

FUNCIONAMIENTO EN CORTOCIRCUITO DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS

CCA02.PDF

A - 2	Modelos de las maquinas sincronicas	178 / 190
--------------	--	------------------

2 MODELOS DE LAS MAQUINAS SINCRONICAS.

2.1 Generalidades.

El estudio de los regímenes permanentes y transitorios de las máquinas sincrónicas, como de los sistemas de una red eléctrica puede ser realizado experimentalmente mediante modelos que cumplen las leyes de semejanza.

La semejanza se realiza.

- A) entre el circuito equivalente que interpreta un funcionamiento de la red real y el circuito modelo.
- B) entre las máquinas rotantes y estáticas de la red real y los correspondientes elementos de la red modelo.

Los modelos del tipo A) se realizan con elementos activos y pasivos y con interruptores sincrónicos para simular: las magnitudes impresas, los parámetros de los circuitos equivalentes, las fallas o las maniobras de apertura y de cierre de los aparatos de protección.-

- A₁) Los elementos activos son generadores de tensión y de corriente.

Los generadores de tensión imprimen al circuito exterior al cual están conectados fuerzas electromotrices independientes de la corriente circulante: están constituidos por lo tanto con una fuerza electromotriz variable en el tiempo con una ley cualquiera. Estos tienen impedancias internas serie de valor despreciable (dentro del campo de frecuencias utilizadas) respecto al valor más pequeño de las impedancias externas.

Los generadores de corriente imprimen al circuito exterior al cual están conectados corrientes independientes de la tensión que se presenta en bornes. Están constituidos por una fuerza electromotriz variable en el tiempo con una ley cualquiera. La impedancia interna en derivación es de valor preponderante (dentro del campo de frecuencias utilizadas) respecto al valor más elevado de las impedancias externas.

- A₂) Los elementos pasivos son bipolares y realizan los parámetros: resistencia, inductancia, capacidad, mutua inductancia. Están constituidos por resistores, inductores, capacitores, transformadores o inductores mutuos, autotransformadores. Todos estos elementos tienen parámetros normales, es decir independientes de los valores y de las leyes de variación de las tensiones y de las corrientes; incluyen sin embargo parámetros parásitos y su empleo requiere oportunas compensaciones entre los valores de los parámetros homogéneos de distintos elementos. Los elementos pasivos pueden encontrarse conectados en unidades de más de dos terminales (P_i , Γ , T)
- A₃) Los interruptores sincrónicos son órganos de dos terminales. Los dispositivos introducen siempre en apertura tensiones de arco y corrientes post-arco de amplitud despreciable; mientras que en cierre tienen tensiones de prearco de duración despreciable.

Las capacitancias entre los contactos y hacia masa de los elementos deben ser de valor mínimo respecto al valor de la capacitancia exterior. Frecuentemente se realizan interruptores sincrónicos con pares de reles de mercurio, de los cuales uno en reposo tiene los contactos cerrados y el otro en posición normal los contactos abiertos. El movimiento de los contactos de los dos reles puede ser independientemente desplazado uno respecto del otro de manera de realizar superposiciones en apertura o bien en cierre por determinados lapsos. Los dos reles conectados en serie o en paralelo dan lugar a los ciclos de operación

apertura - cierre - apertura

cierre - apertura - cierre

Los ciclos simulan perturbaciones y se hacen recurrentes por medio de un sincronizador electrónico. Se puede de esta manera con un oscilógrafo catódico, observar los fenómenos transitorios y las trazas de las magnitudes se hacen estacionarias sobre la pantalla.

El modelo se construye, con el circuito de unidades pasivas y elementos activos interconectados según un esquema eléctrico apto para el estudio.

Los fenómenos transitorios de redes con parámetros no lineales esquematizables aún con una sucesión de circuitos equivalentes constituidos con parámetros lineales se examinan paso a paso con adecuadas redes modelo. Las modificaciones del modelo cuando no implican variaciones de los valores de los parámetros, se realizan generalmente por medio de los interruptores sincrónicos antes descritos.

A fin de obtener los valores de los elementos para un proyecto, o realizar la verificación del funcionamiento de una red existente se efectúan mediciones y registros oscilográficos de las magnitudes eléctricas en los nodos del modelo o bien determinación de los parámetros de los bipolos y de los cuadripolos.

La semejanza antes mencionada se obtiene en las siguientes condiciones eléctricas.

A₄) Proporcionalidad entre magnitudes (tensiones, corrientes, potencias)

A₅) Proporcionalidad entre las impedancias de los circuitos homologos.

A₆) Igualdad o proporcionalidad de las constantes de tiempo de los circuitos electricos homologos.

En este punto deben realizarse las dos consideraciones siguientes:

1º El factor de proporcionalidad entre las impedancias de los circuitos modelos y las de los circuitos reales se encuentra en función de la relación entre las magnitudes tensiones y corrientes E_i , I_i impresas en el circuito equivalente real y las correspondientes magnitudes del circuito equivalente modelo E'_i , I'_i .

Indicando con K_e la relación E_i/E'_i , y con K_i la relación I_i/I'_i , las resistencias, las inductancias, las mutuas inductancias reales deben ser multiplicadas por la relación K_i/K_e ; las conductancias y las capacidades por la relación K_e/K_i .

- 2º) La igualdad de las constantes de tiempo de los circuitos eléctricos homologos implica la igualdad de las frecuencias de funcionamiento o de las unidades de tiempo a las cuales se refieren las magnitudes del sistema real y las del modelo. La proporcionalidad implica el uso de tensiones, a frecuencias o unidades de tiempo, distintas. Cuando al modelo se aplican magnitudes con una frecuencia f' distinta de aquella del sistema real f los valores de las inductancias, de las mutuas inductancias, y de las capacitancias reales deben ser multiplicadas por el factor f/f' .

Si las magnitudes impresas a un sistema real con parametros normales, no son periódicas sinusoidales, sino varían periódicamente según una forma cualquiera, y el transcurso en el tiempo de las magnitudes impresas al modelo se hace variar según un factor constante a , los valores de las inductancias, de las mutuas inductancias y de las capacidades reales, deben ser multiplicadas por el mismo factor.

Los modelos del tipo B) se realizan con los elementos de las microredes, es decir con micromáquinas, que no son de todos modos modelos en miniatura. En efecto, por razones tecnologicas, la semejanza geometrica no puede ser respetada en todos los elementos, por ejemplo en los espesores de las chapas magneticas y en las dimensiones de los entrehierros.

De todos modos es generalmente imposible lograr que todos los adimensionales de un sistema real iguales a los correspondientes productos adimensionales del sistema modelo, porque no se tienen disponibles materiales con parametros característicos, (conductancia, permitividad, permeabilidad) de valor oportuno.

La realización practica de los modelos aprovecha necesariamente solo las condiciones de semejanza ligadas a los productos adimensionales, que tienen un efecto preponderante sobre el fenomeno en examen.

Las micromáquinas son modelos aproximados, cosntruídos oportunamente para recabar algunas informaciones.

Una buena utilización general de los elementos de una microred se obtiene en condiciones de semejanza.

B₁) Electricas para las electroconducciones (líneas).

B₂) Electricas y magneticas para las máquinas estáticas.

B₃) Electricas, magneticas y mecanicas para las máquinas rotantes.

Las condiciones B₁ han sido indicadas para los modelos electricos tipo A.

Las condiciones B_2 implican identidad de las características homólogas de los circuitos magnéticos, cuando las magnitudes se expresan en valor relativo respecto del flujo correspondiente a la tensión nominal en vacío y de la fuerza magnetomotriz correspondiente a esta tensión.

Las condiciones B_3 implican:

- igualdad o proporcionalidad de las constantes de inercia de los grupos rotativos homólogos.
- identidad de las características cupla velocidad de los grupos rotativos homólogos.

La primera implica igualdad de las frecuencias por las magnitudes eléctricas del sistema real con las de la microred. La proporcionalidad en cambio requiere distintas unidades de tiempo: por ejemplo, si la frecuencia de la microred es n veces la frecuencia real la constante de inercia del modelo debe ser $1/n$ veces la correspondiente constante de inercia real.

2.2 Modelos eléctricos de la máquinas sincrónicas.

2.2.1 Funcionamiento en carga.

Los funcionamientos en carga de las máquinas sincrónicas pueden ser estudiados con un generador de tensión y un bipolo normal. Los valores que se deben asignar a la tensión del generador y al parámetro inductivo del bipolo dependen de los parámetros: reactancia sincrónica directa no saturada X_d , reactancia sincrónica en cuadratura no saturada X_q , reactancia de Potier X_p , y también de las características de excitación en vacío y a plena carga I_n con $\cos \varphi = 0$

En efecto conociendo la intensidad de la carga I_1 el valor del factor de potencia de la carga $\cos \varphi$, la tensión en los terminales de la máquina U , se pueden construir las características de excitación en carga I_1 con $\cos \varphi = 0$ y con el $\cos \varphi$ asignado. De estas características resultan:

- la corriente de excitación A_{ic} necesaria para obtener en el funcionamiento en carga I_1 con el $\cos \varphi$ asignado la tensión en los terminales U .
- la tensión E_c perteneciente a la característica de funcionamiento en vacío en correspondencia con la corriente de excitación A_{ic} :
- la tensión U_0 perteneciente a la característica de funcionamiento en carga I_1 con $\cos \varphi = 0$ en correspondencia de la corriente de excitación A_{ic}

El modelo eléctrico de la particular condición de funcionamiento en examen se puede realizar atribuyendo a la tensión del generador un valor relativo igual a E_c y al parámetro inductivo del bipolo pasivo una reactancia de valor igual al de la reactancia funcional:

$$\dot{X} = \frac{\dot{E}_c - \dot{U}_0}{\dot{I}_l}$$

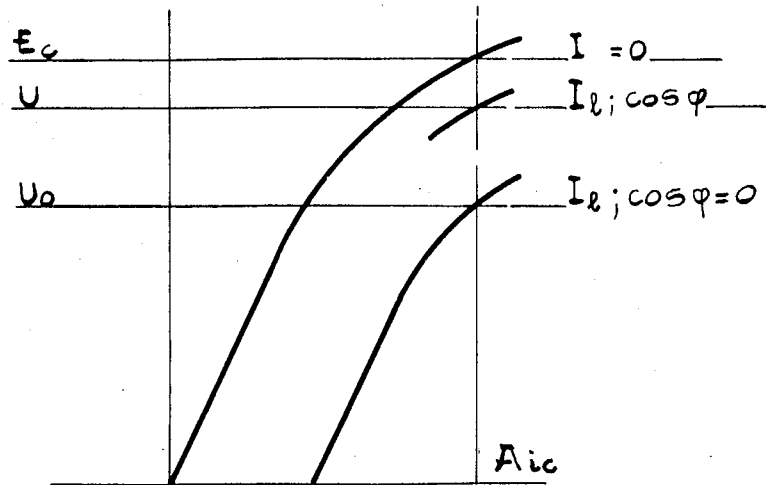


Fig. 35

El método es aplicable a los estudios cuando la tensión del modelo debe ser proporcional al valor que sería alcanzado por la tensión en los terminales cuando se hiciera pasar la máquina del funcionamiento en carga al funcionamiento en vacío sin modificar la excitación. Con el modelo así realizado el ángulo comprendido entre las tensiones en terminales del bipolo pasivo, difiere del ángulo de cupla.

Cuando en cambio sea necesario conservar en el modelo el defasaje real de la tensión entre terminales de la máquina respecto de la tensión interna sincrónica, se puede aplicar el método ilustrado a continuación en las figuras 36 y 37. Las magnitudes de las curvas

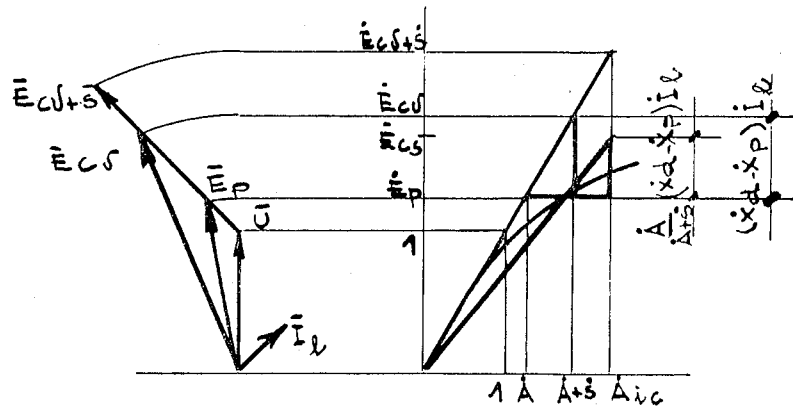


Fig. 36

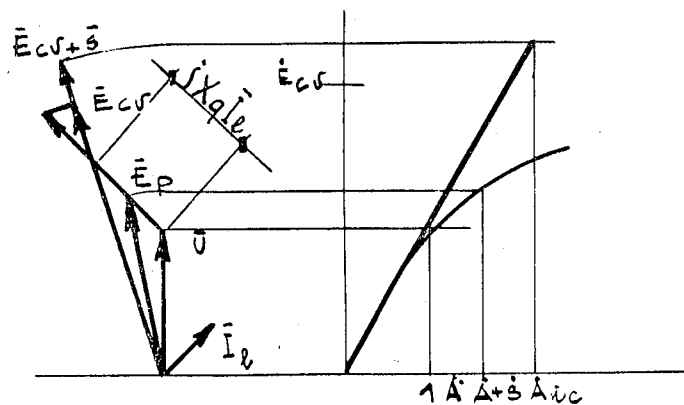


Fig. 37

de excitación se han expresado en valores relativos: el valor unitario de la tensión es el nominal y el valor unitario de la corriente de excitación es el que mantiene la tensión nominal sobre la extrapolación del tramo recto de la característica de vacío.

Los diagramas se basan sobre la igualdad entre los valores relativos de los módulos de los vectores que representan las tensiones internas y las correspondientes fuerzas magneto motrices como sobre la posibilidad de transformar una representación vectorial de las tensiones internas en la correspondiente de las fuerzas magneto motrices. Esto se obtiene haciendo rotar los vectores de $\pi/2$ grados eléctricos.

El diagrama de la figura 36 se refiere a máquinas sincronicas isótropas. Está constituido por el vector tensión en los terminales U al cual se han sumado las caídas de tensión en la reactancia de Potier y aquella sincrónica directa no saturada, obteniendo respectivamente los vectores E_p y $E_{c\delta}$. Se determinan los valores relativos de la corriente de excitación sobre las características de excitación en vacío rectilínea y real que corresponden a la tensión E_p y son respectivamente A, A + s. Asumen el valor relativo $E_{c\delta}$ aumentado en s, resulta igual a aquel de la corriente de excitación A_{ic} necesaria para el funcionamiento en carga que se examina. La característica rectilínea que pasa por el punto (E_p , A + s) individualiza la tensión E_{cs} para la corriente de excitación A_{ic} . El ángulo de cupla real se conserva en el modelo atribuyendo a la tensión del generador un valor relativo igual a E_{cs} , a la reactancia del bipolo pasivo el valor de la reactancia funcional:

$$\dot{X} = \dot{X}_p + (\dot{X}_d - \dot{X}_p) \cdot \frac{\dot{A}}{\dot{A} + s}$$

El diagrama de la fig. 37 se refiere a las máquinas sincrónicas anisotropas. Está constituido por el vector tensión en los terminales U, al cual se han sumado vectorialmente las caídas de tensión en la reactancia de Potier y en la reactancia sincrónica no saturada en cuadratura, obteniendo respectivamente los vectores E_p y $(U_d + j X_q I_{ld})$.

Sobre las características de excitación en vacío rectilínea y real, en correspondencia de la tensión E_p , se determinan los valores relativos de la corriente de excitación: respectivamente son A, A+s. Sumando a $U_d + j X_q I_{ld}$ el vector $j (X_d - X_q) I_{ld}$ se obtiene $E_{c\delta}$. El valor relativo $E_{c\delta}$, aumentado de s resulta igual al de la corriente de excitación A_{ic} necesaria para la condición de funcionamiento en carga en examen. El ángulo de cupla real se conserva en el modelo atribuyendo a la tensión del generador un valor relativo igual a aquel del módulo del vector $U_d + j X_q I_{ld}$, a la reactancia del bipolo pasivo el valor de la reactancia sincrónica no saturada en cuadratura X_q .

2.2.2. Funcionamientos en Cortocircuito.

El funcionamiento dinámico de las máquinas sincronicas siguiente al establecimiento de una falla en la red a la cual están conectadas las máquinas se ha presentado en el capítulo 1.6. Los valores de las corrientes alternas a la frecuencia fundamental, de las corrientes unidireccionales y armonicas de segundo orden, pueden ser determinados paso a paso a través de circuitos modelo, realizados según los criterios que se examinan.

I. Corrientes alternas a la frecuencia fundamental.

a) Los valores sostenidos de las corrientes alternas de cortocircuito se evalúan por medio de un circuito modelo en el cual cada máquina sincronica se ha representado, o sea:

- por un inductor de reactancia proporcional al valor de la reactancia sincronica no saturada, y por un generador de tensión conectado de forma que entre el terminal libre del inductor y el punto de neutro sea aplicada una tensión proporcional a la sincronica del diagrama de Potier o de Blondel. Esta se realiza en el circuito de impedancias a la secuencia positiva.
- por un inductor de reactancia proporcional al valor de la reactancia de secuencia inversa, o de secuencia cero en los circuitos de impedancias a la secuencia negativa y cero.

Los modelos, sin fuerzas electromotrices, aplicadas y sin parametros resistivos, se emplean también para determinar las reactancias externas (vistas desde los terminales de las máquinas respecto del punto de falla) que sirven para calcular las constantes de tiempo transitorias y subtransitorias. Las constantes de tiempo de las corrientes unidireccionales de las fases de inducido en cambio, se determinan calculando los valores de las impedancias externas, siempre vistas en bornes de las máquinas respecto del punto de falla. A tal fin se deben incluir también los parametros resistivos en los bipolos de los circuitos a las secuencias positivas, negativas y cero.

b) Los valores transitorios de las corrientes alternas de cortocircuito se evalúan: reemplazando ante todo en los circuitos de impedancias a la secuencia positiva las reactancias sincronicas directas no saturadas, con aquellas transitorias directas, aplicando además las tensiones internas directas entre los terminales libres de los bipolos que realizan las reactancias y el punto de neutro. Sus valores eficaces son:

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

y se calculan para cada máquina en función de la corriente de carga preexistente a la falla I_{ld} y de la corriente de cortocircuito sostenida I_d .

$$E'_d = E_{c\delta} - (X_d - X'_d) I_{ld}$$

$$E'_{d\infty} = E_{c\delta} - (X_d - X'_d) I_d$$

c) Los valores de las componentes subtransitorias directas de las corrientes alternas de cortocircuito incrementan los transitorios y se evalúan: introduciendo las reactancias subtransitorias directas de las máquinas en los circuitos de las impedancias a la secuencia positiva y aplicando las tensiones

$$\Delta E''_d(t) = (E''_d - E''_{d\infty}) e^{-t/T''_d}$$

entre los terminales libres de los bipolos que realizan las reactancias y el punto de neutro. Los valores eficaces de las tensiones se calculan para cada máquina en función de la corriente de carga preexistente a la falla I_{ld} y de la corriente de cortocircuito transitoria directa inicial $I_{d(0)}$.

$$E_d'' = E_{c\delta} - (X_d - X_d'') I_{ld}$$

$$E_{d\infty}'' = E_d' - (X_d' - X_d'') I_{d(0)}$$

- d) Los valores subtransitorios en cuadratura de las corrientes alternas de cortocircuito se evalúan introduciendo en los circuitos de las impedancias a la secuencia positiva las reactancias subtransitorias en cuadratura de las máquinas, y aplicando las tensiones internas subtransitorias en cuadratura entre los terminales libres de los bipolos que realizan las reactancias y el punto de neutro. Sus valores son

$$E_q'' = -(X_q - X_q'') I_{lq} e^{-t/T_q''}$$

II Corrientes unidireccionales y armonicas de segundo orden.

Los valores instantáneos de las corrientes unidireccionales que entregan las máquinas sincrónicas deben evaluarse en base a las corrientes alternas iniciales: esto se hace sustrayendo vectorialmente de cada una de ellas la corriente de carga. Las determinaciones deben ser realizadas separadamente para las componentes directas y para aquellas en cuadratura de las corrientes alternas iniciales y de las corrientes de carga. Los modulos de los vectores correspondientes a cada máquina decrecen en el tiempo según la constante de tiempo particular T_a . El mismo procedimiento es aplicable a los valores instantáneos de las corrientes unidireccionales, que circulan por cualquier elemento de la red distinto de las máquinas sincrónicas. El procedimiento, de todos modos, no permite evaluar las amplitudes de las eventuales corrientes alternas armonicas de segundo orden como resulta del paragrafo 1.6.8.-

2.2.3 - Circuitos equivalentes a las reactancias funcionales.

Las expresiones de las reactancias funcionales directas y en cuadratura fueron expuestas en el capítulo 3.-

Las relaciones analíticas a las cuales se ha llegado pueden ser traducidas en circuitos equivalentes. El examen de los circuitos facilita la formulación de las definiciones y de los metodos de medida. Las definiciones de las reactancias presentadas en el capítulo 1 serán nuevamente indicadas para comodidad en la consulta.

Reactancia sincrónica directa no saturada así formulada

$$X_d = X_{ld} + X_{ad}$$

es aquella que una máquina sincrónica presenta respecto a una terna de tensiones a la secuencia positiva a frecuencia nominal, en régimen permanente en el caso en el cual el flujo tengan una distribución simétrica respecto del eje directo. Ella corresponde al flujo producido por la corriente de inducido que actúa sola: es decir en el caso en el cual el flujo tenga una distribución simétrica respecto al eje directo a máquina desexcitada.

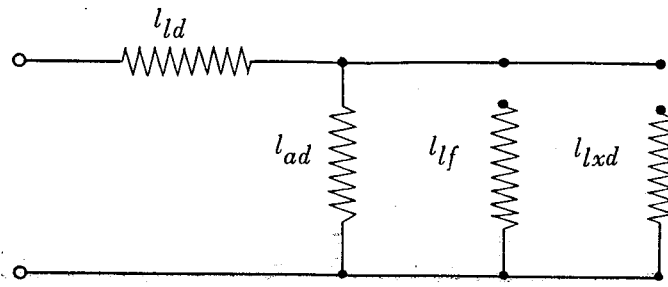


Fig. 38 - Reactancia sincronica directa

Reactancia transitoria directa así formulada:

$$X'_d = X_{ld} + \frac{X_{ad} X_{lf}}{X_{lf} + X_{ad}}$$

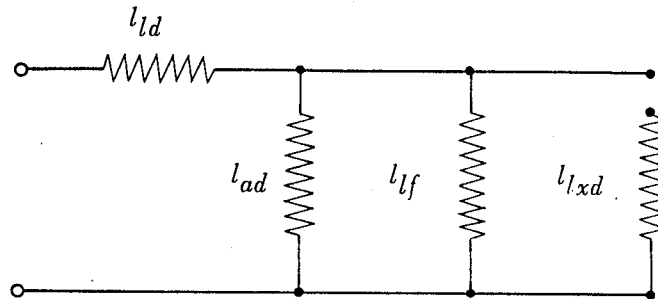


Fig. 39 - Reactancia transitoria directa

La reactancia funcional según el eje directo del regimen transitorio es la reactancia transitoria directa. Es aquella presentada por una máquina sincrónica en el momento de aplicación de una terna de tensiones a la secuencia positiva a frecuencia nominal, prescindiendo de las componentes subtransitorias, cuando la distribución del flujo debido a dicha terna de tensiones es simétrica respecto del eje directo. Ella corresponde al flujo de dispersión global de los arrollamientos inducido e inductor.

Su valor depende de la saturación; pero se lo determina generalmente a la tensión nominal.

Reactancia subtransitoria directa no saturada así formulada.

$$X''_d = X_{ld} + \frac{1}{\frac{1}{X_{lf}} + \frac{1}{X_{lxd}} + \frac{1}{X_{ad}}}$$

La reactancia funcional según el eje directo correspondiente al régimen subtransitorio es la subtransitoria directa. Es aquella presentada por una máquina sincronica en el momento de la aplicación de una terna de tensiones de secuencia positiva a la frecuencia fundamental, cuando la distribución del flujo debido a dicha terna de tensiones es simétrica respecto del eje directo. Ella corresponde globalmente al flujo de dispersión del arrollamiento de inducido y a aquel del conjunto de todos los circuitos de rotor simétricos al eje directo, referidos de todos modos al inducido. Su valor depende de la saturación pero se lo determina generalmente a la tensión nominal.

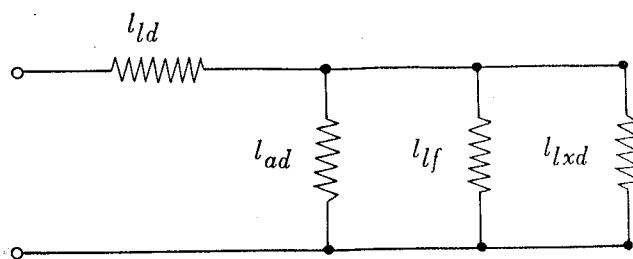


Fig. 40 - Reactancia subtransitoria directa

Reactancia subtransitoria en cuadratura no saturada así formulada.

$$X_q'' = X_{lq} + \frac{X_{aq} X_{lxq}}{X_{aq} + X_{lxq}}$$

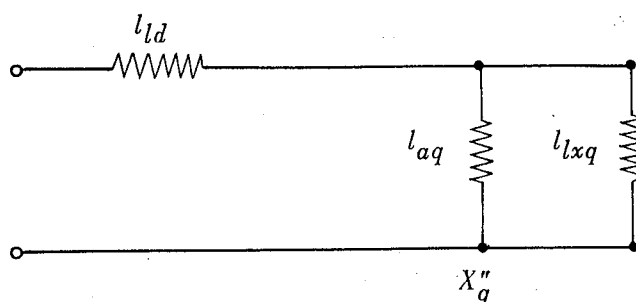


Fig. 41 - Reactancia subtransitoria en cuadratura

La reactancia funcional según el eje en cuadratura del régimen subtransitorio, es la subtransitoria en cuadratura. Es aquella que una máquina sincronica presenta en el momento de la aplicación de una terna de tensiones de secuencia positiva a frecuencia nominal, cuando la distribución del flujo debido a dicha terna de tensiones es simétrica respecto del eje en cuadratura. Dicha reactancia corresponde globalmente a la dispersión del arrollamiento de inducido y a aquella de todos los circuitos de rotor simétricos al eje en cuadratura, siempre referida al inducido. Su valor depende de la saturación; pero se la determina generalmente a la tensión nominal.

Reactancia sincronica en cuadratura así formulada.

$$X_q = X_{lq} + X_{aq}$$

Es aquella que una máquina presenta respecto a una terna de tensiones de secuencia positiva, a frecuencia nominal, en regimen permanente en el caso en que la distribución del flujo debido a dicha terna de tensiones sea simétrico respecto al eje en cuadratura. Esta corresponde al flujo producido por la corriente de inducido, que actúa solo, es decir a máquina desexcitada, en las condiciones arriba especificadas. Su valor depende del grado de saturación, pero en la practica interesa solo el valor en ausencia de saturación.

2.2.4 - Circuitos equivalentes a las constantes de tiempo.

Las expresiones de las constantes de tiempo directas y en cuadratura se han presentado en el capítulo 3. Las relaciones analíticas a las cuales se ha llegado se pueden facilmente traducir en circuitos equivalentes, cuyo examen facilita la formulación de las definiciones y de los metodos de medida.

Por comodidad de consulta se repiten a continuación las definiciones de las constantes de tiempo presentadas en el capítulo I.

Constantes de tiempo en vacío.

La variación de la tensión de fase de inducido de una máquina sincrónica, cuyo circuito inductor haya sido desconectado de la excitatriz y puesto en cortocircuito, mientras la máquina funciona a la velocidad nominal, en vacío, puede descomponerse en dos funciones exponenciales.

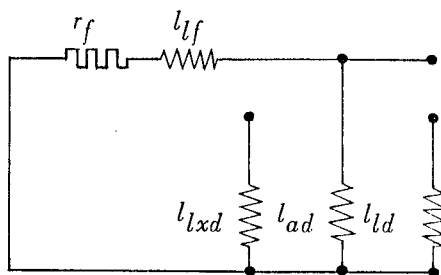


Fig. 42 - Constante de tiempo transitoria directa en vacío

La componente de mayor duración es generalmente denominada transitoria: la constante de tiempo correspondiente a ella transitoria en vacío según el eje directo se expresa así

$$T'_{do} = \frac{l_{ff}}{r_f} = \frac{l_{lf} + l_{ad}}{r_f}$$

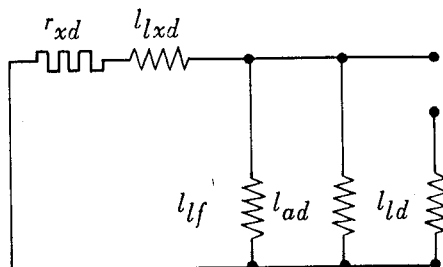


Fig. 43 - Constanta de tiempo subtransitoria directa en vacío

La componente de decremento mas rapida se extingue con las corrientes inducidas en las espiras amortiguadoras y en los circuitos auxiliares rotoricos. La componente se denomina subtransitoria y la constante de tiempo correspondiente a ella subtransitoria según el eje directo.-

$$T''_{d0} = \frac{1}{r_{xd}} \left(l_{xxd} - \frac{l_{ad}^2}{l_{ff}} \right) = \frac{1}{r_{xd}} \left(l_{lxd} + \frac{1}{\frac{1}{l_{lf}} + \frac{1}{l_{ad}}} \right)$$

Constante de tiempo para los funcionamientos en cortocircuito.

Durante los funcionamientos en cortocircuito de las máquinas sincronicas, en el tiempo, decrecen la amplitud de la corriente alterna directa de inducido y de las corrientes unidireccionales del arrollamiento inductor como de los circuitos auxiliares rotoricos simetricamente dispuestos al eje directo.

Las variaciones de las corrientes se pueden expresar con una función de amplitud constante a la cual se superponen dos funciones exponenciales.

La constante de tiempo de duración mayor es denominada transitoria directa. Su expresión analítica se indica en el punto 4.7.-

$$T'_d = \frac{X'_d}{X_d} \cdot T'_{d0} = \frac{l_{ff}}{r_f} \left[1 - \frac{l_{ad}^2}{l_{ff} \cdot l_d} \right] = \frac{1}{r_f} \left(l_{lf} + \frac{1}{\frac{1}{l_{ld}} + \frac{1}{l_{ad}}} \right)$$

y es aplicable al circuito de la fig. 44 que por lo tanto puede ser tomado como circuito equivalente.

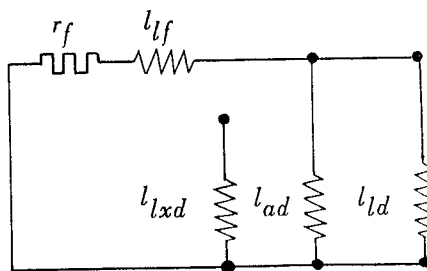


Fig. 44 - Constante de tiempo transitoria directa en cortocircuito

La constante de tiempo de menor duración es denominada subtransitoria directa. Su expresión analítica se indica en el punto 4.6.-

$$T''_d = \frac{X''_d}{X'_d} T''_{d0} = \frac{1}{r_{xd}} \left(l_{lxd} + \frac{1}{\frac{1}{l_{ad}} + \frac{1}{l_{lf}} + \frac{1}{l_{ld}}} \right)$$

y es aplicable al circuito de fig. 45 que por lo tanto puede ser tomado como circuito equivalente.

Durante los funcionamientos en cortocircuito de las máquinas sincrónicas que siguen al funcionamiento en carga, decrecen hasta anularse las amplitudes de la corriente alterna en cuadratura y de la corriente unidireccional de los circuitos auxiliares rotoricos dispuestos simetricamente a los ejes interpolares.

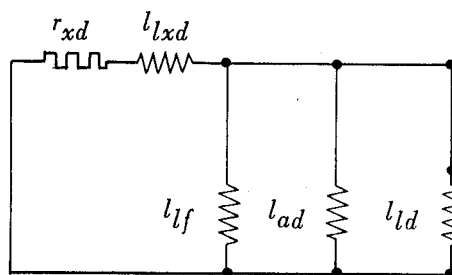


Fig. 45 - Constante de tiempo subtransitoria directa en cortocircuito

Las variaciones son de tipo exponencial y tienen una constante de tiempo denominada subtransitoria en cuadratura. La expresión analítica de las constantes de tiempo se expone en el punto 4.6.-

$$T_q'' = \frac{X_q''}{X_q} T_{q0}'' = \frac{l_{xxq}}{r_{xq}} \frac{l_q''}{l_q} = \frac{1}{r_{xq}} \left(l_{lxq} + \frac{1}{\frac{1}{l_{aq}} + \frac{1}{l_{lq}}} \right)$$

y es aplicable al circuito equivalente de fig. 46

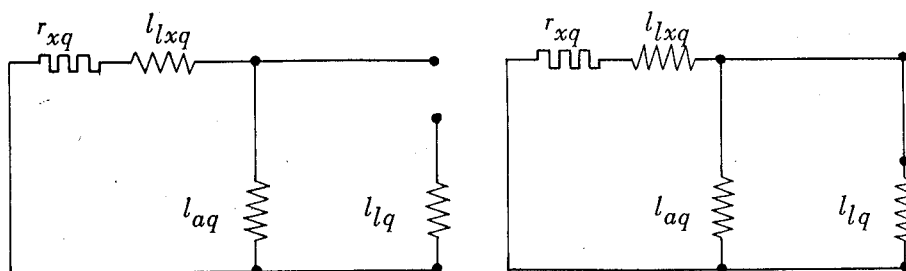


Fig. 46 - Constantes de tiempo subtransitoria en cuadratura T_{q0}'' , T_q'' .