

مطالعه قابلیت اطمینان یک سیستم قدرت نمونه از منظر پدافند غیرعامل

احد مختارپور

استادیار، گروه مهندسی برق، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

چکیده

قابلیت اطمینان پارامتر مهمی در ارزیابی کارایی سیستم های قدرت می باشد. با توجه به اینکه در سیستم های قدرت وقوع پیشامدهای احتمالی شدیداً محتمل می باشد پس عدم قطعیت در چنین سیستم هایی وجود خواهد داشت. از جمله پیشامدهای احتمالی، وقوع عیب های اتصال کوتاه و خروج تجهیزات می باشد. در یک سیستم قدرت تصمیم گیری های آتی، بر حسب نتایج حاصل از محاسبات قابلیت اطمینان انجام می گیرد و اطلاعات غیر دقیق می تواند باعث ناکارآمدی سیستم و یا افزایش هزینه سرمایه گذاری و یاسایر هزینه های بهره برداری گردد. در این مقاله قابلیت اطمینان یک سیستم قدرت نمونه در حضور پیشامدهای احتمالی مانند وقوع خطا و خروج تجهیزات از منظر پدافند غیر عامل انجام خواهد پذیرفت. نتایج نشان خواهد داد که درجه اهمیت کدام یک از شرایط عدم قطعیت در این سیستم، بالاتر بوده و لزوماً توجه بیشتری را معطوف خواهد کرد.

واژگان کلیدی: قابلیت اطمینان، پدافند غیر عامل، سیستم قدرت

مقدمه

با توجه به اینکه احتمال عملکرد صحیح اجزای یک سیستم قدرت بنا به ماهیت فیزیکی آن ها، دارای تابع چگالی احتمالی می باشند لذا یقیناً عدم قطعیت در عملکرد صحیح وجود خواهد داشت. فقدان یا عملکرد نادرست بخشی از شبکه قدرت برای تامین انرژی، هزینه های بالایی مرتبط با انرژی تامین نشده را به بار می آورد. از مهمترین موضوعاتی که می تواند کل چرخه تولید و توزیع تا مصرف انرژی را تحت کنترل داشته باشد، توجه به پدافند غیر عامل است که امروزه مهمترین ابزار جهت مواجهه با وقایع پیش روی احتمالی مانند خروج تجهیزات یا افزایش بی رویه مصرف می باشد. از منظر دیگر میتوان توجه به پدافند غیر عامل را روشی برای مدیریت انرژی احتمالاتی و کاهش انرژی تامین نشده دانست. ضرورت توجه به مدیریت انرژی در شرایط خروج تجهیزات با توسعه رویکرد شبکه ها بسمت افزایش قابلیت اطمینان امری ضروری است. پدافند غیرعامل که در سالهای اخیر توجه به آن بیش از پیش شده است بیانگر نگاهی واقع بینانه به سیستم هایی میباشد که در معرض ریسک های مختلف عمدی و غیر عمدی میباشند. امنیت چنین سیستمهایی قطعاً بیشتر از سیستمهای بدون ریسک دارای اهمیت میباشد. ضرورت انجام مطالعات پدافند غیر عامل در سیستم قدرت که بعنوان مجموعه ای دارای تجهیزات مختلف در مکانهای گوناگون بوده و بنا به شرایط موجود محتمل بر ریسک فراوان میباشد امری بسیار ضروری میباشد. همانگونه که ذکر شد، با توجه به اینکه در سیستمهای قدرت وقوع ریسک بسیار محتمل میباشد لذا عدم قطعیت در چنین سیستمهایی وجود خواهد داشت. انجام محاسبات قابلیت اطمینان در شبکه های قدرت از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و تصمیم گیری در محیطی با اطلاعات غیر دقیق می تواند باعث ناکارآمدی سیستم و یا افزایش هزینه سرمایه گذاری و یاسایر هزینه های بهره برداری گردد. در بخش اول معرفی از مطالعات قابلیت اطمینان صورت خواهد گرفت. بخش دوم در خصوص پدافند غیر عامل صحبت خواهد کرد. در بخش سوم شاخص های پر کاربرد قابلیت اطمینان و نحوه محاسبه آنها مرور خواهد گردید. بخش چهارم مربوط به شبیه سازی سیستم نمونه با در نظر گرفتن پارامترهای لازم می باشد. نهایتاً در بخش پنجم نتیجه گیری مقاله تدوین خواهد شد.

پدافند غیر عامل

شرایط اقتصادی و اجتماعی کنونی حاکم بر عملکرد سیستم های قدرت نسبت به چند دهه پیش تغییرات قابل ملاحظه ای کرده است. در فواصل سالهای ۱۹۴۵ تا اواخر دهه ۱۹۶۰ طراحی نیروگاه های تولید انرژی و تجهیزات مربوط به آنها از پایداری نسبتاً زیادی برخوردار بوده است. چرا که تقاضای مصرف پایین بوده و تولید انرژی براحتی جوابگوی تقاضای مصرف کنندگان بودند. همچنین به دلیل اینکه شبکه های برق همانند امروزه وسعت فیزیکی نداشتند لذا کمتر در معرض آسیب های فیزیکی مانند سقوط درختان بودند. اواخر دهه ۸۰ تورم و افزایش سرسام آور در قیمت نفت باعث صعود ناگهانی هزینه های تولید گردید و نیز افزایش تقاضا برای انرژی الکتریکی پیش بینی آینده سیستم های قدرت را با مشکل مواجه کرده بود. از دیگر سو مشکلات زیست محیطی نیز دست به دست هم دادند تا کشورهای مختلف فکر استفاده از انرژی های تجدید پذیر بیفتند. در اندک زمانی استفاده از انرژی هسته ای، باد و انرژی خورشیدی برای تولید انرژی الکتریکی متداول گشت. ورود این نیروگاههای تولیدی به سیستم های قدرت، سیستم ها را از نظر قابلیت اطمینان و امنیت با مشکلات عدیده ای مواجه ساخت. بنابراین ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت اهمیت ویژه ای پیدا کرد و امروزه نیز یکی از فاکتورهای مهم طراحی سیستم های قدرت، قابلیت اطمینان این سیستم ها می باشد. ارزیابی قابلیت اطمینان با آسیب های مرتبط با هر منطقه و مدیریت اضطراری آن ها در ارتباط می باشد. ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم های قدرت را می توان به دو بخش کلی کفایت و امنیت سیستم تقسیم کرد. کفایت سیستم مربوط به وجود تسهیلات و تجهیزات با کارایی بالا است که نیازمندی های مصرف

کنندگان و محدودیت های عملکرد سیستم را برآورده می کند. عبارت دیگر کفایت مربوط به وضعیت استاتیکی سیستم است. امنیت سیستم مربوط به توانایی پاسخگویی سیستم به اغتشاشاتی است که در سیستم بروز می کند. بنابراین امنیت شامل بررسی دینامیکی سیستم می باشد.

روش تحقیق

ارزیابی قابلیت اعتماد سیستم قدرت توسط شاخص های مربوطه که استاندارد IEEE آنها را معرفی نموده، انجام می شود. این پارامترها در مطالعات قابلیت اطمینان اهمیت ویژه ای دارند که عبارتند از متوسط نرخ خرابی λs با واحد سال/خطا، متوسط زمان خاموشی r_s با واحد ساعت و متوسط زمان خاموشی سالیانه U_s با واحد سال/ساعت. آنچه مسلم است، این است که این پارامترها نمی توانند به تنهایی تعیین کننده وضعیت و رفتار سیستم باشند. از اینرو به جهت اهمیت ویژه خروج سیستم از حالت عملکرد که می تواند حجم بسیار بالایی از قطعی ها را ایجاد نماید، شاخص های مختلفی مطرح می گردند و هر کدام از این شاخص ها از زاویه ای خاص به سیستم می نگرند و با اجماع این شاخص ها با دقت بیشتری می توان قابلیت اطمینان سیستم توزیع را مورد ارزیابی قرار داد. این شاخص ها در سال ۱۹۹۸ توسط کمیته انتقال و توزیع انجمن مهندسين قدرت IEEE در قالب استاندارد (Ieee-Std 1366-1399) بصورت تکمیل شده ارائه گردید. شاخص متوسط فراوانی قطع برق سیستم (SAIFI) که توسط رابطه (۱) مشخص می گردد.

$$SAIFI = \frac{\text{کل تعداد قطعی های مشترکین}}{\text{کل تعداد مشترکین}} = \frac{\sum_i^n \lambda_i N_i}{\sum_i^n N_i} \quad (1)$$

شاخص متوسط فراوانی قطع برق مشترک (CAIFI) توسط رابطه (۲) تعیین می شود.

$$CAIFI = \frac{\text{کل تعداد قطعی های مشترکین}}{\text{کل تعداد مشترکین تحت تاثیر}} \quad (2)$$

شاخص متوسط مدت قطع برق سیستم (SAIDI) که مطابق رابطه (۳) محاسبه میگردد.

$$SAIDI = \frac{\text{مجموع زمانهای قطعی مشترکین}}{\text{کل تعداد مشترکین}} = \frac{\sum_i^n U_i N_i}{\sum_i^n N_i} \quad (3)$$

این شاخص بر حسب مشترک/ساعت مطرح می شود و بیانگر زمان متوسط قطع برق هر مشترک در دوره زمانی مورد مطالعه است.

شاخص متوسط مدت قطع برق مشترک (CAIDI) که توسط رابطه (۴) مشخص می شود.

$$CAIDI = \frac{\text{مجموع زمانهای قطعی مشترکین}}{\text{کل تعداد قطعی های مشترکین}} = \frac{\sum_i^n U_i N_i}{\sum_i^n \lambda_i N_i} \quad (4)$$

در این شاخص متوسط زمان خاموشی هر مشترک به ازای هر بار قطع برق مد نظر قرار می گیرد.

شاخص متوسط دسترس پذیری به سرویس (ASAI) و بر طبق روابط (۵) و (۶) تعیین می شود.

$$ASAI = \frac{\text{ساعات دسترس پذیری به سرویس مشترک}}{\text{ساعات تقاضای مشترک}} = \frac{\sum_i^n N_i * 8760 - \sum_i^n U_i N_i}{\sum_i^n N_i * 8760} \quad (5)$$

این شاخص میزان دسترسی مشترکین به انرژی برق را بصورت درصد بیان می کند.

$$ASAI = 1 - \frac{SAIDI}{8760} \quad (6)$$

شاخص متوسط عدم دسترسی پذیری به سرویس (ASUI) توسط روابط (۷) و (۸) تعیین می گردد.

$$ASUI = \frac{\text{ساعات عدم دسترسی پذیری مشترک به سرویس}}{\text{ساعات تقاضای مشترک}} = \frac{\sum_i^n U_i N_i}{\sum_i^n N_i * 8760} \quad (7)$$

شاخص ASUI میزان عدم دسترسی مشترکین به انرژی برق را به صورت درصد بیان می کند. اگر شاخص SAIDI را بصورت ساعات خاموشی سالیانه مورد بررسی قرار دهیم، شاخص ASUI بر حسب SAIDI به صورت زیر بیان می شود:

$$ASUI = \frac{SAIDI}{8760} \quad (8)$$

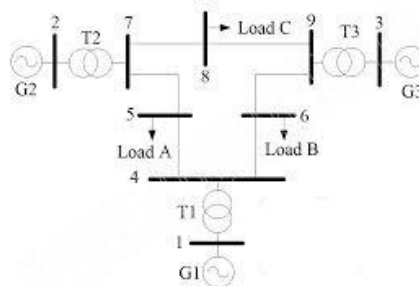
شاخص انرژی تامین نشده (ENS) بر طبق رابطه (۹) قابل محاسبه است.

$$ENS = \text{کل انرژی تامین نشده بوسیله سیستم} = \sum_i^n L_{ai} U_i \quad (9)$$

$L_{a(i)}$ مقدار متوسط بار در نقطه i ام است. شاخص ENS میزان (KWh) انرژی فروخته نشده به مشترکین را به نشان می دهد.

شبیه سازی

در این بخش به بررسی و تحلیل مطالعات قابلیت اطمینان در شبکه ۹ شینه پرداخته می شود. این شبکه از ۳ ژنراتور و سه بار که در یک سیستم انتقال حلقوی قرار گرفته اند تشکیل شده است. شکل (۱) نشانگر سیستم قدرت ۹ باسه جهت شبیه سازی می باشد. توان ظاهری مبنا ۱۰۰ مگا وولت آمپر و فرکانس شبکه ۵۰ هرتز در نظر گرفته شده است. جدول (۱) اطلاعات مربوط به باس های شبکه را نشان می دهد. مطابق جدول باس های ۱، ۲ و ۳ باس های تولید هستند که باس ۱ بعنوان باس اسلک با ولتاژ ۱/۰۴ پریونیت انتخاب شده است. باس های ۲ و ۳ بصورت کنترل شده (PV) با ولتاژ ۱/۰۲۵ در نظر گرفته شده اند. همچنین باس های ۴ تا ۹ نیز باس PQ یا همان باس بار انتخاب شده اند. اطلاعات مربوط به خطوط شبکه به صورت پریونیت در جدول (۲) آمده است. اطلاعات نرخ خروج و زمان تعمیرات تجهیزات در جدول (۳) و اطلاعات تعداد مشترکین در جدول (۴) مشخص شده است.



شکل (۱) سیستم قدرت ۹ باسه

جدول (۱): مشخصات سیستم ۹ شین IEEE

ولتاژ نامی (کیلو ولت)	تولید راکتیو (مگا وار)	تولید اکتیو (وات)	توان راکتیو بار (مگا وار)	توان اکتیو بار (مگا وات)	ولتاژ (پریونیت)	نوع باس	شماره باس
۱۶/۵	۱/۰۴	۳	۱

۲	۲	۱/۰۲۵	۰	۰	۱۶۳	۰	۱۸
۳	۲	۱/۰۲۵	۰	۰	۸۵	۰	۱۳/۸
۴	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۲۳۰
۵	۰	۱	۱۲۵	۵۰	۰	۰	۲۳۰
۶	۰	۱	۹۰	۳۰	۰	۰	۲۳۰
۷	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۲۳۰
۸	۰	۱	۱۰۰	۳۵	۰	۰	۲۳۰
۹	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۲۳۰

جدول (۲): اطلاعات خطوط شبکه ۹ شین IEEE

از باس	به باس	مقاومت (پریوینت)	راکتانس (پریوینت)	سوسپتانس (پریوینت)
۱	۴	۰	۰/۰۵۷۶	۰
۲	۷	۰	۰/۰۶۲۵	۰
۳	۹	۰	۰/۰۲۸۶	۰
۴	۵	۰/۰۱	۰/۰۸۵	۰/۱۷۶
۴	۶	۰/۰۱۷	۰/۰۹۲	۰/۱۵۸
۵	۷	۰/۰۳۲	۰/۱۶۱	۰/۳۰۶
۶	۹	۰/۰۳۹	۰/۱۷	۰/۳۵۸
۷	۸	۰/۰۸۵	۰/۰۷۲	۰/۱۴۹
۸	۹	۰/۰۱۱۹	۰/۱۰۰۸	۰/۲۰۹

جدول (۳): اطلاعات نرخ خروج و زمان تعمیرات

تجهیز	نرخ خروج اجباری (بر سال)	زمان تعمیرات (ساعت)
خطوط	۰/۰۱	۱۰
ترانس ها	۱	۱۰

جدول (۴): اطلاعات تعداد مشترکین

نقطه بار	تعداد مشترک
A	۱۰۰۰
B	۲۰۰۰
C	۳۰۰۰

جدول (۵): بخشی از نتایج حاصل از مطالعات قابلیت اطمینان در شبکه ۹ باسه

وضعیت	انرژی تامین نشده بار A (سال/مگا وات ساعت)	انرژی تامین نشده بار B (سال/مگا وات ساعت)	انرژی تامین نشده بار C (سال/مگا وات ساعت)
حالت نرمال	۱۵۰۰۰	۱۰۸۰۰	۱۲۰۰۰
خروج خط ۱	۳۷۵۶۲/۴۹	۱۰۸۰۹	۲۰۰۳۰

خروج خط ۲	۱۵۰۱۲/۵	۱۰۸۰۹	۲۰۰۳۰
خروج خط ۳	۱۵۰۱۲/۵	۱۰۸۰۹	۲۰۰۳۰
خروج خط ۴	۱۵۰۱۲/۵	۱۰۸۰۹	۲۰۰۳۰
خروج خط ۵	۱۵۰۱۲/۴۹	۱۰۸۰۸/۹۹	۲۲۰۲۹/۹۸
خروج خط ۶	۱۵۰۱۲/۵	۲۷۰۴۵	۲۲۰۳۰
خروج ترانس ۱	۱۵۰۰۰	۱۰۸۰۰	۱۲۰۰۰
خروج ترانس ۲	۱۵۰۰۰	۱۰۸۰۰	۱۲۰۰۰
خروج ترانس ۳	۱۴۹۹۹/۹۹	۱۰۷۹۹/۹۹	۱۲۰۰۰

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور شناسایی پیشامدهای احتمالی خروج خطوط و ترانس ها محاسبات قابلیت اطمینان در سیستم نه با سه صورت گرفته است. بر اساس نتایج ملاحظه میگردد که در شرایط خروج تجهیزات، کاهش قابلیت اطمینان شبکه را شاهد خواهیم بود. بر این اساس خروج هایی که با قطع آنها بیشترین کاهش قابلیت اطمینان ایجاد خواهد شد در رتبه بالاتری قرار گرفته و به عنوان پیشامد های بحرانی تر شناسایی میشوند. بنابراین با رتبه بندی ذکر شده برنامه ریزان سیستم قدرت می توانند اقداماتی را به منظور ایجاد راهکارهای پیشگیرانه و اصلاحی در جهت برنامه ریزی و توسعه سیستم به کار برند؛ آنچنانکه از بروز خاموشی های گسترده در شبکه جلوگیری شود. قابل ذکر اینکه در صورت عدم امنیت سیستم قدرت در اثر ایجاد وقفه ها امکان ایجاد مشکلاتی از قبیل اضافه بارهای بیش از حد مجاز که باعث آسیب رساندن به تجهیزات می شود، که به دلیل گران بودن تجهیزات فشار قوی بسیار هزینه بر است و همچنین خاموشی کامل که به دلیل وقفه های متوالی ایجاد می شود، هزینه عدم فروش برق را به دنبال دارد. مشکلاتی از این قبیل باعث می شوند که امنیت سیستم قدرت جزء جدا نشدنی از بهره برداری سیستم های قدرت شود. با توجه به گسترش روز افزون شبکه قدرت و عدم امکان طراحی دوباره تجهیزات ضرورت تحلیل قابلیت اطمینان بسیار ضروری به نظر می رسد. زیرا هنگامی که یک شبکه طراحی می شود این شبکه برای ساختار حاضر مناسب است و تمهیدات حفاظتی آن برای سیستم حاضر می باشد، اما با وقوع قطعی خطوط و واحدهای تولیدی دیگر این شبکه امنیت گذشته را نخواهد داشت و باید در بهره برداری های جدید امنیت سیستم قدرت نیز منظور شود.

منابع

- [1] Al-Muhaini, M. and G.T. Heydt, A Novel Method for Evaluating Future Power Distribution System Reliability. 2015: p. 3018-3027.
- [2] G.T.Heyd, Thenextgenerationofpowerdistributionsystem. 2015. 1: p. 225–235.
- [3] El-Khattam, W. and M.M.A. salama, Distributed generation technology, definition and benefits , Electric Powers System Research 71 2014: p. 119-128.
- [4] Achermann, T., G. Anderson, and L. Soder, Distributed generation: a definition, Electric Powers System Research 57. 2011: p. 195-204.
- [5] Geidl, M ,Protection of power system with distributed generation: state of art, power system laboratory, Swiss federal institute of technology (ETH) Zurich. 2015.
- [6] Jenkins, N., et al., Embedded Generation, First Edition, Published by IET, London, United Kingdom .2016.
- [7] Barker, p.p. and R.W.d. Mello, Determining the impact of distributed generation on power systems: part I-radial distribution systems. 2014: p. 1645- 1656.
- [8] Dhople, S.V., Y.C. Chen, and A.D. Domínguez-García, A Set-Theoretic Method for Parametric Uncertainty Analysis in Markov Reliability and Reward Models. 2015: p. 1-29.
- [9] ANTHONY, M., et al., Critical operations power systems: Improving risk assessment in emergency facilities with reliability engineering. 2013: p. 14-21.
- [10] Oukili, M., M.E. hafyani, and M. Seddik, Evaluation of the Moroccan Power Grid Adequacy with Introduction of Concentrating Solar Power (CSP) Using Solar Tower and Parabolic Trough Mirrors Technology. 2015. 42: p. 114-122.



- [11] Hong, Y. and T. Yu, Reliability Improvement Strategies for HVDC Transmission System. 2015. 5: p. 52-56.
- [12] Lei, H., C. Singh, and A. Sprintson, Reliability Modeling and Analysis of IEC 61850 Based Substation Protection Systems. 2015: p. 1-9.
- [13] Ge, S., et al., Reliability Assessment of Active Distribution System Using Monte Carlo Simulation Method. 2014: p. 1-10.
- [14] Reddy, S.C., P.V.N.Prasad, and A.J. Laxmi, Reliability Improvement of Distribution System: A Hybrid Approach Based on GA and NN. 2013(6): p. 4-9.
- [15] Yang, Q., et al., Short Term Reliability Evaluation of Transmission System under Strong Wind and Rain. 2015: p. 665-672.
- [16] Hajian-Hoseinabadi, H., M.E.H. Golshan, and H.A. Shayanfar, Composite automated distribution system reliability model considering various automated substations .2014 .pp. 211-220.