بسمه تعالی
شرکت راه انرژی دنیا

مطالعات و محاسبات اتصال کوتاه در شبکه برق و قدرت تحمل کلیدهای قدرت

مجتمع پتروشیمی مهاباد
مدرس: مهندس علیرضا اشرفی

دفتر مرکزی: تهران- شهرک غرب- بلوار شهید فرحزادی –خیابان سادات –پلاک ۹

فهرست مطالب:

۱ مروری بر مفاهیم اساسی در مطالعات اتصال کوتاه

۲ مروری بر مفاهیم مولفه‌های متقارن و مدار معادل آنها در انواع خطاها

۳ مطالعات مرتبط با خطای تکفاز و جریان مولفه صفر در آرایش‌های مختلف شبکه

۴ محاسبات اتصال کوتاه بر اساس مولفه‌های متقارن

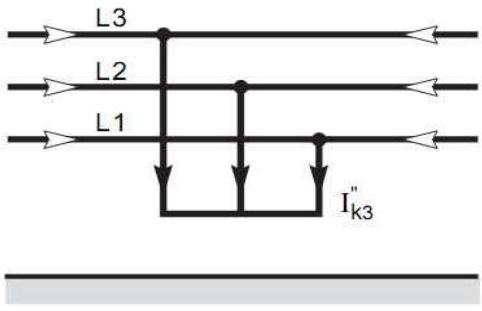
۵ مقدارهای عمومی برای امپدانس تجهیزات مختلف شبکه

۶ میزان تحمل اتصال کوتاه در کلیدهای قدرت

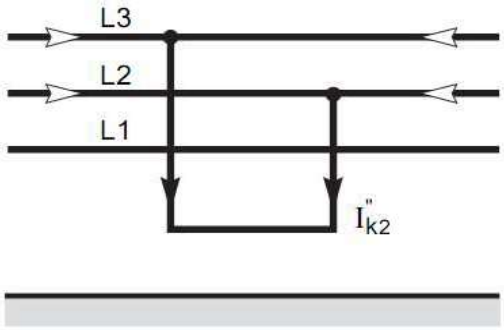
فصل اول:

مروری بر مفاهیم اساسی در مطالعات اتصال کوتاه

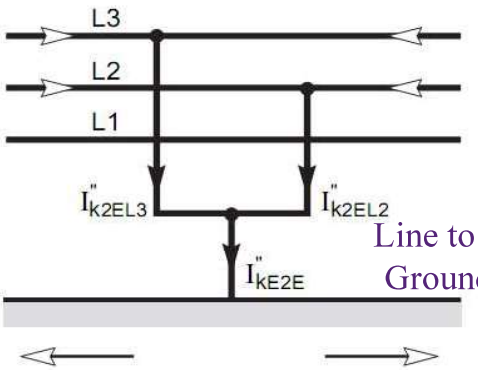
Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company



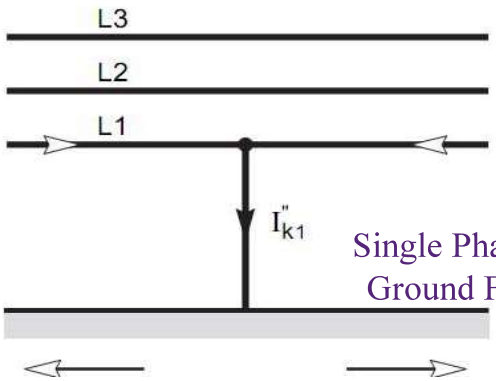
Three Phase Fault



Line to Line Fault



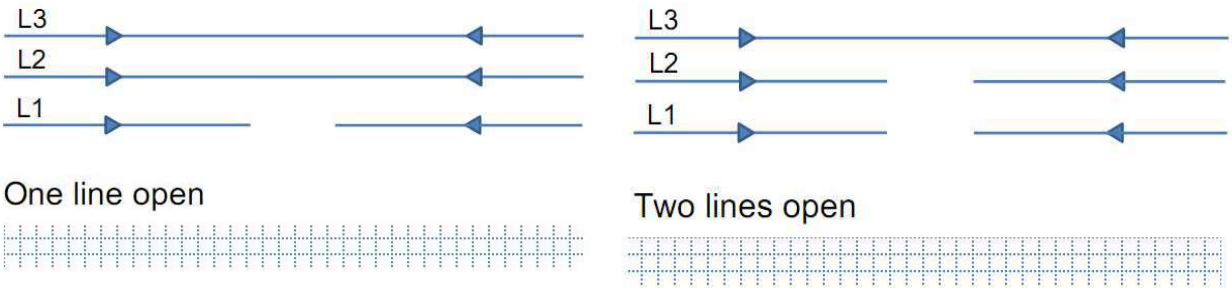
Line to Line to Ground Fault



Single Phase to Ground Fault

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

(خطاهای سری در شبکه قدرت)



نقص در سرکابل
عملکرد فیوز
نقص کلید در باز شدن یا بسته شدن همزمان

اهمیت بررسی اتصال کوتاه:

– تجهیزات شبکه باید تحمل مکانیکی ناشی از وقوع اتصال کوتاه را داشته باشند.

– علاوه بر این باید تحمل حرارتی ناشی از جریان بالا در اتصال کوتاه را نیز داشته باشند.

– محاسبه حداکثر جریان اتصال کوتاه به منظور تعیین ظرفیت تجهیزات شبکه انجام میشود.

– محاسبه حداقل جریان اتصال کوتاه در تنظیمات و هماهنگی حفاظتی مورد توجه قرار می‌گیرد.

– خطای اتصال کوتاه باعث نوسانات مکانیکی ژنراتور میشود که به تبع آن نوسان در توان اکتیو و راکتیو حاصل می‌گردد و نهایتا پایداری ژنراتور با چالش مواجه می‌شود.

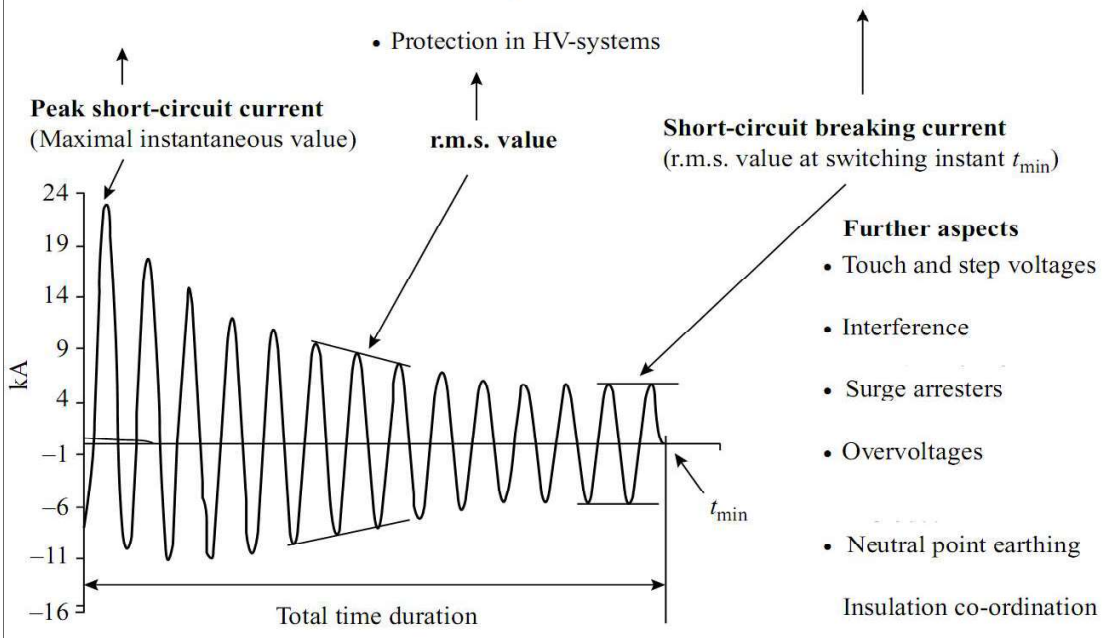
– خطای اتصال کوتاه نامتقارن منجر به تغییر ولتاژ در فازهای سالم می‌شود.

– خطای اتصال کوتاه نامتقارن منجر به جابجایی ولتاژ در محل نوترال شبکه می شود.

– کلیدها باید به گونه‌ای طراحی شوند که حتی قابلیت وصل شدن در حضور اتصال کوتاه را نیز داشته باشند.

اهمیت بررسی اتصال کوتاه:

- Electromagnetic effects
- Switch-on capability
- Thermal effects
- Protection measures against touch voltages in LV-installations
- Protection in HV-systems
- Breaking capability



Further aspects

- Touch and step voltages
- Interference
- Surge arresters
- Overvoltages
- Neutral point earthing

Insulation co-ordination

Enermonde, All Rights Reserved

اهمیت بررسی اتصال کوتاه:

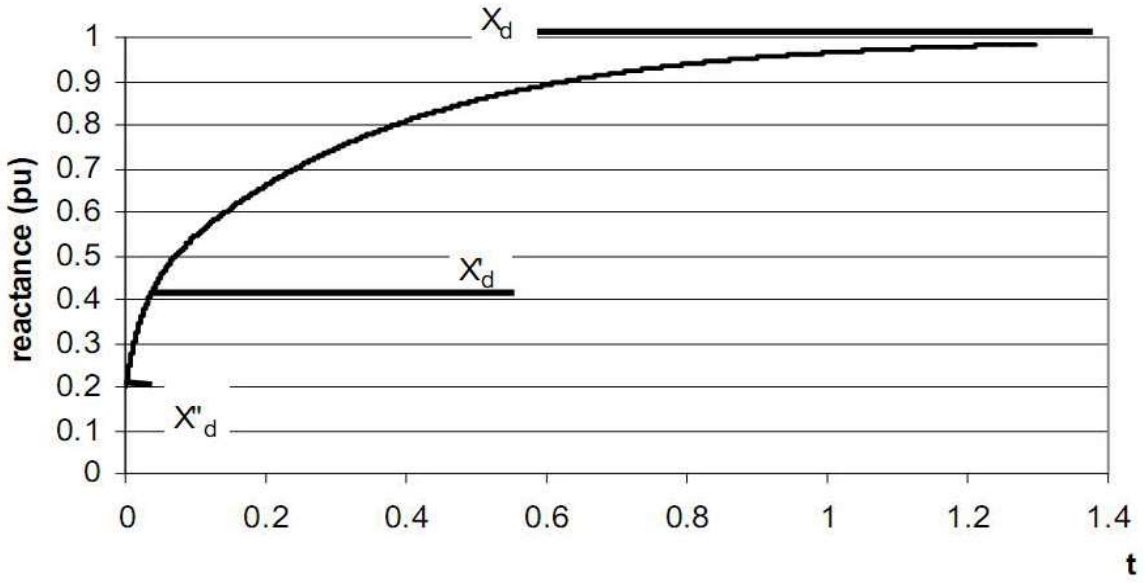
– نیروهای الکترومغناطیسی ناشی از جاری شدن جریان اتصال کوتاه در لحظات اولیه با مقدار حداکثر جریان متناسب است و بنابراین باید به آن توجه شود.

- The **r.m.s.-value** of the short-circuit current is decaying in this example due to the decaying a.c. component. Currents through conductors will heat the conductor due to ohmic losses. The r.m.s. value of the short-circuit current, combined with the total time duration, is a measure for the thermal effects of the short-circuit.

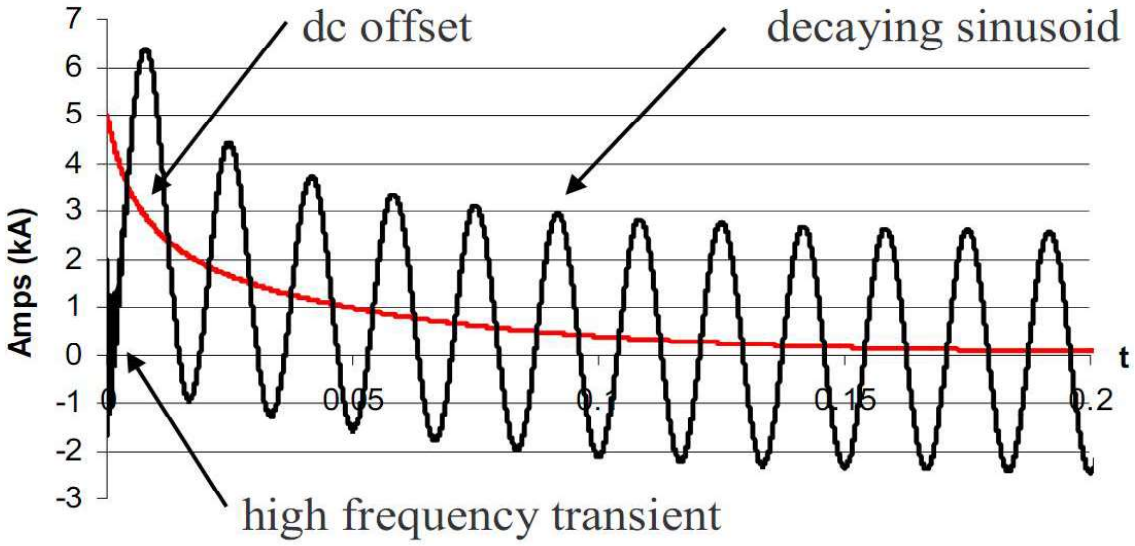
- The **short-circuit breaking current** is the r.m.s.-value of the short-circuit current at switching instant, i.e., at time of operating the circuit-breaker. While opening the contacts of the circuit-breaker, the arc inside the breaker will heat up the installation, which depends obviously on the breaking time as well.

Enermonde, All Rights Reserved

امپدانس متغیر ژنراتور با زمان دلیل تغییر دامنه جریان در طول زمان است



اهمیت بررسی
اتصال کوتاه:



اهمیت بررسی اتصال کوتاه:

$$i(t) = E\sqrt{2}\left[\left(\frac{1}{X''_d} - \frac{1}{X'_d}\right)e^{-t/T''_d} + \left(\frac{1}{X'_d} - \frac{1}{X_d}\right)e^{-t/T'_d} + \frac{1}{X_d}\right]\cos\omega t - \frac{E\sqrt{2}}{X''_d}e^{-t/T_a}$$

(در ترمینال ژنراتور)

E: Phase-to-neutral rms voltage across the generator terminals

X''_d: Subtransient reactance

X'_d: Transient reactance

X_d: Synchronous (steady-state) reactance

T''_d: Subtransient time constant

T'_d: Transient time constant

T_a: Aperiodic time constant

Enermonde, All Rights Reserved

Enermonde, All Rights Reserved

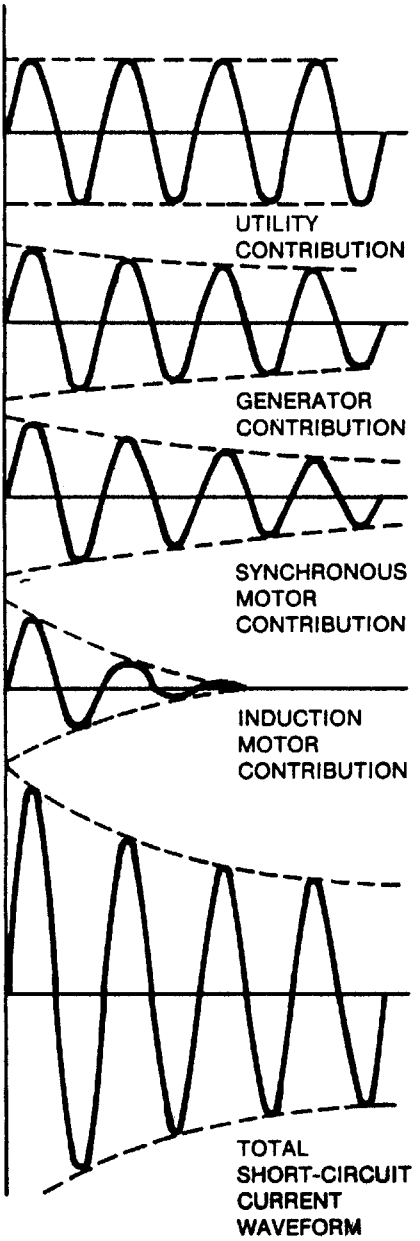


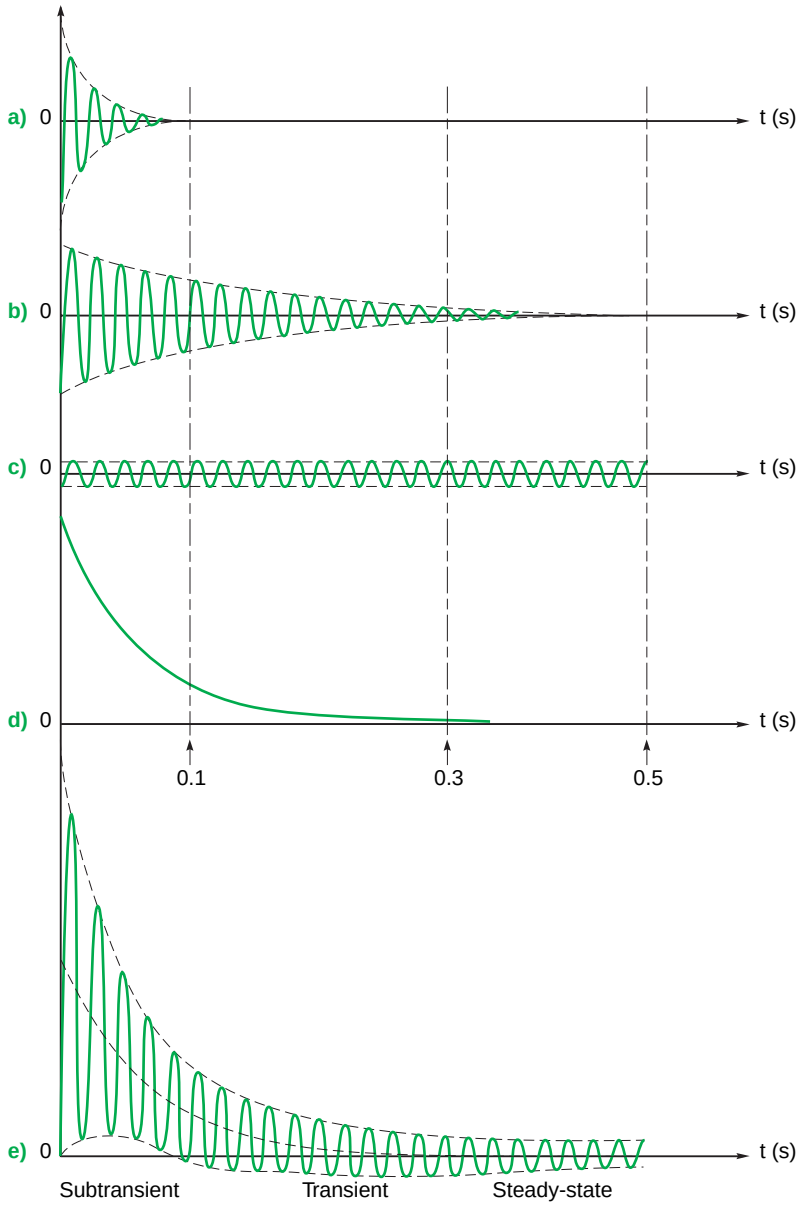
Figure 4.1 Decaying Short Circuit Current Waveforms

Copyright 2002 by Marcel Dekker. All Rights Reserved.

Note that in the indicated order, the reactance acquires a higher value at each stage, i.e. the subtransient reactance is less than the transient reactance, itself less than the synchronous reactance. The successive effect of the three reactances leads to a gradual reduction in the short-circuit current which is the sum of four components

- The three alternating components (subtransient, transient and steady-state)
- The aperiodic component resulting from the development of the current in the circuit (inductive)

This short-circuit current i(t) is maximum for a closing angle corresponding to the zero-crossing of the voltage at the instant the fault occurs.



Total short-circuit current i_{sc} ***(e)****, and contribution of its components:*

a) *subtransient reactance = X''_d*

b) *transient reactance = X'_d*

c) *synchronous reactance = X_d*

d) *aperiodic component.*

Note that the decrease in the generator reactance is faster than that of the aperiodic component. This is a rare situation that can cause saturation of the magnetic circuits and interruption problems because several periods occur before the current passes through zero.

هدف از برگزاری دوره:

- نحوه محاسبات اتصال کوتاه در شبکه در نقاط مختلف.
- مسیر جاری شدن جریان اتصال کوتاه در توپولوژی‌های مختلف.
- اندازه جریان اتصال کوتاه جاری شده از سمت‌های مختلف به طرف محل خطا
- بازخوانی و شناخت تعاریف ارائه شده از طراحی تجهیزات شبکه در رابطه با اتصال کوتاه
- روش‌های محدود کردن جریان خطا
- تعاریف کلید قدرت در رابطه با اتصال کوتاه و میزان تحمل کلید

Enermonde, All Rights Reserved *Author: Alireza Ashrafi* *Mahabad Petrochemical Company* *Nov. 2024*

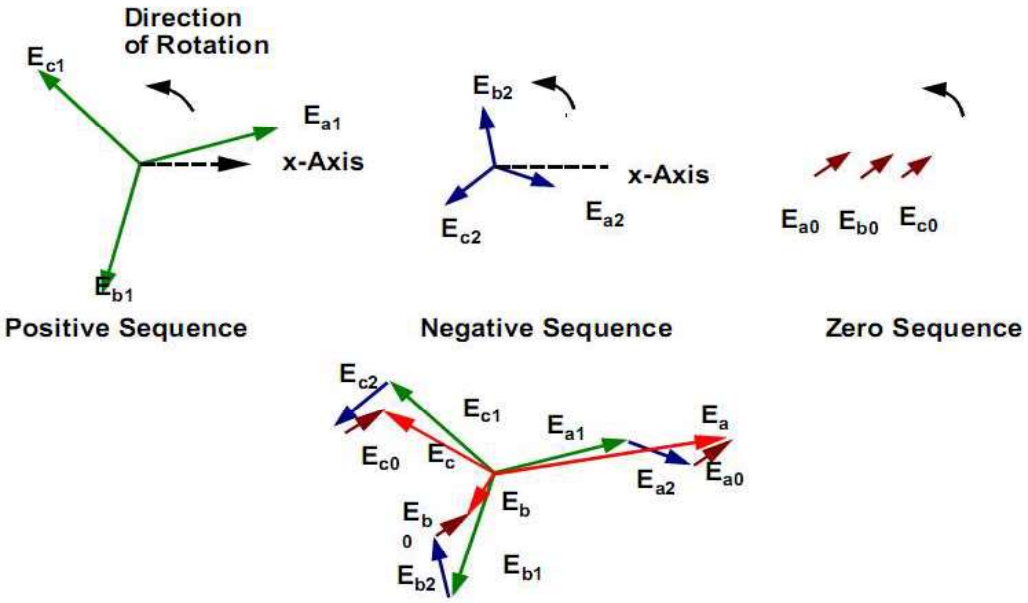
فصل دوم:

مروری بر مفاهیم مولفه‌های متقارن و مدار معادل آنها در انواع خطاها

Enermonde, All Rights Reserved *Author: Alireza Ashrafi* *Mahabad Petrochemical Company* *Nov. 2024*

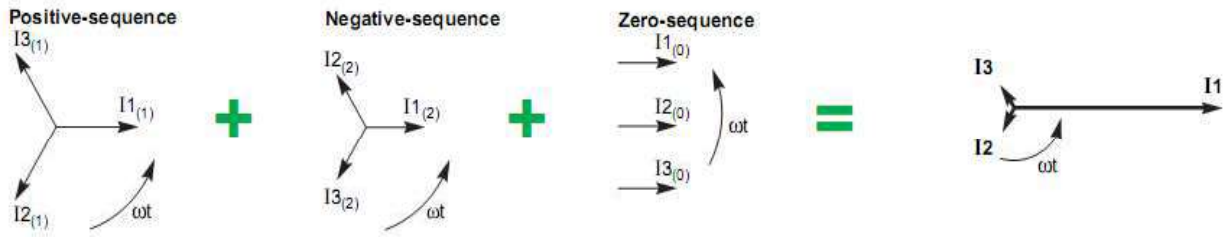
هر سه بردار نامتقارن را میتوان به سه دسته بردار متقارن تجزیه کرد.

هر سه فازور نامتقارن را میتوان به سه دسته فازور متقارن تجزیه کرد.



هر سه بردار نامتقارن را میتوان به سه دسته بردار متقارن تجزیه کرد.

هر سه فازور نامتقارن را میتوان به سه دسته فازور متقارن تجزیه کرد.



هر سه بردار نامتقارن را میتوان به سه دسته بردار متقارن تجزیه کرد.

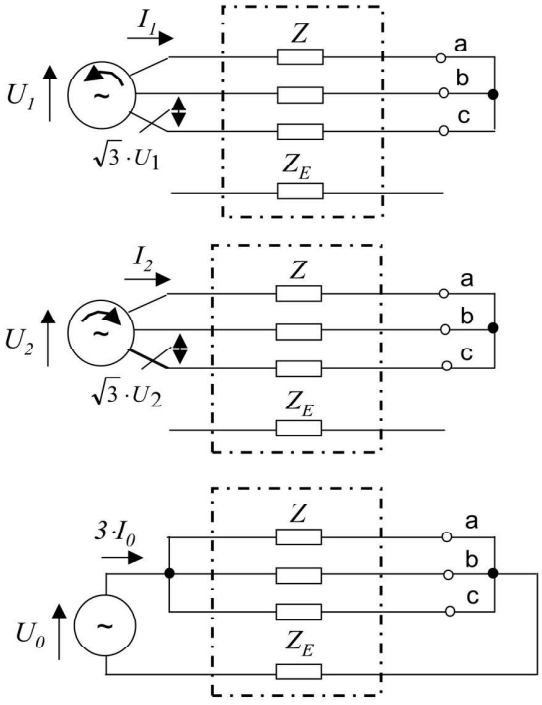
هر سه فازور نامتقارن را میتوان به سه دسته فازور متقارن تجزیه کرد.

$$U_a = U_1 + U_2 + U_0$$
$$U_b = a^2 U_1 + a U_2 + U_0$$
$$U_c = a U_1 + a^2 U_2 + U_0$$

$$U_0 = \frac{1}{3}(U_a + U_b + U_c)$$
$$U_1 = \frac{1}{3}(U_a + a U_b + a^2 U_c)$$
$$U_2 = \frac{1}{3}(U_a + a^2 U_b + a U_c)$$

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

تعریف مداری مولفه‌های متقارن
(روش اندازه‌گیری امپدانس مولفه متقارن)



Positive sequence impedance

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} = Z$$

Negative sequence impedance

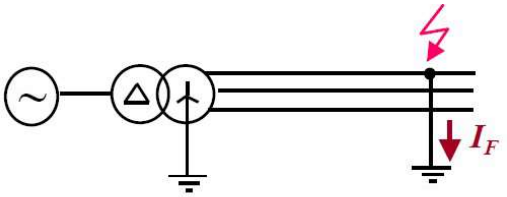
$$Z_2 = \frac{U_2}{I_2} = Z$$

Zero sequence impedance

$$Z_0 = \frac{U_0}{I0} = Z + 3 \cdot Z_E$$

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

تعریف مداری مولفه‌های متقارن
(در خطای تکفاز)

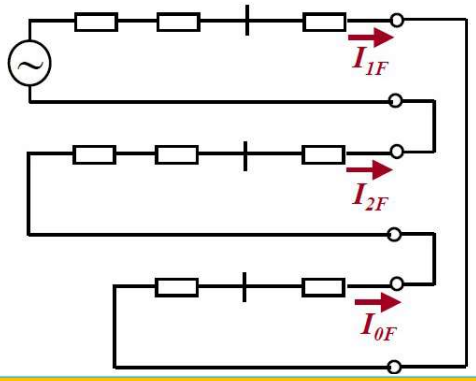


$$U_{aF} = U_{1F} + U_{2F} + U_{0F} = 0$$
$$U_{bF} = a^2U_{1F} + aU_{2F} + U_{0F}$$
$$U_{cF} = aU_{1F} + a^2U_{2F} + U_{0F}$$

$$U_{1F} + U_{2F} + U_{0F} = 0$$

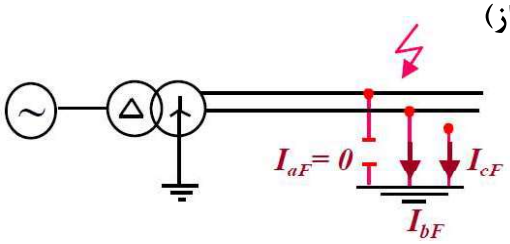
$$I_{aF} = I_{1F} + I_{2F} + I_{0F} = I_F$$
$$I_{bF} = a^2I_{1F} + aI_{2F} + I_{0F} = 0$$
$$I_{cF} = aI_{1F} + a^2I_{2F} + I_{0F} = 0$$

$$I_{1F} = I_{2F} = I_{0F} = I_F / 3$$



Enermonde, All Rights Reserved

تعریف مداری مولفه‌های متقارن
(در خطای دوفاز)

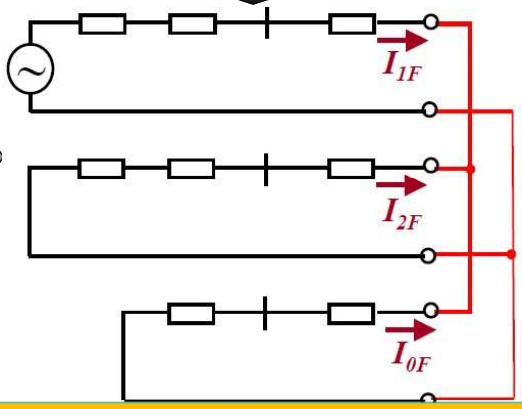


$$U_{aF} = U_{1F} + U_{2F} + U_{0F}$$
$$U_{bF} = a^2U_{1F} + aU_{2F} + U_{0F} = 0$$
$$U_{cF} = aU_{1F} + a^2U_{2F} + U_{0F} = 0$$

$$U_{1F} = U_{2F} = U_{0F}$$

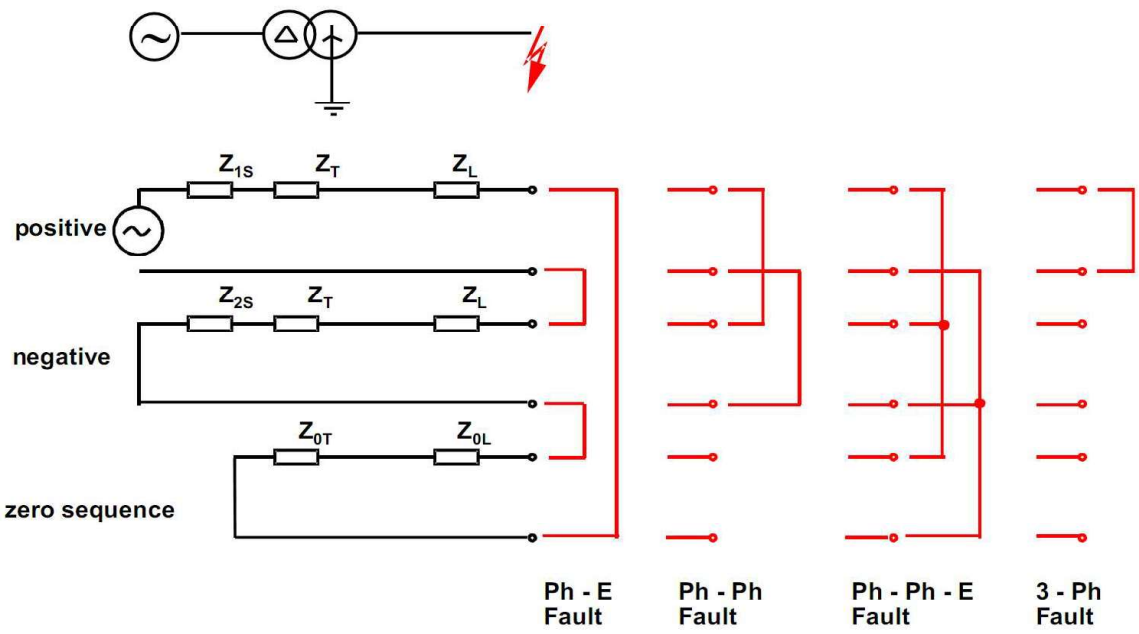
$$I_{1F} + I_{2F} + I_{0F} = 0$$

$$I_{aF} = I_{1F} + I_{2F} + I_{0F} = 0$$
$$I_{bF} = a^2I_{1F} + aI_{2F} + I_{0F}$$
$$I_{cF} = aI_{1F} + a^2I_{2F} + I_{0F}$$



Enermonde, All Rights Reserved

بسط مداری مولفه‌های متقارن در صورت بروز خطا



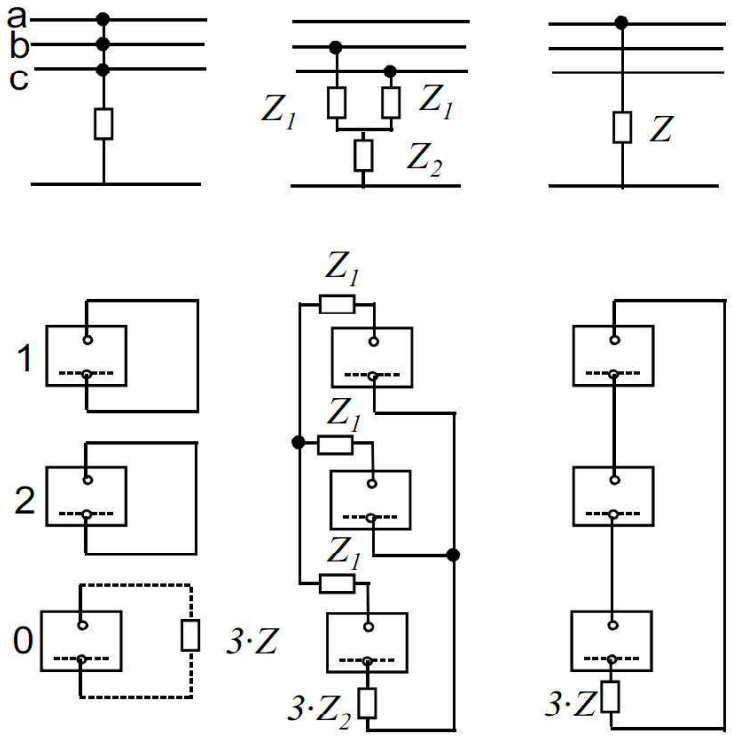
Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

مقادیر مختلف جریان مولفه‌های متقارن در انواع خطاهای اتصال کوتاه
(با فرض برابر بودن امپدانس مولفه‌های مختلف)

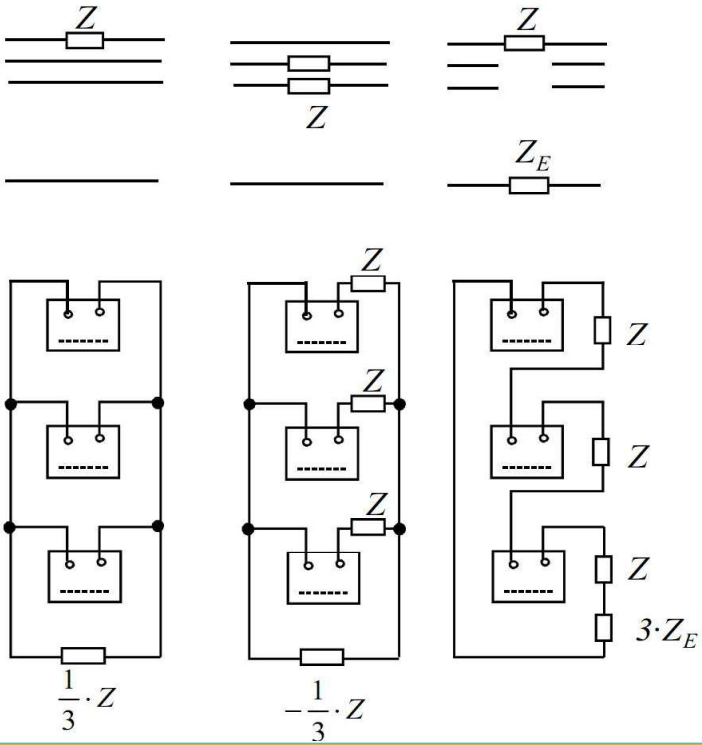
Fault Currents	a, c, b	a, c=0, b	c, b, a=0	a, c, b=0	a, c=0, b	a=0, c, b	a, c, b=0	a, b=c=0	a=c=0, b	a=b=0, c
Zero Seq. Currents					a_0, b_0, c_0	a_0, b_0, c_0	a_0, b_0, c_0	a_0, b_0, c_0	a_0, b_0, c_0	a_0, b_0, c_0
Negative Seq. Currents		a_2, c_2, b_2	c_2, b_2, a_2	b_2, a_2, c_2	a_2, c_2, b_2	c_2, b_2, a_2	b_2, a_2, c_2	a_2, c_2, b_2	c_2, a_2, b_2	b_2, c_2, a_2
Positive Seq. Currents	a_1, c_1, b_1	a_1, c_1, b_1	a_1, c_1, b_1	a_1, c_1, b_1	a_1, c_1, b_1	a_1, c_1, b_1	a_1, c_1, b_1	a_1, c_1, b_1	a_1, c_1, b_1	a_1, c_1, b_1
Fault	a, b, c	a, b	b, c	c, a	a, b, G	b, c, G	c, a, G	a, G	b, G	c, G

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

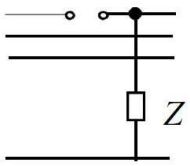
نحوه آرایش مدارهای مولفه‌های متقارن در خطاهای اتصال کوتاه.

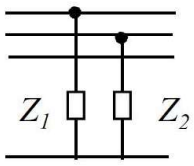


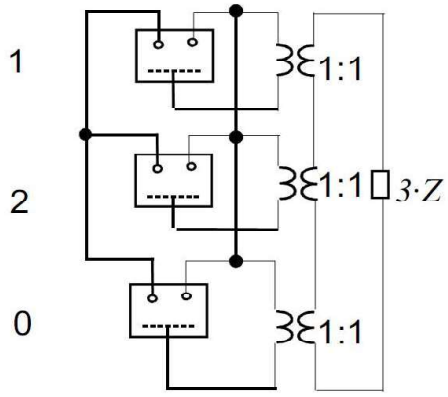
نحوه آرایش مدارهای مولفه‌های متقارن در خطاهای سری.

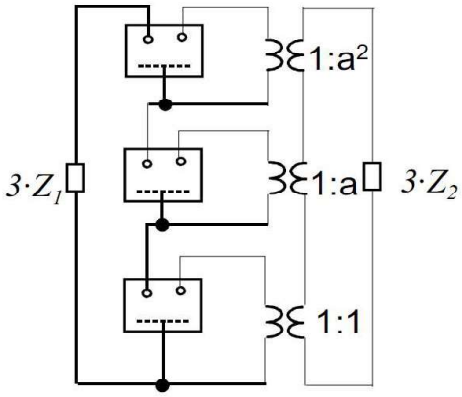


نحوه آرایش مدارهای مولفه‌های متقارن در صورت وقوع دو خطا به صورت همزمان.



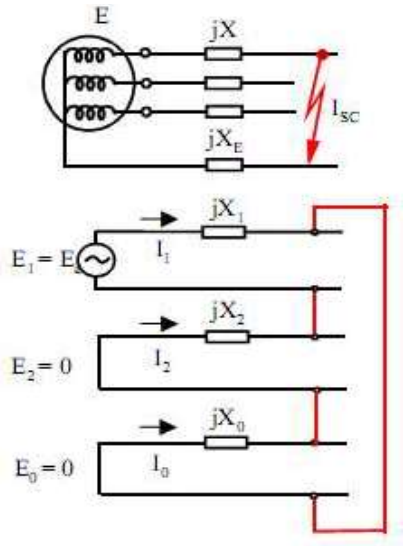






Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

محاسبه جریان اتصال کوتاه در یک خطای تکفاز به زمین



$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_1}{j(X_1 + X_2 + X_0)}$$

$$I_a = I_{SC} = I_1 + I_2 + I_0 = 3 \cdot \frac{E_1}{j \cdot (X_1 + X_2 + X_0)}$$

$$I_{SC} = 3 \cdot \frac{E_1}{j \cdot (X + X + X + 3 \cdot X_E)}$$

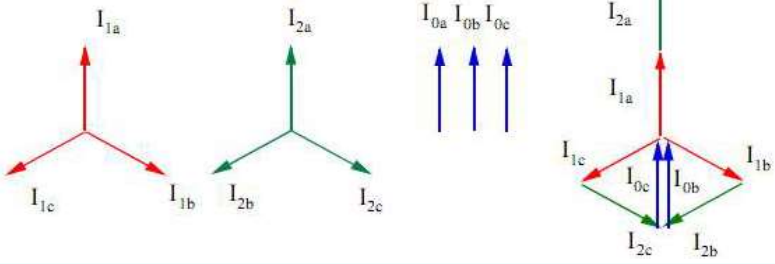
$$I_{SC} = \frac{E}{j \cdot (X + X_E)}$$

$$I_b = I_c = 0$$

$$U_1 = E_1 - I_1 \cdot X_1$$

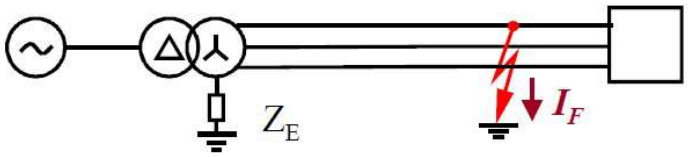
$$U_2 = 0 - I_2 \cdot X_2$$

$$U_0 = 0 - I_0 \cdot X_0$$

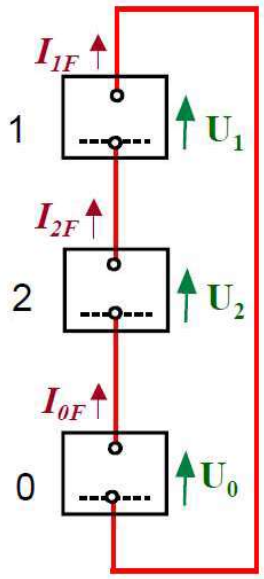


Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

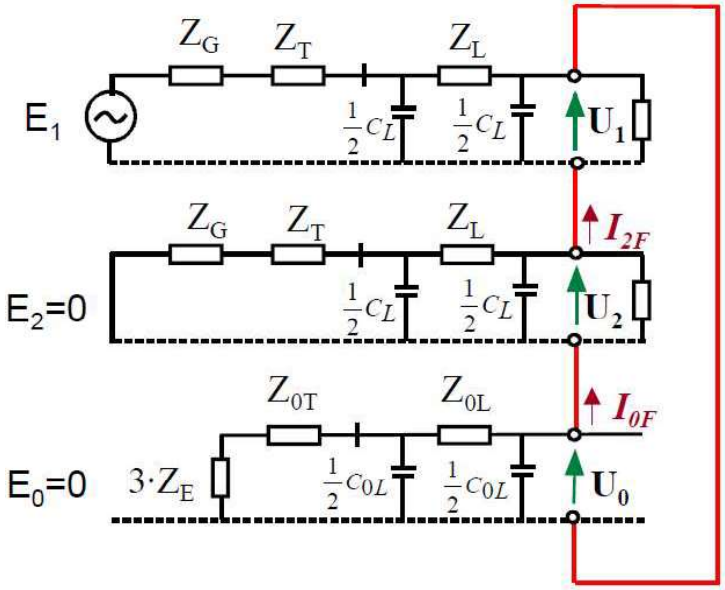
نحوه آرایش مدارهای مولفه‌های متقارن در صورت وقوع خطا در خط انتقال



شکل طرح‌واره

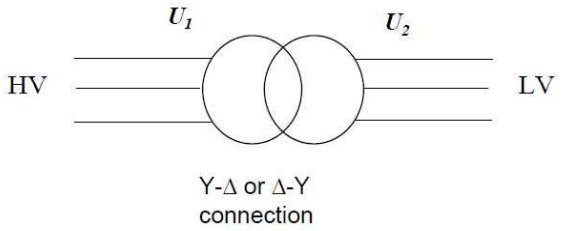


شکل دقیق



Enermonde, All Rights Reserved

جابجایی فاز در ترانسفورماتور برای مولفه مثبت و مولفه منفی



$$U_{HV} = U_{LV} \cdot N \cdot e^{j \cdot k \cdot 30^O}$$

N= transformation ratio U_1 / U_2

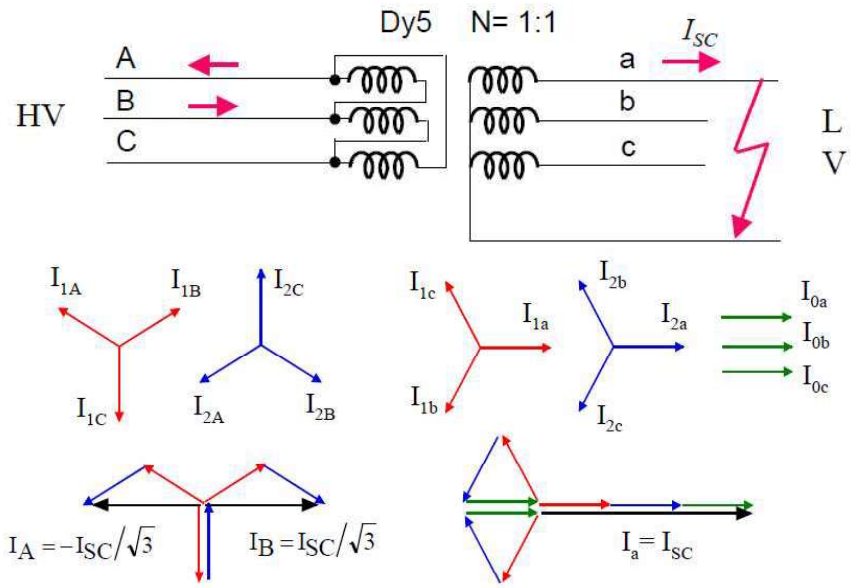
k = number of vector group

$$U_{1-HV} = U_{1-LV} \cdot N \cdot e^{j \cdot k \cdot 30^O} \qquad I_{1-HV} = I_{1-LV} \cdot \frac{1}{N} \cdot e^{j \cdot k \cdot 30^O}$$

$$U_{2-HV} = U_{2-LV} \cdot N \cdot e^{-j \cdot k \cdot 30^O} \qquad I_{2-HV} = I_{2-LV} \cdot \frac{1}{N} \cdot e^{-j \cdot k \cdot 30^O}$$

Enermonde, All Rights Reserved

جابجایی فاز در ترانسفورماتور برای مولفه مثبت و مولفه منفی



– عدم انتقال جریان مولفه صفر به جریان خط در سمت مثلث
– حضور جریان مولفه صفر در داخل سیم پیچی مثلث

فصل سوم:

مروری بر مطالعات مرتبط با خطای تکفاز و جریان مولفه صفر در آرایش‌های مختلف شبکه

غالبا خطاهای اتصال کوتاه شبکه قدرت از نوع خطاهای تکفاز هستند و نحوه تشخیص آنها نیز بر اساس جاری شدن جریان مولفه صفر (در شبکه‌های زمین شده و یا با امپدانس زمین شده) یا اندازه‌گیری ولتاژ مولفه صفر (در شبکه‌های زمین نشده و یا با امپدانس بالا زمین شده) تشخیص داده می‌شوند.

با استفاده از تئوری‌های مطرح شده در مهندسی برق قدرت میتوان نسبت به تعیین نحوه جاری شدن جریان مولفه صفر در شبکه‌های انتقال، توزیع و پلنت‌های صنعتی اقدام کرد.

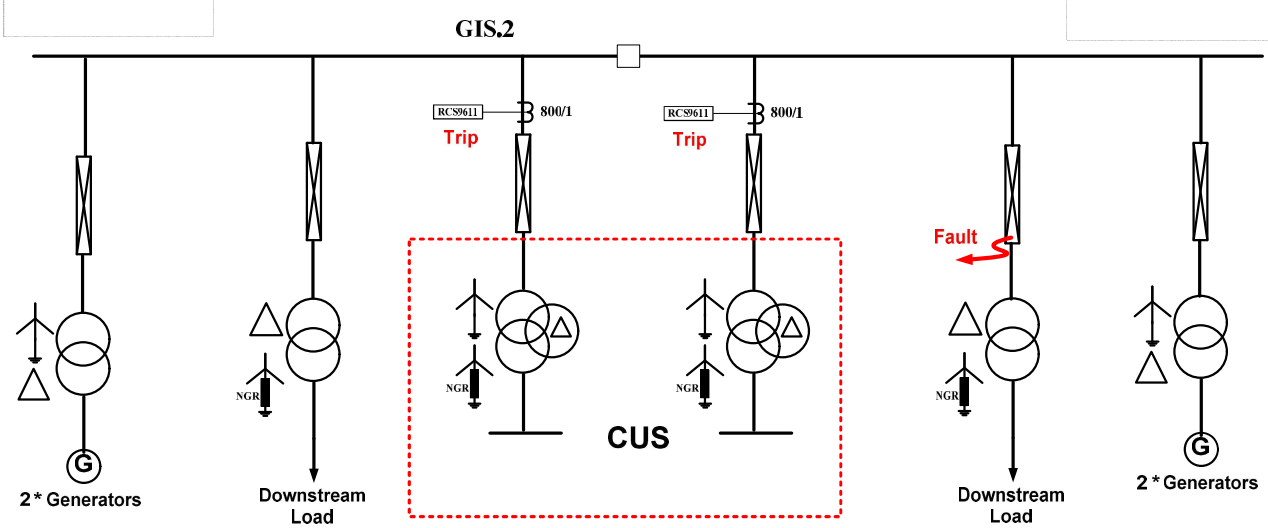
با یافتن مسیر جاری شدن جریان مولفه صفر میتوان نسبت به تعیین امپدانس مسیر جریان اقدام کرد. بر همین اساس در ابتدا تنها مسیر جاری شدن جریان مولفه صفر مورد بررسی قرار می گیرد.

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

؟

شبکه پتروشیمی و عملکرد رله حفاظت زمین به ازای خطای فیدر دیگر

؟



Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

دو شرط اساسی برای جاری شدن جریان مولفه صفر در شبکه قدرت وجود دارد:

۱- وجود زمین واقعی به منظور برقراری قانون جریان (KCL).
(در حقیقت باید زمین ناشی از اتصال محل نوترال ترانسفورماتور یا ژنراتور به زمین وجود داشته باشد).

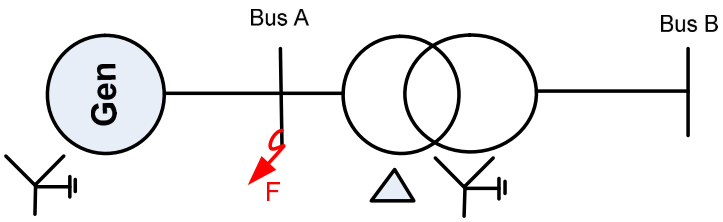
۲- امکان برقراری mmf مولفه صفر در ترانسفورماتورهای قدرت نصب شده در شبکه (شار مولفه صفر بتواند در ترانسفورماتور برقرار گردد).

تبصره: اندازه امپدانس در مسیر جریان اتصال کوتاه زمین تابعی از نوع هسته ترانسفورماتور نیز می‌باشد. به عبارت بهتر در صورتی که ترانسفورماتور سه ساق باشد یا از نوع پنج ساق در اندازه امپدانس تاثیرگذار است. این تغییر به دلیل جاری شدن شار مولفه صفر از مسیر هوایی در نوع سه ساق و با جاری شدن آن در نوع پنج ساق از طریق ساق‌های کناری میباشد.

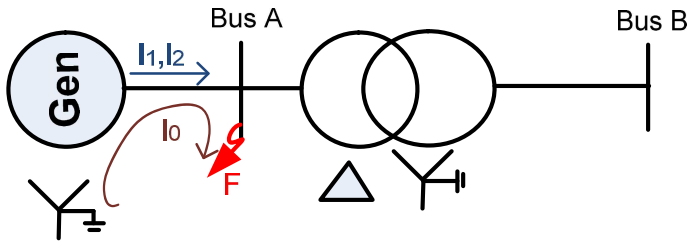
فرض: در بررسی مثال‌های صفحات بعدی: امپدانس نشتی مولفه صفر بی نهایت است (شار نشتی مولفه صفر وجود ندارد).

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

مثال‌های کاربردی:

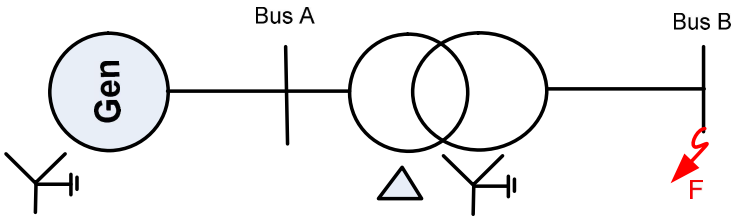


۱- قانون اول: در ناحیه‌ای که باس A قرار دارد زمین واقعی وجود دارد. این زمین توسط اتصال نوترال ژنراتور به زمین فراهم شده است.



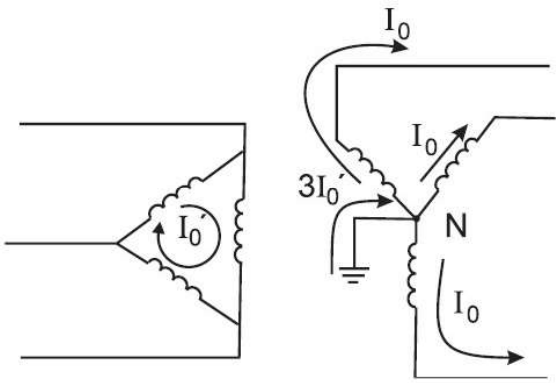
۲- قانون دوم: در ناحیه باس A امکان برقراری شار مولفه صفر وجود دارد. این امکان توسط استاتور ژنراتور فراهم شده است.

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company



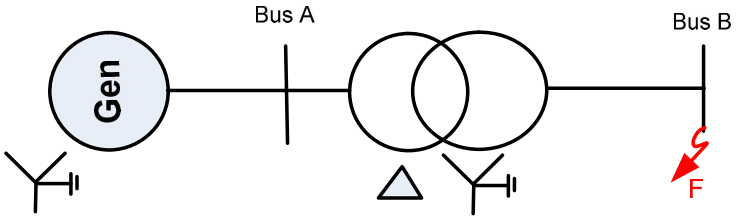
مثال‌های کاربردی:

۱- قانون اول: در ناحیه‌ای که باس **B** قرار دارد زمین واقعی وجود دارد. این زمین توسط اتصال ترانسفورماتور به زمین فراهم شده است.



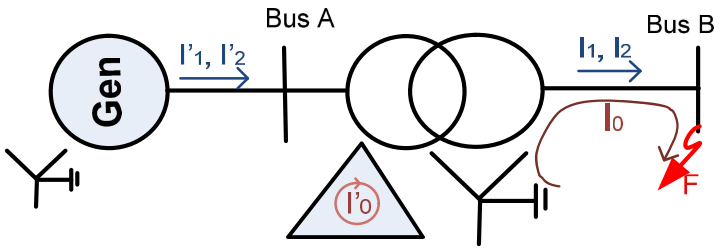
۲- قانون دوم: در ناحیه باس **B** امکان برقراری شار مولفه صفر وجود دارد. این امکان توسط سیم‌پیچ ستاره-مثلث فراهم شده است.

Enermonde, All Rights Reserved



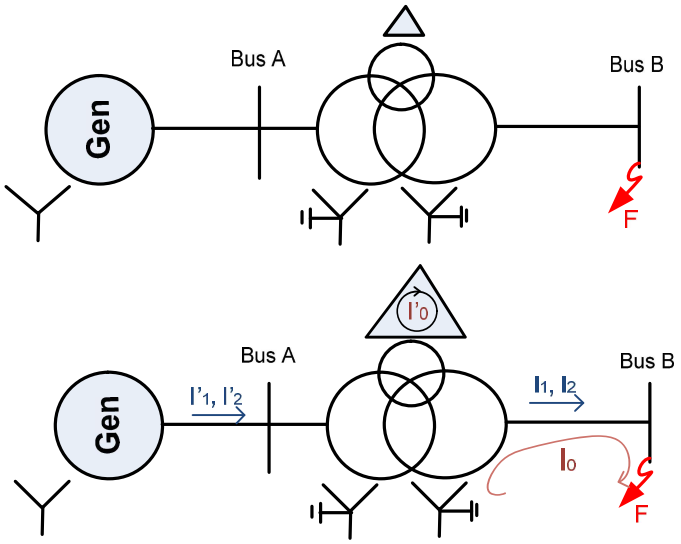
مثال‌های کاربردی:

ژنراتور جریان مولفه صفر را تامین نمی‌کند. و ترانسفورماتو رمانند منبع تولید جریان مولفه صفر عمل میکند.



جریان مولفه مثبت و منفی از سمت ژنراتور به سمت خطا جاری می‌شوند.

Enermonde, All Rights Reserved

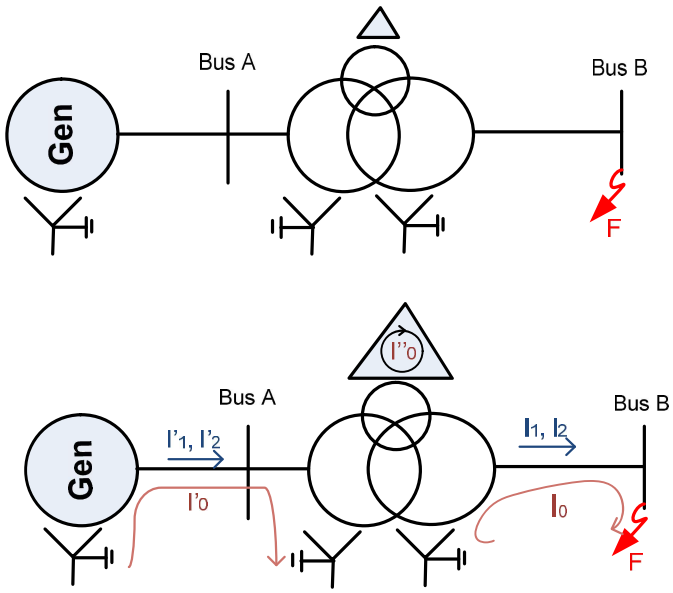


مثال‌های کاربردی:

۱- قانون اول: در ناحیه‌ای که باس B قرار دارد زمین واقعی وجود دارد. این زمین توسط اتصال ترانسفورماتور به زمین فراهم شده است.

۲- قانون دوم: در ناحیه باس B امکان برقراری شار مولفه صفر وجود دارد. این امکان توسط سیم‌پیچ ستاره-مثلث فراهم شده است.

Enermonde, All Rights Reserved

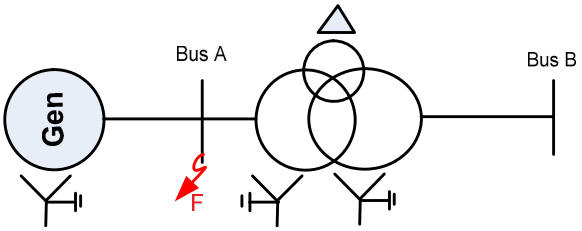


مثال‌های کاربردی:

۱- قانون اول: در ناحیه‌ای که باس B قرار دارد زمین واقعی وجود دارد. این زمین توسط اتصال ترانسفورماتور به زمین فراهم شده است.

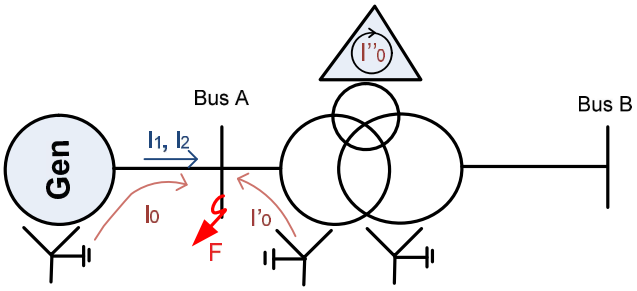
۲- قانون دوم: در ناحیه باس B امکان برقراری شار مولفه صفر وجود دارد. این امکان توسط سیم‌پیچ ستاره-ستاره-مثلث فراهم شده است.

Enermonde, All Rights Reserved

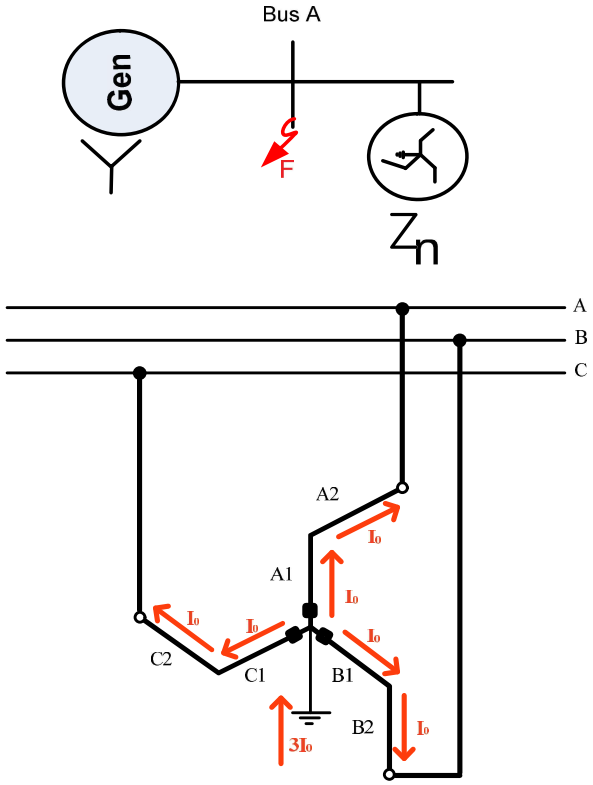


مثال‌های کاربردی:

۱- قانون اول: در ناحیه‌ای که باس A قرار دارد زمین واقعی وجود دارد. این زمین توسط اتصال نوترال ژنراتور و همچنین اتصال نوترال ترانسفورماتور به زمین فراهم شده است.



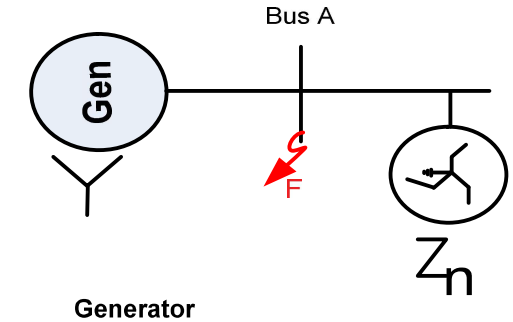
۲- قانون دوم: در ناحیه باس A امکان برقراری شار مولفه صفر وجود دارد. این امکان توسط استاتور ژنراتور و همچنین سیم‌پیچی ستاره- مثلث فراهم شده است.



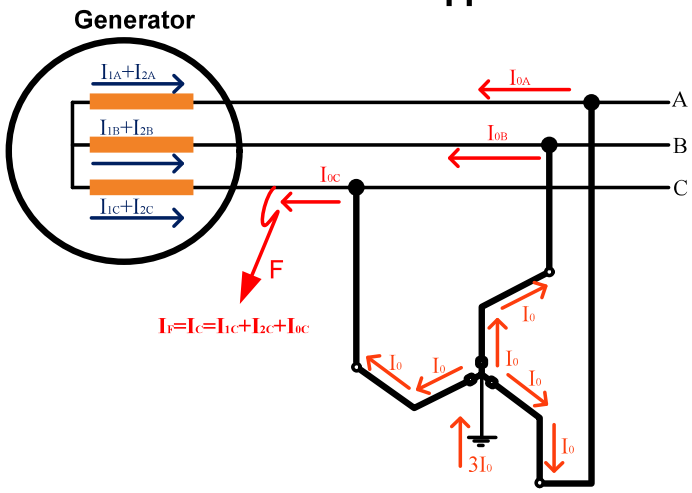
مثال‌های کاربردی:

۱- قانون اول: در ناحیه‌ای که باس A قرار دارد زمین واقعی وجود دارد. این زمین توسط اتصال نوترال ترانسفورماتور زیگ زاگ به زمین فراهم شده است.

۲- قانون دوم: در ناحیه باس A امکان برقراری شار مولفه صفر وجود دارد. این امکان توسط سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور زیگ زاگ فراهم شده است.



مثال‌های کاربردی:

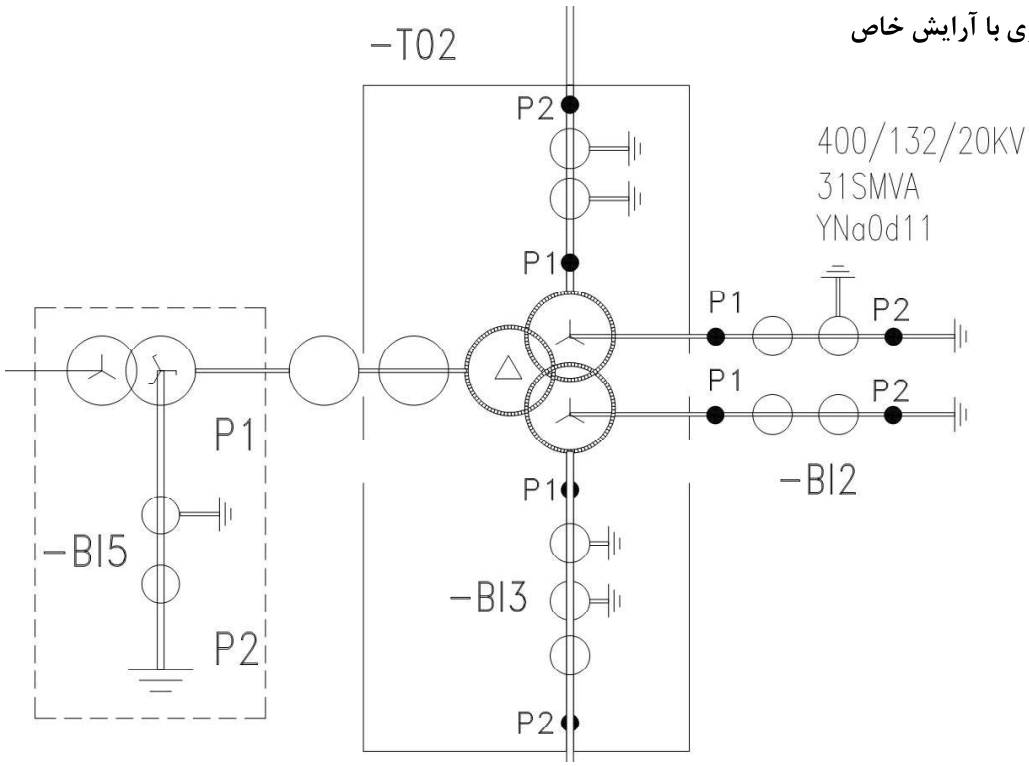


جریان گذرنده از محل نوترال ترانسفورماتور زیگ زاگ تعیین کننده اندازه جریان اتصال کوتاه در شین A است.

محدود کردن جریان اتصال کوتاه در پست‌های فشارقوی.

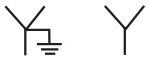
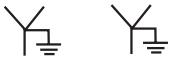
Enermonde, All Rights Reserved

یک پست فشارقوی با آرایش خاص



Enermonde, All Rights Reserved

Table 1. Transformer Connections and Zero Sequence Current

Transformation Primary (Pri.) ← Secondary (Sec.) →	Passes Zero Seq. Current?	Provides a Source for Zero Seq. Current?
	No	No
	No	No
	No	No
	Yes	No
	No	No
	No	Yes (to Sec. only)
	No	Yes (to Pri. only)
	No	No
	No	Yes (to Sec. only)
	Yes	Yes (to Pri. and Sec.)
	Yes	No
	Yes	Yes (to Pri. and Sec.)

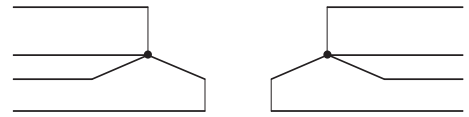
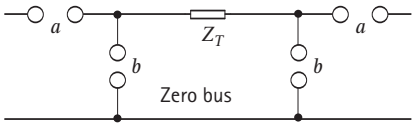
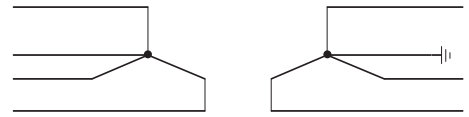
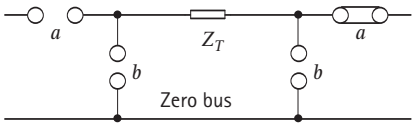
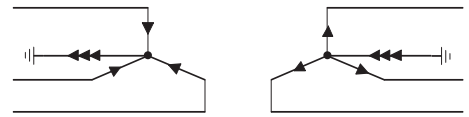
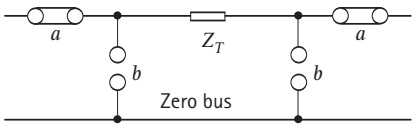
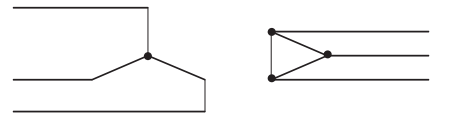
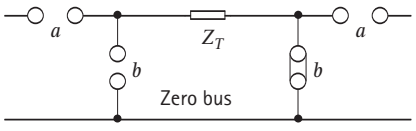
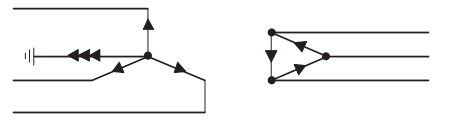
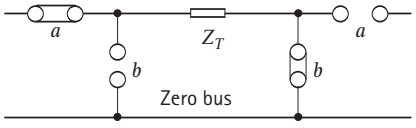
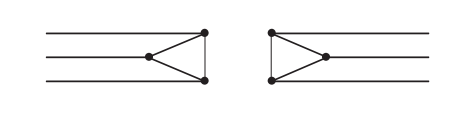
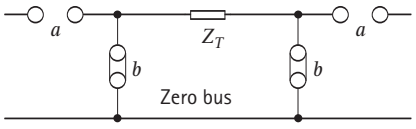
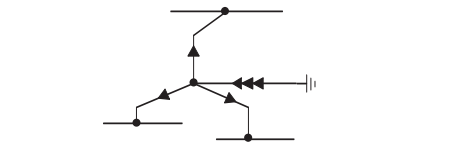
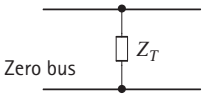
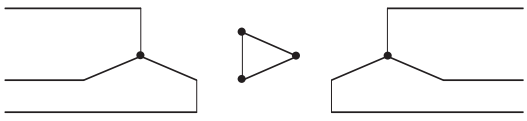
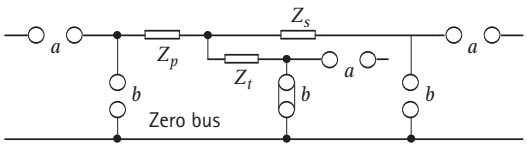
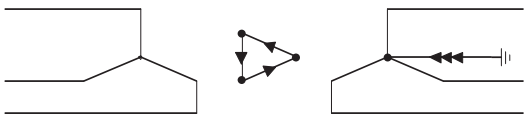
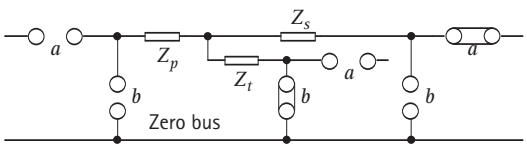
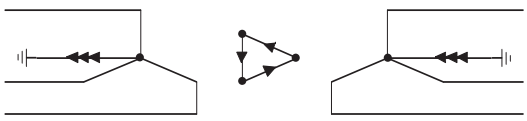
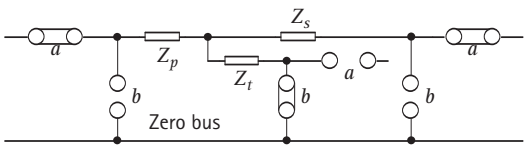
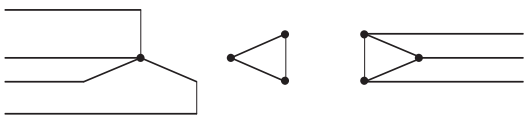
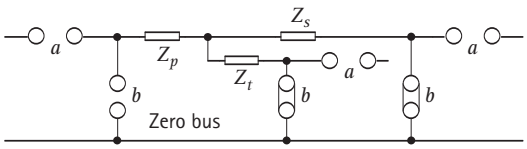
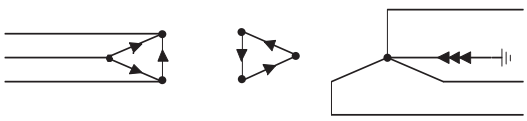
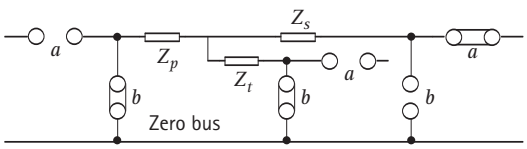
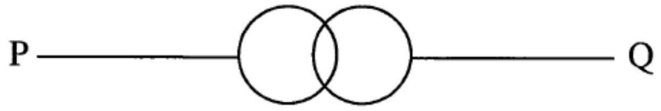
Connections and zero phase sequence currents	Zero phase sequence network
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	

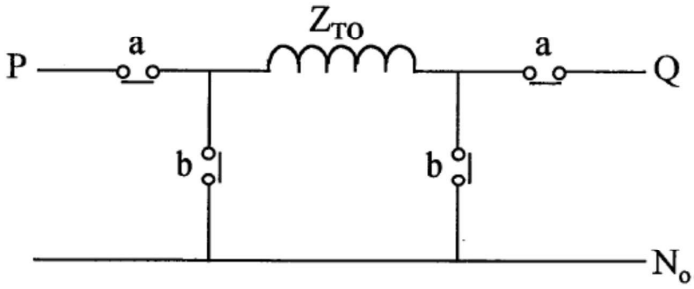
Table 5.3: Zero sequence equivalent circuit connections

مدار معادل مولفه صفر برای ترانسفورماتورهای قدرت



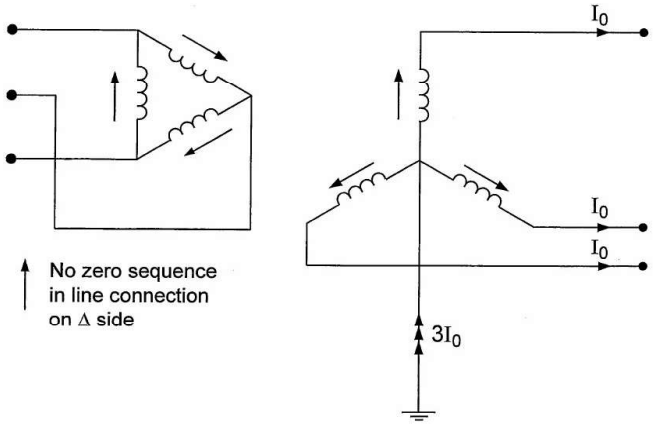
کلید b زمانی بسته میشود که سیم پیچی مثلث وجود داشته باشد. بسته شدن این کلید نشان دهنده ایجاد حلقه بسته در مثلث برای گردش جریان مولفه صفر است.

کلید a زمانی بسته میشود که سیم پیچ ستاره باشد و امکان جاری شدن جریان مولفه صفر وجود داشته باشد.

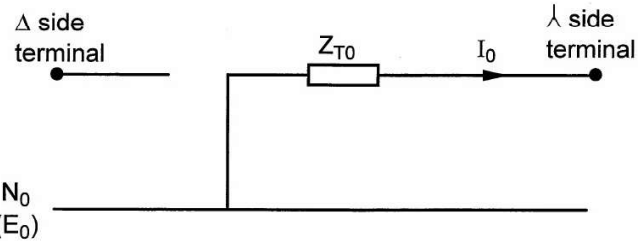


Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

مدار معادل مولفه صفر برای ترانسفورماتورهای قدرت

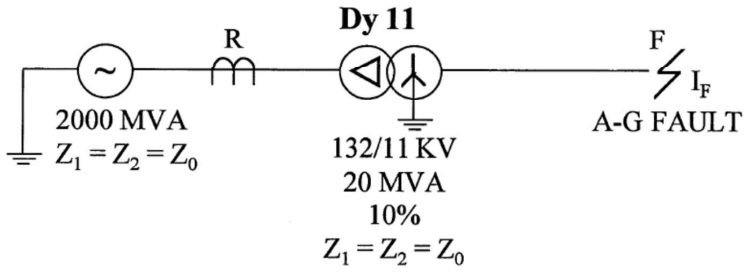


Thus, equivalent single phase zero sequence diagram :-

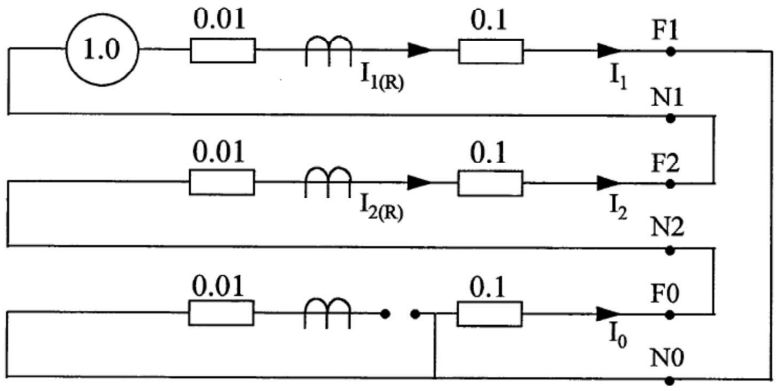


Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

مدار معادل مولفه صفر برای ترانسفورماتورهای قدرت

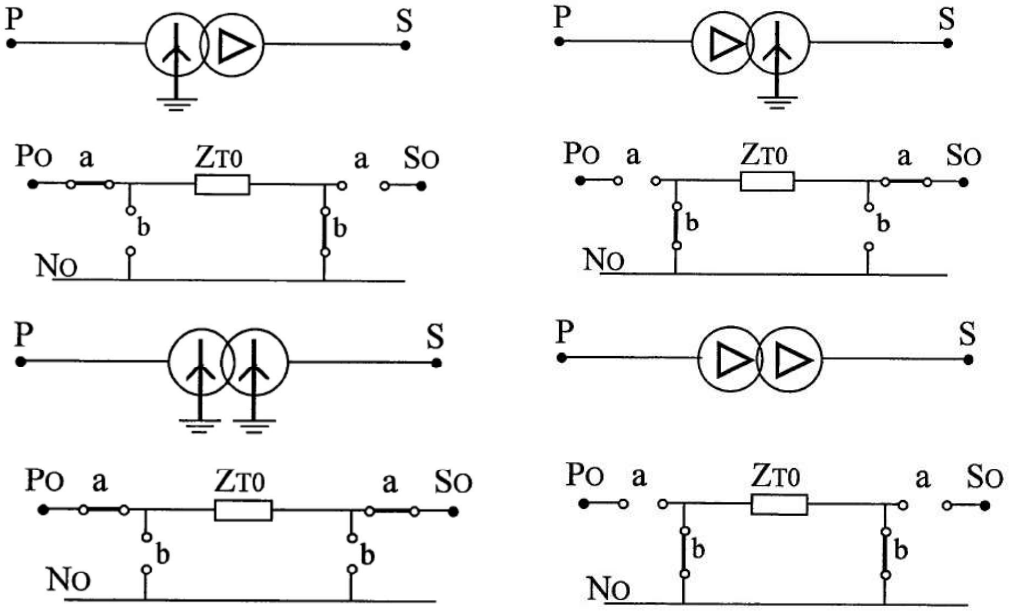


(20 MVA BASE)



Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

مدار معادل مولفه صفر برای ترانسفورماتورهای قدرت



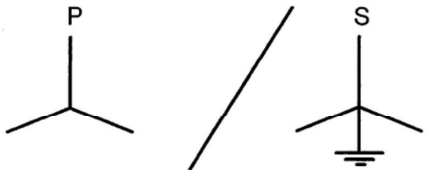
در صورتی که زمین شدن در نقاط دیگر شبکه، اجازه جاری شدن جریان مولفه صفر را از این سیم پیچ بدهد

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

مدار معادل مولفه صفر برای ترانسفورماتورهای قدرت

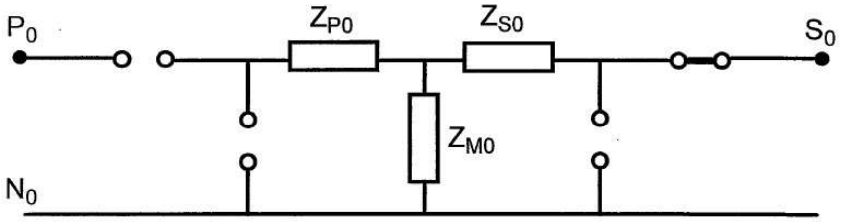
Z_M can be ignored for positive and negative sequence network.

Z_{Mo} cannot be ignored for zero sequence network



Eg:

Zero Sequence Network



Typically:

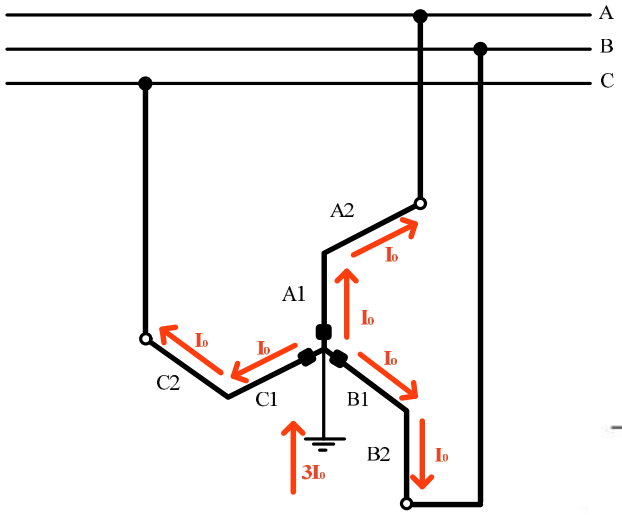
$Z_o = (Z_{So} + Z_{Mo})$ = 50 – 100% for 3-limb core type

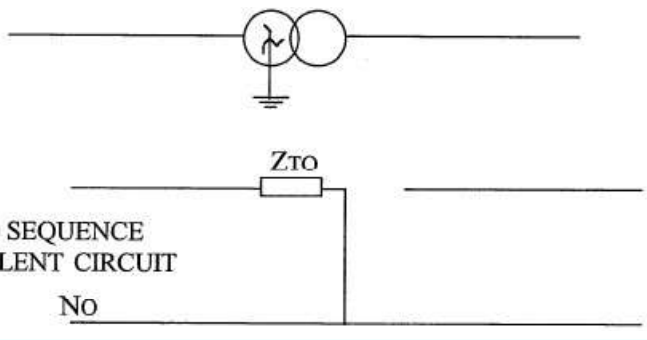
= 100 – 500% for 5-limb core type

(400%) shell type

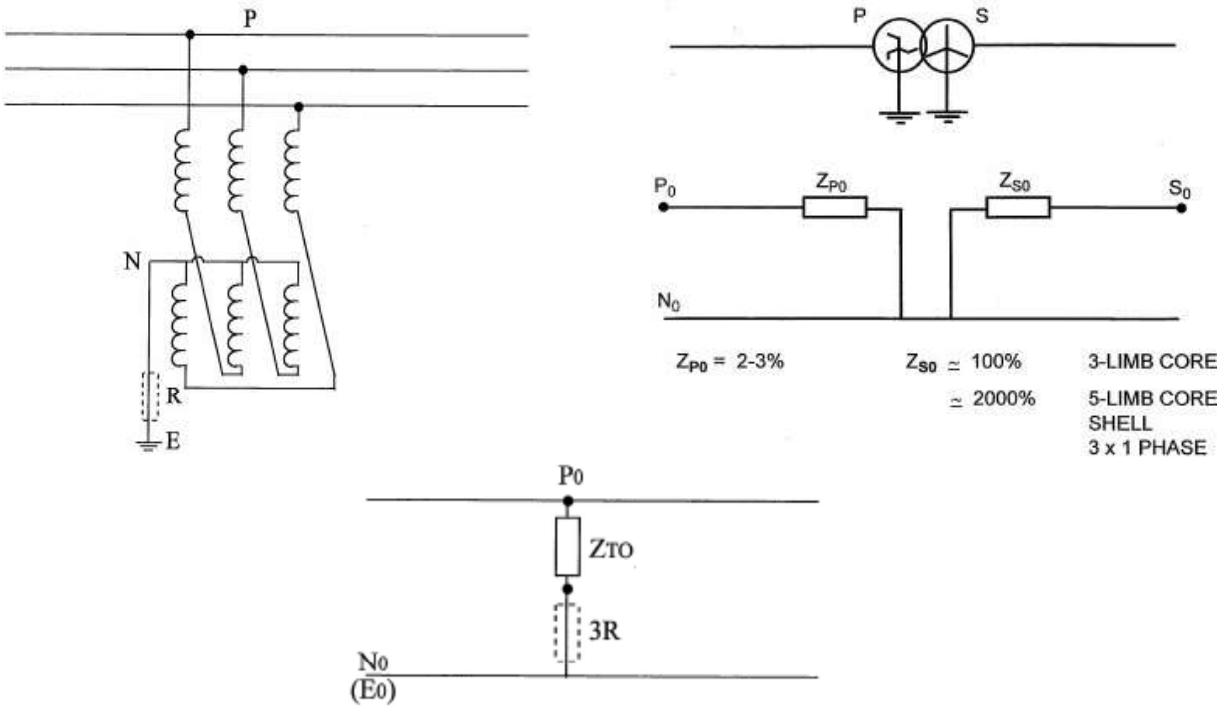
3 x 1 phase units

مدار معادل مولفه صفر برای ترانسفورماتورهای قدرت

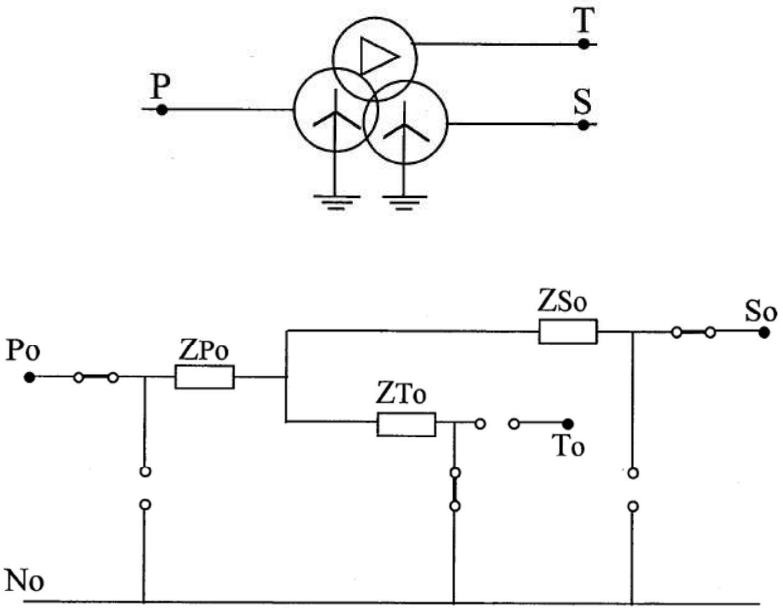




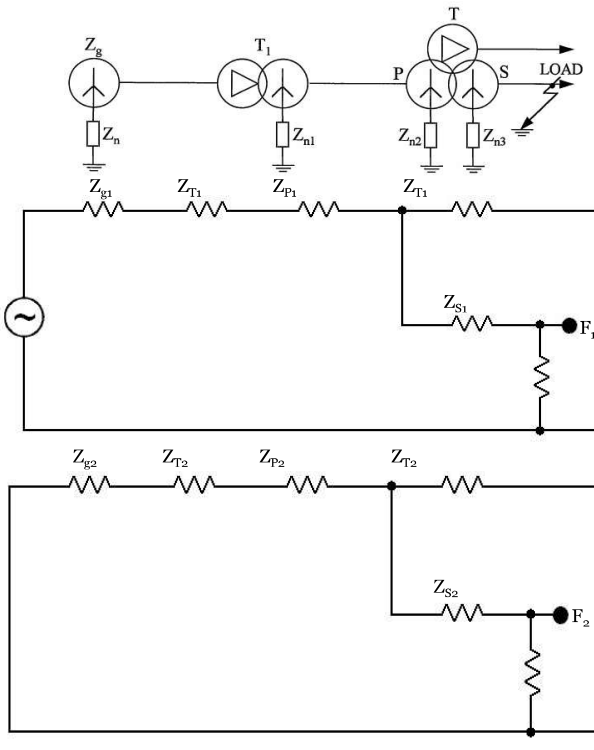
مدار معادل مولفه صفر برای ترانسفورماتورهای قدرت



مدار معادل مولفه صفر برای ترانسفورماتورهای قدرت سه سیم پیچه



مدار معادل مولفه صفر برای ترانسفورماتورهای قدرت

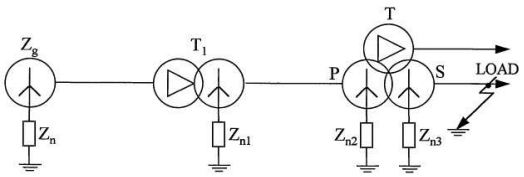


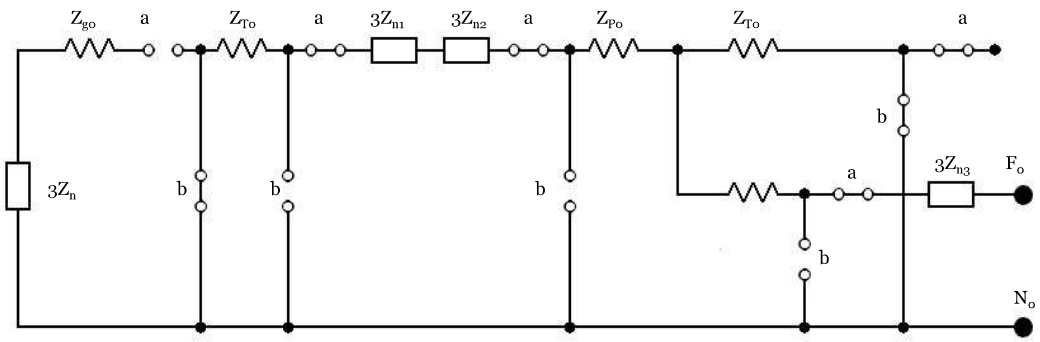
مولفه مثبت

مولفه منفی

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

مدار معادل مولفه صفر برای ترانسفورماتورهای قدرت





مولفه صفر

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

فصل چهارم:

محاسبات اتصال کوتاه بر اساس مولفه‌های متقارن

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

مراحل محاسبه جریان اتصال کوتاه:

۱- یافتن مسیرهای جاری شدن جریان برای مولفه مثبت، مولفه منفی و مولفه صفر

۲- رسم مدار معادل برای خطای رخ داده.

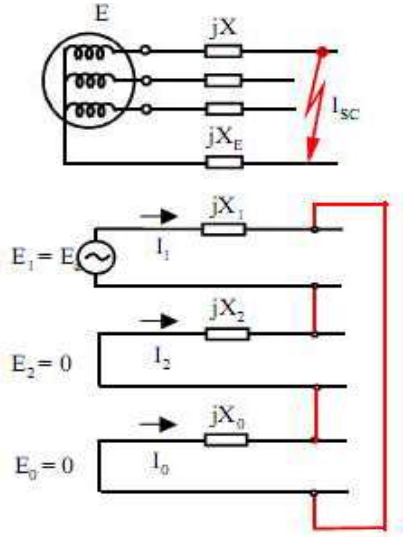
۳- محاسبه امپدانس تجهیزات در یک مبنای مشخص (بر مبنای اهم و یا در مبنای پریونیت معین)

۴- حل مسئله مدار برای مدارهای مولفه های متقارن و یافتن جریان ها و ولتاژهای مولفه مثبت و منفی و صفر

۵- تبدیل مقادیر مولفه های متقارن به مقادیر جاری شده در شبکه.

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

محاسبه جریان اتصال کوتاه در یک خطای تکفاز به زمین



$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_1}{j(X_1 + X_2 + X_0)}$$

$$I_a = I_{SC} = I_1 + I_2 + I_0 = 3 \cdot \frac{E_1}{j \cdot (X_1 + X_2 + X_0)}$$

$$I_{SC} = 3 \cdot \frac{E_1}{j \cdot (X + X + X + 3 \cdot X_E)}$$

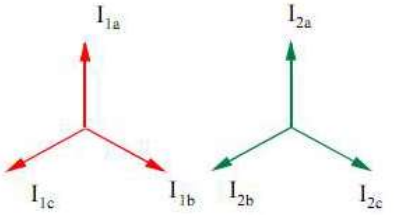
$$I_{SC} = \frac{E}{j \cdot (X + X_E)}$$

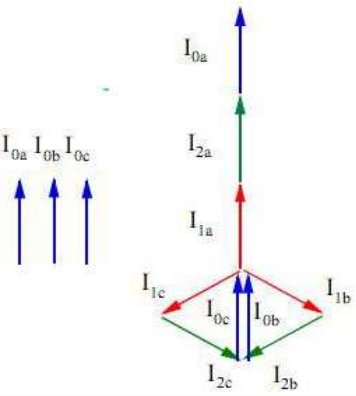
$$I_b = I_c = 0$$

$$U_1 = E_1 - I_1 \cdot X_1$$

$$U_2 = 0 - I_2 \cdot X_2$$

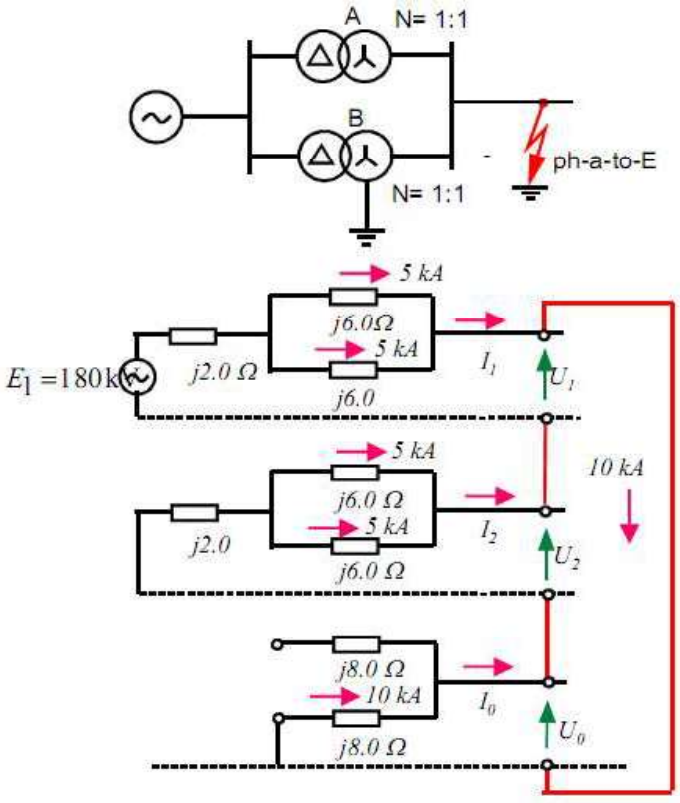
$$U_0 = 0 - I_0 \cdot X_0$$





Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

ولتاژ مولفه های صفر و مثبت و منفی در خطای تکفاز به زمین



$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{180}{2 \cdot \left(j2 + \frac{j6}{2} \right) + j8} = -j10 \ kA$$

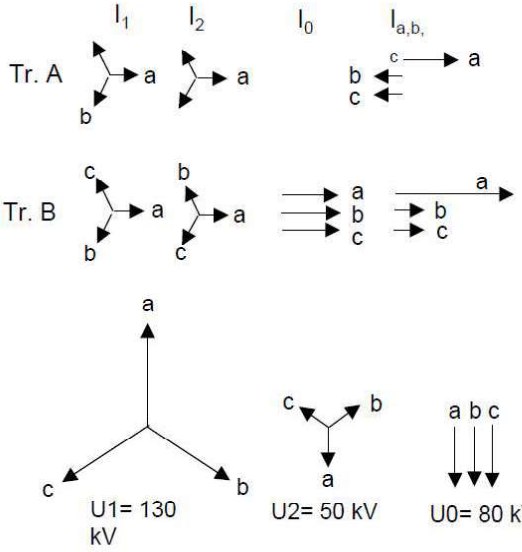
$$U_1 = E_1 - Z_1 \cdot I_1 = 180 - (j2 + j\frac{6}{2}) \cdot (-j10) = 130 \ kV$$

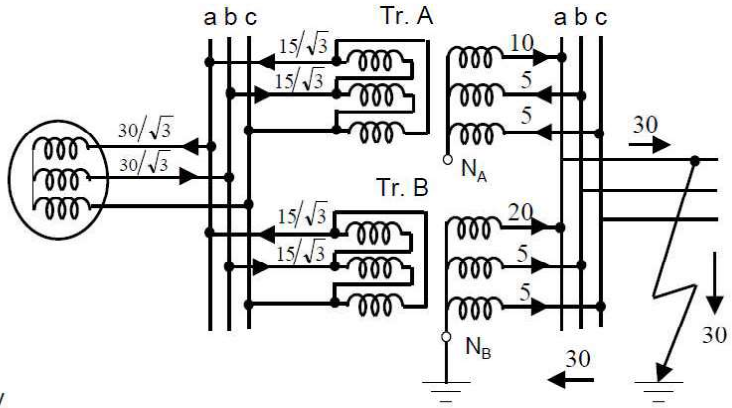
$$U_2 = 0 - Z_2 \cdot I_2 = 0 - (j2 + j\frac{6}{2}) \cdot (-j10) = -50 \ kV$$

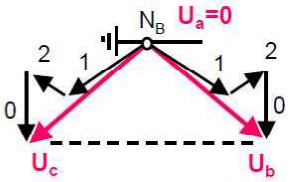
$$U_0 = 0 - Z_0 \cdot I_0 = 0 - j8 \cdot (-j10) = -80 \ kV$$

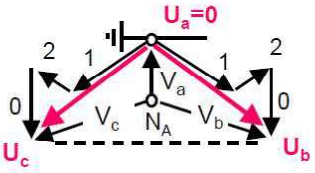
Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

تقسیم جریان بین ترانسفورماتورها در مدار







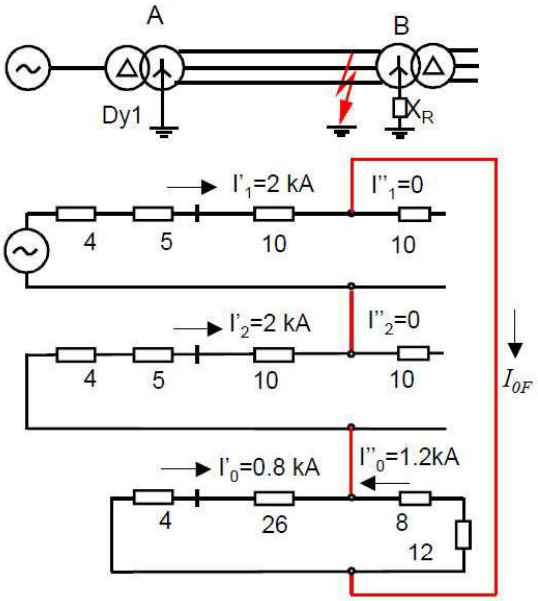


Transformer winding voltages

Transf. A	Transf. B
V_a= 80 kV	V_a= 0
V_b= 160 kV	V_b= 197 kV
V_c= 160 kV	V_c= 197 kV

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

مثال:



Generator: X_1= 4 Ω ----
Transformer A: X_1= 5 Ω X_0= 4 Ω
OH-line: X_1= 10 Ω X_0= 26 Ω
Transformer B: X_1= 10Ω X_0= 8 Ω
Neutral reactance: X_R= 4 Ω

$$I_{0F}=\frac{173/\sqrt{3}}{2\cdot(4+5+10)+\frac{(4+26)\cdot(8+12)}{(4+26)+(8+12)}}=2\ \text{kA}$$

$$I_0^{'}=\frac{8+12}{4+26+8+12}\cdot 20=0.8\ \text{kA}$$

$$I_0^{''}=\frac{4+26}{4+26+8+12}=1.2\ \text{kA}$$

$$I_a^{'}=2+2+0.8=4.8\ \text{kA}$$

$$I_b^{'}=a^2\cdot 2+a\cdot 2+0.8=-1.2\ \text{kA}$$

$$I_c^{'}=a\cdot 2+a^2\cdot 2+0.8=-1.2\ \text{kA}$$

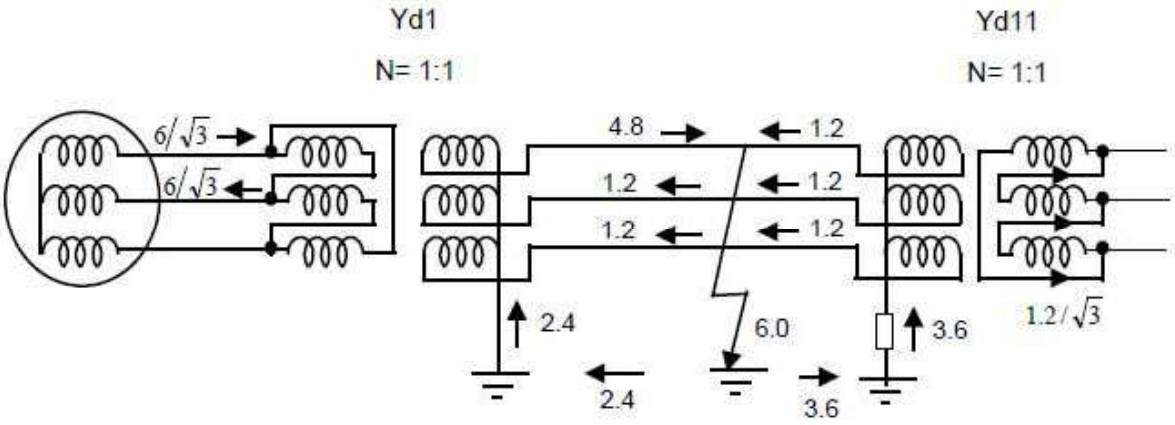
$$I_a^{''}=0+0-1.2=-1.2\ \text{kA}$$

$$I_b^{''}=0+0-1.2=-1.2\ \text{kA}$$

$$I_c^{''}=0+0-1.2=-1.2\ \text{kA}$$

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

مثال (ادامه):



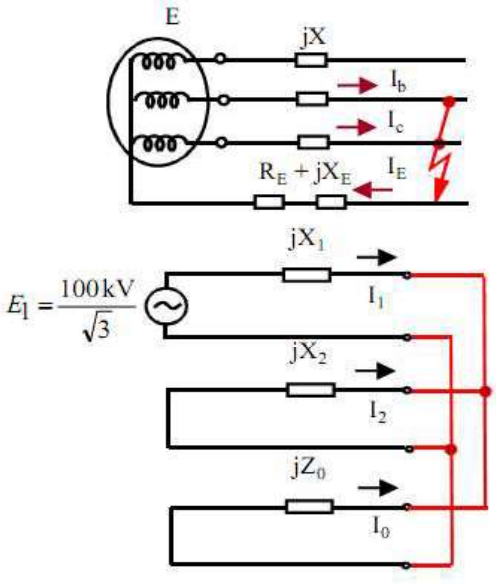
Generator currents:

$$I_1''' = I_1' \cdot e^{-j\cdot 30^O} = 2\cdot e^{-j\cdot 30^O} \text{ kA}$$
$$I_2''' = I_2' \cdot e^{+j\cdot 30^O} = 2\cdot e^{+j\cdot 30^O} \text{ kA}$$
$$I_0''' = 0$$

$$I_a''' = 2\cdot e^{-j\cdot 30^O} + 2\cdot e^{+j\cdot 30^O} = -\sqrt{3}\cdot 2 = +6/\sqrt{3} \text{ kA}$$
$$I_b''' = a^2\cdot 2\cdot e^{-j\cdot 30^O} + a\cdot 2\cdot e^{+j\cdot 30^O} = -\sqrt{3}\cdot 2 = -6/\sqrt{3} \text{ kA}$$
$$I_c''' = a\cdot 2\cdot e^{-j\cdot 30^O} + a^2\cdot 2\cdot e^{+j\cdot 30^O} = 0$$

Enermonde, All Rights Reserved

محاسبه جریان اتصال کوتاه در یک خطای اتصال کوتاه دو فاز به زمین



$$j\cdot X_1 = j\cdot X = j\cdot 3\Omega$$
$$j\cdot X_2 = j\cdot X = j\cdot 3\Omega$$
$$Z_0 = j\cdot X + 3\cdot Z_E = 4.5 + j\cdot 6\Omega$$

$$I_1 = \frac{E_1}{j\cdot X_1 + \frac{j\cdot X_2\cdot Z_0}{j\cdot X_2 + Z_0}} = \frac{100/\sqrt{3}}{j\cdot 3 + \frac{j\cdot 3\cdot(4.5+j\cdot 6)}{(4.5+j\cdot 9)}} = 0.85 - j\cdot 11.03 \text{ kA}$$

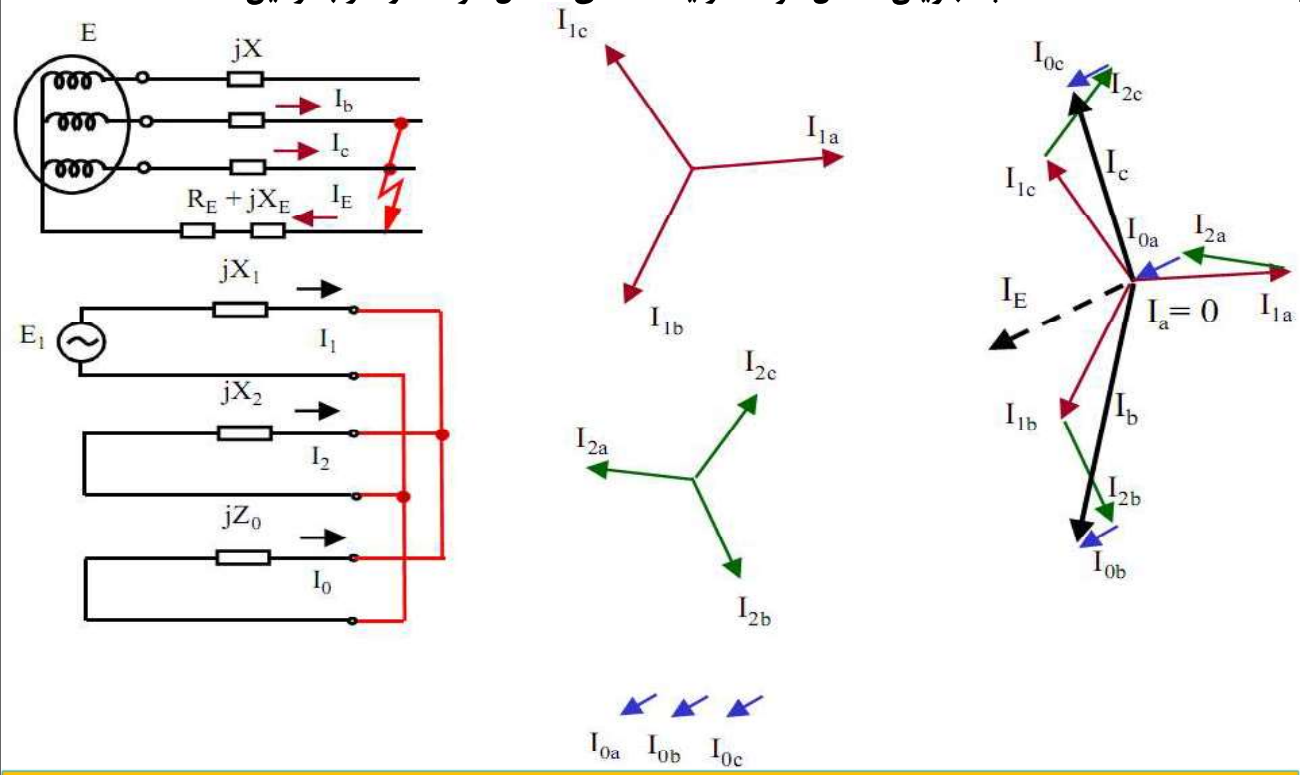
$$I_2 = -I_1\cdot\frac{Z_0}{j\cdot X_2 + Z_0} = -(0.85 - j\cdot 11.03)\cdot\frac{4.5+j\cdot 6}{4.5+j\cdot 9} = 0.84 + j\cdot 8.20 \text{ kA}$$

$$I_0 = -I_1\cdot\frac{j\cdot X_2}{j\cdot X_2 + Z_0} = -(0.85 - j\cdot 11.03)\cdot\frac{j\cdot 3}{4.5+j\cdot 9} = -1.69 + j\cdot 2.83 \text{ kA}$$

$$I_a = 0$$
$$I_b = a^2\cdot I_1 + a\cdot I_2 + I_0 = -19.19 + j\cdot 4.24 \text{ kA}$$
$$I_c = a\cdot I_1 + a^2\cdot I_2 + I_0 = 14.11 + j\cdot 4.25 \text{ kA}$$
$$I_E = 3\cdot I_0 = 3\cdot(-1.69 + j\cdot 2.83) = -5.07 + j\cdot 8.49 \text{ kA}$$

Enermonde, All Rights Reserved

محاسبه جریان اتصال کوتاه در یک خطای اتصال کوتاه دو فاز به زمین



Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

فصل پنجم:

مقدارهای عمومی برای امپدانس تجهیزات مختلف

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

هدف:

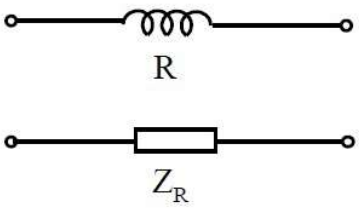
آشنایی با نحوه محاسبه امپدانس مولفه های متقارن شامل مولفه مثبت، مولفه منفی و مولفه صفر در تجهیزات مختلف شبکه

تجهیزات شبکه شامل موارد زیر:

۱- راکتور
۲- بانک خازنی
۳- ترانسفورماتور قدرت
۴- ژنراتور
۵- خط انتقال
۶- کابل فشارقوی

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

امپدانس راکتور و خازن سری



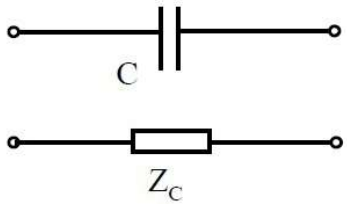
$$Z_R \approx X_R = \frac{u_{N-R}}{100\%} \cdot \frac{U_{N-R}}{\sqrt{3} \cdot I_{N-R}} = \frac{u_{N-R}}{100\%} \cdot \frac{U_{N-R}^2}{Q_{N-R}}$$

u_{N-R} : voltage drop at rated current in %

U_{N-R}: rated voltage

I_{N-R}: rated current

Q_{N-R}: rated reactive power



$$Z_C \approx X_C = \frac{Q_{N-C}}{3 \cdot I_{N-C}^2}$$

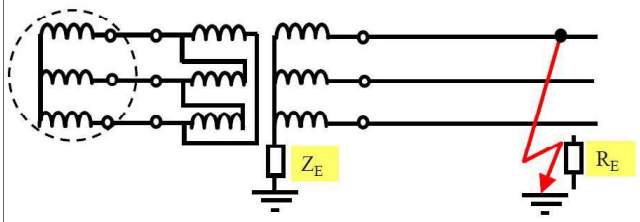
Q_{N-C} : rated reactive power (three-phase)

I_{N-C} : rated current

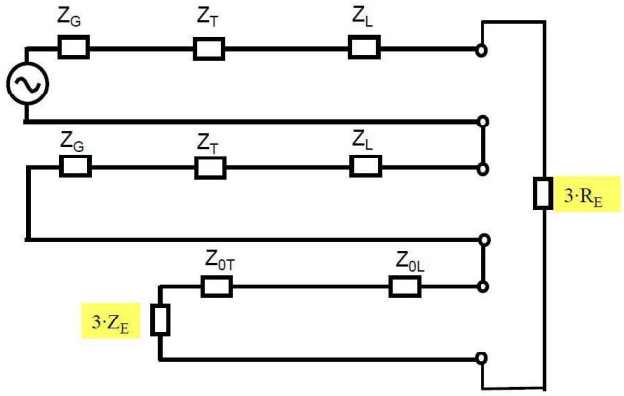
Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

امپدانس اجزای شبکه

3-phase equivalent circuit



Symmetrical component circuit (1-ph-E fault)



Electrical machines:
Generators and motors have different positive and negative sequence impedances. The zero-sequence impedance is very low.

Transformers:
Zero-sequence impedance depends on

•construction (3- or 5-limb type, separate transformers per phase)

•winding connections

•neutral earthing

Delta-winding short-circuits (limits) zero-sequence system

Line impedances depend on tower construction (conductor distances) and conductor diameter. Zero-sequence impedances depend additionally on cross section and and arrangement of OH earth wires.

Cables
Impedances depend on construction.
Zero-sequence impedance is influenced shields and parallel conductors (rails, pipes, etc. and cannot be exactly calculated but have to be measured.

Enermonde, All Rights Reserved

امپدانس ژنراتورهای بزرگ

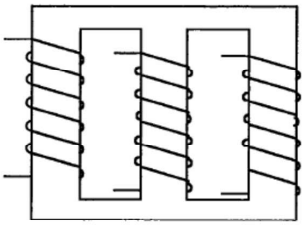
Type of machine		Turbo-generator	Salient-pole generator with damper winding	Salient-pole generator without damper winding
Subtransient reactance	x_d'' (%)	9 to 32	14 to 32	22 to 40
Transient reactance	x_d' (%)	14 to 45	20 to 36	22 to 40
Synchronous reactance	x_d (%)	120 to 300	75 to 140	75 to 140
Negative sequence react.	x_2 (%)	9 to 32	14 to 27	36 to 63
Zero sequence reactance	x_0 (%)	2 to 20	3 to 23	4 to 30
Subtransient time constant	T_d'' (s)	0.02 to 0.05	0.02 to 0.05	---------
Transient time constant	T_d' (s)	0.4 to 1.8	0.7 to 2.5	0.7 to 2.5
d.c. time constant	T_{dc} (s)	0.07 to 1.0	0.1 to 0.4	0.15 to 0.5

Enermonde, All Rights Reserved

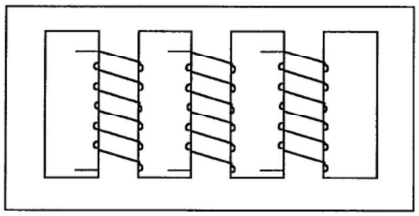
ساختارهای مختلف ترانسفورماتور

۱- سه ترانسفورماتور تک فاز

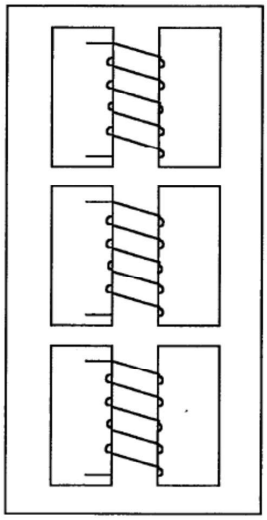
۲- ترانسفورماتور سه ساق



۳- ترانسفورماتور پنج ساق

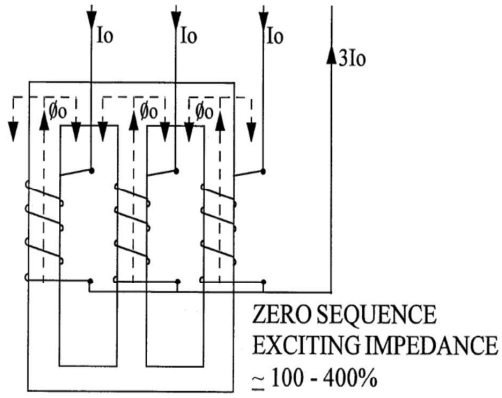


۴- ترانسفورماتور نوع زرهی Shell type

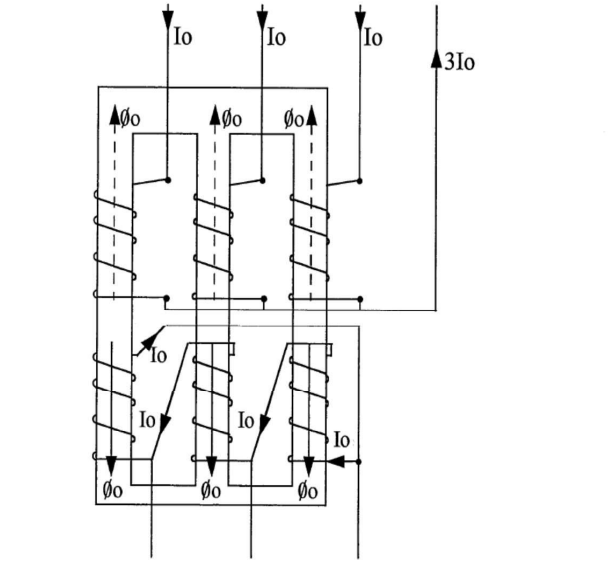


Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

ساختارهای مختلف ترانسفورماتور



ترانسفورماتور سه ساق



ZERO SEQUENCE IMPEDANCE = LEAKAGE IMPEDANCE
≃ 5 - 10%

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

امپدانس ترانسفورماتور قدرت

Rated power	Ratio	Short-circuit voltage	No-load magnetizing current
MVA	kV/kV	% UN	% In
850	850/21	17	0.2
600	400/230	18.5	0.25
300	400/120	19	0.1
300	230/120	24	0.1
40	110/11	17	0.1
16	30/10.5	8.0	0.2
6.3	30/10.5	7.5	0.2
0.63	10/0.4	4.0	0.15

Enermonde, All Rights Reserved

امپدانس ترانسفورماتور قدرت با سیم پیچ ستاره–مثلث

Core	3-limbed			5-limbed		
Connection	Ynd			Ynd		
U_N (kV)	123	145 to 245	300 to 420	123	245	420
S_N (MVA)	50 to 350	50 to 350	100 to 350	330	440 to 1000	270 to 1000
$u_{T\text{-}ps}$ (%)	13 to 14	13 to 16	12 to 16	16.5	14.5 to 17.5	14 to 18
$u_{R\text{-}ps}$ (%)	0.2 to 0.4	0.2 to 0.4	0.2 to 0.35	0.22	0.2 to 0.25	0.2 to 0.27
$(X_0 / X_1)_p$	0.85 to 1.0	0.85 to 1.0	0.85 to 0.95	≈1	≈1	≈1
$(R_0 / R_1)_p$	1.5 to 2.8	1.3 to 2.9	1.8 to 2.0	1.1	1.0 to 1.1	1.0 to 1.1

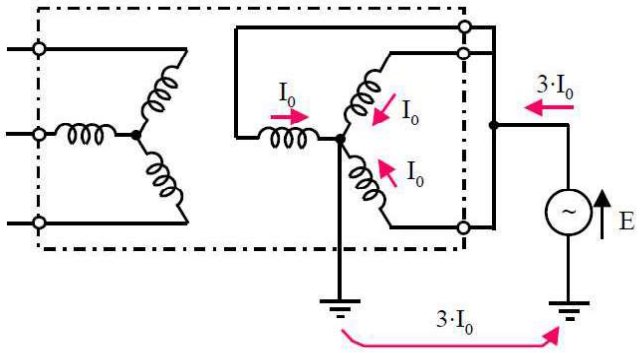
Enermonde, All Rights Reserved

امپدانس ترانسفورماتور قدرت با سیم پیچ ستاره-مثلث و یا سیم پیچی زیگ زاگ

Core	3-limbed			
Connection	Yzn		Dyn	
U_N (kV)	3.6 to 24	3.6 to 36	3.6 to 24	3.6 to 36
S_N (MVA)	< 250	<250	250 to 630	250 to 1600
u_T (%)	4	6	4	6
u_R (%)	2.15 to 1.5	2.3 to 2.0	1.65 to 2.05	1.8 to 1.25
$(X_0 / X_1)_s$	0.07 to 0.11	0.10 to 0.09	0.95 to 1.0	0.95 to 1.0
$(R_0 / R_1)_s$	0.45 to 0.54	0.56 to 0.57	1.2 to 1.8	1.2 to 1.8

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

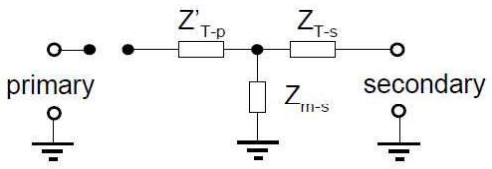
مدار معادل مولفه صفر به صورت دقیق و تقریبی



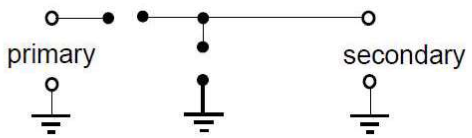
$Z_{T\text{-}s}$: leakage reactance of transformer secondary winding

$Z'_{T\text{-}p}$: leakage reactance of transformer primary winding, related to secondary side

$Z_{m\text{-}s}$: transformer magnetising impedance related to secondary side



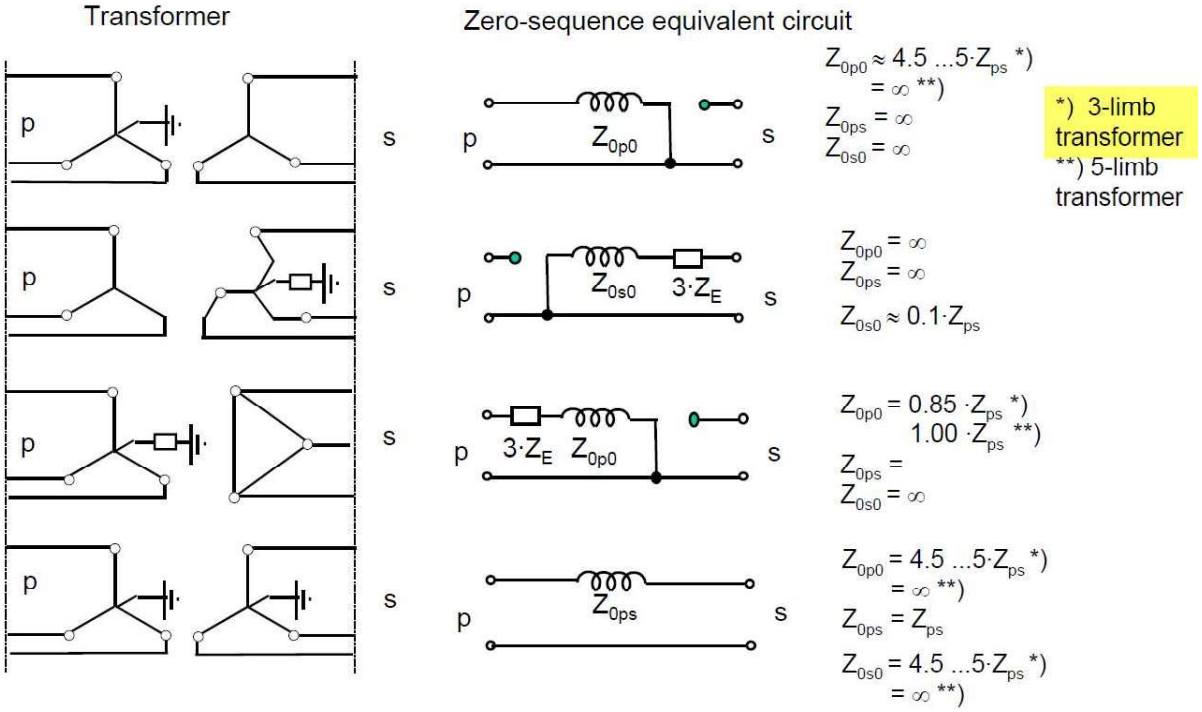
Complete equivalent circuit



simplified equivalent circuit

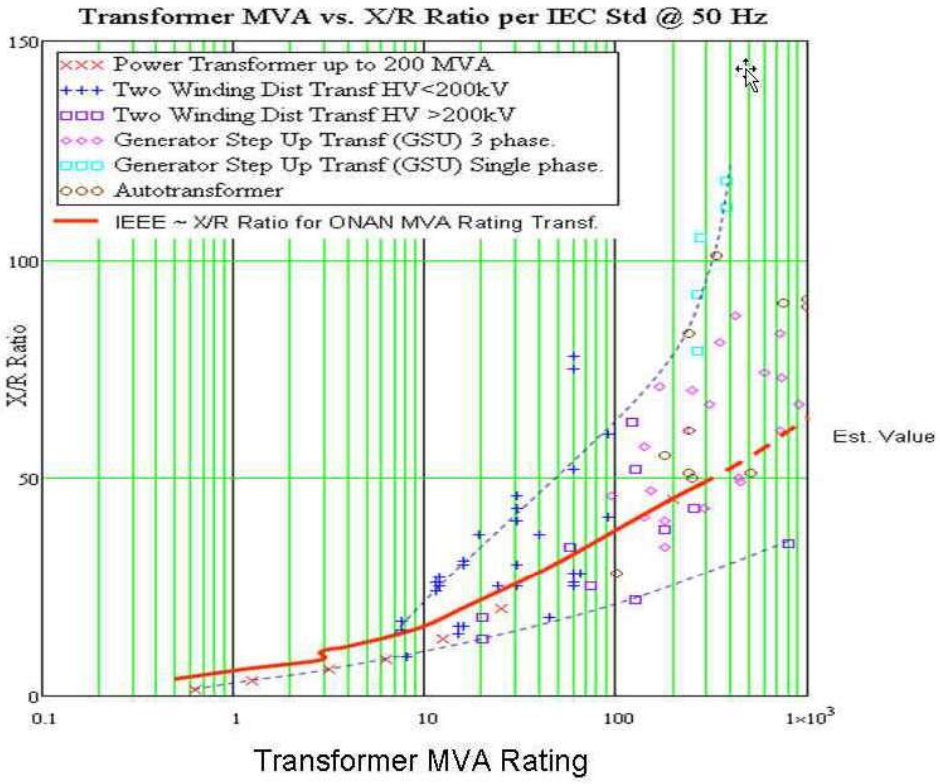
Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

اندازه امپدانس مولفه صفر در آرایش ها و سیم پیچ های مختلف



Enermonde, All Rights Reserved

امپدانس ترانسفورماتور: نسبت X/R



Enermonde, All Rights Reserved

X/R Ratios

TABLE 8B

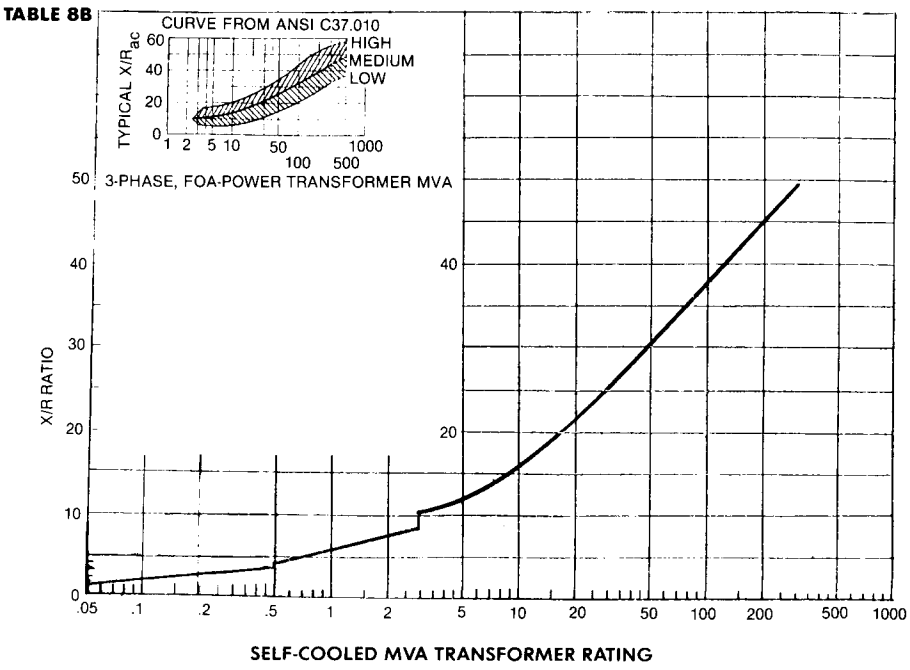
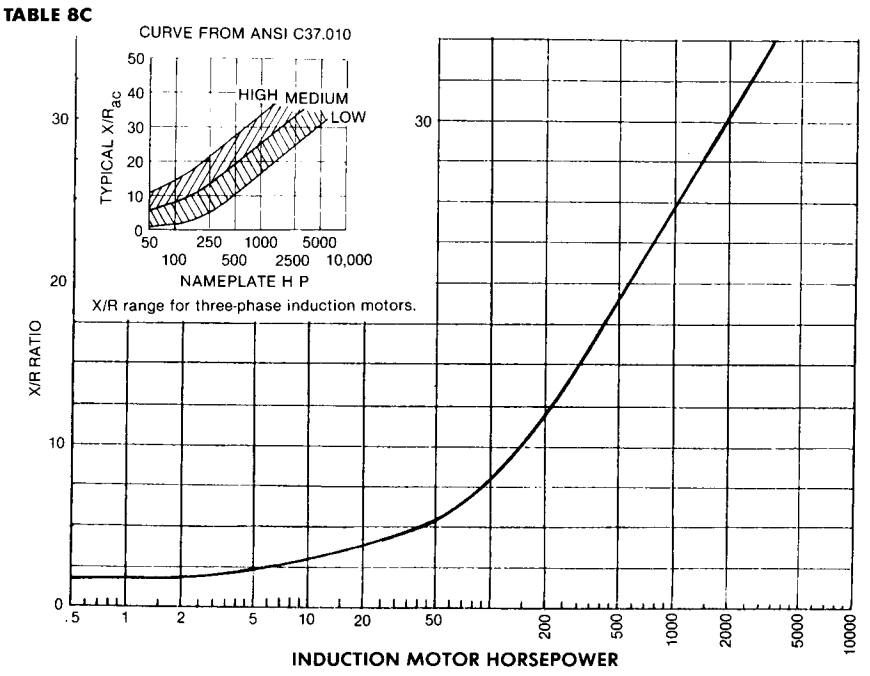
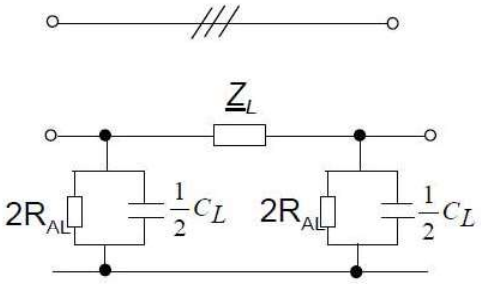


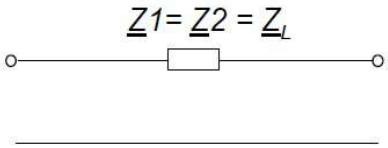
TABLE 8C



امپدانس کابل و خط انتقال

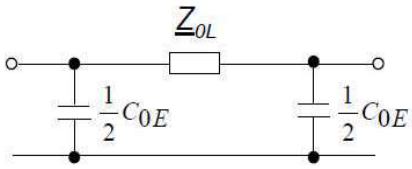


مدار معادل π برای خط یا کابل



مدار معادل ساده شده برای مولفه مثبت و منفی

$$\underline{Z}_L = R_L + j \cdot X_L = l \cdot R'_L + j \cdot l \cdot X'_L$$



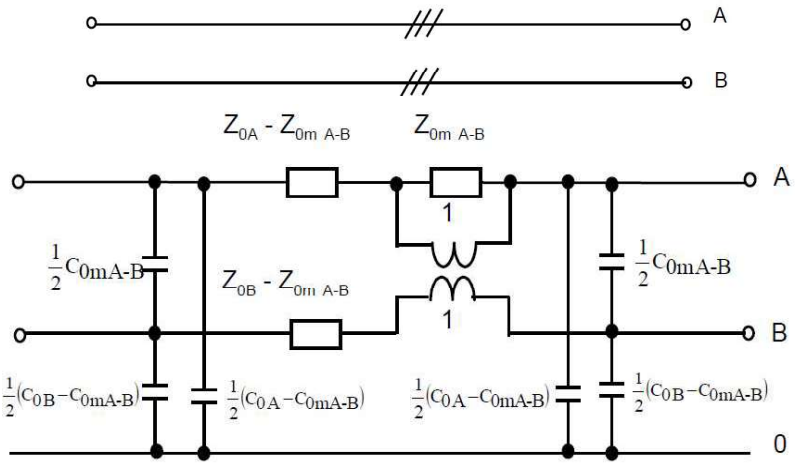
مدار معادل ساده شده برای مولفه صفر

$$\underline{Z}_{0L} = R_{0L} + j \cdot X_{0L} = l \cdot R'_{0L} + j \cdot l \cdot X'_{0L}$$

ظرفیت خازنی تنها برای شبکه زمین نشده یا با امپدانس بالا زمین شده مورد نظر قرار میگیرد که نیاز به حفاظت حساس دارد

Enermonde, All Rights Reserved

امپدانس خط انتقال موازی



$Z_{0\ A}$ and $Z_{0\ B}$:	zero-sequence self impedance (parallel circuit open)
$C_{0\ A}$ and $C_{0\ B}$:	zero-sequence impedance with parallel circuit switched off and earthed
$Z_{0m\ A-B}$:	mutual zero-sequence impedance
$C_{0m\ A-B}$:	mutual zero-sequence capacitance
1 : 1 :	ideal transformer

Enermonde, All Rights Reserved

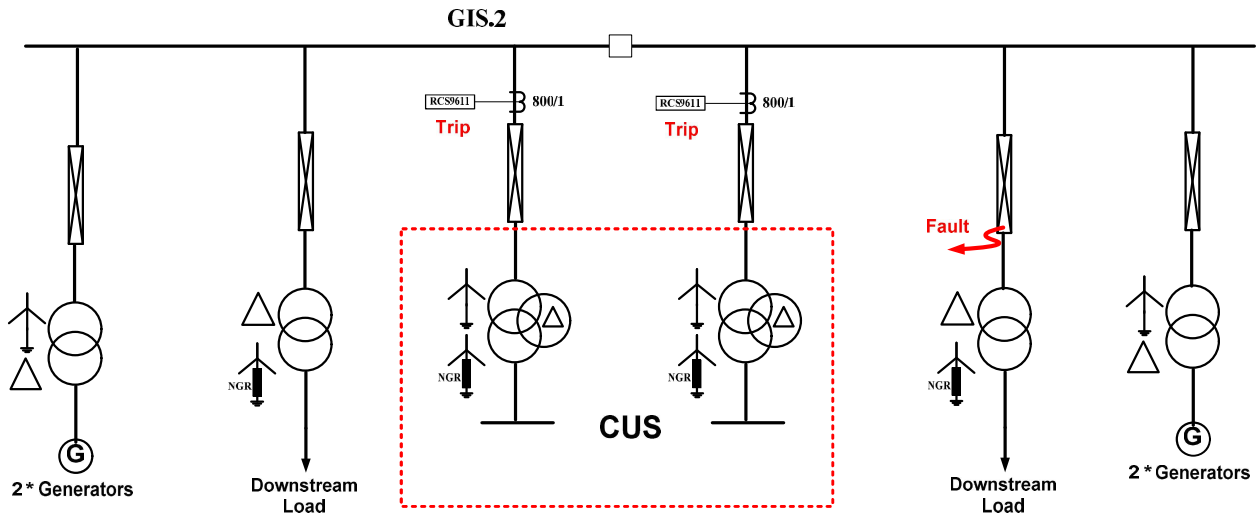
فصل هفتم:

چند نمونه از عملکرد سیستم حفاظتی در خطای تکفاز به زمین

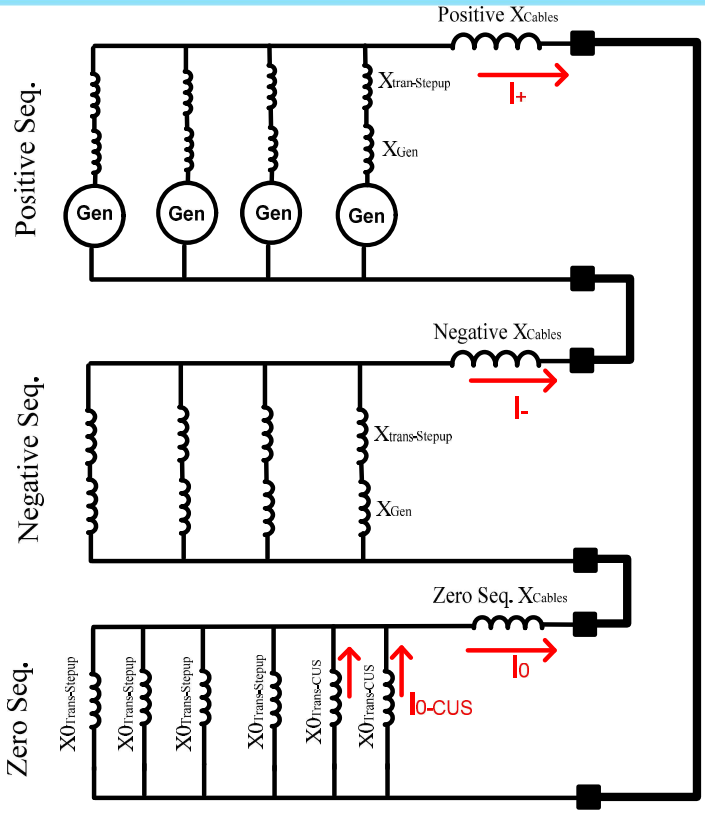
Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

شبکه صنعتی و عملکرد رله حفاظت زمین در خطای فیدر دیگر

تحلیل چرایی عملکرد رله **Earth Fault** در فیدر غیرمرتبط با خطا



Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company



مراحل استخراج تنظیمات رله های جریان زیاد و فاز و Earth Fault:

۱- ترسیم مدار معادل برای خطای زمین.

۲- شناسایی مسیرهای تغذیه کننده خطا.

۳- محاسبه جریان خطا در نقطه مورد نظر (محاسبه جریان مولفه صفر برای حفاظت **Earth Fault**).

۴- در نظر گرفتن ملاحظات برای بار فیدر.

۵- در نظر گرفتن ملاحظات هماهنگی با حفاظت های پایین دست (در صورت وجود).

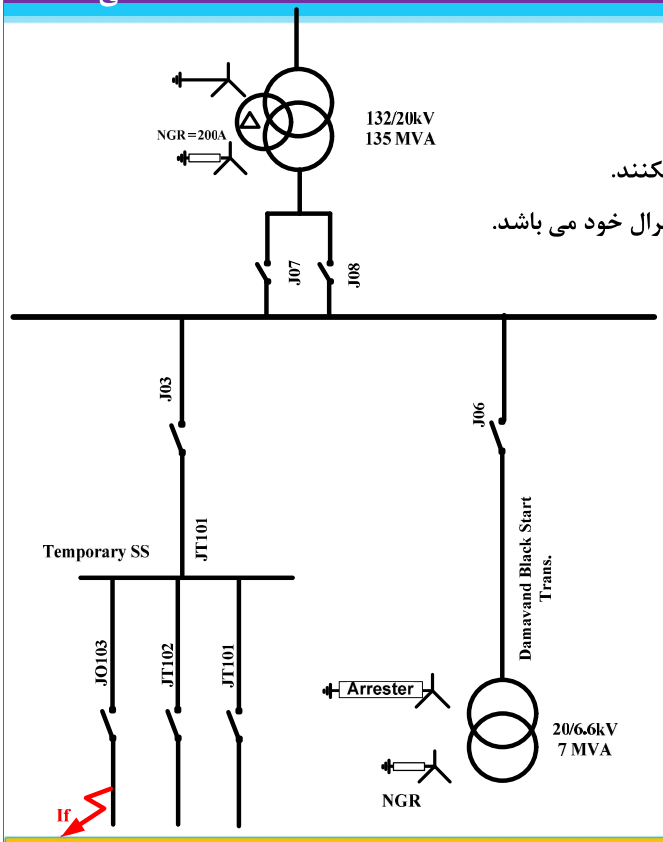
۶- محاسبه تنظیمات با توجه به ترانسفورماتور جریان و تیپ رله.

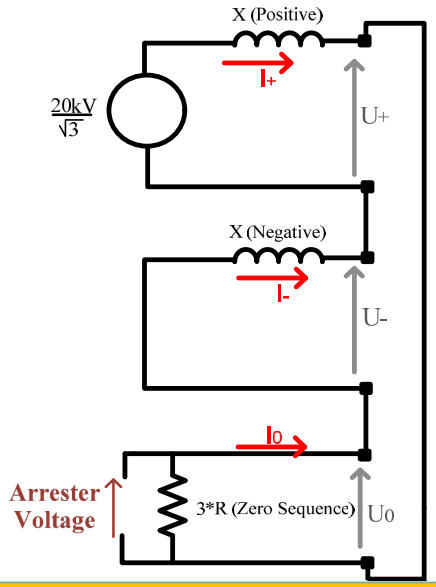
مثالی از عملکرد رله حفاظت ارت فالت در فیدر J06.

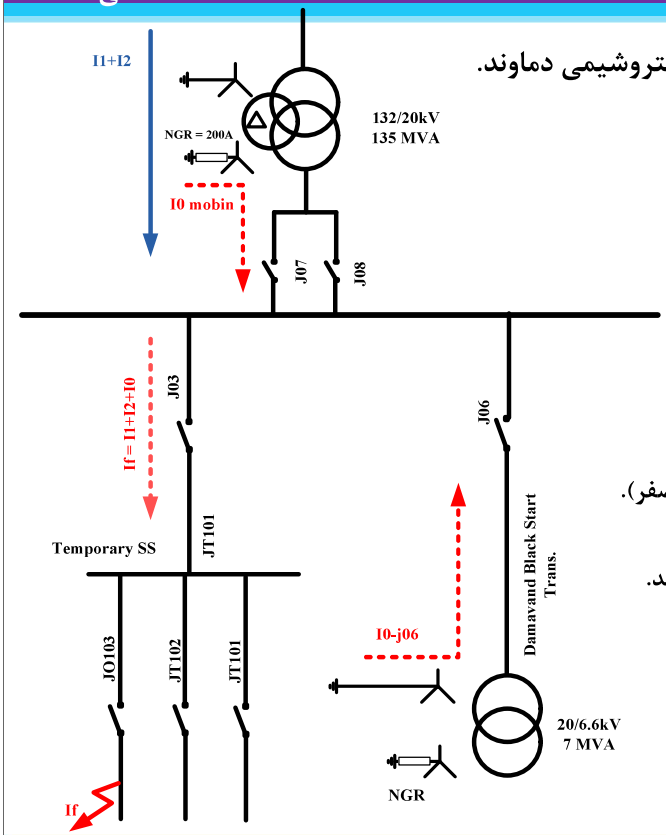
۱- خطای اتصال کوتاه در فیدرهای خروجی رخ می دهد.

۲- رله فیدر مربوطه و فیدر **J06** به صورت همزمان عمل میکنند.

۳- ترانسفورماتور فیدر **J06** دارای یک برقگیر در محل نوترال خود می باشد.







مثالی از عملکرد رله حفاظت ارت فالت در فیدر J06 پتروشیمی دماوند.

۱- خطای اتصال کوتاه در فیدرهای خروجی رخ می دهد.

۲- ولتاژ نوتراز جابجا میشود و مقدار می یابد.

۳- مقدار ولتاژ نوتراز بیشتر از مقدار نامی برقگیر می شود.

۴- برقگیر عمل کرده و شبکه در فیدر J06 نیز زمین میشود.

۵- ترانس فیدر J06 نیز خطا را تغذیه میکند (جریان مولفه صفر).

۶- رله فیدر J06 جریان را احساس کرده و کلید را باز می کند.

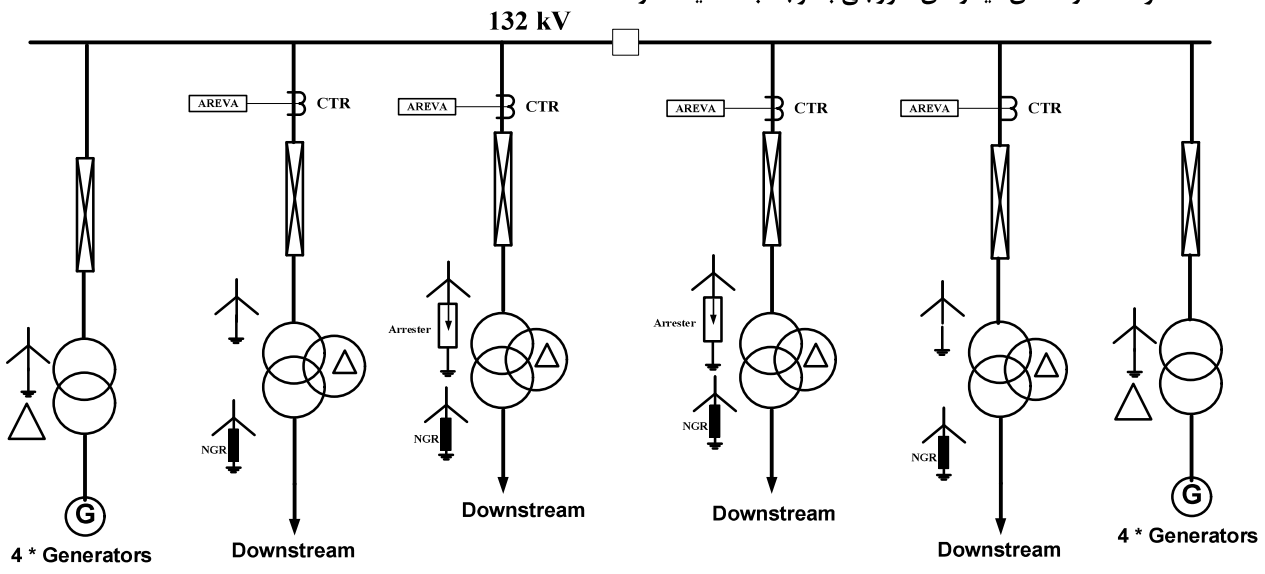
Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

بررسی اجمالی شبکه پتروشیمی در سطح ۱۳۲ کیلوولت از نظر وقوع اتصال کوتاه تکفاز به زمین:

۱- وقوع خطا در یکی از فیدرهای خروجی. ۲- در صورت عملکرد برقگیر، جاری شدن جریان در همه فیدرها.

۳- افزایش جریان اتصال کوتاه در شین (به بیشتر از مقدار نامی شین).

۴- عملکرد همه رله های فیدرهای خروجی با توجه به تنظیمات رله



Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company Nov. 2024

فصل هفتم:

محدود کردن جریان اتصال کوتاه

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

محدود کردن جریان اتصال کوتاه

– با توجه به توسعه شبکه ها و افزایش تقاضا برای انرژی، افزایش تعداد نیروگاه های جدید و افزایش خطوط انتقال انـرژی امری لازم و ضروری است.

– با افزایش تعداد نیروگاه ها و خطوط انتقال انرژی، اندازه جریان اتصال کوتاه در شبکه افزایش می یابد.

– با افزایش سطح اتصال کوتاه، باید تجهیزات قدیمی شبکه نیز توسعه یابند و در صورت عدم تحمل جریان اتصال کوتاه، باید نسبت به تعویض آنها اقدام کرد.

– هزینه های هنگفت ناشی از تعویض تجهیزات، الزاماتی را برای کاهش جریان اتصال کوتاه (در حضور نیروگاه ها و خطوط انتقال جدید) به همراه می آورد.

– قابل توجه است که هر یک از روش های کاهش جریان اتصال کوتاه، قابلیت اطمینان شبکه را تحت تاثیر قرار می دهند.

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

محدود کردن جریان اتصال کوتاه

$$I_{f-3ph} = \frac{E}{jX_+} \qquad I_{f-1ph} = 3*I_0 = 3*I_+ = 3*I_- = \frac{3*E}{j(X_+ + X_- + X_0)}$$

- مولفه های اصلی حاضر در جریان اتصال کوتاه، ولتاژ شبکه و امپدانس مولفه های متقارن است.

- ولتاژ شبکه وابسته به طراحی اولیه است و در زمان طراحی باید به تاثیر آن در اتصال کوتاه توجه داشت.

- بنابراین به منظور کاهش جریان اتصال کوتاه تنها می توان امپدانس مسیر عبور جریان اتصال کوتاه را افزایش داد تا بتوان جریان خطا را محدود کرد.

- در برخی موارد میتوان با تغییر توپولوژی (تغییر رژیم بهره برداری) اندازه امپدانس را افزایش و اندازه جریان اتصال کوتاه را کاهش داد.

Enermonde, All Rights Reserved

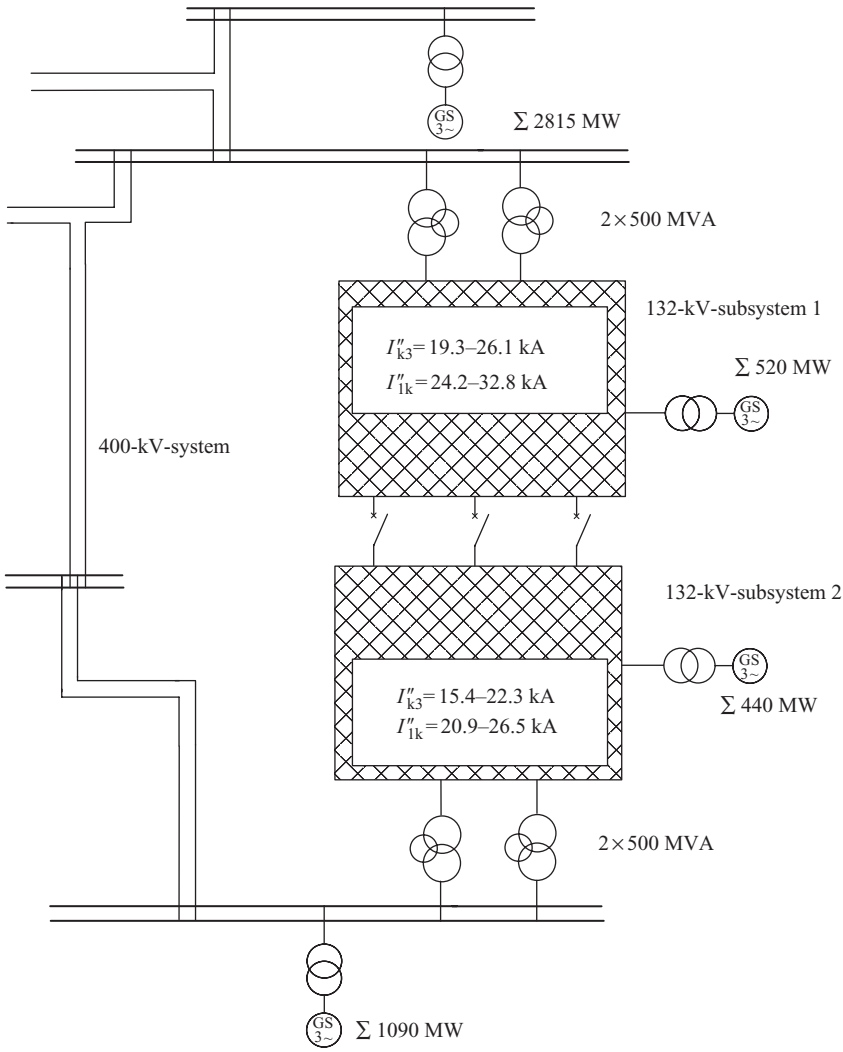


Figure 11.2 Schematic diagram of a 400/132-kV-system for urban load; values of short-circuit currents in case of operation as two subsystems

Operating the 132-kV-system as two separate subsystems will require additional cable circuits and an extension of the switchgear to fulfil the $(n - 1)$-criteria for a reliable power supply.

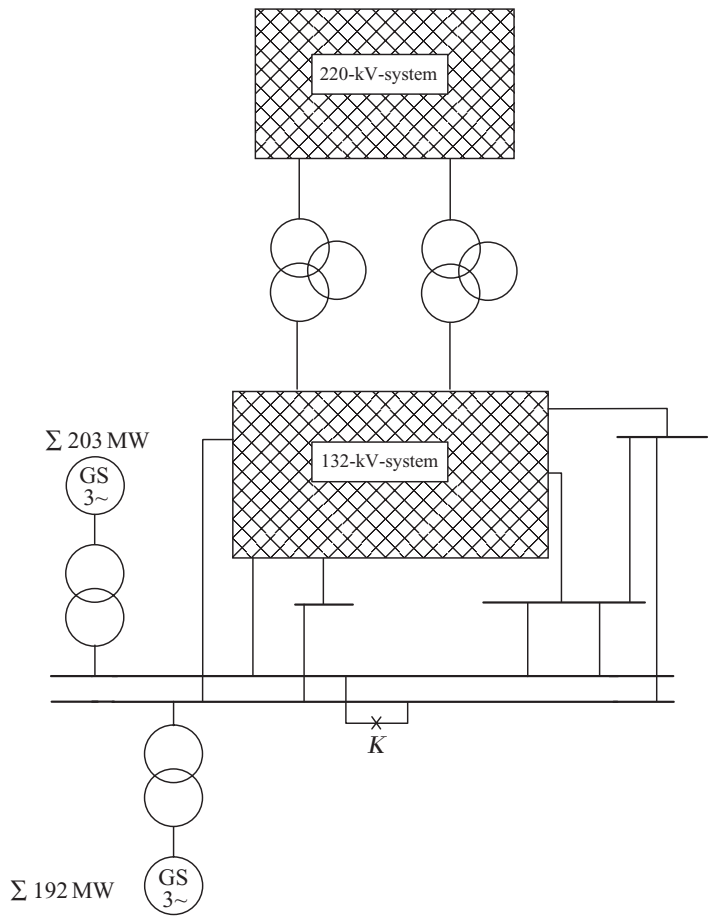


Figure 11.3 Schematic diagram of a 132-kV-system with power station

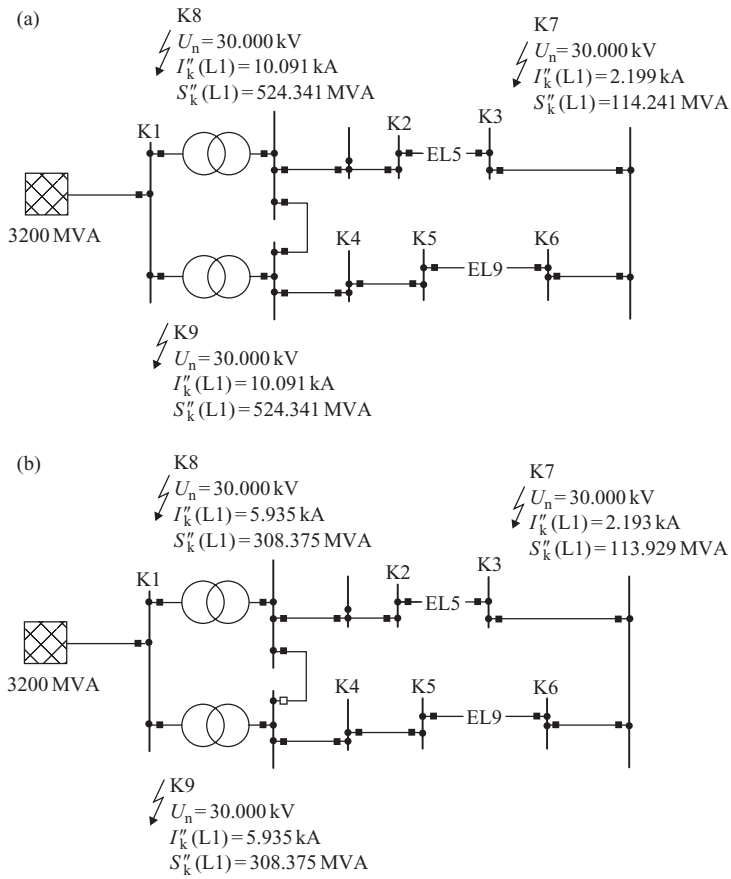


Figure 11.4 Equivalent circuit diagram of a 30-kV-system with feeding 132-kV-system: (a) Operation with transformers in parallel and (b) limitation of short-circuit current. Result of three-phase short-circuit current: $S''_{kQ} = 3.2$ *GVA;* $S_{rT} = 40$ *MVA;* $u_{krT} = 12\%$*;* $t_{rT} = 110/32$*; OHTL 95Al;* $l_{tot} = 56$ *km*

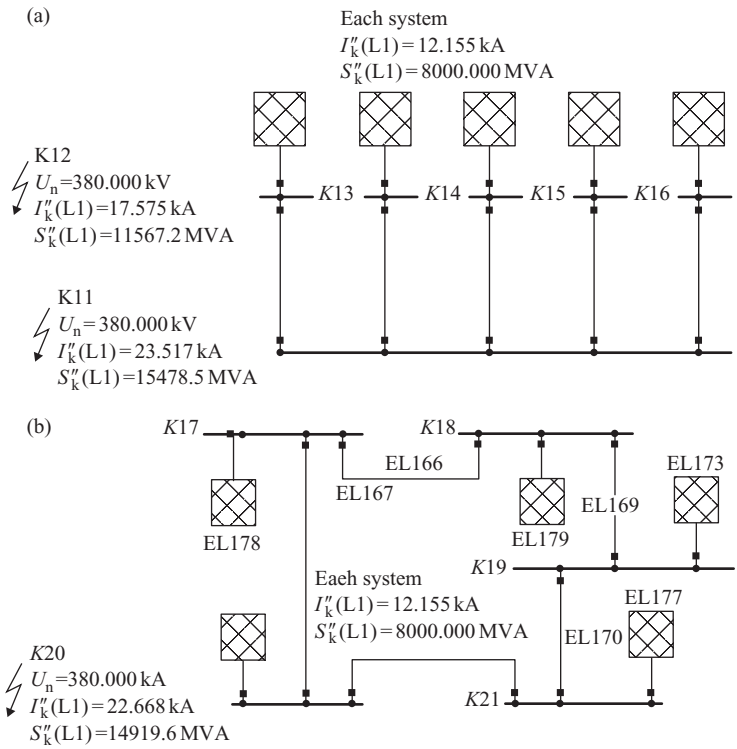


Figure 11.5 Equivalent circuit diagram of a 380-kV-system and results of three-phase short-circuit current calculation: (a) Radial fed system and (b) ring fed system. $S''_{kQ} = 8$ GVA; OHTL ACSR/AW 4 × 282/46; $l_i = 120$ km

As can be seen from Figure 11.5 the short-circuit currents are reduced from $I''_{k3} =$ 23.6 kA to $I''_{k3} = 22.7$ kA (3.8 per cent) with the new topology. The reduction of the short-circuit currents is comparatively small, but will be more significant, if an increased number of feeders (or generators) shall be connected [2].

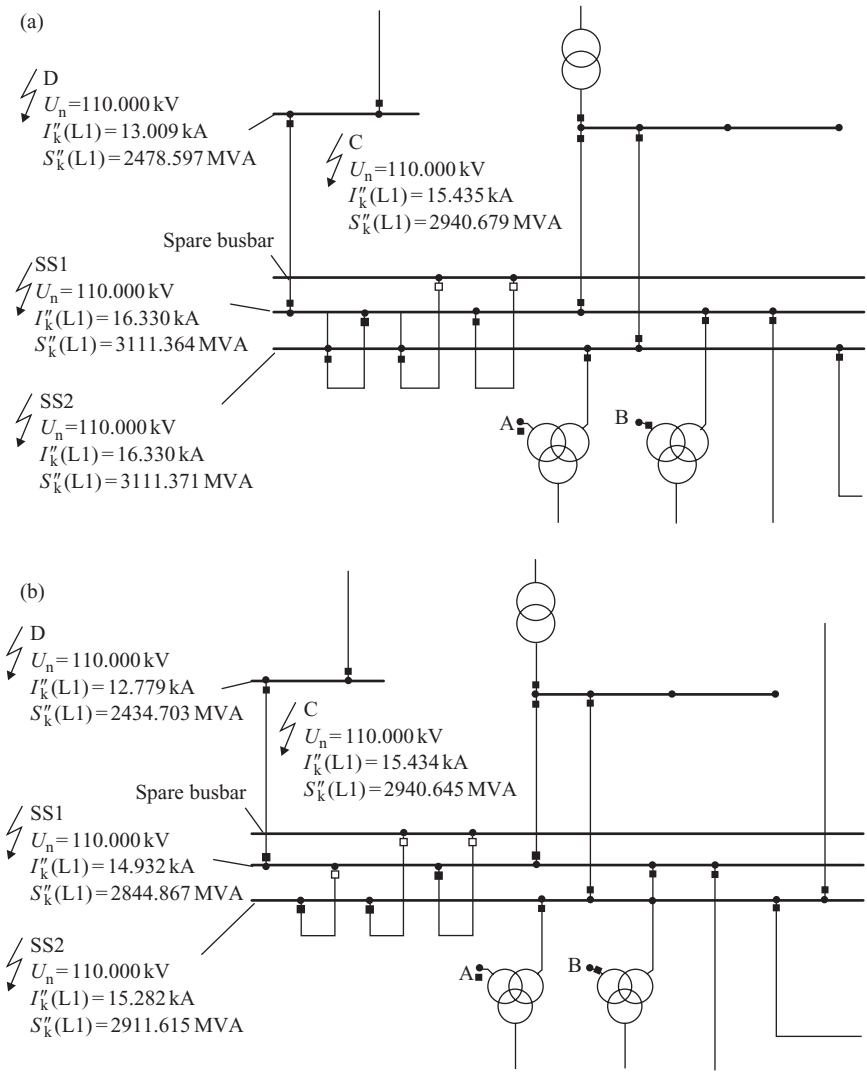


Figure 11.6 Schematic diagram of a 110-kV-substation fed from the 220-kV-system: (a) Operation with buscoupler closed and (b) operation with buscoupler open. Result of three-phase short-circuit current calculation

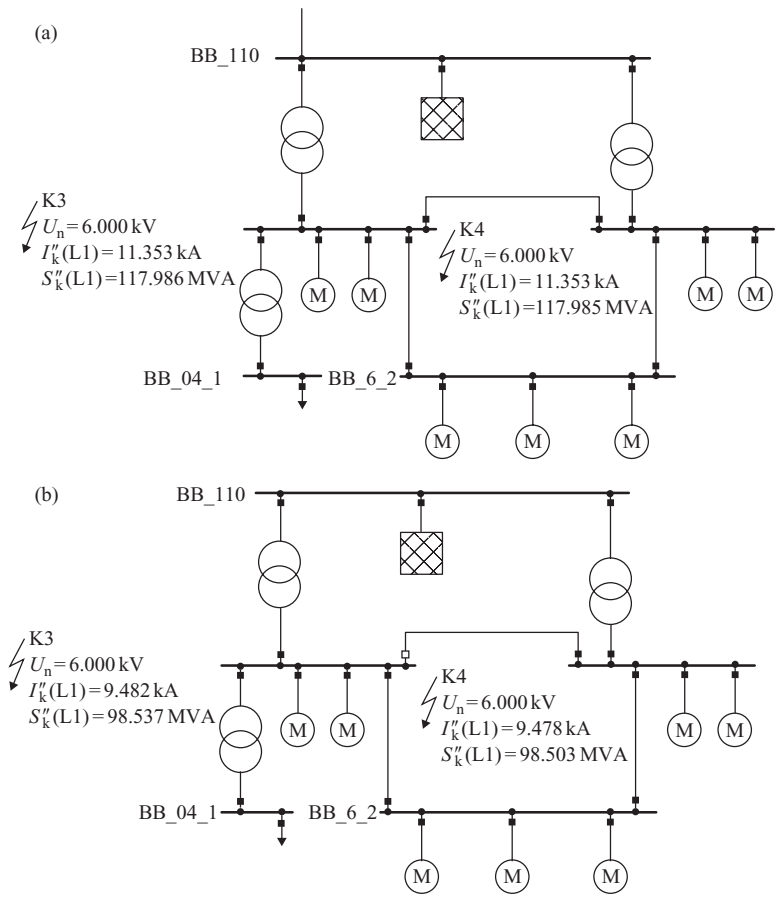
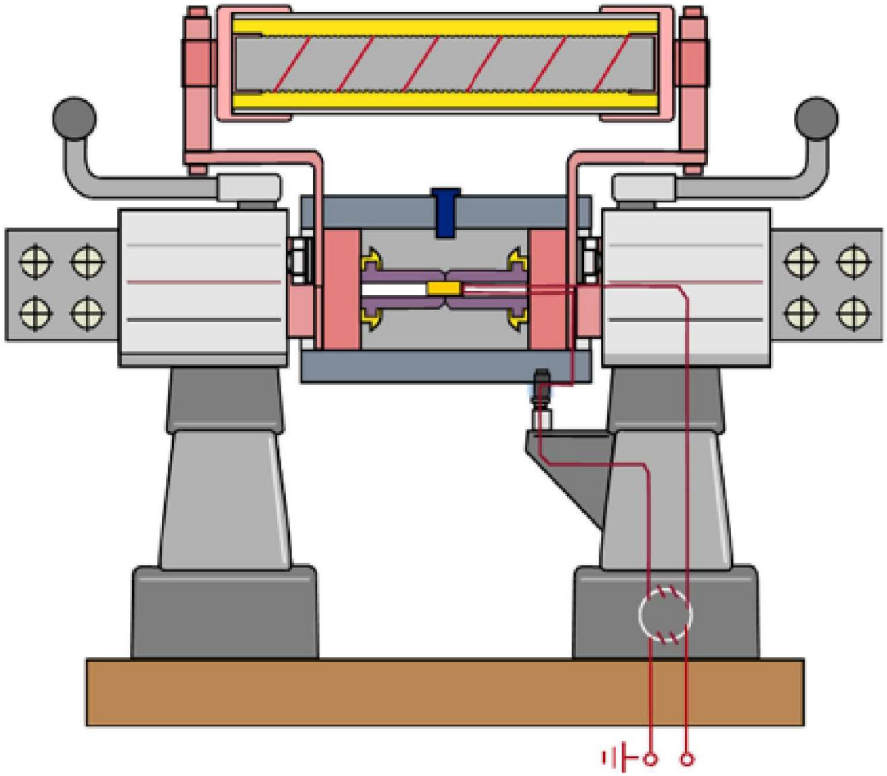
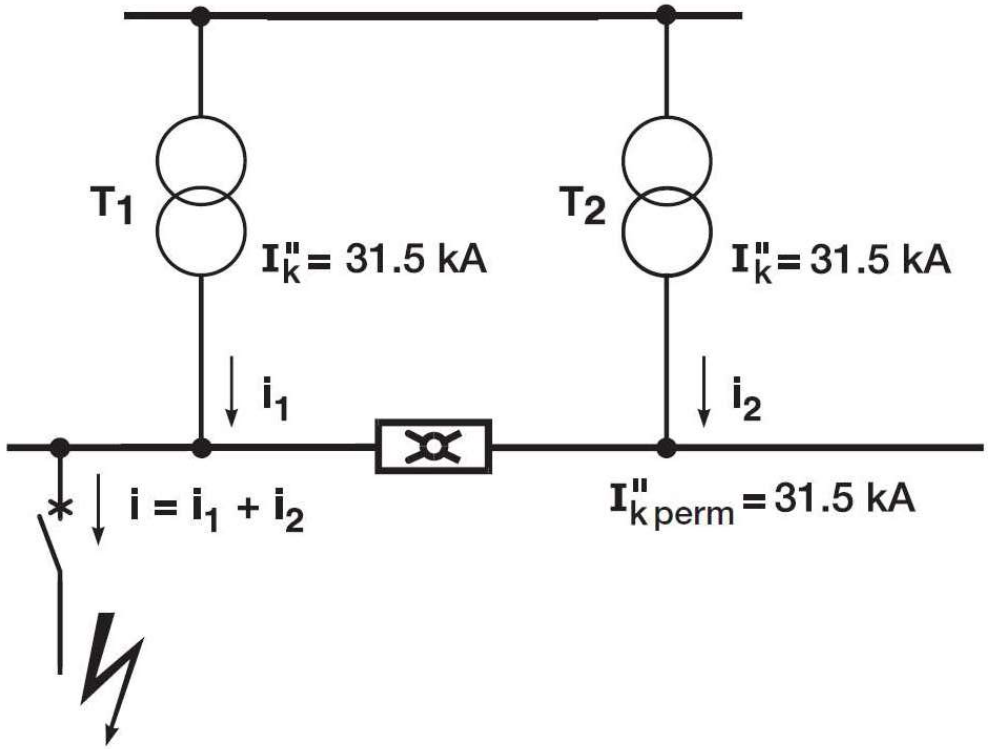


Figure 11.7 Equivalent circuit diagram of a 6-kV-industrial system. Results of three-phase short-circuit current calculation: (a) Busbar sectionaliser closed and (b) busbar sectionaliser open

محدود کردن جریان اتصال کوتاه

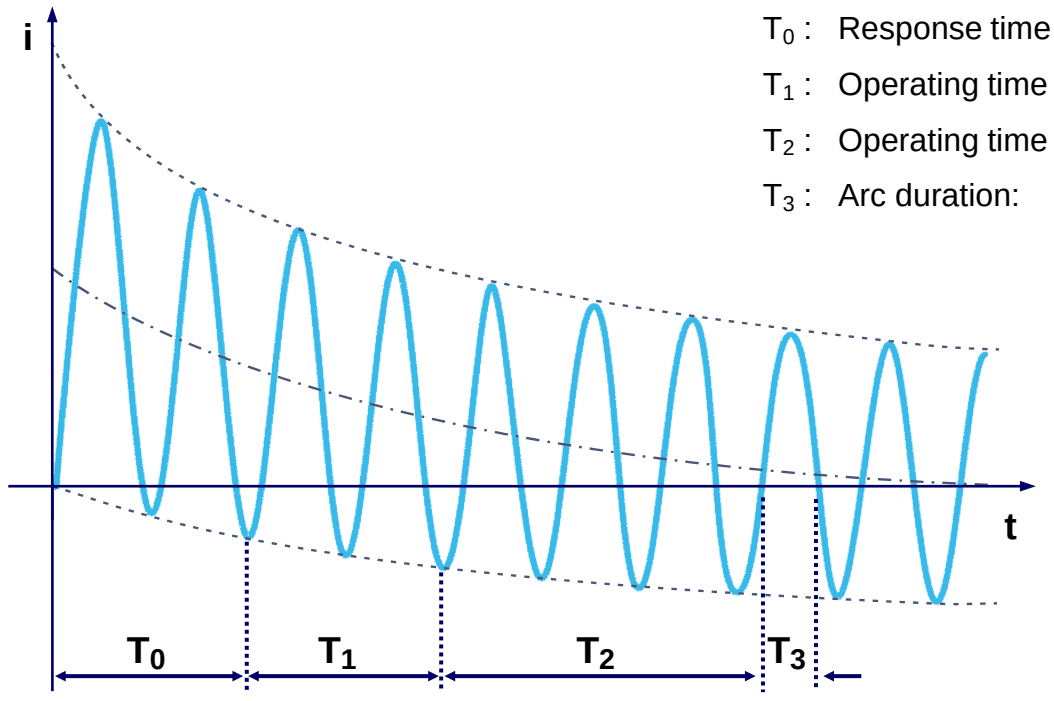
استفاده از Is-Limiter (یا Ip-Limiter) به منظور قطع سریع در زمان بروز اتصال کوتاه.





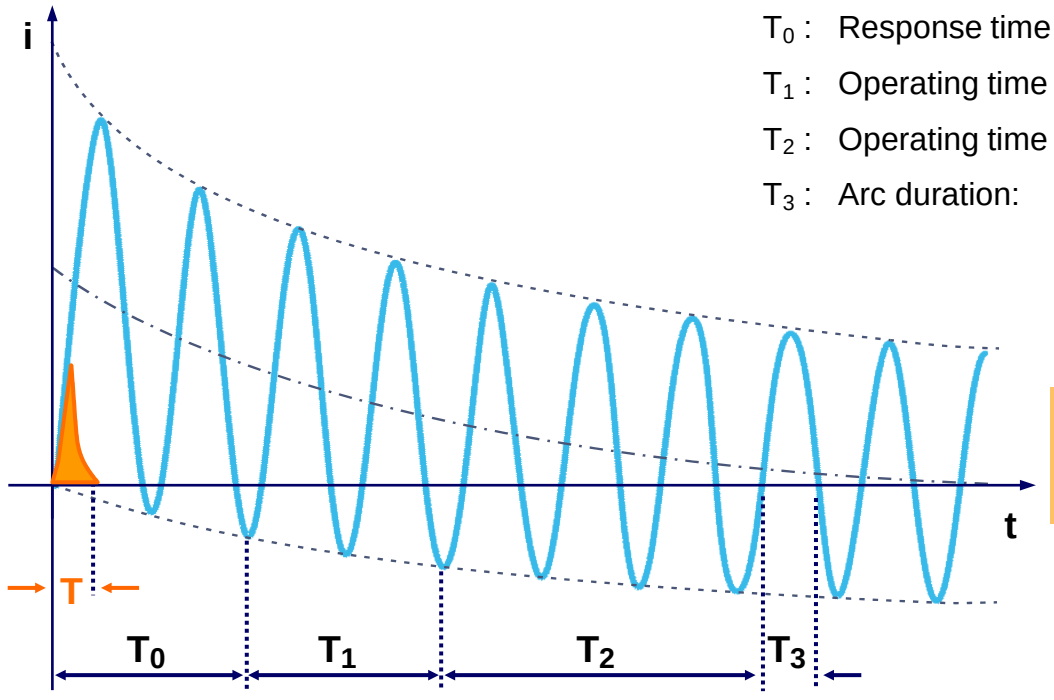
Enermonde, All Rights Reserved

I_S-limiter
Comparison: I_s-limiter – Circuit-breaker



T_0 :	Response time of protection relay:	10	- 20	ms
T_1 :	Operating time of protection relay:	30	- 40	ms
T_2 :	Operating time of circuit-breaker:	40	- 80	ms
T_3 :	Arc duration:	10	- 20	ms
		90	- 160	ms

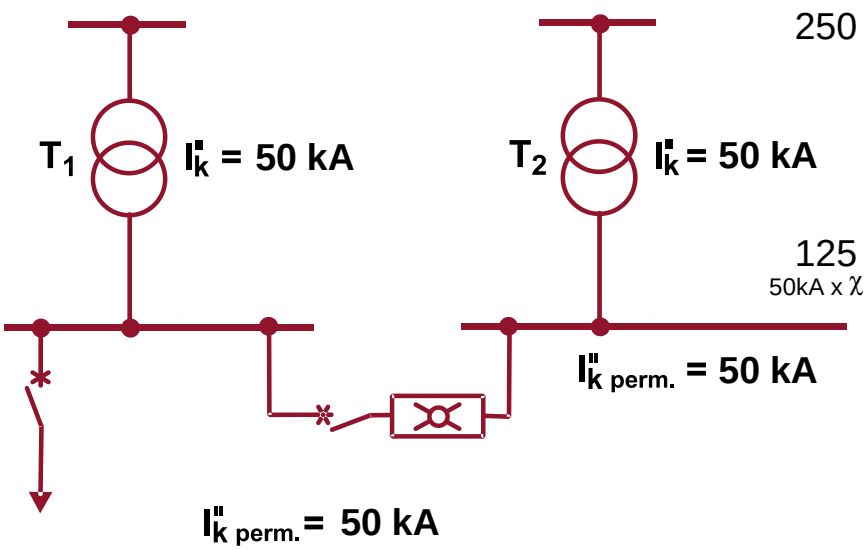
I_S-limiter
Comparison: I_s-limiter – Circuit-breaker

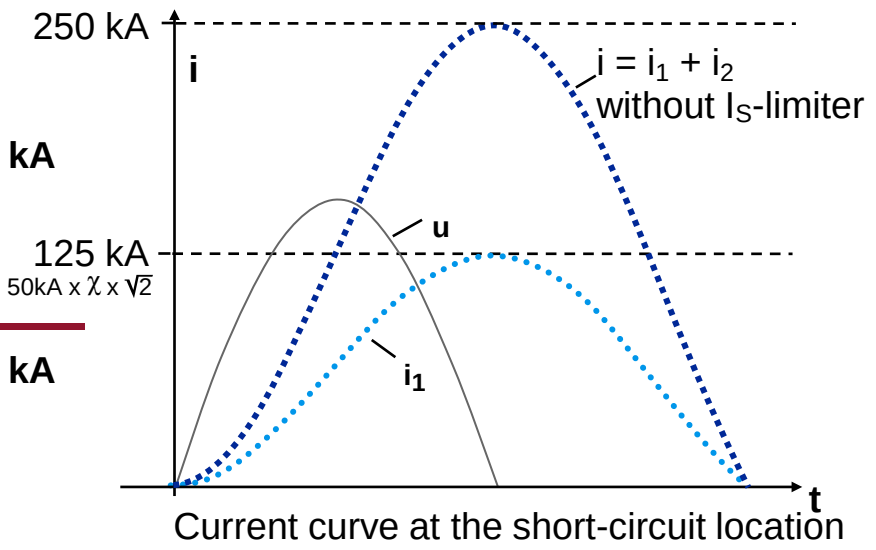


T_0 :	Response time of protection relay:	10	- 20	ms
T_1 :	Operating time of protection relay:	30	- 40	ms
T_2 :	Operating time of circuit-breaker:	40	- 80	ms
T_3 :	Arc duration:	10	- 20	ms
		90	- 160	ms

Current flow time by use of I_s-limiter: T = 5 - 10 ms

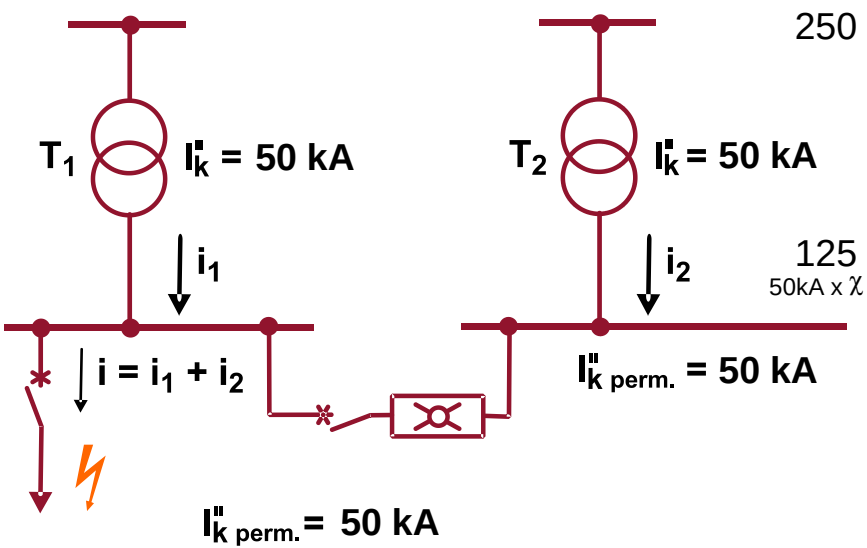
I_s-limiter – Function
Breaking of a short-circuit current with I_s-limiter

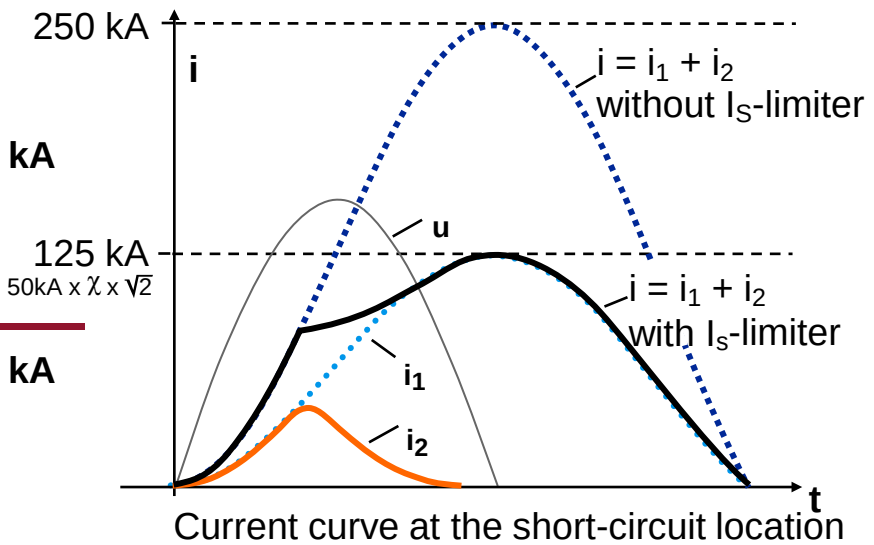




Current curve at the short-circuit location

I_s-limiter – Function
Breaking of a short-circuit current with I_s-limiter



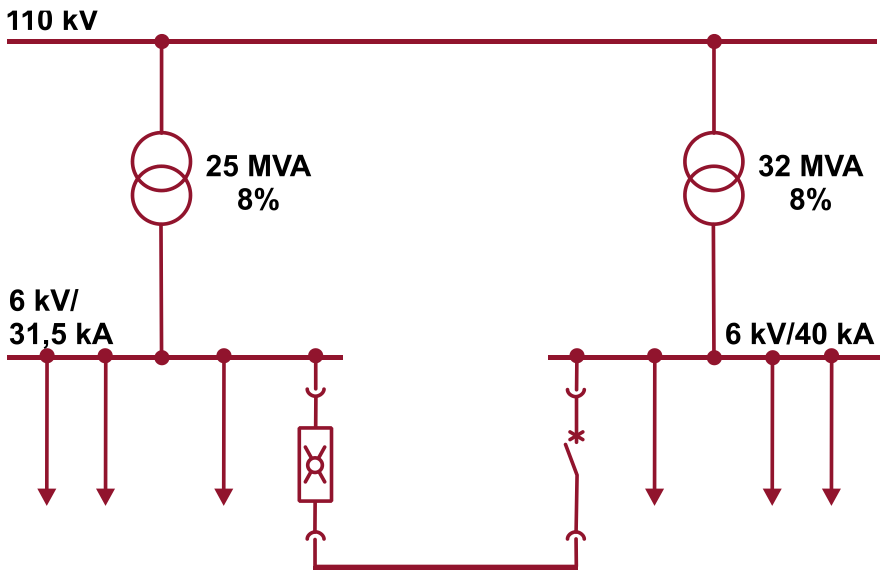


Current curve at the short-circuit location

I_s-limiter – Application
I_s-limiter mounted in bus section

Advantages:

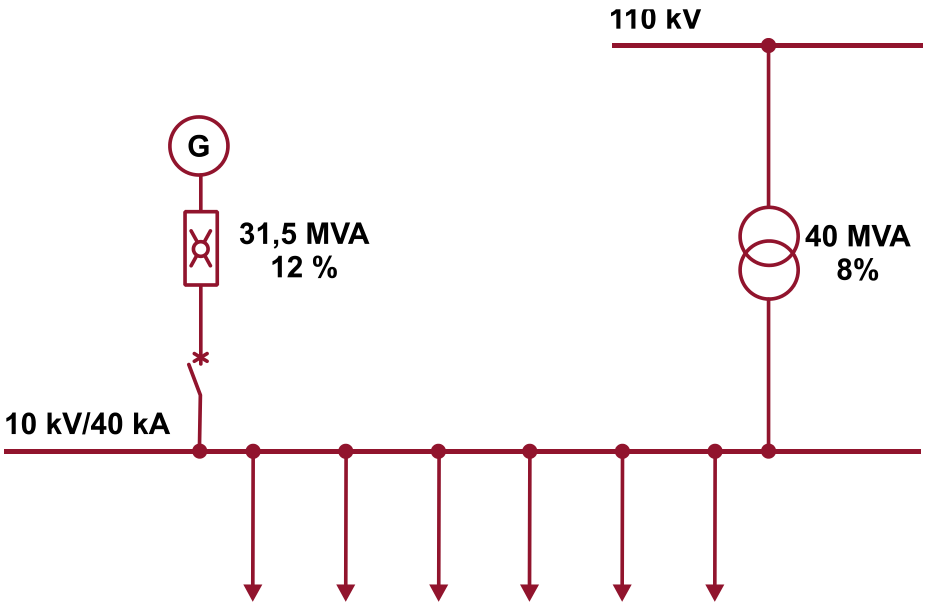
- Improving „power quality“
- Increasing grid's reliability
- Reducing network-impedance
- Optimizing load flow
- Existing busbar system and cabling does not have to be changed



I_s-limiter – Application
I_s-limiter in generator feeder

Advantages:

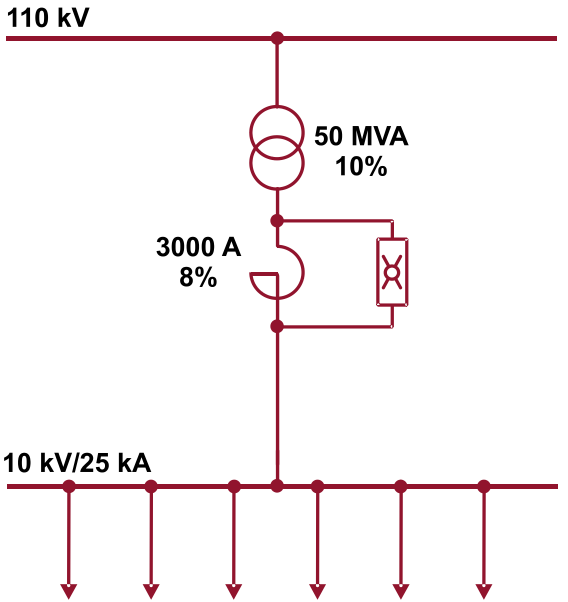
- Connecting gennerator independent of grid's short-circuit capability
- Existing busbar system and cabling does not have to be changed
- Separate generator breaker needless



I_s-limiter – Application
I_s-limiter in parallel to reactor

Advantages:

- Avoid ohmic loasses (copper losses) of the reactor
- Avoid voltage drop of reactor
- Avoid electro-magnetic field of reactor
- Greenhouse aspects (CO_2 and heating)

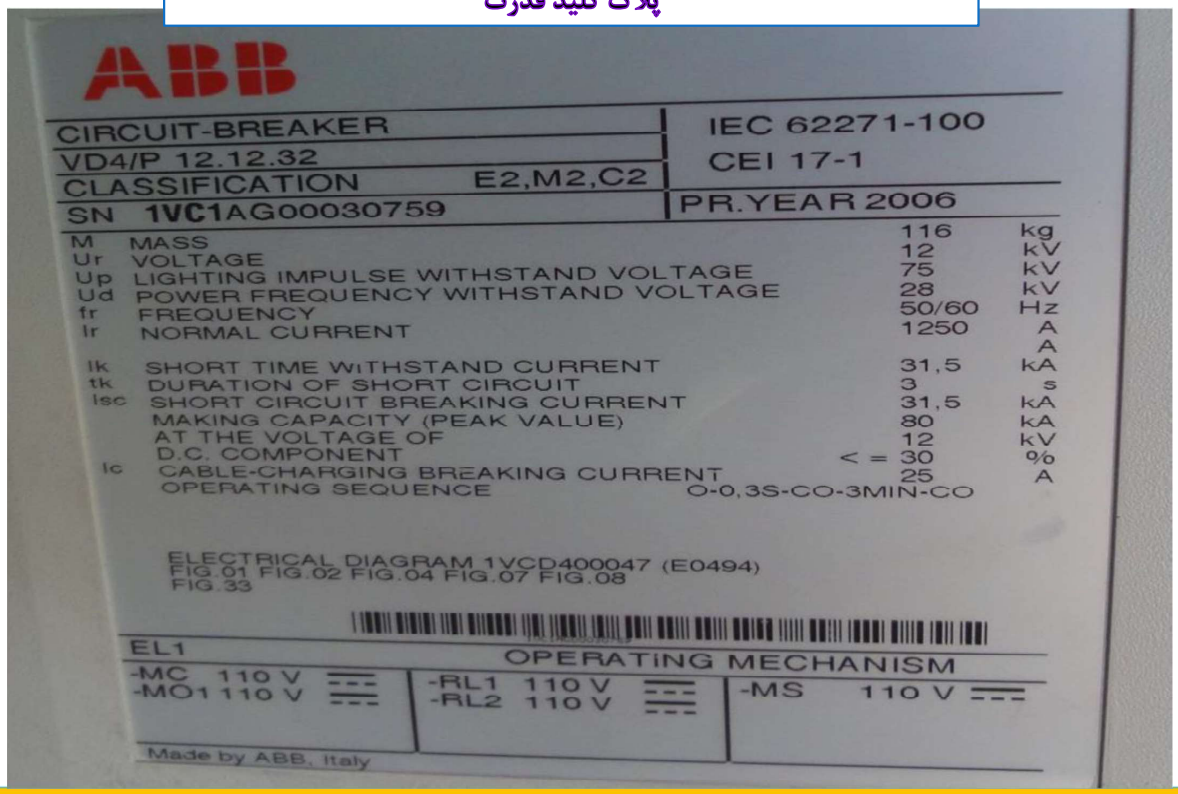


فصل هفتم:

تحمل اتصال کوتاه در کلیدهای قدرت و شینه های باسبار

Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

پلاک کلید قدرت

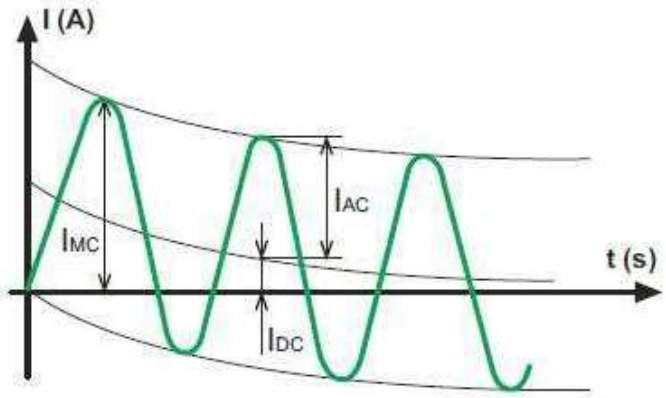


Enermonde, All Rights Reserved Author: Alireza Ashrafi Mahabad Petrochemical Company

Making Current

جریان حرارتی قابل تحمل کلید قدرت در مدت زمان ۳ ثانیه (یا ۱ ثانیه) برابر با ۳۱.۵ کیلوآمپر

Ik	SHORT TIME WITHSTAND CURRENT	31,5	kA
tk	DURATION OF SHORT CIRCUIT	3	s
Isc	SHORT CIRCUIT BREAKING CURRENT	31,5	kA
	MAKING CAPACITY (PEAK VALUE)	80	kA
	AT THE VOLTAGE OF	12	kV
	D.C. COMPONENT	< = 30	%

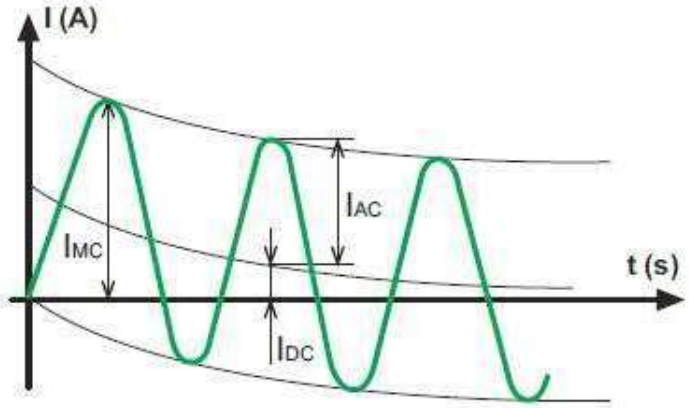


Enermonde, All Rights Reserved

Making Current

جریان حداکثر لحظه ای قابل تحمل کلید (Making Current)
یعنی: مقدار جریان پیک (که فقط یک لحظه اتفاق می افتد) میتواند تا ۸۰ کیلوآمپر باشد.

Ik	SHORT TIME WITHSTAND CURRENT	31,5	kA
tk	DURATION OF SHORT CIRCUIT	3	s
Isc	SHORT CIRCUIT BREAKING CURRENT	31,5	kA
	MAKING CAPACITY (PEAK VALUE)	80	kA
	AT THE VOLTAGE OF	12	kV
	D.C. COMPONENT	< = 30	%



Enermonde, All Rights Reserved

Making Current

جریان حداکثر لحظه ای قابل تحمل کلید (Making Current)
یعنی: مقدار جریان پیک (که فقط یک لحظه اتفاق می افتد) میتواند تا ۸۰ کیلوآمپر باشد.

Ik	SHORT TIME WITHSTAND CURRENT	31,5	kA
tk	DURATION OF SHORT CIRCUIT	3	s
Isc	SHORT CIRCUIT BREAKING CURRENT	31,5	kA
	MAKING CAPACITY (PEAK VALUE)	80	kA
	AT THE VOLTAGE OF	12	kV
	D.C. COMPONENT	< = 30	%

Peak short-circuit current i_p

Peak value i_p of the short-circuit current In no meshed systems, the peak value ip of the short-circuit current may be calculated for all types of faults using the equation:

$i_p = \kappa \sqrt{2}\, I''_k$ where

I''_k = is the initial short-circuit current,

κ = is a factor depending on the R / X and can be calculated approximately using the following equation (see fig.9) :

$$\kappa = 1.02 + 0.98\, e^{-3\frac{R}{X}}$$

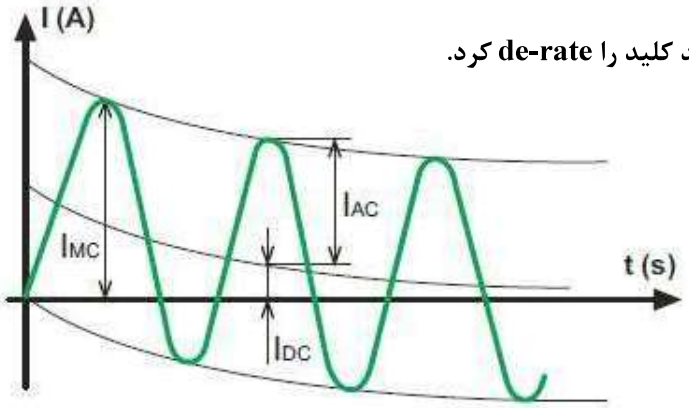
محاسبه تقریبی جریان حداکثر بـا داشـتن جریان اولیه مولفه AC اتصال کوتاه.

Enermonde, All Rights Reserved

Breaking Current

جریان قطع کلید شامل مولفه AC و مولفه DC
یعنی: جریان ۳۱.۵ کیلوآمپر موثر AC به همراه حداکثر ۳۰٪ مولفه DC را قطع می کند.

Ik	SHORT TIME WITHSTAND CURRENT	31,5	kA
tk	DURATION OF SHORT CIRCUIT	3	s
Isc	SHORT CIRCUIT BREAKING CURRENT	31,5	kA
	MAKING CAPACITY (PEAK VALUE)	80	kA
	AT THE VOLTAGE OF	12	kV
	D.C. COMPONENT	< = 30	%



اگر میزان مولفه DC در شبکه بالاتر باشد، باید کلید را de-rate کرد.

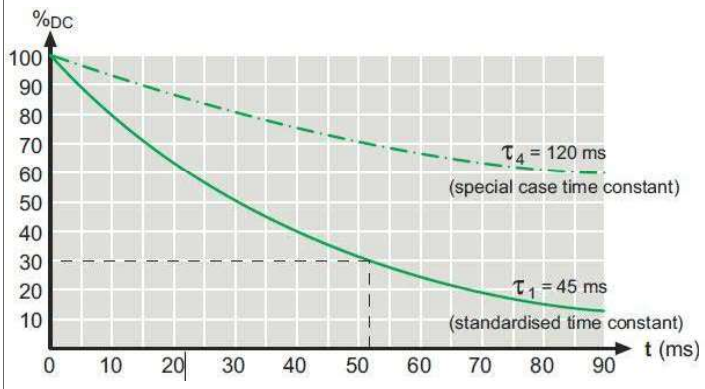
Enermonde, All Rights Reserved

Breaking Current

جریان قطع کلید شامل مولفه AC و مولفه DC
یعنی: جریان ۳۱.۵ کیلوآمپر موثر AC به همراه حداکثر ۳۰٪ مولفه DC را قطع می کند.

Ik	SHORT TIME WITHSTAND CURRENT	31,5	kA
tk	DURATION OF SHORT CIRCUIT	3	s
Isc	SHORT CIRCUIT BREAKING CURRENT	31,5	kA
	MAKING CAPACITY (PEAK VALUE)	80	kA
	AT THE VOLTAGE OF	12	kV
	D.C. COMPONENT < =	30	%

به عنوان نمونه در شکل زیر ثابت زمانی شبکه برق (L/R) برای دو مقدار ۱۲۰ میلی ثانیه و ۴۵ میلی ثانیه (مقدار معمول برای کلیدهای قدرت که در آن X/R = 14 است) نشان داده شده است.



Breaking Current

جریان قطع کلید شامل مولفه AC و مولفه DC
یعنی: جریان ۳۱.۵ کیلوآمپر موثر AC به همراه حداکثر ۳۰٪ مولفه DC را قطع می کند.

Ik	SHORT TIME WITHSTAND CURRENT	31,5	kA
tk	DURATION OF SHORT CIRCUIT	3	s
Isc	SHORT CIRCUIT BREAKING CURRENT	31,5	kA
	MAKING CAPACITY (PEAK VALUE)	80	kA
	AT THE VOLTAGE OF	12	kV
	D.C. COMPONENT < =	30	%

نمونه ای از de-rate کردن کلید قدرت در شبکه برق.

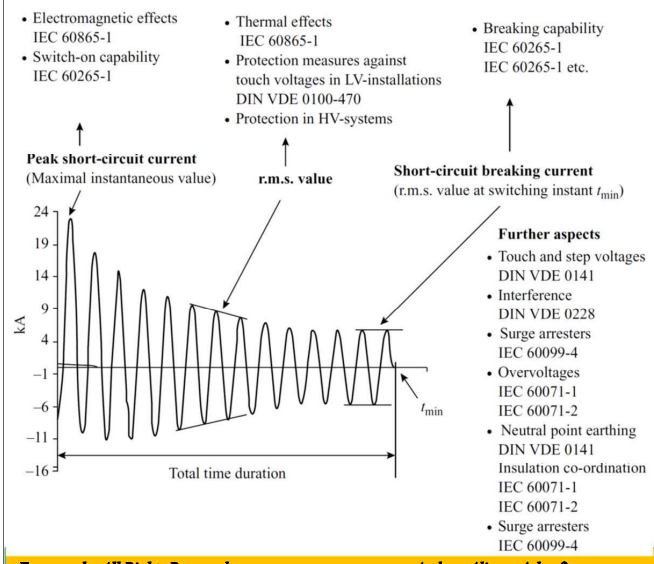
Time constant	132kV 3 ph	132kV 1ph	66kV	33kV	20-25kV	11kV	6.6kV
45ms	40kA	40kA	40kA	31.5kA	20 kA	25kA	25kA
120ms	31.5kA	31.5kA	31.5kA	20kA	12.5kA	16kA	16 kA

Table 8: Switchgear short circuit breaking current ratings for incorporation in ENATS

Thermal Current

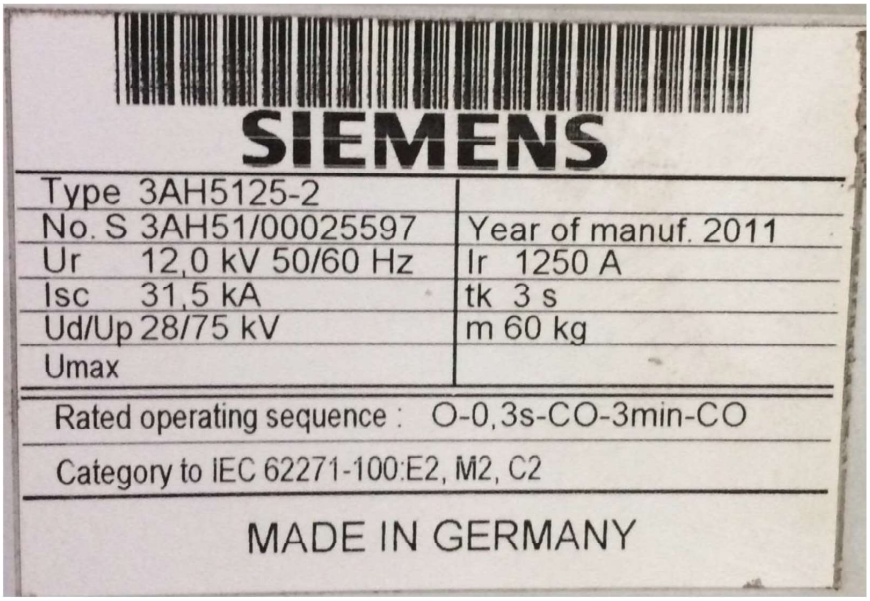
جریان حرارتی شامل جریانی است که تولید حرارت می نماید و میتواند آسیب زا باشد.
یعنی: جریان ۳۱.۵ کیلوآمپر موثر AC و DC در مدت زمان ۳ ثانیه میتواند کلید را ذوب نماید.

Ik	SHORT TIME WITHSTAND CURRENT	31,5	kA
tk	DURATION OF SHORT CIRCUIT	3	s
Isc	SHORT CIRCUIT BREAKING CURRENT	31,5	kA
	MAKING CAPACITY (PEAK VALUE)	80	kA
	AT THE VOLTAGE OF	12	kV
	D.C. COMPONENT < =	30	%

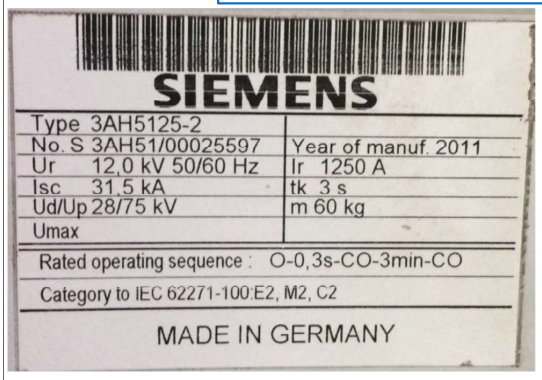


پلاک کلید قدرت

نمونه ای از پلاک کلید قدرت



پلاک کلید قدرت



استخراج اطلاعات:

جریان ۳۱.۵ کیلوآمپر برابر با جریان قابل تحمل حرارتی و جریان قطع کلید است.

میزان جریان مولفه DC در زمان قطع بر اساس دیتاشیت است اما عمدتا برای ثابت زمانی ۴۰ میلی ثانیه در نظر گرفته شده است که برابر با ۳۰٪ است.

میزان جریان پیک قابل تحمل کلید حدود ۲.۵ تا ۲.۶ برابر جریان نوشته شده در پلاک کلید است

Enermonde, All Rights Reserved