

UOT 621.311

MÖVCUD ŞƏRAİTDƏ PAYLAYICI ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ REAKTİV GÜCÜN KOMPENSASIYASINA DAİR

ZƏRBİYEVA N. F.

Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə Axtarış Energetika İnstitutu

Paylayıcı elektrik şəbəkələrində reaktiv gücün kompensasiyası qurğularının (SKB) seçilməsi və yerləşdirilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Metodikanın əsası kimi, enerjisiyemdən paylayıcı şəbəkəyə ötürülə bilən iqtisadi reaktiv güc qəbul edilmişdir. Radial və mürəkkəb paylayıcı şəbəkələr üçün KQ gücünün təyini formulası və qoyulmuş məsələnin müasir şəraitdə texniki və iqtisadi effektivliyini xarakterizə edən göstəricilər verilmişdir.

Elektrik şəbəkəsinin rejiminin idarə olunmasının əsas məsələsi tələbat nöqtələrində gərginlik səviyyəsinin elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəricilərinin DST-də göstərilmiş normalara uyğun səviyyədə və elektrik təchizatının əlverişli rejiminin təmin olunmasından ibarətdir. Bu tələbləri təmin etmək üçün mütləq gərginliyi tənzimləmə və reaktiv gücü kompensasiya etmə qurğusundan istifadə etmək lazımdır. Bu məsələ xalq təsərrüfatı əhəmiyyətli olduğuna görə qidalandırıcı və paylayıcı şəbəkələr üçün birlikdə həll edilməlidir. Lakin onu nəzərə alsaq ki, son zamanlar dünyada və Azərbaycanın özündə də elektrik şəbəkələri müxtəlif imkanları və maraqları, o cümlədən, maddi maraqları olan bir sıra dövlət və qeyri dövlət müəssisələrinin ixtiyarındadır, məqsədəuyğundur ki, qidalandırıcı və paylayıcı şəbəkələr üçün gərginliyin və reaktiv gücün idarə olunması üzrə məsələ ayırı-ayrılıqda həll edilsin. Hər bir şəbəkə üçün reaktiv gücün kompensasiyası hesabına iqtisadi səmərəlilik təmin olunmalıdır, nəticədə isə düyün yüklərində gərginliyin səviyyəsi də yaxşılaşacaqdır. Əgər bu yaxşılaşma müxtəlif rejimlərdə kifayət etməzsə, onda tənzimlənən reaktiv güc mənbələrindən və yük altında tənzimlənən transformatorlardan istifadə etmək lazımdır. Lakin nəzərə alsaq ki, düyün yüklərində gərginlik səviyyəsinin təmin olunması daha vacibdir, onda əvvəlcə gərginliyin səviyyəsinin təmin olunması şərti ilə reaktiv gücün kompensasiyası məsələsi həll edilməlidir, sonra isə iqtisadi səmərəlilik ödənməlidir.

Bu zaman şəbəkədə reaktiv gücün kompensasiya qurğusunun (RGK) quraşdırılması lazım olan ən aşağı gərginlikli düyün nöqtəsi təyin edilir, sonra növbəti aşağı gərginlikli düyün nöqtəsi təyin edilir və kompensasiya qurğusu quraşdırılır, bu, o vaxta qədər davam etdirilir ki, bütün düyün nöqtələrində gərginlik lazımi səviyyədə olsun. Sonra ikinci mərhələdə iqtisadi səmərəlilik baxımından, yəni elektrik enerji itkisinin azaldılması üçün əlavə olaraq reaktiv gücün kompensasiyasının məqsədəuyğun olub-olmaması təyin edilir.

Düyün yükündə arzu olunan gərginliyin təmini üçün paylayıcı şəbəkədə RGKQ gücünü aşağıdakı şərtlərdən təyin etmək olar:

1. Şəbəkədə gərginlik itkisinin azaldılmasına görə. Bu zaman düyün yükündə gərginliyin artımı elə bu azalma qədər nəzərdə tutulur.

2. Düyün yükünün $\cos\varphi$ (tgφ) qiymətinin artırılmasına (azaldılmasına) görə.

3. Elektrik enerjisinin ötürülməsi üçün xərcələrin minimallaşdırılmasına görə.

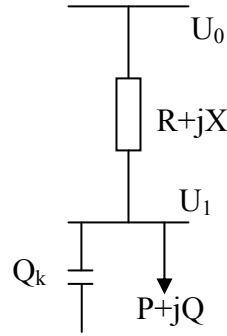
Düyün yükündə arzu olunan gərginliyin təmin olunması şərti ilə kompensasiyaedici qurğuların seçilməsi şəkil 1-ə görə aparılır.

Kompensasiyaya qədər gərginlik itkisi

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_1},$$

kompensasiyadan sonra isə

$$\Delta U_1 = \frac{PR + (Q - Q_k)X}{U_1'}$$



Şəkil 1

harada ki, U_1' -düyün yükündə arzu edilən gərginlikdir. Bu zaman gərginlik itkisinin dəyişməsi $\delta\Delta U$ və ya gərginliyin U_1 -dən U_1' -ə qədər artması aşağıdakı kimidir:

$$\delta\Delta U = U_1' - U_1 = \frac{PR + QX}{U_1} - \frac{PR + (Q - Q_k)X}{U_1'} = \frac{(PR + QX)(U_1' - U_1)}{U_1 \cdot U_1'} + \frac{Q_k X}{U_1'}$$

haradan ki,
$$Q_k = \frac{U_1'}{X} \left[\delta\Delta U - \frac{(PR + QX)(U_1' - U_1)}{U_1 \cdot U_1'} \right] \quad (1).$$

Yükün $\cos\varphi$ ($\text{tg}\varphi$) qiymətinin artırılması şərti ilə kompensasiyaedici qurğunun seçilməsində qəbul edirik ki, reaktiv gücün kompensasiyası hesabına yükün $\text{tg}\varphi$ qiyməti $\text{tg}\varphi_1$ -ə qədər azalmalıdır, yəni,

$$\text{tg}\varphi = \frac{Q}{P} \quad \text{və} \quad \text{tg}\varphi_1 = \frac{Q - Q_k}{P}.$$

Uyğun olaraq $Q_k = Q - P\text{tg}\varphi_1$ və ya $\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_1 = \frac{Q}{P} - \frac{Q - Q_k}{P}$

$$Q_k = (P\text{tg}\varphi - P\text{tg}\varphi_1)P \quad (2).$$

Reaktiv gücün kompensasiyasının iqtisadi əsasla əsaslandırmaq üçün metodiki nöqtəyi-nəzərdən paylayıcı şəbəkələrdə RGK-sı bu şəbəkəni təchiz edən elektrik sistemi ilə birlikdə həll edilməlidir. Bu zaman elektrik təchizat sistemi (enerjisistem) paylayıcı şəbəkəyə ötürülən iqtisadi reaktiv gücünü təyin etməli və bunun təmin olunması üçün paylayıcı şəbəkədə yerləşdirilən RGK qurğuları seçilməlidir. Enerjisistemdə RGK qurğularının seçilməsi və paylayıcı şəbəkəyə ötürülə bilən iqtisadi reaktiv güclərin Q_{iqtl} tapılması metodikasını [1,2] verilib. Burada Q_{iqtl} aşağıdakı kimi təyin olunur

$$Q_{\text{iqtl}} = P_{\text{Hmax}} \cdot a,$$

harada ki, a əmsalı qidalandırıcı şəbəkənin qərarlaşmış rejimlərinin xüsusi iqtisadi hesablamaları [3] nəticəsində və ya [2]-yə müvafiq olaraq, alçaldıcı yarımstansiyanın yüksək gərginliyi üçün aşağıdakı qiymətlər kimi qəbul oluna bilər:

| | |
|----------------------------|--------------|
| 35 kV | $a = 0,22$ |
| $150 - 110 \text{ kV}$ | $a = 0,26$ |
| 220 kV və yuxarı | $a = 0,34$. |

Paylayıcı şəbəkədə RG mənbələrinin seçilməsi radial və paylanmış yüklü şəbəkələr üçün baxılır. Radial şəbəkələrdə Q_{iqtl} təmin etmək üçün reaktiv gücü kompensasiya edən qurğu 1, 2, 3, 4 nöqtələrində (şəkil 2), yəni şəbəkənin 110 kV, 10 kV və 0,4 kV tərəfində yerləşdirilə bilər.

3 və 4 düyünlərində KQ quraşdırılmasına baxaq.

KQ-nun 4 şinində quraşdırılması zamanı onun gücü:

$$Q_{K4} = Q_4 - Q_{iqt} = Q_4 - P_4 \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

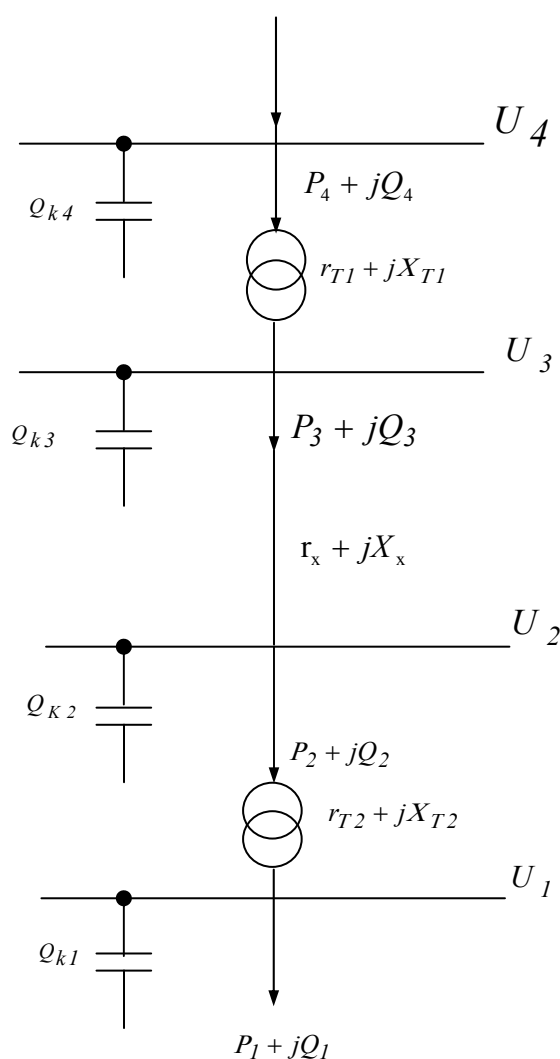
KQ-nun yarımstansiyanın alçaq tərəfində 3 şində yerləşdirilməsi zamanı üçün alırıq

$$Q_4^{ks} = Q_3 - Q_{k3} + \Delta Q_{T1}^{ks} = Q_{iqt} = P_4^{ks} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

burada P_4^{ks} , Q_4^{ks} , ΔQ_{T1}^{ks} - 4 şində kompensasiyadan sonra aktiv və reaktiv güc və T_1 transformatorunda reaktiv güc itkisidir.

Burada

$$\begin{aligned} Q_{K3} &= Q_3 + \Delta Q_{T1} - P_4^{ks} \cdot \operatorname{tg} \varphi = Q_3 + \Delta Q_{T1}^{ks} - (P_3 + \Delta P_{T1}^{ks}) \operatorname{tg} \varphi = Q_3 - P_3 \operatorname{tg} \varphi + \frac{P_3^2 + (Q_3 - Q_{K3})^2}{U_3^2} X_{T1} - \\ &- \frac{P_3^2 + (Q_3 - Q_{K3})^2}{U_3^2} r_{T1} \operatorname{tg} \varphi = Q_3 - P_3 \operatorname{tg} \varphi + \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} X_{T1} - \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} r_{T1} \operatorname{tg} \varphi - 2Q_3 Q_{K3} \left(\frac{X_{T1} - r_{T1} \operatorname{tg} \varphi}{U_3^2} \right) + \\ &+ Q_{K3}^2 \left(\frac{X_{T1} - r_{T1} \operatorname{tg} \varphi}{U_3^2} \right) = Q_{K4} - [2Q_3 Q_{K3} - Q_{K3}^2] \frac{X_{T1} - r_{T1} \operatorname{tg} \varphi}{U_3^2} \end{aligned} \quad (3)$$



Şəkil 2. KQ-nın quraşdırılması

(3) ifadəsində $2Q_3 Q_{K3} - Q_{K3}^2 > 0$, çünki $Q_3 > Q_{K3}$, müvafiq olaraq, $Q_{K3} < Q_{K4}$.
 (3) ifadəsini çevirdikdən sonra alınmış kvadrat tənlikdən KQ-nun gücünü tapırıq:

$$\frac{X_{T1}-r_{T1}tg\varphi}{U_3^2} Q_{K3}^2 - \frac{X_{T1}-r_{T1}tg\varphi}{U_3^2} 2Q_3 \cdot Q_{K3} - Q_{K3} + (P_3^2 + Q_3^2) \frac{X_{T1}-r_{T1}tg\varphi}{U_3^2} + Q_3 - P_3tg\varphi = 0 \quad (4)$$

Qəbul edək ki,

$$A = \frac{X_{T1}-r_{T1}tg\varphi}{U_3^2} \quad B = \left(\frac{X_{T1}-r_{T1}tg\varphi}{U_3^2} \cdot 2Q_3 - 1 \right) \quad C = (P_3^2 + Q_3^2) \frac{X_{T1}-r_{T1}tg\varphi}{U_3^2} + Q_3 - P_3tg\varphi$$

$$\text{Onda } A Q_{K3}^2 - B Q_{K3} - C = 0$$

Baxılan halda Q_{K3} verilənlər $-U_3, P_3, Q_3, tg\varphi, r_{T1}, X_{T1}$ -ə əsasən təyin edilmişdir.

(4) tənliyinin iki kökündən $0 < Q_{K3} < Q_3$ qəbul edirik. Bu isə yarımstansiyanın yüksək gərginlik tərəfində tələb olunan $tg\varphi$ -ni və ya Q_{iqt} təmin edir.

Arzu olunan hallarda P_4 və Q_4 üzrə Q_{K3} -ün təyini zamanı (4) formulasında P_3 və Q_3 aşağıdakı ifadələrdən qoyulur:

$$P_3 = P_4^{kq} - \frac{(P_4^{kq})^2 + (Q_4^{kq})^2}{U_4^2} r_{T1}, \quad Q_3 = Q_4^{kq} - \frac{(P_4^{kq})^2 + (Q_4^{kq})^2}{U_4^2} X_{T1}$$

harada ki, P_4^{kq}, Q_4^{kq} - kompensasiyaya qədər aktiv və reaktiv gücün qiymətidir.

(4)-dən görüldüyü kimi KQ-nun reaktiv gücü düyün nöqtəsinin aktiv və reaktiv gücü və paylayıcı şəbəkənin elektrik təchizat sistemində birləşmiş nöqtəsi arasındakı aktiv və reaktiv müqavimətlə təyin edilir. Buna görə də KQ-nun 2 düyündə quraşdırılması zamanı R_T və X_T müqavimətlərinə 2-3 xətlərinin R_X və X_X müqavimətlərini əlavə etmək lazımdır, amma KQ-nun 1 düyününə quraşdırılması zamanı R_{T2} və X_{T2} müqavimətləri də əlavə olunmalıdır.

Kompensasiyaedici qurğuların seçilməsi zamanı iqtisadi effektivlik əlavə kompensasiyaedici qurğuların qiyməti və şəbəkə elementlərində, o cümlədən kompensasiyaedici qurğularda da elektrik enerji itkisinin qiymətini nəzərə almaqla qiymətləndirilir.

Bu aşağıdakı göstəricilərlə xarakterizə olunur.

Araşdırılan şəbəkədə bir illik elektrik enerjisinə olan qənaətin qiyməti

$$C = \Delta\Delta W \cdot \beta = (\Delta P_1 - \Delta P_2)_{max} \cdot \tau \cdot \beta$$

harada ki, ΔP_1 və ΔP_2 – kompensasiyadan qabaq və sonra yükün maksimumunda aktiv güc itkisi;

β - aktiv enerjinin tarifi;

τ - aktiv güc itkisinin maksimal zamanıdır.

Kondensator batareya qurğusunun illik iqtisadi effektivliyi

$$E_i = C - \frac{C_{kq}}{N_{i,m}} = C - \frac{C_{kq0} Q_{kq}}{N_{i,m}}$$

harada ki, C_{kq} - kompensasiya qurğusunun qiyməti;

C_{kq0} - 1 kVAr KQ-nin qiyməti;

Q_{kq} - tələb olunan KQ-nin gücü (kVAr);

$N_{i,m}$ – kondensator qurğusunun iş müddəti (il), $N_{i,m}=10-15$ il.

Kondensator qurğusunun xərclərinin ödənilmə müddəti:

$$T_{mud} = \frac{C_{kq}}{C}$$

Bunlardan başqa RGKQ effektivliyini qiymətləndirmək üçün xətlərin və transformatorların buraxma qabiliyyətinin artmasını da onların qiymətlərinin payı kimi nəzərə almaq olar.

Transformatorlar üçün

$$\Delta C_T = C_T (S_1 - S_2) / S_1,$$

Buraxıla bilən \dot{I}_{bb} cərəyanlı xətt üçün

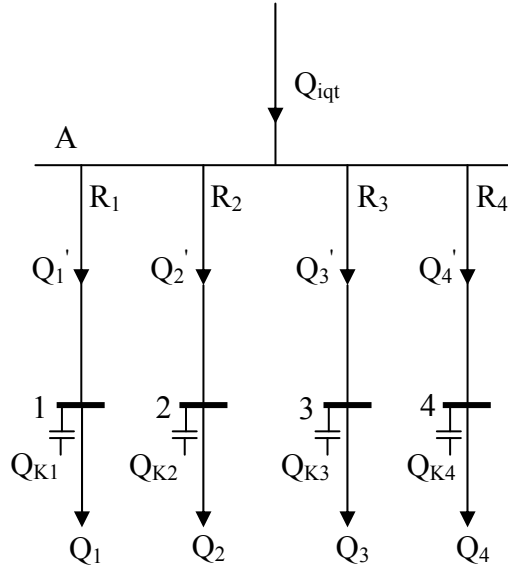
$$\Delta C_x = C_x(I_1 - I_2) / I_{bb}$$

harada ki, C_T və C_X – transformatorun və xəttin qiymətləri, S_1 və S_2 , I_1 və I_2 – uyğun olaraq, kompensasiyadan əvvəl və sonra transformatorun və xəttin yükləridir. ΔC_T və ΔC_X nəzərə alsaq, KQ-nin özünü ödəmə müddəti

$$T_{mud} = \frac{C_{kq} - \Delta C_T - \Delta C_X}{C}$$

Paylanmış yüklü şəbəkədə RGK qurğularını seçəndə ilk növbədə Q_{iqt} görə ümumi RG mənbələrinin gücü tapılır və onun tələbatçıları arasında iqtisadi göstəricilərə görə optimal paylanmasına baxılır [4, 5, 6].

Aşağıdakı 4 düyün nöqtəli paylayıcı şəbəkədə reaktiv güc mənbələrinin optimal paylanmasına baxaq (şəkil 3).



Şəkil 3

Şəbəkədə reaktiv güc itkisini nəzərə almadıqda optimallaşdırma şərtləri belədir:

Məqsəd funksiyası $F = \Delta P \rightarrow \min$

Məhdudiyyət şərti $W = Q_1' + Q_2' + Q_3' + Q_4' - Q_{iqt} = 0$.

Məsələ Lagranj metodu ilə həll edildikdə Lagranj funksiyası belə olacaq.

$$S = F + \lambda W = \Delta P + \lambda(Q_1' + Q_2' + Q_3' + Q_4' - Q_{iqt}) \rightarrow \min \quad (5)$$

Aktiv güclər reaktiv güclərin paylanmasına təsir göstərmədiyindən, aktiv güc itkiləri

$$\Delta P = \frac{(Q_1')^2}{U_A^2} R_1 + \frac{(Q_2')^2}{U_A^2} R_2 + \frac{(Q_3')^2}{U_A^2} R_3 + \frac{(Q_{iqt} - Q_1 - Q_2 - Q_3)^2}{U_A^2} \cdot R_4$$

S funksiyasının minimumunu təyin etmək üçün aşağıdakı tənliklər sistemi təyin olunur:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial Q_1'} = \frac{2Q_1'}{U_A^2} R_1 + \lambda = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial Q_2'} = \frac{2Q_2'}{U_A^2} R_2 + \lambda = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial Q_3'} = \frac{2Q_3'}{U_A^2} R_3 + \lambda = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial Q_4'} = \frac{2(Q_{iqt} - Q_1 - Q_2 - Q_3)}{U_A^2} R_4 + \lambda = 0 \end{cases}$$

$$\text{haradan ki, } Q_1' R_1 = Q_2' R_2 = Q_3' R_3 = (Q_{\text{iqf}} - Q_1' - Q_2' - Q_3') R_4 \quad (6)$$

Bu tənliklər sistemini belə həll edək:

$$\begin{cases} Q_1' R_1 - Q_2' R_2 = 0 \\ Q_2' R_2 - Q_3' R_3 = 0 \\ Q_3' R_3 + Q_1' R_4 + Q_2' R_4 + Q_3' R_4 = Q_{\text{iqf}} R_4 \end{cases}$$

Matris şəklində məsələ belə həll olunur:

$$\begin{vmatrix} R_1 & -R_2 & 0 \\ 0 & R_2 & -R_3 \\ R_4 & R_4 & (R_3 + R_4) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} Q_1' \\ Q_2' \\ Q_3' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ Q_{\text{iqf}} R_4 \end{vmatrix}$$

və ya

$$\begin{vmatrix} Q_1' \\ Q_2' \\ Q_3' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_1 & -R_2 & 0 \\ 0 & R_2 & -R_3 \\ R_4 & R_4 & (R_3 + R_4) \end{vmatrix}^{-1} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ Q_{\text{iqf}} R_4 \end{vmatrix}$$

RGM-nin optimal gücləri

$$Q_{\kappa 1} = Q_1 - Q_1'$$

$$Q_{\kappa 2} = Q_2 - Q_2'$$

$$Q_{\kappa 3} = Q_3 - Q_3'$$

$$Q_{\kappa 4} = Q_4 - (Q_{\text{iqf}} - Q_1' - Q_2' - Q_3')$$

Məsələnin düzgün həlli (6) bərabərliklərinin təmin olunması ilə təsdiq olunur.

Məsələnin həlli «Mathcad» proqramı əsasında hər hansı saylı şəbəkə üçün həll oluna bilər.

NƏTİCƏ. Paylayıcı şəbəkələrdə KQ-nin gücünün seçilməsi və yerinin müəyyənləşdirilməsi metodikası verilmişdir. Paylayıcı şəbəkədə KQ-nin gücünü təyin etmək üçün paylayıcı şəbəkənin enerjisistemin şəbəkələrinə birləşmə nöqtəsində iqtisadi reaktiv gücə görə şəbəkənin bir və bir neçə nöqtəsində KQ gücünü təyin edən formulalar verilmişdir. KQ-nin iqtisadi effektivlik göstəriciləri və onların təyin olma qaydaları verilmişdir.

1. Инструкция по системному расчету компенсации реактивной мощности в электрических сетях. В кн. Инструктивные материалы Госэнергонадзора. М.Энергоатомиздат, 1983.

2. Тезисы докладов на совещании «Разработка и реализация программы внедрения компенсирующих устройств в электрических сетях в целях снижения затрат на ее транспорт». Союзтехэнерго. М.1987.

3. Мамедяров О.С. Моделирование для управления компенсацией реактивной мощности в энергосистеме. Доклады Международной конференции «Проблемы кибернетики и информатики», Баку, 2008.

4. Веников В.А., Идельчик В.И., Лисеев М.С. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах. М.Энергоатомиздат, 1985.

5. Попов Ю.П., Дмитриев Ю.А., Кирилина О.И. Управление компенсацией реактивной мощности в узлах промышленной нагрузки. Журнал «Электрика» № 12, 2006.

6. *Конюхова Е.А., Токарев С.А.* Оптимальная компенсация реактивной мощности в электрических сетях до 1 кВ при радиальной схеме электроснабжения напряжением 10 кВ. Журнал «Промышленная энергетика», № 4, 2007.

**О КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

ЗАРБИЕВА Н.Ф.

Рассматриваются вопросы выбора и размещения устройств компенсации реактивной мощности (БСК) в распределительных электрических сетях. За основу методики принята экономическая реактивная мощность, которая может передаваться из энергосистемы в распределительную сеть. Приводятся формулы определения мощности КУ для радиальной и сложной распределительной сети и даны показатели, характеризующие техническую и экономическую эффективность принимаемого решения в современных условиях.

**ABOUT INDEMNIFICATION OF REACTIVE POWER
IN DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORKS
IN MODERN CONDITIONS**

ZARBIEVA N.F.

Questions of a choice and placing of devices of indemnification of reactive power in distributive electric networks are considered. For a technique basis economic reactive power which can be transferred from a power supply system in a distributive network is accepted. Formulas of definition of capacity for a radial and difficult distributive network are resulted and the indicators characterizing technical and economic efficiency of the made decision in modern conditions are given.