

A photograph of a high-voltage electrical substation. The scene is filled with a complex network of metal lattice towers (pylons) and high-voltage power lines. In the foreground and middle ground, there are numerous insulators and support structures for the lines. The ground is covered with gravel. In the background, a hilly landscape is visible under a cloudy sky. The overall tone is industrial and technical.

Cálculo de Cortocircuitos

Pablo Medina Cofré

Motivación

- Un sistema eléctrico está expuesto a:
 - Caídas de rayo.
 - Accidentes.
 - Actos vandálicos.
 - Otros eventos naturales.
- Lo anterior lleva al sistema a operar fuera de un punto nominal de operación

Motivación (II)

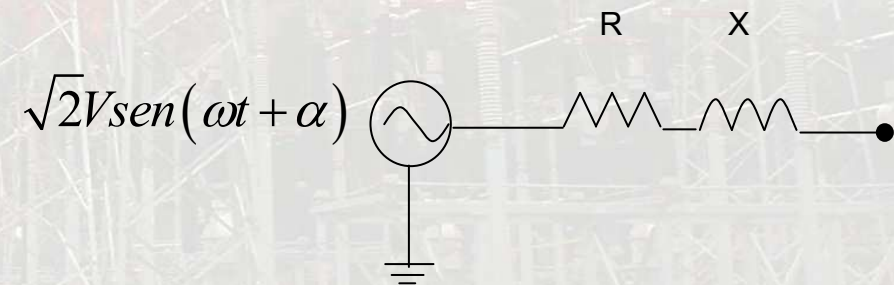
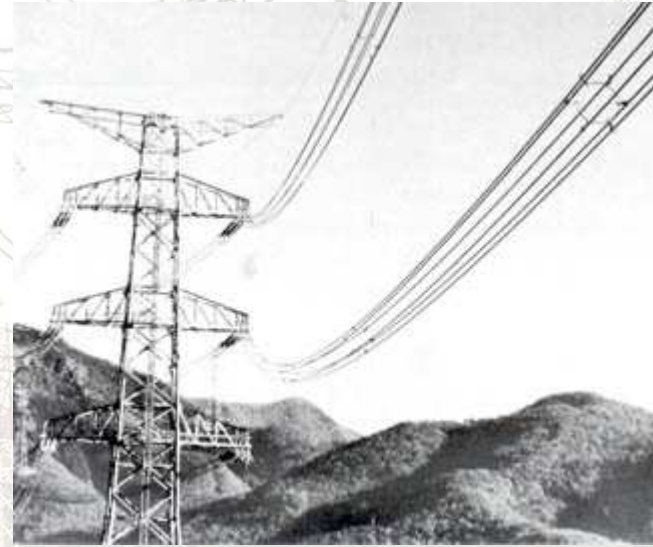
- La selección de elementos de control y protección debe ser realizada considerando lo anterior:
 - Fusibles.
 - Interruptores.
 - Relés.

Objetivos

- Calcular los valores de corriente y voltaje bajo fallas:
 - Cortocircuitos balanceados.
 - Cortocircuitos desbalanceados.
- Introducir los conocimientos básicos para elección de elementos de protección.
- Conocer técnicas para disminuir los efectos de las fallas en sistemas eléctricos.

Cortocircuitos balanceados

- Transitorio en líneas de transmisión
- Supuestos:
 - Circuitos alimentados por fuente ideal de voltaje
 - Línea opera en vacío
 - Capacitancia es despreciada



Transitorios en L.T.

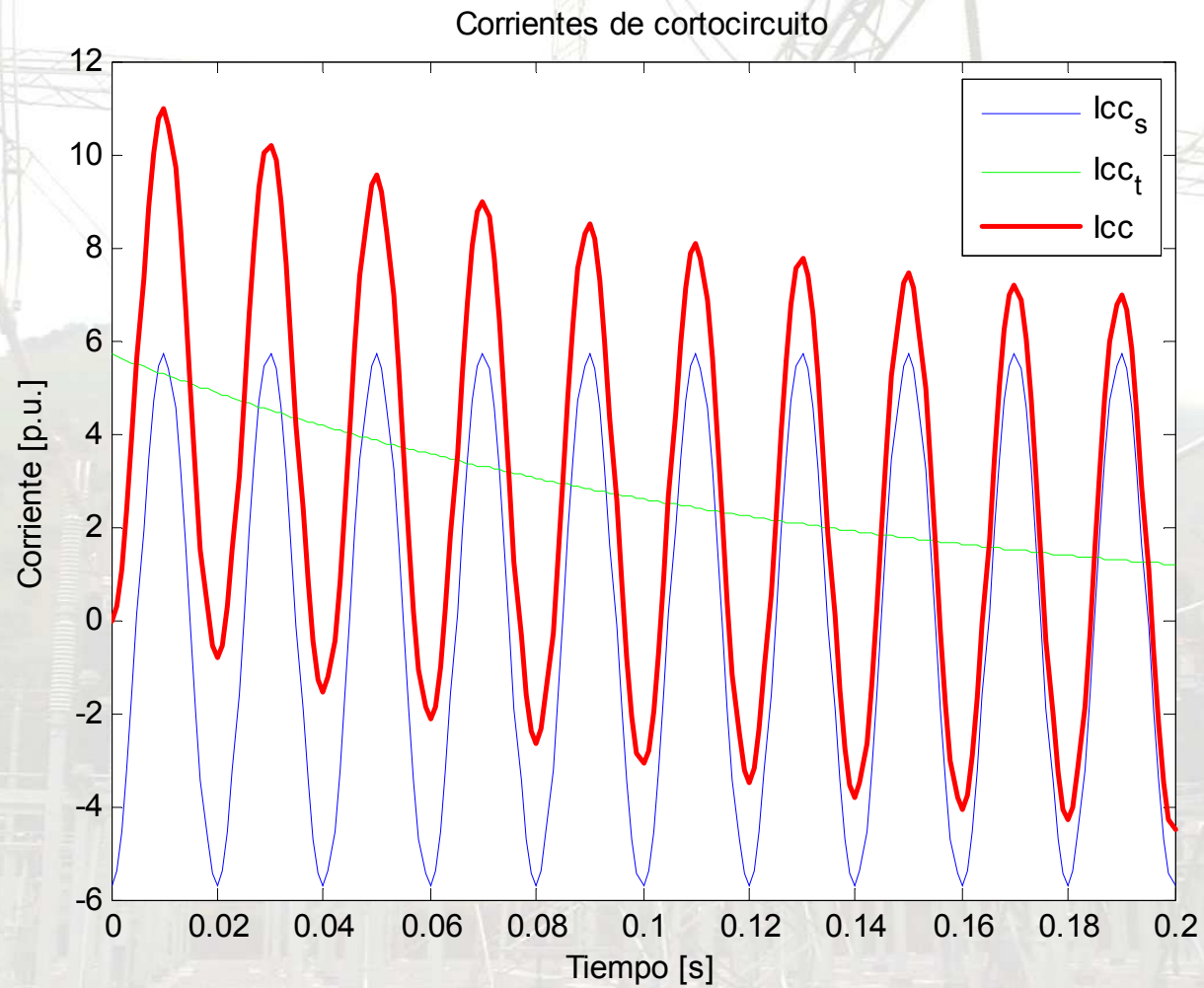
$$I = \frac{V\sqrt{2}}{|Z|} \operatorname{sen}(\omega t + \alpha - \theta) + \frac{V\sqrt{2}}{|Z|} \operatorname{sen}(\theta - \alpha) e^{-(R/L)t}$$

- Máximo de I_{cc} corresponde al primer peak

$$I = \frac{V\sqrt{2}}{|Z|} \operatorname{sen}(\theta - \alpha) + \frac{V\sqrt{2}}{|Z|} \operatorname{sen}(\theta - \alpha) \approx 2 \frac{V\sqrt{2}}{|Z|} \cos(\alpha)$$

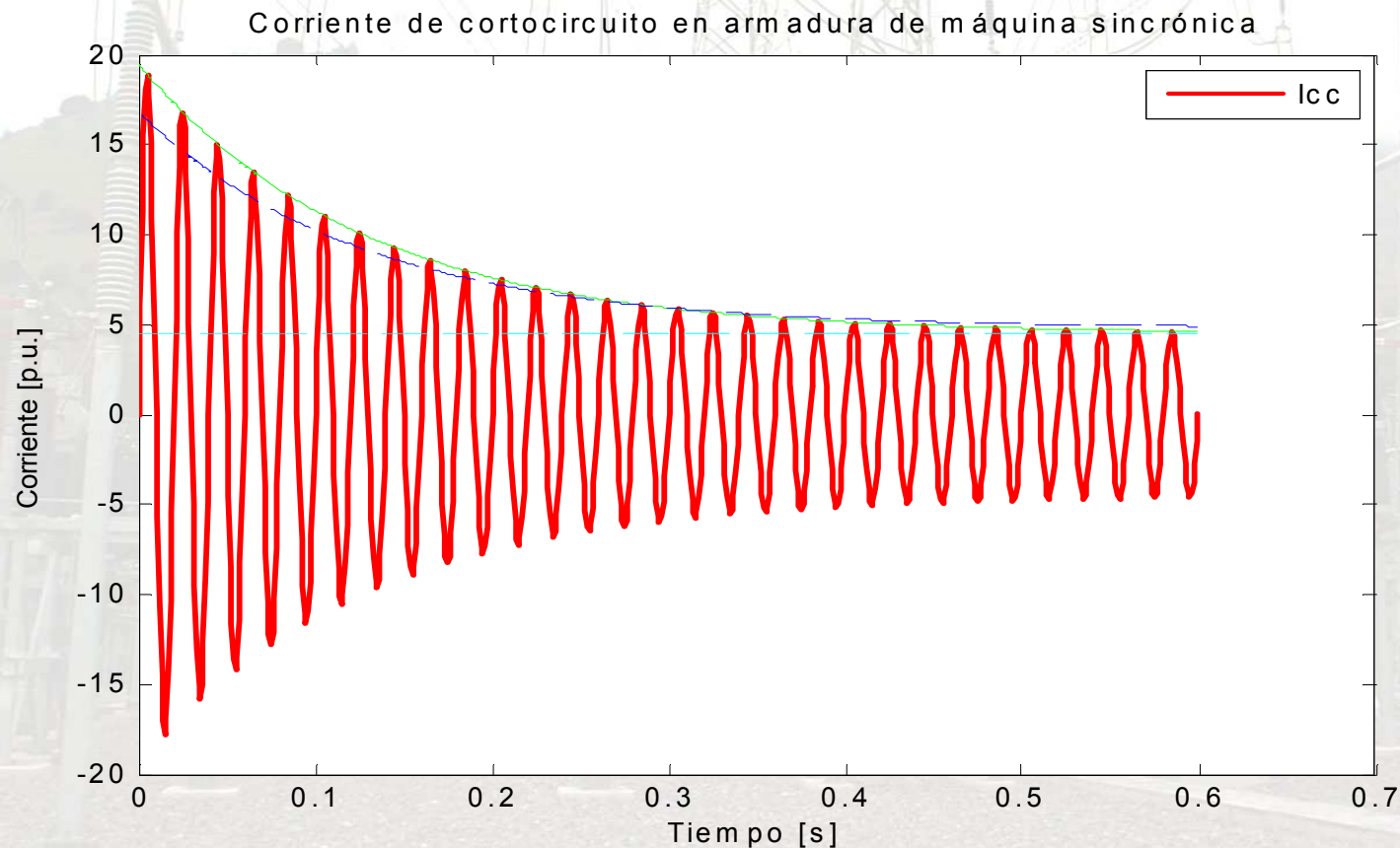
$$I_{max} = \frac{2\sqrt{2}V}{|Z|}$$

Transitorios en L.T.

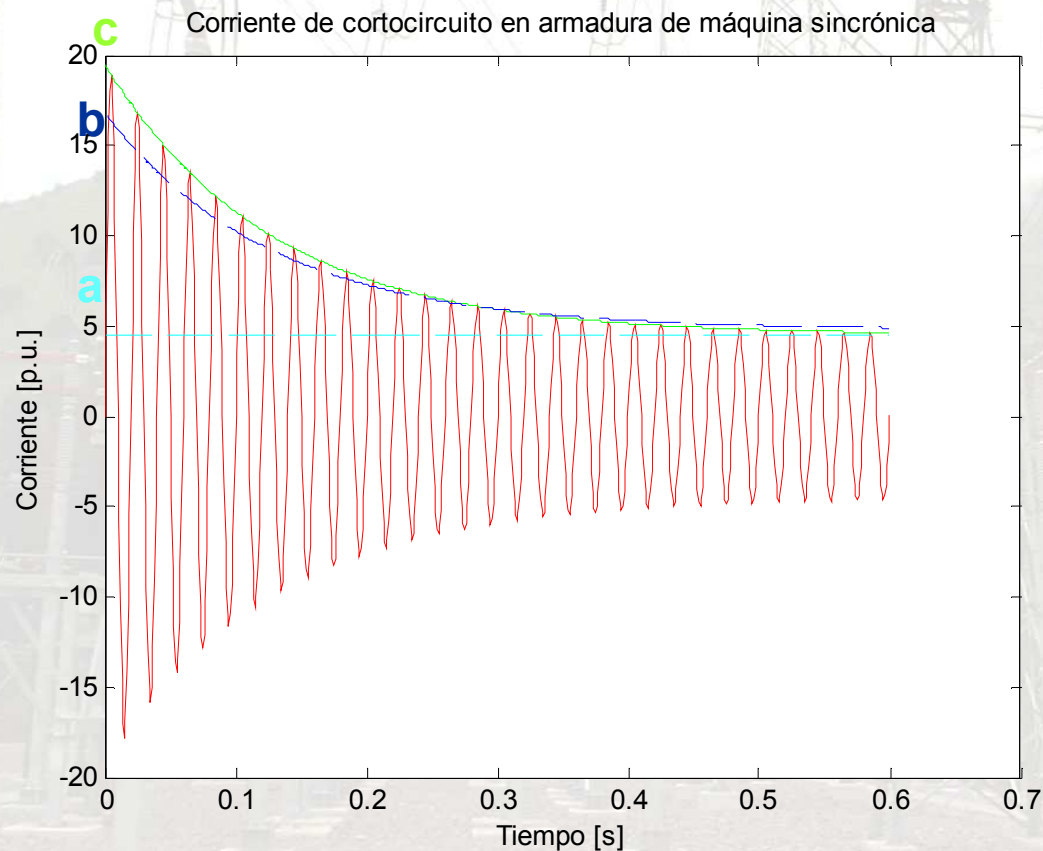


Cortocircuito en máquinas sincrónicas

- Si se hace una prueba de cortocircuito, se “observa” lo siguiente:



Cortocircuito en máquinas sincrónicas



$$|I| = \frac{oa}{\sqrt{2}} \frac{|E_g|}{|X_d|}$$

$$|I'| = \frac{ob}{\sqrt{2}} \frac{|E_g|}{|X'_d|}$$

$$|I| = \frac{oc}{\sqrt{2}} \frac{|E_g|}{|X''_d|}$$

Cortocircuito en máquinas sincrónicas

$$|I| = \frac{oa}{\sqrt{2}} \frac{|E_g|}{|X_d|}$$

$$|I'| = \frac{ob}{\sqrt{2}} \frac{|E_g|}{|X'_d|}$$

$$|I| = \frac{oc}{\sqrt{2}} \frac{|E_g|}{|X''_d|}$$

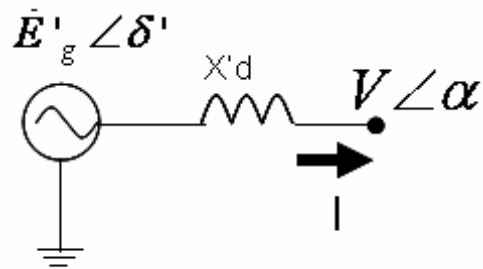
Name Importance	Symbol	Range ¹	Effective Time
Sub-transient reactance Determines maximum instantaneous current and current at time molded case circuit breakers usually open.	X''_d	.09 – .17	0 to 6 cycles
Transient reactance Determines current at short time delay of circuit breakers.	X'_d	.13 – .20	6 cycles to 5 sec.
Synchronous reactance Determines steady state current without excitation support (PMG).	X_d	1.7 – 3.3	after 5 sec.
Zero sequence reactance A factor in L-N short circuit current.	X_0	.06 – .09	
Negative sequence reactance A factor in single-phase short circuit current.	X_2	.10 – .22	

Fuente: White paper de Cummins Power Generation

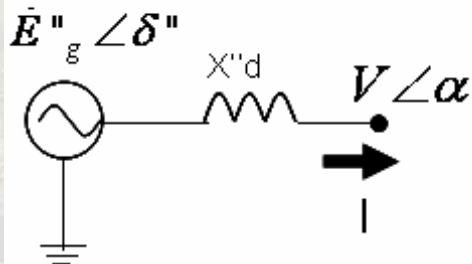
Cortocircuito bajo carga

- Sólo se hará una introducción a este tema.
- Pasos a seguir:
 - Obtener la solución de un flujo de potencia
 - Usando reactancias transitorias y subtransitorias, determinar las fems correspondientes.
 - Calcular los voltajes y corrientes en el punto de falla mediante técnicas de análisis de redes (eq. Thevenin)

Cortocircuito bajo carga



$$E'_g = jX'_d I + V \angle \alpha$$

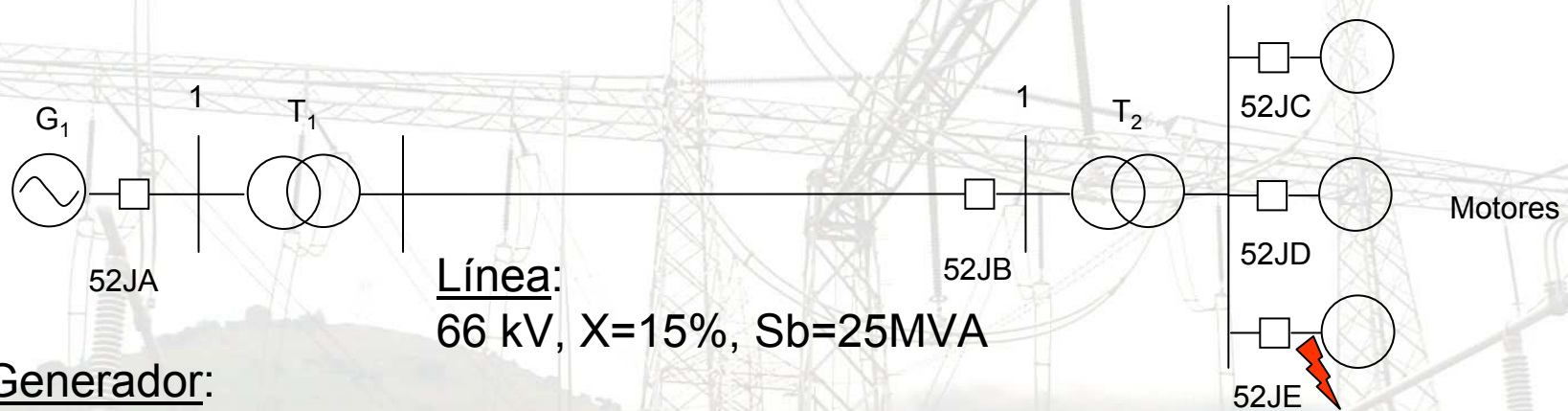


$$E''_g = jX''_d I + V \angle \alpha$$

Cortocircuito en grandes sistemas

- Se suelen hacer las siguientes simplificaciones:
 - El voltaje prefalla en todas las barras es 1[p.u.]
 - Las corrientes prefalla son cero (sistema sin carga)
- La consecuencia de lo anterior:
 - Todas las fems tienen igual ángulo y magnitud 1. Se suele tomar ángulo igual a cero.

Ejemplo numérico



Línea:
66 kV, $X=15\%$, $S_b=25\text{MVA}$

Generador:
25MVA, 11 kV, $X_d''=20\%$

T1:
66/11 kV, 25MVA, $X_t=10\%$

T2:
66/6,6 kV, 25MVA, $X_t=10\%$

Motores:
5MVA, 6.6kV, $X_d''=25\%$ $X_d'=30\%$

Calcular:

- Corriente subtransitoria en el punto de falla
- Corriente subtransitoria en el 52JE
- Corriente máxima "momentanea" en el 52JE
- Corriente a interrumpir por el 52JE en el quinto ciclo