

ردیابی توان راکتیو به روش اصلاح مدل خط انتقال

12-F-EPM-10626

مرتضی آقازادگان^۱، سودابه سلیمانی^۱، بابک مظفری^۱، احسان رسولی^۲

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

۲. دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

ایران

واژه های کلیدی: ردیابی توان راکتیو، قاعده سهم تناسب، محیط رقابتی، تخصیص توان راکتیو

چکیده

۱- مقدمه

در مسئله ردیابی توان راکتیو به دلیل وجود تلفات خط انتقال با مشکلاتی روبرو هستیم. ساختار به هم پیوسته شبکه های انتقال ولتاژ بالا تعداد زیادی مسیر جهت انتقال توان از منابع (ژنراتورها) به مصرف کننده ها (بارها) ایجاد می نماید. از آنجایی راکتانس خطوط انتقال زیاد می باشد از این رو تلفات توان راکتیو زیاد بوده و ردیابی توان راکتیو سخت و مشکل می باشد. در مرجع [۱] یک روش برای ردیابی توان راکتیو بین ژنراتورها و بارها بر پایه تئوری گراف ارائه شده است. در این روش توان راکتیو مورد نیاز در هر خط انتقال به ابتدا و انتهای آن به گونه ای منتقل می گردد که شبکه بدون تلفات و جهت توان راکتیو در خطوط ثابت باشد. با استفاده از الگوریتم پایین روند و قاعده سهم متناسب، مشارکت هر ژنراتور در جریان خطوط و بارها محاسبه می گردد. قاعده سهم متناسب با این فرض که گره یک مخلوط کننده کامل است به کار می رود. در غیر اینصورت بیان اینکه در هر گره جریان، توان ورودی داخل کدام خط خروجی می شود غیر ممکن است [۲].

در یک سیستم انتقال آزاد هزینه های سرویس های جانبی درست اختصاص داده نشده اند. از آنجایی که راکتانس القایی خطوط انتقال زیاد می باشد تلفات خطوط انتقال زیاد بوده و توان راکتیو عبوری در ابتدا و انتهای خط تفاوت زیادی دارند. این اختلافات با توان تحویلی به بار قابل مقایسه می باشد، از این رو مدل های مختلف خط انتقال برای مدل سازی تلفات بر روی شبکه به کار می روند. با استفاده از این مدل ها سهم توانی که به تلفات خطوط بستگی دارد به طور جداگانه ردیابی شده و با توان تبدیلی ژنراتورها به بارها مقایسه می شود. روش مطرح شده براساس قانون جریان کیرشهف با استفاده از الگوریتم پایین روند به ردیابی توان راکتیو می پردازد و نیازی به ایجاد شینه مصنوعی در وسط خط انتقال ندارد و در اندازه شبکه تغییری حاصل نمی شود. نتایج شبیه سازی بر روی سیستم ۵ شینه و ۳۰ شینه IEEE به دست آمده است.

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

متغیرهای آن را بیان می‌کنیم. به دست آوردن این ماتریس‌ها مشکل و زمان بر می‌باشد. این روش معادلات پخش بار را راضی می‌کند، در اینجا معادلات توان و تئوری مدارات الکتریکی به صورت همزمان به کار می‌روند. ردیابی توان راکتیو به طور دقیق محاسبه شده ولی در ردیابی توان راکتیو، توان راکتیو تولیدی شبکه به ژنراتورها اختصاص داده شده است. در مرجع [۸] بعد از حل پخش بار AC شبکه حلقوی، از روی ولتاژ شینه‌ها و زوایا و میزان توان تزریقی به شینه‌ها و استفاده از مسایل بهینه سازی مدل معادل شبکه شعاعی را به دست می‌آورد، به گونه‌ای که پارامترهای شبکه انتقال تغییر می‌کند و یک شبکه شعاعی جدید با پارامترها جدید به دست می‌آید که در آن توان‌های تزریقی به شینه‌ها تغییر نمی‌کند و اثر هر تولیدکننده به بارها جدا شده و به نوعی سهم هر تولیدکننده به بار و بلعکس مشخص می‌شود. در اینجا توان راکتیو تولیدی خطوط انتقال از توان راکتیو مصرفی خطوط جدا نبوده و این روش توانای ردیابی تلفات را ندارد. در مرجع [۹] روشی برای ردیابی توان راکتیو با استفاده از گره‌های مجازی و قاعده سهم متناسب ارائه شده است. در این روش یک گره فرضی در میان هر خط انتقال، برای نشان دادن کل توان راکتیو جذب شده یا تولید شده توسط خط انتقال قرار می‌گیرد با اعمال این روش در شبکه N شینه تعداد شین‌های شبکه $(2N+1)$ می‌شود. به دست آوردن ماتریس توزیع توان راکتیو در سیستم‌های بزرگ مشکل و زمان بر می‌باشد. از آنجایی که راکتانس خطوط انتقال زیاد می‌باشد مقدار زیادی از توان راکتیو در خطوط انتقال تلف می‌شود که این اختلافات با توان تحویلی به بار قابل مقایسه می‌باشد. توان راکتیو به وسیله خاصیت سلفی و خازنی شبکه اثر می‌گیرد و همین امر ردیابی و اختصاص توان راکتیو را مشکل می‌کند. از این رو روش‌های ردیابی توان راکتیو نمی‌توانند به آسانی مورد استفاده قرار بگیرند، برای حل این مشکل مدل‌های مختلف خط انتقال برای تزریق مصنوعی توان راکتیو به شینه‌ها مطرح می‌شوند، تا با استفاده از اصلاح تزریق شینه‌ای و قاعده سهم تناسب

ردیابی همزمان توان‌های اکتیو و راکتیو بین ژنراتورها و بارها با استفاده از جریان‌های حقیقی و موهومی در مرجع [۳] مطرح شده است. جریان‌های حقیقی و موهومی تنها یک مفهوم ریاضی می‌باشند و مفهوم فیزیکی ندارند. بنابراین نتایج بدست آمده با تغییر زاویه مبنا تغییر می‌کند. در مرجع [۴] برای اینکه قانون جریان کیرشهف برقرار باشد توان راکتیو تولیدی توسط ادمیتانس خازنی موازی در دو طرف خط انتقال را به شینه‌های مجاور انتقال می‌دهیم، در این صورت ردیابی توان راکتیو همانند توان اکتیو می‌باشد. با اضافه کردن نیمی از تلفات خط انتقال به هر شینه یک شبکه بدون تلفات ایجاد می‌کنیم. در اینجا با استفاده از الگوریتم پایین روند به ردیابی توان راکتیو می‌پردازیم. باتوجه به تخصیص نامناسب تلفات راکتیو ردیابی دقیقی حاصل نمی‌شود. ردیابی توان الکتریکی با تنظیم ناحیه، در مرجع [۵] بعد از حل معادله پخش بار AC به ردیابی توان اکتیو و راکتیو در سیستم‌های بدون تلفات می‌پردازد و با استفاده از ناحیه مربوط به ژنراتور و اشتراک ژنراتورها برای باس بار خاص و تعداد ژنراتورهای تامین‌کننده باس، سهم تولید هر ژنراتور برای بارها به دست می‌آید. در این روش باس‌ها و شاخه‌های سیستم به گروهایی تقسیم می‌شوند و یک گراف چرخشی جهت دار برای شبکه ایجاد می‌شود. به کمک این گراف سهم تولید هر ژنراتور برای بارها حساب می‌شود. شناسایی ناحیه به فهم عملکرد بهتر سیستم کمک می‌کند ولی نیاز به زمان زیادی دارد. در مرجع [۶] براساس تئوری سهم مشارکت و تئوری گراف بدون استفاده از ماتریس توزیع به طور دستی به ردیابی توان اکتیو و راکتیو می‌پردازد و سهم توان راکتیو تولیدی شبکه بر روی بارها به دست می‌آید. این روش دارای سرعت کم در انجام محاسبات می‌باشد. در مرجع [۷] بعد از حل پخش بار AC، ولتاژها و توان‌های شبکه را به دست می‌آوریم و سپس آنها را به دو قسمت حقیقی و موهومی تقسیم می‌کنیم. این فرمول بندی بر پایه اصل تئوری مدارات الکتریکی و معادلات توان قرار دارد، در اینجا با چهار ماتریس پیچیده سروکار داریم که رابطه بین

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

از آنجایی که $Q_s > Q_e$ می باشد تلفات خط انتقال میزان توان عبوری در انتهای خط را کاهش می دهد و به دنبال توان عبوری به سمت شین e ام می باشیم به کمک این مدل تلفات خط انتقال را بر روی شین S ام اعمال کرده و توان عبوری در انتها و ابتدای خط انتقال برابر Q_e می شود. فاکتور مشارکت F_{js} که از سمت خط j ام به شین S متصل می باشد با میزان توان راکتیو Q_j وارد شین S ام می شود.

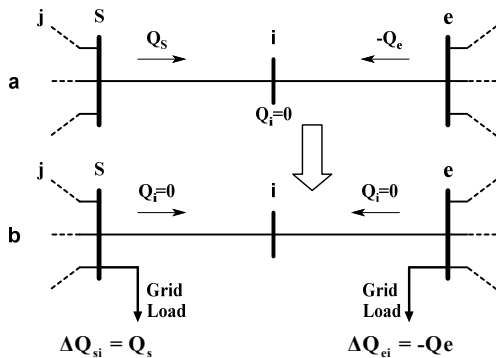
$$F_{js} = \frac{Q_j}{\sum_{i=1}^{nis} Q_i} \quad (1)$$

nis: تعداد خطوط متصل به شین S ام که توان راکتیو را به شین وارد می کند. میزان توان انتقالی از خط j ام به سمت شین S ام عبارت است از:

$$Q_{js} = F_{js} (Q_e + \Delta Q_{se}) = F_{js} \cdot Q_s \quad (2)$$

۲-۲- مدل LL خط انتقال

شکل ۱ را در نظر بگیرید، اگر $Q_s > 0$ و $Q_e < 0$ و $\Delta Q_{se} > 0$ باشد در این صورت خط انتقال توان راکتیو زیادی از دو طرف خط انتقال جذب می کند. در این حالت تلفات توان راکتیو بزرگتر از مجموع توان های ورودی به خطوط می باشد. برای مدل کردن این حالت در هر شین، بار شبکه مربوطه را قرار می دهیم. با توجه به شکل ۳ توان عبوری در دو جهت تامین کننده تلفات خط انتقال می باشند. از این رو با استفاده از مدل بارهای شبکه تلفات راکتیو را منظور می کنیم. در این حالت توان عبوری از خط انتقال صفر می باشد.



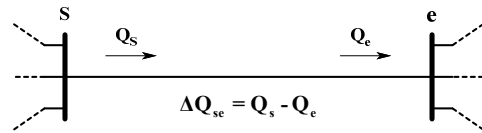
شکل ۳: a- مدل خط انتقال گرمایی b- مدل LL خط انتقال

برای $Q_e < 0$ و $Q_s > 0$

براساس قانون جریان کیرشهف به ردیابی توان راکتیو بپردازند. این روش به ولتاژ شینه ها توجهی ندارد و با این فرض که مجموع توان ورودی به شینه برابر توان خروجی از شینه می باشد، عمل می کند. در اینجا با استفاده از الگوریتم پایین روند میزان توان راکتیو مصرفی از هر تولید کننده مشخص می شود. در این مدل ها سهم توانی که به تلفات راکتیو خطوط بستگی دارد به طور جداگانه ارزیابی شده و با توان تبدلی ژنراتورها به بارها مقایسه می شوند. در این روش نیازی به ایجاد شینه ها و یا لینک های اضافی و افزایش اندازه سیستم نداشته و سهم توان راکتیو تولیدی ژنراتورها به طرف بارها و شبکه از هم جدا می شوند.

۲- مدل های اصلاح شده خط انتقال

شکل ۱ نمایش خط انتقال بین دو شینه e, s می باشد که تلفات خط ΔQ_{se} آن منظور شده است. مدل های مختلف خط انتقال برای روش مطرح شده عبارت است از: مدل L و LL و CC.



شکل ۱: نمایش توان راکتیو خط انتقال

۲-۱- مدل L خط انتقال

اگر $Q_s > Q_e$ و $\Delta Q_{se} > 0$ باشد این خط انتقال خاصیت القایی از خود نشان می دهد. با توجه به شکل ۲ تلفات ΔQ_{se} به عنوان یک بار ساختگی در شینه S اعمال می شود.



شکل ۲: مدل L خط انتقال برای $Q_e > Q_s$

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

۳-۲- مدل C خط انتقال

هنگامی که $Q_s < Q_e$ و $\Delta Q_{se} < 0$ باشد این خط انتقال خاصیت خازنی از خود نشان می‌دهد. از این رو در سمت شین e یک ژنراتور شبکه مدل می‌شود. با توجه به شکل ۴ توان عبوری در ابتدا و انتهای خط برابر می‌شود و توان راکتیو تولیدی خط انتقال به شین e ام نسبت داده می‌شود.

فاکتور سهم مشارکت خط انتقال در تامین توان راکتیو خط F_{ej}^{line} ام که به شین e متصل می‌باشد عبارت است از:

$$F_{jejs}^{lin} = \frac{Q_s}{Q_s + (-\Delta Q_{se}) + \sum_{i=1}^{nei} Q_i} \quad (3)$$

خطوطی که توان راکتیو به شین e وارد می‌کند. nei

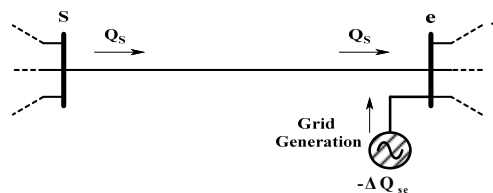
فاکتور سهم مشارکت تولید شبکه در تامین توان راکتیو خط F_{ej}^{gen} ام عبارت است از:

$$F_{jejs}^{gen} = \frac{-\Delta Q_{se}}{Q_s + (-\Delta Q_{se}) + \sum_{i=1}^{nei} Q_i} \quad (4)$$

بنابراین برای خط F_{ej}^{gen} ام سهم توان راکتیو رانده شده از طرف خط انتقال برابر است با:

$$F_{jejs}^{gen} = Q_j (F_{ej}^{lin} + F_{ej}^{gen}) = Q_j \frac{Q_s - \Delta Q_{se}}{Q_s + (-\Delta Q_{se}) + \sum_{i=1}^{nei} Q_i} = Q_j \frac{Q_e}{Q_s + (-\Delta Q_{se}) + \sum_{i=1}^{nei} Q_i} \quad (5)$$

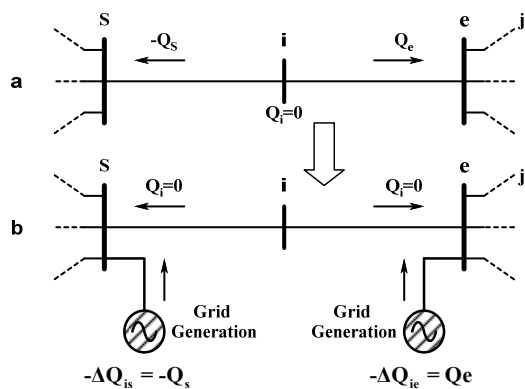
این معادلات نشان دهنده توازن صحیح و مدل اصلاح شده خط C می‌باشد.



شکل ۴: مدل خط انتقال C برای $Q_e > Q_s$

۴-۲- مدل CC خط انتقال

هنگامی که $Q_s < 0, Q_e > 0$ باشد در این حالت خط انتقال از دو سمت خود به شین ها توان راکتیو تزریق می‌کند که رفتار خازنی بزرگی از خود نشان می‌دهد. بنابراین در دو سمت خط انتقال ژنراتور شبکه را مدل می‌کنیم. با توجه به شکل ۵ توان راکتیو تولیدی خط انتقال به شین های آن نسبت داده می‌شود و به کمک ژنراتورهای شبکه مدل می‌شود. در این مدل پس از اصلاح تزریق شین ها ای توان راکتیو عبوری از خط انتقال صفر می‌شود. [۱۰]



شکل (۵): a- مدل خط انتقال برق ($Q_s < 0, Q_e > 0$)

b- مدل خط انتقال CC

۳- الگوریتم جستجوی پایین روند

بعد از اصلاح تزریق شین ای هنگامی که به جستجوی توان راکتیو داخلی شین هستیم توان کلی Q_i در میان شین i ام از مجموع توان های خروجی از شین محاسبه می‌شود.

$$Q_i = \sum_{l \in \alpha_i^{(d)}} |Q_{i-l}| + Q_{Li} \quad (6)$$

$$= \sum_{l \in \alpha_i^{(d)}} c_{Li} Q_L + Q_{Li} \quad \text{for } i = 1, \dots, n$$

در اینجا $\alpha_i^{(d)}$: تنظیم شین ها به منظور تامین توان راکتیو راستای شین i ام توسط خطوط مناسب می‌باشد.

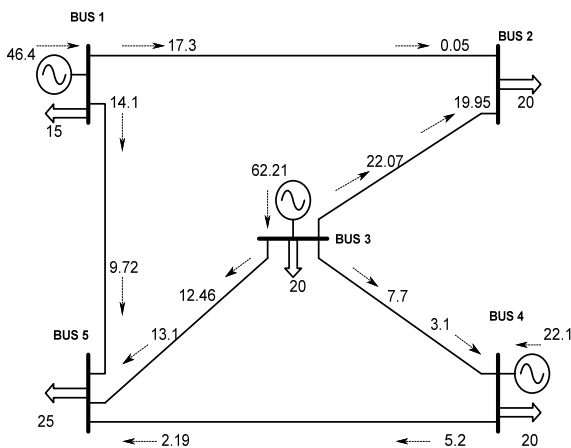
Ad: ماتریس توزیع پایین روند عبارت است از:

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

پخش بار در جدول ۱ آمده است. با توجه به شکل تلفات توان راکتیو زیاد می باشد بنابراین صرفه نظر کردن از تلفات راکتیو به منظور ردیابی توان راکتیو فرض مناسبی نمی باشد. از این رو با توجه به ماهیت هر خط و راستای توان راکتیو در خطوط انتقال، از مدل های مختلف اصلاح شده CC , C , LL , L برای اختصاص تلفات توان راکتیو به شینه ها و اعمال قانون جریان کیرشهف استفاده می کنیم. با اضافه کردن تزریق تولید شبکه و بار شبکه به شینه ها، توان راکتیو تولیدی و مصرفی خطوط انتقال را مدل می کنیم و سهم هر تولید کننده از بار و بار شبکه مشخص می شود. شکل ۷ شبکه ۵ شینه اصلاح شده را نشان می دهد.

جدول ۱: نتایج پخش بار شبکه ۵ شینه

بار راکتیو	بار اکتیو	تولید راکتیو	تولید اکتیو	ولتاژ	باس
۱۵	۴۵	۴۶/۴	۲۲۶/۳۲	۱/۰۵	۱
۲۰	۱۶۲/۵	۰	۰	۰/۹۹	۲
۲۰	۸۰	۶۲/۲	۷۵	۱/۰۳	۳
۲۰	۵۰	۲۲/۱	۱۳۶/۳	۱/۰۵	۴
۲۵	۹۰	۰	۰	۱/۰۱	۵
۱۰۰	۴۲۷/۵	۱۳۰/۷	۴۳۷/۶۲	-	جمع



شکل ۶: نتیجه پخش توان راکتیو شبکه ۵ شینه

$$[Ad]_{il} = \begin{cases} 1 & \text{for } i=l \\ -C_{li} = \frac{-|Q_{l-i}|}{Q_l} & \text{for } l \in \alpha_i^{(d)} \\ 0 & \text{for otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

Q_{l-i} : توان راکتیو عبوری از شینه i ام به سمت شینه l

Q_l : مجموع توان راکتیو شینه l ام

$$Q_i = \sum_{k=1}^n [A_d^{-1}]_{ik} Q_{LK} \quad i=1, \dots, n \quad (8)$$

این رابطه نشان می دهد که توان شینه Q_i بین همه بارهای سیستم توزیع می شود. به عبارت دیگر Q_i مجموع توان تولیدی شینه i ام و همه توانهای است که به سمت شینه i ام می آید. [۹] تقاضای توان راکتیو بار مصرفی Q_{LK} از تولید توان ژنراتور i ام عبارت است از:

$$|Q_{Gi}| = \frac{Q_{Gi}}{Q_i} Q_i = \frac{Q_{Gi}}{Q_i} \sum_{k=1}^n [A_d^{-1}]_{ik} Q_{LK} \quad (9)$$

تقاضای توان راکتیو بار شبکه Q_{GL} از تولید توان ژنراتور i ام عبارت است از:

$$Q_{Gi} = \frac{Q_{Gi}}{Q_i} Q_i = \frac{Q_{Gi}}{Q_i} \sum_{k=1}^n [A_d^{-1}]_{ik} Q_{GL} \quad (10)$$

سهم تولید شبکه برای بارهای شبکه عبارت است از:

$$Q_{Ggi} = \frac{Q_{Ggi}}{Q_i} Q_i = \frac{Q_{Ggi}}{Q_i} \sum_{k=1}^n [A_d^{-1}]_{ik} Q_{GL} \quad (11)$$

سهم تولید شبکه برای بارهای مصرفی عبارت است از:

$$Q_{Ggi} = \frac{Q_{Ggi}}{Q_i} Q_i = \frac{Q_{Ggi}}{Q_i} \sum_{k=1}^n [A_d^{-1}]_{ik} Q_{LK} \quad (12)$$

۴- اصلاح شبکه انتقال

ردیابی توان راکتیو به روش تزریق شینه ساختگی در دو شبکه ۵ شینه و ۳۰ شینه IEEE اجرا شده است. در ابتدا پخش بار روی سیستم اجرا می شود و راستاهای توان راکتیو و میزان تولید هر ژنراتور مشخص می شود. شبیه سازی با استفاده از نرم افزار متلب انجام شده و نتایج

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

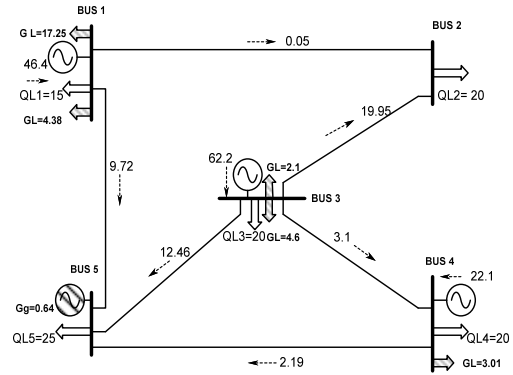
روش مطرح شده ردیابی توان راکتیو بر روی شبکه ۳۰ شینه IEEE به دست آمده است. پخش بار شبکه ۳۰ شینه در جدول ۳ و ردیابی توان راکتیو در جدول ۴ و پارامترهای شبکه ۳۰ شینه در جدول ۵ پیوست آمده است. نتایج به دست آمده عملی بودن روش مطرح شده را نشان می دهد.

جدول ۲: نتایج ردیابی توان راکتیو شبکه ۵ شینه

تولید شبکه	ژنراتور ۴	ژنراتور ۳	ژنراتور ۱	توان راکتیو	شین
۰	۱۵	۰	۰	۱۵	۱
۰	۰/۰۵	۱۹/۹۵	۰	۲۰	۲
۰	۰	۲۰	۰	۲۰	۳
۰	۰	۲/۴۶	۱۷/۵۴	۲۰	۴
۰/۶۴	۹/۷۲	۱۲/۷۳	۱/۹۲	۲۵	۵
۰/۶۴	۲/۷۷	۵۵/۱۴	۱۹/۴۶	۱۰۰	جمع
۰	۲۱/۶۳	۷/۰۷	۲/۶۴	۳۱/۳۴	بار شبکه

۶- نتیجه گیری

در شبکه های قدرت به دلیل وجود تلفات توان راکتیو زیاد ردیابی توان راکتیو در سیستم های انتقال مسئله پیچیده ای می باشد. بنابراین با استفاده از مدل های خط انتقال مطرح شده در بخش ۲ با مدل سازی توان راکتیو تولیدی و مصرفی خطوط انتقال به صورت تزریق شینه ای تولید شبکه و بار شبکه توان عبوری از خط انتقال را اصلاح می کنیم و بر پایه قانون جریان کیرشهف و الگوریتم جستجوی پایین روند به ردیابی دقیق توان راکتیو می پردازیم. شبیه سازی بر روی شبکه ۵ شینه و ۳۰ شینه IEEE مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش نیازی به اضافه کردن شینه مصنوعی و افزایش اندازه سیستم نداریم. این روش می تواند به عنوان یک پایه و اساس در جهت بهبود قراردادها و توافقات در سیستم بازار برق استفاده شود. بر مبنای این روش می توان هزینه های مربوط به انتقال توان برای هر کدام از ژنراتورها را مشخص نمود و در تبادل های بین نواحی و کشورها استفاده کرد.



شکل ۷: شبکه ۵ شینه با توان راکتیو شینه ای اصلاح شده

با توجه به شکل ۷ ملاحظه می شود که در ساختار کلی عبور توان خطوط و شینه ها تغییری ایجاد نشده است و قانون جریان کیرشهف برای همه شینه ها برقرار می باشد.

۵- نتایج شبیه سازی

خط انتقال ۳-۵ توان راکتیو به شین ۵ تزریق می کند از این رو مدل C را برای اصلاح تزریق شینه ای به کار می بریم، بقیه خطوط این شبکه توان راکتیو جذب می کنند که به کمک مدل L توان راکتیو عبوری از خطوط را اصلاح می کنیم. با استفاده از الگوریتم پایین روند و به کمک رابطه ۶ ماتریس توزیع پایین روند را به دست می آوریم. با استفاده از رابطه ۱۰ سهم توان راکتیو تولیدی هر ژنراتور برای بارها و بار شبکه به دست می آید. به منظور بررسی روش مورد نظر نتایج ردیابی توان راکتیو شبکه ۵ شینه در جدول ۲ آمده است. ملاحظه می شود که تزریق شینه ای شین ۵ ناشی از تولید توان راکتیو خط انتقال ۳-۵ در تامین بار شین ۵ خدمت می کند. همچنین سهم هر تولید کننده برای توان راکتیو مصرفی خطوط انتقال که به صورت بار شبکه در شکل (۲) مدل شده به دست آمده است. تفاوت بار شبکه و تولید شبکه تلفات خطوط انتقال را نشان می دهد. در این روش ردیابی توان راکتیو به طور دقیقی انجام شده و مطابق با اصل پخش بار سیستم بوده و ژنراتورها در محدوده تولید خود باقی مانده اند. به منظور بیان کارایی

۷- مراجع

۸- پیوست

جدول ۳: نتایج پخش بار شبکه ۳۰ شینه IEEE

بار راکتیو	بار اکتیو	تولید راکتیو	تولید اکتیو	زاویه ولتاژ	ولتاژ	باس
۲۳/۸	۱۶/۶	۴/۳	۲۷۷	۰	۱/۰۶	۱
۱۲/۷	۲۱/۷	۴۴/۸۹	۴۰	-۵/۴۹	۱/۰۴۳	۲
۱/۲	۲/۴	۰	۰	-۸/۰۶	۱/۰۲۶	۳
۱/۶	۷/۶	۰	۰	-۹/۷	۱/۰۱	۴
۱۹	۹۴/۲	۳۵/۳۳	۰	-۱۴/۳	۱/۰۱	۵
۰	۰	۰	۰	-۱۱/۴	۱/۰۱۳	۶
۱۰/۹	۲۲/۸	۰	۰	-۱۳/۱	۱/۰۰۴	۷
۳۰	۳۰	۲۷/۷۲	۰	-۱۲	۱/۰۱	۸
۰	۰	۰	۰	-۱۴/۶	۱/۰۲۵	۹
۲	۵/۸	۰	۰	-۱۶/۳	۱/۰۰۲	۱۰
۰	۰	۲۹/۷	۰	-۱۴/۶	۱/۰۸۲	۱۱
۷/۵	۱۱/۲	۰	۰	-۱۵/۹	۱/۰۲۷	۱۲
۰	۰	۳۳/۶۸	۰	-۱۵/۹	۱/۰۷۱	۱۳
۱/۶	۶/۲	۰	۰	-۱۶/۸	۱/۰۱	۱۴
۲/۵	۸/۲	۰	۰	-۱۶/۸	۱/۰۰۳	۱۵
۱/۸	۳/۵	۰	۰	-۱۶/۳	۱/۰۰۹	۱۶
۵/۸	۹	۰	۰	-۱۶/۵	۰/۹۹۹	۱۷
۰/۹	۳/۲	۰	۰	-۱۷/۴	۰/۹۹	۱۸
۳/۴	۹/۵	۰	۰	-۱۷/۵	۰/۹۸۶	۱۹
۰/۷	۲/۲	۰	۰	-۱۷/۳	۰/۹۸۹	۲۰
۱۱/۲	۱۷/۵	۰	۰	-۱۶/۸	۰/۹۸۹	۲۱
۰	۰	۰	۰	-۱۶/۷	۰/۹۸۹	۲۲
۱/۶	۳/۲	۰	۰	-۱۷/۱	۰/۹۸۸	۲۳
۶/۷	۸/۷	۰	۰	-۱۷/۱	۰/۹۷۶	۲۴
۰	۰	۰	۰	-۱۶/۷	۰/۹۷۷	۲۵
۲/۳	۳/۵	۰	۰	-۱۷/۲	۰/۹۵۹	۲۶
۰	۰	۰	۰	-۱۶/۲	۰/۹۸۹	۲۷
۰	۰	۰	۰	-۱۲	۱/۰۱۱	۲۸
۰/۹	۲/۴	۰	۰	-۱۷/۵	۰/۹۶۶	۲۹
۱/۹	۱۰/۶	۰	۰	-۱۸/۵	۰/۹۵۴	۳۰
۱۵۰	۳۰۰	۱۷۵/۶۲	۳۱۷	-	-	جمع

[1] P.Weï, B.Yuan, "Power Flow Tracing For Transmission Networks", International Conference On Electric Utility Deregulation And Restructuring And Power Technology, City University, London, PP.476-481, April 2000.

[2] H. Sun ,D.C.Yu, Q.Zheng , "Ac Power Flow Tracing In Transmission Networks", IEEE Transaction On .Power System, PP. 1715-1720, 2000.

[3] D. Kirschen And G. Strbac, "Tracing Active And Reactive Power Between Generators And Loads Using Real And Imaginary Currents," *IEEE*

[4] Ashutosh Tiwari, Student Member, "Modified Methodology for Tracing Power Flow" IEEE And V. Ajarapu, Senior Member, PP. 317-322, 2006.

[5] D.Daniel Kirschen, R.Ron Allan, And G.Goran Strbac, "Contributions Of Individual Generators To Loads And Flows," *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 12, PP. 52-60 , Feb 1997.

[6] Hongbo Sun, David C. Yu, Qionglin Zheng, "AC Power Flow Tracing in Transmission Networks", *IEEE And V*, PP.1715-1720 , 2000

[7] W.Min Lin, T.Sheng Zhan, C.Hui Huang, "A Circuit Theory Based Load Flow Tracing Method Considering Counter- Flow Contribution," On Instrumentation, Measurement, Circuits And Systems, Hang Zhou, China, PP. 312-317, April 2006.

[8] Hossein Zeynal, Alimorad Khajeh Zadeh, Shiva Mansoorzadeh, Khalid Mohd Nor, "Reactive Power Transfer Allocation Using Radial Equivalent Networks", *Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering* Vol. 2, No. 8, PP.409-414, August 2011.

[9] J. Bialek, "Tracing the flow of electricity," *Proc. Inst. Elect. Eng., Gen , Transm . Dist.*, vol. 143, no. 4, PP. 313-320, July 1996

[10] A. Augugliaro, L. Dusonchet, S. Favuzza, M.G. Ippolito, E. Riva Sanseverino, "A Model For Reactive Power Tracing By Addition Of Fictitious Nodal Injections", *Dipartimento Di Ingegneria Elettrica, Elettronica E Delle Telecomunicazioni - Università Di Palermo, Viale Delle Scienze, 90128 Palermo, Italy*, pp. 196-202, 2012.

جدول ۴: نتایج ردیابی توان راکتیو شبکه ۳۰ شینه IEEE

تولید شبکه	ژنراتور ۱۳	ژنراتور ۱۱	ژنراتور ۸	ژنراتور ۵	ژنراتور ۲	ژنراتور ۱	بار راکتیو	باس
۰/۶۳۷۵	۰	۰/۲۲۳	۰/۰۱۱	۰/۰۲۸۵	۱۹/۰۳	۳/۸۷	۲۳/۸	۱
۰/۴۰۲	۰	۰/۱۴۳	۰/۰۰۷	۰/۰۱۷۸	۱۲/۱۳	۰	۱۲/۷	۲
۰/۶۵۶۶	۰/۱۵۳۴	۰/۳۳۳	۰/۰۱۶۲	۰/۰۴۰۸	۰	۰	۱/۲	۳
۰/۶۷۹	۰/۲۰۴	۰/۴۴۵	۰/۰۲۱۷	۰/۰۵۴۴	۰	۰	۱/۶	۴
۰	۰	۰	۰	۱۹	۰	۰	۱۹	۵
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶
۱/۵۹۸	۰	۰	۰	۹/۳۰۲	۰	۰	۱۰/۹	۷
۲/۵۷	۰	۰	۲۷/۴۳	۰	۰	۰	۳۰	۸
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹
۰/۰۷۶	۰	۱/۹۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴۸	۰	۰	۲	۱۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱
۰	۷/۵	۰	۰	۰	۰	۰	۷/۵	۱۲
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۳
۰	۱,۶	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۶	۱۴
۰	۲,۵	۰	۰	۰	۰	۰	۲/۵	۱۵
۰	۱,۸	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۸	۱۶
۰/۰۷۲۷	۳/۹	۱/۸۲۱	۰/۰۱۶	۰/۰۰۴۶	۰	۰	۵/۸	۱۷
۰	۰/۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹	۱۸
۰/۰۵۴۳	۲	۱/۳۴۱	۰/۰۰۱۲۴	۰/۰۰۳۴	۰	۰	۳/۴	۱۹
۰/۰۲۶۶	۰	۰/۶۷۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۷	۰	۰	۰/۷	۲۰
۰/۴۲۸۲	۰	۱۰/۷۳۴	۰/۰۱۱	۰/۰۲۶۸	۰	۰	۱۱/۲	۲۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲
۰	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۶	۲۳
۰/۱۳۳۲	۳/۲۲	۳/۳۳۵	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۸۷	۰	۰	۶/۷	۲۴
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵
۱/۸۳۲۷	۰/۲۲۸۶	۰/۲۳۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۷	۰	۰	۲/۳	۲۶
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۷
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸
۰/۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹	۲۹
۱/۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۹	۳۰
۱۲/۱۵۴	۲۵/۶۰۶	۲۱/۱۹۸	۲۷/۵۰۷	۲۸/۴۹۴	۳۱/۱۶	۳/۸۷	۱۵۰	مجموع
۸/۷۱۶	۸/۰۷۴	۸/۵۰۲	۰/۲۱۸	۶/۸۳۵	۱۳/۷۳	۰/۴۳	۴۶/۵۰۵	بار شبکه

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول ۵: پارامترهای شبکه ۳۰ شینه IEEE

از شین	به شین	R	X	b	از شین	به شین	R	X	b
۱	۲	۰/۰۱۹۲	۰/۰۵۷۵	۰/۰۲۶۴	۱۵	۱۸	۰/۱۰۷۳	۰/۲۱۸۵	۰
۲	۴	۰/۰۵۷	۰/۱۷۳۷	۰/۰۱۸۴	۱۸	۱۹	۰/۰۶۳۹	۰/۱۲۹۲	۰
۳	۴	۰/۰۱۳۲	۰/۰۳۷۹	۰/۰۰۴۲	۱۹	۲۰	۰/۰۳۴	۰/۰۶۸	۰
۲	۵	۰/۰۴۷۲	۰/۱۹۸۳	۰/۰۲۰۹	۱۰	۲۰	۰/۰۹۳۶	۰/۲۰۹	۰
۲	۶	۰/۰۵۸۱	۰/۱۷۶۳	۰/۰۱۸۷	۱۰	۱۷	۰/۰۳۲۴	۰/۰۸۴۵	۰
۴	۶	۰/۰۱۱۹	۰/۰۴۱۴	۰/۰۰۴۵	۱۰	۲۱	۰/۰۳۴۸	۰/۰۷۴۹	۰
۵	۷	۰/۰۴۶	۰/۱۱۶	۰/۰۱۰۲	۱۰	۲۲	۰/۰۷۲۷	۰/۱۴۵	۰
۶	۷	۰/۰۲۶۷	۰/۰۸۲	۰/۰۰۸۵	۲۱	۲۲	۰/۰۱۱۶	۰/۰۲۳۶	۰
۶	۸	۰/۰۱۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۴۵	۱۵	۲۳	۰/۱	۰/۲۰۲	۰
۶	۹	۰	۰/۲۰۸	۰	۲۲	۲۴	۰/۱۱۵	۰/۱۷۹	۰
۶	۱۰	۰	۰/۵۵۶	۰	۲۳	۲۴	۰/۱۳۲	۰/۲۷	۰
۹	۱۱	۰	۰/۲۰۸	۰	۲۴	۲۵	۰/۱۸۸۵	۰/۳۲۹۲	۰
۹	۱۰	۰	۰/۱۱	۰	۲۵	۲۶	۰/۲۵۴۴	۰/۳۸	۰
۴	۱۲	۰	۰/۲۵۶	۰	۲۵	۲۷	۰/۱۰۹۳	۰/۲۰۸۷	۰
۱۲	۱۳	۰	۰/۱۴	۰	۲۸	۲۷	۰	۰/۳۹۶	۰
۱۲	۱۴	۰/۱۲۳۱	۰/۲۵۵۹	۰	۲۷	۲۹	۰/۲۱۹۸	۰/۴۱۵۳	۰
۱۲	۱۵	۰/۰۶۶۲	۰/۱۳۰۴	۰	۲۷	۳۰	۰/۳۲۰۲	۰/۶۰۲۷	۰
۱۲	۱۶	۰/۰۹۴۵	۰/۱۹۸۷	۰	۲۹	۳۰	۰/۲۳۹۹	۰/۴۵۳۳	۰
۱۴	۱۵	۰/۲۲۱	۰/۱۹۹۷	۰	۸	۲۸	۰/۰۶۳۶	۰/۲	۰/۰۲۱۴
۱۶	۱۷	۰/۰۸۲۴	۰/۱۹۲۳	۰	۶	۲۸	۰/۰۱۶۹	۰/۰۵۹۹	۰/۰۶۵