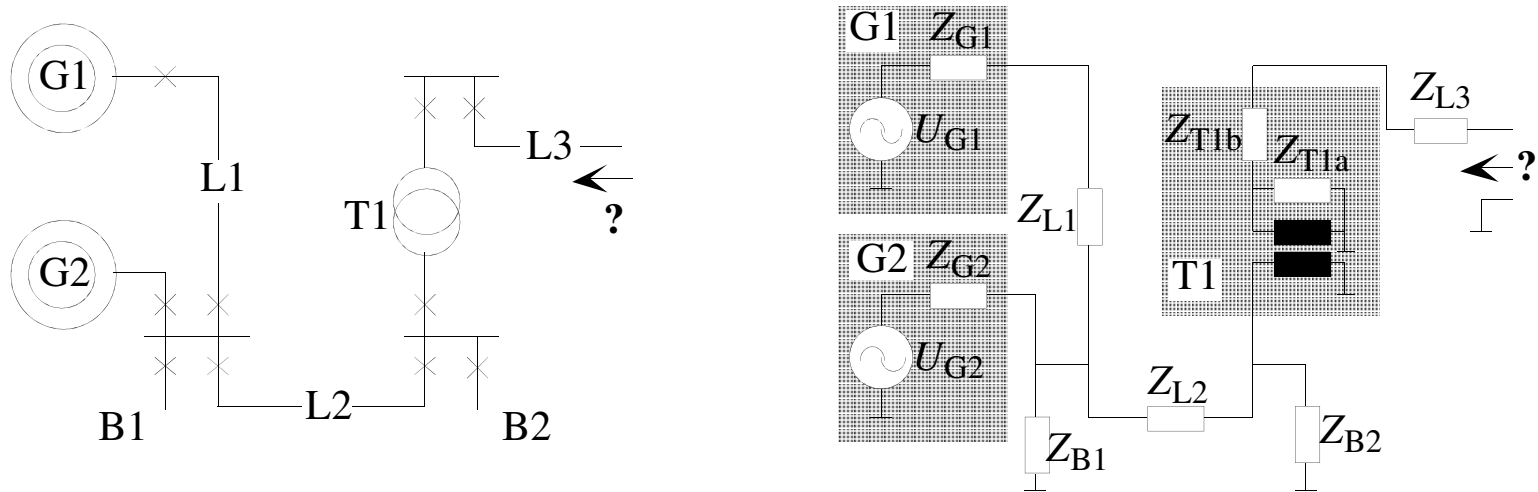


Dagens program:

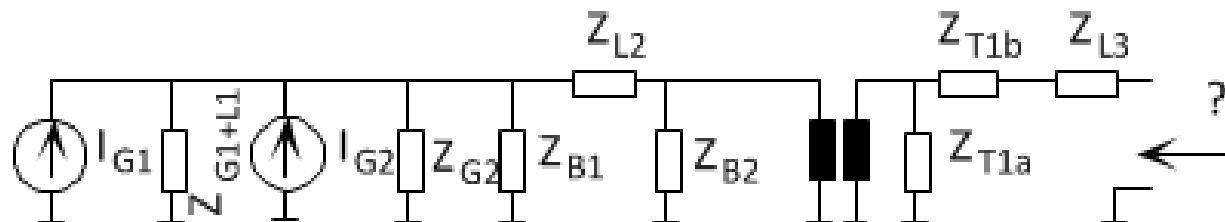
- **Dimensionering av elektriska anläggningar**
- **Kortslutningsberäkningar**
- **Elektriskt/termiskt/mechaniskt**

torsdag 12 Maj

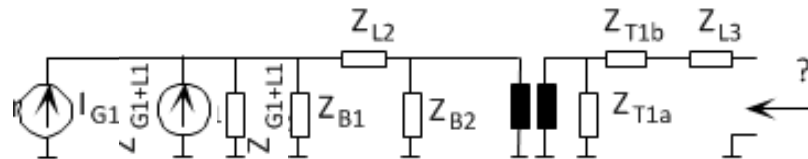
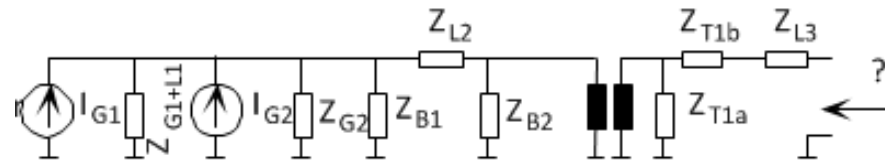
Ekvivalent modell för ett elnät



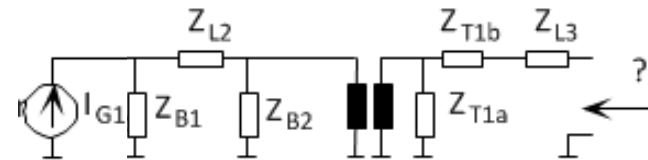
(Symbolen $\perp$ betyder anslutning till nollledaren, som inte är utritad.)



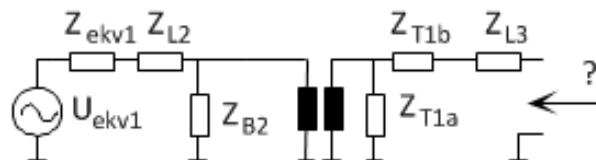
Några ord om kretsreduktion



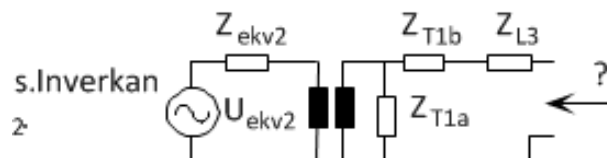
Förenkla



Summera..



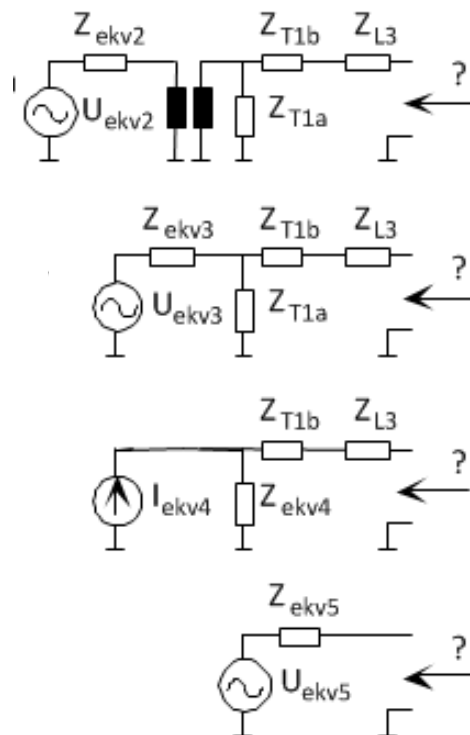
Thevenin, sedan Norton därefter Thevenin..



Norton därefter Thevenin igen..

Fortsatta förenklingar

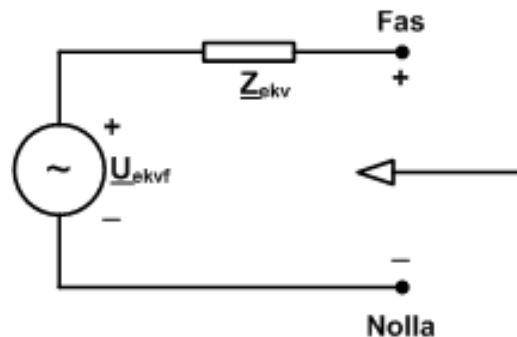
”fram och tillbaka” mellan Norton och Thevenin



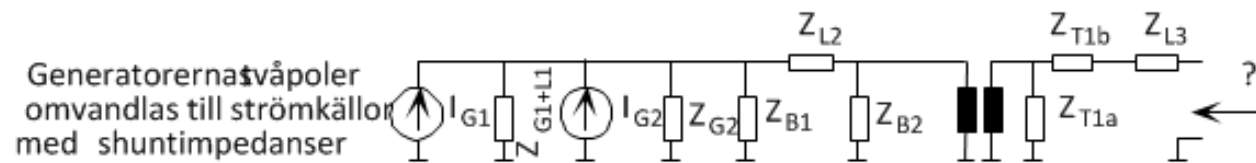
Ekvivalent modell för ett elnät

⇒ *en godtycklig punkt i ett elnät
kan representeras med en tvåpol:*

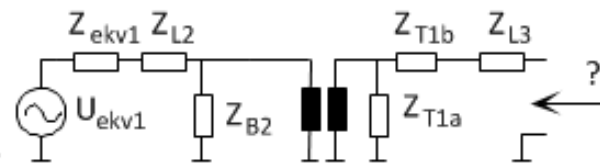
U_{ekv} och Z_{ekv}



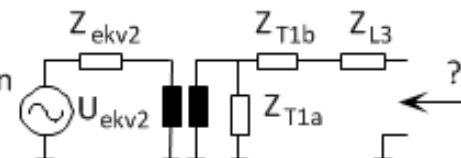
Thevenin - Norton ekvivalens



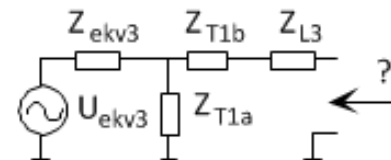
Alla parallellkopplade shuntimpedanser samt de två strömkällorna läggs ihop. De omvandlas sedan tillbaka till en ekvivalent spänningskälla U_{ekv1} med serieimpedans Z_{ekv1} .



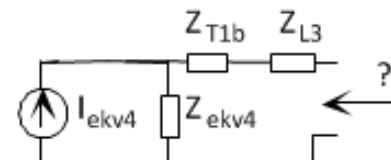
De två seriekopplade impedanserna summeras. Inverkan av Z_{B2} tas med vid beräkning av U_{ekv2} och Z_{ekv2} .



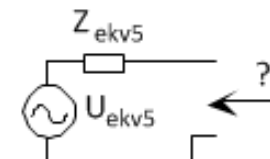
Tvåpolen U_{ekv2} och Z_{ekv2} räknas om till U_{ekv3} och Z_{ekv3} för att motsvara spänningsnivå på andra sidan transformatorn



Omvandling till strömkälla I_{ekv4} med shuntimpedans Z_{ekv4} gör att Z_{T1a} lätt inkluderas i Z_{ekv4}



Efter omvandling tillbaka till spänningskälla med serieimpedans kan alla de återstående impedanserna summeras och kvar finns en enkel model för hela elnätet, representerad av U_{ekv5} och Z_{ekv5} .



Dimensionering av en elektrisk anläggning

Kortslutningsberäkningar

**Vid dimensionering av en elektrisk anläggning
måste en rad krav uppfyllas:**

- **Dimensionerande påkänningar**
- **Funktion**
- **Prestanda**
- **Dimensioner**
- **Utseende**
- **Miljö**
- **Livslängd**
- **Underhåll**
- **Kostnad**
- **...**
- **och förstås elsäkerhetskraven**

Dimensionerande påkänningar

- **Elektriska påkänningar**

Spänningar och elektriska fält vid normal drift och vid överspänningar

- **Mekaniska påkänningar**

Framförallt strömkrafter mellan anläggningsdelar vid kortslutning

- **Termiska påkänningar**

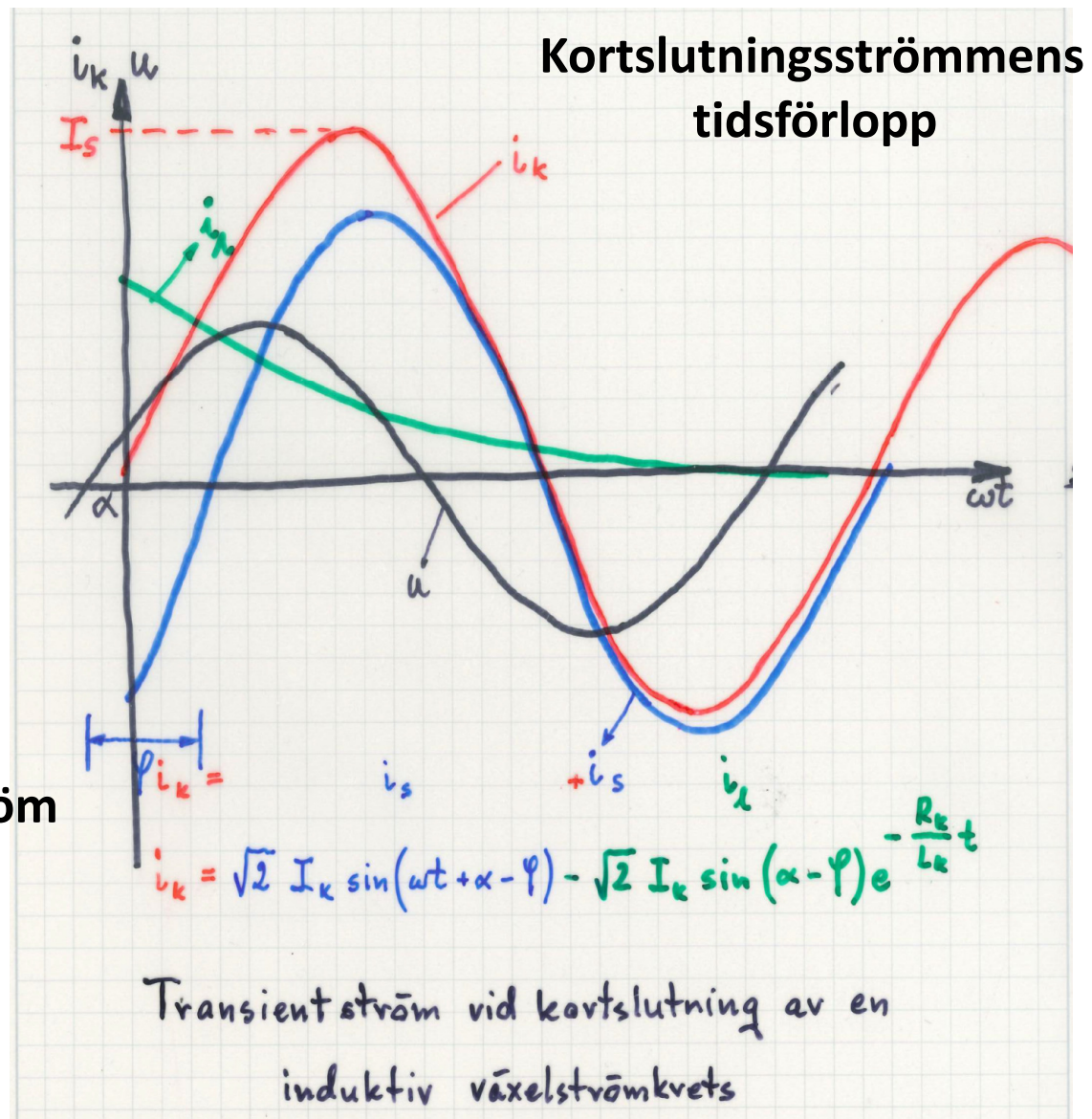
Värmeutveckling vid drift- och överströmmar

- **Omgivningspåkänningar**

Temperatur, tryck, isbeläggning, regn, luftfuktighet, vind, nedsmutsning, korrosion, jordbävning mm.

I_s - stötström

$i_k = i_s + i_l$
 i_k - kortslutningsström
 i_s - stationär ström
 i_l - transient ström



Samband mellan toppvärde (I_s) och effektivvärde hos kortslutningsström

$$U > 1000 \text{ V}$$

$$I_s = 3 \cdot I_k \text{ (kA) direkt på generatorsklämmor}$$

$$I_s = 2,55 \cdot I_k \text{ (kA) i nätet i övrigt}$$

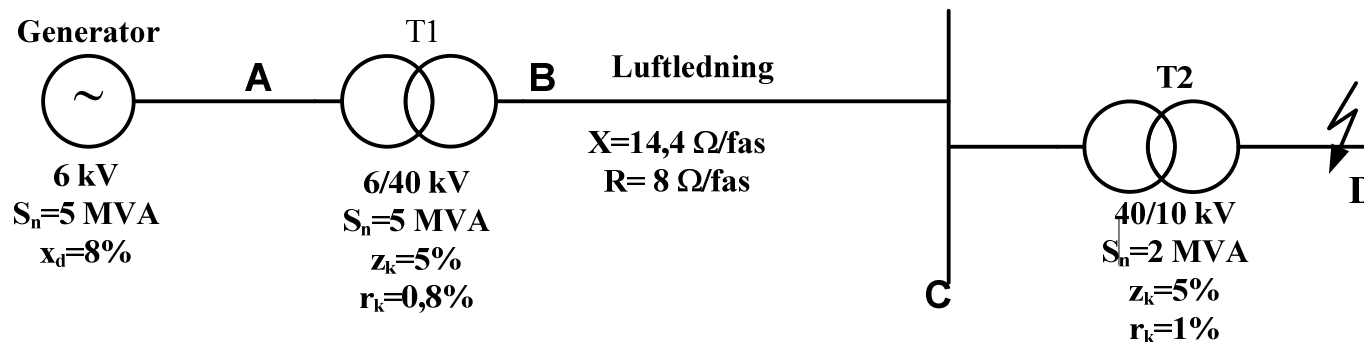
$$U \leq 1000 \text{ V}$$

SS 4241424

$I_k \text{ (kA)}$	$\cos \varphi_k$	n
$I \leq 5$	0,7	1,5
$5 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2,0
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

Kortslutningsberäkningar genom successiv nätreduktion:

Då transformatorerna T1 och T2 ger tre impedansnivåer, vid 6 kV, 50 kV och 10 kV, måste alla impedanser omräknas till samma spänningsnivå genom impedanstransformering. Alla impedanser hänförs till en enhetsspänning, U_e . Man brukar välja spänningen i felstället alltså $U_e = 10$ kV.



Generatorns synkrona reaktans, X_d beräknas enligt följande:

$$X_d = x_d \frac{U_n^2}{S_n}$$

Detta värde på X_d gäller vid $U_n = 6$ kV räknas om $U_e = 10$ kV:

$$X_d = x_d \frac{U_n^2}{S_n} \left(\frac{U_e}{U_n} \right)^2 = x_d \frac{U_e^2}{S_n} = 0,08 \frac{10^2}{5} = 1,6 \Omega/\text{fas vid } 10 \text{ kV}$$

Observera: med U i [kV] och S i [MVA] erhålles X i [Ω].

För transformatorerna T1 och T2 gäller:

$$R_{T1} = 0,008 \frac{10^2}{5} = 0,16 \Omega/\text{fas} \quad X_{T1} = \sqrt{0,05^2 - 0,008^2} \frac{10^2}{5} = 1 \Omega/\text{fas}$$

På samma sätt fås $R_{T2} = 0,5 \Omega/\text{fas}$ och $X_{T2} = 2,45 \Omega/\text{fas}$

**För 40 kV-ledningen är $R = 8 \Omega/\text{fas}$ och $X = 14,4 \Omega/\text{fas}$.
gäller vid 40 kV och bör räknas om till 10 kV, vilket ger:**

$$R_L = 8 \left(\frac{10}{40} \right)^2 = 0,5 \Omega/\text{fas} \quad \text{och} \quad X_L = 14,4 \left(\frac{10}{40} \right)^2 = 0,9 \Omega/\text{fas}$$

En resulterande impedans hänförd till 10 kV:

$$R_k = R_{T1} + R_L + R_{T2} = 0,16 + 0,5 + 0,5 = 1,16 \Omega/\text{fas}$$

$$X_k = X_d + X_{T1} + X_L + X_{T2} = 1,6 + 1,0 + 0,9 + 2,45 = 5,95 \Omega/\text{fas}$$

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{1,16^2 + 5,95^2} = 6,06 \Omega/\text{fas}$$

Och slutligen får man kortslutningströmmen i punkt D:

$$I_k = \frac{10 \cdot 10^3 / \sqrt{3}}{6,06} = 953 \text{ A}$$

**Märkströmmen för transformatorn T2 är 115 A,
med andra ord blir kortslutningströmmen drygt 8 gånger
större än maximal belastningsström.**

Med kortslutningseffekt i felstället (eller ett tänkt felställe) menas:

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k$$

där U = normal driftspänning innan kortslutningen inträffat
(huvudspänning),

I_k = kortslutningsströmmen sedan felet inträffat.

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{U_f}{Z_k} = \frac{U^2}{Z_k}$$

Alternativ kort beräkning: $S_k = \frac{S_n}{z_k}$

Parallellkopplade apparater

Resultterande impedansen $\underline{Z}$ erhålls ur

$$\frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} + \dots$$

$$\frac{1}{\underline{Z}_k} = \frac{\underline{S}_k}{U^2} \text{ vilket sätts in ovan och ger}$$

$$\underline{S}_k = \underline{S}_{k1} + \underline{S}_{k2} + \dots$$

där $\underline{S}_k$ är resultterande kortslutningseffekt.

Seriekopplade apparater

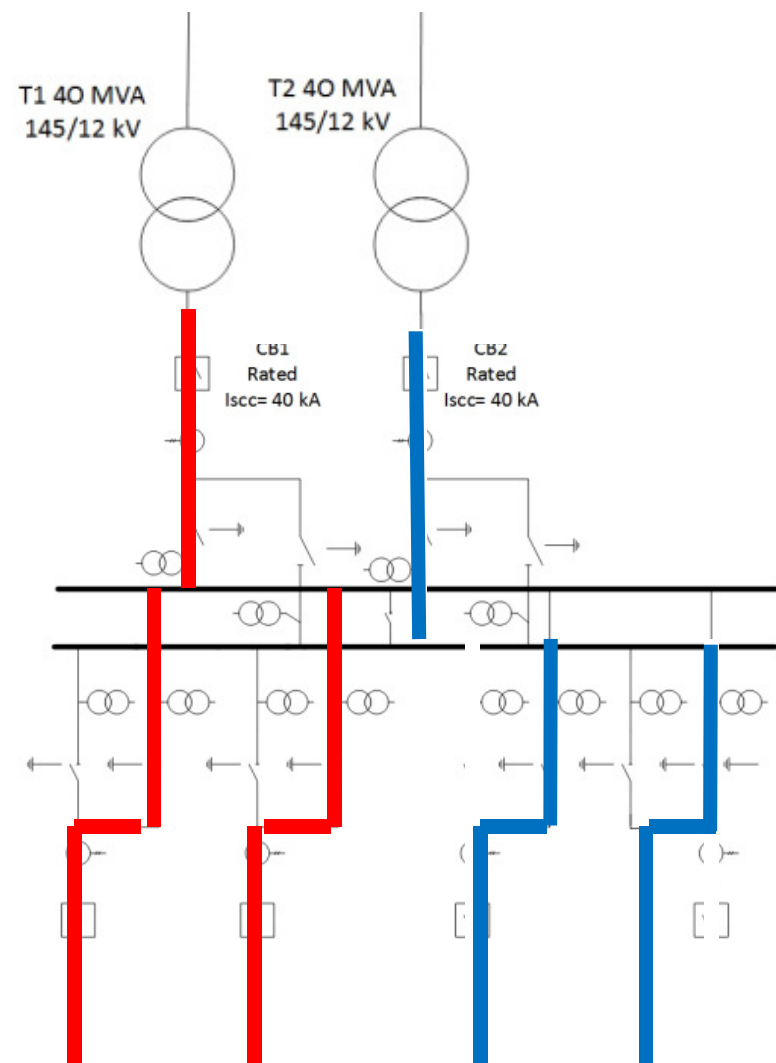
Resultterande impedansen $\underline{Z}$ erhålls ur

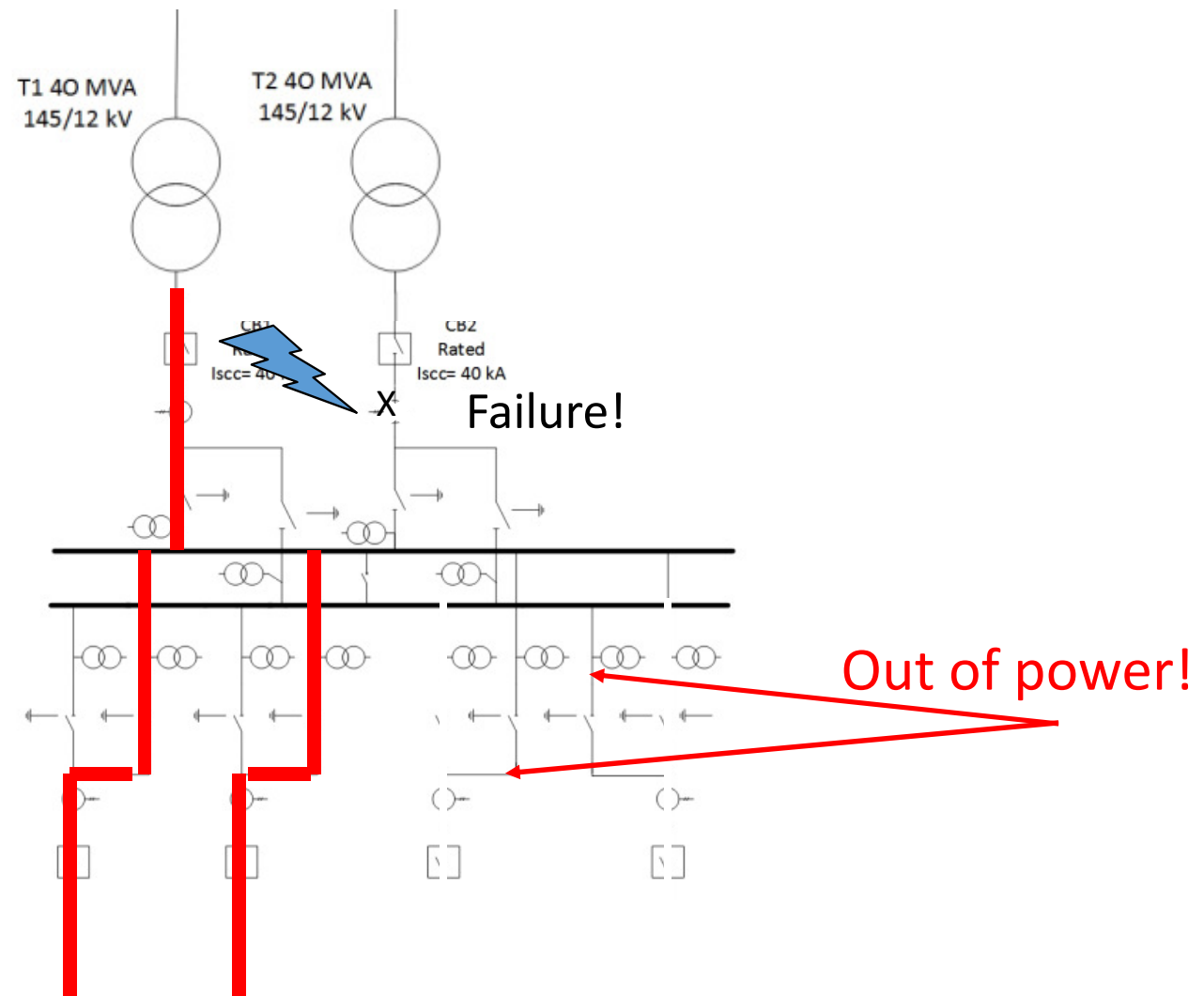
$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \dots$$

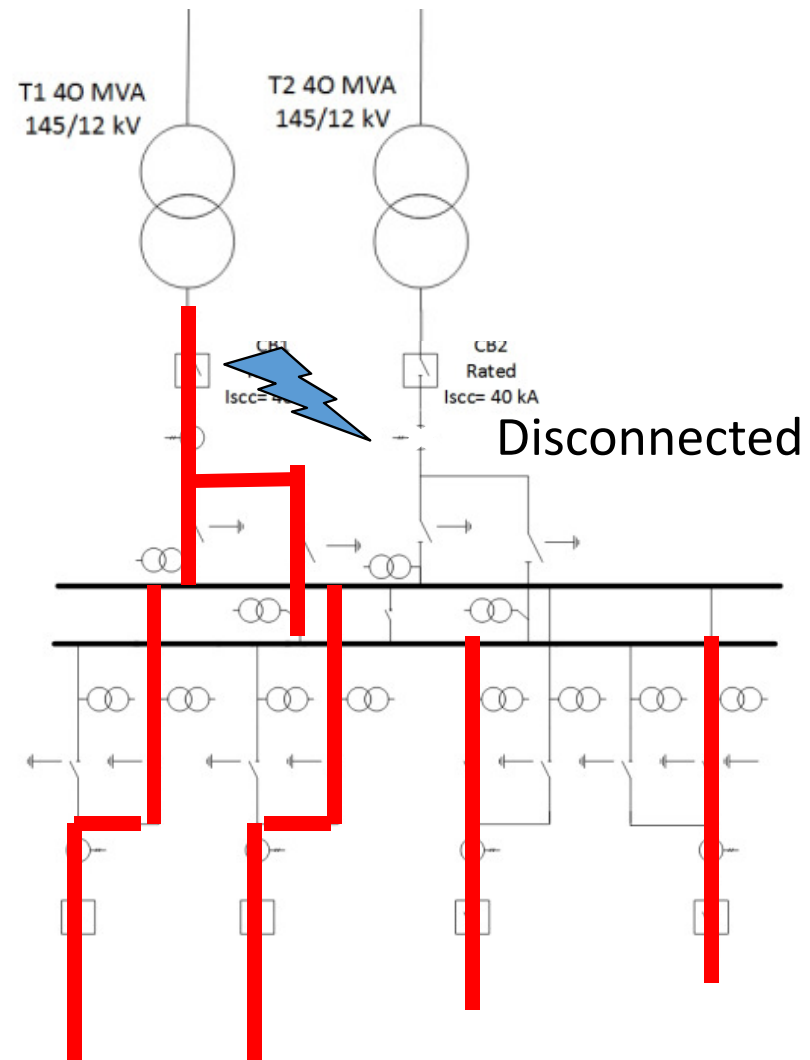
$$\underline{Z}_k = \frac{U^2}{\underline{S}_k} \text{ vilket insatt ger } \frac{U^2}{\underline{S}_k} = \frac{U^2}{\underline{S}_{k1}} + \frac{U^2}{\underline{S}_{k2}} + \dots$$

Division med U^2 ger

$$\frac{1}{\underline{S}_k} = \frac{1}{\underline{S}_{k1}} + \frac{1}{\underline{S}_{k2}} + \dots$$







Kortslutningsberäkningar:

1. genom successiv nätreduktion:

alla impedanser hänförs till enhetsspänning $U_e \Rightarrow I_k = \frac{U_{ef}}{Z_k}$

2. genom beräkning av kortslutningseffekt:

$$S_k = \sqrt{3} * U * I_k = \frac{U^2}{Z_k} \quad ; \quad S_k = \frac{S_n}{Z_k}$$

Begränsning av kortslutningsströmmarna:

1. genom begränsning av varaktighet – snabb brytning: säkringar, brytare (reläskydd), ljusbågsvakter, I_s – begränsare

2. genom ökning av kretsens reaktans:

a) uppdelning av systemet

b) ökning av generatorns- och transformator reaktansen

c) inkoppling av strömbegränsningsreaktorer

Kortslutningsströmmar

a) Kortslutningsströmmen är dimensionerande för effektbrytare, säkringar, ledningar, kablar mm

b) Effektivvärdet i kombination med bryttiden bestämmer de termiska påkänningarna:

$$I_1 = I_k * \sqrt{t_k} \quad [A] \quad ; \quad t_k [s]$$

c) Första strömtoppen (stötströmmen) är mekaniskt dimensionerande:

$$F = \frac{0,2}{d} * I_s^2 \quad [N/m] \quad ; \quad I_s [kA]$$

d) Jordfelströmmen kan orsaka överspänning i felställets omgivning