

ELEKTRISÜSTEEMI STABIILSUS

Mati Meldorf

Tallinn 2000

Raamatus vaadeldakse siirdeprotsesse, mis kujutavad ohtu elektrisüsteemi stabiilsele talitlusele. Põhiline eesmärk on tutvustada nende protsesside füüsikat. Käsitletakse ka siirdeprotsesside arvutamise matemaatilisi aluseid.

Raamat on mõeldud õpikuks Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika õppesuuna üliõpilastele õppeaines *Elektrisüsteemi siirdeprotsessid II*, aga ta võib olla kasulik ka elektroenergeetika inseneridele ja tehnikutele.

Materjali käsitlemisel oli eeskujuks omaaegse Leningradi Polütehnilise Instituudi professorite M. L. Levinšteini ja O. V. Štšerbatšovi lähenemisviis elektrisüsteemi stabiilsusele. Käsikirja koostamisel oli suureks abiks dotsent Eeli Tiigimägi.

Autor

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1 PÕHIMÕISTED	7
1.1 Nurkkarakteristik	7
1.2 Staatilise stabiilsuse mõiste	10
1.3 Dünaamilise stabiilsuse mõiste	11
1.4 Sünkroonmasinate põhiseoseid	15
1.4.1 Peitpoolustega sünkroonmasina vektordiagramm	15
1.4.2 Väljepoolustega sünkroonmasina vektordiagramm	16
1.4.3 Sünkroonmasina põhiseosed	17
1.4.4 Mõõduv elektromotoorjõud	18
1.4.5 Sünkroonmasina elektromotoorjõud ja aseskeemid	20
2 STAATILINE STABIILSUS LIHTSUSTATUD KÄSITLUSES	22
2.1 Väljepoolustega sünkroonmasina nurkkarakteristik	22
2.2 Nurkkarakteristik generaatori konstantse klemmipinge puhul	24
2.3 AER-i mõju staatilisele stabiilsusele	26
2.4 Nurkkarakteristik keeruka sideme korral	30
2.5 Skeemiparameetrite mõju nurkkarakteristikule	32
2.5.1 Keerukas induktiivside	32
2.5.2 Side, mis sisaldab pikiaktiivtakistust	33
2.5.3 Side, mis sisaldab põikaktiivtakistust	34
2.6 Tarbijate mõju elektrisüsteemi stabiilsusele	35
2.6.1 Tegelik nurkkarakteristik	35
2.6.2 Koormuse pingetundlikkus	36
2.7 Koormuse stabiilsus	39
3 DÜNAAMILINE STABIILSUS	42
3.1 Dünaamilise stabiilsuse määramise lähtekohad	42
3.2 Pindade reegel	43
3.3 Dünaamilisele stabiilsusele mõjuvad tegurid	45
3.3.1 Süsteemiparameetrite mõju	45
3.3.2 Lühise kestuse mõju	46
3.3.3 Lühise liigi mõju	46
3.3.4 Automaattaaslülituse mõju	47
3.3.5 Turbiini automaatse kiirusregulaatori mõju	48
3.3.6 Generaatori elektriline pidurdamine	48
3.4 Generaatori rootori liikumise diferentsiaalvõrrand	50
3.5 Võimsuse määramine superpositsioonimeetodil	52
3.6 Järjestikuste intervallide meetod	55
3.7 Dünaamilise stabiilsuse määramise kord	58

3.8	Koormuse dünaamiline stabiilsus	60
3.9	Resulteeruva stabiilsuse mõiste	62
4	STAATILINE STABIILSUS RANGES KÄSITLUSES	64
4.1	Staatilise stabiilsuse määramine üldmeetodil	64
4.2	Staatilise stabiilsuse matemaatiline kriteerium	65
4.2.1	Lineaarse diferentsiaalvõrrandisüsteemi üldlahend	65
4.2.2	Routh-Hurwizi kriteerium	66
4.3	Sünkroonmasina diferentsiaalvõrrandid	68
4.4	Lihtsaima süsteemi stabiilsus	73
4.5	AER ja turbiini võrrand	76
4.6	Ergutuse reguleerimise mõju staatilisele stabiilsusele	78
4.6.1	Reguleerimine nurga järgi	78
4.6.2	Reguleerimine pinge järgi	80
4.6.3	Reguleerimine voolu järgi	82
4.6.4	Kokkuvõte	82
4.7	Keeruka süsteemi stabiilsuse määramine	83
4.7.1	Lähtetingimused	83
4.7.2	Aperioodilise stabiilsuse määramise näide	84
4.7.3	Perioodilise stabiilsuse määramine	86
4.8	Sagedusmeetodite rakendamine staatilise stabiilsuse määramiseks	87
4.8.1	Mihhailovi meetod	87
4.8.2	D-laotuse meetod	88
4.8.3	Variatsioonvõrrandite otsene lahendamine	90
4.9	Summutusmähise mõju stabiilsusele	91
4.10	Küllastuse mõju stabiilsusele	93
5	PINGE STABIILSUS	96
5.1	Pinge stabiilsuse mõiste	96
5.2	Pinge stabiilsuse lihtsustatud käsitlemine	99
5.3	Keerulise süsteemi pinge stabiilsus	101
5.3.1	Ülekandesüsteemi reaktiivvõimsuse kompenseerimine ja reguleerimine	102
5.3.2	Koormuse staatilised ja dünaamilised omadused	103
5.3.3	Generaatorite karakteristikud	104
5.3.4	Alalisvooluülekanne	106
5.3.5	Keeruka süsteemi stabiilsus	107
6	STABIILSUSE TAGAMISE PROBLEEMID	109
6.1	Stabiilsuse tõstmise vahendid ja moodused	109
6.2	Nõuded stabiilsusele	112
6.3	Stabiilsuse arvutamise tingimused	114
6.4	Stabiilsuse arvutamise vahendid	115
	KIRJANDUS	117

SISSEJUHATUS

Elektrisüsteemi projekteerimis- ja juhtimisprobleemide lahendamisel lähtutakse enamasti püsitalitlusest, s.o loetakse süsteemi seisund muutumatuks. Tegelikult on elektrisüsteemi talitus allutatud mitmesugustele siirdeprotsessidele. Neid põhjustavad tarbijate koormuse ja genereeritava võimsuse muutused, kommutatsioonid elektrivõrgus, samuti lühised ja muud talitluse häiringud. Seega on ettekujutus püsitalitlusest ainult fiktsioon, mis tegelikkuses kunagi aset ei leia.

Siirdeprotsessid elektrisüsteemis on keerukad ja mitmetahulised. On saanud tavaks liigitada siirdeprotsesse nende muutumiskiiruse ja praktiliste tagajärgede alusel.

- *Laineprotsessid* on muutumissagedusega 10^6 Hz ja põhjustavad liigpingeid.
- *Elektromagnetilised siirdeprotsessid* ehk *lühisvoolud*. Nende sagedus on 50...500 Hz, nad põhjustavad seadmete ülekuumenemist jms.
- *Elektromehaanilised siirdeprotsessid* ehk *elektrisüsteemi stabiilsus*, sagedus 10^{-1} ...50 Hz. Elektrisüsteemi talitluse mittestabiilsus viib generaatorite sünkronismist väljalangemiseni või pinge kollapsini.

Raamatus vaadeldakse elektromehaanilisi siirdeprotsesse, tutvustatakse elektrisüsteemi selle tõepärases, muutuv olekus; esitatakse elektromehaaniliste siirdeprotsesside kirjeldamise matemaatilised alused ja vaadeldakse mittestabiilsuse vältimise praktilisi küsimusi.

Elektrisüsteemi talitluse mittestabiilsuse juhtumid on tõsised avariid, mille tulemused on võrreldavad looduskatastroofidega. Põhjuseks on asjaolu, et generaatorite sünkronismist väljalangemise või pinge kollapsi korral kaotavad tarbijad suurel territooriumil (meie oludes kogu Eestis) pikaks ajaks (mitu tundi) toite. Suuri avariisid, mida on kajastanud ka ajakirjandus, on viimase 20 aasta jooksul esinenud USA-s, Jaapanis, Rootsis ja mujal.