

تعیین ناحیه آسیب پذیری به منظور پیش بینی کاهش ولتاژ

علیرضا جلیلیان

jalilian@iust.ac.ir

مهدی پشآبادی

mpashaabadi@iust.ac.ir

قطب علمی اتوماسیون و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت

دانشگاه علم و صنعت ایران

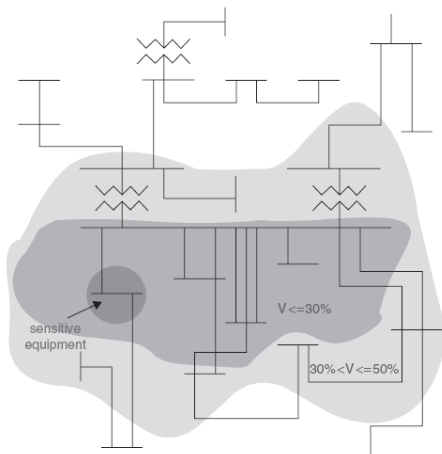
چکیده- مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری بارهای حساس به منظور برآورد تعداد کاهش ولتاژهای رخ داده در سیستم ضروری است. در این مقاله یک روش سریع که ناحیه آسیب پذیری بارهای حساس را در شبکه‌های حلقوی مشخص می‌کند، ارائه می‌شود. عموماً ناحیه آسیب پذیری بوسیله تحلیل اتصال کوتاه در تعداد زیادی از نقاط سیستم مانند شین‌ها و خط‌ها مشخص می‌شود. چنین روشی در شبکه های حلقوی بزرگ غیر عملی به نظر می‌رسد. معادلات اندازه کاهش ولتاژ و پرش فاز ناشی از وقوع خطا در خط بوسیله روش ایجاد ماتریس امیدانس بدست می‌آید. با استفاده از معادلات بدست آمده برای کاهش ولتاژ، ناحیه آسیب پذیری می‌تواند بدون استفاده از تحلیل اتصال کوتاه مشخص شود. به منظور تسهیل در انجام محاسبات مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری، یک روش سریع و کارآمد عددی نیز ارائه شده است. روش یاد شده برای مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری سه بار حساس ناشی از خطای سه فاز در شبکه ۳۰ شینه IEEE بکار گرفته شده است.

کلید واژه- برآورد کمبود ولتاژ، ناحیه آسیب پذیری، ماتریس امیدانس، خطاهای متقارن

۱- مقدمه

روش برای ارزیابی سیستم های شعاعی به کار می‌رود ولی برای شبکه های حلقوی قابل استفاده نیست [4,5]. در روش‌های معمول vulnerability evaluation مانند موقعیت‌های خطا تعداد زیادی خطا در جاهای مختلف شبیه سازی می‌شود و بوسیله آنالیز اتصال کوتاه و مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری فرکانس وقوع کاهش ولتاژ برآورد می‌شود. دقت این روشها به محل خطاهای شبیه سازی شده و تعداد خطا بستگی دارد. به دلیل نیاز به تعداد زیاد شبیه سازی خطا این روش در شبکه های بزرگ ناکارآمد می‌باشد. ناحیه آسیب پذیری شبیه به exposed area و همسایگی الکتریکی معرفی شده در مراجع [4,7] است. عموماً فرکانس کاهش ولتاژ بوسیله ضرب نرخ خرابی اجزای سیستم در ناحیه آسیب پذیری در طول ظاهری کل به کیلومتر بدست می‌آید. بنابراین برای برآورد فرکانس کاهش ولتاژ در یک بار حساس لازم است ناحیه آسیب پذیری آن بار بدقت مشخص شود. یافتن نقاط حساس (محل خطا) که باعث کاهش ولتاژ کمتر از یک آستانه مشخص در یک بار حساس می‌شود برای مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری ضروری است. اطلاعات مورد نیاز در این روش ماتریس امیدانس شبکه و

کاهش ولتاژ یک کاهش کوتاه مدت در مقدار موثر ولتاژ است. به طور کلی مقدار کاهش می‌تواند با مقدار $0/1$ تا $0/9$ pu و مدت زمان از نیم سیکل تا ۱ دقیقه باشد. کاهش ولتاژ معمولاً به وسیله خطاهایی که در شبکه انتقال و توزیع رخ می‌دهد ایجاد می‌شود. کاهش ولتاژ لحظه ای ناشی از خطاهای گذرا در سیستم قدرت باعث خطا و وقفه در عملکرد دستگاههای حساس می‌شود که می‌تواند باعث اختلال در تجهیزات مصرف کنندگان شود. با گسترش استفاده از وسایل الکترونیکی حساس در مصرف کنندگان صنعتی، تلفات مالی و تولیدی ناشی از کاهش ولتاژ نیز در حال افزایش است و همچنین تامین کنندگان انرژی با مسائل پیچیده‌ای در رابطه با کیفیت توان روبرو شده‌اند [1-4]. وقوع کاهش ولتاژ در سیستم قدرت می‌تواند به صورت آماری پیش بینی شود. دو روش آماری (روش فاصله بحرانی و موقعیت های خطا) برای برآورد تعداد کاهش ولتاژهای مورد انتظار (فرکانس کاهش ولتاژ) سیستم قدرت تاکنون ارائه شده است. روش فاصله بحرانی یک راه ساده برای پیش بینی کاهش ولتاژ براساس مقسم ولتاژ است. عموماً این

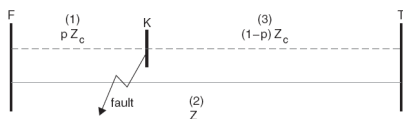


شکل ۱. نمایش ناحیه اغتشاش

مشخص باشد. عناصر قطری ماتریس امیدانس، امیدانس اتصال کوتاه و عناصر غیر قطری امیدانسهای انتقال نامیده می‌شوند. فرض کنید که شین m یک شین با بار حساس است. ولتاژ شین m حین خطا در اثر یک خطای سه فاز در نقطه k با معادله (۱) نشان داده می‌شود.

$$V_m^{fault} = V_m - Z_{mk} \frac{V_k}{Z_{kk}} \quad (1)$$

که V_m^{fault} ولتاژ شین m حین خطا می‌باشد. V_k ولتاژ نقطه خطا قبل از وقوع خطا است و Z_{kk} امیدانس اتصال کوتاه محل خطا و Z_{mk} امیدانس انتقال بین نقطه خطا و شین m می‌باشد. برای یافتن رابطه بین محل خطا و مقدار کاهش ولتاژ این معادله باید توسعه یابد. امیدانس اتصال کوتاه نقطه خطا روی یک خط بوسیله الگوریتم تشکیل ماتریس امیدانس محاسبه می‌شود. این الگوریتم در اکثر کتابهای مرجع سیستمهای قدرت یافت می‌شود [8]. روش ذکر شده براساس شکل ۲ است. امیدانس اتصال کوتاه نقطه خطای k که بر روی خط $F-T$ اتفاق افتاده است می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود. پارامتر p نسبت فاصله نقطه خطا از یک سر خط به طول کل خط می‌باشد ($0 \leq p \leq 1$).



شکل ۲. وقوع اتصال کوتاه بر روی خط

یک خط جدید با امیدانس pZ_c بین شین F و محل خطا K اضافه کنید Z_c امیدانس خط بین شین F و T می‌باشد.

خط اصلی را با اضافه کردن یک خط با امیدانس Z_c بین

ولتاژ شینه‌های سیستم است. از محاسن این روش این است که با هر گونه تغییر در توپولوژی شبکه و تغییرات محدود بار سازگار است و ماتریس امیدانس اصلاح خواهد شد. با استفاده از این روش میتوان میزان آسیب پذیری یک شینه را نسبت به خطاهای محتمل در نقاط مختلف سنجید و در صورت وجود مشکل برای رفع آن اقدام کرد، اما کاربرد آن بعنوان حفاظت عملی بنظر نمیرسد. این مقاله یک روش سریع برای مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری در سیستمهای حلقوی، ارایه می‌دهد. معادله کاهش ولتاژ ناشی از خطا در طول خط با استفاده از روش تشکیل ماتریس امیدانس برای یافتن نقاط بحرانی روی یک خط فرمول بندی می‌شود. در بخش دوم نحوه محاسبه معادلات مقدار کاهش ولتاژ و پرش زاویه شرح داده می‌شود. در بخش سوم یک روش سریع و کارآمد عددی نیز برای مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری معرفی و در بخش چهارم در مورد شبکه ۳۰ شین IEEE به کار گرفته و صحت عملکرد آن در محیط برنامه نویسی نرم افزار MATLAB تست می‌شود.

۲- ناحیه آسیب پذیری و محاسبه کاهش ولتاژ

۲-۱- ناحیه آسیب پذیری برای یک بار حساس

مفهوم ناحیه آسیب پذیری یک بار، برای ارزیابی احتمال قرار گرفتن یک بار حساس در معرض یک ولتاژ کمتر از آستانه ولتاژ مشخص مفید است. سطح ولتاژ به عنوان حداقل مقدار ولتاژ یک وسیله که بتواند بدون خطا و یا عملکرد نادرست کار کند تعریف می‌شود [1]. ناحیه آسیب پذیری برای بارهای حساس به صورت قسمتی از شبکه که خطا در آن باعث ایجاد کاهش ولتاژ کمتر از یک آستانه مشخص می‌شود، تعریف می‌شود. شکل ۱ یک مثال از ناحیه آسیب پذیری را برای یک دستگاه در سمت مصرف کننده نشان می‌دهد. هنگامی که خطا در هر جایی در ناحیه تیره رخ دهد دستگاه در معرض کاهش ولتاژ قرار خواهد گرفت.

۲-۲- بدست آوردن معادلات مقدار کاهش ولتاژ

محاسبه مقدار کاهش ولتاژ و پرش فاز برای یک شینه با بار حساس یک نیاز اساسی برای برآورد کاهش ولتاژ است. برای این محاسبات، امیدانس اتصال کوتاه نقاط، امیدانسهای انتقال نقاط، ولتاژ قبل از خطا و مقدار امیدانس خطا باید

$$|V_m^{fault}|^2 = \frac{[\operatorname{Re}(D)p^2 + \operatorname{Re}(E)p + \operatorname{Re}(F)]^2 + [\operatorname{Im}(D)p^2 + \operatorname{Im}(E)p + \operatorname{Im}(F)]^2}{[\operatorname{Re}(A)p^2 + \operatorname{Re}(B)p + \operatorname{Re}(C)]^2 + [\operatorname{Im}(A)p^2 + \operatorname{Im}(B)p + \operatorname{Im}(C)]^2} \quad (6)$$

که در این رابطه

$$\begin{aligned} A &= Z_{FF} + Z_{TT} - 2Z_{FT} - Z_C \\ B &= Z_C - 2(Z_{FF} - Z_{FT}) \\ C &= Z_{FF} \\ D &= V_m A - (V_T - V_F)(Z_{mT} - Z_{mF}) \\ E &= V_m B - \{Z_{mF}(V_T - V_F) + V_F(Z_{mT} - Z_{mF})\} \\ F &= V_m C - Z_{mF} V_F \end{aligned}$$

مقدار کاهش ولتاژ ناشی از خطا در طول خط می‌تواند مستقیماً از معادله ۶ محاسبه شود و متعاقباً نقطه بحرانی P_c برای مقدار کاهش ولتاژ داده شده می‌تواند با دقت خوبی محاسبه شود. برای مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری بارهای حساس، معادله ۶ باید برای تمام خطوط شبکه به کار رود. طول ظاهری کل می‌تواند از حاصل جمع این طولهای بحرانی خطوط بدست آید. پرش زاویه فاز یکی از مشخصه های کاهش ولتاژ است. برخی از تجهیزات به پرش زاویه فاز نیز علاوه بر کاهش مقدار ولتاژ حساسند. پرش زاویه فاز به صورت تغییر ناگهانی زاویه فاز ولتاژ قبل و بعد از وقوع خط تعریف می‌شود. پرش زاویه فاز $\phi_{m,jump}$ در شین m از معادله ۵ به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\phi_{m,jump} = \tan^{-1} \left[\frac{\operatorname{Im}(V_m)(G_1 G_3 + G_2 G_4) - \operatorname{Re}(V_m)(G_2 G_3 + G_1 G_4)}{\operatorname{Re}(V_m)(G_1 G_3 + G_2 G_4) - \operatorname{Im}(V_m)(G_2 G_3 + G_1 G_4)} \right] \quad (7)$$

که در این رابطه

$$\begin{aligned} G_1 &= \operatorname{Re}(D)p^2 + \operatorname{Re}(E)p + \operatorname{Re}(F) \\ G_2 &= \operatorname{Im}(D)p^2 + \operatorname{Im}(E)p + \operatorname{Im}(F) \\ G_3 &= \operatorname{Re}(A)p^2 + \operatorname{Re}(B)p + \operatorname{Re}(C) \\ G_4 &= \operatorname{Im}(A)p^2 + \operatorname{Im}(B)p + \operatorname{Im}(C) \end{aligned}$$

۳- مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری

۳-۱- روش سریع یافتن نقاط حساس

معادله پایانی به صورت یک معادله درجه ۴ است. ریشه های معادله جبری درجه چهار را می‌توان با استفاده از روش

شینهای F و T حذف کنید.

یک خط جدید با امپدانس $(1-p)Z_C$ بین نقطه خطا k و شین T اضافه کنید. امپدانس اتصال کوتاه نقطه خطا را با معادله درجه دوم زیر می‌توان نشان داد.

$$Z_{kk} = (Z_{FF} + Z_{TT} - 2Z_{FT} - Z_C)p^2 + \{Z_C - 2(Z_{FF} - Z_{FT})\}p + Z_{FF} \quad (2)$$

که Z_{ff} امپدانس اتصال کوتاه شین F و Z_{TT} امپدانس اتصال کوتاه شین T و Z_{FT} امپدانس انتقال بین شینهای F و T است. امپدانس انتقال نقطه خطا و شین m به صورت زیر است:

$$Z_{mk} = Z_{mF} + (Z_{mT} - Z_{mF})p \quad (3)$$

که Z_{mF} امپدانس انتقال بین نقطه خطا و شین F و Z_{mT} امپدانس انتقال بین نقطه خطا و شین T است. ولتاژ نقطه خطا قبل از وقوع خطا به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V_k = V_F + (V_T - V_F)p \quad (4)$$

که V_F ولتاژ قبل از خطا در شین F و V_T ولتاژ قبل از خطا در شین T است. ولتاژ شین m حین خطا ناشی از خطا در طول خط F-T به سادگی از معادله ۵ محاسبه می‌شود. اگر امپدانس خطا صفر نباشد ولتاژ حین خطا با افزودن این امپدانس به امپدانس Z_{kk} محاسبه می‌شود.

$$V_m^{fault} = V_m - \frac{[Z_{mF} + (Z_{mT} - Z_{mF})p] \times \frac{V_F + (V_T - V_F)p}{Z_{kk}}}{Z_{kk}} \quad (5)$$

در سیستمهای حلقوی بزرگ برای محاسبه ولتاژ حین خطا با استفاده از معادله ۵، لازم است که مقادیر ماتریس امپدانس توالی مثبت و همچنین ولتاژهای سیستم قبل از خطا مشخص باشد. به خاطر اینکه ماتریس امپدانس تنک نیست حافظه و قدرت محاسبات زیادی برای محاسبه آن نیاز است. این مشکل با استفاده از روش جداسازی LU ماتریس های ادمیتانس تنک قابل حل است. اگر شبکه تغییر نکند جداسازی LU فقط یک بار استفاده می‌شود. عناصر ماتریس امپدانس توالی مثبت می‌تواند با جایگزینی پیش رو و پس رو ماتریس های LU محاسبه شود. در پایان معادله مقدار کاهش ولتاژ در شین m به صورت زیر بدست می‌آید.

$f(p)$: مقدار کاهش ولتاژ از معادله ۶

P_{end} و P_{from} دو مقدار اولیه

شرط همگرایی: $|f(p_{new}) - V_{threshold}^2| < tolerance$

$$P_{new} = P_{end} - \frac{\{f(p_{end}) - V_{threshold}^2\}(P_{end} - P_{from})}{f(p_{end}) - f(p_{from})}$$

$$P_{from} = P_{end}$$

$$P_{end} = P_{new}$$

۳-۲- روش یافتن ناحیه آسیب پذیری

ناحیه آسیب پذیری یک بار بصورت زیر تعیین می شود.

۱- به منظور محاسبه ولتاژهای قبل از خطا پخش بار انجام دهید.

۲- روش جداسازی LU را برای ماتریس ادمیتانس توالی مثبت به کار ببرید.

۳- عناصر ماتریس امپدانس توالی مثبت را محاسبه کنید.

۴- معادله ۶ را با استفاده از مراحل ۱ تا ۳ تشکیل دهید.

۵- مقدار کاهش ولتاژ را در $p=0$ و $p=1$ از معادله (۶) حساب کنید. مقدار کاهش ولتاژ در $p=0$ و $p=1$ مقدار کاهش ولتاژ در حین خطا در دو انتهای خط است. اگر آستانه ولتاژ بار حساس کمتر از مقدار کاهش ولتاژ در حالت $p=0$ و $p=1$ باشد هیچ نقطه بحرانی روی خط وجود ندارد و الگوریتم را از مرحله ۳ به بعد برای خط بعدی تکرار کنید. اگر سطح آستانه ولتاژ بار حساس بیشتر از مقدار کاهش در حالت $p=0$ و $p=1$ باشد به مرحله بعدی بروید.

۶- مقدار کاهش ولتاژ را برای $p=0.5$ از معادله ۶ حساب کنید.

۷- درونیایی مرتبه دو را با استفاده از مقادیر کاهش ولتاژ در $p=0$ و $p=0.5$ و $p=1$ انجام دهید. اگر مقدار آستانه ولتاژ بین مقادیر کاهش ولتاژ در حالت های $p=0$ و $p=1$ بود به مرحله ۹ بروید. اگر مقدار آستانه ولتاژ بیشتر مقدار کاهش ولتاژ در $p=0$ و $p=1$ بود به مرحله بعد بروید.

۸- $p_{i,max}$ ، نقطه متناظر با حداکثر معادله درونیایی را برای $0 \leq p_{i,max} \leq 1$ پیدا کنید و مقدار کاهش ولتاژ را در

فراری (Ferrari) دست آورد. به کار بردن این روش برای تمام خطوط شبکه کار زمانبر و کسالت آوری است. مقدار ریشه های تقریبی را می توان به سادگی با روشهای عددی بدست آورد. معادله مقدار کاهش ولتاژ از معادلات ۵ و ۶ شبیه به یک منحنی محدب درجه دو است براساس این شباهت نتایج زیر قابل استنباط است:

اگر آستانه ولتاژ بار حساس کمتر از مقدار کاهش ولتاژ در دو سر خط باشد ناحیه آسیب پذیری بار حساس شامل هیچ یک از نقاط روی خط نمی شود.

اگر آستانه ولتاژ بار حساس بیشتر از حداکثر مقدار معادله ۶ برای $0 \leq p \leq 1$ باشد، خط مذکور در ناحیه آسیب پذیری بار حساس قرار دارد.

اگر آستانه ولتاژ بار حساس مقداری مابین مقدار کاهش ولتاژ در نقاط $p=0$ و $p=1$ باشد. در این صورت یک نقطه بحرانی بر روی خط وجود دارد و یک قسمت از این خط در ناحیه آسیب پذیری قرار دارد. چنین خطی، خط ناحیه مرزی نامیده می شود [3].

اگر آستانه ولتاژ بار حساس کمتر از مقدار ماکزیمم معادله ۶ و بیشتر از مقدار کاهش ولتاژ به ازای $p=0$ و $p=1$ باشد در این صورت دو نقطه بحرانی بر روی خط وجود دارد و دو قسمت از خط در ناحیه آسیب پذیری قرار دارد.

نقطه بحرانی PC را می توان با استفاده از روشهای عددی مختلف بدست آورد. در اینجا درونیایی مرتبه دو و روش سکانت را به کار گرفته می شود [9,10]. به منظور یافتن نقاط بحرانی با استفاده از روش سکانت لازم است که مقادیر حدس اولیه به جواب نزدیک باشد. برای تعریف مقادیر حدس اولیه از روش درونیایی لاگرانژ مرتبه دو استفاده می کنیم. روش لاگرانژ به سادگی توسط کامپیوتر قابل پیاده سازی است و مقادیر مناسبی از معادله ۶ را بدست می دهد. معادله درونیایی را به صورت $V_{threshold} = ap_i + bp_i + c$ در نظر بگیرید. ریشه ها به سادگی با استفاده از معادلات درجه دو بدست می آید. حدسهای اولیه را می توان نزدیک ریشه های معادله درونیایی در نظر گرفت. متناسب ساختن روش سکانت برای حل معادله ضروری می باشد. الگوریتم روش سکانت در اینجا به صورت زیر است:

نقطه $p_{i\max}$ از معادله ۶ پیدا کنید. این مقدار کاهش ولتاژ به عنوان مقدار ماکزیمم معادله ۶ برای $0 \leq p \leq 1$ در نظر بگیرید. برای یافتن سریع نقطه بحرانی از خطای درونیابی در نقطه ماکزیمم معادله درونیابی و همچنین معادله ۶ صرفنظر می‌شود. اگر آستانه ولتاژ بیشتر از ماکزیمم مقدار کاهش ولتاژ بود یا جواب معادله درونیابی صفر یا منفی بود، خط مورد نظر رادر ناحیه آسیب پذیری منظور کنید و مرحله ۳ به بعد را برای خط بعد تکرار کنید. اگر ولتاژ آستانه کمتر از مقدار ماکزیمم و بیشتر از مقدار کاهش ولتاژ برای $p=0$ و $p=1$ بود آنگاه دو نقطه بحرانی بر روی خط وجود دارد.

۹- ریشه های معادله درونیابی را محاسبه کنید و دو مقدار حدس اولیه را مشخص کنید. فرض کنید ریشه معادله P_{ic} باشد، دو مقدار حدس اولیه را می‌توان به صورت $p_{ic} + \Delta p$ و $p_{ic} - \Delta p$ یا p_{ic} تعریف کنید.

۱۰- نقطه بحرانی p_c با استفاده از روش سکانت و معادله ۶ محاسبه کنید.

۱۱- مرحله سه بعد را برای سایر خطوط باقیمانده تکرار کنید.

۱۲- نقاط بحرانی را رسم کنید و ناحیه آسیب پذیری را مشخص کنید.

$$I_f = \frac{V_k}{Z_{kk0} + Z_{kk1} + Z_{kk2} + 3Z_{fault}} \quad (7)$$

که در این رابطه V_k ولتاژ نقطه خطا قبل از وقوع خطا، Z_{fault} امپدانس خطا و $Z_{kk0}, Z_{kk1}, Z_{kk2}$ بترتیب امپدانس اتصال کوتاه توالی صفر، مثبت و منفی نقطه خطا است. آنگاه به طور مثال با صرفنظر از اتصالات ترانسفورماتورها، ولتاژ فاز a از شینه m از این سیستم تابعی از p خواهد بود که به صورت معادله (۸) نمایش داده می‌شود:

$$V_{ma}(p) = V_m^{(0)} + V_m^{(1)} + V_m^{(2)} \quad (8)$$

$$= (-Z_{mk}^{(0)} I_f^{(0)}) + (V_m - Z_{mk}^{(1)} I_f^{(1)}) + (-Z_{mk}^{(2)} I_f^{(2)})$$

که در این رابطه تمامی جریانها و امپدانسها تابعی از p هستند. در این شرایط برای بدست آوردن ناحیه آسیب پذیری شینه m با ولتاژ آستانه $V_{threshold}$ ، باید معادله $V_{threshold}^2 = |V_m(p)|^2$ برای تمامی خطوط شبکه حل شود. با جایگذاری این معادله در الگوریتم مذکور در

روندنمای مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری در شکل ۳ نشان داده شده است. اگر معادلات درونیابی خطوط شبکه معلوم باشد، ناحیه آسیب پذیری بارهای حساس با آستانه ولتاژهای متفاوت را می‌توان به سادگی بدون بدست آوردن مجدد معادله ۶ مشخص کرد.

۳-۳- چگونگی تعیین ناحیه آسیب پذیری برای خطاهای نامتقارن

در این قسمت معادله فروافتادگی ولتاژ ناشی از خطاهای نامتقارن در طول خط با استفاده از روش تشکیل ماتریس امپدانسهای توالی صفر و مثبت و منفی برای یافتن نقاط بحرانی روی یک خط فرمول بندی می‌شود. در این روش امپدانس وقوع خطا نیز در نظر گرفته می‌شود و از این لحاظ محدودیتی وجود ندارد و شرایط را می‌توان واقعی در نظر گرفت. از دیگر ویژگیهای این روش در نظر گرفتن اتصالات

۳-۳-۱- مرحله سه بعد را برای سایر خطوط باقیمانده تکرار کنید.

۳-۳-۲- نقاط بحرانی را رسم کنید و ناحیه آسیب پذیری را مشخص کنید.

۳-۳-۳- چگونگی تعیین ناحیه آسیب پذیری برای خطاهای نامتقارن

در این قسمت معادله فروافتادگی ولتاژ ناشی از خطاهای نامتقارن در طول خط با استفاده از روش تشکیل ماتریس امپدانسهای توالی صفر و مثبت و منفی برای یافتن نقاط بحرانی روی یک خط فرمول بندی می‌شود. در این روش امپدانس وقوع خطا نیز در نظر گرفته می‌شود و از این لحاظ محدودیتی وجود ندارد و شرایط را می‌توان واقعی در نظر گرفت. از دیگر ویژگیهای این روش در نظر گرفتن اتصالات

پذیری قرار می‌گیرند و ۱۶ خط بیرون از ناحیه آسیب پذیری قرار می‌گیرند. ۱۲ خط یک نقطه بحرانی دارند و خط ۱۶-۱۲ دو نقطه بحرانی دارد که دو قسمت آن در ناحیه آسیب پذیری شکل ۵ قرار دارد.

روندنامی شکل ۳ ناحیه آسیب پذیری هر فاز به صورت جداگانه مشخص خواهد شد. شایان ذکر است که خطای درونیایی مرتبه دوم در این حالت نسبت به خطای درونیایی معادله ناحیه آسیب پذیری ناشی از خطاهای سه فاز اندکی بیشتر خواهد بود. لذا لازم است که برای نیل به پاسخ دقیق الگوریتم سکانت تا دو یا سه تکرار اجرا شود.

۴- مطالعه موردی

سیستم مورد مطالعه در این مقاله شبکه تست ۳۰ شین IEEE است که در شکل ۳ نشان داده شده است. این سیستم شامل ۳۰ شینه، ۴ ترانسفورماتور، ۳۷ خط، ۶ ژنراتور و ۲۱ بار است. تلورانس همگرایی در اینجا 10^{-5} در نظر گرفته شده است. مشخصات هر مطالعه موردی در جدول ۲ و نتایج حاصل در جدول ۳ آمده است. در این جدول وضعیت هر یک از خطوط شبکه نسبت به ناحیه آسیب پذیری هر شینه مشخص شده است. هر یک از خطوط یا در ناحیه آسیب پذیری قرار دارد، یا در خارج ناحیه و یا اینکه بخشی از آن در ناحیه آسیب پذیری قرار دارد که در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۲. مشخصات مطالعات موردی

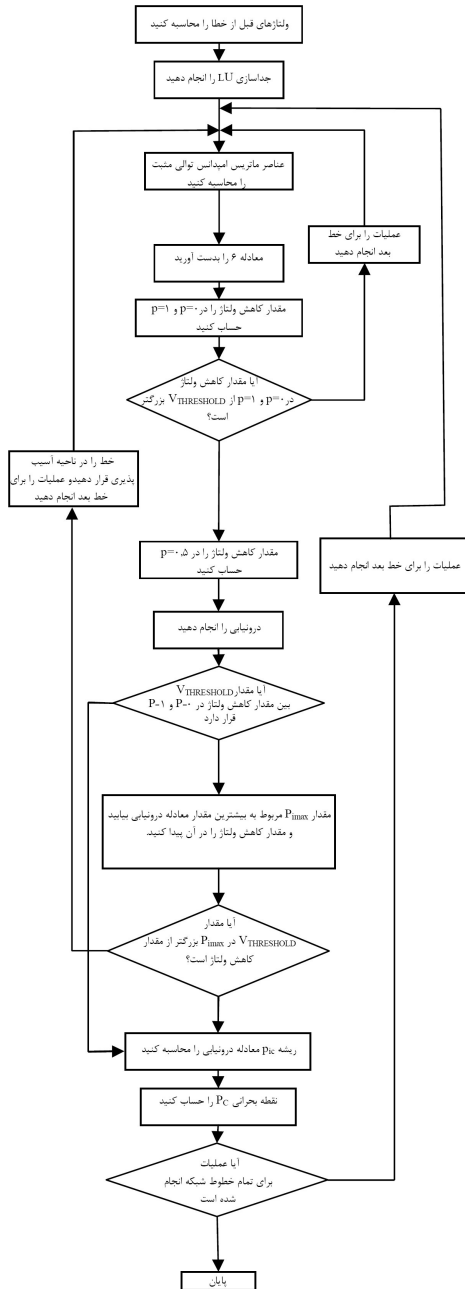
آستانه ولتاژ (pu)	شین حساس	
۰.۵	۴	۱
۰.۳	۱۷	۲
۰.۴۲	۲۰	۳

۴-۱- ناحیه آسیب پذیری شین ۴

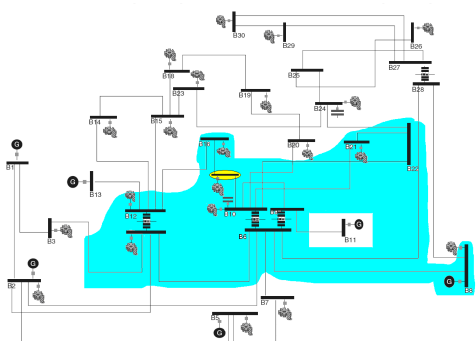
در این قسمت شینه ۴ به عنوان بار حساس با آستانه ولتاژ ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. ناحیه آسیب پذیری شین ۴ توسط روش یاد شده بدست می‌آید. در پایان ۱۳ خط در ناحیه آسیب پذیری قرار می‌گیرند و ۱۵ خط بیرون از ناحیه آسیب پذیری هستند. ۹ خط هر کدام یک نقطه بحرانی دارند که این نقاط بحرانی پس از یک یا دو تکرار بدست می‌آیند. شکل ۴ ناحیه آسیب پذیری شین ۴ را نشان می‌دهد.

۴-۲- ناحیه آسیب پذیری شین ۱۷

شین ۱۷ به عنوان بار حساس با آستانه ولتاژ ۰/۳ پرونیوت در نظر گرفته می‌شود. در پایان ۸ خط در ناحیه آسیب



شکل ۳. روندنامی مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری



شکل ۵. ناحیه اغتشاش ناشی از خطای سه فاز در شین ۱۷

۴-۳- ناحیه آسیب پذیری شین ۲۰

شین ۲۰ به عنوان بار حساس با آستانه ولتاژ ۰/۴۲ در نظر گرفته می شود. در پایان ۲۰ خط در ناحیه آسیب پذیری قرار می گیرند و هفت خط خارج از ناحیه آسیب پذیری هستند. هشت خط یک نقطه بحرانی دارند. خط ۳-۱ و ۲۸- ۸ دو نقطه بحرانی دارند که در جدول ۳ نشان داده شده است.

است ناحیه آسیب پذیری را بدون استفاده از آنالیز مکرر اتصال کوتاه و در مدت زمان بسیار کمتر در نقاط مختلف شبکه مشخص کند. از ویژگیهای دیگر این روش در نظر گرفتن امپدانس خطا، اتصالات ترانسفورماتورها و تاثیر آن بر ولتاژهای توالی ناشی از خطا و نحوه زمین شدن ترانسفورماتورها و تاثیر آن بر نحوه انتقال مولفه توالی صفر جریان و ولتاژ است. با استفاده از این روش میتوان تاثیر عوامل مختلف مانند حذف برخی از خطوط شبکه، تغییرات بار و نصب خازن را جداگانه بررسی کرد. این روش در این روش برای ارزیابی کاهش ولتاژ در شبکه بزرگ مفید و کارآمد است.

مراجع

- [1] Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Santoso, S., and Beaty, H.W. Electrical power systems quality, McGraw-Hill, New York, 2nd edn, pp. 43–59, 2002
- [2] Park C.H. and Jang G. "Fast method to determine an area of vulnerability for stochastic prediction of voltage sags", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib, Vol. 152, No. 6, November 2006
- [3] Myo T.A., Milanovic J.V., and Gupta, C.P., "Propagation of Asymmetrical sags and the influence of boundary crossing lines on Voltage-sag prediction", IEEE Trans. Power Deliv., vol 19, (4), pp. 1819–1827, 2004
- [4] Qader, M.R., Bollen, M.H.J., and Allan, R.N. "Stochastic prediction of voltage sags in a large transmission system", IEEE Trans. Ind. Appl., vol 35, (1), pp. 152–162, 2001
- [5] IEEE Std. 493-1997: "Recommended practice for the design of reliable industrial and commercial power system", pp. 149–182, 1998
- [6] Bollen, M.H.J. "Fast assessment methods for voltage sags in distribution systems", IEEE Trans. Ind. Appl., vol 32, (6), pp. 1414–1423, 1996
- [7] Olguin, G., and Bollen, M.H.J. "Stochastic assessment of unbalanced voltage dips in large transmission systems". Proc. Of IEEE Conf. on Power Technology, Bologna, Italy, 23–26, pp. 8–15, June 2003
- [8] Grainger, J.J., and Stevenson, W.D. Jr. "Power system analysis", McGraw-Hill, Singapore, pp. 283–310, 1994
- [9] Fausett, L.V. "Applied numerical analysis using MATLAB" Prentice Hall, USA, pp. 48–57, 1999
- [10] Atkinson, K. "Elementary numerical analysis", Wiley, New York, 1985

جدول ۳. نتایج مطالعات موردی

area of vulnerability					
line	from	to	For bus 4	For bus 17	For bus 20
1	1	2	in	out	entire
2	1	3	in	out	$0 \leq P \leq 0.2539$, $0.4805 \leq P \leq 1.1773$
3	2	4	in	$0.8290 \leq P \leq 1$	entire
4	3	4	in	$0.3074 \leq P \leq 1$	entire
5	2	5	in	out	$0 \leq P \leq 0.2970$
6	2	6	in	$0.7347 \leq P \leq 2$	entire
7	4	6	in	in	entire
8	5	7	in	out	$0.8264 \leq P \leq 1$
9	6	7	in	$0 \leq P \leq 0.4717$	entire
10	6	8	in	in	entire
11	9	11	$0 \leq P \leq 0.1803$	$0 \leq P \leq 0.1964$	$0 \leq P \leq 0.4846$
12	9	10	in	in	entire
13	12	13	$0 \leq P \leq 0.2611$	$0 \leq P \leq 0.1168$	$0 \leq P \leq 0.7002$
14	12	14	$0 \leq P \leq 0.1418$	$0 \leq P \leq 0.0510$	$0 \leq P \leq 0.3897$
15	12	15	$0 \leq P \leq 0.4090$	$0 \leq P \leq 0.1380$, $0.7948 \leq P \leq 1$	entire
16	12	16	$0 \leq P \leq 0.2557$	$0 \leq P \leq 0.2217$	entire
17	14	15	out	out	$0.6177 \leq P \leq 1$
18	16	17	out	in	entire
19	15	18	out	out	entire
20	18	19	out	out	entire
21	19	20	out	out	entire
22	10	20	$0 \leq P \leq 0.1708$	$0 \leq P \leq 0.4501$	entire
23	10	17	$0 \leq P \leq 0.5166$	in	entire
24	10	21	$0 \leq P \leq 0.5487$	in	entire
25	10	22	$0 \leq P \leq 0.2483$	in	entire
26	21	22	out	in	entire
27	15	23	out	out	$0 \leq P \leq 0.5936$
28	22	24	out	$0 \leq P \leq 0.1962$	$0 \leq P \leq 0.9454$
29	23	24	out	out	no area
30	24	25	out	out	no area
31	25	26	out	out	no area
32	25	27	out	out	no area
33	27	29	out	out	no area
34	27	30	out	out	no area
35	29	30	out	out	no area
36	8	28	$0 \leq P \leq 0.9958$	$0 \leq P \leq 0.0192$	$0 \leq P \leq 0.4642$, $0.5999 \leq P \leq 1$
37	6	28	in	$0 \leq P \leq 0.7103$	entire

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک روش سریع برای مشخص کردن ناحیه آسیب پذیری بارهای حساس ناشی از انواع خطاهای متقارن و نامتقارن در شبکه های حلقوی ارائه شد. همچنین، درونمایی مرتبه دو و روش سکانت برای پیدا کردن نقاط بحرانی بکار گرفته شد. همچنین صحت عملکرد آن بر روی شبکه ۳۰ شینه IEEE نشان داده شده است. این روش قادر