

مقایسه مکان‌یابی بهینه کنترل‌کننده یکپارچه توان (UPFC) و جابجاگر فاز (PST) با حضور پیشامد مرتبه اول و در نظر گرفتن رتبه‌بندی پیشامدها

محمد آلاله^{*}، افشین لشکرآرا^۲، حسن براتی^۳

* ۱- کارشناس ارشد برق، گروه برق، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول،

mohammad_alaleh@yahoo.com

۲- استادیار، گروه برق، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، Lashkarara@iust.ac.ir

۳- استادیار، گروه برق، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، barati216@gmail.com

چکیده: سیستم‌های قدرت در معرض پیشامدهای متعددی قرار دارند. این پیشامدها می‌توانند اثرات مختلفی را بر روی شبکه بگذارند. بنابراین لازم است که این پیشامدها مورد مطالعه قرار گیرند. این مقاله یک دیدگاه جدید به منظور مکان‌یابی بهینه کنترل‌کننده یکپارچه توان (UPFC) و جابجاگرافاز (PST) با در نظر گرفتن پیشامد مرتبه اول با خروج خط ارائه می‌کند. تابع هدف حداقل کردن میانگین بارپذیری روی خطوط پربار انتخاب شده است. مساله بهینه‌سازی در قالب برنامه ریزی غیرخطی (NLP) با استفاده از نرم افزارهای MATLAB و GAMS روی شبکه استاندارد ۳۰ شینه IEEE انجام شده است. در این دیدگاه رتبه‌بندی پیشامدها و همچنین مقایسه بین ادوات UPFC و PST صورت گرفته است. نتایج شبیه‌سازی تاثیر دیدگاه پیشنهاد شده بر روی افزایش امنیت سیستم و کاهش میانگین بار پذیری تحت پیشامد مرتبه اول با خروج خط را نشان خواهد داد.

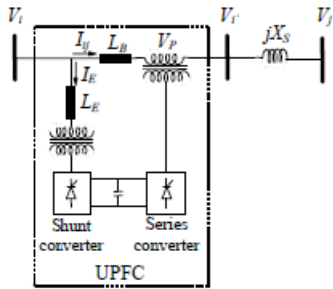
واژه‌های کلیدی: UPFC، PST، مکان‌یابی بهینه، پیشامد مرتبه اول، رتبه‌بندی پیشامدها.

مکانیکی و یا استاتیکی کنترل می‌شود [۲]. همچنین در یک سیستم قدرت پیشامدهای بسیاری ممکن است اتفاق بیفتد. این پیشامدها هر یک با درجه احتمال مشخص، می‌توانند اثرات مختلفی را بر روی شبکه بگذارند. در این مقاله از میان پیشامدهای احتمالی، پیشامد مرتبه اول با خروج خط^۳ که در آن خروج یک خط از سیستم مدنظر خواهد بود مورد توجه قرار گرفته است. روش بررسی پیشامد پس از انتخاب آن و تعیین تابع هدف مورد نظر، رتبه‌بندی پیشامدها^۴ بر اساس شدت آن می‌باشد. در این فضای عملیاتی یکی از وظایف اساسی اپراتورهای مرکز کنترل رتبه‌بندی این پیشامدها بر اساس میزان خطرناک بودن و نیز احتمال وقوع آنها می‌باشد. این کار باعث می‌شود که توجه اپراتور به اغتشاشات خطرناک‌تر جلب شده و در نتیجه روشهای پیشگیرانه و اصلاحی برای مقابله با این اغتشاشات اعمال گردد. یک برنامه ریزی خطی (LP) بر روی OPF برای کنترل FACTS تصحیحی به منظور

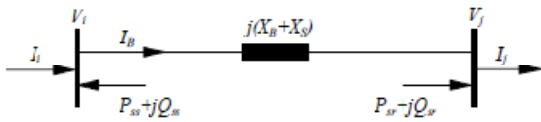
۱- مقدمه

UPFC^۱ یکی از قوی‌ترین جبرانسازهای سیستم قدرت است که از دو مبدل منبع ولتاژ که به صورت پشت به پشت توسط یک باس DC به هم وصل شده اند، تشکیل شده است. یکی از مبدل‌ها توسط یک ترانسفورماتور به صورت موازی و مبدل دیگر توسط یک ترانسفورماتور به صورت سری وصل می‌شود. UPFC به واسطه سیستم‌های کنترلی پیشرفته می‌تواند جبرانسازی موازی، سری و تغییر فاز خط انتقال را به صورت همزمان انجام دهد و بر هر سه پارامتر خط انتقال تاثیر بگذارد [۱]. PST^۲ یکی دیگر از جبرانسازهای سیستم قدرت می‌باشد. وظیفه اصلی PST این است که ولتاژی را بصورت سری از طریق ترانسفورماتور تزریق، به خط انتقال تزریق کند. این ولتاژ توسط ترانسفورماتور تحریک تأمین شده و دامنه و فاز آن توسط کلیدهای

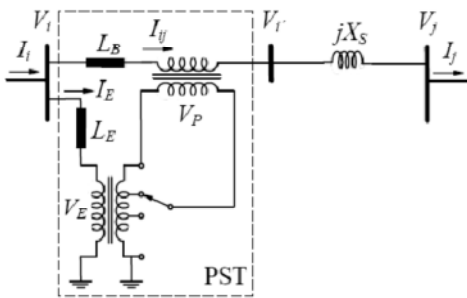
k نسبت تبدیل ولتاژ تزریقی PST و σ زاویه فاز PST می‌باشد. در این مقاله $k = \tan \sigma$ و عملکرد جابجای فاز همانند یک بوستر عمودی در نظر گرفته می‌شود.



شکل (۱): دیاگرام شماتیکی UPFC



شکل (۲): مدل تزریق توان UPFC



شکل (۳): دیاگرام شماتیکی PST

۴- فرمول بندی پخش توان

با توجه به اینکه ۹۹ درصد زمان عملکرد سیستم با حداقل کردن تلفات اکتیو شبکه می‌باشد [۷]، بنابراین ابتدا OPF با حداقل کردن تلفات اکتیو شبکه بدون حضور هیچ عنصر FACTS در سیستم انجام خواهد شد. سپس پیشامدهای سیستم با خروج یک خط به ترتیب اعمال می‌گردد. در مرحله بعد عنصر FACTS به شبکه اضافه گردیده و بهترین مکان نصب عنصر مورد نظر از لحاظ تابع هدف با انجام پخش بار AC (PF) بدست آورده خواهد شد. با توجه به اینکه سرعت حل در هنگام وقوع پیشامد از اهمیت خاصی برخوردار بوده پخش بار AC مورد استفاده قرار خواهد گرفت [۸]. در این الگوریتم از عناصر UPFC و PST استفاده شده است.

جبران اضافه بار و تخطی ولتاژ با در نظر گرفتن پیشامدهای سیستم با استفاده از UPFC در [۳] بررسی شده است. بررسی مکان مناسب UPFC برای بهبود امنیت سیستم تحت شرایط عادی و پیشامدهای سیستم با استفاده از روش فازی در [۴] بیان شده است. مرجع [۵] به تکنیک‌های بهینه سازی تکاملی برای جایابی بهینه TCSC و تنظیم پارامترها تحت پیشامد خروج خط پرداخته است. مرجع [۶] بررسی مکان بهینه STATCOM و SVC بر روی پایداری ولتاژ در شرایط پیشامدهای سیستم با استفاده از روش CPF می‌پردازد.

در این مقاله عملکرد UPFC و PST با مکان یابی بهینه آن‌ها در کاهش میانگین بار پذیری روی خطوط پربار در شبکه استاندارد ۳۰ شینه IEEE انجام شده و مقایسه بین ادوات مذکور صورت گرفته است. در روند این مقاله ابتدا مدل UPFC و PST ارائه شده، سپس فرمول بندی پخش توان بیان می‌گردد. در ادامه الگوریتم پیشنهادی بر روی سیستم مطالعاتی ۳۰ شین استاندارد IEEE انجام شده و نتایج بدست آمده مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.

۲- مدل UPFC

شماتیک اصلی UPFC در شکل (۱) نشان داده شده است. مدل تزریق توان UPFC نیز در شکل (۲) نمایش داده شده است.

$$P_{ss} = -b_s r V_i V_j \sin(\theta_i - \theta_j + \gamma) \quad (1)$$

$$P_{sr} = -P_{ss} \quad (2)$$

$$Q_{ss} = -b_s r V_i^2 (r + 2 \cos(\gamma)) + b_s r V_i V_j \cos(\theta_i - \theta_j + \gamma) \quad (3)$$

$$Q_{sr} = +b_s r V_i V_j \cos(\theta_i - \theta_j + \gamma) \quad (4)$$

P_{ss} و Q_{ss} به ترتیب توان‌های اکتیو و راکتیو تزریقی به شین i و P_{sr} و Q_{sr} به ترتیب توان اکتیو و راکتیو تزریقی به شین j می‌باشند. شعاع r محدوده عملکردی UPFC، γ زاویه فاز UPFC، X_B راکتانس ترانسفورماتور تزریق، X_S راکتانس خط انتقال، V_i و θ_i دامنه و زاویه ولتاژ در شین i ، V_j و θ_j دامنه و زاویه ولتاژ در شین j برابر b_s می‌باشد.

۳- مدل PST

شماتیک اصلی PST در شکل (۳) نشان داده شده است. مدل تزریق توان PST نیز همانند مدل تزریق توان UPFC در شکل (۲) می‌باشد.

$$P_{ss} = -b_s k V_i V_j \sin(\theta_i - \theta_j + \sigma) \quad (5)$$

$$P_{sr} = -P_{ss} \quad (6)$$

$$Q_{ss} = -b_s k V_i^2 (k + 2 \cos(\sigma)) + b_s k V_i V_j \cos(\theta_i - \theta_j + \sigma) \quad (7)$$

$$Q_{sr} = b_s k V_i V_j \cos(\theta_i - \theta_j + \sigma) \quad (8)$$

۴-۱- تابع هدف

انتخاب تابع هدف بایستی بر اساس تحلیل دقیقی از امنیت سیستم قدرت باشد. با توجه به اینکه تحت شرایط اضطراری امنیت سیستم اهمیت زیادی دارد از این رو تابع هدف، حداقل کردن میانگین بار پذیری روی خطوط انتقال پربار انتخاب شده است. چنانچه در رابطه زیر نشان داده شده میانگین بارپذیری روی کل خطوط برابر است با [۳]:

$$\min z = \frac{1}{nl} \sum_{i=1}^{nl} \frac{MVA_i}{MVA_{i,max}} \quad (9)$$

nl تعداد کل خطوط انتقال، $MVA_{i,max}$ ماکزیمم توان ظاهری روی خط i و MVA_i توان ظاهری روی خط i می‌باشد. در حقیقت، توان ظاهری روی خط انتقال i شامل توان ظاهری از ترمینال ارسال تا ترمینال دریافت، MVA_{if} ، و توان ظاهری از ترمینال دریافت تا ترمینال ارسال، MVA_{it} ، می‌باشد بنابراین در تابع هدف MVA_i این چنین تعریف می‌شود:

$$MVA_i = \frac{1}{2}(MVA_{if} + MVA_{it}) \quad (10)$$

در نتیجه تابع هدف می‌تواند این چنین بازنویسی شود:

$$\min z = \frac{1}{2nl} \sum_{i=1}^{nl} \frac{(MVA_{if} + MVA_{it})}{MVA_{i,max}} \quad (11)$$

با توجه به اینکه در این مقاله میانگین بارپذیری روی خطوط پربار مدنظر می‌باشد پس در نهایت تابع هدف این چنین بازنویسی می‌شود:

$$\min z = \frac{1}{2nh} \sum_{i \in NH} \frac{(MVA_{if} + MVA_{it})}{MVA_{i,max}} \quad (12)$$

که nh تعداد خطوط پربار بوده که بارپذیری آن‌ها بزرگتر از شاخص بارپذیری می‌باشد و NH شاخص خطوط پربار می‌باشد. معمولاً شاخص بارپذیری ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

۴-۲- قیود تساوی

قیود تساوی در OPF معادلات تساوی توان‌های اکتیو و راکتیو می‌باشند [۹].

$$P_{Gi} = P_{Di} + \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos(\alpha_{ij} + \theta_j - \theta_i) \quad (13)$$

$$\forall i \in 1, 2, \dots, n$$

$$Q_{Gi} = Q_{Di} + \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin(\alpha_{ij} + \theta_j - \theta_i) \quad (14)$$

$$\forall i \in 1, 2, \dots, n$$

با اضافه کردن عنصر FACTS معادلات پخش توان PF به صورت زیر اصلاح می‌شوند [۱۰].

$$P_{Gi} + P_{FACTSi} = P_{Di} + \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos(\alpha_{ij} + \theta_j - \theta_i) \quad (15)$$

$$\forall i \in 1, 2, \dots, n$$

$$Q_{Gi} + Q_{FACTSi} = Q_{Di} + \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin(\alpha_{ij} + \theta_j - \theta_i) \quad (16)$$

$$\forall i \in 1, 2, \dots, n$$

۴-۳- قیود نامساوی

قیود نامساوی در OPF شامل محدودیت‌های تولید، بار و شبکه می‌باشد [۱۰].

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad \forall i \in NG \quad (17)$$

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max} \quad \forall i \in NG \quad (18)$$

$$|V_i^{\min}| \leq |V_i| \leq |V_i^{\max}| \quad \forall i \in n \quad (19)$$

$$|S_l| \leq |S_l^{\max}| \quad \forall l \in 1, 2, \dots, NL \quad (20)$$

قیود نامساوی PF در این الگوریتم، محدودیت‌های تولید، حدود عملیاتی و پارامترهای FACTS می‌باشند. پس علاوه بر محدودیت‌های تولید که در بالا بیان شده است محدودیت‌های عملیاتی و پارامترهای UPFC و PST به صورت زیر می‌باشند.

حداکثر توان تزریقی FACTS:

$$|S_{FACTS}| \leq S_{FACTS}^{\max} \quad (21)$$

محدوده متغیرهای UPFC:

$$-\pi \leq \gamma \leq \pi \quad (22)$$

$$0 \leq r \leq r_{\max} \quad (23)$$

محدوده متغیر PST:

$$-30^\circ \leq \sigma \leq 30^\circ \quad (24)$$

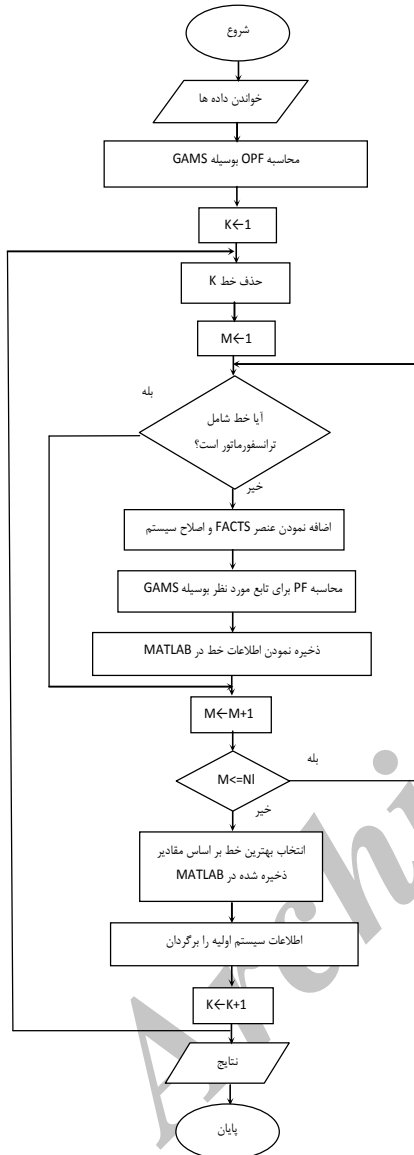
در روابط قیود تساوی و نامساوی، P_{Gi} و Q_{Gi} توان‌های اکتیو و راکتیو تولیدی در شین i ، P_{Di} و Q_{Di} توان‌های اکتیو و راکتیو تقاضا شده در شین i ، Y_{ij} و α_{ij} اندازه و زاویه ماتریس ادمیتانس بین شین‌های i و j ، S_l توان ظاهری عبوری خط انتقال l ، P_{FACTSi} توان اکتیو تزریق شده عنصر FACTS در شین i ، Q_{FACTSi} توان راکتیو تزریق شده عنصر FACTS در شین i ، n تعداد شین‌ها، NG تعداد ژنراتورها و NL تعداد خطوط انتقال می‌باشند.

در رابطه (۲۱) حداکثر توان تزریقی ادوات UPFC و PST، ۱۰۰ MVA در نظر گرفته شده است.

۵- الگوریتم پیشنهادی

در این الگوریتم پخش بار بهینه (OPF) با حداقل کردن تلفات اکتیو شبکه توسط نرم افزار MATLAB و GAMS که با آن لینک شده انجام گرفته شده است. سپس در این شرایط به ازای خروج هر یک از خطوط سیستم، عنصر FACTS اضافه شده و بهترین مکان برای حداقل کردن میانگین بارپذیری خطوط پربار با انجام PF توسط نرم افزارهای ذکر شده بدست آورده می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی نرم افزار GAMS در نقش یک واسط عمل کرده که داده‌های شبکه را پس از آماده‌سازی توسط نرم افزار MATLAB، دریافت نموده و به حل

است. از نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که در الگوریتم پیشنهادی عنصر UPFC به ازای هر یک از پیشامدهای رخ داده در سیستم ۳۰ شین استاندارد IEEE عملکردی بهتر نسبت به عنصر PST در کاهش میانگین بارپذیری خطوط پر بار در پیشامد مرتبه اول با خروج خط داشته و می‌تواند امنیت سیستم را در این شرایط بیشتر افزایش دهد.



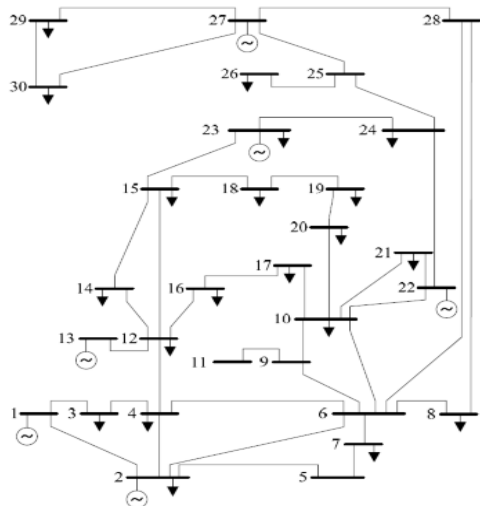
شکل (۵): الگوریتم پیشنهادی

به عنوان نمونه برای خطرناک‌ترین پیشامد که به ازای خروج خط ۱-۲ می‌باشد میانگین بارپذیری خطوط پر بار ۰/۹۹۶۸ می‌باشد که با حضور عنصر UPFC این مقدار به ۰/۷۰۸۲ و در حضور عنصر PST این مقدار به ۰/۷۹۲۸ کاهش می‌یابد. در نظر گرفتن رتبه بندی پیشامدها نیز باعث توجه بیشتر اپراتور به اغتشاشات خطرناک‌تر و در نتیجه انجام روشهای پیشگیرانه برای مقابله با این اغتشاشات می‌گردد.

مسئله بهینه‌سازی در قالب برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) به کمک حل‌کننده CONOPT می‌پردازد. میانگین بارپذیری خطوط پر بار به ازای خروج هر یک از خطوط و پس از قرار دادن مکان بهینه عنصر FACTS در هر بار خروج خط به همراه مکان بهینه و پارامترهای FACTS در جداول (۱) و (۲) نشان داده شده‌اند. الگوریتم پیشنهادی نیز در شکل (۵) نشان داده شده است.

در این الگوریتم میانگین بارپذیری خطوطی مورد بررسی قرار گرفته که هم دارای مقاومت و هم راکتانس باشند. در پایان رتبه بندی پیشامدها بر اساس تابع هدف (میانگین بارپذیری روی خطوط انتقال پر بار) صورت گرفته است. بدین صورت که پیشامدهایی از سیستم که میانگین بارپذیری روی خطوط انتقال پر بار بیشتر باشد در رتبه های بالاتر قرار خواهند گرفت. این کار باعث می‌شود که توجه اپراتور به اغتشاشات خطرناک‌تر جلب شود و در نتیجه روشهای پیشگیرانه برای مقابله با این اغتشاشات اعمال گردد.

الگوریتم پیشنهادی در سیستم ۳۰ شین استاندارد IEEE انجام گرفته و داده های شبکه از [۱۱] استخراج شده است. این شبکه دارای ۳۰ شین، ۴۱ خط و ۶ ژنراتور بر روی شین‌های ۱، ۲، ۵، ۸، ۱۱ و ۱۳ می‌باشد. شبکه ۳۰ شین استاندارد IEEE در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴): سیستم استاندارد ۳۰ شین IEEE

در الگوریتم بالا، k شاخص هر یک از خطوط انتقال جهت خارج شدن، M شاخص هر یک از خطوط انتقال جهت مکان‌یابی بهینه و NL نیز تعداد کل خطوط انتقال می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در یک سیستم قدرت پیشامدهای بسیاری ممکن است اتفاق بیافتند. بنابراین لازم است که این پیشامدها مورد مطالعه قرار گیرند. در این مقاله بهترین مکان ادوات UPFC و PST به منظور حداقل کردن میانگین بارپذیری خطوط پر بار به ازای پیشامد مرتبه اول با خروج خط انتخاب شده و رتبه بندی پیشامدها بر اساس تابع هدف صورت گرفته

ضمایم

جدول (۱): میانگین بارپذیری خطوط پربار به ازای خروج هر خط در حالت بدون UPFC و با UPFC به‌مراه مکان و پارامترهای آن

رتبه	پارامترهای UPFC	مکان بهینه UPFC	میانگین بارپذیری با UPFC	میانگین بارپذیری بدون UPFC	خروج خط	
۱	$\Gamma=0/11718$	$\gamma^0 = -74/577$	۵-۷	۰/۷۰۸۲	۰/۹۹۶۸	۱-۲
۲	$\Gamma=0/11881$	$\gamma^0 = -86/819$	۲-۶	۰/۶۰۸۶	۰/۷۹۸۵	۳-۴
۳	$\Gamma=0/11526$	$\gamma^0 = 0$	۹-۱۰	۰/۶۴۱۸	۰/۷۹۲۵	۲-۵
۴	$\Gamma=0/10773$	$\gamma^0 = -86/544$	۲-۵	۰/۶۹۶۹	۰/۷۳۲۶	۴-۶
۵	$\Gamma=0/10255$	$\gamma^0 = 0$	۶-۱۰	۰/۶۱۸۶	۰/۷۱۱۵	۱-۳
۶	$\Gamma=0/10094$	$\gamma^0 = -109/657$	۱۵-۱۸	۰/۶۲۲۸	۰/۷۰۴۹	۱۰-۲۰
۷	$\Gamma=0/11155$	$\gamma^0 = 95/723$	۲-۶	۰/۶۵۸۵	۰/۶۹۱۳	۶-۷
۸	$\Gamma=0/10586$	$\gamma^0 = 110/638$	۲-۴	۰/۶۴۴۱	۰/۶۶۶۶	۲۷-۳۰
۹	$\Gamma=0/10171$	$\gamma^0 = 69/981$	۱۶-۱۷	۰/۶۲۶۲	۰/۶۶۳۰	۱۹-۲۰
۱۰	$\Gamma=0/10136$	$\gamma^0 = -96/040$	۲۸-۲۷	۰/۶۴۴۵	۰/۶۶۲۹	۱۰-۲۲
۱۱	$\Gamma=0/10034$	$\gamma^0 = -61/608$	۲۸-۲۷	۰/۶۳۸۲	۰/۶۶۰۶	۲۷-۲۹
۱۲	$\Gamma=0/10028$	$\gamma^0 = -53/707$	۲۷-۲۹	۰/۶۴۴۷	۰/۶۵۷۸	۱۲-۱۴
۱۳	$\Gamma=0/10268$	$\gamma^0 = -80/843$	۴-۶	۰/۶۱۳۲	۰/۶۴۷۰	۶-۸
۱۴	$\Gamma=0/10072$	$\gamma^0 = -61/821$	۲۷-۲۹	۰/۶۱۷۶	۰/۶۳۷۵	۵-۷
۱۵	$\Gamma=0/10276$	$\gamma^0 = 0$	۶-۹	۰/۶۲۶۷	۰/۶۳۷۳	۶-۲۸
۱۶	$\Gamma=0/10030$	$\gamma^0 = -69/583$	۲۸-۲۷	۰/۶۲۵۲	۰/۶۳۶۷	۲۹-۳۰
۱۷	$\Gamma=0/10081$	$\gamma^0 = 41/072$	۱۰-۱۷	۰/۶۲۰۷	۰/۶۳۶۵	۲۱-۲۲
۱۸	$\Gamma=0/10030$	$\gamma^0 = -69/870$	۲۷-۲۹	۰/۶۲۲۱	۰/۶۳۳۶	۱۴-۱۵
۱۹	$\Gamma=0/10270$	$\gamma^0 = 26/156$	۶-۱۰	۰/۶۱۷۲	۰/۶۳۱۳	۲-۴
۲۰	$\Gamma=0/10246$	$\gamma^0 = -92/483$	۲۸-۲۷	۰/۶۰۷۴	۰/۶۲۹۴	۲۲-۲۴
۲۱	$\Gamma=0/10628$	$\gamma^0 = 110/034$	۲-۴	۰/۶۱۲۸	۰/۶۲۹۰	۱۶-۱۷
۲۲	$\Gamma=0/10416$	$\gamma^0 = 111/194$	۲-۴	۰/۶۲۲۶	۰/۶۲۷۵	۱۰-۲۱
۲۳	$\Gamma=0/10159$	$\gamma^0 = -94/136$	۲۸-۲۷	۰/۶۱۲۰	۰/۶۲۶۸	۲۴-۲۵
۲۴	$\Gamma=0/10297$	$\gamma^0 = -112/309$	۱۵-۱۸	۰/۵۹۸۷	۰/۶۲۱۷	۲۵-۲۷
۲۵	$\Gamma=0/10637$	$\gamma^0 = -86/556$	۲-۵	۰/۵۹۳۶	۰/۶۲۰۵	۱۲-۱۶
۲۶	$\Gamma=0/10022$	$\gamma^0 = -11649$	۲۸-۲۷	۰/۶۰۷۲	۰/۶۱۸۸	۸-۲۸
۲۷	$\Gamma=0/10764$	$\gamma^0 = -82/748$	۱-۲	۰/۶۰۳۰	۰/۶۱۶۰	۱۰-۱۷
۲۸	$\Gamma=0/10476$	$\gamma^0 = -38/695$	۶-۱۰	۰/۶۰۳۵	۰/۶۱۵۴	۱۸-۱۹
۲۹	$\Gamma=0/10217$	$\gamma^0 = 53/074$	۱۵-۱۸	۰/۶۰۰۶	۰/۶۱۰۹	۲۳-۲۴
۳۰	$\Gamma=0/10088$	$\gamma^0 = 0$	۶-۹	۰/۵۹۸۰	۰/۶۰۶۸	۱۵-۲۳
۳۱	$\Gamma=0/10623$	$\gamma^0 = -90/669$	۲-۵	۰/۵۹۸۴	۰/۶۰۵۸	۱۲-۱۵
۳۲	$\Gamma=0/10610$	$\gamma^0 = -101/635$	۲-۵	۰/۵۸۲۱	۰/۵۹۲۵	۱۵-۱۸
۳۳	$\Gamma=0/10117$	$\gamma^0 = 48/606$	۱-۲	۰/۵۶۰۴	۰/۵۷۱۲	۲-۶

جدول (۲): میانگین بارپذیری خطوط پربار به ازای خروج هر خط در حالت بدون PST و با PST به همراه مکان و پارامتر آن

رتبه	پارامتر PST	مکان بهینه PST	میانگین بارپذیری PST با	میانگین بارپذیری PST بدون	خروج خط
۱	$\sigma^0 = 0.11870$	۶-۸	۰/۷۹۲۸	۰/۹۹۶۸	۱-۲
۲	$\sigma^0 = 1.5841$	۶-۱۰	۰/۶۷۲۳	۰/۷۹۸۵	۳-۴
۳	$\sigma^0 = 1.5075$	۶-۱۰	۰/۷۳۵۹	۰/۷۹۲۵	۲-۵
۴	$\sigma^0 = 0.4186$	۶-۱۰	۰/۷۱۱۰	۰/۷۳۲۶	۴-۶
۵	$\sigma^0 = 1.4366$	۶-۱۰	۰/۶۳۲۲	۰/۷۱۱۵	۱-۳
۶	$\sigma^0 = -0.1110$	۱۵-۱۸	۰/۶۹۰۸	۰/۷۰۴۹	۱۰-۲۰
۷	$\sigma^0 = -1.3725$	۶-۹	۰/۶۸۶۶	۰/۶۹۱۳	۶-۷
۸	$\sigma^0 = -3.0829$	۱۰-۲۰	۰/۶۵۵۹	۰/۶۶۶۶	۲۷-۳۰
۹	$\sigma^0 = 0.7071$	۱۲-۱۶	۰/۶۵۶۸	۰/۶۶۳۰	۱۹-۲۰
۱۰	$\sigma^0 = -0.1826$	۱۰-۲۰	۰/۶۴۵۸	۰/۶۶۲۹	۱۰-۲۲
۱۱	$\sigma^0 = -2.6059$	۱۰-۲۰	۰/۶۵۰۷	۰/۶۶۰۶	۲۷-۲۹
۱۲	$\sigma^0 = -4.9032$	۲۵-۲۶	۰/۶۴۹۳	۰/۶۵۷۸	۱۲-۱۴
۱۳	$\sigma^0 = -0.8311$	۱۰-۲۰	۰/۶۳۸۸	۰/۶۴۷۰	۶-۸
۱۴	$\sigma^0 = -2.0950$	۶-۸	۰/۶۲۷۰	۰/۶۳۷۵	۵-۷
۱۵	$\sigma^0 = 1.5841$	۶-۹	۰/۶۲۶۷	۰/۶۳۷۳	۶-۲۸
۱۶	$\sigma^0 = -0.6605$	۱۶-۱۷	۰/۶۲۷۶	۰/۶۳۶۷	۲۹-۳۰
۱۷	$\sigma^0 = -0.5423$	۱۹-۲۰	۰/۶۲۲۴	۰/۶۳۶۵	۲۱-۲۲
۱۸	$\sigma^0 = -0.1594$	۱۰-۱۷	۰/۶۲۲۷	۰/۶۳۲۶	۱۴-۱۵
۱۹	$\sigma^0 = 1.4051$	۶-۱۰	۰/۶۱۷۲	۰/۶۳۱۳	۲-۴
۲۰	$\sigma^0 = -0.8273$	۱۰-۲۲	۰/۶۲۶۵	۰/۶۲۹۴	۲۲-۲۴
۲۱	$\sigma^0 = -0.7311$	۱۸-۱۹	۰/۶۱۳۱	۰/۶۲۹۰	۱۶-۱۷
۲۲	$\sigma^0 = -1.9668$	۱۹-۲۰	۰/۶۲۶۸	۰/۶۲۷۵	۱۰-۲۱
۲۳	$\sigma^0 = -1.4181$	۲۲-۲۴	۰/۶۱۵۶	۰/۶۲۶۸	۲۴-۲۵
۲۴	$\sigma^0 = -0.3451$	۱۹-۲۰	۰/۶۱۵۵	۰/۶۲۱۷	۲۵-۲۷
۲۵	$\sigma^0 = -2.8071$	۹-۱۰	۰/۵۹۸۰	۰/۶۲۰۵	۱۲-۱۶
۲۶	$\sigma^0 = -0.0932$	۶-۸	۰/۶۱۱۲	۰/۶۱۸۸	۸-۲۸
۲۷	$\sigma^0 = -0.6735$	۱۲-۱۵	۰/۶۱۳۳	۰/۶۱۶۰	۱۰-۱۷
۲۸	$\sigma^0 = 2.9552$	۱۰-۲۱	۰/۶۰۴۲	۰/۶۱۵۴	۱۸-۱۹
۲۹	$\sigma^0 = -1.2347$	۲۴-۲۵	۰/۶۰۳۵	۰/۶۱۰۹	۲۳-۲۴
۳۰	$\sigma^0 = -0.0610$	۶-۸	۰/۶۰۶۴	۰/۶۰۶۸	۱۵-۲۳
۳۱	$\sigma^0 = -0.1478$	۶-۸	۰/۶۰۳۴	۰/۶۰۵۸	۱۲-۱۵
۳۲	$\sigma^0 = -0.5554$	۶-۸	۰/۵۸۳۳	۰/۵۹۲۵	۱۵-۱۸
۳۳	$\sigma^0 = -2.4711$	۲-۵	۰/۵۷۰۴	۰/۵۷۱۲	۲-۶

کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای خود را در سالهای (۱۳۷۴)، (۱۳۸۰) و (۱۳۸۹) بترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشگاه مازندران و دانشگاه علم و صنعت ایران در رشته مهندسی برق - قدرت اخذ نموده است. ایشان هم اکنون عضو انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا (IEEE) و از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های قدرت، پایداری و کنترل و ادوات FACTS می‌باشد.



حسن براتی در شهرستان دزفول متولد شد. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک از دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۷۱)، کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت از دانشگاه تبریز

(۱۳۷۵) و دکترای مهندسی برق - قدرت از واحد علوم و تحقیقات تهران (۱۳۸۶) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی ایشان در زمینه تجدید ساختار در صنعت برق، ادوات FACTS، قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت می‌باشد و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشد.

زیر نویس‌ها

- ¹ Unified Power Flow Controller
- ² Phase Shifter Transformer
- ³ Single Line Contingency (N-1 Contingency)
- ⁴ Contingency Ranking

- [1] L. Gyugyi, C. D. Schauder, S. L. Williams, T. R. Rietman, D. R. Torgerson, and A. Edris, "The unified power flow controller: A new approach to power transmission control", IEEE Trans. Power Del., Vol. 10, No. 2, pp. 1085-1097, 1995.
- [2] M. Nicklas Johansson, "Control of Dynamically Assisted Phaseshifting Transformers", Royal Institute of Technology School of Electrical Engineering Division of Electrical Machines and Power Electronics, Stockholm 2008.
- [3] Wei Shao, Vijay Vittal, "LP-Based OPF for Corrective FACTS Control to Relieve Overloads and Voltage Violations" IEEE Trans. Power Syst., Vol. 21, No. 4, pp. 1832-1839, 2006.
- [4] K. Visakha, D. Thukaram, Lawrence Jenkins, "Application of UPFC for System Security Improvement Under Normal and Network Contingencies" Electric Power Systems Research, pp. 46-55, 2004.
- [5] G.I. Rashed, H.I. Shaheen, X.Z. Duan, S.J. Cheng, "Evolutionary Optimization Techniques for Optimal Location and Parameter Setting of TCSC Under Single Line Contingency" Applied Mathematics and Computation, pp. 133-147, 2008.
- [6] M. Joorabian, F. Larki, H. Meshgin Kelk, M. Pishvaei, A. Johar, "Optimal Location of STATCOM and SVC Based on Contingency Voltage Stability by Using Continuation Power Flow: Case Studies of Khuzestan Power Networks in Iran" International Conference on Computer and Electrical Engineering, pp. 179-183, 2009.
- [7] R. Grunbaum, P. Lundberg, G. Stromberg, B. Berggren, "Congestion Relief", Energy Efficient Grids, ABB Review, 2007.
- [8] A.J. Wood, B.F. Woolenber, "Power Generation, Operation and Control", Wiley 1996.
- [9] A. Lashkar Ara, A. Kazemi, S.A. Nabavi Niaki, "Modelling of Optimal Unified Power Flow Controller (OUPFC) for optimal steady-state performance of power systems" Energy Conversion and Management, Vol. 52, No. 2, pp. 1325-1333, 2011.
- [10] R. Palma-Behnke, L.S. Vargas, J.R. Perez, J.D. Nunez, R.A. Torres, "OPF With SVC and UPFC Modeling for Longitudinal Systems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, No. 4, pp. 1742-1753, 2004.
- [11] Power system test case, the university of Washington archive, <http://www.ee.washington.edu/research/pstca2000>

رزومه



محمد آلاله در سال (۱۳۶۵) در دزفول متولد شد. مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در سالهای (۱۳۸۷) و (۱۳۹۰) از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول در رشته مهندسی برق - قدرت اخذ نموده است.

زمینه تحقیقاتی ایشان آنالیز سیستم قدرت و ادوات FACTS می‌باشد و در حال حاضر با گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول مشغول به همکاری می‌باشد.



افشین لشکرآرا در سال (۱۳۵۲) در تهران متولد شد. مدارک