

اثر منابع تولید پراکنده بر حفاظت شبکه های توزیع

دکتر رضا محمدی

دانشگاه شهید بهشتی



مقدمه

تأثیر تولید پراکنده بر عملکرد عناصر حفاظتی

اثر تولیدات پراکنده بر هماهنگی تجهیزات حفاظتی

راه‌های ارائه شده برای حذف یا کاهش اثرات تولید پراکنده



تعریف: هر نوع تکنولوژی تولیدی انرژی الکتریکی با ابعاد کوچک که در محل مصرف و یا در نزدیکی آن انرژی مورد نیاز را تامین کند

عوامل: افزایش تقاضای انرژی برق، رشد سریع خصوصی سازی، ظهور تکنولوژی‌های جدید، حساسیت نسبت به آلاینده‌های زیست‌محیطی، محدودیت در احداث خطوط جدید

تکنولوژی‌های تولید پراکنده شامل توربین - ژنراتورهای کوچک، موتورهای احتراق داخلی، سیستم‌های فتوولتائیک، پیل‌های سوختی، موتورهای رفت و برگشتی، توربین‌های گازی، میکروتوربین‌ها، مبدل‌های انرژی باد، انرژی ضایعات شهری و بیوماس

مزایا:

بهبود قابلیت اطمینان سیستم قدرت

کاهش تلفات شبکه

کاهش هزینه‌های توسعه

پیک‌زدایی بار شبکه

به تأخیر انداختن نصب تجهیزات جدید و به‌روز رسانی تجهیزات قدیمی

پشتیبانی ولتاژ و تثبیت کیفیت توان

آزادسازی ظرفیت شبکه‌های انتقال و توزیع

کاهش آلودگی‌های زیست محیطی

مقدمه

شبکه توزیع سنتی ماهیتی شعاعی دارند که بواسطه یک منبع تغذیه از شبکه سراسری تغذیه می شوند. با حضور منابع پراکنده، شبکه های توزیع ماهیت شعاعی خود را از دست می دهند و بواسطه آن هماهنگی بین تجهیزات حفاظتی از بین خواهد رفت.

با حضور تولید پراکنده سطح اتصال کوتاه تغییر کرده و هماهنگی سیستم حفاظتی که برای وضعیت قبل از حضور تولید پراکنده طراحی شده بود به هم می خورد.

ورود و خروج منابع تولید پراکنده در زمانهای مختلف بهره برداری (در ساعات مختلف شبانه روز و فصول مختلف سال با توجه به تغییر منبع تولید انرژی یا بار مصرفی)

تغییر روش کنترلی منابع تولید پراکنده و تغییر سهم هر مولد در تامین جریان خطا

مقدمه

متغیر بودن ساختار شبکه توزیع به دلیل وجود نقاط مانور متعدد محدود بودن جریان اتصال کوتاه منابع تولید پراکنده اینورتری در صورت بهره برداری از ریزشبکه بصورت جزیره ای عدم وجود زیرساخت مخابراتی مناسب در اغلب شبکه های توزیع دنیا محدودیتهای بکارگیری روش های پیچیده حفاظتی نظیر رله دیستانس به دلایل اقتصادی

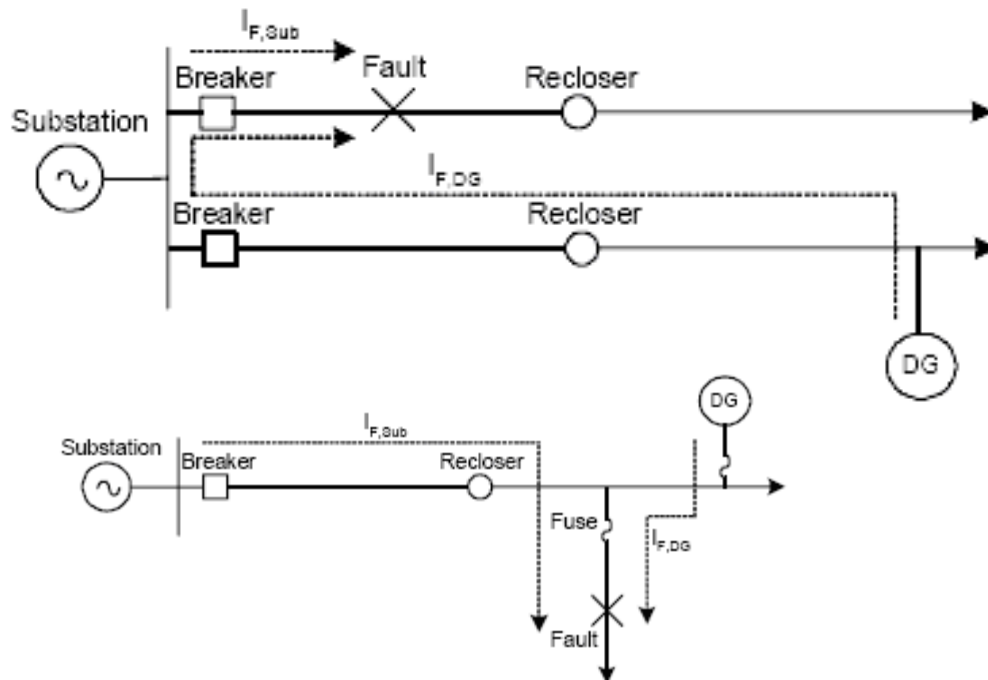
تأثیر تولید پراکنده بر عملکرد عناصر حفاظتی

- تریپ اشتباه
- کاهش پوشش حفاظتی
- سوختن فیوز
- عملکرد ناموفق ریکلوزر
- بازبست غیرسنکرون
- جزیره ای شدن
- ایمنی شبکه

تریپ اشتباه (Nuisance tripping)

عملکرد اشتباه رله، رکلوزر و فیوز واقع در فیدر شامل منبع تولید پراکنده به دلیل تزریق جریان عکس مولد (DG back infeed)

باعث خروج بی مورد فیدر و منبع تولید پراکنده می گردد



اثر تولید پراکنده
بر عملکرد تجهیزات
حفاظتی

❖ تریپ اشتباه

❖ کاهش پوشش حفاظتی

❖ سوختن فیوز

❖ عملکرد ناموفق ریکلوزر

❖ بازبست غیرسنکرون

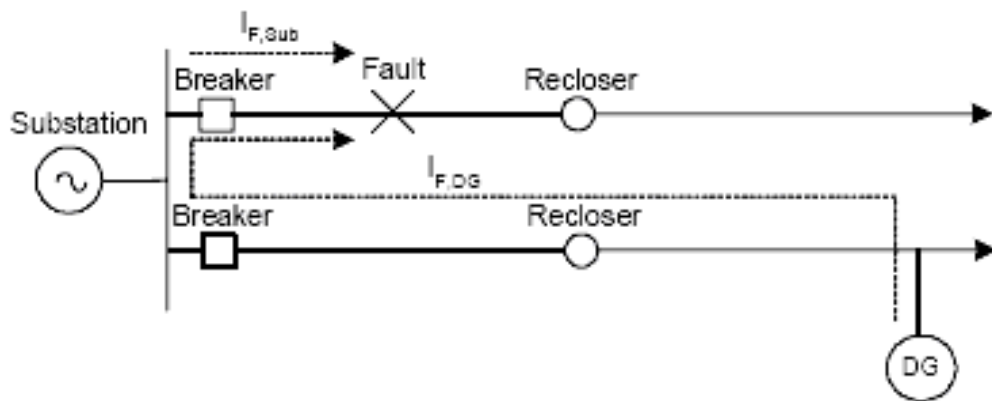
❖ جزیره ای شدن

❖ ایمنی شبکه

تریپ اشتباه (Nuisance tripping)

راه‌های پیشنهادی

- بکارگیری روش حفاظت منطقی (Logic discrimination)
- کاهش سهم مشارکت مولد در جریان خطای فاز به زمین شبکه
- استفاده از رله جریان زیاد جهت دار در فیدر شامل مولد (نیاز به نصب سه عدد PT)
- رله واقع روی فیدر شامل DG کندتر از فیدرهای مجاور عمل نماید



تریپ اشتباه

به ازای خطا در محل فیدر **B** رله **A** باید دیرتر عمل نماید:
فرض می شود که جریان خطای تزریق شده توسط شبکه بالا دستی برابر 10 کیلوآمپر و جریان خطای تزریق شده توسط مولد برابر با 2 کیلوآمپر باشد. در اینصورت :

Relay A:

CT : 400 A / 5 A,

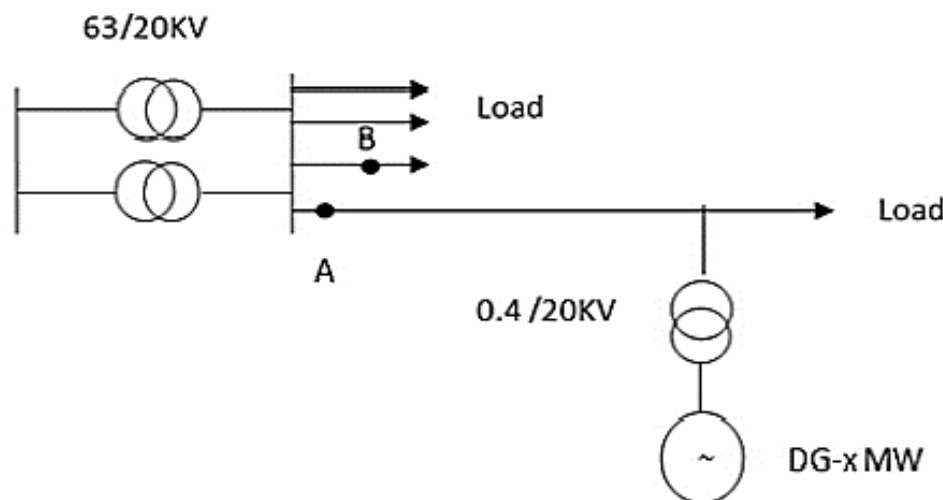
$I_{pickup}=400$ A, TMS=0.05, NI

Instantaneous= 2400

Relay B:

CT : 400 A / 5 A,

$I_{pickup}=400$ A, TMS=0.05, NI

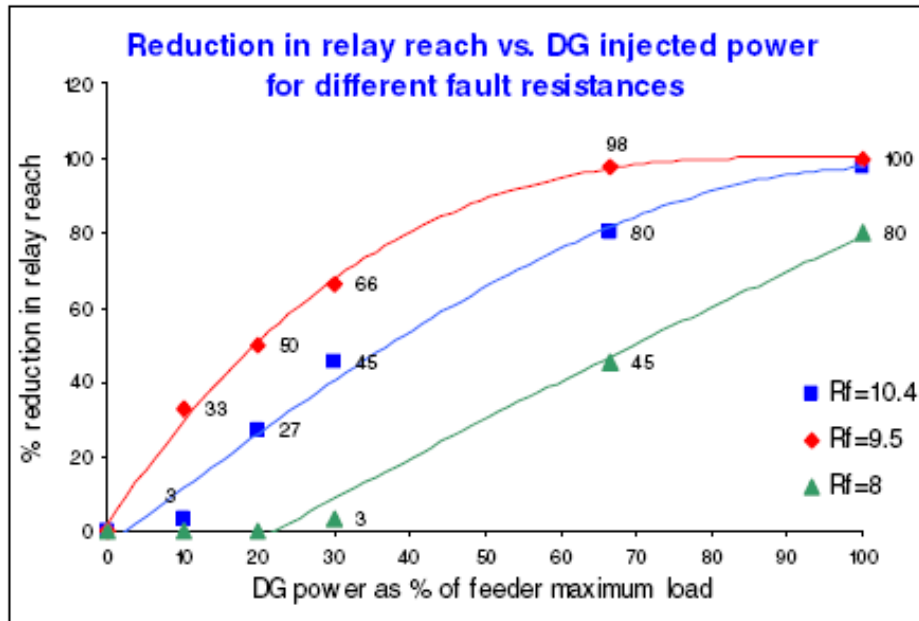
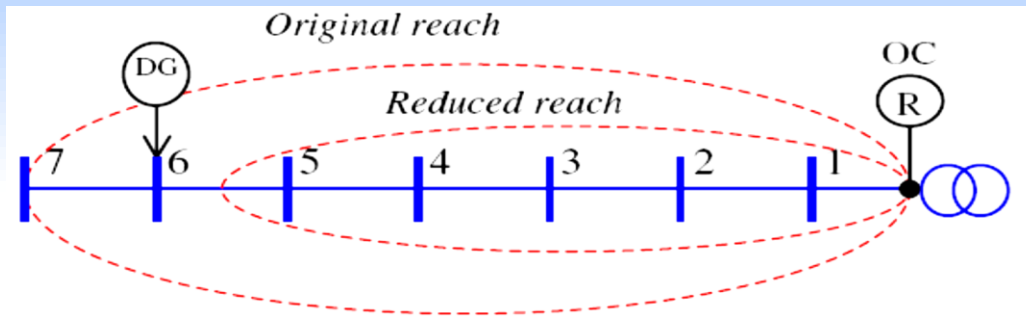


$$t_{op-A} = \frac{0.05 \times 0.14}{\left(\frac{2000}{400}\right)^{0.02} - 1} = 0.214 [s]$$

$$t_{op-B} = \frac{0.05 \times 0.14}{\left(\frac{12000}{400}\right)^{0.02} - 1} = 0.10 [s]$$

کاهش پوشش حفاظتی (Blinding of protection)

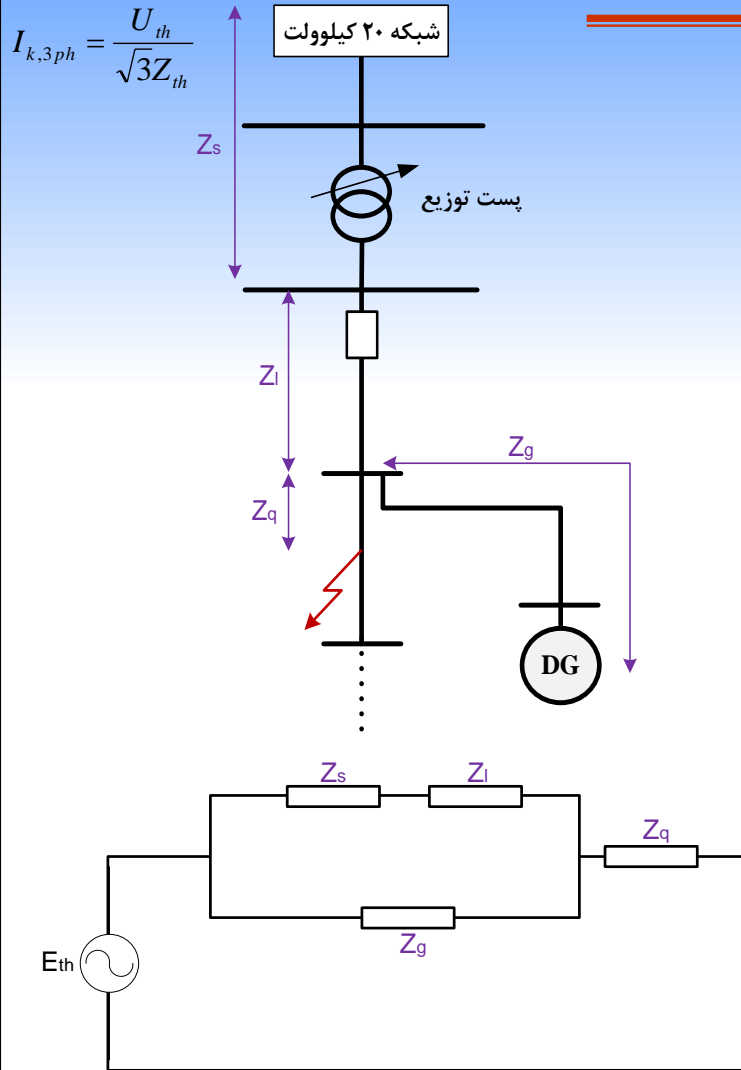
- کاهش جریان خطای عبوری از رله های بالادستی در حضور DG
- افزایش زمان رله بدلیل هماهنگی حفاظتی رله های بالادستی با رله جریان زیاد مولد



اثر تولید پراکنده
بر عملکرد تجهیزات
حفاظتی

- ❖ تریپ اشتباه
- ❖ کاهش پوشش حفاظتی
- ❖ سوختن فیوز
- ❖ عملکرد ناموفق ریکلوزر
- ❖ بازبست غیرسنکرون
- ❖ جزیره ای شدن
- ❖ ایمنی شبکه

کاهش پوشش حفاظتی



$$I_{k,3ph} = \frac{U_{th}}{\sqrt{3}Z_{th}} \quad Z_{th} = \frac{(Z_s + Z_l).Z_g}{Z_s + Z_l + Z_g} + Z_q$$

$$I_{grid} = \frac{Z_g}{Z_s + Z_l + Z_g} (I_{k,3ph})$$

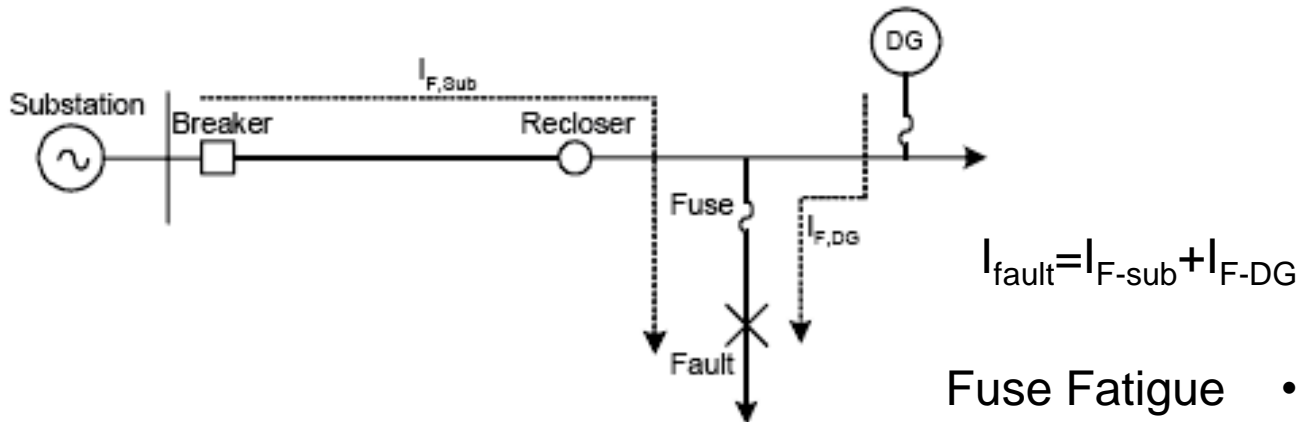
$$I_{grid} = \frac{U_{th}}{\sqrt{3}} \frac{Z_g}{Z_g.(Z_s + Z_l + Z_q) + Z_q.(Z_s + Z_l)}$$

$$I_{grid} = \frac{U_{th}}{\sqrt{3}} \frac{1}{(Z_s + Z_l + Z_q) + (Z_s + Z_l).Z_q / Z_g}$$

سوختن فیوز (Fuse Blowing)

بعد از عملکرد آنی ریکلوزر به دلیل تغذیه جریان عبوری از محل خطا توسط مولد، کانال خطا ممکن است از بین نرفته و لذا باعث سوختن فیوز گردد.

- راه حل : افزایش زمان عملکرد فیوز
- اشکال: در صورت خروج مولد فیوز با تاخیر عمل می نماید در صورتیکه بخواهیم تجهیزات بالادستی را با آن هماهنگ کنیم زمان عملکرد در پست فشار متوسط بالا می رود

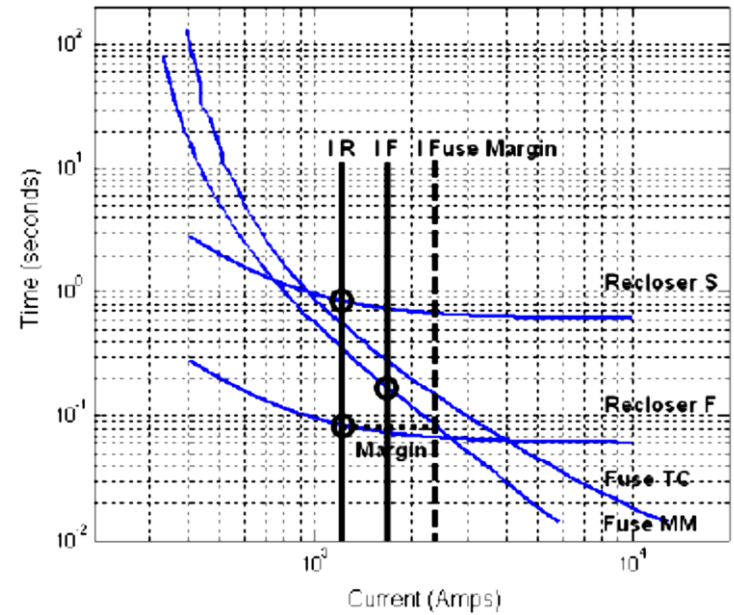
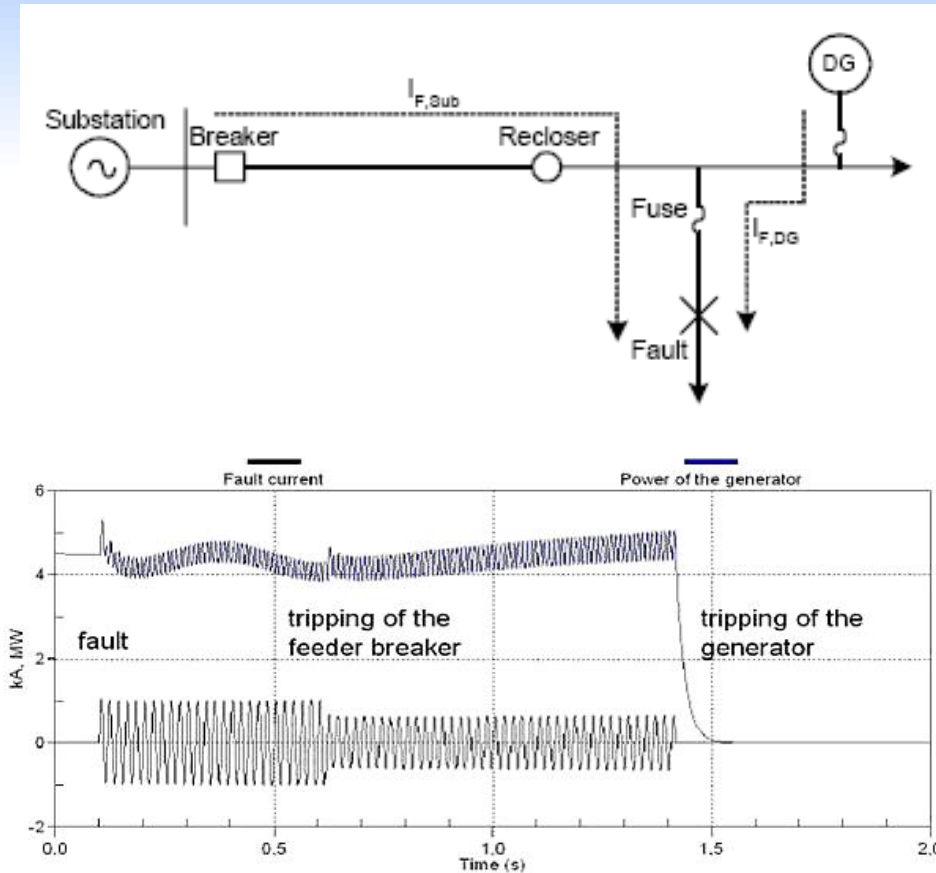


اثر تولید پراکنده
بر عملکرد تجهیزات
حفاظتی

- ❖ تریپ اشتباه
- ❖ کاهش پوشش حفاظتی
- ❖ سوختن فیوز
- ❖ عملکرد ناموفق ریکلوزر
- ❖ بازبست غیرسنکرون
- ❖ جزیره ای شدن
- ❖ ایمنی شبکه

عملکرد ناموفق ریکلوزر

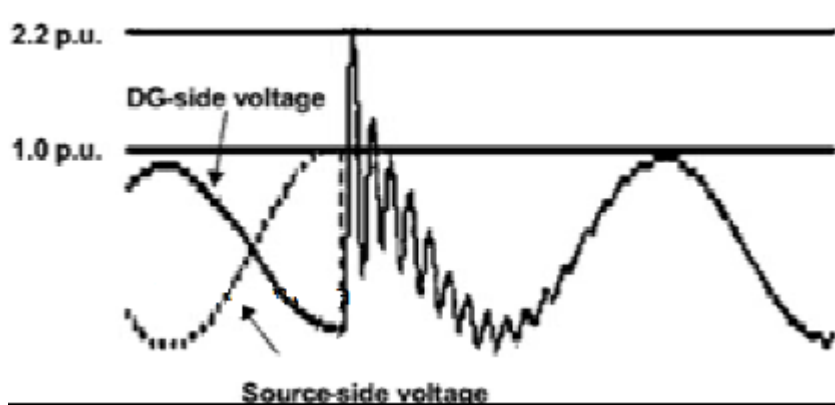
- 1- سوختن فیوز بعد از عملکرد آنی ریکلوزر
- 2- سوختن فیوز قبل از عملکرد آنی ریکلوزر
- 3- باز بست غیر سنکرون



بهنگام عملکرد جزیره ای مولد، فرکانس ناحیه جدا شده ممکن است تغییر کند. لذا پس از وصل مجدد، در حالی مولد به شبکه بالادستی متصل می شود که شرایط سنکرونایزینگ برقرار نیست.

چنین حالتی ممکن است مشکلات زیر را به همراه داشته باشد :

- اگر مولد یک ژنراتور سنکرون باشد، به ژنراتور و محرک اولیه آسیب جدی وارد میشود.
- اضافه ولتاژ گذرای شدیدی در لحظه وصل مجدد غیرسنکرون ایجاد می شود. دامنه آن در حالت تئوری به 3 پریونیت و به دلیل میرایی مدار مطابق شکل، به حدود 2.2 پریونیت می رسد. این اضافه ولتاژ به تجهیزات (نظیر خازن و برقگیر) و بارهای موجود در سیستم آسیب می زند. (فرض اختلاف فاز 180 درجه)

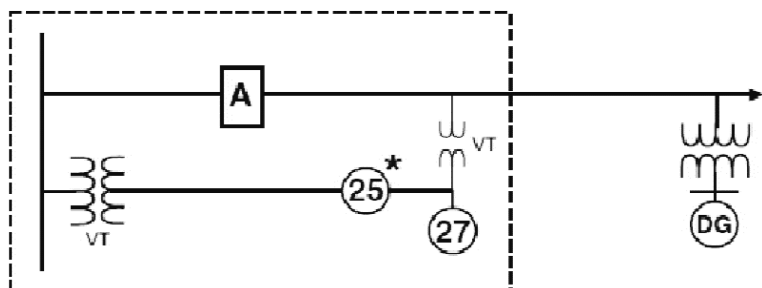


- موتورهای و ترانسفورماتورهای موجود در سیستم برقرار شده با جریان هجومی بزرگتر از مقدار متداول مواجه می شوند. بعلاوه اضافه گشتاور موتور به آن و بار مربوطه آسیب می زند.

برای حل دو مشکل مذکور، اجرای حداقل یکی از روشهای زیر الزامی است :
مطابق استاندارد IEEE 1547 قبل از انجام وصل مجدد در فیدر متصل به مولد، جزیره ای، شدن مولد تشخیص داده شده و از ریز شبکه جدا شود.

(2) با کمک رله سنکروچک و بررسی شرایط سنکرونایزینگ در کلید ابتدای فیدر خروجی (یا بکارگیری رله Zero Voltage) در صورت نیاز از وصل مجدد نابجای این فیدر در شرایطی که مولد در مدار بوده و شرایط سنکرونایزینگ برقرار نیست یا خطا رفع نشده، جلوگیری شود. در صورتیکه کلیدمانور بین ابتدای فیدر تا مولد وجود دارد، بنا به ضرورت، این روش استفاده شود.

(3) در صورتی که در مدار بودن مولد اهمیت زیادی دارد، می توان از روش bus transfer استفاده کرد. یعنی برای اتصال مولد به شبکه بالادستی از دو فیدر فشار متوسط مجزا (ترجیحا مربوط به دو پست فوق توزیع مجاور) استفاده شده و در صورت وقوع خطا در یکی از آنها، به سرعت باید مولد را به فیدر دوم متصل نمود.



جزیره ای شدن

وقتی قسمتی از شبکه در اثر وقوع خطا جدا شود. در این حالت ممکن است یک یا چند عنصر تولید پراکنده در بخش جدا شده شبکه قرار داشته و شبکه جدا شده توسط این ژنراتورها تغذیه شود که به این حالت جزیره ای شدن می گوییم.

طبق استاندارد IEEE 1547-2003، جزیره ایجاد شده باید حداکثر دو ثانیه پس از ایجاد جزیره تشخیص داده شده و کلیدهای قدرت تولیدات پراکنده را قطع کنند.

- اپراتور شبکه نمی تواند تضمینی برای کیفیت توان در منطقه جزیره شده بدهد. ممکن است ولتاژ و فرکانسهای غیر عادی بوجود آید و سطح اتصال کوتاه ممکن است آنقدر پایین باشد که حفاظتهای جریان زیاد عمل نکنند.
- اتصال دوباره شبکه جزیره شده به کل شبکه پیچیده است ممکن است باعث صدمه دیدن تجهیزات و کاهش قابلیت اطمینان گردد.

اثر تولید پراکنده
بر عملکرد تجهیزات
حفاظتی

❖ تریپ اشتباه

کاهش پوشش حفاظتی

❖ سوختن فیوز

❖ عملکرد ناموفق ریکلوزر

❖ بازبست غیرسنکرون

❖ جزیره ای شدن

❖ ایمنی شبکه

جزیره ای شدن - ایمنی شبکه

- روشهای مختلفی برای اینکار ارائه شده است که به سه دسته می توان طبقه بندی کرد. روشهای پسیو(مانند تشخیص نرخ تغییر فرکانس)، روشهای اکتیو(مانند مونتورینگ پاسخ سیستم) و روشهای مخابراتی.
- تشخیص حالت جزیره ای در زمانی که میزان بارهای مصرفی به میزان توان تولیدی DG نزدیک باشد مشکل تر است زیرا در این حالت تغییرات فرکانس و ولتاژ کمتر شده و روشهای تشخیص فرکانس و ولتاژ کارایی نخواهند داشت

ایمنی شبکه

- از آنجاییکه یکی از پارامترهای مهم در انتخاب تجهیزات نصب شده در شبکه مانند کلیدها و ترانسهای جریان (CT)، جریان اتصال کوتاه عبوری از آنها است با نصب DG در شبکه و افزایش سطح اتصال کوتاه در صورت عدم تعویض این تجهیزات ممکن است آسیبهایی به پرسنل و تجهیزات شبکه وارد گردد

اثر تولید پراکنده
بر عملکرد تجهیزات
حفاظتی

❖ تریپ اشتباه

کاهش پوشش حفاظتی

❖ سوختن فیوز

❖ عملکرد ناموفق ریکلوزر

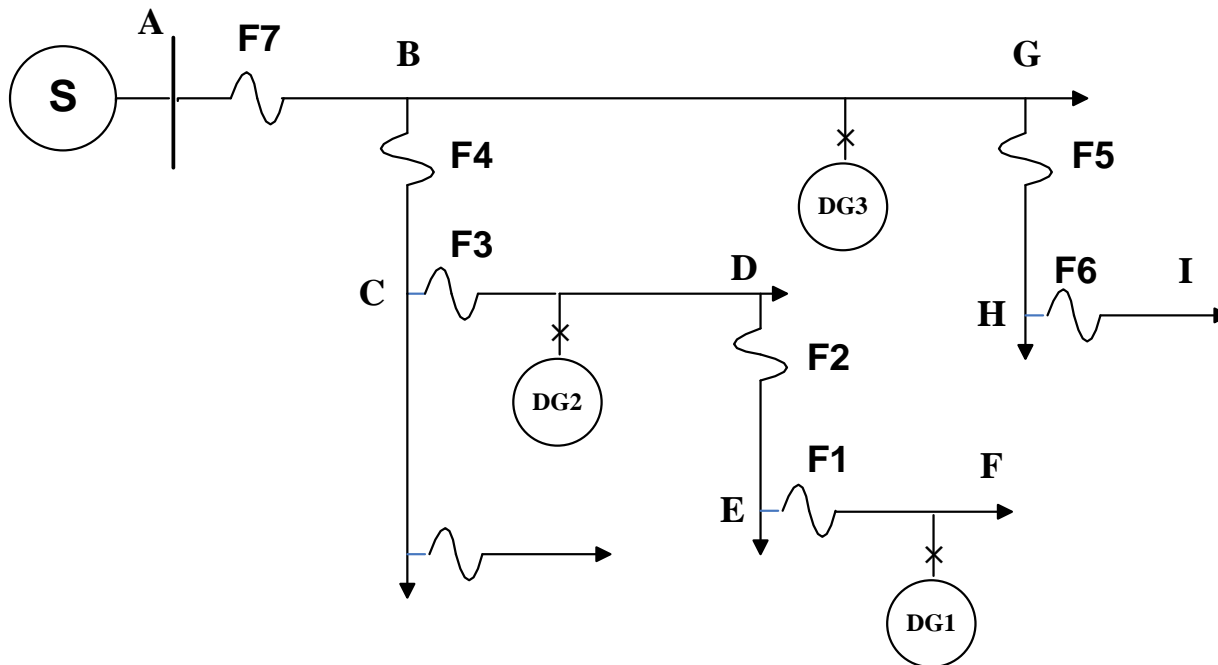
❖ بازبست غیرسنکرون

❖ جزیره ای شدن

❖ ایمنی شبکه

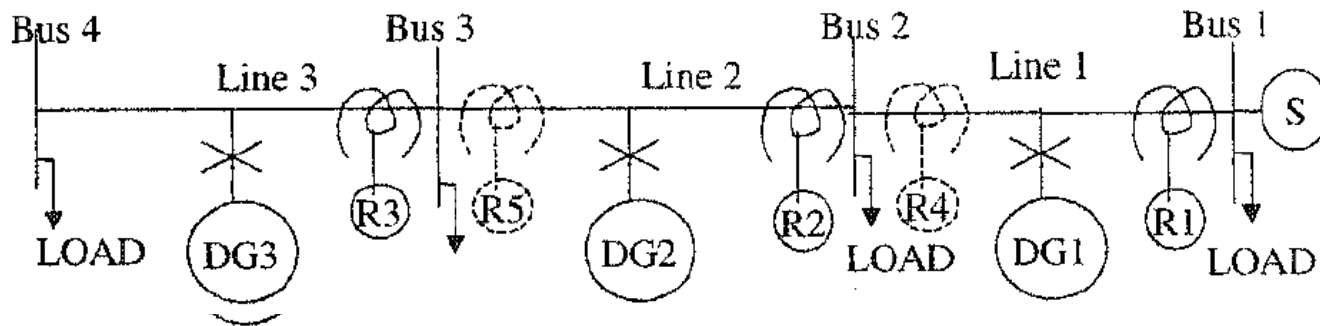
هماهنگی فیوز - فیوز

فیوزهای F5 و F6 امکان برقرار هماهنگی وجود دارد
فیوزهای F3 و F4 امکان برقرار هماهنگی وجود ندارد
فیوزهای F2 و F3 امکان برقرار هماهنگی ممکن است وجود داشته باشد



هماهنگی رله - رله

اگر $DG1$ و $DG2$ نصب شوند هماهنگی $R2$ و $R3$ می تواند برقرار شود
اگر فقط $DG3$ نصب شود هماهنگی $R2$ و $R3$ نمی تواند برقرار شود
اگر هر سه DG نصب شوند هماهنگی $R2$ و $R3$ ممکن است برقرار شود

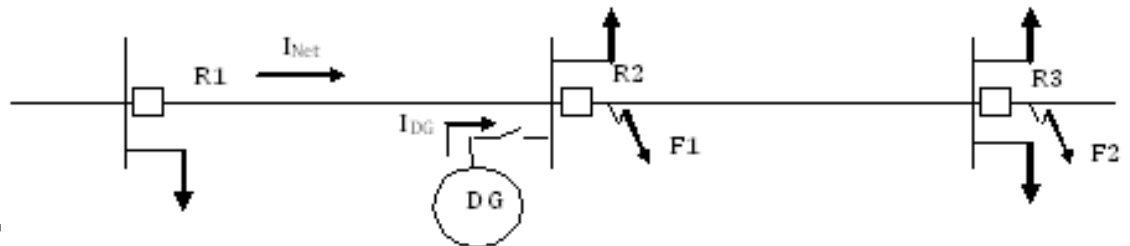
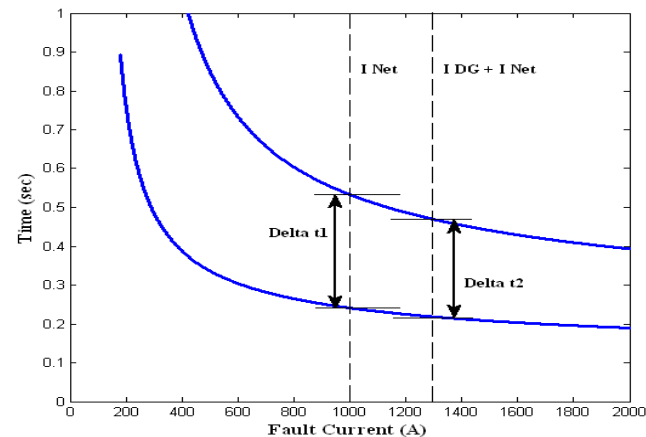
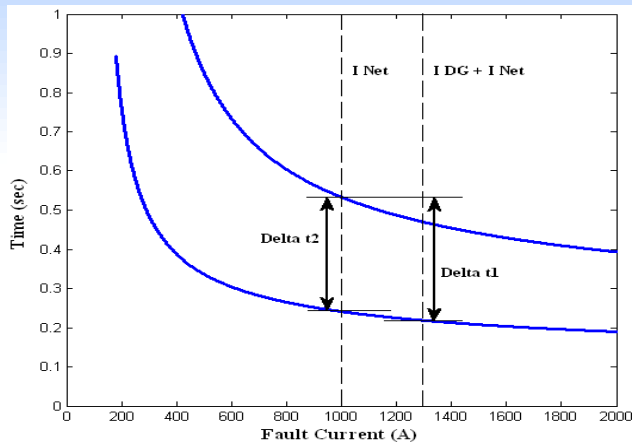


مشکل ورود و خروج منابع تولید پراکنده

با توجه به تغییرات بار در ساعتهای مختلف شبانه روز و در فصول مختلف سال و مخصوصاً وارد شدن بخش خصوصی به عنوان مالکیت منابع تولید پراکنده ورود و خروج DG ها اجتناب ناپذیر می باشد.

(1) DG در شبکه بوده و رله ها هماهنگ شده اند. با قطع DG هماهنگی رله R1 و R2 به ازای خطای F1 به هم می خورد.

(2) DG در شبکه نبوده و رله ها هماهنگ شده اند. با وصل DG هماهنگی رله R2 و R3 به ازای خطای F2 به هم می خورد.

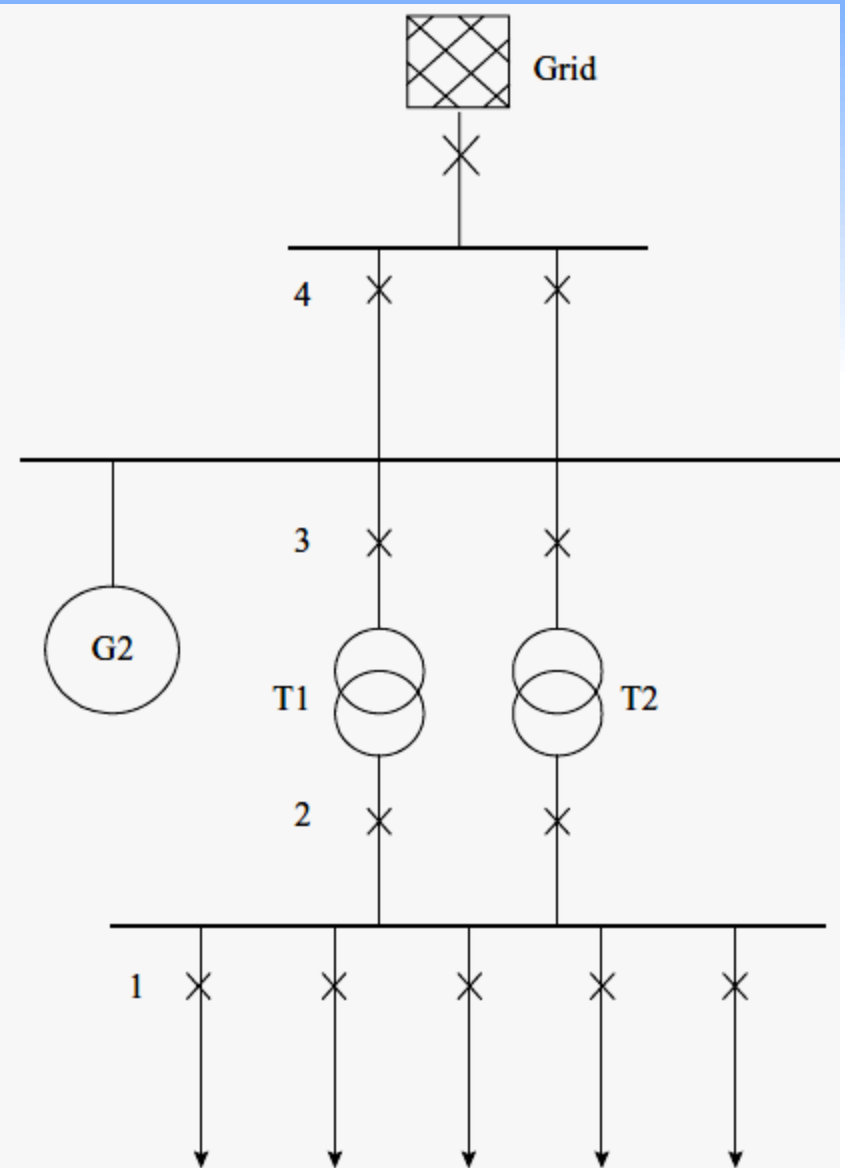


Adaptive protection

With setting group change

Four scenarios

- system normal;
- one of the transformers out of service for maintenance;
- the grid infeed not available;
- the in-house generator out of service



Four scenarios

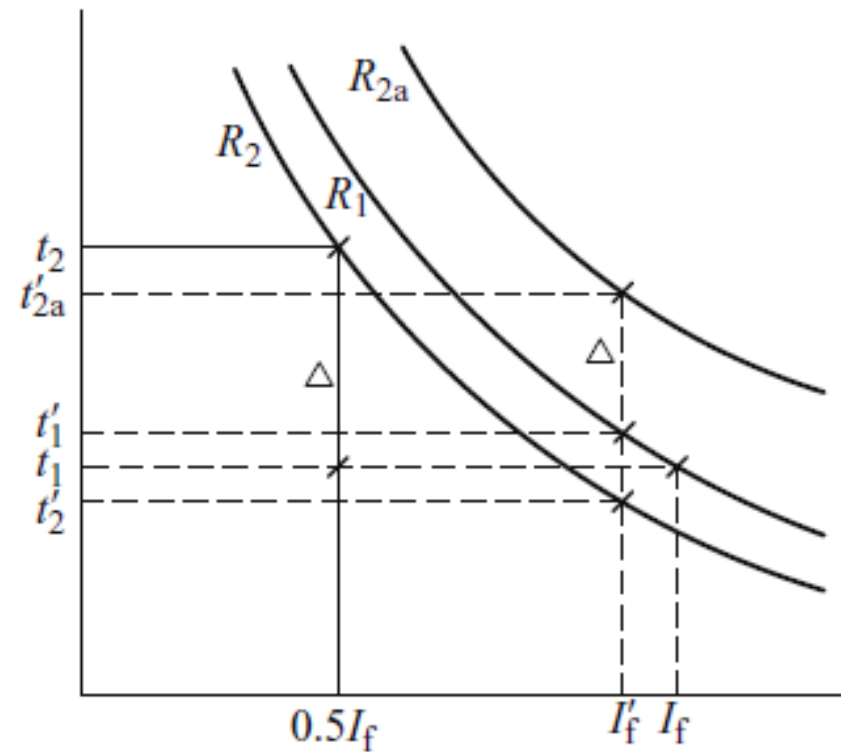
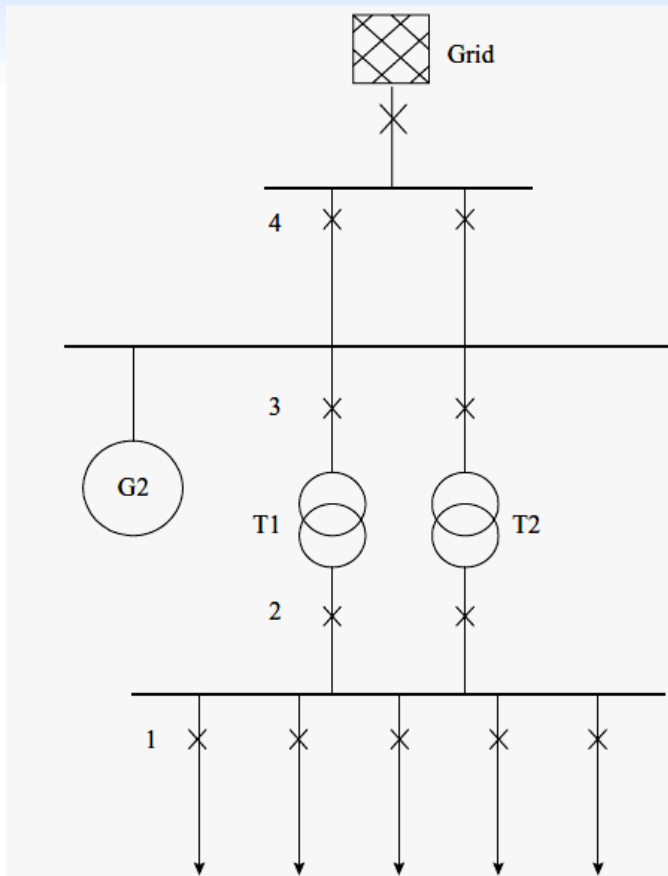
- system normal;
- Trans. Out. ;
- Infeed not available;
- Generator out.

R1- I_f - t_1 R2 - $0.5I_f$ - t_2

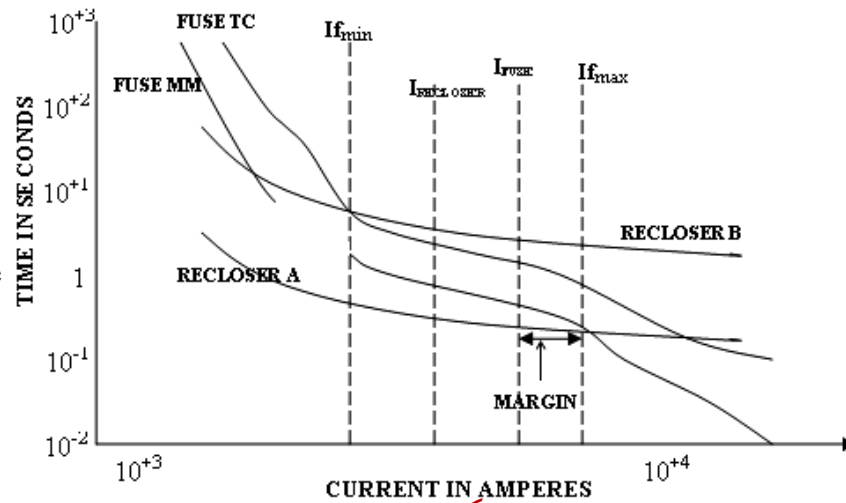
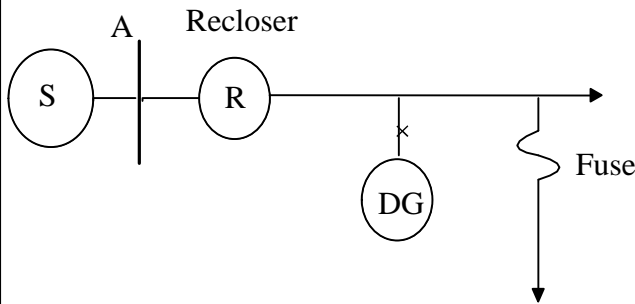
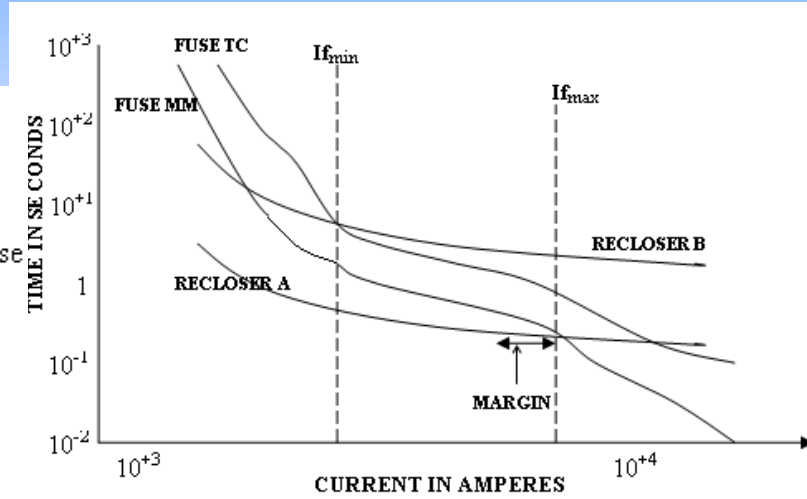
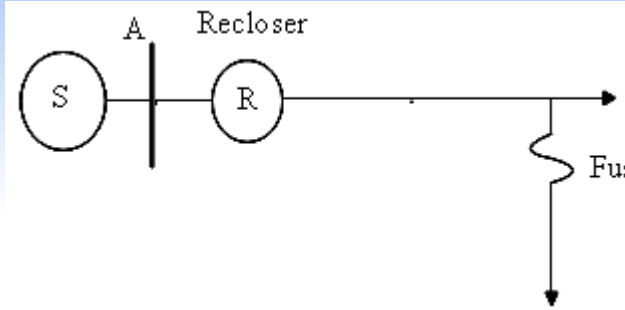
delta

R1- I_f' - t_1' R2 - I_f' - t_2'

Misscoordination => R2a

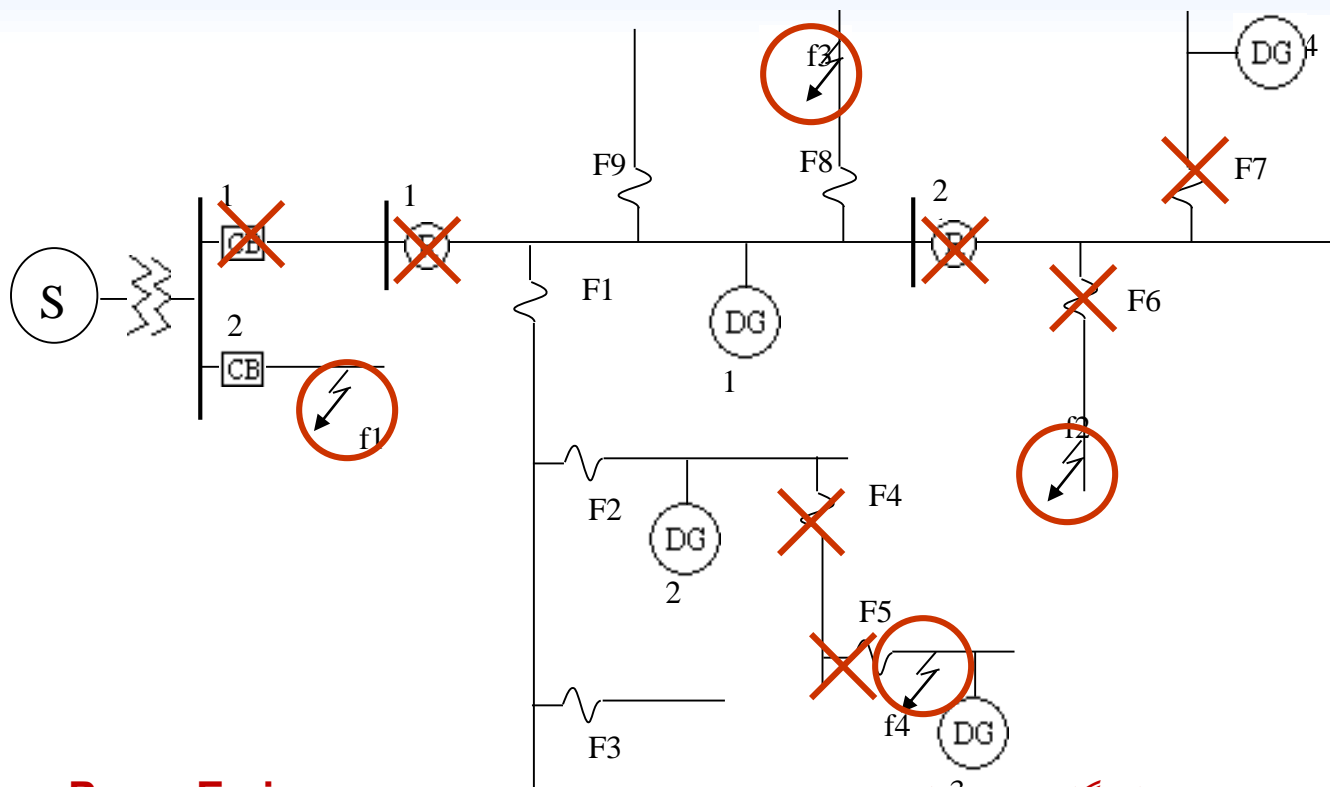


هماهنگی فیوز - بازبست



مشکلات نصب تولید پراکنده

- خطای f1 تریپ اشتباه فیوز F7
- خطای f2 سوختن فیوز F6
- خطای f2 عملکرد ناموفق ریکلوزر R2
- خطای f2 بازبست غیرسنکرون R2
- خطای f3 کاهش پوشش حفاظتی R1
- خطای f4 به هم خوردن هماهنگی F5 و F4



مشکلات نصب DG و راه حلها

مشکلات نصب منابع تولید پراکنده:

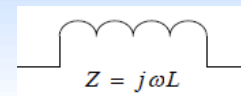
سوختن فیوز	جزیره ای شدن
تریپ اشتباه	کاهش پوشش حفاظتی
عملکرد ناموفق کلید بازبست	کاهش ایمنی شبکه
بازبست غیرسنکرون	به هم خوردن هماهنگی
	قطع و وصل منابع تولید پراکنده

راه حلهای ارائه شده:

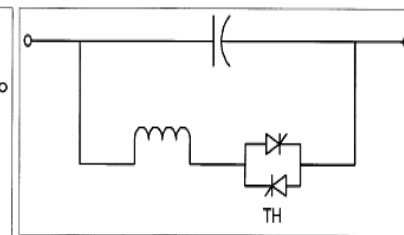
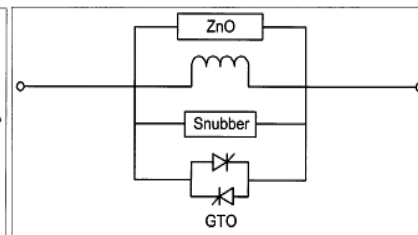
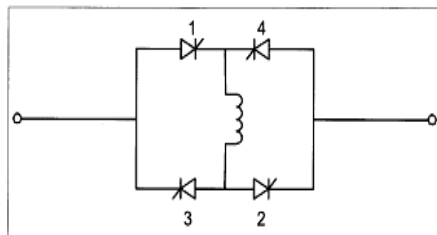
تغییر در تنظیمات یا تجهیزات حفاظتی	←	راه حل موردی - هزینه بالا
روشهای حفاظت تطبیقی و Multi Agent	←	هزینه پیاده سازی بسیار بالا
خروج DG از شبکه هنگام وقوع خطا	←	کاهش قابلیت اطمینان شبکه
استفاده از محدودساز جریان خطا	←	هزینه نصب FCL

استفاده از محدودساز جریان خطا

نسل اول محدود کننده جریان خطا از نوع پسیو بودند که یک سلف همیشه در مدار قرار داشت



محدود کننده های حالت جامد (SSFCL) از کلیدها ترিসتوری استفاده می کنند. بنابراین تلفات بالای سویچینگ دارند. برای حالت دائم شبکه مناسب نیستند. شکل زیر سه نوع مختلف رزنانشی، سویچ امپدانشی، نوع پل را نشان می دهد



محدودساز نوع پل

نوع سویچ امپدانشی

نوع رزنانشی

$$Z_{FCL(\text{Fault})} = \frac{j\omega}{1 - LC\omega^2}$$

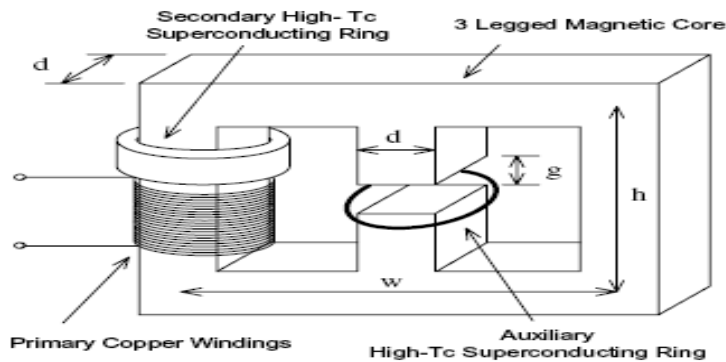
$$Z_{FCL(\text{normal})} = \frac{-j}{\omega C}$$

استفاده از محدودساز جریان خطا

نوع دیگری از محدود کننده های پسیو، محدود کننده ابررسانا (SFCL) می باشد. با بروز خطا سریعاً از حالت ابررسانا به حالت نرمال رفته و امپدانس آن افزایش می یابد - در سطوح ولتاژ بالا اقتصادی نیست

Low Temperature Superconductor (LTS) 1983
High Temperature Superconductor (HTS) 1987

پایینتر از 5 درجه کلوین
بالتر از 90 درجه کلوین



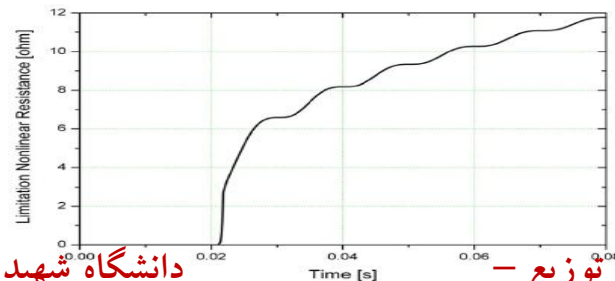
ابررسانای نوع سلفی

ابررسانای مقاومتی

موثرتر، کم حجمتر و ارزانتر

حالت ابررسانایی، حالت عبور شار و حالت رسانائی نرمال

$$E = \begin{cases} 0 & T < T_C, J \leq J_C \\ E_C \left(\frac{J}{J_C} \right)^{n(T)} & T < T_C, J > J_C \\ \rho(T_C) \left(\frac{T}{T_C} \right) J & T > T_C \end{cases}$$



انواع FCL از لحاظ ساختار

پسیو (سلف یا ترانسورماتور امپدانس بالا) ← عیب: ناپایداری ولتاژ، ایجاد تلفات

راکتور موازی با کلید مغناطیسی ← عیب: سرعت عملکرد پایین

ابرسیانای سلفی

مزیت: سرعت بالا، عدم نیاز به مدار کنترلی

عیب: زمان برگشت پذیری طولانی، هزینه بالا

محدود کننده ابررسیانا ← ابررسیانای مقاومتی

ابرسیانای پل دیودی

نوع رزنانسی

مزیت: زمان برگشت پذیری و پاسخ گوئی سریع

عیب: تلفات سوئیچینگ بالا

محدود کننده حالت جامد ← نوع پل

سوئیچ امپدانسی

مزیت: کاهش تلفات با استفاده از کلید مکانیکی

در حالت دائم، استفاده از سوئیچهای نیمه

هادی برای کموتاسیون

مدل هیبرید (ترکیب کلید مکانیکی

و سوئیچهای نیمه هادی)

استفاده از FCL

مزایای استفاده از FCL

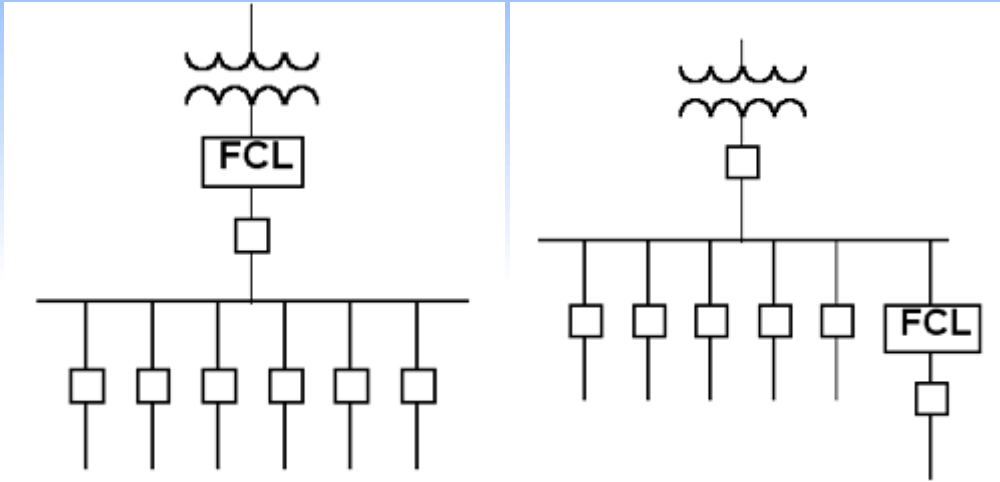
- با استفاده از FCL برای محدودسازی نیاز به تغییر تجهیزات حفاظتی نمی باشد.
- با استفاده از FCL نیاز به تغییر کلیدهای قدرت و تجهیزات اندازه گیری نمی باشد.
- استفاده از FCL پایداری گذرای ژنراتورها را در حالت اتصال کوتاه بهبود می دهد.
- ورود و خروج DGها در شرایط بهره برداری مختلف بر سطح اتصال کوتاه و حفاظت شبکه تاثیری ندارد.
- با استفاده از FCL نیاز به خروج DGها و بارها در هنگام اتصال کوتاه (کاهش قابلیت اطمینان) نمی باشد.
- نیاز به استفاده از سیستمهای مخابراتی و دیجیتالی به جای تجهیزاتی مانند فیوز ندارد.

تعیین مشخصات FCL

نوع ساختار FCL، جریانهای گذرای FCL، محل نصب FCL، اندازه امپدانس FCL، روش تحریک و...



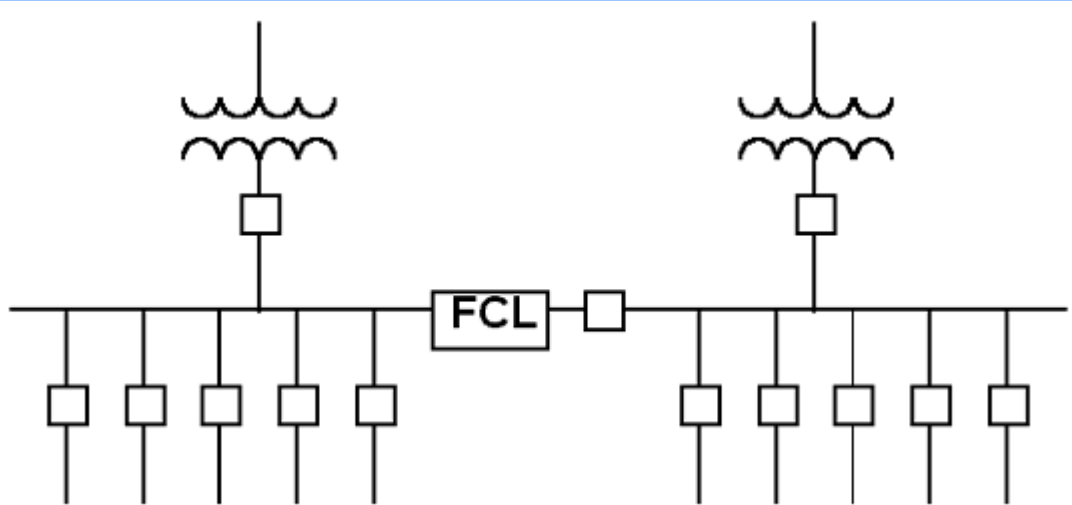
محل نصب محدودساز جریان خطا



Advantages

- ❖ a larger transformer can be used to meet increased demand on a bus without breaker upgrades
- ❖ a large, low impedance transformer can be used to maintain voltage regulation at the new power level
- ❖ I^2t damage to the transformer is limited
- ❖ reduced fault-current flows in the high-voltage circuit that feeds the transformer, which **minimizes the voltage dip** on the upstream high-voltage bus during a fault on the medium-voltage bus

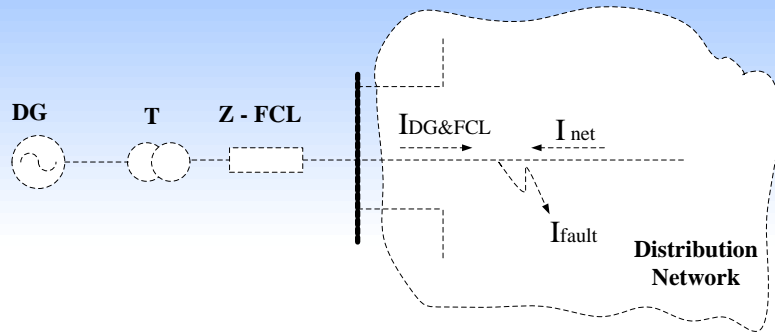
محل نصب محدودساز جریان خطا



Advantages

- ❖ separate buses can be tied together without a large increase in the fault duty on either bus
- ❖ during a fault, a large voltage drop across the limiter **maintains voltage level on the un faulted bus**
- ❖ the paralleled transformers result in low system impedance and good voltage regulation; tap-changing transformers can be avoided
- ❖ excess capacity of each bus is available to both buses, thus making better use of the transformer rating

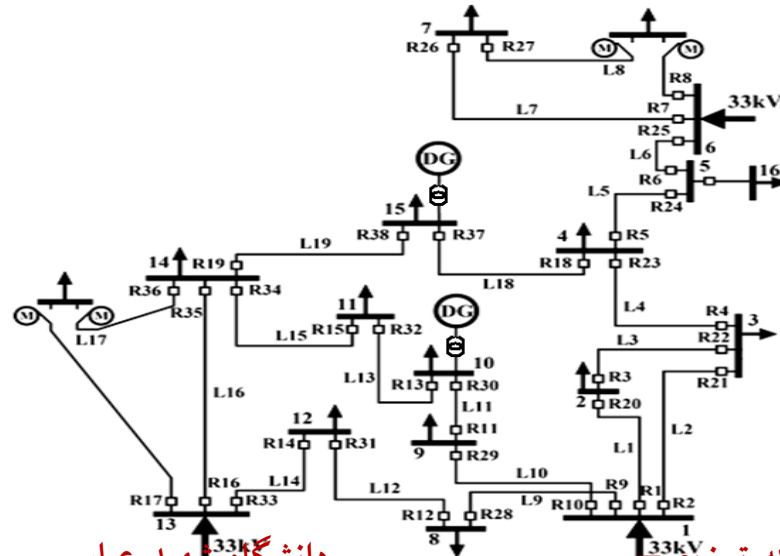
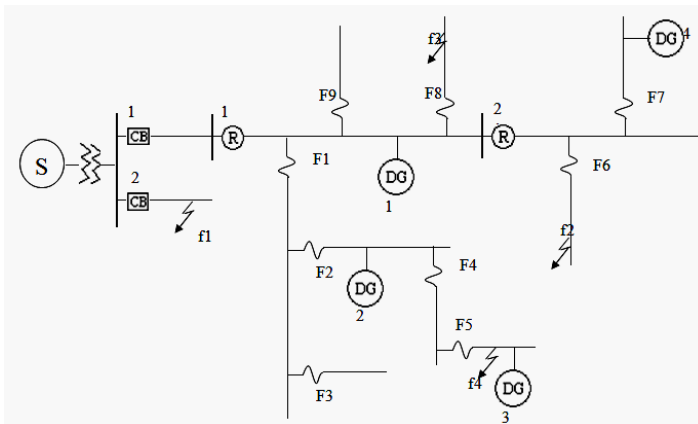
محل نصب محدودساز جریان خطا



محل نصب FCL: بصورت سری در شاخه DG

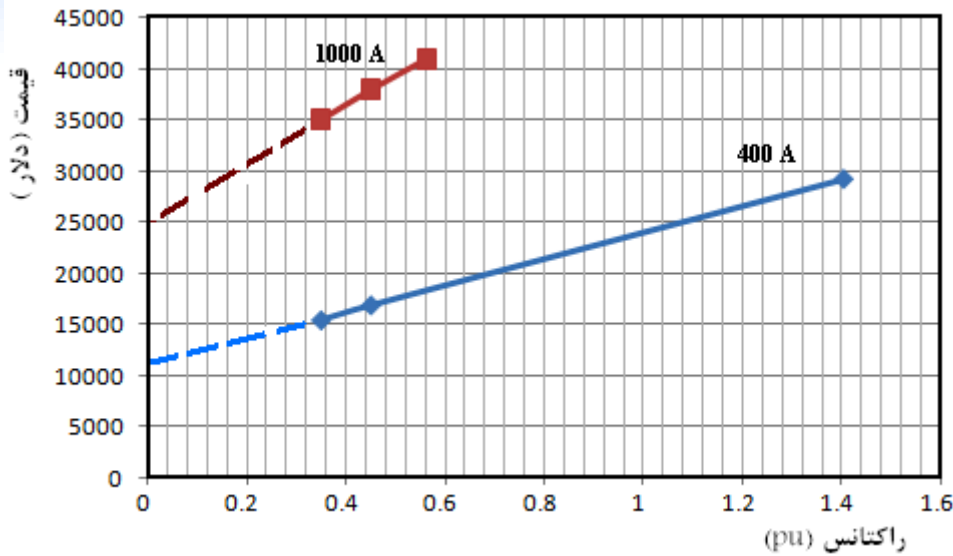
1- کاهش جریان عبوری و هزینه FCL

2- کاهش تعداد با محدودسازی جریان خطای DG بصورت مستقیم



هزینه نصب محدودساز جریان خطا

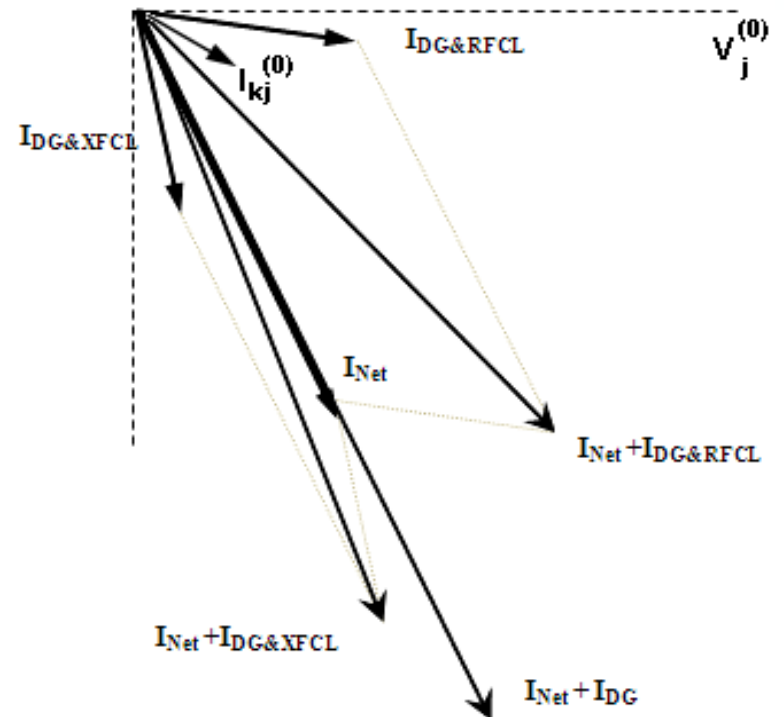
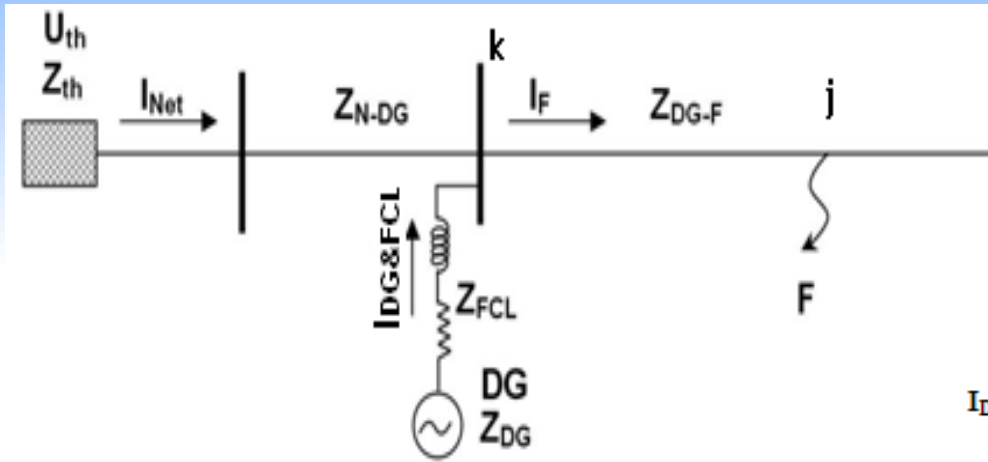
محدودساز سلفی با ولتاژ نامی 10 کیلوولت



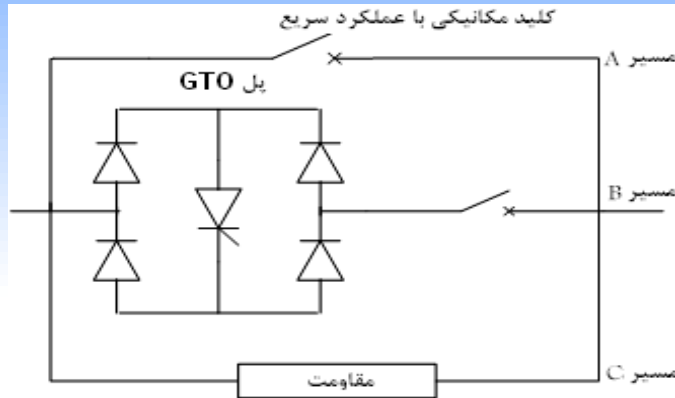
جریان نامی (A)	راکتانس (pu)	قیمت (دلار)
400	0.35	15487
400	0.45	16947
400	1.4	29237
630	0.56	38008
1000	0.35	35084
1000	0.45	38008
1000	0.56	40932
1500	0.31	46779

$$Cost(FCL) = C_F(I) + C_Z(Z \times I^2)$$

سلفی یا مقاومتی



جریان گذرای محدودساز جریان خطا (FCL)



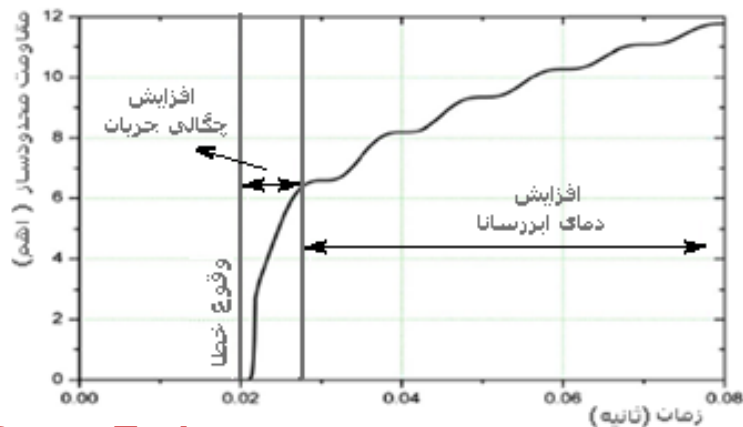
مدل FCL نوع هیبرید:

عملکرد عادی: مسیر A

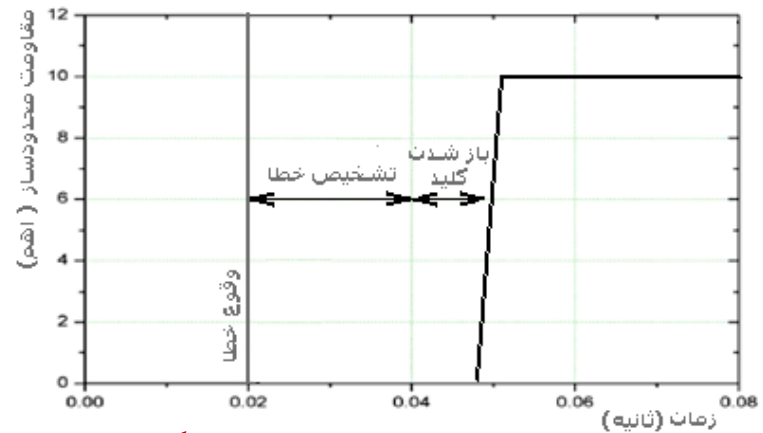
کموتاسیون جریان خطا: مسیر B

محدودسازی جریان خطا: مسیر C

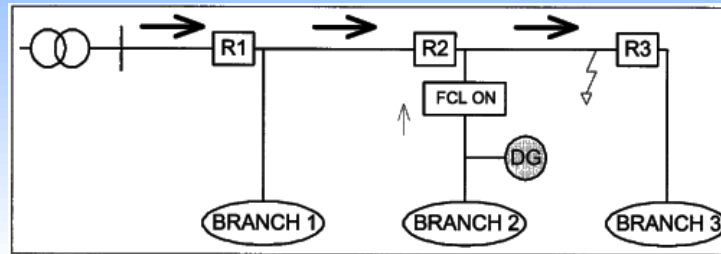
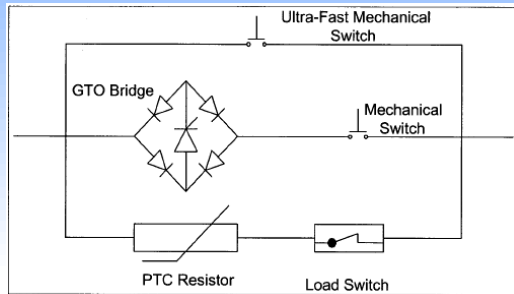
محدودساز ابررسانا SFCL



محدودساز نوع هیبرید



استفاده از محدودساز جریان خطا



مزایای استفاده از FCL

- عدم نیاز به تغییر تنظیمات یا تجهیزات
- عدم نیاز به تغییر کلیدهای قدرت یا افزایش ظرفیت نامی آنها
- افزایش پایداری DG در لحظه خطا (جلوگیری از تغییرات شدید جریان)
- عدم کاهش قابلیت اطمینان به دلیل قطع DG

معایب

- بازست غیرسنکرون ریکلوزر
- تاخیر در محدودسازی خطا



راه حل‌های
ارائه شده برای
حذف یا کاهش
اثرات تولید
پراکنده

تغییر در
تنظیمات یا
تجهیزات حفاظتی

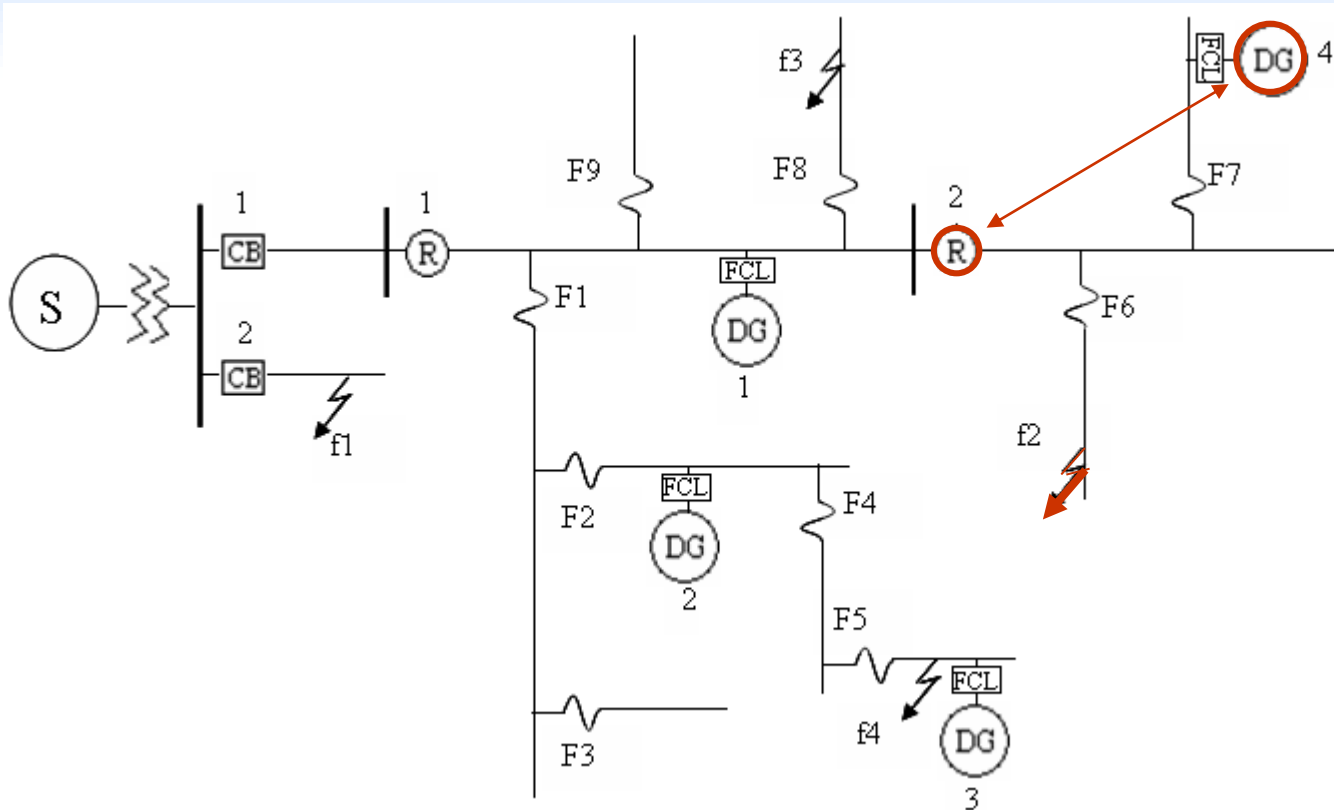
❖ جدا کردن DG
از شبکه هنگام
وقوع خطا
استفاده از
FCL

روش حفاظت
تطبیقی

روش استفاده از
Multi-agent

استفاده از FCL

- مزایا: بدون تغییر در تجهیزات و تنظیمات هماهنگی دوباره برقرار می گردد
ورود و خروج منابع تولید پراکنده مشکلی ایجاد نمی کند
- مشکل: باز بست غیر سنکرون **راه حل:** خارج کردن DG های پایین دست باز بست



روشهای تعیین اندازه امپدانس FCL

محل نصب FCL: بصورت سری در شاخه DG

- 1- کاهش جریان عبوری و هزینه FCL
- 2- کاهش تعداد با محدودسازی جریان خطای DG بصورت مستقیم

تعیین امپدانس FCL:

1) مرجع [57]: استفاده از الگوریتم تکرار

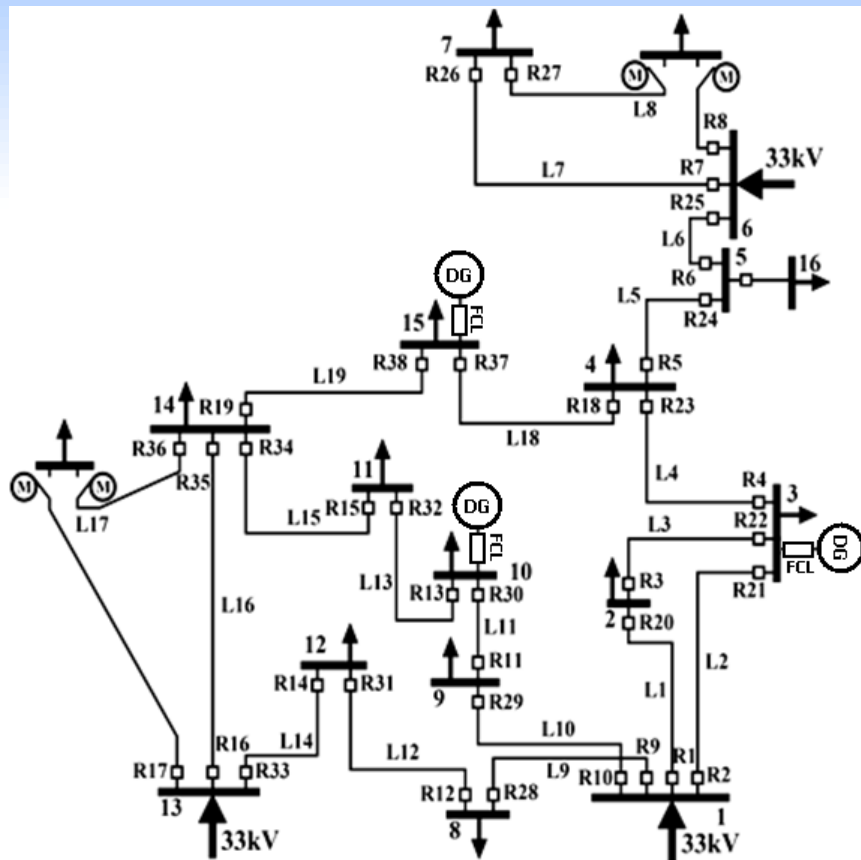
برای تعیین امپدانس FCL

2) بهینه سازی

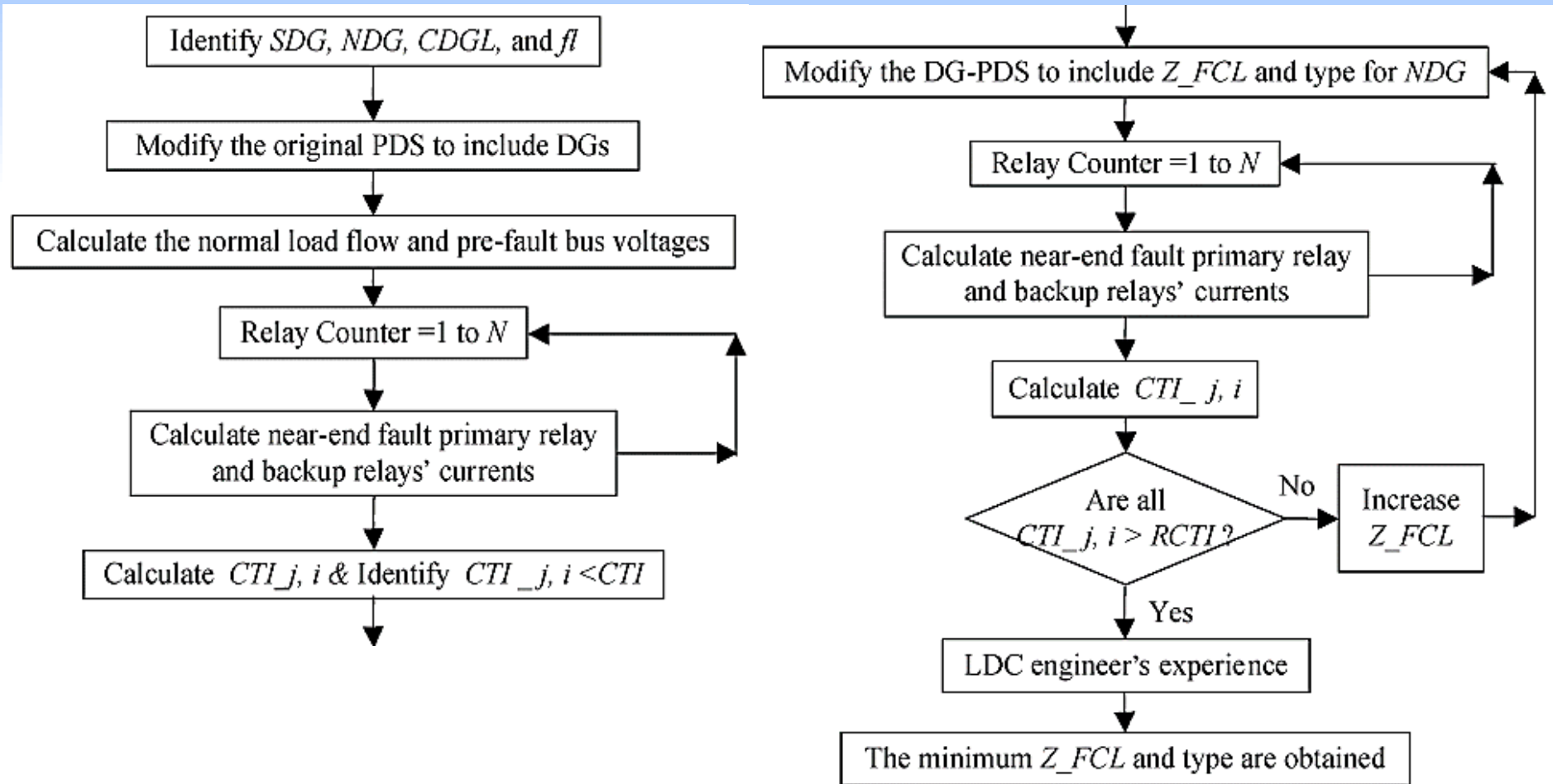
FCL ₁	FCL ₂	FCL ₃	...	FCL _n
Z ₁	Z ₂	Z ₃	...	Z _n

$$OF = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$$

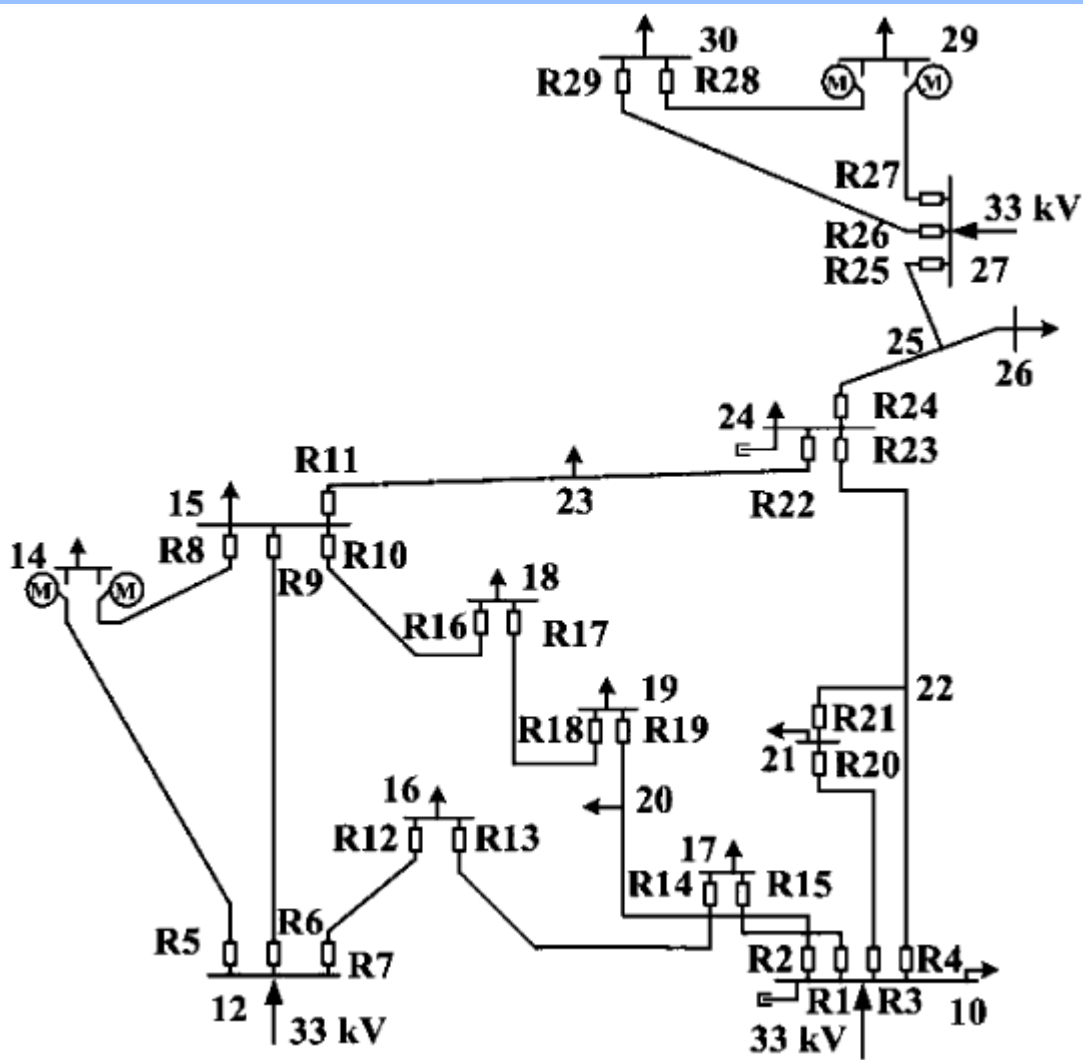
$$All TI \geq CTI$$



فلوچارت الگوریتم تعیین امیدانس باروش تکرار

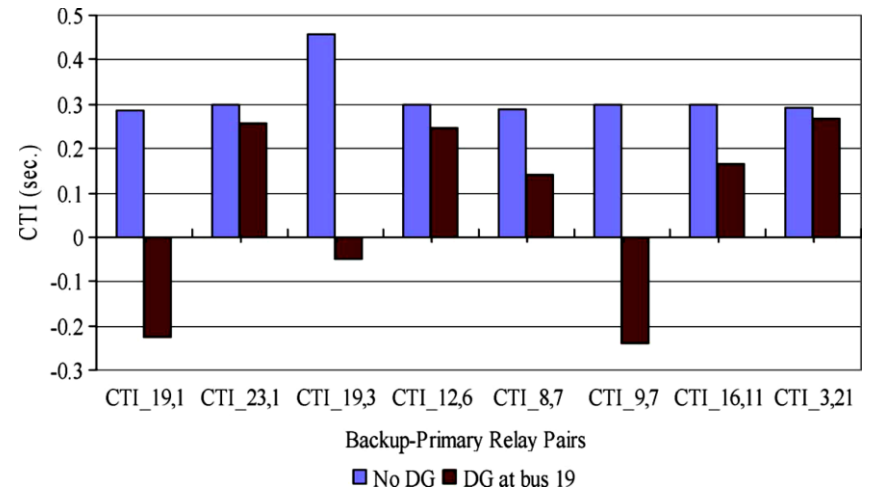
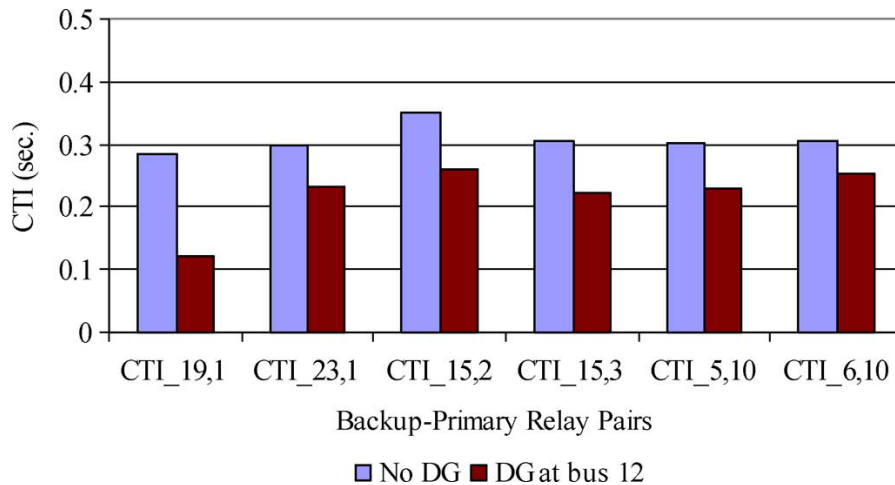


Case study:



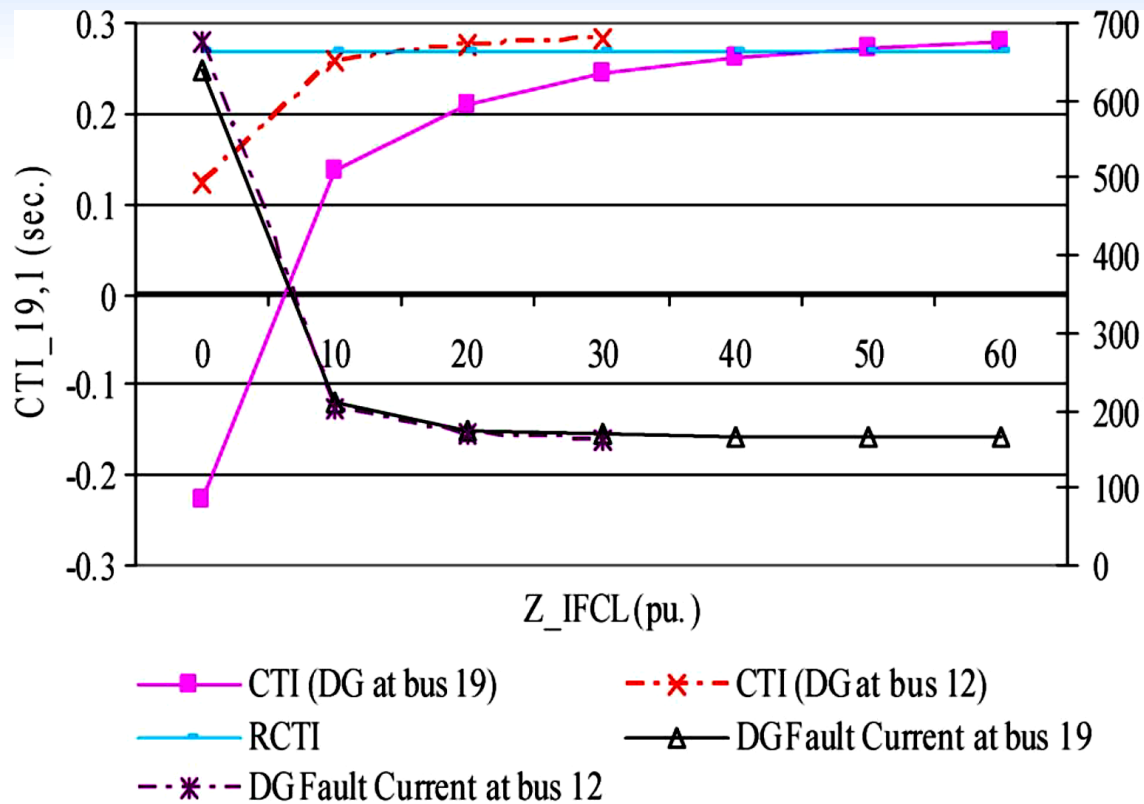
Location of DGs:
buses 10, 12, and 27

- 1) Scenario A: where there is no DG presented in the PDS.
- 2) Scenario B: Installation of DGs as a power source within the PDS
- 3) Scenario C: The proposed method of installing FCL in series with DG

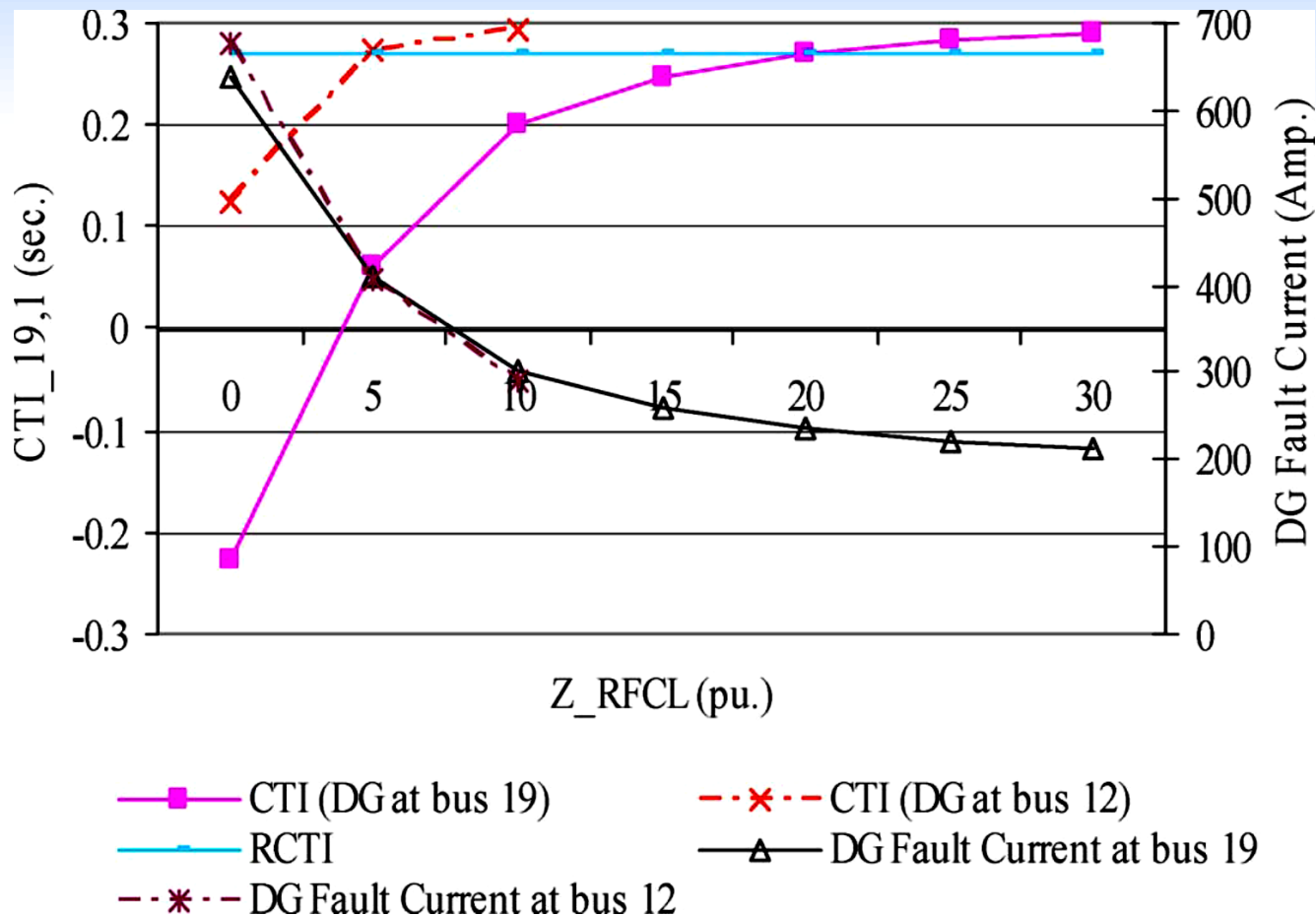


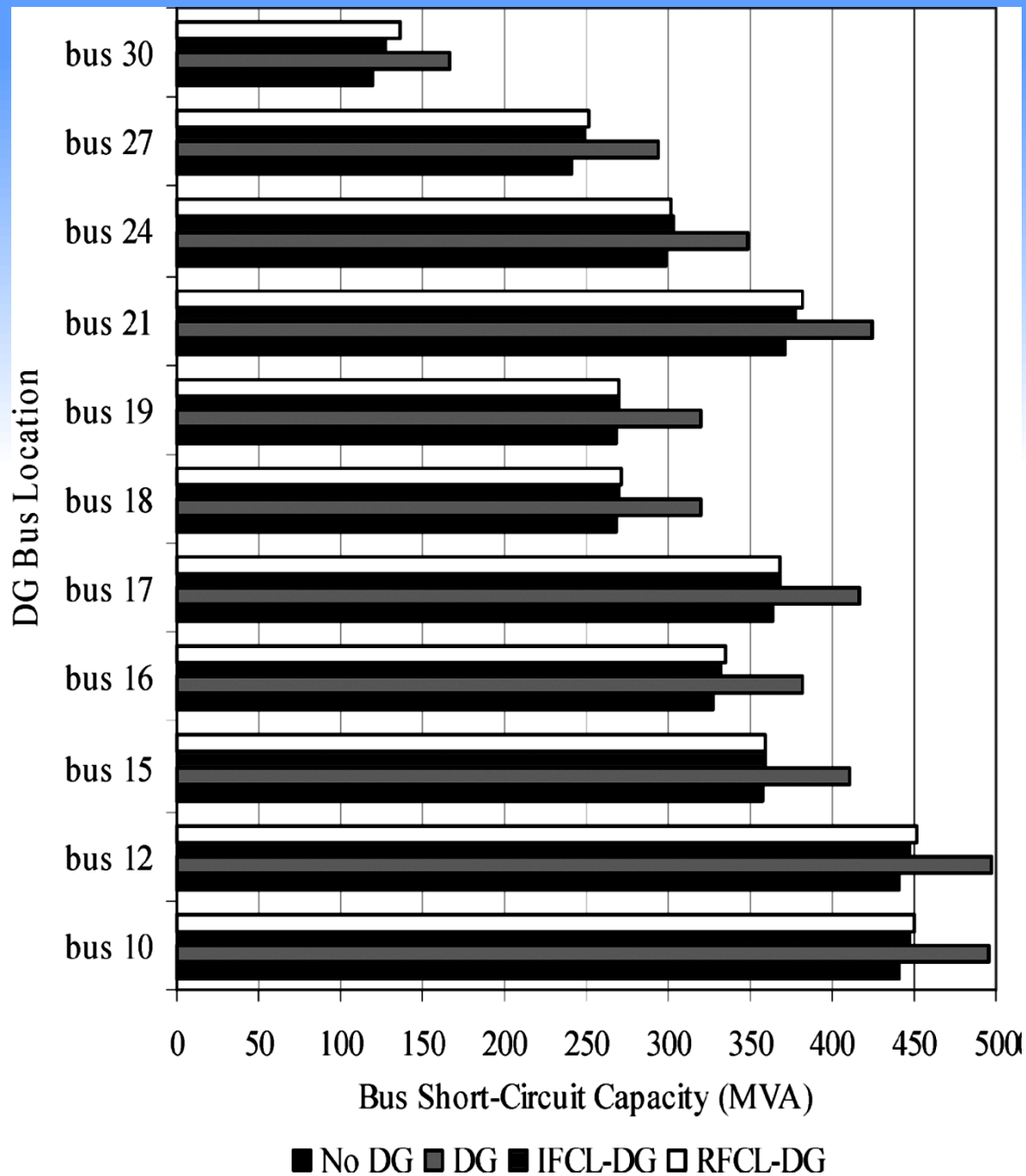
RCTI=0.27

Scenario C: restoration of miscoordination relay pairs using IFCL



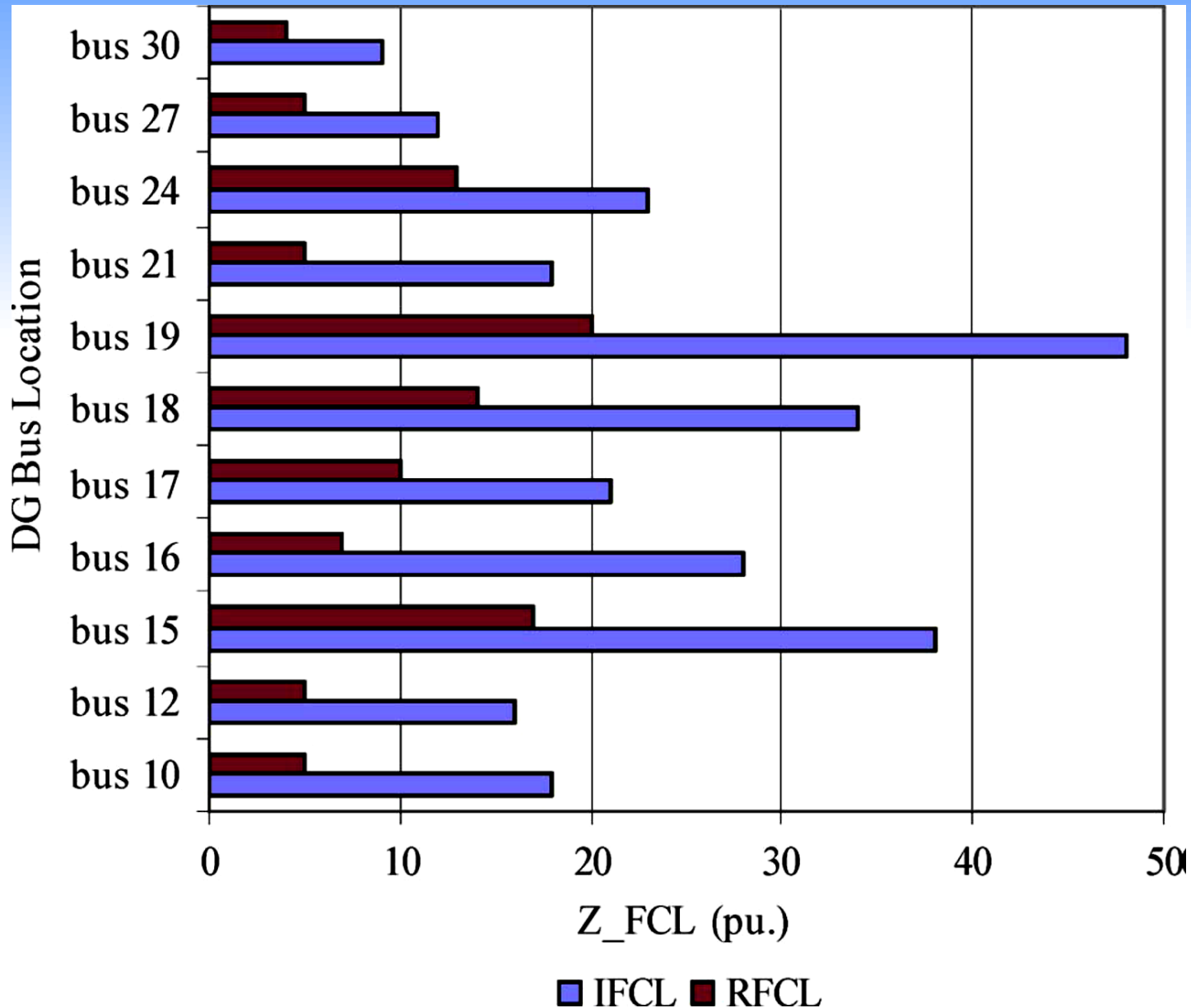
Scenario C: restoration of miscoordination relay pairs using RFCL





PDS buses short-circuit megavolt-ampere capacities

single-DG: FCL impedances for various DG locations



Multi-DG Scenario: Three DGs

DG Operating Possibility	10	12	19	10 & 12	10 & 19	12 & 19	10, 12 & 19
<i>Z_IFCL</i>(pu.)	18	16	48	53	39	56	42
<i>CTI</i> (sec.)	0.2714	0.2709	0.2701	0.2700	0.2700	0.2702	0.2709
<i>Z_RFCL</i>(pu.)	5	5	20	6	17	22	18
<i>CTI</i> (sec.)	0.2772	0.2749	0.2710	0.2792	0.2720	0.2711	0.2746

