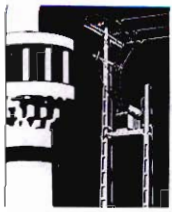


پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

طراحی جامع شبکه‌های توزیع و بررسی فنی اقتصادی آن

حبیب الله اعلمی

دانشگاه امام حسین (ع)

چکیده:

با توجه به هزینه‌های سر سام آور شبکه‌های برق که بخش عمده‌ای از آن مربوط به شبکه‌های توزیع می‌باشد. کاملاً بجا است که در مطالعات اجتماعی ـ صنعتی شهرها و شهرک‌ها، مسائل فنی و اقتصادی این شبکه‌ها به دقت مورد بررسی قرارگیرد.

در شکل شماره (۱) نموداری از میزان سرمایه‌گذاری در سه بخش تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی در سالهای ۱۹۷۸ ـ ۱۹۶۰ در یکی از جوامع غربی به عنوان مثال ارائه شده است.

همانطوری که مشاهده می‌شود هر چه به زمان حال نزدیک‌تر می‌شویم پیشرفت و رشد سریع نیروگاه‌ها و شبکه‌های انرژی رسان و همچنین از طرف دیگر بالا رفتن قیمتها و تورم، هزینه‌های استفاده از انرژی الکتریکی را به شدت افزایش داده است لذا اهمیت ارزیابی اقتصادی ـ فنی این شبکه‌ها بیش از پیش آشکار شده است.

ما در این مقاله ابتدا نحوه طراحی جامع شبکه‌های توزیع و پارامترهای مربوطه را ذکر کرده و سپس به تحلیل اقتصادی شبکه‌های توزیع می‌پردازیم.

شرح مقاله :

طراحی شبکه‌های توزیع :

انتظارات از سیستم :

با عنایت به محدودیتهای فنی ـ اقتصادی برای طراحی بهترین سیستم توزیع انرژی الکتریکی در قدم اول می‌باید توقعات خود را از این سیستم مشخص نمائیم.

۱ ـ قابلیت اطمینان بالا در ادامه سرویس هنگام بروز خطا بطوری که حداقل مصرف‌کننده از مدار خارج گردد.

۲ ـ نیاز کمتر به ساخت نیروگاه‌های جدید در اثر رشد مصرف بار و صرفه‌جویی در هزینه مربوطه.

۳ ـ تولید ارزان و در حد قابل قبول انرژی الکتریکی.

۴ ـ امکان تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری آسان و کم هزینه.

۵ ـ کار سیستم با قابلیت مطلوب در تداوم سرویس دهی.

۶ ـ کسب رضایت مشتری از نظر انرژی مورد نیاز تا حد امکان.

۷ ـ امکان توسعه فنی ـ اقتصادی شبکه در آینده.

روشهای طراحی :

اینک ۴ روش عمده برای طراحی این شبکه‌ها بیان می‌کنیم:

۱ ـ روش جانشینی بهترین انتخاب:

در این روش چند طرح با هم مقایسه شده و سپس بهترین آنها انتخاب می‌گردد.

۲ ـ تقسیم یک مسئله بزرگ به قسمتهای کوچک‌تر و سپس حل مراحل کوچک تا رسیدن به حل کلی مسئله اولیه.

۳ ـ برنامه‌ریزی خطی با فرض ثابت بودن بسیاری از متغیرها در محدوده‌های خاصی از حل مسئله.

۴ ـ برنامه‌ریزی غیر خطی و دینامیک که با فرض تغییر دائمی پارامترها مسئله مورد بررسی قرار می‌گیرد.

یکی از روشهایی که معمولاً استفاده می‌شود شبیه روش دوم است یعنی اینکه ابتدا شبکه

انرژی الکتریکی در بخشهای مجزا و مستقل در مناطق مختلف تشکیل می‌گردد و سپس با گسترش شبکه این بخشهای کوچک در هم ادغام می‌شوند تا یک شبکه یکپارچه بوجود آورند.

مزیتهای عمده این روش عبارت است از:

۱ ـ امکان نزدیکی بیشتر مراکز تولید به مراکز مصرف به منظور کاهش هزینه‌ها.

۲ ـ افزایش ظرفیت رزرو به علت بهم پیوستن قسمتهای مستقل به یکدیگر.

۳ ـ در صورت گسترده بودن منطقه تحت پوشش تغییرات شرایط آب و هوایی می‌تواند امکان بهتری برای سرویس دهی بوده و همچنین تفاوت ساعات پیک موجب افزایش ضریب بار و کاهش هزینه برق مصرفی می‌گردد.

۴ ـ در هنگام بروز شرایط اضطراری مصرف کنندگان کمتری از مدار خارج می‌گردند.

اما به علت گستردگی حجم بالای متغیرها در طرح جامع یک شبکه توزیع، یک روش کلاسیک و مطمئن برای انجام این کار عملاً غیر ممکن است. به عنوان نمونه برخی متغیرهای مهم را بر می‌شماریم.

پارامترهای طراحی :

الف) شرایط مصرف کننده :

۱ ـ سطح ولتاژ و رگولاسیون مورد قبول.

۲ ـ میزان توان اکتیو و راکتیو مورد تقاضا.

۳ ـ میزان پراکندگی و تعداد مصرف کنندگان.

۴ ـ قابلیت اطمینان کافی در تداوم تغذیه.

۵ ـ میزان گسترش تقاضا در آینده.

۶ ـ جهت گسترش تقاضا در آینده.

۷ ـ میزان بار پیک در آینده.

۸ ـ وضعیت فرهنگ مصرف انرژی الکتریکی.

ب) شرایط جغرافیایی منطقه :

۱ ـ میزان تغییرات درجه حرارت.

۲ ـ میزان رطوبت در طول سال.

۳ ـ میزان وزش باد، ریزش نزولات آسمانی و ...

۴ ـ شرایط اقلیمی و جغرافیایی مانند کوهستانی بودن و ...

۵ ـ محل نیروگاه، پستها و خطوط انتقال.
۶ ـ نزدیکی به مراکز تأمین سوخت، مسکن پرسنل و ...
۷ ـ نزدیکی به مراکز مصرف انرژی.
۸ ـ میزان ارتفاع از سطح دریا، فشار هوا، میزان آلودگی و ...

ج) شرایط فنی در طرح شبکه :

۱ ـ میزان دانش فنی کشور.
۲ ـ امکان ساخت تجهیزات در داخل.
۳ ـ زمان ساخت یا نصب تجهیزات.
۴ ـ نوع شبکه از نظر مراکز تولید، خطوط شبکه.
۵ ـ عملکرد شبکه با حداقل تلفات در خطوط.
۶ ـ طراحی مناسب اجزاء شبکه.
۷ ـ میزان توان تزریقی در هر نقطه شبکه.
۸ ـ نحوه حفاظت شبکه و وجود هماهنگی بین رله‌ها.
۹ ـ وجود ایمنی برای مصرف کنندگان.
۱۰ ـ کارکرد اقتصادی اجزاء شبکه نظیر نیروگاه‌ها.
۱۱ ـ پایداری شبکه در صورت بروز یک یا دو خطا.

د) شرایط بین‌المللی :

۱ ـ میزان روابط با کشورهای همجوار.
۲ ـ اوضاع سیاسی جهانی و روابط بین‌المللی.
۳ ـ حجم سرمایه‌گذاری موجود در طرح شبکه و امکان ادامه آن.
۴ ـ شرایط حاکم بر کشور از قبیل جنگ، تشنج و ...
۵ ـ اوضاع سیاسی و روابط فیمابین با کشور فروشنده تجهیزات.
۶ ـ و ...

و علاوه بر حجم بالای معیارها برای طراحی، تغییرات پارامترها می‌طلبد که هر چند سال شبکه مجدداً طراحی گردد و بدیهی است که طراحی می‌باید توسط کامپیوتر صورت پذیرد که روشهای ذیل موجود است.

روشهای کامپیوتری :

۱ ـ با استفاده از روشهای دقیق تحقیق عملیات (تمام کامپیوتری).

۲ ـ با استفاده از تجربیات مهندسان مجرب طراح (نیمه کامپیوتری).

۳ ـ روشهای ماتریسی که در آن محورها اجزاء شبکه هستند و ارتباط هر جزء با سایر تجهیزات توسط ضرایب وزنی مشخص می‌گردد.

۴ ـ روشهای شبیه‌سازی، که در این روشها بر اساس اطلاعات اخذ شده از مشتری شروع شده و درگام بعدی هادی‌های اصلی (فیدرها) طراحی شده و به همین ترتیب اطلاعات بدست آمده در هر قسمت ورودی جهت طراحی قسمت دیگر است.

۵ ـ روشهای هوش مصنوعی یا سیستمهای خبره که با استفاده از مدلهای ریاضی و تجربیات انسانی و روشهای مقایسه‌ای مانند ذهن انسان یک شبکه اولیه طرح کرده و به مرور آن را تکمیل می‌نماید.

بسته‌های نرم‌افزاری متعددی که هر کدام از روش خاصی پیروی می‌کنند جهت طراحی شبکه‌های توزیع وجود دارند و ما در این مبحث اشاراتی کوتاه به مبانی و اصول و پارامترهای مهم برای طراحی جامع یک شبکه توزیع نمودیم.

بررسی اقتصادی شبکه‌های توزیع :

حال یک شبکه توزیع طراحی شده مشابه شکل (۲) در نظر گرفته و به بررسی اقتصادی آن می‌پردازیم، این تصویر یک الگوی خاصی از سیستم توزیع را نشان می‌دهد که شامل یک خط هوایی است که از پشت ترانس توزیع گرفته شده و فرض می‌شود طول کل اسپن‌ها (SL) یکسان و معادل 2d بوده و از هر دکل چهار مصرف کننده (SD) تغذیه شوند.

پارامترهای ترانسفورماتور توزیع عبارت است از:

S_T : توان ظاهری ترانس (KVA نامی).

I_{exc} : جریان تحریک بر حسب (PU) که به توان ظاهری بستگی دارد.

P_{TFe} : تلفات آهنی در ولتاژ نامی و فرکانس نامی به KW.

P_{Tcu} : تلفات مسی در KVA نامی به KW.

پارامترهای خطوط توزیع عبارتند از: (sccondry line - SL)

A_{SL} : سطح مقطع هادی.

ρ: مقاومت مخصوص هادی برای سیمهای آلومینیومی در $65\ C^{o}$.

پارامترهای خطوط مصرف (service-drop-SD) مانند خطوط توزیع هستند با A_{SD}، ρ مربوطه.

فرضیات مسئله :

قبل از پرداختن به بررسی‌های اقتصادی و برآورد هزینه کل سالانه سیستم توزیع کردن و مینیمم آن، فرضیاتی را در نظر می‌گیریم که از واقعیت موجود نیز زیاد دور نیستند و از ارزش محاسبات نمی‌کاهند.

۱ ـ بارها یا سه فاز متقارن هستند یا بطور متقارن بین سه فاز تقسیم شده‌اند.

۲ ـ سیستم در ۱۰۰٪ زمان برق‌دار می‌باشد (مدت زمان بهره‌برداری ۸۷۶۰ ساعت در سال).

۳ ـ فاکتور تلفات سالانه توسط معادله تجربی زیر تعیین می‌گردد.

$$\text{ضریب تلف بار } (F_{LD}) = \frac{\text{تلفات واقعی سالیانه}}{\text{تلفات سالانه بار ماکزیمم}}$$

$$\text{فاکتور تلفات سالانه } (F_{LS}) = 3F_{LD} + 7F^2_{LD}$$

۴ ـ بار ماکزیممی که از سیستم کشیده می‌شود همه المان‌ها را در بر گرفته و توسط ماکزیمم مصرف دورترین مشتری تخمین زده می‌شود.

۵ ـ مقادیر جریان از روی KVA و ولتاژ نامی محاسبه می‌گردد.

۶ ـ ضریب قدرت کلیه بارها ثابت و یکسان فرض می‌شود.

معادله اساسی هزینه کل سالانه *TAC (Total annual cost)* :

کل هزینه سالانه یک طرح عبارت است از مجموع هزینه‌های ثابت (Investment cost - Ic) که مربوط به سرمایه‌گذاری بوده و هزینه‌های متغیر (operating cost - oc) که مربوط به مخارج بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری و ... می‌باشد و ما برای یک طرح استاندارد مانند شکل (2) معادله زیر را بیان می‌کنیم.

$$TAC = IC_T + IC_{SL} + IC_{PH} + OC_{exc} + OC_{TFe} + OC_{Tcu} + OC_{SLCu} + OC_{SDCu}$$

معادله فوق را برای هر چند اسپنی که بخواهیم می‌توان تعمیم داد و اگر TAC را بر تعداد مشترکین تقسیم کنیم هزینه سالانه یک مصرف کننده بدست می‌آید.

توضیح معادله اساسی *(TAC)* :

در توضیح اجزا معادله فوق یک سری ارقام و اعداد ذکر می‌شود که اولاً دارای دقت کافی نیستند و ثانیاً مربوط به یک سری خاصی از المان‌ها می‌باشند لذا برای هر نوع شبکه می‌باید با استفاده از لیستهای تجارتی و تجربه و انجام پروژه‌های کوچک فاکتورهای خاص تجهیزات همان شبکه را بدست آورد اما مهم، توجه به مراحل محاسبه و درک نحوه آنالیز اقتصادی

سیستم توزیع می‌باشد.

۱ - IC_T هزینه سالانه خرید و نصب ترانسفورماتور توزیع با تجهیزات جانبی (i_F نرخ بهره).

$$IC_T = (250 + 7.26\ S_T)\ .\ i_F \qquad \frac{\text{ریال}}{\text{ترانس}} \qquad 15\ KVA < S_T < 1000\ KVA$$

۲ - IC_{SL} هزینه سالانه خرید و نصب هادی خطوط توزیع.

$$IC_{SL} = (60 + 4.5\ A_{SL})\ .\ i_F \qquad \frac{\text{ریال}}{\text{km}}$$

۳ - IC_{SD} هزینه سالانه خرید و نصب هادی خطوط مصرف (با فرض یکسان بودن نوع هادی با خطوط توزیع).

$$IC_{SD} = (60 + 4.5\ A_{SL})\ .\ i_F \qquad \frac{\text{ریال}}{\text{km}}$$

۴ - IC_{PH} هزینه سالانه خرید و نصب ستونها

$$IC_{PH} = 160\ .\ i_F$$

۵ - OC_{exc} هزینه بهره‌برداری سالانه جریان تحریک ترانس.

$$OC_{exc} = I_{exc}\ .\ S_T\ .\ IC_{cap}\ .\ i_F \qquad \frac{\text{ریال}}{\text{ترانس}}$$

IC_{cap} عبارت است از هزینه خرید و نصب خازنهای موازی اولیه ترانس.

$$i_{exc} = .015\ pu$$

۶ - OC_{TFe} هزینه سالانه تلفات آهنی ترانسفورماتور.

$$OC_{TFe} = (IC_{sys}\ .\ i_F + 8760\ EC_{off})\ P_{TFe} \qquad \frac{\text{ریال}}{\text{ترانس}}$$

IC_{sys} هزینه سرمایه‌گذاری متوسط روی سیستم قدرت که بستگی به فاصله ترانسفورماتور تا نیروگاه دارد.

$$IC_{sys} = 350 \qquad \frac{\text{ریال}}{\text{KVA}}$$

EC_{off} هزینه افزایش انرژی الکتریکی به خاطر خارج از پیک کار کردن ترانسفورماتور.

$$EC_{off} = .008 \qquad \frac{\text{ریال}}{\text{kwh}}$$

P_{TFe} تلفات هسته ترانسفورماتور در سال بر حسب kw.

$$P_{TFe} = .004\ .\ S_T \qquad 15\ KVA < S_T < 1000\ KVA$$

۷ - OC_{Tcu} هزینه سالانه تلفات مسی ترانسفورماتور.

$$OC_{Tcu} = (IC_{sys}\ .\ i_F + 8760\ .\ EC_{on}\ .\ F_{Ls})\ (\frac{S_{max}}{S_T})^2\ .\ P_{Tcu} \qquad \frac{\text{ریال}}{\text{ترانس}}$$

EC_{on} هزینه اضافی انرژی الکتریکی در حالت پیک کار کردن.

$$EC_{on} = .01 \quad \frac{\text{ریال}}{\text{kwh}}$$

S_{max} ماکزیمم توان ظاهری بار برای ترانسفورماتور در سال.

P_{Tcu} تلفات مسی ترانسفورماتور بر حسب kw در KVA نامی بار.

$$P_{Tcu} = .073 + .00905 \cdot S_T \qquad 15 \text{ KVA} < S_T < 1000 \text{ KVA}$$

F_{Ls} فاکتور تلفات سالانه.

۸ - OC_{slcu} هزینه سالانه تلفات مسی در واحد طول از خطوط توزیع.

$$OC_{slcu} = (IC_{sys} \cdot i_F + 8760 \cdot EC_{on} \cdot F_{Ls}) P_{slcu}$$

P_{slcu} تلفات توان در واحد طول با در نظر گرفتن بار پیک سالانه (برحسب kw)

بدیهی است که چون بخشهای مختلف خطوط توزیع دارای جریانهای متفاوتی هستند. تلفات برای قسمتهای مختلف فرق می‌کند.

$$P = Ri^2 = \rho \frac{L}{A_{SL}} \cdot i^2$$

۹ - OC_{sdcu} هزینه سالانه تلفات مسی خطوط مصرف در واحد طول که مانند خطوط توزیع محاسبه می‌گردند.

برآورد بار :

برای محاسبه تلفات مسی ترانسفورماتور، خطوط توزیع و خطوط مصرف لازم است که KVA نامی مشخص شود چنانچه میزان تقاضای هر مصرف کننده و تعداد و تنوع آنها را داشته باشیم با استفاده از ضرایب همزمانی برای انواع بارها و مناطق مشابه می‌توان KVA نامی را تخمین زد به عنوان مثال جدول زیر از روی یکی از منحنی‌های تجربی استخراج شده است.

تعداد مصرف کنندگان	1	2	4	10	20	30	100
ماکزیمم تقاضای سالانه	5	3.8	3	2.2	2.1	2	1.8

$\frac{\text{KVA}}{\text{مشتری}}$

ساده‌سازی معادله هزینه کل سالانه (TAC) :

با جایگذاری معادلات جزئی در معادله کل و ساده کردن آن نتیجه مهم زیر حاصل می‌شود.

$$TAC = F(S_T \text{ و } A_{SD} \text{ و } A_{SL})$$

$$TAC = A + \frac{B}{S^2_T} + \frac{C}{S_T} + D.S_T + E.A_{SD} + \frac{F}{A_{SD}} + G.A_{SL} + \frac{H}{A_{SL}}$$

یعنی هزینه کل به سه عامل ظرفیت ترانسفورماتور، سطح مقطع خطوط توزیع و خطوط مصرف بستگی دارد و باید توجه کرد که این متغیرها گسسته هستند نه پیوسته، یعنی اگر طراح با استفاده از نتایج تئوری ظرفیت ترانسفورماتور را 40 KVA بدست آورد باید محاسبات را برای دو سایز استاندارد 30 و 50 KVA تکرار کند و همین طور برای A_{SD} و A_{SL}.

مینیمم کردن هزینه کل سالانه (TAC):

برای مینیمم کردن می‌توان از معادله اخیر شروع کرد و سه مشتق نسبی زیر را گرفت.

$$\frac{\delta\ (TAC)}{S_T} = 0 \quad , \quad \frac{\delta\ (TAC)}{A_{SL}} = 0 \qquad \frac{\delta\ (TAC)}{A_{SD}} = 0$$

یادآوری می‌گردد که با وجود متغیرهای گسسته نمی‌توان از راه متغیرهای پیوسته رفت لذا نتایج مشتقات فوق فقط نشان دهنده ناحیه‌ای است که هزینه در آن مینیمم است. در نتیجه مسئله با محاسبه TAC برای نزدیک‌ترین سایزهای استاندارد به جواب ادامه می‌یابد و ترکیبات مختلفی از A_{SL}، A_{SD} و S_T که کمترین هزینه را بدست می‌دهند در نظر گرفته می‌شوند و طراح می‌تواند با بررسی جوابها بهترین ترکیب ممکن را انتخاب کند.

قیدهای دیگر:

ضوابط دیگری که در حل مسئله می‌باید در نظر گرفت عبارتند از:

۱ ـ در نظر گرفتن مینیمم ولتاژ مجاز حالت کار سیستم برای دورترین مصرف کننده.

۲ ـ در نظر گرفتن ماکزیمم افت ولتاژ مجاز در هنگام راه‌اندازی موتورها در دورترین مصرف کننده.

۳ ـ حداکثر ظرفیت مجاز خطوط توزیع و مصرف.

۴ ـ حداکثر ظرفیت مجاز بار دهی ترانسفورماتور توزیع.

بررسی اقتصادی فیدرهای توزیع:

تجلیلهای اقتصادی که علاوه بر محاسبات افت ولتاژ و افت توان می‌بایست صورت گیرد شامل موارد زیر است:

۱ ـ هزینه سرمایه‌گذاری اولیه نصب و خرید فیدر AIC ($\frac{\text{ریال}}{\text{km}}$)

۲ ـ هزینه انرژی تلف شده بابت تلفات مسی (Ri^2) در فیدر AEC ($\frac{\text{ریال}}{\text{km}}$)

۳ ـ هزینه نصب تأسیسات و یا بالا بردن ظرفیت سیستم به منظور غلبه بر تلفات توان در هادی‌های فیدر ADC ($\frac{\text{ریال}}{\text{km}}$).

لذا (TAC) هزینه کل سالانه یکنواخت هم‌سنگ فیدر ($\frac{\text{ریال}}{\text{کیلومتر}}$) به صورت زیر بدست می‌آید.

$$TAC = AIC + AEC + ADC$$

IC_F هزینه خرید و نصب و i_F نرخ بهره.

$$AIC = IC_F \cdot i_F$$

i_F شامل سرمایه‌گذاری اولیه، استهلاک، بیمه، تورم و هزینه تعمیر و نگهداری می‌باشد.

$$AEC = 3Ri^2 \cdot EC \cdot F_{LL} \cdot F_{LSA} \cdot 8760$$

EC هزینه انرژی بر حسب $\frac{\text{ریال}}{\text{kwh}}$، F_{LL} ضریب محلی بار.

F_{LS} ضریب تلفات، F_{LSA} ضریب تلفات فوق‌العاده.ضریب محلی بار یک فیدر با بار توزیعی پیوسته یکسان که به صورت درصدی بیان می‌شود عبارت است از:

$$F_{LL} = \frac{S}{L}$$

L طول کل فیدر

S فاصله نقطه‌ای روی فیدر که می‌توان فرض کرد برای محاسبه تلفات کل بار فیدر در آن نقطه متمرکز شده است.

ضریب تلفات برای مناطق شهری $F_{LS} = 3.F_{LD} + 7F^2_{LD}$

ضریب تلفات برای مناطق روستایی $F_{LS} = 16\ F_{LD} + 84F^2_{LD}$

F_{LSA} یک ضریب اختصاصی برای در نظر گرفتن هزینه غلبه بر تلفات اضافه در طول کل سیستم قدرت از توزیع تا تولید.

$$1 < F_{LSA} < 2$$

$$ADC = 3RI^2 \cdot F_{LL} \cdot F_{PR} \cdot F_R \cdot F_{LSA} [(C_G \cdot i_{FG}) + (C_T \cdot i_{FT}) + (C_S \cdot i_{FS})]$$

F_R ضریب رزرو

$$F_R = \frac{\text{ظرفیت کل تولید}}{\text{توان مصرفی (بار و تلفات)}}$$

F_{PR} ضریب جوابگوی پیک ماکزیمم تلفات فیدر بر ماکزیمم تقاضا بر حسب PU.

C_G هزینه سیستم تولید برای حالت پیک $\frac{\text{ریال}}{\text{kva}}$

C_T هزینه سیستم انتقال $\frac{\text{ریال}}{\text{kva}}$

C_S هزینه پست توزیع.

i_{FG} نرخ بهره سالانه سیستم تولید.

i_{FT} نرخ بهره سالانه سیستم انتقال.

i_{FS} نرخ بهره سالانه سیستم توزیع.

در نتیجه با معین کردن کلیه ضرایب سطح مقطع اقتصادی فیدر توزیع بدست می‌آید.

نتیجه :

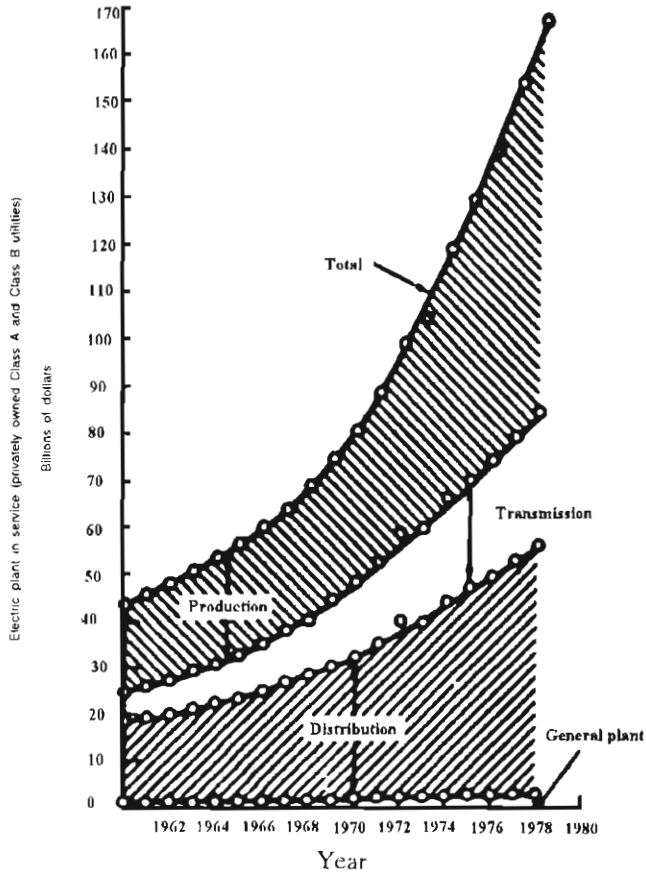
حاصل تلاش ما در این مقاله این است که اهمیت بررسی‌های همه جانبه فنی ـ اقتصادی سیستمهای توزیع بسیار بالا و در خور توجه بوده و مهندسان طراح می‌باید علیرغم حجم بالای پارامترها و عدم دسترسی به فاکتورهای تجهیزات به اززیابی اقتصادی شبکه‌های توزیع همت گماشته و سعی در مینیمم کردن هزینه بنمایند.

منابع :

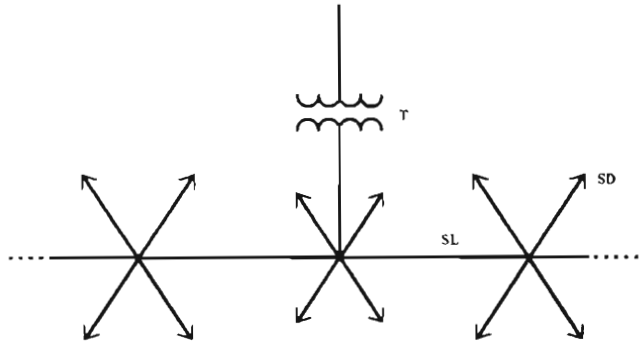
1 - "Electrical power distribution system engineering" Turan Gonen 1986.

۲ ـ طراحی و محاسبات شبکه‌های توزیع ـ طباطبائیان ـ کمانکش ـ اعلمی فردوسی مشهد ۱۳۶۸.

۳ ـ اقتصاد مهندسی ـ دکتر اسکونژاد ـ امیرکبیر ۱۳۶۹.



شکل شماره ۱



شکل شماره ۲