

تعیین بهینه تعداد، نوع و محل تجهیزات حفاظتی و کلیدزنی شبکه‌های توزیع بر اساس شاخص انرژی توزیع نشده

حامد هاشمی دزکی^۱ حسین عسکریان ایبانه^۱ سید حسین حسینیان^۱ کاظم مظلومی^۲
۱- دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۲- دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

واژه‌های کلیدی: حفاظت بهینه، شبکه توزیع، تجهیزات حفاظتی، تجهیزات کلیدزنی، شاخص انرژی توزیع نشده

چکیده

در این مقاله برنامه جامع تعیین شاخص انرژی توزیع نشده‌ای که قابلیت اعمال بر روی هر شبکه توزیعی را دارد معرفی شده است. با کمک این برنامه و در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی وضعیت بهینه تعداد، نوع و محل تجهیزات حفاظتی و کلیدزنی به صورت توأم تعیین شده است که با این کار می‌توان قابلیت اطمینان سیستم را به شکل موثری بالا برده و هزینه‌ها را کاهش داد. مزایای روش انجام شده را می‌توان در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی از قبیل محاسبات سود و زیان و ارزش زمانی پول، بررسی همزمان موقعیت قرارگیری تجهیزات در شبکه و جامعیت برنامه اعمالی دانست. برنامه ارائه شده بر روی یک شبکه نمونه واقعی اعمال شده است.

(۱) مقدمه

با توجه به افزایش اهمیت انرژی الکتریکی و رشد روزافزون تقاضای آن، ضرورت قابلیت اطمینان مناسب و حفاظت کارآمد سیستم‌های الکتریکی بیش از پیش مورد توجه قرار

گرفته است. در این میان شبکه‌های توزیع نقش موثر و بسزایی دارند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که دریافت که بیشترین خاموشی‌های مشترکین ناشی از خطاها و حوادث اتفاق افتاده در شبکه‌های توزیع بوده است [۱ و ۲]. با بهبود قابلیت اطمینان شبکه می‌توان خدمات مطلوبتری به مشترکین ارائه کرد. در شبکه‌های توزیع تجهیزات حفاظتی و کلیدزنی بیشترین اثر را در بهبود قابلیت اطمینان شبکه به عهده دارند [۲].

در سال‌های اخیر در مورد بهینه‌سازی تجهیزات حفاظتی شبکه‌های توزیع کارهای زیادی انجام گرفته است که فارغ از نوع تجهیز انتخابی در یک مسئله مشترک بوده و آن تعریف تابعی به عنوان تابع هدف است و در نهایت بهینه کردن آن تابع هدف می‌باشد [۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷].

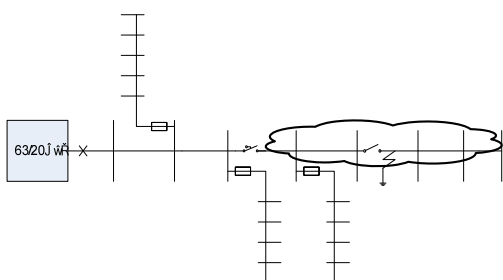
در مراجع [۷ و ۸] نیز به تعیین تعداد، نوع و محل تجهیزات حفاظتی برای حداقل کردن شاخص قابلیت اطمینان میانگین فرکانس قطع سیستم (SAIFI) اشاره شده است. نکته ای که در مورد کارهای انجام گرفته در [۶ و ۷ و ۸] می‌توان به آن اشاره

۲) تابع هدف بهینه‌سازی محل قرارگیری تجهیزات حفاظتی و کلیدزنی

تابع هدف مورد استفاده در این پروژه جهت تعیین محل و نوع وسایل حفاظتی و کلیدزنی به طور کلی شامل ۲ بخش کلی انرژی توزیع نشده و صرفه جویی ناشی از انرژی توزیع نشده می‌باشد. هر یک از این ۲ بخش را می‌توان به زیر بخش‌هایی تقسیم کرد که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

۲-۱) انرژی توزیع نشده ناشی از خطا در شاخه اصلی فیدر و قطع بارهای شاخه‌های اصلی

با بروز خطا در هر یک از شاخه‌های اصلی فیدر، وسیله حفاظتی ماقبل آن شاخه عمل کرده و بارهای شاخه‌های اصلی جلویی شاخه دارای خطا و شاخه‌های اصلی پشتی تا محل عملکرد اولین تجهیز حفاظتی قطع می‌گردند (شکل (۱)). انرژی توزیع نشده ناشی از اتفاقات شرح داده شده در بالا را می‌توان به صورت شماتیک و نمونه در شکل (۱) دید:



شکل (۲): نمایش شاخه‌های اصلی فیدر که با بروز خطا در یکی از شاخه‌های اصلی بی‌برق شده

با توجه به گفته‌های بالا و شکل ۲-۱، مقدار انرژی توزیع نشده ناشی از بروز خطا در یکی از شاخه‌های اصلی و قطع بارهای متصل به شاخه‌های اصلی با عبارتی در تابع هدف آورده می‌شود که این قسمت از انرژی توزیع نشده را با رابطه بیان می‌کند (رابطه (۱)).

$$Factor_{ene} = \sum_{j=1}^{np} \lambda_j \left[\sum_{k=j}^{np} N_k + \sum_{l=1}^{j-1} N_l \prod_{m=l+1}^j (1 - X_{lm}) (1 - X_{lm2}) \right] \quad (1)$$

در رابطه (۱) پارامترها عبارتند از:

λ_j : نرخ خطای دائم برای شاخه j ام بر حسب خطا در سال

کرد اینست که ارتباط مستقیمی بین این نوع شاخص‌ها و هزینه خروج سیستم وجود ندارد و این شاخص‌ها راهکار مناسب و عملیاتی جهت کاهش هزینه خروج ارائه نمی‌دهند. به نظر می‌رسد در صورتی که معیار مورد نظر بتواند ملاحظه ای بین هزینه تجهیزات و هزینه خروج سیستم ایجاد کند معیاری مناسب جهت جایابی بهینه تجهیزات خواهد بود.

از کارهایی که در سال‌های اخیر در این زمینه انجام گرفته می‌توان به [۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲] اشاره کرد. در این مقالات سعی شده است بهینه سازی با در نظر گرفتن هزینه‌های تجهیزات و ملاحظات اقتصادی باشد، همچنین در حد امکان تمام تجهیزات به صورت توامان تعیین گردند که مسئله بهینه‌سازی توامان نکته بسیار قابل توجه‌ایست.

در این مقاله سعی شده است تا به صورت توامان محل، تعداد و نوع تجهیزات حفاظتی و کلیدزنی اعم از ریکلوزر، سکشنالایزر، فیوز و سکسیونر تعیین گردد. در این راستا برنامه جامع و فراگیری نوشته شده است که ابتدا اطلاعات شبکه را از بانک اطلاعاتی با فرمت ذخیره شده Excel دریافت می‌کند و سپس شاخص انرژی توزیع نشده (ENS) محاسبه می‌شود. محاسبه این شاخص بر اساس تابعی است مشتمل بر ۱۰ فاکتور انرژی توزیع نشده و بازایی که در ادامه معرفی می‌شوند. از مزایای این برنامه حالت فراگیر آن است که می‌توان با کمک آن برای هر شبکه توزیع دلخواه شاخص انرژی توزیع نشده را محاسبه کرد. پس از محاسبه شاخص انرژی توزیع نشده برای شبکه، تابع هدفی با در نظر گرفتن هزینه انرژی توزیع نشده، هزینه تجهیزات و محاسبات اقتصاد مهندسی مبنی بر ارزش زمانی پول ارائه می‌گردد. در پایان نیز تابع هدف ارائه شده به کمک الگوریتم ژنتیک بهینه شده، محل، تعداد و نوع تجهیزات کلیدزنی و حفاظتی اعم از ریکلوزر، سکشنالایزر، فیوز و سکسیونر مشخص می‌شود. فرآیند بهینه سازی ذکر شده بر روی یکی از فیدرهای شبکه توزیع برق غرب استان تهران اعمال می‌گردد. به کمک این روش می‌توان هزینه‌های بی‌برقی را در شبکه‌های توزیع کاهش داد.

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

$NR(j)$: تعداد انشعابات جانبی جلوی شاخه j

$R(j)$: تعداد شاخه‌های انشعاب جانبی j ام

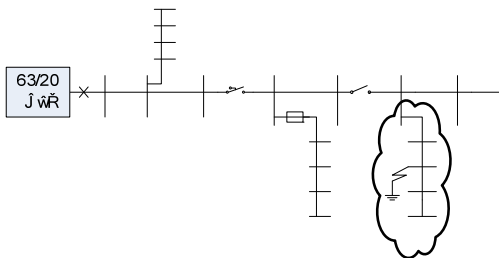
$NRA(j)$: تعداد انشعابات جانبی پشت بخش j ام

$LKA(j)$: اولین شاخه اصلی جلوی انشعاب جانبی j ام

سایر پارامترها نیز در رابطه (۱) تعریف شده‌اند.

۳-۲) انرژی توزیع نشده ناشی از خطا در شاخه‌های جانبی و قطع بارهای شاخه‌های جانبی

در شاخه‌های جانبی تنها یک تجهیز حفاظتی سر شاخه‌جانبی وجود دارد و با این شرایط به ازای هر خطای دائمی در شاخه‌های جانبی، بار آن شاخه به طور کامل قطع خواهد شد. در شکل (۳) بارهای قطع شده ناشی از بروز خطا در شاخه جانبی که برابر کل بار آن شاخه است نشان داده شده است.



شکل (۳): انرژی توزیع نشده ناشی از خطا در شاخه‌های جانبی و قطع بارهای شاخه‌های جانبی

مانند دو فاکتور قبلی برای انرژی توزیع نشده ناشی از خطا در شاخه‌های جانبی نیز عبارت ریاضی زیر ارائه می‌شود:

$$Factor_{three} = \sum_{s=1}^{NR(1)} \sum_{w=1}^{R(s)} \lambda(s, w) \left[\sum_{k=1}^{R(s)} N_k \right] \quad (3)$$

۴-۲) انرژی توزیع نشده ناشی از خطا در شاخه اصلی و قطع بارهای اصلی و جانبی جلویی

با بروز خطا در شاخه جانبی، در صورتی که ابتدای این شاخه تجهیز حفاظتی وجود نداشته باشد، این خطا باعث قطع بار-های جلویی اصلی و جانبی می‌شود (شکل (۴)).

SP : تعداد شاخه‌های اصلی فیدر

N_k : بار شاخه k ام

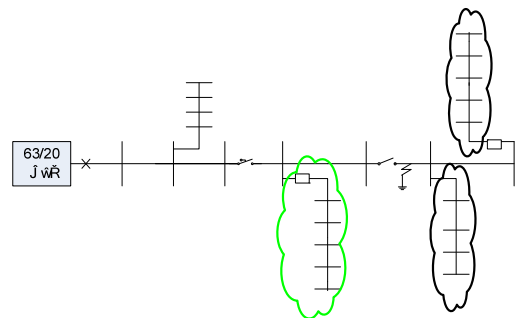
X_{1m1} : متغیر باینری مبنی بر وجود یا عدم وجود ریکلوزر در شاخه اصلی m ام

X_{1m2} : متغیر باینری مبنی بر وجود یا عدم وجود فیوز یا سگشنالایزر در شاخه اصلی m ام

به طور مثال در شکل (۱) SP در این فیدر ۴ است (شاخه‌های ۱ و ۲ و ۶ و ۷).

۲-۲) انرژی توزیع نشده ناشی از خطا در شاخه‌های اصلی فیدر و قطع بارهای شاخه‌های جانبی

مانند توضیحات داده شده در بخش ۱-۲ فرض می‌شود که خطا در شاخه اصلی اتفاق افتاده است، با بروز این خطا بار شاخه‌های جانبی متصل به آن شاخه، بار شاخه‌های جانبی بعدی و قبلی تا محل اولین وسیله حفاظتی قطع می‌شود. بارهای شاخه‌های جانبی قطع شده فوق‌الذکر را می‌توان به صورت شکل (۲) به تصویر کشید:



شکل (۲): نمایش شاخه‌های فرعی فیدر که با بروز خطا در یکی از شاخه‌های اصلی بی‌برق شده

عبارتی که این انرژی توزیع نشده را در تابع هدف توصیف می‌کند به صورت زیر است:

$$Factor_{two} = \sum_{j=1}^{SP} \lambda_j \times \left[\sum_{s=1}^{NR(j)} \sum_{w=1}^{R(s)} N_w + \sum_{s=1}^{NRA(j)} \sum_{t=1}^{R(t)} \prod_{p=j}^{LKA(s)} (1 - X_{1p1}) (1 - X_{1p2}) \right] \quad (2)$$

در رابطه (۲) پارامترهای مورد استفاده به شکل زیر تعریف می‌شوند:

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

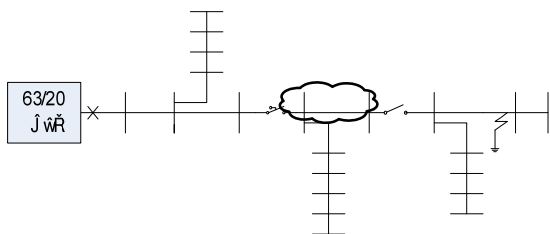
۶-۲) مجموع عبارات انرژی توزیع نشده فیدر و تبدیل آن به هزینه در صورتی که مجموع انرژی توزیع نشده در ضریب تبدیل انرژی توزیع نشده به هزینه آن ضرب شود هزینه انرژی توزیع نشده به دست می‌آید، که طبق رابطه (۶) بیان می‌شود:

$$NSPC^P = (Factor_{one} + Factor_{two} + Factor_{three} + Factor_{four} + Factor_{five}) \times CE \quad (6)$$

در رابطه (۶) متغیر $NSPC^P$ هزینه انرژی توزیع نشده ناشی از عملکرد تجهیزات حفاظتی و CE ضریب تبدیل قطعی را به هزینه انرژی توزیع نشده برای زمان تعمیر و رفع عیب بخش خط‌آدار را بیان می‌کنند.

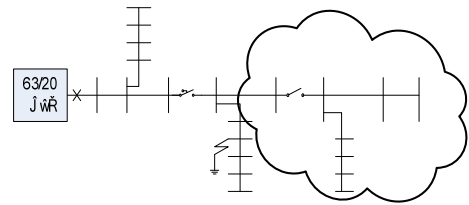
۷-۲) صرفه جویی ناشی از بازیابی بارهای اصلی پشت شاخه خط‌آدار با بروز خطا در شاخه اصلی

با بروز خطا در یکی از شاخه‌های فیدر اصلی یکی از تجهیزات حفاظتی عمل می‌کند و بخشی از بارها قطع می‌گردند و در صورتی که خطا جلوی یک وسیله کلیدزنی قرار گرفته باشد، می‌توان با باز نمودن تجهیز کلید زنی فوق‌الذکر بارهای شاخه اصلی بین تجهیز کلید زنی و تجهیز حفاظتی را بازیابی کرد. به عبارت دیگر با داشتن هر تجهیز کلیدزنی در شاخه اصلی می‌توان با بروز خطا جلوی آن تجهیز، بارهای بین تجهیز کلیدزنی و وسیله حفاظتی عمل کننده را بازیابی کرد. شین‌هایی که بار آنها بدین روش از خاموشی رها شده‌اند در شکل (۶) معین شده‌اند و در رابطه (۷) بیان ریاضی مباحث فوق آمده است:



شکل (۶): انرژی بازیابی شده بارهای شاخه اصلی پشتی به سبب وجود تجهیز کلیدزنی در شاخه اصلی

$$Factor_{six} = \sum_{i=1}^{sp} X_{i13} \sum_{j=1}^{sp} \lambda \left[\prod_{l=1}^j (1 - X_{il1}) (1 - X_{il2}) \right] \times \sum_{i=1}^{i-1} N_i \prod_{s=i+1}^{i-1} (1 - X_{is1}) (1 - X_{is2}) (1 - X_{is3}) \quad (7)$$



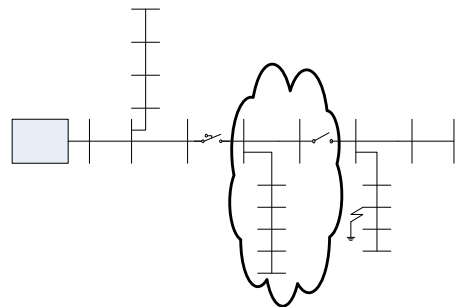
شکل (۴): انرژی توزیع نشده ناشی از خطا در شاخه‌های جانبی و قطع بار شاخه‌های اصلی و جانبی جلویی

عبارت ریاضی بیان کننده این قسمت به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$Factor_{four} = \sum_{s=1}^{NR(1)} \sum_{w=1}^{R(s)} \lambda(s, w) \left[\sum_{j=LK(s)}^{sp} N_j \prod_{k=1}^w (1 - X_{sk1}) (1 - X_{sk2}) + \sum_{r=1}^{NR(LK(s))} \sum_{p=1}^{R(r)} N_p \prod_{k=1}^w (1 - X_{rk1}) (1 - X_{rk2}) \right] \quad (4)$$

۵-۲) انرژی توزیع نشده ناشی از خطا در شاخه جانبی و قطع بارهای اصلی و جانبی پشتی

با بروز خطا در شاخه جانبی و عدم وجود تجهیز حفاظتی در سر شاخه جانبی، بار شاخه‌های اصلی و جانبی پشت شاخه جانبی قطع می‌شوند که تا اولین تجهیز عمل کننده گسترش می‌یابد (شکل (۵)).



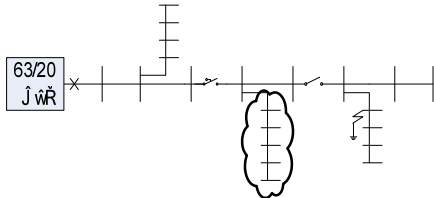
شکل (۵): انرژی توزیع نشده ناشی از خطا در شاخه‌های جانبی و قطع بار شاخه‌های اصلی و جانبی پشتی

رابطه (۵) نشان می‌دهد که فاکتور پنجم چگونه می‌تواند به صورت ریاضی بین شود:

$$Factor_{five} = \sum_{s=1}^{NR(1)} \sum_{w=1}^{R(s)} \lambda(s, w) \left[\sum_{l=LK(s)-1}^l N_l \prod_{k=w}^l (1 - X_{sk1}) (1 - X_{sk2}) \prod_{m=LK(s)}^l (1 - X_{lm1}) (1 - X_{lm2}) + \sum_{v=1}^{NR(LK(s))} \sum_{t=1}^{R(v)} N_t \prod_{m=LK(t)}^{LK(v)} (1 - X_{1m1}) (1 - X_{1m2}) \prod_{k=w}^l (1 - X_{sk1}) (1 - X_{sk2}) \right] \quad (5)$$

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

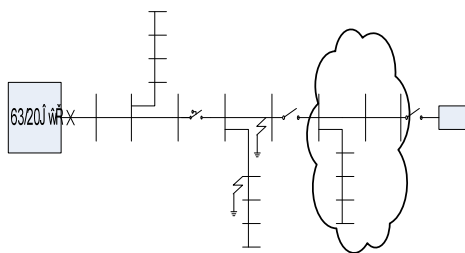
۲-۱) صرفه جویی ناشی از بازیابی بار شاخه‌های جانبی پشت شاخه خطادار با بروز خطا در شاخه‌های جانبی این صرفه‌جویی ناشی شده از بازیابی به کمک رابطه (۱۰) بیان می‌شود. بارهای بازیابی شده این طریق در شکل (۹) معین شده‌اند:



شکل (۹): انرژی بازیابی شده بار شاخه‌های جانبی پشتی به سبب وجود تجهیز کلیدزنی در شاخه اصلی در هنگام خطا در شاخه جانبی

$$Factor_{nine} = \sum_{i=1}^{sp} X_{i3} \sum_{s=1}^{NR(i)R(s)} \lambda(s,t) \times \prod_{m=1}^i (1-X_{im1})(1-X_{im2}) \times \prod_{n=1}^{LK(s)} (1-X_{in1})(1-X_{in2}) \times \sum_{y=1}^{NR(i)R(s)} N_x \prod_{v=LK(y)}^{i-1} (1-X_{iv1})(1-X_{iv2})(1-X_{iv3}) \quad (10)$$

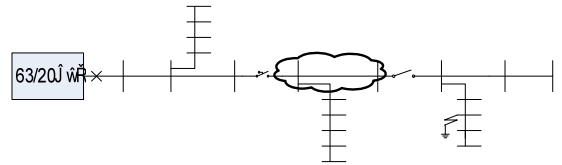
۲-۱۱) صرفه جویی ناشی از بازیابی بار شاخه‌های جلویی شاخه خطادار با بروز خطا در شاخه‌های اصلی در صورتی که فیدرهای مجاور ظرفیت اضافی داشته باشند، با بروز خطا در پشت تجهیز کلیدزنی تجهیز کلیدزنی باز شده و قسمت خطادار بین تجهیز کلیدزنی و وسیله حفاظتی محدود می‌شود و بار شاخه‌های جانبی و اصلی جلویی از فیدر مجاور تغذیه می‌شوند که این موضوع در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود و رابطه (۱۱) بیان ریاضی این مقدار است.



شکل (۱۰): انرژی بازیابی شده بار شاخه‌های جانبی و اصلی جلوی شاخه خطا دار با تغذیه از فیدر مجاور

$$Factor_{ten} = \sum_{j=1}^{sp} X_{j3} \left\{ \sum_{k=1}^{NR(j)R(k)} \lambda(k,w) \times \prod_{l=1}^j (1-X_{lj1})(1-X_{lj2}) + \sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j \right\} \times \left\{ \sum_{t=1}^{sp} N_t + \sum_{s=1}^{NR(i)R(s)} \sum_{m=LK(s)} N_m \right\} \quad (11)$$

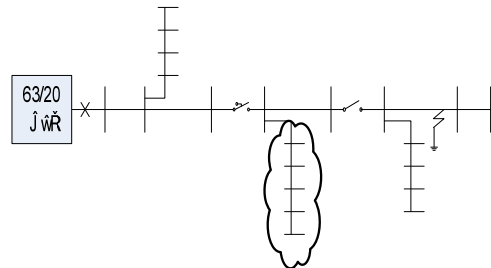
۲-۸) صرفه جویی ناشی از بازیابی بارهای اصلی پشت شاخه خطادار با بروز خطا در شاخه‌های جانبی اگر در شاخه‌های جانبی خطا رخ دهد آنگاه مانند عبارت توضیح داده شده در بخش ۲-۷ می‌توان بارهای شاخه اصلی مابین تجهیز کلیدزنی و وسیله حفاظتی عمل کننده را بازیابی کرد که با شرح شکل (۷) مسئله روش‌تر می‌شود. عبارت ریاضی بیان کننده این صرفه جویی ناشی از بازیابی را در رابطه (۸) مشاهده می‌شود:



شکل (۷): انرژی بازیابی شده بارهای شاخه اصلی پشتی به سبب وجود تجهیز کلیدزنی در شاخه اصلی در هنگام خطا در شاخه جانبی

$$Factor_{seven} = \sum_{i=1}^{sp} X_{i3} \sum_{s=1}^{NR(i)R(s)} \lambda(s,t) \prod_{m=1}^i (1-X_{im1})(1-X_{im2}) \times \prod_{n=1}^{LK(s)} (1-X_{in1})(1-X_{in2}) \sum_{r=1}^{i-1} N_r \prod_{l=r+1}^{i-1} (1-X_{il1})(1-X_{il2})(1-X_{il3}) \quad (8)$$

۲-۹) صرفه جویی ناشی از بازیابی بار شاخه‌های جانبی پشت شاخه خطادار با بروز خطا در شاخه‌های اصلی با توجه به شکل (۸) و مشابه آنچه در مورد فاکتورهای گذشته اشاره شد در تابع هدف می‌توان رابطه (۹) را برای بازیابی بار شاخه‌های جانبی پشت شاخه خطا دار بیان کرد:



شکل (۸): انرژی بازیابی شده بار شاخه‌های جانبی پشتی به سبب وجود تجهیز کلیدزنی در شاخه اصلی در هنگام خطا در شاخه اصلی

$$Factor_{eight} = \sum_{i=3}^{sp} X_{i3} \sum_{j=1}^{sp} \lambda_j \prod_{l=1}^j (1-X_{li1})(1-X_{li2}) \times \sum_{s=1}^{NR(i)R(s)} \sum_{t=1}^{i-1} N_t \prod_{m=LK(s)}^{i-1} (1-X_{lm1})(1-X_{lm2})(1-X_{lm3}) \quad (9)$$

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

برای ارجاع هزینه در سال‌های آینده با در نظر گرفتن رشد بار و اثر تورمی به شکل ساده باید از رابطه (۱۴) استفاده شود:

$$k = 1 + \frac{g(g^{t-1} - 1)}{g - 1}, g = \frac{1 + \frac{r}{100}}{1 + \frac{p}{100}} \quad (14)$$

پارامترهای رابطه (۱۴) عبارتند از:

r : درصد رشد بار سالیانه

P : نرخ بهره سالیانه

t : دوره مورد بررسی طرح و طراحی مورد نظر

بیان تابع هدف به اختصار

تابع هدف به صورت خلاصه به صورت زیر می‌باشد:

$$NSPC = \text{Fixed Cost} + k(NSPC^R + NSPC^P) \quad (15)$$

در رابطه (۱۵) هزینه کل که تابع هدف می‌باشد و هدف حداقل‌سازی آن را می‌باشد ۳ بخش عمده هزینه ثابت که هزینه نصب، تعمیر و نگهداری را شامل می‌شود، هزینه انرژی توزیع نشده و هزینه صرفه‌جویی ناشی از بازیابی است. بنابر توضیحات داده شده در مورد آثار اقتصادی بر تابع هدف عبارات مربوط به هزینه انرژی توزیع نشده و بازیابی در ضریبی ضرب شده و با هزینه‌های ثابت جمع می‌شوند که در رابطه فوق نیز این مطلب را مشاهده می‌شود.

۳) برنامه جامع تعیین شاخص انرژی توزیع نشده

در این بخش برنامه جامع تعیین شاخص انرژی توزیع نشده و اطلاعات ورودی و خروجی مورد نیاز و فرآیند کلی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این برنامه قسمت‌های مختلف فیدر به این روش شماره گذاری می‌شوند که از ابتدای فیدر به شماره گذاری شاخه‌های اصلی پرداخته تا اولین انشعاب فرعی، آنگاه شاخه‌های انشعاب شماره گذاری می‌شوند و پس از شماره گذاری شاخه-های انشعاب فرعی شاخه‌های اصلی شماره گذاری می‌شوند.

با توجه به روش شماره گذاری اشاره شده برنامه اطلاعات ورودی را مانند جدول (۱) دریافت می‌کند، که جهت سادگی ورود اطلاعات و امکان تغییر مناسب و سریع توسط کاربر برنامه اطلاعات به صورت یک فایل Excel دریافت می‌شود.

۱۲-۲) مجموع عبارات انرژی بازیابی شده و تبدیل آن به هزینه بازیابی

در صورتی که فاکتورهای ۶ تا ۱۰ در ضریب تبدیل انرژی بازیابی شده به هزینه انرژی بازیابی شده ضرب شود، آنگاه رابطه‌ای مشابه رابطه (۱۲) حاصل می‌شود:

$$NSPC^R = -(Factor_{ten} + Factor_{nine} + Factor_{eight} + Factor_{seven} + Factor_{six}) \times (CE - CR) \quad (12)$$

CR : ضریب تبدیل قطعی و بی‌برقی به هزینه بی‌برقی که با توجه به علامت منفی یعنی هزینه صرفه جویی شده.

$NSPC^R$: هزینه بی‌برقی ناشی از بازیابی

۱۳-۲) هزینه‌های ثابت در تابع هدف

یکی دیگر از مواردی که باید در تابع هدف آورده شود مقادیر هزینه نصب، تعمیر و نگهداری تجهیزات است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$FC_i = \sum_{j \in Q} FCP_{jk} X_j + \sum_{j \in ch} FCC_j Y_j \quad (13)$$

که در آن

FC : هزینه نصب، تعمیر و نگهداری

FCP_{jk} : هزینه نصب و... تجهیز حفاظتی نوع k در شاخه j ام

FCC_j : هزینه نصب و... تجهیز کلید زنی (سکسیونر) در شاخه j ام

Q : محل قرارگیری تجهیزات حفاظتی

ch : محل قرارگیری تجهیزات کلید زنی

Y_j : متغیر تصمیم‌گیری در مورد بودن یا نبودن تجهیز کلیدزنی

X_j : متغیر تصمیم‌گیری در مورد بودن یا نبودن تجهیز حفاظتی

۱۴-۲) بررسی پارامترهای اقتصادی و اقتصاد مهندسی در تابع هدف

در مورد تورم و آثار آن بر تحلیل مورد بررسی در این مقاله باید اشاره کرد که نرخ بهره و تورم که ارتباط نزدیکی در سیستم‌های اقتصادی آزاد با هم دارند بر روی تحلیل‌های اقتصادی و بویژه محاسبات اقتصاد مهندسی تاثیر بسزایی دارند. تاثیر نرخ بهره به این صورت در تحلیل‌های مالی و اقتصادی مورد بررسی قرار می‌گیرد که هر مقدار پول در هر زمانی یک ارزشی دارد [۱۳].

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

برنامه، شاخص انرژی توزیع نشده را با دریافت اطلاعات ورودی و توپولوژی شبکه، محل قرارگیری تجهیزات ریکلوزر، سکشنالایزر، فیوز و سکسیونر محاسبه می‌نماید. محاسبه شاخص انرژی توزیع نشده بر اساس همان تئوری است که در مورد تابع هدف بهینه بیان شد. در رابطه (۲۳) می‌توانید رابطه شاخص انرژی توزیع نشده را با فاکتورهای توضیح داده شده ببینید:

برنامه، شاخص انرژی توزیع نشده را با دریافت اطلاعات ورودی و توپولوژی شبکه، محل قرارگیری تجهیزات ریکلوزر، سکشنالایزر، فیوز و سکسیونر محاسبه می‌نماید. محاسبه شاخص انرژی توزیع نشده بر اساس همان تئوری است که در مورد تابع هدف بهینه بیان شد. در رابطه (۲۳) می‌توانید رابطه شاخص انرژی توزیع نشده را با فاکتورهای توضیح داده شده ببینید:

$$ENS =$$

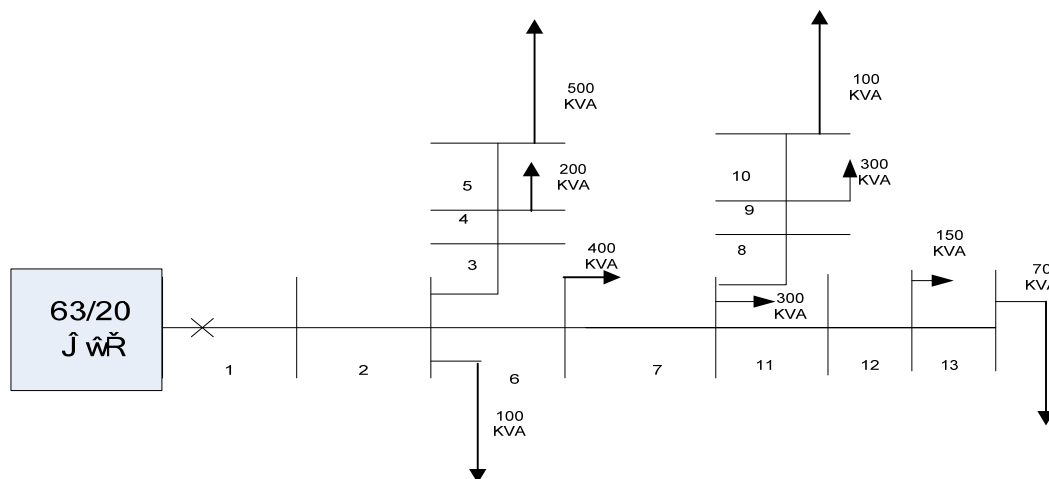
$$\left(Factor_{one} + Factor_{two} + Factor_{three} + Factor_{four} + Factor_{five} \right) - \left(Factor_{six} + Factor_{seven} + Factor_{eight} + Factor_{nine} + Factor_{ten} \right) \quad (16)$$

۵) اعمال برنامه و بهینه سازی تابع هدف برای یک شبکه نمونه

در این بخش فرآیند توضیح داده شده شامل دریافت اطلاعات توسط برنامه، شناسایی توپولوژی شبکه و تعیین محل، تعداد و نوع تجهیزات حفاظتی و کلیدزنی بر روی یک شبکه کوچک نمونه واقعی بررسی می‌شود. شکل (۱۱) شبکه نمونه-ای را نشان می‌دهد که اطلاعات آن در جدول (۱) آمده است.

۴) بهینه سازی تابع هدف

با توجه به ماهیت غیرخطی و حجیم بودن تابع هدف بهینه-سازی آن به کمک روش‌های سنتی امکان‌پذیر نیست. یکی از



شکل (۱۱): نقشه فیدر نمونه از شبکه توزیع

نتایج قرارگیری تجهیزات مختلف در جدول (۲) آمده است.

۶) اعمال برنامه و بهینه سازی تابع هدف برای فیدر اقدسیه شبکه توزیع غرب استان تهران

فرآیند بهینه‌سازی بر روی یکی از فیدرهای شبکه توزیع غرب استان تهران به نام فیدر اقدسیه انتخاب گردید که شامل ۱۸۳ قسمت اصلی و فرعی بوده که ۱۲ نقشه آن در پیوست ۱ قابل مشاهده است.

با اجرای برنامه مکان ریکلوزرها مبتنی بر این اصل که پوشش ریکلوزری کامل در شبکه وجود داشته باشد تعیین می‌شود. در این شبکه با قرار دادن یک ریکلوزر در ابتدای قسمت و شاخه شماره ۱ پوشش ریکلوزری مدنظر حاصل می‌شود. در مورد پوشش ریکلوزری از روش اشاره شده در [۱۵] استفاده شده است.

سپس تابع هدف با کمک الگوریتم ژنتیک بهینه می‌شود که نتایج زیر حاصل می‌شود.

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول (۴): اطلاعات هزینه نصب و نگهداری تجهیزات

هزینه نصب و نگهداری تجهیزات (تومان)		
۱	ریکلوزر	۱۴۰۰۰۰۰
۲	سکشنالایزر	۶۵۰۰۰۰۰
۳	سکسیونر	۱۵۰۰۰۰۰
۴	فیوز	۵۰۰۰۰۰

ضرایب و فرضیات انجام شده برای فیدر نمونه با استناد به اعداد و ارقام [۱۶ و ۹ و ۲] در فرآیند بهینه‌سازی عبارتند از:

جدول (۱): اطلاعات ورودی فیدر نمونه مورد بررسی

تعداد	نوع تجهیز	در سال	تعداد
۱	۰	۰.۰۰۱۶	۱
۲	۱۰۰	۰.۰۰۱	۱
۳	۰	۰.۰۰۹	۰
۴	۲۰۰	۰.۰۰۴	۰
۵	۵۰۰	۰.۰۰۴	۰
۶	۴۰۰	۰.۰۰۱	۱
۷	۳۰۰	۰.۰۲	۱
۸	۰	۰.۰۰۲۴	۰
۹	۳۰۰	۰.۰۰۰۸	۰
۱۰	۱۰۰	۰.۰۰۲	۰
۱۱	۰	۰.۰۰۴	۱
۱۲	۱۵۰	۰.۰۰۲	۱
۱۳	۷۰۰	۰.۰۲	۱

جدول (۵): نتایج حاصل از بهینه‌سازی تابع هدف

۱	محل‌های پیشنهادی قرارگیری فیوز یا سکشنالایزر
۲	۵۲ ۴۷ ۴۵ ۲۶ ۱۳ ۱۲ ۱۰ ۴ ۱۲۷ ۱۲۴ ۱۲۰ ۱۱۸ ۱۰۴ ۱۰۳ ۵۶ ۵۴ ۱۲۹ ۱۳۰ ۱۵۷ ۱۵۹ ۱۸۳ ۱۱ ۲۸ ۴۸ ۱۱۹ ۱۲۱ ۱۲۸ ۱۴۵ ۱۵۲ ۱۶۰ ۱۷۸
۳	محل‌های پیشنهادی جهت قرارگیری سکسیونر یا سکشنالایزر
۴	۵۴ ۵۱ ۴۵ ۴۴ ۴۳ ۲۷ ۲۶ ۱۲ ۲ ۱۴۳ ۱۳۰ ۱۲۹ ۱۲۷ ۱۱۷ ۱۰۴ ۱۰۳ ۵۵ ۱۴۴ ۱۴۶ ۱۵۶ ۱۵۷ ۱۵۹ ۱۷۹ ۱۸۱ ۱۸۲ ۱۸۳

(۷) نتیجه‌گیری

در این مقاله در راستای افزایش قابلیت اطمینان سیستم برنامه جامع تعیین شاخص انرژی توزیع نشده معرفی گردید، بدین منظور تابع هدف موجود در مقالات موجود بهبود یافته است. سپس فرآیند بهینه‌سازی تابع هدف مناسب با در نظر گرفتن ملاحظات فنی - اقتصادی با کمک برنامه ذکر شده و الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار گرفت. در پایان نیز نتایج اعمال بهینه‌سازی بر روی یکی از فیدرهای شبکه کرج آورده شد و تعداد، محل و نوع مناسب تجهیزات حفاظتی و کلیدزنی به صورت توامان برای فیدر ۱۸۳ قسمتی بیان گردید که خود شاهدی بر این مدعاست که از این روش می‌توان در تعیین تجهیزات مناسب کلیدزنی و حفاظتی در شبکه‌های توزیع سود جست

جدول (۲): نتایج حاصل از بهینه‌سازی تابع هدف شبکه نمونه

۱	محل‌های پیشنهادی قرارگیری فیوز یا سکشنالایزر
۲	۱۱ ۱۳ ۳
۳	محل‌های پیشنهادی قرارگیری سکسیونر یا سکشنالایزر
۴	۶

جدول (۳): ثوابت تبدیل تابع هدف

۱	ثابت تبدیل انرژی توزیع نشده (تومان بر کیلووات ساعت)	۱۸۰۰۰
۲	ثابت تبدیل خطای سالیانه به هزینه	۱۰۰۰۰

۸ مراجع

[۱۳] محمد مهدی اسکونژاد، "اقتصاد مهندسی"، انتشارات امیرکبیر، چاپ یازدهم، ۱۳۷۸ شمسی.

[14] Farzad. Razavi, Hossein. Askarian. Abyaneh, Magid.Al-Dabbagh, Reza. Mohammadi, Hossein. Torkaman, "A New Comprehensive Genetic algorithm Method for Optimal Overcurrent Relays Coordination", Electric Power System Research, Vol-78, pp.713-720, 2008

[۱۵] علی رفیعی، "هماهنگی تجهیزات حفاظتی در شبکه‌های توزیع"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، مهر ۱۳۷۹.

[۱۶] شیرانی ع.، "خسارت‌های ناشی از عدم تامین برق در بخش‌های خانگی: تجاری و صنعتی"، نشریه علمی برق، سال سیزدهم، شماره اول (شماره پی در پی ۲۹)، بهار ۱۳۷۹، صفحه ۳۹-۴۸.

۹ پیوست

در پیوست ۱ نقشه فیدر اقدسیه از شبکه توزیع غرب استان تهران آورده شده است.

[1] R. billinton and R.N. Allan, reliability Evaluation of Power System, New York:Plenum Press, 1984

[۲] علیرضا حاتمی، علی یزدیان، عبدالامیر یاقوتی، کاظم زارع، ایرج احمدی، تقی بارفروش، "بهینه سازی هزینه تجهیزات حفاظتی شبکه‌های توزیع الکتریکی"، دهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق- خازن گذاری

[3] Roy Billinton Fellow IEEE, Satish Jonnavithula, "Optimal Switching Device Placement in Radial Distribution System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.-11, No.-3, pp.1646-1651, July 1996

[4] J.Luth , "Four Rules to Help Locate Protective Devices", Electrical World, pp.36-37, Aug 1991

[5] H.D.Chiang ,R.M.J.Jumea, "Optimal Network Reconfiguration in Distribution Systems ", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.-5, No.-4, pp.1902-1908, Nov 1996

[6] G. Levitin,s. Mzal-Tov and D. Emakies, "Optimal Sectionalizer Allocation in Electric Distribution on Systems by Genetic Algorithm", Electric Power System Reaserch,, Vol. 13, No. 1, pp.97-102, 1994

[7] F.Soudi, K.Tomosovic, "Optimal Trade-Off in Distribution Protection ", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 16, No.2, november 2001

[8] F.Soudi, K.Tomosovic, "Optimal Distribution Protection Design : Quality of Soulation and Computational Analsis", Elsectric Power and Energy Systems, Vol. 21, PP. 323-325,1999.

[9] L.G.Wesza.da.Silva, R.A.F.Pereira, J.R.S.Mantovani , "Optimised Allocation of Control and Protective Devices for Reliability Indice Improvement in Distribution Systems", 2004 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition , Latin America

[10] L.G.Wesza.da.Silva, R.A.F.Pereira, J.R.S.Mantovani , "Optimised Allocation of Sectionalizing Switches and Protection Devices in Distriution Network by Using Reactive Tabu Search

Algorithm", CIREDE, ^{18th} International on Conference on Electricity Distribution , Session 3 ,Turin, 6-9 June 2005

[11] L.G.Wesza.da.Silva, R.A.F.Pereira, J.R.S.Mantovani , " Optimised Placement of Control and Protective Devices in Electric Distribution Systems Through Reactive Tabu Search Algorithm", Electric Power System Research, Vol- 78, pp.372-381, 2008

[12] W. Tippachon, D. Rerkpreedapong, "Multiobjective optimal placement of switches and protective devices in electric power distribution systems using ant colony", Electr.PowerSyst.Res.(2009),doi:10.1016/j.epsr.2009.02.006