

محاسبه جریان اتصال کوتاه شبکه‌های توزیع فشار ضعیف به کمک مدل چهار امپدانس

رضا ابراهیمی صادق جمالی احمد غلامی عبدا... بابایی

reza_abraimi@ee.iust.ac.ir sjamali@iust.ac.ir gholami@iust.ac.ir abdollah_babae@ee.iust.ac.ir

دانشگاه علم و صنعت

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های فشار ضعیف، امپدانس خطوط هوایی و زیرزمینی،

خطاهای نامتقارن، جریان‌های اتصال کوتاه

چکیده

بررسی قرار گرفته شده است. استفاده از این مدل و به‌کارگیری ماتریس‌های وابسته به هم، سبب کاهش زیاد حجم محاسبات و در نتیجه افزایش سرعت این روش شده است. به‌کمک روابط بیان شده و با استفاده از نرم افزار Matlab، برنامه‌ای جهت محاسبه جریان اتصال کوتاه، مشخص نمودن شاخه‌های حامل جریان خطا و همچنین تأثیر آن بر پروفیل ولتاژ شبکه تهیه و تدوین شده است. در پایان با در نظر گرفتن نمونه‌ای از یک شبکه واقعی فشار ضعیف، انواع اتصالاتی‌ها و نتایج آن بر شبکه مورد ارزیابی قرار گرفته شده است.

۱- مقدمه

شبکه‌های توزیع فشار ضعیف به‌عنوان آخرین بخش مجموعه بزرگ سیستم قدرت از تولید کننده (نیروگاه) به مصرف‌کننده، تنها قسمتی است که به‌طور مستقیم با مصرف‌کنندگان انرژی مرتبط می‌باشد. به‌دلیل کم‌هزینه بودن تجهیزات و سادگی در طراحی این شبکه نسبت به دیگر سطوح ولتاژ، این بخش از سیستم قدرت مورد بی‌توجهی بسیار قرار گرفته است. عدم توجه مناسب به این بخش، سبب عقب ماندگی آشکار آن نسبت به دیگر بخش‌ها، بروز مشکلات متعددی همچون افت ولتاژ، افزایش تلفات و رخداد خطاها و تداوم این مشکلات گردیده است.

سیستم‌های قدرت و از جمله سیستم‌های توزیع، حتی اگر بسیار خوب هم طراحی شوند گاهی اتصال کوتاه و جریان‌های شدید ناشی از آن را تجربه می‌کنند. بنابراین تجهیزات حفاظتی شبکه، از قبیل کلیدهای قطع‌کننده و فیوزها باید بتوانند محل خطا را به نحوی از سیستم جدا کرده که در نتیجه کمترین آسیب به شبکه و تجهیزات دیگر آن وارد گردد. بدین منظور دامنه‌های جریان‌های اتصال کوتاه به‌طور متداول به کمک محاسبات برآورد شده و سپس با استفاده از نتایج محاسبات، تجهیزات انتخاب می‌گردند.

در این مقاله، روشی جهت محاسبه جریان خطا به ازای انواع خطاهای نامتقارن در شبکه‌های توزیع نامتعادل فشار ضعیف ارائه شده است. در این روش، ابتدا با در نظر گرفتن مدلی دقیق، امپدانس خطوط شبکه اعم از هوایی و زیرزمینی محاسبه و سپس به کمک دو ماتریس وابسته به هم با نام ماتریس تزریق جریان شین به جریان شاخه و ماتریس جریان شاخه به ولتاژ شین، چگونگی مدل‌سازی شبکه بیان شده است. پس از آن، با معرفی مدلی متشکل از چهار امپدانس، نحوه محاسبه جریان خطا به ازای انواع اتصال کوتاه‌های نامتقارن شبکه مورد

مدل سازی ساختار شبکه معرفی گردیده اند. در ادامه، با به کارگیری مدل چهار امپدانس، نحوه محاسبه جریان خطا و تغییر ولتاژ شبکه ناشی از انواع اتصال کوتاه های نامتقارن ارائه شده است. در پایان به کمک نرم افزار Matlab انواع اتصال کوتاه ها و اثرات آن ها بر نمونه ای از یک شبکه واقعی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

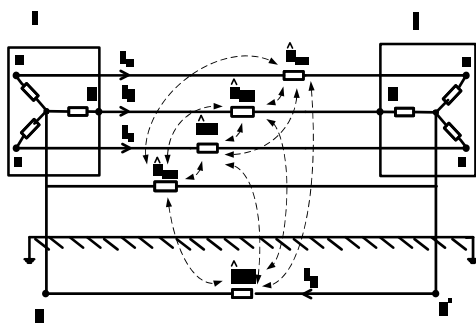
۲- بررسی امپدانس خطوط شبکه های توزیع

جهت بررسی مدل واقعی خطوط در شبکه های نامتقارن توزیع اعم از سه فاز، دو فاز و تک فاز، علاوه بر امپدانس خودی، امپدانس متقابل بین فازها و اثر زمین بر آن ها نیز باید مورد توجه قرار گیرد. در شبکه های توزیع به دلیل عدم وجود جایگشت^۴ و نامتعادل بودن بار فازها، جهت محاسبه امپدانس های خطوط، نمی توان از امپدانس فازی و مؤلفه های متقارن استفاده نمود. بنابراین محاسبه مجزای امپدانس های خودی و متقابل بین فازها امری ضروری می باشد.

شبکه های فشار ضعیف توزیع، ترکیبی از خطوط هوایی و کابل های زیرزمینی بوده که در ادامه نحوه محاسبه امپدانس هر یک به طور مختصر بیان شده است. جزئیات محاسبات در مرجع [۱۱] بیان شده است.

۲-۱- خطوط هوایی

خطوط هوایی در شبکه های فشار ضعیف به طور متداول به صورت چهار سیم، شامل سه فاز (a, b, c) و سیم نول می باشد. شکل ۱، نمونه ای از این خطوط را نشان می دهد.



شکل ۱- مدل امپدانس خطوط ۴ سیمه فشار ضعیف.

در این مقاله، جهت محاسبه امپدانس های خودی و متقابل هر یک از هادی ها با در نظر گرفتن اثر زمین، از روابط کارسون

محاسبات جریان اتصال کوتاه به عنوان پارامتری مهم در طراحی این شبکه ها همانند انتخاب سطح مقطع مناسب خطوط، نوع و جریان نامی فیوزها بسیار حائز اهمیت می باشد. گستردگی خطوط زیرزمینی (کابل ها)، به دلیل رعایت مسائل امنیتی و اقتصادی بودن استفاده از آن ها در این سطح ولتاژ، از مشخصه های بارز شبکه های فشار ضعیف می باشد. با توجه به آسیب پذیری بالای کابل ها نسبت به تحمل جریان های اتصال کوتاه، ضرورت در نظر گرفتن محاسبات این جریان ها را در بخش طراحی شبکه، بیش از پیش پررنگ تر نموده است. بدین ترتیب با طراحی مناسب شبکه می توان از تحمیل هزینه های گزاف همچون عیب یابی کابل و تعویض آن در مناطق متراکم شهری جلوگیری به عمل آورد.

در گذشته جهت محاسبه جریان خطا در شبکه های توزیع برای خطاهای متقارن و نامتقارن، از مدل های تک فاز و مؤلفه های متقارن استفاده می شد [۱-۳]. با توجه به نامتعادل بودن بارها و عدم تقارن در شبکه های توزیع امروزی، استفاده از این روش ها به دلیل خطای بسیار، مناسب نمی باشند. در سال های اخیر، استفاده از روش جبران سازی علاوه بر مسأله پخش بار، در محاسبه جریان اتصال کوتاه نیز مرسوم شده است [۴-۵]. همچنین به منظور افزایش سرعت در استفاده از این روش، می توان از معادل سازی بارها و تجهیزات شبکه کمک گرفت [۶]. در مرجع [۷]، محاسبه جریان اتصال کوتاه، با روش جبران سازی هیبریدی ارائه شده که با استفاده از این روش، می توان جریان خطا را در شبکه های بیش از سه سیم نیز محاسبه نمود [۸]. در مرجع [۹]، با معرفی و چگونگی تشکیل دو ماتریس وابسته به هم به نام های $BIBC^1$ و $BCBV^2$ ، انواع اتصال کوتاه های شبکه فشار متوسط توزیع بررسی شده است.

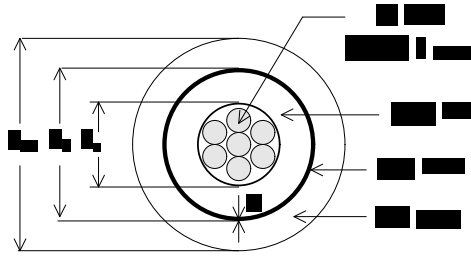
در این مقاله، روشی بر اساس دو ماتریس وابسته به هم با نام ماتریس تزریق جریان شین به جریان شاخه و ماتریس جریان شاخه به ولتاژ شین و با استفاده از مدل چهار امپدانس [۱۰]، جهت بررسی انواع اتصال کوتاه های نامتقارن در شبکه توزیع فشار ضعیف ارائه شده است. برای مدل سازی شبکه، ابتدا به کمک روابط کارسون^۳، مدلی دقیق از امپدانس خطوط اعم از هوایی و زیرزمینی بیان شده و سپس ماتریس های فوق، جهت

۱. Bus Current Injection to Branch Current.

۲. Branch Current to Bus Voltage.

۳. Carson.

۴. Transpose.



شکل ۲- نمونه ای از اجزای کابل حفاظدار.

با توجه به شکل فوق داریم:

d_c : قطر هادی فازی (mm).

d_s : قطر خارجی حفاظ (mm).

d_{od} : قطر خارجی کابل با احتساب پوسته کابل (mm).

T : ضخامت حفاظ فلزی به (mm).

با توجه به فلزی بودن حفاظ، در محاسبات امپدانس کابل به صورت یک هادی مستقل بوده و بنابراین باید امپدانس های خودی و متقابل آن نیز در نظر گرفته شود. برای حفاظ کابل، شعاع حفاظ به عنوان GMR آن در نظر گرفته شده و مقاومت آن نیز با توجه به مقدار مقاومت ویژه فلز، قطر و ضخامت آن و به کمک رابطه زیر به دست می آید:

$$r_{shield} = \frac{10^9 \cdot \rho}{\pi \cdot T \cdot d_s} \quad (4)$$

با توجه به مطالب بیان شده، می توان امپدانس خودی و متقابل هادی و حفاظ کابل را به کمک روابط (۱) و (۲) محاسبه نمود. برای یک خط زیرزمینی سه فاز با سیم نول، با در نظر گرفتن هادی ها، حفاظ ها و نول، امپدانس اولیه کابل ۸*۸ بوده که با اعمال کاهش کرون، این ماتریس نیز به ماتریس ۳*۳ فازی مورد نیاز کاهش می یابد. همچنین در صورت عدم وجود حفاظ فلزی در کابل ها از پیچیدگی محاسبات امپدانس کاسته شده و می توان به شیوه خطوط هوایی محاسبات مربوط را انجام داد. بدین ترتیب به کمک روابط بیان شده در این بخش می توان امپدانس تمامی خطوط فشار ضعیف را جهت محاسبه جریان اتصال کوتاه شبکه محاسبه نمود.

۳- معرفی و نحوه تشکیل ماتریس های BIBC و BCBV

در روش های معمول گذشته، شبکه ها توسط ماتریس های امپدانس و ادmittانس مورد بررسی قرار می گرفتند. تشکیل ماتریس امپدانس بسیار سخت تر از ماتریس ادmittانس بوده که

استفاده شده است. بنابراین برای محاسبه امپدانس های خودی و متقابل خواهیم داشت:

$$\hat{Z}_{ii} = r_i + 9.869 \times 10^{-4} \cdot f + j1.256 \times 10^{-3} \cdot f$$

$$f \cdot \left(\ln \frac{1}{GMR_i} + 6.4905 + \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) \quad (1)$$

$$\hat{Z}_{ij} = 9.869 \times 10^{-4} \cdot f + j1.256 \times 10^{-3} \cdot f$$

$$f \cdot \left(\ln \frac{1}{D_{ij}} + 6.4905 + \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) \quad (2)$$

در روابط فوق داریم:

r_i : مقاومت هادی در واحد طول (Ω/km).

f : فرکانس سیستم قدرت.

GMR_i : میانگین شعاع هندسی هادی (m).

ρ : مقاومت ویژه زمین (به طور معمول ۱۰۰ اهم-متر).

D_{ij} : فاصله بین دو سیم در واحد طول (m).

با توجه به روابط فوق، ماتریس اولیه، ماتریسی ۴*۴ بوده که با اعمال کاهش کرون^۱ و در نظر گرفتن اثر سیم نول در امپدانس فازها، مطابق با رابطه (۳) ماتریس ۳*۳ مورد نیاز به دست می آید.

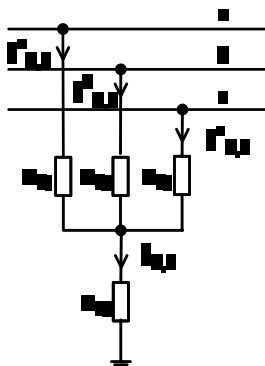
$$\begin{bmatrix} \hat{Z}_{aa} & \hat{Z}_{ab} & \hat{Z}_{ac} & \hat{Z}_{an} \\ \hat{Z}_{ba} & \hat{Z}_{bb} & \hat{Z}_{bc} & \hat{Z}_{bn} \\ \hat{Z}_{ca} & \hat{Z}_{cb} & \hat{Z}_{cc} & \hat{Z}_{cn} \\ \hat{Z}_{na} & \hat{Z}_{nb} & \hat{Z}_{nc} & \hat{Z}_{nn} \end{bmatrix} \xrightarrow[\text{کرون}]{\text{کاهش}} \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad (3)$$

۲-۲- خطوط زیر زمینی (کابل)

در این بخش، کابل حفاظدار جهت بررسی خطوط زیر زمینی انتخاب شده است. شکل ۲ نمونه ای از یک کابل حفاظدار به همراه قسمت های مختلف آن را نشان می دهد.

۱. Kron.

مدل استفاده شده است. این مدل ساده اما جامع، به کمک چهار امپدانس مختلف و متغیر، تمامی حالات خطا را با انعطاف پذیری مناسب شامل می شود. شکل ۳ مدل مورد نظر را نشان می دهد.



شکل ۳- مدل سازی انواع خطاها با ۴ امپدانس.

با توجه به مدل شکل فوق، با انتخاب مقادیر بسیار کم (صفر) و بسیار زیاد (10^{12}) برای امپدانس ها می توان حالات مختلف خطا را تشکیل داد. برای مثال، در صورتی که برای امپدانس Z_{f4} مقدار 10^{12} اختیار گردد، اتصال کوتاه سه فاز بدون اتصال زمین شکل می گیرد. همچنین برای بررسی خطای تک فاز بر فاز a ، کافیست که برای امپدانس های Z_{f1} و Z_{f4} مقدار صفر و برای امپدانس های Z_{f2} و Z_{f3} مقدار 10^{12} در نظر گرفته شود. به همین ترتیب می توان تمامی خطاها را به کمک این مدل در نظر گرفت. با توجه به شکل ۳ هنگامی که خطایی با همه امپدانس های فوق در شین k شبکه رخ دهد، خواهیم داشت:

$$I_k^a = I_{k,f}^a, \quad I_k^b = I_{k,f}^b, \quad I_k^c = I_{k,f}^c \quad (7)$$

و با توجه به قانون KCL در نقطه اتصال سه فاز داریم:

$$I_{k,f} = I_{k,f}^a + I_{k,f}^b + I_{k,f}^c \quad (8)$$

در روابط فوق، $I_{k,f}^a$ و $I_{k,f}^b$ ، $I_{k,f}^c$ ، $I_{k,f}^a$ ، $I_{k,f}^b$ و $I_{k,f}^c$ جریان های خطای فازها در شین k ام و I_f^a ، I_f^b و I_f^c جریان های جاری شده در خطوط ناشی از خطا می باشند. با ناچیز بودن جریان بار در مقابل جریان های بالای اتصال کوتاه، در محاسبات از آن صرف نظر شده است. سپس با جاری شدن جریان های خطا در شبکه، ولتاژ شین خطا تغییر کرده و برای ولتاژ شین k ام پس از خطا داریم:

$$\begin{aligned} V_{k,f}^a &= Z_{f1} I_{k,f}^a + Z_{f4} I_{k,f} \\ V_{k,f}^b &= Z_{f2} I_{k,f}^b + Z_{f4} I_{k,f} \\ V_{k,f}^c &= Z_{f3} I_{k,f}^c + Z_{f4} I_{k,f} \end{aligned} \quad (9)$$

دارای اطلاعات بیشتری است. در این مقاله با توجه به شعاعی بودن ساختار شبکه توزیع، دو ماتریس وابسته به هم، به نام ماتریس تزریق جریان شین به جریان شاخه (BIBC) و ماتریس جریان شاخه به ولتاژ شین (BCBV) جهت بررسی و مدل سازی شبکه مورد استفاده قرار گرفته اند. ماتریس BIBC، ماتریسی بالا مثلثی بوده که با توجه به نام گذاری آن، بر اساس جریان تزریقی شین ها به شاخه ها شکل می گیرد. بنابراین برای هر شبکه رابطه جریان تزریقی شین ها و جریان شاخه ها به صورت زیر است.

$$[B] = [BIBC][I] \quad (5)$$

در این رابطه، ماتریس های B و I ، به ترتیب ماتریس جریان شاخه ها و جریان تزریقی شین ها می باشند.

با مشخص شدن جریان های جاری شده در خطوط شبکه، تغییرات ولتاژ شین ها ناشی از این جریان ها را می توان با ماتریس BCBV به صورت زیر نشان داد:

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (6)$$

در این رابطه، ماتریس ΔV به عنوان تغییر ولتاژ شین ها و ماتریس BCBV با استفاده از امپدانس های به دست آمده در بخش قبلی تشکیل می یابد. نحوه تعریف و چگونگی تشکیل این دو ماتریس، در مرجع [۱۲] به طور کامل بیان شده است. حال با تشکیل دو ماتریس فوق، می توان از آن ها در تحلیل جریان اتصال کوتاه و محاسبه تغییر ولتاژ شین ها پس از وقوع اتصالی، استفاده نمود.

۴- بررسی خطاهای نامتقارن

بیشترین خطاهای موجود در شبکه های توزیع از نوع نامتقارن می باشند. خطاهای نامتقارن شامل خطای تک فاز به زمین، دو فاز به زمین و فاز به فاز بوده و با توجه به بارهای نامتعادل و عدم تقارن خطوط در شبکه های توزیع، دو خطای سه فاز و سه فاز به زمین نیز در این دسته از خطاها قرار می گیرند. در میان این خطاها، خطای تک فاز به زمین متداول ترین نوع خطا در شبکه می باشد. همچنین خطای سه فاز که قدرت سوئیچها بر اساس نتایج آن تعیین شده، حادث ترین نوع خطا بوده و کمترین احتمال رخداد را دارا است.

در روش ارائه شده، بررسی این خطاها با استفاده از ترکیب ماتریس ها و به کمک شرایط قبل و بعد از خطا صورت می گیرد. در این مقاله، جهت بررسی انواع خطاهای نامتقارن، تنها از یک

در این رابطه، ماتریس L از ضرب ماتریسی دو ماتریس BIBC و BCBV رابطه (۱۴) به دست می آید. با بازنویسی رابطه فوق بر حسب جریان های خطا خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} V_{k,0}^a \\ V_{k,0}^b \\ V_{k,0}^c \end{bmatrix} = [L + Z_f] \begin{bmatrix} I_{k,f}^a \\ I_{k,f}^b \\ I_{k,f}^c \end{bmatrix} \quad (16)$$

در این رابطه، ماتریس Z_f ترکیبی از امپدانس های خطا بوده و برابر است با:

$$[Z_f] = \begin{bmatrix} Z_{f1} + Z_{f4} & Z_{f4} & Z_{f4} \\ Z_{f4} & Z_{f2} + Z_{f4} & Z_{f4} \\ Z_{f4} & Z_{f4} & Z_{f3} + Z_{f4} \end{bmatrix}$$

در نهایت، جریان های خطای نقطه k به کمک رابطه زیر محاسبه می گردند:

$$\begin{bmatrix} I_{k,f}^a \\ I_{k,f}^b \\ I_{k,f}^c \end{bmatrix} = [L + Z_f]^{-1} \begin{bmatrix} V_{k,0}^a \\ V_{k,0}^b \\ V_{k,0}^c \end{bmatrix} \quad (17)$$

در رابطه فوق، مجموع دو ماتریس Z_f و L به عنوان ماتریس امپدانس از دید نقطه خطا در نظر گرفته می شود.

بنابراین به کمک روابط فوق می توان به راحتی هر نوع جریان اتصال کوتاه شبکه را مورد ارزیابی قرار داد. با قرار دادن مقدار امپدانس بسیار زیاد برای هر فاز که به منزله عدم رخداد خطای آن بوده، مقدار جریان به دست آمده در رابطه (۱۷) برای فاز مربوطه صفر خواهد بود.

از دیگر ویژگی های مفید ماتریس های BIBC و BCBV، محاسبه مستقیم جریان خطا در شاخه های شبکه و نیز محاسبه افت ولتاژ شین ها ناشی از این جریان بوده که با مشخص شدن جریان های خطا، به کمک رابطه های (۱۱) و (۱۳) به دست می آیند.

۵- نتایج شبیه سازی

جهت بررسی جریان های خطا و اثرات آن بر ولتاژ شبکه، با استفاده از نرم افزار Matlab برنامه ای تهیه و تدوین شده است. در این برنامه ابتدا با در نظر گرفتن مشخصات فنی خطوط (هوایی و زیرزمینی)، امپدانس آن ها محاسبه و سپس با در نظر

همچنین با استفاده از نتایج پخش بار و مشخص بودن ولتاژ پیش از وقوع خطای شین مورد نظر ($V_{k,0}^{abc}$)، تغییر ولتاژ شین k ام پس از خطا به صورت زیر می باشد:

$$\begin{aligned} \Delta V_{k,f}^a &= V_{k,0}^a - Z_{f1} I_{k,f}^a - Z_{f4} I_{k,f} \\ \Delta V_{k,f}^b &= V_{k,0}^b - Z_{f2} I_{k,f}^b - Z_{f4} I_{k,f} \\ \Delta V_{k,f}^c &= V_{k,0}^c - Z_{f3} I_{k,f}^c - Z_{f4} I_{k,f} \end{aligned} \quad (10)$$

با توجه به رابطه (۷) مبنی بر وجود جریان های شبکه و به کمک رابطه (۵) داریم:

$$[B_f] = [BIBC] \begin{bmatrix} 0 & \dots & I_{k,f}^a & I_{k,f}^b & I_{k,f}^c & 0 \end{bmatrix}^T \quad (11)$$

سپس با در نظر گرفتن ماتریس BIBC، رابطه (۱۱) را می توان به صورت زیر نوشت:

$$[B_f] = \begin{bmatrix} BIBC_k^a & BIBC_k^b & BIBC_k^c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{k,f}^a \\ I_{k,f}^b \\ I_{k,f}^c \end{bmatrix} \quad (12)$$

در این رابطه، بردارهای ستونی ماتریس BIBC بر اساس شین و فاز مربوط به خطا می باشد. پس از مشخص شدن جریان شاخه ها، برای محاسبه تغییرات ولتاژ شین ها، با جایگذاری رابطه (۱۲) در (۶) داریم:

$$[\Delta V] = [BCBV] \begin{bmatrix} BIBC_k^a \\ BIBC_k^b \\ BIBC_k^c \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} I_{k,f}^a \\ I_{k,f}^b \\ I_{k,f}^c \end{bmatrix} \quad (13)$$

برای تغییرات ولتاژ شین مورد نظر خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} \Delta V_{k,f}^a \\ \Delta V_{k,f}^b \\ \Delta V_{k,f}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} BCBV_k^a \\ BCBV_k^b \\ BCBV_k^c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} BIBC_k^a \\ BIBC_k^b \\ BIBC_k^c \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} I_{k,f}^a \\ I_{k,f}^b \\ I_{k,f}^c \end{bmatrix} \quad (14)$$

با قرار دادن روابط (۸) و (۱۰)، در رابطه فوق داریم:

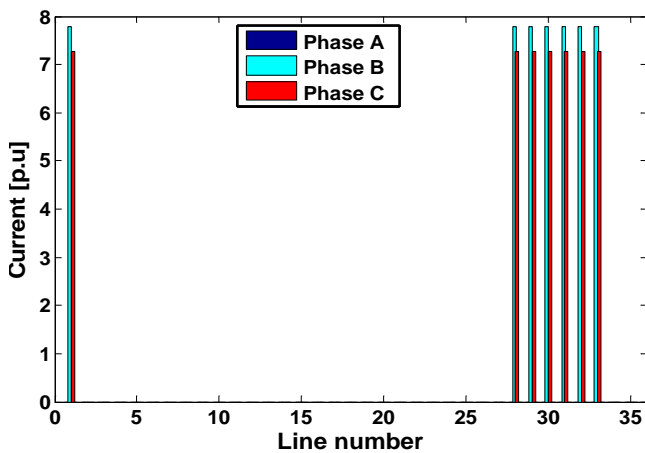
$$\begin{bmatrix} V_{k,0}^a - Z_{f1} I_{k,f}^a - (I_{k,f}^a + I_{k,f}^b + I_{k,f}^c) Z_{f4} \\ V_{k,0}^b - Z_{f2} I_{k,f}^b - (I_{k,f}^a + I_{k,f}^b + I_{k,f}^c) Z_{f4} \\ V_{k,0}^c - Z_{f3} I_{k,f}^c - (I_{k,f}^a + I_{k,f}^b + I_{k,f}^c) Z_{f4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{k,f}^a \\ I_{k,f}^b \\ I_{k,f}^c \end{bmatrix} \quad (15)$$

جدول ۱- جریان اتصال کوتاه در چند نقطه شبکه.

شین	خطای سه فاز به زمین			خطای تک فاز
	a	b	c	
۸	۲۲۵۹ A	۲۴۰۲ A	۲۴۴۹ A	۱۷۵۳ A
۲۵	۴۲۷۴ A	۵۰۵۶ A	۴۸۲۰ A	۳۸۳۷ A
۲۹	۱۰۶۶۸ A	۱۱۵۱۵ A	۱۱۴۵۲ A	۱۰۲۳۲ A
۱۳	۳۶۳۶ A	۴۰۶۷ A	۴۰۲۱ A	۲۳۳۰ A

با بررسی مقادیر جدول ۱، می توان دید که میزان جریان خطای سه فاز به زمین در هر ۴ نقطه، از خطای تک فاز بیشتر می باشد. همچنین در جدول فوق، با توجه به مشخصات شبکه، شین های ۲۹ و ۸ به عنوان نزدیک ترین و دورترین شین های خطا در میان چهار نقطه انتخابی بوده و در نتیجه به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار جریان خطا مربوط به این نقاط می باشد.

با توجه به الگوریتم ارائه شده در بخش ۴، پس از محاسبه جریان اتصال در شبکه، با استفاده از ماتریس BIBC می توان مسیر جاری شدن جریان های خطا از ترانسفورماتور پست تا محل اتصال را به راحتی مشخص نمود. شکل ۵، میزان جریان های خطا و مسیر جاری شدن آن ها را به ازای اتصال کوتاه دوفاز به زمین (فازهای b و c) در شین ۳۳ شبکه نشان می دهد.

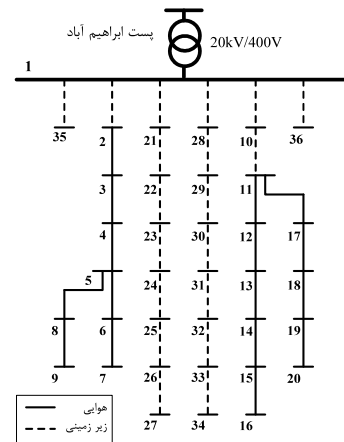


شکل ۵ - مسیر جریان خطای دوفاز به زمین شین ۳۳

با در نظر گرفتن ساختار و شماره شین ها در شبکه بررسی شده، جریان خطای عبوری از ترانسفورماتور در سمت چپ و جریان های خطای جاری شده در خطوط شبکه، در طرف راست شکل مشخص می باشند. علت تفاوت میزان جریان های خطا، متفاوت بودن امپدانس فازها و ولتاژ پیش از خطا می باشد.

گرفتن ساختار شبکه و الگوریتم های ارائه شده، ماتریس های ثابت BIBC و BCBV تشکیل می گردند. پس از تشکیل این دو ماتریس وابسته به هم، به کمک مدل در نظر گرفته شده و روابط ارائه شده در بخش قبل، جریان اتصال کوتاه هر نوع خطای نامتقارن شبکه به ازای هر امپدانس خطا محاسبه می گردد. همچنین محاسبه افت ولتاژ شین ها ناشی از جریان خطا و مشخص شدن شاخه های حامل جریان اتصال از دیگر ویژگی های سودمند این برنامه می باشند.

جهت انجام محاسبات جریان های خطا، شبکه فشار ضعیف پست ابراهیم آباد تهران مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۴، شبکه مورد نظر را نشان داده که جزئیات آن در پیوست مقاله آورده شده است.



شکل ۴ - شبکه فشار ضعیف ابراهیم آباد.

با توجه به شکل ۴، شبکه دارای شش فیدر هوایی و زیرزمینی بوده که وجود خطوط زیر زمینی بر اهمیت بررسی جریان های خطا افزوده است. همچنین در این شبکه، کابل ها بدون حفاظ و به صورت تکرشته ای در نظر گرفته شده اند. در این بخش، جریان های خطا و اثرات آن بر پروفیل ولتاژ شبکه مورد بررسی قرار گرفته شده است.

الف - میزان و مسیر جریان خطا در خطوط شبکه:
خطاهای تک فاز و سه فاز به زمین به ترتیب شایع ترین و خطرناک ترین نوع خطاهای شبکه بوده و به همین علت بررسی جریان این دو نوع اتصال از انواع دیگر آن ها متداول تر می باشد. در این قسمت، جریان این دو خطا در چند نقطه از شبکه بررسی و نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

ب- تاثیر جریان خطا بر پروفیل ولتاژ شبکه:

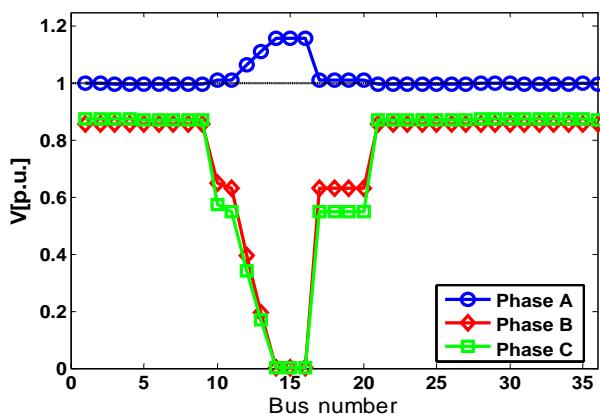
پس از مشخص شدن میزان جریان خطا و شاخه های مسیر آن، می توان از ماتریس BCBV جهت محاسبه اثر این جریان ها در ولتاژ شین های شبکه استفاده گردد.

در حالت پیش از خطا، پروفیل ولتاژ شبکه که از نتایج پخش بار به دست آمده در شکل ۶ نشان داده شده است.

کاهش چشمگیر ولتاژ در تمام نقاط شبکه خواهد شد.

همچنین جهت بررسی بیشتر تأثیر خطا بر ولتاژ شین های شبکه، با فرض رخداد اتصال کوتاه دو فاز به زمین در شین ۱۴ روی فازهای b و c، پروفیل جدید ولتاژ شبکه به صورت شکل ۸ در می آید.

با توجه به نتایج به دست آمده در شکل ۸، می توان دید که ولتاژ فازهای b و c، به عنوان فازهای خطا در شین اتصالی شده و شین های مجاور آن، به شدت کاهش یافته و در حالی که ولتاژ فاز



شکل ۸- پروفیل ولتاژ پس از خطای دوفاز به زمین در شین ۱۴

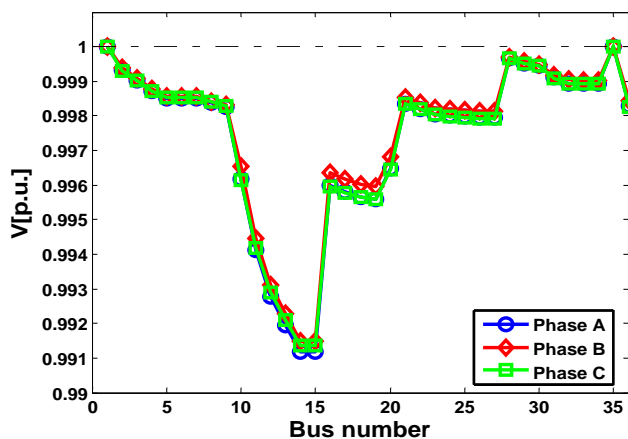
a (فاز سالم) در این شین ها نزدیک به ۱/۲ پرینیت افزایش یافته است.

بنابراین به کمک روش ارائه شده می توان میزان جریان، شاخه های حامل آن و پروفیل ولتاژ پس از خطا را برای همه شین ها و به ازای تمامی خطاها بررسی نمود.

۶- نتیجه گیری

آنچه در همه شبکه های توزیع فشار ضعیف اعم از هوایی و زمینی به چشم می خورد، شمار بسیار تجهیزاتی مانند کابل ها، سیم های مختلف هوایی و ترانسفورماتورهاست که به طرز گسترده ای به کار گرفته شده اند. با توجه به این مطلب، بررسی پارامترهایی همچون محاسبه جریان اتصال کوتاه جهت حفاظت از این تجهیزات شبکه در مرحله طراحی و بهره برداری از مسائل بسیار مهم می باشد.

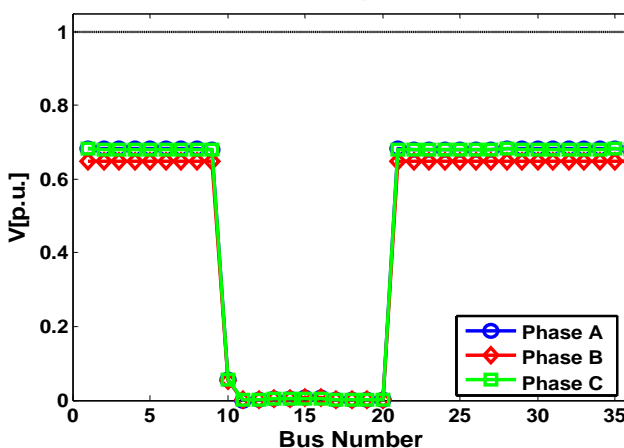
در این مقاله، مدلی متشکل از چهار امپدانس جهت بررسی خطاهای نامتقارن بیان شده که به کمک تنها یک مدل، می توان انواع اتصال کوتاه ها را مورد ارزیابی قرار داد. استفاده از این مدل سبب کاهش چشمگیر حجم محاسبات و حافظه مورد نیاز جهت تهیه برنامه های رایانه ای گردیده است. از دیگر ویژگی های بارز



شکل ۶- پروفیل ولتاژ شبکه پیش از خطا.

پله ای بودن شکل فوق، تابع ساختار شبکه، بار و شماره گذاری شین های آن می باشد.

اکنون با فرض رخداد خطای سه فاز بر شین ۱۱، پروفیل ولتاژ شبکه به صورت شکل ۷ در می آید.



شکل ۷- پروفیل ولتاژ پس از خطای سه فاز بر شین ۱۱

با توجه به نتایج حاصل شده در شکل ۷، علاوه بر صفر شدن ولتاژ شین هایی که در شاخه خطا قرار دارند، در کل شبکه نیز افت ولتاژ شدیدی ایجاد شده که شدت این افت ولتاژ به قدرت اتصال کوتاه بستگی دارد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که اتصال کوتاه سه فاز به زمین، به دلیل دارا بودن جریان خطای شدید سبب

- approach using hybrid compensation method," *IEEE Trans. Power System.*, Vol. ۱۰, No. ۴, pp. ۲۰۵۳-۲۰۵۹, Nov ۱۹۹۵.
- [۸] R. M. Ciric, L.F. Ochoa, A. Padilla-Feltrin and H. Nouri, "Fault analysis in four-wire distribution networks," *Proc. IEE Gener. Transm. Distrib.*, Vol. ۱۵۲, No. ۶, Nov ۲۰۰۵, pp. ۹۷۷-۹۸۵.
- [۹] J. Teng, "systematic short circuit analysis method for unbalanced distribution systems," *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.*, Vol. ۱۵۲, no. ۴, pp. ۵۴۹-۵۵۵, July ۲۰۰۵.
- [۱۰] مهندس احد کاظمی، "سیستم های قدرت الکتریکی"، جلد دوم - مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۲.
- [۱۱] W. H. Kersting, "Distribution system modeling and analysis," CRC Press, New York, ۲۰۰۲.
- [۱۲] رضا ابراهیمی، صادق جمالی، عبدا... بابایی، "بررسی خطاها در سیستم های نامتعادل توزیع باسیم برگشتی زمین"، بیست و یکمین کنفرانس بین المللی برق، شماره مقاله ۹۸-F-PDS-۷۴۵.

این مدل، قابلیت بالای آن در شبیه سازی انواع خطاها با مقادیر مختلف امپدانس خطا (Z_f) می باشد. همچنین از دیگر خصوصیات روش ارائه شده مشخص کردن شاخه های حامل جریان خطا بوده که با توجه به کاربرد گسترده خطوط زیرزمینی در شبکه های فشار ضعیف، به کار گیری این ویژگی جهت انتخاب بهینه کابل، نوع و اندازه فیوز بسیار مفید می باشد.

با بررسی نتایج شبیه سازی می توان دید که تنها عامل محدود کننده جریان خطا، میزان امپدانس بین پست (ابتدای فیدر) و محل اتصالی می باشد. بنابراین استفاده از مدلی دقیق در برآورد امپدانس خطوط شبکه بسیار مهم بوده که در این مقاله در محاسبه آن ها از روابط کارسون استفاده شده است.

علاوه بر جریان های شدید و مخرب اتصال کوتاه و مشکلات مربوط به آن ها، از دیگر اثرات نامطلوب جریان خطا در شبکه ها، ایجاد کاهش شدید ولتاژ در فازهای خطا و افزایشی نسبی آن در فازهای سالم شبکه می باشد. عدم توجه به این تغییرات، سبب از بین رفتن تجهیزات و وارد آمدن خسارات به شبکه می گردد. از سویی دیگر، میزان تغییرات نامطلوب ولتاژ شین ها پس از رخداد اتصال کوتاه، به قدرت آن بستگی داشته که این مسأله خود به فاصله محل خطا از منبع توان شبکه (پست) بستگی مستقیم دارد.

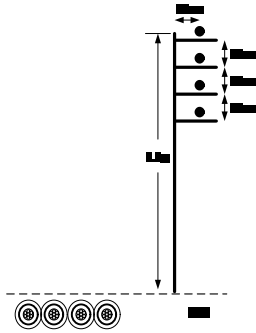
منابع

- [۱] L. Roy, "Generalized polyphase fault-analysis program: calculation of cross-country fault," *Proc. IEE* Vol. ۱۲۶, No. ۱۰, Oct. ۱۹۷۹.
- [۲] S. Alvarado, M. EMS. Mong, "A fault program with macros, monitors, and direct compensation in mutual groups," *IEEE Transaction on PAS*, Vol. ۱۰۴, No ۵, pp. ۱۱۰۹-۱۱۲۰., May ۱۹۸۵.
- [۳] V. Brandwajn, W. F. Tinney, "Generalized method of fault analysis," *IEEE Transaction on PAS*, Vol. ۱۰۴, No. ۶, pp. ۱۳۰۱-۱۳۰۶., June ۱۹۸۵.
- [۴] T. H. Chen, M. S. Chen, W. J. Lee, P. Kotas, V. Olinda, "Distribution system short circuit analysis- rigid approach," *IEEE Trans. Power System.*, Vol. ۷, No. ۱, pp. ۴۴۴-۴۵۰, Feb. ۱۹۹۲.
- [۵] G. Gross, H. W. Hong, "A two step compensation method for solving short circuit problems," *IEEE Trans. Power Appar. System.*, pp. ۱۳۲۲-۱۳۳۱, ۱۹۸۲, PAS-۱۰۱.
- [۶] N. Miu. Karen, Mao. Yiming, "Network Equivalent Models for Short Circuit Analysis," *IEEE conf.*, pp. ۸۶۲-۸۶۵, ۲۰۰۲.
- [۷] X. Zhang, F. Soudi, D. Shirmohamdi. and C. Cheng, "A distribution short circuit analysis

پیوست

الف - اطلاعات ساختاری پست ابراهیم آباد:

ب- آرایش خطوط شبکه فشار ضعیف:



شکل ۱- آرایش خطوط شبکه.

جدول ۱- اطلاعات ساختاری فیدرهای پست ابراهیم آباد.

نوع	سطح مقطع (mm ²)	طول (m)	گره دوم	گره اول
زمینی	۱۸۵	۱۲۰	۲	۱
هوایی	۵۰	۳۰	۳	۲
هوایی	۵۰	۳۰	۴	۳
هوایی	۵۰	۲۰	۵	۴
هوایی	۵۰	۲۵	۸	۵
هوایی	۵۰	۲۵	۹	۸
هوایی	۱۶	۲۵	۶	۵
هوایی	۱۶	۲۵	۷	۶
زمینی	۱۸۵	۱۷۰	۱۰	۱
زمینی	۱۸۵	۱۵	۱۱	۱۰
هوایی	۳۵	۳۰	۱۲	۱۱
هوایی	۳۵	۲۵	۱۳	۱۲
هوایی	۳۵	۲۵	۱۴	۱۳
هوایی	۳۵	۳۰	۱۵	۱۴
هوایی	۳۵	۳۰	۱۶	۱۵
هوایی	۳۵	۳۰	۱۷	۱۱
هوایی	۳۵	۳۰	۱۸	۱۷
هوایی	۳۵	۳۰	۱۹	۱۸
هوایی	۳۵	۳۰	۲۰	۱۹
زمینی	۱۸۵	۱۸۵	۲۱	۱
زمینی	۱۸۵	۲۱	۲۲	۲۱
زمینی	۱۸۵	۲۳	۲۳	۲۲
زمینی	۱۸۵	۷	۲۴	۲۳
زمینی	۱۸۵	۸	۲۵	۲۴
زمینی	۱۸۵	۱۲	۲۶	۲۵
زمینی	۱۸۵	۴۳	۲۷	۲۶
زمینی	۱۸۵	۲۷	۲۸	۱
زمینی	۱۸۵	۱۵	۲۹	۲۸
زمینی	۱۸۵	۸	۳۰	۲۹
زمینی	۱۸۵	۴۷	۳۱	۳۰
زمینی	۱۸۵	۲۸	۳۲	۳۱
زمینی	۱۸۵	۸	۳۳	۳۲
زمینی	۱۸۵	۱۸۶	۳۴	۳۳
زمینی	۱۸۵	۴۵	۳۵	۱
زمینی	۱۸۵	۱۷۶	۳۶	۱

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.