inercie, shpeitësia këndore mekanike e rotorit.
$\Omega_n$	shpejtësia këndore mekanike bazë e rotorit,
$T_m$	konstante mekanike kohë,
W	energjia kinetike e masave që rrotullohen,
$X_d$	reaktanca sinkrone sipas aksit gjatësor d,
$\dot{X_d}$	reaktanca kalimtare sipas aksit d,
X <sub>q</sub>	reaktanca sinkrone sipas aksit tërthor $_q$ ,
$\ddot{\mathcal{X}_q}$	reaktanca mbikalimtare sipas aksit <sub>q</sub> ,
$T^{'}_{d}$	konstantja kalimtare e kohës sipas aksitd,
$T^{''}_{d}$	konstantja mbikalimtare e kohës sipas aksit <i>d</i> ,
$T^{"}_{q}$	konstantja mbikalimtare e kohës sipas aksit $_q$ ,
$T_{d0} = T_e$	konstantja e kohës e punës pa ngarkesë,
$T_e = \frac{L_e}{R_e}$	konstantja e kohës e pështjellës së eksitimit,
$T_D = \frac{L_D}{R_D}$	konstantja e kohës e pështjellës së qetësimit gjatësor,
$T_{Q} = \frac{L_{Q}}{R_{Q}}$	konstantja e kohës e pështjellës së qetësimit tërthor,
$x_d = \frac{\omega_b L_d}{Z_b}$	reaktanca sinkrone sipas aksit d,
$x_q = \frac{\omega_b L_q}{Z_b}$	koefiçenti i përhapjes ndërmjet pështjellave D dhe d,
$\sigma_{Q} = 1 - \frac{L_{qQ}^{2}}{L_{q}L_{Q}}$	- koefiçenti i përhapjes ndërmjet pështjellave Q dhe q,
$\sigma_e = 1 - \frac{L_{de}^2}{L_d L_e}$	koefiçenti i përhapjes ndërmjet pështjellave d dhe e,

$$\mu_{e} = \frac{L_{eD}L_{de}}{L_{dD}L_{e}}$$
 koefiçenti i transformimit i pështjellës e,  
$$\mu_{D} = \frac{L_{eD}L_{dD}}{L_{de}L_{D}}$$
 koefiçenti i transformimit i pështjellës D

# 8.2 Lista e Figurave

Fig. 1 Skema principale e HEC Vau Dejës
Fig. 2 Harta e Shqipërisë ku tregohet HEC Vau i Dejës7
Fig. 3 Skema principale e realizimit te matjeve
Fig. 4 Skema e pergjithshme e një hidrocentrali:G gjeneratori,T turbina,Q prurja e ujit,A prerja
tërthore, L gjatësia, Indekset;td tubi deviacionit, ku kulla e ekuilibrit, tp tubi nën presion, rp
rregullatori i presionit12
Fig. 5 Modeli i tubit me presion variant i parë15
Fig. 6 Modeli i tubit me presion variant i dytë15
Fig. 7 Modeli linear varianti i parë16
Fig. 8 Modeli linear varianti i dytë16
Fig. 9 Modeli i tubit te deviacionit jolinear
Fig. 10 Modeli i tubit deviacionit linear
Fig. 11 Kulla e ekuilibrit
Fig. 12 Bllokskema e kullës së ekulibrit për rastin jolinear
Fig. 13 Bllokskema e kullës së ekuilibrit e linearizuar21
Fig. 14 Modeli jolinear i sistemit hidraulik
Fig. 15 Funksioni transmetues i sistemit hidraulik
Fig. 16 Skema e Petersenit. $Z_1$ përfaqëson rezistencën e linjës homogjene, $Z_2$ rezistencën e
konsumatorit
Fig. 17 Vala $\phi_l$ bie në një linjë homogjene të konsumatorit Z227
Fig. 18 Rënia e valës së tensionit dhe të rrymës në linjën me rezistencë $Z_1$ . Në fund linja është
e hapur $Z_2 = \infty$
Fig. 19 Funksioni transmetues i tubit nën presion duke marrë parasysh elasticitetin
Fig. 20 Modeli i plotë jolinear i nyjeve hidrike kur merret parasysh edhe elasticiteti
Fig. 21 Përgjigja e plotë e fuqisë së turbinës kur ndodh hapja e menjëhershme e portës së ujit
Fig. 22 Varësite e fuqisë, rënies dhe shpejtësisë së ujit per rastin kur porta mbyllet ne masën 0.1
në njësi relative kur konstantja e kohës $T_c = 1$

Fig. 23 Qark elekrik i lidhur ne seri me një burim tensioni te vazhduar	4
Fig. 24 Rregullatori i shpetësisë të agregatit sinkron	8
Fig. 25 Devijimi i shpejtësisë(frekuencës) kur kycet ngarkesa	9
Fig. 26 Puna ne paralel e agregatëve4	0
Fig. 27 Shperndarja e ngarkesës aktive per agregatët të lidhur në paralel 4	-1
Fig. 28 karakteristika e rregullimit4	-1
Fig. 29 Bllokskema e rregullatorit te shpejtesisë4	.3
Fig. 30 Rregullatori i shpejtësisë i një turbine me ujë4	-5
Fig. 31 Bllokskema tipike e një regullatori presioni te një turbine francis	6
Fig. 32 Transformimi i koordinatave e vektorit hapësinor I	0
Fig. 33 Dy pështjella te çiftuara	6
Fig. 34 Paraqitja skematike e një makine sinkrone5	9
Fig. 35 Skema e zëvendësimit me dy aksë e makinës asinkrone6	51
Fig. 36 Diagarama Vektoriale për gjendjet e ndryshme të GS7	5
Fig. 37 Bllokskema e gjeneratorit sinkron	8
Fig. 38 Skema principale e një makine sinkrone me rregullator tensioni	'9
Fig. 39 Rrymat e lidhjes të shkurtër në nj.r.b. dhe konstantet e kohës te komponentev	<i>'e</i>
mbikalimtare dhe kalimtare	0
Fig. 40 Kyçje e një ngarkesë në agregat	51
Fig. 41 Ndikimi i kyçjes tç ngarkesës induktive tç menjëhershme nç klemat e GS dhe veprim	ni
i RAT	51
Fig. 42 Ndikimi i kyçjes të ngarkesës kapacitive të menjëhershme në klemat e GS dhe veprim	ni
i RAT	2
Fig. 43 Ndikimi i kyçjes te ngarkesës aktive te menjëhershme në klemat e GS dhe veprimi	i
RAT	2
Fig. 44 Ndikimi i kyçjes te ngarkesës aktive, induktive dhe kapacitive të menjëhershme n	ıë
klemat e GS dhe efekti i RAT në funksion të kohës8	2
Fig. 45 GS lidhur me rrjetin e fortë	34
Fig. 46 a) Sistemi i eksitimit me gjenerator të rrymës të vazhduar	5
Fig. 47 Larte- Sistem eksitimi me eksitues të rrymës alternative dhe sistemi radrizimi	6
Fig. 48 Sistemi i eksitimit statik me furnizim të jashtëm ose/edhe nga klemate e GS	7
Fig. 49 Bllokskema e një eskituesi statik8	7
Fig. 50 Regullatori i tensionit të GS. a) bllokskema e RAT;b)Funksioni transmetimit;c) Skem	ıa

Fig. 51 Skema principale e lidhjes për realizimin e matjeve në hidrocentral	. 89
Fig. 52 Një fragment i një matjeje të regjistruar nga softi LabView	.91
Fig. 53 Matja 1	. 92
Fig. 54 Matja 2	. 93
Fig. 55 Matja 3	. 93
Fig. 56 Matja 4	. 94
Fig. 57 Matja 6	. 95
Fig. 58 Fragment i matjes 6 per qellim te identifikimit te rregullatorit te shpejstesisë	.96
Fig. 59 Matja 6	. 97
Fig. 60 Matja 7	. 98
Fig. 61 Matja 8	. 99
Fig. 62 Matja 9	100
Fig. 63 Matja 10	101
Fig. 64 Matja 11	102
Fig. 65 Matja 12	103
Fig. 66 Bllokskema e modelit hidraulik	105
Fig. 67 Karakteristika e hapjes të aparatit drejtues yT në funksion me sipçrfaqes te pres	rjes
tërthore aT te hyrjes të ujit në turbinë	106
Fig. 68 Kurba e efiçences të turbinës (shell curve origjinale) H-P-Ita	108
Fig. 69 Kurba e karakteristikës të turbinës e interpoluar (shell curve-3D) Ita[%]-Q[m3/s]-h	[m]
······	109
Fig. 70 Kurba e karakteristikës të turbinës e interpoluar (shell curve-3D) Pmek[MW]-Q[m <sup>3</sup>	9/s]-
h[m]	110
Fig. 71 Kurba e karakteristikës të turbinës e interpoluar (shell curve-3D) P_humbjet[MV	W]-
Q[m³/s]-h[m]	111
Fig. 72 Simulimi modelit hidraulik matja 4	113
Fig. 73 Simulimi modelit hidraulik matja 6	113
Fig. 74 Simulimi modelit hidraulik matja 7	114
Fig. 75 Simulimi modelit hidraulik matja 8	114
Fig. 76 Rregullatori i shpejtesisë Vau Dejes	116
Fig. 77 Simulimi modelit regullatorit te shpejtesisë matja 4	117
Fig. 78 Simulimi modelit regullatorit të shpejtësisë matja 6	118
Fig. 79 Simulimi modelit regullatorit te shpejtesisë matja 7	118
Fig. 4-15 Simulimi modelit regullatorit të shpejtësisë matja 8	119

Fig.	g. 81 Sistemi i eksitimit statik me furnizim të jashtëm ose/edhe nga klema	ate e GS 120
Fig.	g. 82 Bllokskema në simulink për simulimin e regullatorit të tensionit	
Fig.	g. 83 Simulimi i regullatorit te tensionit per matjen 4	
Fig.	g. 84 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 6	
Fig.	g. 85 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 7	
Fig.	g. 86 Simulimi i rregullatorit të tensionit për matjen 8	
Fig.	g. 87 Modeli i rendit të 5-të i gjenartorit sinkron në simulink	
Fig.	g. 88 Modeli Hidraulik i implementuar në modelin e plotë të Hec Vau De	ejës 128
Fig.	g. 89 Modeli i rregullatorit të shpejtësisë i implementuar në modelin e plot	ë të Hec Vau Dejës
Fig.	g. 90 Modeli i regullatorit të tensionit i implementuar në modelin e plotë	të Hec Vau Dejës 129
Fig.	g. 91 Modeli i gjeneratorit sinkron i implementuar në modelin e plotë të	Hec Vau Dejës 130
Fig.	g. 92 Principi i procesit të identifikimit me anë të metodës të katrorëve m	ë të vegjël 131
Fig.	g. 93 Diagrama e sinjaleve të modelit të plotë të agregatit	
Fig.	g. 94 Figura e parë e simulimit të Matjes 4	
Fig.	g. 95 Figura e dytë e simulimit të Matjes 4	
Fig.	g. 96 Figura e tretë e simulimit të Matjes 4	
Fig.	g. 97 Figura e katërt e simulimit të Matjes 4	
Fig.	g. 98 Figura e pestë e simulimit të Matjes 4	
Fig.	g. 99 Figura e parë e simulimit të Matjes 6	
Fig.	g. 100 Figura e dytë e simulimit të Matjes 6	
Fig.	g. 101 Figura e tretë e simulimit të Matjes 6	
Fig.	g. 102 Figura e katërt e simulimit të Matjes 6	
Fig.	g. 103 Figura e pestë e simulimit të Matjes 6	
Fig.	g. 104 Figura e parë e simulimit të Matjes 7	
Fig.	g. 105 Figura e dytë e simulimit të Matjes 7	
Fig.	g. 106 Figura e tretë e simulimit të Matjes 7	
Fig.	g. 107 Figura e katërt e simulimit të Matjes 7	147
Fig.	g. 108 Figura e pestë e simulimit të Matjes 7	
Fig.	g. 109 Figura e parë e simulimit të Matjes 8	
Fig.	g. 110 Figura e dytë e simulimit të Matjes 8	
Fig.	g. 111 Figura e tretë e simulimit të Matjes 8	
Fig.	g. 112 Figura e katërt e simulimit të Matjes 8	

Fig.	113 Figura e pes	stë e simulimit të Matjes	8 15	53
------	------------------	---------------------------	------	----