

FUNCIONAMIENTO EN CORTOCIRCUITO DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS

CCA03.PDF

A - 3	Variaciones características durante las fallas trifasicas de corrientes de inductor y de corrientes de inducido	191 / 203
--------------	--	------------------

III VARIACIONES CARACTERISTICAS DURANTE LAS FALLAS TRIFASICAS DE CORRIENTES DE INDUCTOR Y DE CORRIENTES DE INDUCIDO.

3.1 - Máquina sincrónica anisótropa sin espiras de amortiguamiento.

Estudiamos a continuación el comportamiento de una máquina que pase del funcionamiento en regimen en vacío y a plena carga $\cos\phi=0,8$ al funcionamiento en cortocircuito.

Tomaremos en consideración una falla trifasica entre los terminales de la máquina en el instante en el cual la tensión interna sincronica de una fase sea de valor nulo.

Los parametros de la máquina en estudio tienen los siguientes valores unitarios.

$$\begin{aligned} \dot{X}_d &= 1,0 & \dot{X}_q &= 0,7 & \dot{X}'_d &= 0,3 & \dot{X}_2 &= 0,42 \\ T'_{do} &= 6,5 \text{ sec} & T_a &= 0,3 \text{ sec.} \end{aligned}$$

3.1.1 Falla trifasica en bornes de la máquina sin regulador de tensión.

Los regimenes precedentes al manifestarse del cortocircuito se caracterizan con los angulos de funcionamiento y las magnitudes siguientes.

A) Máquina que funciona en vacío a la tensión nominal.

ángulo de cupla: $\delta = 0$
 tensión y corriente de inducido: $\dot{U} = 1,0 \quad \dot{I}_l = 0$
 tensión interna sincrónica y transitoria: $\dot{U} = \dot{E}'_d = 1,0$
 tensión y corriente de inductor: $\dot{E}_\delta = 1,2$

B) Máquina que funciona a plena carga a la tensión nominal .

ángulo de cupla: $\delta = \arctan[\dot{X}_q \cos\phi / (1 + \dot{X}_q \sin\phi)] = 21,2^\circ$
 $\cos\phi = 0,932$
 $\sin\phi = 0,364$

ángulo de defasaje tensión interna, corriente: $\delta + \phi = 58^\circ$
 tensión y corriente de inducido: $\dot{U} = 1,0 \quad \dot{I}_l = 1,0$
 componentes de la corriente de carga $\dot{I}_1$:

$$\dot{I}_{ld} = \dot{I}_l \sin(\delta + \phi) = 0,850$$

$$\dot{I}_{lq} = \dot{I}_l \cos(\delta + \phi) = 0,530$$

componentes de la tensión en bornes U:

$$\dot{U}_d = \dot{U} \cos \delta = 0,932$$

$$\dot{U}_q = \dot{U} \sin \delta = 0,362$$

tensión interna sincrónica y transitoria

$$\dot{E}_{c\delta} = \dot{U}_d + \dot{X}_d \dot{I}_{ld} = 1,782$$

$$\dot{E}'_d = \dot{U}_d + \dot{X}'_d \dot{I}_{ld} = 1,181$$

tensión y corriente de inductor:

$$\dot{E}_{c\delta} = 1,782$$

Durante el funcionamiento en cortocircuito los valores instantáneos de las corrientes en las fases de inducido (expresados en valor unitario respecto del valor máximo de la corriente nominal) y los valores instantáneos de las corrientes del circuito inductor (expresados en valores unitarios de la corriente de excitación a la tensión nominal en vacío) se expresan con las relaciones que a continuación se detallan.

Corriente alterna a la frecuencia fundamental de las fases de inducido

NOTA : se ha considerado como instante inicial del cortocircuito aquel en el cual el eje de la fase esta adelantado respecto del eje directo o de los polos de un angulo $\psi = \pi$.

$$A) \quad \dot{i}_{(a)} = \{[(\dot{U}/\dot{X}'_d) - (\dot{E}_{c\delta}/\dot{X}_d)] e^{-t/T'_d} + (\dot{E}_{c\delta}/\dot{X}_d)\} \cos \omega t$$

siendo

$$T'_d = T'_{do} (\dot{X}'_d/\dot{X}_d) = 1,95 \text{ sec}$$

$$\dot{i}_{(a)} = (2,13 e^{-0,51t} + 1,2) \cos \omega t$$

$$\dot{i}_{(b)} = (2,13 e^{-0,51t} + 1,2) \cos (\omega t + 120^\circ)$$

$$\dot{i}_{(c)} = (2,13 e^{-0,51t} + 1,2) \cos (\omega t - 120^\circ)$$

$$B) \quad \dot{i}_{(a)} = \{[(\dot{E}'_d/\dot{X}'_d) - (\dot{E}_{c\delta}/\dot{X}_d)] e^{-t/T'_d} + (\dot{E}_{c\delta}/\dot{X}_d)\} \cos \omega t = \\ = (2,15 e^{-0,51t} + 1,78) \cos \omega t$$

$$\dot{i}_{(b)} = (2,15 e^{-0,51t} + 1,78) \cos (\omega t + 120^\circ)$$

$$\dot{i}_{(c)} = (2,15 e^{-0,51t} + 1,78) \cos (\omega t - 120^\circ)$$

Corriente alterna armónica de segundo orden en las fases de inducido

$$A) \quad \dot{i}_{2(a)} = - [\dot{U} (\dot{X}_q - \dot{X}'_d) / 2 \dot{X}_q \dot{X}'_d] e^{-t/T_a} \cos 2\omega t = \\ = - 0,955 e^{-3,33t} \cos 2\omega t$$

$$\dot{i}_{2(b)} = -0,955 e^{-3,33t} \cos(2\omega t + 120^\circ)$$

$$\dot{i}_{2(c)} = -0,955 e^{-3,33t} \cos(2\omega t - 120^\circ)$$

$$\begin{aligned} \text{B)} \quad \dot{i}_{2(a)} &= -[\dot{U}(\dot{X}_q - \dot{X}'_d)/2\dot{X}_q\dot{X}'_d] e^{-t/T_a} \cos(2\omega t + \delta) = \\ &= -0,955 e^{-3,33t} \cos(2\omega t + 21,2^\circ) \end{aligned}$$

$$\dot{i}_{2(b)} = -0,955 e^{-3,33t} \cos(2\omega t + 141,2^\circ)$$

$$\dot{i}_{2(c)} = -0,955 e^{-3,33t} \cos(2\omega t - 98,8^\circ)$$

Corriente unidireccional en las fases de inducido.

$$\begin{aligned} \text{A)} \quad \dot{i}_{dc(a)} &= -[\dot{U}(\dot{X}_q + \dot{X}'_d)/2\dot{X}_q\dot{X}'_d] e^{-t/T_a} = \\ &= -2,38 e^{-3,33t} \end{aligned}$$

$$\dot{i}_{dc(b)} = -2,38 \cos(120^\circ) e^{-3,33t} = 1,19 e^{-3,33t}$$

$$\dot{i}_{dc(c)} = -2,38 \cos(-120^\circ) e^{-3,33t} = 1,19 e^{-3,33t}$$

$$\begin{aligned} \text{B)} \quad \dot{i}_{dc(a)} &= -[\dot{U}(\dot{X}_q + \dot{X}'_d)/2\dot{X}_q\dot{X}'_d] e^{-t/T_a} \cos \delta = \\ &= -2,38 e^{-3,33t} \cos(21,2^\circ) = -2,24 e^{-3,33t} \end{aligned}$$

$$\dot{i}_{dc(b)} = -2,38 e^{-3,33t} \cos(141,2^\circ) = 1,85 e^{-3,33t}$$

$$\dot{i}_{dc(c)} = -2,38 e^{-3,33t} \cos(-98,8^\circ) = 0,37 e^{-3,33t}$$

Corriente unidireccional de inductor

$$\text{A)} \quad \dot{i}_f = \dot{E}_\delta + [\dot{U}(\dot{X}_d/\dot{X}'_d) - \dot{E}_\delta] e^{-t/T'_d} = 1,2 + 2,13 e^{-5,1t}$$

$$\text{B)} \quad \dot{i}_f = \dot{E}_{c\delta} + (\dot{E}'_d\dot{X}_d/\dot{X}'_d - \dot{E}_{c\delta}) e^{-t/T'_d} = 1,78 + 2,15 e^{-0,51t}$$

Corriente alterna a la frecuencia fundamental de inductor.

$$\begin{aligned} \text{A)} \quad \dot{i}_f &= (\dot{E}'_d\dot{X}_d/\dot{X}'_d - \dot{E}_{c\delta}) e^{-t/T_a} \cos \omega t = \\ &= -2,13 e^{-3,33t} \cos \omega t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{i}_f &= -[(\dot{X}_d - \dot{X}'_d)/\dot{X}'_d] \dot{U}_d e^{-t/T_a} \cos \omega t = \\ &= 2,16 e^{-3,33t} \cos \omega t. \end{aligned}$$

3.1.2 - Falla trifasica en bornes de una máquina con regulador de tensión.

Supongase que el regulador de tensión tiende a llevar exponencialmente la tensión de excitación a un valor igual a tres veces el valor del funcionamiento en vacío y a la tensión nominal: sea la constante de tiempo de la respuesta de la excitatriz igual a 0,6 seg.-

Las condiciones de régimen precedentes al manifestarse del cortocircuito quedan caracterizadas por las magnitudes y los ángulos de funcionamiento, evaluados en los puntos A) y B).-

Las corrientes de inducido y de inductor en cambio resultan incrementadas durante el funcionamiento en cortocircuito.-

La influencia del regulador se manifiesta solo después de haberse establecido la falla, se refleja sobre las componentes alternas de las corrientes de inducido y sobre la unidireccional de la corriente de inductor.

En valor relativo las componentes son entre si proporcionales y precisamente

$$\Delta i_{(0)} / \Delta i_f = 1 / \dot{X}_d$$

Las relaciones aplicadas en este ejemplo son aproximadas: en efecto, se han obtenido despreciando los efectos de la saturación sobre los valores en régimen de las corrientes alternas de las fases de inducido, como la corriente unidireccional de inductor.

Corriente alterna de las fases de inducido a la frecuencia fundamental .-

$$\begin{aligned} \text{A)} \quad \Delta i_{(a)} &= (1/\dot{X}_d) (\dot{E}_\infty - \dot{E}_\delta) \{1 - [(T'_d e^{-t/T'_d} - T_e e^{-t/T_e}) / (T'_d - T_e)]\} \cos \omega t = \\ &= (1,8 - 2,6 e^{-0,51t} + 0,8 e^{-1,66t}) \cos \omega t \end{aligned}$$

$$\Delta i_{(b)} = (1,8 - 2,6 e^{-0,51t} + 0,8 e^{-1,66t}) \cos (\omega t + 120^\circ)$$

$$\Delta i_{(c)} = (1,8 - 2,6 e^{-0,51t} + 0,8 e^{-1,66t}) \cos (\omega t - 120^\circ)$$

$$\begin{aligned} \text{B)} \quad \Delta i_{(a)} &= (1/\dot{X}_d) (\dot{E}_\infty - \dot{E}_{c\delta}) \{1 - [(T'_d e^{-t/T'_d} - T_e e^{-t/T_e}) / (T'_d - T_e)]\} \cos \omega t = \\ &= (1,22 - 1,75 e^{-0,51t} + 0,53 e^{-1,66t}) \cos \omega t \end{aligned}$$

$$\Delta i_{(b)} = (1,22 - 1,75 e^{-0,51t} + 0,53 e^{-1,66t}) \cos (\omega t + 120^\circ)$$

$$\Delta i_{(c)} = (1,22 - 1,75 e^{-0,51t} + 0,53 e^{-1,66t}) \cos (\omega t - 120^\circ)$$

Corriente unidireccional de inductor.

$$\begin{aligned} \text{A)} \quad \Delta i_f &= (\dot{E}_\infty - \dot{E}_\delta) \{1 - [(T'_d e^{-t/T'_d} - \\ &\quad - T_e e^{-t/T_e}) / (T'_d - T_e)]\} = \\ &= 1,8 - 2,6 e^{-0,51t} + 0,80 e^{-1,66t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B)} \quad \Delta i_f &= (\dot{E}_\infty - \dot{E}_{c\delta}) \{1 - [(T'_d e^{-t/T'_d} - \\ &\quad - T_e e^{-t/T_e}) / (T'_d - T_e)]\} = \\ &= (1,22 - 1,75 e^{-0,51t} + 0,53 e^{-1,66t}) \end{aligned}$$

Cuando la falla se ha establecido en un punto de los circuitos externos de la máquina, el regulador tiende a llevar las tensiones entre los terminales de la máquina a su valor nominal. En los casos en que las caídas de tensiones externas asumen valores iguales a la tensión nominal, es automáticamente bloqueada la actuación del regulador.

En condición de régimen, es decir, cuando el regulador ha llevado la tensión de excitación al máximo admitido E_∞ , las corrientes en las fases de inducido asumen un valor unitario igual a:

$$\dot{E}_\infty / (\dot{X}_d + \dot{X}_{d\text{est}})$$

y las caídas de tensión externas a las máquinas resultan iguales a

$$\dot{E}_\infty [\dot{X}_{\text{est}} / (\dot{X}_d + \dot{X}_{\text{est}})]$$

Las caídas de tensión externas pueden resultar iguales a la tensión nominal que se presenta en la condición

$$\dot{E}_\infty [\dot{X}_{\text{est}} / (\dot{X}_d + \dot{X}_{\text{est}})] = 1$$

es decir

$$\dot{X}_{\text{est}} < \dot{X}_d / (\dot{E}_\infty - 1)$$

Por lo tanto, cuando la reactancia incluida entre el punto de falla y los terminales de la máquina es de valor inferior o igual a:

$$\dot{X}_{\text{est}} \leq \dot{X}_d / (\dot{E}_\infty - 1)$$

el regulador actúa haciendo tender la excitación al valor E_∞

La corriente alterna en las fases de inducido a su vez tiende a E_∞/E_s el valor de la corriente alterna permanente para un cortocircuito que sigue al funcionamiento en vacío a la tensión nominal.

En cambio si la reactancia externa es de valor superior a

$$\dot{X}_{est} > \dot{X}_d / (E_{\infty} - 1)$$

el regulador actúa hasta llevar la excitación al valor nominal que hace que la caída de tensión en la reactancia externa sea igual al valor de la tensión nominal de fase, en consecuencia la corriente alterna en las fases de inducido alcanza el valor $1/X_{est}$ que es mantenido indefinidamente.

3.2 Máquina sincrónica isotropa con espiras amortiguadoras.

Estudiamos el comportamiento de una máquina sincrónica que pase de los funcionamientos en vacío y en plena carga con $\cos\phi = 0,8$ al funcionamiento en cortocircuito.-

Se tomara en consideración una falla trifasica entre los terminales de la máquina en el instante en el cual la tensión interna sincronica de una de las fases tenga valor nulo.

Los parametros de la máquina en estudio tienen los valores que a continuación se indican.

$$\dot{X}_d'' = 0,09 \quad \dot{X}_q'' = 0,09 \quad \dot{X}_d' = 0,16$$

$$\dot{X}_2 = 0,09 \quad \dot{X}_0 = 0,03$$

$$\dot{X}_{ld} = 0,078 \quad \dot{X}_{ad} = 1,072 \quad \dot{X}_d = 1,15$$

$$\dot{X}_{lf} = 0,088 \quad \dot{X}_{lxd} = 0,015$$

$$T_{d0}' = 7,6 \text{ sec} \quad T_d'' = 0,04 \text{ sec}$$

$$T_q'' = 0,04 \text{ sec} \quad T_q = 0,10 \text{ sec}$$

3.2.1 Falla trifasica en bornes de la máquina sin regulador de tensión.

Los regímenes precedentes al manifestarse del cortocircuito, se caracterizan con los ángulos de funcionamiento y las magnitudes siguientes

A) Máquinas que funcionan a la tensión nominal en vacío:

ángulo de cupla $\delta = 0$

tensión y corriente de inducido $\dot{U} = 1,0 \quad \dot{I}_l = 0$

tensión interna sincrónica transitoria y subtransitoria.

$$\dot{U} = \dot{E}_d' = \dot{E}_d'' = 1,0$$

Tensión y corriente de inductor $\dot{E}_\delta = 1,2$

B) Máquina que funciona a plena carga a la tensión nominal.

ángulo de cupla. $\delta = \arctang[\dot{X}_q \cos \varphi / (1 + \dot{X}_q \sin \varphi)] = 28,4^\circ$

$$\cos \delta = 0,99$$

$$\sin \delta = 0,47$$

ángulo de defasaje tensión interna, corriente

$$\delta + \varphi = 28,4^\circ + 36,8^\circ = 65,2^\circ$$

Tensión y corriente de inducido $\dot{U} = 1,0$ $\dot{I}_l = 1,0$

Componentes de la corriente de carga I_1 :

$$\dot{I}_{ld} = \dot{I}_l \sin (\delta + \varphi) = 0,9$$

$$\dot{I}_{lq} = \dot{I}_l \cos (\delta + \varphi) = 0,42$$

Componentes de la tensión en bornes

$$\dot{U}_d = \dot{U} \cos \delta = 0,88$$

$$\dot{U}_q = \dot{U} \sin \delta = 0,47$$

tensiones internas sincrónicas, transitorias y subtransitorias

$$\dot{E}_{c\delta} = \dot{U}_d + \dot{X}_d \dot{I}_{ld} = 1,91$$

$$\dot{E}'_d = \dot{U}_d + \dot{X}'_d \dot{I}_{ld} = 1,02$$

$$\dot{E}''_l = [(\dot{U} \cos \varphi)^2 + (\dot{U} \sin \varphi + \dot{X}''_d \dot{I}_l)^2]^{1/2} = 1,05$$

$$E''_d = \dot{U}_d + \dot{X}''_d \dot{I}_{ld} = 0,96$$

$$E''_q = \dot{U}_q - \dot{X}''_q \dot{I}_{lq} = 0,43$$

Durante el funcionamiento en cortocircuito los valores instantáneos de las corrientes en las fases de inducido (expresados en valor relativo respecto al valor máximo de las corrientes nominales) y los valores instantáneos de las corrientes de cortocircuito de inductor (expresadas en valores unitarios de la corriente de excitación a la tensión nominal en vacío) se expresan con las siguientes relaciones.

Corriente alterna de las fases de inducido a la frecuencia fundamental.

$$\begin{aligned} \dot{i}_{(a)} = & \{[(\dot{U}/\dot{X}''_d) - (\dot{U}/\dot{X}'_d)]e^{-t/T''_d} + \\ & + [(\dot{U}/\dot{X}'_d) - (\dot{E}_\delta/\dot{X}'_d)]e^{-t/T'_d} + (\dot{E}_\delta/\dot{X}'_d)\} \cos \omega t \end{aligned}$$

siendo

$$T'_d = T'_0 \cdot (\dot{X}'_d/\dot{X}_d) = 1 \text{ sec}$$

$$\dot{i}_{(a)} = (4,85 e^{-2,5t} + 5,2 e^{-1,0t} + 1,04) \cos \omega t$$

$$\dot{i}_{(b)} = (4,85 e^{-2,5t} + 5,2 e^{-1,0t} + 1,04) \cos (\omega t - 120^\circ)$$

$$\begin{aligned} \text{B)} \quad \dot{i}_{(a)} = & \{(\dot{E}_d''/\dot{X}_d'') - (\dot{E}_d'/\dot{X}_d')\} e^{-t/T_d''} + \\ & + [(\dot{E}_d'/\dot{X}_d') - (\dot{E}_{c\delta}/\dot{X}_d)] e^{-t/T_d'} + (\dot{E}_{c\delta}/\dot{X}_d) \cos \omega t \\ & + (\dot{E}_q''/\dot{X}_q'') e^{-t/T_q''} \sin \omega t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{i}_{(a)} = & (4,25 e^{-2,5t} + 4,69 e^{-1,0t} + 1,66) \cos \omega t + \\ & + 4,78 e^{-2,5t} \sin \omega t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{i}_{(b)} = & (4,25 e^{-2,5t} + 4,69 e^{-1,0t} + 1,66) \cos (\omega t + 120^\circ) + \\ & + 4,78 e^{-2,5t} \sin (\omega t + 120^\circ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{i}_{(c)} = & (4,25 e^{-2,5t} + 4,69 e^{-1,0t} + 1,66) \cos (\omega t - 120^\circ) + \\ & + 4,78 e^{-2,5t} \sin (\omega t - 120^\circ) \end{aligned}$$

Corrientes unidireccionales en las fases de inducido.

$$\text{A)} \quad \dot{i}_{dc(a)} = - (\dot{U}/\dot{X}_d'') e^{-t/T_a}$$

$$\dot{i}_{dc(a)} = - 11,1 e^{-1,0t}$$

$$\dot{i}_{dc(b)} = - 11,1 \cos (120^\circ) e^{-1,0t} = 5,5 e^{-1,0t}$$

$$\dot{i}_{dc(c)} = - 11,1 \cos (120^\circ) e^{-1,0t} = 5,5 e^{-1,0t}$$

$$\text{B)} \quad \dot{i}_{dc(a)} = - (\dot{U}/\dot{X}_d'') e^{-t/T_a} \cos \delta =$$

$$= - 11,1 \cos (28,4^\circ) e^{-1,0t} = - 9,8 e^{-1,0t}$$

$$\dot{i}_{dc(b)} = - 11,1 \cos (148,4^\circ) e^{-1,0t} = 9,5 e^{-1,0t}$$

$$\dot{i}_{dc(c)} = - 11,1 \cos (-91,6^\circ) e^{-1,0t} = 0,31 e^{-1,0t}$$

Corriente unidireccional de inductor

$$\begin{aligned} \text{A)} \quad \dot{i}_f = & \dot{U} (\dot{X}_d/\dot{X}_d'') \cdot [\dot{X}_{lxd}/(\dot{X}_{lxd} + \dot{X}_{lf})] + \\ & + \dot{E}_\delta [\dot{X}_{lf}/\dot{X}_{lxd} + \dot{X}_{lf}] - U (\dot{X}_d/\dot{X}_d') e^{-t/T_d''} + \\ & + [\dot{U} (\dot{X}_d/\dot{X}_d') - \dot{E}_\delta] e^{-t/T_d'} + \dot{E}_\delta = \\ & = - 4,30 e^{-2,5t} + 6,00 e^{-1,0t} + 1,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{B)} \quad \dot{i}_f &= \{\dot{E}_d''(\dot{X}_d/\dot{X}_d'') \cdot [\dot{X}_{lx}/(\dot{X}_{lx} + \dot{X}_{lf})] + \\
 &\quad + \dot{E}_{c\delta}[\dot{X}_{lf}/(\dot{X}_{lx} + \dot{X}_{lf})] - \dot{E}_d'(\dot{X}_d/\dot{X}_d')\} e^{-t/T_d''} + \\
 &\quad + \{\dot{E}_d'(\dot{X}_d/\dot{X}_d') - \dot{E}_{c\delta}\} e^{-t/T_d'} + \dot{E}_{c\delta} = \\
 &= -3,9 e^{-2,5t} + 5,4 e^{-1,0t} + 1,91
 \end{aligned}$$

Corriente alterna a la frecuencia fundamental de inductor:

$$\begin{aligned}
 \text{A)} \quad \dot{i}_f &= -\{\dot{U}(\dot{X}_d/\dot{X}_d'') \cdot \dot{X}_{lx}/(\dot{X}_{lx} + \dot{X}_{lf}) - \\
 &\quad - \dot{E}_{c\delta}[\dot{X}_{lx}/(\dot{X}_{lx} + \dot{X}_{lf})]\} e^{-t/T_a} \cos \omega t \\
 \dot{i}_f &= -1,70 e^{-2,5t} \cos \omega t \\
 \text{B)} \quad \dot{i}_f &= -\{\dot{E}_d''(\dot{X}_d/\dot{X}_d'') \cdot [\dot{X}_{lx}/(\dot{X}_{lx} + \dot{X}_{lf})] - \\
 &\quad - \dot{E}_{c\delta}[\dot{X}_{lx}/(\dot{X}_{lx} + \dot{X}_{lf})]\} e^{-t/T_a} \cos \omega t \\
 \dot{i}_f &= -1,51 e^{-2,5t} \cos \omega t
 \end{aligned}$$

3.2.2 Falla trifásica en bornes de la máquina con regulador de tensión.

Supongase que las características del regulador de tensión sean las descritas en el paragrafo 3.1.2.

La influencia de dicho regulador sobre las corrientes alternas de las fases de inducido y sobre la corriente unidireccional de inductor son las siguientes.

Corriente alterna de las fases de inducido de la frecuencia fundamental

$$\begin{aligned}
 \text{A)} \quad \Delta \dot{i}_{(a)} &= (1/\dot{X}_d)(\dot{E}_\infty - \dot{E}_\delta)\{1 - [(T_d' e^{-t/T_d'} - \\
 &\quad - T_e e^{-t/T_e}(T_d' - T_e)]\} \cos \omega t \\
 \Delta \dot{i}_{(a)} &= (1,57 - 3,9 e^{-1,0t} + 2,35 e^{-1,66t}) \cos \omega t \\
 \Delta \dot{i}_{(b)} &= (1,57 - 3,9 e^{-1,0t} + 2,35 e^{-1,66t}) \cos (\omega t + 120^\circ) \\
 \Delta \dot{i}_{(c)} &= (1,57 - 3,9 e^{-1,0t} + 2,35 e^{-1,66t}) \cos (\omega t - 120^\circ)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B)} \quad \Delta \dot{i}_{(a)} &= (1/X_d)(E_\infty - E_{c\delta}) \{1 - [(T'_d e^{-t/T'_d} - T_e e^{-t/T_e}) / (T'_d - T_e)]\} \cos \omega t \\ \Delta \dot{i}_{(a)} &= 0,95 - 2,36 e^{-1,0t} + 1,41 e^{-1,66t} \cos \omega t \end{aligned}$$

$$\Delta \dot{i}_{(b)} = (0,95 - 2,36 e^{-1,0t} + 1,41 e^{-1,66t}) \cos(\omega t + 120^\circ)$$

$$\Delta \dot{i}_{(c)} = (0,95 - 2,36 e^{-1,0t} + 1,41 e^{-1,66t}) \cos(\omega t - 120^\circ)$$

Corriente unidireccional de inductor.

$$\begin{aligned} \text{A)} \quad \Delta \dot{i}_f &= (\dot{E}_\infty - \dot{E}_\delta) \{1 - [(T'_d e^{-t/T'_d} - T_e e^{-t/T_e}) / (T'_d - T_e)]\} \\ \Delta \dot{i}_f &= 1,8 - 4,5 e^{-1,0t} + 2,7 e^{-1,66t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B)} \quad \Delta \dot{i}_f &= [E_\infty - E_{c\delta}] \{1 - [(T'_d e^{-t/T'_d} - T_e e^{-t/T_e}) / (T'_d - T_e)]\} \\ \Delta \dot{i}_f &= 1,08 - 1,54 e^{-1,0t} + 0,46 e^{-1,66t} \end{aligned}$$

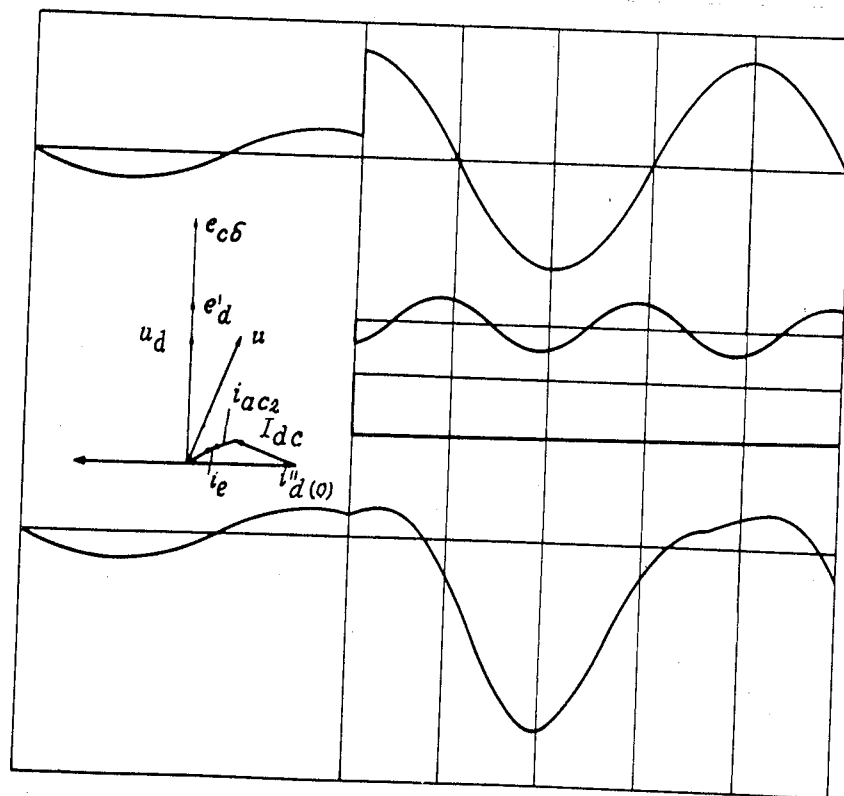


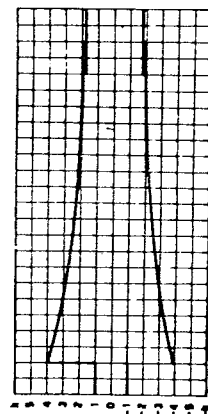
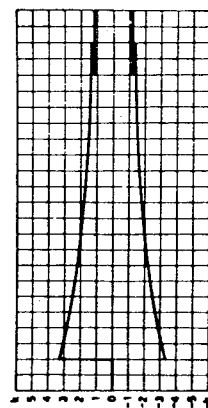
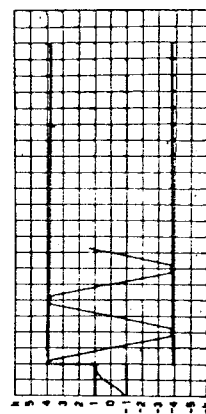
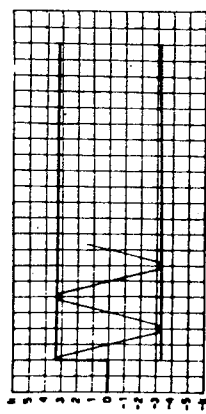
Fig. 47 - corriente de cortocircuito total. Máquina sincrónica anisótropa sin espiras amortiguadoras. (Caso B)

CORRIENTES EN LAS FASES DE INDUCIDO

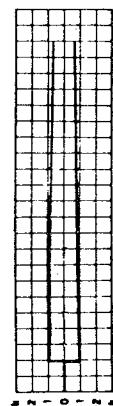
máquina sincrónica anisótropa sin espiras amortiguadoras

Caso A

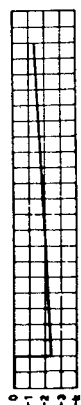
Caso B



Envolturas de las componentes según el eje directo de las corrientes alternas de cortocircuito



Envoltura de las corrientes alternas de segunda armónica



Corrientes unidireccionales



Envoltura de las componentes según el eje directo de las corrientes alternas de cortocircuito debidas a la actuación del regulador de tensión

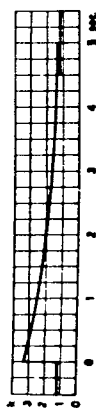
Fig. 48

CORRIENTES DEL CIRCUITO INDUCTOR

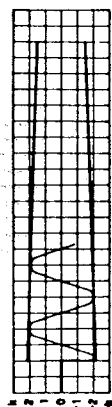
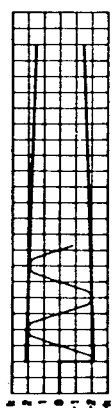
máquina sincrónica anisótropa sin espiras amortiguadoras

Caso A

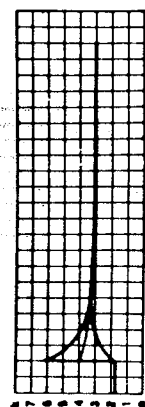
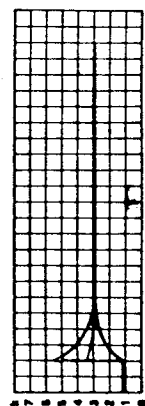
Caso B



Corrientes unidireccionales



Envoltura de las corrientes alternas a la frecuencia fundamental



Corrientes unidireccionales debidas a la actuación del regulador de tensión



Envoltura de las corrientes totales

Fig. 49

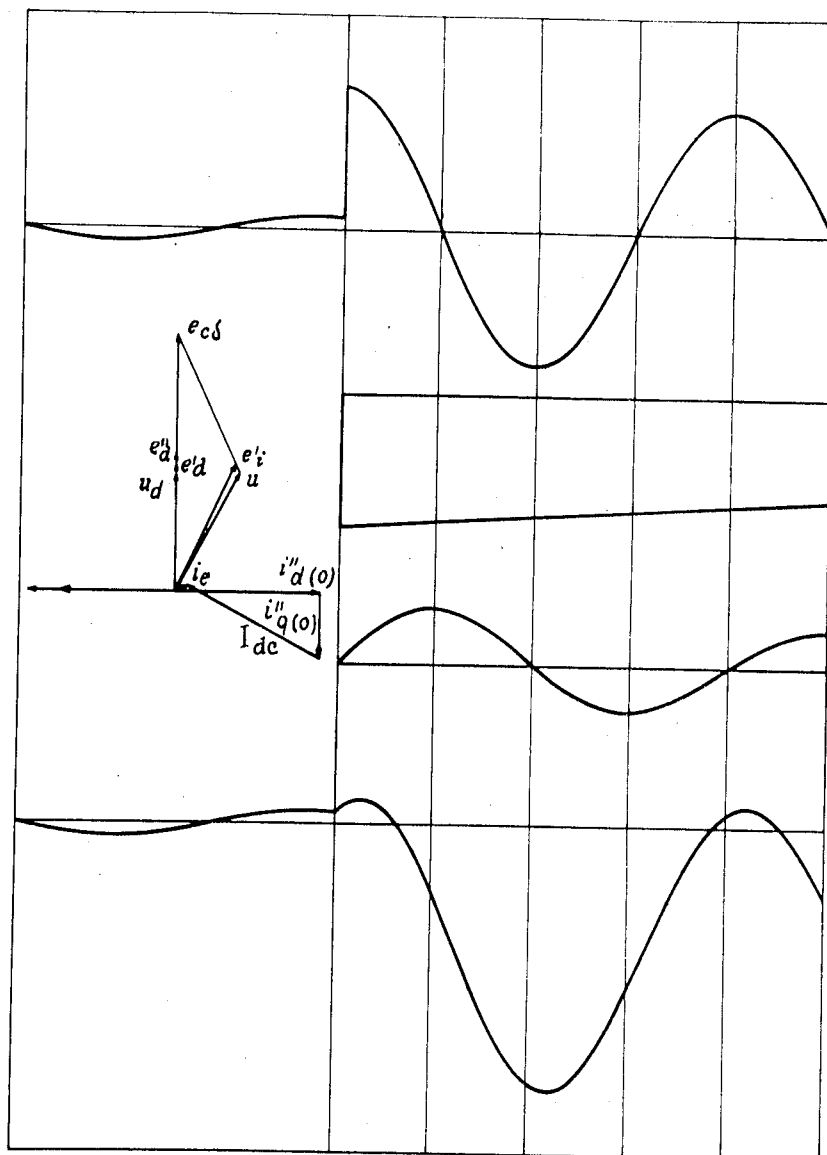


Fig. 50 - corriente de cortocircuito total. Máquina sincrónica isótropa con espiras amortiguadoras. (Caso B)

CORRIENTES EN LAS FASES DE INDUCIDO máquina sincrónica isótropa con espiras amortiguadoras

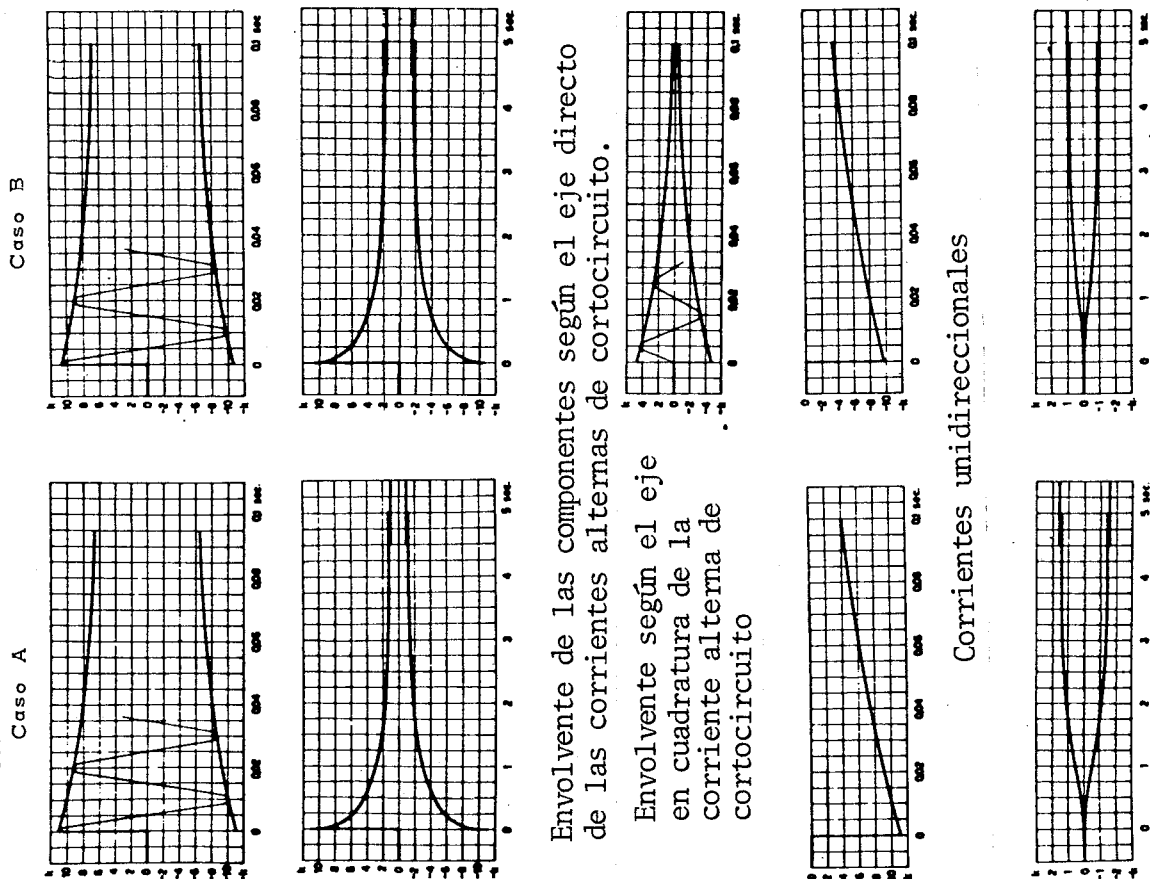


Fig. 51

Envolvente de las componentes según el eje directo de las corrientes alternas de cortocircuito debidas a la actuación del regulador de tensión

CORRIENTES DEL CIRCUITO INDUCTOR máquina sincrónica isotropas con espiras amortiguadoras

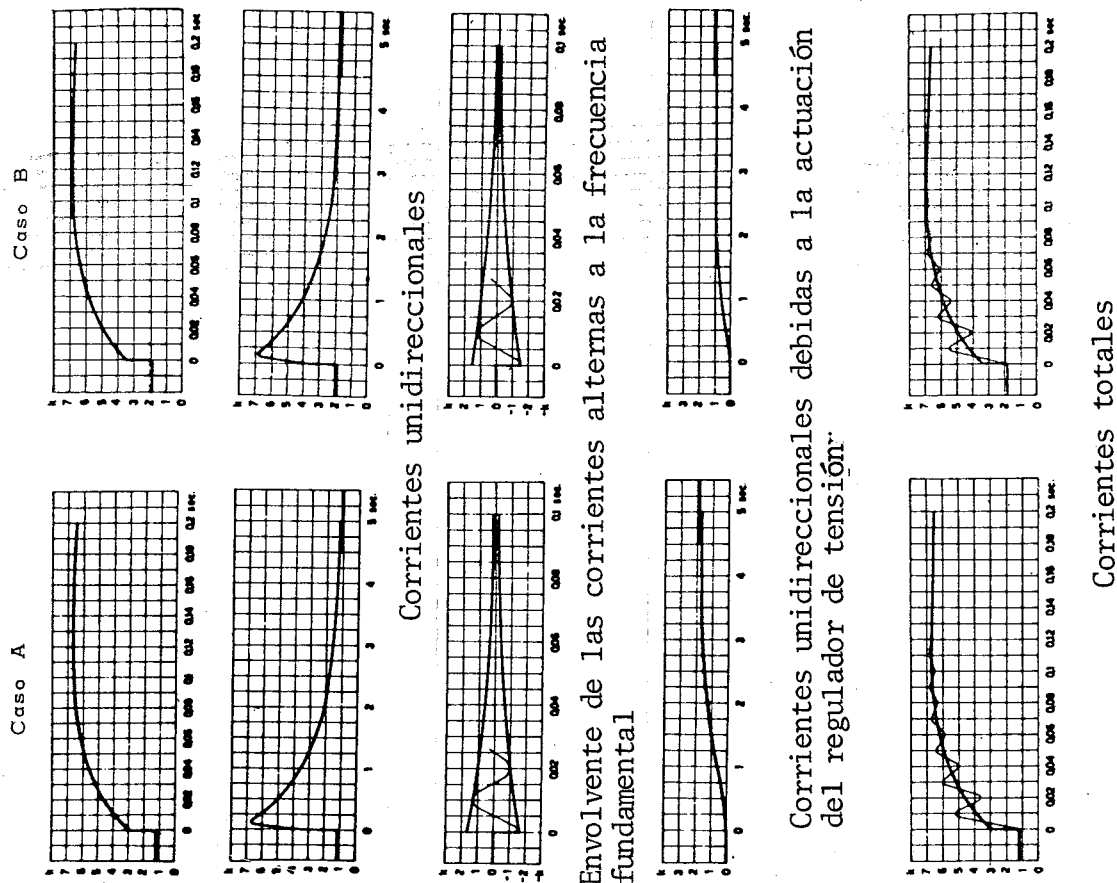


Fig. 52

Corrientes unidireccionales debidas a la actuación del regulador de tensión

Corrientes totales

Envolvente de las corrientes alternas a la frecuencia fundamental

Corrientes unidireccionales

Envolvente de las componentes según el eje directo de las corrientes alternas de cortocircuito.

Envolvente según el eje en cuadratura de la corriente alterna de cortocircuito

Corrientes unidireccionales