تأثیر مدل‌سازی جبران‌کننده توان راکتیو استاتیکی بر ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت

سیاوش عباسی[۱،۴]، غضنفر شاهقلیان *[۲،۴]، مجید معظمی[۳،۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
*۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، shahgholian@iaun.ac.ir
۳- استادیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، m_moazzami@pel.iaun.ac.ir
۴- مرکز تحقیقات ریزشبکه‌های هوشمند، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲

چکیده: یکی از موارد مهم مورد نیاز برای کارکرد درست سیستم قدرت در شرایط طبیعی و شرایط بحرانی، ذخیره کافی توان راکتیو است. طراحی و کاربرد تجهیزات توان راکتیو نقش بسیار مهمی در حفظ عملکرد بهینه قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت دارند. با رشد روز افزون کاربرد جبران‌کننده‌های استاتیکی در سیستم‌های انرژی، بررسی تأثیر آن‌ها بر شاخص‌های عملکرد سیستم به مراتب از اهمیت زیادی برخوردار شده است. در این مقاله نقش اجزای مختلف یک جبران‌کننده وار استاتیکی (SVC) بررسی شده و ایجاد یک مدل ارزیابی برای بررسی عملکرد SVC اشاره خواهد شد. سپس با به‌کارگیری شاخص‌های مناسب به علت کمبود توان اکتیو و راکتیو مانند انرژی مورد انتظار تامین نشده (EENS)، وار مورد انتظار تامین نشده (EVNS) و قطع بار اکتیو (ELC) تعریف شده‌اند و میزان تأثیر SVC بر ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم قدرت بررسی شده است. نتایج این مطالعه برای مدیریت SVCها به عنوان یکی از اجزای مهم منابع ذخیره توان راکتیو و همچنین طراحی دقیق‌تر سیستم‌های قدرت و سیستم‌های کنترلی ساخت SVC به‌کار برده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: توان راکتیو، جبران‌سازهای استاتیکی توان راکتیو، قابلیت اطمینان، شاخص‌های ارزیابی، مدل مارکوف

۱- مقدمه

با گسترش سیستم‌های قدرت، نیاز به تولید و انتقال انرژی الکتریکی رو به افزایش است [۱،۲]، بنابراین علاوه بر پیشرفت‌های انجام شده در زمینه تولید برق مانند استفاده از انرژی‌های نو، آب و انرژی هسته‌ای، نیاز به گسترش شبکه‌های قدرت و بهره‌وری بهتر با بازدهی بالاتر از آنها افزایش یافته است [۳،۴].

استفاده از جبران‌کننده‌های توان راکتیو مانند راکتورها، بانک‌های خازنی سری و موازی، ترانسفورماتورهای تغییردهنده فاز و نیز تنظیم کننده‌های ولتاژ به‌منظور کاهش راکتانس خط، کاهش تغییرات ولتاژ، کنترل عبور توان در حالت دائمی، بهبود وضعیت‌های دینامیکی سیگنال کوچک گسترش پیدا کرد [۵،۶].

ساختار سیستم قدرت بر بسیاری از مشخصات مانند هزینه پروژه، استحکام، تاب‌آوری، قابلیت اطمینان، قابلیت‌پذیری، کنترل‌پذیری و سلسله مراتب سیستم تاثیر می‌گذارد [۷،۸].

پیشرفت سریع الکترونیک قدرت و ساخت نیمه هادی‌های توان زیاد امکانات شگفت‌انگیزی برای توسعه تجهیزات جدید در زمینه‌ی جبران‌سازهای سیستم قدرت فراهم آورده است [۹،۱۰]. تاکنون ادوات کنترلی فراوانی تحت عنوان فناوری سیستم‌های انتقال انعطاف‌پذیر

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021

جریان متناوب (FACTS) برای شبکه‌های انتقال و توزیع طراحی و تکمیل شده‌اند [۱۱،۱۲]. از کاربرد ادوات FACTS می‌توان به کنترل پخش بار و حداقل کردن تلفات خطوط انتقال، افزایش پایداری دینامیکی، تقویت پایداری گذرا [۱۳،۱۴]، قابلیت اطمینان یا امنیت [۱۵]، بهبود کیفیت توان [۱۶،۱۷] و بهبود نمایه ولتاژ [۱۸] اشاره کرد. ادوات FACTS مبتنی بر ادوات الکترونیک قدرت متشکل از تجهیزات استاتیکی برای بهبود کنترل‌پذیری و توسعه ظرفیت انتقال توان در شبکه به‌کار می‌روند [۱۹،۲۰].

قابلیت اعتماد[۱] یک سیستم قدرت بیانگر میزان اعتماد به عملکرد صحیح و مطلوب این سیستم در آینده و احتمال پاسخ‌گویی مطلوب این سیستم در سرویس‌دهی و انجام وظایف از پیش تعیین شده است [۲۱،۲۲]. با گسترش صنعت برق، جبران‌کننده‌های توان راکتیو استاتیکی[۲] برای دست یافتن به انعطاف‌پذیری بهتر شبکه قدرت کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند [۲۳،۲۴]. این جبران‌کننده‌ها برای کاهش تلفات توان، بهبود نمایه[۳] ولتاژ، حل مشکلات ناپایداری ولتاژ و افزایش حداکثر توان انتقالی در خطوط انتقال استفاده می‌شود [۲۵،۲۶]. نقش اصلی جبران‌کننده وار استاتیکی[۴] (SVC) تنظیم مقدار جبران توان راکتیو برای برطرف نمودن نیاز سیستم‌های قدرت الکتریکی واقعی است [۲۷،۲۸]. در اکثر پیشامدها مؤلفه توان راکتیو خط باردار به‌طور قابل توجه‌ای بیشتر از توان اکتیو بار تغییر می‌کند [۲۹،۳۰]. بنابراین SVC اثر قابل توجه روی پایداری سیستم در طی اتفاقات دارد و باید در قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت در نظر گرفته شود.

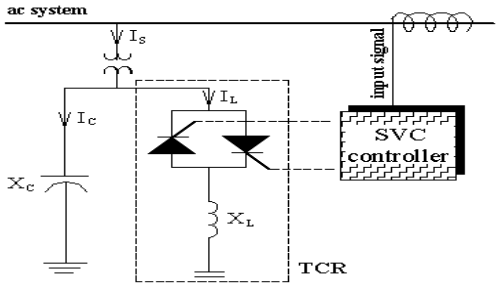
الگوریتم‌های موجود در ارزیابی قابلیت اطمینان، توان راکتیو را به علت استفاده از پخش بار dc در نظر نمی‌گیرند [۳۱]. توجه به سه نکته اساسی در سیستم‌های قدرت الکتریکی واقعی حائز اهمیت است که عبارتند از: (۱) همه بارهای شبکه مقاومتی نیستند، (۲) خطوط انتقال در شبکه باعث برخی محدودیت‌ها در توان انتقالی می‌شود و (۳) ارتباط بین خروجی توان اکتیو و راکتیو در یک ژنراتور توسط یک نمودار P-Q تعیین می‌شود. بنابراین نکات فوق در ارزیابی قابلیت اطمینان با به‌کارگیری تحلیل‌های پخش بار ac باید در نظر گرفته شود.

در این مقاله برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت که توان راکتیو آنها بر اثر از دست رفتن منابع ذخیره‌ی توان راکتیو مانند ژنراتورها، کندانسورهای سنکرون و جبران کننده‌ها کم می شود، با در نظر گرفتن حالت های مختلف کارکرد SVC شاخص های قابلیت اطمینان تعریف می شود. این شاخص‌ها جهت بررسی دقیق‌تر سیستم برای سیستم قدرت ۳۰ باسه IEEE محاسبه شده‌اند. ساختار مقاله به این شرح است: در قسمت دوم شاخص‌های معتبر ارائه شده و در قسمت سوم SVC از نوع سلف کنترل شده با تریستور همراه با خازن ثابت (FC-TCR) به عنوان رایج‌ترین نوع SVC انتخاب شده و اجزای SVC و کارکردشان بیان شده است. ،سپس با استفاده از روش مارکوف[۵] هشت حالت معادل مدل قابلیت اطمینان برای SVC ارائه شده است. در قسمت چهارم سیستم سی باسه IEEE با استفاده از روش‌های پیشنهاد شده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و نتایج آن که شامل شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان مبتنی بر کمبود توان اکتیو و راکتیو می‌باشند در قسمت پنجم نشان داده شده است.

۲- مدل قابلیت اطمینان جبران‌کننده وار استاتیکی

جبران‌کننده وار استاتیکی دارای دو ساختار عمده است که عبارتند از [۳۲] (الف) ساختار FC و TCR به‌نام FC-TCR[۶] [۳۳] و (ب) ساختار TSC و TCR به‌نام TCR-TSC [۳۴]. در این مقاله از ساختار اول نشان داده شده در شکل (۱) استفاده شده است.

اجزای اصلی ساختار FC-TCR عبارتند از: ظرفیت ثابت خازن (FC)، فیلتر های ac (ACF)، راکتور (XL)، کلید های تریستوری (ThV)، سیستم خنک‌کننده سوئیچ تریستوری (ThVCS) و سیستم کنترل SVC (SVCCS).



شکل(۱): سیستم FC-TCR

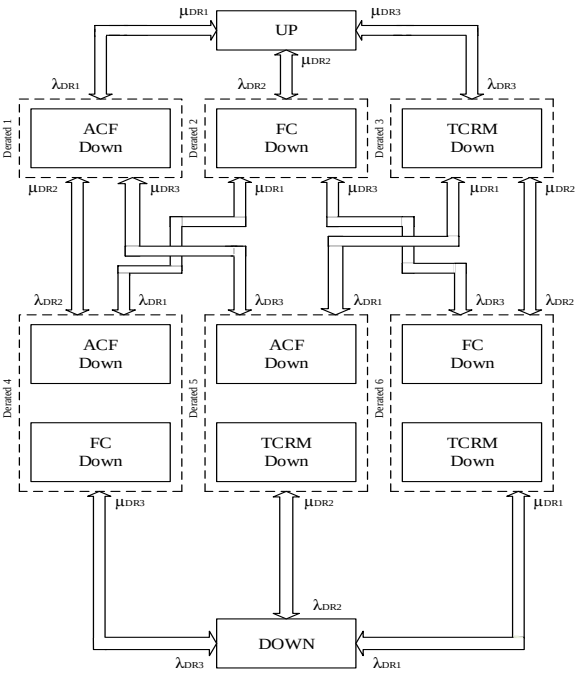
در مدل مارکوف اجزای هر سیستم در فضای دو حالتی مورد بررسی قرار می‌گیرند که هر جزء دارای یک حالت سرویس کامل یا عملکرد و حالت دوم آن خرابی است که پارامتر λ نرخ خرابی و μ نرخ تعمیرات را نشان می‌دهند [۳۵]. فرض شده که تمامی اجزا تنها دو حالت عملکرد سرویس و خارج از سرویس را دارند. شکل (۲) نشان‌دهنده وضعیت FC-TCR در مدل مارکوف است.

با توجه به مدل مارکوف شش حالت مختلف برای عملکرد ارزیابی قابلیت اطمینان SVC وجود دارد که عبارتند از [۳۶،۳۷]: وضعیت خرابی ACF، وضعیت خرابی FC، وضعیت خرابی TCRM، وضعیت خرابی همزمان ACF و FC، وضعیت خرابی همزمان ACF و TCRM و وضعیت خرابی همزمان FC و TCRM.

۳- سیستم مورد مطالعه

سیستم سی با سه IEEE مطابق شکل (۳) به عنوان سیستم مورد مطالعه انتخاب شده که بارهای توان اکتیو و راکتیو آن به ترتیب برابر ۲۸۳/۳ مگاوات و ۱۲۶/۲ مگاوار است.

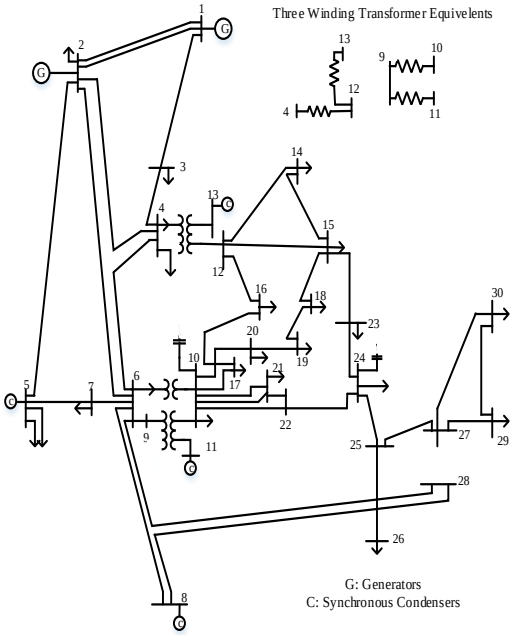
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021



شکل (۲): مدل مارکوف از یک سیستم FC-TCR

سه واحد تولیدی در باس یک که باس مبنا است ۳۰۰ مگاوات و دو واحد تولیدی در باس دو برابر ۵۰ مگاوات است. در باس‌های ۵، ۱۳، ۱۱ و ۸ کندانسور سنکرون و در باس‌های ۱۰ و ۲۴ از خازن ثابت استفاده شده است. داده‌های ساختار سیستم و پارامترهای قابلیت اطمینان اجزای آن در مرجع [۳۸] آمده است.

با توجه به اطلاعات سیستم باس‌های ۲۷ تا ۳۰ به دلیل دور بودن از منابع تولید و کندانسورهای سنکرون از نظر افت ولتاژ، باس‌های ضعیف شبکه هستند که به دلیل اینکه باس ۲۸ از یک طرف به دو خط و از طرف دیگر به ترانسفورماتور متصل است و باس قابل اطمینانی است، SVC در این باس نصب می‌شود.



شکل (۳): سیستم قدرت ۳۰ باسه IEEE مورد مطالعه

۴- نتایج بررسی و شبیه‌سازی

در این قسمت با استفاده از نرم‌افزار متلب به تاثیر عملکرد SVC در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت اشاره می‌گردد. در این برنامه باس ۲۸ که ضعیف‌ترین باس در کل سیستم است برای نصب SVC از نوع FC-TCR انتخاب می‌شود و وضعیت‌های مختلف SVC در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به ویژگی‌های SVC مورد استفاده، در حالت‌های مختلف SVC تولید یا جذب توان راکتیوی از کمترین مقدار تا بیشترین مقدار را دارد که در شبیه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. ویژگی‌های این نوع خاص SVC را می‌توان از لحاظ توان راکتیو مورد نیاز، در وقایع احتمالی تعیین کرد. این ویژگی‌ها در جدول (۱) آمده است.

همچنین در جدول (۲) مقادیر متغیر توان راکتیو تزریقی SVC در حالت‌های مختلف بیان شده است. تمامی وضعیت‌های بحرانی دسته اول و دسته دوم با احتمال بالاتر از $5e^{-6}$ در ارزیابی استفاده می‌شوند و از احتمال‌های کمتر از $5e^{-6}$ صرف‌نظر می‌گردد.

شاخص‌های متفاوت برای تهیه اطلاعات قابلیت اطمینان عبارتند از:

۱- قطع بار اکتیو با توجه به کمبود توان اکتیو[۷] (ELC_P)

۲- قطع بار اکتیو با توجه به کمبود توان راکتیو یا خطای ولتاژ[۸] (ELC_Q)

۳- قطع بار راکتیو با توجه به کمبود توان اکتیو[۹] (EQC_P)

۴- قطع بار راکتیو با توجه به کمبود توان راکتیو[۱۰] (EQC_Q)

۵- انرژی مورد انتظار تأمین‌نشده با توجه به کمبود توان اکتیو[۱۱] ($EENS_P$)

۶- انرژی مورد انتظار تأمین‌نشده با توجه به کمبود توان راکتیو[۱۲] ($EENS_Q$)

۷- VARمورد انتظار تأمین نشده با توجه به کمبود توان اکتیو[۱۳] ($EVNS_P$)

۸- VARمورد انتظار تأمین نشده با توجه به کمبود توان راکتیو[۱۴] ($EVNS_Q$)

۹- کمبود VAR مورد انتظار به علت خطای کاهش ولتاژ[۱۵] (EvarS).

اجزای داده‌های قابلیت اطمینان براساس مرجع [۳۹] در جدول (۳) آمده است. هم‌چنین بر اساس این داده‌های به دست آمده، احتمال هر هشت وضعیت مدل مارکوف در جدول (۴) آمده‌اند.

جدول (۱): مقادیر المان‌های FC-TCR

TCR	۶۰ مگاوار
FC	۶۰ مگاوار
ACF	۱۰ مگاوار
تنظیم ولتاژ	۱ پریونتی

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

جدول (۲): توان راکتیو SVC در وضعیت‌های مختلف

حالت‌های مختلف SVC	توان راکتیو تولید شده (+) یا جذب شده (-) SVC برحسب مگاوار
وضعیت ۱	صفر تا ۶۰
وضعیت ۲	۱۰- تا ۷۰
وضعیت ۳	۵۰
وضعیت ۴	۶۰- تا صفر
وضعیت ۵	۶۰
وضعیت ۶	-۱۰
SVC کامل	۱۰- تا ۵۰

جدول (۳): اجزای داده‌های قابلیت اطمینان

تجهیز	λ (خطا در سال)	μ (تعمیر در سال)
SVCCS	۰/۲۷۵۳۷۴۵	۱۰۶/۸
ACF	۰/۰۵۲۲۰۵۰	۱۰۰
FC	۰/۰۱۱۷۳۷۵	۱۰۰
XL	۰/۰۱۵۲۵۵۰	۱۰۰
ThV	۰/۰۷۲۲۰۵۰	۱۰۰
ThVCS	۰/۲۶۹۹۵۵۰	۱۰۰

با توجه به مقدار احتمال‌ها، چهار وضعیت آخر را می‌توان از ارزیابی-های انجام شده حذف کرد اما با در نظر گرفتن این حقیقت که هدف مقایسه اثرات هر وضعیت بر روی ارزیابی قابلیت اطمینان است، این چهار وضعیت در ارزیابی‌ها نیز در نظر گرفته خواهند شد.

شاخص‌های سیستم می‌توانند اطلاعات قابل توجه را درباره توانایی کل سیستم برای ارائه بار مورد تقاضای مشتریان در اختیار قرار دهند [۴۰،۴۱].

جدول (۴): احتمال مربوط به هر هشت وضعیت

حالت	احتمال
SVC کامل	۰/۹۹۳۲۴۹۱۶۸۸۲۲۳۴۹۰۰۰
وضعیت ۱	۰/۰۰۰۶۱۷۸۵۰۶۴۵۴۶۵۹۴۲
وضعیت ۲	۰/۰۰۰۱۱۶۵۸۲۶۲۱۱۹۰۵۲۳
وضعیت ۳	۰/۰۰۶۰۱۱۸۷۹۶۱۷۷۴۲۹۳۰
وضعیت ۴	۷/۲۵۲۰۲۱۹۵۱۱۵۶۴۹e-۰۸
وضعیت ۵	۳/۷۳۹۶۸۹۷۱۶۲۱۶۹۹e-۰۶
وضعیت ۶	۷/۰۵۶۴۴۳۷۰۱۳۲۵۷۶e-۰۷
بدون SVC	۴/۳۸۹۴۶۰۸۰۴۴۰۹۶۹e-۱۰

این سیستم و شاخص‌های نقاط بار برای سیستم قدرت در ادامه بیان شده‌اند:

جدول (۵) نشان‌دهنده‌ی مقادیر ELC_P برای هر وضعیت SVC مدل مارکوف و هم‌چنین برای هر باس بار در سیستم است.

جدول (۶) نشان‌دهنده مقادیر EQC_P است. محدودیت‌های انرژی حقیقی یا بارزدایی در سیستم قدرت بر اساس مصرف هر باس صورت می‌گیرد. بنابراین در وضعیت بدون SVC باس ۵ بالاترین و باس ۲۰ پایین‌ترین شاخص را داراست. باس‌هایی که شاخص صفر دارند به دلیل بدون بار بودن هیچ بارزدایی ندارند.

با مقایسه دو حالت سرویس و خارج از سرویس SVC، به دلیل اینکه SVC منبع توان راکتیو است در وضعیت‌های مختلف تأثیری بر شاخص ELC_P و EQC_P ندارد.

مقادیر مربوطه به ELC_Q و EQC_Q برای هر یک از وضعیت‌های SVC در مدل مارکوف به ترتیب در جدول‌های (۷) و (۸) آمده است.

با مقایسه ی ELC_Q و ELC_P و هم‌چنین EQC_Q و EQC_P می‌توان میزان افت بار در وضعیت خروج کامل SVC را مشخص کرد به‌طوری که ELC_P بسیار بیشتر از ELC_Q است.

در حالت سرویس کامل، میزان افت بار برای بهبود و تقویت ولتاژ در مقایسه با حالت خروج کامل SVC ناچیز است که نشان‌دهنده‌ی اهمیت SVC در افزایش قابلیت اطمینان سیستم است.

مقادیر $EENS_P$ و $EVNS_P$ نیز به دلیل بارزدایی توان اکتیو در همه حالت‌های SVC یکسان است که در جدول‌های (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.

نتایج به‌دست آمده از جدول‌های (۱۱) و (۱۲) نشان می‌دهد که برای رفع مشکل کمبود ولتاژ در باس‌های متفاوت سیستم در طول یک سال، باید مقدار زیادی توان راکتیو در وضعیت خروج کامل قطع کرد اما این مقدار با استفاده از SVC کاهش می‌یابد.

توان راکتیو به باس‌های دارای محدودیت ولتاژ تزریق می‌شود تا ولتاژ مورد نظر خود را باز یابند. میزان بالای EVArS در یک باس نشانه خوبی برای طراحان سیستم‌ها برای نصب منابع ذخیره توان راکتیو در آن باس است. بنابراین مشخص است که با استفاده از SVC می‌توان این شاخص را در باس مورد نظر و باس‌های مجاور آن کاهش داد. مقایسه مقدار این شاخص در حالت‌های SVC کامل و خروج کلی آن، نشان دهنده درستی آن است. جدول (۱۳) مقادیر شاخص EVArS را نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله وضعیت عملکرد شبکه قدرت با در نظر گرفتن تأثیر خرابی اجزای SVC به عنوان یک منبع توان راکتیو بررسی گردید. با استفاده از فرایندهای مارکوف، یک مدل تعیین اعتبار برای نوع FC-TCR از SVCها اشاره شد. نتایج شبیه‌سازی تاثیر SVC و اجزای آن را در حالت‌های مختلف بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان در سیستم قدرت نشان داد. همان‌طور که دیده شده، SVC می‌تواند تأثیر قابل توجه بر قابلیت اطمینان و بهبود عملکرد سیستم داشته باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021

جدول (۵): نقاط بار و ELC_P سیستم (MW/yr مگاوات در سال)

	DN	UP	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	ALL
Bus1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus2	17.1255	17.1255	17.1255	17.1255	17.1255	17.1255	17.1255	17.1255	17.1255
Bus3	1.8997	1.8997	1.8997	1.8997	1.8997	1.8997	1.8997	1.8997	1.8997
Bus4	5.9979	5.9979	5.9979	5.9979	5.9979	5.9979	5.9979	5.9979	5.9979
Bus5	74.6535	74.6535	74.6535	74.6535	74.6535	74.6535	74.6535	74.6535	74.6535
Bus6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus7	18.0690	18.0690	18.0690	18.0690	18.0690	18.0690	18.0690	18.0690	18.0690
Bus8	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502
Bus9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus10	4.5773	4.5773	4.5773	4.5773	4.5773	4.5773	4.5773	4.5773	4.5773
Bus11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus12	8.8390	8.8390	8.8390	8.8390	8.8390	8.8390	8.8390	8.8390	8.8390
Bus13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus14	4.9161	4.9161	4.9161	4.9161	4.9161	4.9161	4.9161	4.9161	4.9161
Bus15	6.4714	6.4714	6.4714	6.4714	6.4714	6.4714	6.4714	6.4714	6.4714
Bus16	2.8185	2.8185	2.8185	2.8185	2.8185	2.8185	2.8185	2.8185	2.8185
Bus17	7.3253	7.3253	7.3253	7.3253	7.3253	7.3253	7.3253	7.3253	7.3253
Bus18	2.5611	2.5611	2.5611	2.5611	2.5611	2.5611	2.5611	2.5611	2.5611
Bus19	7.6386	7.6386	7.6386	7.6386	7.6386	7.6386	7.6386	7.6386	7.6386
Bus20	1.7608	1.7608	1.7608	1.7608	1.7608	1.7608	1.7608	1.7608	1.7608
Bus21	14.5308	14.5308	14.5308	14.5308	14.5308	14.5308	14.5308	14.5308	14.5308
Bus22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus23	2.5650	2.5650	2.5650	2.5650	2.5650	2.5650	2.5650	2.5650	2.5650
Bus24	6.8660	6.8660	6.8660	6.8660	6.8660	6.8660	6.8660	6.8660	6.8660
Bus25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus26	23.8113	23.8113	23.8113	23.8113	23.8113	23.8113	23.8113	23.8113	23.8113
Bus27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus29	2.1301	2.1301	2.1301	2.1301	2.1301	2.1301	2.1301	2.1301	2.1301
Bus30	9.4080	9.4080	9.4080	9.4080	9.4080	9.4080	9.4080	9.4080	9.4080
System	247.7150	247.7150	247.7150	247.7150	247.7150	247.7150	247.7150	247.7150	247.7150

جدول (۶): نقاط بار و EQC_P سیستم (MVar/yr)

	DN	UP	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	ALL
Bus1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus2	10.0228	10.0228	10.0228	10.0228	10.0228	10.0228	10.0228	10.0228	10.0228
Bus3	0.9498	0.9498	0.9498	0.9498	0.9498	0.9498	0.9498	0.9498	0.9498
Bus4	1.2627	1.2627	1.2627	1.2627	1.2627	1.2627	1.2627	1.2627	1.2627
Bus5	15.0575	15.0575	15.0575	15.0575	15.0575	15.0575	15.0575	15.0575	15.0575
Bus6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus7	8.6383	8.6383	8.6383	8.6383	8.6383	8.6383	8.6383	8.6383	8.6383
Bus8	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502	23.7502
Bus9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus10	1.5784	1.5784	1.5784	1.5784	1.5784	1.5784	1.5784	1.5784	1.5784
Bus11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus12	5.9190	5.9190	5.9190	5.9190	5.9190	5.9190	5.9190	5.9190	5.9190
Bus13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus14	1.2687	1.2687	1.2687	1.2687	1.2687	1.2687	1.2687	1.2687	1.2687
Bus15	1.9730	1.9730	1.9730	1.9730	1.9730	1.9730	1.9730	1.9730	1.9730
Bus16	1.4495	1.4495	1.4495	1.4495	1.4495	1.4495	1.4495	1.4495	1.4495
Bus17	4.7208	4.7208	4.7208	4.7208	4.7208	4.7208	4.7208	4.7208	4.7208
Bus18	0.7203	0.7203	0.7203	0.7203	0.7203	0.7203	0.7203	0.7203	0.7203
Bus19	2.7338	2.7338	2.7338	2.7338	2.7338	2.7338	2.7338	2.7338	2.7338
Bus20	0.5602	0.5602	0.5602	0.5602	0.5602	0.5602	0.5602	0.5602	0.5602
Bus21	9.2997	9.2997	9.2997	9.2997	9.2997	9.2997	9.2997	9.2997	9.2997
Bus22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus23	1.2825	1.2825	1.2825	1.2825	1.2825	1.2825	1.2825	1.2825	1.2825
Bus24	5.2876	5.2876	5.2876	5.2876	5.2876	5.2876	5.2876	5.2876	5.2876
Bus25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus26	15.6474	15.6474	15.6474	15.6474	15.6474	15.6474	15.6474	15.6474	15.6474
Bus27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus29	0.7988	0.7988	0.7988	0.7988	0.7988	0.7988	0.7988	0.7988	0.7988
Bus30	1.6863	1.6863	1.6863	1.6863	1.6863	1.6863	1.6863	1.6863	1.6863
System	114.6073	114.6073	114.6073	114.6073	114.6073	114.6073	114.6073	114.6073	114.6073

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

جدول (۷) نقاط بار و ELC_Q سیستم (برحسب MW/yr)

	DN	UP	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	ALL
Bus1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus3	0.0011	0.0038	0.0170	0.0039	6.8386e-04	0.0110	6.8386e-04	0.0039	0.0037
Bus4	0.0132	0.0206	0.0628	0.0216	0.0022	0.0437	0.0022	0.0216	0.0205
Bus5	17.7185	17.8925	18.6679	22.0333	4.9770	18.2218	3.0712	22.0333	17.8157
Bus6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus7	1.2450	0.8759	1.0023	1.5127	0.2079	0.9448	0.2079	1.5135	0.8720
Bus8	0.1910	0.2486	0.4045	0.5507	0.0085	0.3389	0.0085	0.5512	0.2473
Bus9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus10	0.0012	0.0081	0.0402	0.0089	0.0017	0.0257	0.0017	0.0089	0.0081
Bus11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus12	0.0060	0.0270	0.0882	0.0311	0.0036	0.0609	0.0034	0.0311	0.0269
Bus13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus14	0.0234	0.0316	0.0657	0.0374	0.0026	0.0504	0.0027	0.0375	0.0315
Bus15	0.0037	0.0138	0.0591	0.0263	0.0031	0.0386	0.0030	0.0263	0.0138
Bus16	6.9402e-04	0.0051	0.0245	0.0055	9.9730e-04	0.0157	9.9730e-04	0.0055	0.0051
Bus17	0.0087	0.0205	0.0703	0.0219	0.0094	0.0478	0.0094	0.0219	0.0205
Bus18	0.0017	0.0083	0.0259	0.0123	0.0013	0.0180	0.0013	0.0123	0.0083
Bus19	0.0070	0.0305	0.0797	0.0402	0.0036	0.0593	0.0035	0.0404	0.0304
Bus20	0.0010	0.0052	0.0174	0.0078	6.9922e-04	0.0119	6.6323e-04	0.0078	0.0052
Bus21	0.0819	0.1131	0.2100	0.1315	0.0835	0.1662	0.0333	0.1318	0.1130
Bus22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus23	0.0065	0.0131	0.0307	0.0180	0.0011	0.0228	0.0011	0.0180	0.0131
Bus24	0.0054	0.0268	0.0723	0.0467	0.0057	0.0532	0.0057	0.0468	0.0267
Bus25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus26	0.3240	0.3248	0.3433	0.6130	0.1425	0.3326	0.1022	0.6120	0.3237
Bus27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus29	2.1599	1.3577	1.3691	1.4160	1.1260	1.3648	1.0005	1.4162	1.3563
Bus30	11.2222	7.6318	7.6910	8.2679	6.5556	7.6590	6.1834	8.2679	7.6255
System	33.0222	28.6589	30.3420	34.8068	13.1376	29.4870	10.6432	34.8079	28.5673

جدول (۸) نقاط بار و EQC_Q سیستم (MVAr / yr)

	DN	UP	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	ALL
Bus1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus3	5.3665e-04	0.0019	0.0085	0.0020	3.4193e-04	0.0055	3.4193e-04	0.0020	0.0019
Bus4	0.0028	0.0043	0.0132	0.0046	4.5591e-04	0.0092	4.5591e-04	0.0046	0.0043
Bus5	3.5738	3.6089	3.7653	4.4441	1.0039	3.6753	0.6195	4.4441	3.5934
Bus6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus7	0.5952	0.4187	0.4792	0.7232	0.0994	0.4517	0.0994	0.7235	0.4169
Bus8	0.1910	0.2486	0.4045	0.5507	0.0085	0.3389	0.0085	0.5512	0.2473
Bus9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus10	3.9658e-04	0.0028	0.0139	0.0031	5.6989e-04	0.0089	5.6989e-04	0.0031	0.0028
Bus11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus12	0.0040	0.0181	0.0591	0.0208	0.0024	0.0408	0.0023	0.0208	0.0180
Bus13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus14	0.0060	0.0082	0.0170	0.0097	6.7622e-04	0.0130	7.0823e-04	0.0097	0.0081
Bus15	0.0011	0.0042	0.0180	0.0080	9.4798e-04	0.0118	9.1235e-04	0.0080	0.0042
Bus16	3.5692e-04	0.0026	0.0126	0.0028	5.1290e-04	0.0081	5.1290e-04	0.0028	0.0026
Bus17	0.0056	0.0132	0.0453	0.0141	0.0061	0.0308	0.0060	0.0141	0.0132
Bus18	4.9072e-04	0.0023	0.0073	0.0035	3.6808e-04	0.0051	3.5642e-04	0.0035	0.0023
Bus19	0.0025	0.0109	0.0285	0.0144	0.0013	0.0212	0.0012	0.0144	0.0109
Bus20	3.2306e-04	0.0017	0.0055	0.0025	2.2248e-04	0.0038	2.1103e-04	0.0025	0.0016
Bus21	0.0524	0.0724	0.1344	0.0842	0.0534	0.1063	0.0213	0.0843	0.0723
Bus22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus23	0.0032	0.0066	0.0153	0.0090	5.5982e-04	0.0114	5.3417e-04	0.0090	0.0065
Bus24	0.0041	0.0207	0.0557	0.0359	0.0044	0.0410	0.0044	0.0360	0.0206
Bus25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus26	0.2129	0.2134	0.2256	0.4028	0.0936	0.2186	0.0671	0.4022	0.2127
Bus27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus29	0.8100	0.5091	0.5134	0.5310	0.4222	0.5118	0.3752	0.5311	0.5086
Bus30	2.0115	1.3680	1.3786	1.4820	1.1751	1.3728	1.1083	1.4820	1.3668
System	7.4784	6.5366	7.2009	8.3482	2.8749	6.8858	2.3179	8.3489	6.5152

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

جدول (۹): نقاط بار و $EENS_P$ سیستم (MW/yr)

	DN	UP	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	ALL
Bus1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus2	274.7172	274.7172	274.7172	274.7172	274.7172	274.7172	274.7172	274.7172	274.7172
Bus3	30.4094	30.4094	30.4094	30.4094	30.4094	30.4094	30.4094	30.4094	30.4094
Bus4	96.2143	96.2143	96.2143	96.2143	96.2143	96.2143	96.2143	96.2143	96.2143
Bus5	1.1940e+03	1.1940e+03	1.1940e+03	1.1940e+03	1.1940e+03	1.1940e+03	1.1940e+03	1.1940e+03	1.1940e+03
Bus6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus7	288.9904	288.9904	288.9904	288.9904	288.9904	288.9904	288.9904	288.9904	288.9904
Bus8	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363
Bus9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus10	73.4267	73.4267	73.4267	73.4267	73.4267	73.4267	73.4267	73.4267	73.4267
Bus11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus12	141.7895	141.7895	141.7895	141.7895	141.7895	141.7895	141.7895	141.7895	141.7895
Bus13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus14	78.5969	78.5969	78.5969	78.5969	78.5969	78.5969	78.5969	78.5969	78.5969
Bus15	103.8102	103.8102	103.8102	103.8102	103.8102	103.8102	103.8102	103.8102	103.8102
Bus16	44.5693	44.5693	44.5693	44.5693	44.5693	44.5693	44.5693	44.5693	44.5693
Bus17	114.9668	114.9668	114.9668	114.9668	114.9668	114.9668	114.9668	114.9668	114.9668
Bus18	40.6759	40.6759	40.6759	40.6759	40.6759	40.6759	40.6759	40.6759	40.6759
Bus19	120.9194	120.9194	120.9194	120.9194	120.9194	120.9194	120.9194	120.9194	120.9194
Bus20	27.9647	27.9647	27.9647	27.9647	27.9647	27.9647	27.9647	27.9647	27.9647
Bus21	224.8801	224.8801	224.8801	224.8801	224.8801	224.8801	224.8801	224.8801	224.8801
Bus22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus23	40.6942	40.6942	40.6942	40.6942	40.6942	40.6942	40.6942	40.6942	40.6942
Bus24	110.1401	110.1401	110.1401	110.1401	110.1401	110.1401	110.1401	110.1401	110.1401
Bus25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus26	208.4672	208.4672	208.4672	208.4672	208.4672	208.4672	208.4672	208.4672	208.4672
Bus27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus29	31.4763	31.4763	31.4763	31.4763	31.4763	31.4763	31.4763	31.4763	31.4763
Bus30	139.0201	139.0201	139.0201	139.0201	139.0201	139.0201	139.0201	139.0201	139.0201
System	3.7659e+03	3.7659e+03	3.7659e+03	3.7659e+03	3.7659e+03	3.7659e+03	3.7659e+03	3.7659e+03	3.7659e+03

جدول (۱۰): نقاط بار و $EVNS_P$ سیستم (بر حسب MVArh/yr)

	DN	UP	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	ALL
Bus1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus2	160.7792	160.7792	160.7792	160.7792	160.7792	160.7792	160.7792	160.7792	160.7792
Bus3	15.2047	15.2047	15.2047	15.2047	15.2047	15.2047	15.2047	15.2047	15.2047
Bus4	20.2556	20.2556	20.2556	20.2556	20.2556	20.2556	20.2556	20.2556	20.2556
Bus5	240.8254	240.8254	240.8254	240.8254	240.8254	240.8254	240.8254	240.8254	240.8254
Bus6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus7	138.1577	138.1577	138.1577	138.1577	138.1577	138.1577	138.1577	138.1577	138.1577
Bus8	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363	380.1363
Bus9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus10	25.3196	25.3196	25.3196	25.3196	25.3196	25.3196	25.3196	25.3196	25.3196
Bus11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus12	94.9483	94.9483	94.9483	94.9483	94.9483	94.9483	94.9483	94.9483	94.9483
Bus13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus14	20.2831	20.2831	20.2831	20.2831	20.2831	20.2831	20.2831	20.2831	20.2831
Bus15	31.6494	31.6494	31.6494	31.6494	31.6494	31.6494	31.6494	31.6494	31.6494
Bus16	22.9213	22.9213	22.9213	22.9213	22.9213	22.9213	22.9213	22.9213	22.9213
Bus17	74.0897	74.0897	74.0897	74.0897	74.0897	74.0897	74.0897	74.0897	74.0897
Bus18	11.4401	11.4401	11.4401	11.4401	11.4401	11.4401	11.4401	11.4401	11.4401
Bus19	43.2764	43.2764	43.2764	43.2764	43.2764	43.2764	43.2764	43.2764	43.2764
Bus20	8.8979	8.8979	8.8979	8.8979	8.8979	8.8979	8.8979	8.8979	8.8979
Bus21	143.9233	143.9233	143.9233	143.9233	143.9233	143.9233	143.9233	143.9233	143.9233
Bus22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus23	20.3471	20.3471	20.3471	20.3471	20.3471	20.3471	20.3471	20.3471	20.3471
Bus24	84.8205	84.8205	84.8205	84.8205	84.8205	84.8205	84.8205	84.8205	84.8205
Bus25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus26	136.9927	136.9927	136.9927	136.9927	136.9927	136.9927	136.9927	136.9927	136.9927
Bus27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus29	11.8036	11.8036	11.8036	11.8036	11.8036	11.8036	11.8036	11.8036	11.8036
Bus30	24.9187	24.9187	24.9187	24.9187	24.9187	24.9187	24.9187	24.9187	24.9187
System	1.7110e+03	1.7110e+03	1.7110e+03	1.7110e+03	1.7110e+03	1.7110e+03	1.7110e+03	1.7110e+03	1.7110e+03

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

جدول (۱۱): نقاط بار و $EENS_Q$ سیستم (بر حسب MWh/yr)

	DN	UP	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	ALL
Bus1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus3	0.0049	0.0241	0.1165	0.0250	0.0049	0.0733	0.0049	0.0250	0.0241
Bus4	0.0825	0.1374	0.4311	0.1421	0.0156	0.2932	0.0156	0.1421	0.1369
Bus5	144.3618	145.4017	150.8346	179.8244	38.5486	147.6430	23.3517	179.8244	144.7662
Bus6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus7	10.1268	6.9699	7.8500	12.1971	1.5012	7.4359	1.5012	12.2006	6.9382
Bus8	1.3379	1.7303	2.8187	4.1829	0.0617	2.3422	0.0617	4.1852	1.7212
Bus9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus10	0.0053	0.0539	0.2775	0.0574	0.0119	0.1728	0.0119	0.0574	0.0538
Bus11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus12	0.0358	0.1807	0.6092	0.2075	0.0247	0.4103	0.0239	0.2075	0.1800
Bus13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus14	0.1543	0.2137	0.4519	0.2454	0.0167	0.3408	0.0173	0.2458	0.2127
Bus15	0.0170	0.0868	0.4029	0.1688	0.0204	0.2549	0.0199	0.1688	0.0866
Bus16	0.0032	0.0336	0.1685	0.0354	0.0072	0.1053	0.0072	0.0354	0.0335
Bus17	0.0402	0.1203	0.4673	0.1264	0.0502	0.3048	0.0499	0.1264	0.1201
Bus18	0.0080	0.0542	0.1771	0.0796	0.0084	0.1197	0.0082	0.0796	0.0540
Bus19	0.0324	0.1949	0.5388	0.2535	0.0237	0.3894	0.0231	0.2542	0.1941
Bus20	0.0047	0.0332	0.1181	0.0502	0.0049	0.0783	0.0047	0.0502	0.0331
Bus21	0.3794	0.5972	1.2720	0.7208	0.3994	0.9559	0.1670	0.7221	0.5964
Bus22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus23	0.0300	0.0764	0.1991	0.1059	0.0075	0.1420	0.0073	0.1059	0.0761
Bus24	0.0248	0.1735	0.4903	0.3083	0.0328	0.3516	0.0328	0.3089	0.1728
Bus25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus26	1.6439	1.6490	1.7782	4.0305	0.6611	1.7013	0.4745	4.0234	1.6434
Bus27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus29	17.3997	10.5176	10.5965	10.9436	8.9593	10.5661	8.0602	10.9446	10.5083
Bus30	90.3753	59.6344	60.0460	64.3448	52.3905	59.8167	49.8632	64.3448	59.5916
System	266.0682	227.8828	239.6442	278.0498	102.7509	233.4976	83.7062	278.0524	227.1431

جدول (۱۲): نقاط بار و $EVNS_Q$ سیستم (برحسب MVArh/yr)

	DN	UP	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	ALL
Bus1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus3	0.0025	0.0121	0.0582	0.0125	0.0025	0.0367	0.0025	0.0125	0.0120
Bus4	0.0174	0.0289	0.0907	0.0299	0.0033	0.0617	0.0033	0.0299	0.0288
Bus5	29.1176	29.3273	30.4231	36.2703	7.7752	29.7794	4.7100	36.2703	29.1991
Bus6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus7	4.8413	3.3321	3.7529	5.8311	0.7177	3.5549	0.7177	5.8327	3.3169
Bus8	1.3379	1.7303	2.8187	4.1829	0.0617	2.3422	0.0617	4.1852	1.7212
Bus9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus10	0.0018	0.0186	0.0957	0.0198	0.0041	0.0596	0.0041	0.0198	0.0185
Bus11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus12	0.0240	0.1210	0.4079	0.1389	0.0166	0.2748	0.0160	0.1389	0.1206
Bus13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus14	0.0398	0.0551	0.1166	0.0633	0.0043	0.0879	0.0045	0.0634	0.0549
Bus15	0.0052	0.0265	0.1228	0.0515	0.0062	0.0777	0.0061	0.0515	0.0264
Bus16	0.0016	0.0173	0.0867	0.0182	0.0037	0.0542	0.0037	0.0182	0.0172
Bus17	0.0259	0.0775	0.3011	0.0815	0.0323	0.1964	0.0322	0.0815	0.0774
Bus18	0.0023	0.0152	0.0498	0.0224	0.0024	0.0337	0.0023	0.0224	0.0152
Bus19	0.0116	0.0697	0.1928	0.0907	0.0085	0.1394	0.0082	0.0910	0.0695
Bus20	0.0015	0.0106	0.0376	0.0160	0.0015	0.0249	0.0015	0.0160	0.0105
Bus21	0.2428	0.3822	0.8141	0.4613	0.2556	0.6118	0.1069	0.4621	0.3817
Bus22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus23	0.0150	0.0382	0.0996	0.0529	0.0038	0.0710	0.0037	0.0529	0.0381
Bus24	0.0191	0.1336	0.3776	0.2374	0.0253	0.2708	0.0253	0.2379	0.1331
Bus25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus26	1.0803	1.0836	1.1685	2.6486	0.4345	1.1180	0.3118	2.6440	1.0799
Bus27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus29	6.5249	3.9441	3.9737	4.1038	3.3598	3.9623	3.0226	4.1042	3.9406
Bus30	16.1994	10.6892	10.7630	11.5335	9.3908	10.7219	8.9377	11.5335	10.6815
System	59.5119	51.1132	55.7512	65.8667	22.1096	53.4791	17.9817	65.8680	50.9433

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

جدول (۱۳): نقاط بار و EVArS سیستم (بر حسب MVArh/yr)

	DN	UP	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	ALL
Bus1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus3	0.0095	0.0462	0.2233	0.0480	0.0095	0.1405	0.0095	0.0480	0.0461
Bus4	0.0508	0.0846	0.2654	0.0875	0.0096	0.1805	0.0096	0.0875	0.0843
Bus5	92.9258	93.5951	97.0923	115.7531	24.8137	95.0379	15.0315	115.7531	93.1861
Bus6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus7	13.1151	9.0267	10.1665	15.7964	1.9441	9.6301	1.9441	15.8009	8.9856
Bus8	3.5135	4.5440	7.4021	10.9848	0.1621	6.1508	0.1621	10.9908	4.5202
Bus9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus10	0.0077	0.0785	0.4042	0.0836	0.0174	0.2516	0.0174	0.0836	0.0783
Bus11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus12	0.0843	0.4250	1.4327	0.4880	0.0582	0.9649	0.0562	0.4880	0.4234
Bus13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus14	0.1524	0.2111	0.4463	0.2424	0.0165	0.3366	0.0171	0.2427	0.2100
Bus15	0.0150	0.0764	0.3543	0.1485	0.0180	0.2242	0.0175	0.1485	0.0762
Bus16	0.0055	0.0580	0.2913	0.0613	0.0124	0.1821	0.0124	0.0613	0.0579
Bus17	0.0967	0.2890	1.1227	0.3037	0.1205	0.7322	0.1200	0.3037	0.2885
Bus18	0.0093	0.0624	0.2038	0.0916	0.0097	0.1378	0.0095	0.0916	0.0622
Bus19	0.0490	0.2945	0.8143	0.3831	0.0359	0.5885	0.0348	0.3842	0.2933
Bus20	0.0051	0.0364	0.1292	0.0550	0.0053	0.0857	0.0051	0.0550	0.0363
Bus21	0.6467	1.0180	2.1682	1.2287	0.6808	1.6295	0.2847	1.2308	1.0167
Bus22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus23	0.0433	0.1104	0.2877	0.1530	0.0109	0.2051	0.0106	0.1530	0.1099
Bus24	0.0765	0.5340	1.5095	0.9490	0.1010	1.0825	0.1010	0.9509	0.5321
Bus25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus26	4.2641	4.2771	4.6123	10.4544	1.7148	4.4129	1.2307	10.4360	4.2626
Bus27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus29	19.9988	12.0886	12.1793	12.5783	10.2976	12.1444	9.2642	12.5795	12.0780
Bus30	44.9289	29.6464	29.8511	31.9882	26.0453	29.7371	24.7888	31.9882	29.6252
System	179.9979	156.5024	170.9565	201.8783	66.0834	163.8551	53.1268	201.8771	155.9727

مراجع

[1] D. Sabzevari, S. M. Kargar, S. M. A. Zanjani "*Mathematical modeling and designing PID controller for a quadrotor and optimize its step response by genetic algorithm*", Majlesi Journal of Electrical Engineering, vol. 10, no. 4, pp. 17-24, 2018.

[۲] مهدوی‌ان مهدی، بهزادفر ندا، "**مروری بر سی‌ستم تبدی‌ل انرژی بادی و کاربرد انواع ژنراتور القای‌ی**"، تحقی‌قات نوی‌ن در برق، سال: ۸، ش.: ۴، ص.: ۵۵-۶۶، زمستان ۱۳۹۸.

[3] F. Zandi, B. Fani, A. Golsorkhi, "*A visually driven nonlinear droop control for inverter-dominated islanded microgrids*", Electrical Engineering, vol. 102, pp. 1207–1222, 2020.

[4] M. Dadkhah, B. Fani, E. Heydarian, M. Mohtaj , "*An offline algorithm for fuse-recloser coordination in distribution networks with PV resources*", International Trans. on Electrical Energy Systems, vol. 30, no. 2, Article Number: e12500, Sept. 2020.

[5] G. Yu, T. Lin, J. Zhang, Y. Tian and X. Yang, "*Coordination of PSS and FACTS damping controllers to improve small signal stability of large-scale power systems*", CSEE Journal of Power and Energy Systems, vol. 5, no. 4, pp. 507-514, Dec. 2019.

[۶] امیری‌مقدم هادی، اسلامی مهدیه، زاینده‌رودی هادی، "**بررسی تاثیر کنترل‌کننده توزیع شده پخش توان بر رله دیستانس**"، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال ۹، ش.: ۳۴، ص.: ۴۷-۵۴، ۱۳۹۷.

[7] H. Shahinzadeh, M. Moazzami, M. Abbasi, H. Masoudi, V. Sheigani, "*Smart design and management of hybrid energy structures for isolated systems using biogeography- based optimization algorithm*", Proceeding of the IEEE/SGC, pp. 1-7, Kerman, Iran, Dec. 2016.

[۸] براتی حسن، حبی‌بزاده علی، لشکرآرا افشی‌ن، آقای‌ی جمشی‌د، "**استراتژی پی‌شنهاد بهی‌نه شرکت‌های تولی‌دی، در بازارهای انرژی و رزرو با استفاده از برنامه‌ری‌زی خطی**"، نشری‌ه روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۲، ش.: ۷، ص.: ۱۱-۲۰، پای‌ی‌ز ۱۳۹۰.

[9] S. Mehraeen, S. Jagannathan M. L. Crow, "*Novel dynamic representation and control of power systems with FACTS devices*", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 25, no. 3, pp. 1542-1554, Aug. 2010.

[10] E. Jafari, A. Marjanian, S. Silaymani, G. Shahgholian, "*Designing an emotional intelligent controller for IPFC to improve the transient stability based on energy function*", Journal of Electrical Engineering and Technology, vol. 8, no. 3, pp. 478-489, 2013.

[11] H. Parastvand, O. Bass, M. A. S. Masoum, A. Chapman and S. Lachowicz, "*Cyber-security constrained placement of FACTS devices in power networks from a novel topological perspective*", IEEE Access, vol. 8, pp. 108201-108215, 2020.

[۱۲] کاظمی‌زهرانی امیر، پرستگاری معین، "**طراحی همزمان پارامترهای PSS و SVC با استفاده از روش کوانتوم بهبود یافته جهت ارتقای پایداری سیستم قدرت چند ماشینه**"، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۸، ش.: ۳۱، ص.: ۶۸-۷۵، ۱۳۹۶.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[13] J. Segundo-Ramirez, A. Bayo-Salas, M. Esparza, J. Beerten, P. Gómez, "*Frequency domain methods for accuracy assessment of wideband models in electromagnetic transient stability studies*", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 35, no. 1, pp. 71-83, Feb. 2020.

[14] M. M. Eladany, A. A. Eldesouky and A. A. Sallam, "*power system transient stability: an algorithm for assessment and enhancement based on catastrophe theory and FACTS devices*", IEEE Access, vol. 6, pp. 26424-26437, 2018.

[15] A. Kapetanaki, V. Levi, M. Buhari, J. A. Schachter, "*Maximization of wind energy utilization through corrective scheduling and FACTS deployment*", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 32, no. 6, pp. 4764-4773, Nov. 2017.

[16] G Shahgholian, A Movahedi, "*Coordinated control of TCSC and SVC for system stability enhancement using ANFIS method*", International Review on Modelling and Simulations, vol. 4, no. 5, pp. 2367-2375, 2011.

[17] N. Abas, S. Dilshad, A. Khalid, M. S. Saleem, N. Khan, "*Power quality improvement using dynamic voltage restorer*", IEEE Access, vol. 8, pp. 164325-164339, 2020.

[18] B. Ismail, N. I. Abdul Wahab, M. L. Othman, M. A. M. Radzi, K. Naidu Vijyakumar, M. N. Mat Naain, "*A comprehensive review on optimal location and sizing of reactive power compensation using hybrid-based approaches for power loss reduction, voltage stability improvement, voltage profile enhancement and loadability enhancement*", IEEE Access, vol. 8, pp. 222733-222765, 2020.

[۱۹] زنجانی سیدمحمدعلی، عظیمی زهرا، عظیمی مصطفی، **"تحلیل و ارزیابی سیستم کنترل هیبرید در جبرانگرهای سنکرون استاتیکی توزیع بر پایه مبدلهای منبع جریان"**، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۲، ش.: ۷، ص.: ۵۹-۶۷، پاییز ۱۳۹۰.

[20] H. Parastvand, O. Bass, M. A. S. Masoum, A. Chapman, S. Lachowicz, "*Cyber-security constrained placement of FACTS devices in power networks from a novel topological perspective*", IEEE Access, vol. 8, pp. 108201-108215, 2020.

[۲۱] شاهرضایی سعید، قدیمی علی‌اصغر، گندمکار مجید، معظمی مجید، شاه‌حیدری ساناز، افشاری‌مقدم علیرضا، **"ارزیابی قابلیت اعتماد شبکه برق منطقه‌ای باختر و بررسی راهکارهای بهبود شاخص-های قابلیت اعتماد آن"**، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۴، ش.: ۱۴، ص.: ۳-۱۰، تابستان ۱۳۹۲.

[22] B. Hu, K. Xie, H. Tai, "*Inverse problem of power system reliability evaluation: analytical model and solution method*", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 33, no. 6, pp. 6569-6578, Nov. 2018.

[23] B. Singh, G. Agrawal, "*Enhancement of voltage profile by incorporation of SVC in power system networks by using optimal load flow method in MATLAB/Simulink environments*", Energy Reports, vol. 4, pp. 418-434, Nov. 2018.

[۲۴] شوهان فرید، براتی حسن، **"پخش توان راکتیو بهینه جهت بهبود بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت با استفاده از الگوریتم بهینه-سازی بر پایه تعلیم یادگیری"**، تحقیقات نوین در برق، سال: ۲، ش.: ۳، ص.: ۴۷-۵۵، زمستان ۱۳۹۲.

[25] H. Kim and C. Singh, "*Reliability modeling and simulation in power systems with aging characteristics*", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 25, no. 1, pp. 21-28, Feb. 2010.

[۲۶] متقی علی، علیزاده محسن، عباسیان محمدعلی، **"جبران‌سازی توان راکتیو و کاهش تلفات شبکه انتقال توسط مکان یابی بهینه ی ادوات FACTS سری و موازی با روش فازی-تکاملی"**، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۹، ش.: ۳۵، ص.: ۲۷-۳۸، پاییز ۱۳۹۷.

[۲۷] فلکی محسن، **"بررسی اثرگذاری ادوات FACTS بر کاهش تلفات و پروفیل ولتاژ در بازار نوع اشتراکی"**، تحقیقات نوین در برق، سال: ۷، ش.: ۲، ص.: ۲۵-۳۵، زمستان ۱۳۹۷.

[28] M. Mahdavian, G. Shahgholian, P. Shafaghi, M. Azadeh, S. Farazpey, M. Janghorbani, "*Power system oscillations improvement by using static var compensator*", Proceeding of the IEEE/ECTICON, Chiang Mai, Thailand, June/July 2016

[29] G Shahgholian, A Movahedi, "*Coordinated control of TCSC and SVC for system stability enhancement using ANFIS method*", International Review on Modelling and Simulations, vol. 4, no. 5, pp. 2367-2375, 2011.

[30] S. A. Eghbali-Khob, M. Moazzami, R. Hemmati, "*Advanced model for joint generation and transmission expansion planning including reactive power and security constraints of the network integrated with wind turbine*", International Transactions on Electrical Energy Systems, vol. 29, no. 4, Article Number: w2799, April 2019.

[31] R. N. Allan, R. Billinton, A. M. Breipohl, C. H. Grigg, "*Bibliography on the application of probability methods in power system reliability evaluation*", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 14, no. 1, pp. 51-57, Feb. 1999.

[32] J. Zhu, K. Cheung, D. Hwang, A. Sadjadpour, "*Operation strategy for improving voltage profile and reducing system loss*", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 25, no. 1, pp. 390-397, Jan. 2010.

[33] M. Hedayati, "*Technical specification and requirements of static VAr compensation (SVC) protection consist of TCR, TSC and combined TCR/TSC*", Proceeding of the IEEE/UPEC, Bristol, UK, vol. 1, pp. 261-264, Sept. 2004.

[34] A. Pekdemir, A. B. Yildiz, "*Analysis and modelling of FC-TCR based on static VAR compensator*", Proceeding of the IEEE/ICEEE, Istanbul, Turkey, pp. 115-118, May 2018.

[۳۵] بهدان علی، فانی بهادر، ادیب احسان، **"ارزیابی قابلیت اعتماد انواع SVC در سیستم‌های قدرت با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف"**، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۶، ش.: ۲۲، ص.: ۱۳-۲۲، تابستان ۱۳۹۴.

[36] C. Jaipradidtham, "*A control of real voltage and harmonic analysis with adaptive static var of electric arc furnace for power quality improvement by Grey Markov method*", Proceeding of the IEEE/ICPS, pp. 1-6, New Delhi, India, March 2016.

[37] M. S. Alvarez-Alvarado, D. Jayaweera, "*Reliability model for a static var compensator*," Proceeding of the IEEE/ETCM, pp. 1-6, Salinas, Ecuador, Oct. 2017.

[38] M. S. Alvarez-Alvarado, D. Jayaweera, "*A new approach for reliability assessment of a static var compensator integrated smart grid*", Proceeding of the IEEE/PMAPS, pp. 1-7, Boise, ID, June 2018.

[39] W. Qin, P. Wang, X. Han, X. Du, "*Reactive power aspects in reliability assessment of power systems*", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 26, no. 1, pp. 85-92, Feb. 2011.

[40] A. Karami-Horestani, M. E. Hamedani-Golshan, H. Hajian-Hoseinabadi, "*Reliability modeling of TCR–FC type SVC using Markov process*", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 55, pp. 305-311, Feb. 2014.

[41] R. U. Nighot, "*Incorporating substation and switching station related outages in composite system reliability evaluation*", Master Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, 2003.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

زیرنویس‌ها

1. Reliability
2. Static reactive power compensators
3. Profile
4. Static var compensator
5. Markov approach
6. Fixed capacitor thyristor controlled reactor
7. Expected real power load curtailment due to the real power shortage
8. Expected reactive power load curtailment due to the real power shortage
9. Expected reactive power load curtailment due to the reactive power shortage or voltage violation
10. Expected energy not supplied due to the real power shortage
11. Expected energy not supplied due to the reactive power shortage
12. Expected var not supplied due to the real power shortage
13. Expected var not supplied due to the reactive power shortage or voltage violation
14. Expected var not supplied due to the real power shortage
15. Expected VAr not supplied due to the reactive power shortage or voltage violation

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021

The Effect of Static Var Compensator Modelling in Evaluation of Power Systems Reliability

Siavosh Abbasi[1,4], Ghazanfar Shahgholian[2,4], Majid Moazzami[3,4]

1- MSc Student, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
2- Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, shahgholian@iaun.ac.ir
3- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, m_moazzami@pel.iaun.ac.ir
4- Smart Microgrid Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Abstract: Adequate storage of reactive power is one of the most important requirements for the proper functioning of the power system in natural and critical conditions. The design and application of reactive power equipment play a very important role in maintaining the optimal performance and reliability of power systems. With the increasing use of static compensators in energy systems, the study of their effect on system performance indicators has become very important. In this paper, the role of different components of a static compensator (SVC) is investigated and the creation of an evaluation model to evaluate the performance of SVC will be mentioned. Then, by using appropriate indicators due to lack of active and reactive power such as unreliable expected energy supply (EENS), expected unmet supply (EVNS) and active load cut-off (ELC) are defined and the effect of SVC on The reliability assessment of the power system has been investigated.The results of this study are used for the management of SVCs as one of the important components of reactive power storage resources as well as more accurate design of power systems and control systems made by SVCs. Be.

Keywords: Reactive power, Static reactive power compensators, Reliability, Evaluation indicators, Markov model.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.4.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]