

Reaktīvās jaudas kompensācijas ietekme uz aktīvās jaudas mezglu cenām

Inga Umbrashko¹, Anatolijs Mahnitko^{2, 1-2} *Riga Technical University*

Kopsavilkums. Elektroenerģētiskās sistēmas (EES) vadības procesā ir jāveic kompleksa sistēmas analīze, ievērojot tās ekonomiskos un tehniskos aspektus. No tehniskā viedokļa EES ir tehniska struktūra ar atbilstošu vadības sistēmu, taču no ekonomiskā viedokļa EES ir jāvērtē kā biznesa objekts, kas darbojas peļņas gūšanas nolūkā.

Reaktīvās jaudas komponente nelietderīgi noslogo elektriskos tīklus. Tā paaugstina sprieguma kritumu elektropārvades līnijās, veicina elektropārvades līniju silšanu un transformatoru pārslodzi. Reaktīvās jaudas plūsma ne tikai palielina aktīvās jaudas zudumus tīklā, bet arī samazina potenciālo aktīvās jaudas plūsmu tīklā ar caurlaides spējas ierobežojumiem.

Darbā ir apskatīta reaktīvās jaudas plūsmu un to kompensācijas ietekme uz aktīvās jaudas mezglu cenām elektroenerģijas tirgus pūla modelī. Kompensējot reaktīvo jaudu, tiek samazināti zudumi, palielinās tīkla maksimālā caurlaides spēja un palielinās iespējamā aktīvās jaudas plūsma, kas tieši ietekmē aktīvās jaudas mezglu cenas dažādos tīkla mezglos.

Atslēgas vārdi: optimizācija, reaktīvās jaudas kompensācija, elektroenerģijas mezglu cenas.

I. IEVADS

Elektroenerģētikas nozarē savstarpēja konkurence iespējama gan starp elektroenerģijas ražotājiem, gan starp pārdevējiem. Savukārt tīklu (pārvades un sadales) pakalpojumu nodrošināšanā konkurence ir izslēgta, un tie darbojas kā dabīgs monopols. Elektroenerģijas transportēšanas maksa veido atsevišķu cenas komponenti. Šī komponente kompensē sistēmas uzturēšanas izmaksas un zudumus tīklā [1].

No augstākminētā izriet, ka elektroenerģētiskās sistēmas (EES) vadības procesā ir jāveic kompleksa sistēmas analīze, ievērojot tās ekonomiskos un tehniskos aspektus. No tehniskā viedokļa EES ir tehniska struktūra ar atbilstošu vadības sistēmu, taču no ekonomiskā viedokļa EES ir jāvērtē kā biznesa objekts, kas darbojas, lai gūtu peļņu.

Elektroenerģijas cenas sistēmas mezglos ir atkarīgas gan no sistēmas parametriem un tehnoloģiskajiem ierobežojumiem (ģeneratoru jauda, tīklu caurlaides spēja, sprieguma ierobežojumi mezglos), gan arī no enerģijas zudumiem tīklā [2].

Reaktīvās jaudas komponente nelietderīgi noslogo elektriskos tīklus. Tā paaugstina sprieguma kritumu elektropārvades līnijās, veicina elektropārvades līniju silšanu un transformatoru pārslodzi. Reaktīvās jaudas plūsma ne tikai palielina aktīvās jaudas zudumus tīklā, bet arī samazina potenciālo aktīvās jaudas plūsmu tīklā ar caurlaides spējas ierobežojumiem.

Darbā ir apskatīta reaktīvās jaudas plūsmu un to kompensācijas ietekme uz aktīvās jaudas mezglu cenām elektroenerģijas tirgus pūla modelī.

Kompensējot reaktīvo jaudu, tiek samazināti zudumi, palielinās tīkla maksimālā caurlaides spēja un palielinās iespējamā aktīvās jaudas plūsma, kas tieši ietekmē aktīvās jaudas mezglu cenas dažādos tīkla mezglos.

II. OPTIMIZĀCIJAS MODELIS

EES optimizācijas uzdevuma mērķis ir elektroenerģijas tirgus dalībnieku labklājības funkcijas maksimizēšana. Ņemot vērā, ka ražotājiem un patērētājiem ir vienāds elektroenerģijas apjoma noteikšanas laika intervāls Δt (parasti 1 stunda), mērķa funkciju var pierakstīt šādi:

$$F = \left(\sum_{j \in D} c_{dPj} \cdot P_{dj} + \sum_{j \in D} c_{dQj} \cdot Q_{dj} \right) - \left(\sum_{i \in G} c_{gPi} \cdot P_{gi} + \sum_{i \in G} c_{gQi} \cdot Q_{gi} \right), \quad (1)$$

kur c_{dPj}, c_{gPi} - pārdevēju un pircēju aktīvās jaudas cenu pieteikumi fiksētā laika intervālā;

c_{dQj}, c_{gQi} - pārdevēju un pircēju reaktīvās jaudas cenu pieteikumi fiksētā laika intervālā;

P_{dj}, P_{gi} - pieteiktā aktīvā jauda fiksētā laika intervālā;

Q_{dj}, Q_{gi} - pieteiktā aktīvā jauda fiksētā laika intervālā;

D, G - slodžu (pircēju) un ģeneratoru (pārdevēju) skaits.

Neelastīgs tirgus, kurā tiek apmierināts prognozējamais elektroenerģijas pieprasījums, darbojas uz vienus pusējas izsoles pamata, un konkurences tirgus optimizācijas uzdevums tiek pārveidots no labklājības funkcijas (1) maksimizēšanas uz minimizējamo mērķa funkciju:

$$F = \sum_{i \in G} c_{gPi} \cdot P_{gi} + \sum_{i \in G} c_{gQi} \cdot Q_{gi}. \quad (2)$$

Lai nodrošinātu slodzes un ģenerācijas pastāvīgas bilances uzturēšanas izmaksu minimizēšanu, izsolē priekšroka tiek dota tiem tirgus dalībniekiem, kas pieteikumos norāda viszemākās cenas.

EES optimizācijas uzdevuma risināšanā jāņem vērā tehnoloģiskie ierobežojumi [3]:

- ģenerācijas aktīvo un reaktīvo jaudu ierobežojumi:

$$P_{gi}^{\min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{\max}, \quad (3)$$

$$Q_{gi}^{\min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{\max}; \quad (4)$$

- sprieguma ierobežojumi ģenerācijas un slodžu mezglos:

$$U_i^{\min} \leq U_i \leq U_i^{\max}, \quad (5)$$

$$U_j^{\min} \leq U_j \leq U_j^{\max}; \quad (6)$$

- maksimālās jaudas plūsmas ierobežojumi līnijās:

$$S_l \leq S_l^{\max}; \quad (7)$$

- maksimālās strāvas ierobežojumi līnijās:

$$I_l \leq I_l^{\max}; \quad (8)$$

- jaudas balanss tīklā:

$$\sum_{i \in G} P_{gi} - \sum_{j \in D} P_{dj} - \sum_{l \in L} \Delta P_l = 0, \quad (9)$$

$$\sum_{i \in G} Q_{gi} - \sum_{j \in D} Q_{dj} - \sum_{l \in L} \Delta Q_l = 0, \quad (10)$$

kur $\Delta P_l, \Delta Q_l$ - aktīvās un reaktīvās jaudas zudumi elektropārvades līnijās; L - pārvades līniju skaits.

Mezglu cenas tiek aprēķinātas, izmantojot Lagranža nenoteikto reizinātāju metodi. Optimizācijas uzdevuma risināšanas gaitā tiek noteikti aktīvie ierobežojumi, kuros mainīgais sasniedz robežvērtību. Aktīvos ģenerācijas aktīvo un reaktīvo jaudu ierobežojumus un aktīvos maksimālās jaudas plūsmas ierobežojumus līnijās pārveido vienādību formā:

$$P_{gi}^{piel} - P_{gi} = 0, \quad i = \overline{1, G_p}, \quad (11)$$

$$Q_{gi}^{piel} - Q_{gi} = 0, \quad i = \overline{1, G_q}, \quad (12)$$

$$S_l^{piel} - S_l = 0, \quad l = \overline{1, L_l}, \quad (13)$$

kur G_p, G_q, L_l - ģenerācijas un pārvades aktīvo ierobežojumu skaits.

Sistēmas ierobežojumu ievērošanai tiek izmantoti nenoteiktie Lagranža reizinātāji:

λ_p, λ_Q - mainīgie, kas nosaka pēdējo pieprasīto aktīvās un reaktīvās jaudas ģenerācijas cenu pieteikumu jaudas bilances (9) un (10) līmenim;

μ_L - mainīgie, kas atspoguļo iegūtos jaudas plūsmu aktīvos ierobežojumus līnijās;

v_{P_i}, v_{Q_i} - mainīgie, kas atspoguļo iegūtos aktīvās un reaktīvās jaudas ģenerācijas aktīvos ierobežojumus.

Šāda optimizācijas uzdevuma Lagranža funkciju var pierakstīt veidā:

$$\begin{aligned} L = & \sum_{i \in G} c_{gPi} \cdot P_{gi} + v \sum_{i \in G} c_{gQi} \cdot Q_{gi} + \\ & + \lambda_p \cdot \left(\sum_{j \in D} P_{dj} + \sum_{l \in L} \Delta P_l - \sum_{i \in G} P_{gi} \right) + \\ & + \lambda_Q \cdot \left(\sum_{j \in D} Q_{dj} + \sum_{l \in L} \Delta Q_l - \sum_{i \in G} Q_{gi} \right) + \\ & + \sum_{l=1}^{L_l} \mu_l (S_l^{piel} - S_l) + \\ & + \sum_{i=1}^{G_p} v_{P_i} (P_{gi}^{piel} - P_{gi}) + \\ & + \sum_{i=1}^{G_q} v_{Q_i} (Q_{gi}^{piel} - Q_{gi}) \end{aligned} \quad (14)$$

Aktīvās un reaktīvās jaudas mezglu cenas nehomogēnā tīklā var aprēķināt kā:

$$\mathbf{c}_{nP} = \lambda_p \cdot \mathbf{e} + \mathbf{v}_P + \left| \mathbf{w}^T \cdot \boldsymbol{\mu}_L \right|, \quad (15)$$

$$\mathbf{c}_{nQ} = \lambda_Q \cdot \mathbf{e} + \mathbf{v}_Q + \left| \mathbf{w}^T \cdot \boldsymbol{\mu}_L \right|, \quad (16)$$

kur \mathbf{e} - vienības vektors (katra koordināte ir vienāda ar 1);

\mathbf{w} - strāvas sadalījuma koeficientu matrica [4].

Piedāvātās metodes ilustrēšanai izmantosim vienkāršotu EES testa shēmu.

III. PIEMĒRS

Apskatīsim konkrētas EES shēmas (1. att.) optimizācijas uzdevumu. Ģeneratoru cenu pieteikumi doti 1. tabulā. Pieņemsim, ka 5. un 6. mezglā pieslēgtas slodzes: $\dot{S}_{d5} = 400 + j120$ MVA, $\dot{S}_{d6} = 100 + j80$ MVA. Turpmāko spriedumu vienkāršošanai pieņemsim, ka jaudas zudumi ir iekļauti elektropatēriņa summārajā slodzē:

$$\dot{S}_D = 500 + j200 \text{ MVA.}$$

Attiecīgo līniju pretestības ir:

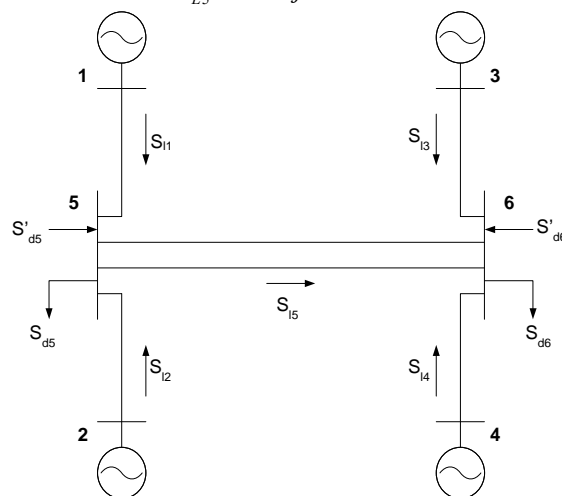
$$\dot{Z}_{L1} = 10 + j4 \ \Omega,$$

$$\dot{Z}_{L2} = 5 + j24 \ \Omega,$$

$$\dot{Z}_{L3} = 5 + j2 \ \Omega,$$

$$\dot{Z}_{L4} = 10 + j4 \ \Omega,$$

$$\dot{Z}_{L5} = 15 + j6 \ \Omega.$$



1.att. EES shēma

Pieņemsim, ka EES līnijai 15 ir jaudas plūsmas ierobežojums 100 MVA.

1. TABULA

INFORMĀCIJA PAR ĢENERATORIEM

| Generators | G-1 | G-2 | G-3 | G-4 |
|-----------------------|------|------|------|------|
| P_{Gi}^{\max} , MW | 2000 | 1500 | 1200 | 1800 |
| Q_{Gi}^{\max} , MVA | 500 | 850 | 650 | 1000 |
| c_p , n.v./MW | 45 | 50 | 55 | 50 |
| c_Q , n.v./MVA | 50 | 55 | 60 | 55 |

Sistēmas operators nosaka summārā elektroenerģijas pieprasījuma taisni un apkopo visus iesniegtos ģeneratoru cenu pieteikumus, konstruējot pakāpienveida piedāvājuma līkni (2.att.). Piedāvājuma līknes krustpunktā ar summārā pieprasījuma taisni nosaka līdzsvara cenu.

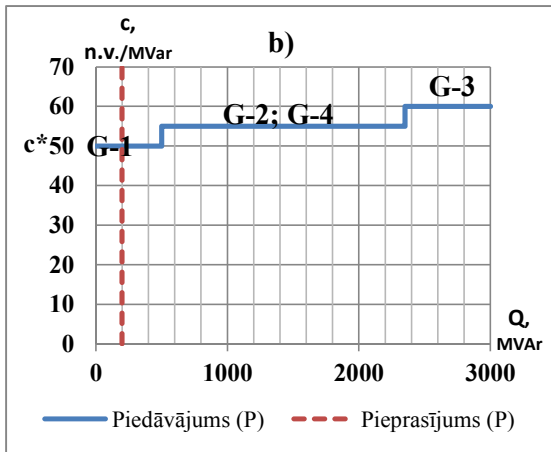
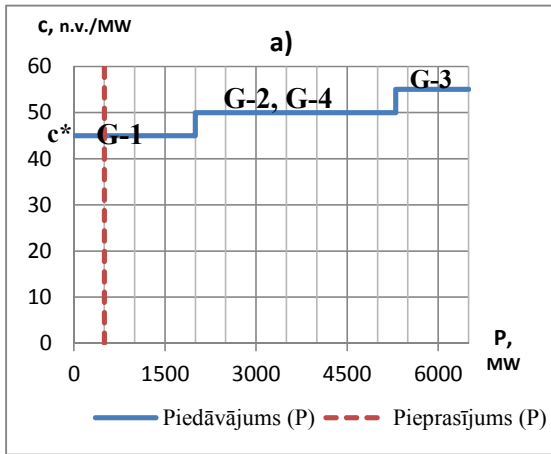
Mūsu gadījumā ģenerators G-1 nosaka gan aktīvās jaudas, gan reaktīvās jaudas līdzsvara cenu:

$$c_{*P} = c_{Pg1} = 45 \text{ n.v./MW},$$

$$c_{*Q} = c_{Qg1} = 50 \text{ n.v./MVar}.$$

Optimizācijas uzdevuma mērķa funkcijas (2) vērtība būs:

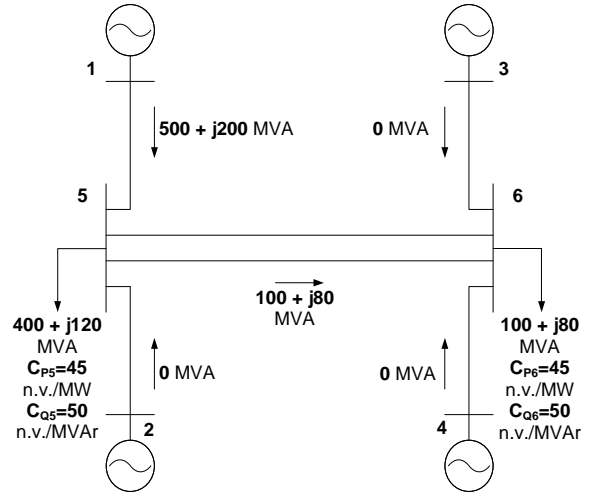
$$F = 45 \cdot 500 + 50 \cdot 200 = 32\,500 \text{ n.v.}$$



2.att. Līdzsvara cenas noteikšan neelasīgā tirgū: a) aktīvā jauda; b) reaktīvā jauda.

Plānotais ģenerējošo iekārtu sastāvs (G-1) parādīts 3.att. Taču tas nenodrošina jaudas plūsmas tehnoloģiskā ierobežojuma izpildi līnijās l5.

Plānotā (neelasīga elektroenerģijas tirgus modelēšanas pamatā) jaudas plūsma pa līniju l5 ir $100 + j80$ MVA ($|\dot{S}_{l5}| = 128$ MVA), kas pārsniedz l5 caurlaides spējas pieļaujamo robežu $|\dot{S}_{l5}^{\max}| = 100$. Ja nebūtu reaktīvās jaudas plūsmas, šis režīms būtu pieļaujams.



3.att. Izsoles rezultāts, neievērojot līniju caurlaides spēju ierobežojumu.

Sistēmas operators veic režīma korekciju, nodrošinot līniju caurlaides spēju ievērošanu, tāpēc visiem elektroenerģijas ražotājiem un tās patērētājiem nevar būt uzstādīta vienota līdzsvara cena. Jaudas bilances saglabāšanai EES var izrādīties, ka tirgū jāiekļauj ģenerators ar visdārgāko elektroenerģiju.

Pieņemot l. mezglu par bilances mezglu, strāvas sadalījuma koeficientu matrica būs šāda:

$$w = \begin{matrix} n2 & n3 & n4 & n5 & n6 \\ \begin{matrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \\ l_5 \end{matrix} \end{matrix} \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

Tad mērķa funkciju (2) varam pierakstīt šādi:

$$F = 45 \cdot P_{g1} + 50 \cdot P_{g2} + 55 \cdot P_{g3} + 50 \cdot P_{g4} + 50 \cdot Q_{g1} + 55 \cdot Q_{g2} + 60 Q_{g3} + 55 \cdot Q_{g4} \quad (18)$$

Jaudas bilanci EES var pierakstīt šādi:

$$\dot{S}_{g1} + \dot{S}_{g2} + \dot{S}_{g3} + \dot{S}_{g4} = 5600 + j2000 \quad (19)$$

Divpusējos ierobežojumus aizvietojam ar nevienādību pāriem un mūsu datiem, tad iegūsim:

$$\begin{matrix} P_{g1} & \geq & 0, \\ -P_{g1} & \geq & -2000, \\ P_{g2} & \geq & 0, \\ -P_{g2} & \geq & -1500, \\ P_{g3} & \geq & 0, \\ -P_{g3} & \geq & -1200, \\ P_{g4} & \geq & 0, \\ -P_{g4} & \geq & -1800; \end{matrix} \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
Q_{g1} &\geq 0, \\
-Q_{g1} &\geq -2000, \\
Q_{g2} &\geq 0, \\
-Q_{g2} &\geq -1500 \\
Q_{g3} &\geq 0, \\
-Q_{g3} &\geq -1200 \\
Q_{g4} &\geq 0, \\
-Q_{g4} &\geq -1800.
\end{aligned} \quad (21)$$

Jaudas plūsmu S_{I5} var izteikt, izmantojot strāvas koeficientu matricas (17) 5.rindas elementus:

$$|\dot{S}_{I5}| = |w_{51} \cdot S_2 + w_{52} \cdot S_3 + \dots + w_{55} \cdot S_6| \leq 100, \quad (22)$$

Mūsu gadījumā:

$$\dot{S}_{I5} = -\dot{S}_3 - \dot{S}_4 - \dot{S}_6 \quad (23)$$

un

$$\sqrt{P_{I5}^2 + Q_{I5}^2} \leq 100 \quad (24)$$

Nelineāras programmēšanas problēmas risināšanai izmantojam reducētā gradienta metodi un iegūstam šādus rezultātus:

$$\begin{aligned}
\dot{S}_{g1} &= 470,71 + j190,71 \text{ MVA}, \\
\dot{S}_{g2} &= 0 \text{ MVA}, \\
\dot{S}_{g3} &= 0 \text{ MVA}, \\
\dot{S}_{g4} &= 29,29 + j9,29 \text{ MVA}.
\end{aligned} \quad (25)$$

Jaudas plūsmas līnijās attiecīgi būs:

$$\dot{S}_l = \begin{bmatrix} 470,71 + 190,71 \\ 0 \\ 0 \\ 29,29 + j9,29 \\ 70,71 + j70,71 \end{bmatrix} \quad (26)$$

Mērķa funkcijas vērtība šajā gadījumā būs:
 $F = 32692,89 \text{ n.v.}$

Mezglu cenu noteikšanai aizvietosim aktīvos ierobežojumus ar vienādībām:

$$\left. \begin{aligned}
P_{g1} + P_{g2} + P_{g3} + P_{g4} &= 500 \\
Q_{g1} + Q_{g2} + Q_{g3} + Q_{g4} &= 200 \\
P_{g2} &= 0 \\
P_{g3} &= 0 \\
Q_{g2} &= 0 \\
Q_{g3} &= 0 \\
\sqrt{(-P_{g3} - P_{g4} + 100)^2 + (-Q_{g3} - Q_{g4} + 80)^2} &= 100
\end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Noteiksim nezināmos Lagranža reizinātājus, kas piedalās mezglu cenu uzstādīšanā slodžu mezglēm. Mūsu gadījumā Lagranža funkcija pēc (14) var tikt pierakstīta kā

$$\begin{aligned}
L &= 45 \cdot P_{g1} + 50 \cdot P_{g2} + 55 \cdot P_{g3} + 50 \cdot P_{g4} + \\
&+ 50 \cdot Q_{g1} + 55 \cdot Q_{g2} + 60 Q_{g3} + 55 \cdot Q_{g4} + \\
&+ \lambda_p (500 - P_{g1} - P_{g2} - P_{g3} - P_{g4}) + \\
&+ \lambda_Q (200 - Q_{g1} - Q_{g2} - Q_{g3} - Q_{g4}) + \\
&+ v_{P2} (-P_{g2}) + v_{P3} (-P_{g3}) + v_{Q2} (-Q_{g2}) + v_{Q3} (-Q_{g3}) + \\
&+ \mu_{I5} \left(100 - \sqrt{(-P_{g3} - P_{g4} + 100)^2 + (-Q_{g3} - Q_{g4} + 80)^2} \right).
\end{aligned} \quad (29)$$

Diferencējot funkciju (29) pēc visiem mainīgajiem - ģenerētajām jaudām un Lagranža nenoteiktajiem reizinātājiem, iegūstam divas lineāru vienādojumu sistēmas:

$$\left. \begin{aligned}
\frac{\partial L}{\partial \lambda_p} = 0 \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_Q} = 0 \\
\frac{\partial L}{\partial v_{P2}} = 0 \quad \frac{\partial L}{\partial v_{Q2}} = 0 \\
\frac{\partial L}{\partial v_{P3}} = 0 \quad \frac{\partial L}{\partial v_{Q3}} = 0 \\
\frac{\partial L}{\partial \mu_{I5}} = 0
\end{aligned} \right\} \quad (30)$$

$$\left. \begin{aligned}
\frac{\partial L}{\partial P_{g1}} = 0 \quad \frac{\partial L}{\partial Q_{g1}} = 0 \\
\frac{\partial L}{\partial P_{g2}} = 0 \quad \frac{\partial L}{\partial Q_{g2}} = 0 \\
\frac{\partial L}{\partial P_{g3}} = 0 \quad \frac{\partial L}{\partial Q_{g3}} = 0 \\
\frac{\partial L}{\partial P_{g4}} = 0 \quad \frac{\partial L}{\partial Q_{g4}} = 0
\end{aligned} \right\} \quad (31)$$

No vienādojumu sistēmas (30) mēs varam iegūt jau zināmos energosistēmas režīma parametrus, savukārt no vienādojumu sistēmas (31) aprēķinām Lagranža reizinātājus:

$$\lambda_p = 45; \lambda_Q = 50;$$

$$\mathbf{v}_P^T = (v_{P2}; v_{P3}; 0; 0; 0) = (5; 5; 0; 0; 0);$$

$$\mathbf{v}_Q^T = (v_{Q2}; v_{Q3}; 0; 0; 0) = (5; 5; 0; 0; 0);$$

$$\mathbf{\mu}_L^T = (0; 0; 0; 0; \mu_{I5}) = (0; 0; 0; 0; -7,07).$$

Jaudas cena bilances mezglā ir:

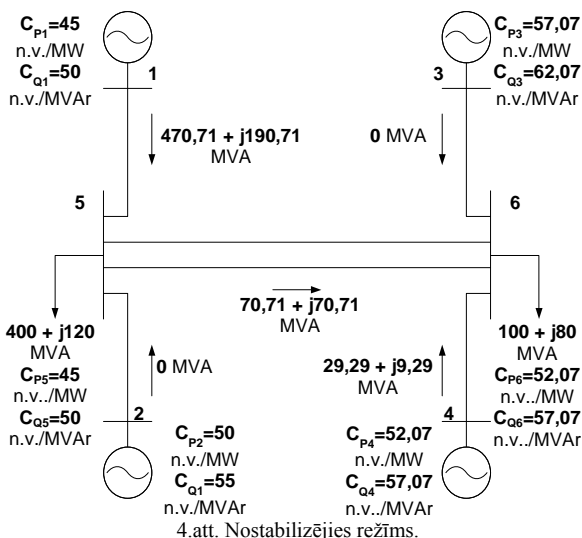
$$c_{nP1} = 45 \text{ n.v./MW}; c_{nQ1} = 50 \text{ n.v./MVA}.$$

Pēc (15) un (16) nosakām elektroenerģijas cenas neatkarīgajos mezglās:

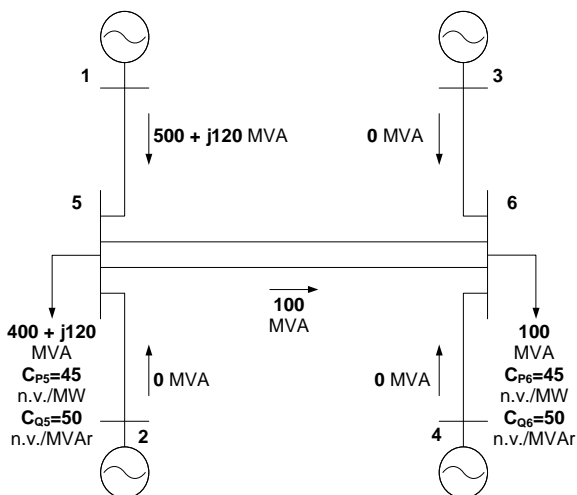
$$\begin{aligned}
\mathbf{c}_{nP} &= (c_{nP2} \ c_{nP3} \ c_{nP4} \ c_{nP5} \ c_{nP6})^T = \\
&= (50; 57,07; 52,07; 45; 52,07)^T;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{c}_{nQ} &= (c_{nQ2} \ c_{nQ3} \ c_{nQ4} \ c_{nQ5} \ c_{nQ6})^T = \\
&= (55; 62,07; 57,07; 50; 57,07)^T.
\end{aligned}$$

Iegūtā režīma rezultāti atspoguļoti 4.attēlā [5].



Apskatīsim, kā reaktīvās slodzes kompensācija ietekmēs jaudas plūsmas un enerģijas mezglu cenas (5.att.). Pieņemsim, ka tiek kompensēta visa 6. mezgla reaktīvā jauda ($Q_6^{komp} = 80 \text{ MVar}$).



5.att. Izsoles rezultāts, kompensējot reaktīvo jaudu 6. Mezglā.

Iegūtie rezultāti praktiski sakrīt ar 3.att. rezultātiem, jo šajā gadījumā jaudas plūsma līnijā 15 neierobežo enerģijas plūsmu tajā.

Šis piemērs uzskatāmi parāda, ka, kompensējot reaktīvo jaudu, palielinās pieļaujamā aktīvās jaudas plūsma, un aktīvās jaudas mezglu cenas samazinās.

IV. SECINĀJUMI

1. Kompensējot reaktīvo jaudu, tiek panākts jaudas zudumu samazinājums un palielinās līnijas maksimālā caurlaides spēja aktīvās jaudas plūsmai. Tas tieši ietekmē aktīvās jaudas mezglu cenas dažādos tīkla mezglos.
2. Reaktīvās jaudas kompensācijas rezultātā optimizācijas uzdevuma aktīvo ierobežojumu ietekme samazinās vai pat tie var kļūt par pasīviem.

PATEICĪBA

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

LITERATŪRA

1. Singh H., Hao S., Paalexopoulos A. – Transmission congestion management in competitive electricity market, IEEE Transactions of Power Systems, Vol 13, No 2, 1998, p. 672-680
2. A.J. Conejo, J. M. Arroyo, N. Agluacil, A. L. Guijarro – Transmission Loss Allocation: A Comparison of Different Practical Algorithms, IEEE Transactions of Power Systems, Vol 17, No 3, 2002, p. 571-576
3. Бартоломей П. И., Паниковская Т. Ю. – Оптимизация режимов энергосистем – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2008. – 164 с.
4. Umbrasko I., Varfolomejeva R., Mahnitko A. Algorithm of Nodal Prices Determination for Inhomogeneous Networks // Proceedings of the 3rd International Student Conference on Energetics 2011, Portugāle, Leiria, 7.-9. jūlijs, 2011. - 1.-6. lpp.
5. I.Umbrasko, A. Mahnitko (2012) Assessment of the reactive power flows impact on the nodal prices of active power. Proceedings of the 7th International Conference on Electrical and Control Technologies ECT-2012, Kaunas, p. 195-199.



Inga Umbrasko received B.Sc. and M.Sc. degrees in electrical engineering from the Riga Technical University, Riga, Latvia, in 2007 and 2009, respectively. She is an PhD student at Riga Technical University, Power Engineering Institute, Riga, Latvia. Now she is working at the research of energy market optimization.
E-mail: ringa.umbrasko_1@rtu.lv



Anatolijs Mahnitko graduated from Mechanics and Mathematics Faculty of Kiev State University. In 1972 received scientific degree of technical sciences (Dr.Sc.Ing.) in the Riga Technical University. He has been working in RTU from 1972 as a senior lecturer, assistant, Associate Professor and Professor of Power Engineering Institute. His research interests include Electrical Power System mathematical simulation and optimization.
Address: Kronvalda blv., 1, LV-1010, Riga, Latvia
Phone: +371 67089938, E-mail: mahno@eef.rtu.lv

Inga Umbrashko, Anatolijs Mahnitko. Impact of Reactive Power Compensation on the Active Power Nodal Prices

With the functioning of the electric power market all participants in the market sell and buy electric power on the united equilibrium price. United equilibrium price for all participants of market can't be established to be upon consideration of system limitations. Their individual equilibrium prices, called nodal price, correspond to different generator and load units.

In the management process of the electrical power system (EPS) complex analysis of the system should be done in accordance with its economical and technical aspects. From a technical point of view EPS is a technical structure with an appropriate management system, but from an economical point of view, the EPS should be viewed as a business object that operates for profit.

Electricity prices depend on the system parameters, technological constraints (generators power, the voltage limits in system nodes, network throughput), and from energy losses in the network.

2012 / 30

Reactive power component weights electricity networks. It increases the voltage drop in power transmission lines, contributes power lines boiling process and the transformer overloading. Reactive power flow not only increases the active power losses in the network, but also reduces the potential of the active power flow in the network with capacity constraints.

The paper illustrates the effect of reactive power flow and its compensation on the nodal prices of active power in electricity pool market model.

By compensation of reactive power losses are reduced, the maximum network throughput and the potential of active power flow is increased. It directly affects the nodal prices of active power in different network nodes.

Инга Умбрашко, Анатолий Махнитко. Влияние компенсации реактивной мощности на узловые цены активной мощности

С момента существования рынка электрической энергии все участники покупают и продают электроэнергию по единой равновесной цене. Но, учитывая системные ограничения, единую равновесную цену для всех участников рынка определить невозможно. Разным узлам генерации и нагрузок соответствуют свои индивидуальные равновесные цены, которые называют узловыми.

В процессе управления электроэнергетической системы (ЭЭС) необходим комплексный подход к анализу системы, учитывая как технические, так и экономические аспекты. С технической точки зрения ЭЭС имеет техническую структуру с соответствующей системой управления. Однако, с экономической точки зрения ЭЭС необходимо оценивать как бизнес объект, действующий с целью получения прибыли.

Узловые цены на электроэнергию зависят от параметров системы, технологических ограничений (мощность генераторов, пропускная способность линий, ограничения напряжения в узлах) и потерь электроэнергии в сети.

Реактивная мощность нецелесообразно нагружает электрические сети. Она повышает падение напряжения на линиях, способствует нагреву линий электропередачи и перегрузке трансформаторов. Реактивная мощность не только увеличивает потери активной мощности, но и уменьшает потенциально возможные потоки активной мощности в сетях с ограничениями.

В данной статье рассмотрено влияние реактивной мощности и её компенсации на узловые цены активной мощности в рыночной модели пула.

Компенсация реактивной мощности позволяет уменьшить потери, увеличить пропускную способность для потока активной мощности в сети, что непосредственно влияет на узловые цены активной мощности.