

ANÁLISIS DE FALLAS



Ing. Leonidas Sayas Poma



CONTENIDO

- Objetivo
- Introducción
- Condiciones normales de operación
- Sistema aterrado y sistema aislado
- Cortocircuitos - Tipos
- Oscilación de Potencia
- Magnetización Transitoria del Transformador de Potencia
- Saturación de TC
- Abertura del secundario de TC
- Energización del Banco de Capacitores
- Ferroresonancia



OBJETIVO

- Identificar las condiciones normales de operación en un sistema eléctrico de potencia.
- Definir los tipos de sistemas eléctricos (aterrados y aislados).
- Analizar los diferentes tipos de cortocircuitos mediante el empleo de los oscilogramas.
- Evaluar la evolución de la corriente de cortocircuito
- Describir los diferentes fenómenos ocurridos antes, durante y después de una falla en el sistema eléctrico.



INTRODUCCIÓN

- La presente disertación tiene como finalidad presentar las técnicas de análisis e interpretación de oscilogramas de ocurrencias en el sistema eléctrico.

Se explicará brevemente los conceptos de sistemas aterrados y aislados, tipos de cortocircuitos y sus respectivos oscilogramas, oscilaciones de potencia, magnetizaciones transitorias de los transformadores de potencia, saturaciones de los TC, energización del banco de condensadores, así como el fenómeno de resonancia.

- Finalmente se desarrollará un caso práctico, analizando su comportamiento mediante los oscilogramas.



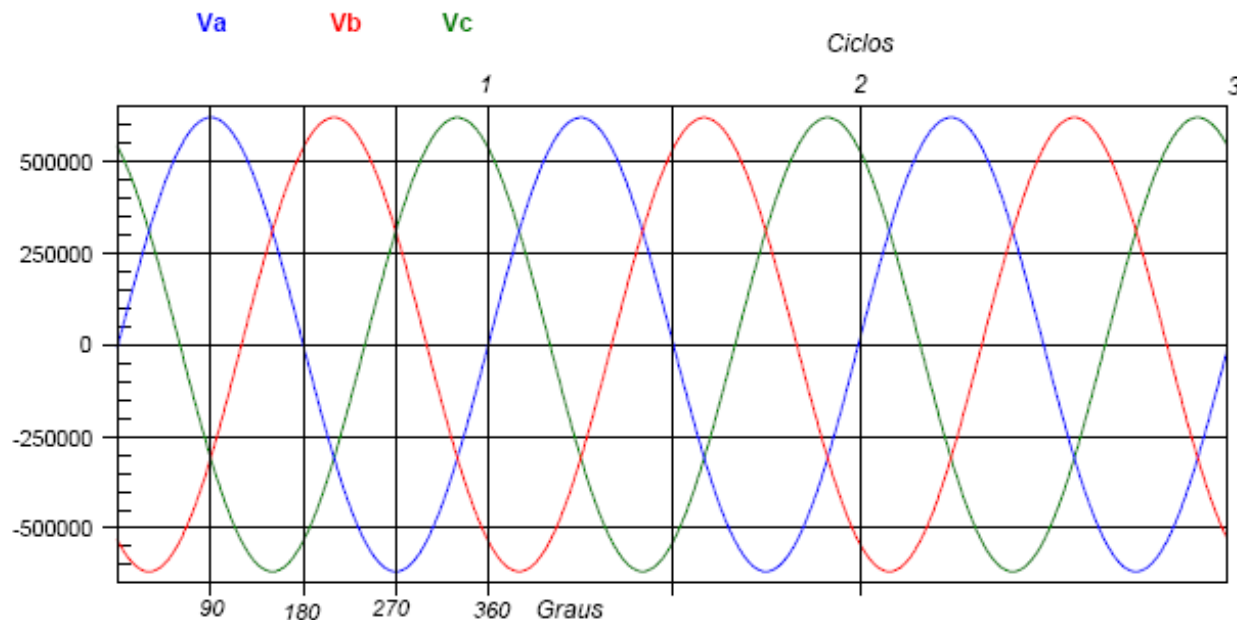
ANÁLISIS DE FALLAS



1. CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN

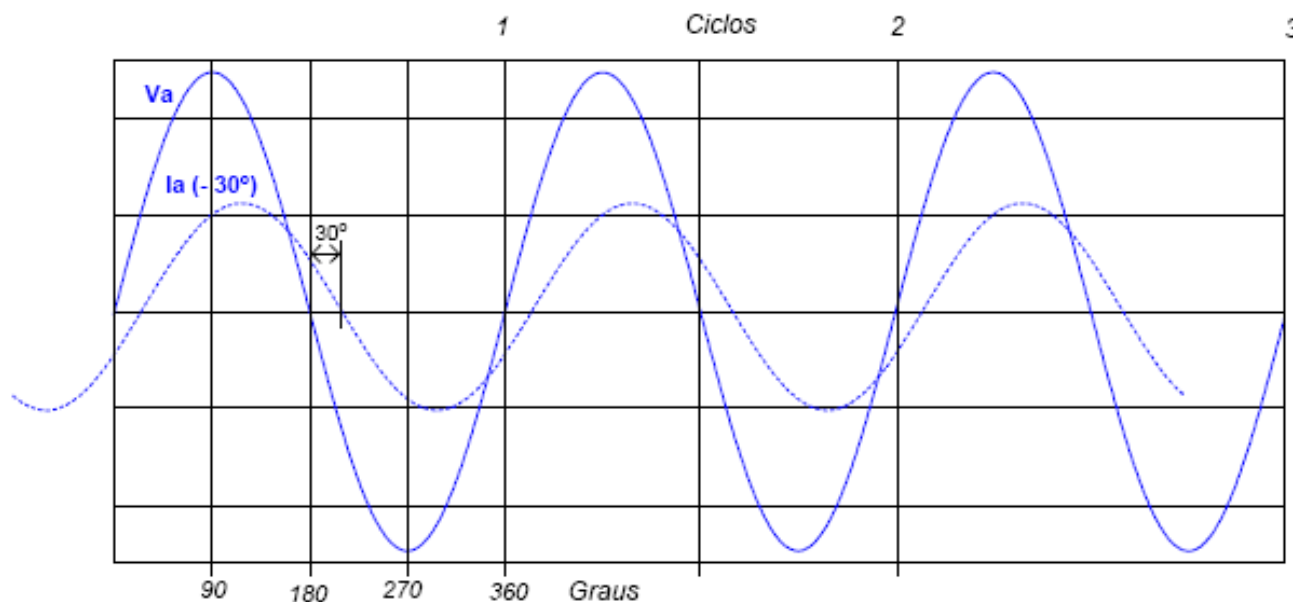
Condición de Equilibrio (Carga Normal)

La figura representa un sistema trifásico equilibrado.





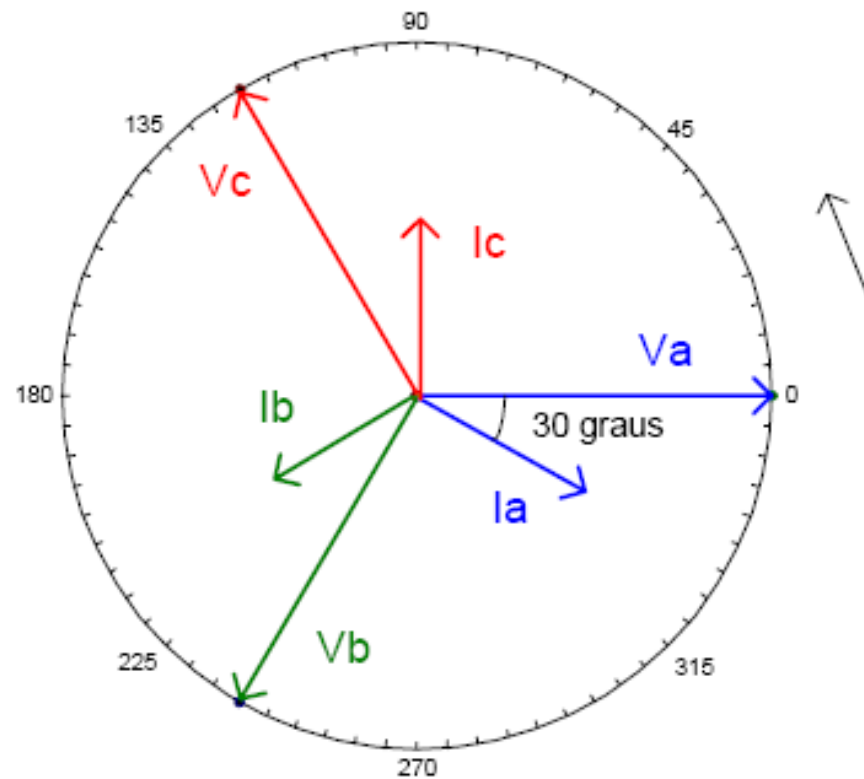
Tensión y Corriente en la fase A, con carga inductiva.



La carga en este caso es inductiva (corriente atrasada). En general en condiciones de equilibrio y principalmente en Alta Tensión, las formas de onda están bastante próximas a lo mostrado.



El mismo sistema trifásico equilibrado anterior puede ser representado por fasores, cuando no es muy práctico el desarrollo de senoides.

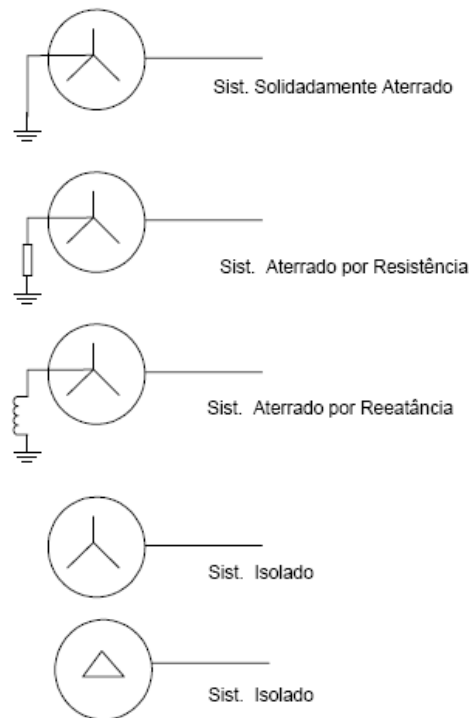




2. SISTEMA ATERRADO Y SISTEMA AISLADO

La siguiente clasificación se aplica a ciertas partes del sistema eléctrico cuya característica es el modo de aterramiento del neutro de los transformadores y maquinas rotatorias.

- Sistema solidamente aterrado
- Sistema aterrado a través de resistencia
- Sistema aterrado a través de reactancia
- Sistema aislado





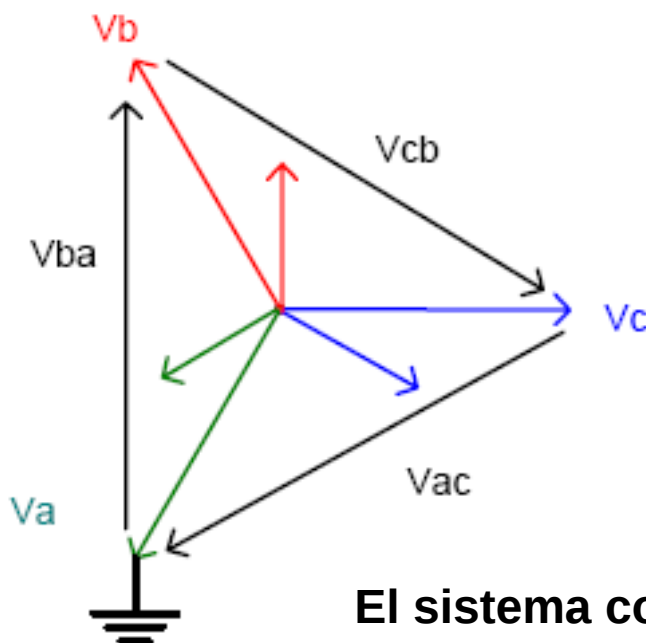
El punto de aterramiento puede ser proveído por un generador, un transformador o un transformador de aterramiento. La tabla muestra la diferencia entre estos sistemas.

Sistema	Corrente de Curto Circuito à Terra em % da Corrente de Curto Circuito Trifásico	Sobretensões Transitórias	Segregação Automática do Ponto de Curto Circuito	Pára-raios	Observações
Solidamente Aterrado	Pode ser 100%, com variações para mais ou menos	Não Excessivo	Sim. Permite Seletividade para sobrecorrente.	Tipo Neutro Aterrado (tensão nominal Fase – Neutro)	Geralmente usado em tensões primárias de Distribuição e Acima. Também para circuitos secundários de 600 V e abaixo.
Aterrado por Reatância (Baixa Reatância) Essencialmente Solidamente Aterrado	25 a 100% para reatores de baixa reatância	Não Excessivas	Sim. Permite Seletividade.	Tipo neutro aterrado se corrente superior a 60%	Geralmente usado em tensões primárias de Distribuição e Acima. Também para circuitos secundários de 600 V e abaixo.
Aterrado por Reatância (Alta Reatância)	5 a 25% para reatores de alta reatância.	Muito Altas	Permite Seletividade com dificuldade.	Tipo neutro não aterrado (tensão de linha)	Não usado devido às excessivas sobretensões transitórias
Aterrado por Resistência	5 a 20%	Não Excessivas	Permite Seletividade com dificuldade.	Tipo neutro não aterrado (tensão de linha)	Geralmente usado para sistemas industriais de 2,4 a 15 kV.
Isolado	Menor que 1%	Muito Altas	Não.	Tipo neutro não aterrado (tensão de linha)	Usado apenas em ambientes restritos, com baixa possibilidade de sobretensões transitórias.



2.1 Cortocircuito Fase-Tierra en sistema aislado

La ocurrencia de corto circuito de una fase a tierra, en un sistema aislado, desplaza el punto de tierra del neutro, conforme muestra la figura para un cortocircuito de la fase A a tierra.



Las tensiones fase-neutro pasarán a ser:

$V_a = 0$ (esta fase va a la tierra)

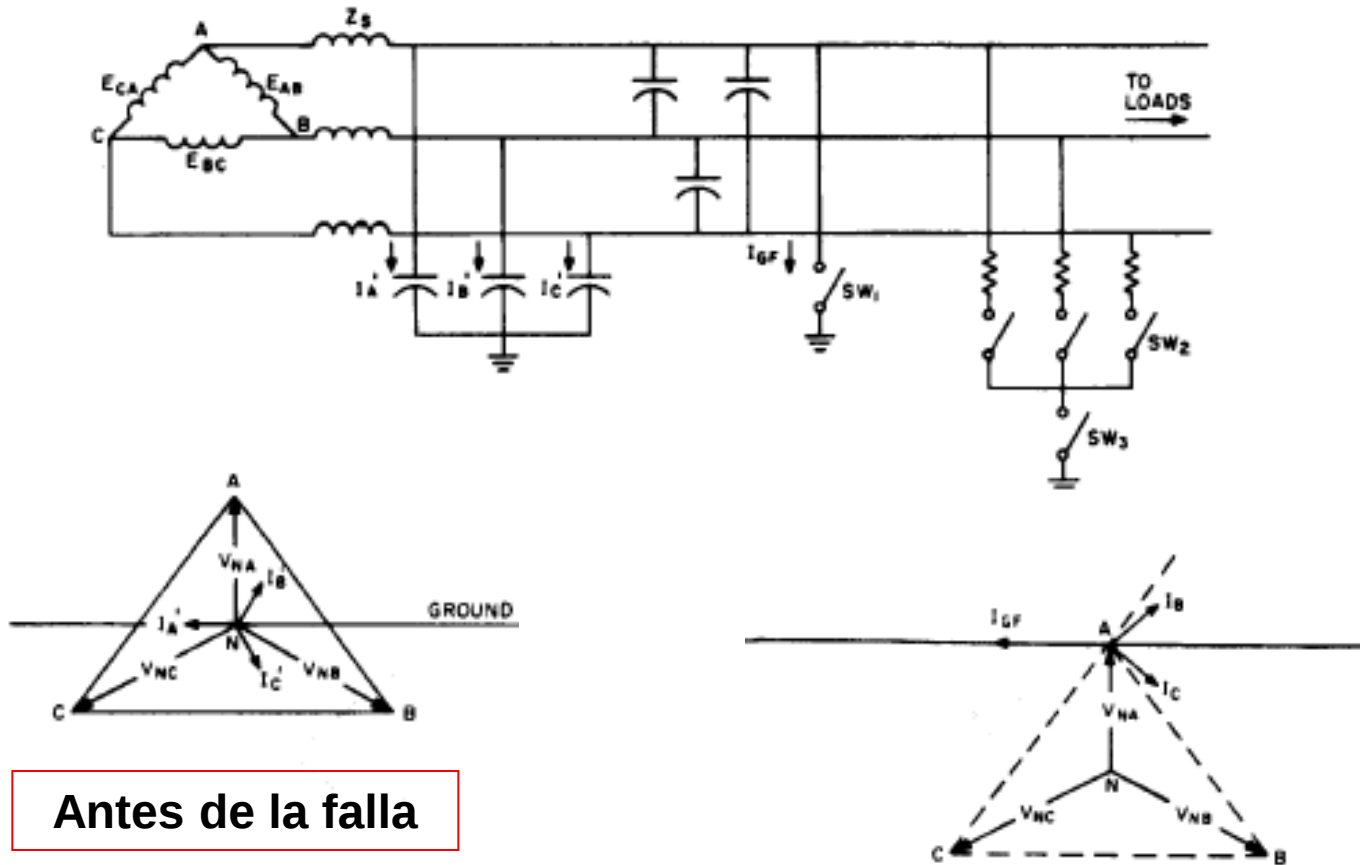
$V_b = V_{ba}$ (tensión de línea, $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase)

$V_c = -V_{ac}$ (tensión de línea, $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase)

El sistema continúa operando normalmente.



Condición típica de un sistema aterrado



Antes de la falla

Después de la falla



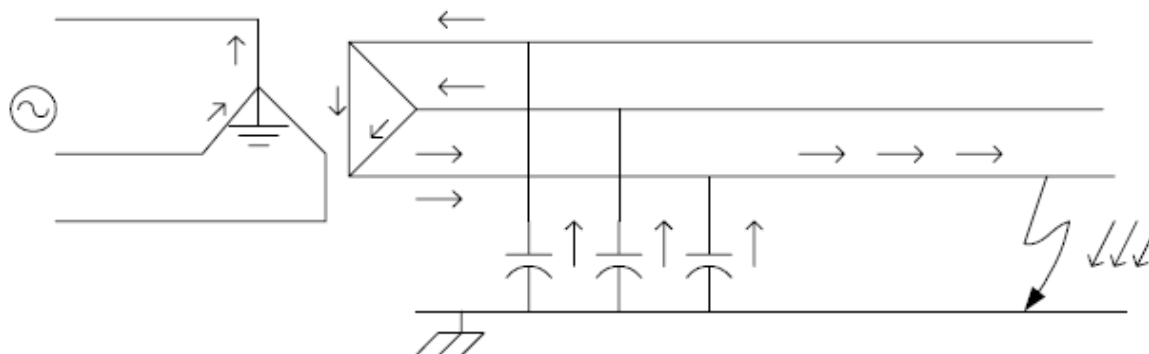
Dado que las tensiones de fase tienen un aumento de 73.2%. Es preciso que los pararrayos para sistemas aislados sean especificados para tensión de línea y no para tensión de fase.

El riesgo existente es la posibilidad de un segundo aterramiento (por corto circuito o por accidente) en otra fase. En estas condiciones se caracterizaría un cortocircuito bifásico con alta corriente.

Por lo tanto es esencial un circuito que detecte cuando una fase va a tierra y emita una alarma correspondiente. El problema es que no se sabe en que punto del sistema se encuentra el cortocircuito.



La corriente de cortocircuito existirá en cantidades pequeñas, debido a los capacitores del sistema, conforme a la figura.



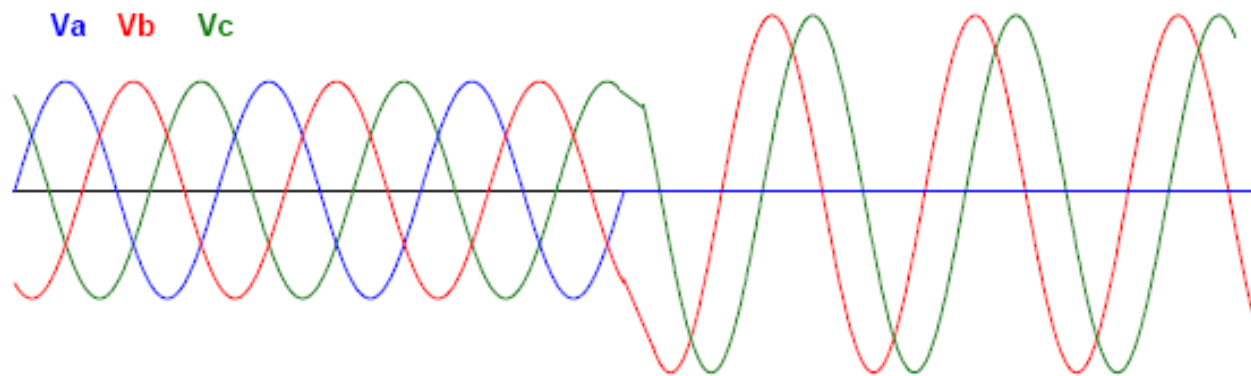
Cuanto mayor es la corriente, mayor debe ser la capacitancia del circuito, el cual está constituido por cables aislados.

Si la corriente es pequeña, no es detectado por los relés de protección, ocasionando cierto peligro para las personas, por lo tanto un sistema aislado solo es recomendado para ambientes controlados (servicios auxiliares de subestaciones), donde la interrupción por un corto fase-tierra es despedido para mantener la continuidad del suministro.



En términos de senoidales, se habrá alterado las tensiones medidas por el registrador oscilográfico (en caso estas tensiones fueran fase-neutro).

Tensões Fase - Neutro de um Sistema Isolado
com Curto-Circuito da fase A à Terra



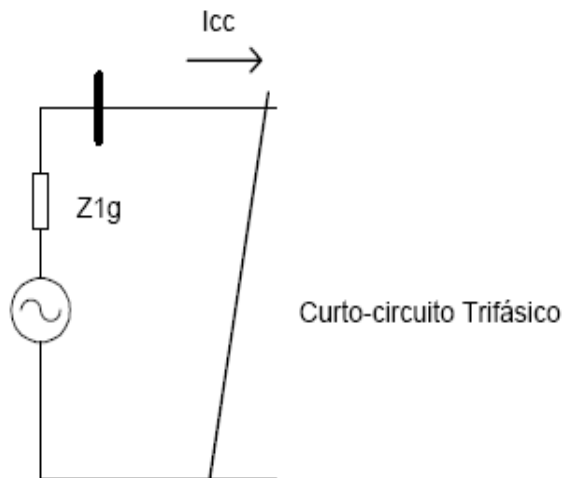
El ángulo entre las fases b y c pasará de 120 a 60 grados



3. CORTOCIRCUITOS

3.1 TRIFÁSICO

Cortocircuito en los terminales de un generador síncrono



La impedancia representada es la de secuencia positiva, una vez que el corto circuito trifásico ocurre en condiciones equilibradas.

La corriente es inductiva (-90°), visto que la impedancia del generador es inductiva (baja resistencia). Esta reactancia del generador tiene, inicialmente, un valor pequeño (reactancia subtransitoria X''_g). Después de un cierto tiempo su valor aumenta (reactancia transitoria X'_g). Y va aumentando con el correr del tiempo hasta un valor mayor.



El oscilograma siguiente muestra la corriente de cortocircuito en una de las fases del generador síncrono, considerando los periodos subtransitorios, transitorios y de régimen estable.

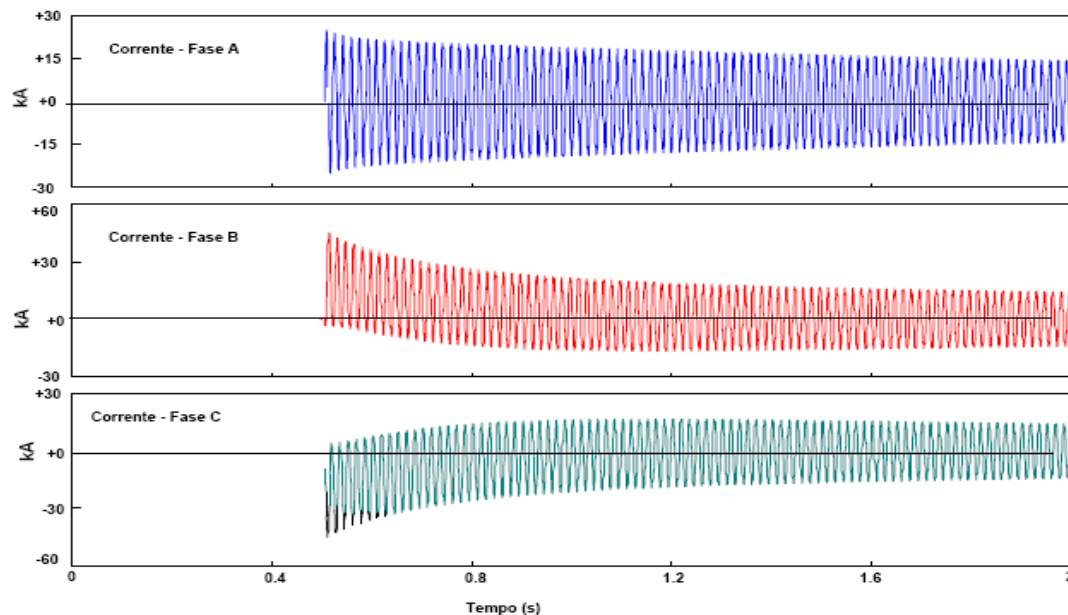


Se observa la corriente de corto circuito considerando que el mismo ocurre cuando la tensión está pasando por su valor pico, es decir, no hay componente dc.

En las otras dos fases, habrá obligatoriamente componente dc. Asimismo el valor máximo de la corriente en las otras fases serán multiplicados por el factor de asimetría.



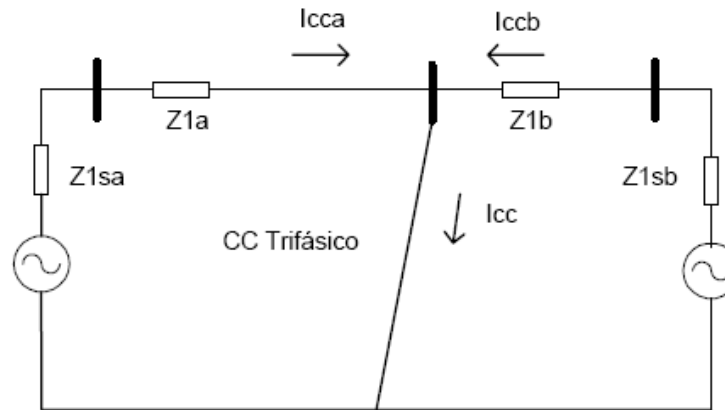
La figura siguiente muestra las componentes en las tres fases, obtenida de un programa de simulación de cortocircuito (PSCAD), donde se nota el efecto del desplazamiento del eje en las corrientes de las otras dos fases.



Cabe resaltar que estos efectos son más acentuados en cortocircuitos próximos al generador, donde los valores de la reactancia son mucho mayores que los valores de las resistencias.



Cortocircuito trifásico en algún punto del sistema eléctrico



La corriente total de cortocircuito será limitada por las impedancias equivalentes ($Z1sa+Z1a$) en paralelo con ($Z1sb+Z1b$), todos de secuencia positiva. Las corrientes I_{cca} e I_{ccb} de los dos lados pueden ser calculadas por el divisor de corriente.

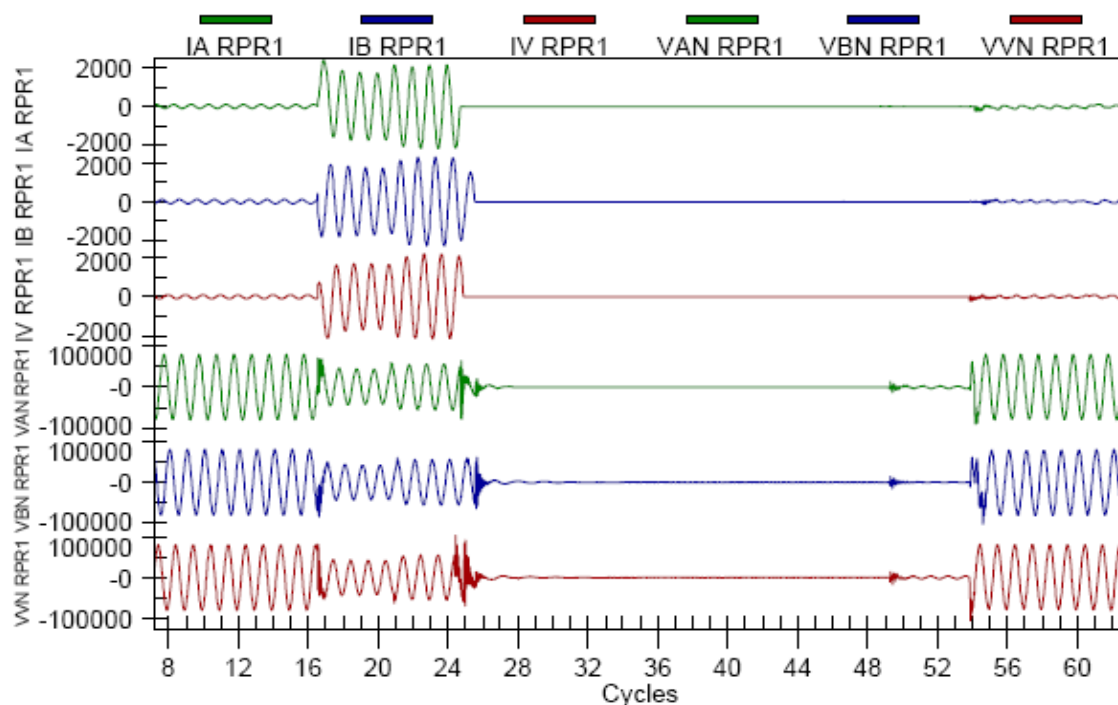
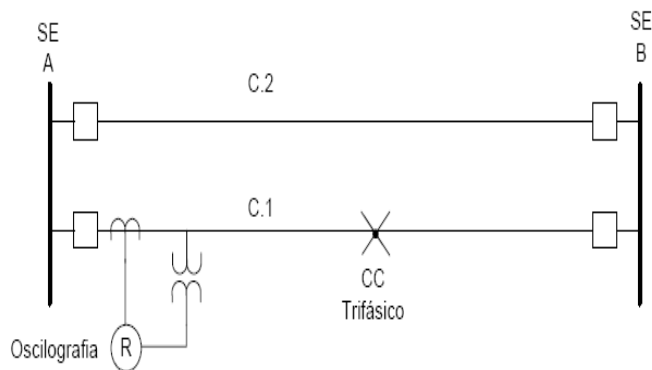
En partes del sistema alejados de la generación, con menor ángulo de corto circuito, los efectos de las reactancias transitoria y subtransitoria de las maquinas y del componente dc son mucho menos acentuadas.



Ejemplo: Oscilograma real de cortocircuito trifásico - Con recierre automático

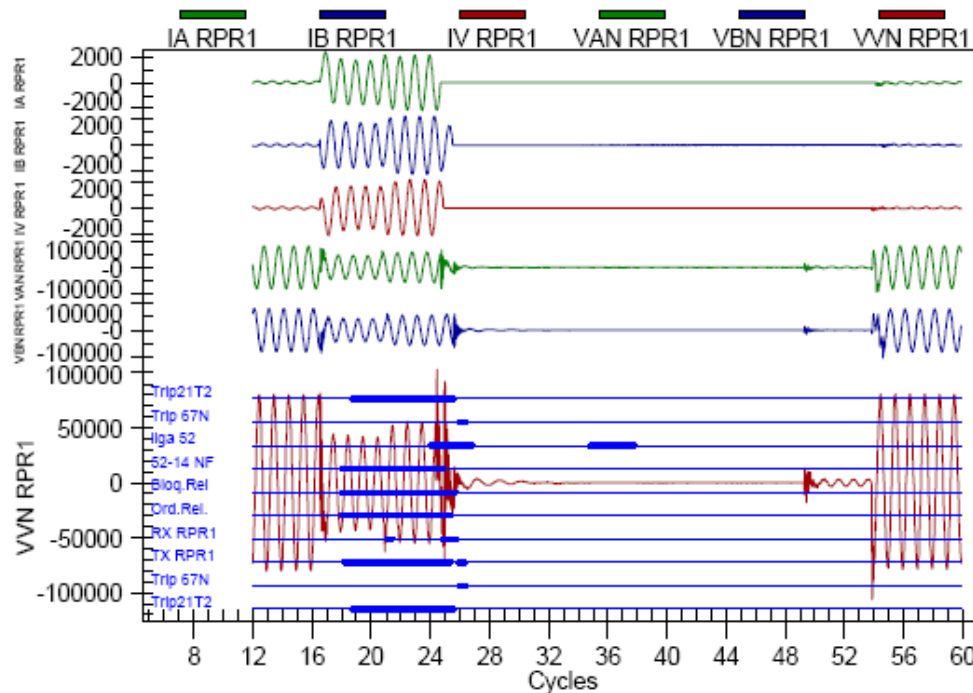
El siguiente ejemplo muestra un oscilograma de cortocircuito trifásico en línea de transmisión de 138 kV. El oscilograma muestra todavía el recierre automático tripolar de este circuito.

Se observa transitorios en las formas de ondas de las tensiones, debido a oscilaciones del circuito LC. Se trata del oscilograma de un registrador “stand alone”





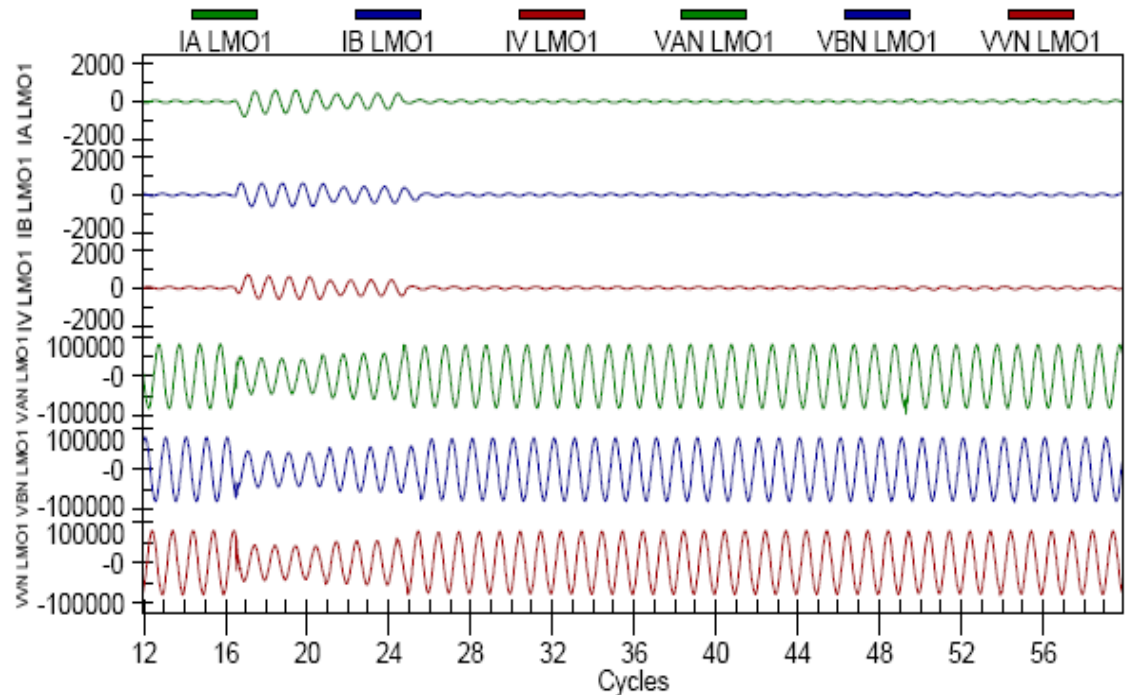
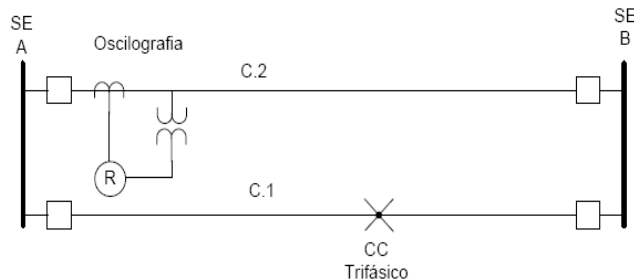
Mismo Oscilograma con eventos



Los oscilogramas mostrados se refieren a uno de los dos circuitos de una línea de circuito doble.



El oscilograma siguiente muestra lo ocurrido en circuito paralelo, para una misma ocurrencia.



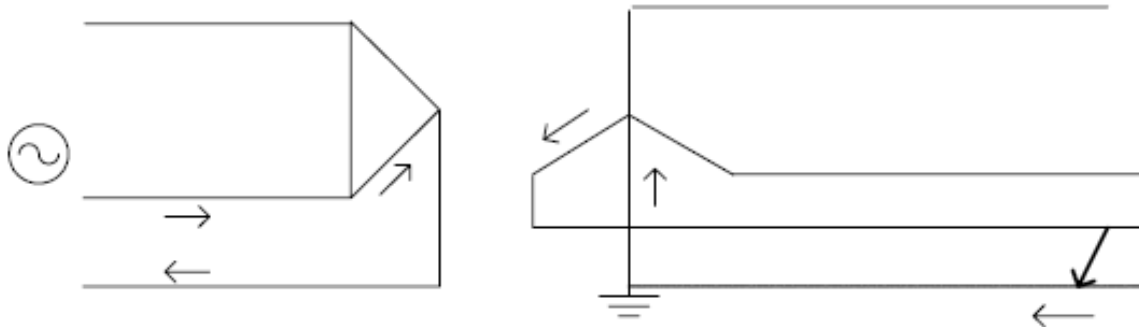
Se observa el comportamiento del circuito para las corrientes de cortocircuito y las caídas de tensión en las fases A, B y V



3.2 FASE TIERRA

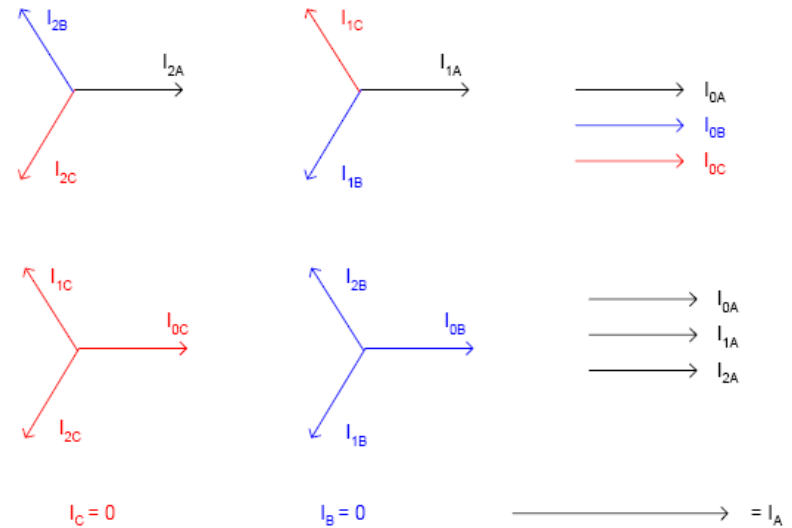
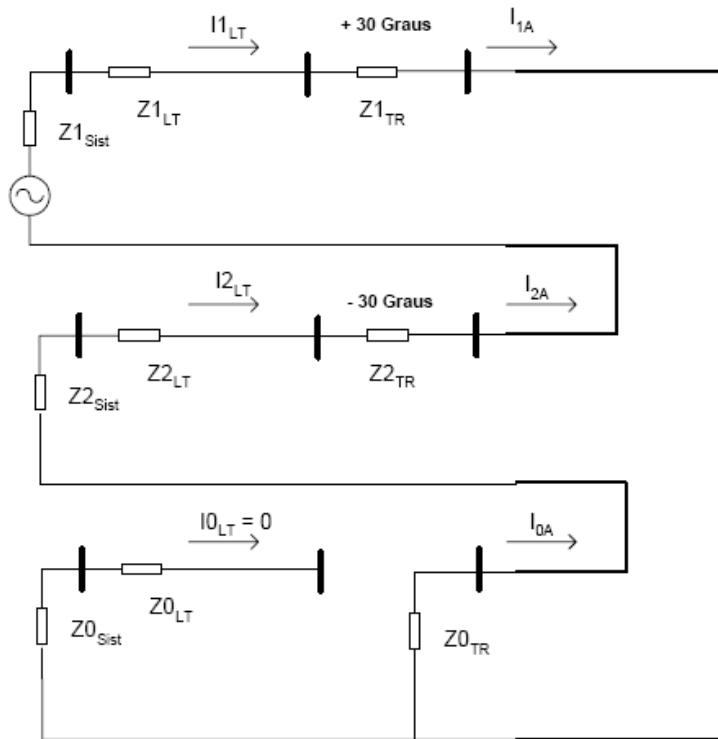
Representación de Componentes Simétricos

Vamos a suponer un corto circuito fase-tierra en el lado de baja tensión de un transformador.



Habrà corriente en una fase del lado estrella aterrado y corriente en las dos fases del lado de línea, fuera del triángulo.

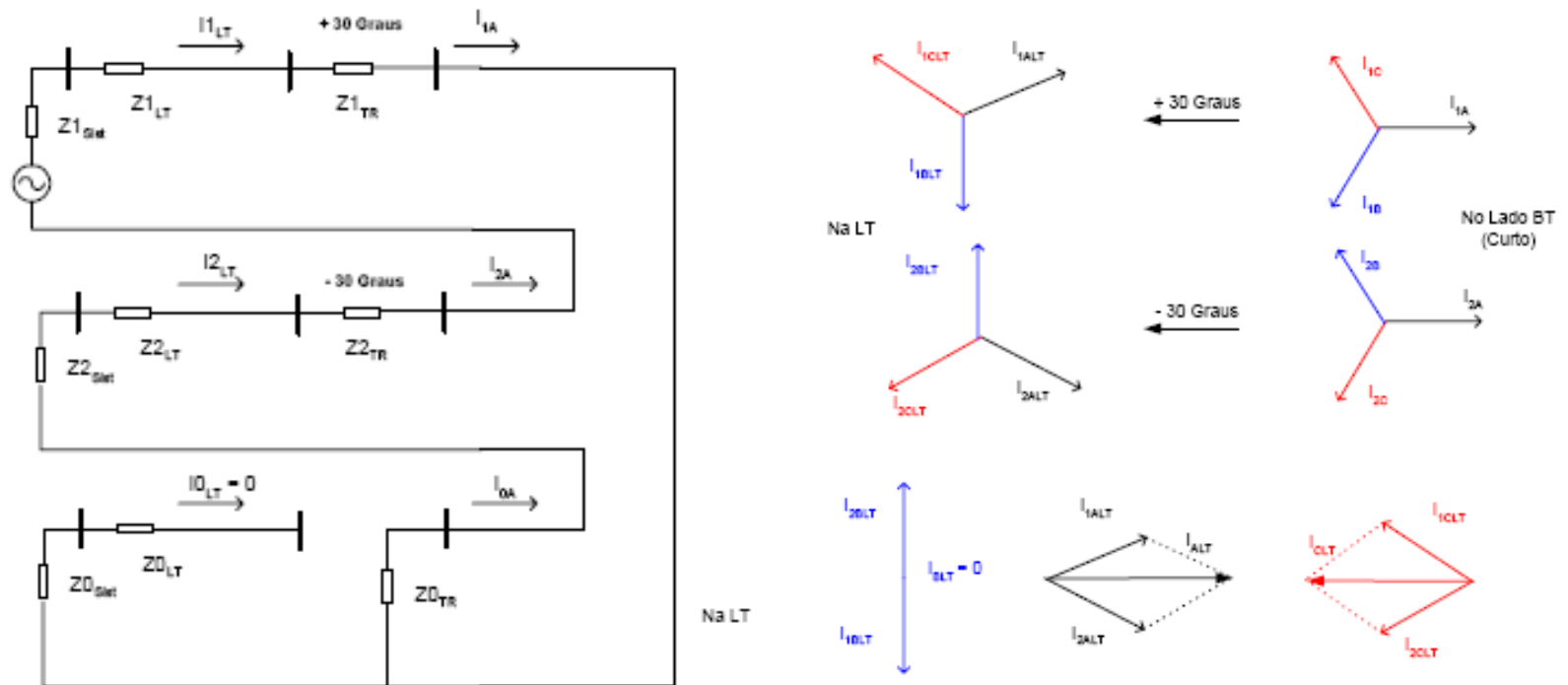
En términos de componentes simétricos, donde se separa el sistema desequilibrado en tres sistemas equilibrados, cada una de ellas con una característica específica (secuencia positiva, negativa y cero), se tienen la siguiente representación.



Es decir, hay corriente en la fase A y no hay en las otras dos fases. La teoría de cálculo de corto circuito utilizando circuitos equivalentes muestra que las condiciones de carga, antes del corto circuito, deben ser sumadas a las condiciones calculadas en el cortocircuito para así obtener las corrientes de las fases.



En el lado de alta tensión del transformador, no hay corriente de secuencia cero, solo de secuencia positiva y negativa. Considerando que hay rotación de -30 grados para la secuencia positiva y $+30$ grados para la secuencia negativa, tenemos:

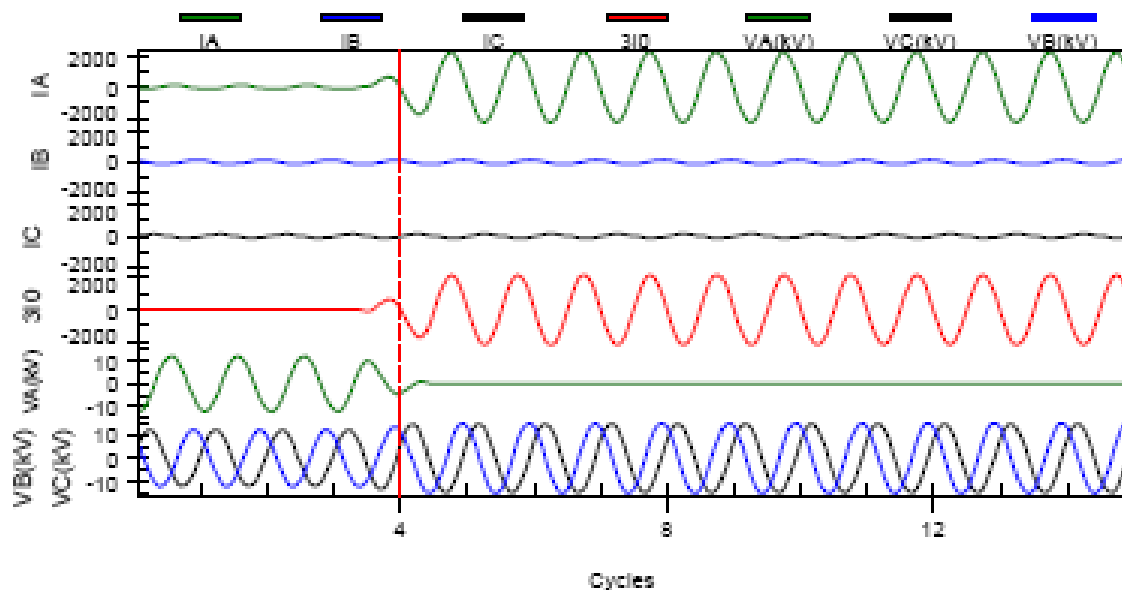


Se comprueba que hay corriente en las dos fases, siendo estas opuestas.



Oscilograma simulado

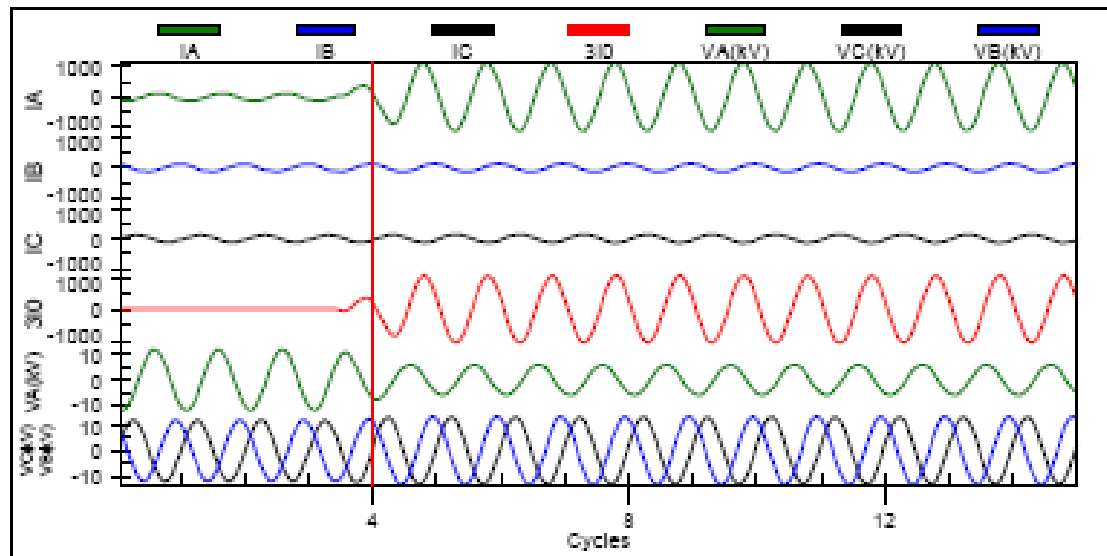
La figura muestra un oscilograma simulado para un corto circuito fase-tierra en línea radial, luego de una salida de línea.



Se observa que hay elevación de corriente en la fase en corto (A), aparición de corriente de tierra (3.I0) y caída de tensión en la fase A. El hecho de que la tensión caiga a cero muestra que el cortocircuito ocurre luego de la salida de la línea.



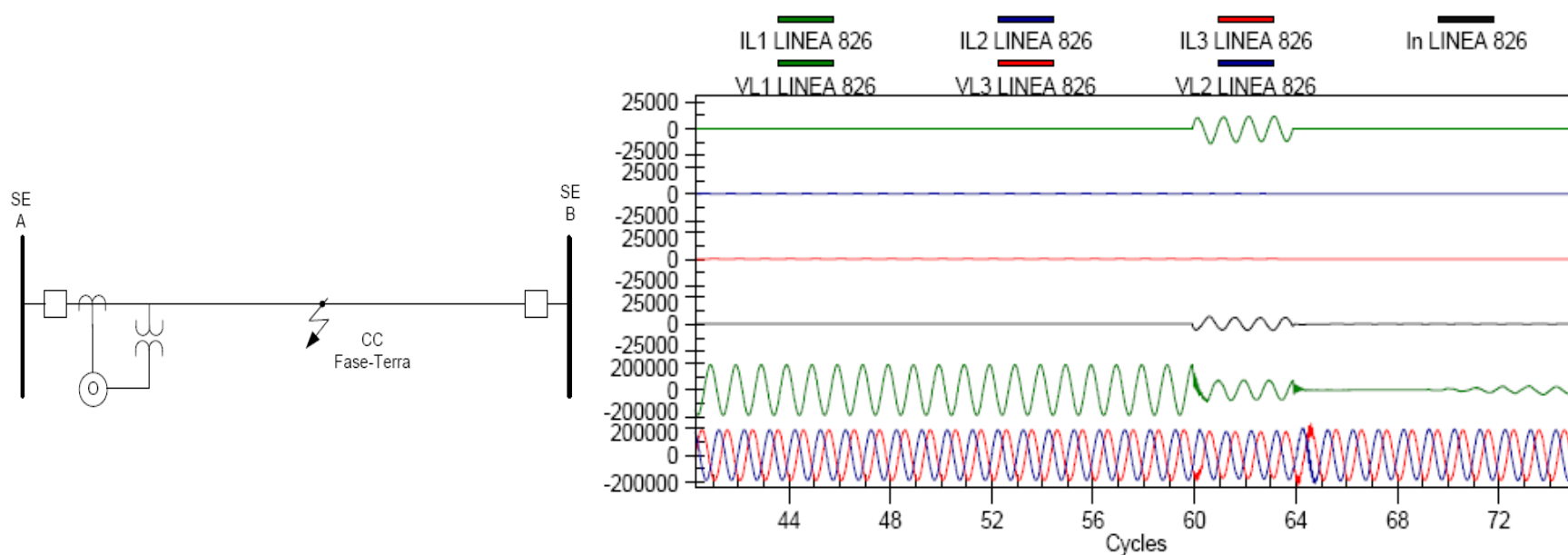
El siguiente ejemplo simulado muestra un cortocircuito fase-tierra en el medio de la línea de transmisión, habiendo impedancia entre el punto de cortocircuito y el punto de localización del registrador:



Obsérvese en este caso que la tensión en la fase A, en corto circuito, no cae a cero, lo que muestra que el punto de cortocircuito no es la salida de la línea. Notar que las corrientes de la fase A y de tierra (3.I0) están en fase, lo que refuerza el hecho de que el cortocircuito es de tipo fase-tierra.



Ejemplo de Oscilograma Real



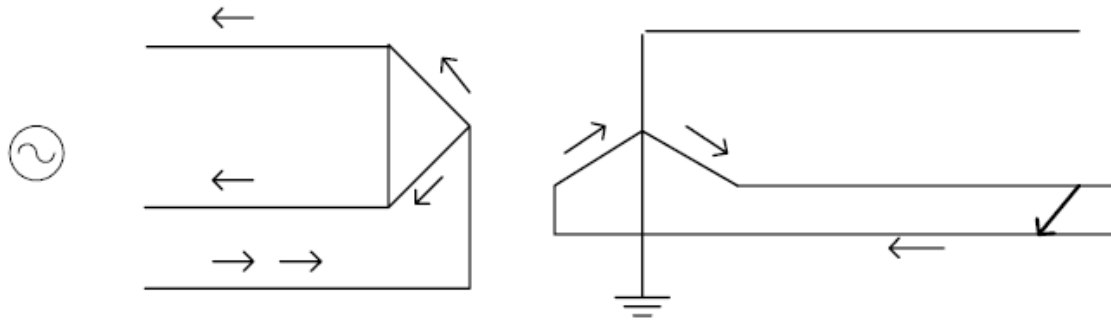
El ejemplo es de una salida de línea de transmisión de 230 kV y el oscilograma proviene de un registrador “stand alone”. El transitorio en alta frecuencia puede ser observada en la onda de tensión de la fase donde ocurre el corto circuito.



3.3 BIFÁSICO

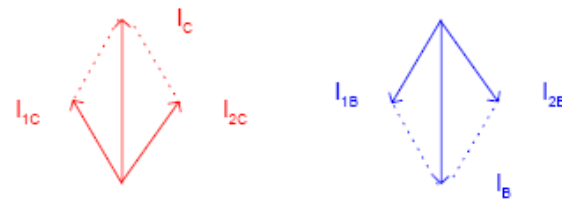
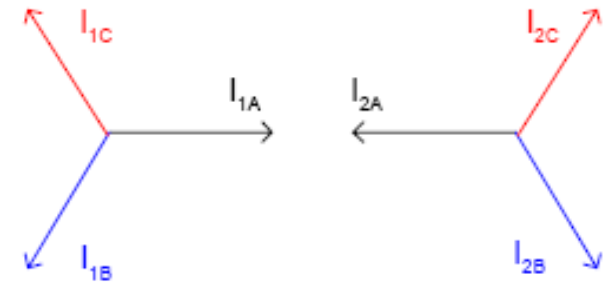
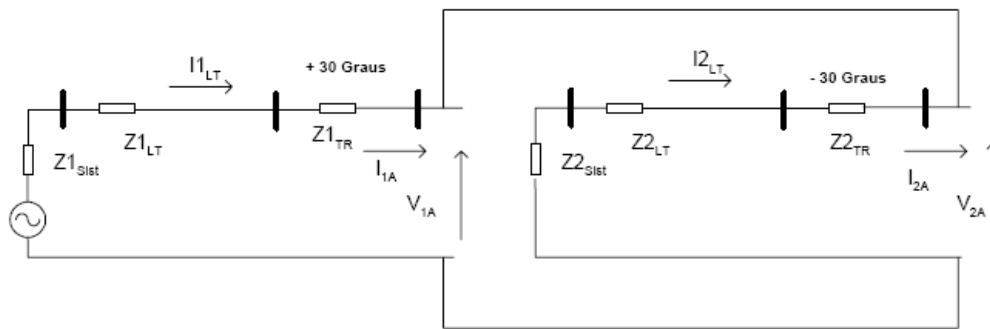
Representación de Componentes Simétricos

Vamos a suponer un cortocircuito bifásico en el lado de baja tensión de un transformador, conforme la siguiente figura.



Habrà corriente en las dos fases del lado estrella aterrado y corriente en las tres fases de línea, fuera del triángulo, resultando que en una de ellas la corriente es el doble de las otras dos.

En términos de componentes simétricos, donde se separa el sistema desequilibrado en tres sistemas equilibrados, cada una de ellas con una característica específica (secuencia positiva, negativa y cero), se tiene la siguiente representación:

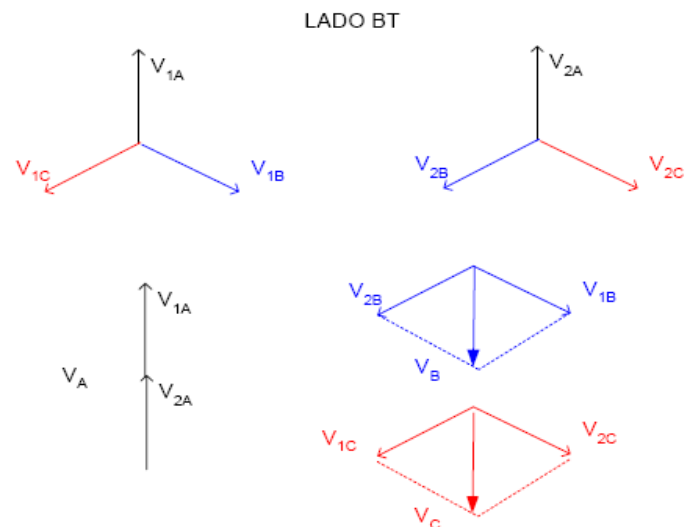
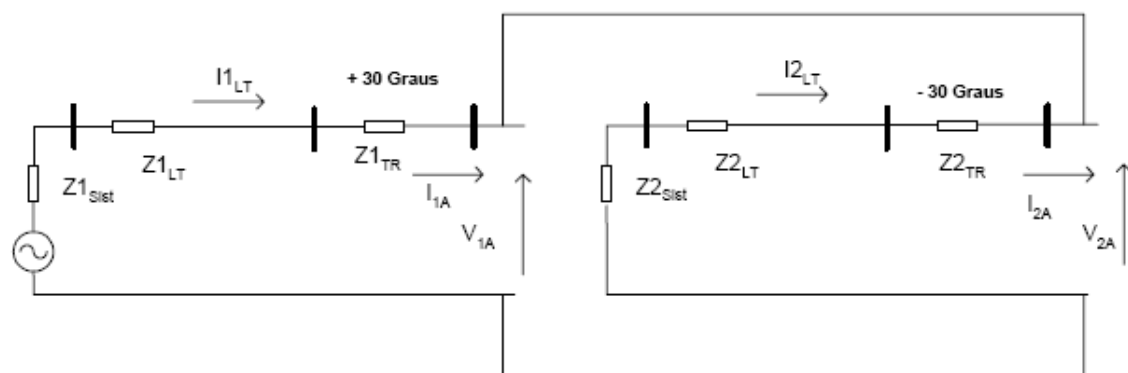


$$\begin{matrix} I_{1A} & I_{2A} \\ \longrightarrow & \longleftarrow \\ I_A = 0 \end{matrix}$$

En el lado de baja tensión, las corrientes en las fases B y C (corto circuito entre estas fases) son opuestas entre si. No hay componente de secuencia cero pues el cortocircuito no vuelve a tierra



Tensiones



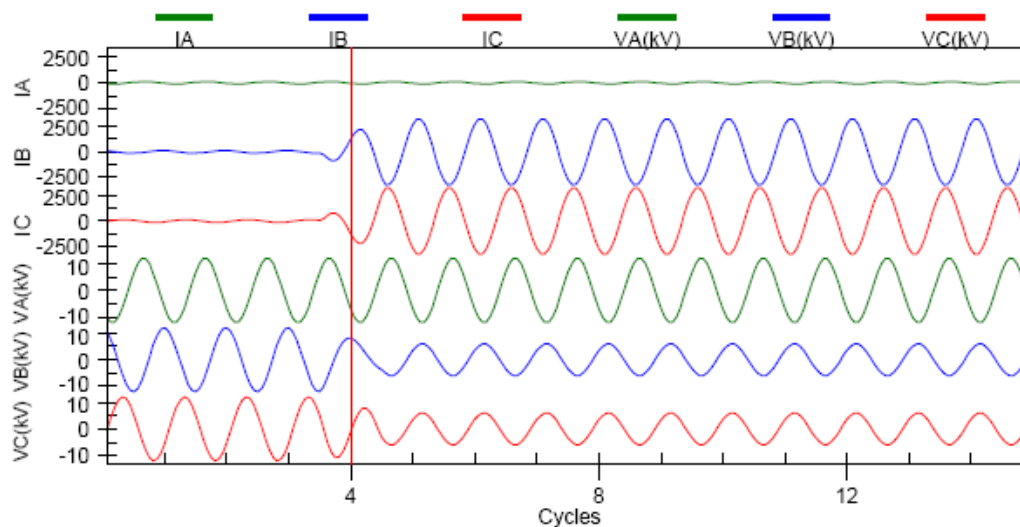
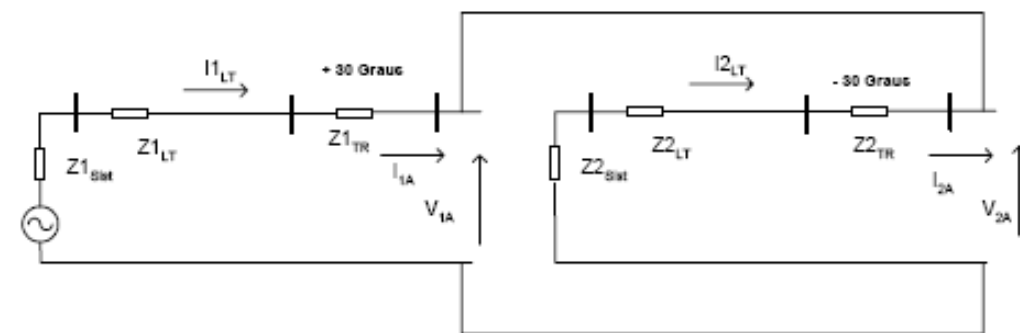
Las tensiones VB e VC se tornan iguales con relación al neutro (lo que era de esperarse pues están en corto circuito). Y la tensión VA está en oposición de fase, con el doble de módulo.

Se debe tener en cuenta el hecho de que eso ocurre apenas en el punto de cortocircuito.

Cuanto más alejado esté el punto de registro oscilográfico, comenzará a aparecer diferencias de potencial entre las fases B y C y variación de ángulo en las tres fases.

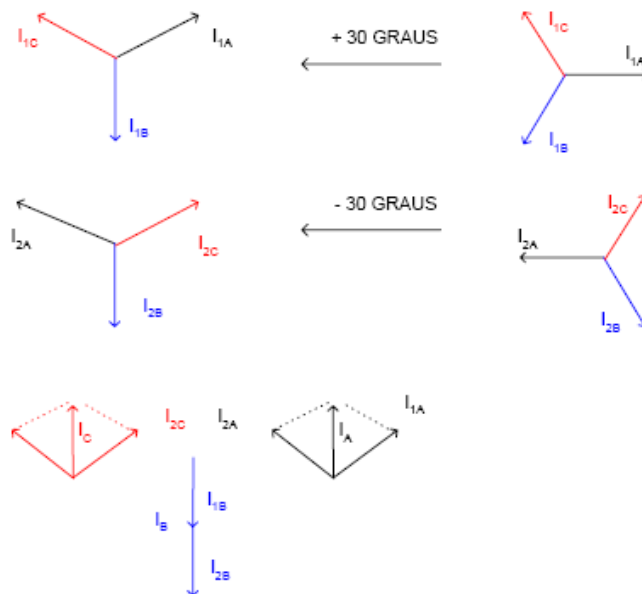


Lado de Alta Tensión



LADO AT

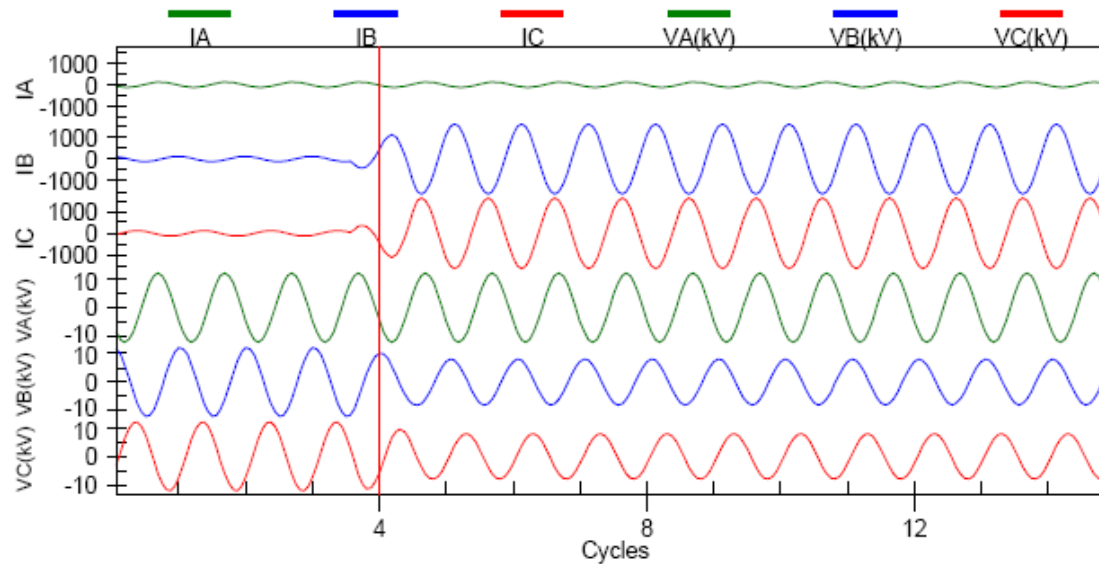
LADO BT



Se comprueba que hay corrientes iguales en las dos fases y el doble de éstas en la otra fase



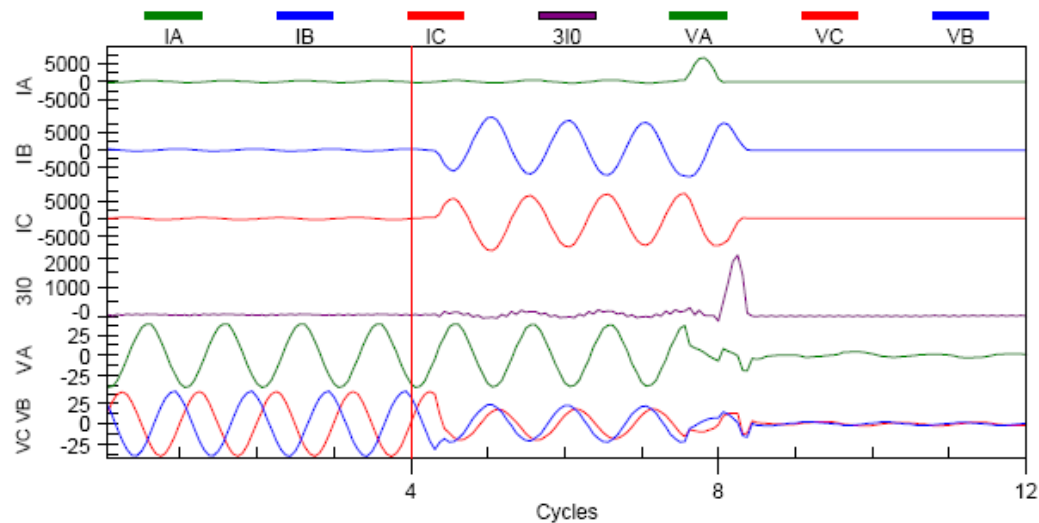
Oscilograma Simulado para corto bifásico distante



La diferencia ahora es que las tensiones B y C no están en fase ni podrían estar pues hay una diferencia de potencial desde el punto de registro hasta el punto de corto circuito.



Oscilograma Real - Ejemplo



Se trata de un corto circuito bifásico en una línea de transmisión de 220 kV en un lugar muy próximo al de la medición.

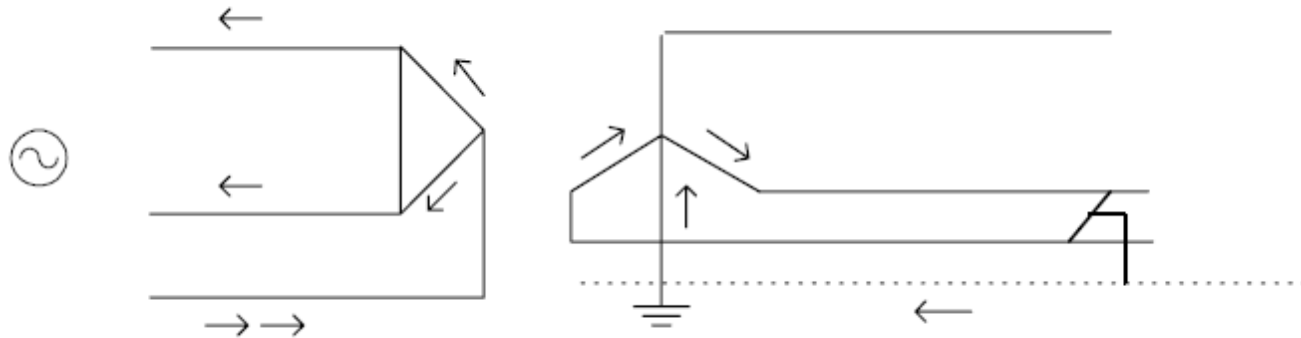
La discordancia de polos del disyuntor, en la apertura, es comprobado por la aparición de la corriente de tierra (3.I0).



3.4 FASE TIERRA

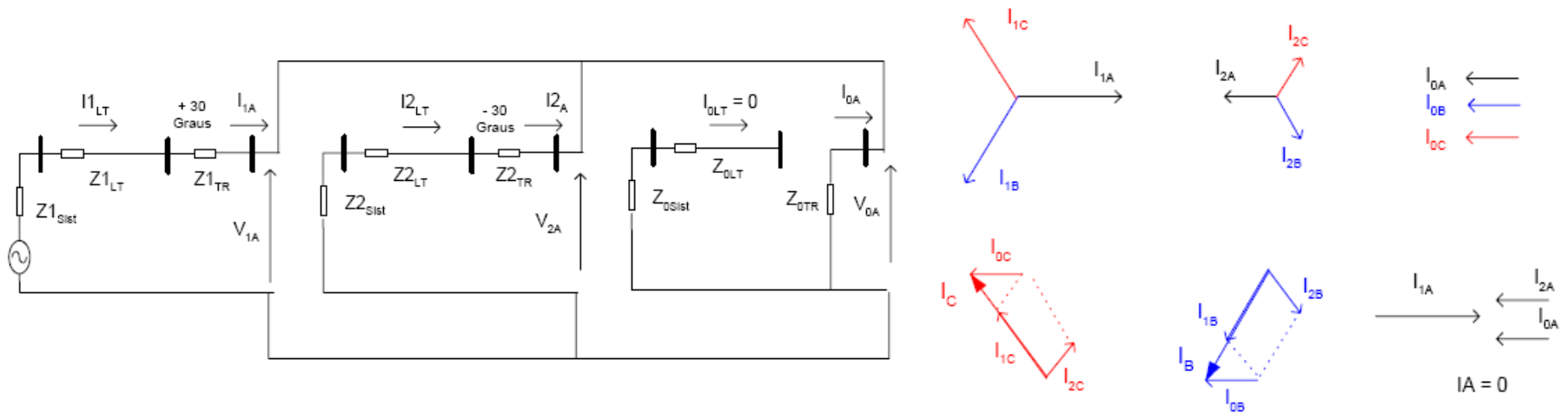
Representación de Componentes Simétricos

Vamos a suponer un cortocircuito Bifásico-Tierra en el lado de baja tensión de un transformador en derivación, según la figura.



Habrà corriente en dos fases del lado estrella aterrado y corriente en las tres fases de la línea, fuera del triángulo, como será mostrado en el análisis de componentes simétricos.

En términos de componentes simétricos se tienen la siguiente representación:

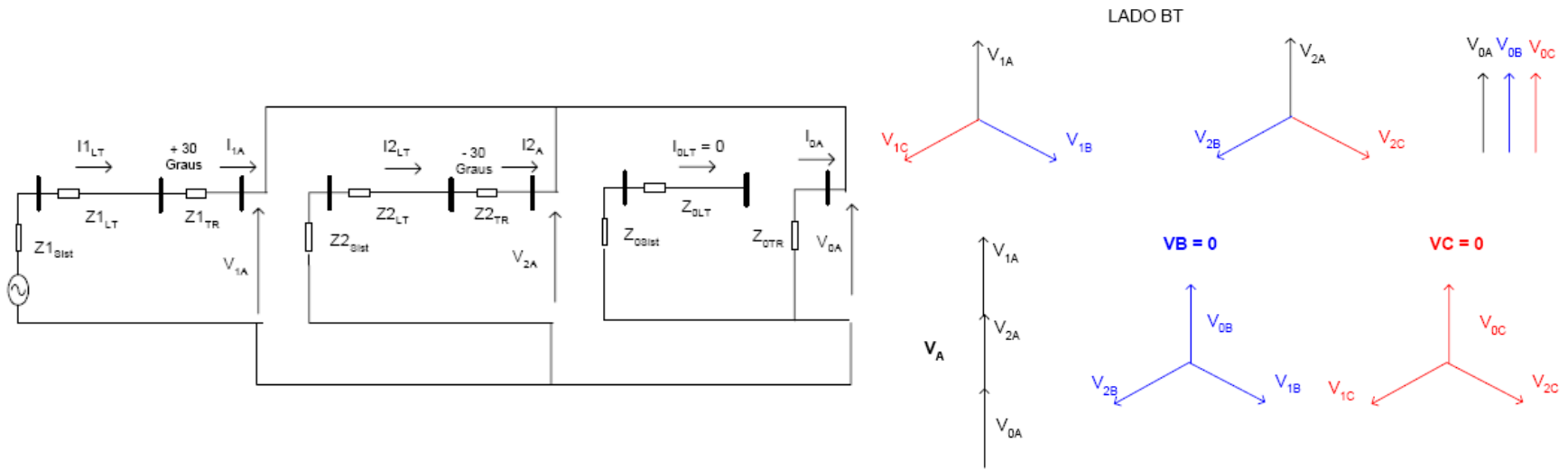


En la fase A, las corrientes de secuencia negativa y cero, sumadas compensan la corriente de secuencia positiva.

En el lado de baja tensión hay corriente en las fases B y C (corto circuito entre estas fases) desfasados entre si. El ángulo de desfase será menor que 120° si la corriente de secuencia cero fuera mayor que la de secuencia negativa. Será mayor que 120° si ocurre lo contrario.



Tensiones



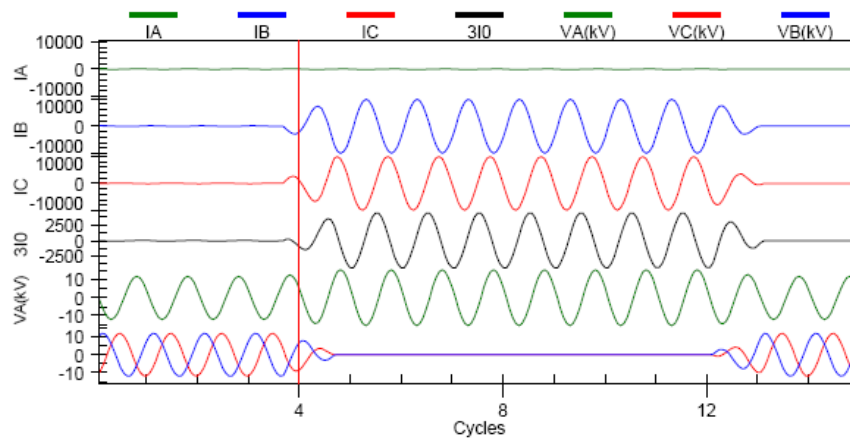
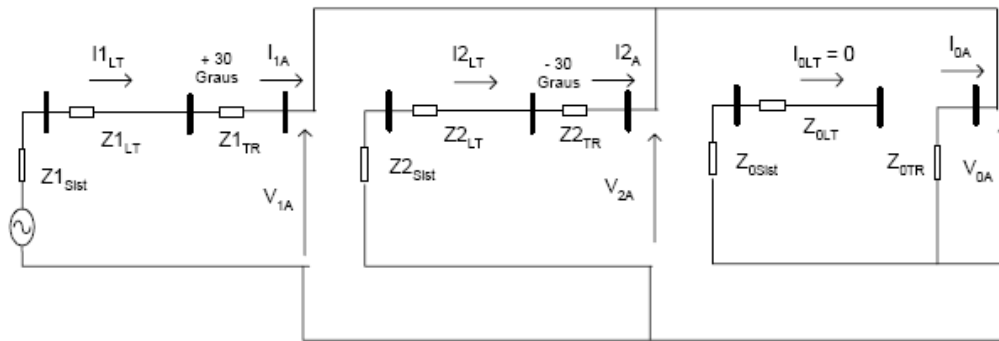
Las tensiones entre fase y neutro, V_B y V_C , se tornan iguales a cero pues están en cortocircuito con la tierra.

Cabe resaltar que eso ocurre apenas en el punto de cortocircuito. Cuanto más alejado esté el punto de registro oscilográfico, comienzan a aparecer diferencias de potencial y variación de ángulos en las tres fases.

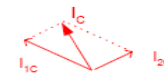
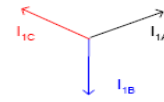


Lado de Alta Tensión

Habr  corriente en las tres fases. Considerando que hay rotación de -30° para la secuencia negativa y $+30^\circ$ para la secuencia positiva tenemos:



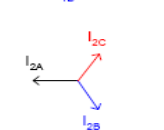
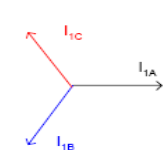
LADO AT



+ 30 GRAUS

- 30 GRAUS

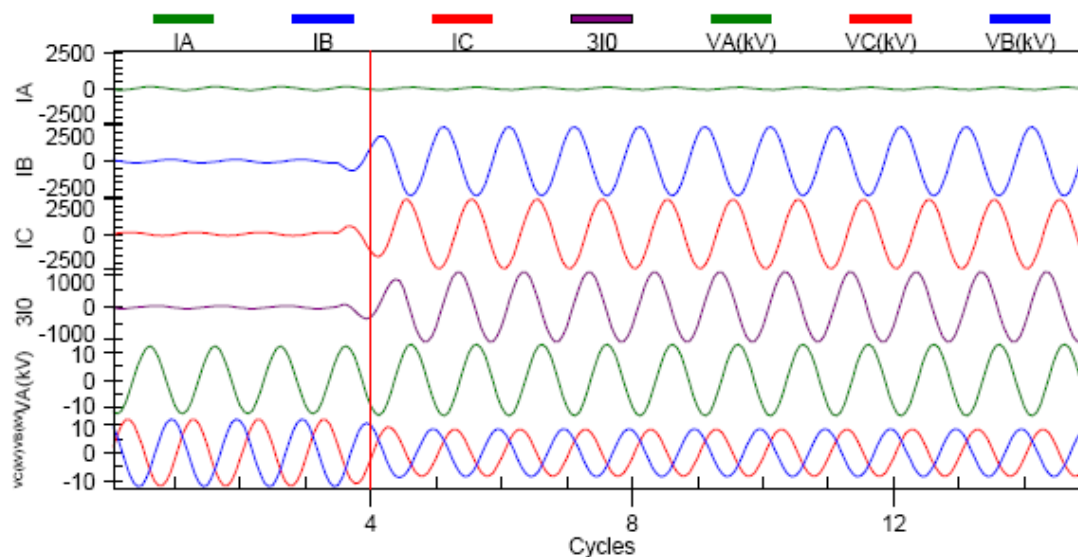
LADO BT



La Tensión fase-neutro es igual a cero en las fases en corto circuito (B y C). Hay desfaseamiento entre IB e IC (menor que 180° y mayor que 120°).



Oscilograma simulado para corto distante

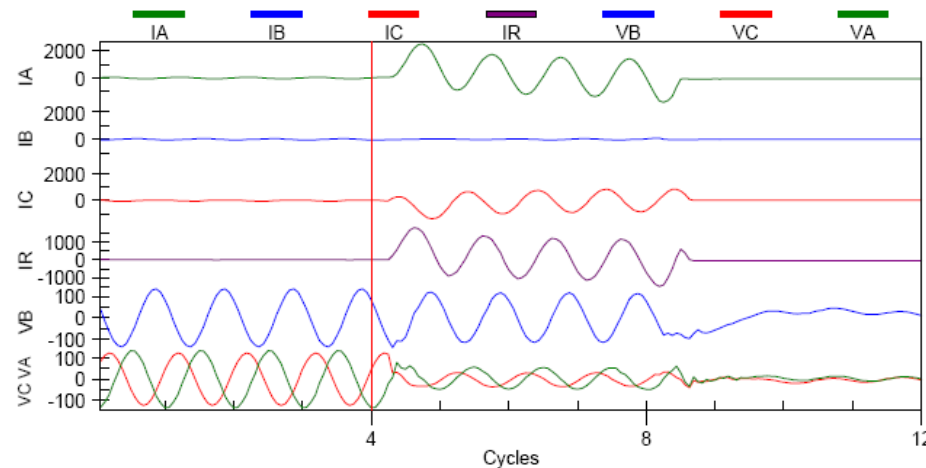


Se observa ahora que hay tensión en las fases en corto circuito en el punto de medición.

Están con el mismo módulo pero ya desfasados. En cualquier instante, $IA+IB+IC=3.IO$.



Oscilograma real - ejemplo



Se trata de un cortocircuito bifásico a tierra muy próximo al punto de medición, entre las fases A y C de una línea de 220 kV. En la práctica se observa la influencia del componente dc en la fase A. Se verifica también que el ángulo entre las corrientes A y C está en torno a 120° .

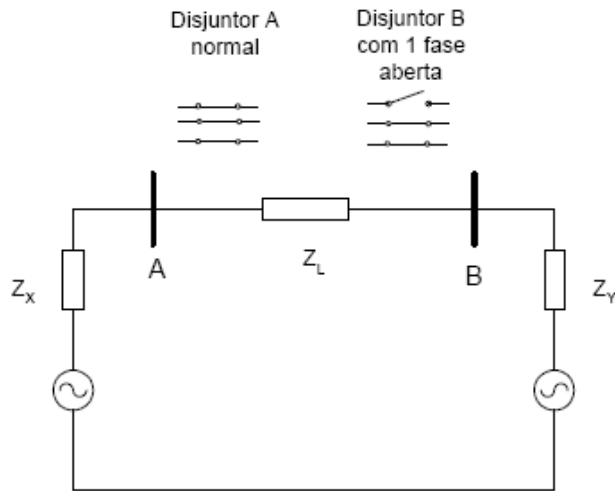
Este oscilograma es de un registrador incorporado en el relé de protección. Se observa la atenuación de los transitorios.



3.5 FASE ABIERTA

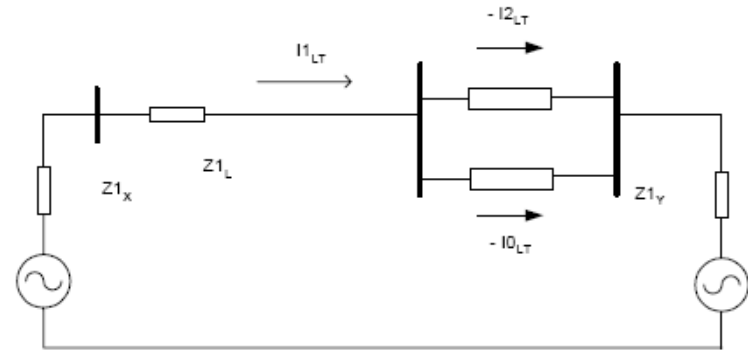
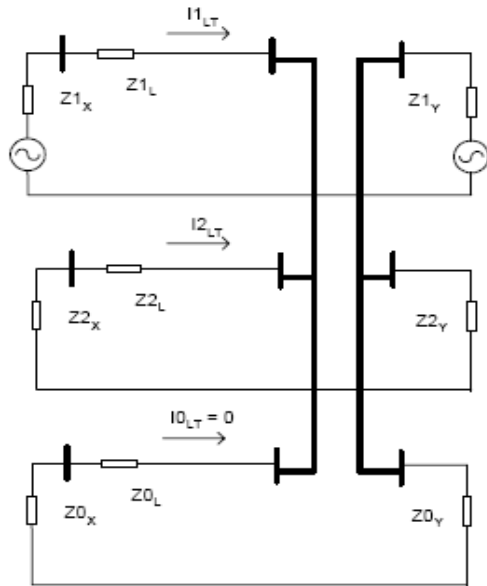
Representación de Componentes Simétricos

Vamos a suponer que ocurre una fase abierta en un disyuntor de línea de transmisión, conforme al diagrama siguiente:



A menor corriente capacitiva, habrá interrupción de la corriente de carga a través de la fase abierta.

En términos de componentes simétricos, donde se separa el sistema desequilibrado en tres sistemas equilibrados, cada uno de ellos con una característica específica (secuencia positiva, negativa y cero), se tiene la siguiente representación:



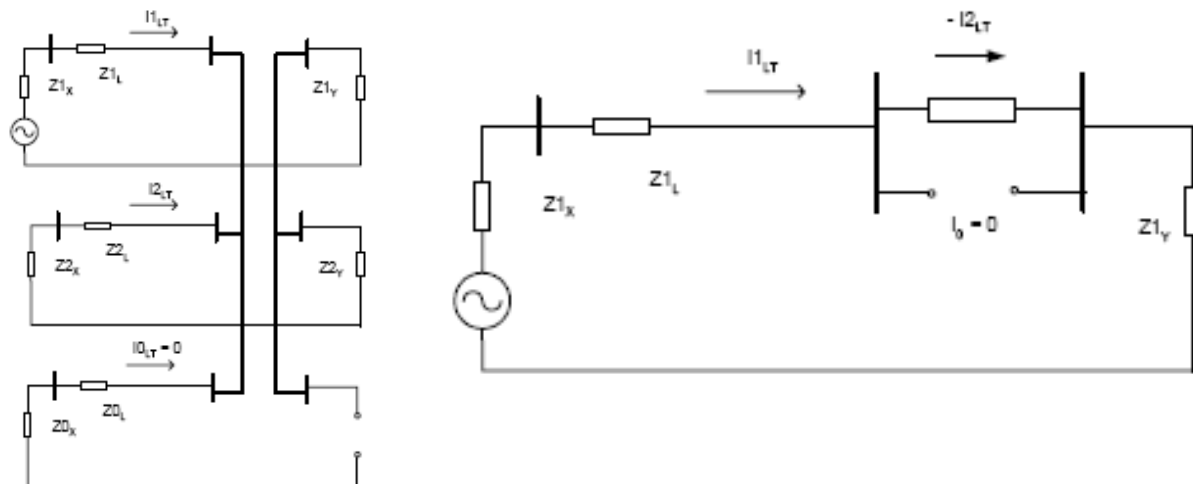
Se observa que tanto los relés que detectan corriente de tierra como los que detectan secuencia negativa pueden servir para detectar la fase abierta.

Aparecerán corrientes de secuencia positiva, negativa y cero de acuerdo con la configuración del sistema. Los valores de estas corrientes dependen del flujo de potencia en secuencia positiva que había en el sistema antes de la ocurrencia de la apertura de una fase.

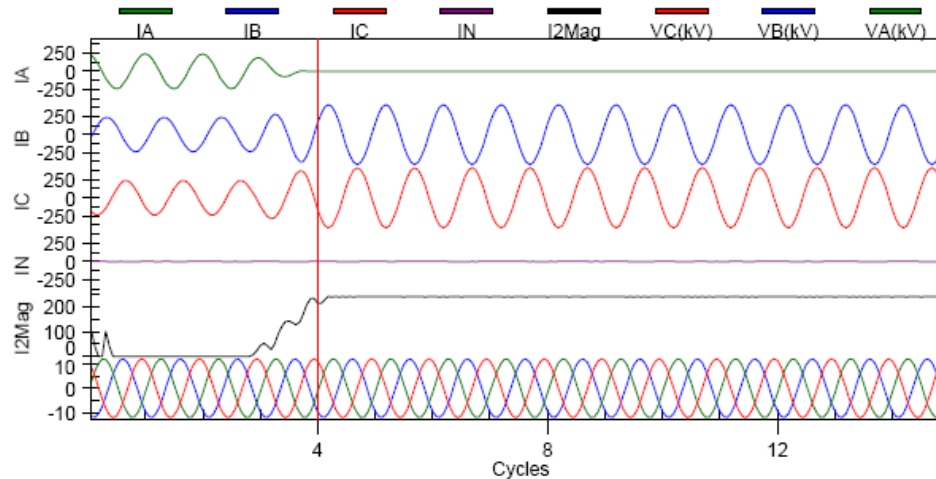


Oscilograma simulado

El oscilograma siguiente fue simulado para un caso de fase abierta de disyuntor de línea radial, con todas las cargas conectadas en triángulo en la alta tensión, conforme la figura siguiente:



En estas condiciones, no habrá corriente de secuencia cero. Solamente habrá de secuencia negativa.

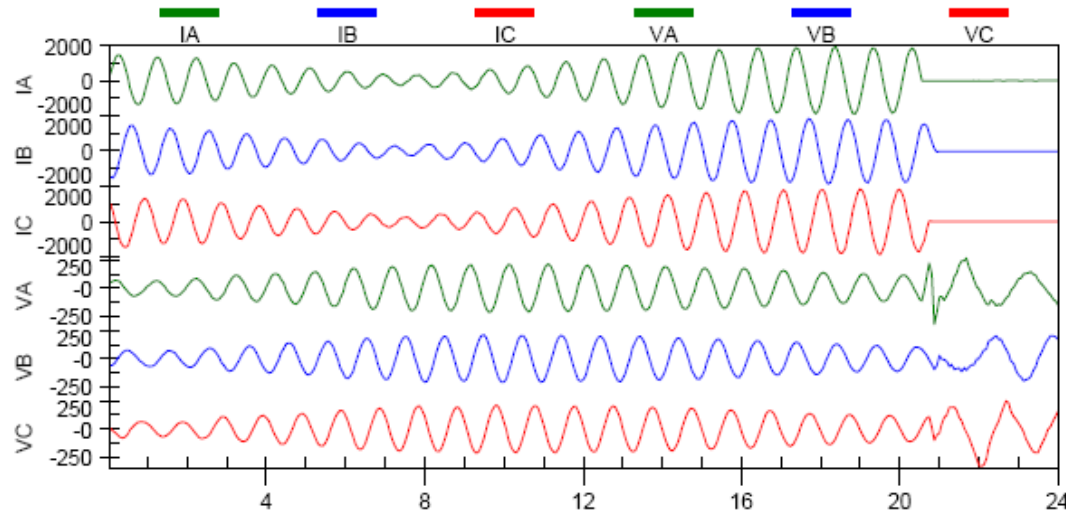


Para casos prácticos en sistemas de alta tensión, siempre habrá fuentes de secuencia cero, de modo que una fase abierta estará asociada a las apariciones de las corrientes de secuencia negativa y cero.



4. OSCILACIÓN DE POTENCIA

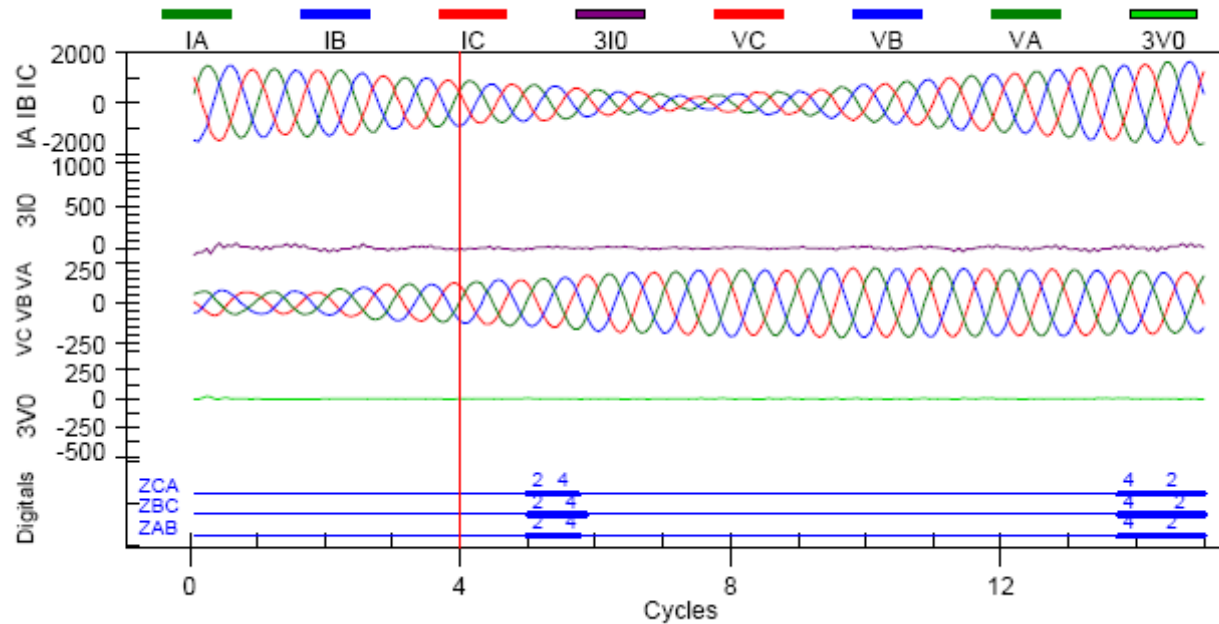
Oscilograma Real



Una característica típica de la oscilación de potencia es que las tres fases varían simultáneamente siguiendo una envoltura. Esto puede ser observado con mayor claridad en el oscilograma siguiente.



Mismo Oscilograma juntando Tensiones y corrientes

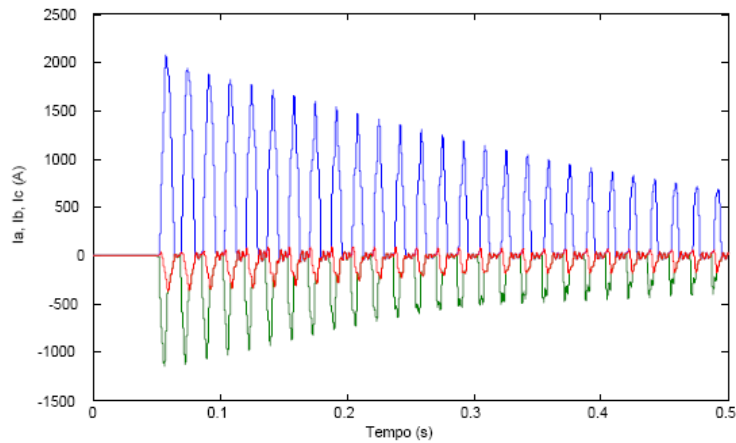




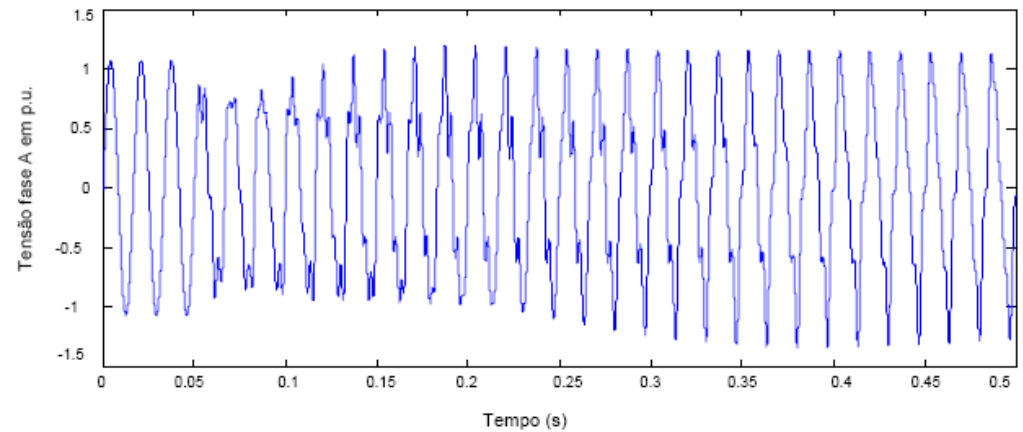
5. MAGNETIZACIÓN TRANSITORIA DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Oscilogramas simulados (PSCAD)

Correntes de Magnetização de Trafo 500/230/60 kV - 450 MVA

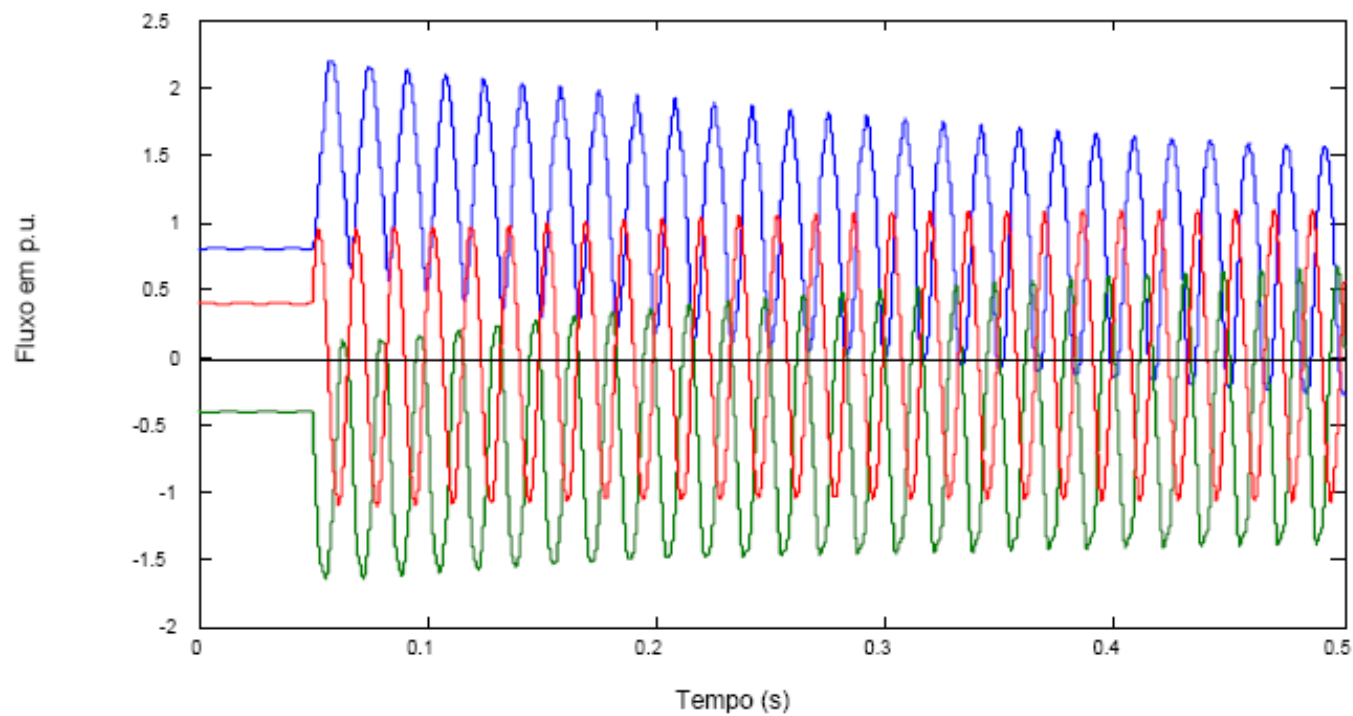


Tensão da Fase A durante Magnetização Transitória



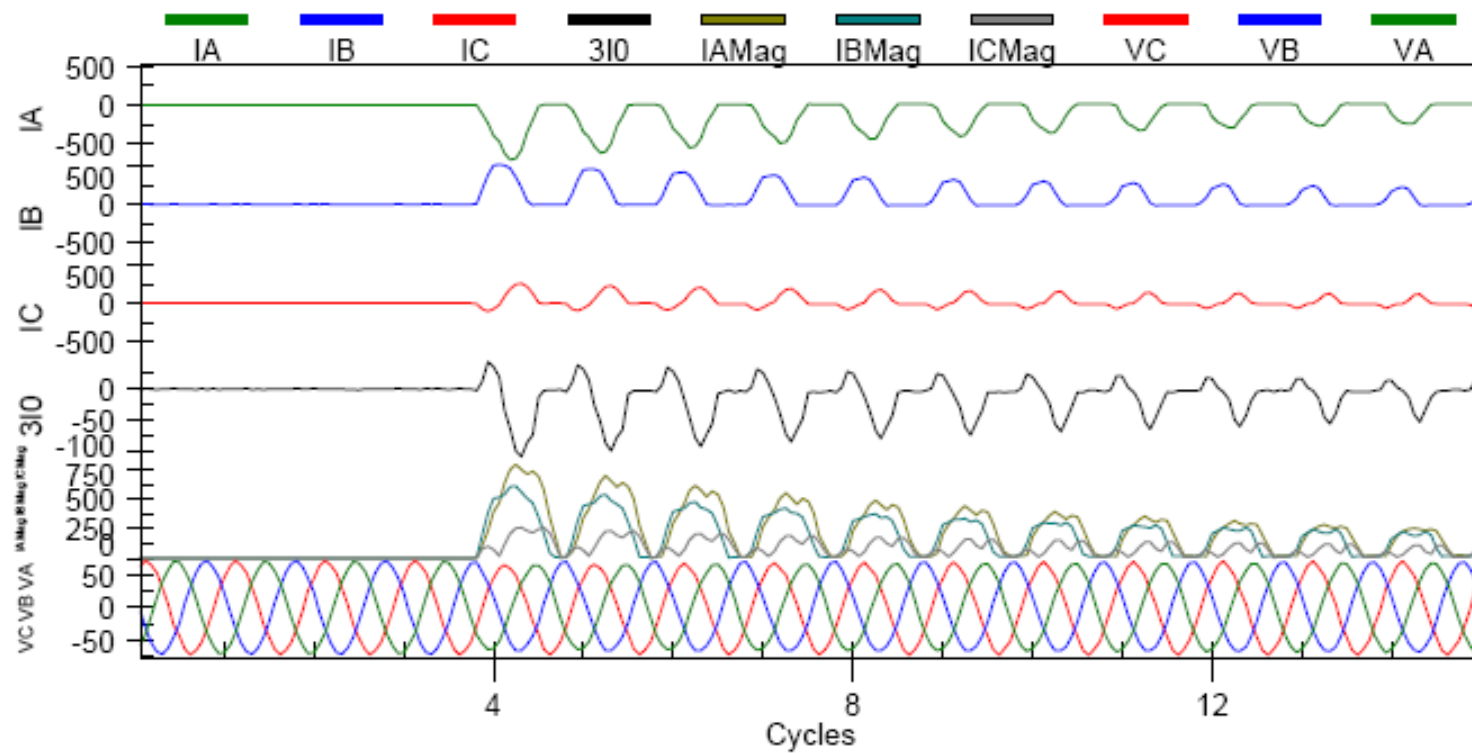


Fluxos Nos Núcleos - Magnetização Transitória





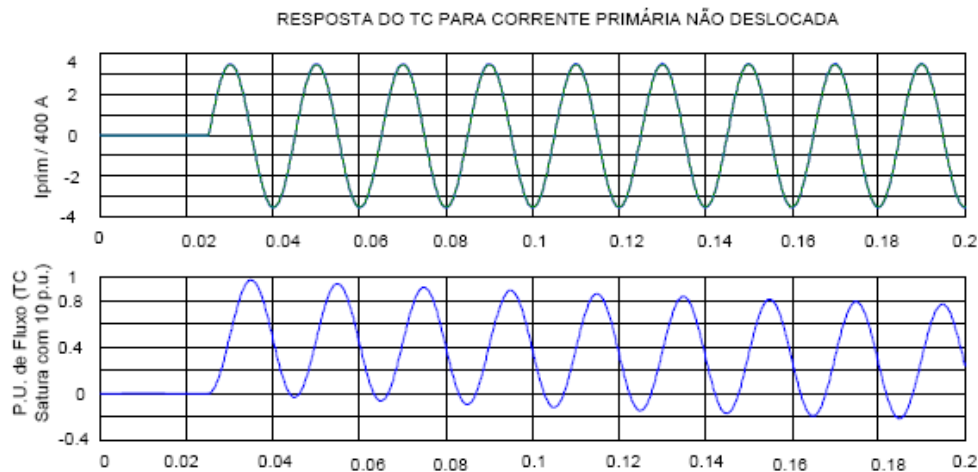
Oscilograma real - Ejemplo



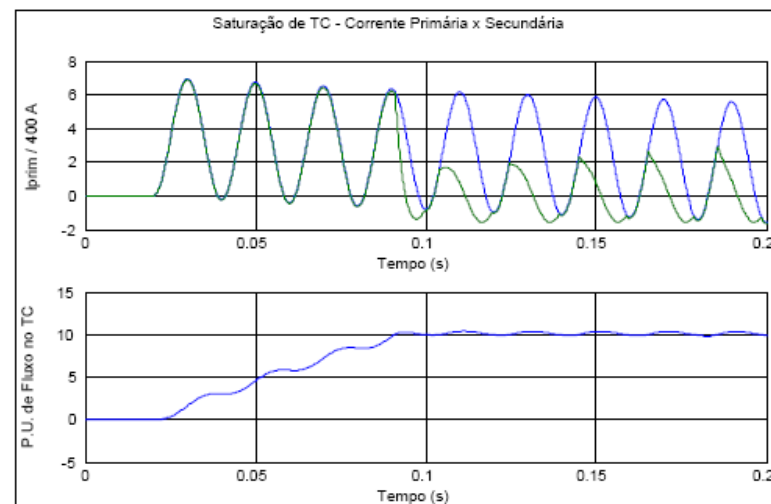


6. SATURACIÓN DE TC

Respuesta de TC en condición normal, sin saturación



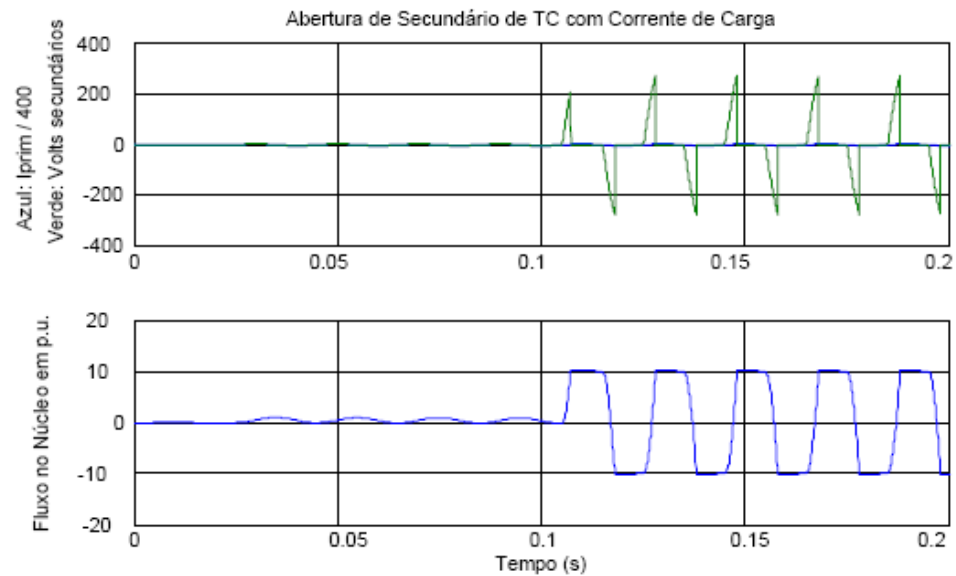
Respuesta de TC con saturación debido a componente dc





7. ABERTURA DE SECUNDARIO DE TC

Oscilograma simulado

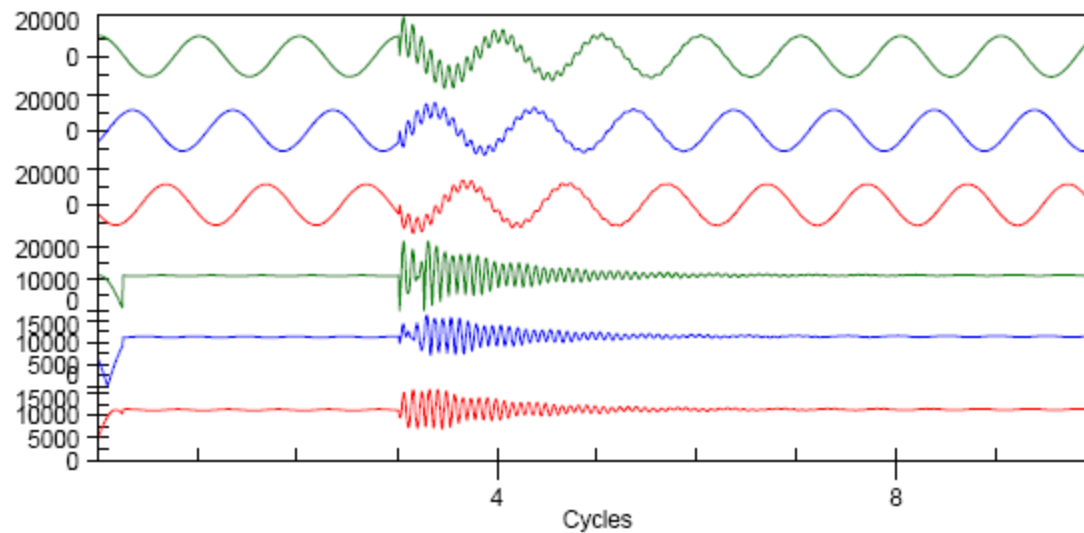


Todos conocemos los peligros de un TC abierto. Se verifica la saturación del núcleo y la tensión elevada en el secundario abierto.



8. ENERGIZACIÓN DEL BANCO DE CAPACITORES

Oscilograma simulado





9. FERRORESONANCIA

DIAGNÓSTICOS Y SINTOMAS DE FERRORESONANCIA

- ❖ Sonidos diferentes provenientes del transformador.
- ❖ Fallas frecuentes del transformador
- ❖ Calentamiento del transformador en condición sin carga.
- ❖ Sonidos tipo track cerca de llaves o conectores.
- ❖ Fallas de TP's y TP's capacitivos por aislamiento causado por calentamiento. Para un TP, un síntoma es la destrucción del enrollamiento primario con el secundario intacto.
- ❖ Disparo de la protección (generalmente de tensión) sin causa aparente (sin oscilograma)
- ❖ Sobretenensión continua, con distorsión.
- ❖ Sobrecorriente continua, con distorsión.



FERRORESONANCIA

También un análisis de la configuración del sistema puede ayudar a identificar el fenómeno:

- ❖ Presencia simultánea de capacitancias (bancos, cables aislados, líneas largas con inductancias no lineales).
- ❖ Existencia, en el sistema, de por lo menos un punto donde el potencial no es fijo.
- ❖ Carga leve o sin carga en el transformador
- ❖ Carga leve o sin carga en TP
- ❖ Baja potencia de corto circuito



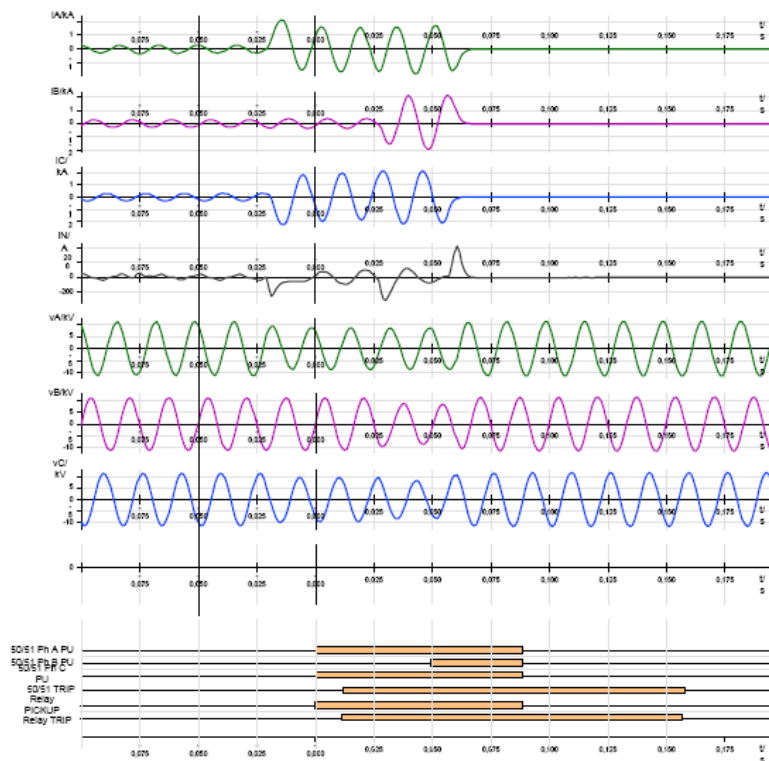
EJEMPLO DE UN OSCILOGRAMA DE MEDIA TENSIÓN



CORTO CIRCUITO EN ALIMENTADOR DE DISTRIBUCIÓN

CORTO CIRCUITO BIFÁSICO EN ALIMENTADOR

Alimentador 1 - Día 15/03 - 17:59 - CC Evolutivo Bifásico para Trifásico



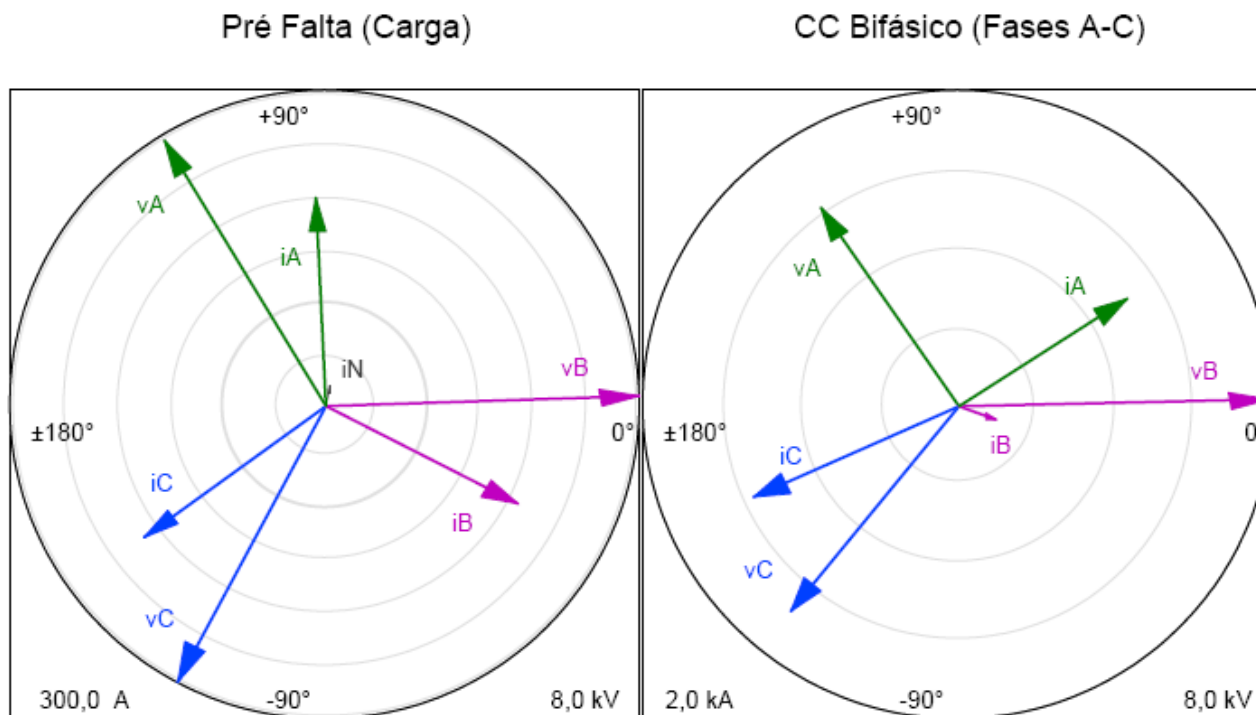
- ❖ El cortocircuito fue bifásico (Fases A-C), avanzando para trifásico después de 2.5 ciclos.
- ❖ Houve trip instantáneo de la protección del alimentador (7SJ62)
- ❖ El tiempo de apertura del disyuntor cerca de 3.5 ciclos
- ❖ Hay desequilibrio (corriente de tierra) en condición normal de carga (condición de pre-falla)

Para mayores detalles en cuanto a las condiciones de pre-falla y de cortocircuito, se utiliza el diagrama vectorial disponible a través del software de análisis. La figura siguiente muestra las condiciones de carga normal y de corto circuito para el análisis de las ocurrencias.



CORTO CIRCUITO EN ALIMENTADOR DE DISTRIBUCIÓN

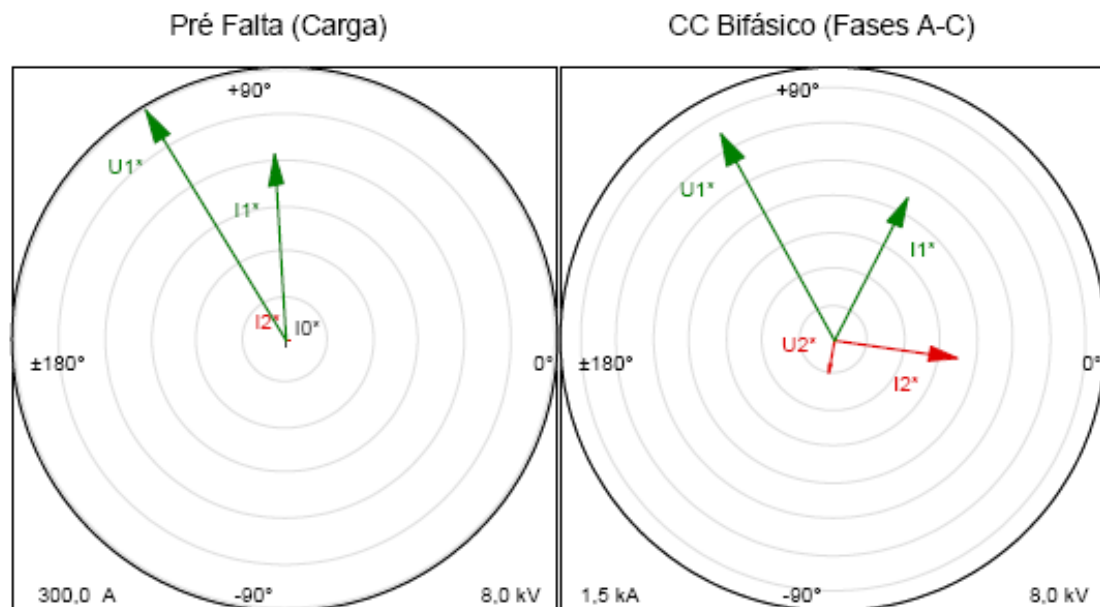
Análisis vectorial de corto circuito bifásico en el alimentador





CORTO CIRCUITO EN ALIMENTADOR DE DISTRIBUCIÓN

Por el gráfico se verifica que la carga era inductiva. En el corto circuito se observa que I_A e I_C quedan opuestas.



As componentes Simétricas referem-se à Fase A

Componentes simétricas de corto circuito bifásico en el alimentador



CORTO CIRCUITO EN ALIMENTADOR DE DISTRIBUCIÓN

La figura anterior muestra las componentes simétricas de la fase A. El software de análisis utilizado en este ejemplo, muestra, las componentes de fase A, pues las componentes de las demás fases pueden ser deducidas en base a la fase A.

Valores eficaces de tensión y de corriente:

		Mod	Ang	Real	Imag		Mod	Ang		
PRE FALTA - 49,7 ms	VA	7,91	121,1	-4,0858	6,7731		7,91	121,1	13,70	kV
	VB	7,93	2,2	7,9242	0,3044		7,93	2,2	13,73	kV
	VC	7,98	-118,5	-3,8077	-7,0130		7,98	-118,5	13,82	kV
	IA	200	93,6	-12,5581	199,6053		200	93,6		
	IB	210	-27,5	186,2723	-96,9672		210	-27,5		
	IC	220	-144,2	-178,4340	-128,6907		220	-144,2		
	IN	20,7	76,0	5,0078	20,0851	10,35%	20,7	76		
	Va1	7,94	121,6	-4,1604	6,7627		7,94	121,6	13,75	kV
	Va2	0,063	-10,8	0,0619	-0,0118		0,063	-10,8		
	Ia1	210	94,0	-14,6489	209,4885		210	94	5,00	MVA
	Ia2	3,55	10,6	3,4894	0,6530	1,69%	3,55	10,6		

[illegible]



CORTO CIRCUITO EN ALIMENTADOR DE DISTRIBUCIÓN

El análisis de la tabla muestra para la **pre-falla**:

- La carga era del orden de 5 MVA, con cerca de 13.75 kV
- El desequilibrio de carga expresado en base a la corriente de tierra es del orden de 10.35% de la corriente de secuencia positiva (se toma la corriente positiva, pues hay corrientes diferentes en cada fase)
- El desequilibrio de carga expresado en secuencia negativa es del orden de 1.7%

La tabla muestra además, durante el **cortocircuito** bifásico, que:

- La diferencia entre los valores de secuencia positiva (I_{a1}) y de secuencia negativa (I_{a2}) resulta de la influencia de la carga (condiciones de pre-falla). En caso no hubiese carga, tendrían el mismo módulo y serían opuestos entre sí.
- La corriente de tierra durante el corto circuito es incluso menor que la corriente de tierra (desequilibrio) en condición normal de carga. De ahí se infiere que la falla fue bifásica.



La tabla siguiente muestra las componentes simétricas del cortocircuito entre las fases A y C (por lo tanto los vectores de secuencia positiva y negativa de la fase B tienen el mismo módulo y son opuestos entre sí).

		Mod	Ang	Real	Imag		Mod	Ang		
CC Thevenin Bifásico Fases A-C Ref.: Fase B	Ia0	0	0,0	0,0000	0,0000					
	Ia1	686	51,3	428,9165	535,3753		686	51,3		
	Ia2	686	-8,7	678,1068	-103,7649		686	-8,7		
	Ia			1107,0233	431,6103		1188,19	21,3		A
	IA Pré			-12,5581	199,6053					
	IA Tot			1094,4652	631,2157		1263,44	30,0	-1,29%	A
	Ib0	0	0,0	0,0000	0,0000					
	Ib1	686	-68,7	249,1903	-639,1402		686	-68,7		
	Ib2	686	111,3	-249,1903	639,1402		686	111,3		
	Ib			0,0000	0,0000		0,00	0,0		A
	IB pré			186,2723	-96,9672					
	IB Tot			186,2723	-96,9672		210,00	-27,5	-19,23%	A
	Ic0	0	0,0	0,0000	0,0000					
	Ic1	686	-188,7	-678,1068	103,7649		686	171,3		
	Ic2	686	231,3	-428,9165	-535,3753		686	-128,7		
	Ic			-1107,0233	-431,6103		1188,19	-158,7		A
	IC Pré			-178,4340	-128,6907					
	IC Tot			-1285,4573	-560,3010		1402,26	-156,4	-2,62%	A



En esta tabla, las corrientes I_a , I_b e I_c , son las de cortocircuito por el modelo de Thevenin, sin carga.

Las corrientes I_a Pre, I_b Pre, I_c Pre son las corrientes de carga que existían antes del corto circuito.

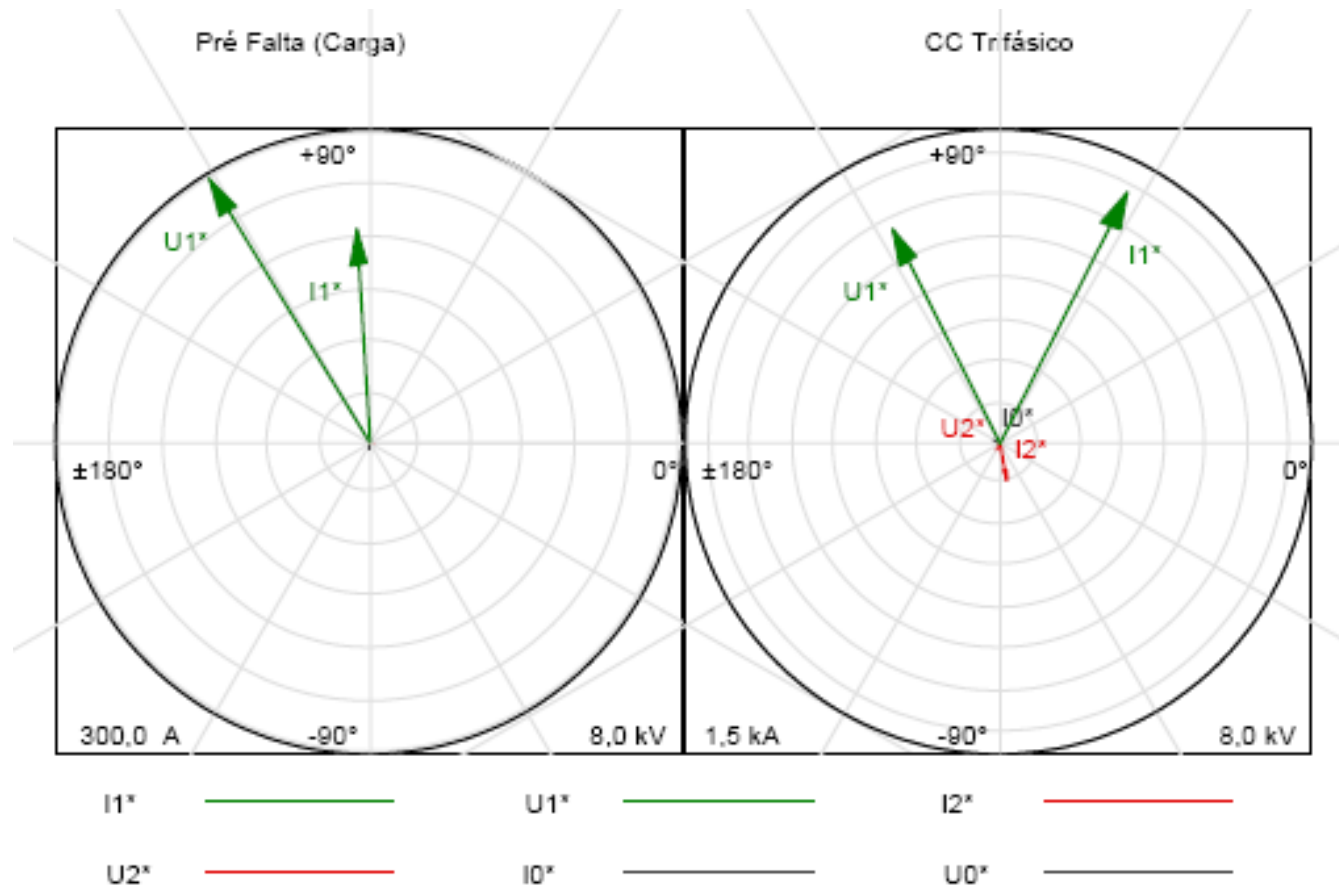
Sumando las corrientes de thevenin con las corrientes de prefalla, se tiene la corriente total de corto circuito, estimada. Comparando estas corrientes con aquellas medidas del oscilograma, se tienen errores de 1.3% y 2.6% para las fases en falla, lo que muestra la validez del proceso.

Evolución para corto circuito trifásico

Se nota que el cortocircuito evoluciona de bifásico a trifásico, antes de la apertura del disyuntor, como se muestra en la figura:



Componentes simétricas después de la evolución para cortocircuito trifásico





La tabla siguiente muestra los valores numéricos para estos vectores:

Alimentador 1 - 15/03 - 17:59 (Trifásico)					
		Módulo	Ángulo	Real	Imag
Curto Circuito Trifásico	VA	6,15	116,6	-2,7537	5,4990
	VB	6,17	-5,2	6,1446	-0,5592
	VC	5,81	-123,9	-3,2405	-4,8224
	IA	1220	62,8	557,6595	1085,0880
	IB	1420	-48,9	933,4728	-1070,0600
	IC	1540	178,2	-1539,2401	48,3726
	IN	74,5	-50,1	47,7880	-57,1538
Componentes Simétricas lidas do oscilograma	Ia0	24,8	129,9	-15,9080	19,0257
	Ia1	1390	63,9	611,5154	1248,2583
	Ia2	188	-101,5	-37,4812	-184,2258

Las componentes simétricas durante la falla comprueban que el cortocircuito fue realmente trifásico, considerando que las componentes de secuencia negativa y cero son despreciables y resultan del desequilibrio de las cargas en el alimentador.



Aplicación practica