

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Enerģētikas institūts

Sergejs RUBCOVS

**ENERGOSISTĒMU AVĀRIJAS REŽĪMU
VADĪBAS METODES, IZMANTOJOT
ADAPTĪVO ATSLODZI PĒC FREKVENCES**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2007

DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

Darba aktualitāte

Enerģētika ir vadošā Latvijas tautsaimniecības nozare. Latvijas energosistēma darbojas kopējā Baltijas valstu apvienībā un vienotā sistēmā ar Krievijas un Baltkrievijas energosistēmām.

Šāda energosistēmu apvienojuma mērķtiecību diktē ekonomiskie un arī patērētāju elektroapgādes drošības paaugstināšanas apsvērumi. Energosistēmu apvienošanās turpinās arī tagad. Savulaik tika gaidīts, ka apvienojot energosistēmas izdosies izvairīties no avārijām ar smagām ekonomiskām sekām. Tomēr pēdējo gadu realitāte šīs cerības nav attaisnojusi. Pēdējo gadu laikā pasaules dažādās energosistēmās ir notikušas vairākas sistēmu avārijas. Piemēram, minēsim dažas no tām: 2002. gadā - Azerbaidžāna, Gruzijā, Japānā; 2003. gadā - ASV, Anglijā, Zviedrijā, Somijā, Holandē, Itālijā; 2004. gadā - Grieķijā; 2005. gadā - Krievijā, 2006. gadā - Eiropā.

Esošā pretavāriju automātika (PA) vairumā avārijas situāciju darbojās pilnā saskaņā ar uzdoto algoritmu, taču PA darbības galarezultāts bija neapmierinošs un energosistēmas bija pilnīgi vai daļēji sabrukušas. Acīmredzami vairumā gadījumu reālais avārijas process atšķīrās no aprēķina avārijas režīma, uz kādu tika ieregulēta PA. Esošā PA pēc darbības principa nespēj pietiekamā apjomā novērtēt avārijas režīmu. PA reaģē uz energosistēmas statistiskajiem parametriem (spriegums, frekvence, elektropārvades leņķis sakaru līnijas galos utt.). Taču avārijas process ir dinamisks process pēc rakstura un var būt ļoti daudzveidīgs, atkarībā no destabilizējošās iedarbes un PA veiktajām vadības iedarbēm. Rezultātā var secināt, ka eksistējošie PA darbības principi neatbilst mūsdienu PA izvirzītajām prasībām. Rezultātā, tas var novest pie energosistēmas sabrukuma un lieliem ekonomiskiem zaudējumiem. Tāpēc ļoti aktuāla kļūst jauno PA darbības principu izstrāde.

Energosistēmas avārijas procesa efektīva vadība tiek nodrošināta tad, kad avārijas dinamika atbilst PA vadības uzdotajai dinamiskajai raksturlīknei.

Pēdējos gados notikušo lielo sistēmas mēroga avāriju analīze pierāda, ka vairumā gadījumu sistēmu līdz sabrukumam noved nepareiza vai nepietiekami efektīva automātiskās atslodzes pēc frekvences darbība, kā arī fakts, ka esošā AAF sistēma visneefektīvāk darbojas frekvences kaskādes avārijas gadījumos. Šādās avārijās energosistēmas aktīvās jaudas deficīts rodas vairākas reizes pēc kārtas. Problēma ir nepieciešamībā radīt avārijas procesu tādas vadības metodes un līdzekļus, kas aktīvās jaudas deficīta vai pāruma gadījumā spēj pielāgoties avārijas

procesa dinamikas raksturam, jeb, citiem vārdiem sakot - adaptīvu PA. Vadot avārijas procesu vēlams lai frekvence energosistēmā mainītos saskaņā ar uzdotu dinamisko raksturlīkni.

Disertācijā piedāvātās jaunās PA metodes var izmantot arī citu veidu automātikā, piemēram, frekvences avāriju laikā realizējot ģeneratoru ātru palaišanu un apturēšanu.

Darba mērķi un uzdevumi

Darba mērķis ir izstrādāt metodes un līdzekļus, kas paaugstina aktīvās jaudas deficīta radīto energosistēmas avārijas režīmu vadīšanas efektivitāti.

Lai sasniegtu mērķi, darbā tika risināti šādi galvenie uzdevumi:

- Aktīvās jaudas deficīta vai pāruma radītu energosistēmas frekvences izmaiņu analīzes metožu izstrādāšana.
- Matemātiskā modeļa radīšana energosistēmas frekvences izmaiņu dinamiskā procesa analīzei, ievērojot automātisko atslodzi pēc frekvences.
- Energosistēmas frekvences izmaiņu dinamikas analīze, ja darbojas esošā automātiskā atslodze un automātiskā atpakaļieslēgšana pēc frekvences.
- Energosistēmas un frekvences atslodzes automātikas parametru ietekme uz avārijas likvidēšanas efektivitāti.
- Frekvences atslodzes automātikas jaunu metožu un līdzekļu izstrāde, kas adaptīvi pret energosistēmas avārijas situācijas raksturu.

Pētījuma metodes

- Izstrādātā energosistēmas un frekvences atslodzes automātikas matemātiskā modeļa izmantošana programmā "Matlab" ar reālā laika laboratoriju "Simulink" palīdzību, lai analizētu frekvences izmaiņu dinamiku.
- Energosistēmas frekvences izmaiņas dinamikas teorētiskās analīzes vajadzībām modificētā fāzes plaknes metode.
- Energosistēmas un automātiskās atslodzes un atpakaļieslēgšanas pēc frekvences automātikas ierīču analītiskais modelis.
- Energosistēmas un frekvences atslodzes automātikas darba režīmu analīze.
- Automātiskās atslodzes un atslēgto patērētāju atpakaļieslēgšanas pēc frekvences automātikas adaptīvas ierīces sintēze.

Darba zinātniskā novitāte

- Izstrādāta metodika aktīvas jaudas deficīta vai pāruma radītu energosistēmas frekvences izmaiņu analīzei.
- Pierādīts, ka energosistēmas avārijas režīma vadība ar tikai vienu regulējamo parametru - frekvenci ir pārāk smagnēja un neprecīza.
- Izmantojot fāzes plaknē veiktās analīzes rezultātus parādīts, ka energosistēmas stāvokli jebkurā laika momentā var definēt ar trim raksturojumiem - frekvenci, frekvences izmaiņas ātrumu un attēlojošā punkta kustības trajektoriju (virzienu).
- Izstrādāti matemātiskie modeļi, ar kuru palīdzību izdarīti daudzskaitlīgi energosistēmas avārijas režīmu aprēķini.
- Izstrādāta jauna metodika frekvences adaptīvai vadībai avārijas situācijās, kas salīdzinājumā ar esošajām metodēm ļauj ātrāk un precīzāk atjaunot energosistēmas frekvenci līdz uzdotai vērtībai.

Darba praktiskā nozīme

- Izstrādātā energosistēmas avārijas analīzes metodika, var tikt izmantota avārijas situācijas praktiskai analīzei, frekvences atslodzes un citu pretavārijas automātikas veidu iestatījumu efektīvai un racionālai izvēlei.
- Piedāvātās vadības metodes un frekvences pretavārijas automātikas ierīču algoritmi vadības sistēmai ļauj piemēroties reālai avārijas situācijai.

Aizstāvēšanai izvirzītas pamatnostādnes

1. Izstrādātā metodika aktīvās jaudas deficīta vai pāruma radītu energosistēmas frekvences izmaiņu analīzei.
2. Izstrādātie matemātiskie modeļi, ar kuru palīdzību izdarīti daudzskaitlīgi energosistēmas avārijas režīmu aprēķini.
3. Energosistēmu avārijas režīmu analīzes rezultāti un energosistēmas dinamikas stāvokļa novērtējums avārijas un vadības procesa laikā.
4. Izstrādātā jaunā metodika frekvences adaptīvai vadībai avārijas situācijās.

Darba aprobācija

1. PvTU 46. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, 2005, 13.-15. oktobris. "Analysis of Frequency Restoration Dynamics During Operation of Underfrequency Load Shedding Automation".
2. Starptautiskā zinātniskā konference PowerTech'05, Sanktpēterburga, 2005. "Problems of putting into operation generating reserves of the Power System during frequency deviation".
3. Starptautiskā zinātniskā konference PowerTech'05, Sanktpēterburga, 2005. "Adaptive Load Shedding and Load Restoration Systems".
4. 6th International Conference "Control of Power Systems'04". High Tatras, Štrbské Pleso, Slovak Republic, June 16-18, 2004. "Adaptive Load Shedding system".
5. 44. Starptautiskā zinātniska konference, EPE-PEMC2004. Rīga, 2004, 11.-13. oktobris. "Problems of Power System Frequency Control During Emergency Condition".
6. 43. Starptautiskā zinātniskā konference, Elektroenerģētisko sistēmu sekcija, Rīga, 2003, 11.-13. oktobris. "Frekvences un aktīvas jaudas regulēšanas problēmas paralēli strādājošu energosistēmu gadījumā".
7. RTU 42. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, 2001. "Hidroelektrostaciju ģeneratoru izmantošana sekundārajā frekvences regulēšanā".

Publikācijas

Referējamos žurnālos:

1. V.Čuvičins, N.Gurovs, S.Rubcovs. "Analysis of Frequency Restoration Dynamics During Operation of Underfrequency Load Shedding Automation", RTU 46. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, 2005, 13.-15. oktobris.
2. V.Čuvičins, N.Gurovs, S.Rubcovs, V.Strelkovs. "Problems of putting into operation generating reserves of the Power System during frequency deviation". Starptautiskā zinātniskā konference PowerTech'05, Sanktpēterburga, 2005.

3. V.Čuvičins, N.Gurovs, S.Rubcovs. "Adaptive Load Shedding and Load Restoration Systems". Starptautiskā zinātniskā konference PowerTech'05, Sanktpēterburga, 2005.
4. V.Čuvičins, N.Gurovs, S.Rubcovs. "Adaptive Load Shedding System". Slovak Republic, High Tatras, Štrbské Pleso, 2004.
5. V.Čuvičins, N.Gurovs, S.Rubcovs, V.Strelkovs. "Problems of Power System Frequency Control During Emergency Condition". RTU 44. Starptautiskā zinātniskā konference, RTU, Rīga, 2004.
6. V.Cuvičins, N.Gurovs, S.Rubcovs, V.Strelkovs. "Frekvences un aktīvās jaudas regulēšanas problēmas paralēli strādājošo energosistēmu gadījumā". RTU 43. Starptautiskā zinātniskā konference, RTU, Rīga, 2003.
7. V.Čuvičins, N.Gurovs, A.Staltmanis, I.Survilo, S.Rubcovs. "Hidroelektrostaciju ģeneratoru izmantošana sekundārajā frekvences regulēšanā". RTU 42. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, 2001.

Vietējos izdevumos:

1. A.Staltmanis, S.Rubcovs. "Black-start of Ignalina NPP auxiliaries with Plyavinas HPP generators". Latvian journal of physics and technical science, 18-34 pages. Riga, June 2000.
2. S.Rubcovs. "Rīgas HES hidroagregātu režīma automātiskas vadības optimizācija". Energo. Rīga, Marts Nr.2(13) 2003.

Darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs uzrakstīts latviešu valodā, darbs satur 8 nodaļas, secinājumus un rekomendācijas, kā arī literatūras sarakstu. Darba kopējais apjoms ir 166 datorsalikuma lappuses. Darbā iekļautas 8 tabulas un 70 attēli. Literatūras sarakstā iekļauti 104 izmantotās literatūras avoti.

1. Dažādas energosistēmas izvirzītas prasības elektriskas enerģijas kvalitātei

Pirmajā disertācijas daļā tiek aplūkoti jautājumi, kas saistīti ar elektroenerģijas kvalitāti un energosistēmas normālu un avārijas režīmu raksturojošiem parametriem, aktīvās jaudas un frekvences regulēšanas pamatprincipiem, aktīvās jaudas rezerves klasifikāciju un nodrošināšanu, frekvences pretavārijas atslodzes automātikas uzbūves pamatprincipiem. Salīdzināta šo pamatprincipu realizācija dažādu valstu energosistēmās.

Šajā sadaļā tiek aplūkotas dažādu valstu un energosistēmu prasības, kas izvirzītas frekvences regulēšanas kvalitātei. Tiek aplūkotas Eiropas apvienotās energosistēmas UCTE prasības, Skandināvijas valstu energosistēmas NORDEL prasības un Krievijas apvienotās energosistēmas prasības.

2. Frekvences regulēšanas eksistējošās metodes energosistēmu normālā, deficīta rašanās un avārijas režīmā. Rotējošās rezerves klasifikācija un nodrošinājums

Dažādās pasaules energosistēmās ir atšķirīgas frekvences regulēšanas teorētiskās nostādnes jeb dažāda frekvences regulēšanas filozofija. Frekvences regulēšanas realizāciju katrai energosistēmai zināmā mērā reglamentē valsts ģeogrāfiskās, ekonomiskās un tehniskās īpatnības. Disertācijās otrajā sadaļā tiek aplūkotas dažādu valstu frekvences regulēšanā izmantoto pamatprincipu īpatnības.

Īsumā var izdalīt trīs galvenās frekvences regulēšanas sistēmas - primārā, sekundārā un terciālā regulēšana. Visi šie regulēšanas veidi iedarbojas uz "ģenerāciju", ar mērķi uzturēt līdzsvaru starp ražoto un patērēto enerģiju.

3. Eksistējošās AAF automātikas darbības principu apskats un tās galvenie parametri. Eksistējošās AAF automātikas klasifikācija. AAF automātikai izvirzītās prasības

Šajā disertācijas daļā tiek aplūkoti jautājumi, kas saistīti ar AAF automātikai izvirzītajām prasībām, AAF automātikas klasifikāciju un raksturojošiem parametriem, AAF automātikas realizācijas paņēmieniem dažādās valstīs, eksistējošās AAF automātikas trūkumiem. Daļas nobeigumā ir secinājumi par eksistējošās AAF automātikas stāvokli.

AAF-1 automātika

AAF-1 automātika-tā ir ātrdarbīga AAF automātika, kuras galvenie mērķi:

- ātri apturēt frekvences samazināšanās procesu, atslogojot patērētājus ar mazām porcijām;
- noturēt frekvenci atļautās frekvences - laika zonas robežās.

AAF-2 automātika

AAF-2 automātika - tā ir lēndarbīga AAF automātika, kuras galvenie mērķi:

- automātiski atslēdzot slodzi ar mazām porcijām ar lielu laika kavējumu atjaunot frekvenci līdz uzdotai frekvences vērtībai, pie kuras var automātiski sinhronizēt energosistēmas daļas;
- noturēt frekvenci pieļautās frekvences - laika zonas robežās;

Atšķirībā no aktīvās jaudas un frekvences primārās, sekundārās un terciālās regulēšanas, kas iedarbojas tieši uz ģenerāciju, AAF automātikas sistēma iedarbojas uz slodzes atslēgšanu. Tāda AAF automātikas darbība noved pie energokompāniju ekonomiskiem zaudējumiem, kas saistīti ar elektroenerģijas nepiegādi, ar tehnoloģiskiem un ekonomiskiem zaudējumiem elektroenerģijas patērētājiem utt. Šajā sakarā AAF automātiku parasti izmanto kā *pēdējo pretavārijas līdzekli* lai apturētu frekvences pazemināšanos un nepieļautu frekvences lavīnas rašanās procesu energosistēmā.

4. AAF sistēmu darbības pētīšanas paņēmieni, energosistēmas un AAF parametru ietekme uz energosistēmas frekvences izmaiņas procesu

Šajā sadaļā sniegts īss apskats par galvenajām metodēm, ko izmanto disertācijā analizējot AAF struktūras, energosistēmas un AAF parametru ietekmi uz frekvences izmaiņas procesu energosistēmas avārijas laikā. Galvenā uzmanība veltīta analītiskajai analīzei ar fāzes plaknes izmantošanu, kā arī frekvences izmaiņu matemātiskajai modelēšanai ar speciālām matemātiskajām programmām.

Matemātiskā modelēšana

Frekvences izmaiņas procesus energosistēmā, ievērojot AAF automātikas diskrētās iedarbes, apraksta nelineāri diferenciālvienādojumi. To risināšanai pielieto matemātisko modelēšanu ar speciālām matemātiskām programmām. Šo uzdevumu risināšanai tika izmantota programma "Matlab" ar reālā laika laboratoriju "Simulink" ar standarta elementu bibliotēku.

Ir nepieciešamība radīt tādus universālus matemātiskos modeļus, ar kuriem iespējams matemātiski modelēt dažādas AAF sistēmas. Problēmas risinājums kļuva iespējams līdz ar tādu modernu matemātisko programmu parādīšanos, kas ļauj izveidot jebkuras AAF sistēmas pietiekami precīzu modeli, ievērot ģeneratora un slodzes dinamiskos parametrus, atrast grafiskos risinājumus kā laika raksturlielnes, kā arī iegūt risinājumus fāzes plaknē.

Šajā darbā matemātiskā modelēšana izmantota lai:

- pētītu dažādu valstu un energosistēmu AAF sistēmas un konstatētu dažādo risinājumu trūkumus un nepilnības;
- pārbaudītu analītiskās analīzes rezultātus;
- pētītu un pārbaudītu piedāvātās AAF metodes;
- attēlotu modelēšanas rezultātus fāzes plaknē.

Frekvences izmaiņu dinamikas analīze reālās sistēmas avārijās, kas saistītas ar lieliem jaudas deficītiem

Frekvences izmaiņu dinamikas analīze reālu avārijas situāciju gadījumos ļauj pārbaudīt dažādu pretavārijas automātikas (PA) ierīču darbību un izdarīt secinājumus par esošo PA ierīču darbību un atbilstību mūsdienu prasībām. Pie kam frekvences izmaiņu analīze reālās avārijās dod visprecīzāko priekšstatu par avārijas procesiem (eksperimenta modelim nav vienkāršojumu), par energoiekārtu un pretavārijas automātikas dinamiskajām īpašībām.

Disertācijā tiek analizēts viens reāls frekvences izmaiņas process sistēmas avārijā, kas notika Itālijā 2003. gadā. Veikta Itālijas energosistēmas frekvences izmaiņas procesa analīze un parādīti Itālijas (Eiropas) AAF sistēmas trūkumi, tika arī pārbaudīti izstrādātie matemātiskie modeļi.

Analītiskā metode

AAF automātikas darbības un automātikas parametru ietekmes uz frekvences izmaiņas procesu pētīšanas analītiskā metode paredz nelineāru

diferenciālvienādojumu risināšanu, kuri apraksta energosistēmas frekvences izmaiņas un AAF automātikas, kas satur diskrētus elementus, darbību.

Analīzes metode ar fāzes plaknes izmantošanu

Fāzes plaknes izmantojums ļauj risināt nelineārus diferenciālvienādojumus ar vienkāršākiem un uzskatāmākiem grafiskiem paņēmieniem, kā arī būtiski vienkāršot analītisko risinājumu.

Galvenā uzmanība disertācijas darbā pievērsta energosistēmas frekvences izmaiņu teorētiskajai analīzei, ja darbojas AAF. AAF darbības raksturlīknes tika linearizētas un tādējādi tika iegūtas analītiskas sakarības starp AAF automātikas parametriem un energosistēmas frekvences izmaiņām.

Darbā tika parādīts, ka ar fāzes plaknes metodi iespējams kvalitatīvi vērtēt esošās AAF sistēmas un to izveidošanas principus, iegūt papildzināšanas par pārejas procesiem energosistēmā apstākļos ar AAF darbību.

Fāzes plaknes īpašības izmantotas analizējot energosistēmu reālu frekvences avāriju pārejas procesu oscilogrammas un analizējot dažādu valstu realizētu AAF sistēmu uzvedību, kas iegūta matemātiski modelējot šīs sistēmas.

5. Dažādu energosistēmu AAF sistēmu apraksti un matemātiskā modelēšana

Piektajā disertācijas sadaļā tiek aplūkotas Baltijā (Latvijas, Lietuvas un Igaunijas), Itālijā, Jordānijā un Izraēlā izmantotās AAF sistēmas un parādīti frekvences izmaiņas dinamikas matemātiskās modelēšanas rezultāti, ievērojot AAF darbību.

Visi matemātiskās modelēšanas eksperimenti veikti pie sekojošiem sākuma nosacījumiem: primārais deficīts rodas momentāni ar vērtībām $\Delta P_{def(\%)} = 10\% \div 80\%$; pie dažādām slodzes regulējošā efekta vērtībām; energosistēmas ekvivalentā ģenerators inerces laika konstantes $T_{\Sigma} = 6; 8; 10; 15$ s; ar mainīgu rotējošās rezerves sastāvu, pie kam rotējošās rezerves apjoms ir ierobežots ar 5% lielumu no kopējās slodzes.

Vislielākā uzmanība pievērsta Baltijas (Latvijas) AAF sistēmas analīzei. Visām AAF sistēmām tika modelētas arī sarežģītas, kaskādes avārijas.

Baltijas (Latvijas, Lietuvas un Igaunijas) energosistēmu eksistējošo AAF automātikas sistēmu realizācijas apskats

Baltijas valstu energosistēmās AAF automātika sastāv no dažādiem tiem: AAF-1, AAF-2 (apvienota un neapvienota) un AAF speciālās kārtas. Atslēgto patērētāju atpakaļslēgšanu AAIF automātika, kura izpildīta ar frekvences kontroli.

5.tabula.

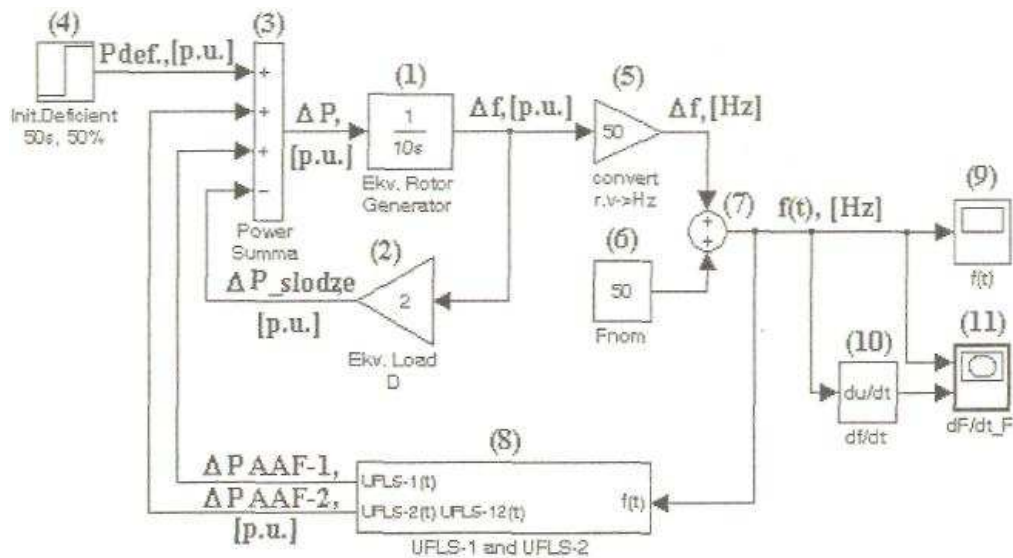
Direktīvie DC "Baltija" norādījumi par AAF un AAIF automātikas izpildes apjomiem pēc slodzes maksimuma 2003./2004.gadā.

AAF automātikas parametri	Mērv.	Energosistēma			
		Igaunija	Latvija	Lietuva	Baltija
Slodzes maksimums (vidējais darbdiennā decembrī)	MW	1200	1200	1580	3980
AAF speciālā kārta, $f_{NO} = 49.2 \text{ Hz}$, $T_{NO} = 0.5 \text{ s}$	MW	36	36	47	119
	%	3	3	3	3
AAF-1, $f_{NO} = 48.8 \div 47.2 \text{ Hz}$, $T_{NO} = 0.5 \text{ s}$	MW	504	504	664	1672
	%	42	42	42	42
AAF-2 apvienotā, $f_{NO} = 49.1 \text{ Hz}$, $T_{NO} = 10 \div 25 \text{ s}$	MW	324	324	427	1075
	%	27	27	27	27
AAF-2 neapvienotā, $f_{NO} = 49.0 \div 48.7 \text{ Hz}$, $T_{NO} = 30 \div 80 \text{ s}$	MW	120	120	158	389
	%	10	10*	10	10
Kopējā pie AAF-1 un AAF-2 pieslēgtā slodze	MW	984	984	1296	3264
	%	82	82	82	82
Speciālās AAF kārtas AAIF $f_{NO} = 49.6 \text{ Hz}$, $T_{NO} = 10 \text{ s}$,	MW	36	36	47	119
	%	3	3	3	3
AAF-1 un AAF-2 kārtu AAIF, $f_{NO} = 49.8 \text{ Hz}$, $T_{NO} = 10 \div 90 \text{ s}$	MW	948	948	1257	3166
	%	79	79	79	79

Latvijas (Baltijas) AAF automātikas darbības matemātiskie modeli un modelēšanas rezultāti

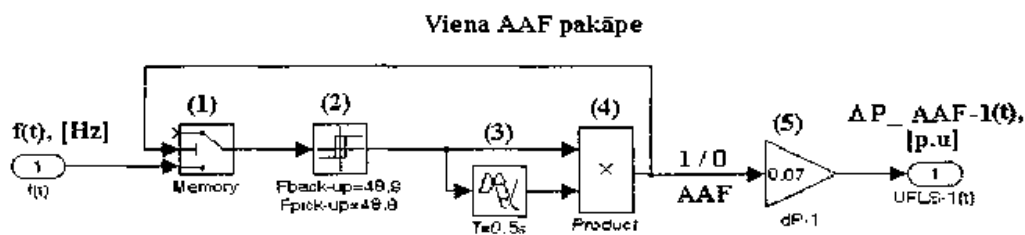
Aplūkosim programmā "Matlab" realizētu energosistēmas un AAF automātikas modeļa variantu (5.1. attēlā) ar sekojošiem nosacījumiem:

1. Energosistēma ir koncentrēta.
2. Saites starp ģeneratoriem ir absolūti ciešas, t.i. starp ģeneratoriem nav frekvences svārstību, vai arī tās ir tik mazas, ka var tikt ignorētas.



5.1.att. Ar Matlab programmu realizētā energosistēmas matemātiska modeļa vienkāršota struktūrshēma

Attēlā 5.2. ilustrēts viens reālās AAF-1(2) kārtas matemātiskā modeļa realizācijas variants.



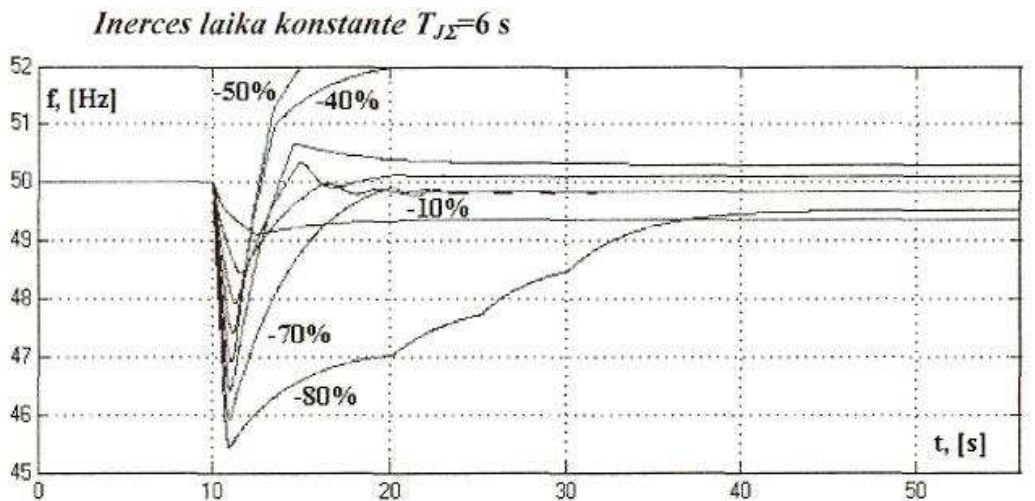
5.2.att. Ar Matlab programmu realizēta vienas AAF kārtas matemātiska modeļa shēma

AAF automātikas kartes matemātiskais modelis ir universāls un ar to var realizēt gan AAF-1, gan AAF-2 apvienoto un neapvienoto kārtu. Atšķirības starp AAF-1 un AAF-2 realizācijām ir tikai iestatījumos pēc laika un pēc frekvences.

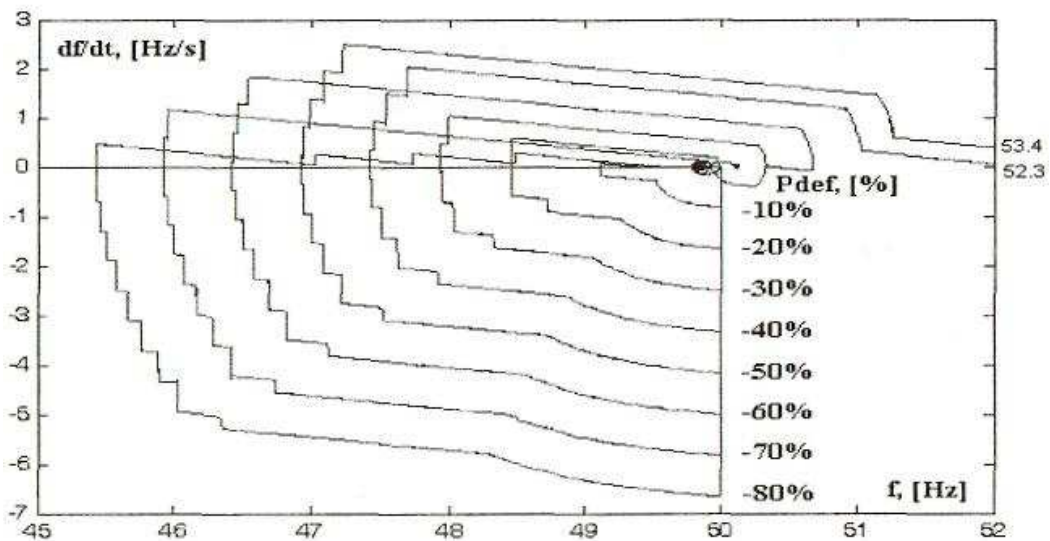
Attēlā 5.3 ir parādīts viens no daudziem izpētītiem frekvences izmaiņas dinamikas matemātiskās modelēšanas rezultātu piemēriem Baltijas energosistēmai, ievērojot AAF automātikas darbību.

Latvijas (Baltijas) AAF automātikas darbības matemātiskas modelēšanas rezultāti

Rezultāti frekvences-laika plaknē parādīti 5.3.a attēlā, bet fāzes plaknē - 5.3.b. attēlā.



a)



b)

5.3. att. Latvijas (Baltijas) AAF automātikas darbības analīzes rezultāti pie:

$$T_{J\Sigma} = 6 \text{ s}, k_N = 1.6\%/%, 100\% \text{ TES}, \Delta P_{def(\%)} = -10\% \div -80\%$$

Eksistējošās AAF automātikas trūkumi

Matemātiskās modelēšanas rezultāti parādīja:

- Latvijas (Baltijas) pretavārijas automātika apmierinoši darbojas pie lielām inerces laika konstantes vērtībām ($10 \div 15$ s) un strādā neapmierinoši pie mazām inerces laika konstantēm ($8 \div 6$ s).
- Pie aktīvās jaudas sākumdeficītiem no 30 līdz 60% AAF automātika pārregulē frekvenci virs 51 Hz.
- AAF automātika nav spējīga novērst dziļus frekvences pazeminājumus avārijas sākuma periodā - frekvence īslaicīgi pazeminās līdz 48 - 47 Hz. Lieli frekvences pazeminājumi var izraisīt kaskādes avārijas.
- Latvijas (Baltijas) AAF automātika kaskādes avārijas gadījumos strādā ar "mirušo" zonu, kas noved pie liela frekvences pazeminājuma atkārtota deficīta rašanās gadījumos.
- Pretavārijas automātikai nepieciešama modernizācija, lai automātika spētu izpildīt mūsdienīgās prasības. Nepieciešami jauni AAF darbības algoritmi.

6. Frekvences izmaiņas dinamikas analīze un avārijas režīmu matemātiskā modelēšana

Analizējot reālas energosistēmas frekvences avārijas izmaiņas dinamiku var spriest par pretavārijas automātikas kopējo darbības efektivitāti, var izdarīt secinājumus par AAF automātikas darbības kvalitāti un selektivitāti sadarbībā ar citiem PA veidiem. Iespējams arī novērtēt dispečeru darbību pareizību un t.t.

Šajā sadaļā tika analizētas Itālijas 2003.g. avārijas frekvences un aktīvās jaudas izmaiņas oscilogrammas ar nolūku pārbaudīt izstrādāto modeļu precizitāti. Modelēšanas rezultāti ir tuvi reāliem avārijas procesiem.

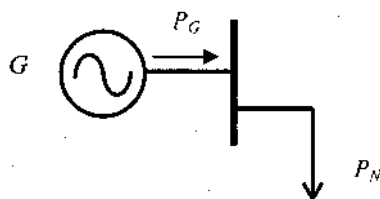
7. Energosistēmas un AAF parametru ietekmes analīze uz energosistēmas frekvences izmaiņas dinamiku

Analītiskajā sadaļā attiecībā uz pētījumiem par energosistēmas frekvences izmaiņu dinamiku aplūkoti šādi jautājumi: fāzes portreta un izmaiņu dinamikas noteikšana neregulējamai energosistēmai ievērojot linearizētas AAF-1 sistēmas darbību, fāzes portreta un izmaiņu dinamikas noteikšana neregulējamai energosistēmai ievērojot linearizētas AAF-2 sistēmas darbību. Tika pētīti esošo AAF-1 un AAF-2 sistēmu izveides principi, parādīti to trūkumi.

Aplūkoti arī jautājumi, kas attiecas uz dažādu AAF sistēmu nostrādes un kavējumu laika maksimālo robežvērtību noteikšanu.

Frekvences izmaiņas dinamikas analīze neregulējama energosistēmā

Frekvences un jaudas regulēšanas uzdevumos energosistēmu var pieņemt kā sistēmu, kas sastāv no viena ģenerators (turboagregāta) un koncentrētas vienas ekvivalentās slodzes. Šāda modeļa atbilstība ir vispāratzīta un ir tikusi apstiprināta gan ar daudziem aprēķiniem, un eksperimentiem, gan ar energosistēmu reālu frekvences avāriju oscilogrammām.



7.1.att. Koncentrētas neregulējamas energosistēmas shēma

kur G - analizējamās energosistēmas ekvivalentais ģenerators,
 P_G - jauda uz ekvivalentā ģenerators turbīnas vārpstas,
 P_N - slodzes patērētā summārā elektriskā jauda.

Stacionārajā režīmā ir līdzsvars starp jaudu uz ekvivalentā ģenerators vārpstas un slodzes patērēto jaudu, t.i. $P_G = P_N$. Līdzsvara izjaukšanas gadījumā $P_G \neq P_N$ vairs nav atbilstības starp elektroenerģijas ražošanu un patēriņu pie nominālās frekvences f_{nom} . Tādēļ frekvence energosistēmā sāk mainīties līdz atkal nodibinās līdzsvars starp ražoto un patērēto jaudu, t.i. $P_G = P_N$.

Koncentrētas energosistēmas aprakstam un analīzei izmantots vienādojums, kas raksturo rotora kustību tam pielikto momentu iespaidā. Procesa dinamiku pārejot no viena stāvokļa otrā var aprakstīt sekojoši:

$$J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_G - M_N \quad (7.1)$$

kur J_{Σ} - energosistēmas rotējošo masu summārais inerces moments,
 ω - rotācijas leņķiskā frekvence (maiņstrāvas leņķiskā frekvence),
 M_G - ģenerators ekvivalentās turbīnas attīstītais griezes moments,
 M_N - ekvivalentās slodzes bremzējošais moments.

Risinot vienādojumu (7.1), ievērojot slodzes un ģeneratora jaudas izmaiņas rakstura atkarību frekvences, var iegūt vienādojumu:

$$\frac{df}{dt} = \frac{(P_{G,n} - \Delta P_G) \cdot \frac{(K_A \cdot f_n \cdot f - f^2)}{f_n^2} - (P_{N,n} - \Delta P_N) \cdot \left[\alpha_0 + \alpha_i \cdot \sum_{i=1}^M \left(\frac{f}{f_n} \right)^i \right]}{\tau_G \cdot \frac{P_{G,n} - \Delta P_G}{P_0} + \tau_N \cdot \frac{P_{N,n} - \Delta P_N}{P_0}} \cdot \frac{f_n}{P_0}, \quad (7.2)$$

kur P_0 - pirmsavārijas režīma summārā elektriskā jauda,

f_n - pirmsavārijas režīma frekvence,

f - frekvence,

$P_{G,n}$ - ģeneratora nominālā jauda pie energosistēmas nominālās frekvences pirms pašregulēšanās sākuma,

K_A - turbīnas rotācijas maksimālā (palaišanas) momenta attiecība pret nominālo momentu,

ΔP_G - jaudas izmaiņas pašregulēšanās procesā pie nominālās frekvences,

$P_{N,n}$ - slodzes nominālā jauda pie nominālās frekvences,

ΔP_N - slodzes jaudas izmaiņas pašregulēšanās procesā pie nominālās frekvences,

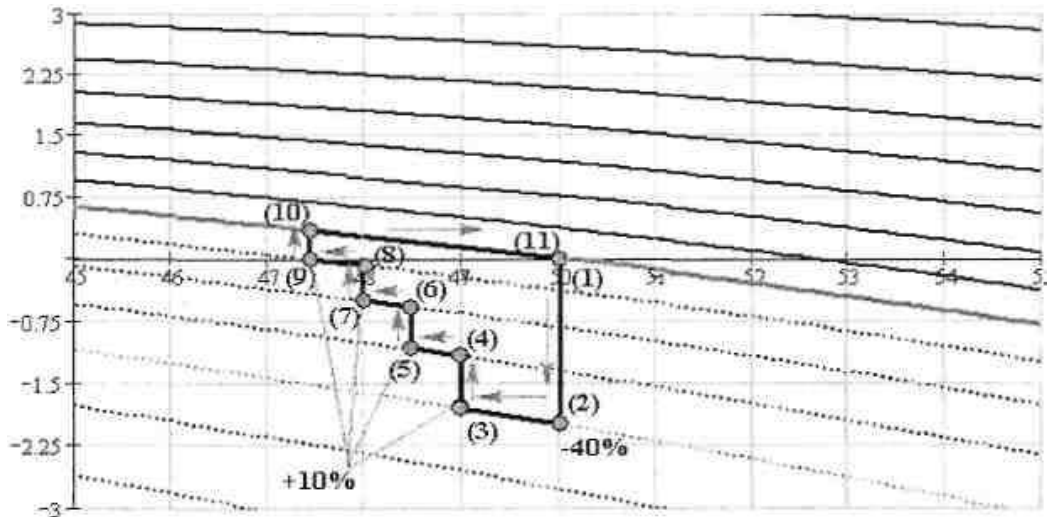
$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_M$ - slodzes dažādu frekvenčatkarības daļu koeficienti, pie kam šo koeficientu summa ir 1, t.i. $\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_M = 1$,

τ_G - turboģenerators ekvivalentā laika konstante pie nominālās jaudas P_{Cn} un jaudas $P_C = P_{G,n} - \Delta P_G$,

τ_N - ekvivalentā slodzes laika konstante pie nominālās jaudas $P_{N,n}$ un jaudas $P_N = P_{N,n} - \Delta P_N$.

Vienādojums (7.2) ir energosistēmas frekvences izmaiņas dinamikas vienādojums (energosistēmas matemātiskais modelis). Ar to var noteikt pārejas procesus energosistēmā gadījumos ar destabilizējošām iedarbēm.

Attēlā 7.2. parādīts, kā piemērs, režīms ar 40% ģenerācijas deficītu. Sākuma momentā energosistēma atrodas punktā (1) ar normālā režīma parametriem $f_{nom} = 50$, $df/dt = 0$. Punktā (1) notiek iedarbe uz energosistēmu ar sākotnējo aktīvās jaudas deficītu -40% apmērā. Punktos (3), (5), (7) un (9) notiek slodzes daļu atslēgšana apjomā pa 10%. Starp punktiem (2)-(3), (4)-(5), (6)-(7), (8)-(9) un (10)-(11) energosistēma pārvietojas pēc inerces, uz sistēmu neiedarbojas ārējas regulējošas iedarbes. Pēdējā iedarbe notiek pie frekvences 47.5 Hz, bet frekvence energosistēma pēc inerces nonāk līdz stacionārai vērtībai, kas vienāda ar nominālo frekvenci punktā (11).



7.2.att. Neregulējamās energosistēmas pārejas procesa fāzes trajektorija, kas konstruēta izmantojot fāzes portretu

Attēlā 7.2. redzams, ka attēlojošā punkta kustība notiek pulksteņa rādītāju kustības virzienā. Energosistēmas attēlojošā punkta kustības virzieni attēlā parādīti ar bultiņām.

Frekvences izmaiņas dinamikas analīze energosistēmai ar AAF-1 darbību

Sadaļā aplūkots frekvences izmaiņas process gadījumam, kad energosistēmā darbojas AAF-1.

Tādēļ, ar mērķi vienkāršot teorētisko analīzi, linearizēsim AAF-1 darbības raksturlīkni. Šajā nolūkā izdarīsim sekojošus visnotaļ pieļaujamus vienkāršojumus:

1. AAF-1 kārtu skaits palielināts līdz bezgalībai, t.i. $n_{(i)} = +\infty$.
2. Slodze pa kārtām sadalīta vienmērīgi.
3. Kārtu nostrādes laiks vienāds, t.i. $T_{no(i)} = const$.

Tad pie bezgalīgi maza frekvences pazeminājuma Δf zemāk par pirmās AAF-1 kārtas nostrādes frekvenci $f_{(1)}$ notiek bezgalīgi mazas jaudas ΔP patērētāju slodzes atslēgšana:

$$\Delta P = k_{AAF-1} \cdot \Delta f, \quad (7.3)$$

kur $k_{AAF-1} = const$ - AAF-1 automātikas intensitātes koeficients.

Reālām sistēmām ar lielu AAF-1 kārtu skaitu intensitātes koeficients k_{AAF-1} ir:

$$k_{AAF-1} = \frac{dP}{df} \cong \frac{\sum_{i=1}^N \Delta P_{no(i) \Delta P_{no(i)=const}}}{\Delta f} = \frac{N_1 \cdot \Delta P_{no(i)}}{\Delta f}, \quad (7.4)$$

kur: N - kopējais AAF-1 kārtu skaits,

ΔP_{ft} - vienai AAF-1 kārtai pieslēgtā slodze, %.

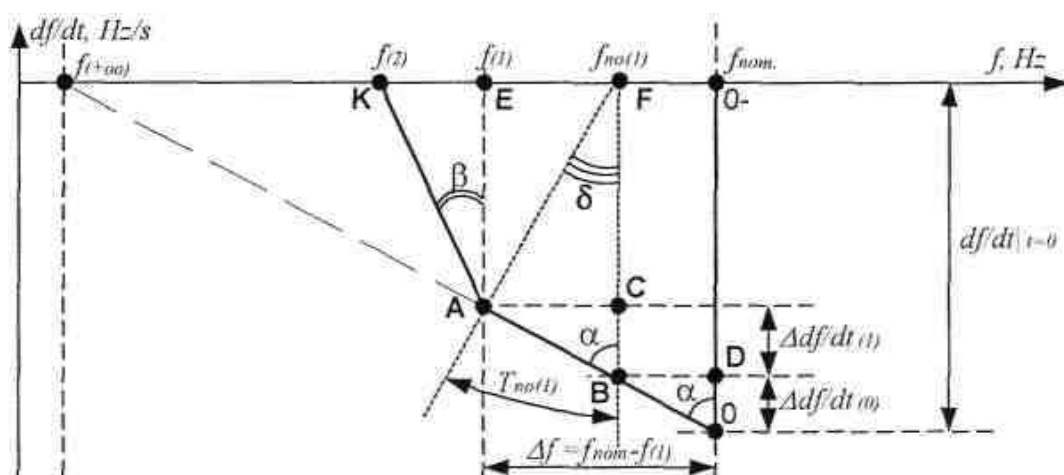
AAF-1 automātika sāk darboties (atslēgt slodzi) pie frekvences $f_{(1)}$. Energosistēmas frekvences izmaiņas dinamikas vienādojums darbojoties AAF-1 būs sekojošs:

$$T_{J\Sigma} \cdot \frac{df}{dt} + k_N \cdot \Delta f^* + k_{AAF-1} \cdot \Delta f^* = \Delta P_{def.} - 2 \cdot k_N \cdot (f_{nom} - f_{(1)}), \quad (7.5)$$

kur: $k_{AAF-1} \cdot \Delta f^*$ — ar AAF-1 automātiku atslēgta patērētāju jauda, %,

Δf^* - frekvences novirze no pirmās AAF-1 kārtas iestatījuma, t.i. $\Delta f^* = f_{no(1)} - f(t)$, Hz,

$2 \cdot k_N \cdot (f_{nom} - f_{(1)})$ - sākumiedarbes jaudas kompensācija ΔP , ko rada slodzes regulējošais K_N efekts frekvencei samazinoties no f_{nom} līdz $f_{(1)}$, %.



7.3.att. Grafisks paskaidrojums frekvences izmaiņas dinamikai fāzes plaknē enerģosistēmai ar linearizētas AAF-1 automātikas darbību

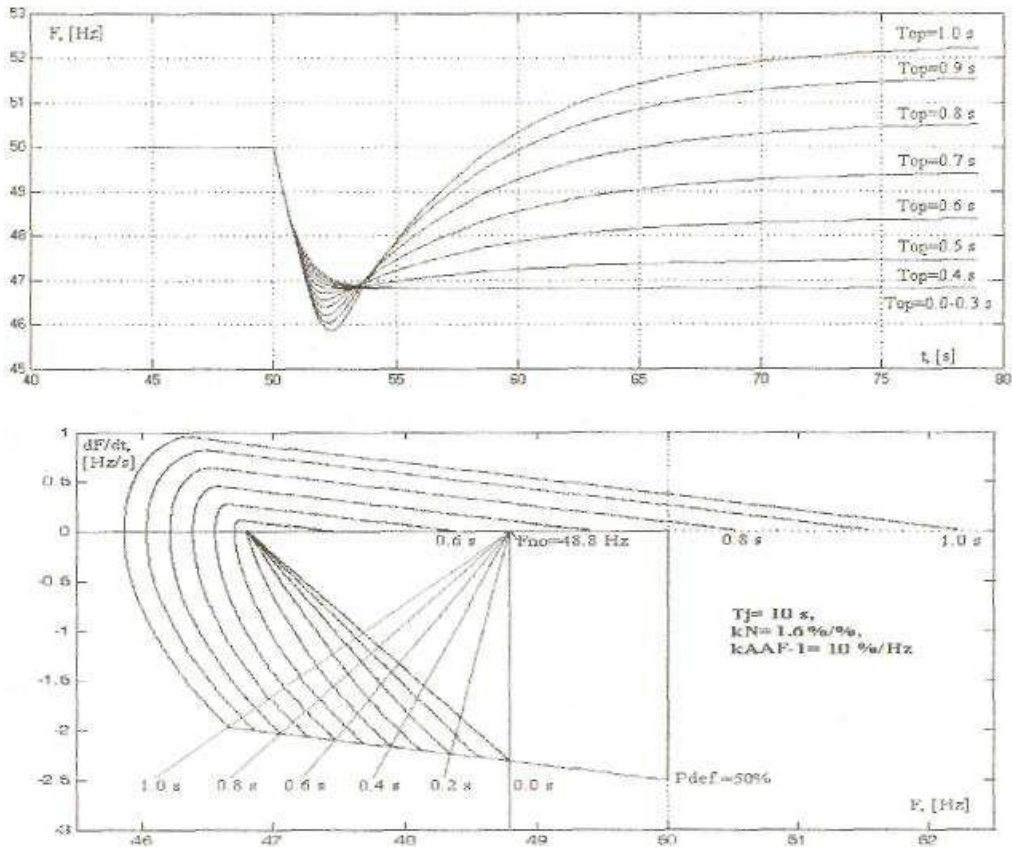
Attēlā 7.3 paskaidro frekvences izmaiņas dinamiku fāzes plaknē enerģosistēmai ar linearizētas AAF-1 automātikas darbību. Attēlā 7.3 parādīti trīs leņķi α , β un δ , kuri raksturo frekvences izmaiņas dinamiku fāzes plaknē:

- leņķis α fāzes plaknē raksturo frekvences izmaiņas līdz AAF-1 pirmās kārtas darbības sākumam,

- leņķis β fāzes plaknē raksturo frekvences izmaiņas pēc AAF-1 pirmās kārtas nostrādes līdz momentam, kad energosistēmas frekvence sasniedz jauno stacionāro vērtību,
- leņķis δ fāzes plaknē raksturo pirmās AAF-1 kārtas laika iestatījumu.

Frekvences izmaiņas dinamikas matemātiskās modelēšanas rezultāti energosistēmai ievērojot AAF-1 darbību

Aplūkosim matemātiskās modelēšanas piemērus. Frekvences izmaiņas dinamikas matemātiskās modelēšanas rezultāti ar linearizētu AAF-1 automātiku un atslēgtās slodzes daļas fiksāciju, kad AAF-1 automātikas intensitāte ir nemainīga un vienāda ar 10 %/Hz, bet izmainās tās kārtas nostrādes laiks no 0 s līdz 1.0 s, parādīti 7.4. attēlā.



7.4.att. Energosistēmas matemātiska modelēšana, linearizēta AAF-1 sistēma ar nemainīgu intensitāti, dažādi AAF-1 automātikas nostrādes laiki

No modelēšanas rezultātiem 7.4. attēlā ir redzams, ka pie maziem nostrādes laikiem (līdz 0.4 s) frekvences stacionārā vērtība ir 46.8 Hz. Frekvences izmaiņas raksturs ir eksponenciāls. Pie lielākiem nostrādes laikiem (virs 0.4 s) notiek frekvences īslaicīgs pazeminājums zem 46.8 Hz, bet pēc tam frekvence tiek pārregulēta virs 50 Hz. Frekvences izmaiņām ir svārstību raksturs.

Energosistēmas frekvences izmaiņas dinamikas analīze ar AAF-2 automātiskas darbību

Šajā sadaļā aplūkota AAF-2 darbības ietekme uz frekvences izmaiņas dinamiku. Analīzē izdarīti sekojoši pieļaujami vienkāršojumi.

Saskaņā ar realizācijas principu AAF-2 darbību sāk tad, kad darbību beidz AAF-1, respektīvi, frekvences avārijas samazināšanās pārtraukta, $df/dt \approx 0$. Tas nozīmē, ka energosistēmā ir jaudu līdzsvars pie pazeminātas frekvences. Patērētāju atslēgšana ar AAF-2 notiek ar laika kavējumu Δt . Ievedām AAF-2 intensitātes koeficientu k_{AAF-2} līdzīgi, kā tas bija izdarīts attiecībā uz AAF-1. Tas nozīmē, ka ar bezgalīgi maziem laika kavējumiem Δt ar AAF-2 automātiku izpilda bezgalīgi mazu slodzes daļu ΔP atslēgšanu:

$$\Delta P = k_{AAF-2} \cdot \Delta t, \quad (7.6)$$

kur k_{AAF-2} - AAF-2 automātiskas intensitātes koeficients, $k_{AAF-2} = const$.

Ja AAF-2 kārtu skaits N_2 , tad intensitātes koeficients ir:

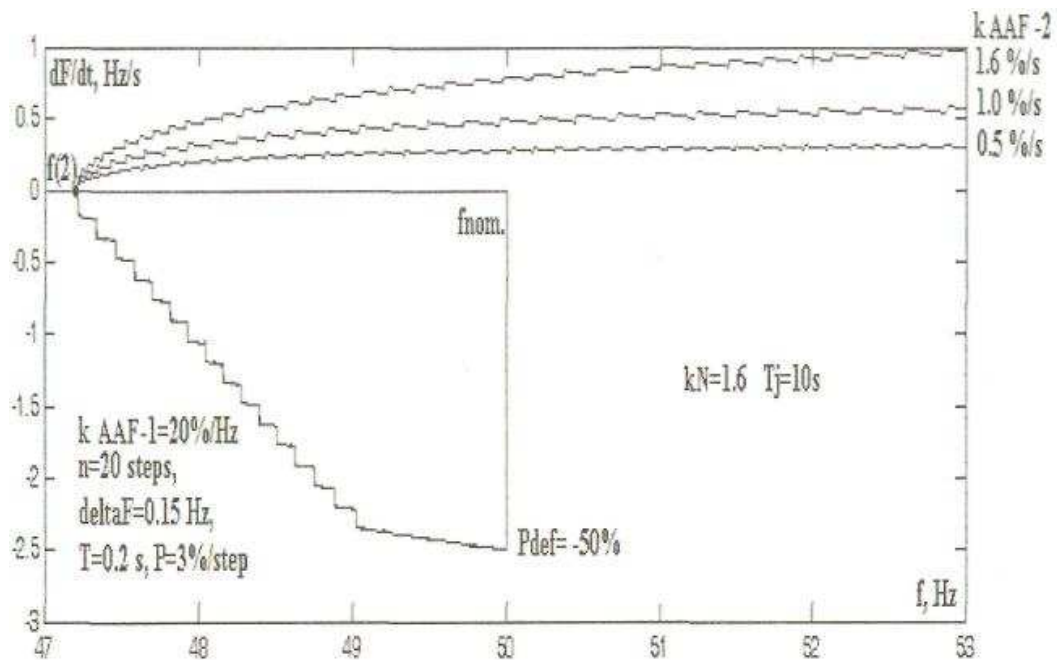
$$k_{AAF-2} = \frac{dP}{dT} \cong \frac{\sum_{i=1}^N \Delta P_{no(i) \Delta P_{no(i)} = const}}{\Delta t} = \frac{N_2 \cdot \Delta P_{no(i)}}{\Delta t}. \quad (7.7)$$

AAF-2 darbības sākumnosacījumi - frekvence $f_{(2)}$, frekvences izmaiņas ātrums $df/dt \approx 0$, aktīvās jaudas nebalanss $\Delta P \approx 0$. Frekvences izmaiņas dinamikas vienādojums no AAF-2 darbības sākummomenta

$$T_{J\Sigma} \cdot \frac{df}{dt} + k_N \cdot \Delta f = k_{AAF-2} \cdot \Delta t + \Delta P, \quad (7.8)$$

kur $k_{AAF-2} \cdot \Delta t$ - ar AAF-2 atslēgto patērētāju jauda.

Frekvences izmaiņas dinamikas matemātiskas modelēšanas rezultāti energosistēmai ar AAF-2 darbību



7.5. att. Pārejas procesa matemātiskas modelēšanas rezultāti, ja energosistēma darbojas AAF-1 un AAF-2. AAF-2 automātikai ir dažāda intensitāte

Frekvences izmaiņas dinamikas matemātiskās modelēšanas rezultāti ar linearizētu AAF-2 automātiku, kad AAF-2 automātikas intensitāte ir mainīga un vienāda ar 1.6, 1.0 un 0.5 %/s, parādīti 7.5. attēlā.

Teorētiskas daļas secinājumi

Disertācijas teorētiskajā daļā analizētas AAF sistēmas un to izveides principi. Esošais AAF-1 automātikas princips pa kārtām atslēdzot patērētājus ļauj ātri apturēt frekvences samazināšanos energosistēmā.

Analīze parādīja, ka AAF-1 automātikas darbības laikā mainās energosistēmas frekvences izmaiņas laika konstante.

Neregulējamās energosistēmas frekvences izmaiņas dinamiku aprakstošā fāzes plaknes trajektorija pie idealizētas AAF-1 darbības ir lineāra.

Lai nepieļautu AAF-1 radītu frekvences pārregulēšanu ir nepieciešami un pietiekami līdz kaut kādai kritiskai vai zemākai par to vērtībai samazināt AAF-1 kārtu nostrādes laiku.

Teorētiskā analīze sniedz svarīgu atziņu: AAF-1 automātikas kārtu nostrādes laika T_{no} palielināšana pārveido energosistēmas frekvences izmaiņas raksturu. Raksturvienādojums no otrās kārtas aperiodiskā posma vienādojuma pārvēršas par otrās kārtas svārstību posma vienādojumu ar divām kompleksām saknēm.

Analizējot stabilitāti ar Hurvica kritēriju redzams, ka visi neregulējamas energosistēmas (ar AAF-1 darbību) frekvences izmaiņas procesu aprakstošo diferenciālvienādojumu risinājumi apliecina stabilitāti un visi svārstību procesi ir rimstoši.

Ar esošo AAF-2 automātikas darbības principu, kas paredz slodzes atslēgšanu pa kārtām ar lieliem laika kavējumiem, iespējams atjaunot frekvenci energosistēmā līdz jebkuram uzdotam līmenim. Bet frekvences atjaunošanas procesam jābūt lēnam, lai nepieļautu frekvences pārregulēšanu.

Maksimālais frekvences atjaunošanas ātrums ierobežots ar vērtību, kas tieši proporcionāla AAF-2 intensitātei un apgriezti proporcionāla energosistēmas slodzes regulējošā efekta koeficientam, pie kam frekvences izmaiņas laika konstante neietekmē maksimālo frekvences atjaunošanas ātrumu.

Pie lieliem aktīvās jaudas deficītiem frekvence sasniedz pirmās AAF-1 kārtas iestatījumu (48.8 Hz) laikā, kas mazāks par sekundi. Tādēļ šajos gadījumos saskaņot AAF-1 automātikas darbību ar rotējošās rezerves ieviešanu nav nekādas jēgas, jo rezerves ieviešana tik īsā laikā fiziski nav iespējama.

Teorētiskajā analīzē konstatēti šādi esošo AAF automātikas izveides principu trūkumi:

Ar AAF-1 automātiku realizētā iedarbe uz energosistēmu pirmajā laika momentā nekādā mērā nav atkarīga no aktīvās jaudas sākumdeficīta lieluma. Tādēļ pārejas procesa laikā var būt lieli frekvences pazeminājumi.

AAF-1 darbības zonas saskaņošanas princips ar energosistēmas rotējošās rezerves ieviešanu tiek realizēts tikai pēc frekvences, kas neļauj saskaņošanu veikt kvalitatīvi.

Lai izslēgtu pārregulēšanu esošai AAF-2 automātikai jārealizē mazs frekvences atjaunošanas ātrums. Tādēļ frekvences atjaunošanas laiks ir liels un tiek izmantots liels selektivitātes solis pēc laika (5-40 sekundes).

8. Jauni adaptīvas AAF automātikas darbības principi energosistēmas avārijas apstākļos

Šajā disertācijas daļā aprakstīti autora izstrādātie jaunie adaptīvas automātiskās atslodzes pēc frekvences realizācijas principi.

Adaptīvās AAF automātikas galvenā atšķirība no esošās ir apstākļi, ka adaptīvajai automātikai katrā laika momentā jāanalizē energosistēmas tekošā avārijas situācija un, atkarībā no avārijas attīstības dinamikas analīzes rezultātiem, patstāvīgi jāpieņem lēmums: *kā kvalitatīvi un cik kvantitatīvi* iedarboties uz energosistēmu lai iegūtu uzdotu (vēlamo) frekvences regulēšanas likumu avārijas apstākļos.

Adaptīvās AA F sistēmas pamatnostādnes

AAF automātikai atkarībā no avārijas situācijas jāformē adekvāta iedarbe uz energosistēmu. Adaptīvās AAF realizēšanai tiks izmantota dinamiskā programmēšana fāzes plaknē ar mērķi iegūt uzdotu (vēlamo) frekvences izmaiņas pārejas procesa dinamiku. Metode ļauj avārijas procesa laikā vadīt frekvences izmaiņas dinamiku saskaņā ar fāzes plaknē attēloto dinamisko raksturlīkni. Izmantojot šo metodi energosistēmas frekvences dinamika nav atkarīga no pašas sistēmas dinamiskajiem parametriem, bet ir atkarīga tikai no vadības iedarbēm, ko uz energosistēmu izdara adaptīvā AAF automātika.

Adaptīvā automātika atkarībā no energosistēmas attēlojošā punkta stāvokļa (koordinātes) un pārvietošanās virziena *patstāvīgi* pieņem lēmumu: *kā (saskaņā ar kādu algoritmu) un cik slodzes jāatslēdz/jāieslēdz.*

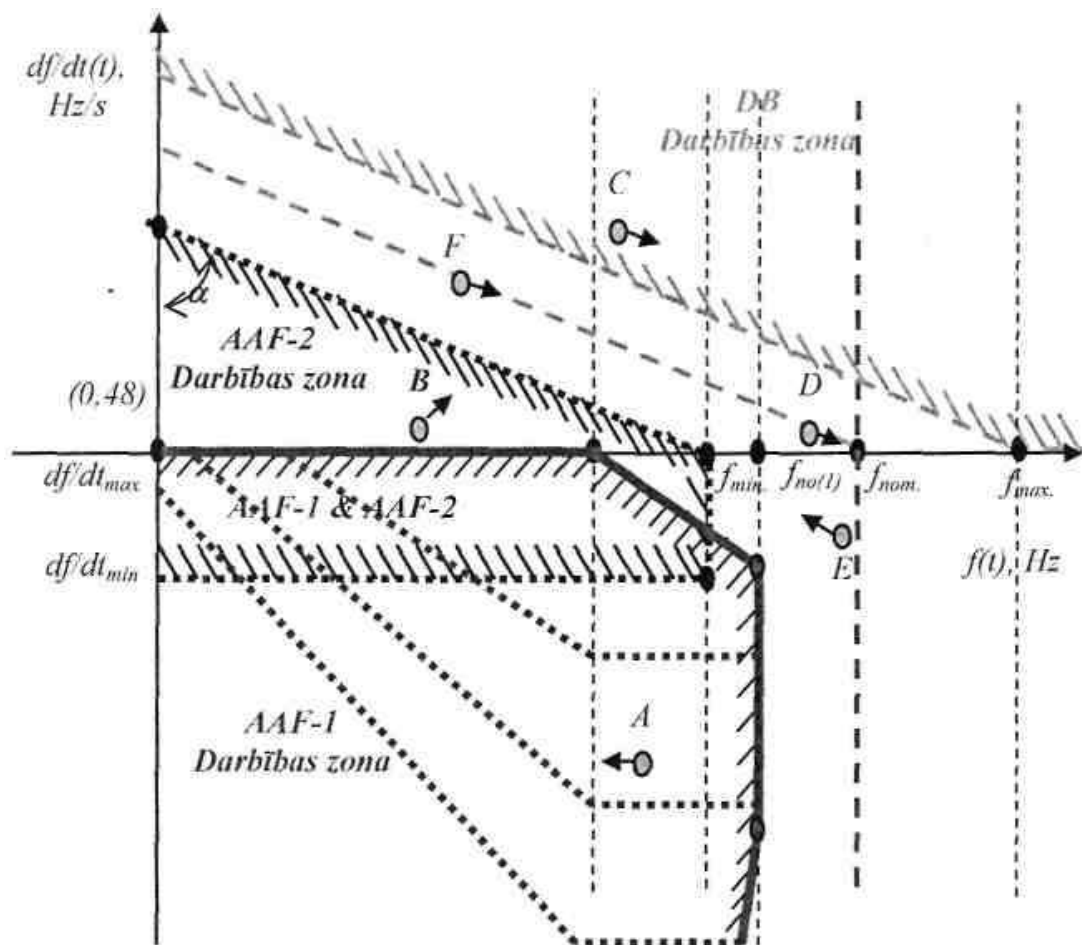
Adaptīvās AAF automātikas darbības principu apraksts un darba zonu attēlojums fāzes plaknē

Realizējot ierīci, kas darbojas saskaņā ar jauno principu, visu pieslēgto slodzi apakšstacijas vai kopņu sistēmas robežās vada viena ierīce, kurā realizētas šādas pamatfunkcijas: AAF-1 funkcija, AAF-2 funkcija un dinamiskās bremsēšanas (DB) funkcija.

Galvenais DB funkcijas uzdevums ir pilnībā izslēgt frekvences pārregulēšanas iespējamību ar AAF automātiku. Šī automātika nepieciešamības gadījumā ieslēdz atpakaļ ar AAF-1 vai AAF-2 funkcijām atslēgto slodzi.

Ar AAF-1, AAF-2 un DB funkciju palīdzību iespējams frekvences izmaiņas procesu vadīt saskaņā ar uzdotu dinamisko raksturlīkni.

Attēla 8.1. parādīts visu trīs adaptīvas AAF funkciju (AAF-1, AAF-2, DB) darbības zonu savstarpējais izvietojums fāzes plaknē.



8.1.art. Fāzes plakne konstruētas adaptīvas AAF-1 un AAF-2 un dinamiskas
 bremsēšanas funkcijas raksturlīknes

Adaptīvās AAF ierīces dažādu funkciju savstarpējo sadarbību var aprakstīt sekojoši:

a) ja attēlojošais punkts (punkts **A** un **B** 8.1.att), kas raksturo energosistēmas stāvokli, atrodas AAF-1 vai AAF-2 darbības zonā, tad ierīce pa kārtām atslēdz slodzi, ja ir izpildīti papildnosacījumi par nostrādes laiku un frekvenci;

b)ja attēlojošais punkts (punkts **C** 8.1.att), kas raksturo energosistēmas stāvokli, atrodas DB darbības zonā, tad ierīce ieslēdz atpakaļ ar AAF-1 vai AAF-2 atslēgto slodzi, ja ir izpildīti papildnosacījumi par nostrādes laiku un frekvenci;

c)ja attēlojošais punkts (punkts **F**, **D** un **E** 8.1.att.), kas raksturo energosistēmas stāvokli, atrodas ārpus AAF-1, AAF-2 un DB darbības zonas, tad ierīce atrodas gaidīšanas un/vai tekošā stāvokļa kontroles režīmā.

Aplūkosim ierīces darbību detalizētāk. Fāzes plaknē (8.1.att.) AAF-1 darbības zona parādīta zem ass *0-f*. Ja attēlojošais punkts (punkts **A**), kas raksturo energosistēmas tekošo stāvokli (avārijas režīms) atrodas šajā zonā, tad atļauta AAF-1 automātikas darbība. Ja attēlojošais punkts (punkts **B**, **C**, **D**, **E** vai **F**) ir ārpus darbības zonas, tad AAF-1 tiek bloķēta.

AAF automātika tiek palaista, ja attēlojošais punkts (**A** un **B**) nokļūst ierīces palaišanas zonā. Automātika sāk darboties uz slodzes atslēgšanu, ja attēlojošais punkts (punkts **A**) nokļūst darbības zonā un tur atrodas ilgāk par nostrādes laiku un notiek frekvences izmaiņa par lielumu, kas vienāds vai lielāks par selektivitātes pakāpi pēc frekvences. Automātikas ierīce, atkarībā no attēlojošā punkta stāvokļa fāzes plaknē, izvēlās vienu no diviem atslodzes algoritmiem -AAF-1 vai AAF-2. Ja attēlojošais punkts (punkts **A**) ir AAF-1 darbības zonā, tad darbojas AAF-1 un nedarbojas AAF-2. Un otrādi, ja attēlojošais punkts (punkts **B**) ir AAF-2 darbības zonā, tad darbojas AAF-2 un nedarbojas AAF-1.

Automātikas AAF darbības zonā, ja frekvences izmaiņas ātrums ir mazs, tad var darboties gan AAF-1, gan AAF-2, atkarībā no izvēlētajiem iestatījumiem vai algoritmiem, jo AAF-1 un AAF-2 zonas pārklājas. Tas nepieciešams lai izslēgtu frekvences "iestrēgšanu" pazeminātā līmenī un nodrošinātu pēc iespējas ātrāku pāreju no frekvences pazemināšanās pārtraukšanas uz frekvences atjaunošanas procesu.

Zona ar pozitīvu frekvences izmaiņas ātrumu raksturo energosistēmu frekvences atjaunošanas periodā un šī zona ir AAF-2 automātikas darbības zona. Tādēļ, kad attēlojošais punkts (punkts **B**) ir šajā zonā, tad jādarbojas AAF-2, bet AAF-1 darbība jābloķē.

Ja darbojas AAF-1, tad tiek noteikta avārijas smaguma pakāpe un kārtas slodzes lielums atkarībā no attēlojošā punkta (**A**) atrašanās AAF-1 darbības zonas apakšzonās. AAF-1 apakšzonas atšķirās pēc intensitātes un frekvences izmaiņas ātruma. Jo lielāks frekvences izmaiņas ātrums, jo smagāka avārija, jo lielāku iedarbi uz sistēmu veido AAF-1 ierīces ar vienu kārtu atslēdzot lielāku jaudu. Ja attēlojošais punkts (**A**) pāriet uz citu apakšzonu ar mazāku frekvences izmaiņas ātrumu, tad AAF ierīce automātiski samazina ar vienu AAF-1 kārtu atslēdzamās

slodzes apjomu (intensitāti). Slodzi atslēdz pa kārtam ar uzdotu nostrādes laiku T_{no} un selektivitātes pakāpi pēc frekvences $\Delta f = f_{(i)} - f_{(i+1)}$.

Visas adaptīvas AAF darbības nianse tika detalizēti apskatītas šajā sadaļā. Kā piemērs arī kaskādes avārijas gadījums tika analizēts disertācijā.

Kaskādes avārijas gadījumos, ko rada atkārtotas destabilizējošās iedarbes, attēlojošais punkts fāzes plaknē izdara lēcienus. Jaunajā attēlojošā punkta stāvoklī tiek noteikts (precizēts) AAF darbības algoritms, atkal tiek atrasta nepieciešamā atslēdzamās kārtas jauda, tiek veiktas slodzes atslēgšanas ar selektivitātes soli pēc frekvences $\Delta f = f_{(i)} - f_{(i+1)}$ un ar uzdoto nostrādes laiku T_{no} .

AAF darbība adaptīvi saskaņota ar energosistēmas rotējošās jaudas lielumu. Mazu aktīvās jaudas deficītu gadījumā (0-5%) vispirms tiek aktivizēta rotējošā rezerve un tikai pēc tam darbojas AAF-1. Pie lieliem deficītiem (virs 6 -8%) rotējošās rezerves ieviešana un AAF-1 darbība notiek vienlaicīgi.

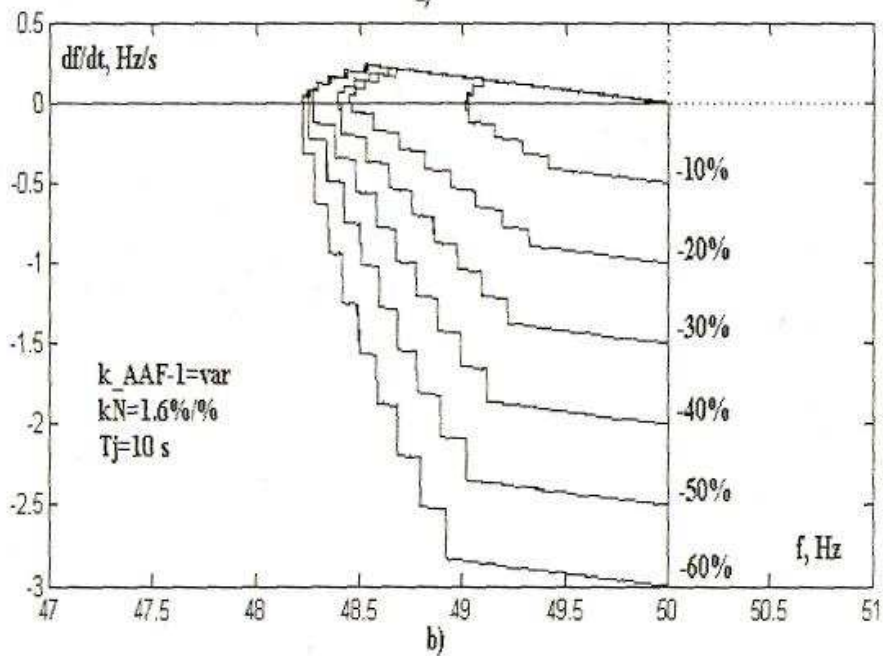
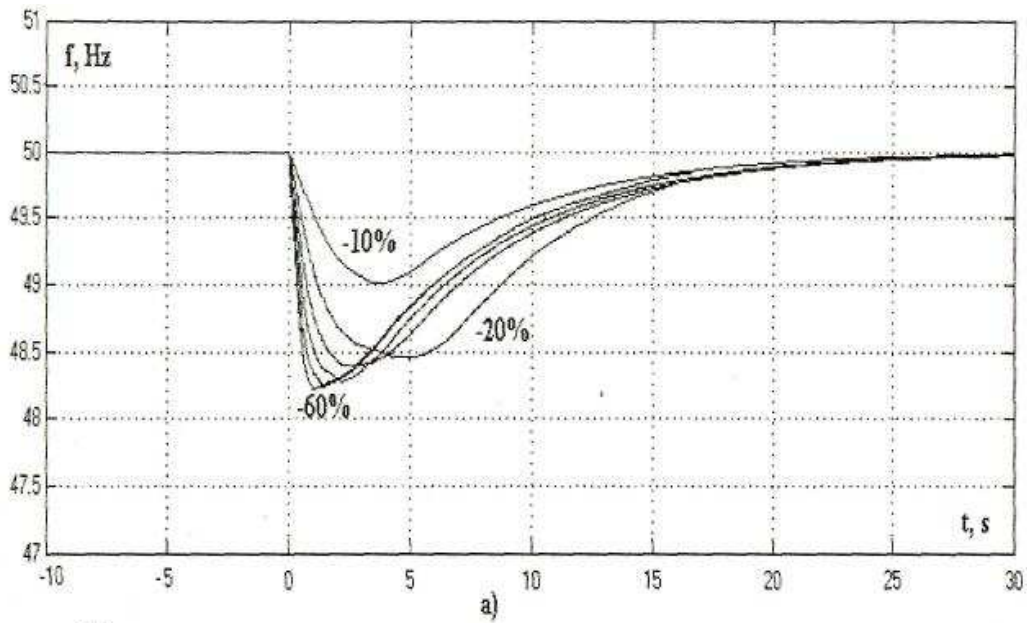
Adaptīvās AAF automātikas darbības matemātiskās modelēšanas rezultāti

Adaptīvajai AAF-1 bija uzdevums nepieļaut frekvences pazemināšanos zemāk par uzdoto vērtību (48.1 Hz) visā aktīvās jaudas iespējamo sākumdeficītu diapazonā no 10% līdz 60%, bet adaptīvajai AAF-2 - ātri atjaunot frekvenci nepieļaujot pārregulēšanu. Pie kam ***adaptīvās AAF-1 intensitāte mainījās diapazonā no 20%/Hz līdz 60%/Hz pilnīgā atbilstībā ar sākumdeficīta vērtību.***

Matemātiskajā modelēšanā iegūtie rezultāti ar adaptīvās AAF darbību parādīti 8.2. attēlā.

Redzams, ka visā aktīvās jaudas sākumdeficīta diapazonā frekvence modelējamā energosistēmā nebija zemāka par 48.1 Hz, frekvence bez pārregulēšanas tika atjaunota līdz nominālajai, pie kam pietiekami ātri -atjaunošanas process nepārsniedza 15-20 sekundes. Labi sevi -parādīja AAF-2 automātikas bloķēšanas princips. Frekvences atjaunošanas dinamika stingri reglamentēta ar adaptīvās AAF-2 darbības raksturlīkni.

Matemātiskās modelēšanas procesā tika pieņemts, ka adaptīvās AAF-2 darbības bloķēšanas raksturlīknes slīpuma leņķis precīzi sakrīt ar leņķi, kas aprēķināts izmantojot energosistēmas parametrus.



8.2.att. AAF-1 un AAF-2 automātikas kopēja darbība:

$$T_{J\Sigma} = 10 \text{ s}, \quad k_N = 1.6\%/ \%, \quad \Delta P_{def(\%)} = 10 \div 50\%,$$

$$KI_{AAF-1} = 20, 30, 40, 50, 60\%/\text{Hz}, \quad F_{no(1)} = 49.5 \text{ Hz}, \quad T_{no(i)} = 0.2 \text{ s}, \quad \Delta f_{no} = 0.15 \text{ Hz},$$

$$K_{AAF-2} = 1.0 \text{ Hz/s}, \quad \Delta T_{no(AAF-2)} = 1.0 \text{ s}$$

Darba slēdziens

- Šis darbs veltīts jaunu vadības metožu izstrādei, kas paredzētas energosistēmas vadībai avārijas situācijās. Galvenais darba mērķuzdevums ir radīt adaptīvu pretavārijas automātiku un tādējādi modernizēt esošo AAF automātiku. Jaunajai automātikai jāapmierina modernās prasības, ko energosistēmām izvirza attiecībā uz frekvences vadības kvalitāti avārijas režīmu laikā.
- Darbā tika izstrādāti AAF pretavārijas automātikas jauni realizācijas un uzbūves principi, kur izmantota pārejas procesu analīzes metode fāzes plaknē un dinamiskās programmēšanas realizācija, t.i. pretavārijas ierīces vada energosistēmas frekvences izmaiņas dinamiku saskaņā ar uzdotu dinamisko raksturlīkni.
- Darba procesā tika izstrādāti visu energosistēmas elementu matemātiskie modeļi, kuros ievērotas dinamiskās īpašības un AAF darbība. Visu AAF automātikas veidu analīzē tika izmantota pārejas procesu attēlošana fāzes plaknē.
- Matemātiskās modelēšanas daudzskaitlīgie rezultāti pierādīja, ka esošie AAF uzbūves principi nevar apmierināt modernās prasības, ko energosistēmām izvirza attiecībā uz frekvences vadības kvalitāti.
- Izstrādāti jauni adaptīvas AAF automātikas uzbūves principi. Adaptīvā AAF būtiski uzlabo frekvences vadības kvalitāti visās avārijas situācijās, pilnībā izslēdz frekvences pārregulēšanas iespējamību, ievērojami samazina frekvences atjaunošanas laiku līdz uzdotai vērtībai, kas savukārt samazina frekvences avārijas kaskādveida attīstības varbūtību.

Tēmas nākotnes attīstības perspektīvas un citi pielietojumi

Piedāvātās un aprakstītās avārijas vadības metodes var izmantot ne tikai slodzes vadībai avārijas apstākļos, bet arī ģenerācijas vadībai, piemēram, atsevišķiem ģeneratoriem un sūkņiem.

Izmantojot aprakstītās metodes var izveidot turbīnu atslogošanas adaptīvu automātiku, lai aizsargātu energosistēmu pret frekvences paaugstināšanos.

Disertācijas izstrādē iegūtos rezultātus var izmantot kā bāzi tēmas tālākai attīstīšanai un padziļināšanai. Darbā aprakstīti adaptīvās AAF automātikas izveidošanas pamatprincipi izmantojot fāzes plakni, bet nepieciešams izstrādāt optimālas šīs automātikas darbības zonas, matemātiski aprakstīt optimālu darbības zonu izvēles metodiku.

Ir nepieciešama AAF automātikas ierīces praktiskā realizācija uz mikroprocesoru bāzes.