

پخش بار در شبکه‌های متناوبی که شامل خطوط انتقال جریان مستقیمند

مهندس گیورک با باملک قره‌پتیان

مربی دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر شهرام منتصر کوهساری

استادیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در این مقاله ضمن مدل کردن سیستم انتقال جریان مستقیم به معرفی و مقایسه روشهای حل مساله پخش بار در شبکه مرکب AC - DC اقدام شده است. از میان روشهای موجود، روش پخش بار AC - DC ترتیبی را ارجح دانسته و آن را اساس برنامه کامپیوتری قابل اجرا روی کامپیوترهای شخصی قرار داده ایم. برنامه مذکور را بر روی سیستمهای قدرت گوناگون تست کرده و سپس در انتهای مقاله به نتیجه گیری از این تستها پرداخته ایم.

AC - DC Load Flow

G. B. Gharephetian, M.Sc.

&

S. Montaser - Kouhsari, Ph.D.

Elect. Eng. Dept. Amirkabir Univ. of Tech

Abstract: The paper describes a computational tool which is developed for load flow calculation in the combined ac - dc power systems. The steady - state model of dc convertors is introduced and the available solution methods for ac - dc load flow calculations are compared. Among them the sequential method is found to be superior and then an advanced sequential method is offered for ac - dc load flow calculations. The computer program which employs such a method of solution is tested on a variety of networks and the results are discussed.

۱- مقدمه

۴- انتقال انرژیهای بالا در مسافتات طولانی (که باعث ایجاد مسائلی از لحاظ کمپانزیشن سری یا پایداری برای خطوط AC می گردد). در تمامی موارد فوق لزوم مدل کردن خط انتقال جریان مستقیم ضروری است. با مدل کردن خط انتقال جریان مستقیم، امکان بررسی نحوه کارکرد این سیستم در شبکه متناوب، در شرایط نرمال و اضطراری فراهم می آید.

هدف ما در این مقاله معرفی و ارائه بهترین روش پخش بار برای یک شبکه مرکب AC - DC است که بتوانیم توسط برنامه کامپیوتری نوشته شده به پاسخ حالت مانای سیستم برسیم. برای بررسی مساله پخش بار AC - DC برنامه باید بتواند انواع

با افزایش ولتاژ و همچنین فواصل انتقال، انتقال به روش جریان مستقیم (HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT (hvdc)) به صورت آلترناتیو اقتصادی در برابر انتقال جریان متناوب مطرح شده است. به علاوه کاربرد روش انتقال جریان مستقیم در موارد خاصی همانند موارد زیر اجباری است:

- ۱- اتصال دو شبکه متناوب که دارای فرکانسهای مختلفند.
- ۲- انتقال انرژی الکتریکی از زیر دریا و یا زیرزمین توسط کابل برای فواصل بیش از ۳۰ کیلومتر.
- ۳- انتقال انرژی الکتریکی در کشتیها توسط کابل (جهت جلوگیری از صدمات ناشی از ضرب دیدگی هادیها).

داشت. لذا برای حل این مجهولات به Δ معادله به‌ازای هر مبدل نیازمندیم.

۳- معادلات سیستم DC

اگر ما B مبدل سری شده متصل به یک باس AC داشته باشیم، در این صورت معادلات پیوسته شده سیستم DC (به‌ضمیمه A مراجعه شود) به‌صورت زیر خواهند بود (۳).

$$R_1 = V_d^{pu} - \frac{3\sqrt{2}}{\pi} a B V_{term}^{pu} \cos \alpha + \frac{3}{\pi} x_c I_d = 0$$

$$R_2 = V_d^{pu} - K_1 a B V_{term} \cos \phi = 0 \quad (K_1 = \frac{K3\sqrt{2}}{\pi})$$

$$R_3 = f_r(V_d, I_d) = 0$$

$$R_4 = \text{معادله کنترلی اول یکسوساز} = 0$$

$$R_5 = \text{معادله کنترلی دوم یکسوساز} = 0$$

برای حالت اینورتری:

$$R_1 = V_d^{pu} - \frac{3\sqrt{2}}{\pi} a B V_{term}^{pu} \cos \gamma - \frac{3}{\pi} x_c I_d = 0$$

$$R_2 = V_d - K_1 a V_{term} \cos \phi$$

$$R_3 = f_i(V_d, I_d) = 0$$

$$R_4 = \text{معادله کنترلی اول اینورتر}$$

$$R_5 = \text{معادله کنترلی دوم اینورتر}$$

(۲)

(۳)

عبارت $f(V_d, I_d)$ در واقع مشخص‌کننده نحوه همبندی مدار است. مثلا "اگر یکسوساز به یک بار مقاومتی متصل باشد این عبارت به‌فرم زیر نوشته خواهد شد.

$$V_d - R_{dc} I_d = 0$$

(۴)

معادلات کنترلی یکسوساز و اینورتر توسط USER از معادلات زیر انتخاب می‌گردند.

$$a^{sp} - a = 0$$

کنترل تپ ثابت:

(۵)

$$V_d^{sp} - V_d = 0$$

کنترل ولتاژ ثابت:

(۶)

$$I_d^{sp} - I_d = 0$$

کنترل جریان ثابت:

(۷)

$$\cos \alpha - \cos \alpha_{min} = 0$$

کنترل زاویه آتش یکسوساز:

(۸)

$$\cos \gamma - \cos \gamma_{min} = 0$$

کنترل زاویه خاموشی اینورتر:

(۹)

$$P_{dc}^{sp} - V_d I_d = 0$$

کنترل قدرت ثابت:

(۱۰)

کنترل حد ولتاژ در ترمینالهائی با کنترل جریان یا قدرت ثابت (۴)

$$V_d - (.97) \frac{3\sqrt{2}}{\pi} a B V_{term} \cos \alpha_{min} + (.97) \frac{3}{\pi} x_c I_d = 0$$

$$V_d + (.97) \frac{3\sqrt{2}}{\pi} a B V_{term} \cos \gamma_{min} - (.97) \frac{3}{\pi} x_c I_d = 0$$

(۱۲)

کنترل ولتاژ AC ترمینال مبدل (۵):

کنترل‌های موجود برای مبدلهای قدرت را مدل کند و در ضمن مساله محدود و منقطع بودن تپ مبدلهای قدرت را نیز در نظر بگیرد.

کاربرد خطوط انتقال جریان مستقیم در ایران در یکی از جهات احتمالی زیر خواهد بود:

۱- اتصال سیستم توزیع DC به شبکه AC: برای مثال می‌توان کارخانه‌های ذوب آلومینیوم را که دارای مصرف DC در کنار مصرف AC - اند و یا کارکردن شبکه DC خطوط حمل و نقل شهری (مترو) در جوار شبکه متناوب را مثال زد.

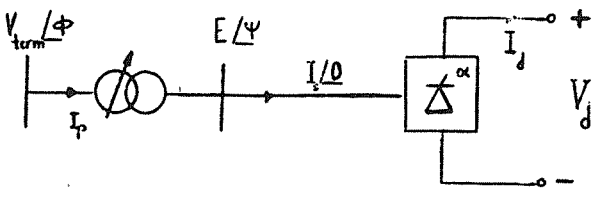
۲- اتصال نیروگاههای جدید دورافتاده از مراکز مصرف: اتصال این نیروگاهها توسط خطوط AC باعث افزایش سطح اتصال کوتاه شبکه می‌گردد این مساله هم‌اکنون موضوع بسیار حادی برای سیستم توزیع ایران است. اگر در اتصال این نیروگاهها از خطوط DC استفاده گردد، سطح اتصال کوتاه فعلی بدون تغییر خواهد ماند.

۳- اتصال شبکه سراسری ایران به شبکه ترکیه: با توجه به فاصله انتقال و همچنین مساله سطح اتصال کوتاه شبکه ایران در اتصال این دو شبکه چاره‌ای به‌جز استفاده از خطوط DC نیست.

با توجه به توضیحات فوق لزوم انجام بررسی‌هایی در خطوط انتقال جریان مستقیم آشکار است. برنامه موجود جهت نیل به اهداف فوق نوشته و تنظیم شده است.

۲- مدل سیستم DC (متغیرهای حالت سیستم DC)

مدل کردن سیستم DC براساس مفروضات حالت مانا صورت می‌گیرد (۱) و (۲). مبدلهای مشابه متصل به یک باس AC بدون توجه به نوع اتصالات ترانسهایشان، تحت شرایط کارکرد متعادل کاملاً مشابه کار می‌کنند، لذا می‌توان یک مبدل معادل جانشین تمامی آنها نمود. فرض کنید مبدل معادل مطابق شکل یک باشد.



شکل ۱- مدل سیستم DC

متغیرهای شکل یک به‌صورت زیر تعریف می‌شوند.

$V_{term} L \phi$: مقدار مؤثر ولتاژ خطی باس AC متصل به مبدل
 $E L \psi$: مؤلفه فرکانس اصلی شکل موج ولتاژ در ثانویه ترانس مبدل
 I_p, I_s : مؤلفه فرکانس اصلی شکل موج جریان در اولیه و ثانویه ترانس مبدل

α : زاویه آتش درجه‌های (VALVES) مبدل
 a : نسبت تپ ترانسفورماتور مبدل

V_d, I_d : متوسط ولتاژ و جریان مستقیم مبدل
 برای ساده کردن معادلات کنترلی و همچنین خطی کردن معادلات تا حد امکان متغیرهای حالت مبدل را به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$[x] = [V_d, I_d, a, \cos \alpha, \phi]^T \quad (۱)$$

بنابراین به‌ازای هر مبدل قدرت در شبکه Δ مجهول خواهیم

$$\begin{cases} R_1(x_1, x_2, \dots, x_s) = 0 \\ R_2(x_1, x_2, \dots, x_s) = 0 \\ \vdots \\ R_s(x_1, x_2, \dots, x_s) = 0 \end{cases} \quad (21)$$

و بردار MISMATCH برای این معادلات به صورت زیر خواهد بود:

$$[\Delta R] = \begin{bmatrix} \Delta R_1 = R_2^{SP} - R_1 \\ \Delta R_2 = R_2^{SP} - R_2 \\ \vdots \\ \Delta R_s = R_s^{SP} - R_s \end{bmatrix} = 0 \quad (22)$$

که مقدار مشخص شده برای رابطه R_k می باشد که برای تمامی مقادیر k صفر است. بنابراین معادلات پخش بار AC-DC را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta R \end{bmatrix} = 0 \quad (23)$$

۵- روشهای پخش بار AC-DC

روشهای پخش بار AC-DC به دو گروه تقسیم می شوند:
۱- پخش بار AC-DC همزمان (UNIFIED OR SIMULTANOUS)

۲- پخش بار AC-DC ترتیبی (SEQUENTIAL)
اساس کار در هر دو روش رابطه (۲۳) است. در روش همزمان رابطه (۲۳) را به صورت زیر درمی آورند (۵).

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta R \end{bmatrix} = 0 \quad (24)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta Q \\ \Delta R \end{bmatrix} = 0 \quad (25)$$

روند حل بدین صورت است که ابتدا رابطه (۲۴) حل می گردد، و سپس رابطه (۲۵). در صورتی که هر دو بردار MISMATCH از مقدار معینی کمتر گردند، روند حل همگرا شده و مجهولات سیستم AC-DC (رابطه (۱۴)) به جواب رسیده اند. با توجه به این که در این روش معادلات سیستم AC همزمان با معادلات سیستم DC حل می گردند به این روند حل به طور کلی روش همزمان می گویند. روش فوق به روش همزمان (PDC, QDC) معروف است. در روش مشابهی با یک سری مفروضات ساده کننده به روابط زیر می رسیم (۵).

$$[\Delta P] = 0 \quad (26)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta Q \\ \Delta R \end{bmatrix} = 0 \quad (27)$$

$$V_{term}^{SP} - V_{term} = 0$$

یا

$$Q_{term}^{SP}(dc) - Q_{term}(dc) = 0$$

۴- فرموله کردن مساله پخش بار AC-DC

یک سیستم قدرت که باس شماره ۱ آن SLACK باس بار. از باس شماره ۲ تا باس m PQ باس بار، و از باس $m+1$ تا n باس PV باس بار شماره گذاری شده است در نظر بگیرید. هدف از حل مساله پخش بار AC-DC در این چنین شبکه های به دست آوردن متغیرهای زیر است:

$$[V, Q, x]^T \quad (14)$$

عبارت است از بردار ولتاژ باسهای AC-ای که مجهولند.

$$[V]^T = [V_2, V_3, \dots, V_m]^T \quad (15)$$

عبارت است از بردار زاویه باسهای AC-ای که مجهولند.

$$[\theta]^T = [\theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n]^T \quad (16)$$

عبارت است از بردار متغیرهای حالت سیستم DC:

$$[x]^T = [x_1, \dots, x_s]^T \quad (17)$$

در شبکه AC-DC برای حل متغیرهای فوق احتیاج به حل بردارهای MISMATCH داریم. بردارهای MISMATCH برای تمامی باسهای AC به جز باسهای که مبدل های قدرت (POWER CONVERTORS) به آنها متصلند به صورت زیر تعریف می شوند.

$$\Delta P = \begin{bmatrix} \Delta P_2 = P_2^{SP} - P_2 \\ \Delta P_3 = P_3^{SP} - P_3 \\ \vdots \\ \Delta P_n = P_n^{SP} - P_n \end{bmatrix} = 0 \quad \Delta Q = \begin{bmatrix} \Delta Q_2 = Q_2^{SP} - Q_2 \\ \Delta Q_3 = Q_3^{SP} - Q_3 \\ \vdots \\ \Delta Q_m = Q_m^{SP} - Q_m \end{bmatrix} = 0 \quad (18) \quad (19)$$

P_k, Q_k عبارتند از قدرت اکتیو و راکتیو تزریقی در باس k اما در باسهای که مبدل های قدرت به آنها متصلند P_k, Q_k به صورت زیر تغییر خواهند کرد (۵).

$$\begin{cases} \Delta P_k = P_{term}^{sp} - P_{term}^{(ac)} - P_{term}^{(dc)} = 0 \\ \Delta Q_k = Q_{term}^{sp} - Q_{term}^{(ac)} - Q_{term}^{(dc)} = 0 \end{cases} \quad (20)$$

که در این رابطه عبارتند از قدرت اکتیو و راکتیو تزریقی $Q_{term}^{(dc)}, P_{term}^{(dc)}$ که توابعی از متغیرهای DC می باشند و $Q_{term}^{(ac)}, P_{term}^{(ac)}$ عبارتند از قدرت اکتیو و راکتیو تزریقی که توابعی از متغیرهای سیستم AC می باشند و $Q_{term}^{sp}, P_{term}^{sp}$ عبارتند از بار در همین باس. برای S متغیر سیستم AC، معادله به صورت زیر داریم:

در این روش ابتدا رابطه (۲۶) و سپس رابطه (۲۷) حل می‌گردد و در صورت همگرایی هر دو بردار فوق، روند حل به جواب رسیده است. این روش حل به روش همزمان (P, QDC) معروف است. در هر دو مورد فوق در گسترش بردارهای ΔP و ΔQ از روش FAST DECOUPLED استفاده می‌گردد (۶).

در روش پخش بار ترتیبی با استفاده از یک سری مفروضات فیزیکی روابط (۲۶) و (۲۷) را به صورت زیر تغییر شکل می‌دهند. (۵)

$$\left[\frac{\Delta P}{V} \right] = [B'] [\Delta Q] = 0$$

$$\left[\frac{\Delta Q}{V} \right] = [B''] [\Delta V] = 0 \quad (28)$$

$$(29)$$

$$[\Delta R] = [A] [\Delta X] = 0$$

$$(30)$$

در این روش حل، سه بردار فوق به ترتیب حل می‌گردند و در صورت همگرایی هر سه بردار، مساله به جواب رسیده است. روابط (۲۸) و (۲۹) همان روابط روش FAST DECOUPLED می‌باشند، با این تفاوت که در باسهای که مبدل به آن متصل است از رابطه (۲۰) بایستی استفاده کرد. در واقع هنگام حل (ΔQ) و (ΔP) مبدلهای DC فقط به صورت قدرت اکتیو و راکتیو تزریقی ثابت در معادلات AC ظاهر می‌گردند و هنگام حل (ΔR) سیستم AC اثر خود را به صورت V_{term} ثابت نشان می‌دهد. این روش حل به روش پخش بار ترتیبی از نوع (P, Q, DC) معروف است.

در هر دو روش می‌توان از روشهای عددی گوناگونی بردارهای MISMATCH را حل نمود. برای مثال روابط (۲۸) و (۲۹) به روش FAST DECOUPLED و رابطه (۳۰) به روش نیوتن رافسن حل می‌گردند. همچنین دیده شده که این رابطه به روش گوس سایدل نیز حل شده است (۷).

در هر روش برای تعیین شرایط اولیه از مفروضات زیر استفاده می‌گردد. تپ مبدلها ۱ انتخاب می‌گردد. ضریب قدرت مبدلها $0.9/0$ و ولتاژ ترمینال AC مبدلها نیز ۱ انتخاب می‌گردد. برای $0.5 < \alpha_{min} < 0.8$ و $15 < \gamma_{min} < 18$ معمولاً α حدود ۱۵ و γ حدود ۲۱/۵ انتخاب می‌گردد.

۶- مقایسه روشهای پخش بار AC - DC

در مقایسه‌ای که بین روشهای پخش بار همزمان (PDC, QDC) و (P, QDC) صورت گرفته (۵) مشخص شده که دومی با مقدار تکرار کمتری به نتیجه می‌رسد. بنابراین در بین روشهای پخش بار همزمان نوع (P, QDC) بر دیگران ارجح است. اما در مقایسه بین روشهای پخش بار ترتیبی (P; Q; DC) و همزمان (P, QDC) به نتایج زیر دست یافتیم. (۳)

۱- اگر قدرت اتصال کوتاه سیستم AC سه برابر یا بیشتر از قدرت نامی مبدل باشد در این صورت هر دو روش یکسان عمل می‌کنند و در غیر این صورت نیز به تعداد تکرارهای روش ترتیبی نیم تکرار (روش FAST DECOUPLED) افزوده می‌گردد.

۲- در صورت وجود یک برنامه پخش بار AC با تغییرات جزئی در این برنامه می‌توان قسمت DC برنامه پخش بار AC - DC ترتیبی را

به آن متصل نمود (رابطه (۳۰)). در صورتی که برای کاربرد برنامه پخش بار AC در روش همزمان بایستی کل برنامه AC را دوباره سازمان داد. لذا روش ترتیبی از دید برنامه‌سازی ارجح می‌باشد.

۳- با توجه به امکان گسترش و تغییر برنامه‌های پخش بار AC و همچنین DC، روش پخش بار ترتیبی به روش همزمان ارجح می‌باشد، چرا که در صورت بروز این چنین حالتی کل برنامه پخش بار AC - DC همزمان باید تغییر یابد. اما در مورد روش پخش بار ترتیبی فقط قسمت تغییر یافته را می‌توان جابه‌جا نمود.

با توجه به نکات فوق روش پخش بار ترتیبی از نوع (P, Q, DC) را برای نوشتن یک برنامه کامپیوتری بر روی کامپیوترهای شخصی انتخاب نمودیم.

۷- ویژگیهای برنامه نوشته شده

برنامه پخش بار AC - DC نوشته شده با قابلیت‌های زیر اولین نمونه در نوع خود در داخل کشور است. قابلیت‌های این برنامه را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد. (۳)

۱- برنامه به راحتی می‌تواند سیستم قدرتی را با تولید یا مصرف DC در یک ترمینال AC حل کند. تولید و یا مصرف DC به صورت یک نیروی محرکه سری با مقاومت محض (حالت تونن) مدل شده. بنابراین می‌توان یک شبکه DC با تغذیه از یک سو را نیز با این روش حل نمود.

۲- اگر خط انتقال جریان مستقیمی در شبکه متناوب وجود داشته باشد که قدرت آن به تشخیص USER خیلی کمتر از قدرت اتصال کوتاه شبکه متناوب باشد، در این صورت می‌توان ولتاژ متناوب ترمینالها را ثابت فرض کرده و با این فرض فقط معادلات سیستم جریان مستقیم را حل نمود. این قابلیت برنامه برای خطوط انتقال جریان مستقیم با طول کم مناسب است.

۳- در صورتی که قدرت انتقالی خط انتقالی جریان مستقیم در مقایسه با قدرت اتصال کوتاه شبکه قابل ملاحظه باشد، بایستی کل معادلات سیستم AC, DC را حل نمود. برنامه نوشته شده قابلیت حل این چنین شبکه‌ای را دارا است. این قابلیت برنامه اکثر موارد انتقال جریان مستقیم را دربر می‌گیرد.

۴- در صورت نیاز USER برنامه این امکان را در اختیار او قرار می‌دهد که شبکه AC محض را به روش FAST DECOUPLED حل نماید.

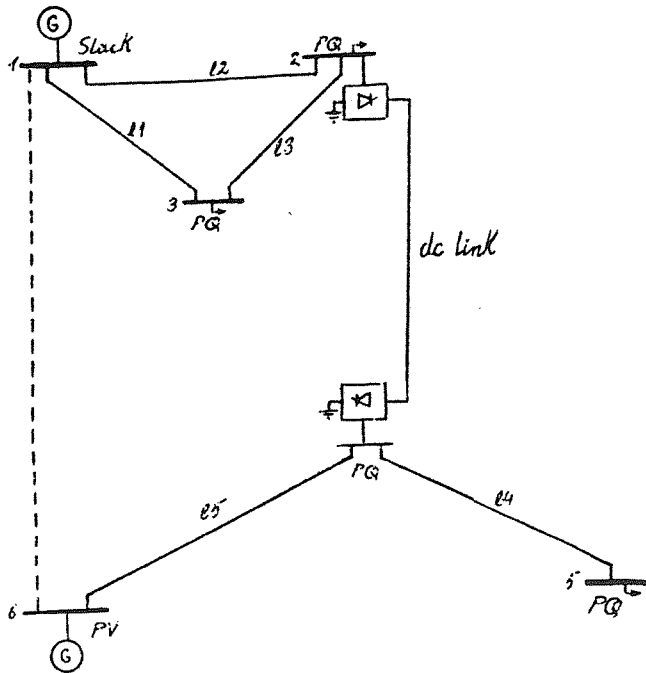
مزایای برنامه مذکور به شرح زیر است:

- ۱- مدل مبدل DC به گونه‌ای است که امکان گسترش برنامه مذکور به برنامه چند ترمیناله موجود است.
- ۲- برای هر مبدل γ نوع کنترل مختلف مدل شده. این تنوع فقط در یک مورد مشاهده شده است (۸).

- الف) کنترل جریان
- ب) کنترل قدرت اکتیو
- پ) کنترل قدرت راکتیو
- ت) کنترل ولتاژ
- ث) کنترل زوای آتش یا خاموشی
- ج) کنترل تپ ترانسفورمر مبدل
- چ) کنترل حد ولتاژ

۸-۲- سیستم قدرت ISLAND

سیستم قدرتی مطابق شکل (۳) در نظر بگیرید. اگر خط ۶-۱ را از این شکل حذف نماییم، به دو سیستم AC مجزا می‌رسیم که به‌جز خط انتقال جریان مستقیم هیچ اتصال دیگری ندارد. به اینچنین سیستمی یک سیستم ISLAND می‌گوئیم.



شکل ۳- سیستم ISLAND

در صورتی که برنامه پخش بار AC موجود قابلیت مدل کردن دو SLACK را داشته باشد، برنامه پخش بار AC می‌تواند سیستم SLACK را حل نماید. ولی اگر پخش بار AC موجود تنها یک SLACK را بپذیرد، برنامه پخش بار AC-DC ترتیبی (P, Q, DC) و همچنین پخش بار AC-DC همزمان (P, Q, DC) در حلقه p به نتیجه نخواهند رسید دلیل این امر را می‌توان این چنین توضیح داد که در این حالت باید Slack دوم را به صورت PV باس فرض کرد (باس ۶ در شکل (۳)) و معادلات را با این فرض حل نمود. با انجام این کار چون PV باس امکان جبران تلفات در سیستم دوم را ندارد، بنابراین حلقه p در روند حل همگرا نخواهد شد. برای جبران این نقض روش زیر آزمایش شد. خط فرضی ۶ را بین باس SLACK و PV باس متصل نمودیم امیدانس خط مذکور را ۲۰ برابر حالت نرمال در نظر گرفتیم و برنامه پخش بار را اجرا نمودیم. برنامه پخش بار همگرا شد. قدرت اکتیو انتقالی از خط ۶ برابر 0.072 pu از باس ۶ به باس ۱ و قدرت راکتیو انتقالی از خط ۶ برابر 0.055 pu از باس ۱ به باس ۶ است (۳). با توجه به این مقادیر باید میزان تولید قدرت در باس ۱ را به مقدار 0.072 pu افزایش و در باس ۶ به اندازه (تلفات خط + 0.072) کاست. همین روند را برای قدرت راکتیو بایستی تکرار نمود. بدین ترتیب می‌توان گفت که با حذف خط ۶ به جواب تقریبی خوبی دست یافته‌ایم. این عمل کمک زیادی به حل شبکه‌های ISLAND می‌نماید.

۳- نتایج مربوط به سیستم hvdc در دو حالت، الف) با فرض پیوسته بودن تغییرات تپ، ب) با فرض گسسته بودن تغییرات تپ در اختیار USER قرار می‌گیرد. نتایج مربوط به حالت "الف" دقتی در حد محاسبات پخش بار دارد. ولی برای محاسبات مربوط به پایداری و اتصال کوتاه نتایج مربوط به کارکرد واقعی سیستم، در حالت "ب" ارائه می‌گردد.

۴- در صورتی که مبدل دارای کنترل ولتاژ باشد و میزان Setting انتخاب شده برای این کنترل باعث گردد که میزان تپ مبدل خارج از حد بالا یا پایین گردد، برنامه ضمن ارسال پیغامی پیشنهاد اصلاح Setting ولتاژ را خواهد کرد که در صورت موافقت USER برنامه آن را اصلاح خواهد نمود (۳). و در صورت عدم توافق، تپ مبدل را در مقدار حدی خود ثابت نموده و به روند حل ادامه خواهد داد. اکثر برنامه‌های موجود امکان اصلاح Setting ولتاژ را ندارند.

۵- در صورت تمایل می‌تواند بعد از اجرای برنامه برای یک سیستم خاص همان سیستم را بدون خروج از برنامه با تغییر مشخصات سیستم AC و/یا DC و/یا تغییر نوع کنترل‌های اعمالی DC حل کند. این مزیت باعث می‌گردد که مطالعات مربوط به طراحی سیستم DC بسیار آسان گردد.

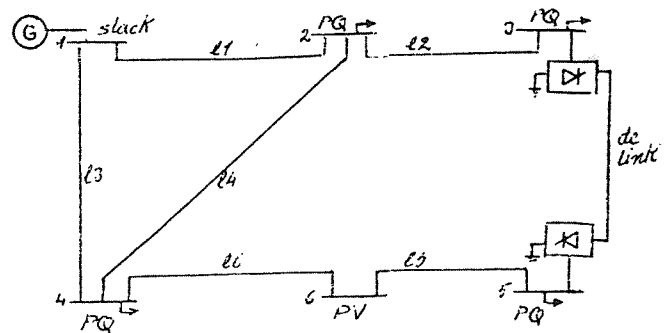
۸- تست‌های انجام شده توسط برنامه پخش بار AC-DC برنامه نوشته شده بر روی سیستم‌های قدرت گوناگونی اجرا شده در زیر فقط به معرفی چند مورد می‌پردازیم:

۸-۱- سیستم قدرت ۶ باسه

سیستم قدرت ۶ باسه‌ای (شکل ۲) توسط برنامه حل شد. مشخصات مربوط به این سیستم و نتایج مربوط به پخش بار در مرجع (۳) ارائه شده است. این سیستم در حالت‌های کنترلی گوناگون و همچنین با تغییر پارامترهای مختلف توسط برنامه پخش بار AC-DC تست شده است. همچنین برای نتیجه‌گیری کلی از تست‌ها سیستم‌های گوناگونی با برنامه تست شد که از آن جمله موارد زیر قابل ذکر است:

الف) سیستم قدرت ۱۴ باس IEEE با ۱۸ خط انتقال AC و ۱ خط انتقال DC

ب) سیستم توزیع ۳ باسه با بار DC در یک باس و همچنین تولید در همان باس.



شکل ۲- سیستم ۶ باسه

1. J. Arrillaga and P. Bodger, "AC - DC Load flow with realistic representation of the converter plant", Proc. IEE, Vol. 125 No. 1, 76-88
2. D. A. Braunagel: LA. Kraft and J. L. Whysong, "Inclusion of dc converter and transmission equations directly in a Newton power flow", IEEE trans. Power Apparatus and System, Vol. PAS - 99, No. 1, Jan/Feb. 1980, pp. 246 - 253.
- ۳- "پخش بار AC-DC"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ارائه شده به دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر، توسط گیورگ باباملک قره‌پتیان، تیر ۱۳۶۸.
4. H. Fudeh, C. M. Ong, "A Simple And Efficient ac - dc load flow Method for Multiterminal DC System", IEEE Trans. on Power Appr. and Sys., Vol. PAS - 100, No. 11, Nov. 1981, pp. 4389 - 4395
5. J. Arrillaga & C.P. Arnold, "Computer Modeling of Electrical Power Systems", Book, John Wiley & Sons, 1983.
6. G. W. Stayg & A. H. El - Abiad, "Computer Methods in Power System Analysis, Book, McGraw Hill, 1981
7. J. Mahserjian, S. Lefebvere, and D. Makhedkar, "A Multiterminal HVDC Load Flow with flexible control Specifications" IEEE Trans' on Power Systems, Vol PWRD - 1, No. 2, April 1986, PP. 272 - 281
8. D. G. Chapman, J. B. Davies, E. M. Gulachenski, S. Doc, J. R. Mc Nichol and N. J. Balu, "Test Experience with Multiterminal HVDC Load Flow and Stability Programs", IEEE PWRD, Vol. 3, PP. 1173 - 1181, July 1988.

ضمیمه A : سیستم پریونیت

در سیستم DC سیستم پریونیت به صورت زیر تعریف می شود :

$$\frac{P_{dc}^{base}}{S_{ac}^{base}} = \frac{V_{dc}^{base}}{V_{ac}^{base}}$$

یعنی ولتاژ و قدرت مینای سیستم DC با ولتاژ و قدرت مینای سیستم برابر فرض می شود. با این مفروضات خواهیم داشت :

$$\frac{I_{dc}^{base}}{I_{ac}^{base}} = \sqrt{3} \quad \dots \quad \frac{Z_{dc}^{base}}{Z_{ac}^{base}} = \frac{Z_{dc}^{base}}{Z_{ac}^{base}}$$

در این مقاله ضمن معرفی روش‌های پخش بار DC - AC به مقایسه آنها پرداخته از میان روش‌های موجود بهترین را (با توجه به اهدافمان) روش پخش بار ترتیبی (P, Q, DC) دانسته و این روش را برای نوشتن یک برنامه کامپیوتری ملاک عمل قرار داده‌ایم.

توسط برنامه کامپیوتری نوشته شده سیستم‌های قدرت گوناگونی تست شده. از میان این تست‌ها به نتایج زیر رسیده‌ایم :

۱- از دید شبکه AC، یک میدل قدرت جریان مستقیم در حالت مانا، به صورت یک بار مختلط ثابت است. قدرت اکتیو میدل در حالت یکسوسازی مثبت (مصرف‌کننده) و در حالت اینورتری منفی (تولیدکننده) است. ولی قدرت راکتیو همیشه مثبت می باشد.

۲- با توجه به بند فوق اگر میزان قدرت اکتیو و راکتیو مصرفی یک میدل را دقیقاً بدانیم، می‌توانیم آن میدل را به صورت یک قدرت مختلط وارد برنامه پخش بار شبکه متناوب کرده و پاسخ شبکه متناوب را (فقط) به دست آوریم.

۳- از دید شبکه dc، مجموعه سیستم قدرت AC در حالت مانا، به صورت ولتاژهای متناوب ثابت در ترمینال‌های میدل احساس می‌گردد.

۴- با توجه به بند فوق اگر ولتاژ متناوب ترمینال میدل را دقیقاً بدانیم، می‌توانیم این مقدار را به صورت ثابت، وارد برنامه پخش بار شبکه جریان مستقیم کرده و پاسخ شبکه جریان مستقیم را به دست آوریم.

۵- با خروج خط DC از مدار به علت کاهش قدرت راکتیو مصرفی شبکه ولتاژ باسهای AC افزایش می‌یابد. ولی قدرت انتقالی از خطوط به طور متوسط کاهش می‌یابد.

۶- با قرار دادن کمپنراتور در باسهای AC که میدل به آن متصل است می‌توان مصرف قدرت راکتیو را جبران نموده و ولتاژ باسهای AC را افزایش داد.

۷- با کاهش Setting کنترل جریان در میدل یکسوساز و یا کاهش Setting کنترل ولتاژ در میدل اینورتر، به علت کاهش قدرت راکتیو مصرفی ولتاژ باسهای افزایش می‌یابند. با افزایش ولتاژ متناوب مقدار تب میدلها برای تطبیق ولتاژ متناوب با ولتاژ مستقیم، کاهش می‌یابند. افزایش Setting های مذکور روند تغییرات را در جهت عکس پیش خواهد برد.

۸- معادلات DC حداکثر در سه تکرار به نتیجه می‌رسند و اگر مقادیر کنترلی معقولی انتخاب گردد (۳) روند معادلات DC از لحاظ همگرایی مساله‌ای نخواهد داشت.

۹- با انتخاب MISMATCH 0.001^{PU} در مینای 100 MVA بهترین و سریعترین نتایج به دست می‌آیند.

