

تعیین حساسیت شاخصهای قابلیت اطمینان سیستم تولید نسبت به مشخصات سیستم

کریم افشار^۱

دانشجوی دکتری مهندسی برق

حمود فتوحی فیروزآبادی^۱

استادیار دانشکده مهندسی برق

۱. دانشگاه صنعتی شریف

۲. شرکت مشانیر

تهران-ایران

واژه‌های کلیدی: قابلیت اطمینان، شاخص، حساسیت، روش تحلیلی، روش مونت-کارلو

چکیده:

میگردد. در انتها بمنظور نشان دادن تاثیر روش حل مسئله قابلیت اطمینان در تعیین درجه حساسیت شاخصها از دو روش تحلیلی و مونت-کارلو ترتیبی استفاده شده و نتایج عددی بدست آمده با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند.

۱. مقدمه

یکی از وظایف اولیه یک سیستم قدرت تامین انرژی الکتریکی مصرف کننده‌ها می‌باشد که این امر باید تا جایی که امکان پذیر باشد اقتصادی بوده و همچنین یک سطح قابل قبولی از قابلیت اطمینان را نیز برآورده سازد [۱و۲]. به میزان توانایی سیستم قدرت در تامین پیوسته توان مصرف کننده‌ها در حالیکه در

دریک سیستم قدرت مفاهیم متعددی وجود دارند که بر روی قابلیت اطمینان سیستم تولید تاثیر می‌گذارند. این مفاهیم شامل تقاضای بار، مشخصات واحدهای تولید، سیستم مجاور و استفاده از ذخیره‌های در دسترس آن و همچنین شگردهایی که در حالت اضطراری برای مقابله با کمبود ظرفیت اتخاذ می‌گردد، می‌باشند. در این مقاله هدف ما تعیین حساسیت شاخصهای مختلف قابلیت اطمینان نسبت به تغییر مشخصات سیستم می‌باشد. مشخصاتی را که بر روی شاخصهای قابلیت اطمینان تاثیر می‌گذارند معرفی شده و سپس حساسیت شاخصهای قابلیت اطمینان نسبت به این مشخصات برای سیستم تست IEEE محاسبه

در بخشهای بعدی این مقاله ابتدا به معرفی مشخصات کلیدی سیستم که بر روی شاخصهای قابلیت اطمینان تاثیر می‌گذارند، می‌پردازیم. سپس سیستم تست IEEE قابلیت اطمینان [۹] را بعنوان سیستم نمونه در نظر گرفته و نتایج حساسیت شاخصهای قابلیت اطمینان نسبت به تغییر مشخصات سیستم نمونه محاسبه می‌گردد. در انتها بمنظور بررسی تاثیر روش حل مسئله قابلیت اطمینان از دو روش تحلیلی و مونت-کارلو ترتیبی استفاده شده و این دو روش از لحاظ دقت در بدست آوردن درجه حساسیت شاخصهای قابلیت اطمینان نسبت به تغییرات مشخصات سیستم با یکدیگر مقایسه گردیده و نتایج عددی نیز ارائه خواهند شد.

۲. مشخصات یک سیستم قدرت

در این بخش از مقاله به بیان مشخصات سیستم که بر روی شاخصهای قابلیت اطمینان سیستم تاثیر دارند می‌پردازیم.

۲-۱. مشخصات بار

a) Annual Peak

که به پیک بار سالیانه اشاره می‌نماید. همانطور که می‌دانیم اگر پیک بار سالیانه تغییر کند کلیه بارهای دیگر به همان نسبتی که بار پیک سالیانه تغییر کرده تغییر خواهند کرد. به عنوان مثال اگر پیک بار سالیانه ۲ درصد افزایش یابد تمام بارها به اندازه ۲ درصد افزایش پیدا خواهند کرد.

b) Daily Peaks

بیشترین بار ساعتی در یک روز توسط این مشخصه معین می‌گردد. اگر ماکزیمم بار روزانه تغییر نماید کلیه بارهای آن روز هم به همان نسبت تغییر خواهند کرد.

معرض وقایع و حوادث گوناگونی قرار دارد به عنوان قابلیت اطمینان اشاره می‌گردد. در سیستم قدرت پارامترهای متعددی وجود دارند که بر روی قابلیت اطمینان سیستم تولید تاثیر می‌گذارند [۳ و ۴]. این مفاهیم شامل تقاضای بار، مشخصات واحدهای تولید، سیستم مجاور و استفاده از ذخیره‌های در دسترس آن و همچنین مدیریت قسمت بار می‌باشد که در بخشهای بعدی به توصیف کامل هر یک از این مشخصات می‌پردازیم. بمنظور ارزیابی دقیق قابلیت اطمینان سیستم تولید باید شاخص استفاده شده نسبت به تغییرات مشخصات سیستم در طول زمان مورد مطالعه حساس باشد تا بتواند حس دقیق و درستی از سیستم در اختیار ما قرار دهد. شاخصهای قابلیت اطمینان در حالت کلی به دو دسته قطعی^۱ و احتمالاتی^۲ طبقه بندی می‌گردند. شاخصهای قطعی شامل: PCM^4 , PRM^3 , LU^5 , $PL+LU^6$ و SCR^7 می‌باشند. شاخصهای قابلیت اطمینان احتمالاتی نیز شامل: $DLOLE^8$, $HLOLE^9$, $EENS^{10}$, $FLOL^{11}$, $DLLOL^{12}$, $ELNS^{13}$, $POPMP^{14}$, $Q-365^{15}$, $Q-8760^{16}$, PEL^{18} , $PLOL^{17}$ و EIR^{19} و SM^{20} می‌باشند [۵ و ۶ و ۷ و ۸].

1. Deterministic
2. Probabilistic
3. Percentage Reserve Margin (PRM)
4. Percentage Capacity Margin (PCM)
5. Largest Unit (LU)
6. Percentage Peak Load (PL) + LU
7. Specific Contingency Reserve (SCR)
8. Daily Loss Of Load Expectation (DLOLE)
9. Hourly Loss Of Load Expectation (HLOLE)
10. Expected Energy Not Supplied (EENS)
11. Frequency of Loss Of Load (FLOL)
12. Duration of Loss Of Load (DLLOL)
13. Expected Load Not Supplied (ELNS)
14. Probability Of Positive Margin (POPMP)
15. Quality-365 (Q-)
16. Quality-8760 (Q-)
17. Probability of Loss Of Load (PLOL)
18. Percentage of Energy Lost (PEL)
19. Energy Index of Reliability (EIR)
20. System Minutes (SM)

c) Forced Outage Rates (FOR)

نشان دهنده درصدی از زمان است که واحد به دلیل خرابی لازم است سریعاً از مدار خارج شده و در دسترس نیست.

d) Forced Outage Durations (FOD)

به مقدار میانگین زمانی که سیستم وقتی با حالت خروج اجباری مواجه می‌شود اشاره می‌نماید. که برای یک بازه مورد مطالعه می‌توان از تقسیم کل ساعات خروج از مدار بر تعداد خروجهای اجباری این مشخصه را بدست آورد.

e) Planned Outage (PO)

شامل خروجهایی است که بمنظور بازرسی و بازمینی واحد انجام می‌شود. این نوع خروجها معمولاً بر اساس یک سری برنامه‌ریزیهای از قبل تعیین شده انجام می‌شوند.

f) Maintenance Outage (MO)

شامل یک سری از خروجهای برنامه‌ریزی نشده می‌باشد که لازم است واحد قبل از خروج برنامه‌ریزی شده از مدار خارج شود.

g) Unit Types (UT)

همانطور که می‌دانیم واحدهای مختلف نیروگاهی مشخصات بهره برداری متفاوتی دارند و لذا نوع واحدهای تولید تاثیر بسزایی بر روی شاخصهای قابلیت اطمینان دارد.

h) Energy Limitation (EL)

شامل هر نوع محدودیتی بجز خروج اجباری واحد که موجب می‌شود واحد ظرفیت تولیدی کمتر از مقدار حداکثر خود را داشته باشد اطلاق می‌گردد. به عنوان مثال در واحدهای آبی، انرژی آب بعنوان ورودی بوده و لذا در سالهایی که با کمبود ریزش باران مواجه هستیم سیستم تولید قادر به تولید مقدار ماکزیمم مجاز خود نخواهد بود.

i) Operating Consideration (OC)

شامل تمامی ملاحظات بهره‌برداری که بایستی در مدل کردن واحدها مدنظر قرار گیرد، می‌باشد.

c) Seasonal Distribution of Loads

این مشخصه تغییرات پیک بارها بین فصول سال را نشان می‌دهد که در اصل بر روی فصلی که در آن پیک بار سالیانه رخ می‌دهد متمرکز می‌شود تا بدین ترتیب برنامه ریزیهای تعمیرات و نگهداری در فصلی که پیک بار سالیانه رخ می‌دهد انجام نشود و این برنامه‌های تعمیرات سالیانه و نگهداری به فصلهای غیر پیک موکول گردند.

d) Hourly Load Level

بیانگر مقدار مگاوات بار در طول تمام ساعات یک سال و یا بازه مورد مطالعه می‌باشد.

e) Load Chronology

ترتیب زمانی واقعی بارها در طول روز، طول سال و یا در طول پریود انجام تعمیرات و نگهداری توسط این مشخصه بیان می‌گردد.

f) Load Factor

برای یک دوره تناوب داده شده، نسبت مقدار میانگین بار به پیک بار به عنوان ضریب بار نامبرده می‌شود. ضریب بار می‌تواند برای دوره تناوب روزانه، ماهیانه و یا سالیانه محاسبه شود.

۲-۲. مشخصات واحدهای تولید

a) Maximum Capacity (MC)

به ماکزیمم مقدار تولیدی یک واحد تولید که بطور پیوسته می‌تواند تولید شود اطلاق می‌گردد.

b) Derated Capacity States (DCS)

به مقدار ظرفیت تولیدی سیستم که می‌تواند تحت شرایط توقفهای جزئی^{۲۱} تولید نماید دلالت دارد. در این حالتها (توقفهای جزئی) سیستم بطور کامل از مدار خارج نشده بلکه قادر است به خاطر یک سری ایرادات جزئی مقداری توان که از مقدار ماکزیمم تولیدی آن کمتر است تولید نماید.

۲-۳. مشخصات سیستم

a) Demand Side Management (DSM)

مدیریت قسمت بار به مجموعه فعالیتهایی که در یک سیستم قدرت به منظور اصلاح شکل بار انجام می‌شود، گفته می‌شود. با این راهکار بهره برداران سیستم قدرت موجب تغییر دادن زمان مصرف، تغییر دامنه بار ماکزیمم و همچنین ماکزیمم انرژی که باید تغذیه شود خواهند شد.

b) Emergency Operating Procedure

دستورالعملهای بهره برداری اضطراری، مجموعه راه‌حلهایی است که در شرایطی که یک سیستم قدرت به سطوح بحرانی در رزروها (ذخیره‌ها) نزدیک می‌شود، اتخاذ می‌گردد. این راه‌حلها در کل شامل کنترل بار و کنترل تولید می‌باشند. کنترل بار با استفاده از قطع تغذیه بارهای قطع شونده^{۲۳} و همچنین اعلام اینکه مصرف‌کننده‌ها توان مصرفی خود را کاهش دهند عملی می‌باشد. کنترل تولید نیز شامل: بهره برداری کردن از واحدها در شرایط اضطراری، خرید انرژی برق در شرایط اضطراری و همچنین کاهش رزروهای بهره‌برداری می‌باشد.

c) Reliance on External Interconnection

بسیاری از سیستمهای قدرت متصل بهم بخشی از مایحتاج رزرو خود را که بمنظور حفظ قابلیت اطمینان ضروری می‌باشد از طریق سیستمهای مجاور خود تامین می‌نمایند.

۳. نتایج شبیه‌سازی

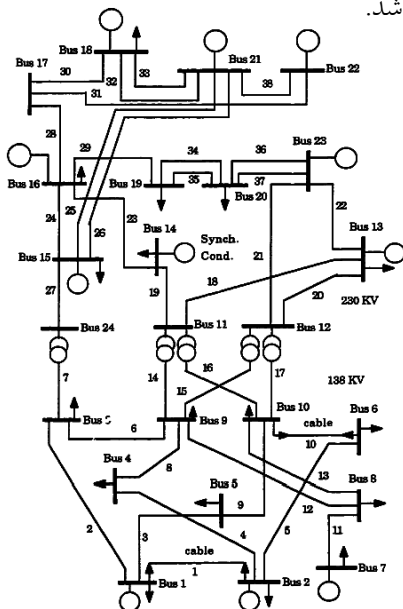
۳-۱. حساسیت شاخصهای قابلیت اطمینان

نسبت به مشخصات سیستم

همانطور که می‌دانیم شاخصهای مختلف قابلیت اطمینان به طرق مختلفی تعریف شده و محاسبه می‌گردند. همچنین این شاخصها به طرق مختلفی نسبت به تغییرات مشخصه‌های مختلف سیستم پاسخ

می‌دهند. در این بخش به محاسبه حساسیت نسبی شاخصهای قابلیت اطمینان سیستم تولید نسبت به مشخصات سیستم که در بخش قبل معرفی شدند می‌پردازیم. گفتنی است درجه تاثیر مشخصات سیستم بر روی شاخصهای قابلیت اطمینان بستگی به روشهای مدل‌سازی استفاده شده در محاسبه شاخص دارد. برخی از روشها همانند روش مونت-کارلو ترتیبی^{۲۳} قادر به مدل کردن جزئیات بیشتری از سیستم نسبت به سایر روشها می‌باشند و لذا با استفاده از این روشهای دقیق، حساسیت شاخصهای قابلیت اطمینان نسبت به تغییرات مشخصات سیستم را می‌توان بطور دقیقتری نسبت به سایر روشهای تقریبی مشخص نمود (چرا که در مونت-کارلو ترتیبی شبکه با جزئیات بیشتری نسبت به سایر روشها مدل می‌شود و تاثیر تمام پارامترها در این مدل بطور واقعی مدل می‌شود) [۱۰، ۱۱ و ۱۲].

بمنظور شبیه‌سازی مطالب ارائه شده در این مقاله شبکه تست قابلیت اطمینان IEEE که دیاگرام تک خطی آن در شکل (۱) نشان داده شده، بعنوان شبکه نمونه انتخاب شده و نتایج شبیه‌سازی در این بخش ارائه خواهند شد.



شکل (۱)- دیاگرام تک خطی سیستم تست قابلیت اطمینان IEEE

۳-۲. شاخصهای قطعی

جداول (۱)، (۲) و (۳) حساسیت نسبی شاخصهای قطعی در قابلیت اطمینان سیستم تولید را نسبت به تغییر مشخصات سیستم نشان می‌دهند. نکته ای که باید بدان اشاره کرد این است که کلیه اعداد بدست آمده در این جداول نسبی هستند و همانطور که از جداول پیداست برای نشان دادن حساسیتها از اعدادی بین یک تا پنج استفاده شده است که روند کار (تخصیص اعداد) به ترتیب زیر می‌باشد:

هرگاه شاخصی نسبت به تغییر مشخصه در سیستم هیچ گونه حساسیتی نداشته باشد، در آنصورت حساسیت آن شاخص نسبت به تغییر مشخصه عدد یک در نظر گرفته شده است و هرگاه در بین شاخصهای موجود نسبت به تغییر یک مشخصه در سیستم شاخصی بیشترین حساسیت را از خود نشان دهد، در آنصورت برای حساسیت آن شاخص نسبت به تغییرات مشخصه سیستم عدد ۵ منظور شده است. این امکان نیز وجود دارد که حساسیت چند شاخص نسبت به تغییر یک مشخصه در سیستم عدد ۵ باشد که خود نشاندهنده این مطلب می‌باشد که همگی این شاخصها نسبت به تغییر یک مشخصه در سیستم فوق‌العاده حساس می‌باشند. البته گفتنی است روشهای حل مسئله نیز در تعیین این حساسیتها مؤثر می‌باشند که در بخش شاخصهای احتمالاتی این مطلب بطور کامل شرح داده خواهد شد.

همانطور که از اعداد جدول (۱) پیداست حساسیت چهار شاخص PRM, PCM, LU, PL+LU نسبت به تغییر مشخصات بار مشابه هم می‌باشند. ولی همانطور که از جدول (۲) مشاهده می‌شود در ارتباط با مشخصات واحد تولید شاخصهای PRM و PCM مشابه هم بوده و همچنین شاخصهای LU و PL+LU نیز مشابه هم می‌باشند. از اعداد جدول (۳) پیداست که حساسیت نسبی این شاخصها نسبت به مشخصه مدیریت بار همانند هم می‌باشند.

شاخص SCR شاخصی است که بطور دقیق و مشخص تعریف نشده است و اگر پیشامدهای در نظر گرفته شده تغییر کنند در آنصورت مطمئناً اعدادی که در این جدول بدست آمده فرق خواهند کرد. انتخاب این شاخصها بسته به نظر طراح و همچنین سیستم مورد مطالعه فرق خواهند کرد.

جدول (۱) - حساسیت شاخصهای قطعی قابلیت اطمینان نسبت به مشخصات بار

مشخصه بار	PR M	PC M	L U	PL+L U	SC R
Annual Peak	۵	۵	۵	۵	۳
Daily Peak	۱	۱	۱	۱	۳
Seasonal Distribution of Loads	۱	۱	۱	۱	۳
Hourly Load Levels	۱	۱	۱	۱	۳
Load Chronology	۱	۱	۱	۱	۳
Load Factor	۱	۱	۱	۱	۳

جدول (۲) - حساسیت شاخصهای قطعی قابلیت اطمینان نسبت به مشخصات واحدهای تولید

مشخصات واحدهای تولید	PR M	PC M	LU	PL+L U	SC R
Maximum Capacity	۴	۴	۵	۵	۳
Derated Capacity States	۱	۱	۱	۱	۳
Forced Outage Rates	۱	۱	۱	۱	۳
Forced Outage Duration	۱	۱	۱	۱	۳
Planned Outage	۱	۱	۱	۱	۳
Maintenance Outage	۱	۱	۱	۱	۳
Energy Limitation	۱	۱	۱	۱	۳
Operating Consideration	۱	۱	۱	۱	۳

جدول (۳) - حساسیت شاخصهای قطعی قابلیت اطمینان نسبت به مشخصات سیستم

مشخصات سیستم	PR M	PC M	LU	PL+L U	SC R
Demand-Side Management	۳	۳	۳	۳	۳
Emergency Operating Procedure	۱	۱	۱	۱	۳
Reliance on Ext. Interconnection	۳	۳	۳	۳	۳

۳-۳. شاخصهای احتمالاتی

حساسیت شاخصهای احتمالاتی نسبت به تغییرات مشخصات سیستم در جداول (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده اند. از اعداد جداول پیداست که شاخصهای احتمالاتی بر خلاف شاخصهای قطعی حساسیتهای متفاوتی نسبت به تغییر مشخصات بار از خود نشان می‌دهند. دلیل این حساسیتهای مختلف تعاریف مختلف این شاخصها می‌باشد. همانطور که می‌دانیم شاخص POPM از روی پیک بار سالانه، شاخصهای LOLE، Q-365 و PLOL از روی پیک بار روزانه و بقیه شاخصها نیز از روی بارهای ساعتی محاسبه می‌شوند.

در این جداول بعضی از حساسیتهای با دو عدد که از طریق علامت “/” از یکدیگر جدا شده مشخص شده اند. دلیل این نوع نمایش دادن به شرح زیر می‌باشد. بمنظور نشان دادن تاثیر روشهای تعیین قابلیت اطمینان و همچنین تعیین تاثیر تغییر مشخصات سیستم بر روی شاخصهای قابلیت اطمینان از دو روش تحلیلی و همچنین روش مونت-کارلو ترتیبی استفاده شده است. همانطور که می‌دانیم روش مونت-کارلو قادر به مدل کردن جزئیات بیشتری از سیستم مورد مطالعه نسبت به روشهای تحلیلی می‌باشد. در این مطالعه هر جا که روشهای تحلیلی و مونت-کارلو جواب یکسانی برای نشان دادن حساسیت شاخصها بدست آورده اند از یک عدد که بیانگر حساسیت شاخص نسبت به تغییر مشخصه سیستم می‌باشد استفاده شده و هر جا که این روشها به جواب یکسانی ختم نشده‌اند از دو عدد استفاده شده که این دو عدد به کمک علامت “/” از یکدیگر جدا شده اند، که عدد سمت چپ علامت از

طریق روش تحلیلی محاسبه شده و عدد سمت راست علامت نیز بکمک روش مونت-کارلو ترتیبی بدست آمده است (همانطور که از جدول دیده می‌شود مقادیر سمت راست علامت از مقادیر سمت چپ بزرگتر بوده که نشان دهنده حساسیت بیشتر روش مونت-کارلو نسبت به روشهای تحلیلی می‌باشد).

یکی دیگر از نکات جالب توجه که در این نتایج مشاهده گردید این بود که شاخصهای HLOLE و FLOL نسبت به شکل بار روزانه با درجه‌های مختلفی از خود حساسیت نشان می‌دهند. علاوه بر نتایج فوق نتایج زیر نیز در شبیه‌سازی مسئله تعیین حساسیت شاخصهای قابلیت اطمینان مشاهده گردید.

جدول (۴) - حساسیت شاخصهای احتمالاتی قابلیت اطمینان

نسبت به مشخصات بار

مشخصه سیستم	Load Factor	Load Chronology	Hourly Load Levels	Seasonal Dist. of Loads	Daily Peak	Annual Peak	شاخص
	۴	۱	۱	۵	۵	۴	LOLE
	۵	۱	۵	۴	۴	۳	HLOLE
	۵	۱	۵	۴	۴	۳	EENS
	۵	۵	۵	۴	۴	۳	FLOL
	۴	۵	۴	۳	۳	۲	DLOL
	۴	۱	۴	۳	۳	۲	XLNS
	۱	۱	۱	۱	۱	۵	POPM
	۴	۱	۱	۵	۵	۴	Q-365
	۵	۱	۵	۴	۴	۳	Q-8760
	۴	۱	۱	۵	۵	۴	PLOL
	۵	۱	۵	۴	۴	۳	PEL
	۵	۱	۵	۴	۴	۳	EIR
	۵	۱	۵	۴	۴	۳	SM

جدول (۵) - حساسیت شاخصهای احتمالاتی قابلیت اطمینان نسبت به مشخصات واحد تولید

مشخصه سیستم شاخص	MC	DCS	FOR	FOD	PO	MO	EL	OC
LOLE	۵	۵	۵	۱	۵	۳/۵	۲/۴	۱/۴
HLOLE	۵	۵	۵	۱	۵	۳/۵	۳/۵	۱/۵
EENS	۵	۵	۵	۱	۵	۳/۵	۳/۵	۱/۵
FLOL	۵	۵	۵	۵	۵	۳/۵	۳/۵	۱/۵
DLOL	۴	۴	۴	۵	۴	۳/۵	۲/۴	۱/۴
XLNS	۴	۴	۴	۱	۴	۳/۵	۲/۴	۱/۴
POPM	۵	۵	۵	۱	۵	۳/۵	۲/۳	۱/۳
Q-365	۵	۵	۵	۱	۵	۳/۵	۲/۴	۱/۴
Q-8760	۵	۵	۵	۱	۵	۳/۵	۳/۵	۱/۵
PLOL	۵	۵	۵	۱	۵	۳/۵	۲/۴	۱/۴
PEL	۵	۵	۵	۱	۵	۳/۵	۳/۵	۱/۵
EIR	۵	۵	۵	۱	۵	۳/۵	۲/۵	۱/۵
SM	۵	۵	۵	۱	۵	۳/۵	۲/۵	۱/۵

(۱) LOLE نسبت به تغییر ضریب بار حساس نمی‌باشد.

(۲) شاخصهای EENS و HLOLE نسبت به تغییر ضریب بار حساس بوده و به همان نسبت تغییر می‌نمایند.

(۳) شاخص FLOL نسبت به تغییر ضریب بار با درجه کمتری نسبت به HLOLE حساس می‌باشد.

جدول (۶) - حساسیت شاخصهای احتمالاتی قابلیت اطمینان نسبت به مشخصات سیستم

مشخصه سیستم شاخص	Demand-Side Management	Emergency Op. Procedure	Reliance on Ext. Interconnection
LOLE	۴	۴	۴
HLOLE	۵	۵	۵
EENS	۵	۵	۵
FLOL	۵	۵	۵
DLOL	۴	۴	۴
XLNS	۴	۴	۴
POPM	۳	۳	۳
Q-365	۴	۴	۴
Q-8760	۵	۵	۵
PLOL	۴	۴	۴
PEL	۵	۵	۵
EIR	۵	۵	۵
SM	۵	۵	۵

- Power Systems”, Electric power Research Institute, March.1981.
- [6] “Reliability Criterion Review”, Alberta Electric Utility Planning Council, June. 1989.
- [7] R. Billinton, “ Reliability Determination Methods”, Presented at the panel on Required Reserve Margins, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Atlanta,Georgia, Feb. 1990.
- [8] “ Overview of Planning Reliability Criteria of the Regional Reliability Councils of NERC “, NERC, 1988.
- [9] “ IEEE Reliability Test System”, IEEE trans. Vol. PAS-98, pp. 2047-2054, 1979.
- [10] C.C. Fong, “ Bulk System Reliability Measurement and Ontario Hydro Experience “, IEEE Tutorial Course: Reliability Assessment of Composite Generation and Transmission Systems, 90EH0311-1-PWR, 1990.
- [11] R. Billinton, R. Allan , “ Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques”, Longman, London/Plenum Press, New York, 1983.
- [12] R. Allan , R. Billinton , “ The IEEE Reliability Test System Evaluation of the Generating System”, IEEE Transaction on Power System, Vol.1, pp.1-7, 1986.

۴. نتیجه گیری

بمنظور ارزیابی دقیق قابلیت اطمینان یک سیستم نوعی باید شاخصهای قابلیت اطمینانی را که استفاده می‌نماییم نسبت به تغییرات مشخصات سیستم در طول بازه مورد مطالعه حساس بوده و بتوانند این تاثیر تغییر مشخصات سیستم را در نتایج بدست آمده انعکاس دهند. در این مقاله ابتدا به بیان شاخصهای قطعی و احتمالاتی قابلیت اطمینان سیستم تولید پرداختیم. سپس به توصیف مشخصات کلیدی سیستم که بر روی این شاخصها تاثیر می‌گذارند پرداخته شد. در نهایت روشهای گفته شده به سیستم تست قابلیت اطمینان IEEE اعمال شد و نتایج عددی نیز ارائه شدند. در این مقاله بمنظور نشان دادن تاثیر روشهای حل مسئله قابلیت اطمینان از دو روش تحلیلی و روش مونت-کارلو ترتیبی استفاده شده است، که نتایج شبیه‌سازی نیز نشان از دقت بالای روش مونت-کارلو ترتیبی نسبت به روشهای تحلیلی در بدست آوردن حساسیتهای شاخصهای قابلیت اطمینان نسبت به تغییر شاخصها می‌باشند.

۵. مراجع

- [1] R. Billinton, R. Allan, “Reliability Evaluation of Power Systems”, Plenum Press, New York , 1984.
- [2] J. Endrenyi, “ Reliability Modeling in Electric Power Systems”, John Wiley and Sons, 1978.
- [3] “ Alberta Electric Utility Planning Council Task Force Committee on System Reliability Studies”, reports on Design Reliability Techniques, May. 1973.
- [4] M.P.Bhavaraju ,” Generation system Reliability Evaluation”, IEEE Tutorial Course: Power System Reliability Evaluation, pp. 14-20, 1983.
- [5] EPRI EL-1773, “ Reliability Indexes for

ضمیمه

ض-۲. شاخصهای احتمالاتی قابلیت اطمینان

در تمام این روشها هدف ما یافتن احتمال ظرفیت تولیدی خارج از مدار بیش از رزرو موجود و نصب شده در سیستم می‌باشد. به عنوان مثال فرض نمایید که در یک سیستم نوعی ظرفیت نصب شده برابر ۳۴۰۰ مگاوات و همچنین پیک بار نیز برابر ۲۷۰۰ مگاوات باشد. در اینصورت رزرو سیستم برابر ۷۰۰ مگاوات خواهد شد. در شاخصهای احتمالاتی هدف ما تعیین احتمال داشتن ظرفیت تولیدی بیش از ۷۰۰ مگاوات خارج از مدار می‌باشد. چرا که در این حالت سیستم در تامین و تغذیه بار مورد تقاضا دچار مشکل خواهد شد. در ادامه به بیان شاخصهای احتمالاتی و تعاریف آنها می‌پردازیم.

ض-۲-۱. LOLE

یکی از شاخصهای بسیار متداول قابلیت اطمینان سیستم تولید، شاخص LOLE روزانه می‌باشد که گاهی اوقات نیز به آن LOLP روزانه نیز گفته می‌شود.

اندیس LOLE روزانه تعداد روزهایی را که سیستم تولید نمی‌تواند بار سیستم را تغذیه نماید برحسب تعداد روز بر کل بازه مورد مطالعه به ما می‌دهد. برای یک بازه داده شده ابتدا احتمال اینکه سیستم نتواند بار پیک روزانه را تغذیه نماید محاسبه شده و سپس این احتمالات برای کلیه روزهای سال محاسبه شده و در نهایت با جمع این احتمالات LOLE روزانه برحسب روز در سال مشخص خواهد شد.

ض-۲-۲. HLOLE

این اندیس تعداد ساعتی را که سیستم نمیتواند پیک بار ساعتی روزانه را تغذیه نماید به ما می‌دهد. در واقع این اندیس تعداد ساعتی را که بار ساعتی بیش از

ض-۱. شاخصهای قطعی قابلیت اطمینان

این شاخصها شامل : PCM, PRM, LU , $PL+LU$ و SC می‌باشند که در ادامه به توصیف هر یک از این شاخصها می‌پردازیم.

ض-۱-۱. PRM

این شاخص را می‌توان بکمک رابطه زیر توصیف کرد:
(۱) $PRM = \text{بار ماکزیمم} / (\text{ظرفیت تولید در بار ماکزیمم} - \text{بار ماکزیمم})$

ض-۱-۲. PCM

این شاخص بکمک رابطه زیر توصیف می‌شود:
(۲) $PCM = \text{ظرفیت تولید در بار ماکزیمم} / (\text{ظرفیت تولید در بار ماکزیمم} - \text{بار ماکزیمم})$

ض-۱-۳. LU

در این روش ظرفیت رزرو سیستم برابر با بزرگترین واحد سیستم تولید انتخاب میگردد. در واقع در این روش میتوان گفت که سیستم در صورت از دست دادن بزرگترین واحد تولید خود نیز توانایی حفظ قابلیت اطمینان خود را دارد.

ض-۱-۳. PL+LU

همانطور که از نام آن پیداست در این روش رزرو برحسب درصدی از بار پیک سالیانه به اضافه بزرگترین واحد تولید در سیستم تعیین می‌گردد.

ض-۱-۴. SCR

در این روش یک سری پیشامدهایی از قبل تعیین می‌گردند و رزرو به گونه ای تعیین می‌گردد که سیستم توانایی ایستادگی در برابر بروز چنین حوادثی را داشته باشد. روشهای LU و $PL+LU$ هر دو مثالهایی از این روش می‌باشند.

به اختصار به آن Duration نیز گفته می‌شود. همانطور که گفته شد FLOL تعداد دفعاتی را که در طول سال در سیستم کمبود ظرفیت تولید بوجود می‌آید را به ما می‌دهد در حالیکه DLOL بطور میانگین تعداد ساعات کمبود را در هر یک از این رخدادهای کمبود به ما می‌دهد. با توجه به مطالب بالا DLOL به ترتیب زیر محاسبه خواهد شد:

$$DLOL = (HLOLE / FLOL) \quad (5)$$

ض-۲-۶. XLNS

XLNS یک شاخص شرطی می‌باشد که مقدار کمبود ظرفیت تولید را در صورتی که کمبود ظرفیت تولید وجود داشته باشد به ما می‌دهد. در واقع XLNS به ما مقدار باری را که در هر بار کمبود تولید در یک ساعت نمی‌توان تغذیه کرد را به ما می‌دهد و لذا بدیهی است که از تقسیم EENS (کل انرژی تغذیه نشده در طی سال) بر HLOLE می‌توان XLNS را محاسبه کرد.

$$XLNS = (EENS / HLOLE) \quad (6)$$

به شاخص XLNS، XLLOL^{۲۷} و CELNS^{۲۸} نیز گفته می‌شود.

ض-۲-۸. POPM

POPM احتمال این را که بتوان پیک بار سالیانه را بطور موفقیت آمیز تغذیه نمود را تعیین می‌نماید. روند محاسبه برای آن همانند روند محاسباتی LOLE می‌باشد منتها این محاسبات فقط برای یک ساعت در سال و آن هم برای ساعت پیک بار در یک سال محاسبه می‌شود. لذا اگر بیاییم عدد یک را از این LOLE ای که برای ساعت پیک در یک سال محاسبه شده کسر نماییم به ما احتمال تغذیه موفق بار مصرفی

ظرفیت نصب شده و در دسترس سیستم تولید می‌باشد را معین خواهد کرد.

ض-۲-۳. EENS

EENS در واقع توسعه یافته HLOLE می‌باشد. روند کار بدین نحو است که در ساعاتی که سیستم با کمبود ظرفیت تولید مواجه می‌شود به محاسبه مقدار مگاوات ساعتی که بار بیش از ظرفیت تولید می‌باشد می‌پردازیم و این کار را برای کلیه ساعات سال انجام می‌دهیم و در نهایت این مگاوات ساعتها را با هم جمع می‌نماییم که نتیجه مقدار انرژی (مگاوات ساعت) ای را که سیستم نمی‌تواند در طول یک سال تغذیه نماید را به ما خواهد داد.

به اندیس EENS^{۲۴}، LOEP^{۲۴}، EUE^{۲۵} و LOEE^{۲۶} نیز گفته می‌شود.

ض-۲-۴. FLOL

در این شاخص هدف ما محاسبه تعداد دفعاتی است که سیستم با کمبود تولید (بار بیش از ظرفیت تولید در دسترس) مواجه می‌شود صرفنظر از مقدار این کمبود، می‌باشد. می‌توان FLOL را بکمک LOLE و همچنین ضریبی از HLOLE تقریب زد که روابط (۳) و (۴) روابط مورد نیاز را بدین منظور نشان می‌دهند.

$$FLOL = LOLE + (HLOLE / 36) \quad (3)$$

و یا اینکه:

$$FLOL = LOLE + (HLOLE / 8) \quad (4)$$

ض-۲-۵. DLOL

DLOL یک شاخص در کنار FLOL می‌باشد که

27. Expected Loss Of Load (XLLOL)
28. Conditional Expected Load Not Supplied (CELNS)

24. Loss Of Energy Probability (LOEP)
25. Expected Unserved Energy (EUE)
26. Loss Of Energy Expectation (LOEE)

$$EIR=1-(PEL/100) \quad (10)$$

در پیک بار سالیانه را خواهد داد.

$$LOLE \text{ محاسبه شده برای ساعت پیک سال} = 1 - POPM \quad (7)$$

ض ۲-۱۳. SM

یکی دیگر از شاخصهای قابلیت اطمینان که توسط انتریو هیدرو^{۲۹} مورد استفاده قرار می‌گیرد شاخص SM می‌باشد. در این شاخص ما تعداد دقیقی را که بارشان برابر بار ماکزیمم سالیانه بوده و ما نمی‌توانیم آنها را تغذیه نماییم به ما می‌دهد. که شکل ریاضی آن بترتیب زیر می‌باشد:

$$SM = EENS / (\text{بار ماکزیمم در یک سال}) * 60 \quad (11)$$

که برحسب دقیقه در سال بیان می‌گردد.

ض ۲-۸. Quality (Q-365)

اگر LOLE بر مبنای پیک بار روزانه محاسبه شود شاخص بدست آمده برحسب روز در سال خواهد شد.

ض ۲-۹. Quality (Q-8760)

اگر LOLE بر مبنای پیک بار ساعتی محاسبه شود شاخص بدست آمده برحسب ساعت در سال خواهد شد.

ض ۲-۱۰. PLOL

PLOL اندیسی است که به ما احتمال اینکه نتوانیم تمام بارهای پیک روزانه را تغذیه نماییم را می‌دهد. در واقع می‌توان گفت که PLOL مکمل اندیس کیفیت Q-365 می‌باشد. چرا که Q-365 به ما احتمال اینکه بتوانیم تمام بارهای پیک روزانه را تغذیه نماییم به ما می‌داد و لذا داریم؛

$$PLOL = 1 - (Q-365) \quad (8)$$

ض ۲-۱۱. PEL

PEL مقدار انرژی تغذیه نشده به کل انرژی بار سالیانه را به ما می‌دهد که برحسب درصد نیز بیان می‌گردد. به تعبیر دیگر می‌توان گفت که این اندیس سهمی از انرژی کلی بار را که به موجب کمبود تولید نمی‌توان تغذیه کرد برحسب کل انرژی مورد تقاضا در سیستم به ما می‌دهد.

$$PEL = EENS / (\text{کل انرژی بار در یک سال}) * 100\% \quad (9)$$

ض ۲-۱۲. EIR

EIR مکمل PEL بوده و به ما بخشی از کل انرژی مورد تقاضا را که سیستم می‌تواند تغذیه نماید را می‌دهد. که به شکل زیر بدست می‌آید.