

ارزیابی قابلیت اطمینان پست به روش مینیمال کات ست و برنامه ریزی خطی

علی پاک نژاد^۱، حسین قسوری^۲

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، alipaknejad92@gmail.com

^۲دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان، ghasvari70@gmail.com

چکیده - امروزه تأمین برق مورد نیاز مشترکین با هزینه معقول و درجه قابلیت اطمینان مناسب، از اهمیت زیادی برخوردار است. ارزیابی قابلیت اطمینان پست ها یکی از مهمترین وظایف سیستم قدرت جهت اطمینان از پست های تغذیه کننده اصلی می باشد که خطاها می تواند تاثیر قابل توجهی در سیستم های انتقال و توزیع داشته باشد. نتایج این مطالعات می تواند برای برنامه ریزی و طراحی پست ها جهت بهینه سازی و کاهش هزینه های سرمایه گذاری در ارتباط با بهبود عرضه قابلیت اطمینان در نظر گرفته شود. روش های موجود جهت تعیین شاخصه های قابلیت اطمینان پست ها دارای کاستی و خطا و محدودیت هایی در محاسبات می باشند که در این مقاله با تعیین مینیم کات ست های مربوط به تغذیه هر یک از بارها برای چند مدل پست فوق توزیع پر کاربرد، مطالعات ارزیابی قابلیت اطمینان به روش برنامه ریزی خطی صورت گرفته و نتایج مربوط به هر پست به صورت مجزا ارائه شده است.

کلید واژه : قابلیت اطمینان پست، برنامه ریزی خطی، کات ست

۱-مقدمه :

ریاضی و نوشتن برخی معادلات موجود میان حالت های کاری مختلف سیستم، سعی در بدست آوردن قابلیت اطمینان بخش های مختلف شبکه می شود.

روش دوم روش شبیه سازی می باشد. در این روش معمولاً حالات کار مختلف سیستم بوسیله روش های خاصی مدلسازی شده و بدون اینکه احتیاج به روابط ریاضی پیچیده باشد می توان قابلیت اطمینان شبکه و بخش های مختلف آن را تعیین کرد.

۲- روش مینیم کات ست :

این روش یکی از قویترین روش های محاسبه قابلیت اطمینان سیستم ها می باشد که به دو دلیل معمولاً از آن استفاده می شود : الف) این روش به راحتی قابلیت تبدیل به نرم افزارهای کامپیوتری را داشته و بصورت یک روش سریع و پر بازده در شبکه های عمومی می تواند بکار رود.

ب) در این روش کات ست ها مستقیماً به مدهای خرابی سیستم مرتبط می باشند بنابراین الگوهای مشخص و معینی برای حالت های خرابی سیستم بدست خواهد آمد. [3]

وظیفه اصلی شبکه قدرت، تأمین برق مورد نیاز مشترکین با هزینه معقول و درجه قابلیت اطمینان مناسب می باشد. رابطه مستقیم بین هزینه و قابلیت اطمینان باعث انجام بهینه سازی توسط بهره بردار شبکه قدرت به منظور یافتن نقطه بهینه هزینه و قابلیت اطمینان شده است. ارزیابی کیفی قابلیت اطمینان پست جهت برنامه ریزی سیستم و عملکرد تجهیزات بسیار با اهمیت می باشد. در سیستم های فشارقوی تعیین و تاثیر انواع خطاهای موجود در پست ناشی از طراحی و عملکرد تجهیزات بسیار با اهمیت می باشد. [1]

معمولاً روش های ارزیابی قابلیت اطمینان به دو دسته کلی تقسیم بندی می شود: [2]

الف) روش تحلیلی

ب) روش شبیه سازی

در روش تحلیلی با استفاده از یکسری تکنیک ها و روش های خاص، سعی می شود تا ارتباط بخش های گوناگون سیستم بصورت معادلات ریاضی بیان گردد. اصولاً با استفاده از تکنیک های

۳- الگوریتم مطالعات قابلیت اطمینان در پست‌ها به روش

برنامه ریزی خطی :

الگوریتم عمومی مطالعات قابلیت اطمینان پست در شکل زیر نشان داده شده است.



۴- روابط ریاضی محاسبات :

پس از تعیین کات‌ست‌ها، نوبت به محاسبه قابلیت اطمینان هر کات‌ست می‌رسد که این محاسبات بر حسب پارامترهای تجهیزات دخیل در هر کات‌ست می‌باشد. در ادامه به اختصار به نحوه محاسبه قابلیت اطمینان کات‌ست‌ها می‌پردازیم. [4]

در محاسبات پست، پارامترهای قابلیت اطمینان هر تجهیز از جمله تجهیز i عموماً بصورت نرخ خرابی λ_i (f/yr) و متوسط زمان تعمیر Tr_i (hrs/f) مشخص می‌شود. بر اساس این دو پارامتر، متوسط زمان خروج تجهیز در یک سال بصورت رابطه زیر بدست می‌آید.

$$U_i = \lambda_i \times Tr_i$$

که واحد U_i بر حسب (hrs/yr) خواهد بود.

برای کات‌ست‌های مرتبه اول که شامل تنها یک تجهیزاند بدیهی است پارامترهای کات‌ست یعنی λ_c ، Tr_c و U_c (که به ترتیب نرخ وقوع، متوسط دوره زمانی هر بار وقوع و متوسط زمان وقوع در یک سال می‌باشند) با پارامترهای متناظر تجهیز آن کات‌ست برابر می‌باشند. شایان ذکر است، در صورتی که عملکرد سیستم توسط عملیات مانور و سوئیچینگ اصلاح گردد Tr_c برابر با زمان سوئیچینگ لحاظ می‌شود.

برای کات‌ست‌های مرتبه دوم که شامل دو تجهیز i و j است پارامترهای کات‌ست یعنی λ_c ، Tr_c و U_c (که به ترتیب نرخ وقوع، متوسط دوره هر بار وقوع و متوسط زمان وقوع در یک سال) می‌باشند بصورت زیر محاسبه می‌شوند :

$$\lambda_c = \lambda_i \times \lambda_j \times (Tr_i + Tr_j)$$

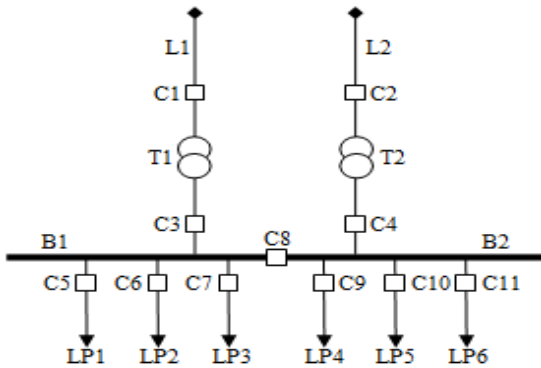
$$T_c = \frac{Tr_i \times Tr_j}{Tr_i + Tr_j}$$

$$U_c = \lambda_c \times T_c = \lambda_i \times \lambda_j \times Tr_i \times Tr_j$$

نهایتاً بایستی برای یک نقطه بار، که کات‌ست‌های آن لیست شده و برای هر یک، پارامترهای مربوطه محاسبه شده است، شاخص‌های قابلیت اطمینان محاسبه گردد.

۲۰۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

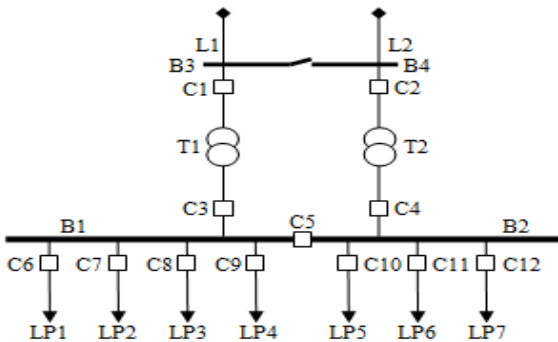
این محاسبات از طریق روابط ذیل می باشد:



شکل ۱- نمودار تک خطی پست های فوق توزیع بدون
باسبار ۶۳kV

۵-۲- قابلیت اطمینان در پست های با باسبار ساده و سکسیونر
کوپلاژ و دو خط ورودی (تغذیه کننده پست) و بدون بی خط:

نمودار تک خطی این نوع پست در شکل زیر ارائه شده است.
لازم به ذکر است که سکسیونر کوپلاژ باسبار ۶۳ کیلو ولت این
پست، معمولاً در حالت عادی باز است.



شکل ۲- نمودار تک خطی پست های فوق توزیع با
باسبار ساده با سکسیونر کوپلاژ و دو خط ورودی
(تغذیه کننده پست) و بدون بی خط

$$\lambda_{Total} = \sum_c \lambda_c$$

$$U_{Total} = \sum_c U_c$$

$$Tr_{Total} = \frac{U_c}{\lambda_c}$$

۵- ساختار پست های فوق توزیع :

معیارهای مقایسه ساختار پست ها و تقسیم بندی آن ها موارد
ذیل را شامل می گردد:

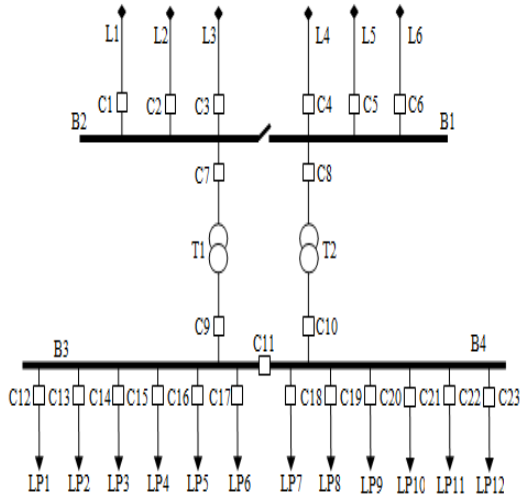
- ۱- شکل باسبار
 - ۲- تعداد فیدرهای تغذیه کننده پست مورد نظر
 - ۳- تجهیزات نصب شده بر روی خطوط ورودی و کوپلاژ باسبار
- لازم به ذکر است که در تعیین ساختار پست ها ملاک تعداد
فیدرهای ورودی یا خروجی به پست نبوده و صرفاً فیدرهای
تغذیه کننده پست لحاظ گردیده است.
انواع پست های فوق توزیع به ترتیب ذیل دسته بندی
گردیده اند:

- ۱- بدون باسبار ۶۳ kV
- ۲- باسبار ساده با سکسیونر کوپلاژ و دو خط ورودی (تغذیه
کننده پست) و بدون بی خط
- ۳- باسبار نوع U با سکسیونر کوپلاژ با ۲ خط ورودی (تغذیه
کننده پست) و بدون بی خط
- ۴- باسبار دوبل یا نوع H با سکسیونر کوپلاژ با تعداد ۴ یا ۶ خط
ورودی (تغذیه کننده پست)
- ۵- باسبار اصلی- فرعی (Main & Transfer)

۵-۱- قابلیت اطمینان پست های بدون باسبار ۶۳ kV :

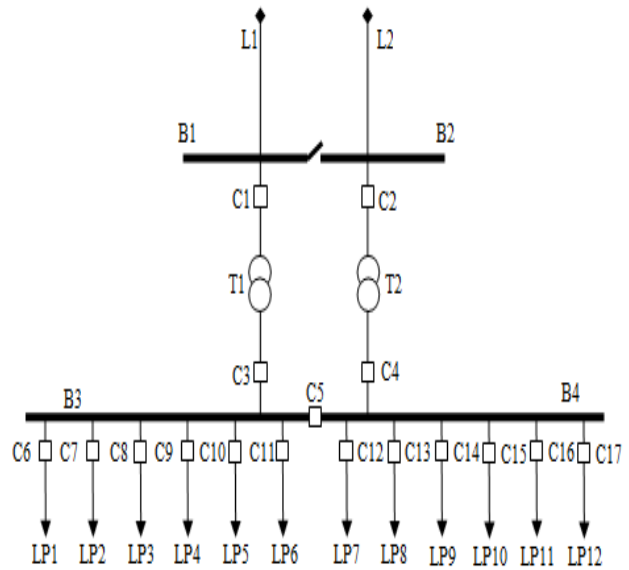
نمودار تک خطی این نوع پست در شکل زیر ارائه شده است.

۲۰۱۳ و ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)



۳-۵- قابلیت اطمینان در پست های با باسبار نوع U و سکسیونر کوپلاژ باز و دو خط ورودی (تغذیه کننده پست) بدون بی خط:

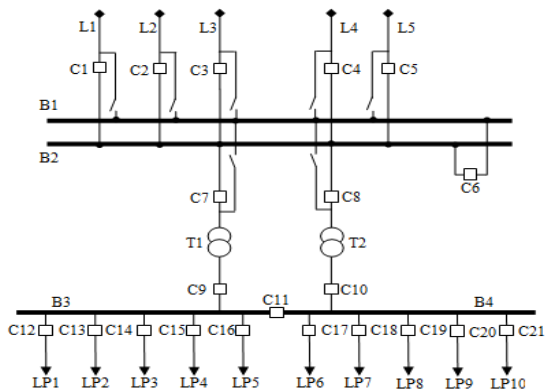
نمودار تک خطی این نوع پست در شکل زیر ارائه شده است. لازم به ذکر است که سکسیونر کوپلاژ باسبار ۶۳ کیلو ولت این پست، معمولاً در حالت عادی باز است.



شکل ۴- نمودار تک خطی پست های فوق توزیع با باسبار دو بل یا نوع H با سکسیونر کوپلاژ ۴ یا ۶ خط ورودی (تغذیه کننده پست) دارای بی کامل

۵-۵- قابلیت اطمینان در پست های با باسبار اصلی - فرعی (Main & Transfer):

نمودار تک خطی این نوع پست در شکل زیر ارائه شده است. لازم به ذکر است که کلید کوپلاژ باسبار ۶۳ کیلو ولت این پست، معمولاً در حالت عادی باز است.



شکل ۳- نمودار تک خطی پست های فوق توزیع با باسبار نوع U با سکسیونر کوپلاژ باز و دو خط ورودی (تغذیه کننده پست) بدون بی خط

۴-۵- باسبار دو بل یا نوع H با سکسیونر کوپلاژ ۴ یا ۶ خط ورودی (تغذیه کننده پست) دارای بی کامل:

نمودار تک خطی این نوع پست در شکل زیر ارائه شده است. لازم به ذکر است که سکسیونر کوپلاژ باسبار ۶۳ کیلو ولت این پست در حالت عادی باز است.

شکل ۵- نمودار تک خطی پست های فوق توزیع با باسبار اصلی - فرعی

۶- تحلیل نتایج پست های فوق توزیع :

جدول ۱- رده بندی فیدرهای پست های مختلف را از نقطه نظر تعداد قطعی در سال ارائه می کند.

ردیف	نوع پست	شماره فیدر	نرخ قطعی (f/yr)
۱	باسبار اصلی - فرعی	1-10	1.9546
۲	باسبار دو بل یا نوع H با سکیونر کوپلاژ	1-12	1.0579
۳	باسبار U با سکیونر کوپلاژ باز و دو خط ورودی بدون بی خط	1-12	1.0477
۴	باسبار ساده با سکیونر کوپلاژ و دو خط ورودی و بدون بی خط	1-4	0.7856
۵	پست بدون باسبار	1-6	0.6556

۷- نتیجه گیری :

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود، فیدرهای پست با ساختار باسبار اصلی - فرعی بیشترین نرخ قطعی را دارند. دلیل اصلی این نرخ قطعی بالا تعداد زیاد خطوط ورودی پست است که با خطا در کلید هر یک از این خطوط کلیه فیدرهای پست قطع شده و به مدت زمان کلیدزنی و خروج تجهیز معیوب دچار خاموشی می شوند. نکته دیگری که از بررسی نتایج جدول بالا بر می آید ارتباط مستقیم نرخ قطعی با تعداد فیدرهای متصل به باسبار است. بدین ترتیب که با افزایش تعداد فیدرهای مشترک در یک باسبار، نرخ قطعی هر یک از این فیدرها افزایش می یابد. نکته دیگر اینکه، فیدرهای متصل به پست هایی که خطوط ورودی آنها بدون بی بوده اند از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردارند.

در مواردی که تعدد ترمینال های متصل به یک باسبار منجر به کاهش قابلیت اطمینان می گردد، استفاده از باسبارهای تقسیم شده با سکیونر یا کلید راهکاری منطقی می باشد. با تقسیم کردن باسبارها توسط کلید و یا سکیونر، تعداد ترمینال های متصل به یک باسبار کاهش می یابد.

با توجه به تعداد بالای پست های فوق توزیع و برای اجتناب از تکرار مطالعات برای پست های با ساختار یکسان، پست های مذکور در ۵ دسته تقسیم بندی شده و مطالعات برای هر دسته به طور مجزا انجام گرفت. شایان ذکر است که تقسیم بندی مذکور با توجه به ساختار باسبار، تعداد فیدرهای تغذیه کننده پست و تجهیزات نصب شده بر روی خطوط ورودی و کوپلاژ باسبار صورت پذیرفت.

در این قسمت، شاخص های محاسبه شده برای فیدرهای بار در هر یک از پست های پنج گانه مورد استفاده قرار گرفته و مقایسه ساختارهای موجود از نظر ارزیابی قابلیت اطمینان بررسی می گردد. این مقایسه مبنایی جهت رتبه بندی این ساختارها فراهم کرده و می تواند بمنظور اولویت بندی اصلاح ساختارهای موجود و همچنین طراحی پست های جدید بکار گرفته شود. متوسط دوره زمانی قطعی کلیه فیدرها در پست های مختلف در بازه ۶/۴۲ و ۶/۲۲ ساعت در سال قرار دارد که در این بین، ۶/۱۱ ساعت در سال به خرابی کلید ابتدای فیدر مربوط می گردد. توجه گردد که مقدار خروج ۶/۱۱ ساعت در سال کلید از حاصل ضرب نرخ خرابی کلید برابر با ۰/۱۳ در طول دوره قطعی ۴۷ ساعت بدست می آید. با توجه به نتیجه مذکور، ساختار پست و تعداد فیدرهای متصل به هر پست بر روی متوسط دوره زمانی قطعی هر فیدر تأثیر ناچیزی دارد. یکی از دلایل اصلی این امر، زمان کم کلیدزنی در مقابل زمان تعمیر تجهیزات می باشد که سهم خرابی المان های غیر از کلیدهای ابتدای فیدرها را به میزان قابل توجهی می کاهش دهد. بنابر مطالب فوق، از مقایسه متوسط دوره زمانی قطعی فیدرهای پست های مختلف صرف نظر می شود.

۲۰۱۳ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

همچنین، استفاده از کلید در مقایسه با سکسیونر بهبود بیشتری در قابلیت اطمینان ترمینال‌های متصل به پست را به همراه خواهد داشت.

باتوجه به انواع آرایش پست‌های فوق توزیع، پست‌های بدون باسبار قابلیت اطمینان بالاتری دارند، اما از قدرت مانور و توسعه پایین تری برخوردارند و پیشنهاد می‌شود که این نوع پست‌ها در انتهای مسیر شبکه‌های انتقال احداث شوند.

در پست‌هایی که ساختار آنها به صورت حلقوی است و امکان مانور آنها افزایش یافته، از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردارند که نسبتاً هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری را افزایش و پایداری شبکه قدرت را بهبود می‌دهند.

مراجع :

- [1] wenyuan Li , Wangde W, Tache A, Choudhury P. Evaluating substation reliability using a Combined State enumeration and linear programming method . Power and Energy Society General Meeting , IEEE 2013 : 1-5 .
- [2] Billinton R, Allan R.N. 1996. Reliability Evaluation of Power Systems, Plenum Press, New York, 634p
- [3] Wang F, Tuinema BW, Gibescu M. Reliability Evaluation of Substations Subject to Protection System Failures. PowerTech , IEEE 2013 Grenoble : 1-6 .
- [4] Allan R.N, Billinton R, Lee S.H.1984. Bibliography On The Application Of Probability Methods In Power System Reliability Evaluation. IEEE Transactions, February 1984, pp. 275-282.
- [5] Duan DL, Xiao-Yue Wu, Deng HZ.. Reliability evaluation in substations considering operating conditions and failure modes. Power Delivery, IEEE Transactions 2012 : 1-8.