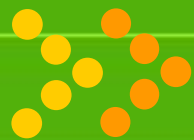


تلفات در شبکه‌های توزیع برق



POWEREN.IR





انسان پیشرفته توانایی آن را دارد که برای جلوگیری از

درهم پاشیده شدن و بمنظور تطبیق با شرایط

موجود، جهان بینی اش را مداوم بهبود بخشد.

Myron Weiner

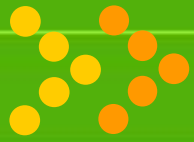
مباحث اولیه در تلفات



■ جنگ نفت در دهه 1970

■ رقابت اقتصادی بین کشورهای مختلف جهان و کاهش هزینه تمام شده تولید

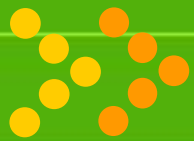
■ رقابت بین شرکتهای تولید، انتقال و توزیع برق پس از خصوصی سازی صنعت برق و اجبار در شفافسازی هزینه های اخذ شده از مشترکین



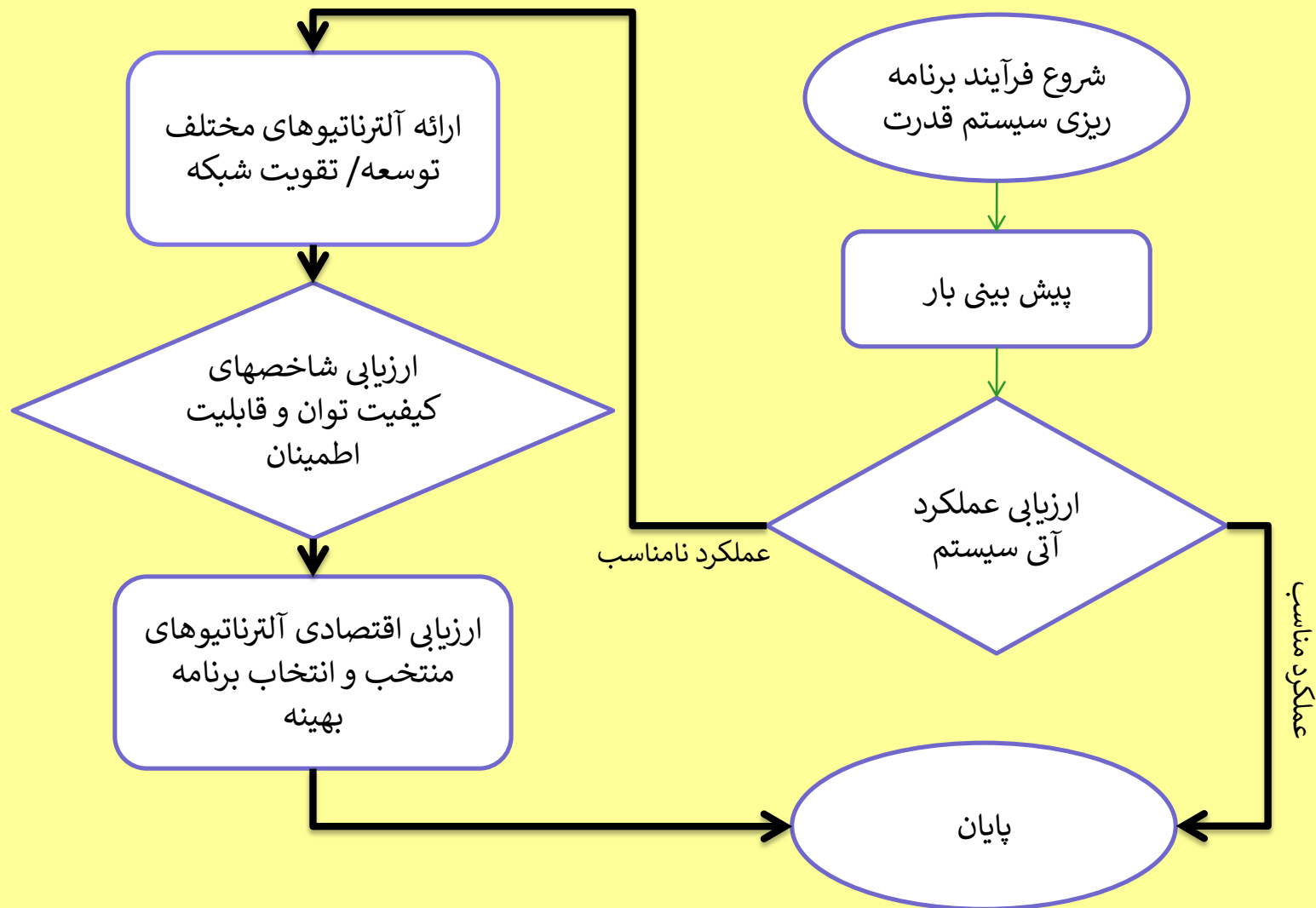
اهمیت و جایگاه تلفات

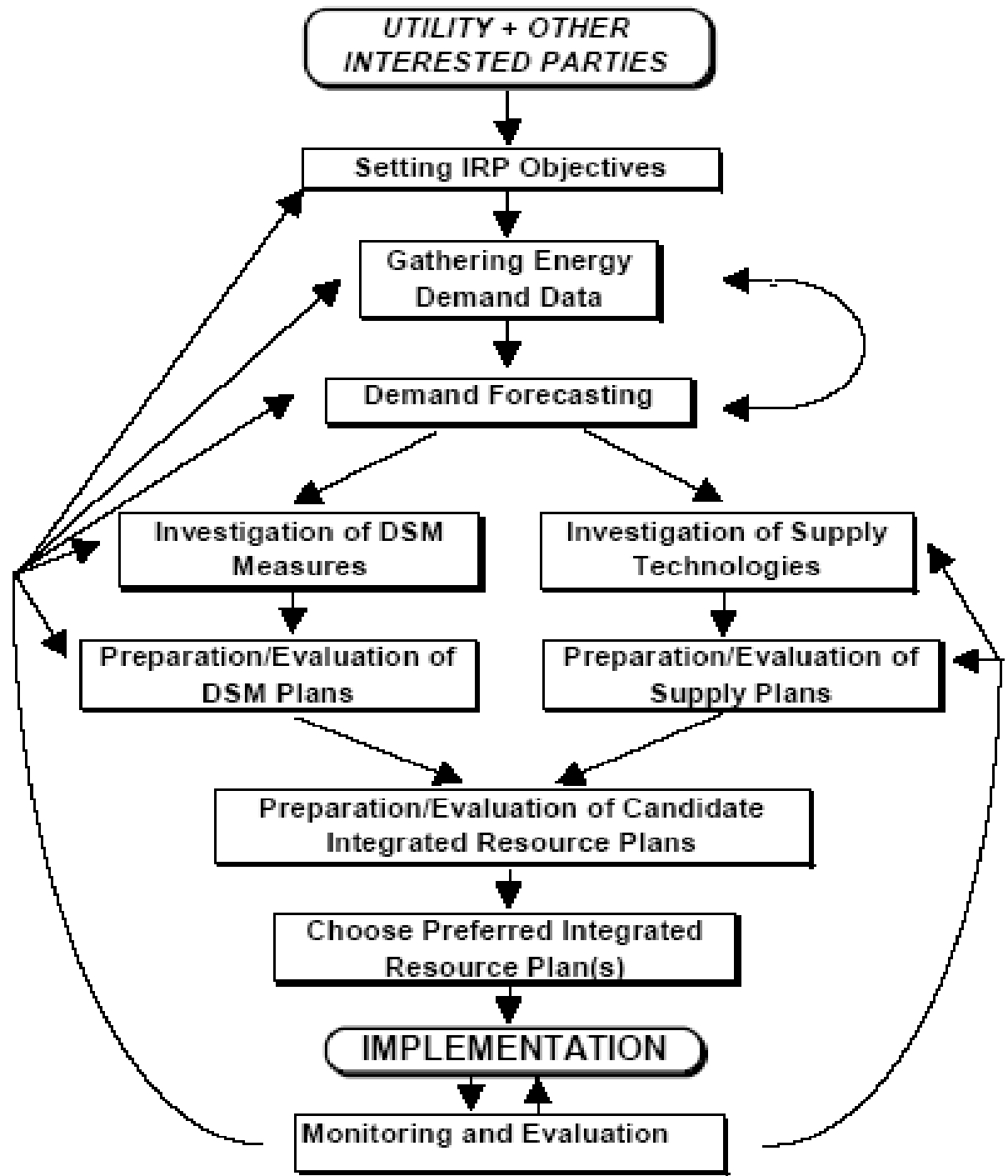


تلفات توان و انرژی، ذاتاً موضوعاتی فنی هستند، اما در مباحث مربوط به مطالعات اقتصادی سیستمهای قدرت مطالعه میشوند. بعبارت دیگر، برخلاف شاخصهای کیفیت توان و قابلیت اطمینان که در مباحث فنی نظام برنامه ریزی سیستمهای قدرت و بعنوان معیارهای کمی فنی مورد توجه قرار میگیرند، تلفات بعنوان معیاری اقتصادی و در هنگام ارزیابی و مقایسه اقتصادی بین طرحهای مختلف مورد توجه قرار میگیرد.

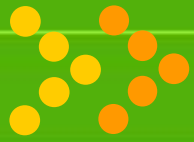


رویه برنامه ریزی در سیستم قدرت





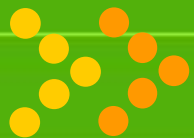
- تلفات شاخصی جهت سنجش پیشرفت علمی کشورهای جهان است که توسط سازمانهایی چون بانک جهانی مورد استناد قرار می گیرد.
- تلفات کمتر موجب قیمت تمام شده کمتر انرژی شده و در نتیجه تسریع رشد اقتصادی کشورها را از طریق کاهش قیمت تمام شده تولید در پی دارد.
- تلفات کمتر موجب انعطاف پذیری بیشتر شرکتهای توزیع جهت رقابت در بازارهای رقابتی می گردد.



استاندارد تلفات



- هر چند مطالعه تلفات انرژی در کشورهای پیشرفته نشان می دهد که میزان تلفات انرژی الکتریکی سیستمهای توزیع آنها کمتر از 8% است، اما چنانچه فلوجارت برنامه ریزی ارائه شده در فوق را مبنا فرض کنیم (که در بیشتر کشورهای جهان نیز هست)، به این نتیجه می رسیم که تلفات مقدار استاندارد ندارد.
- تلفات مقدار بهینه ای دارد که به عوامل مختلف وابسته بوده و در نقاط مختلف جهان نمی توان مقدار بهینه یکسانی را برای آن معرفی نمود.



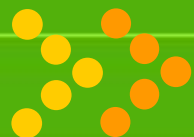
کشورهای دارای درصد تلفات بالا



Country	Loss%
Cameroon	17.1
Côte d'Ivoire	23.8
Gabon	18.8
Kenya	18.3
Morocco	17.1
Nigeria	23.8
Senegal	32.0
UR of Tanzania	25.8
Colombia	19.7
Dominican Rep.	26.4
Ecuador	38.4
Honduras	24.6
N.Antilles	25.0
Nicaragua	20.7
Paraguay	32.4
Uruguay	21.2

Country	Loss%
Venezuela	25.4
Cambodia	20.0
India	24.9
Myanmar	35.0
Nepal	20.8
Pakistan	24.3
Albania	36.2
Bosnia and H.	19.5
FYROM	18.8
Armenia	18.2
Kyrgyzstan	31.4
Rep. of Moldova	21.1
IR of Iran	18.6
Oman	25.4
Syria	23.8
Yemen	23.4

کشورهای دارای درصد تلفات (مجموع تلفات انتقال و توزیع) بیش از 17% بر اساس آمار سال 2005 آژانس بین المللی انرژی



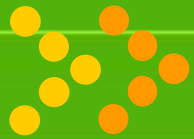
کشورهای دارای درصد تلفات پایین



Country	Loss%
<i>Australia</i>	<i>6.7</i>
<i>Austria</i>	<i>5.0</i>
<i>Belgium</i>	<i>4.5</i>
<i>Canada</i>	<i>7.6</i>
<i>Czech Republic</i>	<i>7.1</i>
<i>Denmark</i>	<i>4.3</i>
<i>Finland</i>	<i>3.4</i>
<i>France</i>	<i>6.2</i>
<i>Germany</i>	<i>4.8</i>
<i>Iceland</i>	<i>4.6</i>
<i>Ireland</i>	<i>7.5</i>
<i>Italy</i>	<i>5.8</i>
<i>Japan</i>	<i>4.6</i>
<i>Korea</i>	<i>3.5</i>
<i>Luxembourg</i>	<i>1.4</i>
<i>Netherlands</i>	<i>3.8</i>

Country	Loss%
<i>United Kingdom</i>	<i>7.9</i>
<i>United States</i>	<i>6.1</i>
<i>Botswana</i>	<i>3.6</i>
<i>DR of Congo</i>	<i>5.4</i>
<i>Africa South</i>	<i>6.3</i>
<i>Zambia</i>	<i>4.6</i>
<i>Zimbabwe</i>	<i>5.3</i>
<i>Chile</i>	<i>3.8</i>
<i>Trinidad and T.</i>	<i>5.6</i>
<i>Darussalam Brunei</i>	<i>3.4</i>
<i>Malaysia</i>	<i>4.1</i>
<i>Singapore</i>	<i>5.0</i>
<i>Chinese Taipei</i>	<i>3.8</i>
<i>Thailand</i>	<i>7.9</i>
<i>Other Asia</i>	<i>3.9</i>
<i>PR of China</i>	<i>6.8</i>

کشورهای دارای درصد تلفات (مجموع تلفات انتقال و توزیع) کمتر از 8% بر اساس آمار سال 2005 آژانس بین المللی انرژی



■ از نگاه پیامدهای اقتصادی :

➤ نگاه ملی

➤ نگاه بنگاهی

■ از نگاه نحوه شکل گیری:

➤ فنی

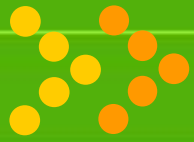
➤ غیر فنی و مدیریتی

■ از نگاه ماهیت

➤ تلفات انرژی

➤ تلفات توان



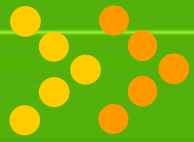


دسته بندی تلفات



■ تقسیم بندی انجام شده مستقل نیست و دارای ارتباطی شرطی (یک طرفه) می باشند، به این مفهوم که افزایش تلفات غیر فنی ، افزایش تلفات فنی را در پی دارد و افزایش تلفات از دیدگاه بنگاهی ، افزایش تلفات از دیدگاه ملی را موجب می شود.

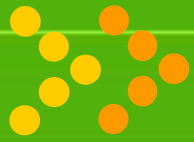
■ تلفات غیر فنی تابعی از وضعیت اقتصادی و معیشتی است، برای مثال تلفات کشور هند که کشور پیشرفته ای بلحاظ تکنولوژی محسوب می شود، بدلیل فقر اقتصادی مردم و بالا بودن تلفات غیر فنی، خارج از نرم می باشد.



جایگاه تلفات در طراحی شبکه



- معمولاً تلفات بعنوان هدف در تابع Optimization طراحی شبکه وارد نمی کنند، بلکه یا بعنوان شرط محدودیت و یا بعنوان تابع ارزش آلترناتیوهای مختلف مطرح می سازند، زیرا هدف طراحی سیستم کاهش تلفات نیست بلکه تداوم کیفیت و کمیت برق است (Double Q Objective) است، اما پس از طرح شبکه که با Contingency و Redundancy های مختلف صورت می گیرد، آرایش نرمال شبکه آرایشی انتخاب می شود که کمترین تلفات را در پی داشته باشد. عبارت دیگر، تجدید آرایش شبکه بصورت تابع بهینه سازی تعریف می شود که این بار هدف آن کاهش تلفات و محدودیتهای آن کیفیت برق است.

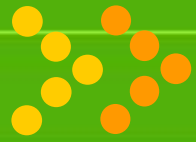


جایگاه تلفات در طراحی شبکه



■ بررسیهای صورت گرفته نشان می دهد که کاهش تلفات را می توان بعنوان یکی از فعالیتهای بهینه سازی که موجب تعویق عملیات توسعه و احداث و تامین سرمایه گذاریهای هنگفت مربوط به آن می شود مورد توجه قرار داد. در همین راستا بحث ارزیابی اقتصادی و اولویت بندی اجرای آنها مطرح می شود.

■ در بهینه سازی سیستمهای توزیع باید به این امر توجه داشت که اجرای پروژه های کاهش تلفات تا نقطه ای دارای توجیه است که ارزش حال پروژه های کاهش تلفات بیشتر از ارزش سرمایه گذاری توسعه و احداث نشود، مگر آنکه زمان بعنوان محدودیت در معادلات وارد شود.



- همانطور که اشاره شد، تلفات از نگاه ماهیت به دو صورت تلفات توان و انرژی قابل تقسیم بندی است.
- تلفات توان در ساعات پیک بار و تلفات انرژی در ساعات غیر پیک دارای اهمیت می باشند. باید توجه داشت که ارزش اقتصادی تلفات توان در ساعات پیک بسیار بالاتر از ارزش آن در ساعات غیر پیک بوده و به همین لحاظ از ارزش تلفات توان در ساعات غیر پیک صرف نظر می شود (در کشور ما ارزش هر کیلووات تلفات توان در ساعات پیک بیش از 1000 دلار ارزیابی شده است).

■ مولفه های تلفات فنی

- تلفات بی باری ترانسفورماتورها
- تلفات بارداری خطوط هوایی، کابلها و ترانسفورماتورها
- تلفات بارداری و بی باری سایر اجزای سیستمهای توزیع اعم از CT ها و PT ها، بالاستها و ...
- تلفات بارداری اتصالات
- تلفات دی الکتریک کابلها ، خازنها و ترانسفورماتورها
- تلفات جریانهای ناشی در برقگیرها و مقره ها
- تلفات حاصل از طراحی و بهره برداری نادرست، مثل: تلفات نامتعادلی جریان، تلفات توان رآکتیو، تلفات ناشی از مدیریت نادرست ولتاژ
- تلفات ناشی از پایین بودن راندمان تجهیزات
- Over Heat شدن المانها و نمود مشخصه مقاومت/دما در آنها
- آلودگی هارمونیکی شبکه و تشدید تلفات addy در ترانسفورماتورها و اثر پوستی در هادیها و کابلها

■ مولفه‌های تلفات غیر فنی

- تلفات ناشی از انشعابات غیر مجاز
- تلفات ناشی از دستکاری لوازم اندازه‌گیری
- تلفات ناشی از عدم صحت ضرایب تبدیل CT و PT و یا بروز نشدن آنها با طرحهای توسعه
- تلفات ناشی از خطای مشکلات سیستم قرائت و بیلینگ
- عدم نصب بموقع کنتور
- خرابی دستگاه اندازه‌گیری و صدور صورتحساب مشابه
- دقیق نبودن لوازم اندازه‌گیری



تلفات مدیریتی دسته ای از تلفات هستند که نمی توان آنها را تلفات

فنی یا غیر فنی محسوب نمود. البته این تلفات گاه در زمره تلفات

غیر فنی و گاهی نیز بعنوان ترکیب تلفات فنی و غیر فنی تقسیم بندی

می شوند؛ ولی در اصل ناشی از ضعفهای تصمیم گیری مدیریتی

■ مولفه های تلفات مدیریتی است.

- تخصیص نامناسب بودجه
- بودجه بخش توزیع در کشورهای پیشرفته (که عمدتاً با مشکل فرسودگی شبکه های توزیع نیز مواجه نیستند، بطور متوسط 30% بودجه صنعت برق آنهاست، لیکن در کشور ما معادل 20% بودجه کل صنعت برق می باشد)
- عدم توجه به بحث مدیریت تکنولوژی و استفاده از تکنولوژیهای که ارزش حال هزینه ثابت آنها بیشتر است.

■ مولفه‌های تلفات مدیریتی

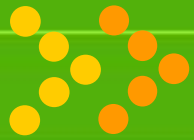
- عدم خلاقیت و نوآوری و فقدان ریسک پذیری
- عدم وجود فلسفه توسعه سیستم توزیع (تعیین حد بهینه تلفات، استراتژی مدیریت ولتاژ، ظرفیت رزرو و ...)
- عدم شناخت از مولفه‌های تلفات در بخش مدیریتی
- وجود تولید کنندگان و تامین کنندگان غیر استاندارد و فاقد صلاحیت
- فقدان ساختار تشکیلاتی علمی و منطبق بر استاندارد
- عدم توجه به تامین نرم افزارها و سخت افزارهای مورد نیاز
- استفاده از پرسنل آموزش ندیده در بخش بهره برداری و اجرا
- (مثالهای جالب و متعددی در این زمینه می توان عنوان نمود، برای مثال حلقه کردن کابل سرویس مشترکین به دور پایه های توزیع و با تعداد دور بالا (بعنوان رزرو) امری متداول است که با توجه به تعداد بالای المان کابل سرویس موجب ایجاد ظرفیت بالایی برای مصرف توان راکتیو و تلفات مربوطه خواهد شد)

- راهکارهای فنی

- بهبود راندمان تجهیزات

- راهکارهای حقوقی





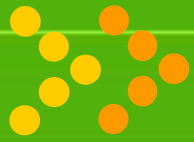
راهکارهای فنی



طیف وسیعی از راهکارها در این بند قابل ذکر است که معمولاً بسته به اثر بخشی و هزینه های مورد نیاز اولویت بندی می شوند. پیاده سازی راهکارهای این دسته معمولاً نیازمند فراهم بودن بستر نرم افزاری بمنظور شبیه سازی شبکه و امکانات اندازه گیری و

مونیتورینگ شبکه است.
راهکارهای دارای اولویت بالای شامل:

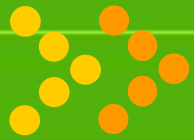
- متعادل سازی بار فازها
- متعادل سازی طول فیدرها (بازآرایی)
- خازن گذاری
- جابجایی پستهای توزیع به مراکز ثقل بار



بهبود راندمان تجهیزات



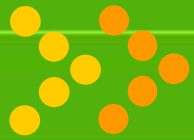
- ارزیابی این طرحها بسیار ساده تر از ارزیابی طرحهای فنی بوده و به امکانات کمتری نیاز دارد. برای مثال جایگزینی ترانسفورماتورهای کم تلفات بجای ترانسفورماتورهای معمولی و استفاده از چراغهای روشنایی پربازده. از دیدگاه طرحهای این دسته، چنانچه بتوان (در خروجی تجهیز) انرژی مفید ثابتی را به ازای ورودی کمتر تولید نمود، بهبود بازده رخ داده است.



راهکارهای حقوقی

این راهکارها معمولاً بر اساس قوانین حاکم بر آن منطقه تنظیم می شوند. راهکارهای این دسته اغلب بسیار کم هزینه ولی اثربخش هستند. از جمله این راهکارها می توان به موارد زیر اشاره نمود.

- مشارکت دادن مشترک در تلفات از طریق ضریب مشارکت تلفات (Loss Contribution Factor) در شرکت برق کوئینزلند استرالیا
- تجمیع انشعابات و واگذاری کنتورهای حجمی در کره
- جریمه آلوده سازی هارمونیکی شبکه (برای مشترکین صنعتی در ایالات متحده)
- تخصیص ضریب زیان یا جریمه پایین بودن ضریب توان در اکثر کشورهای جهان



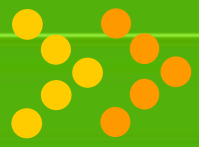
- مقدار مشخصی برای تلفات نمی‌توان تعیین کرد.
- تلفات در شبکه معمولاً بهینه می‌شود نه کمینه
- در برنامه ریزی یکپارچه منابع، کاهش تلفات یکی از منابع تامین نیاز مصرف است.
- تلفات به دو دسته فنی و غیر فنی قابل تقسیم است.
- عوامل اصلی اصلاح تلفات به سه دسته ذیل قابل تقسیم است:
 - راهکارهای فنی
 - بهبود راندمان تجهیزات
 - راهکارهای حقوقی

مباحث ویژه در تلفات

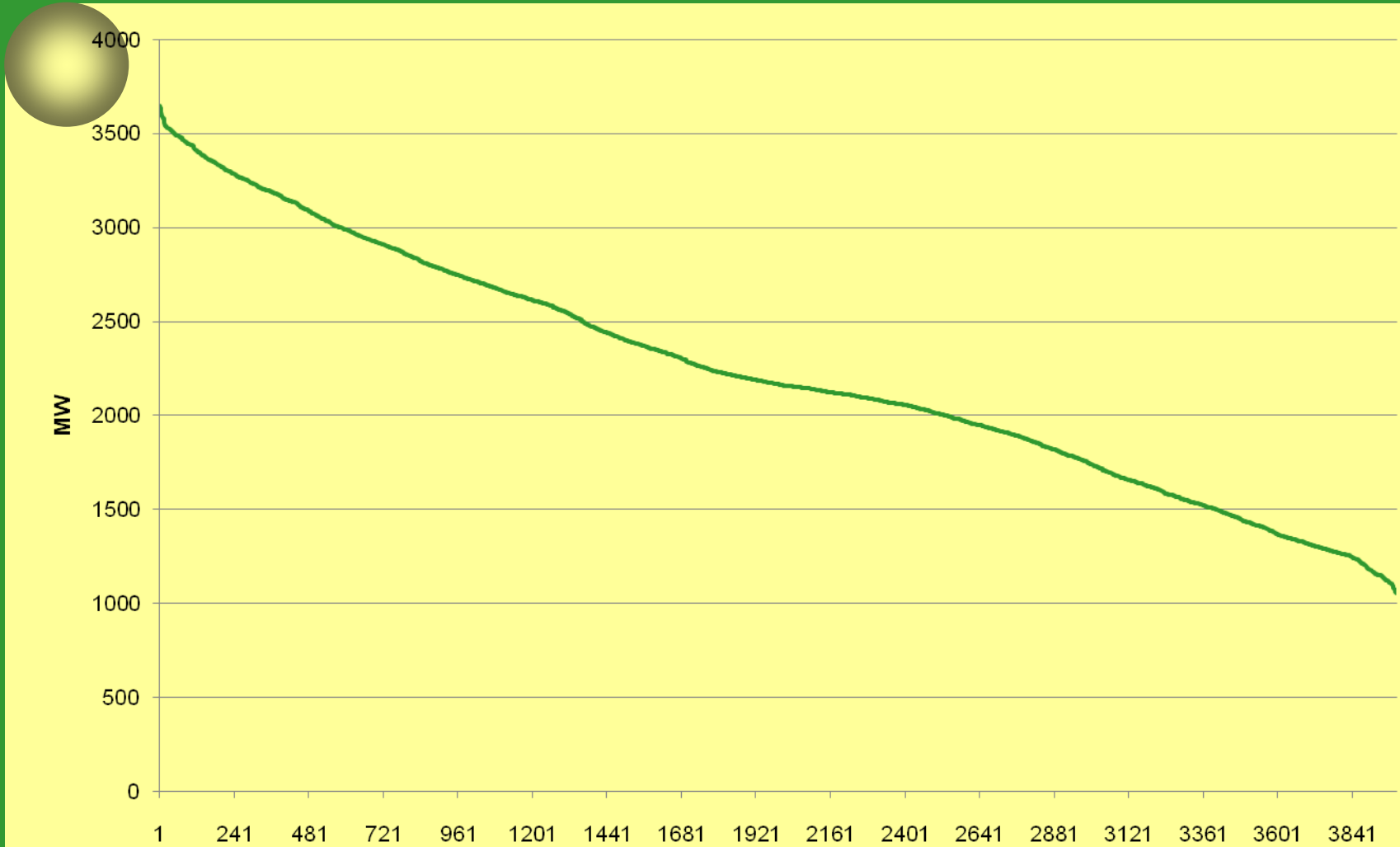


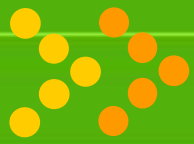
بررسی تاثیر پروفیل بار در تلفات شبکه





پروفیل بار و تاثیر آن بر تلفات



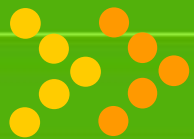


▪ ضریب بار Load Factor

$$LF = \frac{\text{Average Demand}}{\text{Peak Demand}} \quad \text{Or} \quad \frac{\text{Energy Used in Period of Time}}{\text{Peak Demand in Period of Time}}$$

▪ انرژی مصرف شده در دوره زمانی مشخص

▪ پیک بار شبکه در دوره زمانی مشخص



معرفی ضریب تلفات

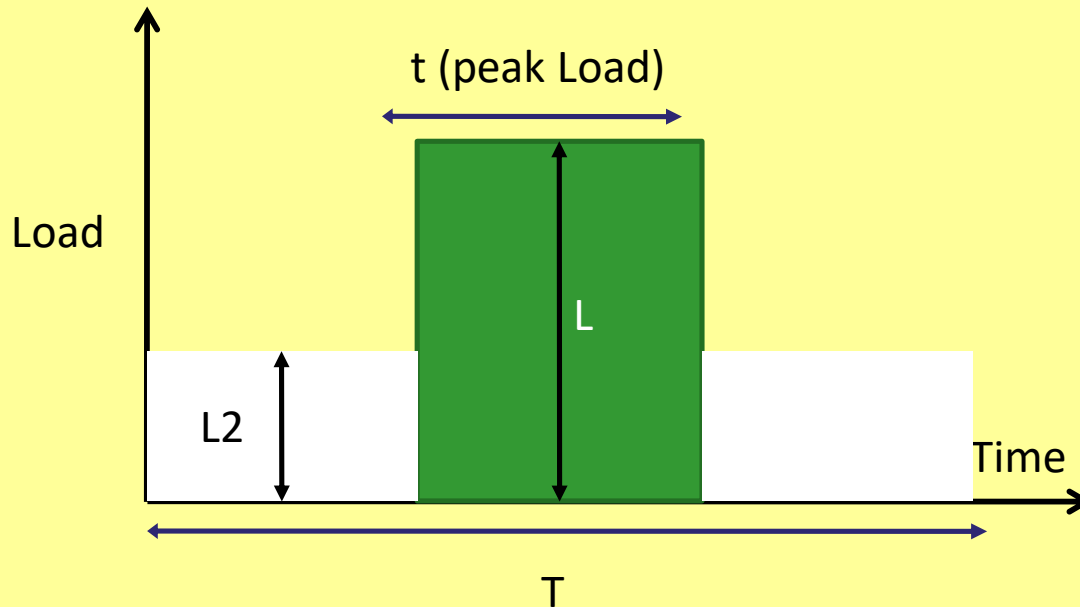


$$LSF = \frac{Average(load)^2}{Maximum(load)^2} \quad Or \quad \frac{AverageLoss}{MaximumLoss}$$

▪ LSF: ضریب تلفات



تعیین رابطه ضریب تلفات و ضریب بار



- X : مدت زمان اوج بار t
- Y : مدت زمان حداقل بار $(T-t)$

تعیین رابطه ضریب تلفات و ضریب بار



$$LF = \frac{L_1 T + (L - L_1)t}{L * T}$$

$$Lsf = \frac{L_1^2 * (T - t_1) + L^2 * t}{L^2 * T}$$

if $t \rightarrow 0$

$$Lf = \frac{L_1}{L} \Rightarrow Lsf = \frac{L_1^2 T + L^2 t - L_1^2 t}{L^2 T} = \left(\frac{L_1}{L}\right)^2$$

$$Lsf = Lf^2$$

تعیین رابطه ضریب تلفات و ضریب بار

$$LF = \frac{L_1 T + (L - L_1)t}{L * T}$$

$$Lsf = \frac{L_1^2 * (T - t_1) + L^2 * t}{L^2 * T}$$

if $t \rightarrow T$

$$Lf = 1 \quad \Rightarrow \quad Lsf = \frac{L_1^2 T + L^2 t - L_1^2 t}{L^2 T} = 1$$

$$Lsf = Lf$$

تعیین رابطه ضریب تلفات و ضریب بار



$$L_f^2 \leq L_{sf} \leq L_f$$

$$L_{sf} = a * L_f + (1 - a) * L_f$$

$$LSF = \frac{\text{Average}(\text{load})^2}{\text{Maximum}(\text{load})^2} \quad \text{Or} \quad \frac{\text{AverageLoss}}{\text{MaximumLoss}}$$

تأثير ضريب تلفات بر تلفات بيشينه شبكه



$$P_{\max} = 2500Mw$$

$$Loss\% = \%14$$

$$\text{if } Lf = .5$$

$$E_{buy} \cong 11000Gwh$$

$$Lsf = Lf^2$$

$$P_{loss,max} = \frac{11000000 * .14}{.25 * 8760} = 703Mw$$

$$Lsf = Lf$$

$$P_{loss,max} = \frac{11000000 * .14}{8760} = 175Mw$$

تأثير ضريب تلفات بر تلفات پيشينه شبكه



$$P_{\max} = 1800Mw$$

$$Loss\% = \%14$$

$$\text{if } Lf = .7$$

$$E_{\text{sold}} \cong 11000Gwh$$

$$Lsf = Lf^2$$

$$P_{\text{loss,max}} = \frac{11000000 * .14}{.49 * 8760} = 360Mw$$

$$Lsf = Lf$$

$$P_{\text{loss,max}} = \frac{11000000 * .14}{8760} = 175Mw$$

▪ رابطه پیشنهادی برای ضریب تلفات ترانسفورماتورهای توزیع

$$L_{sf} = 0.15 * L_f + 0.85 * L_f^2$$

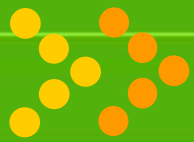
▪ رابطه پیشنهادی برای ضریب تلفات شبکه توزیع

$$L_{sf} = 0.3 * L_f + 0.7 * L_f^2$$



تأثير هارمونيك بر تلفات شبكه





■ تلفات بدون هارمونیک

$$P_{Loss} = 3RI_1^2$$

■ تلفات با وجود هارمونیک

$$P_{Loss} = 3RI_1^2 + K_{se}RI_1^2THD^2$$

ضریب تاثیر اثر پوستی یا Kse معمولا با توجه به نوع
المان مدل می شود. برای مثال، مقدار Kse برای خطوط
هوایی از رابطه زیر محاسبه می شود:

■ مدل خطوط

$$R = R(1 + \frac{0.646h^2}{192 + 0.518h^2})$$

افزایش مقاومت خط هوایی در محیط هارمونیک



مرتبه هارمونیک	ضریب افزایش مقاومت در هارمونیک مربوطه
2.00	1.01
3.00	1.03
4.00	1.05
5.00	1.08
6.00	1.11
7.00	1.15
9.00	1.22
11.00	1.31
13.00	1.39
15.00	1.47
17.00	1.55
19.00	1.62
23.00	1.73
25.00	1.78

تلفات ترانسفورماتور در محیط هارمونیکی



تأثیر گذاری هارمونیکها در اجزایی چون ترانسفورماتورها که

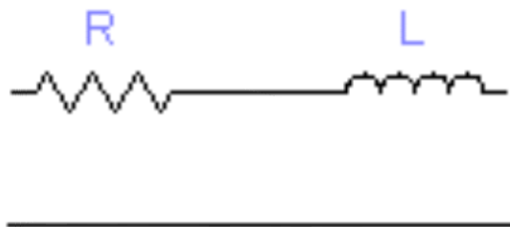
تلفات ادی آنها به فرکانس وابسته است، به ضریب اثر پوستی

محدود نمی شود. برای مثال چنانچه از مدل ساده شکل زیر

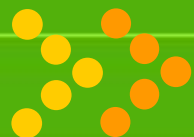
برای ترانسفورماتور استفاده شود، مقدار $h^{1.15}$ ترانس با

تصحیح خواهد شد.

ضریب



$$P_{eddy} = K_e f^2 B_m^2$$



افزایش رآکتانس ترانسفورماتور در محیط هارمونیکها



مرتبه هارمونیک	ضریب افزایش رآکتانس در هارمونیک مربوطه
2.00	2.22
3.00	3.54
4.00	4.92
5.00	6.37
6.00	7.85
7.00	9.37
9.00	12.51
11.00	15.76
13.00	19.10
15.00	22.52
17.00	26.00
19.00	29.55
23.00	36.81
25.00	40.52

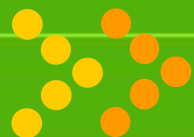
- کاهش ظرفیت بارگیری ترانس بعلت اضافه حرارت ایجاد شده

$$K = \sqrt{\frac{\sum_h (I_h^2 h^2)}{\sum_h I_h^2}}$$

- جریان نامی ترانسفورماتور = I_R

- نسبت تلفات ادی به تلفات مس نامی = $P_{EC.R}$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{1 + P_{EC.R}}{1 + KP_{EC.R}}} (I_R)$$



مثال



- ترانسفورماتور با جریان نامی : 233.9 آمپر
- نسبت تلفات ادی به تلفات مس نامی = 0.12

233.91 A(fundamental), 45.37 A(5th), 31.27 A(7th), 19.08 A(11th) and 14.03 A(13th)

Therefore $P_{EC.R} = 12/100 = 0.12$ and I_R (rated fundamental current) = 233.91 A.
From Equation (4.7)

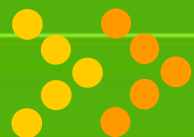
$$K = \sqrt{\frac{\left(\frac{233.91}{233.91}\right)^2 1^2 + \left(\frac{45.84}{233.91}\right)^2 5^2 + \left(\frac{31.27}{233.91}\right)^2 7^2 + \left(\frac{19.08}{233.91}\right)^2 11^2 + \left(\frac{14.03}{233.91}\right)^2 13^2}{\left(\frac{233.91}{233.91}\right)^2 + \left(\frac{45.84}{233.91}\right)^2 + \left(\frac{31.27}{233.91}\right)^2 + \left(\frac{19.08}{233.91}\right)^2 + \left(\frac{14.03}{233.91}\right)^2}}$$

= 1.996

and from Equation (4.8) the maximum allowed current is

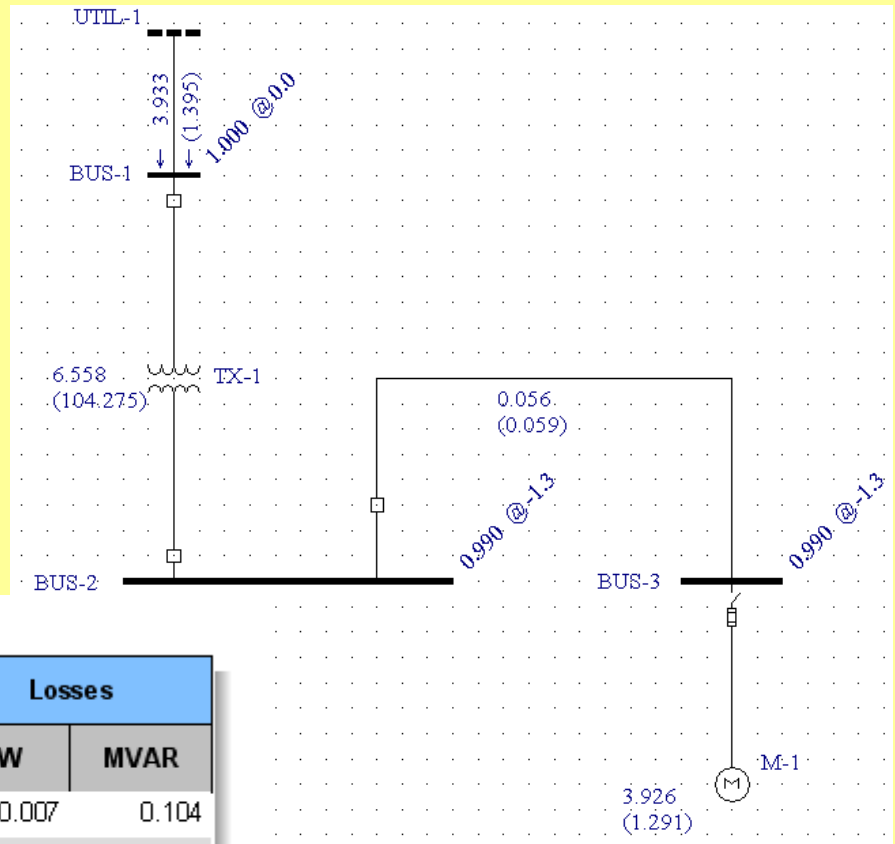
$$I_{\max} = \sqrt{\frac{1 + 0.12}{1 + (1.985)(0.12)}} \times (233.91) = 222 \text{ A}$$

Category
K-4
K-9
K-13
K-20
K-30
K-40



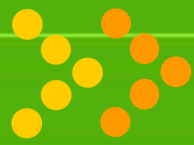
■ هارمونیکی بدون وجود آلودگی هارمونیکی در موتور

نرم افزار 8.2 Easy power



Branch Losses Report

From Bus		To Bus		Losses	
Name	Base kV	Name	Base kV	MW	MVAR
BUS-1	69.000	BUS-2	13.800	0.007	0.104
BUS-2	13.800	BUS-3	13.800	0.000	0.000
Total System Losses				0.007	0.104



■ هارمونیکي باوجود آلودگی هارمونیکي در موتور

Unit: U.S.

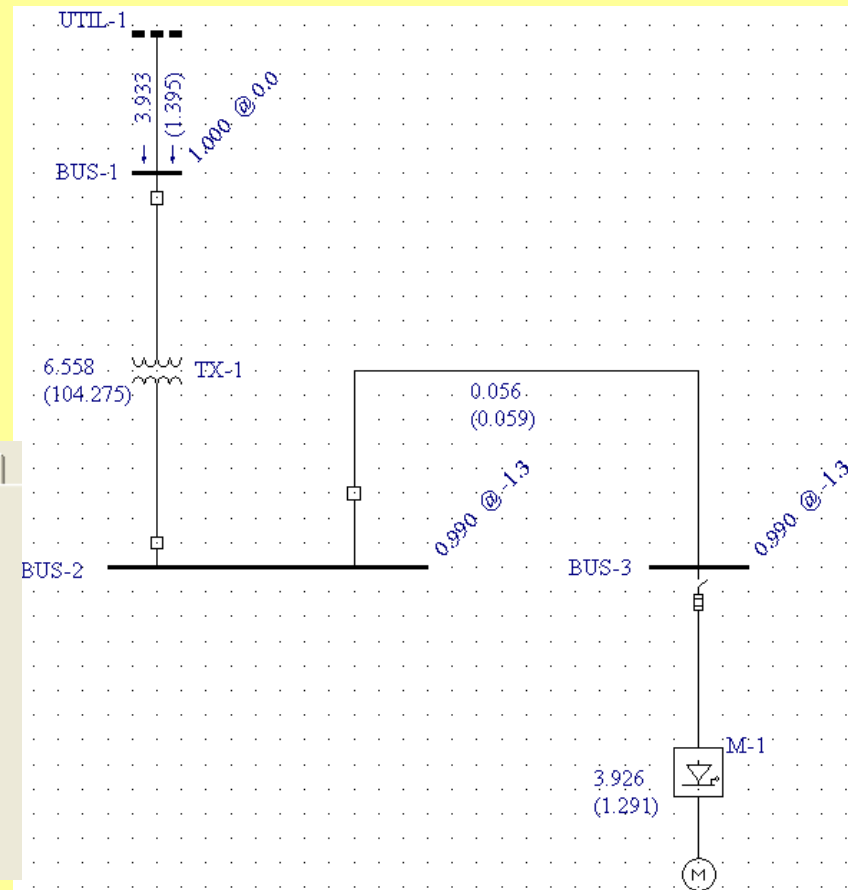
kV: 13.8 Hp: 5000 RPM: 1800

One-line Graphics
 With Adjustable Frequency Drive (AFD)
 Type: Induction

kVA = 4132.96

FLA: PE: 0.95 Eff: 0.95

Service Factor: 1 Demand Factor: 1 Load Class: Non-essential



Specifications | Short Circuit | TCC | Power Flow | Motor Starting | **Harmonics** | Stability | Comments | Hyperlinks

Load Type: Harmonic

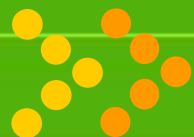
Fundamental Amps: 172.911

Equipment Rating
 User Specified

Harmonic Number	Harmonic Current%	Current Angle
1	3	40
2	5	47
3		
4		
5		
6		
7		

Library Load
 Mfr: <None>
 Type: <None>
 Import

Resistance Factor
 R-EXP
 X-ECF
 Value: 0



نتایج پخش بار



Bus Summation Results Summary Report

Bus		Voltages			
Name	Base kV	VTHD (%)	VRSS (pu)	VTIF (pu)	VSUM (pu)
BUS-1	69.000	3.6%	1.001	7.310	1.049
BUS-2	13.800	10.2%	1.005	20.316	1.137
BUS-3	13.800	10.2%	1.005	20.323	1.137

Branch Summation Report

Branch	From Bus		Currents			Losses	
Name	Name	Base kV	ITHD (%)	IRSS (pu)	ITprod (pu)	kW	kVar
C-1	BUS-2	13.800	25.5%	0.750	58.663	0.2	0.3
M-1	BUS-3	13.800	25.5%	0.486			
TX-1	BUS-1	69.000	25.5%	1.032	42.625	40.1	760.9
UTIL-1	BUS-1	69.000	25.5%	1.032	42.625	11.8	423.3

استفاده از ترانسفورماتور D-rating

Branch Losses Report

Branch	From Bus		To Bus		Losses	
	Name	Base kV	Name	Base kV	kW	kVar
C-1	BUS-2	13.800	BUS-3	13.800	0.2	0.3
TX-1	BUS-1	69.000	BUS-2	13.800	40.1	760.9
UTIL-1	BUS-1	69.000			11.8	423.3

Transformer Derating Report

Branch	From Bus		To Bus		Results	
	Name	Base kV	Name	Base kV	K-Duty	Capability
TX-1	BUS-1	69.000	BUS-2	13.800	2.056	87.9%

Conductor Derating Report

Branch	From Bus		To Bus		Results
	Name	Base kV	Name	Base kV	Capability
C-1	BUS-2	13.800	BUS-3	13.800	93.2%

- ترانسفورماتورهای سازگار با هارمونیک هستند که از صاف شدن بالای موج ولتاژ بواسطه بریده شدن آن جلوگیری می کند. HMT
- طوری ساخته شده است که اعوجاج ولتاژ سیستم و اثرات حرارتی ناشی از جریان های هارمونیک را کاهش می دهد. این کار را از طریق حذف فلوها و جریان های هارمونیک ایجاد شده توسط بار در سیم پیچی های ترانسفورماتور انجام می دهد .
- چنانچه شبکه های توزیع نیروی برق مجهز به ترانسفورماتورهای HMT گردند می توانند همه نوع بارهای غیر خطی (با هر درجه از غیر خطی بودن) را بدون اینکه پیامدهای منفی داشته باشند، تغذیه نمایند.
- بهمین دلیل در اماکنی که بارهای غیر خطی زیاد وجود دارد از ترانسفورماتور HMT بصورت گسترده استفاده می شود.

▪ حذف جریان مؤلفه صفر هارمونیک ها (هارمونیک های سوم ، نهم و پانزدهم) در سیم پیچی اولیه ، از طریق حذف فلوی آنها در سیم پیچی های ثانویه

• با یک خروجی در دو مدل با شیفته فازی متفاوت ساخته می شوند. وقتی که هر دو مدل با هم بکار می روند می توانند جریان های هارمونیک پنجم، هفتم، نهم و پانزدهم را در قسمت جلویی شبکه حذف کنند .

• ترانسفورماتورهای HMT با دو خروجی می توانند مولفه متعادل جریان های هارمونیک پنجم، هفتم ، نهم و پانزدهم را در داخل سیم پیچی های ثانویه حذف کنند .

مزایای ترانسفورماتورهای HMT



- ترانسفورماتورهای HMT با سه خروجی می توانند مولفه متعادل جریانهای هارمونیک پنجم، هفتم، یازدهم و سیزدهم را در داخل سیم پیچی ثانویه حذف کنند.
- کاهش جریان های هارمونیکی در سیم پیچی های اولیه HMT باعث کاهش افت ولتاژهای هارمونیکی و اعوجاج مربوطه می شود.
- کاهش تلفات توان باعث کاهش جریان های هارمونیکی

بعبارت دیگر ترانسفورماتور HMT باعث ایجاد اعوجاج ولتاژ خیلی کمتری در مقایسه با ترانسفورماتورهای معمولی یا ترانسفورماتور عامل K می شود.

توزیع حرارت در ترانسفورماتور معمولی و HMT



% LOAD	STD		HMT	
	WATTS LOST	EFFICIENCY	WATTS LOST	EFFICIENCY
15	347	97.0%	199	98.3%
25	427	97.8%	243	98.8%
35	534	98.0%	298	98.9%
50	802	98.0%	473	98.8%
75	1,420	97.5%	904	98.5%
100	2,170	97.2%	1,513	98.1%

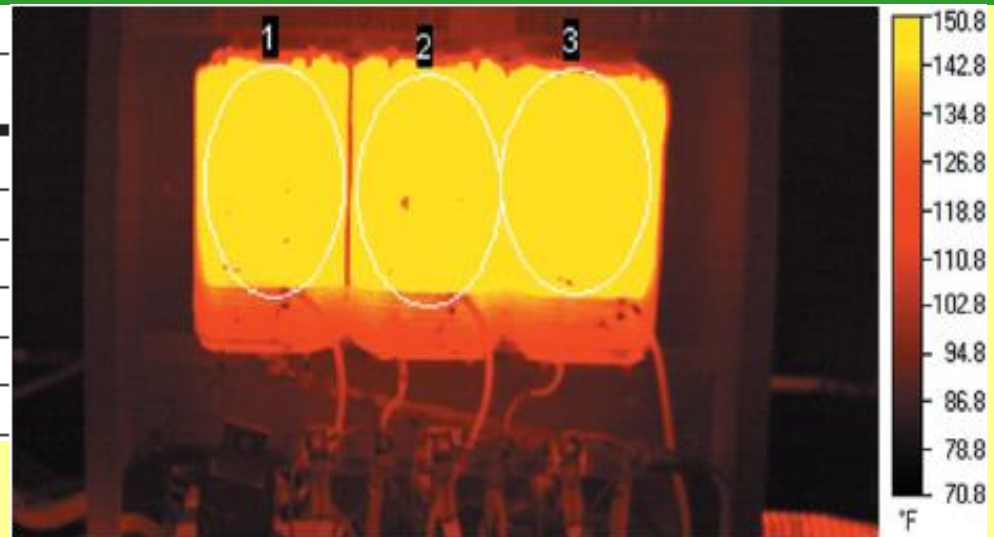


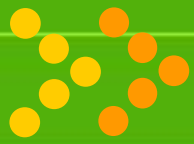
Photo 1 — Standard Delta-Wye Transformer



Photo 2 — Eaton's Harmonic Mitigating Transformer

نقش اتصالات الکتریکی در تلفات





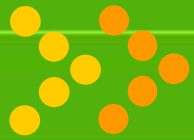
■ Multi Domain Or Multidisciplinary

- Mechanics : Heat Transfer, Tribology
- Metallurgy : Coating , ...
- Chemistry : Corrosion
- Electrical : Electrodynamics

□ Complex and NOT fully explained

□ Multi application (Automotive ,Telephones , Airplanes, Military, Electronics And Electrical)

□ ◌ Multi Size (Nano-scale in Microscopic Contacts to large scale in Power Industry)



■ اتصالات : ثابت (Stationary) و متحرک (Moving)

■ اتصالات ثابت :

- غیر قابل جدا شدن یا تمام فلزی (لحیم، جوش و چسبانده شده)

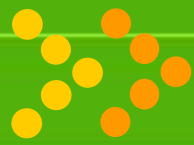
- کلمپی (پیچ و مهره، پیچی، گیره ای و پرسی)

□ اتصالات جدا نشدنی دارای استحکام مکانیکی بالاتر و تغییرات مقاومت الکتریکی کمتری هستند

□ اتصالات متحرک :

□ ازمواد بسیار مقاوم در مقابل قوس الکتریک و خوردگی ساخته می شوند

□ فرآیندهای ساخت : آبرکاری ، آلیاژی الکترو اسپارک، نشست حمام بخار فلزی



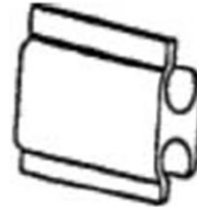
انواع اتصالات



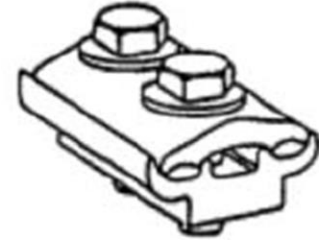
Compression sleeve



"6" Compression



"H" Compression



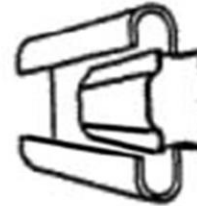
Two-bolt parallel groove



Bolted wise



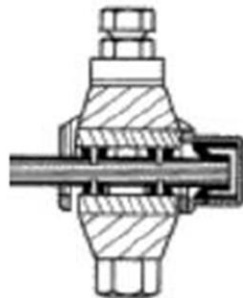
Bolt-driven wedge



Fired wedge



Set screwlug



Insulation piercing



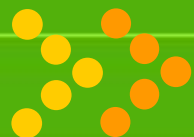
Split bolt



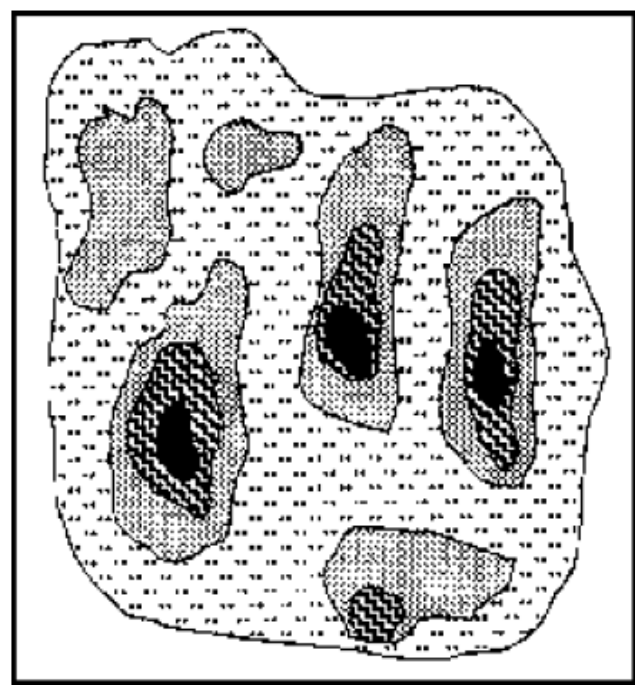
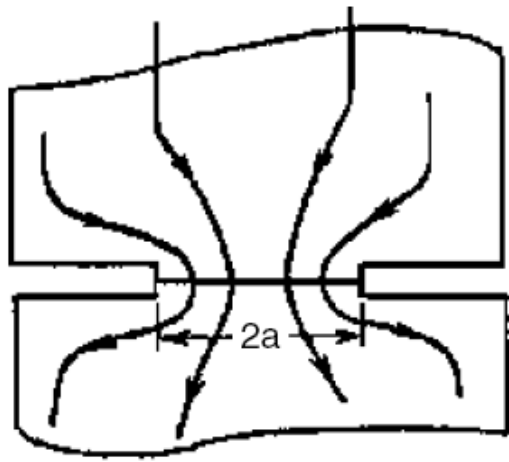
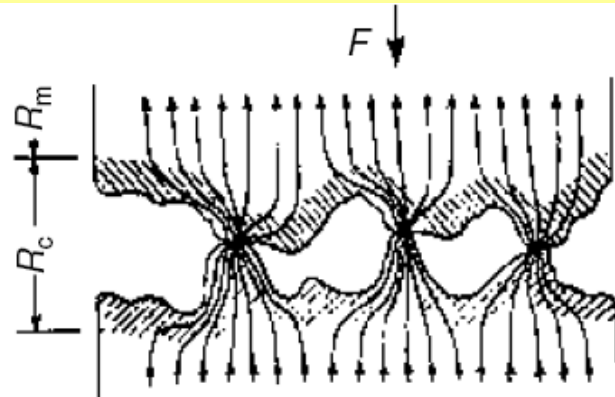
Cable tap








Terminal lug



سطح تماس در اتصالات



R_m Conductor resistance
 R_c Constriction resistance
 a Diameter of a-spot

 Apparent (nominal) contact area
 Real contact area
 Load-bearing area
 Quasi-metallic contact area
 Conducting contact area (a-spots)

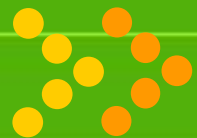
- افزایش مقاومت اتصال

- تشدید اکسیداسیون کنتاکت و کاهش سطح اتصال

موثر

- کاهش فشار دو کنتاکت و کاهش سطح اتصال موثر

- بروز مشخصه افزایش دما – افزایش مقاومت



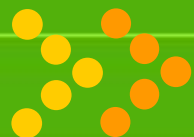
■ فشار اتصال

■ هندسه سطح

■ ویژگیهای تکنولوژیکی

■ جریان بار

■ عوامل Degrading



تأثير هندسه سطح بر تلفات

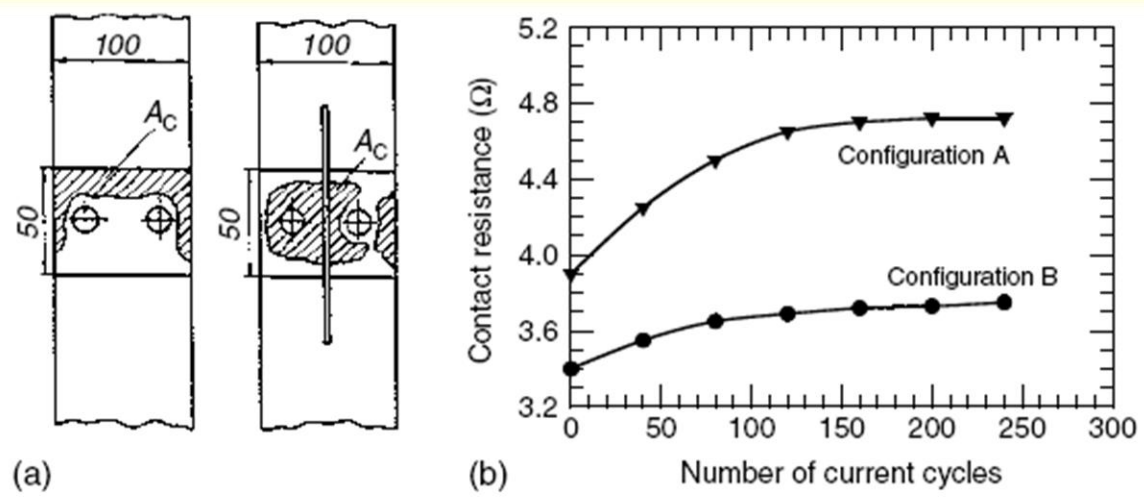
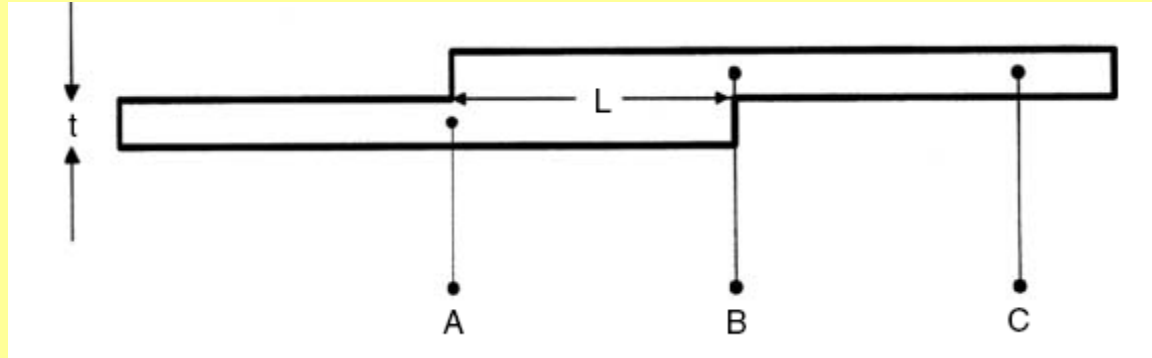


FIGURE 7.26 Effect of current-cycling on contact resistance of bolted joints with and without slots. The contact area of a joint with slots (b) is 1.5–1.7 times larger than without slots (a).

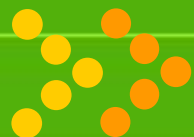


$$V_{AB} = RI \text{ and } V_{BC} = R_B I$$

$$R_B = \rho(L/wt).$$

$$e = V_{AB}/V_{BC} = R/R_B$$

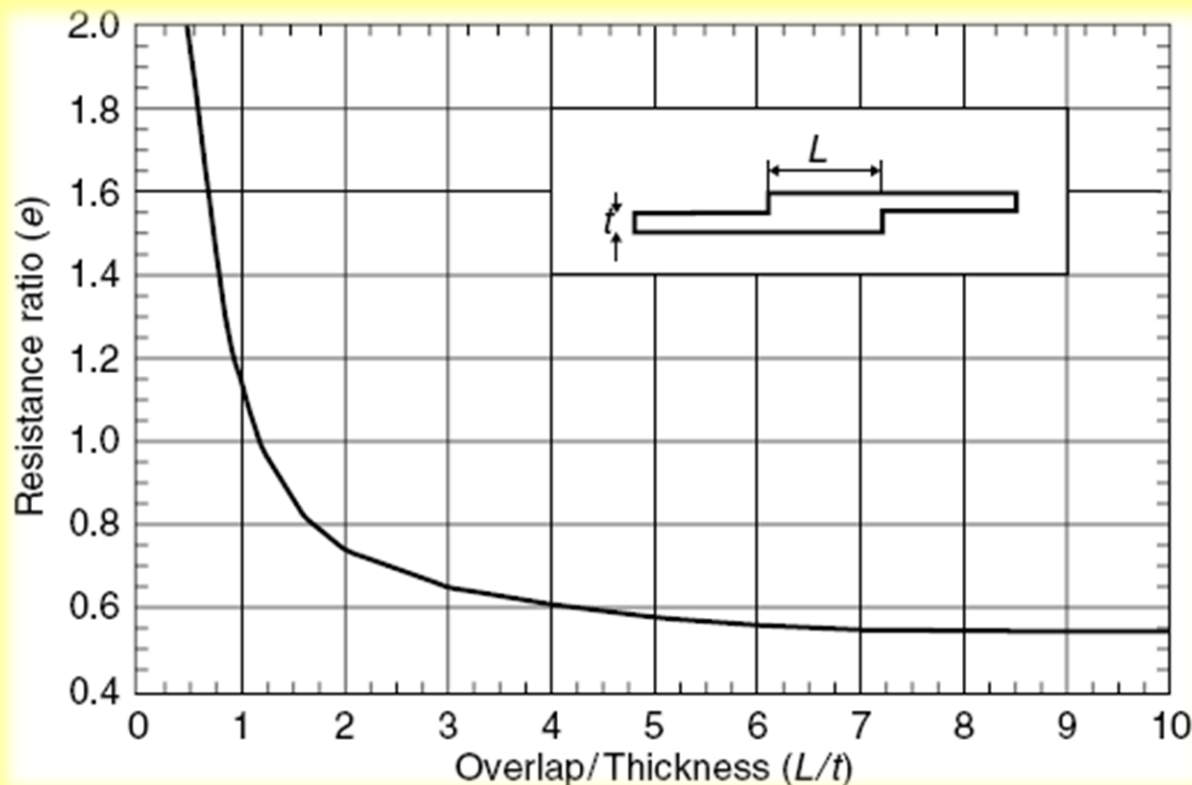
$$e = R \left(\frac{w}{\rho} \right) \left(\frac{1}{L/t} \right).$$



Melsom – Booth منحنی



- کاهش اثر Streamline با افزایش نسبت l/t با فرض اتصال کامل در Overlap و موازش شدن جریان در اتصالات a-spot



تأثير جريان بار بر مقاومت اتصال

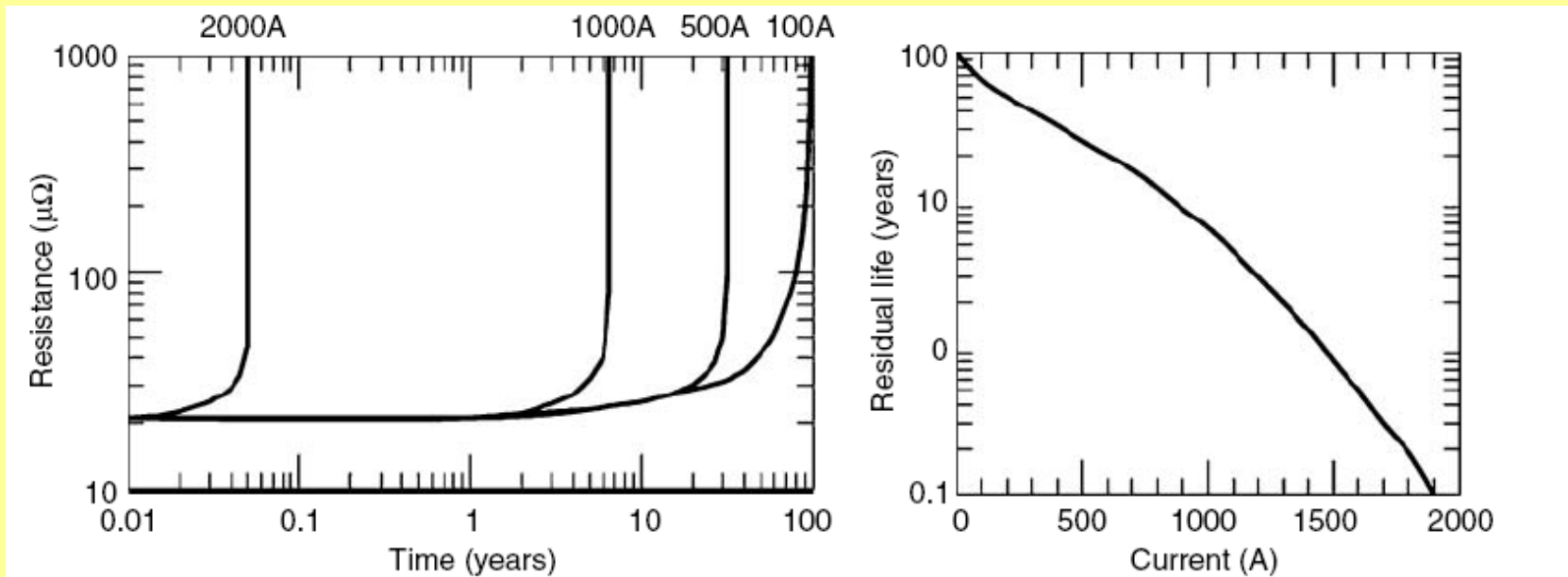
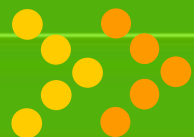


FIGURE 6.4 Variation of the connector resistance with time for different values of the applied current.



تأثير فشار اتصال بر تلفات

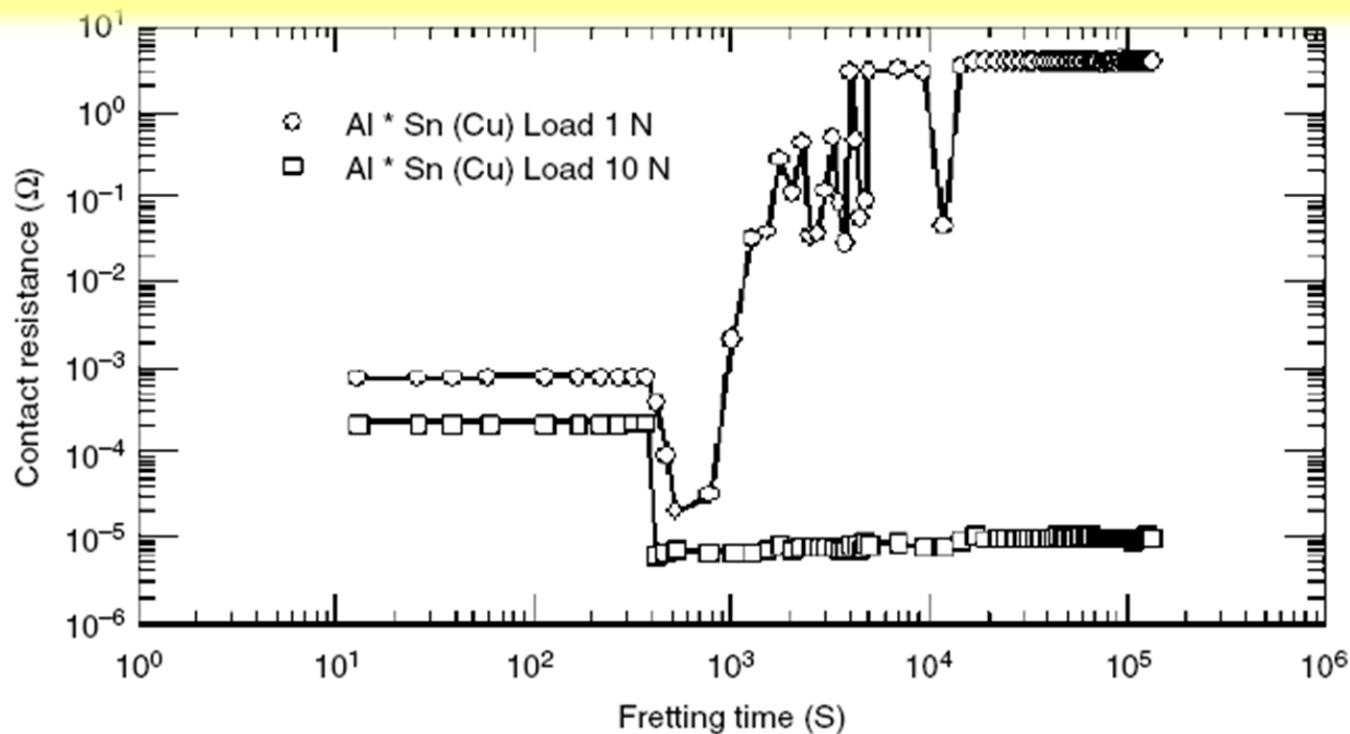
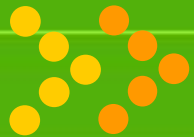
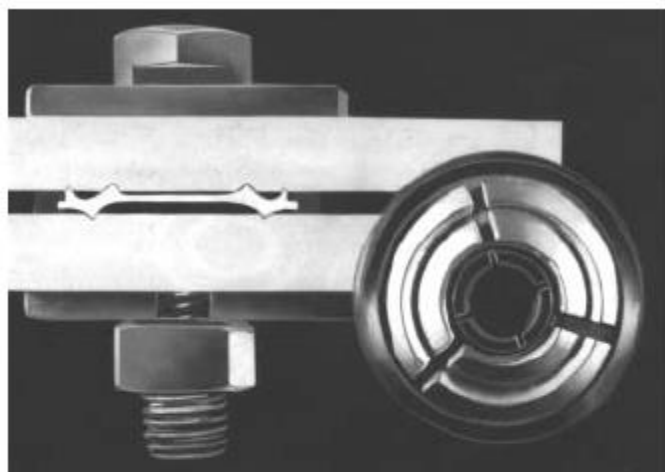


FIGURE 6.14 Effect of contact load on the contact resistance behavior of aluminum fretting against tin-plated copper. (From Braunović, M., *Proceedings of 19th ICEC*, Nuremberg, 283–287, 1998. With permission.)



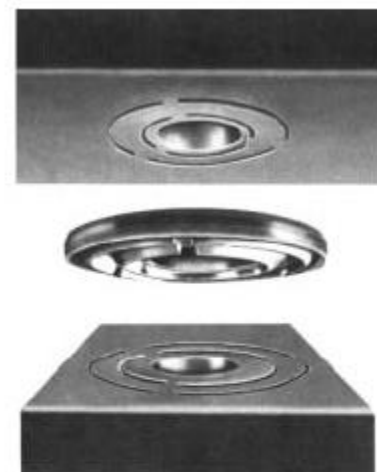
■ بکارگیری Edge Shaped Transition Washer



(a)

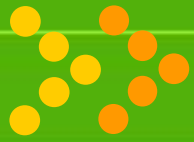


(b)



(c)

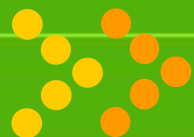
FIGURE 7.4 Pfisterer transition washer (Elast contact disk) (a) Cross-section of the busbars with the transition washer showing the contact points; (b) cross-section of a transition washer; (c) busbar contact surface showing the impressions left by the sharp edges of transition washer. (From *Pfisterer Technical Notes: Station fittings* 5, 14–16, 1987.)



Transition Washer



- در آلمان، انگلستان ، فرانسه و کانادا استفاده می شود
- جنس آن از برنج (مس + روی) 60/40 و یا آلیاژ مقاوم آلومینیوم-منیزیم-سیلیسیم (آلمان) است
- با لبه های تیز خود موجب شکستن لایه های اکسید (سولفید) و برقراری A-Spot های بیشتر می شود و نیاز به پرداخت اتصال را تا حدود زیادی مرتفع می کند.
- در دماهای بالا احتمال بروز پدیده Intermettalic افزایش می یابد.



■ آلیاژ حافظه دار NITI (Nitinol)

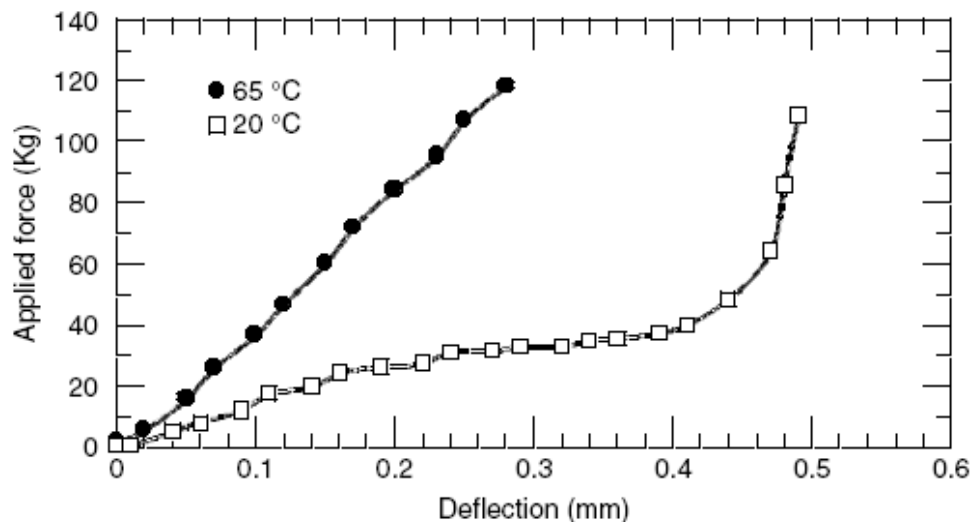
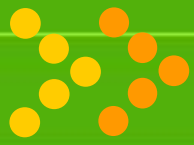
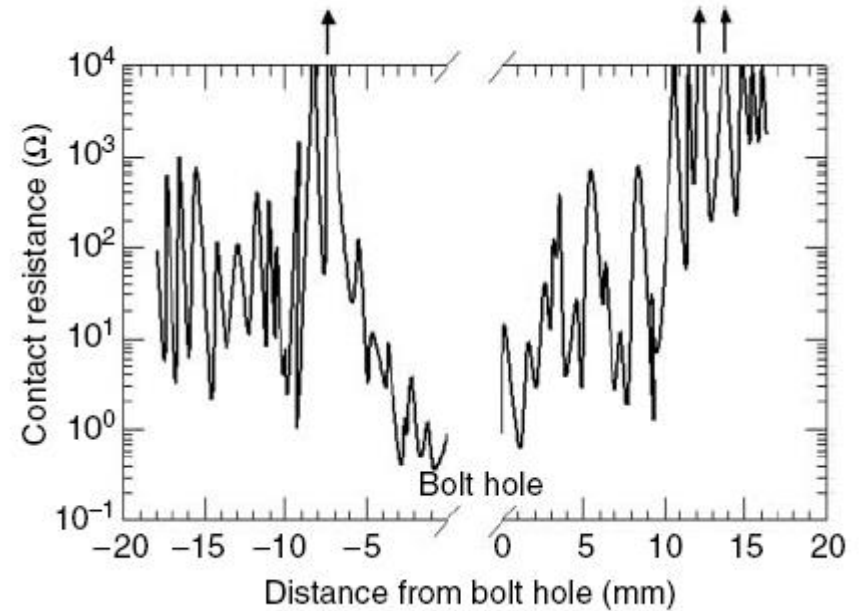
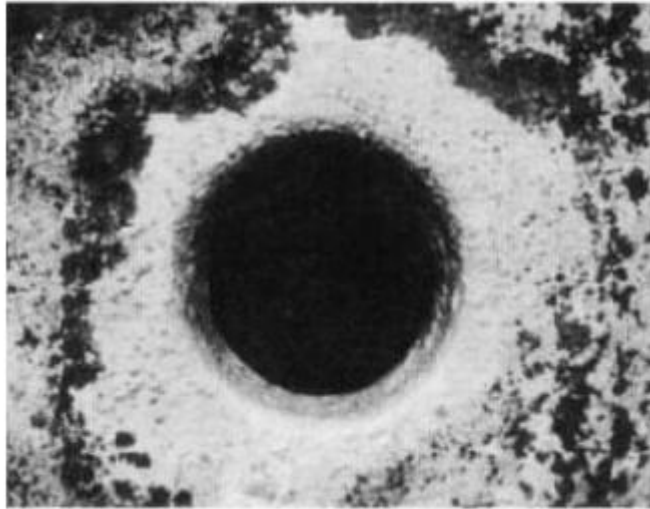
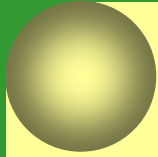


FIGURE 7.34 Effect of SMA Belleville washer on the force–deflection dependence of SMA Belleville washer. (Derived from Waram, T., *Raychem Tech. Doc.*)

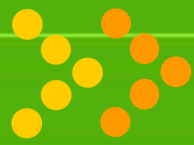


عوامل Degrading - خوردگی اتصال

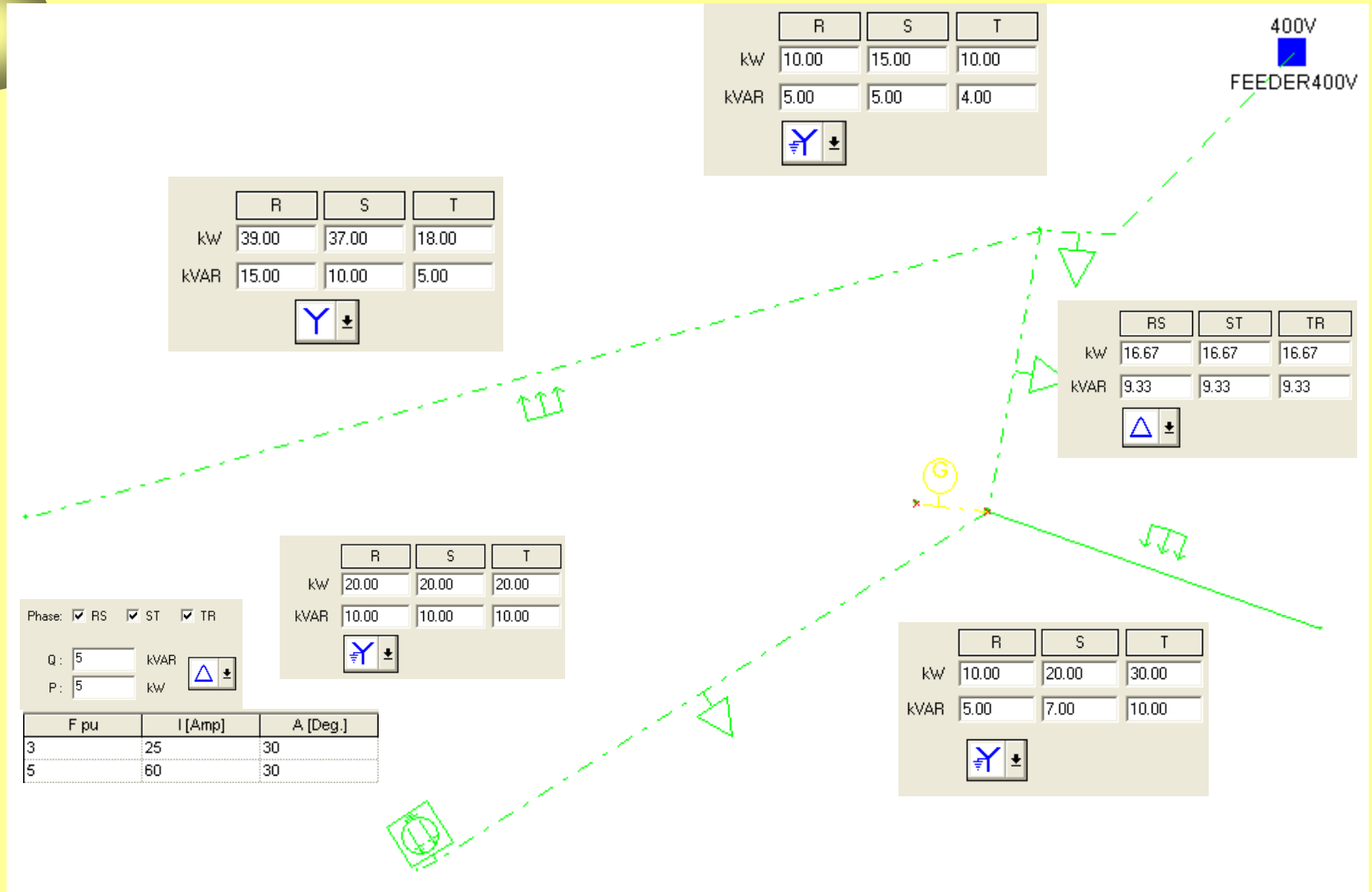


جایگاه تولید پراکنده در کاهش تلفات





مطالعات عددی



خلاصه وضعیت شبکه (بدون وارد شدن DG)



Load Summary

	Total Load			
	kW	kVAR	kVA	PF(%)
Total load read (Non-adjusted)	299.01	123.99	323.70	92.37
Total load used (Adjusted)	305.21	126.34	330.33	92.40
Total shunt capacitor (Adjusted)		0.00		
Total shunt reactor (Adjusted)		0.00		
Total load from motor	0.00	0.00	0.00	0.00
Total power from generator	0.00	0.00	0.00	0.00
Total power to others	0.00	0.00	0.00	0.00
Total conductor capacitances		0.01		
Total losses	9.68	4.79	10.80	89.61
Total power from sources	314.89	131.12	341.10	92.32

با DG با توان تولیدی ۱۰۰ کیلووات

Load Summary

	Total Load			
	kW	kVAR	kVA	PF(%)
Total load read (Non-adjusted)	299.01	123.99	323.70	92.37
Total load used (Adjusted)	308.98	127.94	334.42	92.39
Total shunt capacitor (Adjusted)		0.00		
Total shunt reactor (Adjusted)		0.00		
Total load from motor	0.00	0.00	0.00	0.00
Total power from generator	99.99	50.00	111.80	89.44
Total power to others	0.00	0.00	0.00	0.00
Total conductor capacitances		0.01		
Total losses	6.24	3.12	6.98	89.46
Total power from sources	215.22	81.05	229.98	93.58

Status:	<input type="text" value="ON"/>
Voltage Controlled:	<input type="text" value="ON"/>
Active Generation:	<input type="text" value="100.000"/> kW
Desired Voltage:	<input type="text" value="0.40"/> kVLL
Power Factor:	<input type="text" value="85.00"/> %
Max. Reactive Power:	<input type="text" value="50.0000"/> kVAR
Min. Reactive Power:	<input type="text" value="0.0000"/> kVAR
	<input type="text" value="Rg"/> <input type="text" value="Xg"/>
Grounding Impedance:	<input type="text" value="1.0000"/> <input type="text" value="2.0000"/> Ohms

با DG با توان تولیدی ۲۵۰ کیلووات

Load Summary

	Total Load			
	kW	kVAR	kVA	PF(%)
Total load read (Non-adjusted)	299.01	123.99	323.70	92.37
Total load used (Adjusted)	312.63	129.57	338.42	92.38
Total shunt capacitor (Adjusted)		0.00		
Total shunt reactor (Adjusted)		0.00		
Total load from motor	0.00	0.00	0.00	0.00
Total power from generator	250.06	0.24	250.06	100.00
Total power to others	0.00	0.00	0.00	0.00
Total conductor capacitances		0.01		
Total losses	12.55	5.37	13.65	91.93
Total power from sources	75.13	134.69	154.22	48.71

Status:

Voltage Controlled:

Active Generation: kW

Desired Voltage: kVLL

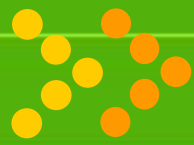
Power Factor: %

Max. Reactive Power: kVAR

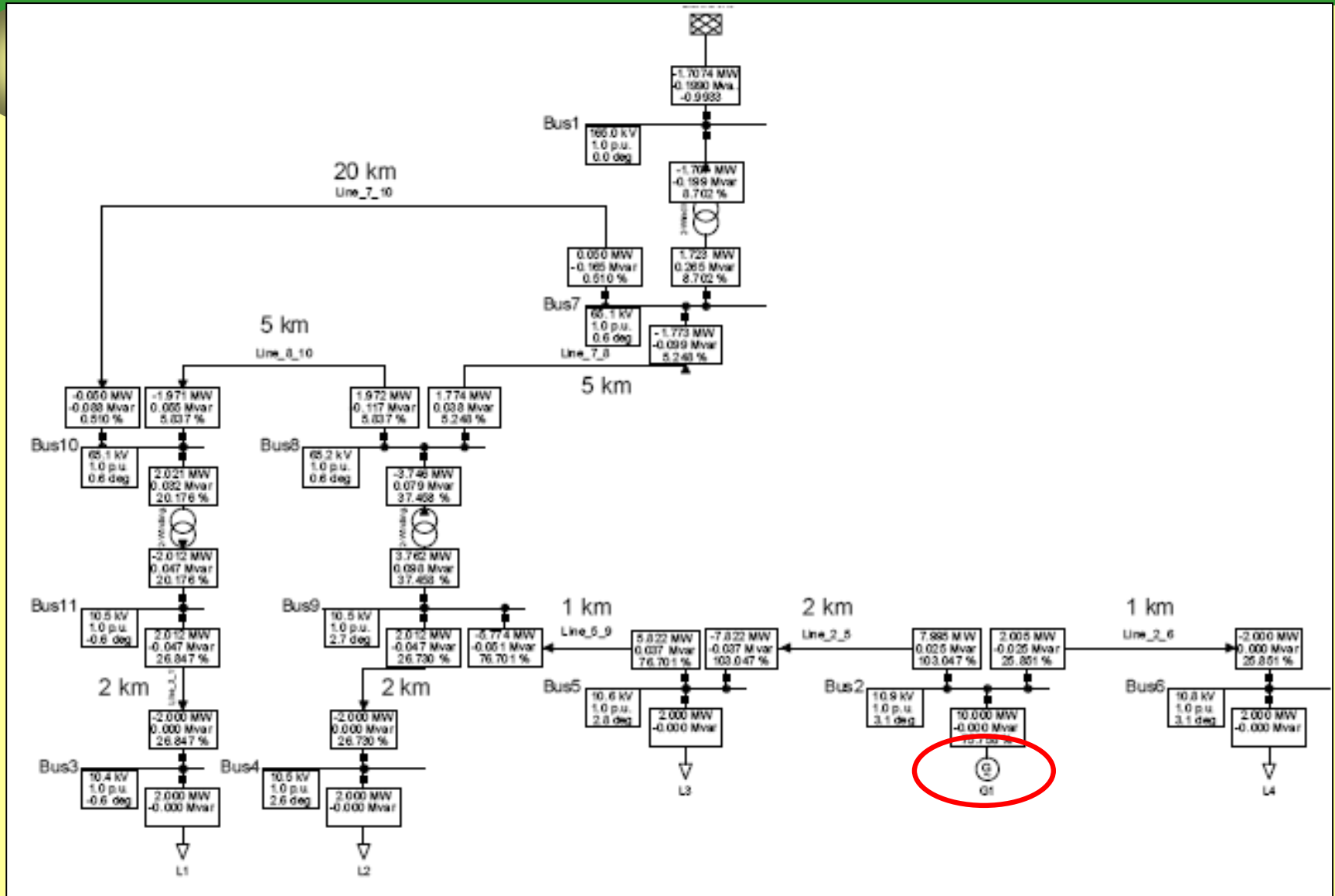
Min. Reactive Power: kVAR

Grounding Impedance: Ohms

Rg Xg



جایابی DG در شبکه



جایابی DG در شبکه توزیع از دید تلفات

توان تولیدی DG مقدار بهینه ای دارد که از روی نتایج پخش بار قابل تعیین است. تولید در مقادیری بیشتر یا کمتر از این حد باعث افزایش تلفات می شود

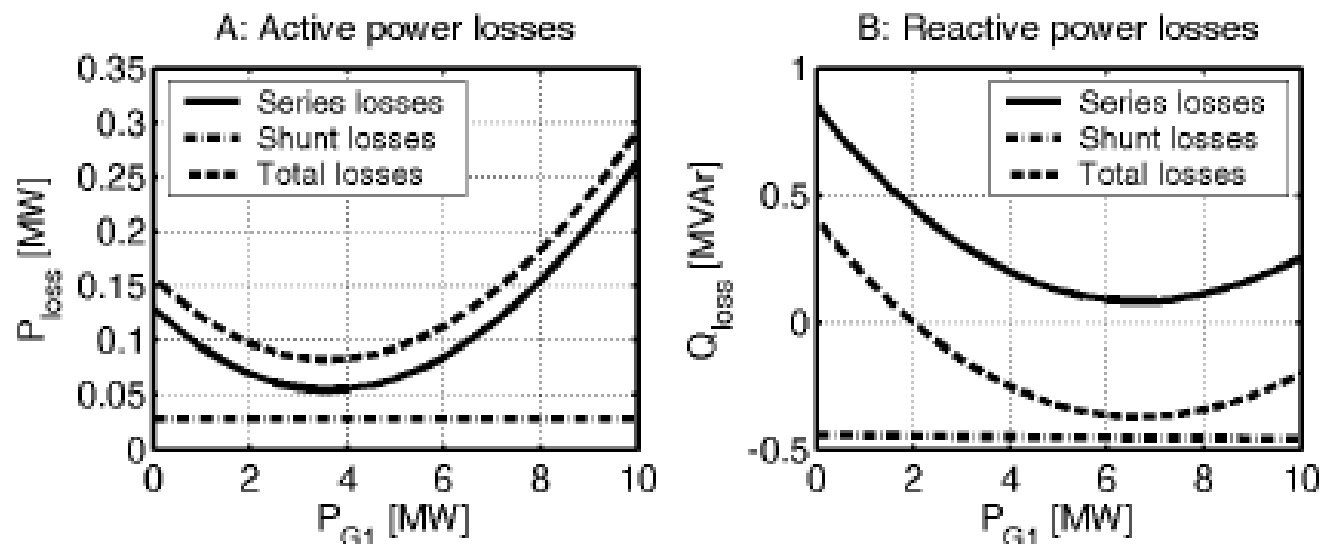
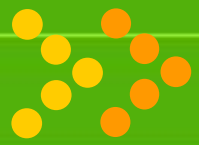


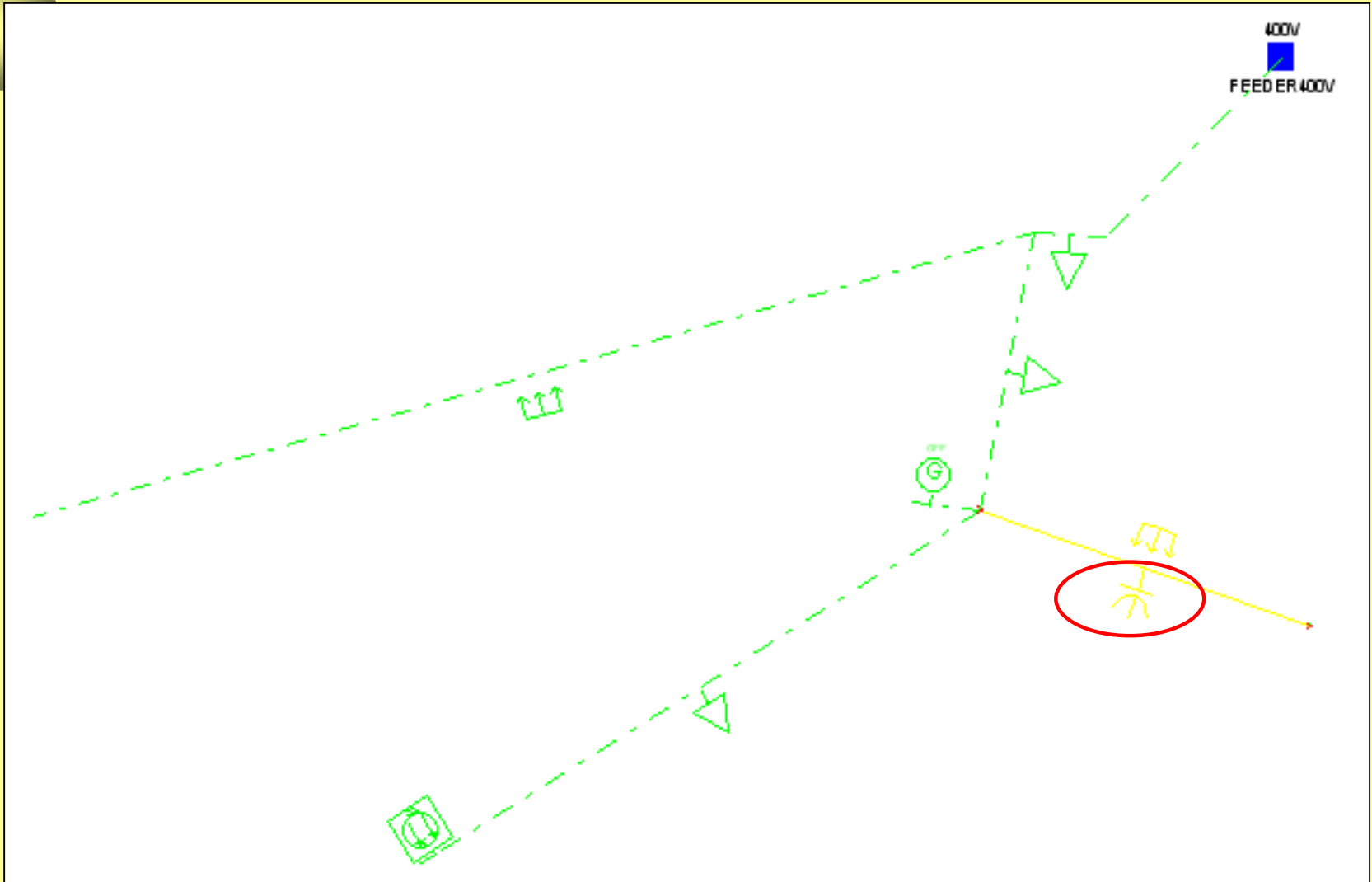
Figure 3-5: Total active and reactive power losses in the distribution system when the production from the generator G1 is varied

کنترل توان راکتیو و نقش آن در تلفات





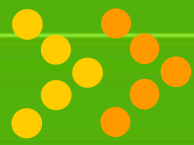
نصب خازن در شبکه



خلاصه وضعیت شبکه (بدون وارد شدن DG و خازن)

Load Summary

	Total Load			
	kW	kVAR	kVA	PF(%)
Total load read (Non-adjusted)	299.01	123.99	323.70	92.37
Total load used (Adjusted)	305.21	126.34	330.33	92.40
Total shunt capacitor (Adjusted)		0.00		
Total shunt reactor (Adjusted)		0.00		
Total load from motor	0.00	0.00	0.00	0.00
Total power from generator	0.00	0.00	0.00	0.00
Total power to others	0.00	0.00	0.00	0.00
Total conductor capacitances		0.01		
Total losses	9.68	4.79	10.80	89.61
Total power from sources	314.89	131.12	341.10	92.32



وارد شدن خازن سه فاز ۲۴ کیلوواری



Load Summary


	Total Load			
	kW	kVAR	kVA	PF(%)
Total load read (Non-adjusted)	299.01	123.99	323.70	92.37
Total load used (Adjusted)	305.47	126.54	330.64	92.39
Total shunt capacitor (Adjusted)		22.31		
Total shunt reactor (Adjusted)		0.00		
Total load from motor	0.00	0.00	0.00	0.00
Total power from generator	0.00	0.00	0.00	0.00
Total power to others	0.00	0.00	0.00	0.00
Total conductor capacitances		0.01		
Total losses	9.06	4.63	10.17	89.03
Total power from sources	314.54	108.85	332.84	94.50

Phase: R S T

Rated power: kVAR/phase

Rated voltage: kV

Configuration



Control

Type:

Status:

بار وارد شدن خازن سه فاز ۹۰ کیلوواری

Load Summary


	Total Load			
	kW	kVAR	kVA	PF(%)
Total load read (Non-adjusted)	299.01	123.99	323.70	92.37
Total load used (Adjusted)	306.22	126.86	331.46	92.39
Total shunt capacitor (Adjusted)		88.75		
Total shunt reactor (Adjusted)		0.00		
Total load from motor	0.00	0.00	0.00	0.00
Total power from generator	0.00	0.00	0.00	0.00
Total power to others	0.00	0.00	0.00	0.00
Total conductor capacitances		0.01		
Total losses	10.55	6.82	12.56	83.99
Total power from sources	316.72	44.91	319.89	99.01

Phase: R S T

Rated power: kVAR/phase

Rated voltage: kV

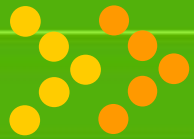
Configuration



Control

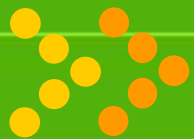
Type:

Status:

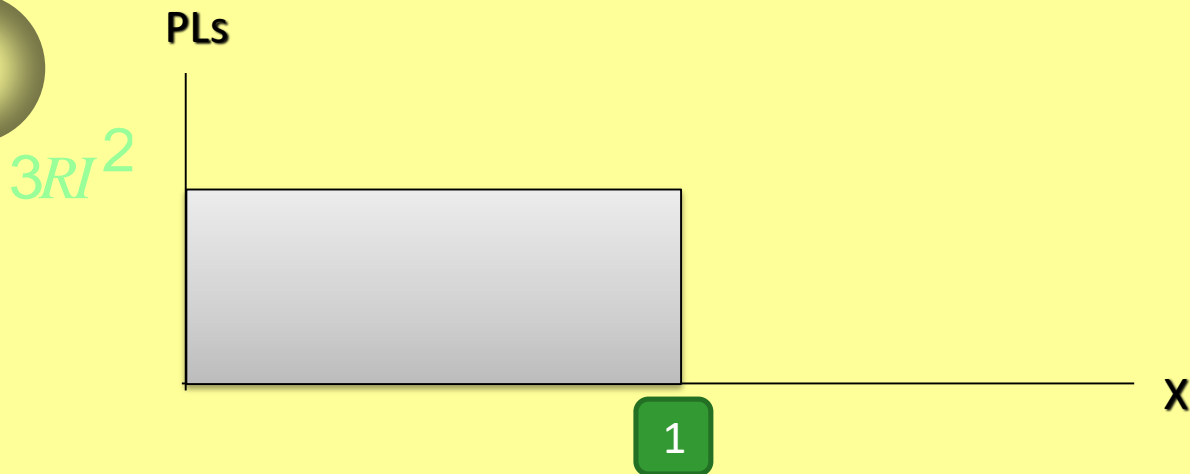
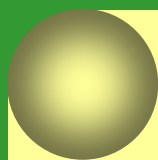


خازن مقدار بهینه ای دارد که از نتایج
مطالعات پخش بار بدست می آید.
استفاده از خازن با مقادیر کیلووار بیشتر از
مقدار معین باعث افزایش تلفات می شود.

- نوع قرار گرفتن بار بر روی فیدر ، نحوه جایابی خازن را تعیین می نماید. هرچند که نحوه قرار گیری بار بر روی فیدرهای واقعی موجود در شبکه ، از نظر مقدار و مکان انشعاب غیر یکنواخت و بدون نظم می باشد ، اما می توان با در نظر گرفتن متوسط مصرف بار مشترکین و با تقریب ، آن را به صورت یکنواخت در نظر گرفته و از پیچیدگی محاسبات شبکه با بارهای غیر یکنواخت اجتناب کرد .

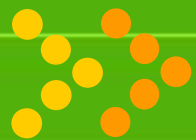


فیدر با بار متمرکز در یک نقطه



تلفات توان راکتیو در طول فیدر قبل از خازن گذاری در حالتی که فیدر با بار متمرکز در یک نقطه فرض شود به صورت زیر محاسبه می شود:

$$dP_{LS} = 3Ri^2 dx \Rightarrow P_{LS} = 3RI_1^2 \int_0^1 dx \Rightarrow P_{LS} = 3RI_1^2$$



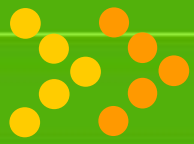
تأثیر خازن بر کاهش تلفات در بار نقطه‌ای

- پس از نصب خازن در انتهای خط و در محل بار که نقطه بهینه است مقدار تلفات توان به صورت زیر خواهد بود.

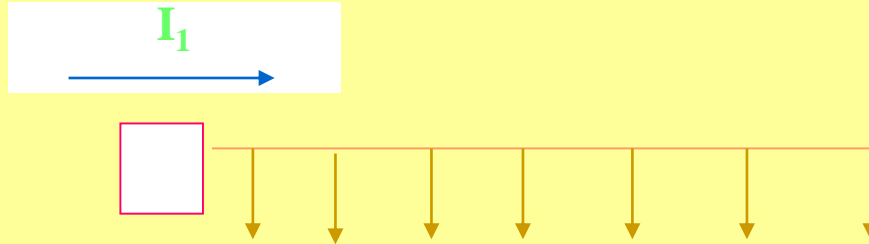
$$P'_{LS} = 3RI_1^2 - 6RI_1 I_C + 3RI_C^2$$

- IC : جریان راکتیو خازن نصب شده
با تعریف پارامتر C به صورت زیر $C = I_C/I_1$
می توان کاهش تلفات بر حسب پریونیت را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\Delta P_{LS} = \frac{P_{LS} - P'_{LS}}{P_{LS}} = \frac{3RI_1^2(2c - c^2)}{3RI_1^2} = 2C - C^2$$



تأثیر خازن بر تلفات در بار توزیع یکسان



■ تلفات توان راکتیو در طول فیدر قبل از خازن گذاری به صورت زیر محاسبه می شود.

تلفات توان قبل از خازن گذاری

$$RI^2 = R(I_1^2 + I_x^2) = R[(I \cos \varphi)^2 + (I \sin \varphi)^2]$$

تلفات توان جریان راکتیو قبل از خازن گذاری

$$PLs = R(I \sin \varphi)^2$$

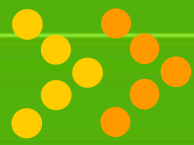
$$PL's = R(I \sin \varphi - I_c)^2$$

تلفات توان جریان راکتیو بعد از خازن گذاری

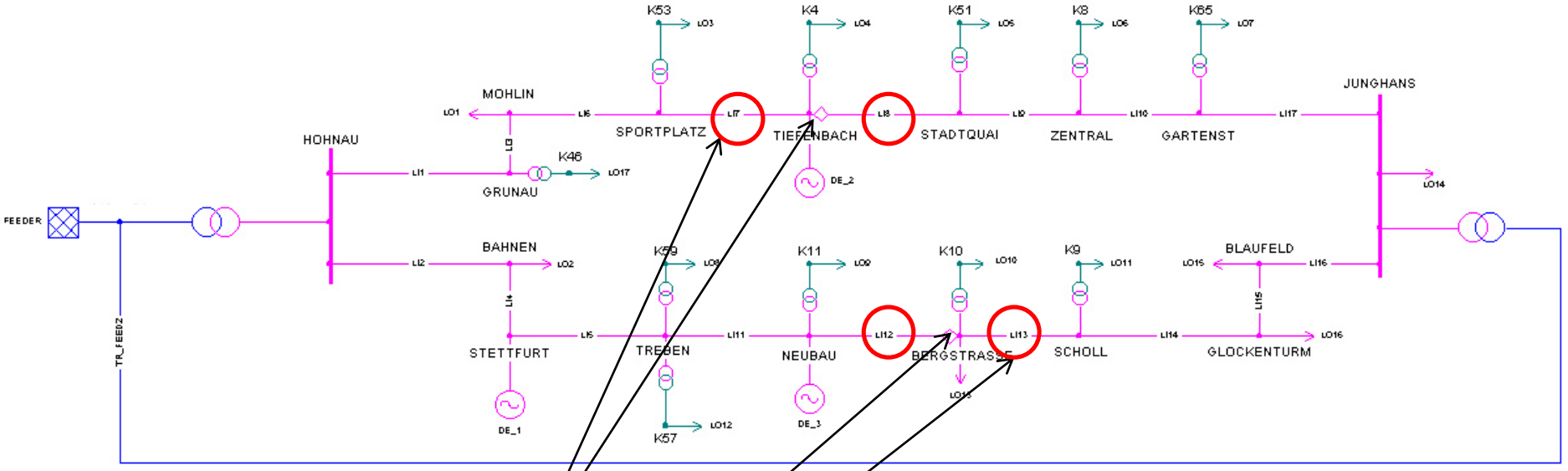
$$PLs - PL's = 2RI_c \sin \varphi - RI_c^2$$

نقش بازآرایی شبکه در کاهش تلفات





تاثیر باز آرایشی در کاهش تلفات



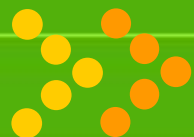
Optimal network topology

Network losses:
 Initial system : 1.317 MW
 Final system : 0.694 MW -47.27 %

Element	Switch 1	Switch 2
LI8	Off => On	On => On
LI12	On => On	Off => On
LI13	On => On	On => Off
LI7	On => Off	On => On

نقش نامتعادلی جریان در تلفات





مولفه صفر و نقش آن در تلفات



$$I_0 = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 - I_1 \cdot I_2 - I_1 \cdot I_3 - I_2 \cdot I_3}$$

محاسبه تلفات :

در حالی که ضریب قدرت در هر سه فاز یکسان باشد :

(۱) تلفات انرژی در حالت تعادل بار (۱)

$$P_s = 3RI^2 = 3R \left(\frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \right)^2$$

(۲) تلفات انرژی در نامتعادلی بار در حالی که سیم نول هم سطح با سیمهای فاز باشد :

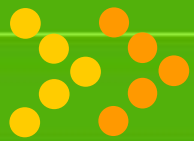
$$P_{as} = R (I_1^2 + I_2^2 + I_3^2) + RI_0^2 = R(I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_0^2)$$

با جایگزینی مقدار I و کم کردن رابطه ۱ از رابطه ۲ خواهیم داشت :

$$\Delta P = P_{as} - P_s = \frac{5}{3}R (I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 - I_1 \cdot I_2 - I_1 \cdot I_3 - I_2 \cdot I_3) = \frac{5}{3} RI_0^2$$

یعنی اختلاف تلفات انرژی الکتریکی در حالت تعادل و نامتعادلی بار برابر $\frac{5}{3}$ تلفات در

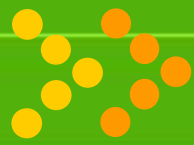
سیم نول می باشد.



مولفه صفر و نقش آن در تلفات

با توجه به اینکه در اکثر قریب باتفاق شبکه‌های توزیع فشار ضعیف بار بطور گسترده تقسیم می‌شود با تقریب قابل قبولی می‌توان مقاومت کل هادی را در وسط طول هادی منظور نمود و رابطه اختلاف تلفات را بصورت زیر تصحیح کرد:

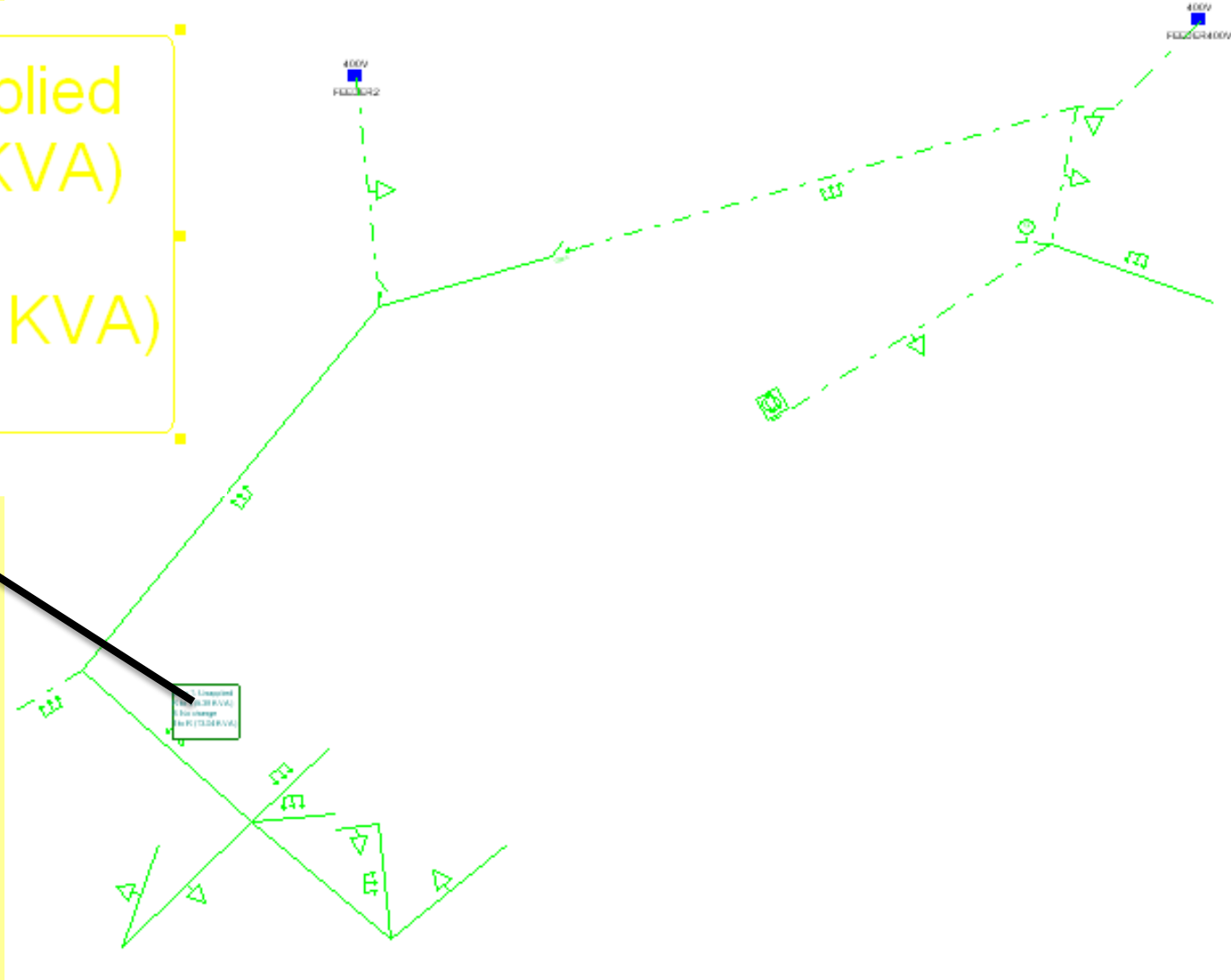
$$\Delta P = \frac{5}{3} \times \frac{R}{2} I_0^2 = \frac{5}{6} R I_0^2$$

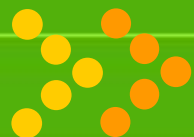


مطالعات عددی



Step 1: Unapplied
R to T (5.39 KVA)
S No change
T to R (13.04 KVA)





نتایج پخش بار



Load Balancing [X]

Location | Display | Result

Balancing locations: (24)

- No solution
- [-] 5:Section 43
 - No solution
- [-] 6:Section 38
 - No solution
- [-] 7:Section 41
 - No solution
- [-] 8:Section 40
 - No solution
- [-] 9:Section 39
 - No solution
- [-] 10:Section 35
 - No solution
- [-] 11:Section 37
 - Step 1: Section - 37**
- [-] 12:Section 36
 - No solution
- [-] 13:Section 34
 - No solution

Location: Section 37

Step 1: Rephase at Section - 37(3-phase)

Recommended Rephasing:

From	To	Load transfered	
R	T	5.0 KW	5.4 KVA
S	No change	KW	KVA
T	R	11.0 KW	13.0 KVA

Apply

Results at Location(Section 37)

	Before	After
Phase R:	65.1 KVA	71.9 KVA
Phase S:	50.2 KVA	50.2 KVA
Phase T:	70.8 KVA	63.7 KVA
Total losses:	-7.7 KW	-7.8 KW

Run Close



باتشکر

