

УДК 621.311

YÜKSƏK GƏRGİNLİKLİ ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ İZAFİ REAKTİV GÜCÜN KOMPENSASIYA QURĞULARININ SEÇİLMƏSİ VƏ YERLƏŞDİRİLMƏSİ

HƏŞİMOV A.M., QULİYEV H.B., BABAYEVA A.R.

*"Azərenerji" ASC, Azərbaycan Elmi-Tədqiqat
və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu*

Enerjisistemin yüksək gərginlikli elektrik şəbəkələrində elektrik veriliş xətlərinin doldurma güclərindən yaranan reaktiv güc izafiliyinin aradan qaldırılması məqsədilə idarəolunan şuntlayıcı reaktorların seçilməsi və quraşdırılma yerlərinin təyin edilməsi metodikası verilmişdir. Təklif edilən metodika əsasında real enerjisistemin 330 kV gərginlikli prioritet düyünləri müəyyən edilmiş və reaktorların yerləşdirilməsi ilə əlaqədar müvafiq tövsiyələr hazırlanmışdır.

Açar sözlər: enerjisistem, yüksək gərginlikli elektrik şəbəkəsi, idarəolunan şuntlayıcı reaktor, reaktiv güc, gərginliyin profili.

Giriş

Müasir dövrdə MDB və xarici ölkələrin elektroenergetikasında FACTS qurğulu "intellektual" (Smart Grid) şəbəkələrin tərkib hissəsi olan idarəolunan və ya çevik elektrik veriliş xətlərinin yaradılmasına böyük əhəmiyyət verilir [1]. Belə enerjisistemlərin rejimlərinin optimal idarəedilməsi üçün həm aktiv, həm də reaktiv güc axınlarının yüksək effektiv tənzimləmə vasitələrinə zəruriyyət yaranır.

Gərginlik və reaktiv güc üzrə rejimlərin idarə olunması üçün generator, sinxron və statik kompensatorlar, kommutasiya olunan reaktorlar və kondensator batareyaları ilə yanaşı, son onilliklərdə yeni qurğular - idarəolunan şuntlayıcı reaktorlar (İŞR) geniş istifadə olunurlar. İstənilən gərginlik sinfində açıq qurğular üçün tələb olunan reaktiv gücü səliss tənzimlənen transformator tipli icra olunması enerjisistemin hər hansı hissəsində İŞR-i quraşdırmağa imkan verir və gərginliyin stabilləşdirilməsini, reaktiv güc axınlarının optimallaşdırılmasını, elektrik verilişinin buraxma qabiliyyətinin yüksəldilməsini, itkilərin, açar və transformatorlarda gərginliyin yük altında tənzimləmə qurğularının kommutasiyalarının saylarının azaldılmasını təmin edir. İŞR-in ona paralel quraşdırılan statik kondensator batareyası ilə əlaqələndirilməsi, nəinki reaktiv gücün kompensasiyasının (tələbatının) səliss tənzimlənməsini, həmçinin İŞR-in yüksüz iş rejiminə qədər yüksələşdirilməsi halında kondensator batareyasının gücünə uyğun olaraq, onun şəbəkəyə verilməsini təmin etməyə imkan verir.

Şuntlayıcı reaktorlar (ŞR) olmadıqda enerjisistemin minimal yük rejimlərində gərginliyin normallaşdırılması məqsədilə böyük itkilərə gətirib çıxara bilən bəzi səmərəli olmayan istismar tədbirlərinin tətbiq edilməsi məcburiyyətinin yaranması mümkündür. Buna misal olaraq, doldurma gücünün azaldılması üçün 330 kV-luq bəzi elektrik veriliş xətlərinin (EVX) açılması, tələbatçılarda kondensator batareyalarının kütləvi olaraq açılması, sinxron kompensatorların və generatorların reaktiv güc tələbatı rejimində istifadə olunması zəruriyyətlərini və bu kimi tədbirləri göstərmək olar.

Aparılan iqtisadi analizlər göstərmişdir ki, əlavə enerji itkiləri elə yüksək səviyyədə olur ki, bahalı avadanlıq olmasına baxmayaraq, ŞR-in quraşdırılması 5 ildən az müddətə özünü ödəyir [2]. Əksər enerjisistemlərdə minimal yük rejimlərində yaranan reaktiv güc izafiliyinin aradan qaldırılması problemi qalmaqdadır. Bu izafiliyin yaranmasının əsas səbəbi 330 kV-luq xətlərin doldurma gücünün onlardakı reaktiv güc itkilərindən yüksək olmasıdır ki, bu da

gərginliyin səviyyəsinin xəttin izolyasiyası üçün təhlükəli həddə qədər artmasına səbəb ola bilər.

İzafi reaktiv gücün aradan qaldırılması üçün müasir dövrdə tətbiq olunan ənənəvi üsul və vasitələr kifayət dərəcədə effektiv deyildir və daha müasir texnoloji vasitələrlə əvəz olunmalıdır. Bu baxımdan 330 kV-luq İŞR-lərə üstünlük verilir. Belə ki, xətlərdə reaktiv güc itkisi ilə onların doldurma gücləri arasındakı nisbət sabit qalmayıb, dəyişilir. Ona görə də cari reaktiv güclər balansının təmin olunması üçün geniş diapazonda ŞR-in gücü tənzimlənən olmalıdır.

Təqdim olunan işdə enerjisistemin real perspektiv sxemi üzrə aparılmış tədqiqatlar əsasında 330 kV gərginlikli idarəolunan şuntlayıcı reaktorların seçilməsi və yerləşdirilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Belə ki, yüksək gərginlikli EVX-nin doldurma gücünün tutum parametrlərinin kompensasiyasının İŞR vasitəsilə həyata keçirilməsi məqsədəuyğun hesab edilir [2].

1. Şuntlayıcı reaktorların güclərinin seçilməsi metodikası

Enerjisistem üzrə təyin olunan prioritet düyünlərdə quraşdırılacaq ŞR-in güclərini təyin etmək məqsədilə onlara daxil ola biləcək reaktiv güc axınlarının qiymətlərini bilmək tələb olunur. Enerjisistemin müxtəlif gərginlikli xətlərinin ümumi doldurma gücü aşağıdakı ifadədən təyin edilə bilər:

$$Q_{d,\Sigma} = \sum_{i=1}^n U_i^2 b_{0,i} \sum_{j=1}^m l_j = \sum_{i=1}^n q_{0,i} \sum_{j=1}^m l_j \quad (1)$$

və ya yalnız bir düyünə baxdıqda

$$Q_{d,i,\Sigma} = U^2 b_0 \sum_{j=1}^m l_j = q_0 \sum_{j=1}^m l_j, \quad i = \overline{1, n} \quad (2)$$

burada b_0 – xəttin 1 km-nin tutum keçiriciliyi; q_0 – xəttin 1 km-nin doldurma gücü; U_i – i -ci düyünün gərginliyi; l_j – j -cu xəttin uzunluğudur.

Reaktorların gücü aşağıdakı düstur ilə təyin edilə bilər [5,6]:

$$Q_r = P_{nat} \cdot \lambda \cdot \left(1 - \frac{P}{P_{nat}}\right) \cdot l \quad (3)$$

burada λ – dalğa uzunluğu olub aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\lambda = \frac{\omega}{v} = \frac{314}{3 \cdot 10^5} = 1,05 \cdot 10^{-3} \frac{rad}{km}$$

P_{nat} – xəttin natural gücü; P – xətdən ötürülən güc; ω – bucaq sürəti; v – elektromaqnit dalğaların yayılma sürətidir.

330 kV gərginlikli EVX-nin natural gücü $P_{nat} = 360 \text{ MVt}$ [4-6].

Reaktorun gücü $P = P_{nat}$ şərtindən seçilir, bu halda

$$Q_r = P_{nat} \cdot \lambda \cdot l \quad (4)$$

Yuxarıda qeyd olunan metodika əsasında Azərbaycan enerjisisteminin 330 kV gərginlikli düyünləri üçün doldurma gücləri və şuntlayıcı reaktorların nominal güclərinin təyin olunması məsələsinə baxılmışdır (şəkil 1). Enerjisistem 330 kV gərginlikli 14 düyündən ibarətdir. Düyünlər sistemlərarası və sisteməmələgətirici xarakterlidir. Məsələn, Goranboy 330 kV-luq sistem daxili düyünə baxaq. Belə ki, Goranboy 330 kV düyünü 1-ci Goranboy 330kV (2xACO-300, 56,3km), 2-ci Goranboy 330 kV (2xACO-300, 84,2km), 3-cü Goranboy 330 kV (2xACO-300, 165,8km), 5-ci Mingəçevir 330 kV (2xACO-300, 33,8km) və 6-cı Mingəçevir 330 kV (2xACO-300, 33,3km) hava xətlərini əlaqələndirir. İŞR-lərin güclərini təyin etmək məqsədilə hər bir düyün üzrə xətlərin doldurma güclərini hesablayaq.

2xACO-300 markalı 330 kV gərginlikli EVX-nin 1 km-nə düşən doldurma gücü $q_0 = 0,41 \text{ MVar/km}$ [4]. Bunu hesablama yolu ilə təyin etsək alarıq:

$$q_0 = U^2 \cdot b_0 = 330^2 \cdot 3,4 \cdot 10^{-6} \approx 0,37 \text{ MVar/km}$$

burada $b_0 = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ MVar/km}$ – xəttin 1 km-nin tutum keçiriciliyidir [4].

Baxılan hal üçün $q_0 = 0,41 \text{ MVar/km}$ qəbul edirik. Buna uyğun olaraq Goranboy 330 kV düyünü ilə əlaqədar olan xətlərin yekun doldurma gücü aşağıdakı kimi olar:

$$Q_d = q_0 \cdot \sum_{i=1}^5 l_i = 0,41 \cdot (56,3 + 84,2 + 165,8 + 33,8 + 33,3) = 153,1 \text{ MVar}$$

Beləliklə, Goranboy 330 kV düyünü üçün reaktorun gücü:

$$Q = P_{nat} \cdot \lambda \cdot \sum_{i=1}^5 l_i = 360 \cdot 1,05 \cdot 10^{-3} (56,3 + 84,2 + 165,8 + 33,8 + 33,3) = 141,1 \text{ MVar}$$

Hesabata görə 180 MVar standart güclü PTY-180/330-YXJI1 tipli idarəolunan reaktor seçilir.

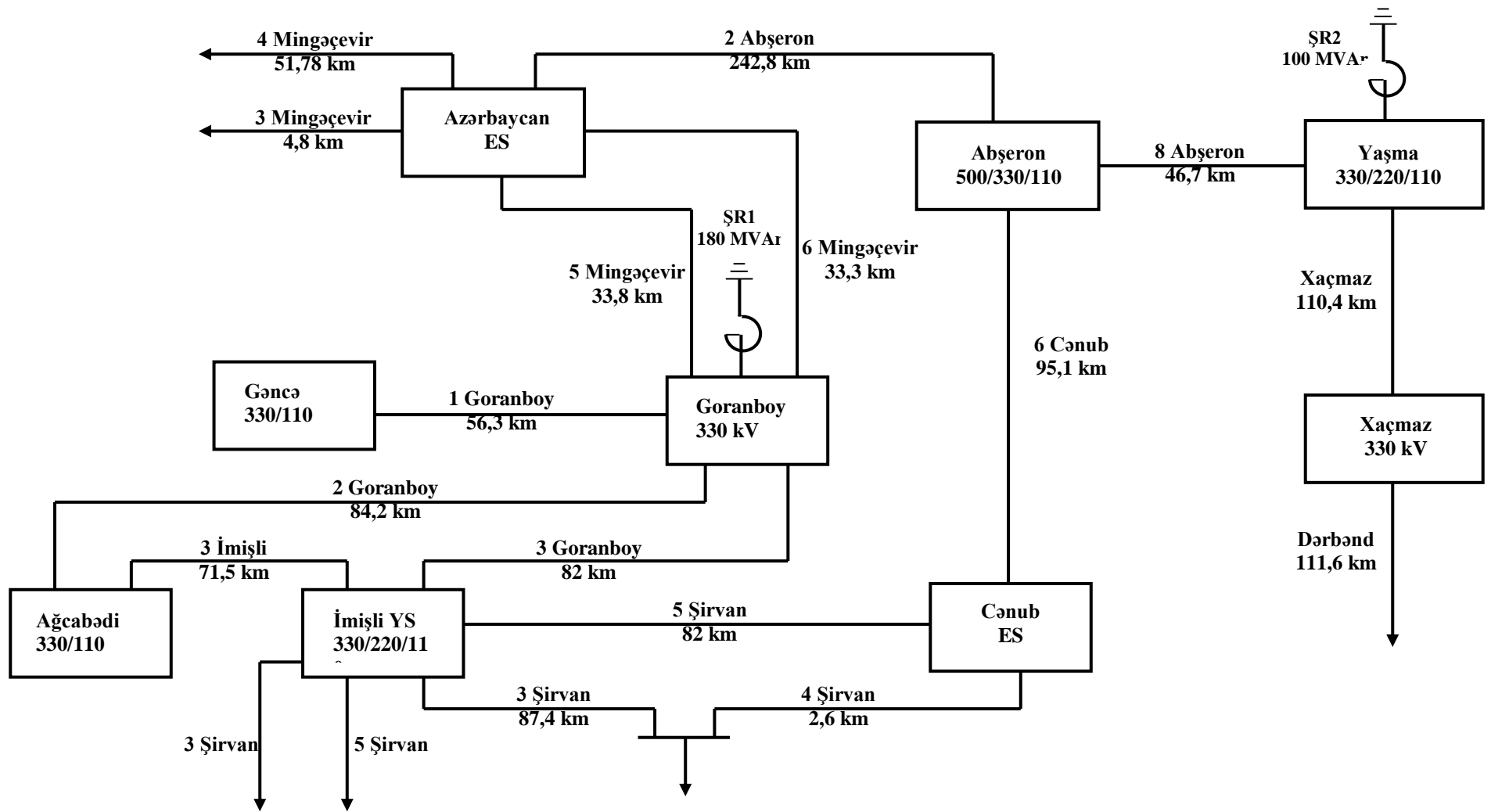
Başqa bir düyünə baxaq. Yaşma 330 kV yarımstansiyası Dərbənd ilə Xaçmaz 330 kV (2xACO-300, 110,2km) və Dərbənd 330 kV (2xACO-300, 111,6km), Abşeron 330 kV düyünü ilə 8-ci Abşeron 330 kV (2xACO-300, 46,7km) gərginlikli xətlər ilə əlaqədardır. Analoji olaraq, Yaşma 330 kV düyünü üzrə xətlərin yekun doldurma gücü təyin edilir:

$$Q_d = 0,41 \cdot (110,2 + 111,6 + 46,7) = 110,08 \text{ MVar}$$

Yaşma 330 kV düyünü üçün reaktorun gücü:

$$Q = P_{nat} \cdot \lambda \cdot \sum_{i=1}^5 l_i = 360 \cdot 1,05 \cdot 10^{-3} (110,2 + 111,6 + 46,7) = 101,5 \text{ MVar}$$

Beləliklə, 100 MVar standart güclü PTY-100/330-YXJI1 tipli İŞR seçmək olar.



Şəkil 1. Enerjisistemin 330 kV gərginlikli düyünlərinin struktur birləşmə sxemi.

2. Enerjisisteyn 330 kV gərginlikli düyünlərində şuntlayıcı reaktorların yerləşdirilməsi metodikası

Enerjisistemdə reaktorların yerləşirilməsi üçün xüsusi metodikadan istifadə oluna bilər. Metodikanın mahiyyəti bundan ibarətdir. Elektrik stansiyasının 330 kV-luq açıq paylayıcı quruluşu da daxil olmaqla bütün 330 kV-luq YS-larda ŞR-in qoyulması prinsipial olaraq mümkündür. Lakin məlum səbəblərdən bunu həyata keçirmək mümkün deyil. İŞR-in ən effektiv quraşdırılma yerlərinin seçilmə meyarlarını müəyyənləşdirmək üçün onların enerjisistemin iki vacib rejim göstəricilərinə təsiri analiz edilməlidir. Məlumdur ki, belə göstəricilər reaktorların quraşdırılmasına qədər və ondan sonra şəbəkənin müxtəlif nöqtələrində gərginliyin səviyyələri və həmçinin şəbəkədə itkinin qiymətinin mütləq və nisbi azalması kəmiyyətləridir. Hesabatlar ən ağır minimal yük rejimi üçün aparılmalıdır, belə ki, şəbəkənin nəzarət olunan nöqtələrində gərginliyin səviyyələri ən böyük mümkün qiymətə çatır. Aydın ki, bu rejimdə reaktorun gücü maksimal olmalıdır. Buna görə də müqayisəli hesabatların aparılması zamanı ŞR-in gücü bütün düyünlər üçün reaktorun nominal gücünə bərabər qəbul edilir.

Ayrı-ayrı yarımstansiyalarda ŞR-in qoyulması nəticəsində enerjisistemin 330 kV-luq düyünlərində gərginliyin orta səviyyəsinə və şəbəkələrdə yekun itkinin səviyyəsinə müxtəlif təsirlər olacaqdır. Aydın ki, hər hansı yarımstansiyada ŞR-in qoyulması ilə həm həmin yarımstansiyada (ən çox) və həm də digər yarımstansiyalarda gərginliyin səviyyəsi azalacaqdır. Ona görə də gərginliyin səviyyəsinin orta azalmasını reaktorun quraşdırılmasının əsas texniki effektivlik göstəricisi kimi qəbul etmək olar. Digər vacib göstərici olaraq isə, şəbəkələrdə güc itkisinin azalmasını qeyd etmək olar. Qeyd edək ki, vahid ŞR-in qoyulması zamanı gərginlikdən fərqli olaraq, güc itkisinin həm artması və həm də azalması mümkün ola bilər. Başqa sözlə güc itkisinin azalması göstəricisi həm müsbət və həm də mənfi ola bilər.

Qeyd olunanları nəzərə alaraq, reaktorun quraşdırılmasının xüsusi texniki effektivlik göstəricisi olaraq, gərginliyin orta mütləq δU_{or} , orta nisbi $\overline{\delta U}_{or}$ azalmalarını və uyğun olaraq, yekun güc itkisinin mütləq δP_{Σ} və nisbi $\overline{\delta P}_{\Sigma}$ azalmalarını qəbul etmək olar. Bu kəmiyyətlər müxtəlif yarımstansiyalarda növbə ilə ŞR yerləşdirməklə çoxvariantlı hesabatların yerinə yetirilməsi yolu ilə təyin edilə bilər. Yuxarıda qeyd olunanlarla yanaşı, ŞR-in tətbiqinin texniki-iqtisadi effektivliyinin kompleks qiymətləndirilməsi üçün aşağıdakı kimi ifadə olunan nəticəvi effektivlik göstəricisi $E_{ef,\Sigma}$ təklif olunmuşdur [2]:

$$E_{ef,\Sigma} = \overline{\delta U}_{or} \cdot \overline{\delta P}_{\Sigma} \quad (3)$$

Bu göstəricinin qiymətinə əsasən şəbəkənin müxtəlif nöqtələrində ŞR-in quraşdırılmasının müqayisəli effektivliklərinə dair fikir yürütmək olar. Qeyd etmək lazımdır ki, ŞR-in qoyulması gərginliyin orta səviyyəsinə eyni təsir göstərdiyi halda (o həmişə azalır), reaktor itkisinin səviyyəsinə ikili təsir edir. Belə ki, bu halda itki həm arta (faydalı təsir) və həm də azala (faydasız təsir) bilər. Aydın ki, belə halda yarımstansiyaların $E_{ef,\Sigma}$ göstəricisinə görə müqayisə olunması və sıralanması onun müsbət qiymətlərində məna kəsb edəcək. Başqa sözlə, ŞR-lərin konkret quraşdırılma yerləri $E_{ef,\Sigma} > 0$ olan düyünlər arasından seçilməlidir. Bundan başqa, digər faktorlar da, xüsusilə yarımstansiyaların istismara daxil edilmə müddətləri, ŞR-in quraşdırılması üçün yerin olması, elektrik birləşmə sxeminin imkanı və qonşu enerjisistemlərdən ona reaktiv güc axınının mümkünlüyü nəzərə alınmalıdır.

Cədvəl 1-də baxılan enerjisistemin 330 kV -luq düyünləri üçün qeyd olunan xüsusi və nəticəvi effektivlik göstəricilərinin qiymətləri verilmişdir (başlanğıc itki 15,2 MVt). Düyünlər $E_{ef,\Sigma}$ göstəricisinin qiymətlərinin azalması ardıcılığı ilə yerləşdirilmişdir.

Enerjisistemin 330 kV-luq düyünləri üçün effektivlik göstəricilərinin qiymətləri

Düyünün nömrəsi	Düyünün adı	Gərginlik, kV		Şəbəkədə yekun itki, MVt	Yekun itkinin mütləq və nisbi azalması		Gərginliyin orta mütləq və nisbi azalması		Effektivlik göstəricisi, E_{ef}
		ŞR-in qoşulmasına qədər şindəki gərginlik	ŞR qoşulduqdan sonra orta gərginlik		MVt	%	kV	%	
39	Abşeron 330	344,38	334,23	14,5	0,7	4,61	3,60	1,07	4,912
201	Cənub ES	346,53	334,66	14,6	0,6	3,94	3,17	0,94	3,701
101	Yaşma 330	342,18	333,96	14,9	0,3	1,97	3,87	1,15	2,261
601	Min SES	339,44	335,55	14,7	0,5	3,29	2,41	0,71	2,349
651	Az ES 330	339,23	335,55	14,7	0,5	3,29	2,28	0,68	2,219
400	PQ Goranboy	338,76	334,91	14,9	0,3	1,97	2,92	0,86	1,704
333	Ağcabədi 330	342,64	333,78	15,0	0,2	1,32	4,05	1,19	1,577
280	İmişli 330	344,27	333,86	15,0	0,2	1,32	3,97	1,18	1,548
801	Xaçmaz 330	343,43	333,99	15,0	0,2	1,32	3,84	1,14	1,497
411	Şəmkir SES	331,01	336,13	15,4	-0,2	-1,32	1,70	0,50	-0,663
401	Gəncə 330	329,82	335,79	15,5	-0,3	-1,97	2,04	0,60	-1,190
456	Samux 330	328,74	335,98	15,6	-0,4	-2,63	1,85	0,55	-1,443
457	GAZ 330	328,28	335,89	15,8	-0,6	-3,95	1,94	0,58	-2,269
502	Akstafa 330	330,89	335,25	15,9	-0,7	-4,61	2,58	0,76	-3,516

Cədvəldən göründüyü kimi, $E_{ef,\Sigma}$ kəmiyyətinin qiyməti baxılan 14 düyündən yalnız 9-u düyün üçün müsbətdir və reaktorların quraşdırılma yerləri məhz bu $E_{ef,\Sigma} > 0$ olan düyünlər arasından seçilməlidir. Bu halda $E_{ef,\Sigma} > 0$ şərtindən başqa, yuxarıda qeyd edildiyi kimi, digər faktorlar (yarımstansiyaların istismara daxil edilmə müddətləri, ŞR-in quraşdırılması üçün yerin olması, paylayıcı qurğunun elektrik birləşmə sxeminin texniki imkanı və s.) nəzərə alınmalıdır.

Beləliklə, qeyd olunan faktorları nəzərə aldıqda Yaşma 330kV və PQ Goranboy 330kV düyünləri prioritet düyünlər olaraq qəbul edilmişdir. Belə ki, hər iki düyün üçün $E_{ef,\Sigma} > 0$ şərti ödənilir və bundan başqa, Yaşma 330kV YS-da reaktor şinə, PQ Goranboy 330kV-da isə biryarımlıq sxemin bir dövrəsinin sərbəst düyününə qoşulma imkanı olduğundan, həmçinin reaktorların yerləşdirilməsi üçün müvafiq yerlər olduğundan sxemlər effektiv və etibarlı alınır. Bundan başqa, Yaşma 330kV və PQ Goranboy 330kV düyünlərində reaktorlar qoşulan hal üçün (müvafiq olaraq 100 və 180 MVAr) aparılan hesabatlar göstərmişdir ki, müvafiq effektivlik göstəricisi bu halda $E_{ef,\Sigma} = 5,422$ olmuşdur. Digər variant olaraq ŞR-in Abşeron 330kV və Ağcabədi 330kV düyünlərinə qoşulduğu halda isə, bu göstərici $E_{ef,\Sigma} = 7,127$ alınır. Bu da effektivlik göstəricisinin baxılan ayrı-ayrı hallar ilə müqayisədə yüksəldiyini göstərir.

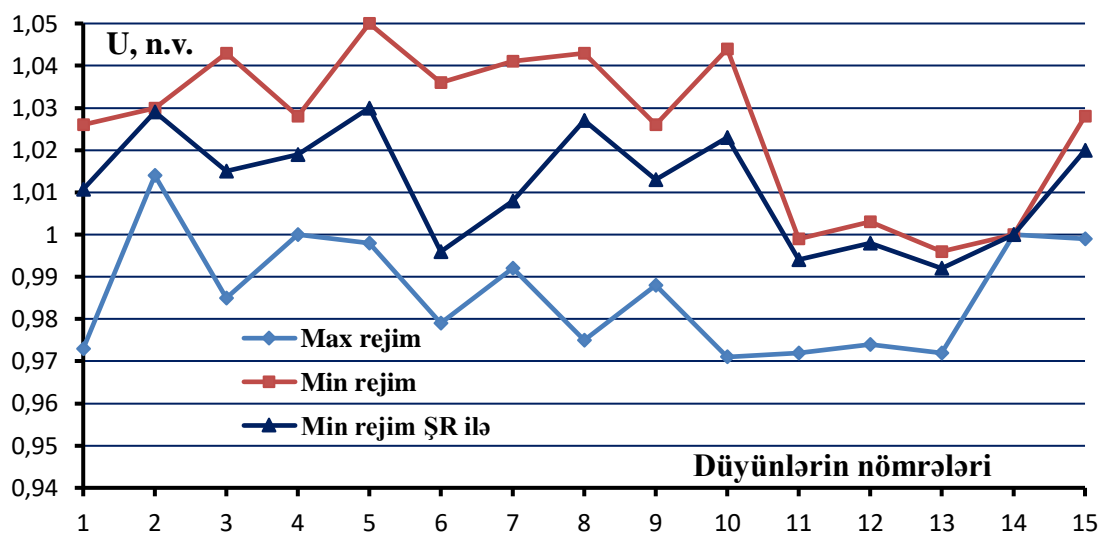
Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, gələcəkdə reaktorun qoşulması üçün üçüncü prioritet düyün olaraq Cənub ES-in 330 kV-luq şinləri, Ağcabədi 330kV və İmişli 330kV düyünlər nəzərdən keçirilə bilər. Bu məqsədlə əlavə tədqiqat işləri aparılmalıdır.

3. Enerjisistem üzrə kompensasiya qurğularının yerləşdirilməsi ilə normal sxem üzrə rejim hesabatları nəticələri

Enerjisistemin düyünlərində gərginliklərin səviyyələrinin təyin edilməsi məqsədilə enerjisistemin maksimal və minimal yük rejimləri üçün müvafiq rejim hesabatları aparılmalıdır. MUSTANG-95 formatında enerjisistemin real perspektiv sxemi üzrə (Bakı-3 220/110/10kV, Sulutəpə (Qobu) 330(220)/110/10kV və Ağşəhər 220/110/10kV gərginlikli

YS-lar nəzərə alınmaqla) maksimal və minimal rejimlər üçün aparılan hesablar əsasında bəzi xarakterik 330 və 500 kV yük düyünlərinin gərginlik profilləri şəkil 1-də təsvir edilmişdir. Gərginliklər nisbi vahidlərlə ifadə edilmişdir $\left(U_{n.v.} = \frac{U}{U_{nom}} \right)$.

Qeyd edək ki, enerjisistemin minimal yük rejimi $0,3P_{max}$ qəbul edilmişdir (P_{max} - enerjisistemin maksimal aktiv yüküdür).



Şəkil 1. Enerjisistemin normal rejimləri üçün 330, 500 kV-luq düyünlər üzrə gərginlik profilləri.

Şəkildən görüldüyü kimi, maksimal yük rejimində ($P_y=5613,9$ MVt, $Q_t=3355,2$ MVar) 500 kV-luq düyünlərdə gərginlik $(1,0-1,014)U_{nom}$, 330 kV-luq düyünlərdə $(0,972-0,999)U_{nom}$, minimal rejimdə isə ($P_y=1684,2$ MVt, $Q_t=1006,6$ MVar) gərginlik 500 kV-luq düyünlərdə $(1,0-1,03)U_{nom}$, 330 kV-luq düyünlərdə $(0,996-1,05)U_{nom}$ intervalında dəyişirlər (Cədvəl 2). Beləliklə gərginliyin maksimal və minimal rejimlərdə rejimdə norma daxilində yerləşir. Bəzi düyünlərdə gərginlik normanın yuxarı sərhəddində qərarlaşır.

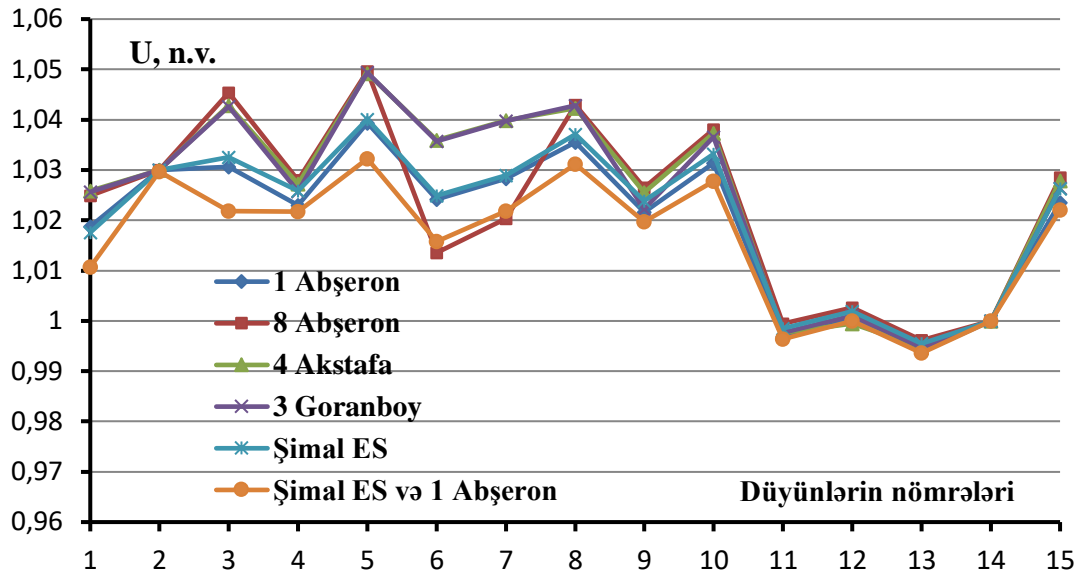
Bunu nəzərə alaraq, Goranboy-330 kV düyününə 180 MVar, Yaşma-330 kV düyünə isə 100 MVar gücündə şuntlayıcı reaktorlar qoşularaq minimal rejim üçün hesabat təkrar aparılmışdır. Görüldüyü kimi, reaktorların qoşulu halında minimal rejimdə gərginliyin profilləri yaxşılaşır və nominal qiymət ətrafında $(0,992-1,03)U_{nom}$ intervalında dəyişir.

Maksimal rejimdə enerjisistem üzrə aktiv güc itkisi 96,6 MVt, minimal rejimdə 15,2 MVt təşkil edir. Reaktorlar qoşulduqdan sonra itki minimal rejimdə 14,7 MVt-a qədər azalmışdır (0,03%).

4. N-1 və N-2 meyarları ilə təsadüfi açılmalar halında enerjisistemin rejimlərinin hesabat nəticələri

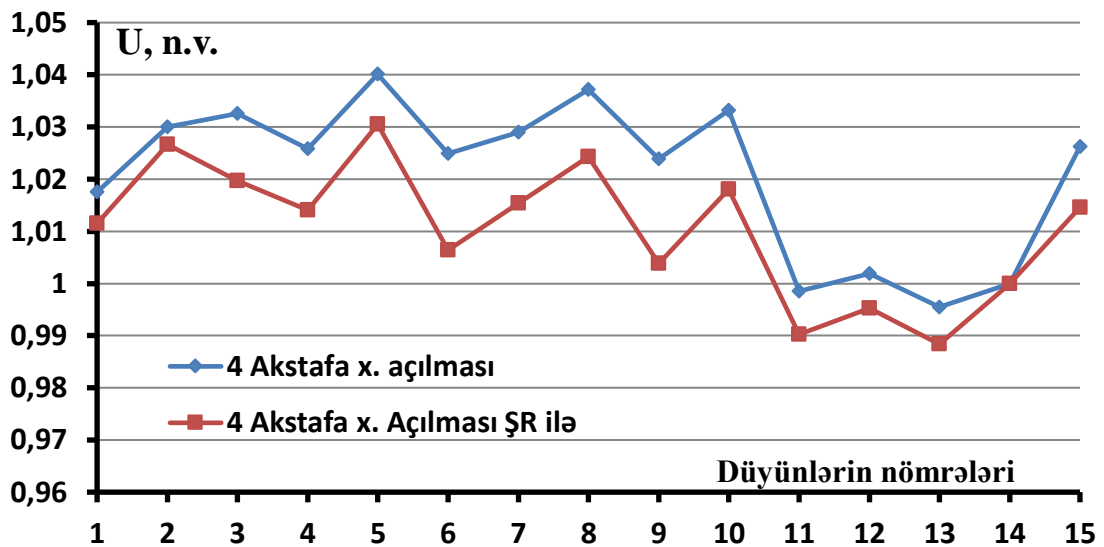
Növbəti mərhələdə N-1 və N-2 meyarları üzrə qəza rejimlərinin modelləşdirilməsi ilə hesablar aparılmışdır. N-1 meyarı üzrə 1-ci Abşeron, 8-ci Abşeron, 4-cü Akstafa, 3-cü Goranboy, Şimal ES, N-2 meyarı üzrə isə Şimal ES və 1-ci Abşeron xəttinin açılması hallarına baxılmışdır.

N-1 meyarı üzrə aparılan hesabat nəticələri əsasında düyünlər üzrə gərginliyin profilləri şəkil 2-də təsvir olunmuşdur.

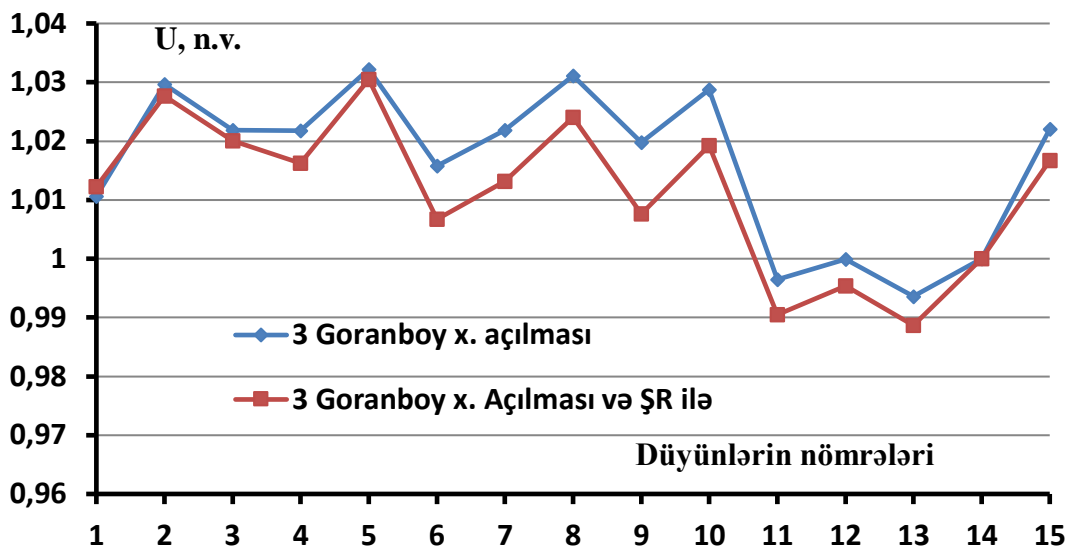


Şəkil 2. Təsadüfi açılma halları üçün gərginliyin profilləri.

Şəkil 2-dən göründüyü kimi, N-1 meyarı əsasında enerjisistemin qəza rejimlərinin (təsadüfi açılmalar) model hesabları gərginliyin düyünlərdə buraxıla bilən hədlərdə yerləşdiyini qeyd etmək olar. Bəzi düyünlərin, məsələn, 5-ci düyünün (Cənub ES) gərginliyi 8-ci Abşeron, 4-cü Akstafa və 3-cü Goranboy xətlərinin açılması zamanı yuxarı həddə yerləşir. Eyni mülahizəni İmişli düyünü üçün də söyləmək olar. Bunu nəzərə alaraq, baxılan bəzi qəza rejimlərində (4-cü Akstafa və 3-cü Goranboy xətlərinin açılması) şuntlayıcı reaktorların müəyyən edilmiş düyünlərdə qoşulması halı üçün rejim hesabları yerinə yetirilmişdir. Şəkil 3 və şəkil 4-də uyğun olaraq 4-cü Akstafa və 3-cü Goranboy xətlərinin açılması halları üçün gərginliyin profilləri təsvir edilmişdir.



Şəkil 3. 4-cü Akstafa xəttinin açılması halı üçün ŞR-in açıq və qoşulu hallarında gərginliyin profilləri.



Şəkil 4. 3-cü Goranboy xəttinin açılması halı üçün ŞR-in açıq və qoşulu hallarında gərginliyin profilləri.

Şəkil 3 və 4-dən görüldüyü kimi, hər iki düyündə İŞR-in qoşulması hallarında gərginliyin profilləri nisbətən yaxşılaşır və buraxılabilən intervalda yerləşir.

NƏTİCƏ

1. Enerjisistemdə reaktiv güc axınlarının idarə olunması məqsədilə 330 kV gərginlikli elektrik şəbəkəsi düyünlərində idarə olunan şuntlayıcı reaktorların seçilməsi və yerləşdirilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, 330 kV-luq düyünlərdə gərginlik əsasən buraxılabilən hədlərdə yerləşir. Lakin minimal yük rejimində bəzi düyünlərdə gərginlik $1,05U_{nom}$ yuxarı həddinə yaxınlaşır və ekstremal hallarda bu həddi keçə bilər.

2. Xüsusi metodika ilə şuntlayıcı reaktorların yerləşdirilməsi məqsədilə enerjisistemin namizəd düyünləri təyin edilmiş və əsaslandırılmışdır. Şuntlayıcı reaktorların gücləri təyin edilmiş və onların enerjisistemin iki düyünündə yerləşdirilməsi ilə aparılan rejim hesablarının nəticələri reaktiv güc izafiliyinin əhəmiyyətli dərəcədə aradan qaldırılmasını və düyünlərdə gərginliyin profilinin yaxşılaşmasını təsdiq etmişdir.

1. *Dolgoplov A.G., Condratenko D.V., Ucolov S.V., Postolati V.M. Reactoare controlate shuntate pentru retele electrice. Problemele Energeticii Regionale, 3(17), 2011, c.2-7.*
2. *Брянцева А.М. Управляемые подмагничиванием электрические реакторы / Под ред. М., ЗНАК, 2010, 288 с.*
3. *Кочкин В.И., Нечаев О.П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий.-М., Изд-во НИЦ ЭНАС, 2002.-248 с.*
4. *Некляев Б.П. Электрическая часть электростанций и подстанций (справочный сборник). М., Энергоатомиздат, 1989.*
5. *Hashimov A.M., Guliyev H.B., Babayeva A.R. IJTPPE Journal International Journal on Technical and physical problems of engineering, Issue 30, Vol. 9, No. 1, 2017.-pp. 18-22.*
6. *Pirverdiyev E.S., Hashimov A.M., Quliyev H.B., Babayeva A.R. Improved control algorithm for shunt reactors using fuzzy logic //Rudenko International Conference*

“Methodological problems in reliability study of large energy systems”. **Irkutsk, Russia, July 2-7, 2018**, E3S Web of Conferences 58, 03015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185803015>, RSES 2018.

ВЫБОР И РАЗМЕЩЕНИЕ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ИЗБЫТОЧНОЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

ГАШИМОВ А.М., ГУЛИЕВ Г.Б., БАБАЕВА А.Р.

Для устранения избыточной реактивной мощности, возникающей от зарядной мощности линии электропередачи в высоковольтных электрических сетях энергосистем, приведена методика выбора и определения места установки управляемых шунтирующих устройств. На основе предложенной методики определены приоритетные узлы с напряжением 330 кВ реальной энергосистемы и разработаны соответствующие рекомендации по размещению этих реакторов.

Ключевые слова: энергосистема, высоковольтная электрическая сеть, управляемый шунтирующий реактор, реактивная мощность, профиль напряжения.

SELECTION AND PLACEMENT OF SURPLUS REACTIVE POWER COMPENSATING SYSTEMS IN HIGH-VOLTAGE ELECTRIC NETWORKS

HASHIMOV A.M., GULIYEV G.B., BABAYEVA A.R.

In order to eliminate the surplus reactive power, originating from the charging capacity of power transmission line in high-voltage electric networks of the power grid, the procedure of selection and location of installation of controlled shunt reactors is given. On the basis of the proposed procedure the priority 330 kV nodes of real power grid are determined and corresponding recommendations for the placement of these reactors are developed.

Key words: power grid, high-voltage electric network, controlled shunt reactor, reactive power, voltage profile.