



دانشکده مهندسی برق و رباتیک
گروه قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تأثیر توان راکتیو در قابلیت اطمینان سیستم قدرت

مصطفی کاظمی ملک محمودی

استاد راهنما:
دکتر مهدی بانژاد

بهمن ۱۳۹۳

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک
گروه قدرت

بررسی تأثیر توان راکتیو در قابلیت اطمینان سیستم قدرت

مصطفی کاظمی ملک محمودی

استاد راهنما:
دکتر مهدی بانژاد

پایان نامه برای اخذ مدرک کارشناسی ارشد در رشته
مهندسی برق – گرایش قدرت

بهمن ۱۳۹۳

شماره: ۱۳۵۶/ت.ب

تاریخ: ۹۳/۱۱/۲۶

وبسایت: —————

بسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خاتم / آقای:

مصطفی کاظمی ملک محمودی رشته: حقوق گرایش: قدوت

تحت عنوان: بررسی تأثیر توان راکتپو در قابلیت اطمینان سیستم قدرت

که در تاریخ ۹۳/۱۱/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است:

قبول (با درجه: متوسط) امتیاز: ۱۵/۹۹ ☒ ☐ دفاع مجدد ☐ مرشود ☐

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴) ✓

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	محمدی بارزله	دانشیار	
۲- استاد مشاور			
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	مرتضی رحیمی	استاد	
۴- استاد متحن	حسن اصیل	استادیار	
۵- استاد متحن	علیرضا الهی	استادیار	

رئیس دانشکده:

تقدیم به:

همسر مهربانم به جهت همه سختی هایی که در این مدت متحمل شدند
همچنین پدر و مادر عزیزم به خاطر زحمات بی دریغشان

چیدم گلی ز باغ ادب تا بروز عید

در بارگاه میر ادب پرور آورم

حیف است با خسان گل دانش کنی نثار

من گل نثار مردم دانشور آورم

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش خداوندی را سزااست که کسوت هستی را بر اندام موزون آفرینش بیوشانید و تجلیات قدرت لایت زالی را در مظاهر و آثار طبیعت نمایان گردانید. بار الها! من با یاد تو، به تو تقرّب می‌جویم و تو را به پیشگاه تو شفیع می‌آورم و از تو خواستارم، به کرمّت، مرا به خودت نزدیک گردانی و یاد خود را به من الهام کنی و بر من رحمت آوری و به آنچه بهره و نصیب من ساخته‌ای، خشنودم قرار دهی و در همه حال به فروتنی‌ام واداری.

بر خود لازم می‌دانم در ابتدا از کلیه کسانی که بنده را در تدوین و نگارش این پایان‌نامه یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. به خصوص از استاد فرزانه جناب آقای دکتر مهدی بانژاد که در کلیه مراحل انجام این پژوهش با خوشروئی، یاری و راهنمایی‌ام نمودند. همچنین از جناب مهندس محیطی به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌ای که در این مدت در تدوین پایان‌نامه داشته‌اند. و از کلیه معلمان و اساتید دوران تحصیلم از ابتدا تا کنون صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب **مصطفی کاظمی ملک محمودی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق قدرت دانشکده مهندسی برق و ریاضیات دانشگاه شاهرود، نویسنده پایان نامه با عنوان **بررسی تأثیر توان راکتیو در قابلیت اطمینان سیستم قدرت**، تحت راهنمایی **دکتر مهدی بانژاد** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های دیگر پژوهش‌گران، به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این پایان نامه، تاکنون توسط خود، یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- حقوق معنوی این اثر، به دانشگاه شاهرود تعلق دارد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه شاهرود" یا "Shahrood University" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده) شده است، اصل رازداری و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.


مصطفی کاظمی ملک محمودی
۱۳۹۳

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی، در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این پایان‌نامه بدون ذکر منبع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

قابلیت اطمینان^۱ یک پارامتر مهم در ارزیابی کارایی و پایداری سیستم‌های قدرت می‌باشد. بدین صورت که برای بهره‌برداری عادی از یک شبکه، حداقل مقدار مجاز آن الزامی است. در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌ها، پارامترهای مهمی مانند میزان ذخیره چرخان در نیروگاه‌ها، حلقوی شدن شبکه در بخش انتقال و توزیع، کنترل ولتاژ و کنترل میزان مگا وار شبکه و... دخیل هستند. قابلیت اطمینان سیستم به طور تنگاتنگ با توان راکتیو سیستم قدرت در ارتباط است، بطوریکه تولید مناسب و تزریق این توان در یک سیستم قدرت باعث بهبود این پارامتر شده و به پایداری ولتاژ و سیستم کمک می‌کند. این مسئله باعث شده که امروزه حضور تجهیزات تولیدکننده توان راکتیو در شبکه‌ی قدرت نیز اهمیت بسیاری پیدا کند. در سیستم‌های قدرت امروزی به دلیل بحث پایداری، شبکه‌ها به صورت یکپارچه و مرتبط با هم مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. از طرف دیگر به دلایل اقتصادی بهره‌برداری حداکثری از نیروگاه‌های تولیدی روشن در شبکه نیاز است، از این رو خطوط انتقال در پرباری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. این موارد باعث اهمیت هر چه بیشتر تزریق توان راکتیو در شبکه‌های امروزی می‌باشد. بدین دلیل جاییابی و مقدار یابی صحیح برای نصب تجهیزات تولیدکننده توان راکتیو هم از نظر پایداری و هم از نظر اقتصادی برای سیستم‌های مدرن ضروری است.

در این پایان نامه در مورد توان راکتیو و جنبه‌های مختلف آن بحث شده است و قابلیت اطمینان سیستم قدرت به صورت کامل تعریف شده است و در مورد نقش توان راکتیو در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت بیان شده است. در ابتدا شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت تعریف و مدل سازی شده‌اند. این شاخص‌ها به دو گروه کلی شاخص‌های مرتبط با توان راکتیو و شاخص‌های مرتبط با توان راکتیو تقسیم بندی شدند. همچنین در مورد جبران سازه‌های توان راکتیو و نقش موثر آنها در بهبود پروفایل ولتاژ، تلفات توان و شاخص‌های قابلیت اطمینان بحث شده است. در ادامه

1-Reliability

تأثیر نقطه تنظیم ولتاژ مبنا، محدوده توان راکتیو تولیدی ژنراتور و خروج خطوط پربار و کم بار نیز بر افزایش و کاهش شاخص های قابلیت اطمینان، پروفایل ولتاژ و تلفات توان بررسی شد. در پایان نتایج موارد ذکر شده بالا که در قالب ۱۶ سناریو تقسیم بندی شده بود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نتایج آنها با هم مقایسه گردید.

کلمات کلیدی: قابلیت اطمینان ، توان راکتیو^۲ ، جبران سازی^۳، شاخص های توان راکتیو و اکتیو^۴

2-Reactive Power

3-Compesator

4-Active and reactive power indicators

فہرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۱-۱

فصل ۲: مقدمه‌های بر توان راکتیو و مروری بر کار دیگران ۵

۱-۲- مقدمه ۱-۲

۲-۲- دلایل اهمیت توان راکتیو ۲-۲

۳-۲- ضرورت جبران سازی توان راکتیو ۳-۲

۴-۲- اهداف اصلی در جبران بار ۴-۲

۵-۲- کنترل ولتاژ ۵-۲

فصل ۳: قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت ۱۹

۱-۳- مقدمه ۱-۳

۲-۳- تعریف قابلیت اطمینان: ۲-۳

۳-۳- مروری بر چگونگی مطالعات قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت ۳-۳

۴-۳- اهداف کلی در مطالعات قابلیت اطمینان ۴-۳

۳-۴-۱- شایستگی سیستم - کفایت (کافی بودن ظرفیت) ۳-۴-۱

۳-۴-۲- قابلیت اعتماد سیستم - امنیت ۳-۴-۲

۳-۴-۳- برنامه ریزی بخش تولید (HL I): ۳-۴-۳

۴-۴-۳- اهداف اصلی در مطالعات قابلیت اطمینان سیستم تولید ۴-۴-۳

۵-۴-۳- سیستم یکپارچه تولید و انتقال (HL II): ۵-۴-۳

۶-۴-۳- اهداف اصلی در مطالعات قابلیت اطمینان سیستم انتقال ۶-۴-۳

۵-۳- سیستم‌های توزیع (HL III) ۵-۳

۳-۵-۱- اهمیت قابلیت اطمینان در سیستم توزیع ۳-۵-۱

۳-۶- اصول ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت ۳-۶

۳-۷- روش‌های محاسبه ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت ۳-۷

۱-۳-۷-۳- مدل سیستم تولید و عدم دسترسی آن ۱-۳-۷-۳

۳-۸- شاخص‌های از دست رفتن انرژی ۳-۸

۳-۸-۱- شاخص‌های ارزیابی انرژی ۳-۸-۱

۳-۸-۲- انرژی مورد انتظار تأمین نشده ۳-۸-۲

۳-۹- نتیجه گیری فصل ۳۹

فصل ۴: بیان گام به گام مسئله و محاسبه شاخص های قابلیت اطمینان ۴۱

۴-۱- مقدمه: ۴۲

۴-۲- شاخص های قابلیت اطمینان و بررسی احتمال آنها ۴۳

۴-۲-۱- مدل قابلیت اطمینان اجزای سیستم قدرت ۴۳

۴-۲-۲- معرفی پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم ۴۴

۴-۲-۳- شاخص های قابلیت اطمینان ۴۶

۴-۳- فلوچارت اجرای برنامه در نرم افزار MATLAB: ۴۹

۴-۴- سیستم قدرت شبیه سازی شده: ۵۱

۴-۴-۱- تاریخچه شبکه مورد آزمایش: ۵۱

۴-۴-۲- مشخصات شبکه مورد آزمایش: ۵۳

۴-۵- نتیجه گیری فصل: ۵۵

فصل ۵: تاثیر توان راکتیو بر قابلیت اطمینان سیستم قدرت و شبیه سازی ۵۷

۵-۱- توان راکتیو: ۵۸

۵-۱-۱- شاخص های توان راکتیو ۵۹

۵-۱-۲- کنترل بار تحت ولتاژ ۵۹

۵-۲- شبیه سازی سیستم نمونه: ۶۱

۵-۲-۱- سناریوی شماره ۱: ۶۱

۵-۲-۲- سناریوی شماره ۲: ۶۴

۵-۲-۳- سناریوی شماره ۳: ۶۸

۵-۲-۴- سناریوی شماره ۴: ۷۳

۵-۲-۵- سناریوی شماره ۵: ۷۵

۵-۲-۶- سناریوی شماره ۶: ۷۷

۵-۲-۷- سناریوی شماره ۷: ۷۹

۵-۲-۸- سناریوی شماره ۸: ۸۵

۵-۲-۹- سناریوی شماره ۹: ۸۶

۵-۲-۱۰- سناریوی شماره ۱۰: ۸۶

۵-۲-۱۱- سناریوی شماره ۱۱: ۸۷

۵-۲-۱۲- سناریوی شماره ۱۲: ۸۷

۵-۲-۱۳- سناریوی شماره ۱۳: ۸۷

۵-۲-۱۴- سناریوی شماره ۱۴: ۸۸

۸۸	:سناریوی شماره ۱۵-۱۵-۲-۵
۸۹	:سناریوی شماره ۱۶-۱۶-۲-۵
۹۰	 فصل نتیجه گیری ۳-۵
۹۳	 فصل ۶: نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۴	 ۱-۶- نتیجه گیری
۹۵	 ۲-۶- پیشنهادات
Error! Bookmark not defined. مراجع	

فهرست شکل‌ها

۲۰	 هزینه‌های قابلیت اطمینان کل	شکل ۳-۱)
۳۷	 قطع انرژی به خاطر خروج قسمتی از ظرفیت نصب نشده	شکل ۳-۲)
۴۴	 مدل دو طرفه یک جز سیستم	شکل ۴-۱)
۵۰	 فلوچارت اجرای برنامه	شکل ۴-۲)
۵۱	 سیستم ۳۰ باسه IEEE	شکل ۴-۳)
۵۲	 شبیه سازی سیستم ۳۰ باسه IEEE در محیط DigSILENT	شکل ۴-۴)
۶۵	 سیستم ۳۰ باسه IEEE تغییر یافته سناریوی شماره ۲	شکل ۵-۱)
۶۷	 مقایسه پروفایل ولتاژ در سناریوی شماره ۱ و ۲	شکل ۵-۲)
۶۷	 مقایسه میزان تلفات توان اکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ و ۲	شکل ۵-۳)
۶۸	 مقایسه میزان تلفات توان راکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ و ۲	شکل ۵-۴)
۶۹	 سیستم ۳۰ باسه IEEE تغییر یافته سناریوی شماره ۳	شکل ۵-۵)
۷۱	 مقایسه پروفایل ولتاژ در سناریوی شماره ۱ تا ۳	شکل ۵-۶)
۷۲	 مقایسه میزان تلفات توان اکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۳	شکل ۵-۷)
۷۳	 مقایسه میزان تلفات توان راکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۳	شکل ۵-۸)
۸۱	 مقایسه میزان تلفات توان اکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷	شکل ۵-۹)
۸۱	 مقایسه میزان تلفات توان راکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷	شکل ۵-۱۰)
۸۲	 مقایسه پروفایل ولتاژ در سناریوی شماره ۱ تا ۷	شکل ۵-۱۱)
۸۲	 مقایسه شاخص های EENSP سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷	شکل ۵-۱۲)
۸۳	 مقایسه شاخص های EENSQ سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷	شکل ۵-۱۳)
۸۳	 مقایسه شاخص های EQCQ سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷	شکل ۵-۱۴)
۸۴	 مقایسه شاخص های ELCQ سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷	شکل ۵-۱۵)
۸۴	 مقایسه شاخص های EVSQ سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷	شکل ۵-۱۶)

فهرست جدول‌ها

۵۴	پارامترهای قابلیت اطمینان خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE.....	جدول ۴-۱)
۵۴	پارامترهای قابلیت اطمینان و محدودیت‌های توان راکتیو سیستم ۳۰ باسه IEEE.....	جدول ۴-۲)
۶۲	نتایج پخش بار مربوط به باس‌های سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۱.....	جدول ۵-۱)
۶۲	نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۱....	جدول ۵-۲)
۶۴	نتایج مربوط به شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۱.....	جدول ۵-۳)
۶۵	نتایج پخش بار مربوط به باس‌های سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۲.....	جدول ۵-۴)
۶۶	نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۲....	جدول ۵-۵)
۶۶	نتایج مربوط به شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۲.....	جدول ۵-۶)
۶۹	نتایج پخش بار مربوط به باس‌های سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۳.....	جدول ۵-۷)
۷۰	نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۳....	جدول ۵-۸)
۷۰	نتایج مربوط به شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۳.....	جدول ۵-۹)
۷۳	نتایج پخش بار مربوط به باس‌های سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۴.....	جدول ۵-۱۰)
۷۴	نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۴....	جدول ۵-۱۱)
۷۴	نتایج مربوط به شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۴.....	جدول ۵-۱۲)
۷۵	نتایج پخش بار مربوط به باس‌های سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۵.....	جدول ۵-۱۳)
۷۵	نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۵..	جدول ۵-۱۴)
۷۶	نتایج مربوط به شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۵.....	جدول ۵-۱۵)
۷۸	نتایج پخش بار مربوط به باس‌های سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۶.....	جدول ۵-۱۶)
۷۸	نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۶....	جدول ۴-۱۷)
۷۸	نتایج مربوط به شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۶.....	جدول ۵-۱۸)
۷۹	نتایج پخش بار مربوط به باس‌های سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۷.....	جدول ۵-۱۹)
۸۰	نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۷....	جدول ۵-۲۰)
۸۰	نتایج مربوط به شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۷....	جدول ۵-۲۱)
۸۹	خلاصه نتایج سناریوهای ۸ الی ۱۶.....	جدول ۵-۲۲)

فصل ۱: مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت تکنولوژی و تغییر ساختار جامعه، لزوم تداوم تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز مشترکین بیش از پیش احساس می شود. با توجه به رفتار تصادفی المانهای مختلف سیستم و وجود اغتشاشات و خطاهایی که اتفاق می افتد که عموماً موجب قطع تغذیه مشترکین می شوند، نمی توان سیستمی با قابلیت اطمینان صد در صد را تضمین کرد که این مساله از کنترل مهندسين نیز خارج است. لذا باید معیاری را جهت کیفیت عملکرد سیستم از نقطه نظر پیوستگی در سرویس دهی به مشترکین تعریف نمود که به آن قابلیت اطمینان گفته می شود. قابلیت اطمینان در یک سیستم قدرت را می توان میزان توانایی سیستم در سرویس دهی وانجام وظایف محوله به آن با در نظر گرفتن شرایط نامساعدی که ممکن است برای برخی از المانهای سیستم پیش بیاید دانست. هدف اصلی و ایده آل در بحث تأمین توان الکتریکی، ارائه یک انرژی باکیفیت بالا به مشتریان یعنی انرژی بدون قطعی، نوسان و ... است که در کنار آن باید به مسائل اقتصادی توجه شود که یک انرژی ارزان و باکیفیت به مشتریان تحویل داده شود. امروزه در کشورهای پیشرفته بازار رقابتی مدرنی در بخش ارائه انرژی بوجود آمده است و وجود انرژی باکیفیت پایین در بازار برق دیگر جایگاهی ندارد. توازن این دو (مسائل اقتصادی و کیفیت خدمات ارائه شده) را محاسبات قابلیت اطمینان تعیین می کند. تعیین مقدار مورد نیاز ظرفیت تولیدی سیستم جهت تضمین یک منبع تغذیه کافی، بحث مهمی در طراحی و بهره برداری سیستم قدرت است. مسئله کلی می تواند از نظر مفهومی به دو منطقه مختلف به صورت ضرورت ظرفیت ساکن و نحوه بهره برداری تخصیص داده شود. ناحیه ظرفیت ساکن مربوط به ارزیابی طولانی مدت نیاز کلی سیستم است. ناحیه ظرفیت بهره برداری مربوط به ارزیابی کوتاه مدت ظرفیت واقعی برای تأمین سطح بار داده شده است.

میزان مورد نیاز ظرفیت ساکن می تواند به صورت ظرفیت نصب شده ای که می بایست در مقابل نیازهای سیستم طراحی و ساخته شده، در نظر گرفته شود. رزرو ساکن می بایست برای زمان های

تعمیرات تجهیزات تولید، خاموشی‌هایی که زمانبندی نشده‌اند، و رشد بار متجاوز از مقدار تخمین شده کافی باشد. مقالاتی زیادی در استفاده روش‌های احتمالاتی برای ارزیابی قابلیت اطمینان ظرفیت تولید در ۴۰ سال گذشته منتشر شده است. این مقالات در سه مبحث جامع طبقه‌بندی شده‌اند. اولین گروه بزرگ مقالات در سال ۱۹۴۷ منتشر شد. این مقالات مفاهیم پایه‌ای را پیشنهاد کرده که بعضی از روش‌های مورد استفاده کنونی، بر اساس آن‌ها پایه‌ریزی گردیده‌اند. گروهی از مقالات ارائه‌شده در سال ۱۹۴۷، روش‌هایی را ارائه کرده‌اند که با اعمال بعضی اصلاحات اکنون به عنوان روش از دست دادن بار و روش فراوانی و تداوم شناخته می‌شوند [۱]، [۲].

در سال ۱۹۵۸ دومین گروه بزرگ مقالات منتشر شد. این گروه مقالات، مقالات ارائه‌شده در سال ۱۹۴۷ را اصلاح کرده و گسترش دادند و همچنین روش‌های پیشرفته‌تری برای مسئله به کمک تئوری بازی یا روش‌های شبیه سازی ارائه کردند [۲]. گروه سوم این مقالات در سال‌های ۱۹۶۸ و ۱۹۶۹ توسط *Doow* و *Eelgnir* انتشار یافتن مفاهیم اصلی ارزیابی و تداوم را در سیستم‌ها تشریح کردند [۲]. در این پایان‌نامه به صورت کامل در این مورد بحث می‌شود. ابتدا در فصل دوم به طور مختصر در مورد توان راکتیو و ضرورت آن بحث می‌شود. در این فصل موضوعات انجام‌شده پیرامون قابلیت اطمینان و همچنین مروری بر کار دیگران صورت می‌گیرد. در فصل بعدی تعریفی کلی و جامع برای قابلیت اطمینان ارائه و مفاهیم قابلیت اطمینان را بررسی می‌شود. در این فصل بر موارد توازن کیفیت و مسایل اقتصادی بحث شده است و قابلیت اطمینان را از دیدگاه‌های مختلف و سطوح مختلف شرح داده می‌شود. در فصل چهارم به روش پیشنهادی انجام کار و معرفی شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت پرداخته شد و سیستم قدرت نمونه ۳۰ باسه استاندارد با مشخصات مربوطه توضیح داده شد. در فصل پنجم بررسی عوامل مختلف تاثیر توان راکتیو بر قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت در قالب ۱۶ سناریو بصورت شبیه سازی و عملی بیان شد و نتایج آنها بطور کامل با یکدیگر مقایسه گردید. در انتها در فصل آخر به نتیجه‌گیری موضوع و بیان پیشنهادها می‌پردازیم.

فصل ۲: مقدمه ای بر توان راکتیو و مروری

بر کار دیگران

۲-۱- مقدمه

توان راکتیو یک از مهم‌ترین عوامل حائز اهمیت در طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت است. در یک بیان ساده و بسیار کلی می‌توان گفت از آنجایی که امپدانس‌های اجزاء سیستم قدرت به طور غالب راکتیو می‌باشند، انتقال توان اکتیو مستلزم وجود اختلاف زاویه فاز بین ولتاژهای ابتدا و انتهای خط است. درحالی‌که برای انتقال توان راکتیو لازم است که اندازه این ولتاژها متفاوت باشد. بنابراین باید توان راکتیو در بعضی از نقاط سیستم تولید و سپس به محل‌های مورد نیاز منتقل شود. برای این کار ولتاژها را باید در نقاط کلیدی کنترل کرده و یا حدود تغییرات آن را در بازه مشخص و ثابتی نگه داریم. این عمل کنترل می‌تواند در سطح وسیعی به وسیله تولید یا مصرف توان راکتیو در نقاط کلیدی صورت گیرد. در عمل تمام تجهیزات یک سیستم قدرت برای ولتاژ مشخصی (ولتاژ نامی) طراحی می‌شوند. اگر ولتاژ از مقدار نامی خود منحرف شود ممکن است باعث صدمه رساندن به تجهیزات سیستم و یا کاهش عمر آن‌ها گردد. بنابراین تثبیت ولتاژ نقاط یک سیستم قدرت کاملاً ضروری است.

همان طور که گفته شد قابلیت اطمینان یک سیستم قدرت به طور تنگاتنگ با قدرت تولید توان راکتیو و جاری شدن آن در سیستم دارد. از طرفی رابطه‌ی توان راکتیو با ولتاژ شبکه، تأثیرپذیری این پارامتر برای قابلیت اطمینان سیستم قدرت را بیشتر می‌کند. در این فصل به مسائل پیرامون توان راکتیو و اهمیت آن، مباحث پیرامون کنترل ولتاژ در شبکه‌ی قدرت پرداخته می‌شود و همچنین کار انجام شده در این حوزه نیز بررسی می‌گردد.

۲-۲- دلایل اهمیت توان راکتیو

تثبیت ولتاژ در نقاط مختلف سیستم های قدرت متاثر از حمایت توان راکتیو می باشد. در

نتیجه نظارت بر منابع توان راکتیو به دلیل اینکه شرایط سیستم را تغییر می دهد، مهم می باشد. پیدا کردن یک رابطه بین منابع توان راکتیو و امنیت سیستم با توجه به تثبیت ولتاژ و ضعف ولتاژ ضروری می باشد. مساله فروپاشی ولتاژ که معمولاً در سیستمهای قدرت رخ می دهد به شدت مورد تاکید بهره برداران سیستم می باشد. این مساله ممکن است از یک اختلال ساده شروع شود، اما معمولاً با کمبود مشخصی از ذخایر توان راکتیو می تواند به طور سریع به فروپاشی ولتاژ و خاموشی گسترده در سیستم منجر شود. فروپاشی ولتاژ معمولاً در مناطق خاصی از سیستم رخ می دهد ولی کل سیستم را تحت تاثیر قرار می دهد.

با توجه به قیمت سوخت، نیاز به بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های قدرت افزایش یافته است. برای توزیع یک مقدار معین توان به حداقل رساندن پخش توان راکتیو کل، تلفات کاهش می‌یابد. این اصل می‌تواند در شکل ساده یک خازن اصلاح‌کننده ضریب توان یک بار اندوکتیوی در قالب الگوریتم‌های پیشرفته توسط کامپیوتر کنترل می‌شوند در سراسر سیستم اعمال گردد. در بازار برق امروزی به دلیل افزایش نرخ سود هزینه ها و مشکلات مربوط به حریم خطوط انتقال از توسعه و احداث شبکه های انتقال حتی الامکان جلوگیری می‌شود. از این رو در این بازار، مقدار ظرفیت توان راکتیو به منظور جلوگیری از حبس ظرفیت خطوط و استفاده حداکثری از خطوط انتقال، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱۰-۱۳]. در مرجع [۱۲] رابطه بین قیمت خدمات توان راکتیو و امنیت ولتاژ در سیستم قدرت بررسی شده است. در واقع نشان داده شده است که هزینه منابع تولید توان راکتیو با نیازمندی های حاشیه پایداری ولتاژ افزایش می‌یابد. در مرجع [۱۳] بازار محلی تولید توان راکتیو بر اساس مناطق کنترل ولتاژ ارائه شد. که در این مقاله با استفاده از مفهوم فاصله الکتریکی در سیستم قدرت، مناطق کنترل ولتاژ مختلف بازار توان راکتیو بدست آمد که با پخش بار بهینه در جهت بهبود قیمت غیر متناسب بازار برق بکار استفاده شد. در حقیقت با طراحی مناسب یک بازار توان راکتیو محلی برای مناطق کنترل ولتاژ در یک سیستم قدرت با استفاده از تزریق توان راکتیو محلی می‌توان پرداخت مناسبی جهت خدمات توان راکتیو مناسب با رفاه حال مشتریان این بازار فراهم نمود.

در موارد متعددی سعی شده است که با استفاده از وسایل کنترل توان راکتیو و بهبود پایداری، میزان توان انتقالی خطوط موجود افزایش یابد. در بهره‌برداری از منابع آبی نیروگاه‌های دوردست نظیر مناطق کوهستانی توسعه یافته است. علیرغم توسعه تکنولوژی انتقال DC در بسیاری از این طرح‌ها انتقال AC ترجیح داده شده است. مسایل پایداری و کنترل ولتاژ به مسائل کنترل راکتیو در ارتباط داشته و راه‌حل‌های زیادی ارائه گردیده است. در مراجع [۱۴-۱۵] مسائل مربوط به بازار توان راکتیو در شبکه تجدید ساختار اشاره شده است. در مرجع [۱۵] تکنیک‌های محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان نقاط بار را بر اساس موافقت نامه‌های ذخیره توان راکتیو را نشان می‌دهد. در واقع این مقاله به معرفی شرکت‌های تولید و ذخیره توان راکتیو در سیستم‌های قدرت می‌پردازد.

به خاطر مصرف روزافزون وسایل جدید الکترونیکی (به خصوص کامپیوتر و تلویزیون رنگی) و همچنین رشد صنایع با فرایند پیوسته، نیاز به داشتن تغذیه باکیفیت بالا افزایش یافته است. کاهش ولتاژ یا فرکانس اثر نامطلوبی را بر روی چنین بارهایی اعمال می‌کند و قطع تغذیه می‌تواند خیلی صدمه آور و پر هزینه باشد. توان راکتیو یکی از ارکان اساسی در حفظ کیفیت توان می‌باشد. به خصوص برای جلوگیری از اغتشاشات ولتاژ که از عمومی‌ترین نوع اغتشاش می‌باشد. با توسعه و احداث خطوط انتقال DC کنترل توان راکتیو در طرف AC مبدل‌ها ضرورت پیدا کرده تا بدین وسیله ولتاژ تثبیت گردد. توان راکتیو یک نیاز اساسی برای حفظ ثبات ولتاژ سیستم است. در مراجع [۱۷-۲۴]، تأثیر توان راکتیو در ثبات و امنیت سیستم به خوبی مورد بررسی قرار گرفته شده است. مرجع [۱۷] رابطه ذخیره توان راکتیو سیستم و امنیت و پایداری ولتاژ را نشان می‌دهد که در واقع رابطه غیر خطی حاشیه پایداری ولتاژ (VSM)^۵ و مقدار ذخیره توان راکتیو سیستم بیان شده است. همچنین مشخص گردید که سیستم‌هایی که دارای مقدار بار راکتیو و راکتیو بالایی باشند یا ذخیره توان راکتیو کمی داشته باشند، امنیت ولتاژ را پشتیبانی نمی‌کنند. در مرجع [۱۸] برای بازار رقابتی جهت خدمات جانبی توان راکتیو دو چالش عمده بیان شده است که یکی مربوط می‌شود به مشکلات

5- voltage stability margin

مربوط به تامین و تدارک توان راکتیو مانند قیمت و پیش بینی تقاضای سیستم که به عنوان چالش بلند مدت می باشد و دوم مشکلات مربوط به پخش توان راکتیو می باشد که به عنوان چالش کوتاه مدت معرفی می شود. در مرجع [۲۰] با توجه به حرکت سیستم قدرت از ساختار سنتی به بازار رقابتی، یکسری مولدین تولید توان راکتیو برای حمایت مصرف کنندگان سیستم معرفی شده اند که با توجه به نحوه عملکرد آنها (سریع و آهسته)، می توان در بازار سرمایه گذاری سیستم قدرت مورد استفاده قرار گیرند. مرجع [۲۱] مدیریت در ذخیره توان راکتیو در جهت بهبود پایداری ولتاژ را به خوبی نشان می دهد. همچنین با توجه به محدودیت های تولید و انتقال توان راکتیو، منابع توان راکتیو (جبران ساز توان راکتیو) برای جبران ولتاژ و کمبود توان راکتیو سیستم در جهت کاهش تلفات توان راکتیو خطوط انتقال می توان مورد استفاده قرار گیرند. در مرجع [۲۵] مدیریت بین قیمت خدمات توان راکتیو و قابلیت اطمینان سیستم که اغلب به عنوان یک چالش در بازار برق مطرح می شود نشان داده شده است. ارتباط قابلیت اطمینان و قیمت توان راکتیو در سیستم قدرت خیلی پیچیده می باشد که در واقع ماهیت تصادفی خرابی های اجزای سیستم قدرت عدم اطمینان در قیمت ها را به وجود می آورد. که برای حل این مشکل موافقت نامه هایی میان شرکت کنندگان در بازار (تولید کنندگان و مصرف کنندگان توان راکتیو) منعقد می شود. در واقع مشتریان بازار در سیستم قدرت تجدید ساختار شده حق انتخاب در خرید توان راکتیو و ذخیره توان را بر اساس مسائل اقتصادی و ملاحظات قابلیت اطمینان دارند.

۲-۳- ضرورت جبران سازی توان راکتیو

توان راکتیو مصرفی بارها در ساعات مختلف در حال تغییر است ، لذا ولتاژ و توان راکتیو باید دائماً کنترل شوند. در ساعات پربار، بارها قدرت راکتیو بیشتری مصرف می کنند و نیاز به تولید قدرت راکتیو زیادی در شبکه می باشد. اگر قدرت راکتیو مورد نیاز تأمین نشود اجباراً ولتاژ نقاط مختلف

شبکه کاهش یافته و ممکن است از محدوده مجاز خارج شود. نیروگاه‌ها دارای سیستم کنترل ولتاژ هستند که کاهش ولتاژ را حس می‌کنند و زمان کنترل لازم را برای بالا بردن تحریک ژنراتور و در نتیجه افزایش ولتاژ ژنراتور تا سطح ولتاژ نامی صادر می‌گردد. با بالا بردن تحریک (حالت کار فوق تحریک) قدرت راکتیو توسط ژنراتورها تولید می‌شود. لیکن قدرت راکتیو تولیدی ژنراتورها بخاطر مسائل حرارتی سیم‌پیچها محدود بوده و ژنراتورها به تنهایی نمی‌توانند در ساعات پر بار تمام قدرت راکتیو مورد نیاز سیستم را تأمین کند. بنابراین در این ساعات به وسائلی نیاز است که بتوانند قدرت راکتیو به شبکه تزریق نمایند تا سطوح ولتاژ در محدوده مجاز قرار گیرند.

در ساعات کم بار، بارها و عناصر شبکه، قدرت راکتیو کمی مصرف می‌نمایند و کاپاسیتانس خطوط انتقال باعث اضافه شدن قدرت راکتیو تولیدی در شبکه می‌گردد. در این حالت ژنراتورها به صورت زیر تحریک بکار رفته و مقداری از قدرت راکتیو اضافی سیستم را مصرف می‌نمایند. لیکن بخاطر ملاحظات پایداری، قدرت راکتیو مصرفی ژنراتورها نیز محدود بوده و ژنراتورها نمی‌توانند به تنهایی مسأله اضافه تولید قدرت راکتیو و افزایش ولتاژ ناشی از آن را حل کنند. بنابراین به وسائلی که بتوانند در این ساعات قدرت راکتیو اضافی سیستم را مصرف نمایند نیاز می‌باشد. سیستم‌هایی را که برای کنترل توان راکتیو و ولتاژ بکار می‌روند «جبران کننده» می‌نامیم. توان راکتیو یکی از بهترین عواملی است که در طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت AC منظور می‌گردد. علاوه بر بارها، اغلب عناصر یک شبکه مصرف کننده توان راکتیو هستند. بنابراین باید توان راکتیو در بعضی نقاط سیستم تولید و سپس به محل‌های مورد نیاز منتقل شود. همواره قدرت انتقالی (راکتیو) یک خط انتقال، به اختلاف ولتاژ ابتدا و انتهای خط بستگی دارد. همچنین با افزایش دامنه ولتاژ شین ابتدایی، قدرت راکتیو جدا شده از این شین افزایش می‌یابد. شایان ذکر است قدرت راکتیو تولید شده توسط ژنراتور، به تحریک آن بستگی داشته و با تغییر نیروی محرکه ژنراتور می‌توان میزان قدرت راکتیو تولیدی و یا مصرفی آن را تنظیم نمود.

در یک سیستم بهم پیوسته نیز با انجام پخش بار در وضعیت‌های مختلف می‌توان دید که تزریق قدرت

راکتیو به یک شین، ولتاژ همه نشین‌ها را بالا می‌برد و بیش از همه روی ولتاژ همان شین تأثیر می‌گذارد، لیکن تأثیر زیادی بر زاویه ولتاژ شین‌ها و فرکانس سیستم ندارد. در عمل تمام تجهیزات یک سیستم قدرت برای ولتاژ مشخص، ولتاژ نامی، طراحی می‌شوند. اگر ولتاژ از مقدار نامی خود منحرف شود ممکن است باعث صدمه رساندن به تجهیزات سیستم و یا کاهش عمر آنها گردد. بنابراین تثبیت ولتاژ نقاط یک سیستم قدرت کاملاً ضروری است. بدیهی است که کنترل و تثبیت ولتاژ تمام نقاط سیستم از لحاظ اقتصادی عملی نمی‌باشد. از طرف دیگر کنترل ولتاژ در حد کنترل فرکانس ضرورت نداشته و در بسیاری از سیستم‌های خطای ولتاژ در حدود $\pm 5\%$ تنظیم می‌شود.

به طور کلی در شبکه‌های قدرت، توان ظاهری که از ژنراتورها دریافت می‌شود شامل دو بخش توان اکتیو و توان راکتیو می‌باشد. نحوه این تقسیم به ضریب قدرت مصرف کننده‌های سیستم بستگی دارد، یعنی هر چه قدر ضریب قدرت به عدد ۱ نزدیک تر شود، سهم توان اکتیو بیشتر و سهم توان راکتیو کمتر خواهد بود. با توجه به این که بسیاری از مصرف کننده‌های موجود در شبکه نظیر الکتروموتورها، ترانسفورماتورها و... که سیم پیچ یا سلف در آن‌ها نقش عمده‌ای ایفا می‌کند، مصرف کننده‌های اهمی-سلفی هستند و به دلیل خاصیت ذخیره سازی انرژی در سلف‌ها، همواره مقداری توان بین شبکه و سلف جا به جایی گردد که قابل استفاده نیست و در مسیر عبور از سیم‌ها و کابل‌ها تلف می‌شود. یعنی مقداری از توان ظاهری غیر قابل استفاده می‌گردد که در عین حال مصرف کننده‌ها به توان مذکور نیاز دارند. در نتیجه ژنراتورها می‌بایست با توان بیش تر کار کنند و جریان خود را افزایش دهند که با افزایش جریان تولیدی، ظرفیت خطوط انتقال نیز برای انتقال توان حقیقی کاهش می‌یابد. در واقع تمام توان راکتیو مورد نیاز بارها، خطوط و ترانسفورماتورها می‌بایست در سطح انتقال تولید شود، ضمناً اتلاف توان در شبکه‌های توزیع به صورت حرارت، افت ولتاژ و کاهش راندمان ظاهر می‌شود. جبران سازی توان راکتیو به این معنا است که توان راکتیو مورد نیاز سیستم به جای تامین از طریق ژنراتورهای نیروگاه، در محل بار تولید شود.

در یک سیستم ایده آل، هر بار مصرفی طوری طراحی می شود که در محدوده ولتاژ معین تغذیه بهترین عملکرد را داشته باشد. پس از جبران قدرت و بارهای راکتیو وابسته به ولتاژ، مانند بارهای امپدانس ثابت و جریان ثابت، مصرف توان راکتیو بیشتر به دلیل افزایش ولتاژ گره می باشد. در واقع، یک راهبرد کاهش ولتاژ نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی کل دارد. تحقیقی توسط نویسندگان در مرجع [۷] بیان شده است که برای ضرورت کاهش ولتاژ در جبران توان راکتیو ارائه می دهد و تنظیم ولتاژ مطلوب برای یک سیستم قدرت را بررسی می کند. پرداخت هزینه برای خدمات توان راکتیو بخشی از درآمد ژنراتور در بازارهای برق امروزی می باشد. همچنین در این مقاله جبران سازی توان راکتیو بر روی گره هایی که بارهای آن وابسته به ولتاژ هستند مانند بارهای امپدانس ثابت و جریان ثابت بررسی گردید. یک مشکل در جبران سازی این نوع گره ها این است که در طول مدت جبران سازی مصرف انرژی آنها افزایش می یابد و در نتیجه پرداخت بیشتری دارند، که برای رفع این مشکل یک برنامه کاهش ولتاژ برای کاهش پیک تقاضای بار در طول عملیات جبران سازی بکار می رود. این کاهش بار نقش مهمی را در کاهش ظرفیت انتقال در شرایط اضطراری دارد. در حقیقت با یک برنامه کاهش ولتاژ و حداقل کردن تنظیم ولتاژ مجاز در طول جبران سازی توان راکتیو، صرفه جویی انرژی مشتریان افزایش و تلفات خط نیز کاهش می یابد. در مرجع [۸] یک روش جدید برای ارزیابی از توان راکتیو در سیستم قدرت تجدید ساختار ارائه شده است. در این روش از چهار عامل مهم برای تعیین اهمیت توان راکتیو یک منبع در شبکه قدرت استفاده می شود. این چهار عامل عبارتند از: حساسیت ولتاژ^۴، جبران ساز توان راکتیو^۵، کفایت ولتاژ^۶ و تثبیت ولتاژ^۷.

نیروگاهها دارای سیستم کنترل ولتاژ هستند که کاهش ولتاژ را حس می کنند و فرمان کنترل لازم را برای بالا بردن تحریک ژنراتور و در نتیجه افزایش ولتاژ ژنراتور تا سطح ولتاژ نامی را صادر می کند. با بالا بردن تحریک، قدرت راکتیو توسط ژنراتورها تولید می شود؛ لیکن قدرت راکتیو تولیدی

4-Voltage Sensitivity
5-Reactive Power Compesoters
6-Voltage Adequly
7-Voltage Mainting

ژنراتورها به خاطر مسائل حرارتی سیم‌پیچ‌ها محدود بوده و ژنراتورها به تنهایی نمی‌تواند در ساعات پر بار تمام قدرت راکتیو مورد نیاز سیستم را تأمین کنند. بنابراین در این ساعات به وسایلی نیاز است که بتوانند قدرت راکتیو به شبکه تزریق نمایند تا سطح ولتاژ در محدوده مجاز قرار گیرند [۱۶].

در سال‌های گذشته در روند رشد سیستم‌های قدرت با حمایت ولتاژ و بهبود توانایی انتقال توان از کندانسورهای سنکرون استفاده گردید. همزمان در سیستم توزیع از خازن‌های موازی برای بهبود پروفایل ولتاژ و کاهش بارگیری خط و تلفات استفاده شد. توسعه سریع و اقتصادی بودن خازن‌های موازی منجر به جایگزینی آن‌ها با کندانسورهای سنکرون در سیستم‌های انتقال گردید. ملاحظه می‌شود که عملاً می‌توان آنچه را که کندانسورهای سنکرون انجام می‌داده‌اند با سوئیچ کردن خازن‌های موازی با هزینه‌ای خیلی کمتر به دست آورد. به طور کلی کنترل توان راکتیو و ولتاژ از ۳ روش اصلی زیر انجام می‌شود:

۱- با تزریق قدرت راکتیو به سیستم توسط جبران‌کننده‌هایی که به صورت موازی متصل

می‌شوند (مانند خازن - راکتور - کندانسور سنکرون و جبران‌کننده‌های استاتیک)

۲- با جابه‌جا کردن قدرت راکتیو در سیستم توسط ترانسفورماتورهای متغیر

۳- از طریق کم کردن راکتانس القایی خطوط انتقال با نصب خازن سری

۲-۴- اهداف اصلی در جبران بار

جبران بار عبارت است از مدیریت توان راکتیو که به منظور بهبود بخشیدن به کیفیت تغذیه در

سیستم‌های قدرت AC انجام می‌گیرد.

۱- اصلاح ضریب توان

۲- بهبود تنظیم ولتاژ

۳- متعادل کردن بار

اصلاح ضریب توان به این معناست که توان راکتیو مورد نیاز بار به جای آنکه از نیروگاه دور تأمین گردد در محل نزدیک بار تولید گردد. اغلب بارهای صنعتی دارای ضریب توان پس فاز هستند یعنی توان راکتیو جذب می نمایند.

بدیهی ترین روش بهبود ولتاژ سیستم قدرت به کمک افزایش اندازه و تعداد واحدهای تولیدکننده برق و با هر چه متراکم کردن شبکه های به هم پیوسته می باشد. این روش عموماً غیراقتصادی بوده و منجر به افزایش سطح اتصال کوتاه و مقادیر نامی کلیدها می شود. راه عملی تر و باصرفه تر این است که اندازه این سیستم قدرت بر حسب بیشینه تقاضای توان واقعی طراحی شود و توان راکتیو به وسیله جبران کننده هایی که دارای قابلیت انعطاف بیش از مولدها بوده و در تغییر سطح اتصال کوتاه دخالت ندارند، فراهم گردد.

مسئله سومی که در جبران بار مد نظر است متعادل کردن بار است. اکثر سیستم های قدرت AC سه فاز بوده و برای عملکرد متعادل طراحی می شوند. عملکرد نامتعادل منجر به ایجاد مؤلفه های جریان توالی صفر و منفی می گردد. این گونه مؤلفه های جریان اثر نامطلوبی چون ایجاد تلفات در موتورها و مولدها، گشتاور نوسانی در ماشین های AC، افزایش رپیل در یکسو کننده ها، عملکرد غلط انواع تجهیزات، اشباع ترانسفورماتورها و جریان اضافی سیم زمین را به دنبال خواهد داشت. پارامترها و فاکتورهایی که بایستی در تعریف یک جبران کننده بار در نظر گرفت.

۱- حداکثر توان راکتیو پیوسته مورد لزوم که بایستی جذب یا تولید گردد

۲- مقدار نامی اضافه بار و مدت زمان آن

۳- ولتاژ نامی و حدود ولتاژ که مقدار نامی توان راکتیو نبایستی از آن حدود تجاوز نماید

۴- فرکانس و تغییرات آن

۵- دقت لازم در تغییر ولتاژ

۶- زمان پاسخ جبران کننده در مقابل یک اغتشاش معین

۷- حفاظت جبران کننده و هماهنگی آن با حفاظت سیستم و در نظر گرفتن محدودیت

توان راکتیو در صورت لزوم

- ۸- حداکثر اعوجاج ناشی از هارمونیک با در نظر گرفتن جبران کننده
- ۹- اقدامات مربوط به انرژی دار کردن و اقدامات احتیاطی
- ۱۰- نگهداری، قطعات یدکی، پیش‌بینی برای توسعه و آرایش جدید سیستم در آینده
- ۱۱- عوامل محیطی، سطح نویز، نصب تأسیسات در محیط باز یا بسته، درجه حرارت، رطوبت، آلودگی هوا، باد و زلزله، ناشی در ترانسفورماتورها، خازن‌ها، سیستم‌های خنک کننده
- ۱۲- رفتار و عملکرد در معرض ولتاژ تغذیه نامتعادل و یا بارهای نامتعادل
- ۱۳- نیازمندی‌های کابل کشی و طرح‌بندی و آرایش اجزاء قابل دسترسی بودن، محصور بودن، زمین کردن
- ۱۴- قابلیت اعتماد و خارج از سرویس بودن اجزاء

۲-۵- کنترل ولتاژ

در شبکه قدرت لازم است همراه با تامین بارهای شبکه، دامنه ولتاژ شینه های شبکه نیز در محدوده مشخص و معینی حفظ گردد. بنابراین، کنترل ولتاژ یکی از بخشهای اصلی در بهره برداری شبکه است. در شبکه قدرت رابطه تنگاتنگی بین پشتیبانی توان راکتیو و دامنه ولتاژ وجود دارد، لذا پشتیبانی مناسب توان راکتیو ابزار کارآمدی برای حفظ دامنه ولتاژ در محدوده قابل قبول خود در شرایط عادی و اضطراری می باشد. از آنجاییکه پشتیبانی توان راکتیو در هر شینه، ولتاژ کل شینه های شبکه را تحت تاثیر قرار می دهد، بنابراین نقش مهمی در بهره برداری و امنیت شبکه دارد و بر کلیه تبادلات توان اثر می گذارد. مخصوصاً با ایجاد فضای رقابتی در سیستم قدرت و برپایی بازار، نقش پشتیبانی توان راکتیو حیاتی تر می شود. در چنین شرایطی برای حفظ دامنه ولتاژ در محدوده قابل

قبول خود، شبکه باید از پشتیبانی توان راکتیو کافی برخوردار باشد. تجهیزات مختلفی در شبکه می توانند پشتیبانی توان راکتیو را بر عهده داشته باشند مانند: ژنراتورها، خازنها، راکتورهای شنت، کندانسورهای سنکرون و دیگر جبران کننده ها. تجهیزات پشتیبان توان راکتیو باید در کل شبکه پراکنده باشند تا بنحو مناسبی تنظیم ولتاژ را انجام دهند.

سطح ولتاژ شاخص اصلی تعادل بین توان راکتیو تولید شده و توان راکتیو مورد نیاز در سطح شبکه می باشد. تغییرات ولتاژ از حد نامی علاوه بر اینکه میتواند منجر به صدماتی بر روی دستگاهها، تجهیزات شبکه و مصرف کننده ها میگردد، در حالات بحرانی و غیرقابل تحمل میتواند عامل بروز نوسانات ولتاژی، و ناپایداری و اختلالات قابل توجه در سطح شبکه گردد.

با توجه به ساختار کنونی شبکه از نقطه نظر امکانات کنترل ولتاژ (منابع توان راکتیو مانند راکتورها، خازنها، قابلیت تنظیم تپ ترانسفورماتورهای قدرت و توانایی مولدها در تولید و یا جذب توان راکتیو) مسئولیت کنترل ولتاژ و بهره برداری از منابع توان راکتیو در سطح شبکه بین مرکز کنترل دیسپاچینگ ملی و مراکز کنترل دیسپاچینگ مناطق تقسیم میشود.

مسئولیت کنترل ولتاژ در حوزه عملیاتی هر منطقه مستقیماً "به عهده مرکز کنترل دیسپاچینگ مربوطه میباشد. مسئولین مراکز کنترل مناطق می توانند با توجه به سطح ولتاژ در حوزه عملیاتی و با استفاده از منابع توان راکتیو (راکتورها، خازنها، قابلیت تغییر و تنظیم تپ ترانسفورماتورهای قدرت و قابلیت تولید توان راکتیو مولدهای نیروگاههای با ظرفیت کمتر از ۱۰۰ مگاوات) ولتاژ را کنترل نمایند. در صورتی که با استفاده از امکانات فوق الذکر ولتاژ به حد قابل قبول نرسد، جهت کنترل و تصحیح ولتاژ در حوزه عملیاتی، مسئولین مراکز کنترل دیسپاچینگ مناطق باید با مرکز کنترل دیسپاچینگ ملی هماهنگی لازم را بعمل آورند.

بدیهی است که کنترل ولتاژ تمام نقاط سیستم از لحاظ اقتصادی عملی نمی باشد. از طرف دیگر کنترل ولتاژ در حد کنترل فرکانس ضرورت نداشته و در بسیاری از سیستمهای خطای ولتاژ در محدوده تنظیم می شود. توان راکتیو مصرفی بارها در ساعات مختلف در حال تغییر است. لذا ولتاژ و

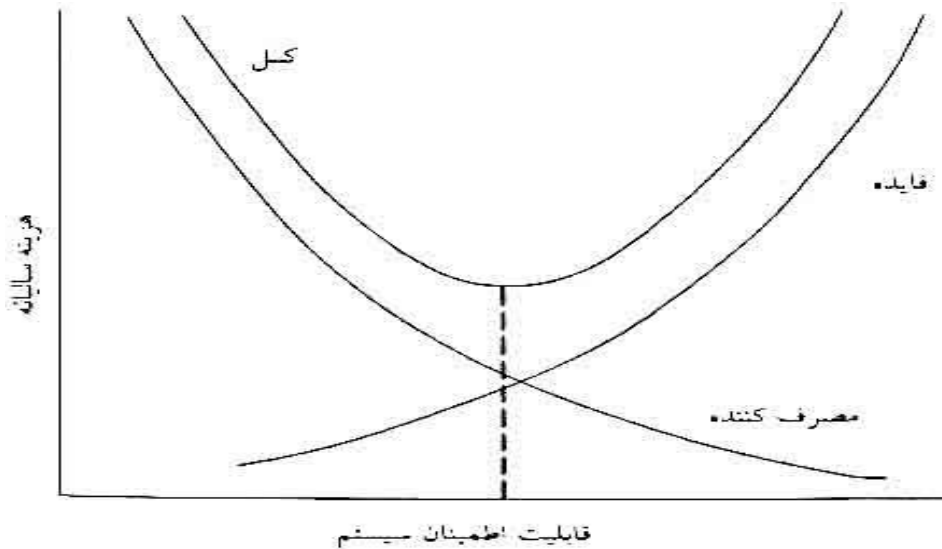
توان راکتیو باید دائماً کنترل شوند. در ساعات پر بار، بارها قدرت راکتیو بیشتری مصرف می کنند و نیاز به تولید قدرت راکتیو زیادی در شبکه می باشد. اگر قدرت راکتیو مورد نیاز تأمین نشود اجباراً ولتاژ نقاط مختلف شبکه کاهش یافته و ممکن است از محدوده مجاز خارج شود.

فصل ۳: قابلیت اطمینان در سیستم های قدرت

۳-۱- مقدمه

وظیفه یک سیستم قدرت رساندن انرژی الکتریکی تولید شده توسط واحدهای تولیدی به مصرف کنندگان است. همانند بسیاری دیگر از سیستمهای فیزیکی، هر یک از اجزای سیستم قدرت نیز ممکن است به دلایل مختلف توانایی عملکرد صحیح خود را از دست داده و موجبات اختلال در روند برق رسانی به بارهای موجود در شبکه را فراهم نمایند. در مطالعات قابلیت اطمینان، چنین مواردی مورد بررسی قرار گرفته و از این طریق شاخص هایی جهت بهره برداری مطمئن تر از شبکه و همچنین برنامه ریزی و توسعه بهتر آن بدست می آید.

با توسعه صنعتی جوامع، اهمیت تأمین انرژی مطمئن برای مشترکین صنعت برق روزبه روز افزایش می یابد. از طرف دیگر مشترکین صنعت برق همواره مایل اند که انرژی الکتریکی با قیمت مناسب به آنها عرضه شود. این دو تقاضای مشترکین در واقع در دو جهت مخالف می باشد زیرا افزایش ضریب اطمینان در تأمین انرژی مستلزم افزایش سرمایه گذاری در تجهیزات صنعت برق است که خود موجب افزایش هزینه ها و در نتیجه افزایش قیمت انرژی تولیدی خواهد گردید. بنابراین برای هر سیستم تولید انرژی الکتریکی لازم است تا سطح مناسب ضریب اطمینان تأمین انرژی الکتریکی به نحوی تعیین گردد که ضمن تأمین معقول تقاضای مشترکین مبنی بر ارائه انرژی مطمئن، هزینه های سیستم نیز در سطح قابل قبولی قرار گیرد. با برنامه ریزی مناسب سعی می شود سیستم را با کمترین هزینه ها در جهت بهبود ضریب اطمینان انرژی سوق دهند [۲].



شکل ۱-۳: هزینه های قابلیت اطمینان سیستم [۲]

هدف کارشناسان و برنامه ریزان سیستم های قدرت از طراحی و ساخت انواع شبکه ها و سیستم های ساده و پیچیده، افزایش کارایی سیستم و در نتیجه رشد شاخص های اقتصادی و مهمتر از همه اینها، افزایش رضایت مندی مصرف کنندگان می باشد. از کارافتادگی و اختلال در یک سیستم، می تواند با توجه به نوع و مقدار خود، صدمات جبران ناپذیری را به سیستم و تشکیلات و مشترکین وارد کند، که باعث می شود بسیاری از مردم را از شرایط عادی زندگی دور کند. همین که کار و زندگی مردم و خانواده ها به انرژی الکتریکی وابسته شد، باعث بالا رفتن سطح توقع مردم شده است و بروز حوادثی که منجر به قطع برق و یا عدم کیفیت مناسب برق دریافتی شود، باعث اعتراضات گسترده خواهد شد. این عوامل و بسیاری از دلایل دیگر باعث شده که امروزه ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت از اهمیت ویژه ای برخوردار شود و تبدیل به یکی از ویژگی های مهم در طراحی سیستم های قدرت شود.

قابلیت اطمینان جزء جدایی ناپذیر برنامه ریزی، طراحی و بهره برداری سیستم های مهندسی از کوچک ترین و ساده ترین سیستم ها تا بزرگ ترین و پیچیده ترین آنها می باشد. از کار افتادن هر سیستمی منجر به ایجاد اختلال در فرآیند جاری کار افراد و تجهیزاتی خواهد شد که به نوعی با آن در

ارتباط هستند و این مسأله گاهی به عنوان تهدیدی جدی برای افراد اجتماع به حساب می آید.

قابلیت اطمینان شامل مراحل است که در زمان وقفه اجزایی از سیستم باید به منظور حفظ بهره‌برداری از سیستم اعمال گردد. از آنجائیکه پیش‌بینی وقفه اجزاء سیستم غیرممکن است، سیستم در تمام مواقع باید به گونه‌ای بهره‌برداری شود که در صورت وقوع حادثه، در وضعیت خطرناکی قرار نگیرد و با توجه به اینکه تجهیزات مربوط به سیستم قدرت به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در محدوده مشخصی کار کنند اکثر آن‌ها با وسایل اتوماتیک حفاظت می‌کنیم بطوریکه در صورت انحراف از آن حدود، به طور اتوماتیک از سیستم خارج شوند. اگر حادثه‌ای در سیستم اتفاق افتد که با وجود انحراف از حدود مجاز به کار خود ادامه دهد. آن حادثه ممکن است یک سری از حوادث دیگر را به دنبال داشته باشد و تجهیزات دیگری را از مدار خارج نماید اگر این کار ادامه پیدا کند تمام سیستم یا قسمت بزرگی از سیستم ممکن است فروریزد. دو نوع پیشامد مهم در سیستم قدرت عبارت‌اند از یکی اتفاقات مربوط به خطوط انتقال و دیگری مربوط به وقفه واحدهای تولید است. اگر حادثه‌ای منجر به خاموشی شود ممکن است از قطع یک خط به علت خرابی عایقی شروع شود که به دنبال آن سایر خطوط انتقال اضافه باری را تحمل خواهند کرد. اگر یکی از این خطوط بیش از حد بارگذاری شود امکان دارد توسط حفاظت اتوماتیک باز شود که در نتیجه باز هم بار بیشتری را بر سایر خطوط تحمیل کند.

اغلب سیستم‌های قدرت به گونه‌ای بهره‌برداری می‌شوند که هر وقفه‌ای باعث بارگذاری بیش از حد بر سایر اجزاء نشود. قابلیت اطمینان در یک سیستم قدرت را به سه تابع اصلی که در مرکز کنترل شبکه انجام می‌شود می‌توان تقسیم کرد [۴]:

۱- نظارت بر سیستم^{۱۰}

۲- تحلیل پیشامدها^{۱۱}

۳- بررسی اعمال اصلاحی^{۱۲}

نظارت بر سیستم، اطلاعات جدید و مناسبی را از شرایط سیستم قدرت در اختیار بهره‌برداران قرار می‌دهد. تحلیل پیشامدها، نتایج چنین بررسی‌هایی این امکان را فراهم می‌سازد تا سیستم‌ها به صورت تدافعی مورد بهره‌برداری واقع شوند [۴].

بررسی اعمال اصلاحی، به پرسنل بهره‌بردار این اجازه را می‌دهد تا در صورت بروز اضافه‌بار و یا در زمانی که قسمت تحلیل پیشامدها مسئله حادی را در صورت بروز وقفه خاصی پیش‌بینی می‌کند، وضعیت بهره‌برداری از سیستم را تغییر دهند. یک نمونه ساده از این اصلاحی، جابجایی توان از یک واحد به واحد دیگر است.

۳-۲- تعریف قابلیت اطمینان:

قابلیت اطمینان یک وسیله یا یک سیستم عبارت است از احتمال اینکه آن وسیله یا سیستم تحت شرایط معینی در مدت زمان معین، عملکرد موفقیت آمیزی داشته باشد و دچار خرابی نشود. این تعریف قابلیت اطمینان شامل چهار بخش اصلی می‌باشد که به شرح ذیل می‌باشد:

۱. احتمال

۲. عملکرد رضایت بخش

۳. زمان معین

۴. کار معین

11- Contingency Analysis

12- Corrective Action

بخش احتمال با یک عدد بیان می شود که همان شاخص های ارزیابی قابلیت اطمینان می باشد. اما در سه بخش دیگر که مربوط به پارامترهای مهندسی می باشد و تئوری احتمال هیچ کمکی نمی تواند انجام دهد.

تعریف قابلیت اطمینان بر تعریف وقوع خرابی بنا شده است. برای اندازه گیری قابلیت اطمینان یک سیستم ابتدا سیستم به اجزایی شکسته می شود و قابلیت اطمینان سیستم برحسب قابلیت اطمینان اجزای آن بیان می گردد. برای محاسبه قابلیت اطمینان هر جزء براساس داده های آماری در دسترس، مدلی برای نرخ وقوع خرابی انتخاب می شود و پارامترهای آن براساس داده های موجود تخمین زده می شوند.

۳-۳- مروری بر چگونگی مطالعات قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت

در یک نگاه کلی می توان یک شبکه قدرت را به سه بخش عمده تولید، انتقال و توزیع تقسیم بندی نمود. هر یک از این بخشها دارای تجهیزات گوناگونی می باشند که عملکرد هر یک می تواند در تامین نیاز مشترکین تاثیر بسزائی داشته باشد. بنابر این لزوم جمع آوری اطلاعات تجهیزات در هر یک از این شاخه ها به یک میزان احساس می شود. اصولاً با جمع آوری داده های مربوط به نحوه عملکرد یک تجهیز در یک بازه زمانی مشخص می توان مقادیر متوسطی برای شاخص های قابلیت اطمینان آن المان در بازه زمانی مورد نظر به دست آورد. طبیعتاً هر چه جمع آوری اطلاعات کامل تر باشد می توان با نگاهی بهتر به عملکرد تجهیزات، رفتار آینده آنها را مورد بررسی قرار داد.

در ادامه پس از جمع آوری اطلاعات، تجزیه و تحلیل آنها انجام شود و در این راستا لازم است تا با بکارگیری روشهای مناسب، قابلیت اطمینان شبکه و تجهیزات در دوره های زمانی مختلف گذشته و آینده تعیین گردد. جهت مطالعات قابلیت اطمینان یک شبکه، معمولاً کل سیستم به سه سطح اساسی تولید، انتقال و توزیع تقسیم بندی شده و مطالعات مربوط به شاخص های قابلیت اطمینان برای هر

سطح بصورت مجزا انجام می گیرد. این مساله بیشتر به دلیل حجم بالای تجهیزات در کل شبکه و همچنین رفتار متفاوت تجهیزات در سطوح مختلف کاری می باشد. با توجه به مطالب بالا میتوان نتیجه گرفت که جهت انجام مطالعات کمی قابلیت اطمینان در یک سیستم قدرت ابتدا باید بانکهای اطلاعاتی لازم تهیه شده و سپس با استفاده از آنها به انجام مطالعات پرداخته شود. در راستای انجام هرچه بهتر این مطالعات در کشور، وجود یک ساختار که بیان کننده مسئولیتها و عملکرد هر یک از بخشهای ذیربط باشد از جمله نیازهای ابتدائی به شمار می رود.

مرحله بعدی در مطالعات قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت مطالعات پیش بینی حالات مختلف می باشد که جهت حفظ سطح مشخصی از قابلیت اطمینان در شبکه و زیر بخشهای آن انجام می شود. معمولاً در سیستم های قدرت پیشرفته طرحهای توسعه شبکه بر حسب معیارهای قابلیت اطمینان ارائه شده و همواره تلاش بر این است که در هر طرح، سطح مشخصی از قابلیت اطمینان شبکه حفظ گردد. بنابراین لازم است تا با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده در بانک اطلاعاتی و برخی فرضیات لازم، محاسبات قابلیت اطمینان شبکه برای سالهای آینده و طرحهای توسعه ارائه شده انجام گیرد.

۳-۴- اهداف کلی در مطالعات قابلیت اطمینان

هدف از مطالعات قابلیت اطمینان، حفظ پایداری سیستم به صورت ایمن، اقتصادی و ممکن است. همچنین مهم ترین وظیفه شبکه های الکتریکی تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مشترکین به شکلی اقتصادی با امنیت بالا و کیفیت مناسب می باشد. محدودیت های قابلیت اطمینان و اقتصادی در تقابل یکدیگر بوده و بایستی تعادل بین این دو مقوله برقرار کرد.

مهم ترین موضوعات مطرح در ارزیابی کیفیت برق را می توان این طور خلاصه کرد [۴]:

۱- بروز وقفه یا قطع برق

۲- تغییر مدت دار سطح ولتاژ

۳- عدم تعادل ولتاژ سه فاز

۴- هارمونیک ها و اغتشاشات دوره ای، منظم و نامنظم

۵- تغییرات فرکانس

۶- پدیده های گذرای نوسانی و ضربه ای

۷- جریان هجومی

۸- افست DC

به طور کلی مقوله قابلیت اطمینان یک سیستم را می توان از دیدگاه های مختلفی مورد بررسی

قرار داد. در صنعت برق این دیدگاه ها به شرح ذیل می باشد [۴].

۱- قابلیت اطمینان از دید مشترکان و مصرف کنندگان

۲- قابلیت اطمینان از دید بهره برداری

۳- قابلیت اطمینان از دید برنامه ریزی

۴- قابلیت اطمینان از دید تولید کنندگان

۵- قابلیت اطمینان از دید تأمین کنندگان شبکه توزیع

قابلیت اطمینان یک سیستم عبارت است از احتمال سالم بودن سیستم پس از مدت زمان

معین به شرط آنکه سیستم در ابتدای زمان سالم بوده باشد. بنابراین قابلیت اطمینان یک سیستم،

متأثر از خرابی اجزا می باشد. همچنین در تعریف دیگری از قابلیت اطمینان یک سیستم، عبارت است

از احتمال عملکرد رضایت بخش آن سیستم تحت شرایط کار مشخص برای مدت زمان معین. قابلیت

اطمینان یک شاخص آماری است که نشان می دهد یک سیستم تا چه اندازه می تواند وظایف محوله را

با موفقیت انجام دهد و لذا محاسبه چنین شاخصی مبتنی بر تجربیات آماری از کلیه اجزا سیستم

مورد ارزیابی می باشد. قابلیت اطمینان یک سیستم شامل ۲ مفهوم اساسی می باشد که در ادامه

بررسی می شود [۲]، [۴].

۳-۴-۱- شایستگی سیستم – کفایت^{۱۳} (کافی بودن ظرفیت)

مفهوم اول به معنای قابلیت اطمینان سیستم در حالت استاتیک بوده و بستگی به وجود میزان کافی امکانات و ظرفیت در سیستم، جهت تأمین بار مورد تقاضا مشترکین و یا تأمین اهداف بهره‌برداری سیستم دارد. بنابراین شایستگی سیستم، تحت شرایط استاتیکی که اغتشاشات وارد به سیستم را در بر نمی‌گیرد، ارزیابی می‌شود.

۳-۴-۲- قابلیت اعتماد سیستم – امنیت^{۱۴}

مفهوم دوم به معنای توانایی سیستم برای پاسخگویی به اغتشاشاتی که به سیستم وارد می‌شود بستگی داشته و به وسیله پاسخ سیستم به هر حادثه و آشفتگی که سیستم متحمل آن می‌گردد، ارزیابی می‌شود یا به عبارت دیگر، قابلیت سیستم در حالت دینامیکی را بررسی می‌کند. حوادث و آشفتگی‌های ایجادشده، شامل شرایطی است که به وسیله اغتشاشات تصادفی در هر نقطه از سیستم ممکن است به وجود آید و منجر به از دست رفتن امکانات اصلی تولید، انتقال و توزیع انرژی برای مدت طولانی یا کوتاه گردد.

برای بررسی کارکرد و ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت در یک تقسیم‌بندی سلسله مراتبی، آن را به سه سطح جداگانه تولید، انتقال و توزیع تفکیک می‌کنند که هر یک وظیفه خاصی را عهده‌دار می‌باشند [۲]، [۴]، [۶]:

(۱) بخش تولید (HLI^1)

(۲) سیستم یکپارچه تولید و انتقال ($HL II$)

13 - Adequacy

14 - Security

18-Hierarchical Level I

۳) سیستم توزیع (HL III)

۳-۴-۳- برنامه ریزی بخش تولید (HL I):

در برنامه ریزی تولید باید هم به میزان ظرفیت مورد نیاز و هم به زمان نصب آن در سیستم توجه داشت، طوری که در آینده، هم بار پیش بینی شده تأمین شود و هم ذخیره کافی برای جایگزینی واحدهایی که برای تعمیرات اصلاحی و یا پیشگیرانه از مدار خارج می شوند، وجود داشته باشد [۲]، [۴].

۳-۴-۴- اهداف اصلی در مطالعات قابلیت اطمینان سیستم تولید

اهداف اصلی در مطالعات قابلیت اطمینان سیستم تولید را می توان به ۳ قسمت اصلی دسته بندی کرد [۲]، [۴]:

- ۱- برنامه توسعه نیروگاه ها (بلندمدت)^{۱۶}
- ۲- برنامه نگهداری و تعمیرات نیروگاه ها (میان مدت)^{۱۷}
- ۳- تعیین میزان رزرو نیروگاه ها در شرایط بهره برداری (کوتاه مدت)^{۱۸}

۳-۴-۵- سیستم یکپارچه تولید و انتقال (HL II):

شبکه های مرکب متشکل از شبکه انتقال و نیروگاه ها است. ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه های قدرت مرکب عبارت است از مطالعه اثر همزمان نیروگاه ها و خطوط انتقال و احتمال خروج آن ها. در

19-Long Term
20-Medium Term
21-Short Term

بخش انتقال، برنامه ریزی بر این اساس انجام می شود که وقوع یک حادثه در شبکه (تک پیشامد^{۱۹}) به قطع برق منجر نگردد. بدیهی است اگر برنامه ریزی بر اساس تحمل وقوع دو حادثه همزمان یا چند حادثه باشد، شبکه به مراتب مطمئن تر خواهد شد، لکن هزینه آن افزایش می یابد. آمار خروج اضطراری خطوط به دلیل پارگی سیم و یا اشکال در پایه ها و مقره ها نسبتاً مطلوب و نزدیک به استانداردهای جهانی است [۲]، [۴].

۳-۴-۶- اهداف اصلی در مطالعات قابلیت اطمینان سیستم انتقال

اهداف اصلی در مطالعات قابلیت اطمینان سیستم انتقال نیز به صورت زیر می باشد:

- ۱- توسعه شبکه انتقال (بلندمدت)
- ۲- نگهداری و تعمیرات شبکه انتقال (میان مدت)
- ۳- بررسی اثر ادوات FACTS و نصب جبران سازها

۳-۵- سیستم های توزیع (HL III)

معمولاً بین ۸۰ تا ۹۵ درصد از قطعی های مشترکین و مصرف کنندگان ریشه در خود سیستم توزیع دارد. به عنوان مثال در کشور انگلستان نزدیک به ۷۳ درصد دلایل عدم تأمین انرژی الکتریکی ناشی از عدم صحت عملکرد تجهیزات و نیروی انسانی در بخش توزیع بوده است. در کشور ما نیز این رقم حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد برآورد شده است. از این رو، این بخش در شاخص های قابلیت اطمینان

کل سیستم نقش عمده و محوری را ایفا می کند. از دید فنی، وظیفه سیستم توزیع عبارت است از دریافت انرژی از سیستم انتقال و تحویل آن به مصرف کنندگان نهایی با حفظ کیفیت مطلوب و نیز سطح مناسبی از قابلیت اطمینان (یعنی تعداد و مدت زمان خروجی ها در حد معقولی پایین باشد). انجام این وظیفه به صورت اقتصادی کاملاً دشوار است (به خصوص در سطوح ولتاژ پایین و در مناطق روستایی) زیرا معمولاً سیستم دارای ساختار شعاعی با خطوط هوایی است که در معرض شرایط محیطی مختلف قرار داشته و از این رو، دچار خرابی های متعدد و طولانی می شود [۲].

با برنامه ریزی مناسب سعی می شود سیستم را با کمترین هزینه ها در جهت بهبود ضریب اطمینان انرژی سوق دهند. با توجه به اینکه با سرمایه گذاری نسبتاً کمی در بخش توزیع می توان سطح پایداری کل شبکه را به نحو محسوسی افزایش داد، مطالعات پایداری در بخش توزیع به شکل فعال در دست پیگیری می باشد. ویژگی مهم تأمین کنندگان شبکه توزیع تماس مستقیم با مشترکان است که با توجه به افزایش حق انتخاب مشترکان در محیط رقابتی جدید این ویژگی اهمیت بیشتری می یابد. از مهم ترین مسایل موجود در این رابطه تفاوت ارزش قابلیت اطمینان از دید مشترکان مختلف و در نتیجه سطوح مختلف قابلیت اطمینان مورد در خواست مشترکان است. صنعت برق به سوی محیطی رقابتی پیش می رود که در آن به مشترکان حق انتخاب بیشتری داده می شود. به طور کلی مشترکان برق خواهان کاهش سطح قیمت ها و افزایش قابلیت اطمینان سیستم هستند.

۳-۵-۱- اهمیت قابلیت اطمینان در سیستم توزیع

قابلیت اطمینان سیستم توزیع تا چند دهه پیش اهمیت چندانی نداشت چرا که منابع تولید انرژی (نیروگاه های برق) به راحتی می توانستند جوابگوی تقاضای مشترکین باشند. با افزایش تقاضا و بیشتر شدن تعداد مصرف کنندگان و نیز اهمیت تداوم در برق رسانی به مشترکین، می بایستی به این مساله اهمیت بیشتری داده شود.

یکی از اهداف مهم طراحان و برنامه ریزان در سیستم قدرت، تامین انرژی الکتریکی و ارائه خدمات با کیفیت مناسب و با حداقل هزینه به مشترکین می باشد. قابلیت اطمینان نقش مهمی را در رسیدن به این هدف بزرگ ایفا می کند بطوریکه امروزه یکی از مهمترین فاکتورها در طراحی و بهره برداری از سیستمهای قدرت، شناخت قابلیت اطمینان و چگونگی افزایش سطح آن در سیستم می باشد.

بطور کلی می توان بیان کرد که شبکه توزیع الکتریکی به عنوان یک واسطه بین مصرف کننده و سیستم بزرگ قدرت عمل می کند و می توان چنین گفت که به عنوان آخرین زیر سیستم قدرت، وظیفه نهایی سیستم را که همان توزیع انرژی به مشترکین را می باشند را برعهده دارد. بدیهی است که قابلیت اطمینان در سیستم توزیع دارای اهمیت و جایگاه بسیار مهمی می باشد. ویژگی های مهم شبکه توزیع که اهمیت بحث های قابلیت اطمینان را در این بخش نشان می دهد عبارتند از:

۱- گسترده ترین بخش سیستم قدرت و در عین حال پیچیده ترین آن

۲- اهمیت بار در شبکه های توزیع

۳- مصرف کنندگان فراوان

۴- تاثیرات اجتماعی

بررسی وقفه های مشترکین نشان می دهد که سیستم توزیع الکتریکی با توجه به گستردگی و کیفیت پایین تجهیزات بکار رفته در این سیستم، نقش تعیین کننده ای در عدم دسترسی مصرف کنندگان به انرژی الکتریکی دارد.

همچنین با رشد صنایع حساس، تقاضا برای انرژی با قابلیت اطمینان بیشتر شده و حساسیت مشترکین نسبت به قطعی های انرژی الکتریکی بیشتر و دقیق تر شده است. همه این موارد باعث شده است که متخصصین و برنامه ریزان صنعت برق، قابلیت اطمینان سیستم توزیع را بیشتر مورد توجه قرار داده و با بررسی آن، نقاط ضعف شبکه های توزیع را شناسایی کرده و سعی در برطرف کردن آنها

بنمایند.

اهمیت سیستم توزیع از دیدگاه قابلیت اطمینان به دو دسته ی زیر تقسیم می شود [۲]:

- ۱- وقوع درصد بالای بی برقی مشترک در محدوده شبکه توزیع
- ۲- افزایش رو به رشد بارهای حساس و تغییر سطح انتظارات مصرف کننده، پیوستن شرکت های توزیع به بازار خرده فروشی

۳-۶- اصول ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت

اصول و اساس ارزیابی کمی قابلیت اطمینان در سیستم های قدرت الکتریکی، شامل تعریف عبارتهای اساسی و مباحث اندازه گیری مفید قابلیت اطمینان سیستم و داده های اساسی است که برای محاسبه شاخص های قابلیت اطمینان مورد نیاز است. برای پردازش اطلاعات بهره برداری ابتدا ضروری است که انواع خطاها بررسی شده و با شناسایی آنها، شیوه های لازم را برای کاهش تاثیر آنها بکار گیریم. در این راستا، خطاها به شرح ذیل تقسیم می شوند.

۱- خروج طبق برنامه^{۲۰}

۲- خروج اجباری^{۲۱}

که خروج اجباری خود شامل گذرا و دائمی می باشد. در خروجی گذرا چون مدت زمان آن کوتاه می باشد، اثرش بر قابلیت اطمینان ناچیز است و مورد بررسی قرار نمی گیرد، ولی در خروج اجباری دائمی به دلیل مدت زمان طولانی آن تاثیر منفی زیادی بر سیستم دارد. خطاهای اجباری دائمی به دو دسته مهم تقسیم می شوند:

- ۱- خطای پسیو: وقوع حالت قطعی در اثر خرابی المان مذکور که معمولا تاثیری بر رشد خطا ندارد.

23-Scadulod Outage
24-Forced Outage

۲- خطای اکتیو: وقوع اتصال کوتاه در مدار در اثر خرابی المان مذکور که بر خلاف حالت

فوق به گسترش خطا می انجامد.

عوامل خروج لحظه ای یا دائم و کاهش کیفیت سرویس را می توان به شرح ذیل خلاصه کرد:

- خطای تجهیزات شبکه مثل ترانسفورمر و دیژنکتور
- خطای تجهیزات مشترکین مثل پستهای اختصاصی یا تجهیزات برق کارخانه ها
- اضافه بار
- اتصال زمین یا اتصال فاز توسط حیوانات
- خروج برنامه ریزی شده به منظور نصب تجهیزات جدید
- خروج برنامه ریزی شده به منظور سرویس و نگهداری
- خطای کارکنان

۳-۷- روش های محاسبه ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت زیرمجموعه ای از محاسبات قابلیت اطمینان می باشد. ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم توسط شاخص های مرتبط بیان می شود. این شاخص ها مجموعه آماری از داده های احتمالی است که برنامه ریزان سیستم های قدرت و اپراتورها از آن به عنوان ابزاری برای بهبود سرویس دهی به مصرف کنندگان استفاده می کنند. برنامه ریزان با استفاده از آن، نیازهای سیستم (تولید، انتقال و توزیع) را تعیین می کنند و اپراتورها با استفاده از آن مطمئن می شوند که آیا سیستم قابلیت مقاومت کردن در مقابل خطاهای متداول، بدون حادثه و خاموشی را دارد.

۳-۷-۱- مدل سیستم تولید و عدم دسترسی آن

پارامتر نرخ خروج اجباری واحد تولیدی در ارزیابی ظرفیت ساکن، احتمال یافتن واحدی در خاموشی اجباری در فواصل زمانی آینده است. این احتمال در سیستم های مهندسی به صورت عدم دسترسی واحد معرفی شده و در کاربردهای سیستم قدرت به صورت نرخ خاموشی اجباری واحد (FOR^{۲۳}) شناخته می شود. فرمول ۳-۱ رابطه ی عدم دسترسی واحد و فرمول ۳-۲ رابطه ی دسترسی پذیری واحد را نشان می دهد [۲]:

$$(FOR) = U = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{R}{M + R} = \frac{R}{T} = \frac{F}{\mu} \quad (۳-۱)$$

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{M}{M + R} = \frac{M}{T} = \frac{F}{\lambda} \quad (۳-۲)$$

λ = نرخ انتظاری خرابی

μ = نرخ انتظاری تعمیر

$M = MTTF = 1/\lambda$ = متوسط زمان تا خرابی

$R = MTTR = 1/\mu$ = متوسط زمان تا تعمیر

$M + R = MTBF = 1/F$ = متوسط زمان بین خرابی ها

$F = 1/T$ = فرکانس دوره

$T = 1/F$ = زمان دوره

مفاهیم دسترسی پذیری و عدم دسترسی بطوریکه در معادلات ۳-۱ و ۳-۲ نشان داده شده است.

این روابط مستقیماً در یک واحد تولیدی بار پایه که در حال بهره برداری است یا بالاجبار از سرویس

می باشد، قابل استفاده است. خاموشی های با برنامه می بایست همان طور که بعداً در این فصل نشان داده می شود، به طور جداگانه در نظر گرفته شود.

T: رزرو متوسط زمان قطع بین دوره های نیاز.

D: متوسط زمان در سرویس در موقع تقاضا.

PS: احتمال خرابی راه اندازی.

این سیستم می تواند به وسیله یک فرایند مارکوف^{۳۳} نشان داده شود.

$$P = \frac{\mu T [D\lambda + 1 + D(\mu + 1/T)]}{A} \quad (۳-۳)$$

که در رابطه ی ۳-۳ داریم:

$$A = (D\lambda + P_s) \left[(\mu T + 1) + \left(\mu + \frac{1}{T} \right) \right] + \left[(1 - P_s) D \left(\mu + \frac{1}{T} \right) \right] (\mu(T + D))$$

$$P_1 = \frac{D\lambda + P_s}{A} \quad (۴-۳)$$

$$P_2 = \frac{D\mu(1 - P_s + \mu D + D/T)}{A} \quad (۵-۳)$$

$$P_3 = \frac{D(\mu + 1/T)(D\lambda + P_s)}{A} \quad (۶-۳)$$

$$FOR = \frac{P_1 + P_3}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (7-3)$$

در حالتی که یک واحد به طور ناپیوسته بهره برداری شود، احتمال شرطی که یک واحد برای تقاضای رخ داده، در دسترس نخواهد بود، P می باشد.

$$P = \frac{P_3}{P_2 + P_3} \quad (8-3)$$

$$P = \frac{(\mu + 1/T)(D\lambda + P_s)}{\mu[D(\mu + 1/T) + 1] + D\lambda(\mu + 1/T) + P_s / T} \quad (9-3)$$

برای یک دوره زمانی نسبتاً طولانی،

$$\hat{P}_2 = \frac{ST}{AT + FOT} \quad (10-3)$$

ST : زمان سرویس

FOT : زمان خاموشی

AT : زمان دسترسی

$$(\hat{P}_1 + \hat{P}_2) = \frac{FOT}{AT + FOT} \quad (11-3)$$

به معنی

$$F = \frac{P_3}{P_1 + P_3} = \frac{(\mu + 1/T)}{(1/D + \mu + 1/T)} = \frac{(1/R + 1/T)}{(1/D + 1/R + 1/T)} \quad (12-3)$$

که $R=1/\mu$.

نرخ خاموشی اجباری شرطی P می تواند به صورت زیر نشان داده شود.

$$P = \frac{F(P_1 + P_3)}{P_2 + F(P_1 + P_3)} = \frac{F(FOT)}{ST + F(FOT)} \quad (3-13)$$

احتمال شرطی P کاملاً به تقاضای قرار گرفته روی واحد بستگی دارد.

۳-۸- شاخص های از دست رفتن انرژی

۳-۸-۱- شاخص های ارزیابی انرژی

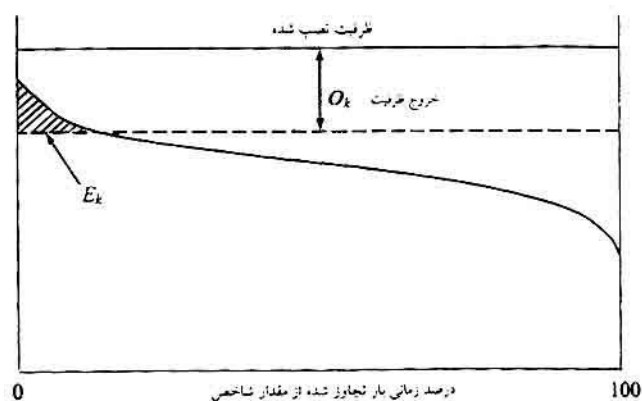
روش LOLE استاندارد، منحنی تغییرات بار پیک روزانه منفرد را برای محاسبه تعداد روزهای مورد انتظار در دوره ای که بار پیک روزانه از میزان ظرفیت منصوبه افزایش یابد، بکار می رود. همچنین شاخص LOLE می تواند به کمک منحنی تداومی بار یا مقادیر ساعتی محاسبه شود. ناحیه زیر منحنی تداومی بار، انرژی مورد استفاده در یک دوره خاص را نشان می دهد و می تواند در محاسبه انرژی تأمین نشده مورد انتظار به دلیل ظرفیت نصب شده ناکافی، بکار رود [۲].

همچنین نتایج این روش می تواند به عنوان نسبت احتمالی بین انرژی بار قطع شده بار ناشی از کمبودهای ظرفیت در دسترس تولید و کل انرژی بار مورد نیاز برای تأمین نیازهای سیستم، بیان گردد. برای منحنی تداومی بار داده شده این نسبت، مستقل از دوره زمانی، که معمولاً یک ماه یا یک سال است، می شود. معمولاً این نسبت عدد خیلی کوچکی کمتر از یک است و می تواند به عنوان "شاخص انرژی عدم قابلیت اطمینان" بیان شود. هر خروج ظرفیت تولید بیشتر از مقدار ظرفیت رزرو، قطع انرژی بار سیستم را نتیجه می دهد. اگر:

O_k : دامنه مقدار ظرفیت خارج شده

P_k : احتمال خروج ظرفیت معادل با O_k

E_k : قطع انرژی به وسیله خروج ظرفیت معادل با O_k



شکل ۳-۲: قطع انرژی به خاطر خروج قسمتی از ظرفیت نصب شده [2]

این قطع انرژی با ناحیه هاشور زده در شکل فوق بیان می شود. احتمال انرژی قطع شده $E_k P_k$ است. مجموع این ها، برابر کل انرژی قطع شده مورد انتظار یا امید ریاضی انرژی از دست رفته LOEE است که:

$$LOEE = \sum_{k=1}^n E_k P_k \quad (۱۴-۳)$$

سپس این مقدار با بکار گرفتن انرژی کل زیر منحنی تداومی بار که به مقدار E طراحی شده، نرمالیزه می شود.

$$LOEE_{p.u} = \sum_{k=1}^n \frac{E_k P_k}{E} \quad (۱۵-۳)$$

مقدار پریونیت LOEE، نسبت بین احتمال قطع انرژی بار به خاطر کمبود ظرفیت تولید در دسترس و کل انرژی بار مورد نیاز جهت تأمین تقاضای سیستم را نشان می دهد. در این صورت شاخص انرژی قابلیت اطمینان EIR به صورت رابطه ی زیر است:

$$EIR = 1 - LOEE_{p,u} \quad (۱۶-۳)$$

در هر حال مهم این است که سیستم های توان الکتریکی آینده بجای محدودیت توان یا ظرفیت، به صورت انرژی محدود باشند و بنابراین شاخص های آینده ممکن است بجای تمرکز بر روی توان و ظرفیت، مبتنی بر انرژی باشند.

۳-۸-۲- انرژی مورد انتظار تأمین نشده^{۲۴}

مفهوم پایه ای انرژی قطع شده مورد انتظار می تواند در برآورد انرژی انتظاری که توسط هر واحد در سیستم مورد استفاده قرار گیرد و در نتیجه روش نسبتاً ساده ای را برای مدل سازی هزینه ارائه می کند.

۳-۹- نتیجه گیری فصل

ارزیابی قابلیت اطمینان مسیری است در امتداد فرآیند طراحی و توسعه شبکه. در این مسیر استانداردسازی و بهبود آن باید به عنوان بخش تفکیک ناپذیر، همواره مورد توجه قرار گیرد. بهبود قابلیت اطمینان پس از طراحی و تنها از طریق تغییر خط مشی های بهره برداری معمولاً هزینه بر و سخت است.

چند خاموشی بزرگ در سیستم های به هم پیوسته قدرت و لزوم حذف تقدم در بهره برداری از یک سیستم قدرت منجر به موارد زیر شده است:

۱- سیستم را به طریقی مورد بهره برداری قرارداد که توان به صورت قابل اعتمادی عرضه گردد.

۲- در محدوده قیودی که با توجه به قابلیت اعتماد سیستم بر بهره برداری سیستم اعمال

می گردد، سیستم باید به اقتصادی ترین صورت مورد بهره برداری قرار گیرد.

در محدوده محدودیت های طراحی اقتصادی، این وظیفه بهره برداران است که بتوانند قابلیت اطمینان

سیستم را در هر مقطع زمانی حداکثر کنند.

فصل ۴: بیان گام به گام مسئله و محاسبه

شاخص‌های قابلیت اطمینان

۴-۱- مقدمه:

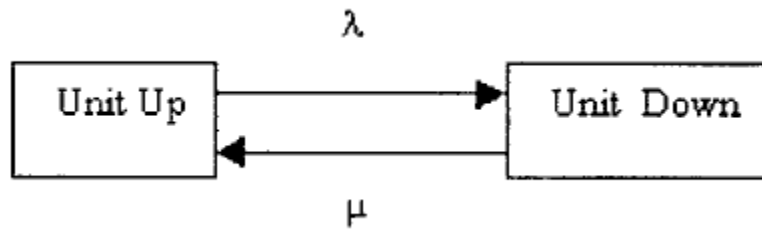
امروزه به منظور بررسی عملکرد مناسب یک سیستم قدرت، از شاخص های کمی و کیفی مربوط به آن استفاده می کنند. با توجه به اینکه توان راکتیو یکی از شاخص های مهم در تجزیه و تحلیل سیستم های قدرت می باشد بررسی شاخص های قابلیت اطمینان مرتبط با توان راکتیو امری بسیار مهم و ضروری برای سیستم قدرت به حساب می آید. در این میان نحوه محاسبه و دقت در تخمین شاخص ها و زمانبری روش های محاسباتی اهمیت ویژه ای دارند. در این پایان نامه به منظور بررسی تاثیر توان راکتیو بر روی شاخص های قابلیت اطمینان، هشت شاخص مهم و استاندارد و کاربردی معرفی گردیده است که از بین این هشت شاخص چهار شاخص مربوط به کمبود توان اکتیو و چهار شاخص مربوط به توان راکتیو می باشد. به منظور بررسی چهار شاخص مرتبط با توان راکتیو در سیستم قدرت نمونه از جبران سازهای توان راکتیو استفاده شده است، به منظور درک بهتر ناشی از تزریق توان راکتیو در سیستم قدرت بر روی شاخص ها، جبران ساز ها را در نواحی با بیشترین و کمترین میزان مصرف توان راکتیو نصب می کنیم. همچنین عوامل دیگر از جمله خروج خطوط با توان راکتیو انتقالی بالا را نیز در این سیستم مورد بررسی قرار می دهیم که در فصل بعدی در مورد هریک بطور مفصل بحث خواهد شد.

۴-۲- شاخص های قابلیت اطمینان و بررسی احتمال آنها

یکی از اهداف ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت ، افزایش سطح کارایی و امنیت سیستم و در نتیجه رشد شاخص های اقتصادی و مهمتر از همه افزایش میزان رضایت مندی مشترکین می باشد. شاخص های قابلیت اطمینان ابزاری مفید برای مقایسه عملکرد سیستم های مختلف و نیز رفتار گذشته آنها است، که هم در مرحله طراحی و هم در مرحله مدیریت و بهره برداری کاربرد دارد. با این وجود، یکی از مشکلات اساسی در مطالعات قابلیت اطمینان سیستم های قدرت، نقص داده های در دسترس است. لذا اکثر شرکت هایی که با این مشکل مواجه هستند، از روش های تقریبی برای محاسبه شاخص ها استفاده می کنند. برای مثال نرخ خرابی و نرخ تعمیرات اجزای مختلف سیستم را بر اساس آمار تجربی شرکت های مختلف بدست می آورد.

۴-۲-۱- مدل قابلیت اطمینان اجزای سیستم قدرت

اجزای مدل قابلیت اطمینان سیستم شامل ژنراتور، خط انتقال یا جبرانگر توان راکتیو می باشد که با استفاده از مدل دو طرفه سیستم ارائه می گردد. همانطوریکه در شکل ۴-۱ نشان داده شده است در دسترس بودن (دسترس پذیری)^{۲۵} با پارامتر AV و عدم دسترسی (دسترس ناپذیری)^{۲۶} با پارامتر UA تعریف می شود که این دو پارامتر می تواند با توجه به نرخ خرابی آن λ (یا نرخ انتظار خرابی) و نرخ تعمیر μ (نرخ انتظاری تعمیر) و با استفاده از معادلات (۴-۱) و (۴-۲) محاسبه شوند [۱].



شکل ۴-۱: مدل دو طرفه یک جز سیستم

$$AV = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (۴-۱)$$

$$UA = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (۴-۲)$$

با توجه به روابط بالا مشاهده می شود که دسترس پذیری با نرخ تعمیرات μ و دسترس ناپذیری با نرخ خرابی λ رابطه مستقیم دارد. پس می توان نتیجه گرفت که پارامترهای مذکور حاصل مدل سازی اجزای سیستم قدرت از قبیل ژنراتور، خطوط انتقال و جبران سازها می باشد.

۴-۲-۲- معرفی پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم

در این قسمت پارامترهای مختلف بصورت اختصار بیان می گردد. در بررسی یک سیستم دارای N عنصر مستقل می باشد، هر عنصر با نماد z مشخص می گردد. همچنین در این سیستم تعداد عناصر معیوب با M معرفی می گردد.

N : تعداد عناصر مستقل

$z=1, 2, \dots, N$: شماره عنصر

M : تعداد عناصر معیوب

i : حالت سیستم از دید قابلیت اطمینان

λ_i : نرخ خرابی حالت i

μ_i : نرخ تعمیرات حالت i

F_i : فراوانی حالت i

P_i : توان اکتیو موجود سیستم برای حالت i

بر اساس نمادهای فوق احتمال وقوع حالت i (p_i) از رابطه زیر تعیین می شود:

$$p_i = \prod_{j=M+1}^N AV_j \prod_{j=1}^M UV_j \quad (3-4)$$

که در رابطه فوق :

AV_j : در دسترس پذیری عنصر j

UV_j : عدم دسترس ناپذیری عنصر j

شدت وقوع پیشامد با توجه به رابطه ۴-۴ تعریف می شود.

$$\lambda_i = \sum_{j=M+1}^N \lambda_j + \sum_{j=1}^M \mu_j \quad (4-4)$$

در این رابطه شدت وقوع پیشامد، حاصل جمع نرخ تعمیرات اجزای خارج شده از مدار با نرخ خرابی تک تک اجزای باقیمانده در مدار می باشد، که بیانگر شدت وقوع آن پیشامد است. سومین پارامتر قابلیت اطمینان سیستم پارامتر F_i می باشد که حاصل ضرب پارامترهای احتمال پیشامد در شدت وقوع آن می باشد و نشان دهنده فراوانی حالت i می باشد.

$$F_i = p_i \lambda_i \quad (5-4)$$

برای نشان دادن میزان توان اکتیو تولیدی در حالت i از پارامتر P_i استفاده می شود که با استفاده از رابطه ۴-۶ بیان شده است.

$$P_i = \sum_{k=1}^{Ng_i} P_k \quad (۴-۶)$$

در روابط بالا $\mu_j, \lambda_j, UAV_j, AV_j$ به ترتیب در دسترس پذیری، در دسترس نبودن، نرخ شکست، نرخ اصلاح اجزا j ، P_k توان اکتیو ژنراتور k و Ng_j تعداد ژنراتورهای موجود در سیستم برای وضعیت i می باشد. همچنین پارامتر M نشان دهنده تعداد اجزای سیستم می باشد که با نرخ خرابی از مدار خارج شده است.

۴-۲-۳- شاخص های قابلیت اطمینان

با توجه به اینکه مطالعات و ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت توسط شاخص های آن بررسی می شود، پس لازم است در ابتدا این شاخص ها خوب بررسی و روابط هر یک بر اساس پارامترهای قابلیت اطمینان نوشته شود. شاخص هایی که به طور کلی در این تحقیق بررسی خواهد شد بر اساس کمبود توان راکتیو و اکتیو بدست می آیند که در ادامه به معرفی هر یک از آنها خواهیم پرداخت که ابتدا پارامترهای مورد استفاده در این شاخص ها را به اختصار بیان می کنیم:

N_c تعداد کل پیشامدهای بررسی شده می باشد.

$LCPI$ و $QCPI$ به ترتیب قطعی های بار اکتیو و راکتیو به موجب کمبود در توان اکتیو برای وضعیت i هستند.

$LCQi$ و $QCQi$ به ترتیب قطعی های بار الکتریکی اکتیو و راکتیو به موجب کمبود توان راکتیو برای وضعیت i می باشند.

$VarSQi$ ، کمبود var می باشد که باعث خطا در ولتاژ برای وضعیت i شده است.

۱. شاخص $ELCP^{۲۷}$ که به معنی قطعی مورد نظر بار اکتیو سیستم به دلیل کمبود توان اکتیو می باشد. این شاخص توسط رابطه ۷-۴ تعریف می شود:

$$ELC_p = \sum_{i=1}^{NC} LCP_i \times F_i \quad (۷-۴)$$

۲. شاخص $ELCQ^{۲۸}$ که به معنی قطعی مورد نظر بار راکتیو سیستم به دلیل کمبود توان اکتیو می باشد. این شاخص توسط رابطه ۸-۴ تعریف می شود:

$$ELC_Q = \sum_{i=1}^{NC} LCQ_i \times F_i \quad (۸-۴)$$

۳. شاخص $EQCP^{۲۹}$ که به معنی قطعی مورد نظر بار راکتیو سیستم به دلیل کمبود توان اکتیو می باشد. این شاخص توسط رابطه ۹-۴ تعریف می شود:

$$EQC_p = \sum_{i=1}^{NC} QCP_i \times F_i \quad (۹-۴)$$

۴. شاخص $EQCQ^{۳۰}$ که به معنی قطعی مورد نظر بار راکتیو سیستم به دلیل کمبود توان راکتیو می باشد. این شاخص توسط رابطه ۱۰-۴ تعریف می شود:

$$EQC_Q = \sum_{i=1}^{NC} QCQ_i \times F_i \quad (۱۰-۴)$$

۵. شاخص $EENSP^{۳۱}$ که به معنی انرژی مورد انتظار تهیه نشده سیستم به دلیل کمبود توان اکتیو می باشد. این شاخص توسط رابطه ۱۱-۴ تعریف می شود:

30- Expected Real Power Load Curtailments Due To Real Power Shortages
31- Expected Reactive Power Load Curtailments Due To Real Power Shortage
32- Expected Reactive Power Load Curtailments Due To Real Power Shortage
33- Expected Reactive Power Load Curtailments Due To Real Power Shortages
34- Expected Energy Not Supplied Due To The Real Power Shortages

$$EENS_p = \sum_{i=1}^{NC} LCP_i \times p_i \times 8760 \quad (11-4)$$

۶. شاخص $EENSQ^{32}$ که به معنی انرژی مورد انتظار تهیه نشده سیستم به دلیل کمبود

توان راکتیو می باشد. این شاخص توسط رابطه ۴-۱۲ تعریف می شود:

(۱۲-۴)

$$EENS_Q = \sum_{i=1}^{NC} LCQ_i \times p_i \times 8760$$

۷. شاخص $EVNSP^{33}$ که به مقدار Mvar مورد انتظار تهیه نشده سیستم به دلیل کمبود

توان اکتیو می باشد. این شاخص توسط رابطه ۴-۱۳ تعریف می شود:

$$EVNS_p = \sum_{i=1}^{NC} QCP_i \times p_i \times 8760 \quad (13-4)$$

۸. شاخص $EVNSQ^{34}$ که به مقدار var مورد انتظار تهیه نشده سیستم به دلیل کمبود توان

راکتیو می باشد. این شاخص توسط رابطه ۴-۱۴ تعریف می شود:

$$EVNS_Q = \sum_{i=1}^{NC} QCQ_i \times p_i \times 8760 \quad (14-4)$$

۹. شاخص $EVarS^{35}$ که به مقدار var مورد انتظار تهیه نشده سیستم به دلیل کمبود توان

راکتیو می باشد. این شاخص توسط رابطه ۴-۱۴ تعریف می شود:

$$EVarS = \sum_{i=1}^{NC} VarSQ_i \times p_i \times 8760 \quad (15-4)$$

35- Expected Energy Not Supplied Due To The Reactive Power Shortages

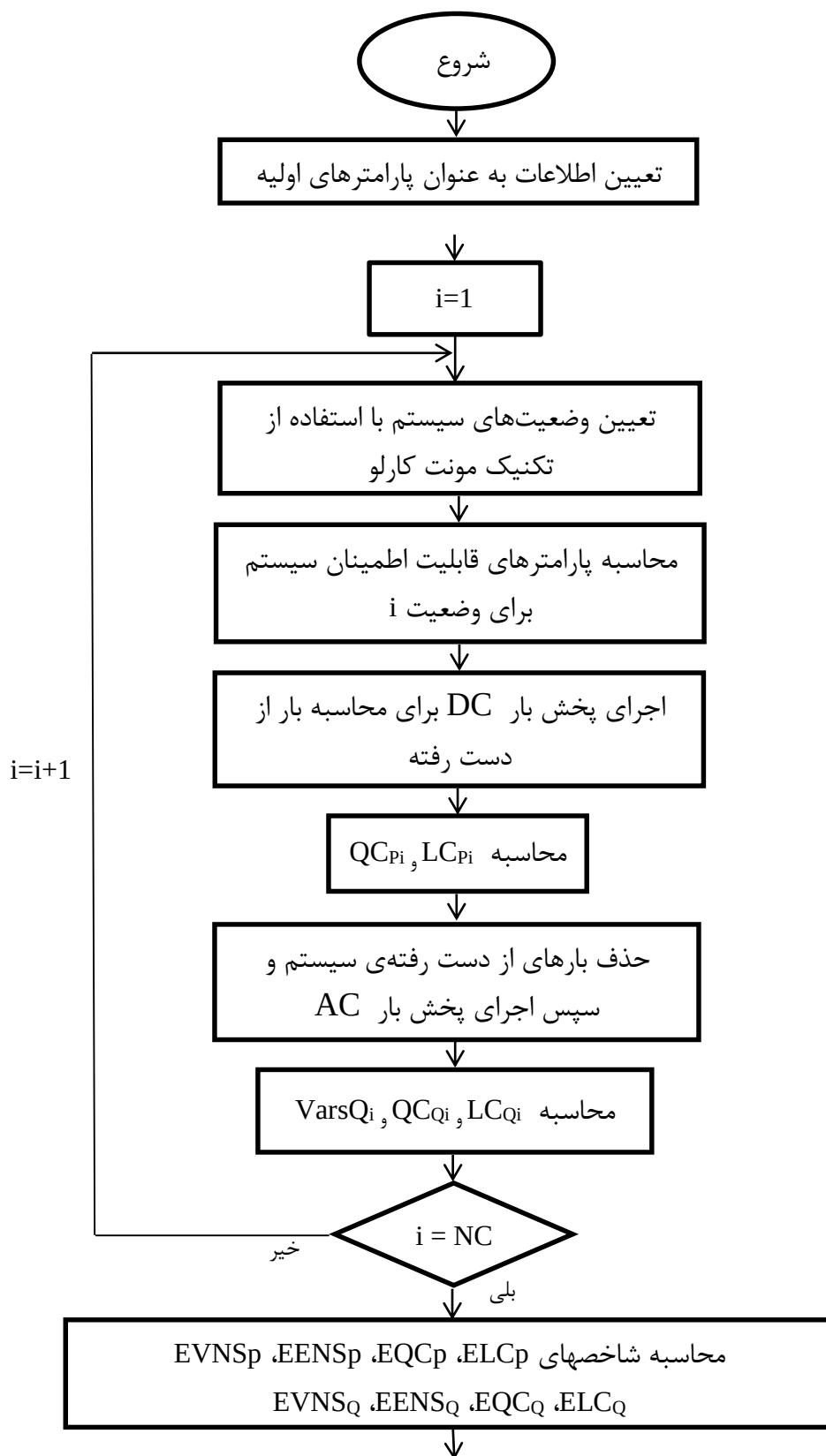
36- Expected Var Not Supplied Due To Real Power Shortages

37- Expected Var Not Supplied Due To Reactive Power Shortages

38- Expected Var Shortage Due To Voltage Violation

۳-۴-فلوچارت اجرای برنامه در نرم افزار MATLAB:

با توجه به مطالب بیان شده، فلوچارت مربوط به روش تعیین شاخص های قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه در شکل ۳-۵ نشان داده است. همانطوری که مشاهده می شود در این فلوچارت در مرحله اول اطلاعات مربوط به پارامترهای اولیه تعیین می گردد. سپس وضعیت های سیستم با استفاده از تکنیک مونت کارلو تعیین می گردد. بدین صورت که با استفاده از تابع تولید اعداد تصادفی عددی بین صفر و یک تعیین شده و سپس با مقدار دسترس ناپذیری اجزای سیستم مقایسه می شود. اگر عدد تصادفی انتخاب شده از مقدار دسترس ناپذیری بیشتر باشد، آن جز در مدار باقی مانده در غیر اینصورت از مدار خارج می شود. پس از این مرحله پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم برای وضعیت i محاسبه می گردد. سپس مقدار بار از دست رفته جهت محاسبه شاخص $LCPI$ و $QCPI$ ، با پخش بار DC بدست می آید. سپس بارهای از دست رفته سیستم را محاسبه کرده و در گام بعدی اجرای پخش بار AC برای محاسبه $LCQi$ ، $QCQi$ و $VarsQi$ را انجام می دهیم و این عملیات را برای کل پیشامدهای i تکرار می کنیم و سرانجام میانگین شاخص های قابلیت اطمینان سیستم را محاسبه می کنیم.



پایان

شکل ۴-۲: فلوچارت اجرای برنامه

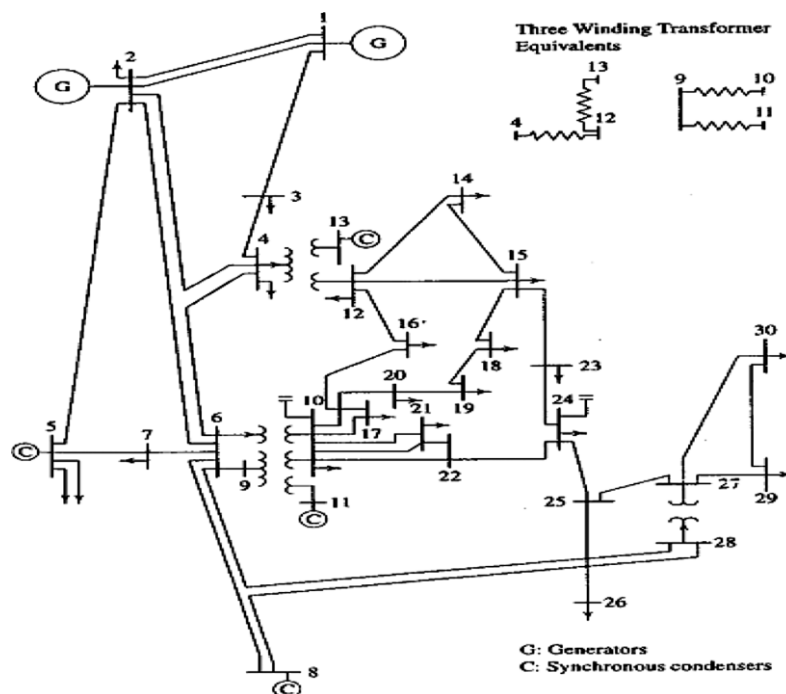
۴-۴- سیستم قدرت شبیه سازی شده :

در این تحقیق جهت ارزیابی تاثیر تزریق توان راکتیو بر روی شاخص های قابلیت اطمینان سیستم از سیستم تست ۳۰ باسه تغییر یافته IEEE استفاده شده است که عموماً جهت ارزیابی شاخص های قابلیت اطمینان در سیستم های قدرت مورد استفاده قرار می گیرد. شبیه سازی این سیستم نمونه با استفاده از ۲ نرم افزار MATLAB و DigSILENT انجام شده است که از نرم افزار MATLAB جهت محاسبه شاخص های کلی قابلیت اطمینان و از نرم افزار DigSILENT جهت بررسی شاخص های قابلیت اطمینان بر روی تک تک اجزا مورد استفاده قرار می گیرد. در ادامه بحث مشخصات این سیستم نمونه مورد بررسی قرار می گیرد.

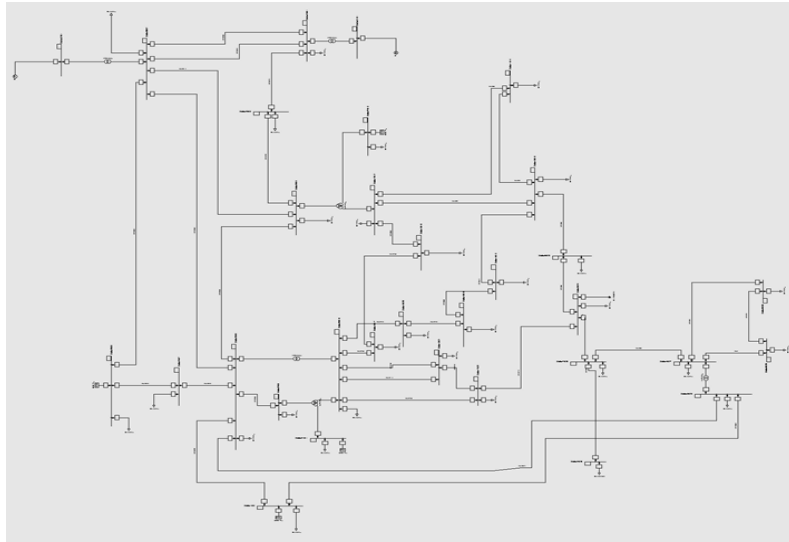
۴-۴-۱- تاریخچه شبکه مورد آزمایش:

شبکه ۳۰ باسه IEEE ابتدا در دسامبر سال ۱۹۶۱ میلادی توسط ایرج دباغچی از شرکت IEP معرفی شد. این شبکه ۳۰ باسه با سه سطح ولتاژ ۱۳۲، ۳۳ و ۱۱ کیلو ولت نشان دهنده بخشی از سیستم برق آمریکا (میانه غربی) است. این شبکه شامل بخش کوچکی از شبکه انتقال و بخش اعظمی از شبکه توزیع می باشد. ویژگی اصلی این شبکه اینست که با توجه به توزیع مناسب سیستم انتقال و توزیع می توان پیشامد های مختلفی را بر روی این شبکه پیاده کرده و نتایج روش های ارائه

شده را در زمان کمی مطالعه نمود. با توجه به کم بودن تعداد باس ها در این شبکه این شبکه یک شبکه کوچک به شمار می آید. از طرف دیگر کم بودن تعداد اجزای این شبکه نیز باعث می شود که محاسبات دارای حجم پایینی باشند. با توجه به کوچک بودن شبکه نتایج حاصل از شبیه سازی بر روی این شبکه برای اجرا بر روی شبکه های واقعی، در هم پیچیده و بزرگ مناسب نیستند. شکل شماره ۴-۳ شمای کلی سیستم نمونه را نشان می دهد.



شکل ۴-۳: سیستم ۳۰ باسه IEEE [1]



شکل ۴-۴: شبیه سازی سیستم ۳۰ باس IEEE در محیط DigSILENT

۴-۲-۴- مشخصات شبکه مورد آزمایش:

این شبکه از ۶ ماشین سنکرون که شامل دو ژنراتور و چهار کندانسور سنکرون هستند تشکیل شده است. توان تولیدی ژنراتورهای این شبکه در حدود ۳۰۰ مگاوات بوده و توان اکتیو و راکتیو مصرفی بارها به ترتیب برابر با ۲۸۰ مگاوات و ۱۲۵ مگاوار است. کمبود توان راکتیو تولیدی ژنراتورها به کمک کندانسورهای سنکرون فراهم شده است. این شبکه دارای دو خازن موازی نیز می باشد. بارها در این شبکه به صورت بارهای موتوری و امپدانس ثابت در سطح شبکه ۳۳ کیلو ولت توزیع شده اند. بارهای امپدانسی بزرگی نیز بر روی شبکه انتقال قرار دارند. شبکه انتقال توسط دو ترانس به شبکه توزیع متصل شده است علاوه بر این، دو ترانس سه سر نیز برای اتصال کندانسورهای سنکرون با ولتاژ ۱۱ کیلو ولت مورد استفاده شده قرار گرفته اند. این شبکه از ۴۱ خط انتقال تشکیل شده است که در خطوط انتقال ۱۳۲ کیلو ولت ظرفیت خازنی خط نیز علاوه بر مقاومت و راکتانس مشخص شده است. در شبکه اصلی هیچگونه محدودیتی بر روی توان انتقالی از خطوط و سایر تجهیزات تعیین نشده است. این سیستم ۵ باس PV و ۲۴ باس PQ دارد. کل بار اکتیو و راکتیو سیستم به ترتیب $283/4 \text{ MW}$ و $126/2 \text{ Mvar}$ هستند. فرض شده است که ۴ واحدهای 60 MW به باس ۱ و تعداد ۳ واحد 3 MW

۴۰ به باس ۲ به منظور بررسی پارامترهای قابلیت اطمینان ژنراتور در ارزیابی متصل گردند. پارامترهای قابلیت اطمینان خطوط انتقال و ژنراتورها که در این پایان نامه استفاده شده است در جدول ۴-۱ و ۴-۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۱: پارامترهای قابلیت اطمینان خطوط انتقال سیستم ۳۰ باس IEEE

From Bus	To Bus	$\lambda(\text{failure/year})$	$\mu(\text{hour})$	From Bus	To Bus	$\lambda(\text{failure/year})$	$\mu(\text{hour})$
1	2	1	876	6	7	1	876
1	3	1	876	6	8	1	876
2	4	1	876	6	9	1	876
3	4	1	876	6	10	1	876
2	5	1	876	9	11	1	876
2	6	1	876	4	12	1	876
4	6	1	876	10	22	5	876
4	12	1	876	21	22	5	876
12	13	1	876	15	23	5	876
12	14	1.5	876	22	24	1.5	876
12	15	1.5	876	23	24	1.5	876
12	16	1.5	876	24	25	1.5	876
14	15	1.5	876	25	26	5	876
16	17	1.5	876	25	27	5	876
15	18	1.5	876	28	27	1.5	876
18	19	1.5	876	27	29	5	876
19	20	1.5	876	27	30	5	876
10	20	1.5	876	29	30	5	876
10	17	5	876	8	28	1.5	876
10	21	5	876	6	28	1	876
5	7	1	876				

جدول ۴-۲: پارامترهای قابلیت اطمینان و محدودیت های توان راکتیو ماشین های سنکرون سیستم ۳۰ باسه IEEE

	Bus	Q_{min} (Mvar)	Q_{max} (Mvar)	λ (failure/year)	μ (hour)
Generator	1	-20	25	6	194.67
	2	-20	20	4.5	219
Compensator	5	-20	25	6	194.67
	8	-10	25	6	194.67
	11	-6	20	6	194.67
	13	-6	20	6	194.67

۴-۵- نتیجه گیری فصل:

در این فصل با توجه به اهمیت تزریق توان راکتیو بر روی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت، شاخص هایی جهت بررسی کمی و کیفی میزان اثربخشی توان راکتیو بر روی عملکرد سیستم های قدرت معرفی گردید. همچنین جهت بررسی تاثیر توان راکتیو بر روی این شاخص ها، روش پیشنهادی در قالب یک فلوچارت بیان شد. به منظور بررسی شاخص های بیان شده بر روی سیستم قدرت، سیستم قدرت نمونه ۳۰ باسه با تمامی اطلاعات و پارامترهای مرتبط با قابلیت اطمینان تجهیزات آن انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت که در فصل آتی با شبیه سازی و تجزیه و تحلیل این سیستم نمونه، شاخص های بیان شده بر روی آن مورد بررسی قرار می گیرد.

فصل ۵: تاثیر توان راکتیو بر قابلیت اطمینان

سیستم قدرت و شبیه سازی

۵-۱- توان راکتیو:

امروزه با روند حرکت سیستم های قدرت به سمت ایجاد رقابت و شکستن انحصار، اهمیت سرویسهای جانبی همچون سرویس توان راکتیو و کنترل ولتاژ، رزرو چرخان، تنظیم کننده و ... بیشتر نمایان شده است. از میان این سرویسهای جانبی، سرویس تامین توان راکتیو و کنترل ولتاژ دارای اهمیت بیشتری میباشد. علی رغم آن که پخش بار توان راکتیو علاوه بر تاثیر بر روی تلفات خطوط و اندازه ولتاژ شین ها، بر روی پخش بار توان اکتیو و هزینه آن نیز تاثیر گذار میباشد، اما متأسفانه به هزینه های تولید و انتقال توان راکتیو توجه اندکی شده است. یکی از دلایل این عدم توجه به مشکل بودن ذاتی فهم این موضوع به ویژه توسط اقتصاددانان برمیگردد. از دیگر دلایلی که میتوان برای این عدم توجه کافی به توان راکتیو نام برد کم بودن هزینه تولید توان راکتیو در مقابل توان اکتیو میباشد. با این وجود از لحاظ اقتصادی و در محاسبات بازار، توان راکتیو ارزش کمتری نسبت به توان اکتیو ندارد. مدیریت و کنترل توان راکتیو هم در سیستمهای سنتی و هم در سیستمهای رقابتی یکی از دغدغه های اصلی بهره برداران بوده است. این موضوع در محیطهای تجدید ساختار یافته با چالش های بیشتری روبرو شده است، زیرا نیاز به یک روش قیمت گذاری منصفانه و دقیق و طراحی یک بازار برای توان راکتیو میباشد .

یکی از اهداف برنامه ریزی توان راکتیو، افزایش حاشیه پایداری ولتاژ و قابلیت اطمینان سیستم های قدرت می باشد و این برنامه ریزی به گونه ای انجام می شود که به ازای وقوع اغتشاش های محتمل، حاشیه پایداری ولتاژ با حداقل استفاده از منابع توان راکتیو جدید در مقدار مطلوب قرار گیرد.

۵-۱-۱- شاخص‌های توان راکتیو

چندین حالت وجود دارد که توان راکتیو را با عملکرد توان اکتیو متمایز می‌سازد که بایستی از نظر ارزیابی قابلیت اطمینان بررسی گردد. ابتدا آنکه انتقال توان راکتیو در یک فاصله طولانی مناسب نیست زیرا تلفات توان راکتیو در خطوط انتقال زیاد است و ولتاژ باس به توان راکتیو خیلی حساس است. بنابراین کمبود توان راکتیو معمولاً به طور داخلی در شبکه‌های فشار ضعیف جبران می‌شود. دوم نقش اصلی توان راکتیو برای حفظ ثبات و امنیت ولتاژ سیستم‌های قدرت می‌باشد. بنابراین تأثیر توان راکتیو در قابلیت اطمینان سیستم از نظر انرژی توزیع نشده غیرمستقیم است و بایستی بر مبنای کمبود توان راکتیو و ضعف در ولتاژ محاسبه گردد. در نهایت تلفات توان راکتیو طبق توپولوژی شبکه و شرایط عملکرد تغییر می‌کند. نیازهای توان راکتیو برای احیای ولتاژ بعد از یک خطا، شدیداً وابسته به حفظ توزیع توان راکتیو در یک سیستم قدرت است. به منظور تعیین منطقی سرعت جاری شدن بار اکتیو و راکتیو بعد از خطا، شاخص‌های توان اکتیو و راکتیو بر اساس ولتاژ باس و ارتباط آن‌ها بایستی در نظر گرفته شوند [۱].

۵-۱-۲- کنترل بار تحت ولتاژ

تثبیت ولتاژ باس موضوع مهمی در عملکرد سیستم قدرت است و بایستی در ارزیابی قابلیت اطمینان در نظر گرفته شود. چندین تکنیک برای حل مشکل مربوط به تثبیت ولتاژ با کمبود توان راکتیو وجود دارد که در فصل ۱ در مورد آن بحث شد. لازم به ذکر است که محدوده ولتاژ در برق ایران طبق دستورالعمل‌های ثابت بهره‌برداری وزارت نیرو به صورت زیر قابل تعریف است [۳]:

الف) ولتاژ عادی: مقدار ولتاژ نامی سیستم بین 0.98 pu تا 1.02 pu باشد

ب) ولتاژ غیرعادی: افزایش ولتاژ تا 1.05 pu و کاهش آن تا 0.9 pu

ج) ولتاژ غیرقابل تحمل: افزایش بیش از ۱/۰۵ pu و کاهش بیش از ۰/۹ pu

که دستورالعمل‌های ثابت بهره‌برداری در مواجهه با هر کدام از شرایط بالا برای هر گروه وظایفی به شرح زیر اعمال کرده است:

✓ ولتاژ عادی:

از نظر بهره‌برداری این محدوده ولتاژ قابل قبول بوده و مسئولیت تصحیح آن به عهده مراکز کنترل دیسپاچینگ مناطق می باشد.

✓ ولتاژ غیرعادی:

در این هنگام مراکز کنترل دیسپاچینگ مناطق موظفانند با به کارگیری کلیه امکانات مگاواری ولتاژ شبکه را به حالت عادی خود بازگردانند. در صورت تداوم شرایط تا حد مرز ولتاژ غیرقابل تحمل نیاز به اعمال خاموشی نمی باشد. لذا مراکز کنترل دیسپاچینگ مناطق با توجه به روند تغییرات مصرف در منطقه می تواند در پست‌هایی که با ولتاژ غیرعادی مواجه هستند نسبت به اعمال خاموشی در جهت مهار ولتاژ در محدوده غیرعادی و پیشگیری از کاهش آن تا حد غیرقابل تحمل اقدام نمایند. در این حالت مسئولین پست‌ها موظف هستند در سریعترین زمان ممکن با استفاده از امکانات مگاواری اقدام به کنترل ولتاژ کنند. در صورت تداوم شرایط و افت ولتاژ بیشتر از ۰/۱ pu مسئولین پست‌ها (اپراتورها) بایستی اقدام به قطع تدریجی بار بنمایند.

۵-۲- شبیه سازی سیستم نمونه:

با توجه به مطالب بیان شده در فلوچارت شکل ۴-۲ و با کد نویسی روابط مربوط به شاخص های قابلیت اطمینان در محیط نرم افزاری MATLAB و با اجرای آن، تاثیر میزان توان راکتیو بر روی شاخص های قابلیت اطمینان سیستم را در طی چندین سناریو مورد بررسی قرار می دهیم. همچنین همانگونه که بیان شد جهت بررسی شاخص های قابلیت اطمینان بر روی تجهیزات خاصی از سیستم نمونه (باس ها و خطوط انتقال) از نرم افزار DigSILENT استفاده می شود.

۵-۲-۱- سناریوی شماره ۱:

در این سناریو، سیستم قدرت مورد مطالعه را بدون ایجاد تغییر در اجزای سیستم در محیط نرم افزاری MATLAB، شبیه سازی نموده و نتایج حاصل از آن که شامل شاخص های قابلیت اطمینان سیستم و نتایج پخش بار می باشد در جداول شماره ۵-۱ الی ۵-۳ قابل مشاهده می باشد.

جدول ۵-۱: نتایج پخش بار مربوط به باس های سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۱

Bus Data						
Bus	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	0	244.93	-42.19	3.14	0.63
2	1	-5.719	60.97	54.92	24.84	13.33
3	0.966	-10.113	-	-	5.54	1.83
4	0.964	-12.174	-	-	10.74	2.23
5	1	-10.847	0	19.31	3.14	0.63
6	0.972	-13.982	-	-	3.14	0.63
7	0.972	-13.332	-	-	25.94	11.53
8	1	-15.32	0	125.15	33.14	30.63
9	0.954	-20.337	-	-	3.14	0.63
10	0.926	-23.378	-	-	8.94	2.63
11	1	-20.733	0	22.39	3.14	0.63
12	0.953	-22.82	-	-	14.34	8.13
13	1	-23.085	0	34.4	3.14	0.63
14	0.927	-24.479	-	-	9.34	2.23
15	0.918	-24.548	-	-	11.34	3.13
16	0.93	-23.677	-	-	6.64	2.43
17	0.921	-23.828	-	-	12.14	6.43
18	0.899	-25.662	-	-	6.34	1.53
19	0.896	-25.827	-	-	12.64	4.03
20	0.901	-25.375	-	-	5.34	1.33
21	0.909	-24.237	-	-	20.64	11.83
22	0.909	-24.272	-	-	3.14	0.63
23	0.897	-25.25	-	-	6.34	2.23
24	0.886	-25.228	-	-	11.84	7.33
25	0.887	-25.184	-	-	3.14	0.63
26	0.854	-26.53	-	-	6.61	2.93
27	0.909	-23.973	-	-	3.14	0.63
28	0.965	-15.193	-	-	3.14	0.63
29	0.872	-26.537	-	-	5.54	1.53
30	0.857	-27.812	-	-	13.74	2.53
Sum			305.9	213.99	283.37	126.19

جدول ۵-۲: نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۱

Brnch	From	To	Branch Data					
			From Bus Injection		From Bus Injection		Loss	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	151.96	-43.86	-146.98	55.79	4.977	14.93
2	1	3	89.83	1.04	-85.79	12.37	4.037	15.34
3	2	4	64.41	0.79	-61.92	4.34	2.491	7.06
4	3	4	80.25	-14.2	-79.54	17.05	0.711	2.85
5	2	5	42.53	-9.63	-41.59	11.4	0.942	3.77
6	2	6	76.17	-5.36	-72.68	13.89	3.493	10.48
7	4	6	65.44	-34.04	-64.85	36.38	0.585	2.34
8	5	7	38.45	7.47	-37.68	-6.6	0.771	1.85
9	6	7	-11.69	4.13	11.74	-4.94	0.05	0.13
10	6	8	37.7	-76.24	-36.93	79.3	0.765	3.06
11	6	9	48.91	11.01	-48.91	-5.43	0	5.58
12	6	10	26.25	10.15	-26.25	-5.46	0	4.69
13	9	11	3.14	-20.75	-3.14	21.76	0	1.02
14	9	10	42.63	25.54	-42.63	-22.56	0	2.98
15	4	12	65.29	10.42	-65.29	1.8	0	12.22
16	12	13	3.14	-32.16	-3.14	33.77	0	1.61
17	12	14	11.8	4.27	-11.59	-3.81	0.208	0.45
18	12	15	26.51	11.58	-25.86	-10.38	0.645	1.2
19	12	16	9.5	6.38	-9.37	-6.09	0.13	0.29
20	14	15	2.25	1.58	-2.23	-1.56	0.019	0.02
21	16	17	2.73	3.66	-2.71	-3.62	0.019	0.05
22	15	18	8.95	3.3	-8.83	-3.07	0.119	0.24
23	18	19	2.49	1.53	-2.48	-1.52	0.006	0.01
24	19	20	-10.16	-2.51	10.2	2.61	0.041	0.1
25	10	20	15.82	4.61	-15.54	-3.94	0.285	0.66
26	10	17	9.46	2.91	-9.43	-2.82	0.034	0.09
27	10	21	23.38	12.46	-23.13	-11.88	0.245	0.57
28	10	22	11.28	5.41	-11.15	-5.14	0.128	0.27
29	21	22	2.49	0.05	-2.49	-0.05	0.001	0
30	15	23	7.8	5.51	-7.7	-5.29	0.108	0.22
31	22	24	10.5	4.55	-10.31	-4.27	0.19	0.29
32	23	24	1.36	3.06	-1.34	-3.02	0.018	0.04
33	24	25	-0.19	-0.01	0.19	0.01	0	0
34	25	26	6.79	3.21	-6.61	-2.93	0.179	0.27
35	25	27	-10.12	-3.85	10.29	4.17	0.164	0.31
36	28	27	33.47	16.25	-33.47	-10.31	0	5.94
37	27	29	9.93	2.84	-9.64	-2.3	0.284	0.54
38	27	30	10.11	2.67	-9.69	-1.87	0.424	0.8
39	29	30	4.1	0.76	-4.05	-0.66	0.055	0.1
40	8	28	3.79	15.22	-3.62	-16.59	0.166	0.55
41	6	28	33.22	0.05	-32.99	-0.29	0.234	0.7
Sum							22.527	103.63

با استفاده از نتایج پخش بار و با استفاده از مقادیر پارامترهای قابلیت اطمینان در جداول ۴-۱ و

۴-۲، شاخص های قابلیت اطمینان را محاسبه می کنیم که این شاخص ها در جدول ۵-۳ آمده است.

جدول ۵-۳: نتایج مربوط به شاخص های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۱

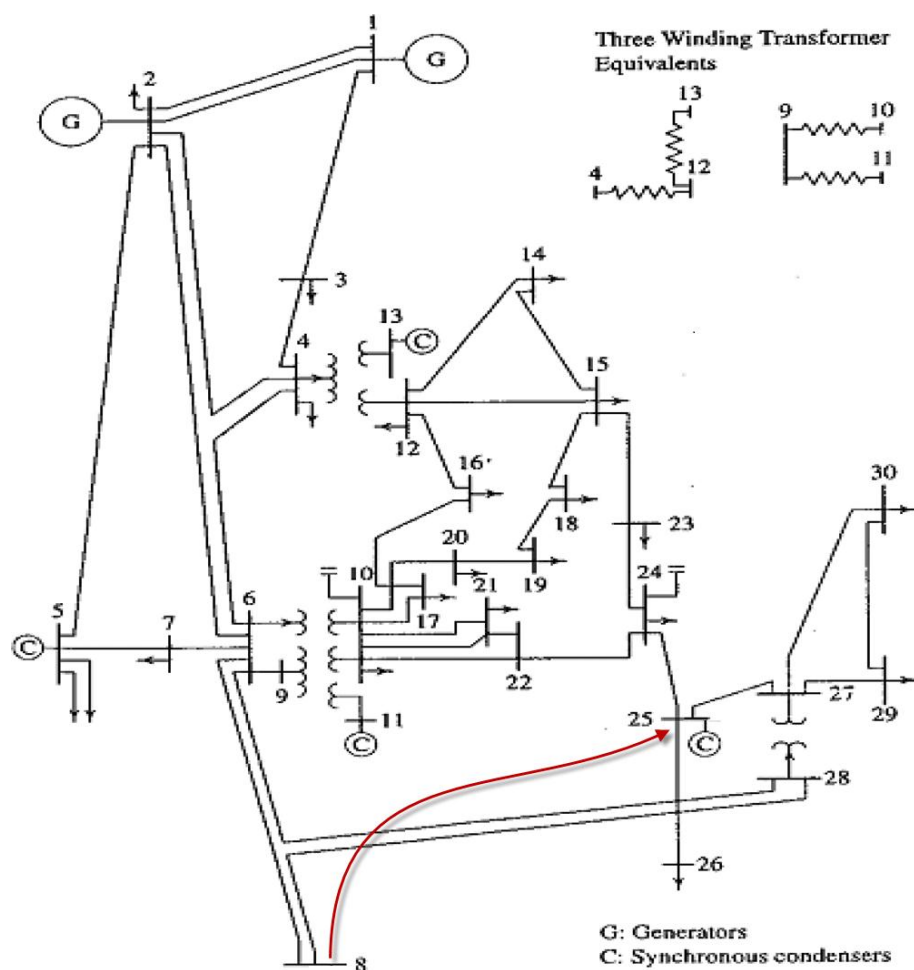
EQCQ	EQCP	EVNSQ	EVNSP	ELCQ	ELCP	EENSQ	EENSP	
(MVar/yr)	(MVar/yr)	(MVarh/yr)	(MVarh/yr)	(MW/yr)	(MW/yr)	(MWh/yr)	(MWh/yr)	
9.453	118.2361	28.7572	1712.80	14.6764	247.742	72.5519	3772.40	System

جهت تحلیل نتایج و تعیین میزان اثر گذاری تزریق توان راکتیو بر روی سیستم مورد مطالعه نیاز است تغییراتی بر روی مکان جبران سازها در سیستم انجام شود که این وضعیت در سناریوهای شماره ۲ و ۳ مورد بررسی قرار می گیرد.

۵-۲-۲- سناریوی شماره ۲:

در این سناریو، جهت تعیین میزان اثر گذاری تزریق توان راکتیو بر روی سیستم مورد مطالعه جبران ساز باس شماره ۸ را به باس شماره ۲۵ انتقال داده و برنامه را دوباره اجرا می نمایم. شکل ۵-۱ شمای کلی این سیستم تغییر یافته را نشان می دهد.

لازم به ذکر است باس شماره ۸ بیشترین میزان مصرف توان راکتیو و باس شماره ۲۵ کمترین میزان مصرف توان راکتیو را در مقایسه با دیگر باس ها دارد. همچنین با تغییر مکان جبران ساز، نوع باس ۸ از PV به PQ و باس ۲۵ از PQ به PV تبدیل می شود. نتایج حاصل از شبیه سازی و تغییرات ایجاد شده در جداول ۵-۴ الی ۵-۶ نمایش داده شده است.



شکل ۵-۱: سیستم ۳۰ باسه IEEE تغییر یافته سناریوی شماره ۲

جدول ۵-۴: نتایج پخش بار مربوط به باس های سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۲

Bus Data						
Bus	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	0	246.63	-30.89	3.14	0.63
2	1	-5.825	60.97	95	24.84	13.33
3	0.943	-9.859	-	-	5.54	1.83
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
8	0.914	-14.468	-	-	33.14	30.63
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
28	0.923	-15.168	-	-	3.14	0.63
29	0.937	-27.024	-	-	5.54	1.53
30	0.923	-28.128	-	-	13.74	2.53
Sum			307.6	218.37	283.37	126.19

جدول ۵-۵: نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۲

Branch Data								
Brnch	From	To	From Bus Injection		From Bus Injection		Loss	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	154.83	-44.5	-149.66	57	5.164	15.49
2	1	3	88.66	12.98	-84.63	0.44	4.028	15.31
3	2	4	64.81	16.77	-62.1	-10.97	2.709	7.68
4	3	4	79.09	-2.27	-78.39	5.09	0.704	2.82
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
39	29	30	4.09	0.74	-4.05	-0.66	0.047	0.09
40	8	28	3.63	-5.9	-3.6	4.3	0.028	0.09
41	6	28	37.25	-2.76	-36.93	2.88	0.323	0.97
Sum							24.224	107.4

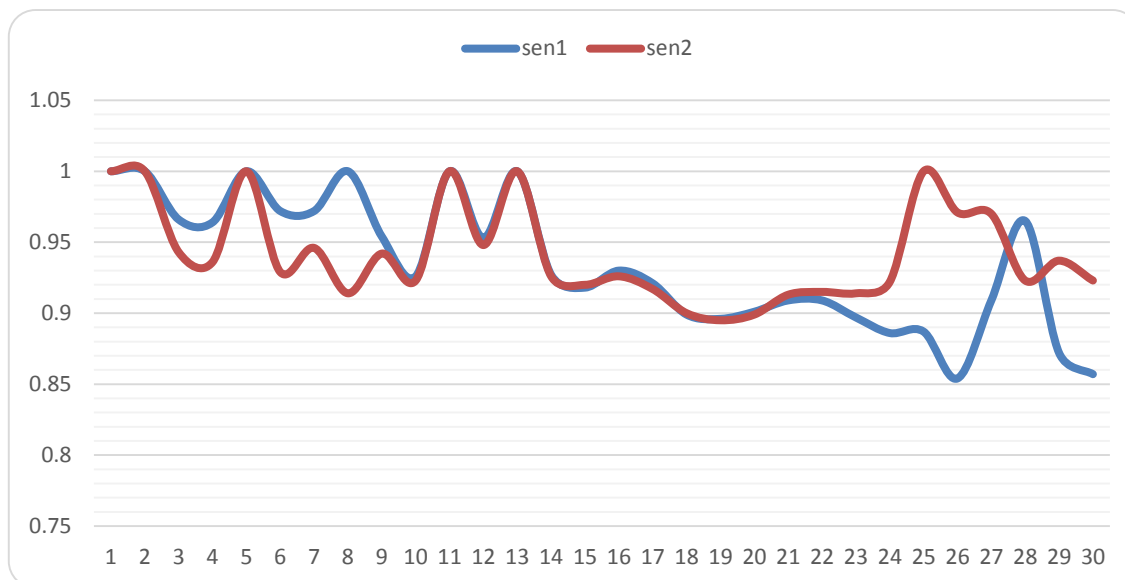
جدول ۵-۶: نتایج مربوط به شاخص های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۲

EQCQ	EQCP	EVNSQ	EVNSP	ELCQ	ELCP	EENSQ	EENSP	
(MVar/yr)	(MVar/yr)	(MVarh/yr)	(MVarh/yr)	(MW/yr)	(MW/yr)	(MWh/yr)	(MWh/yr)	
11.30	127.57	33.35	1719.00	11.84	245.50	79.63	3785.10	System

با توجه به نتایج جداول بالا مشاهده می گردد که همانطور که انتظار می رفت ولتاژ در باس شماره ۸ نسبت به حالت اول کاهش پیدا کرده (از ۱ به ۰/۹۱۴) و در باس شماره ۲۵ نسبت به حالت اول افزایش پیدا کرده است (از ۰/۸۸۶ به ۰/۹۲۳). همچنین تلفات توان راکتیو کل سیستم نیز نسبت به حالت قبل افزایش پیدا کرده است. دلیل این امر این است که با انتقال جبران ساز از باس شماره ۸ (بیشترین مصرف کننده توان راکتیو) به باس شماره ۲۵، میزان توان راکتیو انتقالی به این باس افزایش پیدا کرده و به تبع آن جریان خطوط و میزان تلفات افزایش پیدا کرده است.

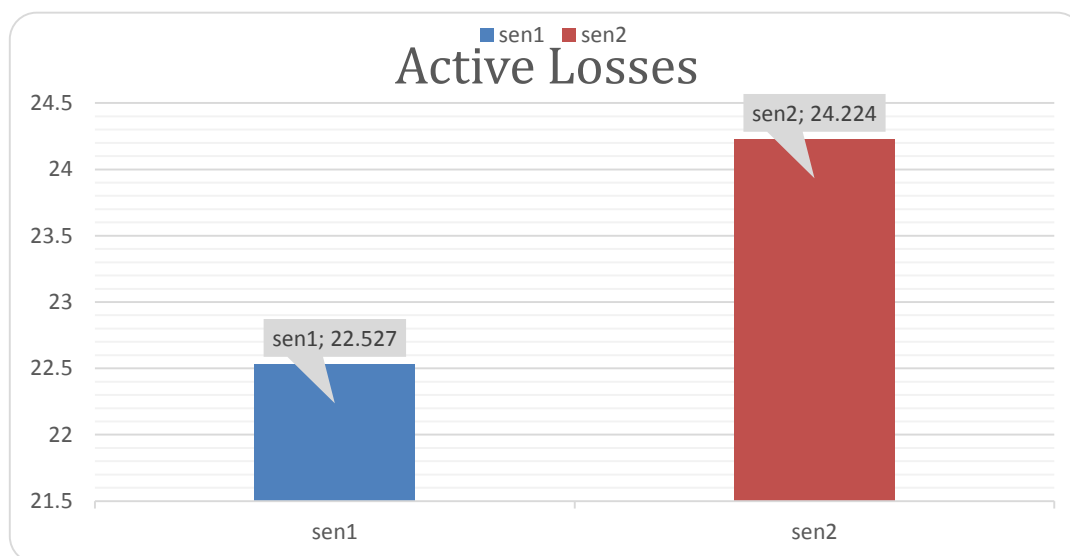
در مورد شاخص های قابلیت اطمینان این موضوع واضح است که، شاخص های مرتبط با توان راکتیو در باس شماره ۸ به شدت افزایش و در باس شماره ۲۵ کاهش یافته است. اما در مجموع میزان این شاخص ها برای کل سیستم افزایش پیدا کرده است. دلیل این امر تقاضای بیشتر توان راکتیو در باس شماره ۸ نسبت به باس شماره ۲۵ می باشد.

شکل شماره ۵-۲، نمودار پروفایل ولتاژ در باس های سیستم نمونه را طی دو سناریوی شماره ۱ و ۲ نشان می دهد. همانطوری که در شکل مشاهده می شود با تغییر جبران ساز از باس شماره ۸ به باس شماره ۲۵ بیشترین تغییرات ولتاژ در محدوده باس شماره ۸ و ۲۵ اتفاق می افتد.

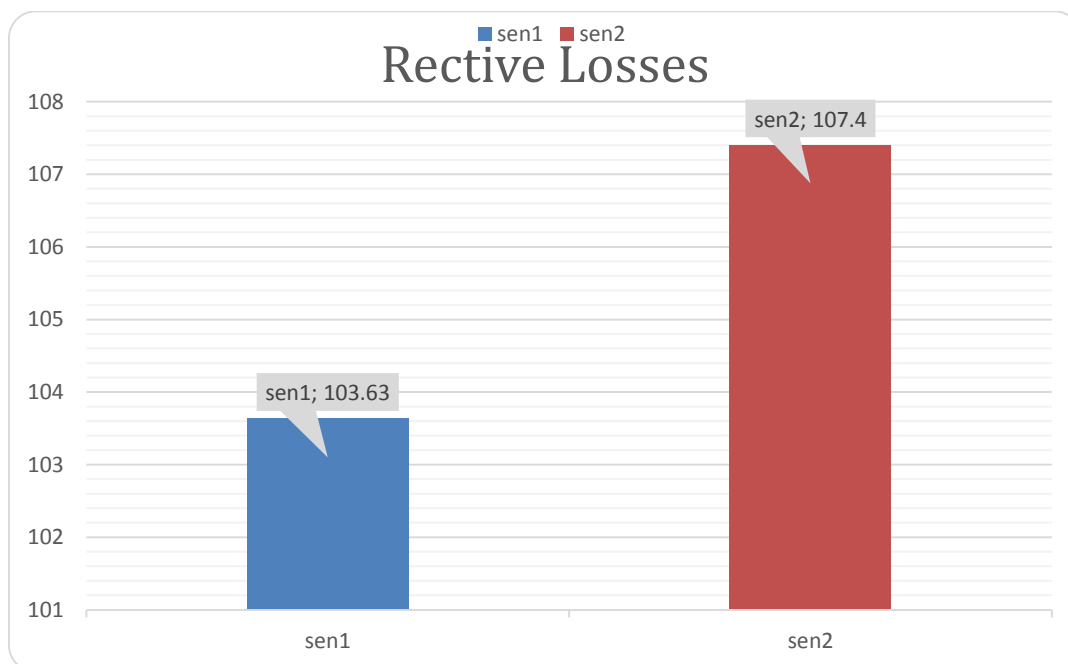


شکل ۵-۲: مقایسه پروفایل ولتاژ در سناریوی شماره ۱ و ۲

شکل های شماره ۵-۳ و ۵-۴ به ترتیب نمودار میله ای میزان تلفات توان اکتیو و راکتیو سیستم نمونه را طی دو سناریوی شماره ۱ و ۲ نشان می دهد.



شکل ۵-۳: مقایسه میزان تلفات توان اکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ و ۲

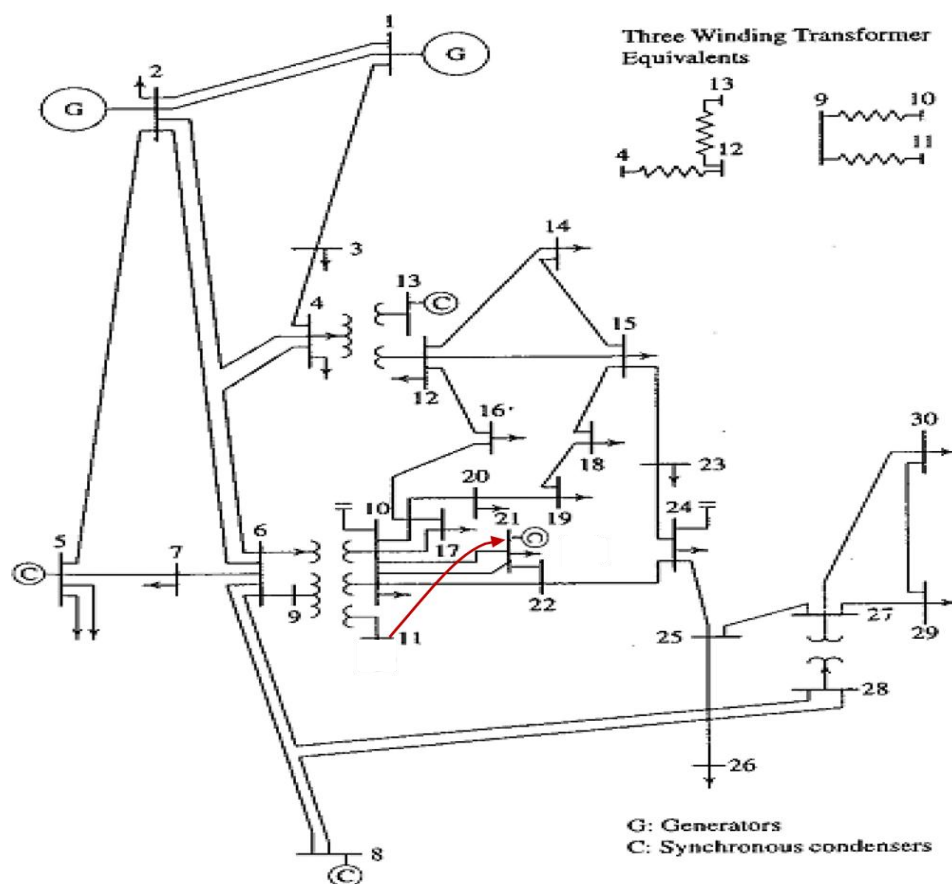


شکل ۵-۴: مقایسه میزان تلفات توان راکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ و ۲

۵-۳-۲- سناریوی شماره ۳:

همانطوری که ملاحظه شد در سناریوی ۲ انتقال جبران ساز توان راکتیو از باس با تقاضای توان راکتیو بالا به باس با تقاضای توان راکتیو پایین باعث افزایش تلفات و شاخص های قابلیت اطمینان شد. اکنون در این سناریو بر خلاف سناریوی قبلی، جهت تعیین میزان اثر گذاری تزریق توان راکتیو بر روی سیستم مورد مطالعه جبران ساز باس شماره ۱۱ را به باس شماره ۲۱ انتقال داده و برنامه را دوباره اجرا می نماییم. شکل ۵-۵ شمای کلی این سیستم تغییر یافته را نشان می دهد.

لازم به ذکر است باس شماره ۱۱ کمترین میزان مصرف توان راکتیو و باس شماره ۲۱ به نسبت مصرف توان راکتیو بالاتری را در مقایسه با دیگر باس ها به جز باس ۲ و ۸ دارد. همچنین با تغییر مکان جبران ساز، نوع باس ۱۱ از PV به PQ و باس ۲۱ از PQ به PV تبدیل می شود. نتایج حاصل از شبیه سازی و تغییرات ایجاد شده در جداول ۵-۶ الی ۵-۹ نمایش داده شده است.



شکل ۵-۸: سیستم ۳۰ باسه IEEE تغییر یافته سناریوی شماره ۳

جدول ۵-۷: نتایج پخش بار مربوط به باس های سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۳

Bus Data						
Bus	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	0	244.82	-44.86	3.14	0.63
2	1	-5.709	60.97	47.84	24.84	13.33
3	0.972	-10.157	-	-	5.54	1.83
.	.	.	.	.	.	.
11	0.98	-20.893	-	-	3.14	0.63
.	.	.	.	.	.	.
21	1	-24.906	0	64	20.64	11.83
.	.	.	.	.	.	.
28	0.973	-15.258	-	-	3.14	0.63
29	0.906	-25.751	-	-	5.54	1.53
30	0.892	-26.93	-	-	13.74	2.53
Sum			305.79	208.04	283.37	126.19

جدول ۵-۸: نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۳

Branch Data								
Brnch	From	To	From Bus Injection		From Bus Injection		Loss	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	151.69	-43.8	-146.73	55.68	4.96	14.88
2	1	3	89.99	-1.69	-85.94	15.14	4.049	15.39
3	2	4	64.07	-2.81	-61.6	7.85	2.465	6.98
4	3	4	80.4	-16.97	-79.69	19.83	0.715	2.86
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
39	29	30	4.1	0.75	-4.05	-0.66	0.051	0.1
40	8	28	3.4	11.31	-3.3	-12.93	0.098	0.33
41	6	28	32.37	-2.51	-32.15	2.21	0.22	0.66
Sum							22.416	97.76

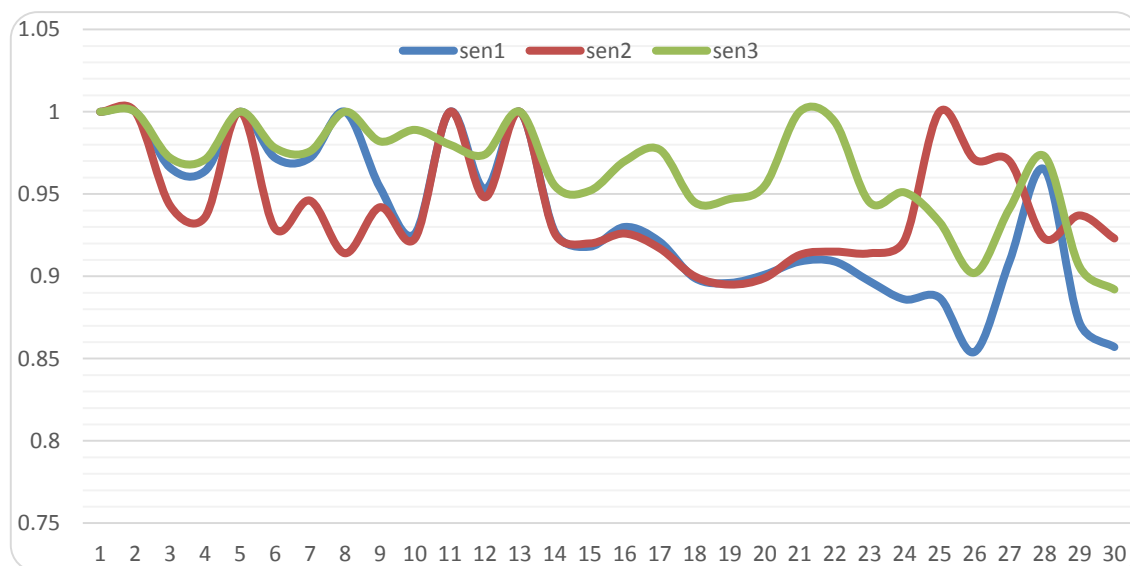
جدول ۵-۹: نتایج مربوط به شاخص های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۳

EQCQ	EQCP	EVNSQ	EVNSP	ELCQ	ELCP	EENSQ	EENSP	
(MVar/yr)	(MVar/yr)	(MVarh/yr)	(MVarh/yr)	(MW/yr)	(MW/yr)	(MWh/yr)	(MWh/yr)	
10.88	123.33	21.36	1765.70	9.38	254.12	69.87	3761.5	System

با توجه به نتایج جداول بالا مشاهده می گردد که همانطور که انتظار می رفت ولتاژ در باس شماره ۱۱ نسبت به حالت اول کاهش پیدا کرده (از ۱ به ۰/۹۸) و در باس شماره ۲۱ نسبت به حالت اول افزایش پیدا کرده است (از ۰/۹۰۹ به ۱). همچنین تلفات توان راکتیو کل سیستم نیز نسبت به حالت قبل کاهش پیدا کرده است (از ۱۰۶/۳ MW به ۹۷/۷۶ MW). دلیل این امر این است که با انتقال جبران ساز از باس شماره ۱۱ (کمترین مصرف کننده توان راکتیو) به باس شماره ۲۱ (تقاضای بالای توان راکتیو)، میزان توان راکتیو انتقالی به این باس کاهش پیدا کرده و به تبع آن جریان خطوط و میزان تلفات کاهش می یابد.

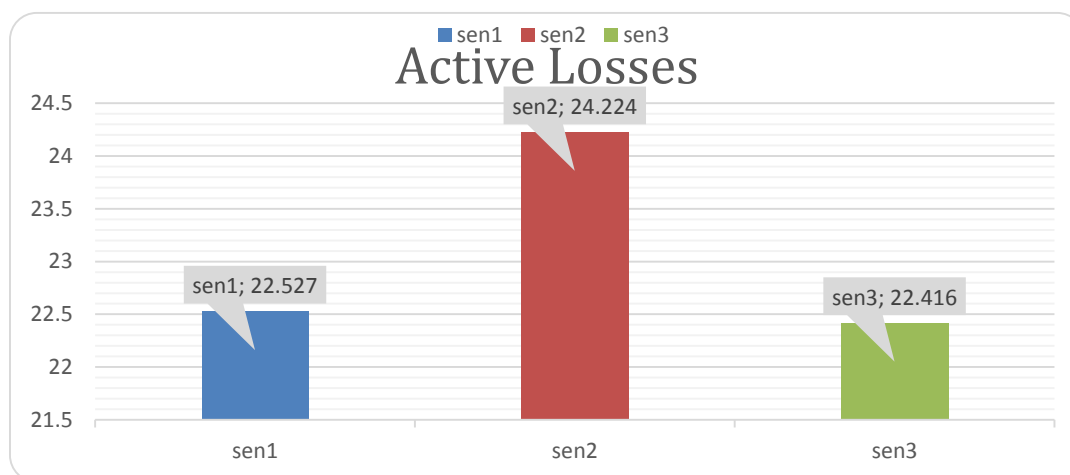
در مورد شاخص های قابلیت اطمینان این موضوع واضح است که، شاخص های مرتبط با توان راکتیو در باس شماره ۱۱ کمی افزایش و در باس شماره ۲۱ به شدت کاهش یافته است. اما در مجموع میزان این شاخص ها برای کل سیستم کاهش پیدا کرده است. دلیل این امر تقاضای کمتر توان

راکتیو در باس شماره ۱۱ نسبت به باس شماره ۲۱ می باشد. نتیجه کلی که از مقایسه نتایج سناریوهای بالا می توان گرفت این است که در جبران سازی توان راکتیو به صورت محلی باید سعی شود که منابع جبران سازی را در باسی از شبکه قرار داد که بارهای آن بیشترین مصرف توان راکتیو را دارند و شاخص های قابلیت اطمینان آن بالا باشد تا بتوان با تزریق توان راکتیو این شاخص ها را در حد قابل قبولی کاهش داده و در نتیجه آن قابلیت اطمینان بارهای آن باس افزایش یابد که این امر به خودی خود قابلیت اطمینان کل سیستم را نیز بهبود می بخشد. شکل شماره ۵-۶، نمودار پروفایل ولتاژ در باس های سیستم نمونه را طی سناریوی شماره ۱ الی ۳ نشان می دهد. همانطوری که از شکل پیداست در باس شماره ۸ و ۱۱ با حذف جبران ساز، ولتاژ باس آنها و باس های مجاورشان کاهش محسوسی پیدا کرده است، البته میزان کاهش دامنه ولتاژ در باس شماره ۸ به دلیل میزان بار بالای آن بیشتر می باشد که دلیل این امر را می توان حذف تزریق توان راکتیو به صورت محلی بر روی آن باس های مذکور دانست. همینطور در باس های شماره ۲۵ و ۲۱ که با قرار دادن جبران ساز روی آن و تزریق توان راکتیو باعث افزایش دامنه ولتاژ در این باس می شود که به خوبی در شکل دیده می شود.

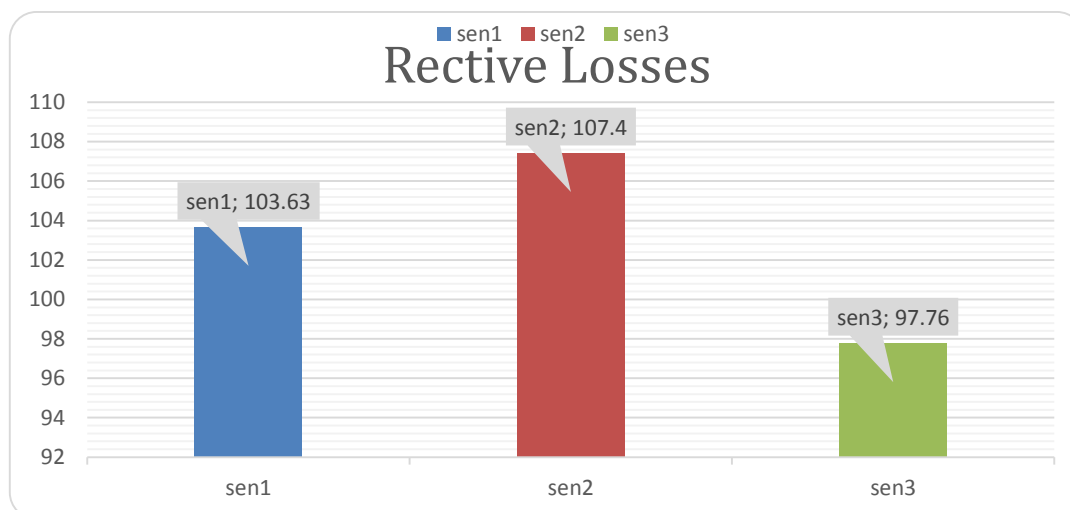


شکل ۵-۶: مقایسه پروفایل ولتاژ در سناریوی شماره ۱ تا ۳

شکل های شماره ۷-۵ و ۸-۵ به ترتیب نمودار میله ای میزان تلفات توان اکتیو و راکتیو سیستم نمونه را طی سه سناریوی شماره ۱ الی ۳ نشان می دهد. همانطوری که می دانیم با قرار دادن جبران ساز در باس پربار و تامین نیازهای توان راکتیو آن به صورت محلی، درحقیقت باعث خواهد شد که توان راکتیو کمتری از سمت ژنراتورهای تولید و جبران ساز های دیگر به سمت باس مورد نظر توسط خطوط انتقال کشیده شود و تلفات توان راکتیو کاهش پیدا می کند. در نتیجه در انتخاب محل جبران ساز باید دقت زیاد شود و باسی از شبکه انتخاب شود که بیشترین تاثیر را در کاهش تلفات خطوط انتقال داشته باشد که این باس در واقع باسی خواهد بود که دارای بیشترین بار باشد و یا بیشترین باس های پربار در مجاور آن قرار داشته باشد.



شکل ۷-۵: مقایسه میزان تلفات توان اکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۳



شکل ۵-۸: مقایسه میزان تلفات توان راکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۳

۵-۲-۴- سناریوی شماره ۴:

در این حالت به بررسی یکی از عوامل موثر بر شاخص های قابلیت اطمینان یعنی تغییر در نقطه تنظیم ولتاژ سیستم که می تواند تاثیر زیادی داشته باشد می پردازیم. نقطه تنظیم ولتاژ پیش فرض در این سیستم مقدار $P.U. 1/0.5$ می باشد که ما آن را به مقدار $P.U. 1$ کاهش داده و برنامه را مجددا اجرا می کنیم. با اجرای برنامه، نتایج به شرح جدول ۵-۱۰ الی ۵-۱۲ حاصل می شود.

جدول ۵-۱۰: نتایج پخش بار مربوط به باس های سیستم ۳۰ باس IEEE در سناریوی شماره ۴

Bus Data						
Bus	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	0	244.93	-42.19	3.14	0.63
2	1	-5.719	60.97	54.92	24.84	13.33
3	0.966	-10.113	-	-	5.54	1.83
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
28	0.965	-15.193	-	-	3.14	0.63
29	0.872	-26.537	-	-	5.54	1.53
30	0.857	-27.812	-	-	13.74	2.53
Sum			305.9	213.99	283.37	126.19

جدول ۵-۱۱: نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۴

Branch Data								
Brnch	From	To	From Bus Injection		From Bus Injection		Loss	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	151.96	-43.86	-146.98	55.79	4.977	14.93
2	1	3	89.83	1.04	-85.79	12.37	4.037	15.34
3	2	4	64.41	0.79	-61.92	4.34	2.491	7.06
4	3	4	80.25	-14.2	-79.54	17.05	0.711	2.85
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
39	29	30	4.1	0.76	-4.05	-0.66	0.055	0.1
40	8	28	3.79	15.22	-3.62	-16.59	0.166	0.55
41	6	28	33.22	0.05	-32.99	-0.29	0.234	0.7
Sum							22.527	103.63

جدول ۵-۱۲: نتایج مربوط به شاخص های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۴

EQCQ	EQCP	EVNSQ	EVNSP	ELCQ	ELCP	EENSQ	EENSP	
(MVar/yr)	(MVar/yr)	(MVarh/yr)	(MVarh/yr)	(MW/yr)	(MW/yr)	(MWh/yr)	(MWh/yr)	
6.51	116.46	28.49	1779.50	14.15	252.60	67.89	3799.60	System

با توجه به نتایج جداول بالا مشاهده می گردد شاخص EENSQ سیستم برای نقطه تنظیم ولتاژ مبنا $P.U$ ۱,۰۵ برابر با $۷۲/۵۵۱۹ Mvarh/yr$ می باشد و برای نقطه تنظیم ولتاژ مبنا $P.U$ ۱ برابر با $۶۷/۸۹ Mvarh/yr$ می باشد. همانطور که ملاحظه می کنید شاخص EENSQ با تغییر در نقطه تنظیم ولتاژ، کاهش محسوسی پیدا کرده است و همچنین شاخص ELCQ سیستم برای نقطه تنظیم ولتاژ مبنا $P.U$ ۱,۰۵ برابر با $۱۴/۶۷۶۴ MW/yr$ می باشد و برای نقطه تنظیم ولتاژ مبنا $P.U$ ۱ برابر با $۱۴/۱۵ MW/yr$ می باشد. همانطور که ملاحظه می کنید شاخص ELCQ نیز با تغییر در نقطه تنظیم ولتاژ، کاهش پیدا کرده است.

۵-۲-۵- سناریوی شماره ۵:

با توجه به کاهش ولتاژ تنظیم شده مبنا در سناریوی ۴ و مشاهده نتایج آن که منجر به کاهش شاخص های قابلیت اطمینان بود، در این سناریو کاهش بیشتری در نقطه تنظیم ولتاژ مبنا داده بطوریکه نقطه تنظیم ولتاژ پیش فرض در این سیستم یعنی $1.05 P.U$ را به مقدار $0.95 P.U$ کاهش داده و برنامه را مجددا اجرا می کنیم. با اجرای برنامه، نتایج به شرح جدول ۵-۱۳ الی ۵-۱۵ حاصل می شود.

جدول ۵-۱۳: نتایج پخش بار مربوط به باس های سیستم ۳۰ باس IEEE در سناریوی شماره ۵

Bus Data						
Bus	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	0	244.93	-42.19	3.14	0.63
2	1	-5.719	60.97	54.92	24.84	13.33
3	0.966	-10.113	-	-	5.54	1.83
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
28	0.965	-15.193	-	-	3.14	0.63
29	0.872	-26.537	-	-	5.54	1.53
30	0.857	-27.812	-	-	13.74	2.53
Sum			305.9	213.99	283.37	126.19

جدول ۵-۱۴: نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باس IEEE در سناریوی شماره ۵

Branch Data								
Brnch	From	To	From Bus Injection		From Bus Injection		Loss	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	151.96	-43.86	-146.98	55.79	4.977	14.93
2	1	3	89.83	1.04	-85.79	12.37	4.037	15.34
3	2	4	64.41	0.79	-61.92	4.34	2.491	7.06
4	3	4	80.25	-14.2	-79.54	17.05	0.711	2.85
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
39	29	30	4.1	0.76	-4.05	-0.66	0.055	0.1
40	8	28	3.79	15.22	-3.62	-16.59	0.166	0.55
41	6	28	33.22	0.05	-32.99	-0.29	0.234	0.7
Sum							22.527	103.63

جدول ۵-۱۵: نتایج مربوط به شاخص های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۵

EQCQ	EQCP	EVNSQ	EVNSP	ELCQ	ELCP	EENSQ	EENSP	
(MVar/yr)	(MVar/yr)	(MVarh/yr)	(MVarh/yr)	(MW/yr)	(MW/yr)	(MWh/yr)	(MWh/yr)	
4.28	120.14	27.58	1767.40	11.01	251.54	54.36	3775.90	System

با توجه به نتایج جداول بالا مشاهده می گردد شاخص EENSQ سیستم برای نقطه تنظیم ولتاژ مبنا $1/0.5$ P.U برابر با $72/5519$ Mvarh/yr می باشد و برای نقطه تنظیم ولتاژ مبنا $0/95$ P.U برابر با $54/26$ Mvarh/yr می باشد. همانطور که ملاحظه می کنید شاخص EENSQ با تغییر در نقطه تنظیم ولتاژ، کاهش بیشتری پیدا کرده است و همچنین شاخص ELCQ سیستم برای نقطه تنظیم ولتاژ مبنا $1/0.5$ P.U برابر با $14/6764$ MW/yr می باشد و برای نقطه تنظیم ولتاژ مبنا $0/95$ P.U برابر با $11/01$ MW/yr می باشد. همانطور که ملاحظه می کنید شاخص ELCQ نیز با تغییر در نقطه تنظیم ولتاژ، کاهش بیشتری پیدا کرده است.

با توجه به مقایسه نتایج حاصل از سناریوی ۴ و ۵ مشاهده می گردد که کاهش شاخص های مذکور با کاهش مجدد ولتاژ تنظیم مبنا با شیب بیشتری کاهش می یابد. به عبارت دیگر با کاهش کمی در ولتاژ تنظیم شده شاخص های قابلیت اطمینان کاهش محسوس تری پیدا می کنند. البته نباید از این نکته غافل شد که ما در کاهش ولتاژ تنظیم شده مبنا دارای محدودیت می باشیم.

این نتایج نشان می دهند هنگامی که بار سیستم کم می باشد، اگر بتواند نقطه تنظیم ولتاژ با حفظ محدودیت در مقدار کمتری تنظیم کرد، شاخص های قابلیت اطمینان بهبود پیدا می کنند و فقط به مقدار تزریق کم Var برای سیستم احتیاج می باشد. در واقع می توان این نکته را بیان کرد که در باس هایی که دارای بار زیادی هستند حفظ ولتاژ در مقدار تنظیم شده بالاتر نیاز به تزریق توان راکتیو بیشتری می باشد که در صورت عدم تامین آن شاخص های قابلیت اطمینان افزایش و در نتیجه قابلیت اطمینان سیستم کاهش پیدا می کند و در باس های دارای بار کمتر برای تنظیم ولتاژ

در مقدار کمتر می توان با تزریق کمتر توان راکتیو به اهداف مورد نظر در بحث قابلیت اطمینان دست پیدا کرد و در صورت عدم تامین توان راکتیو در اینچنین باس هایی، افزایش محسوسی را در شاخص های قابلیت اطمینان شاهد نخواهیم بود و قابلیت اطمینان سیستم در حد قابل قبولی خواهد بود. از مطالب گفته شده می توان به این نتیجه مهم دست یافت که حاشیه امنیت سیستم (حاشیه قابلیت اطمینان سیستم) برای یک پیشامد، با کاهش نقطه تنظیم ولتاژ، کاهش خواهد یافت.

۵-۲-۶- سناریوی شماره ۶:

در این سناریو ما به بررسی محدوده عملکرد توان راکتیو تولیدی ژنراتور، یکی دیگر از عوامل تاثیر گذار بر روی شاخص های قابلیت اطمینان سیستم را می پردازیم. همانطوری که می دانیم در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت، فرض می کنیم حداکثر توان راکتیو تولیدی بدست آمده توسط یک ژنراتور ثابت باشد. با توجه به اینکه حداکثر توان راکتیو تولیدی بدست آمده توسط یک ژنراتور با استفاده از منحنی $P-Q$ تقریباً به وسیله توان اکتیو تولیدی خروجی آن محدود می شود، حال شروع به بررسی عملکرد آن می کنیم. ما در این سناریو محدوده عملکرد تولید توان راکتیو ژنراتور باس ۱ را از مقدار ماگزیمم 25 MW به 10 MW تغییر داده و برنامه را اجرا می کنیم. با اجرای برنامه، نتایج به شرح جداول ۵-۱۶ الی ۵-۱۸ قابل مشاهده خواهد بود.

جدول ۵-۱۶: نتایج پخش بار مربوط به باس های سیستم ۳۰ باس IEEE در سناریوی شماره ۶

Bus Data						
Bus	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	0.000	244.93	-42.19	3.14	0.63
2	1	-5.719	60.97	54.92	24.84	13.33
3	0.966	-10.113	-	-	5.54	1.83
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
28	0.965	-15.193	-	-	3.14	0.63
29	0.872	-26.537	-	-	5.54	1.53
30	0.857	-27.812	-	-	13.74	2.53
Sum			305.9	213.99	283.37	126.19

جدول ۵-۱۷: نتایج پخش بار مربوط به خطوط انتقال سیستم ۳۰ باس IEEE در سناریوی شماره ۶

Branch Data								
Brnch	From	To	From Bus Injection		From Bus Injection		Loss	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	151.96	-43.86	-146.98	55.79	4.977	14.93
2	1	3	89.83	1.04	-85.79	12.37	4.037	15.34
3	2	4	64.41	0.79	-61.92	4.34	2.491	7.06
4	3	4	80.25	-14.2	-79.54	17.05	0.711	2.85
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
39	29	30	4.1	0.76	-4.05	-0.66	0.055	0.1
40	8	28	3.79	15.22	-3.62	-16.59	0.166	0.55
41	6	28	33.22	0.05	-32.99	-0.29	0.234	0.7
Sum							22.527	103.63

جدول ۵-۱۸: نتایج مربوط به شاخص های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باس IEEE در سناریوی شماره ۶

EQCQ	EQCP	EVNSQ	EVNSP	ELCQ	ELCP	EENSQ	EENSP	
(MVar/yr)	(MVar/yr)	(MVarh/yr)	(MVarh/yr)	(MW/yr)	(MW/yr)	(MWh/yr)	(MWh/yr)	
10.10	114.98	26.63	1802.50	17.72	253.94	73.58	3814.10	System

با بررسی به عمل آمده از نتایج جداول بالا مشاهده می گردد با کاهش محدوده کاری توان راکتیو تولیدی ژنراتور، شاخص EENSQ از مقدار پیش فرض خود که $72/5519 \text{ Mvarh/yr}$ بود و در سناریوی ۱ محاسبه گردید به مقدار $73/58 \text{ Mvarh/yr}$ افزایش پیدا کرده است. و همچنین شاخص ELCQ از مقدار پیش فرض خود که $14/68 \text{ MW/yr}$ بود و در سناریوی ۱ بدست آمده بود به مقدار $17/72 \text{ MW/yr}$ افزایش پیدا کرده است.

۵-۲-۷- سناریوی شماره ۷:

همانطوری که ملاحظه شد در سناریوی قبلی با کاهش محدوده عملکرد توان راکتیو تولیدی ژنراتور، شاخص های قابلیت اطمینان مربوط به توان راکتیو، کاهش پیدا کردند. اکنون ما در این سناریو محدوده عملکرد توان راکتیو تولیدی ژنراتور باس ۱ را از مقدار مازیم 25 MW به 50 MW افزایش داده و برنامه را اجرا می کنیم. با اجرای برنامه، نتایج به شرح جداول ۵-۱۹ الی ۵-۲۱ قابل مشاهده خواهد بود.

جدول ۵-۱۹: نتایج پخش بار مربوط به باس های سیستم ۳۰ باس IEEE در سناریوی شماره ۷

Bus Data						
Bus	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	0	246.63	-30.89	3.14	0.63
2	1	-5.825	60.97	95	24.84	13.33
3	0.943	-9.859	-	-	5.54	1.83
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
28	0.923	-15.168	-	-	3.14	0.63
29	0.937	-27.024	-	-	5.54	1.53
30	0.923	-28.128	-	-	13.74	2.53
Sum			305.79	208.04	283.37	126.19

جدول ۵-۲۰: نتایج پخش بار مربوط به خطوط سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۷

Branch Data								
Brnch	From	To	From Bus Injection		From Bus Injection		Loss	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	151.69	-43.8	-146.73	55.68	4.96	14.88
2	1	3	89.99	-1.69	-85.94	15.14	4.049	15.39
3	2	4	64.07	-2.81	-61.6	7.85	2.465	6.98
4	3	4	80.4	-16.97	-79.69	19.83	0.715	2.86
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
39	29	30	4.1	0.75	-4.05	-0.66	0.051	0.1
40	8	28	3.4	11.31	-3.3	-12.93	0.098	0.33
41	6	28	32.37	-2.51	-32.15	2.21	0.22	0.66
Sum							22.416	97.76

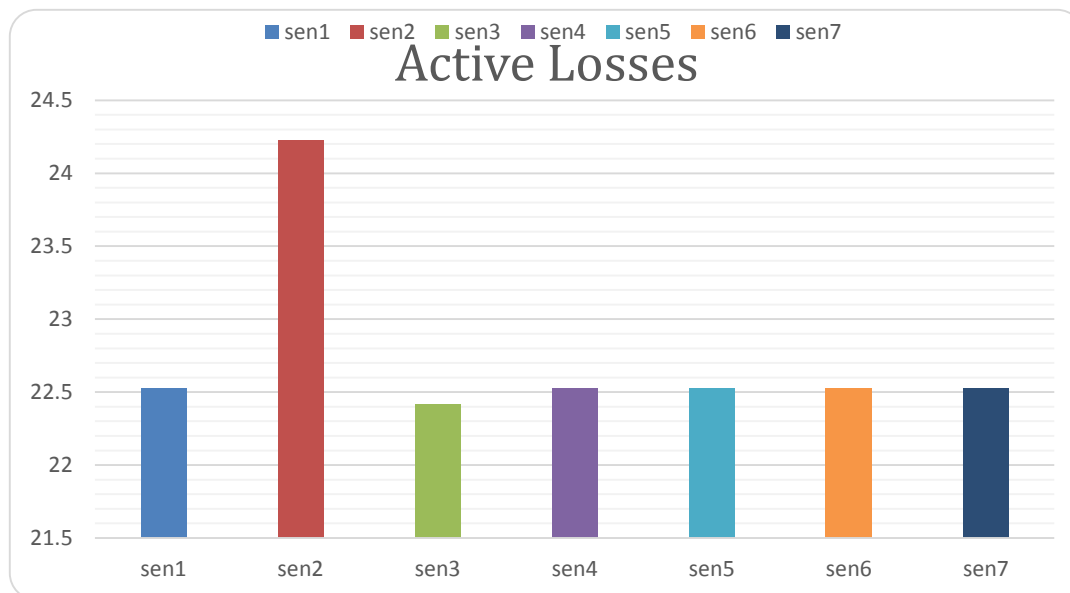
جدول ۵-۲۱: نتایج مربوط به شاخص های قابلیت اطمینان سیستم ۳۰ باسه IEEE در سناریوی شماره ۷

EQC _Q	EQC _P	EVNS _Q	EVNS _P	ELC _Q	ELC _P	EENS _Q	EENS _P	
(MVar/yr)	(MVar/yr)	(MVarh/yr)	(MVarh/yr)	(MW/yr)	(MW/yr)	(MWh/yr)	(MWh/yr)	
11.03	119.34	31.09	1748.20	10.51	245.10	71.15	3808.80	System

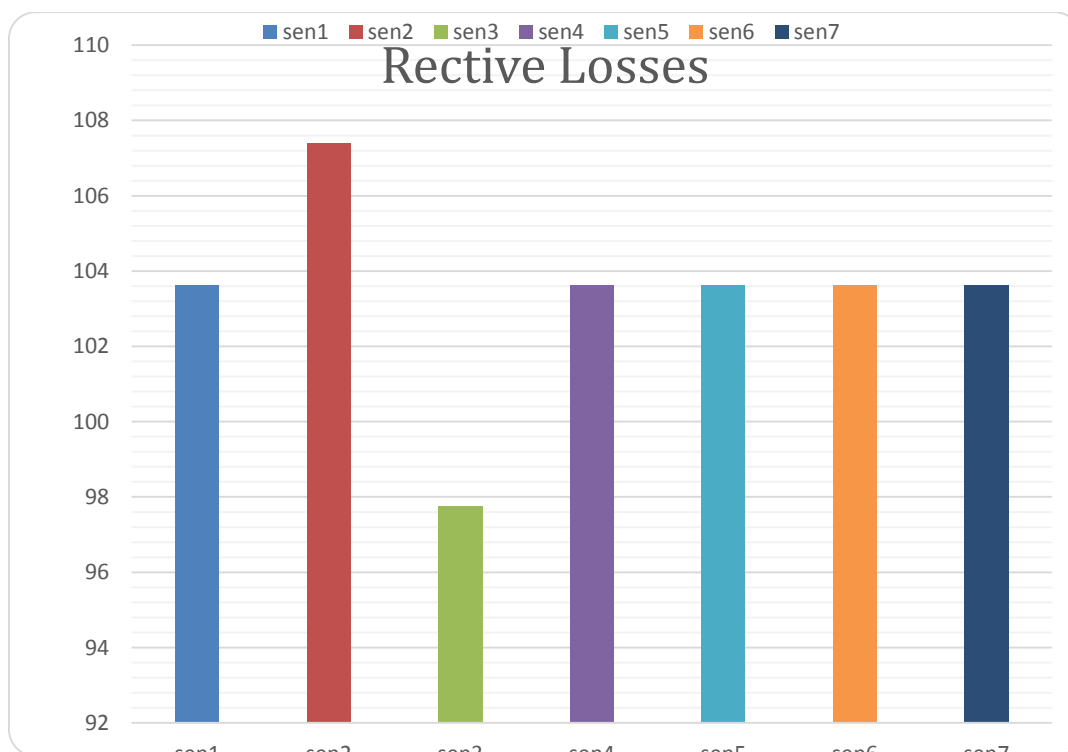
با توجه به نتایج جداول بالا مشاهده می گردد با افزایش محدوده کاری توان راکتیو تولیدی ژنراتور، شاخص EENSQ از مقدار پیش فرض خود که $72/5519 \text{ MWh/yr}$ بود و در سناریوی ۱ محاسبه گردید به مقدار $71/15 \text{ MWh/yr}$ کاهش پیدا کرده است. و همچنین شاخص ELCQ از مقدار پیش فرض خود که $14/68 \text{ MW/yr}$ بود و در سناریوی ۱ بدست آمده بود به مقدار $10/51 \text{ MW/yr}$ کاهش پیدا کرده است.

با بررسی به عمل آمده از نتایج سناریوی شماره ۷ یعنی افزایش محدوده توان راکتیو تولیدی ژنراتور و مقایسه آن با نتایج بدست آمده از سناریوی ۶ یعنی کاهش محدوده کاری توان راکتیو تولیدی ژنراتور ملاحظه می گردد که با افزایش این محدوده، شاخص های قابلیت اطمینان مربوط به توان راکتیو کاهش و با کاهش محدوده، این شاخص ها افزایش می یابد.

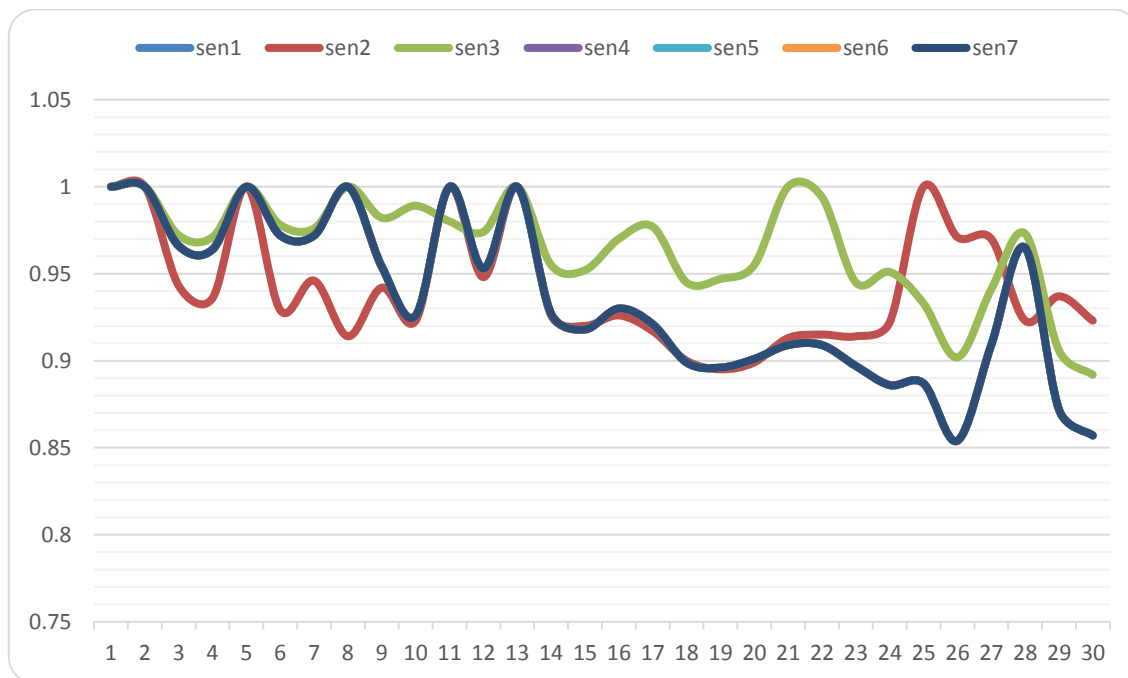
شکل نمودارهای شماره ۵-۹ الی ۵-۱۶ مقایسه ای بین میزان تلفات، پروفایل ولتاژ و تعدادی از شاخص های قابلیت اطمینان سیستم را در سناریوهای گفته شده نشان می دهد.



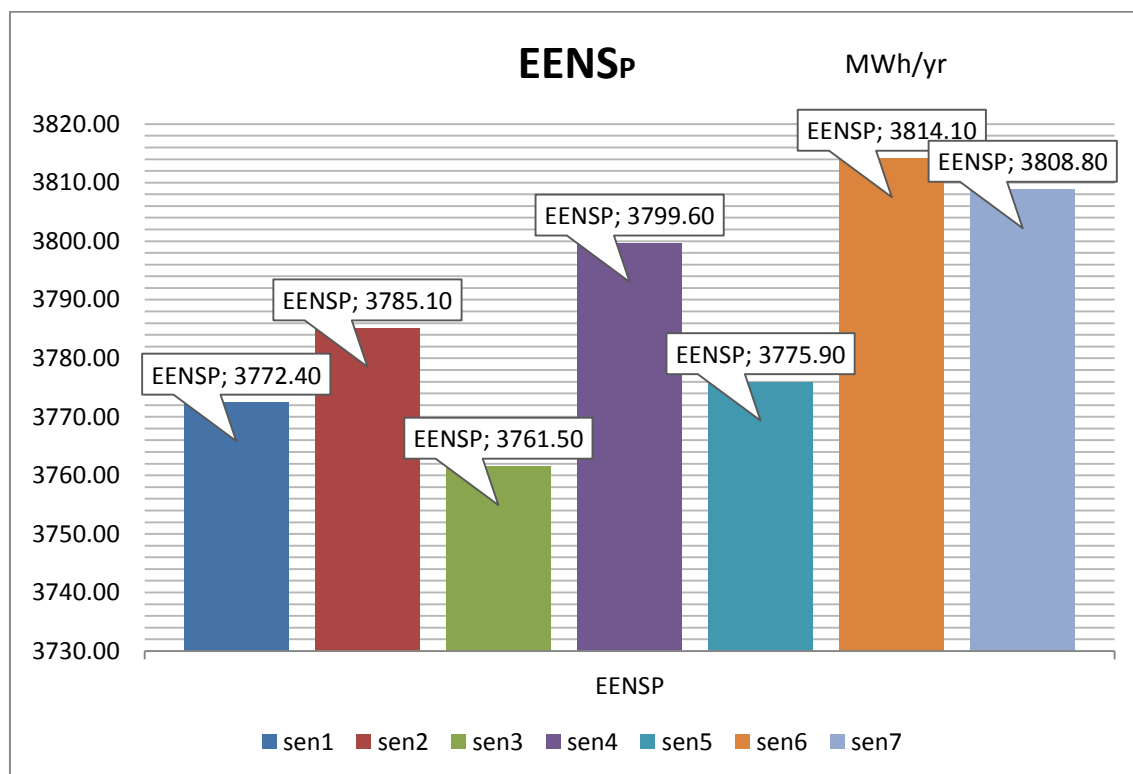
شکل ۵-۹: مقایسه میزان تلفات توان اکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷



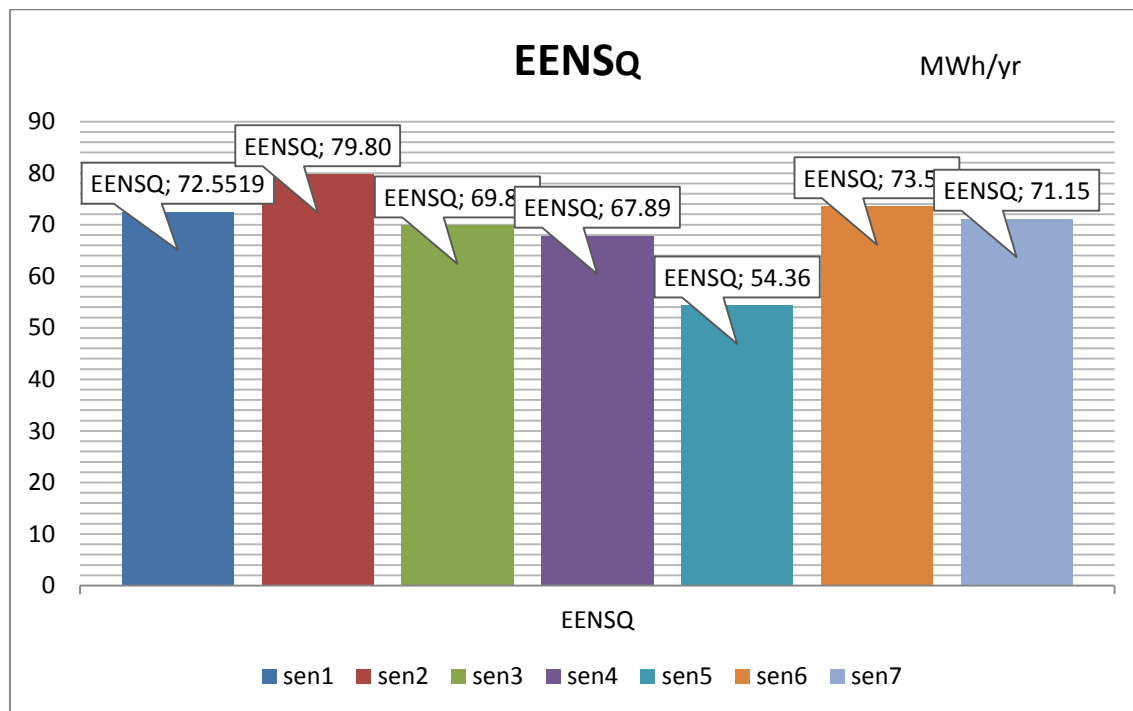
شکل ۵-۱۰: مقایسه میزان تلفات توان راکتیو سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷



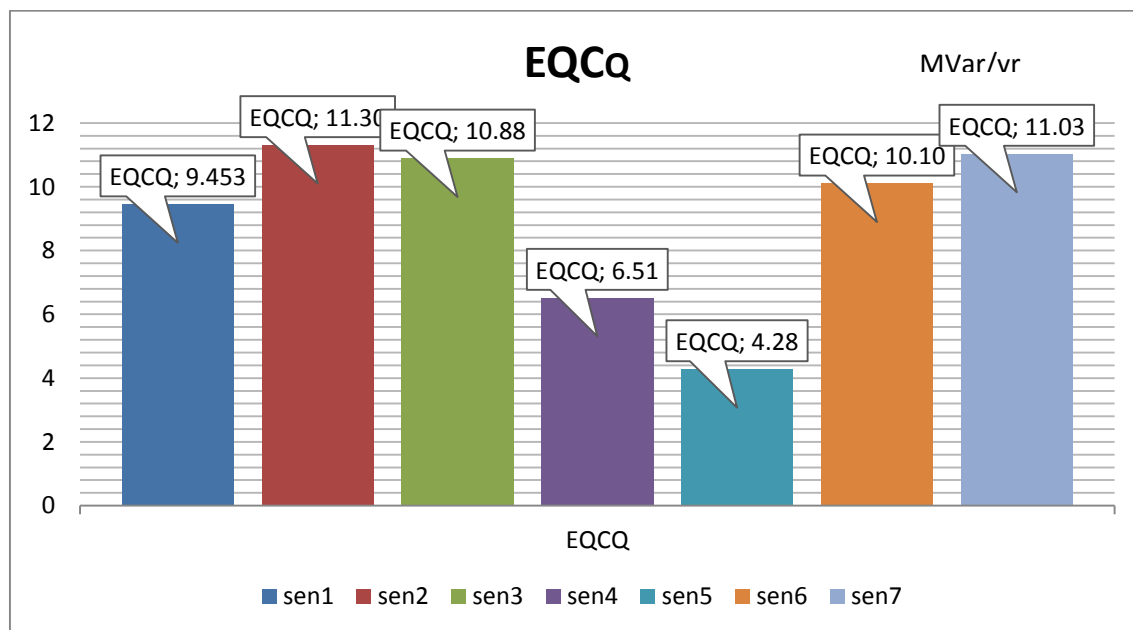
شکل ۵-۱۱: مقایسه پروفایل ولتاژ در سناریوی شماره ۱ تا ۷



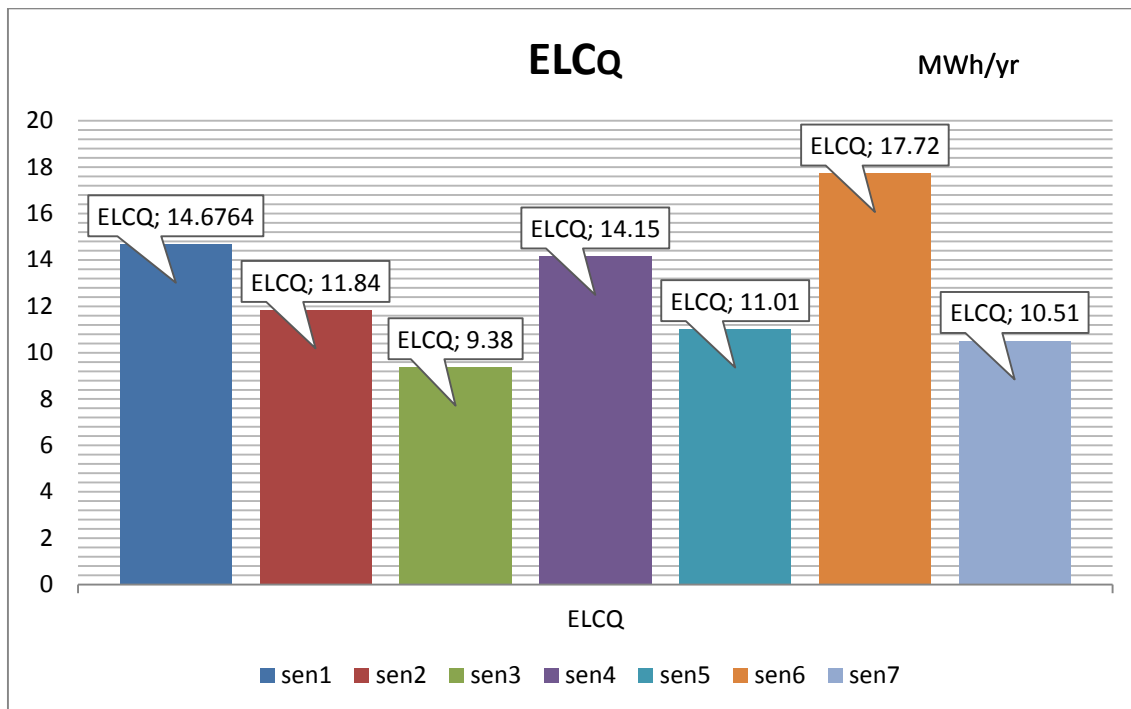
شکل ۵-۱۲: مقایسه شاخص های EENSP سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷



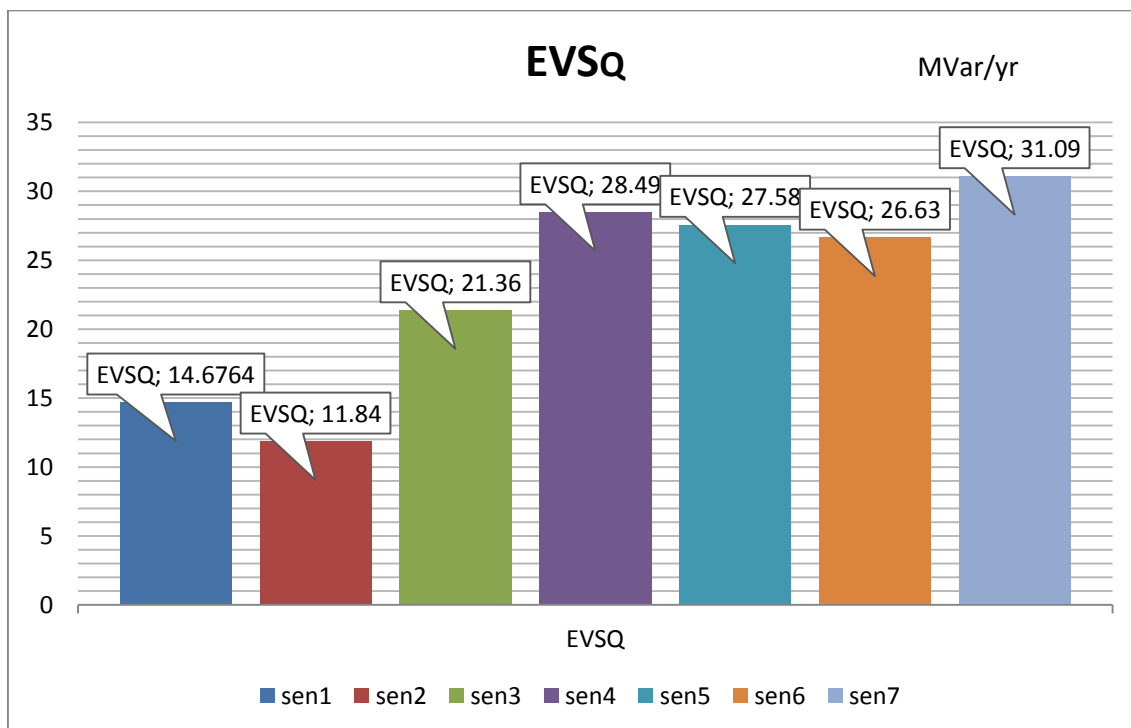
شکل ۵-۱۳: مقایسه شاخص های EENSQ سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷



شکل ۵-۱۴: مقایسه شاخص های EQCQ سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷



شکل ۵-۱۵: مقایسه شاخص های ELCQ سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷



شکل ۵-۱۶: مقایسه شاخص های EVNSQ سیستم نمونه در سناریوی شماره ۱ تا ۷

با مشاهده جداول بالا و مقایسه عملکرد هر شاخص می توان به طور خلاصه بیان کرد که با جابجایی جبران سازها از باسی به باس دیگر، باعث افت سطح ولتاژ باس مبدا و باس های مجاورش و افزایش سطح ولتاژ باس مقصد و باس های مجاور آن خواهد شد، که از این روش می توان برای تزریق توان راکتیو محلی برای افزایش سطح ولتاژ باس هایی که دارای ضعف ولتاژ می باشند استفاده کرد. و همچنین در این جابجایی، اگر باس مبدا دارای بار خیلی بیشتری نسبت به باس مقصد باشد، تلفات توان اکتیو و راکتیو و شاخص های قابلیت اطمینان مرتبط با توان راکتیو، افزایش می یابد. نتیجه دیگری که می توان بدست آورد این است که با تغییر در تنظیم ولتاژ مبنا و محدوده عملکرد توان راکتیو ژنراتور، تلفات توان اکتیو و راکتیو و همچنین ولتاژ باس ها تغییر چندانی نمی کند، ولی شاخص های قابلیت اطمینان با کم کردن تنظیم ولتاژ مبنا کاهش می یابد. به طور خلاصه با تحلیل نتایج فوق می توان بیان کرد که توان راکتیو نقش مهمی در قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت دارد.

۵-۲-۸- سناریوی شماره ۸:

پس از بررسی شاخص های کلی قابلیت اطمینان بر روی کل سیستم مورد نظر، در این سناریو، هدف بررسی شاخص های قابلیت اطمینان بر اثر خروج خط اتصال دهنده باس های ۸ و ۲۸ بر روی باس های مورد نظر می باشد. با توجه به روابط ۴-۳، ۴-۴ و ۴-۵ مقادیر P و λ و F به ترتیب برابر است با ۰/۰۰۱۳۰۶ و ۹۹۶ و ۱/۳۰۰۳۱۳ بدست می آید. با استفاده از نتایج پخش بار حاصل از شبیه سازی در نرم افزار DigSILENT مقادیر LCQ و LCP به ترتیب برابر با ۱۵/۲۲ و ۳/۷۹ می باشد. در نتیجه مقادیر EENS_{Sp} و EENS_Q با استفاده از روابط ۴-۱۱ و ۴-۱۲ به ترتیب برابر با ۴۳/۳۴۴۲۹ Mwh/yr و ۱۷۴/۰۶۳ Mvarh/yr حاصل خواهد شد.

۵-۲-۹- سناریوی شماره ۹:

در این سناریو، هدف بررسی شاخص های قابلیت اطمینان بر روی خروج جبران ساز باس شماره ۸ می باشد. با توجه به روابط ۳-۴ ، ۴-۴ و ۵-۴ مقادیر P و λ و F به ترتیب برابر است با ۰/۰۲۳۴۹۹ و ۳۱۰/۱۷ و ۲/۲۸۸۷۵۶ بدست می آید. با استفاده از نتایج پخش بار حاصل از شبیه سازی در نرم افزار DigSILENT مقادیر LCQ و LCP به ترتیب برابر با ۱۰ و ۰ می باشد. در نتیجه مقادیر EENSp و EENSQ با استفاده از روابط ۴-۱۱ و ۴-۱۲ به ترتیب برابر ۰ Mwh/yr و ۲۰۵۸/۵۳ Mvarh/yr خواهد شد.

۵-۲-۱۰- سناریوی شماره ۱۰:

در این سناریو، هدف بررسی شاخص های قابلیت اطمینان بر روی خروج خط اتصال دهنده باس های ۱۸ و ۱۹ می باشد. با توجه به روابط ۳-۴ ، ۴-۴ و ۵-۴ مقادیر P و λ و F به ترتیب برابر است با ۰/۰۱۳۰۶ و ۹۹۶ و ۱/۳۰۰۳۱۳ بدست می آید. با استفاده از نتایج پخش بار حاصل از شبیه سازی در نرم افزار DigSILENT مقادیر LCQ و LCP به ترتیب برابر با ۱،۵۳ و ۲،۴۹ می باشد. در نتیجه مقادیر EENSp و EENSQ با استفاده از روابط ۴-۱۱ و ۴-۱۲ به ترتیب برابر با ۲۸/۴۷۶۸ Mwh/yr و ۱۷/۴۹۷۸ Mvarh/yr حاصل خواهد شد.

با مقایسه بین دو سناریوی شماره ۸ و ۱۰ مشاهده می شود که تزریق توان راکتیو تاثیر بسزایی بر روی شاخص های مرتبط با توان راکتیو دارد و دلیل این امر انتقال بیشتر توان راکتیو از خط ۸ به ۲۸ به جهت نصب جبران ساز توان راکتیو بر روی باس شماره ۸ می باشد.

۵-۲-۱۱- سناریوی شماره ۱۱:

در این سناریو، هدف بررسی شاخص های قابلیت اطمینان بر روی خروج خط اتصال دهنده باس های ۵ و ۷ می باشد. با توجه به روابط ۳-۴، ۴-۴ و ۵-۴ مقادیر P و λ و F به ترتیب برابر است با ۰,۰۰۰۸۷ و ۹۹۶,۵ و ۰,۸۶۷۳۱ بدست می آید. با استفاده از نتایج پخش بار حاصل از شبیه سازی در نرم افزار DigSILENT مقادیر LCQ و LCP به ترتیب برابر با ۷/۴۷ و ۳۸/۴۵ می باشد. در نتیجه مقادیر EENS_{Sp} و EENS_Q با استفاده از روابط ۱۱-۴ و ۱۲-۴ به ترتیب برابر با ۲۹۳/۱۵۵۳ Mwh/yr و ۵۶/۹۵۳۷۱ Mvarh/yr حاصل خواهد شد.

۵-۲-۱۲- سناریوی شماره ۱۲:

در این سناریو، هدف بررسی شاخص های قابلیت اطمینان بر روی خروج جبران ساز شماره ۵ می باشد. با توجه به روابط ۳-۴، ۴-۴ و ۵-۴ مقادیر P و λ و F به ترتیب برابر است با ۰/۰۲۳۴۹۹ و ۳۱۰/۱۷ و ۷/۲۸۸۷۵۶ بدست می آید. با استفاده از نتایج پخش بار حاصل از شبیه سازی در نرم افزار DigSILENT مقادیر LCQ و LCP به ترتیب برابر با ۱۰ و ۰ می باشد. در نتیجه مقادیر EENS_{Sp} و EENS_Q با استفاده از روابط ۱۱-۴ و ۱۲-۴ به ترتیب برابر با ۲۰۵۸/۵۳۲ Mvarh/yr و ۰ Mwh/yr خواهد شد.

۵-۲-۱۳- سناریوی شماره ۱۳:

در این سناریو، هدف بررسی شاخص های قابلیت اطمینان بر روی خروج خط اتصال دهنده باس های ۱۲ و ۱۵ می باشد. با توجه به روابط ۳-۴، ۴-۴ و ۵-۴ مقادیر P و λ و F به ترتیب برابر است با ۰,۰۰۱۳۰۶ و ۹۹۶ و ۱,۳۰۰۳۱۳ بدست می آید. با استفاده از نتایج پخش بار حاصل از شبیه سازی

در نرم افزار DigSILENT مقادیر LCQ و LCP به ترتیب برابر با ۱۱/۵۸ و ۲۶/۵۱ می باشد. در نتیجه مقادیر EENSp و EENSQ با استفاده از روابط ۱۱-۴ و ۱۲-۴ به ترتیب برابر با ۳۰۳/۱۸۱۳ Mwh/yr و ۱۳۲/۴۳۴۵ Mvarh/yr حاصل خواهد شد.

۵-۲-۱۴- سناریوی شماره ۱۴:

در این سناریو، هدف بررسی شاخص های قابلیت اطمینان بر روی خروج جبران ساز ۱۳ می باشد. با توجه به روابط ۳-۴ ، ۴-۴ و ۵-۴ مقادیر P و λ و F به ترتیب برابر است با ۰,۰۲۳۴۹۹ و ۳۱۰/۱۷ و ۷/۲۸۸۷۵۶ بدست می آید. با استفاده از نتایج پخش بار حاصل از شبیه سازی در نرم افزار DigSILENT مقادیر LCQ و LCP به ترتیب برابر با ۱۰ و ۰ می باشد. در نتیجه مقادیر EENSp و EENSQ با استفاده از روابط ۱۱-۴ و ۱۲-۴ به ترتیب ۰ Mwh/yr و ۲۰۵۸/۵۳۲ Mvarh/yr خواهد شد.

۵-۲-۱۵- سناریوی شماره ۱۵:

در این سناریو، هدف بررسی شاخص های قابلیت اطمینان بر روی خروج خط اتصال دهنده باس های ۱۰ و ۲۱ می باشد. با توجه به روابط ۳-۴ ، ۴-۴ و ۵-۴ مقادیر P و λ و F به ترتیب برابر است با ۰/۰۱۲۹۱ و ۹۹۲/۵ و ۱/۲۸۱۷۹۴ بدست می آید. با استفاده از نتایج پخش بار حاصل از شبیه سازی در نرم افزار DigSILENT مقادیر LCQ و LCP به ترتیب برابر با ۱۲/۴۶ و ۲۳/۳۸ می باشد. در نتیجه مقادیر EENSp و EENSQ با استفاده از روابط ۱۱-۴ و ۱۲-۴ به ترتیب برابر با ۲۶۴/۵۰۶۵ Mwh/yr و ۱۴۰/۹۶۴۵ Mvarh/yr حاصل خواهد شد.

۵-۲-۱۶- سناریوی شماره ۱۶:

در این سناریو، هدف بررسی شاخص های قابلیت اطمینان بر روی خروج جبران ساز ۱۱ می باشد. با توجه به روابط ۴-۳، ۴-۴ و ۴-۵ مقادیر P و λ و F به ترتیب برابر است با ۰/۰۲۳۴۹۹ و ۳۱۰/۱۷ و ۷/۲۸۸۷۵۶ بدست می آید. با استفاده از نتایج پخش بار حاصل از شبیه سازی در نرم افزار DigSILENT مقادیر LCQ و LCP به ترتیب برابر با ۱۰ و ۰ می باشد. در نتیجه مقادیر EENSp و EENSQ با استفاده از روابط ۴-۱۱ و ۴-۱۲ به ترتیب 0 Mwh/yr و 2058.532 Mvarh/yr خواهد شد.

خلاصه نتایج سناریوهای ۸ الی ۱۶ بصورت جدول ذیل بیان شده است که می توان با مقایسه اعداد به دست آمده از آن به نتایج مهمی دست یافت که در ادامه در خصوص آن بحث خواهد شد.

جدول ۵-۲۲: خلاصه نتایج سناریوهای ۸ الی ۱۶

ردیف	نوع عملیات	P	λ	F	LCP (MW)	LCQ (Mvar)	EENSP (MWh/yr)	EENSQ (Mvarh/yr)
سناریوی ۸	خروج خط ۸-۲۸	0.001306	996	1.300313	3.79	15.22	43.34421	174.063
سناریوی ۹	خروج جبران ساز ۸	0.023499	310.17	7.288756	0	10	0	2058.53
سناریوی ۱۰	خروج خط ۱۸-۱۹	0.1306	996	1.300313	2.49	1.53	28.4768	17.4978
سناریوی ۱۱	خروج خط ۵-۷	0.00087	996.5	0.86731	38.45	7.47	293.1553	56.95371
سناریوی ۱۲	خروج جبران ساز ۵	0.023499	310.17	7.288756	0	10	0	2058.532
سناریوی ۱۳	خروج خط ۱۲-۱۵	0.001306	996	1.300313	26.51	11.58	303.1813	132.4345
سناریوی ۱۴	خروج جبران ساز ۱۳	0.023499	310.17	7.288756	0	10	0	2058.532
سناریوی ۱۵	خروج خط ۱۰-۲۱	0.001291	992.5	1.281794	23.38	12.46	264.5065	140.9645
سناریوی ۱۶	خروج جبران ساز ۱۱	0.023499	310.17	7.288756	0	10	0	2058.532

با بررسی سناریوهای ۸ الی ۱۶ که خلاصه نتایج آن در جدول ۵-۲۲ آمده است می توان نتیجه

گرفت که خروج جبران ساز های توان راکتیو تاثیر مستقیم بر روی شاخص های قابلیت اطمینان

مربوط به توان راکتیو دارد و باعث افزایش خیلی شدید این شاخص ها شده و درصد قابلیت اطمینان

آن باس و کل سیستم را کاهش می دهد. هرچقدر جبران ساز بزرگ تر باشد و یا مولد توان راکتیو بیشتری باشد قابلیت اطمینان سیستم بیشتر دچار افت خواهد شد. و همچنین در خصوص خروج خطوط انتقال نیز می توان این نکته را یادآور شد که خطوطی که منتقل کننده توان راکتیو بیشتری هستند، اگر از مدار خارج شوند تاثیر خیلی زیادی بر روی شاخص های قابلیت اطمینان داشته و آن را به افزایش داده و قابلیت اطمینان سیستم را به شدت کاهش می دهد. با توجه به مطالب گفته شده و با مشاهده جدول بالا این نتیجه را می توان گرفت که خروج خط ۲۸-۸ بالاترین شاخص EENS_Q و خروج خط ۵-۷ دارای کمترین شاخص EENS_Q در سناریوهای بررسی شده می باشد که داشتن قابلیت اطمینان بالا در سیستم مستلزم این می باشد که بهره برداران سیستم نظارت بیشتری بر روی خطوط پربار و جبران ساز ها در سیستم قدرت داشته باشند.

۵-۳- نتیجه گیری فصل

همانگونه که قبلا گفته شده بهره برداران باید در سیستم های قدرت مواردی را رعایت کنند که میزان خاموشی ها، نوسانات و بطور کلی انرژی های تامین نشده به حداقل خود برسد و درکنار آن به مسئله اقتصادی بودن هزینه ها توجه شود. یعنی اینکه نباید تنها به یکی از این دو معقوله بسنده کنند. دراین بین توان راکتیو یکی از پارامترهایی است که درمیزان قابلیت اطمینان سیستم تاثیر بسزایی دارد و تاثیر آن بصورت کنترل ولتاژ و کاهش ظرفیت اشتغال شده خطوط و تجهیزات و درنتیجه آن به تاخیر انداختن تعمیرات خطوط انتقال و تجهیزات می باشد، به طور خلاصه یعنی توان راکتیو که در محل بار(شبکه توزیع)تامین شود، اثر قابل ملاحظه ای برروی قابلیت اطمینان

سیستمهای قدرت دارد. به عبارت دیگر با توجه به افزایش روز افزون بارهای سیستم که عمدتاً ماهیت سلفی داشته و لزوم تامین توان راکتیو مصرفی آنها و اینکه بعضاً ژنراتورهای سیستم تولید جوابگوی تامین کل بار و تلفات سیستم نیستند لازم می باشد که مقداری از این نیازمندی های توان راکتیو توسط مولدین جبران ساز توان راکتیو به صورت محلی در نزدیکی بار تامین شود. با تامین توان راکتیو در محل بار علاوه بر افزایش قابلیت اطمینان سیستم باعث کاهش تلفات توان راکتیو خطوط انتقال نیز خواهد شد. در این فصل برای نشان دادن اثرات مختلف توان راکتیو بر شاخص های قابلیت اطمینان ، ولتاژ باس ها و تلفات سیستم، ۱۶ سناریو را که در برگیرنده شرایط متفاوت باشد، بررسی شد. تا علاوه بر نشان دادن این تاثیرات، مقایسه ای از هر یک از این سناریو ها صورت گیرد. به طور خلاصه با تحلیلی که از نتایج این سناریوهای می توان گرفت این است جبران سازهای توان راکتیو در سیستم قدرت با توجه به تولید توان راکتیو در باس هایی که دارای مقدار بار نسبتاً بالایی هستند علاوه بر اینکه باعث کاهش شاخص های قابلیت اطمینان شده (افزایش قابلیت اطمینان سیستم)، تلفات سیستم انتقال را نیز به طور محسوسی کاهش می دهد. البته جایابی جبران ساز ها در سیستم قدرت نیز خیلی مهم می باشد بطوریکه با یک جایابی بهینه جبران ساز در سیستم قابلیت اطمینان سیستم قدرت به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. در این پایان نامه نشان داده شد که جابجایی جبران ساز توان راکتیو از باس پر بار به باس کم بار، شاخص های قابلیت اطمینان مربوط به توان راکتیو سیستم را افزایش می دهد، همچنین با توجه به عدم وجود جبران ساز در باس پربار و تامین توان راکتیو مصرفی

بارهای آن توسط دیگر مولدین توان راکتیو در باس های دیگر و در نتیجه افزایش توان انتقالی در خطوط منتهی به آن باس، باعث افزایش تلفات توان راکتیو می باشد. یکی از موارد دیگری که در این پایان نامه بررسی شده است تاثیر نقطه تنظیم ولتاژ باس های بوده است که نتیجه ای که مشاهده شد با کاهش آن شاخص های قابلیت اطمینان کاهش پیدا کردند و کاهش بیشتر در نقطه تنظیمی ولتاژ باس ها روند کاهشی شاخص ها را نیز بیشتر نشان دادند. همچنین با کاهش و افزایش محدوده توان راکتیو تولیدی ژنراتورها، شاخص های قابلیت اطمینان به ترتیب افزایش و کاهش پیدا کردند. و در پایان تاثیر خروج خطوط انتقال پربار و کم بار بر روی قابلیت اطمینان سیستم قدرت بررسی و نشان داده شد که خروج خطوط پربار تاثیر بسزایی در تعیین قابلیت اطمینان سیستم قدرت دارند. سخن آخر اینکه نتایج بالا نشان دهنده تاثیر زیاد توان راکتیو بر قابلیت اطمینان سیستم قدرت می باشند که بهره برداران سیستم قدرت نیازمند توجه بیشتر به این پارامتر در جهت تامین برق پیوسته و پایدار مشترکان و مصرف کنندگان خواهند بود.

فصل ۶: نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری

توان راکتیو یکی از پارامترهایی است که در میزان قابلیت اطمینان سیستم تأثیر دارد و تأثیر آن به صورت کنترل ولتاژ و کاهش ظرفیت اشتغال شده خطوط و تجهیزات می باشد. یعنی توان راکتیو که در محل بار (شبکه توزیع) تأمین می شود، اثر قابل ملاحظه ای بر روی قابلیت اطمینان دارد.

همان طور که گفته شد قابلیت اطمینان یک سیستم قدرت به طور تنگاتنگ با قدرت تولید توان راکتیو و جاری شدن آن در سیستم قدرت رابطه دارد. از طرفی رابطه ی توان راکتیو با ولتاژ شبکه، تأثیرپذیری این پارامتر برای قابلیت اطمینان سیستم قدرت را بیشتر می کند. در واقع با کنترل ولتاژ مناسب (تزریق توان راکتیو) می توان قابلیت اطمینان سیستم را بهبود بخشید. بدیهی است که کنترل ولتاژ تمام نقاط سیستم از لحاظ اقتصادی عملی نمی باشد. توان راکتیو مصرفی بارها در ساعات مختلف در حال تغییر است. لذا ولتاژ و توان راکتیو باید دائماً کنترل شوند. در ساعات پر بار، بارها قدرت راکتیو بیشتری مصرف می کنند و نیاز به تولید قدرت راکتیو زیادی در شبکه می باشد.

در این پایان نامه برای نشان دادن تأثیر توان راکتیو بر روی قابلیت اطمینان، سناریوهای مختلفی مانند جابجایی جبران سازها از شین پر بار به شین کم بار و بالعکس، تأثیر خارج شدن خطوط مختلف انتقال سیستم قدرت، کاهش سطح ولتاژ تنظیمی و افزایش و کاهش محدوده عملکرد توان راکتیو تولیدی ژنراتورها، بیان شد. همچنین با استفاده از سناریوهای مختلف و بدست آمدن نتایج آن که در فصل ۴ بطور کامل بررسی شد مشخص گردید که با تزریق توان راکتیو به باس های مختلف شبکه و تأثیر آن بر روی قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت با استفاده از جابجایی جبران ساز از باس با مصرف توان راکتیو بیشتر به باس با مصرف توان راکتیو کمتر (به

طور مثال باس ۸ به باس ۲۵) باعث افزایش شاخص های قابلیت اطمینان شده و موجب پایین آمدن سطح قابلیت اطمینان می شود و همین جابجایی باعث بهبود پروفایل ولتاژ در شین دارای جبران ساز می گردد و همچنین تلفات توان راکتیو را در کل سیستم افزایش می دهد (مقایسه سناریوی ۱ و ۳). در ادامه با بررسی انجام شده بر روی خروج خطوط انتقال از سیستم قدرت و بررسی تاثیر آن بر روی قابلیت اطمینان مشخص گردید خطوطی که دارای بیشترین توان راکتیو و اکتیو انتقالی می باشند باید به شدت کنترل شوند (کاهش نرخ خرابی) تا قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت در وضعیت مناسبی قرار داشته باشند. در نهایت با دقت نظر بر روی نتایج بدست آمده می توان این نکته مهم را یاد آور شد توان راکتیو یکی از پارامترهای مهم در کنترل و بهبود قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت بوده که اپراتوران سیستمهای قدرت می توانند با تزریق مناسب توان راکتیو و نگهداری عناصر سیستم قدرت به این مهم دست یابند.

۶-۲- پیشنهادات

همان طور که در مطالعات صورت گرفته مشخص شد، تأثیر توان راکتیو بروی قابلیت اطمینان سیستم بسیار شاخص بوده و از آنجا که این تأثیر به طور مستقیم با کنترل ولتاژ شبکه در ارتباط است، می توان برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم قدرت به دنبال بهبود پروفیل ولتاژ شبکه بود. در مطالعات صورت گرفته بهبود پروفیل ولتاژ به منظور ارتقاء قابلیت اطمینان سیستم و کاهش تلفات به منظور کاهش هزینه ها صورت گرفته است. پیشنهادهایی که برای گسترش موضوع مورد نظر می توان ارائه داد، به شرح زیر است:

- (۱) تاثیر مدل بار بر روی شاخص های قابلیت اطمینان
- (۲) تعمیم دادن تاثیر تزریق توان راکتیو بر روی شاخص های قابلیت اطمینان شبکه

های توزیع برای مثال شاخص های 'SAIFI، 'SAIDI، 'CAIFI^۳ و

۳) جایابی بهینه تجهیزات تولیدکننده توان راکتیو برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم

۴) جایابی بهینه تجهیزات تولید کننده توان راکتیو با در نظر گرفتن موارد حفاظتی

سیستم

۵) تاثیر نوع جبران ساز بر شاخص های قابلیت اطمینان و مقایسه موردی نصب

تجهیزات تولیدکننده توان راکتیو بروی شاخص های قابلیت های اطمینان

مراجع

مراجع:

[1] Wenping Qin, Peng Wang, Member, IEEE, Xiaoqing Han, and Xinhui Du "Reactive Power spectra in Reliability Assessment of Power Systems" IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 26, NO. 1, FEB 2011

[۲] روی بیلتون و رونالد آلن "ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت" ترجمه : دکتر محسن رضائیان، انتشارات: دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دستورالعمل های ثابت بهره برداری وزارت نیرو

[۳] دستورالعمل های ثابت بهره برداری وزارت نیرو

[۴] آرش احسانی ، علی عباس پور تهرانی فرد ، محمود فتوحی فیروزآباد ، علی محمد رنجبر "آثار تجدید ساختار برق بر کیفیت و قابلیت اطمینان تأمین انرژی الکتریکی" دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف

[۵] عماد قاضی ، حمید فلقی ، محمود رضا حقی فام و علی حسینی افضل "مدل سازی و بررسی نحوه تغییرات شاخص های قابلیت اعتماد شبکه های توزیع در طول سال "نهمین کنفرانس شبکه های توزیع برق اردیبهشت ۸۳"

[۶] تولید ، بهره برداری و کنترل در سیستم های قدرت نویسندگان: ولنبرگ – وود ترجمه : دکتر حسین سیفی انتشارات : دانشگاه تربیت مدرس

[7] Paul, S. ; Jewell, W.T. , "Importance of Voltage Reduction and Optimal Voltage Setting During Reactive Power Compensation," IEEE Transaction on Power Systems, vol.29, No.4, pp. 1999 - 2007, Aug. 2014.

[8] Fattahi, S. ; Afsharnia, S. ; Javidi, M.H., "A new reactive power valuation method based on analytic hierarchical process," Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE '09, IEEE/PES

[9] Fattahi, S. ; Afsharnia, S. ; Javidi, M.H., " A new AHP-Based reactive power

valuation method, " .Electric Power Conference, 2008. EPEC 2008. IEEE Canada

[10] S. Hao. A. Papalexopoulos, "Reactive power pricing and management," IEEE Transaction on Power Systems, vol.12, No.1, pp.95-104, Feb.1997.

[11] J.B. Gil, T.G.S. Roman, J.J.Rios, P.S.Martin, "Reactive power pricing: a conceptual framework for remuneration and charging procedures," IEEE Transaction on Power Systems, vol. 15, No.2, pp.483-489, May 2000.

[12] C.Y. Chung, T.S. Chung, C.W. Yu, X.J. Lin, "Cost-based reactive power pricing with voltage security consideration in restructured power systems," Electric Power Systems Research, vol.70, pp.85-91, 2004.

[13] J. Zhong, E. Nobile, A. Bose, K. Bhattacharya, "Localized reactive power markets using the concept of voltage control areas," IEEE Transaction on Power Systems, vol.19, No.3, pp.1555-1561, Aug 2004.

[14] W. S. Read, W. K. Newman, I. J. Perez-Arriaga, H. Rudnick, M. R. Gent, and A. J. Roman, "Reliability in the newmarket structure (Part 1)," IEEE Power Eng. Rev., vol. 19, no. 12, pp. 4–5, Dec. 1999.

[15] Peng Wang , Billinton. R, "Reliability assessment of a restructured power system considering reserve agreements," IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 2, pp. 972–978, May 2004.

[16] Chebbo, A.M. ; Irving, M.R. ; Sterling, M.J.H., " Reactive power dispatch incorporating voltage stability", Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings-C
Vol.139, Issue:3, pp. 253 - 260 .,1992 ,

[17] B. Leonardi and V. Ajjarapu, "Investigation of various generator reactive power reserve (GRPR) definitions for online voltage stability/security assessment," in Proc. IEEE PES General Meeting, Jul. 2008.

[18] I. El-Samahy, K. Bhattacharya, C. Caizares, M. F. Anjos, and J. Pan, "A

procurement market model for reactive power services considering system security,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 23, no. 1, pp. 137–149, Feb. 2008.

[19] T. Plavsic and I. Kuzle, “Zonal reactive power market model based on optimal voltage scheduling,” in Proc. AFRICON 2007, Sep. 2007, pp. 1–7.

[20] N. Yorino, M. Eghbal, E. E. El-Araby, and Y. Zoka, “Dynamic security constrained VAR planning for competitive environments,” in Proc. 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting—Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Jul. 2008, pp. 1–8.

[21] F. Dong, B. H. Chowdhury, M. L. Crow, and L. Acar, “Improving voltage stability by reactive power reserve management,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 1, pp. 338–345, Feb. 2005.

[22] S. K. Parida, S. N. Singh, and S. C. Srivastava, “Voltage security constrained localized reactive power market,” in Proc. 2006 IEEE Power India Conf., Apr. 2006, p. 6.

[23] S. Hao and A. Papalexopoulos, “Reactive power pricing and management,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 12, no. 1, pp. 95–104, Feb. 1997.

[24] A. Rajabi and H. Monsef, “Valuation of dynamic reactive power based on probability aspects of power system,” in Proc. 42nd Int. Universities Power Engineering Conf. (UPEC 2007), Sep. 2007, pp. 1169–1174.

[25] Y. Ding and P. Wang, “Reliability and price risk assessment of a restructured power system with hybrid market structure,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 21, no. 1, pp. 108–116, Feb. 2006.

Abstract:

Reliability is a key parameter in assessing the performance and stability of the power system. So that for the normal operation of a network, the minimum allowable value is required. In assessing the reliability of systems, parameters such as the amount of spinning reserve in power generation, transmission and distribution in the ring network, voltage control and control of the mega-like network, etc. are involved. This means that today generates reactive power equipment in the power network is so important. Due to the stability of modern power systems, integrated and interconnected networks are utilized. On the other hand, for economic reasons, maximum utilization of light generation network is required, productive operation of the transmission lines are placed. This causes even more important in today's networks is the reactive power injection. Because Mqdaryaby correct placement and installation of equipment for producing reactive power in terms of both economic stability is essential for modern systems.

In this thesis the reactive power and its various aspects are discussed and reliability of the power system to be fully defined. And the role of reactive power in power systems reliability evaluation is expressed. First, the definition and modeling of power system reliability evaluation indices are. These indicators are divided into two general groups of related indicators associated with reactive power and reactive power is divided. Jbransaz·hay also be reactive and effective role in improving the voltage profile, power dissipation and reliability indices are discussed. The continuing impact of the base voltage set point, the reactive power produced by the generator and exit lanes productive and less time on the increase and decrease reliability indices, voltage profile and power losses were evaluated. The results mentioned above, which was divided into 16 scenarios were analyzed and the results were compared.

Keywords:

Reliability, reactive power, compensation, active and reactive power indicators



University of Shahrood
Faculty of Electrical and Robotic Engineering

The effect of reactive power on the reliability of the power system

Mostafa Kazemi malak mahmoodi

Supervisor:
Dr. Mahdi Banejad

January
2015