

FUNCIONAMIENTO EN CORTOCIRCUITO DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS

CC-02.PDF

2	Efectos de las variaciones de la excitacion sobre las corrientes en las fases del inducido	84 / 91
----------	---	----------------

2. EFECTOS DE LAS VARIACIONES DE LA EXCITACION SOBRE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN LAS FASES DEL INDUCIDO.

2.1 Generalidades.

En los parágrafos precedentes se ha supuesto que durante los cortocircuitos la tensión aplicada al circuito inductor de la máquina sincrónica mantenga su valor constante. Y esto por todo el tiempo comprendido entre dos regímenes de funcionamiento permanentes. En realidad en el instante en que se establece una falla en el exterior del inducido de una máquina, varían simultáneamente las tensiones en los terminales y la tensión de excitación: en efecto las máquinas están equipadas con reguladores de tensión. Con los normales reguladores automáticos varía apreciablemente la tensión de excitación solo en lapsos del orden del décimo de segundo. Y por lo tanto se puede considerar que las variaciones influyen solamente sobre las componentes transitorias y permanentes de la corriente de inducido.-

La corriente transitoria de cortocircuito de la máquina, con tensión de excitación constante, se puede calcular atribuyendo a la reactancia funcional el valor transitorio directo y a la tensión interna el de la tensión interna transitoria:

$$[1] \quad E'_d(t) = (E'_d - E'_{d(\infty)}) e^{-t/T'_d} + E'_{d(\infty)}$$

$$[2] \quad E'_d = E_c \delta - (X_d - X'_d) I_{ld}$$

$$[3] \quad E'_{d(\infty)} = E_c \delta - (X_d - X'_d) I_d = \text{constante}$$

$$[4] \quad I_d = \frac{E_c \delta}{X_d} = \text{constante}$$

La función $E'_d(t)$ a su vez puede ser representada graficamente con la construcción (trazada en la fig. 18) basada sobre la propiedad de las tangentes y sobre la expresión de las derivadas:

$$[5] \quad \frac{dE'_d(t)}{dt} = - \frac{E'_d(t) - E'_{d\infty}}{T'_d} = \tan \alpha_i$$

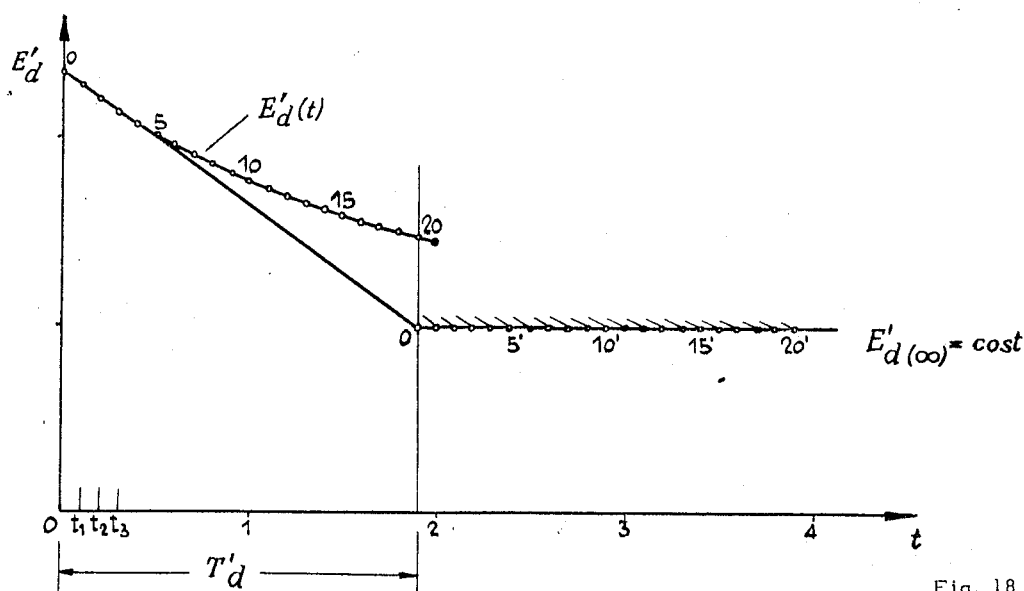


Fig. 18

La corriente alterna transitoria de cortocircuito de una máquina que posee un regulador automático de tensión, se puede calcular de modo analogo al del caso precedente. Es necesario calcular oportunamente los valores instantáneos asumidos por la tensión interna E'_d a continuación de la actuación del regulador. A partir del instante en que interviene el regulador, la tensión de excitación e_x varía según una ley característica de la excitatriz.

Obviamente las variaciones influyen sobre los valores instantáneos de la corriente de excitación. De estos valores dependen: la tensión interna sincrónica $E_{c\delta}$, la corriente de cortocircuito permanente I_d y en consecuencia la tensión interna transitoria $E'_d(\infty)$.

Si se consideran unitarios los valores de la corriente y de la tensión de excitación, para los cuales corresponde sobre la característica rectilínea de entrehierro la tensión nominal, los valores relativos asumidos en el tiempo por la tensión de excitación coinciden con los de la tensión interna sincrónica $\dot{e}_x = \dot{E}_{c\delta}$. Por lo tanto de una función particular $e_x(t)$ y con referencia a un lapso determinado, la relación (4) permite calcular el valor instantáneo de la corriente de cortocircuito permanente I_d y a continuación la relación (3), el correspondiente valor instantáneo de la función $E'_d(\infty)(t)$. El valor instantáneo de la función $E'_d(\infty)(t)$, determinado de este modo, no es simultaneo con el valor de la tensión $e_x(t)$ introducido en el cálculo. En efecto variando la tensión

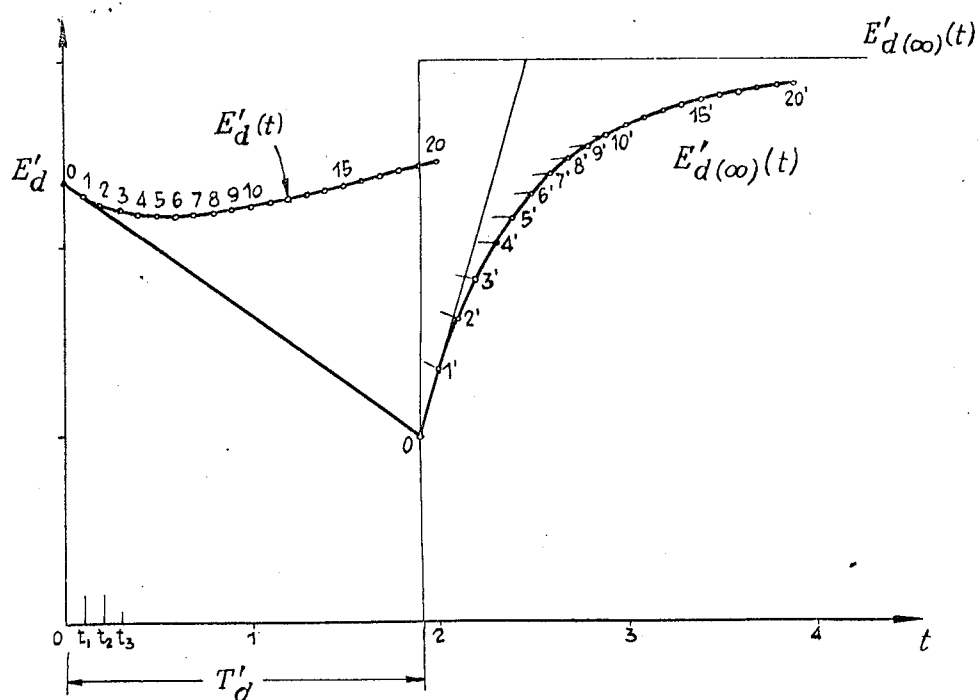


Fig. 19

de excitación, la corriente de excitación y consiguientemente la tensión interna sincrónica E_{cs} no podrán asumir instantáneamente los valores correspondientes a régimen, pero variarán según leyes exponenciales. La constante de tiempo de tales funciones, dependerá de la resistencia y de la reactancia del circuito inductor correspondiente a la efectiva condición de funcionamiento.-

Para el caso estudiado, la constante de tiempo será aquella correspondiente al funcionamiento en cortocircuito; por lo tanto resulta igual a la constante de tiempo T'_d según la cual varía también la componente transitoria de la corriente de cortocircuito. La correspondencia permite determinar la función $E'_d(t)$ con el método gráfico mostrado en la fig. 19: método que se puede considerar como extensión del presentado en la fig. 18.-

2.2 Determinación de las variaciones de la tensión de excitación.

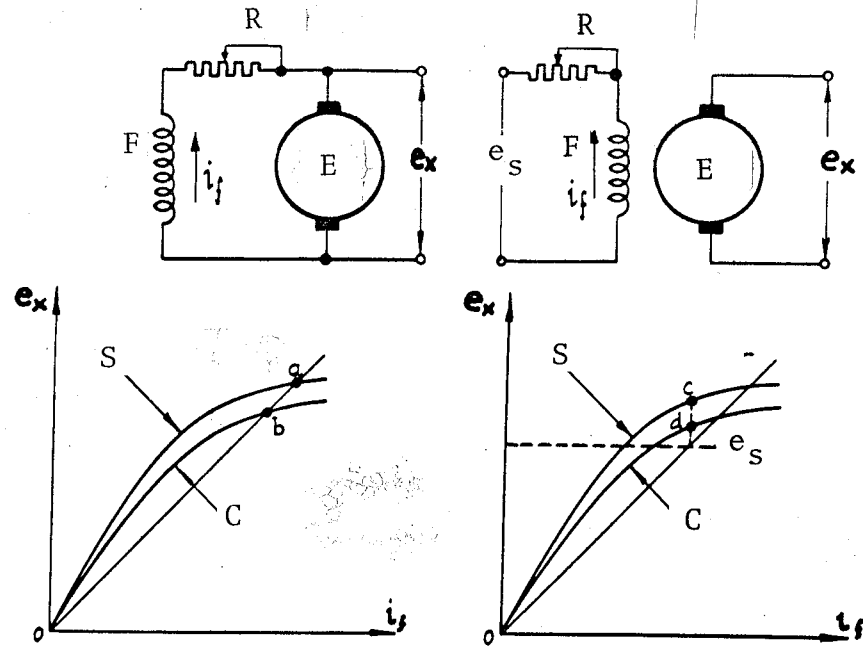
El método de cálculo de la corriente transitoria de cortocircuito de una máquina sincrónica referido en el paragrafo (2.1), requiere el empleo de la característica tensión de excitación-tiempo $e_x(t)$.

Las máquinas sincrónicas son excitadas por máquinas de corriente continua rotantes o estáticas. Las excitatrices rotantes comúnmente utilizadas son máquinas tradicionales con excitación en derivación o independiente, con o sin arrollamientos de compensación. Se emplean también las metadínamos y máquinas con arrollamientos diferenciales del inducido o con tres arrollamientos inductores, de los cuales uno conectado en derivación con el inducido y los otros dos excitados independientemente. Las excitatrices estaticas son electrónicas.

Con referencia a las máquinas de corriente continua tradicionales, cuando la excitatriz principal a su vez está excitada en derivación, el circuito del inductor tiene en serie la resistencia sobre la cual actúa el regulador de tensión y está conectado en derivación con el circuito del inducido. Cuando en cambio la excitatriz principal está a su vez excitada independientemente, el circuito inductor tiene en serie la resistencia de regulación y está conectado a una excitatriz piloto de tensión constante.

Para un valor asignado de la resistencia total del circuito del inductor los puntos de funcionamiento a régimen de las excitatrices se indican en la fig. 20.

Los funcionamientos dinámicos resultantes de las variaciones de la resistencia de regulación, se estudian determinando la respuesta de la excitatriz, es decir la ley según la cual varía en el tiempo la tensión del inducido.-



Referencias:

- R Reostato de campo.
- F campo de excitación.
- E Excitatriz principal.
- S curva de saturación en vacío
- C curva de saturación en carga sobre resistencia de carga constante.
- e_s Tensión de la excitatriz piloto
- a, c) Puntos de funcionamiento en vacío para maquinas con excitación en derivación e independiente.
- b, d) Puntos de funcionamiento en regimen sobre carga constante para maquinas con excitación en derivación e independiente.

Fig. 20

La respuesta de una excitatriz a su vez excitada en derivación, cuando funciona en vacío, se calcula en base a las relaciones y a los desarrollos que siguen.

Hagase referencia al esquema de la fig. 21, indíquense las magnitudes y los parámetros del inductor y del inducido con los símbolos indicados en la figura, el valor instantáneo de la tensión del inducido resulta:

$$[6] \quad e_x = r_f i_f + (N_n/n') d\phi/dt = r_f i_f + d\phi/dt$$

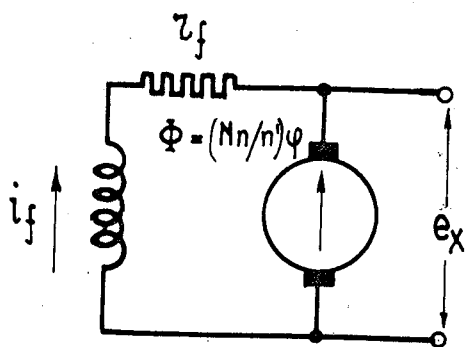


Fig. 21

- N número de espiras por circuito por polo
- n' número de los circuitos por polo conectados en paralelo
- n número de polos
- φ flujo por polo

El flujo total por polo Φ es la suma de dos componentes: el flujo útil de entrehierro y el de dispersión. El flujo útil Φ_u es proporcional a la correspondiente tensión del inducido en vacío y el factor de proporcionalidad se puede definir con la relación entre el flujo útil a la tensión nominal y la tensión nominal $k_u = \Phi_{un}/e_n$.

Despreciando la saturación del hierro de las expansiones polares y de los yugos, el flujo de dispersión Φ_{di} es proporcional a la corriente de excitación y el factor de proporcionalidad se puede definir con la relación entre el flujo disperso en el funcionamiento a la tensión nominal y la corriente de excitación correspondiente

$$k_i = \Phi_{din}/i_{fn}$$

Por lo tanto el flujo total por polo resulta:

$$\Phi = \Phi_u + \Phi_{di} = k_u e_x + k_i i_f$$

y en consecuencia el flujo $\emptyset$ concatenado con cada circuito inductor es igual:

$$[7] \quad \phi = (Nn/n')\Phi = (Nn/n')(k_u e_x + k_i i_f)$$

Para distintos valores de la tensión e_x y de los correspondientes valores de la corriente de excitación i_f , es posible calcular los valores de los flujos $(Nn/n')\Phi_u$, $(Nn/n')\Phi_{di}$, $\emptyset$ y trazar por puntos las características de la fig. 22. En el funcionamiento dinámico las variaciones $d\emptyset/dt$ del flujo, iguales a las tensiones $(e_x - r_f i_f)$, corresponden en la fig. 22. a las ordenadas comprendidas entre la curva de saturación en vacío y la recta que representa la caída de tensión en la resistencia del inductor. La intersección entre la curva saturación en vacío y en recta $r_f i_f$ es un punto para el cual $e_x - r_f i_f = 0$ y caracteriza el punto de funcionamiento estable. De la ecuación (6) se puede obtener la expresión diferencial.

$$dt = \frac{d\phi}{(e_x - r_f i_f)}$$

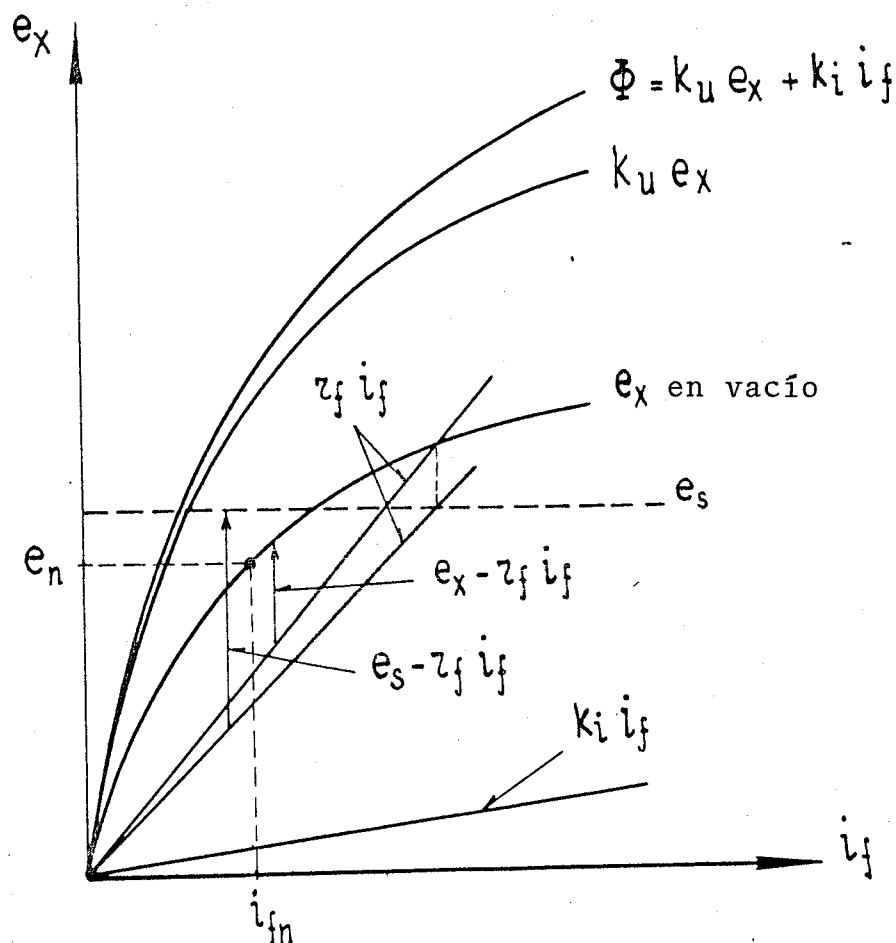


Fig. 22

y obtener de ella por integración la función t del flujo Φ

$$[8] \quad t = \int_0^t dt = \int_{\phi_i}^{\phi} \frac{d\phi}{(e_x - r_f i_f)}$$

La (8) permite obtener la función e_x del tiempo. Si se emplea por ejemplo el método paso a paso el desarrollo del cálculo, se puede realizar como se indica en forma de tabla en la fig. 23.

Cuando al inducido de la excitatriz se aplica una carga, la tensión en los terminales de la máquina difiere de la tensión en vacío. Y esto porque la fuerza magneto-motriz de reacción del inducido a lo largo de la expansión polar tiene una distribución lineal, simétrica respecto al eje de los polos que se compone con la fuerza magneto-motriz del inductor y hace desuniforme la distribución del flujo a lo largo del arco polar. La diferencia de la tensión en carga respecto a la tensión en vacío que resulta, es en parte compensada por los arrollamientos de compensación oportunamente dispuestos sobre cada polo. El flujo de estos arrollamientos se opone al de la fuerza magneto-motriz de reacción del inducido. En el funcionamiento en carga en cambio la tensión interna del inducido difiere de la tensión de los terminales de la máquina también por las caídas de tensión en la resistencia del inducido y de las escobillas. Por lo tanto en el funcionamiento de la máquina en carga, la respuesta de la excitatriz se debe determinar calculando para cada tensión en bornes las tensiones internas del inducido, valorando después las corrientes de excitación sobre la curva de tales tensiones internas (fig.24).

e_x	i_f	$(Nn/n')k_u e_x$	$(Nn/n')k_i i_f$	Φ	$r_f i_f$	$e_x - r_f i_f$	$1/(e_x - r_f i_f) = dt/d\Phi$	$\Delta\Phi$ $\Phi_{n+1} - \Phi_n$	$\Delta\delta m = (\delta_n + \delta_{n+1})/2$	Δt $\Delta\Phi \cdot \Delta\delta m$	t
		α	β	$\alpha + \beta$		γ	$\delta = 1/\gamma$				$\Sigma\Delta t$
e_{x1}	i_{f1}	α_1	β_1	Φ_1	$r_f i_{f1}$	γ_1	δ_1	-	-	-	0
e_{x2}	i_{f2}	α_2	β_2	Φ_2	$r_f i_{f2}$	γ_2	δ_2	$\Phi_2 - \Phi_1$	$(\delta_1 + \delta_2)/2$	Δt_1	$t_1 = \Delta t_1$
e_{x3}	i_{f3}	α_3	β_3	Φ_3	$r_f i_{f3}$	γ_3	δ_3	$\Phi_3 - \Phi_2$	$(\delta_2 + \delta_3)/2$	Δt_2	$t_2 = \Delta t_2$

Fig. 23

Los valores de las tensiones internas y de las corrientes de excitación de esta manera determinadas, se introducen en los cálculos de los flujos Φ_u , Φ_{di} , Φ y de la función $dt/d\Phi$.

La respuesta de tensión en el funcionamiento en vacío de las máquinas con excitación independiente se calcula con relaciones y procedimientos análogos a aquellos citados para las máquinas excitadas en derivación. Es necesario sin embargo tener presente que el funcionamiento de los dos tipos de máquinas difieren. La tensión aplicada al inductor en el caso precedentemente tratado en efecto, es igual a la tensión e_x del inducido de la excitatriz principal y en el caso en examen e_s es igual a la tensión e_s del inducido de la excitatriz piloto. Las tensiones $d\Phi/dt$ que corresponden a las variaciones del flujo concatenado con los circuitos del inductor, son iguales a:

$$e_s - r_f i_f$$

e_s es una tensión constante en el tiempo como representada en la figura 22.

La respuesta de tensión en el funcionamiento en carga se puede calcular incluyendo la resistencia del inducido en la resistencia del inductor y determinando la tensión interna para cada valor de tensión en bornes, y sobre la curva de las tensiones internas la corriente de excitación. Los arrollamientos de compensación hacen los efectos de la fuerza magneto-motriz de reacción del inducido casi desprecia-

bles. La respuesta de tensión de las excitatrices con excitación independiente resulta mas rápida de aquella de las excitatrices con excitación en derivación.

Generalmente las características de respuesta de los dos tipos de excitatrices satisfacen relaciones que pueden ser puestas bajo la siguiente forma:

$$e_x = e_\infty - (e_\infty - e_0) e^{-t/T_e}$$

e_∞ valor final al cual tiende la tensión de excitación

e_0 valor inicial de la tensión de excitación

T_e constante de tiempo característica del conjunto excitatrices regulador.

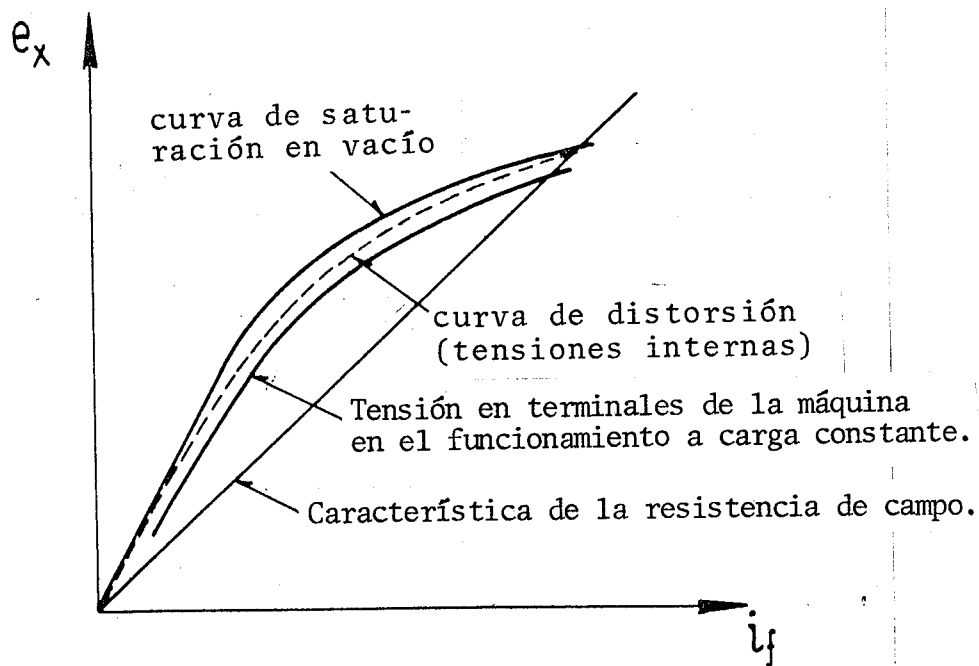


Fig. 24