کنترل بهینه قدرت راکتیو

رسول کنارنگی

گروه مهندسی برق

دانشکده فنی - دانشگاه تبریز

چکیده

امروزه علاوه بر تأمین بار تقاضای مصرف کنندگان با ولتاژ و فرکانس در محدوده‌های قابل قبول ، تأمین انرژی الکتریکی با حداقل هزینه و با حداکثر راندمان و ضریب قابلیت اطمینان بالا ، از جمله اهداف اساسی تمام مراکز کنترل انرژی الکتریکی در مراحل برنامه‌ریزی و بهره برداری از شبکه‌های قدرت می‌باشد. در صورتیکه پارامترهای شبکه یا بار تقاضا تغییر نماید، تمامی پارامترهای فوق الذکر نیز تغییر نموده و عملیات کنترل در شبکه، مورد لزوم خواهد بود. از طرف دیگر، بااینکه هزینه بهره‌برداری سیستم‌های قدرت بطور مستقیم به کنترل قدرت اکتیو تولیدی بستگی دارد،قدرت راکتیو شبکه نیز باید در مدنظر قرار گیرد، چرا که می‌تواند بطور غیر مستقیم روی هزینه و نحوه بهره‌برداری از شبکه‌های قدرت اثر داشته باشد. بدین ترتیب می‌توان با کنترل قدرت راکتیو شبکه ضمن کاهش تلفات شبکه، سطح ولتاژ شبکه را نیز بهبود بخشید. در این مقاله ابتدا فرض می‌شود که تقسیم بهینه قدرت اکتیو شبکه قبلاً صورت گرفته و پس از آن کنترل قدرت راکتیو صورت می‌گیرد . بر این اساس یک مدل ریاضی به صورت برنامه ریزی خطی ارائه می‌گردد که با حل آن می‌توان بطور همزمان ضمن به حداقل رساندن تلفات شبکه، تمامی پارامترها ، ائم از پارامترهای شبکه یامتغیرهای کنترل را در محدوده قابل قبول قرار داد.

۱ـ طرح مسئله

به منظور بهبود سطح ولتاژ و به حداقل رساندن تلفات قدرت اکتیو شبکه ، کنترل و توزیع مجدد قدرت راکتیو تولیدی در یک سیستم قدرت ، در بهره‌برداری حالت پایدار، ضروری بنظرمی‌رسد. توزیع قدرت راکتیو در شبکه را می‌توان بوسیله متغیرهای کنترل زیر تنظیم نمود.

۱ـ ولتاژ ژنراتورها

۲ـ تپچنجیرهای ترانسفورماتور

۳ـ قدرت راکتیو تزریقی توسط راکتور و خازنهای موازی.

هر یک از این متغیرها برای خود حدود بالا و پائینی مجاز داشته و هر گونه تغییر در این متغیرهای کنترل ، می‌توانندر سطح ولتاژ شبکه و قدرت راکتیو خروجی ژنراتورها و تلفات سیستم تأثیر داشته باشند. پس مسئله بدین ترتیب مطرح می‌شود که لازم است یک سری سطوح تنظیم‌برای متغیرهای کنترل تعیین نمود تا ضمن به حداقل رساندن تلفات شبکه، تمامی پارامترهای شبکه در محدودیتهای معینی قرار گیرند.

۲ـ مدل کوپل شده‌ء قدرت راکتیو

مدل کوپل شده‌ء کامل قدرت راکتیو (برای کنترل قدرت راکتیو در شبکه) را می‌توان به وسیله مدل نیوتن رافسون بدست آورد. در این مدل معادلات پخش توان غیر خطی بوده و می‌توان بااستفاده از روش نیوتن رافسون به شرطی که تخمین اولیه برای متغیرهای معادلات در دست باشندحل نمود. پاسخ این معادلات وقتی همگرا میکردند که خطاهای قدرت در یک محدوده‌ء قابل قبول ، برای متوقف نمودن تکرار عملیات باشند. معادلات اختلاف قدرتها برای باسها به شکل ماتریسی زیر بیان میگردد. [۲ و ۱] .

$$\begin{bmatrix} \Delta P^K \\ \Delta Q^K \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} H^K & N^K \\ J^K & L^K \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \Delta J^{K+1} \\ \dfrac{\Delta V^{K+1}}{V^K} \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

که در آن $\begin{bmatrix} \Delta P^K & \Delta Q^K \end{bmatrix}'$ و $\begin{bmatrix} \Delta\delta^{k+1} & \frac{\Delta V^{k+1}}{V^k} \end{bmatrix}'$

به ترتیب وارون بردارهای خطاهای قدرت و ولتاژ، در تکرار k ام می‌باشند. ماتریس جاکوبی دارای عناصر جاکوبی جزء به صورت ذیل است :

$$H=\left[\frac{\partial P}{\partial \delta}\right] \qquad N=\left[\frac{\partial P}{\partial V}\right]$$

$$J=\left[\frac{\partial Q}{\partial \delta}\right] \qquad L=\left[\frac{\partial Q}{\partial V}\right]$$

با یک سری تغییرات روی معادلات نیوتن رافسون فوق ، می‌توان محاسبات حساسیت سیستم‌را که شامل تمامی باس‌های سیستم به غیر از باس مرجع خواهد بود بدست آورد. بنابر این،(۱ـ n ۲) معادله خواهیم داشت که حساسیت خطی را می‌توان به وسیله آنها محاسبه نمود.

فرضیه اساسی مدل کنترل بهینه قدرت راکتیو این است که قدرت اکتیو تزریقی سیستم ثابت بوده و در نتیجه $\Delta P=0$. حال اگر تأثیر متغیرهای نسبت ترانسفورماتور را نیز به منظور محاسبات حساسیت در نظر بگیریم خواهیم داشت :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} & \frac{\partial P}{\partial t} \\ \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} & \frac{\partial Q}{\partial t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta J \\ \Delta V \\ \\ \Delta t \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

می‌توان با استفاده از معادله فوق ، رابطه بین تغییرات قدرت راکتیو در اثر تغییر نمودن ولتاژ را در باس‌های ولتاژ و نسبت ترانس‌ها به صورت زیر بدست آورد [۳]

$$\Delta Q=\begin{bmatrix} J_{qv} & J_{qt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \\ \Delta t \end{bmatrix} \qquad (۳)$$

که در آن ماتریسهای J_{qv} و J_{qt} به صورت زیر مشخص می‌شوند.

$$J_{qv} = \left[\begin{array}{cc} \frac{\partial Q}{\partial V} & \frac{\partial Q}{\partial \delta} \\ \frac{\partial P}{\partial V} & \frac{\partial P}{\partial \delta} \end{array}\right]^{-1} \left[\begin{array}{c} \frac{\partial P}{\partial V} \end{array}\right] \qquad (۴)$$

$$J_{qt} = \left[\begin{array}{cc} \frac{\partial Q}{\partial t} & \frac{\partial Q}{\partial \delta} \\ \frac{\partial P}{\partial t} & \frac{\partial P}{\partial \delta} \end{array}\right]^{-1} \left|\begin{array}{c} \frac{\partial P}{\partial t} \end{array}\right| \qquad (۵)$$

اگر معادله (۳) بر اساس باس‌های تولیدی و بار نوشته شود، مدل کامل کوپل شده، قدرت راکتیو به صو رت زیر بدست خواهدآمد :

$$\begin{bmatrix} \Delta Q_g \\ \Delta Q_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{gg} & J_{gl} & J_{gt} \\ J_{lg} & J_{ll} & J_{lt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_g \\ \Delta V_l \\ \Delta V_t \end{bmatrix} \qquad (۶)$$

که در آن ΔQ_g بردار ژنراتورها و ΔQ_l بردار قدرت راکتیو تولیدی در باس بارها، ΔV_g تغییرات ولتاژ در ولتاژ ژنراتورها و ΔV_l بردار تغییرات ولتاژ بار است. بدین ترتیب زیر ماتریس‌های جاکوبی J_{gt}، J_{gg}، J_{gl}، J_{ll}، J_{lt} به‌ترتیب دارای ابعاد $n_l \times n_t$، $n_l \times n_l$، $n_g \times n_g$، $n_g \times n_l$، $n_g \times n_t$ خواهند بود.

می‌توان در معادله (۶) متغیرهای وابسته را به ازای متغیرهای کنترل نوشت . در این صورت ، ماتریس به دست آمده نشان می‌دهند که رابطه، بین حساسیت متغیرهای کنترل و وابسته در سیستم قدرت وجود دارد.

$$\begin{bmatrix} \Delta Q_g \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{gg} & S_{gl} & S_{gt} \\ S_{lg} & S_{ll} & S_{lt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_g \\ \Delta Q_l \\ \Delta t \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

بدین ترتیب

$$S_{gg} = J_{gg} - J_{gl} (J_{ll})^{-1} J_{lg} \qquad (۸)$$

که نشان دهند، ماتریس حساسیت $n_g \times n_g$ بوده و رابطه بین تغییرات قدرت راکتیو تزریقی در باس تولیدی را در اثر تغییر ولتاژ تولیدی ، نشان می‌دهد.

زیر ماتریس S_{gl} یک ماتریس حساسیت با بعد $n_g \times n_{sh}$ بو ده و رابطه بین تغییراتقدرت راکتیو تولیدی در اثر تغییر قدرت راکتیو تزریقی را نشان می‌دهد.

$$S_{gl} = J_{gl} \quad (J_{ll})^{-1} \qquad (۹)$$

در این روابط n_{sh} عبارت است از تعداد خازن یا راکتور موازی در شبکه.

زیرماتریس S_{gt} به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_{gt} = J_{gt} - J_{gl} \quad (J_{ll})^{-1} J_{lt} \qquad (۱۰)$$

این ماتریس نشان دهندهٔ ماتریس حساسیت با بعد $n_g \times n_t$ است که تغییرات قدرت راکتیو تولیدی را نسبت به تغییرات نسبت ترانسفورماتورها را نشان می‌دهد.

بدین ترتیب رابطه حساسیت بین تغییرات ولتاژ وابسته باس بار (ΔV_l) نسبت به‌تغییرات در متغیرهای کنترل (Δt ، ΔQ_l ، ΔV_y) به صورت معادلات زیر نوشته می‌شود :

$$S_{lY} = -(J_{ll})^{-1} J_{lg} \qquad (۱۱)$$

$$S_{ll} = (J_{ll})^{-1} \qquad (۱۲)$$

$$S_{lt} = -(J_{ll})^{-1} J_{lt} \qquad (۱۳)$$

زیرماتریس‌های S_{lt} ، S_{ll} ، S_{lg} به ترتیب دارای ابعاد $n_l \times n_g$ و $n_l \times n_{sh}$ و $n_l \times n_t$

می‌باشند.

۳ـ کنترل خطی قدرت راکتیو

بطور کلی اگر در سیستم قدرتی با n باس ، که ترکیبات سیستم ، نحوه قرار گرفتن نیروگاه‌ها در مدار و بار تقاضا معلوم باشد ، می‌توان پخش توان بهینه را برای این سیستم به صورت برنامه‌ریزی غیر خطی زیر در نظر گرفت [۳]

$$\min_{Y} \left[F = f(Y) \right] \quad , \quad Y \in R^{n} \tag{۱۴}$$

به شرط

$$g_i (Y) = 0 \qquad i = 1,\ldots,m \tag{۱۵}$$

$$h_j (Y) \geq 0 \qquad j = 1,\ldots,p \tag{۱۶}$$

Yنشان دهنده‌ بردار n بعدی متشکل از متغیرهای سیستم ، $f(Y)$ تابع هدف به صورت عددی، $g(Y)$ معادلات مربوط به محدودیتهای شبکه و $h(Y)$ مشخص کننده‌ شرایط مهندسی سیستم می‌باشد. معادلات نامساوی و اساسی پخش توان شبکه مشتق پذیر و معادلات جبری غیر خطی هستند. تابع‌هدف را می‌توان به صورت یک معادله جبری و معادله مشتق پذیر مطرح ساخت . در مسئله پخش باربهینه، بردار Y طوری محاسبه می‌شود که تابع هدف f در معادله (۱۴) با رعایت معادله پخش توان (۱۵) و شرایط نامساوی (۱۶) به حداقل برسد. بدین ترتیب به طور همزمان به اهداف امنیت و اقتصادی می‌رسیم.

در معالات فوق فرض می‌شود که قدرت اکتیو به غیر از باس مرجع ثابت بوده و مجموعه‌متغیرهای کنترل ، متغیرهائی هستند که به تزریق قدرت راکتیو اثر می‌گذارند، مانند ولتاژ ژنراتور (V_g) ؛ نسبت ترانسفورماتورها (t_m) وساسپتنس موازی قابل قطع و وصل(Y_s) متغیرهای و ابسته عبارتند

از ولتاژ باس بار (V_l)، قدرت راتیو تزریقی در باس ژنراتور (Q_g) و بعضی مواقع محدودیت‌های جریان قدرت راکتیو در خطوط به طور خلاصه ، در این مقاله توزیع خطی قدرت راکتیو برحسب متغیرهای کنترل ، به صورت زیر در نظر گرفته شده است :

$$\min f(.) = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 \dots C_{nc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_g \\ \Delta Y_s \\ \Delta t_r \end{bmatrix} \qquad (۱۷)$$

شرایط کنترل و متغیرهای وابسته نیز بصورت زیر تعریف می‌گردند :

$$\Delta i_g^m \leq S_{gg}\,\Delta V_g + S_{gs}\Delta Y_s + S_{gt}\Delta t_r \leq \Delta i_g^M \qquad (۱۸)$$

$$\Delta V_l^m \leq S_{lg}\,\Delta V_g + S_{ls}\,\Delta Y_s + S_{lt}\,\Delta t_r \leq \Delta V_l^m \qquad (۱۹)$$

$$\Delta V_l^m \leq \Delta V_g \leq \Delta V_g^M \qquad (۲۰)$$

$$\Delta Y_s^m \leq \Delta Y_s \leq \Delta Y_s^M \qquad (۲۱)$$

$$\Delta t^m \leq \Delta t_r \leq \Delta t^M \qquad (۲۲)$$

در این روابط :

V_i = تغییرات ولتاژ باس i ام (بار یا تولید)

ΔY_s = تغییرات در ساسپتنس موازی در باس K ام

Δt_{pq} = تغییرات نسبت ترانسفورماتور که به باسهای p و k متصل‌اند

Δi_{gi} = تغییرات قدرت راکتیو در باس تولید i ام

ΔV_j = تغییرات ولتاژ باس بار در باس j ام

ضریب تلفات حساسیت نسبت به متغییر کنترل i ام $= C_i$

۴ـ مدل خطی معادله هدف

معادله خطی تلفات قدرت اکتیو به طور تقریب به صورت زیر نشان داده می‌شود [۲]

$$\Delta P_l = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_l}{\partial V_l} & \frac{\partial P_l}{\partial Q_k} & \frac{\partial P_l}{\partial t_p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_i \\ \Delta Q_k \\ \Delta t_p \end{bmatrix} \qquad (۲۳)$$

که در آن P_l تلفات قدرت اکتیو بوده و $\frac{\partial P_l}{\partial Q_k}$ ، $\frac{\partial P_l}{\partial t_q}$ و $\frac{\partial P_l}{\partial t_q}$ عبارتند از ضرایب خطی تابع هدف با در نظر گرفتن تأثیر تغییرات متغیرهای کنترل روی تابع هدف تلفات P_l .

۴ـ حساسیت تلفات نسبت به ولتاژ ژنراتور

تغییر در VAR تزریقی در باس تولید موجب تغییر در ولتاژ پایانه، همان باس شده وحساسیت تلفات نسبت به ولتاژ باس تولید را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$\frac{\partial P_l}{\partial V_i} = \frac{\partial P_l}{\partial Q_i} \quad \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = i = i \, , \ldots n_g \qquad (۲۴)$$

به طوریکه $\frac{\partial Q_i}{\partial V_i}$ را می‌توان از محاسبات حساسیت و $\frac{\partial P_l}{\partial Q_i}$ را به وسیله معادله‌مربوط به تلفات افزایش بدست آورد.

تغییرات ولتاژ پایانه باس مرجع (V_l) موجب تغییر قدرت راکتیو تزریقی در تمام باس‌های تولید و خطای قدرت راکتیو تزریقی در تمامی باس بارهای اتصالی به باس مرجع می‌شود :

لذا $$\frac{\partial P_l}{\partial V_l} = \sum_{\alpha E_l} \frac{\partial P_l}{\partial Q} \left(- \frac{\partial Q_\alpha}{\partial V_l} \right) + \frac{\partial P_l}{\partial Q_2} \frac{\partial Q_2}{\partial V_1} + \ldots\ldots + \frac{\partial P_l}{\partial Q_{ng}} \frac{\partial Q_{ng}}{\partial V_l}$$

۴ـ ۲ـ حساسیت تلفات نسبت به نسبت تبدیل ترانسفورماتورها

یک تغییر کوچک در نسبت تبدیل ترانسفورماتوری که به باس‌های j - i وصل شده باشدموجب

افزایش جریان قدرت در خط ij میگردد، و در نتیجه سبب تغییر در قدرت باس‌های انتهائی می‌شود. بدین ترتیب کل تلفات سیستم توسط همین تغییرات قدرت انتهائی متأثر خواهد شد.

ضرایب حساسیت مربوطه را می‌توان توسط معادله زیر محاسبه نمود [۲]:

$$\frac{\partial P_L}{\partial t_{ij}} = \frac{\partial P_L}{\partial P_i}\left(\frac{-\partial P_i}{\partial t_{ij}}\right) + \frac{\partial P_L}{\partial Q_i}\left(\frac{-\partial P_i}{\partial t_{ij}}\right) + \left(\frac{\partial P_L}{\partial P_j}\right)\frac{-\partial P_i}{\partial t_{ij}} + \frac{\partial P_L}{\partial Q_j}\left(\frac{-\partial Q_i}{\partial t_{ij}}\right)$$

که در آن مقادیر $\frac{\partial P_L}{\partial P_i}$ ، $\frac{\partial P_L}{\partial Q_i}$ ، $\frac{\partial P_L}{\partial P_j}$ ، $\frac{\partial P_L}{\partial Q_j}$ را می‌توان با استفاده از مدل افزایش تلفات بدست آورد.

۴ ـ ۳ ـ حساسیت تلفات نسبت به ساسپتنس موازی

تغییر در شدت جریان راکتیو تزریق شده در باس با k ام، در اثر تغییرات ساسپتنس اتصالی به باس، به وسیله معادله زیر بدست می‌آید:

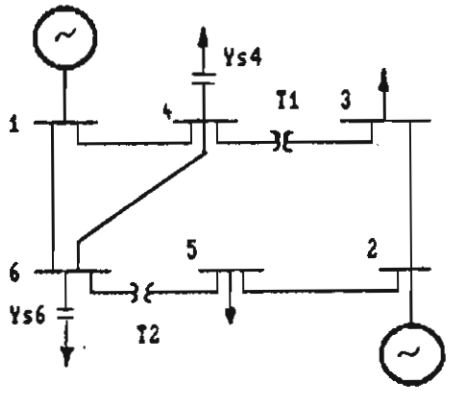
$$(\Delta i_{sh})_k = \frac{\Delta Q_K}{V_K} = V_K\,(\Delta b_{sh})_K$$

که در آن $(\Delta b_{sh})_k$ تغییر حاصل در ساسپتنس اتصالی به باس k است. باید دقت نمود که معادله تلفات قدرت اکتیو نسبت به متغیرهای کنترل، غیر خطی بوده و لازم است تغییرات متغیرهای کنترل کوچک باشند، تا حساسیت خطی تلفات معتبر و قابل استفاده باشد.

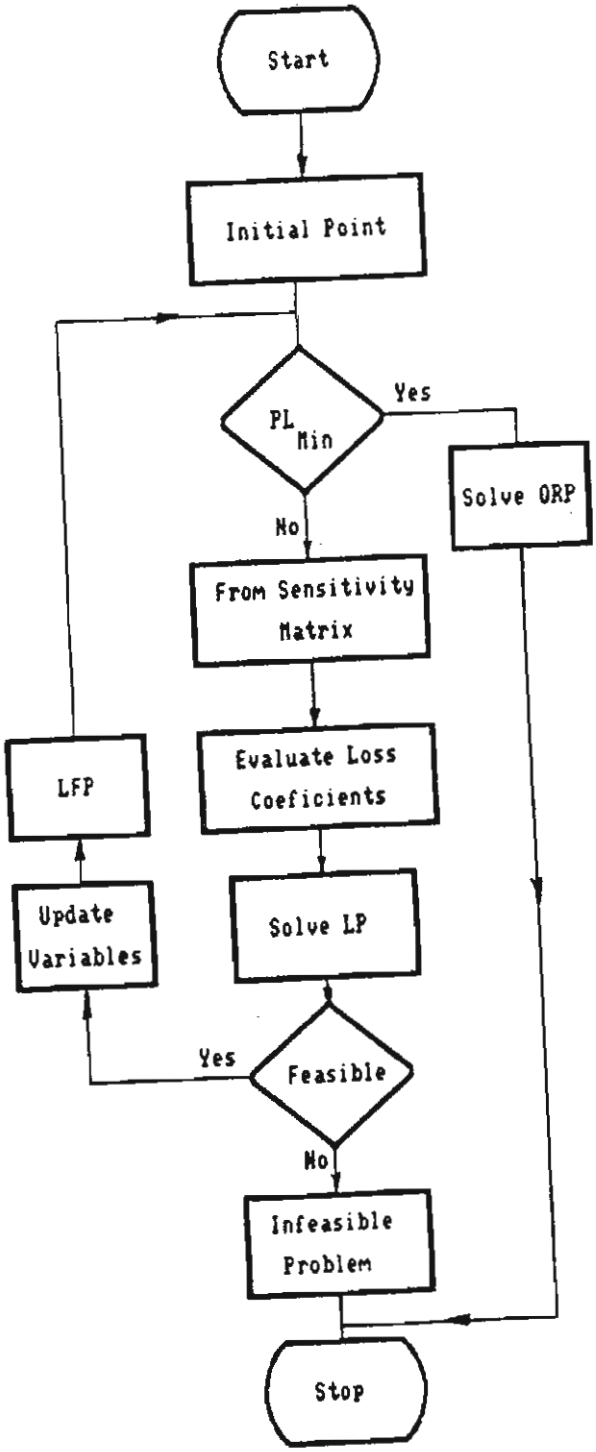
۵ ـ مثال عددی

جهت بررسی روش ارائه شده یک برنامه کامپیوتری بر اساس فلوچارت شکل ۲ ایجاد گردیده و سیستم شش باس Ward and Hale، که در شکل ۱ نشان داده شده است جهت آزمون مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۱ و ۲ اطلاعات خطوط و باسهای سیستم ۶ با سه را نشان می‌دهد. جدول ۳ حدود بالا و پائین، شرایط اولیه، شرایط هر مرحله از تکرار برای متغیرهای کنترل کننده

و وابسته وضرایب حساسیت تلفات را نشان می‌دهد. همانطور که از جدول ۳ معلوم است ،ابتـــــدا تلفات سیستم ۱۱/۷۲MW بوده و تلفات سیستم در هر تکرار بهبود می‌یابد، به طوری که درمرحله آخر بدون اینکه هیچ یک از پارامترهای سیستم خارج از حدود تعیین شده قرار گیرند، تلفات بـــــه اندازه ۲/۲ MW یا ۱۹/۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. این نتیجه بهینه ، در سه تکرار و با خطـــای ۰/۰۰۱ MW همگرا می‌شود.



شکل ۱ ــ سیستم قدرت Ward-Hale



شکل ۲ ـ فلوچارت برای آلگوریتم کنترل بهینه VAR

جدول ۱ ـ پارامتری‌های شبکه انتقال برای سیستم Ward-Hale [۴]

کد باس	مقاومت	راکتنس	ساستنس
۱ ـ ۴	۰/۰۸۰	۰/۳۷۰	۰/۰۰۷
۱ ـ ۶	۰/۱۲۳	۰/۵۱۸	۰/۰۱۰
۲ ـ ۳	۰/۷۲۳	۱/۰۵۰	۰/۰۰۰
۲ ـ ۵	۰/۲۸۲	۰/۶۴۰	۰/۰۰۰
۳ ـ ۴	۰/۰۰۰	۰/۱۳۳	۰/۰۰۰
۴ ـ ۶	۰/۰۹۶	۰/۴۰۷	۰/۰۰۷۶
۵ ـ ۶	۰/۰۰۰	۰/۳۰۰	۰/۰۰۰

جدول ۲ ـ داده‌های با روژنراتور برای سیستم Ward-Hale [۴]

شماره باس	تولید MV	MVAR	بار	MW	MVAR
۱	۰/۰	۰/۰		۰/۰	۰/۰
۲	۵۰/۰	۵/۶		۰/۰	۰/۰
۳	۰/۰	۰/۰		۵۵٪۰	۱۳/۰
۴	۰/۰	۰/۰		۰/۰	۰/۰
۵	۰/۰	۰/۰		۳۰/۰	۱۸/۰
۶	۰/۰	۰/۰		۵۰/۰	۵/۰

جدول ۳ـ نتایج حاصل برای سیستم باس

متغیر حالت	تکرار ۰	۱	۲	۳
V_1	۱/۰۵	۱/۱	۱/۱	۱/۱
V_2	۱/۱	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵
Q_4	۰/۰	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
Q_6	۰/۰	۰/۰۵۶۹۱	۰/۰۵۶۹۱	۰/۰۵۶۹۱
T_1	۱/۱	۰/۹۵۵۶۷	۰/۹	۰/۹
T_2	۱/۰۲۵	۰/۹۲۹۷۱۷	۰/۹	۰/۹
متغیر وابسته				
Q_1	۰/۴۲۹۷۴	۰/۳۰۸۹۷	۰/۳۰۸۹۷	۰/۳۰۸۹۷
Q_2	۰/۲۷۳۴۴	۰/۲۲۳۲۶	۰/۲۲۳۲۶	۰/۲۲۳۲۶
V_3	۰/۹۲۴۱۶	۱/۰۰۰۴۹	۱/۰۰۰۴۹	۱/۰۰۰۴۹
V_4	۰/۹۴۰۳۲	۱/۰۱۶۹۶	۱/۰۱۶۹۶	۱/۰۱۶۹۶
V_5	۰/۹۰۸۱۸	۰/۹۸۳۴۸	۰/۹۸۳۴۸	۰/۹۸۳۴۸
V_6	۰/۹۲۳۵۹	۱/۰۰۳۵۹	۱/۰۰۳۵۹	۱/۰۰۳۵۹
ضریب حساسیت تلفات				
P_L/V_1	ـ۱/۳۴۱۷۴	ـ ۱/۱۸۴۸۷	ـ ۱/۱۸۴۸۷	ـ ۱/۱۸۴۸۷
P_L/V_2	ـ ۴/۱۶۴۹۳	ـ ۴/۶۴۲۳۵	ـ ۴/۶۴۲۳۵	ـ ۴/۶۴۲۳۵
P_L/Y_4	ـ ۰/۱۹۵۵۱۱	ـ ۰/۰۳۵۱۷	ـ ۰/۰۳۵۱۷	ـ ۰/۰۳۵۱۷
P_L/Y_6	ـ ۰/۳۷۲۹۱۷	ـ ۰/۴۳۷۳	ـ ۰/۴۳۷۳	ـ ۰/۴۳۷۳
P_L/T_1	ـ ۰/۰۹۳۷۰۱	۰۸۵۵۸۵	۰/۱۸۱۳۴۴	۰/۱۸۱۳۴۴
P_L/T_2	۰/۰۲۱۲۰۶	۰/۰۳۱۹۴	۰/۰۳۴۶۷	۰/۰۳۴۶۷
تلفات	۰/۱۰۷۲۵۱	۰/۸۹۰۵۰۱	۰/۸۹۰۵۰۱	۰/۸۹۰۵۰۱
درصد کاهش (٪)				۱۹/۵

نتیجه گیری :

در این مقاله کنترل قدرت راکتیو شبکه به منظور کاهش تلفات و اصلاح سطوح مختلف ولتاژ در شبکه مورد بررسی قرار گردید. بدین منظور با استفاده از حساسیت تلفات نسبت به‌پارامترهای کنترل کننده (مثل ولتاژ ژنراتورها، تپهای ترانسورمرها و ساسپتنس موازی) مسئله بصورت یک مدل برنامه ریزی خطی ارائه گردید. سپس جهت بررسی عملکرد مدل بدست آمده از یک شبکه ساده یعنی سیستم شش با سه IEEE استفاده شد. در این مثال کاهش تلفات و اصلاح سطوح ولتاژ با کنترل قدرت راکتیو شبکه بخوبی نمایش داده شد. نظر به اینکه موضوع کاهش تلفات شبکه جهت صرفه جوئی از انرژی و جلوگیری از خاموشی‌ها میتواند موءثر باشد، لذا امید است با اتمام پروژه‌های کنترل کامپیوتری شبکه سراسری ایران بتوان از این مدلها به منظور کنترل بهینه شبکه استفاده نمود.

مراجع :

1. Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg, Power Generation, Operation, and Control, John Wiley and Sons, 1984.

2. K. R. C. Mamandur and R.D. Chenoweth, Optimal Control of Reactive Power Flow for Improvements in Voltage Profiles and Real Power Loss Minimization, IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-100, July, 1981.

3. H. H. Happ, Optimal Power Dispatch, IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-93, pp820-830, May/June 1974.

4. Y. Wallach, Calculations & Programs for Power System Networks, Prentice-Hall, Inc., 1986.