

Լ.Վ. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, Ս.Գ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Գ.Վ. ՂԱՐԻԲՅԱՆ,
Գ.Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Գ.Հ. ԳԱԼՍՏՅԱՆ

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆՈՐ
ԷՆԵՐԳԱԲԼՈԿՆԵՐԻ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀԱՆՁՆԵԼՈՒ
ՀԱՇՎԱՌՄԱՄԲ**

Ներկայացված է Հայաստանի և ԱՄՆ-ի էներգահամակարգերում վերջին ժամանակաշրջանում տեղի ունեցած համակարգային խոշոր վթարների հետևանքով առաջացած էներգահամակարգերի աշխատանքի կայունության խախտումների նկարագիրը: SIEMENS ֆիրմայի PSS™E-31 ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ Հայաստանի էներգահամակարգի համար մշակվել է հաշվարկային մոդել և կատարվել են անցումային էլեկտրամեխանիկական պրոցեսների հաշվարկներ: Մոդելի ճշտությունը ստուգվել է իրական անցումային ռեժիմների պարամետրերի չափագրումների և դրանց հաշվարկային վերարտադրման արդյունքների համադրության միջոցով: Հետազոտություններով բացահայտվել են Հայաստան-Իրան գործող էլեկտրահաղորդման գծերի թողունակության տիրույթները ստատիկ և դինամիկ կայունության պահանջների կատարման պայմանով և նոր ջերմային էներգաբլոկների շահագործման դեպքում:

Առանցքային բառեր. էլեկտրաէներգետիկա, համակարգ, կայունություն, ստատիկ, դինամիկ, էլեկտրահաղորդում, գիծ, աշխատանք, պարամետր, հզորություն, հաճախություն, լարում, տատանում, ճոճում, կարգավորում, ասինքրոն, էներգաբլոկ:

Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի (ԷԷՀ) աշխատանքի կայունության (այսուհետև՝ կայունություն) խախտումը հանգեցնում է ասինքրոն ռեժիմի [1], որի ընթացքում տեղի են ունենում հաճախականության, լարման և հզորության վտանգավոր շեղումներ: Առաջանում է վտանգ թե՛ ԷԷՀ -ի կենսունակության, թե՛ սարքավորումների (հատկապես՝ տուրբինների) անվտանգության համար: Բացի դրանից, կայունության պահպանման անհրաժեշտությունն ստիպում է սահմանափակել ԷԷՀ-ի տնտեսապես արդյունավետ ռեժիմների տիրույթը և առաջացնում է տնտեսական վնաս:

Սինքրոն մեքենայի անցումային պրոցեսի մաթեմատիկական մոդելը, Պարկ-Գորնի ձևափոխության [2] համաձայն, ներկայացվում է հետևյալ I կարգի ոչ գծային դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի տեսքով.

$$\begin{cases} (\rho_d + P)U_d + PU_r + (1 + S)U_q = U_s \sin \theta, \\ -(1 + S)U_d + (\rho_q + P)U_q - (1 + S)U_r = -U_s \cos \theta, \\ \mu_d PU_d + (\rho_r + P)U_r = \frac{M_d e_r}{L_r}, \\ P\theta - S = 0, \\ J\omega_s^2 S + \frac{3}{2} \left[\frac{1}{x_q} (U_d + U_r)U_q - \frac{1}{x_d} U_d U_q \right] = \omega_s M_m. \end{cases} \quad (1)$$

որտեղ $\rho_d = \frac{r}{x_d}$, $\rho_q = \frac{r}{x_q}$, $\rho_r = \frac{r}{x_r}$, $x_d = \omega_s L_d$ –ն ՄՄ –ի ստատորի փաթույթների ռեակտիվ դիմադրությունն է d առանցքով, $x_q = \omega_s L_q$ –ն՝ q առանցքով, $x_r = \omega_s L_r$ –ն՝ ռոտորի փաթույթի ռեակտիվ դիմադրությունը, $s = \frac{\omega_r}{\omega_s} - 1$ –ը՝ ՄՄ –ի սահքը, $\mu = \frac{3}{2} \frac{M_d^2}{L_d L_r}$ –ն՝ ստատորի և ռոտորի փաթույթների փոխհնդուկցիայի գործակիցը, J –ն՝ ՄՄ –ի ռոտորի իներցիայի մոմենտը, M_m –ը՝ ռոտորին կիրառված արտաքին մեխանիկական մոմենտը, $P = \frac{d}{\omega_s dt}$, $U_d = x_d i_d$, $U_q = x_q i_q$, $U_r = \omega_s M_d i_r$, ω_s –ը՝ ստատորի փաթույթներին կիրառված էլշու –ների եռաֆազ համակարգի ստեղծած պտտվող մագնիսական դաշտի պտտման անկյունային արագությունը, U_s –ը՝ ստատորի փաթույթներին կիրառված լարման մոդուլը, θ –ն ռոտորի q առանցքի և սինքրոն պտտվող առանցքի կազմած անկյունը, e_r –ը՝ ռոտորի փաթույթին կիրառված հաստատուն էլշու –ն:

(1) համակարգի լուծումը հնարավոր է իրագործել միայն թվային մեթոդներով (Ռունգե–Կուտտա, Ադամս և այլն):

ՀՀ ԷԷՀ –ում 2001–2006 թվականներին տեղի են ունեցել կայունության խախտման և ինքնաճոճման 3–ական դեպք:

Կայունության խախտման դրդապատճառներ են հանդիսացել.

– 2002թ. –ին՝ 110 կՎ ցանցում երկարատև եռաֆազ կարճ միակցումը,

– 2003թ. –ին՝ բարդ եղանակային պայմաններում ԱԷԿ –ից դուրս եկող 220 կՎ էլեկտրահաղորդման երեք գծերի (ԷՀԳ) անջատումը,

– 2006թ. –ին՝ Հայկական ատոմային էլեկտրակայանի (ԱԷԿ) ռեակտորային բլոկի վթարային անջատումը:

ԷԷՀ –ի կայունության խախտման հետևանքով խաթարվել է համակարգի բնականոն աշխատանքը, հաճախականությունը նախ բարձրացել է մինչև 52,6Հց, հետո իջել մինչև 47,5Հց, հաճախականային ավտոմատ բեռնաթափման համակարգի գործունեության արդյունքում սպառողների 50 տոկոսը հոսանքազրկվել է:

2001թ. –ի ապրիլին, մայիսին և 2006թ. –ի հունիսին ՀՀ ԷԷՀ –ում տեղի են ունեցել ինքնաճոճումներ, դրանց պատճառը եղել է Հայկական ԱԷԿ–ի գեներատորների հնացած գրգռման համակարգի անկատարությունը:

Ինքնաճոճման հետևանքով ԷԷՀ –ում առաջացել են երկարատև ճոճումներ, որոնք մարել են միայն 5 թույլե անց: 2003թ.–ին ճոճումներն ընթացել են մեծ ամպլիտուդով և ունեցել են աճող բնույթ, դրանք մարել էին միայն 3 թույլե անց ռելեական պաշտպանության գործողությունից հետո, որն անջատել է 220 կՎ Հայաստան-Իրան ԷՀԳ –ը: Այս ընթացքում վտանգի սպառնալիք է ստեղծված եղել առանձնապես ԱԷԿ –ի տուրբինների համար:

Համեմատության համար նշենք, որ ԱՄՆ –ում 1965–2003 թվականների ընթացքում տեղի է ունեցել կայունության խախտման 8 դեպք, որոնցից ամենածանր հետևանքներ է ունեցել 2003թ. –ի օգոստոսի վթարը, որը համարվում է աշխարհի էներգետիկայի պատմության մեջ ամենամեծ վթարը: Մասնավորապես, մի քանի ժամվա ընթացքում վնասվելու պատճառով հաջորդաբար վթարային անջատվել է 3 բարձրավոլտ օդային ԷՀԳ (ՕԳ), որը հանգեցրել է այլ բարձրավոլտ ՕԳ–երի գերբեռնման և համակարգի առանձին հանգույցներում լարման իջեցման: Գծերի գերբեռնման և լարման իջեցման հետևանքով հեռահար պաշտպանության III գոտու գործունեության հետևանքով 5 թույլե ընթացքում անկանխատեսելիորեն կասկադաձև անջատվել է 17 բարձրավոլտ ՕԳ: Այնուհետև՝ խորը սինքրոն ճոճումների ժամանակ հեռահար պաշտպանության I գոտու գործունեության հետևանքով 1 վրկ –ի ընթացքում, առանց ժամանակի հապաղման, անկանխատեսելիորեն կասկադաձև անջատվել է 5 բարձրավոլտ ՕԳ, քանի որ ԱՄՆ –ում այն կատարում է ոչ միայն կարճ միացումից պաշտպանության ֆունկցիա, այն՝ ասինքրոն ընթացքից: Սկսված ասինքրոն ընթացքը կանխվել է այն սկսվելուց միայն 4 ցիկլ հետո, որը հանգեցրել է բազմաթիվ գեներատորների անջատման՝ որպես հետևանք լարման և հաճախականության վտանգավոր տատանումների: Արտադրվող հզորության մեծ պակասի հետևանքով ԱՄՆ –ի ԷԷՀ –ն բաժանվել է մի քանի մասի: Այս վթարի հասցրած վնասը չափվում է միլիարդավոր դոլարների գումարով:

Էներգահամակարգերի նախագծման և շահագործման ընթացքում կայունության հաշվարկների արդյունքների հիման վրա կատարվում են ԷԷՀ –ի սխեմայի և սարքավորումների ընտրություն, աշխատանքի ռեժիմների պլանավորում, կայունության բարձրացմանն ուղղված միջոցառումների ընտրություն, ռելեական պաշտպանության և կարգավորման համակարգերի պարամետրերի հաշվարկ: Խնդրի հիմնարարությունից բխող ակնհայտ լրջությունը պահանջում է ապահովել կայունության հաշվարկների բարձր ճշտություն:

,Էներգետիկայի գիտահետազոտական ինստիտուտե ,ՓԲԸ–ում կատարվել են ՀՀ ԷԷՀ –ի ստատիկ և դինամիկ կայունության հաշվարկներ SIEMENS ֆիրմայի PSSTME–31 ծրագրով, որը կայունացված և անցումային ռեժիմների հաշվարկի ամենաժամանակակից ծրագրերից է, ունի բարձր ճշտություն և լայն տարածում է գտել աշխարհի շատ երկրներում: Ծրագրով մոդելավորվել են Հայաստանի էներգահամակարգն իր բոլոր կայանների գեներատորներով և դրանց կարգավորիչներով (արագության և գրգռման),

բեռնվածքներով (ըստ լարման և հաճախականության բնութագրերի), հաճախականային ավտոմատ բեռնաթափման համակարգով (ՀԱԲ) և այլն:

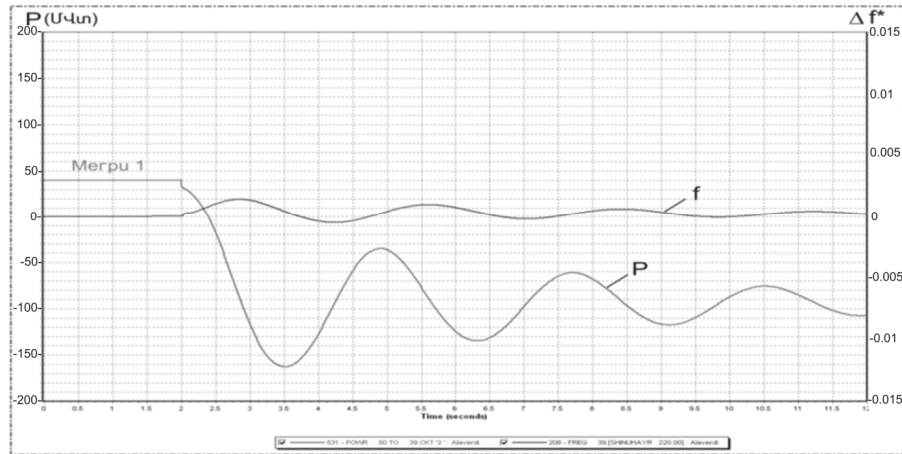
Նկատի ունենալով, որ անցումային պրոցեսների ուսումնասիրման համար ԷԷՀ –ի մոդելավորումը (իր բազմաթիվ պաշտպանության, կարգավորման և ղեկավարման համակարգերով) բարդ խնդիր է, PSS^{TME}–31 ծրագրով իրականացվող հաշվարկների արդյունքների հավաստիությունը ստուգելու համար ԷԷՀ –ի մոդելի վրա կատարված հաշվարկների արդյունքները համեմատվել են ՀՀ –ի ԷԷՀ –ում տեղի ունեցած անցումային պրոցեսների ժամանակ հատուկ չափիչ–գրանցող սարքերի օգնությամբ ֆիքսված ռեժիմային պարամետրերի հետ: Համեմատության արդյունքները ցույց են տալիս հաշվարկային և ֆիքսված մեծությունների համընկնման բարձր ճշտությունը:

Ստորև բերված են Հայաստանի էներգահամակարգում տեղի ունեցած 2 վթարների՝ հաշվարկային և գրանցող սարքերով գրանցված կորերը և դրանց համադրումը:

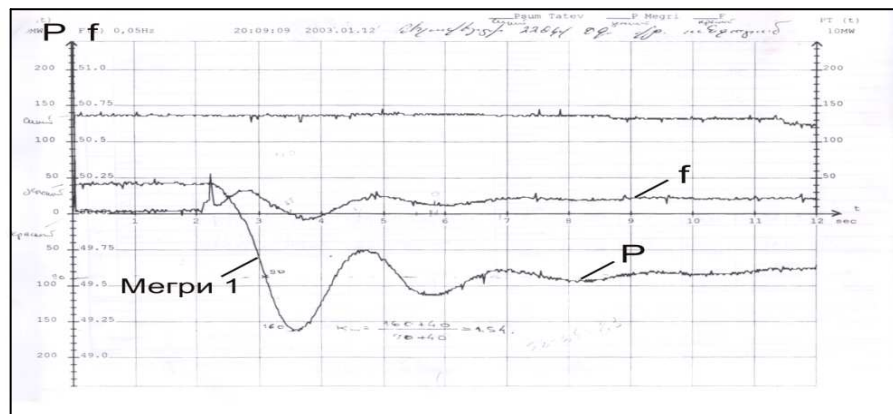
1. Դիտարկվել է ՀՀ ԷԷՀ –ը Վրաստանի ԷԷՀ –ի հետ կապող, Ալավերդիէ 220 կՎ ԷՀԳ –ի անջատումը, երբ դրանով հաղորդվում էր 140 ՄՎտ հզորություն (12.01.2003թ.): Իրանից հաղորդվող հզորության հոսքը դեպի ՀՀ ԷԷՀ եղել է 47 ՄՎտ: “Ալավերդի” 220 կՎ ԷՀԳ –ն անջատելուց հետո հոսքը Մեղրի 220 կՎ ԷՀԳ –ով փոխել է իր ուղղությունը դեպի Իրան, հզորությունն աճել է մինչև 160 ՄՎտ և հաստատվել է մոտ 90 ՄՎտ –ի շրջակայքում, իսկ հաճախականությունը տատանվել է $50 \pm 0,1$ Հց –ի սահմաններում: Հաշվարկի արդյունքները մեծ ճշտությամբ համընկել են իրական չափված պարամետրերի հետ (նկ.1):

2. Դիտարկվել է Էջմիածին ենթակայանի մոտ 110 կՎ լարման Շահումյան–1 ԷՀԳ –ի վրա 19.04.2002 –ին տեղի ունեցած կարճ միակցումը, որը տևել է 3,2 վրկ:

Լարման իջեցումից Հայկական ԱԷԿ –ում գործել է ռեակտորի 1 –ին կարգի վթարային պաշտպանությունը (A3–1), որը Հայկական ԱԷԿ –ում և Շահումյան–2 ե/կ –ում առաջացրել է բեռնվածքի ավտոմատ անջատում (գործել է բեռնվածքի անջատման հատուկ ավտոմատիկան): Կարճ միակցումը սկսվելուց 1,3 վրկ անց Մեղրի գծով սկսվել է ասինքրոն ընթացք, որի պատճառով ասինքրոն ռեժիմի ավտոմատ վերացման (ԱՌԱՎ) համալիրից անջատվել է Մեղրի ԷՀԳ –ը: Ճոճումների կենտրոնը գտնվել է Եղեգնաձոր ե/կ –ի մոտ: Հաճախականությունը Մարաշ ե/կ –ում բարձրացել է միջինը մոտ 2 Հց –ով, Շինուհայրում այն իջել է մոտ 0,5 Հց –ով: Հաշվարկի արդյունքները մեծ ճշտությամբ համընկել են իրական չափված պարամետրերի հետ (նկ.2):

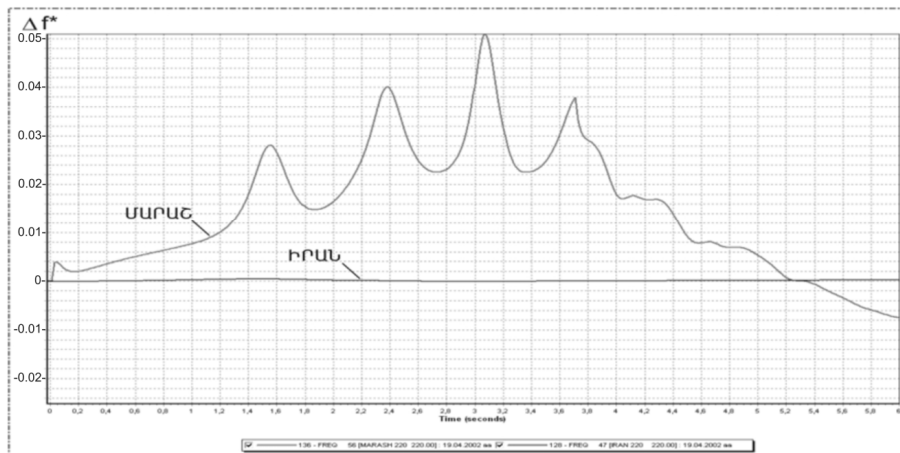


ա)

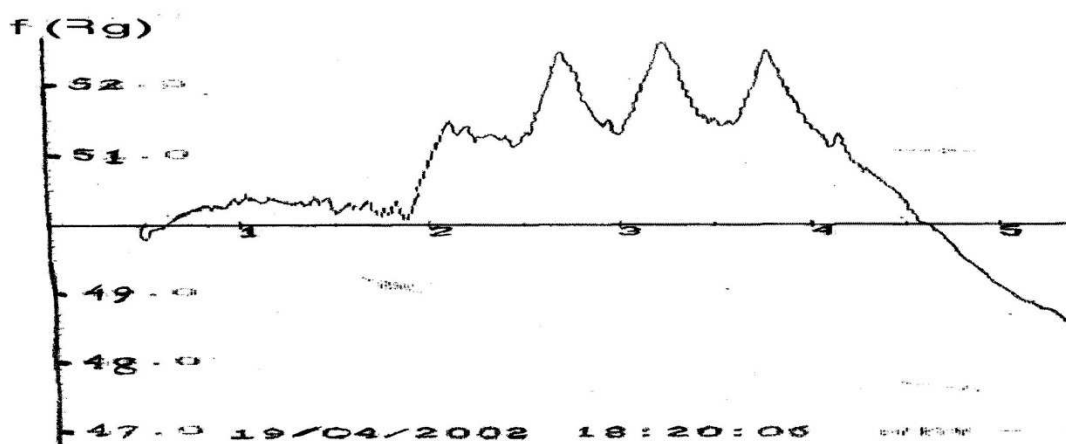


բ)

Նկ.1. Ալավերդի 220 կՎ ՕԳ –ի վթարային անջատումից հետո էներգահամակարգի
հաճախականության և Մեդրի ՕԳ –ով փոխհոսքի փոփոխման կորերը՝ ա)
հաշվարկային, բ) գրառված



ա)



բ)

Նկ.2. Էներգահամակարգում 19.04.2002թ.տեղի ունեցած վթարի ժամանակ հաճախականության փոփոխման կորերը՝ ա) հաշվարկային, բ) գրառված

Մոդելի ճշտությունն ըստ կայունության հաշվարկի տվյալների ստուգելուց հետո կատարվել են ՀՀ ԷԷՀ –ի ստատիկ և դինամիկ կայունության հաշվարկներ՝ մոդելում ներառելով առաջիկայում շահագործման հանձնվող Երևանի և Հրազդանի ցերմաէլեկտրակայանների նոր էներգաբլոկները:

Այդ նոր էներգաբլոկները շահագործման հանձնելուց հետո, ստուգվող հզորությունների հաշվեկշիռներից պարզվում է, որ գարնանը և ամռանը ՀՀ ԷԷՀ –ում առաջանում են համապատասխանաբար՝ 1050 և 700 ՄՎտ ազատ հզորություններ, որոնք կարող են հաղորդվել Իրան: Այդ հզորությունների հաղորդման հնարավորությունը

պարզելու նպատակով կատարվել են Հայաստան-Իրան ԷՀԳ –ի թողունակության հաշվարկներ Հայաստանի միացյալ (Իրանի հետ) համակարգի բնականոն, նորոգման և հետվթարային ռեժիմներում՝ հաշվի առնելով միացյալ համակարգի ստատիկ կայունության և համակարգերը կապող ԷՀԳ –երի ջերմային կայունության ապահովմանն անհրաժեշտ պայմանները:

Բնականոն և նորոգման սխեմաներով աշխատող էներգահամակարգի ստատիկ կայունության ապահովման պահուստի նորմատիվային գործակիցներն ընդունված են ըստ ԷԷՀ –ի դիտարկվող հատվածում փոխհոսքի ակտիվ հզորության՝ ոչ պակաս 0,2 –ից և ըստ նրա հանգույցներում լարման ոչ պակաս 0,15 –ից [3], այսինքն՝

$$K_p = \frac{P_{սահ} - (P + \Delta P_{անկ.տ})}{P_{սահ}} \geq 0,2,$$

$$K_U = \frac{U - U_{կրիտ}}{U} > 0,15,$$

որտեղ $P_{սահ}$ –ը ստատիկ կայունության սահմանային ակտիվ հզորությունն է, որը հաշվարկվում է ԷԷՀ –ի մոդելի վրա ռեժիմի աստիճանաբար ծանրացման եղանակով, P – ն՝ փոխհոսքի ակտիվ հզորությունը տվյալ հատվածում, $\Delta P_{անկ.տ}$ – լարման տատանումների նորմատիվային առավելագույն արժեքը, U –ը՝ տվյալ հանգույցի հաշվարկված լարումը դիտարկվող ռեժիմում, $U_{կրիտ}$ –ը՝ կրիտիկական լարումը, որն ընդունվում է 0,7 Սանվ կամ 0,75 Սանվ մեծության: ԷԷՀ –ի կարճատև (20 րոպեից քիչ) հետվթարային հաստատված ռեժիմում ստատիկ կայունության ապահովման պահուստի նորմատիվային գործակիցներն ըստ փոխհոսքի հզորության ընդունված են 0,08 և 0,1՝ ըստ հանգուցային լարման [3], այսինքն՝

$$K_p = \frac{P_{սահ} - (P + \Delta P_{անկ.տ})}{P_{սահ}} \geq 0,08,$$

$$K_U = \frac{U - U_{IRG}}{U} > 0,1:$$

Վերոհիշյալից հետևում է, որ՝

$$P_{թույլ}^{նորմ} = 0,8P_{սահ} - \Delta P_{անկ.տ},$$

$$P_{թույլ}^{հետ.վթ.} = 0,92P_{սահ} - \Delta P_{անկ.տ} :$$

Նորմատիվային վթարների դեպքում [4] էներգահամակարգի դինամիկ կայունությունը պետք է ապահովվի բնականոն և նորոգման սխեմաներով աշխատանքի ժամանակ:

Ըստ հետազոտությունների՝ ԷԷՀ–ի բնականոն սխեմայի դեպքում Հայաստան–Իրան ԷՀԳ –ով երկարատև (հաշվի առած 20 տոկոս պահուստը՝ ստատիկ կայունության ապահովման պայմանից) էլեկտրաէներգիա հնարավոր է հաղորդել մինչև 430 ՄՎտ հզորությամբ: Կապի գծերից որևէ մեկի նորոգման կամ նրանցից որևէ մեկի վթարային

անջատման դեպքում ստատիկ կայունության սահմանը փոքրանում է: Մասնավորապես նորոգման ռեժիմներում ստատիկ կայունության սահմանը կարող է իջնել մինչև 330 ՄՎտ, իսկ հետվթարային ռեժիմներում՝ մինչև 260 ՄՎտ:

Հաշվարկներով պարզվել է, որ, ելնելով դինամիկ կայունության ապահովման պայմանից, դեպի Իրան հնարավոր է հաղորդել միայն 280 ՄՎտ հզորությամբ էլեկտրաէներգիա, ինչը սահմանափակման ենթակա այլ էլեկտրակայանի բացակայության պայմաններում կստիպի սահմանափակել Երևանի ՋԷԿ –ի և Հրազդանի ՋԷԿ –ի նոր կառուցված էներգաբլոկների օգտագործվող հզորությունը:

Հայաստան–Իրան միջհամակարգային կապով էներգափոխանակման թույլատրելի տիրույթը մեծացնելու նպատակով, որը պայմանավորված է Հայաստանի էներգահամակարգում նոր արտադրող հզորությունների մուտքով, համակարգում գործող ավտոմատիկայի և ռելեական պաշտպանության համակարգերի վերանայման անհրաժեշտություն է առաջանում. անհրաժեշտ է մշակել կայունության խախտման ավտոմատ կանխարգելման (ԿԽԱԿ) նոր համակարգ, որը թույլ կտա մեծացնել կապի թողունակությունը և ջերմակայանների նոր էներգաբլոկների օգտագործվող հզորությունները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Веников В.А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 1985. – 536 с.
2. **Горев А.А.** Переходные процессы синхронной машины. –Л.: Наука, 1985. –502с.
3. Главное техническое управление по эксплуатации энергосистем МЭ и Э СССР: Методические указания по определению устойчивости энергосистем. Часть 1.– М.: Союзтехэнерго, 1979. – 184с.
4. **Андерсон П., Фуад А.** Управление энергосистемами и устойчивость / Пер. с англ.; Под ред. Я. Н. Лугинского. – М.: Энергия, 1980. – 568 с.

«Էներգետիկայի ԳՀԻ» ՓԲԸ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 13.04.2010:

Л.В. ЕГИАЗАРЯН, С.Г. АКОБЯН, Г.В. КАРИБЯН, Г.С. АРУТЮНЯН,
Г.Г. ГАЛСТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ АРМЯНСКОЙ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ВВОДА В
ЭКСПЛУАТАЦИЮ НОВЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ

Представлен обзор нарушений устойчивости работы энергосистем в Армении и в США в последнее время вследствие крупных системных аварий. Для Армянской энергосистемы с использованием программного пакета PSSTME-31 фирмы SIEMENS разработана расчетная модель и произведены расчеты переходных электромеханических процессов. Точность модели проверена путем сопоставления замеров параметров реальных переходных процессов с их расчетными результатами. Определены пределы пропускной способности действующих линий электропередачи Армения–Иран при условии выполнения требований по статической и динамической устойчивости и эксплуатации новых тепловых энергоблоков.

Ключевые слова: электроэнергетика, система, устойчивость, статический, динамический, электропередача, линия, работа, параметр, мощность, частота, напряжение, колебание, качение, регулирование, асинхронный, энергоблок.

L.V. YEGHIAZARYAN, S.G. HAKOBYAN, G.V. GHARIBYAN, G.S.
HARUTYUNYAN, G.H. GALSTYAN

THE ARMENIAN POWER SYSTEM OPERATION STABILITY INVESTIGATION
ACCOUNTING PUTTING NEW POWER SYSTEMS INTO OPERATION

The description of the power systems operation stability failure caused by the system significant emergency states occurred during the last working period in Armenian and USA power systems is performed. With the use of PSSTME-31 software portfolio of Siemens Firm a design model is developed and transient electromechanical process calculations for Armenian power system are performed. The accuracy of the model is checked by comparing real-time transient state parameters and their reproduction calculation results. The Armenia - Iran current power transmission lines permissible limit under the condition of the static and dynamic stability requirements and in case of the new thermal power units' maintenance are defined.

Keywords: power energetics, system, stability, static, dynamic, power transmission, line, operation, parameter, capacity, frequency, voltage, fluctuation, swinging, regulation, asynchronous, power unit.