مروری بر روشهای بهینه سازی و کنترل سیستمهای توزیع

مهندس سیدمحمد مدنی　　مهندس محمودرضا حقی فام

شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو

چکیده: مقاله حاضر شامل دو بخش بهینه سازی طراحی و کنترل بهینه سیستمهای توزیع می باشد. در بخش اول روشهای بهینه سازی در طراحی تشریح و جواب آنها از نظر دقت و صرفه جویی اقتصادی با یکدیگر مقایسه شده است. سپس روش ابداعی که از ترکیب دو روش قبلی بدست آمده است، ارائه شده است.

در بخش دوم مفهوم کنترل بهینه شبکه های توزیع تشریح و کاربردالگوریتمهای بهینه سازی که دربخش اول معرفی شده بودند همراه با مقایسه کارایی آنها آمده است.

مقدمه: صنعت برق در سال ۱۸۸۲ هنگامیکه اولین نیروگاه در نیویورک شروع به کار کرد، متولد شد. از آن زمان تاکنون که در سال ۱۹۹۲ هستیم شبکه های الکتریکی که شامل واحدهای تولیدی، سیستم های فشار قوی، سیستم های توزیع و فوق توزیع میباشد در کشورهای مختلف به سرعت گسترش یافته است. کارکرد بهینه و قابل اطمینان سیستمهای الکتریکی با پیچیدگی های فراوانی که دارند در گرو طراحی صحیح و بهره برداری مناسب از آنهاست. هزینه زیاد احداث و بهره برداری این سیستمها و رعایت قابلیت اطمینان بالای آنها طراحان را برآن میدارد که طراحی و بهره برداری را بهینه سازند.

این موضوع اخیراً بعلت توسعه روزافزون شبکه ها مورد توجه قرار گرفته است. در طراحی سیستم های توزیع با توجه به گستردگی آن عوامل و پارامترهای متعددی دخالت دارند که از جمله آنها میتوان مسائل فنی، اقتصادی، اکولوژیکی، جغرافیایی، سیاسی، فرهنگی و بافت اجتماعی شهرها را بیان کرد. بدین علت است که طراحی سیستمهای توزیع را نمیتوان به توسط

الگوریتم مشخص و دقیقی انجام داد، بلکه نظر طراح و تجربیات مهندسی در این امر نقش به سزایی دارند.

امروزه علاوه بر طراحی بهینه شبکه های توزیع بهره برداری بهینه از آنها نیز مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی بار شبکه های توزیع با توجه به تنوع مصرف کننده ها دارای پروفیل بار مسطحی نمیباشد، بدیهی است که در هر لحظه از زمان بارهای مختلف (خانگی، تجاری، صنعتی) در شبکه میتوانند تغییر کنند.

ایده اصلی در کنترل بهینه شبکه های توزیع این است که میتوان با تغییر آرایش شبکه توزیع جریان در سیستم را طوری تغییر داد که تلفات کل شبکه انرژی رسانی حداقل شده و قابلیت اطمینان آن نیز در حد مورد قبول باشد.

در این مقاله ابتدا به بررسی روشهای مختلف بهینه سازی طراحی سیستمهای توزیع که تاکنون مورداستفاده قرار گرفته است خواهیم پرداخت و سپس مقایسه بین این روشها را ارائه خواهیم کرد. در نهایت الگوریتم ترکیبی توسط تهیه کنندگان ارائه گردیده است. این الگوریتم ترکیبی از دو الگوریتم بهینه سازی دو مرحله ای و جستجوی تجربی بوده و دارای این مزیت است که در مرحله دوم اضافه کردن شاخه ها با معیار مناسبی انجام می گیرد. در بخش انتهایی ضمن تشریح روشهای کنترل بهینه شبکه و مقایسه آنها نشان داده خواهد شد که هر چه شبکه توزیع پیچیده تر بوده و تنوع بارها در آن زیادتر باشد پتانسیل کاهش تلفات توسط کنترل شبکه بیشتر خواهد بود.

۱) طراحی بهینه شبکه های توزیع

هر کدام از روشهای بهینه سازی جهت حذف و اضافه نمودن شاخه ها به منظور بهینه کردن شبکه معیارهایی دارند. علت انتخاب معیار در این است که حالات ممکن در یک شبکه توزیع واقعی بسیار زیاد است و بررسی تمام آنها مشکل بوده و انتخاب بهینه ترین حالت از بین آنها بسیار وقت گیر و عملاً غیرممکن است.

روشهای بهینه سازی با استفاده از معیارها در هر مرحله شاخه هایی جهت حذف یا اضافه شدن کاندید می کنند و پس از بررسی های فنی و اقتصادی با تکرار عملیات حذف و اضافه کردن شاخه به طرح بهینه نزدیک می شوند. در این قسمت معیارهای انتخاب شاخه جهت حذف و اضافه کردن همراه با الگوریتمهای بهینه سازی شرح داده شده و در پایان به مقایسه بین این روشها پرداخته خواهد شد.

۱-۱) معیارهای حذف و اضافه کردن شاخه ها جهت بهینه سازی شبکه های توزیع

- حذف شاخه با حداکثر هزینه

در این روش ابتدا هزینه تلفات، نصب و تجهیزات شاخه ها بطور مجزا محاسبه شده و شاخه

ای که حداکثر هزینه کل را دارد جهت حذف کاندید می گردد.

این روش گرچه در نظر اول ممکن است روش خوبی به نظر برسد لیکن باید توجه داشت که با حذف یک شاخه تلفات کل شبکه تحت تاثیر قرار خواهد گرفت و در بعضی موارد ممکن است هزینه کل شبکه افزایش یابد.

بدیهی است که جهت محاسبه تلفات در هر آرایش فرض شده باید مطالعات پخش بار صورت گیرد.

- معیار حذف شاخه با حداکثر هزینه تلفات بر واحد توان انتقالی

دراین روش پس ازانجام پخش بار توان انتقالی هرشاخه و تلفات آن محاسبه شده و شاخه ای که نسبت تلفات به توان انتقالی حداکثر داشته باشد، جهت حذف کاندید می گردد.

- حذف شاخه ای که کمترین توان را عبور می دهد

در این روش پس از انجام پخش بار بر روی طرح اولیه شاخه ای که کمترین توان را عبور می دهد برای حذف کاندید می شود.

- حذف و اضافه کردن شاخه ها به منظور تغذیه بارها با حداقل افت ولتاژ

در این روش سعی می شود با تغییر مسیر تغذیه افت ولتاژ بارها را تا حد امکان برطرف کنند.

- اضافه کردن شاخه هایی که ولتاژ دو سر آن در حالت قطع حداکثر است.

در این روش پس از انجام پخش بار اختلاف ولتاژ بین گره های بدون ارتباط مستقیم محاسبه شده و بین دو گره ای که دارای حداکثر اختلاف ولتاژ باشد اضافه کردن شاخه توصیه می شود.

۱-۲) الگوریتم های بهینه سازی

قبل از معرفی الگوریتمهای بهینه سازی به ذکر نکات زیر که در تمامی روشها مشترک است می پردازیم:

- محدودیتهای بار و شبکه باید در تمامی آرایش ها رعایت شود.
- هیچ گره ای هنگام حذف شاخه ها از شبکه مجزا نگردد.
- هزینه کل شبکه (سرمایه گذاری + نصب + تلفات) پس از هر تغییر آرایش باید کاهش یابد.

- روش برنامه ریزی خطی

این روش بیشتر در طراحی شبکه های توزیع کاربرد دارد. در اینجا تابع هزینه (1) بهینه سازی، هزینه تلفات سیستم توزیع می باشد و بدینوسیله آرایش فیدرها جهت حداقل کردن تلفات مشخص می شود. در این روش در واقع تابع هزینه Z تحت قیود طراحی کمینه می شود.

$$MIN\ (Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} Cij\ Xij)$$

قیود بهینه سازی تابع Z :

$$\sum X_{ij} \le a_i\ ,\ \sum X_{ij} = b_i\ ,\ P_{min}\ C_{ij} < X_{ij} < P_{max}\ C_{ij}$$

که در آنها :

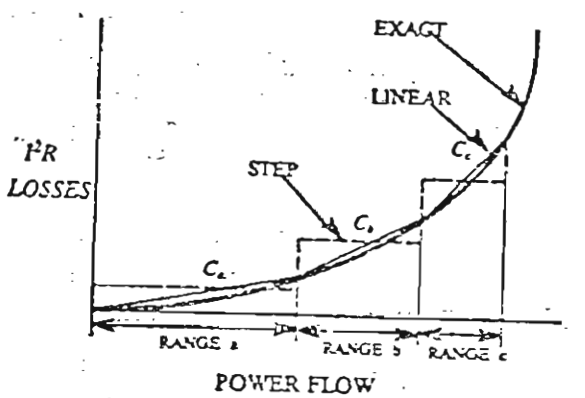
a_i و b_j: به ترتیب مقدار توان تحویلی منبع iام و معرف بار jام.

X_{ij}: مقدار توان انتقالی از منبع iام به بار jام.

C_{ij}: هزینه انتقالی واحد توان انتقالی از منبع iام به بار jام.

n و m : به ترتیب تعداد منابع تغذیه و نقاط بار

$P_{min}\ C_{ij}$ و $P_{max}\ C_{ij}$: حداکثر و حداقل محدوده خطی شده تابع تلفات با شیب C_{ij} لازم به ذکر است که تابع هدف در این روش باید خطی باشد و لذا تابع تلفات I^2R بار برحسب توان انتقالی خطی می گردد. برای افزایش دقت، تابع تلفات با چند قطعه خط تقریب زده می شود. شکل (۱)



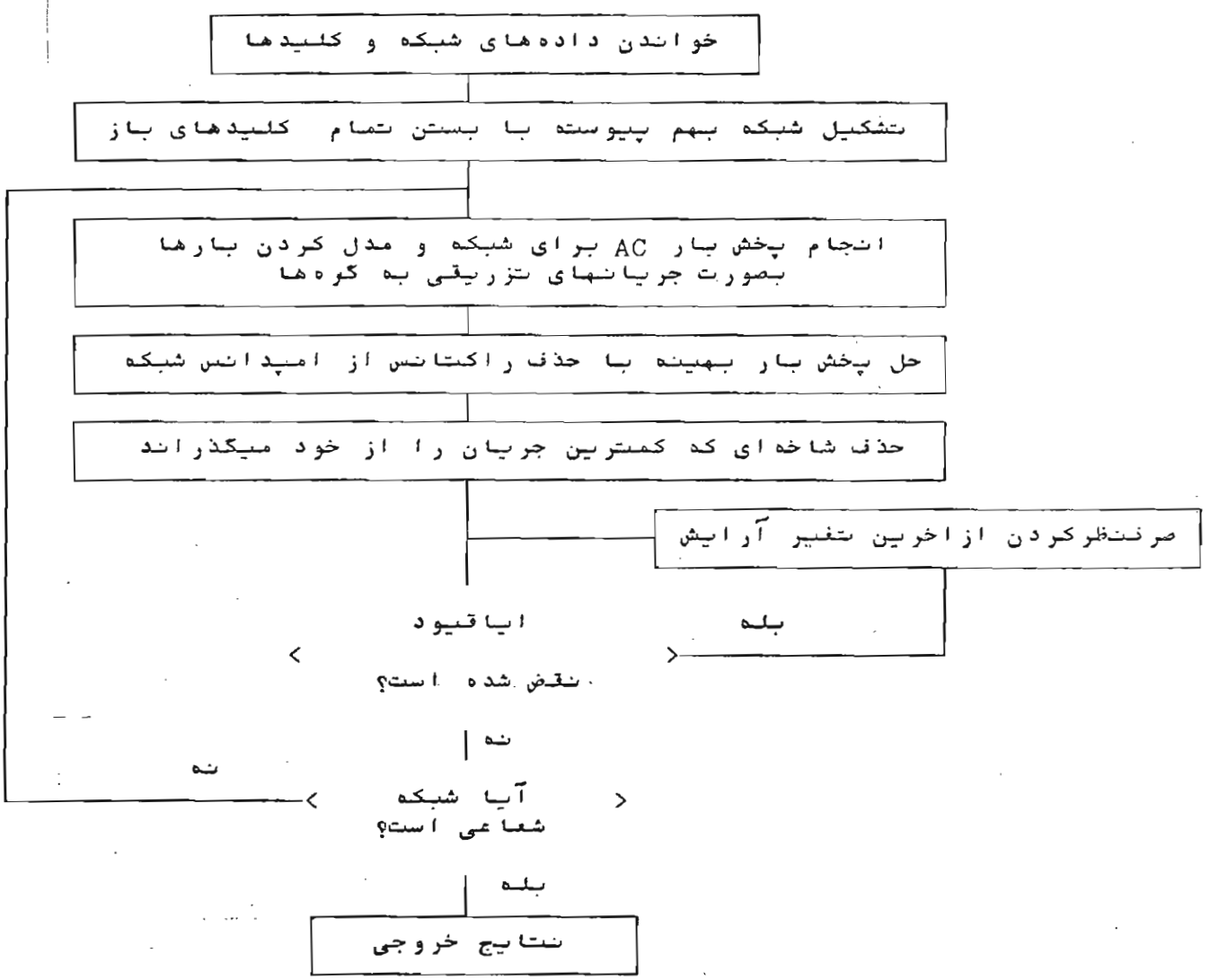
شکل ۱ - تقریب خطی تکه ای تلفات

---

1. COST FUNCTION

الگوریتم پخش بار بهینه (1)

الگوریتم این روش در شکل (۲) آمده است. در اینجا اولین مرحله خواندن داده های سیستم می باشد که شامل داده های حالت دائم مانند امپدانس خطوط تغذیه و داده های حالت دینامیکی مانند خطوط قابل قطع می باشد. این خطوط به صورت کلیدهایی در شبکه نشان داده می شوند. از دیگر داده های شبکه مقادیر ولتاژ، جریان و توان خطوط و بارها می باشد. در این روش ما فقط قادر خواهیم بود که شاخه هایی را برداریم و شاخه های جدید اضافه نمی کنیم لذا در این روش در ابتدا تمام شاخه هایی که مفید به نظر می رسند باید در نظر گرفته شوند.



شکل - ۲ : فلوچارت روش پخش بار بهینه

---

1. OPTIMAL LOAD FLOW

پس از وارد کردن دادهای در این روش یک پخش بار AC انجام می گیرد و جریان تمام بارها محاسبه می گردد این مرحله بدین جهت صورت می گیرد که بارها بصورت بار ثابت در نظر گرفته می شود و جریان بار با تغییر ولتاژ تغییر می یابد. سپس هر بار بوسیله یک منبع جریان ثابت در نظر گرفته می شود و برای تعیین جریانهای خطوط یک پخش بار بهینه انجام می شود تفاوت پخش بار بهینه انجام شده با پخش بار AC این است که شاخه ها فقط مقاومتی در نظر گرفته می شود و راکتانس آنها صفر قرار داده می شود. این الگوریتم یک روش تجربی جهت حداقل کردن تلفات I^2R شاخه های شبکه توزیع می باشد.

پس از هر بار پخش بار بهینه شاخه ای که حداقل جریان را حمل می کند حذف می گردد.

در مرحله بعدی پس از حذف شاخه محدودیتهای شبکه و بار چک می گردد. اگر تمام محدودیتها رعایت شده باشد شاخه کاندید شده حذف می گردد. این پروسه آنقدر ادامه می یابد تا به یک شبکه شعاعی برسیم.

الگوریتم جستجوی تجربی (1)

این روش جهت دستیابی به شبکه توزیع بهینه یا نزدیک به بهینه مورد استفاده قرار می گیرد. این روش یکی از جدیدترین روشها در این زمینه می باشد و در ابتدا توسط Merline و Back ابداع گردید و سپس توسط دکتر شیر محمدی توسعه یافت. این روش بر اصول تجربی و قوانین بدیهی استوار بوده و با برنامه های فرعی اضافه شده محدودیتهای بار و شبکه چک می شوند. مزیت اصلی این روش بر روشهای دیگر این است که شبکه طراحی شده نهایی به شبکه اولیه در نظر گرفته شده جهت بهینه سازی وابسته نمی باشد. این مطلب در حقیقت نشان می دهد که جواب این روش به سمت حداقل مطلق یا واقعی میل می کند نه به سمت حداقل های موضعی. فلوچارت کلی روش جستجوی تجربی در شکل (۳) آمده است.

در این روش ابتدا با استفاده از قواعد تجربی تعداد انتخابها را تا حد قابل قبولی کاهش می یابد و سپس تلفات را جهت تعداد حالتهای باقیمانده محاسبه می نماید و تغییری که حداکثر کاهش تلفات را با شرط رعایت محدودیتهای بار و شبکه به دنبال داشته باشد اعمال می گردد اینکار تا جایی که هیچگونه کاهش تلفات دیگری ممکن نباشد ادامه می یابد. جهت انتخاب شاخه ها جهت تغییرات در شبکه توزیع در اینجا از دو روش استفاده می گردد که عبارتند از :

- انتقال بار به فیدر با ولتاژ بالاتر : این کار با حذف یک شاخه و اضافه کردن شاخه دیگر انجام می گیرد.

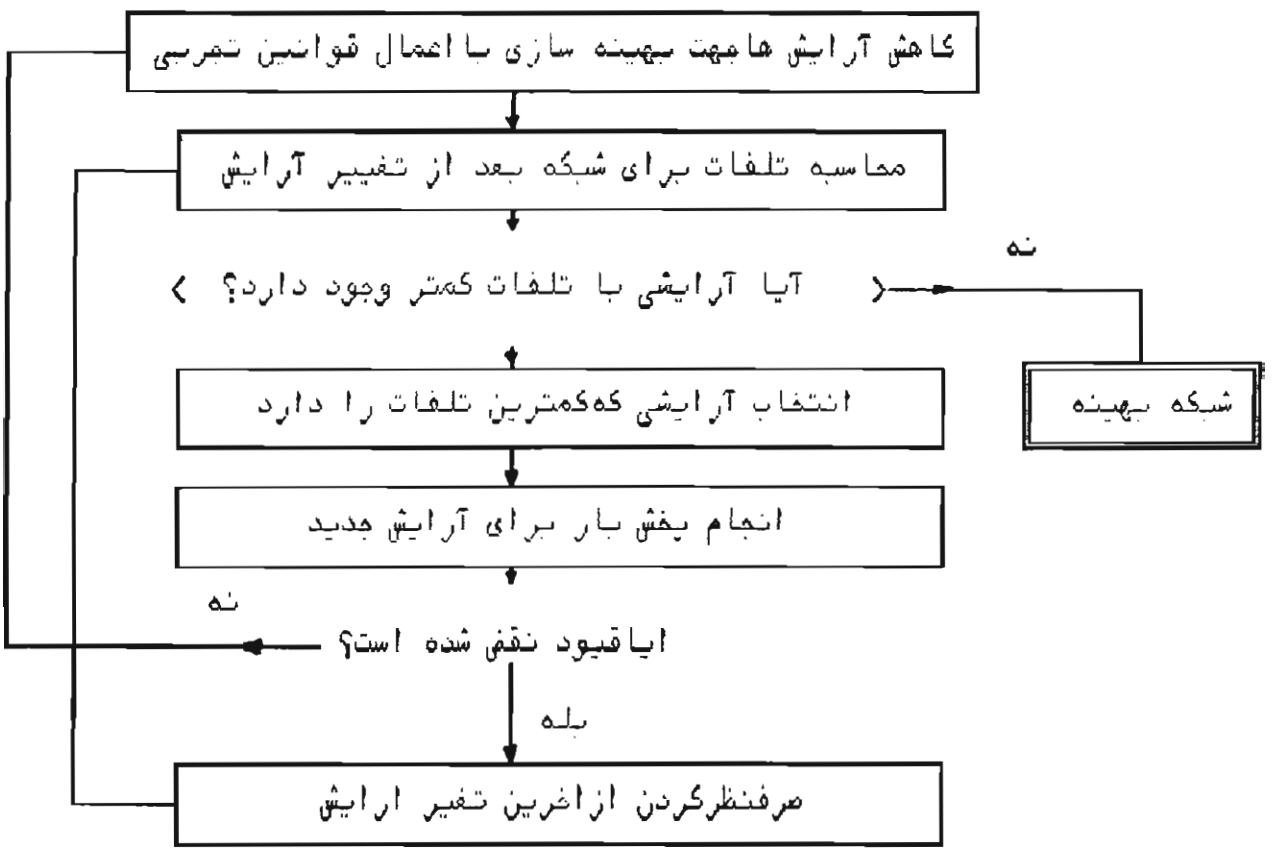
---

1. HEURISTIC SEARCH

- اضافه کردن شاخه ای که ولتاژ قطع دو سر آن حداکثر ولتاژ قطع باشد.

توسط قواعد فوق در هر مرحله شاخه هایی جهت قطع و یا اضافه شدن به شبکه کاندید می شوند چنانچه این تغییرات باعث تجاوز از محدودیتهای بار و شبکه نگردد آن تغییر اعمال می گردد در غیر اینصورت تغییری که در اولویت بعدی قرار دارد بررسی و اعمال می گردد. پس از اعمال هر تغییر پخش بار در شبکه انجام می گیرد، نتایج این پخش بار مبنای کار مراحل بعدی می گردد. این پروسه آنقدر ادامه می یابد تا دیگر کمیته کردن تلفات ممکن نباشد.

جهت محاسبه تلفات یا کاهش تلفات در این الگوریتم دو روش پیشنهاد می گردد یکی محاسبه کاهش تلفات با فرض بارهای متمرکز و دیگری با فرض اینکه بارهای شبکه روی شاخه ها گسترده باشند. ذیلاً هر کدام از این دو روش بیان گردیده است.



شکل - ۳ : فلوچارت روش جستجوی تجربی

الف) روش بهینه سازی جستجوی تجربی با مدل بار متمرکز

در این روش از فورمول تقریبی زیر جهت برآورد کاهش تلفات در اثر یک انتقال بار استفاده می شود.

$$\Delta P = Re \{ 2 \{\sum Ii\} \{Em - En\}^* \} + R_{loop} |\sum Ii|^2$$

که در آن

D : مجموعه بالهایی که از فیدر II جدا شده و به فیدر I متصل شده اند.

m : گره ای از فیدر II که توسط شاخه قطع شده بار را تغذیه می کرده است.

n : گره ای از فیدر I که توسط شاخه اضافه شده بار را تغیه خواهد کرد.

Ii : جریان مختلط متناظر با گره i

R_{loop} : مقاومت مسیر بین فیدرهای I و II از طریق شاخه هایی که حذف یا اضافه خواهند شد.

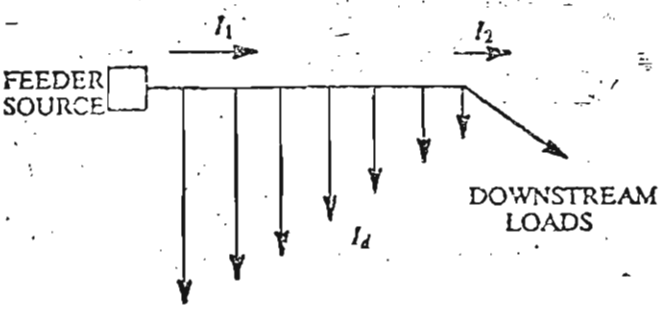
Em : عنصر بردار [Ebus] = [Rbus] [Ibus] متناظر با گره m قبل از انتقال بار

En : مشابه Em در مورد گره n

این فورمول یک روش سریع جهت محاسبه کاهش تلفات ارائه می دهد لیکن دو نقطه ضعف دارد یکی اینکه در اینجا بارها بصورت متمرکز در نظر گرفته شده که در سیستمهای توزیع فشار ضعیف غیرواقعی می باشد ، دیگر اینکه تلفات کل سیستم را به دست نمی دهد و فقط یک حدس از کاهش تلفات داریم.

ب) روش بهینه سازی تجربی باعدل بار گسترده یکنواخت (1)

اگرچه کل بار درخواستی از هر فیدر معلوم می باشد جهت کنترل سیستم توزیع پخش بار در طول فیدر معلوم نمی باشد. در این روش در عوض اینکه بار بصورت متمرکز در انتهای شاخه ها در نظر گرفته شود آنرا بصورت توزیع یکنواخت در طول شاخه در نظر می گیرند. اینکار در شبکه های توزیع فشار ضعیف باعث دقیق شدن برآورد تلفات می گردد. این روش نسبت به روش اول زمان محاسبه زیادتری لازم دارد ولی در عوض در بعضی از سیستمها جواب دقیق تری بدست داده و ثانیاً تلفات کل را نتیجه می دهد. مدل گسترده بار در شکل (٤) نشان داده شده است.



شکل - ٤ : مدل بار گسترده یکنواخت

1. Uniformly Distribution Model

در یک سیستم توزیع نمونه با استفاده از سیستمهای اندازه گیری کلیدهای دو طرف می توان I1 و I2 را بدست آورد و Id را محاسبه نمود بنابراین تلفات بصورت زیر محاسبه می شود.

$$RI2 = 3 \int [I1 - I1X - I2X]^2 RdX$$

که در آن X طول از نقطه ابتدای فیدر می باشد.

حل انتگرال و در نظر گرفتن ID = I1 - I2 می توان انتگرال فوق را برای بار درخواستی با توزیع Id به صورت زیر محاسبه نمود.

$$Losses = 3 [I1^2 + Z1ID + I2^2]R$$

این عبارت جهت محاسبه تلفات هر شاخه تغذیه به کار می رود که می تواند جهت محاسبه تلفات سیستم بکار رود.

ـ الگوریتم بهینه سازی دو مرحله ای حذف و اضافه کردن شاخه ها

این روش شامل دو مرحله عملکرد می باشد. در مرحله اول با تکرار حذف شاخه ها با استفاده از معیار حذف حداکثر نسبت هزینه تلفات به توان انتقالی شاخه های شبکه اولیه تا حد امکان حذف می گردند.

در مرحله دوم شاخه های حذف شده به همان ترتیبی که حذف گردیده بودند اضافه می گردد و پس از نصب هر شاخه مرحله اول در مورد آرایش بدست آمده تکرار می گردد. چنانچه اضافه کردن شاخه ای به تنهایی یا همراه با حذف یک یا چند شاخه دیگر باعث کاهش هزینه کل گردد تغییر آرایش لازم انجام می پذیرد.

لازم به تذکر است که چون در این روش شاخه ای به غیر از شاخه های شبکه اولیه اضافه نمی گردد طرح اولیه باید هر شاخه ای که مفید به نظر می رسد را شامل باشد.

۱ـ۳) مقایسه بین الگوریتمهای بهینه سازی

در الگوریتم برنامه ریزی خطی حتی اگر به اندازه کافی قطعات خط جهت تقریب منحنی I^2R استفاده شود تلفات خیلی کمتر از روشهای دیگر برآورد می گردد، به علاوه این الگوریتم دارای این نقیصه نیز می باشد که در آن هزینه تلفات ناشی از تغذیه بارها برخلاف واقع مستقل از یکدیگر در نظر گرفته شده است.

در تجربیات بدست آمده دیده شده که جواب الگوریتم پخش بار بهینه اختلاف زیادی نسبت به روشها تجربی دارد. همچنین این روش به آرایش اولیه بسیار حساس است که نمایانگر این واقعیت است که جواب آن به سمت بهینه های موضعی میل می کند.

روشهای تجربی بر مبنای دو نوع مدل بار گسترده و متمرکز می باشد. بسته به شبکه مورد مطالعه و ترکیب بارهای آن باید روش مناسبی به کار برده شود. به عنوان مثال در شبکه

های فشار ضعیف مدل بار گسترده و در شبکه های با ولتاژ بالاتر مدل بار متمرکز واقعی تر است.

۲ ـ کنترل بهینه شبکه های توزیع

شبکه های توزیع بارهای گوناگون خانگی، تجاری و صنعتی را تغذیه می کنند. مقادیر مصرف این بارها در ساعات مختلف شبانه روز متفاوت می باشد. بوسیله کنترل شبکه توزیع می توان بسته به میزان مصرف مصرف کننده ها در ساعات مختلف شبانه روز آرایش شبکه توزیع را طوری تغییر داد تا توزیع جریان در شبکه کمترین تلفات ممکن را به همراه داشته باشد. توسط کنترل شبکه های توزیع بدین طریق می توان تلفات را در شبکه توزیع کاهش داد و هزینه تلفات را ذخیره نمود.

روشهای کنترل شبکه مشابه روشهای بهینه سازی شبکه می باشد با این تفاوت که در اینجا بهینه سازی باید در زمان واقعی برای شبکه در حال کار انجام گیرد. بنابراین باید روشها دارای سرعت کافی نیز باشد و دیگر اینکه در اینجا دیگر تابع هزینه فقط شامل هزینه تلفات می باشد.

اولین قدم برای کنترل بهینه شبکه های توزیع بدست آوردن منحنی های تغییرات بار می باشد. بدین منظور با استفاده از داده های آماری پریود زمانی مشخصی که حداقل یکسال می باشد با توجه به فصول و نیز تقسیم بندی روزهای هفته از نظر مقدار بار پروفیل های متنوعی تهیه می گردد.

معمولاً تعداد این پروفیلها محدود است مثلاً برای شبکه برق پنسیلوانیای آمریکا حدوداً ۱۸ پروفیل بار برای کنترل سیستم توزیع در نظر گرفته شده است. البته این تنوع در ایران با توجه به مراسم مذهبی و وابستگی آن به ماههای قمری زیادی خواهد بود.

مصرف کننده ها نیز بسته به نوع آن (خانگی، تجاری و صنعتی) ضریب قدرت خاصی را به شبکه تحمیل می کنند.

لازم به ذکر است که کنترل در شبکه هایی کارایی زیادتری دارد که تنوع و غیریکنواختی پروفیل بارهای آن زیاد باشد. همچنین هرچه ساختار شبکه پیچیده تر باشد پتانسیل کاهش تلفات توسط کنترل شبکه زیادتر خواهد بود.

۲ـ۱) مقایسه روشهای بهینه سازی در کنترل شبکه های توزیع

طبق مطالعاتی که در شبکه های کانادا و آمریکا صورت گرفته است کاهش تلفات ناشی از اعمال کنترل به روش پخش بار بهینه حدود ۲/۵ برابر کمتر از اعمال کنترل توسط روشهای جستجوی تجربی می باشد.

روش های جستجوی تجربی بسته به مدلسازی بار بصورت گسترده و یا متمرکز برای

کنترل بهینه شبکه اعمال می گردد . در مورد شبکه های توزیع فشار ضعیف به علت پراکندگی بارها روش جستجوی تجربی با بار گسترده کاهش تلفات بیشتری را نتیجه می دهد. در صورتیکه در شبکه های توزیع فشار متوسط تعداد نقاط بار محدود بوده و مدل بار متمرکز آرایش مناسبتری را بدست می دهد.

همچنین زمان محاسبات به روش پخش بار بهینه به مراتب بیشتر از دو روش دیگر می باشد. این موضوع نشان می دهد که روش پخش بار بهینه علاوه بر نداشتن دقت مناسب روش بسیار کندی نیز می باشد. جدول شماره (۱) زمان محاسبات را برای سه روش بهینه سازی فوق الذکر روی شبکه واحدی نشان می دهد.

روش	زمان لازم محاسبات جهت تغییر آرایش	مجموع زمان محاسبات برای یک سال
روش جستجوی تجربی مدل بار متمرکز	۰/۲۶۹ ثانیه	۲ دقیقه و ۳۵ ثانیه
روش جستجوی تجربی مدل بار گسترده	۱/۱۱۴ ثانیه	۱۰ دقیقه و ۴۲ ثانیه
روش پخش بار بهینه	۷/۷۱۲ ثانیه	۷۴ دقیقه و ۲ ثانیه

جدول ـ ۱ : مقایسه زمان محاسبات برای یک آرایش واحد

نتیجه گیری

در شبکه های توزیع موجود ۵ تا ۱۳ درصد توان الکتریکی بصورت تلفات حرارتی هدر می رود. کاهش این تلفات به وسیله طراحی و بهره برداری بهینه امکان پذیر است.

در این مقاله ابتدا معیارهای تغییر آرایش در شبکه های توزیع شامل حذف شاخه با حداکثر هزینه کل، حذف شاخه با حداکثر نسبت تلفات به توان انتقالی، حذف شاخه حامل حداقل جریان، انتقال بار به فیدر با افت ولتاژ کمتر و اضافه کردن شاخه ای که ولتاژ حالت قطع حداکثر دارد معرفی شده اند. سپس الگوریتمهای بهینه سازی برنامه ریزی خطی، الگوریتم دو مرحله ای حذف و اضافه کردن شاخه ها، الگوریتم پخش بار بهینه و روشهای تجربی با مدل گسترده و متمرکز تشریح شده است. همچنین الگوریتم ترکیبی پیشنهادی در پایان آورده شده است.

در بخش انتهایی به تشریح مفهوم کنترل بهینه شبکه های توزیع همراه با الگوریتم های مربوطه پرداخته شده است.

از مقایسه روشهای بهینه سازی این نتیجه حاصل شده که روشهای تجربی برای کنترل بهینه مناسب می باشد. همچنین روش حذف و اضافه کردن دو مرحله ای جهت بهینه سازی طراحی در بین روشهای موجود کارایی بهتری دارد. لازم به ذکر است که همانگونه که در الگوریتم پیشنهادی آمده است استفاده از این الگوریتم همراه با معیار تجربی جهت اضافه کردن شاخه ها باعث بهینه تر شدن طراحی خواهد شد.

منابع و ماخذ

۱ ـ مهندس بهروز اسدی ـ دکتر شهرام کوهساری
«طراحی اینتراکتیو سیستمهای توزیع انرژی» پروژه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

2 - V. Glamocanin
"OPTIMAL LOSS REDUCTION OF DISTRIBUTION NETWORKS"
IEEE Trans. on POWER SYSTEM, Vol. 5, No. 3, Aug. 1990, PP. 774-783

3 - S. Civanlar, J.J. Grainger, H. Yin and S.S.H.Lee
"Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction"
IEEE Trans on power Delivery, Vol. 4, No. 2, April 1989, PP. 1281 - n89

4 - D. Shirmohamadi, H.W.Hong
"Reconfiguration Electric Distribution Network for Resistive Line Losses Reduction"
IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, April 1989, PP. 1492-1498

5 - D.W.Ross, J. Patton, A.I. Cohen, and M.Carson
"New Methods for Evaluating Distribution Automation and Control (DAC) system Benefits"
IEEE Trans. on PAS-100, No. 6, PP. 2978-2986, 1981