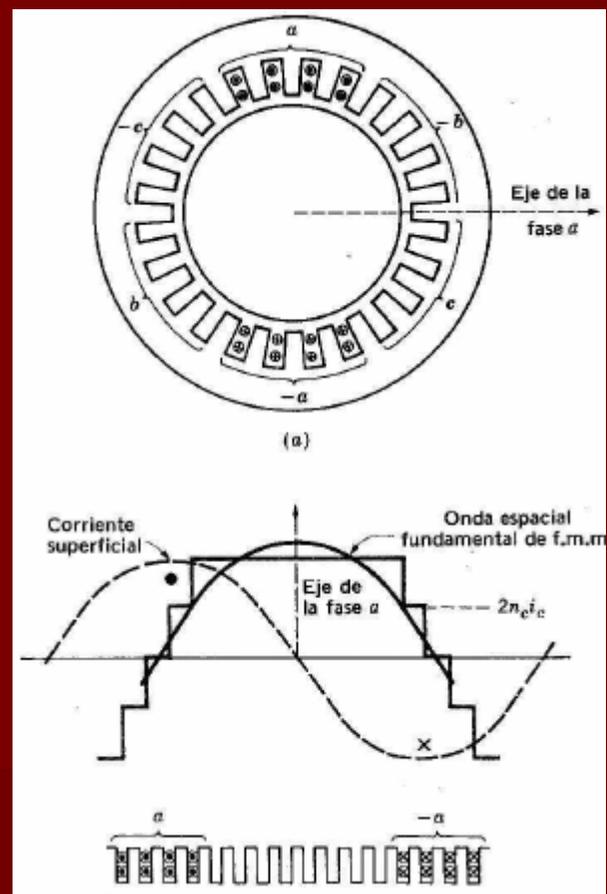
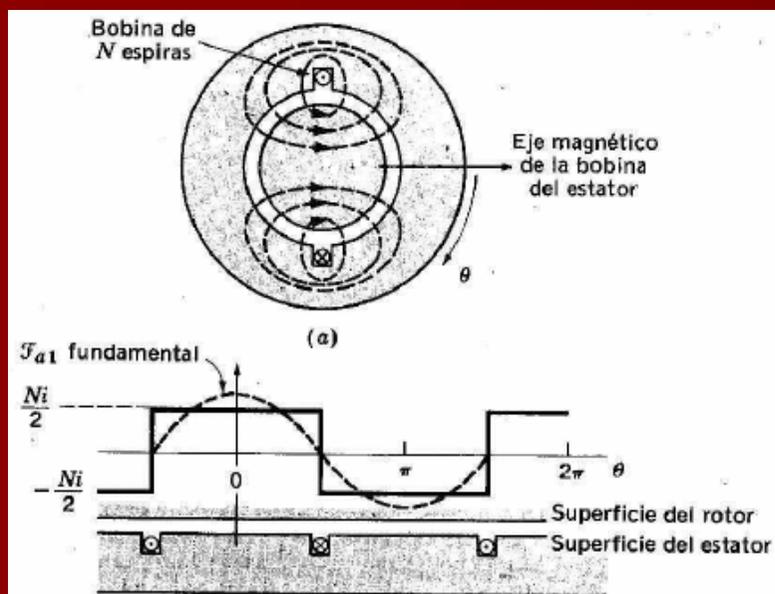


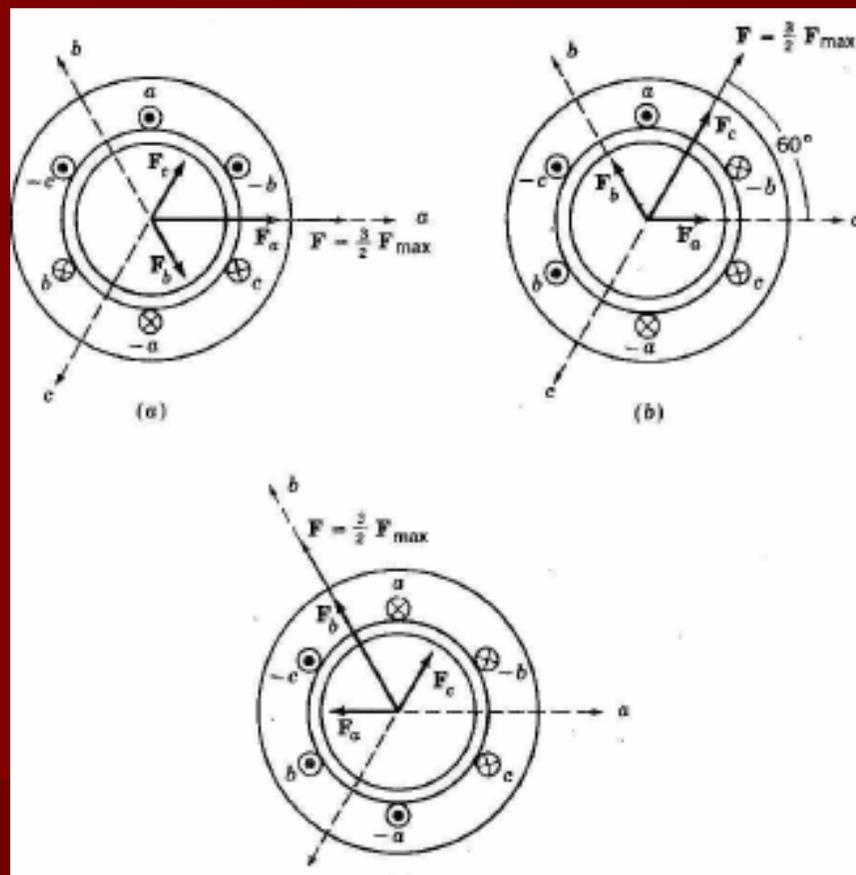
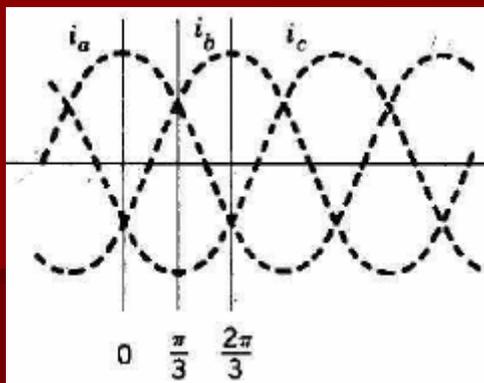
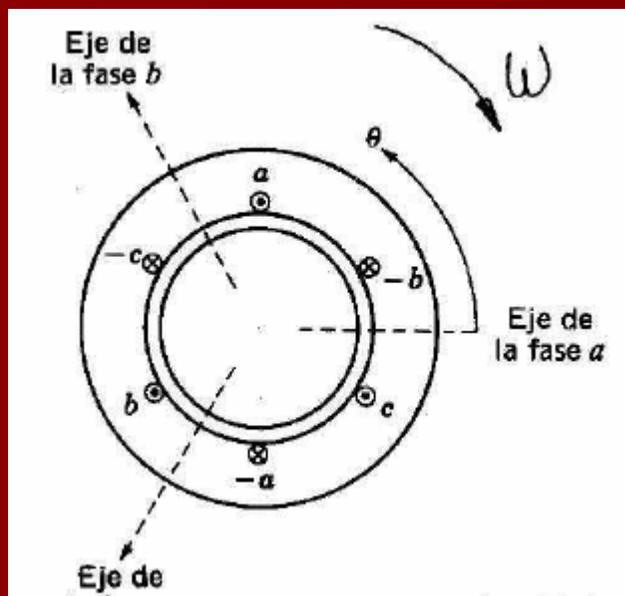
GENERADOR SÍNCRONO

EL PRINCIPIO ELEMENTAL



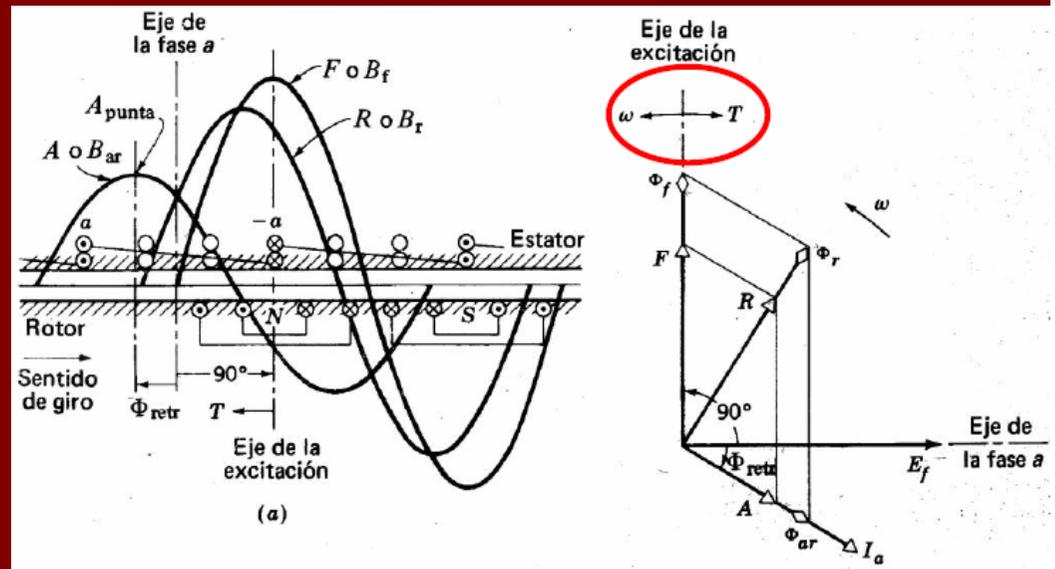
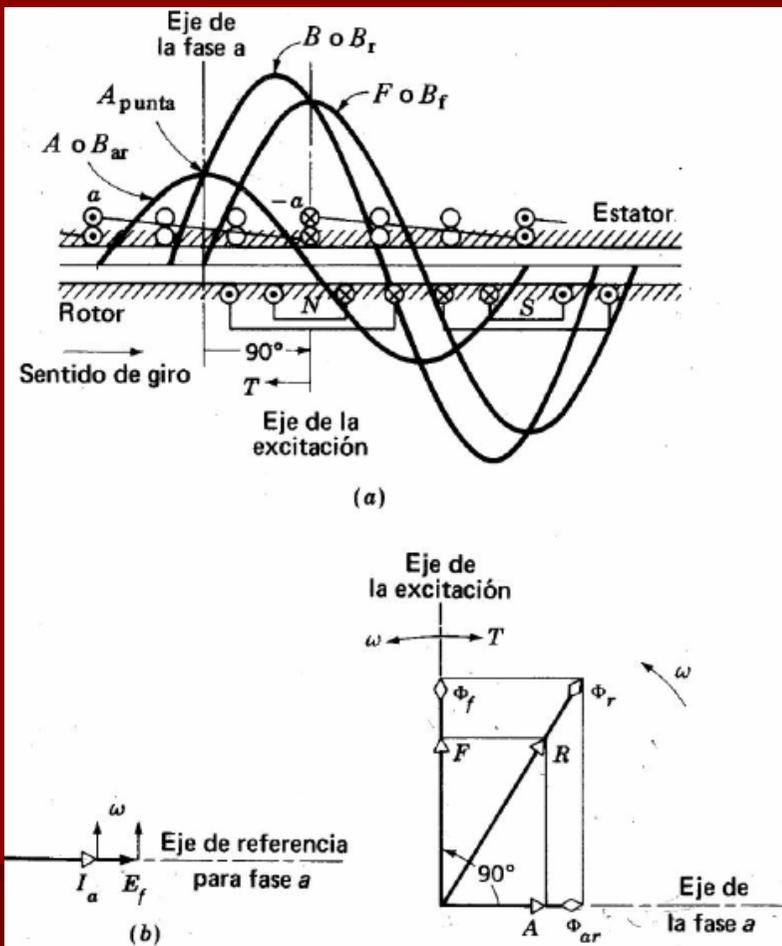
GENERADOR SÍNCRONO

LA MÁQUINA TRIFÁSICA



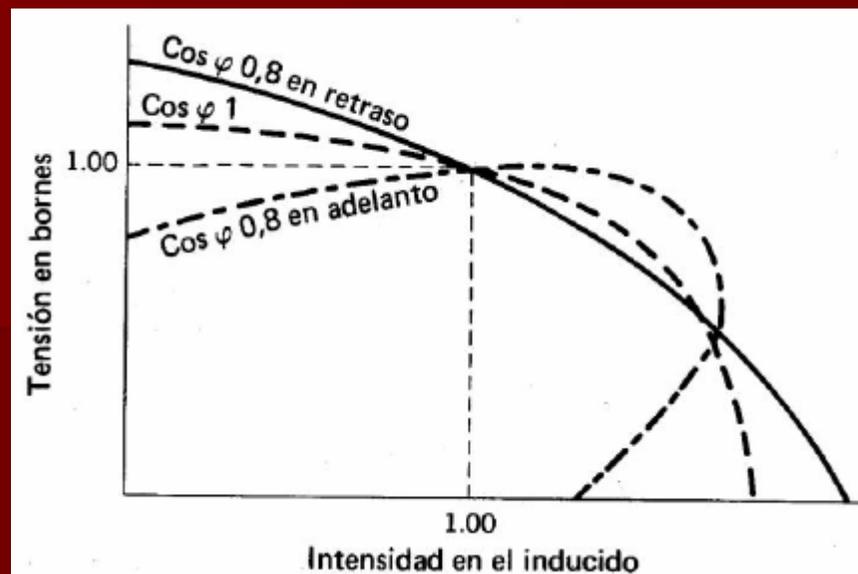
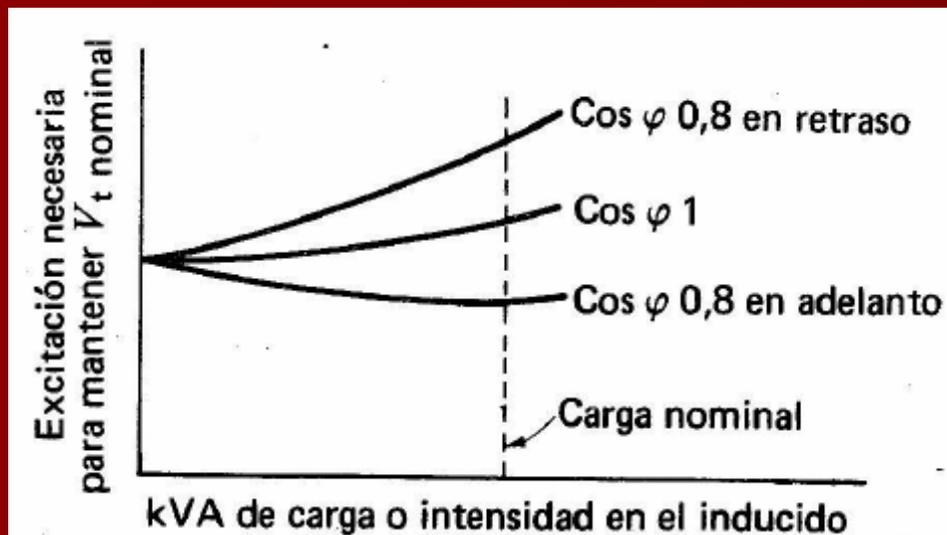
GENERADOR SÍNCRONO

ANÁLISIS FASORIAL DE LOS FLUJOS



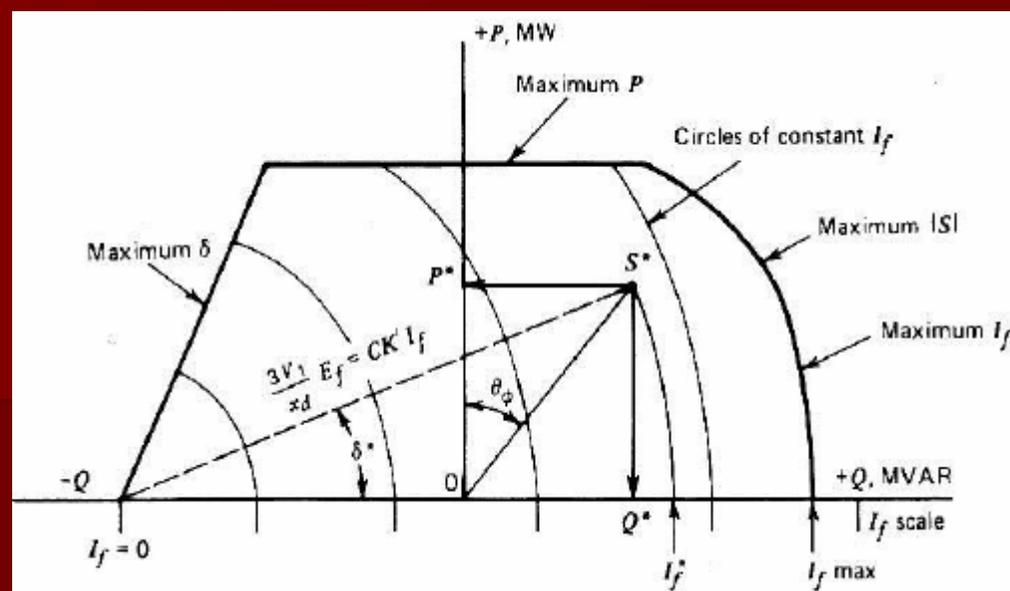
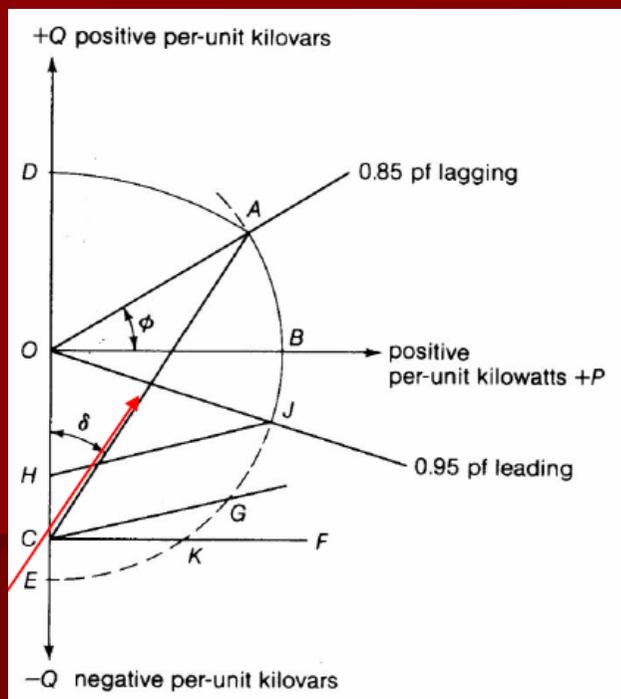
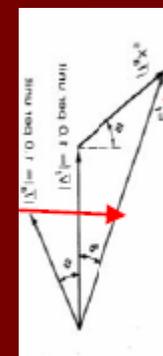
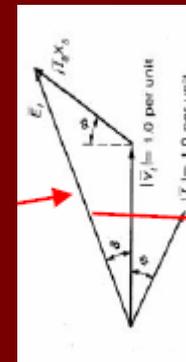
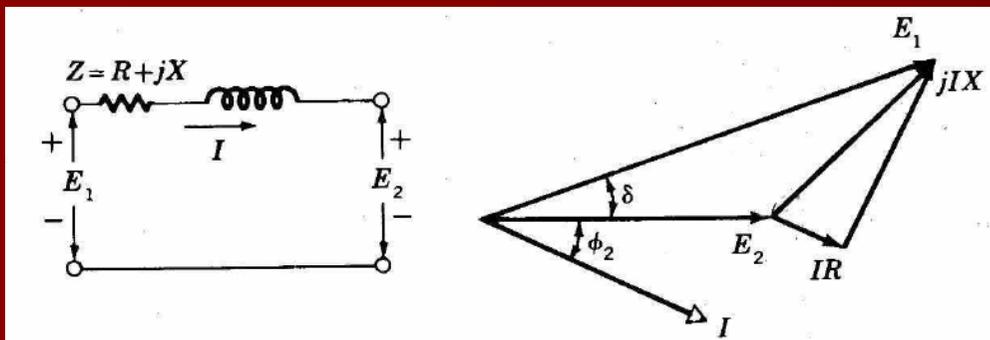
GENERADOR SÍNCRONO

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS



GENERADOR SÍNCRONO

CAPACIDAD DE CARGA



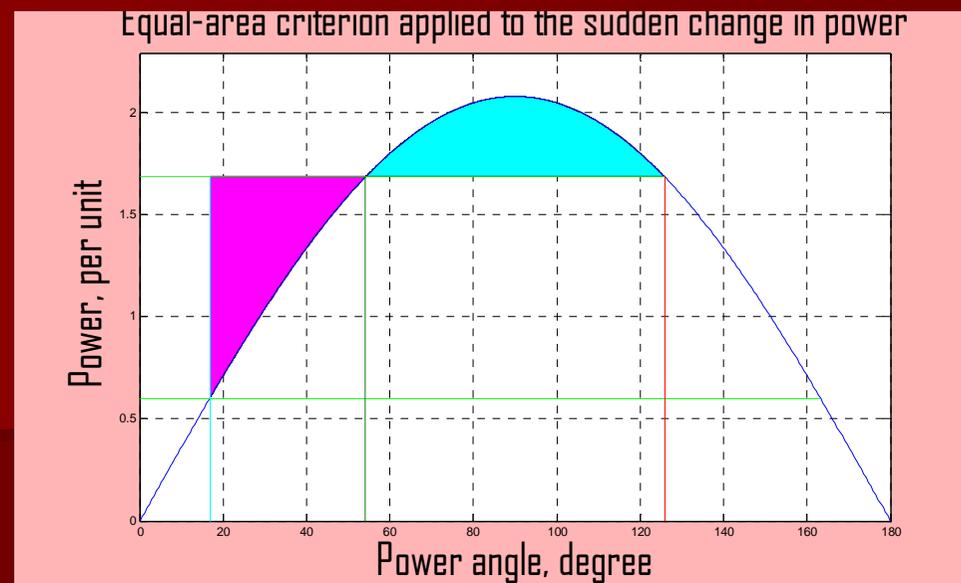
GENERADOR SÍNCRONO

TRANSFERENCIA DE CARGA Y ESTABILIDAD

$$P_e = \frac{|E'| |V|}{X} * \text{sen} \delta$$

Estabilidad Estacionaria

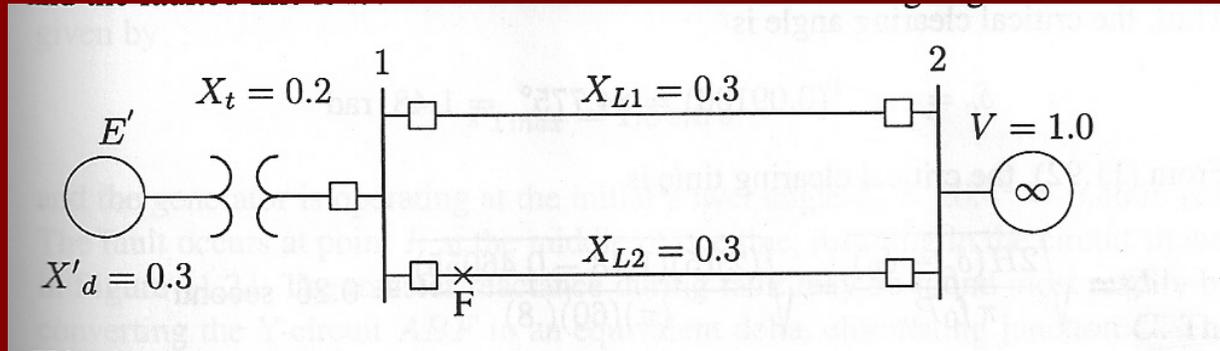
Estabilidad transitoria



GENERADOR SÍNCRONO

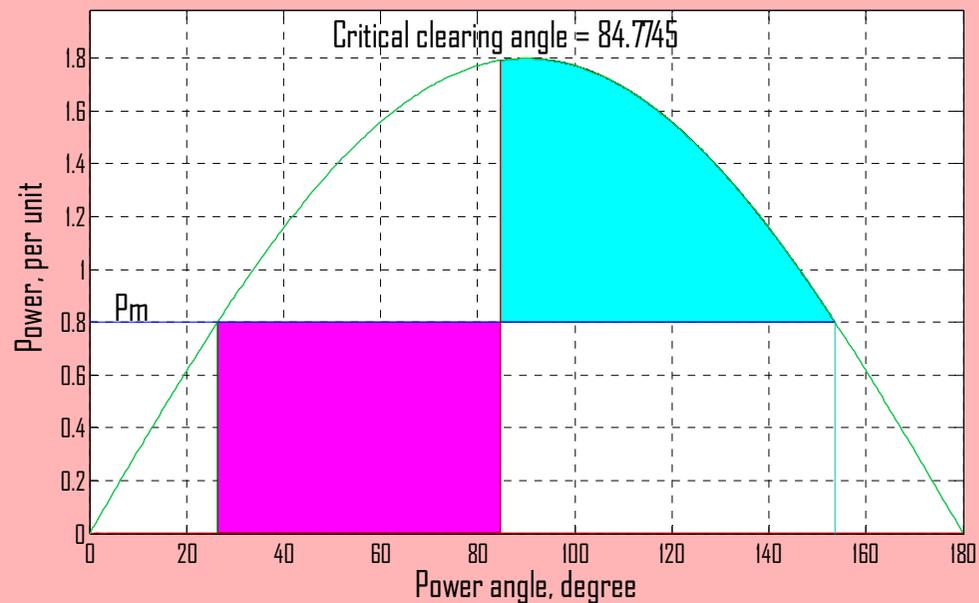
ESTABILIDAD

Estabilidad frente a fallas



Caso 1: Ocurre una falta trifásica transitoria en F. Para que δ se debe despejar la falta?

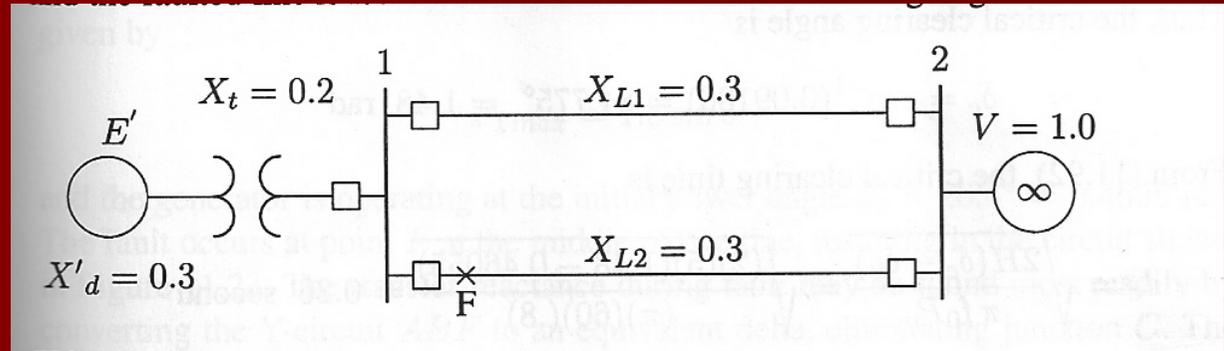
Application of equal area criterion to a critically cleared system



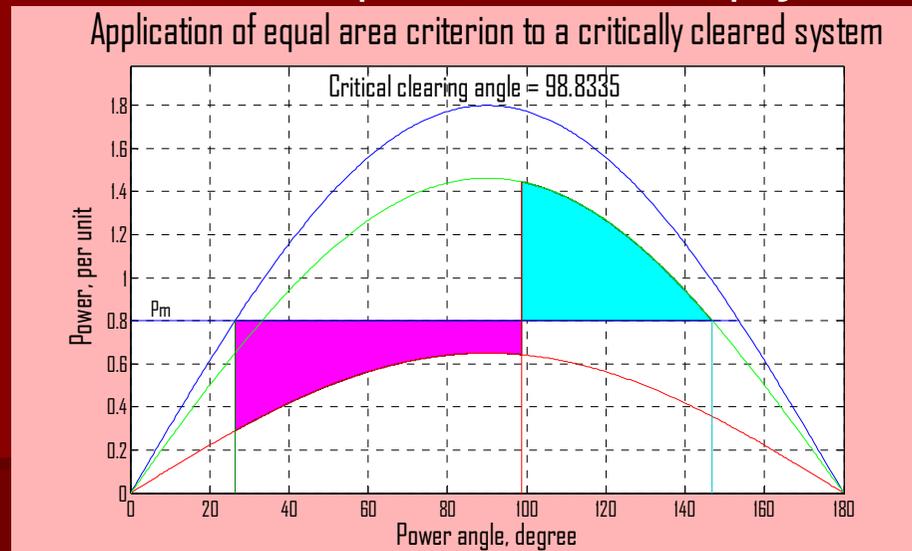
GENERADOR SÍNCRONO

ESTABILIDAD

Estabilidad frente a fallas



Caso 2: Ocorre una falta trifásica en el medio de una de las dos líneas. La falta se despeja aislando la línea. Para que δ se debe despejar la falta?

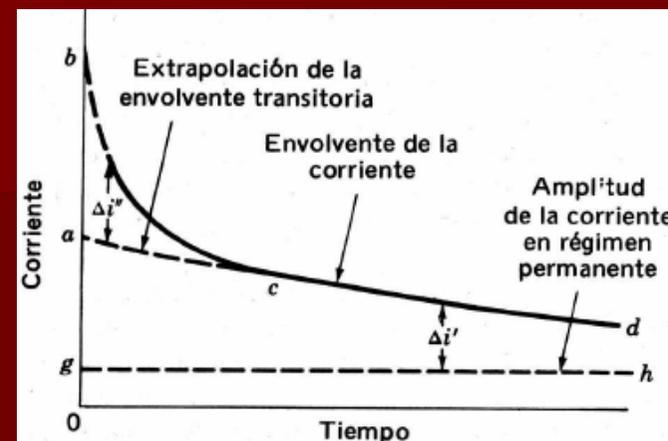
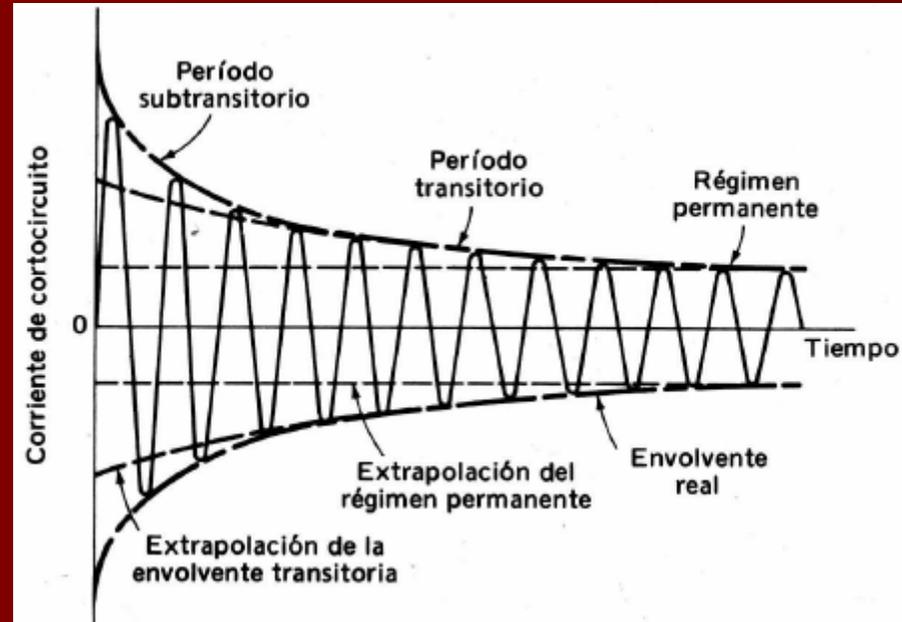
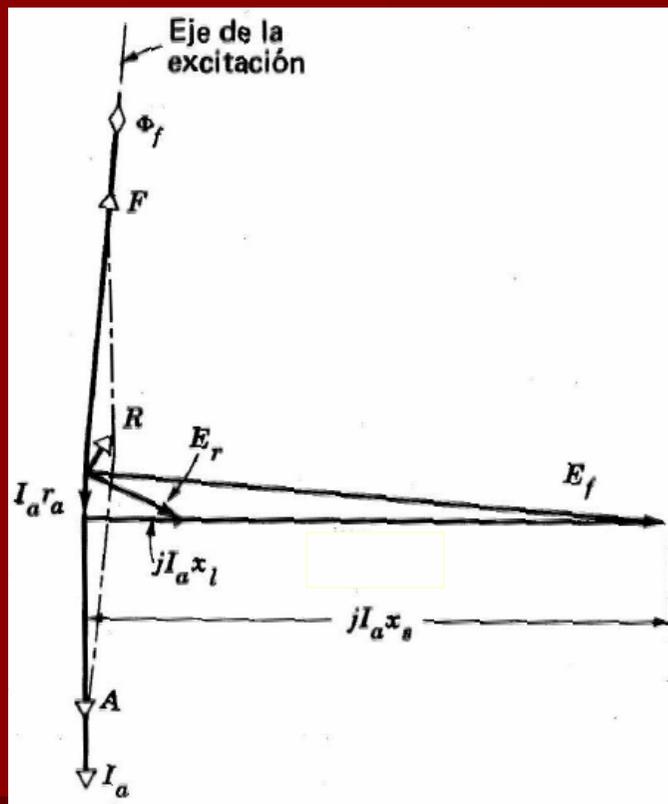


Que pasa con la frecuencia y δ en el tiempo?

GENERADOR SÍNCRONO

CORTOCIRCUITO

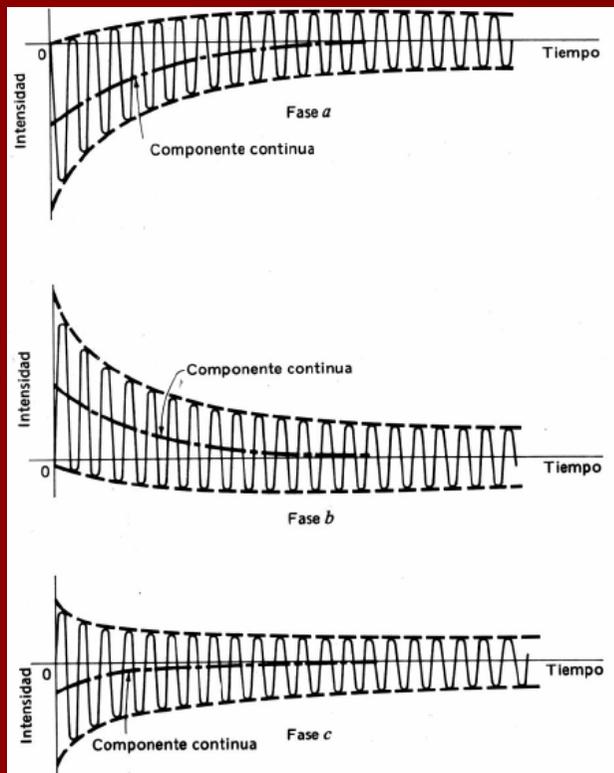
Cortocircuito a bornes de un GS en vacío



GENERADOR SÍNCRONO

CORTOCIRCUITO

Cortocircuito a bornes de un GS en vacío con excitación constante



$$I_k = \frac{U_{YN}}{X_d}$$

$$I'_k = \frac{U_{YN}}{X'_d}$$

$$I''_k = \frac{U_{YN}}{X''_d}$$

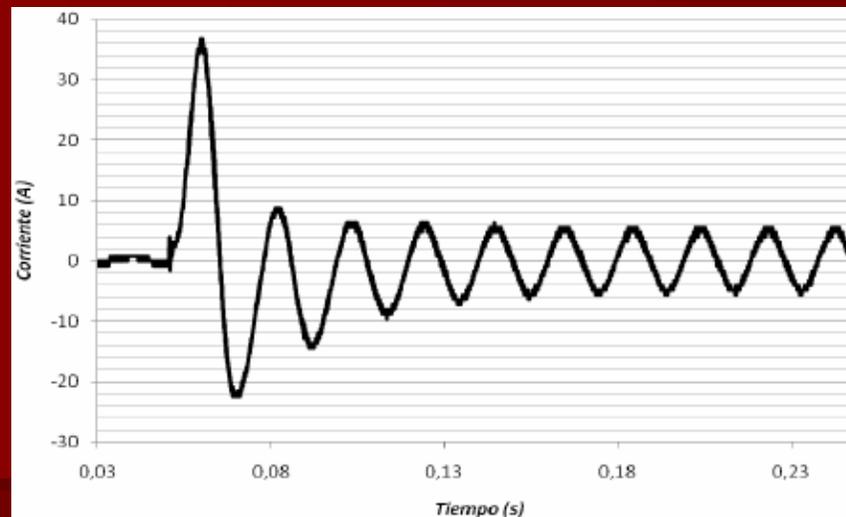
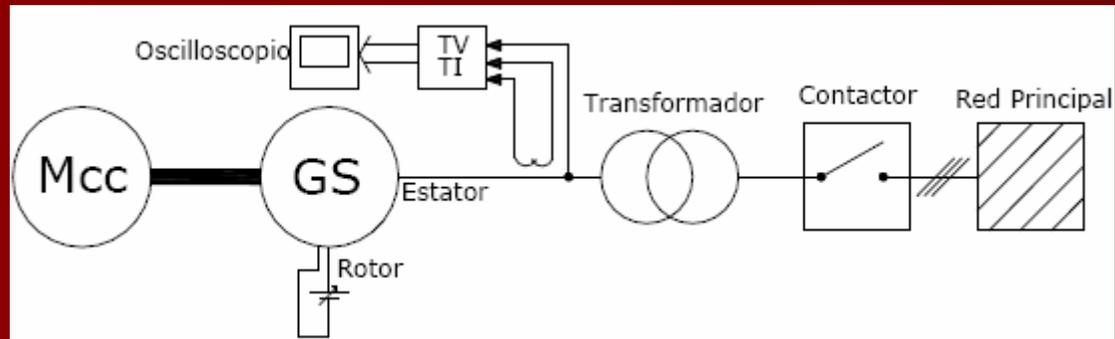
$$i_k = \sqrt{2} \left[(I''_k - I'_k) e^{-t/T''_d} + (I'_k - I_k) e^{-t/T'_d} + I_k \right] \text{sen}(\omega t - \varphi_k) + \sqrt{2} I''_k e^{-t/T''_d} \text{sen} \varphi_k$$

Si el corto es a plena carga? Y si existe regulación de tensión?

GENERADOR SÍNCRONO

RECONEXIÓN

Corriente de CC a bornes del GS (experimental)

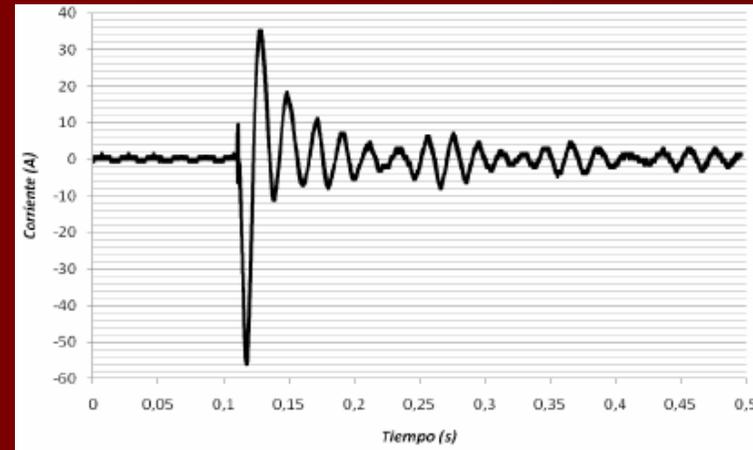
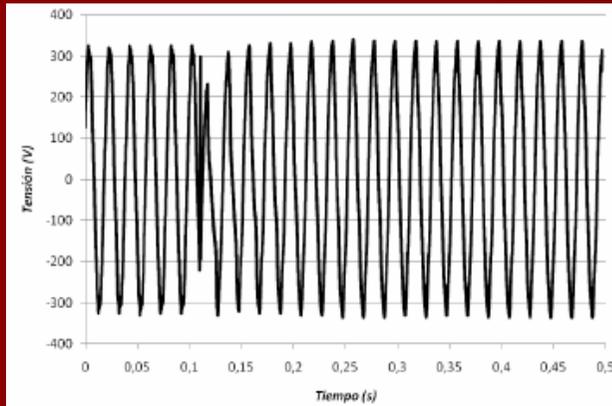


GENERADOR SÍNCRONO

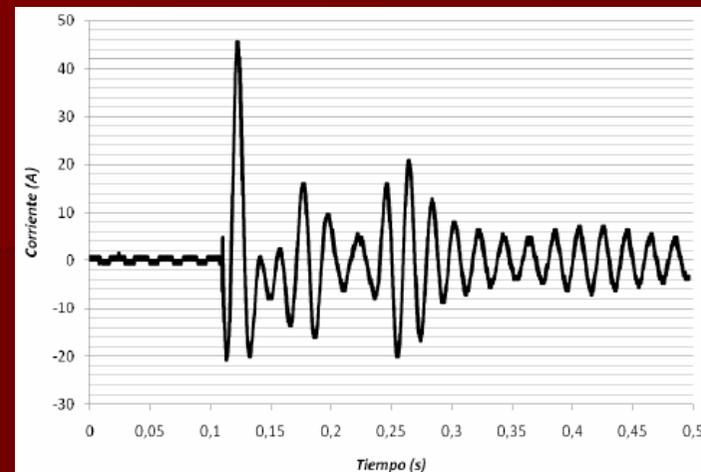
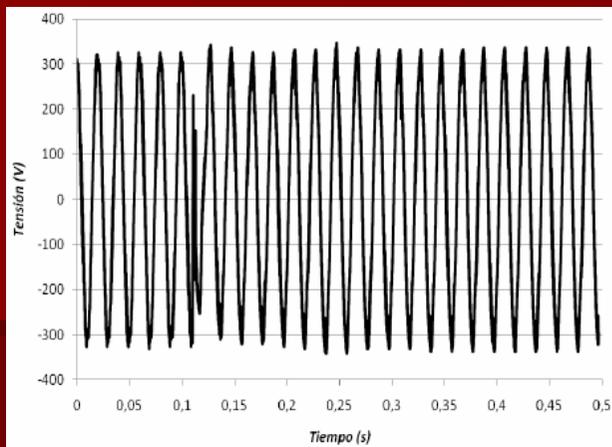
RECONEXIÓN

Tensión y corriente de reconexión

Posterior a la oposición de fases



Anterior a la oposición de fases

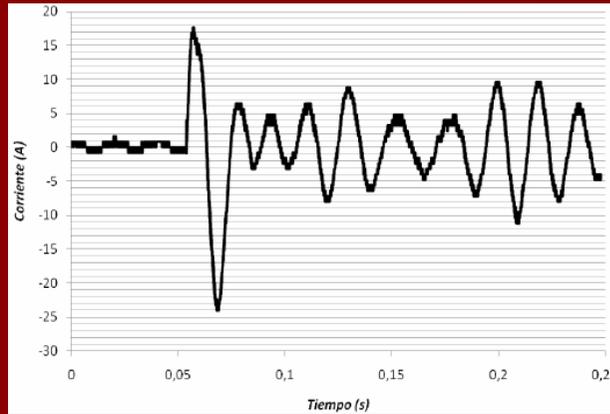


GENERADOR SÍNCRONO

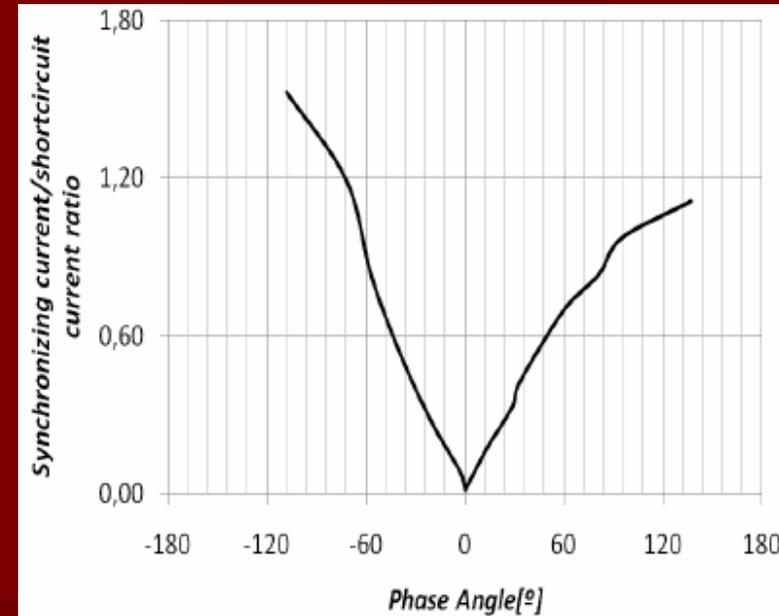
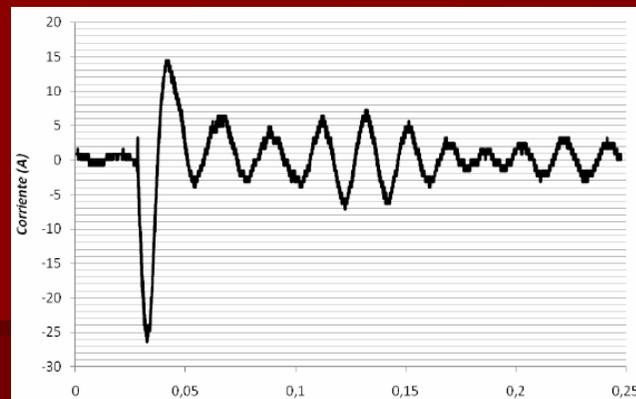
RECONEXIÓN

Corriente de reconexión

A 60° en adelante:

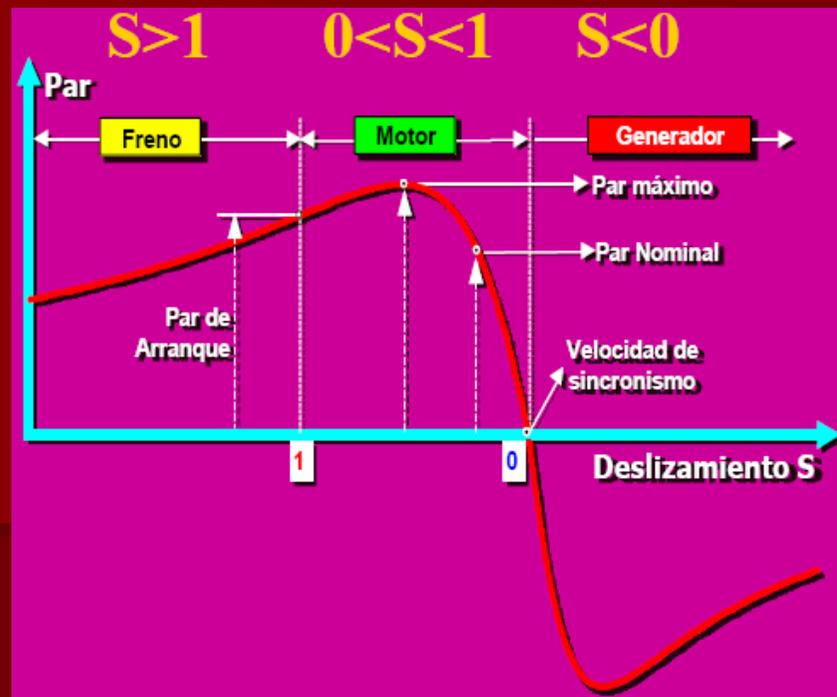
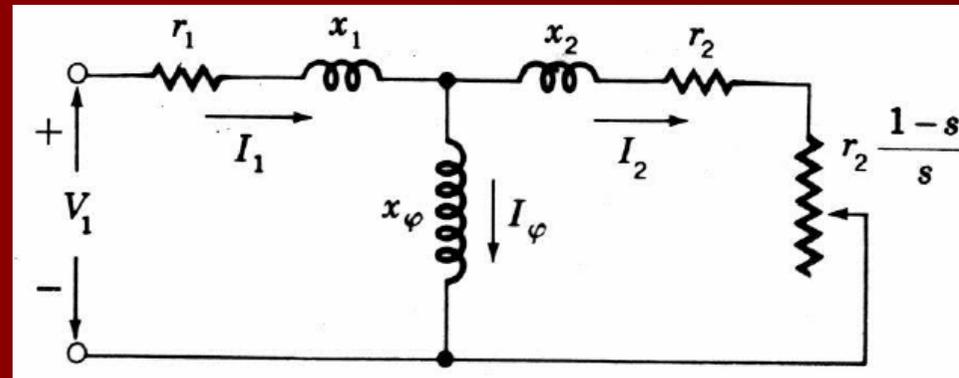


A 45° en atraso:



MÁQUINA ASÍNCRONA

Circuito equivalente



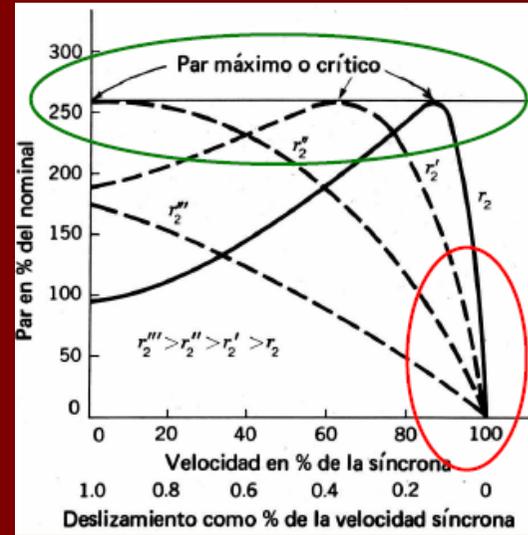
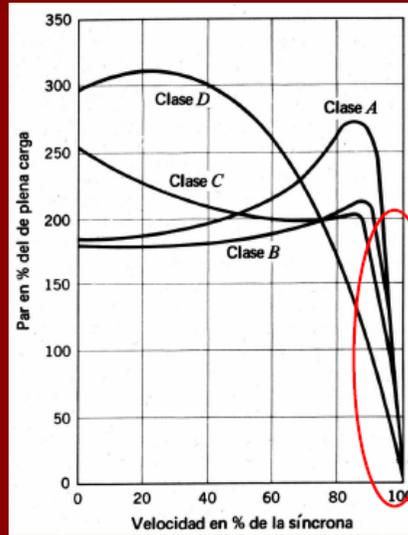
MÁQUINA ASÍNCRONA

El generador de Inducción convencional:

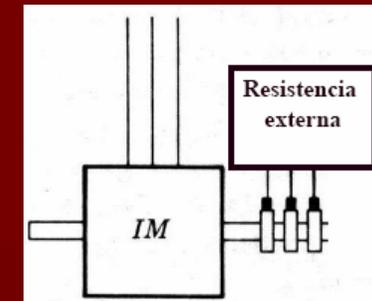
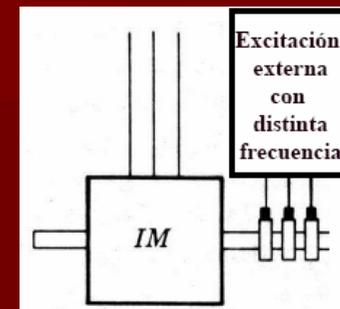
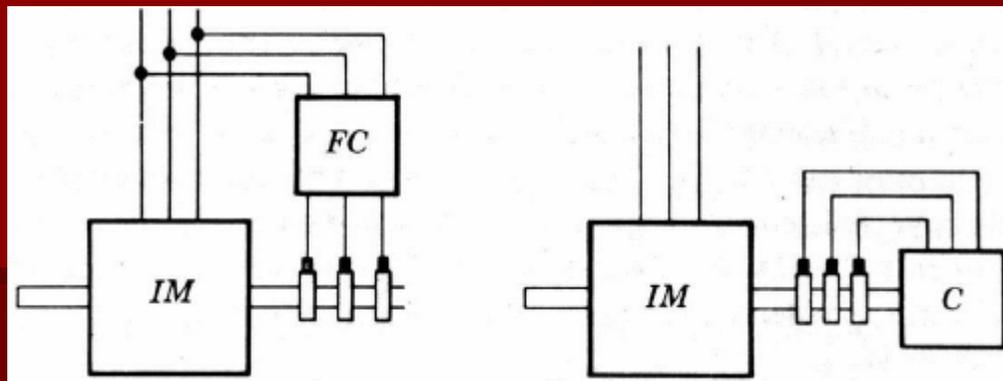
- Alta eficiencia del motor de inducción operando con pequeño deslizamiento negativo (supersíncrono)
- Absorbe energía reactiva del sistema (por lo menos 0.9 de FP)
- Requiere compensación a nivel de máquina (banco de condensadores)
- Una perturbación puede llevar a la máquina a la inestabilidad al sobrepasar su par máximo, acelerándose hasta que se dispara la protección (colapso de tensión)
- Las fluctuaciones del viento se transmiten directamente a fluctuaciones de potencia eléctrica

MÁQUINA ASÍNCRONA

Curva cupla-velocidad



La máquina asíncrona como cambiador de frecuencia



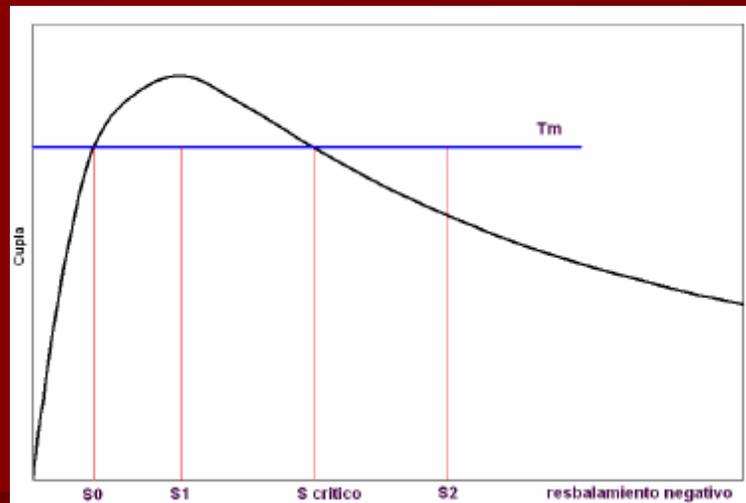
MÁQUINA ASÍNCRONA

La estabilidad del Generador de Inducción

El par electromagnético

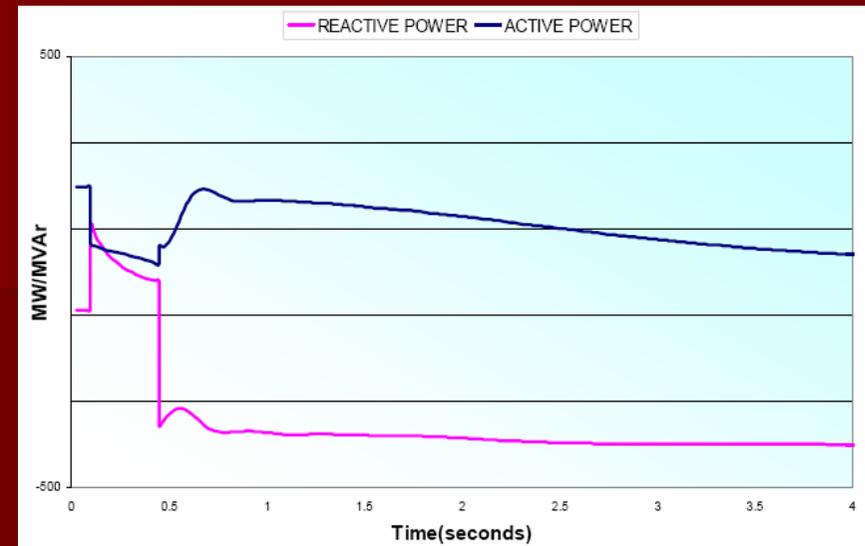
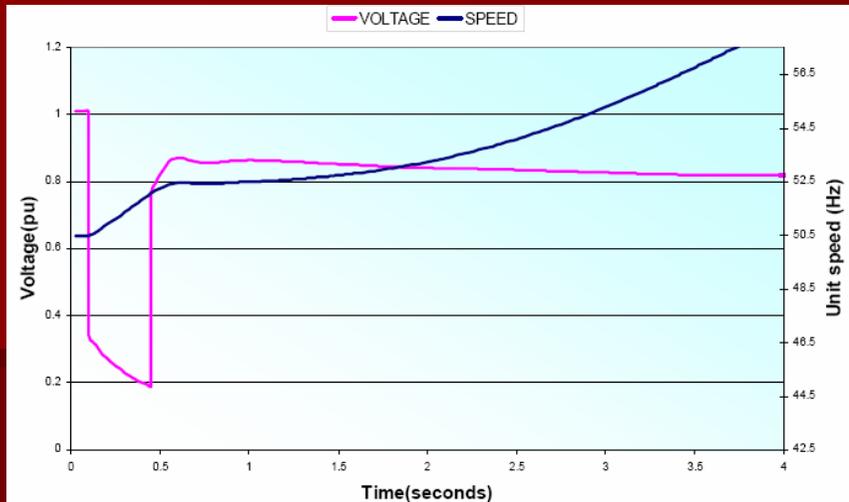
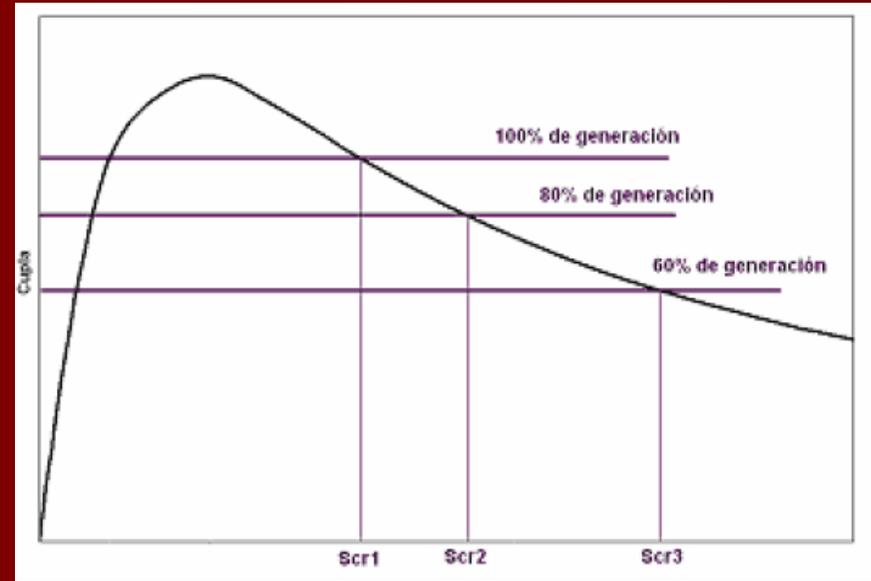
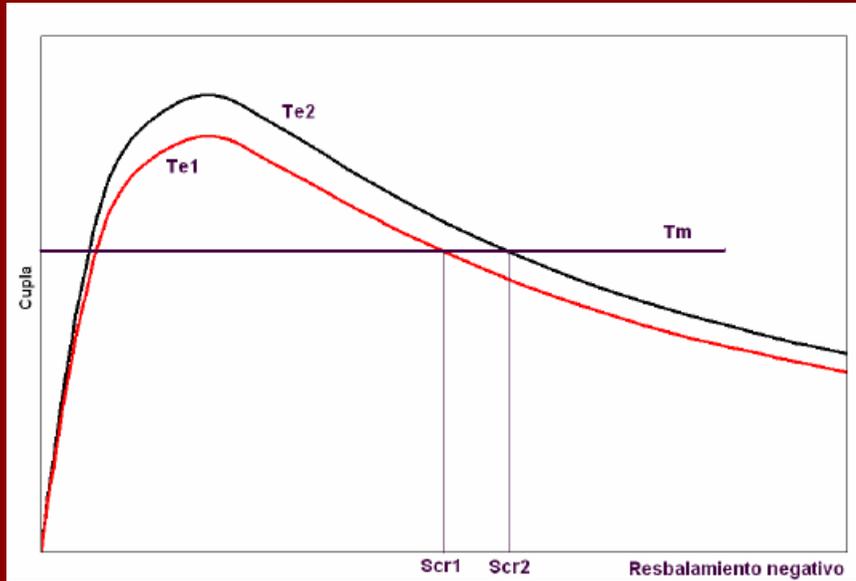
$$T_e = \frac{3}{\Omega_s} \cdot \frac{U^2 \cdot \frac{R'_2}{s}}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}$$

Par deslizamiento



MÁQUINA ASÍNCRONA

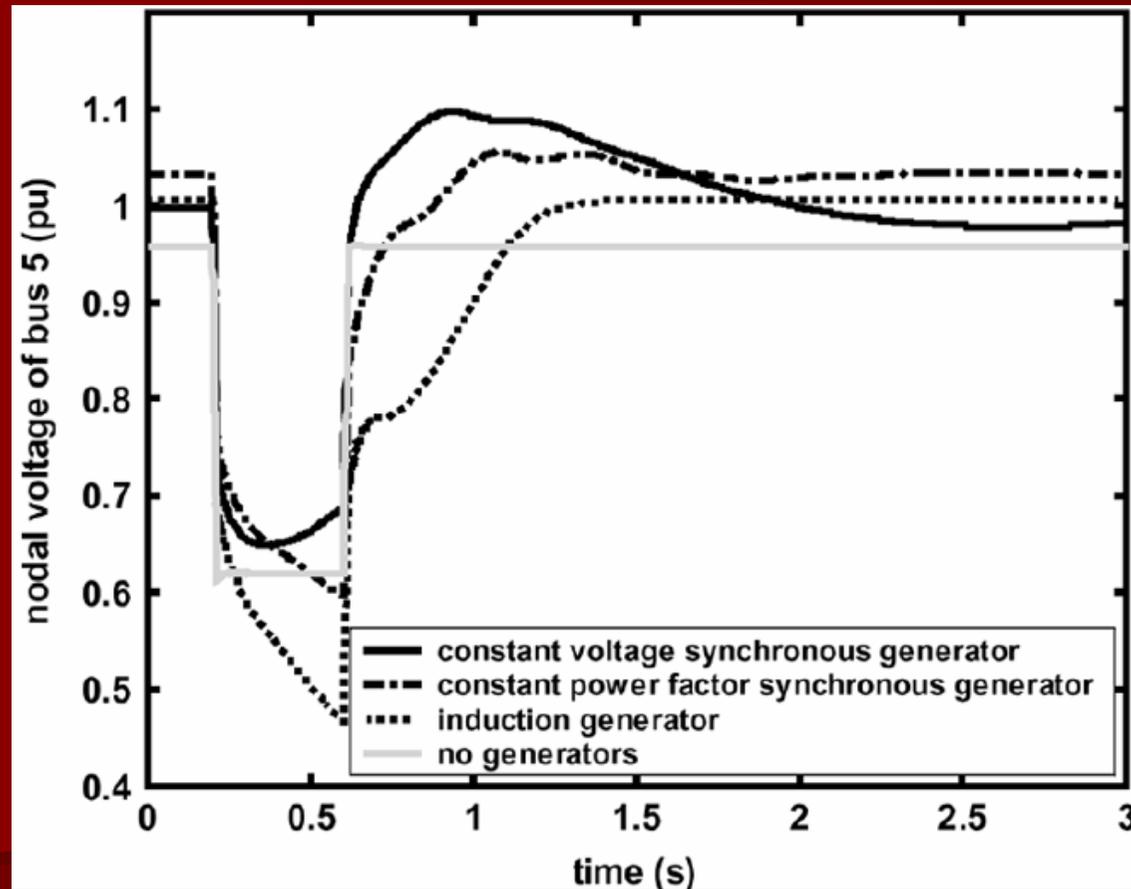
La estabilidad del Generador de Inducción



MÁQUINA ASÍNCRONA

COMPARANDO EL GS CON EL GI

Tensiones en una barra próxima para un cortocircuito monofásico



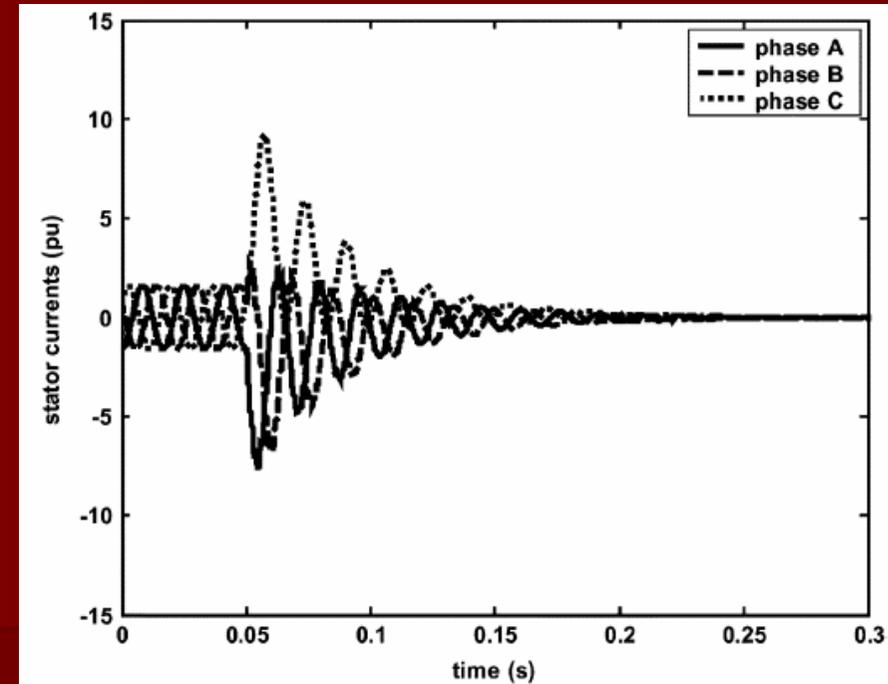
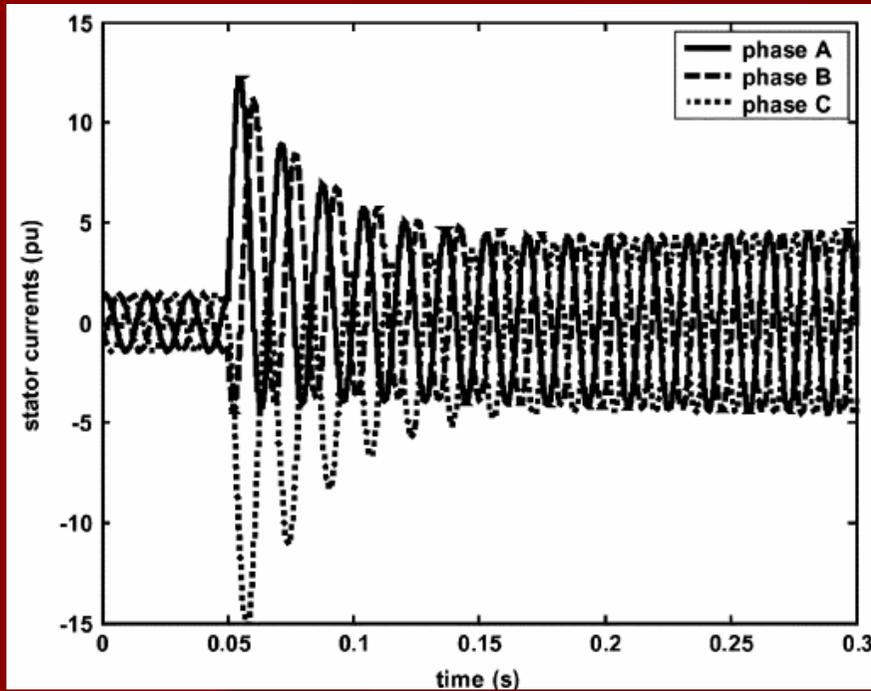
MÁQUINA ASÍNCRONA

COMPARANDO EL GS CON EL GI

Cortocircuito trifásico en barra próxima

GS con regulación de tensión Cte

GI



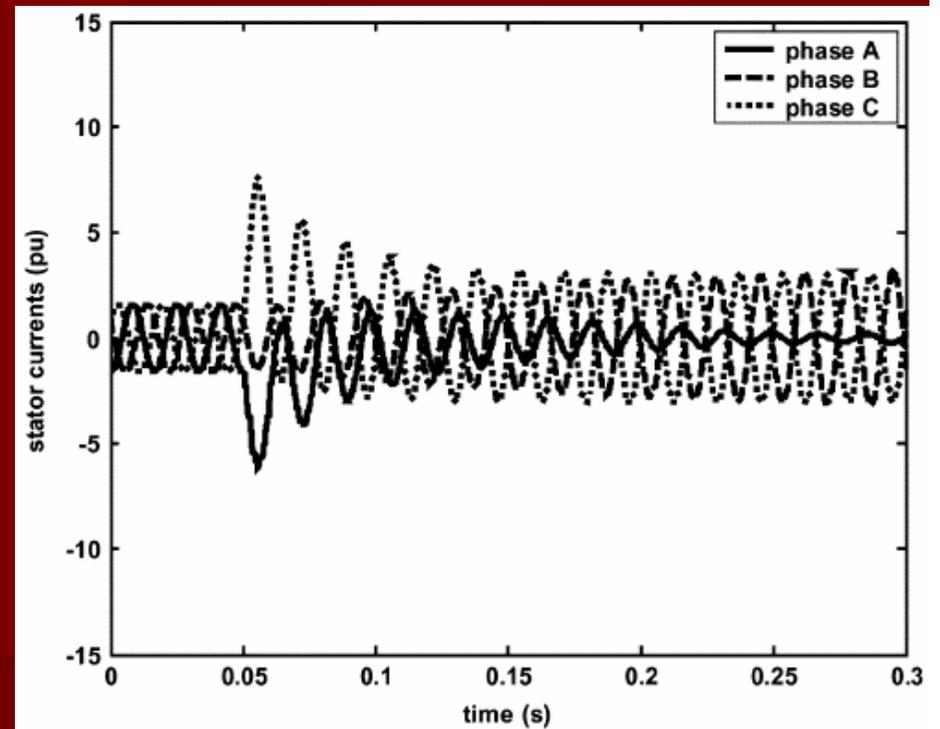
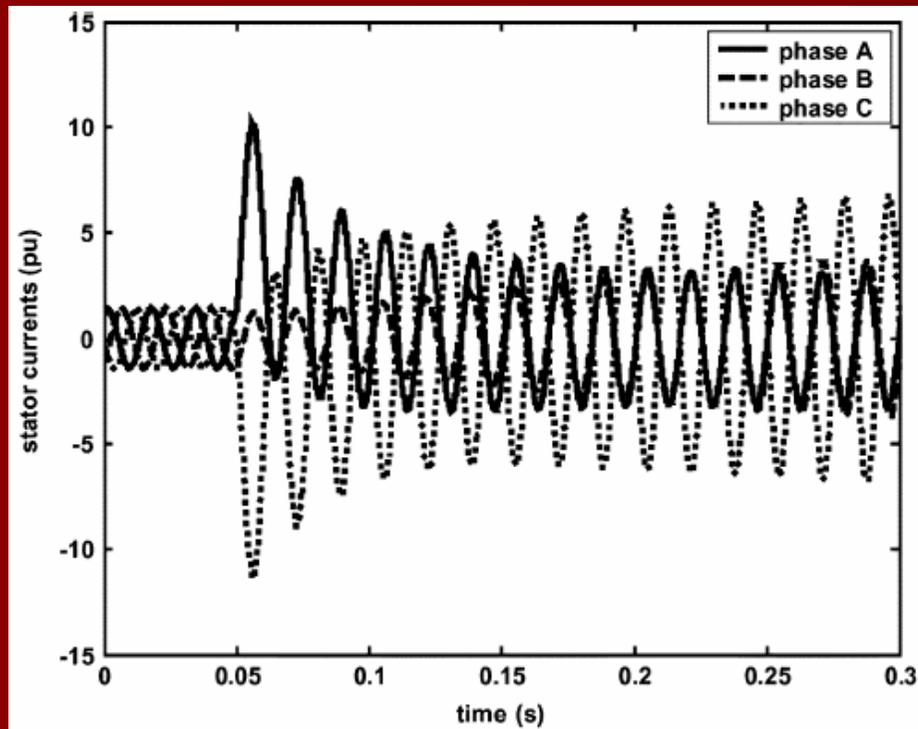
MÁQUINA ASÍNCRONA

COMPARANDO EL GS CON EL GI

Cortocircuito monofásico en barra próxima

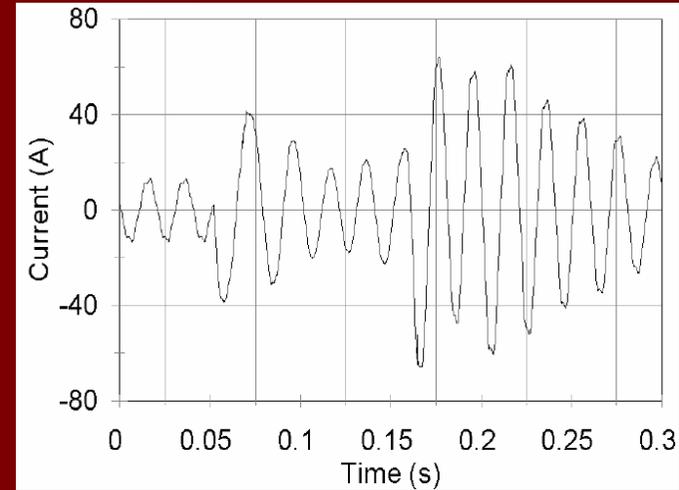
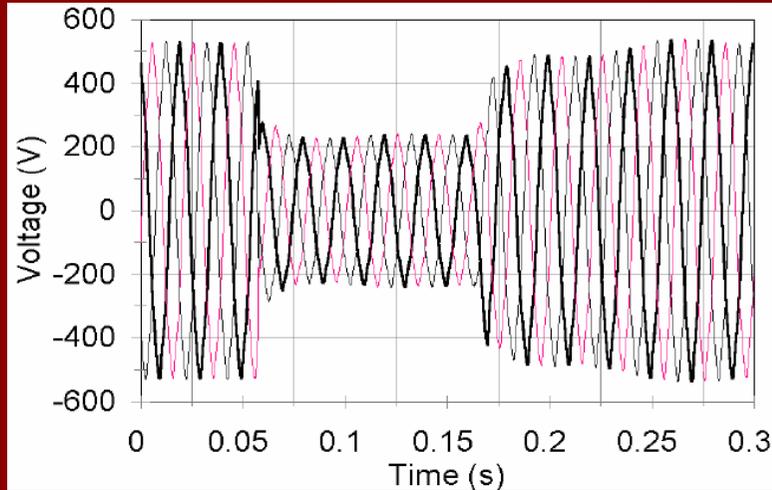
GS con regulación de tensión Cte

GI



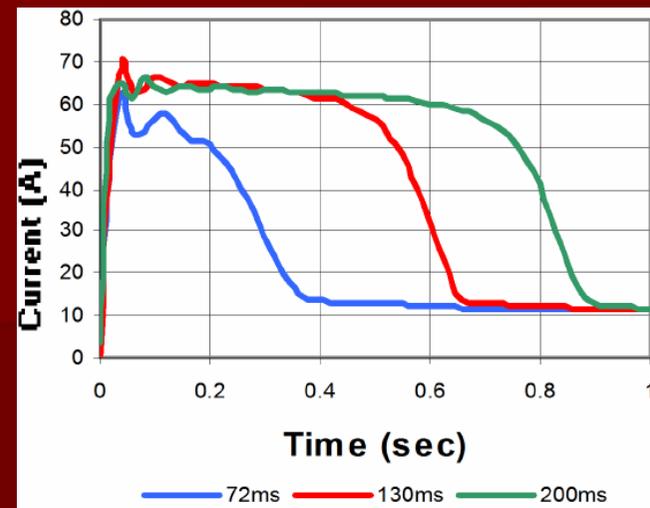
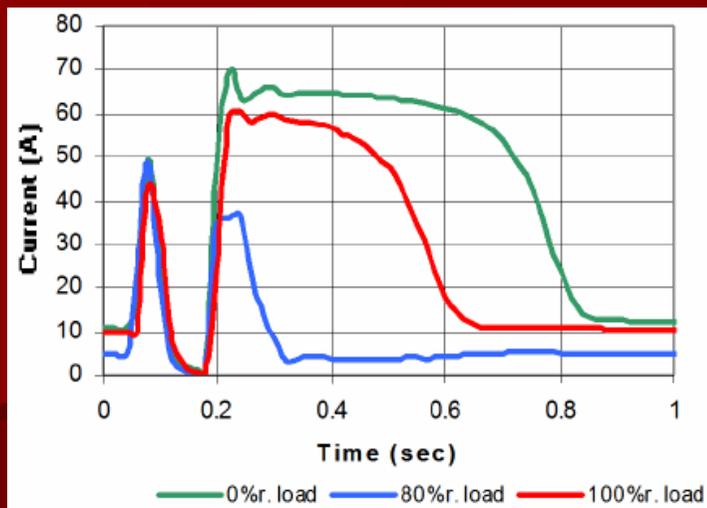
MÁQUINA ASÍNCRONA

La máquina asíncrona y los huecos de tensión



Hueco de tensión al 30% de 130 ms

Re-arranque , 100% de carga

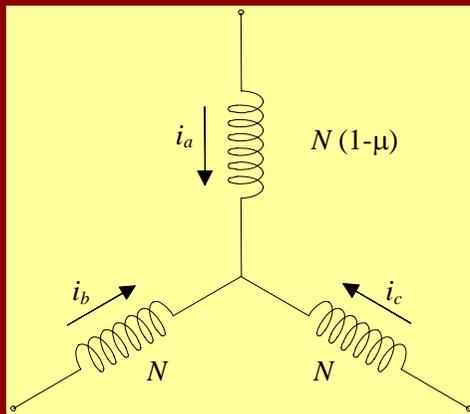


Este tema será profundizado más tarde

MÁQUINA ASÍNCRONA

UN MODELO DE LA MAQUINA DE INDUCCIÓN ASÍNCRONA

El modelo es presentado para una máquina de inducción con rotor jaula de ardilla donde uno de los bobinados del estator tiene una fracción μ de vueltas menos (este bobinado, por error es distinto a las otras dos fases)



$$\begin{bmatrix} \tilde{v}_{sp} \\ \tilde{v}_{sn} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} \\ Z_{12} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} \\ Z_{13} & Z_{23} & Z_{33} & 0 \\ Z_{14} & Z_{24} & 0 & Z_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{i}_{sp} \\ \tilde{i}_{sn} \\ \tilde{i}_{rp} \\ \tilde{i}_{rn} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{v}_{sp} \\ \tilde{v}_{sn} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{spsp} & Z_{spsn} & Z_{sprp} & Z_{sprn} \\ Z_{spsn} & Z_{snsn} & Z_{snrp} & Z_{snrn} \\ Z_{sprp} & Z_{snrp} & Z_{rprp} & 0 \\ Z_{sprn} & Z_{snrn} & 0 & Z_{rn rn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{i}_{sp} \\ \tilde{i}_{sn} \\ \tilde{i}_{rp} \\ \tilde{i}_{rn} \end{bmatrix}$$

s, estator

r, rotor

p, positiva

n, negativa

MÁQUINA ASÍNCRONA

UN MODELO DE LA MAQUINA DE INDUCCIÓN ASÍNCRONA

Las impedancias serán:

$$Z_{11} = Z_{22} = R_s \left(1 - \frac{1}{3} \mu \right) + j\omega_e \left(L_{ls} \left(1 - \frac{1}{3} \mu \right) + L_m \left(1 - \frac{10}{9} \mu + \frac{2}{9} \mu^2 \right) \right)$$

$$Z_{12} = -\frac{1}{3} \mu R_s + j\omega_e \left(-\frac{1}{3} \mu L_{ls} + L_m \left(-\frac{7}{9} \mu + \frac{2}{9} \mu^2 \right) \right)$$

$$Z_{13} = Z_{24} = j\omega_e L_m \left(1 - \frac{1}{3} \mu \right)$$

$$Z_{23} = Z_{14} = -\frac{1}{3} j\omega_e \mu L_m$$

$$Z_{33} = \frac{R_r}{s} + j\omega_e (L_{lr} + L_m)$$

$$Z_{44} = \frac{R_r}{2-s} + j\omega_e (L_{lr} + L_m)$$

R_s : resistencia del estator

R_r : resistencia del rotor

L_{ls} : Inductancia de dispersión del estator

L_{lr} : Inductancia de dispersión del rotor

L_m : Inductancia de magnetización

s : deslizamiento

ω_e : frecuencia angular eléctrica

MÁQUINA ASÍNCRONA

UN MODELO DE LA MAQUINA DE INDUCCIÓN ASÍNCRONA

Si $\mu = 0$ (los bobinados son iguales)

$$Z_{11} = Z_{22} = R_s + j\omega_e(L_{ls} + L_m)$$

$$Z_{13} = Z_{24} = j\omega_e L_m$$

$$Z_{33} = \frac{R_r}{s} + j\omega_e(L_{lr} + L_m)$$

Secuencia Positiva

$$R_r \frac{h}{(h-1)+s}$$

Secuencia Negativa

$$R_r \frac{h}{(h+1)-s}$$

$$Z_{12} = 0$$

$$Z_{23} = Z_{14} = 0$$

$$Z_{44} = \frac{R_r}{2-s} + j\omega_e(L_{lr} + L_m)$$

Componente Armónica	Sec. Positiva	Sec Negativa
1°	$\frac{R_r}{s}$	$\frac{R_r}{2-s}$
2°	$R_r \frac{2}{1+s}$	$R_r \frac{2}{3-s}$
3°	$R_r \frac{3}{2+s}$	$R_r \frac{3}{4-s}$
4°	$R_r \frac{4}{3+s}$	$R_r \frac{4}{5-s}$
5°	$R_r \frac{5}{4+s}$	$R_r \frac{5}{6-s}$

CORTOCIRCUITO DE MAQUINAS SINCRONAS Y ASINCRONAS

La IEC 60909 resulta una buena alternativa para analizar la evolución de las corrientes de cortocircuito de máquinas síncronas y asíncronas cuando se pretende determinar la corriente de apertura I_b

Para el caso de un cortocircuito próximo al una máquina síncrona:

$$I_b = \mu \cdot I_k''$$

El factor μ depende del tiempo (t_{\min}) y de la relación I_{kG}''/I_{rG}

$$\mu = 0,84 + 0,26e^{-0,26I_{kG}''/I_{rG}}, t_{\min} = 0,02s$$

$$\mu = 0,71 + 0,51e^{-0,30I_{kG}''/I_{rG}}, t_{\min} = 0,05s$$

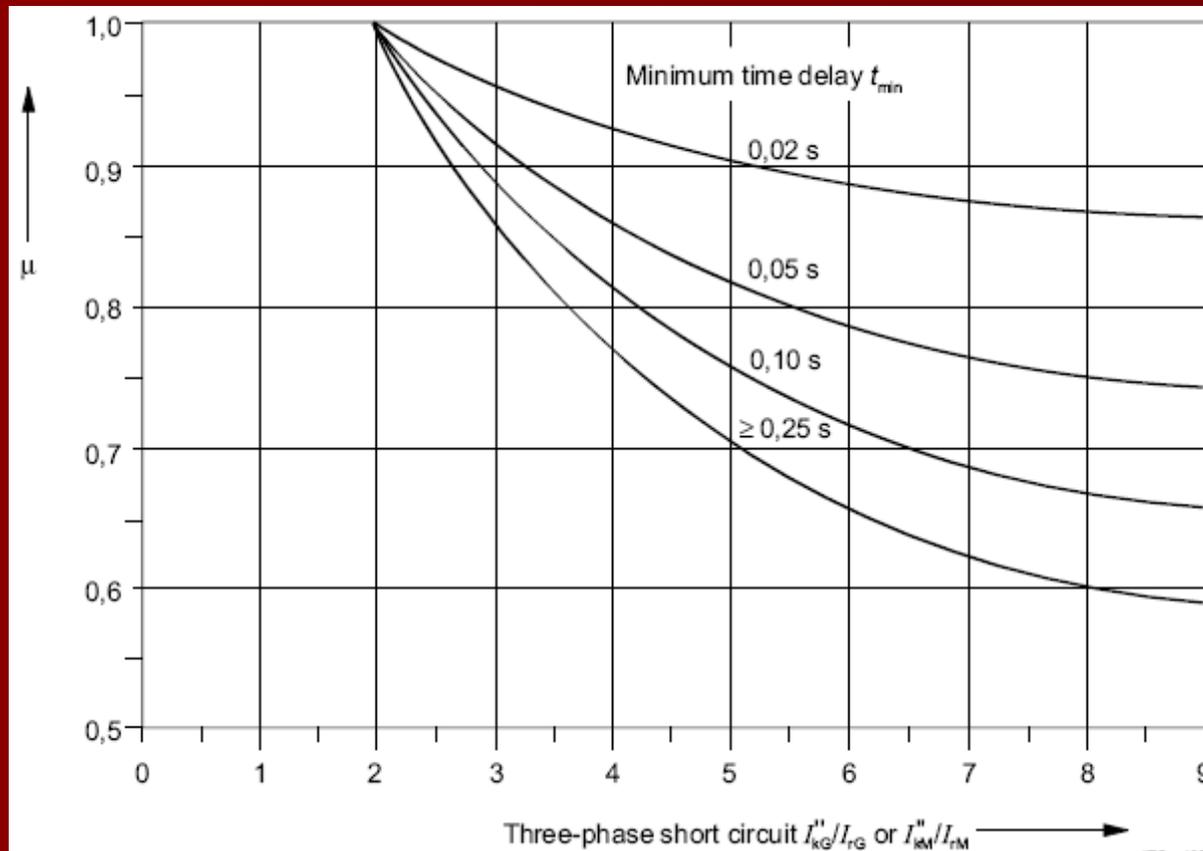
$$\mu = 0,62 + 0,72e^{-0,32I_{kG}''/I_{rG}}, t_{\min} = 0,10s$$

$$\mu = 0,56 + 0,94e^{-0,38I_{kG}''/I_{rG}}, t_{\min} \geq 0,25s$$

Si la relación I_{kG}''/I_{rG} no es más grande que 2 se aplica $\mu=1$, independientemente del t_{\min}

CORTOCIRCUITO DE MAQUINAS SINCRONAS Y ASINCRONAS

Los valores de μ también se pueden determinar a partir de



Los valores de t_{min} pueden interpolarse

CORTOCIRCUITO DE MAQUINAS SINCRONAS Y ASINCRONAS

Si se trata de una máquina asíncrona:

$$I_b = \mu \cdot q \cdot I_{kM}''$$

En tal caso, para el valor de μ , en lugar de I_{kG}''/I_{rG} se toma I_{kM}''/I_{rM}

Y el factor q :

$$q = 1,03 + 0,12 \cdot \ln(P_{rM} / p), t_{\min} = 0,02s$$

$$q = 0,79 + 0,12 \cdot \ln(P_{rM} / p), t_{\min} = 0,05s$$

$$q = 0,57 + 0,12 \cdot \ln(P_{rM} / p), t_{\min} = 0,10s$$

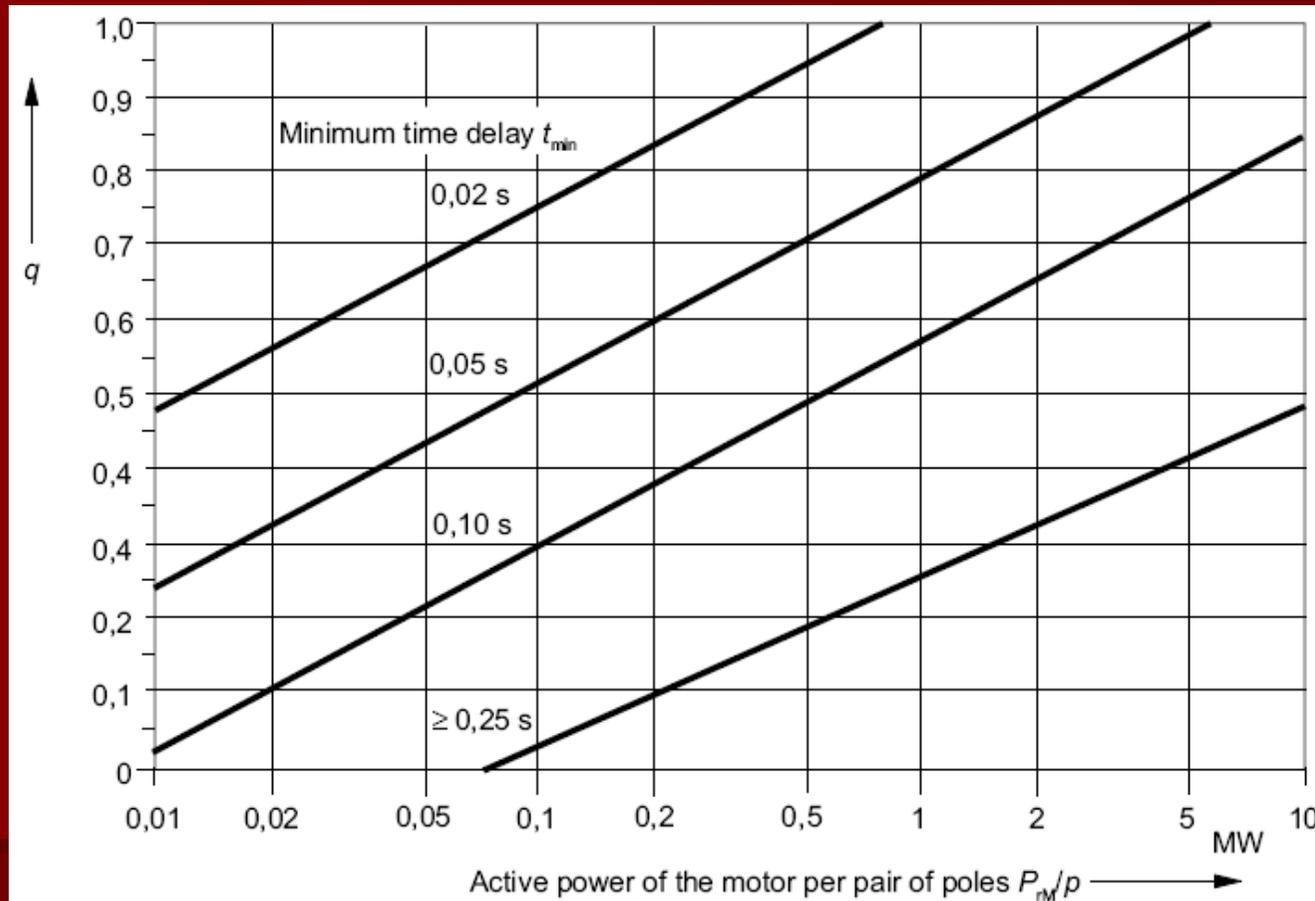
$$q = 0,26 + 0,10 \cdot \ln(P_{rM} / p), t_{\min} \geq 0,02s$$

P_{rM} , es la potencia activa nominal en MW

p , número de pares de polos

CORTOCIRCUITO DE MAQUINAS SINCRONAS Y ASINCRONAS

Los valores de q también se pueden determinar a partir de



INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

Los convertidores estáticos proveen la interfase entre fuentes DR no síncronas y el área de EPS

Dos tipos de tensiones de salida de DR no síncronas:

- Tensiones de dc (generadores de dc, fotovoltaicas, baterías, etc..)
- Tensiones de ac generadas a velocidades no síncronas

Cada situación de las anteriores se corresponde con dos categorías de convertidores estáticos:

- **Convertidores dc-ac:** en general la tensión de dc será no regulada. La salida es la apropiada en tensión y frecuencia para acoplarse al EPS. Son los dominantes para la interconexión de DR renovables y, en general, pequeñas.
- **Convertidores ac-dc-ac:** la tensión, la frecuencia o ambas no coinciden con la del EPS.

INVERSORES Y CONVERSORES ESTÁTICOS

Según la configuración de los distintos dispositivos de estado sólido (diodos, tiristores, transistores, etc.), esto resultará en:

- **Rectificadores:** ac-dc
- **Inversores:** dc-ac
- **Cicloconvertidores:** ac-ac (de tensiones y frecuencias distintas)

Algunos requieren la fuente del EPS para operar

Muy eficientes y potencialmente mayor confiabilidad que un conversor mecánico rotante

Su tecnología ofrece mayor flexibilidad con la posibilidad de incorporar funciones de protección, coordinación y comunicación

La regulación de tensión es muy rápida y puede controlar el factor de potencia en un muy amplio rango....

INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

La forma de onda es generada mediante un switcheo, en general, entre los 3 y los 6kHz; comparado esto con la frecuencia de potencia esto le permite al inversor muestrear y controlar la corriente de salida y forma de onda a velocidades del orden de las 100 veces en un ciclo de frecuencia de potencia; esta es la causa fundamental de la posibilidad de la rápida regulación de tensión

Esa velocidad, y la del control microprocesado, le permite limitar su corriente de salida bajo condiciones de cortocircuito; el efecto positivo respecto del EPS: la coordinación de las protecciones; el negativo: se complica la detección y eliminación de la falta

El convertor conmutado es la configuración típica de los convertidores de tensión acoplados inductivamente y de gran difusión en los sistemas DR. Se basan en la técnica PWM para sintetizar la forma de onda de ac. El dispositivo preferido en estas aplicaciones es el IGBT

INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

La filosofía para el control de potencia reactiva y activa sigue el modelo tradicional de control de ángulo de torque y de excitación de campo:

$$P = \frac{[V_g V_s \text{sen}(\delta)]}{X}$$

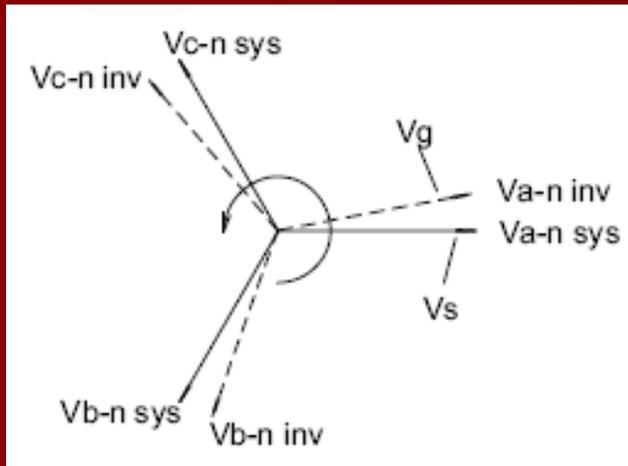
$$Q = V_s^2 / X [1 - (V_g / V_s) \text{cos}(\delta)]$$

Es posible hacer que el aporte de reactiva sea cero y trabajar con factor de potencia uno haciendo:

$$V_g \text{cos}(\delta) = V_s$$

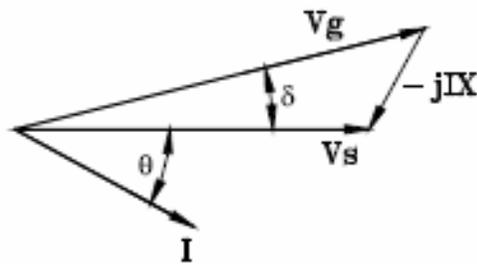
Mediante el control de V_g es posible controlar el flujo de reactiva

INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

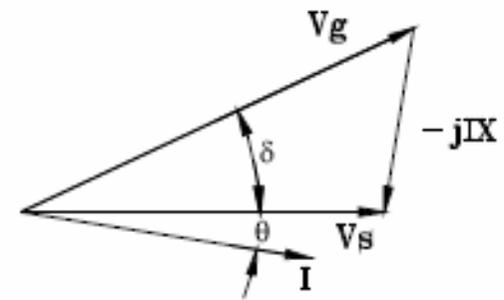


$$P = \frac{[V_g V_s \text{sen}(\delta)]}{X}$$

$$Q = V_s^2 / X [1 - (V_g / V_s) \cos(\delta)]$$



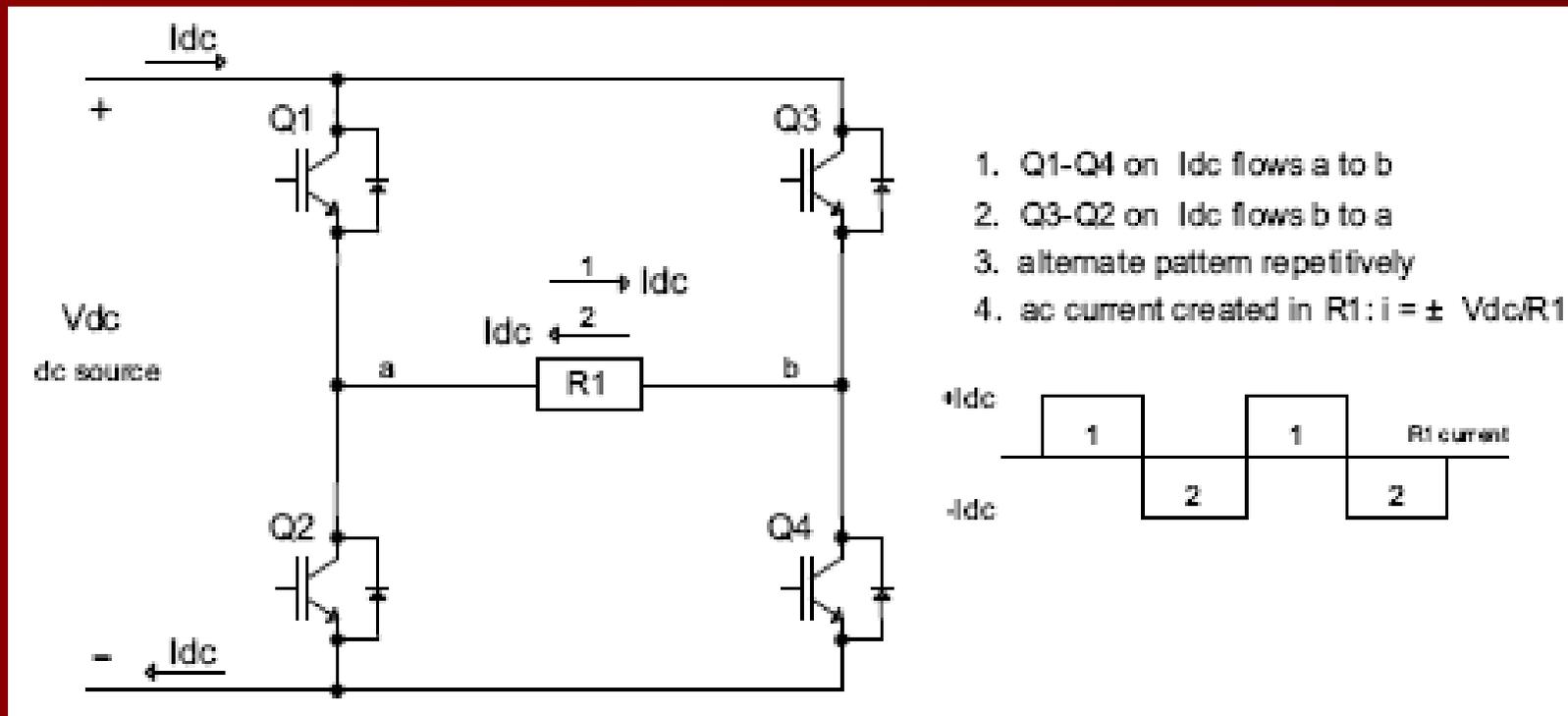
DR kW e 1



DR kW e 2

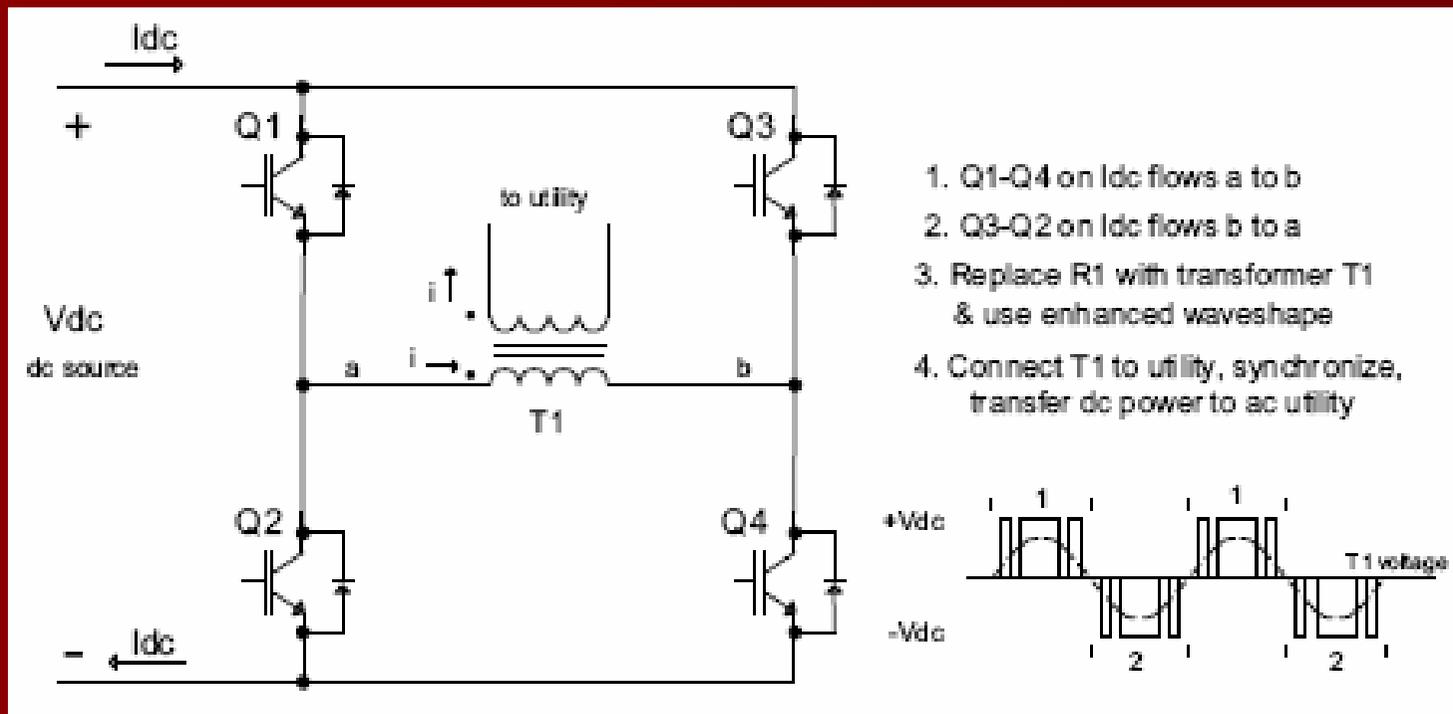
INVERSORES Y CONVERSORES ESTÁTICOS

Un inversor elemental monofásico que emplea IGBT en la configuración denominada puente H, sin interconexión al EPS:



INVERSORES Y CONVERSORES ESTÁTICOS

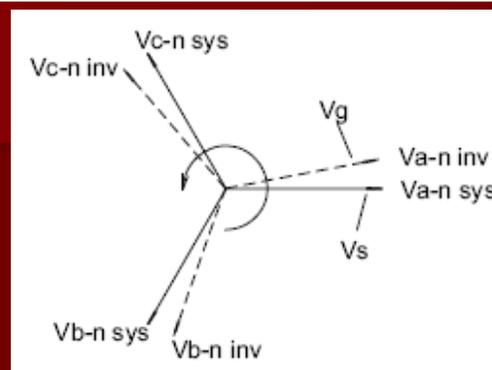
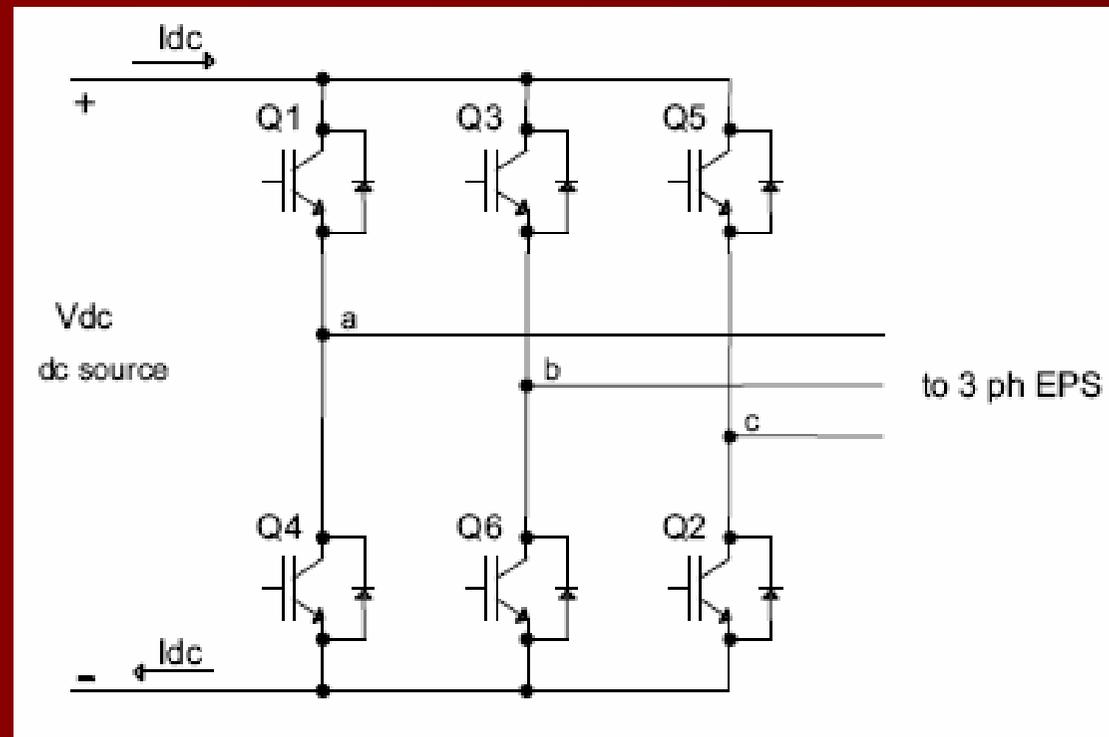
En el esquema anterior la resistencia de carga se reemplaza por un transformador cuyo bobinado primario esta conectado a un EPS:



Se muestra una "base" de modulación de pulso.....
Cual es el primario de T1??...

INVERSORES Y CONVERSORES ESTÁTICOS

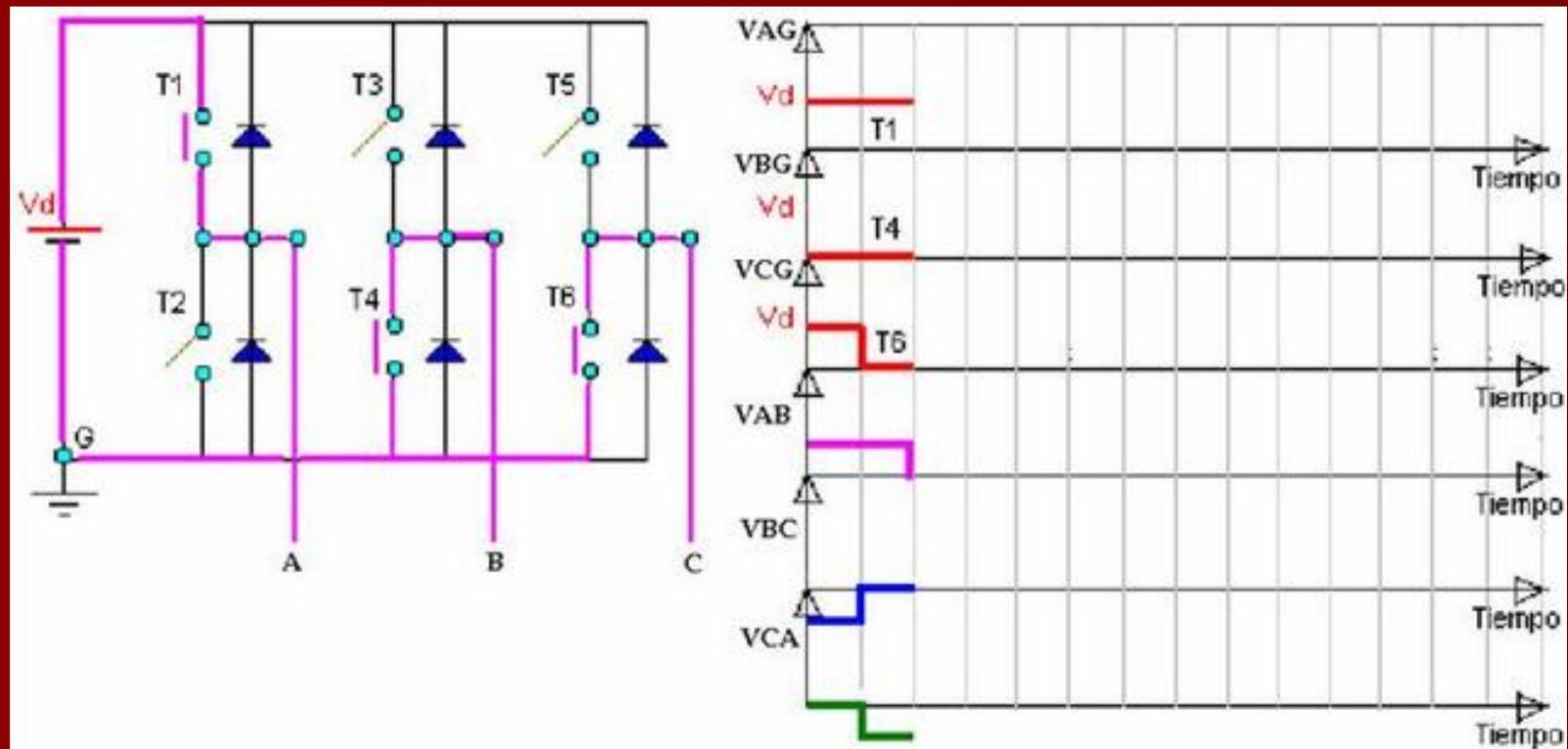
El equivalente trifásico:



INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

Funcionamiento:

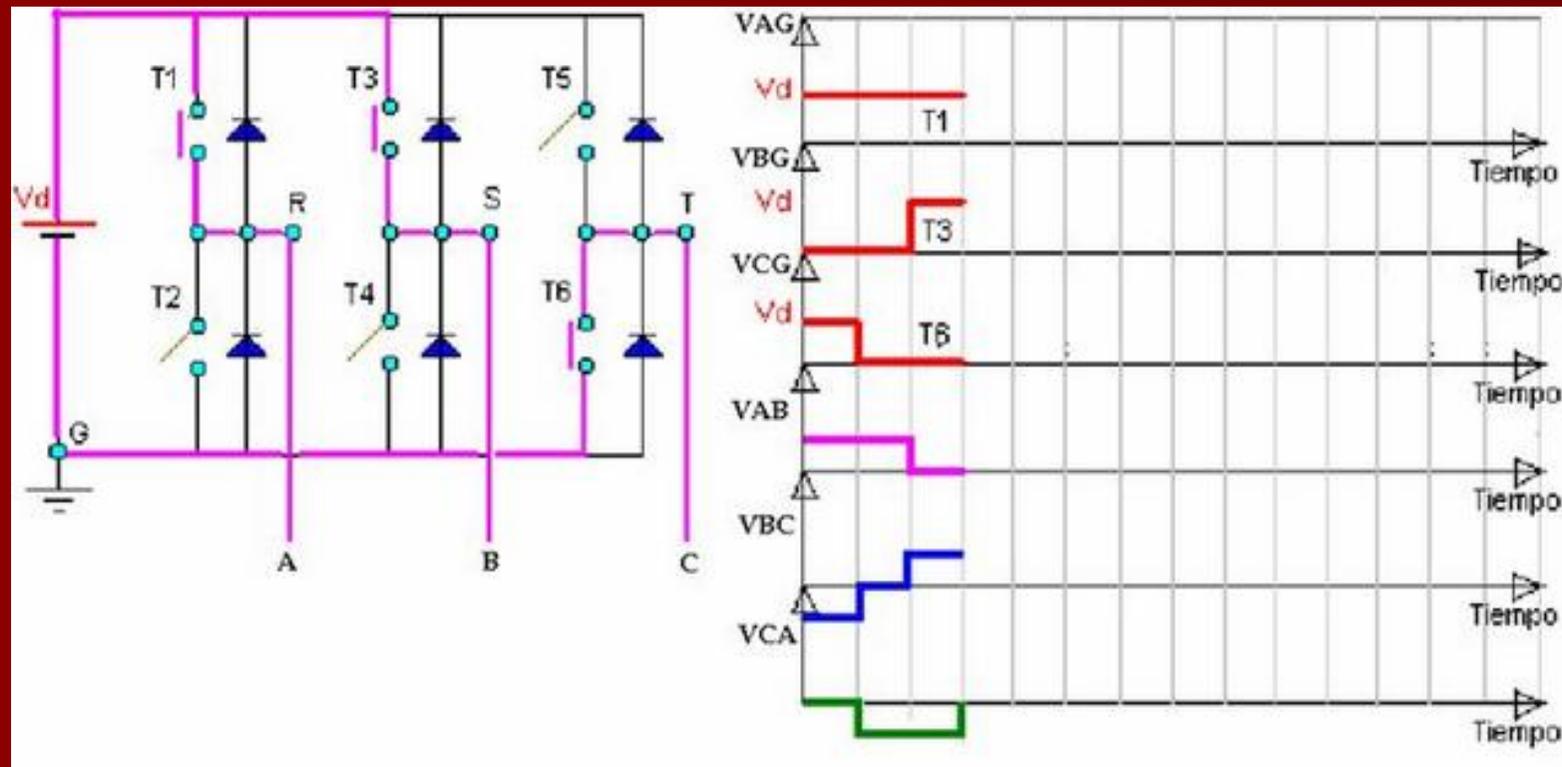
Tiempo 2:



INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

Funcionamiento:

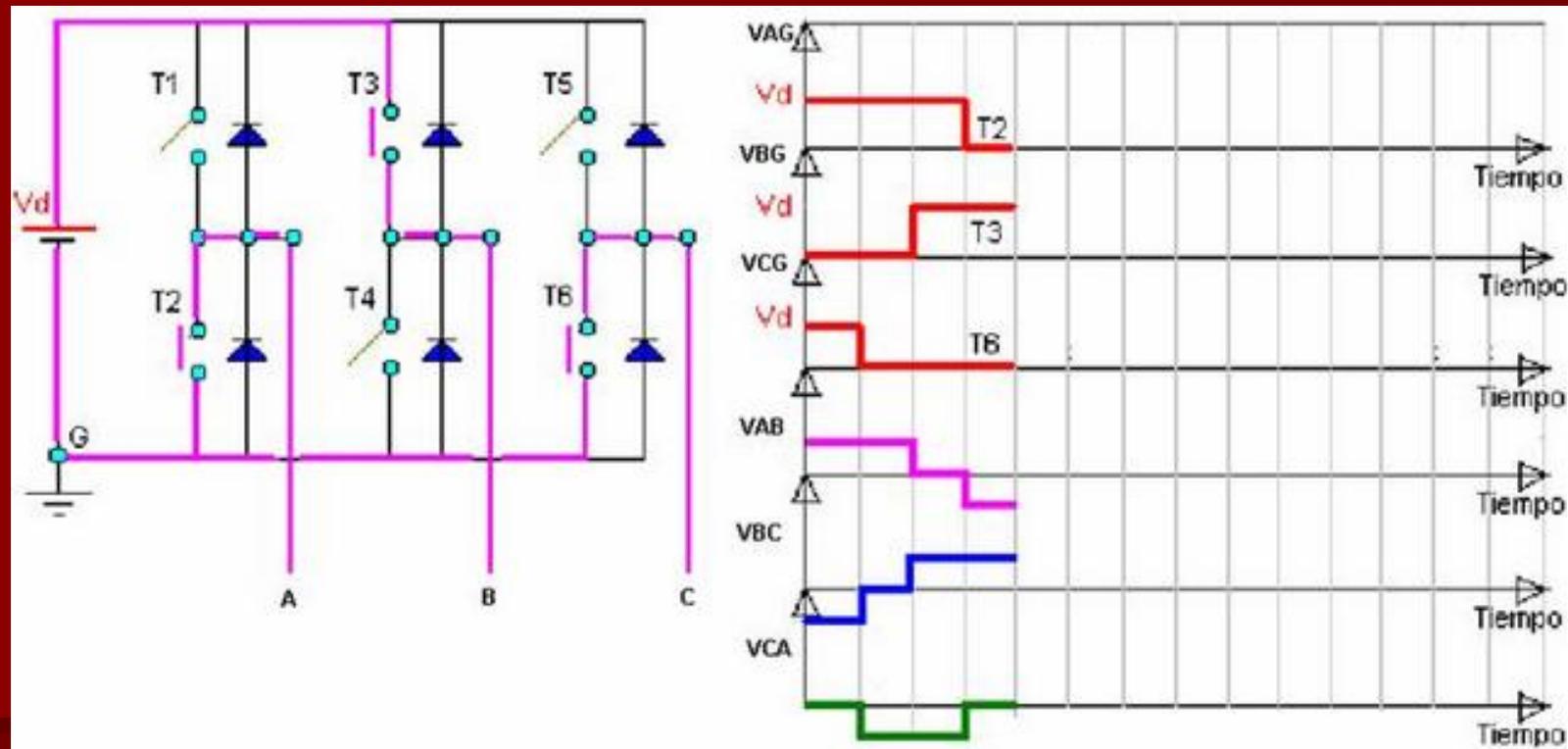
Tiempo 3:



INVERSORES Y CONVERSORES ESTÁTICOS

Funcionamiento:

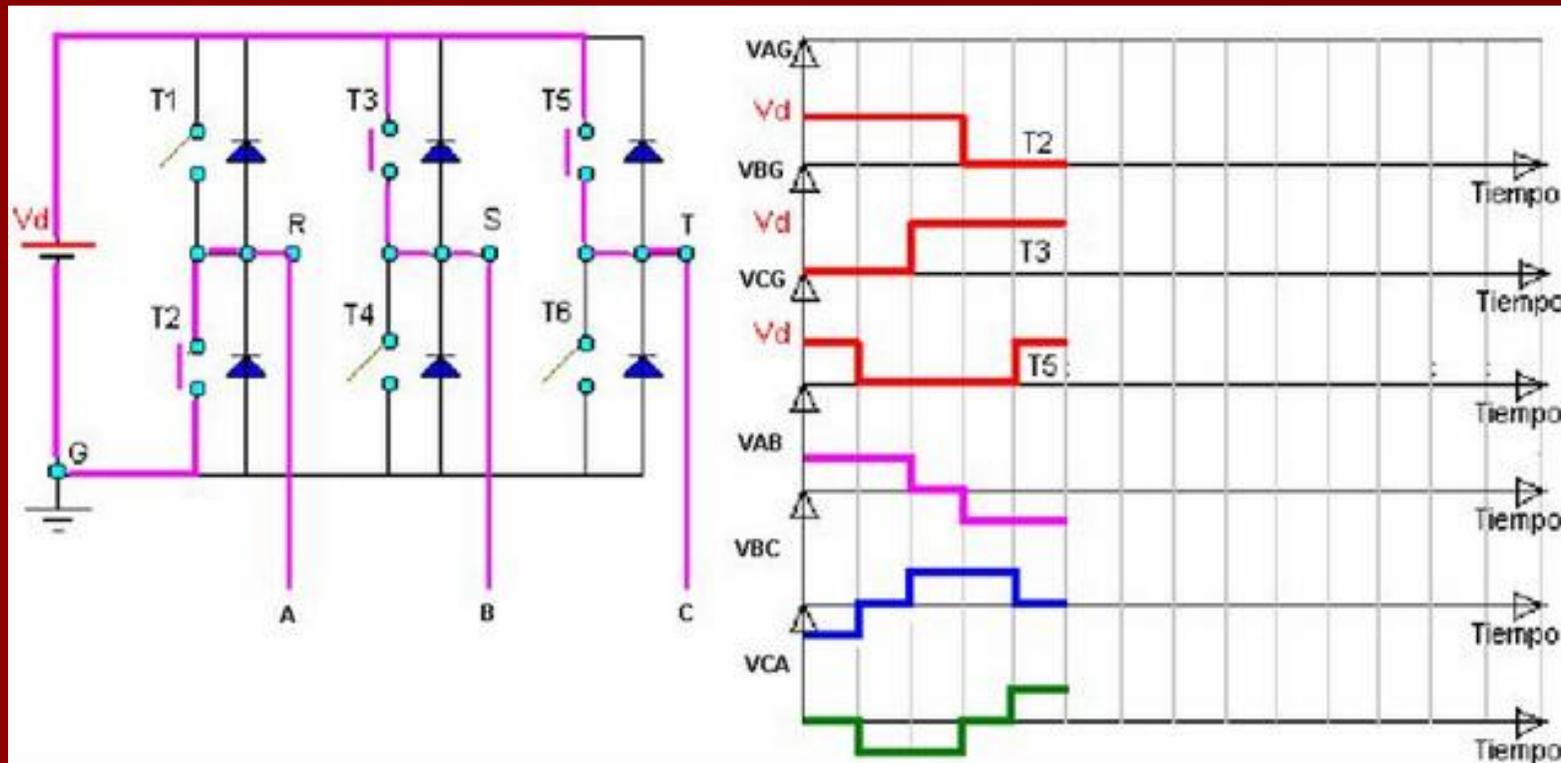
Tiempo 4:



INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

Funcionamiento:

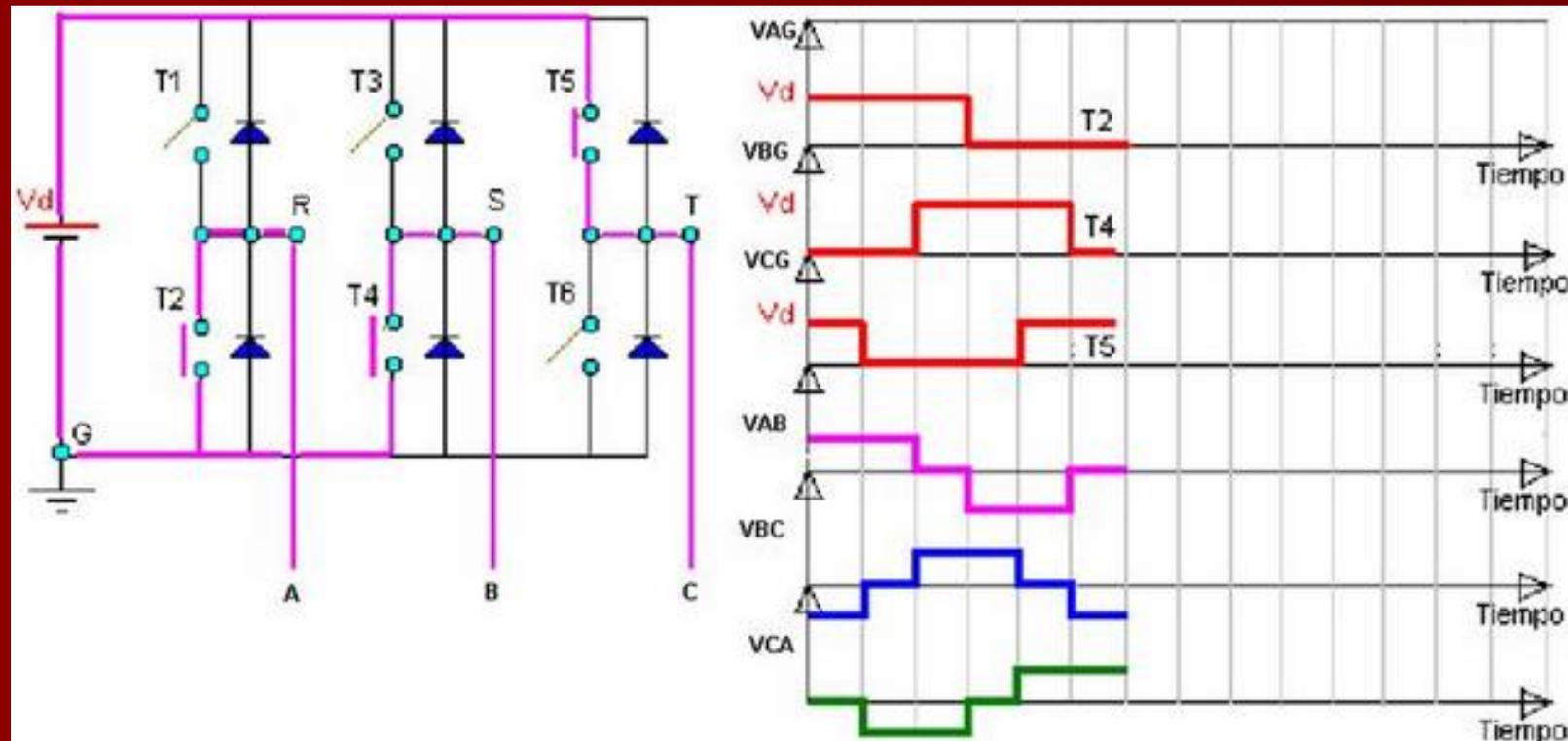
Tiempo 5:



INVERSORES Y CONVERSORES ESTÁTICOS

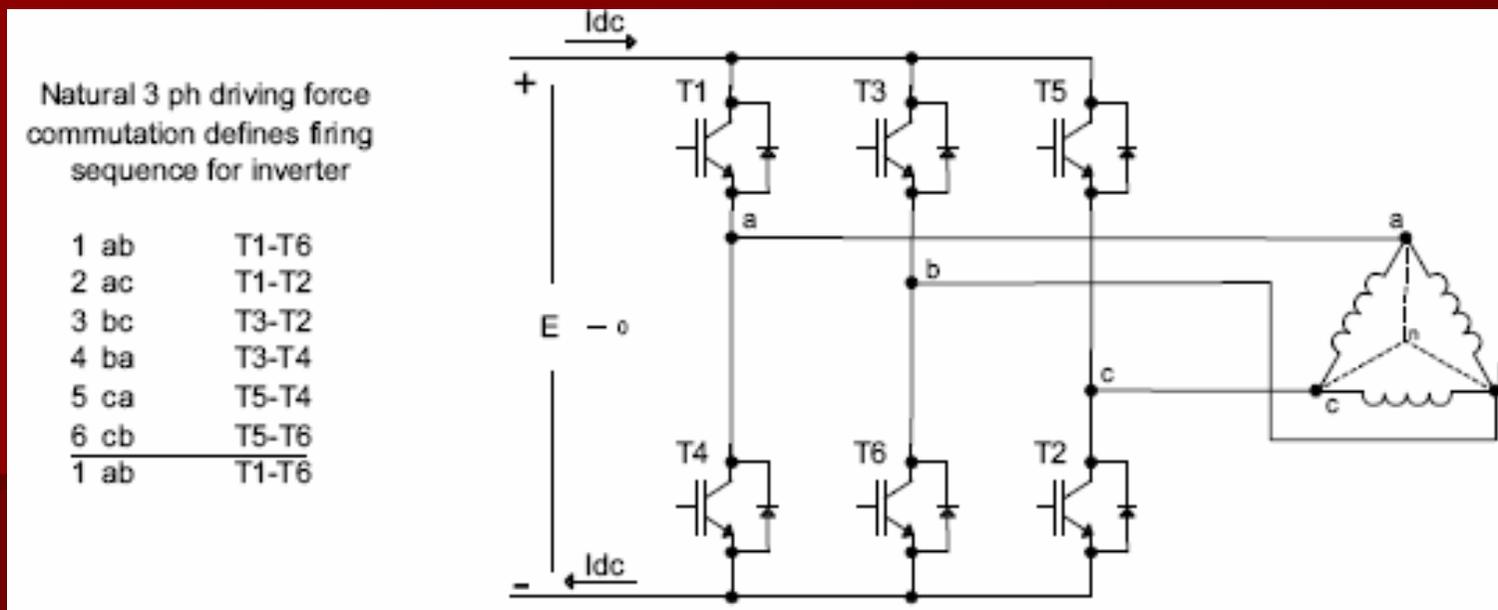
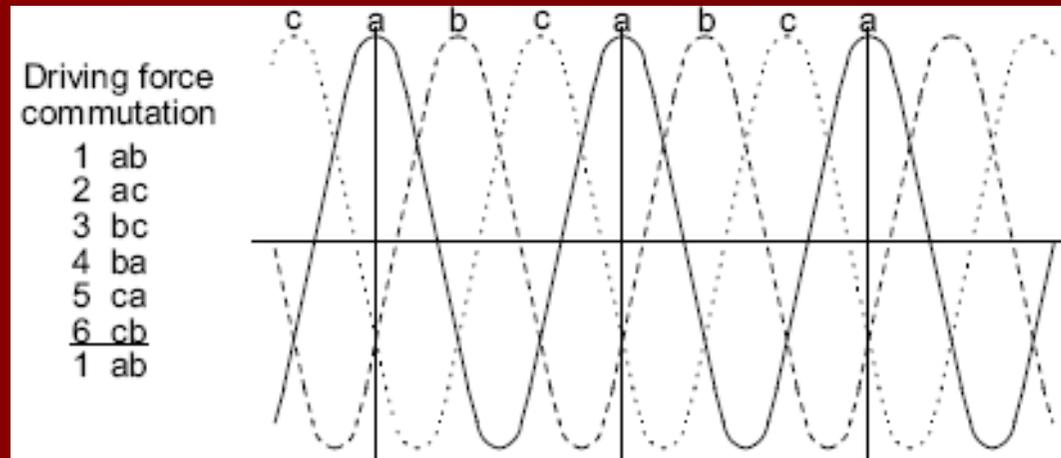
Funcionamiento:

Tiempo 6:



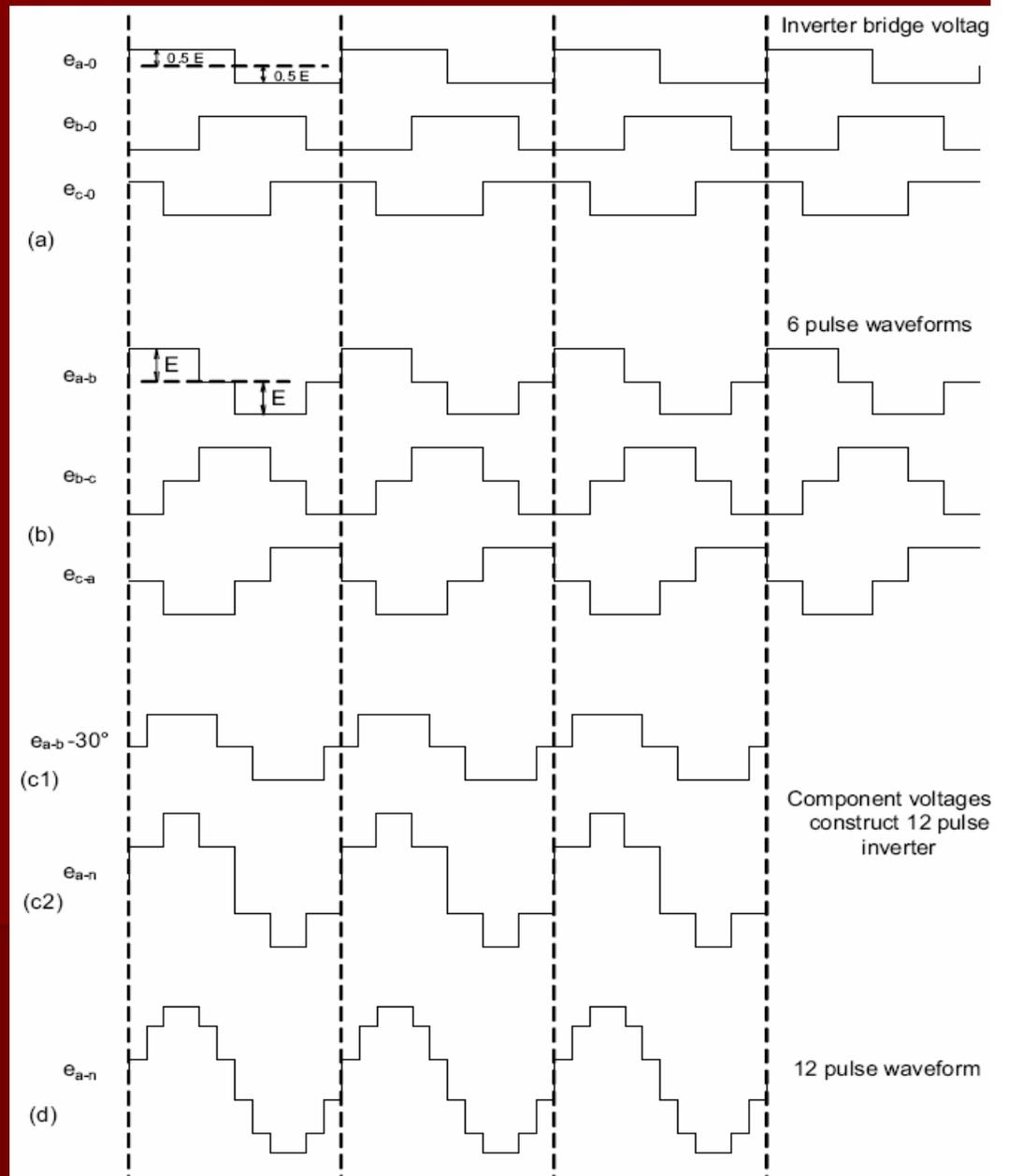
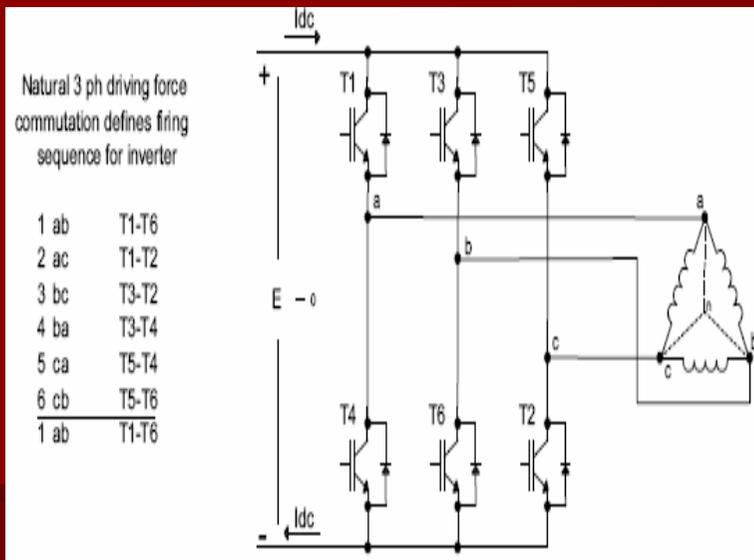
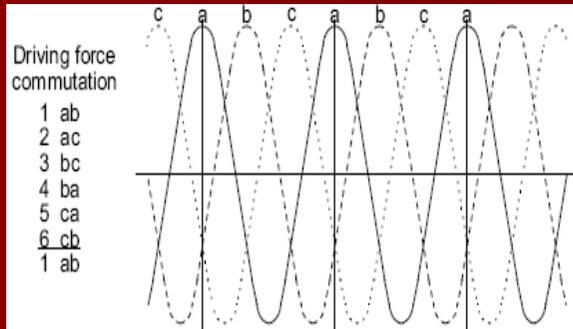
INVERSORES Y CONVERSORES ESTÁTICOS

Funcionamiento:



INVERSORES Y CONVERSORES ESTÁTICOS

Funcionamiento:



INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

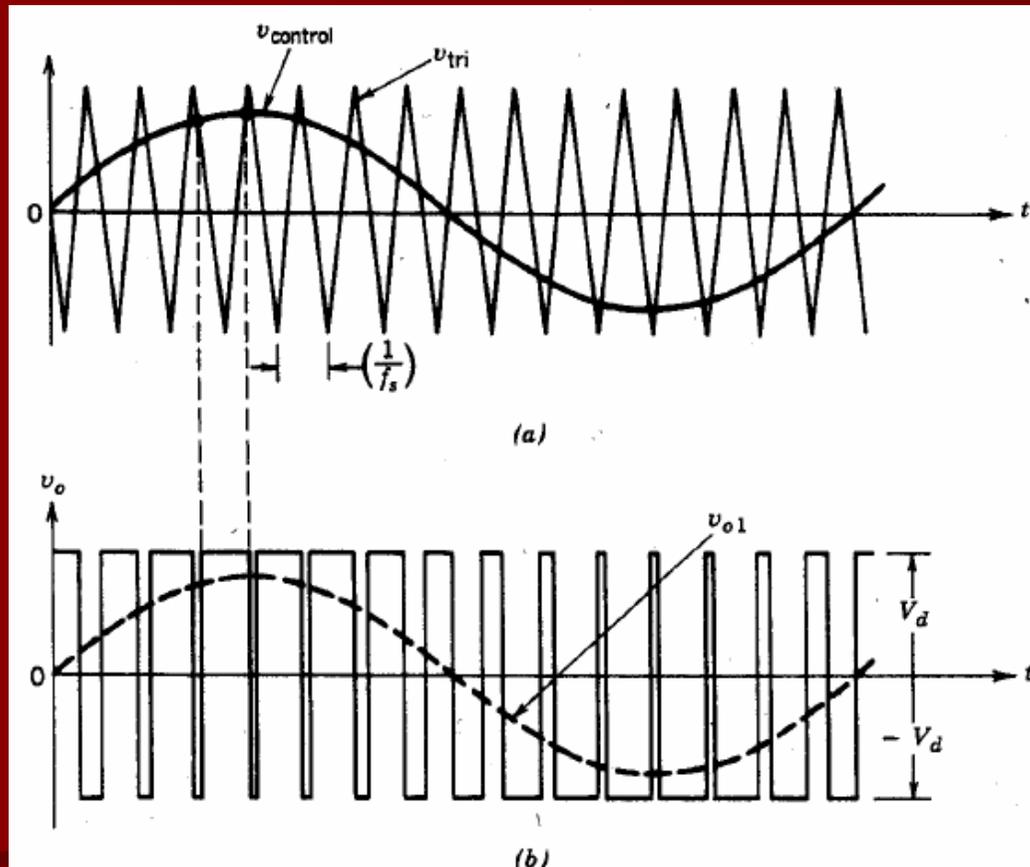
Hasta aquí los modelos de inversor son del tipo “escalón de onda cuadrada”
Aplicaciones de este tipo requieren de SCR o GTO y son para aplicaciones de alta potencia donde existe algún beneficio por cancelación de armónicas

La alternativa es basar estas configuraciones de inversores modulando el ancho de los pulsos (PWM). Estos emplearán en general IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). Básicamente se trata de un inversor como los ya descritos pero el “switchero” del escalón se hace a una frecuencia mucho mayor.

Esta es la práctica que domina actualmente y las eventuales limitaciones de potencia pueden suplirse mediante la disposición en paralelo de varios puentes

INVERSORES Y CONVERSORES ESTÁTICOS

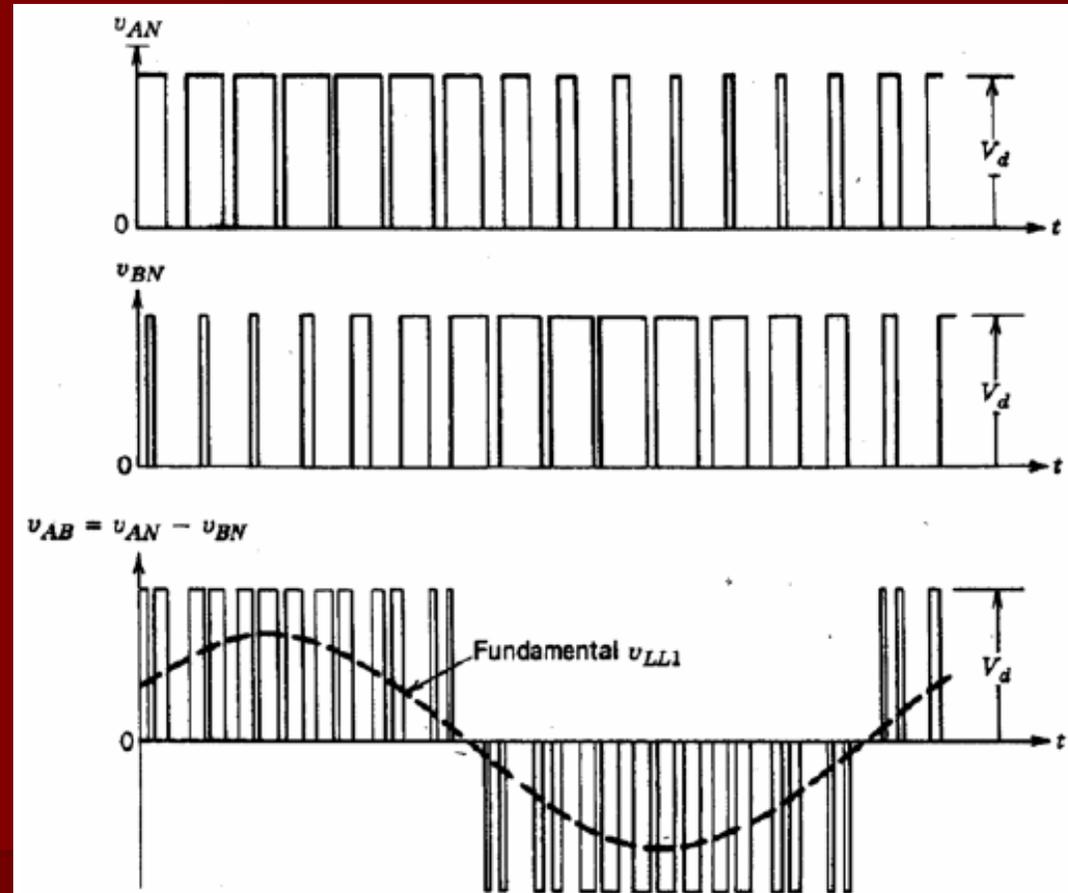
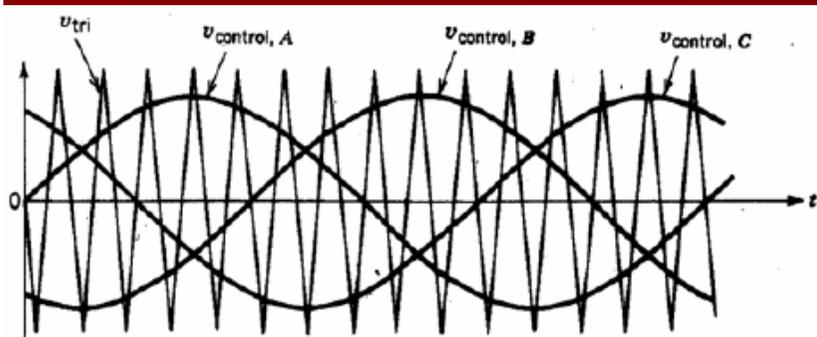
Síntesis de la forma de onda para un inversor PWM



Relación de modulación de amplitud, m_a (0.85 a 0.9) y relación de modulación de frecuencia m_f

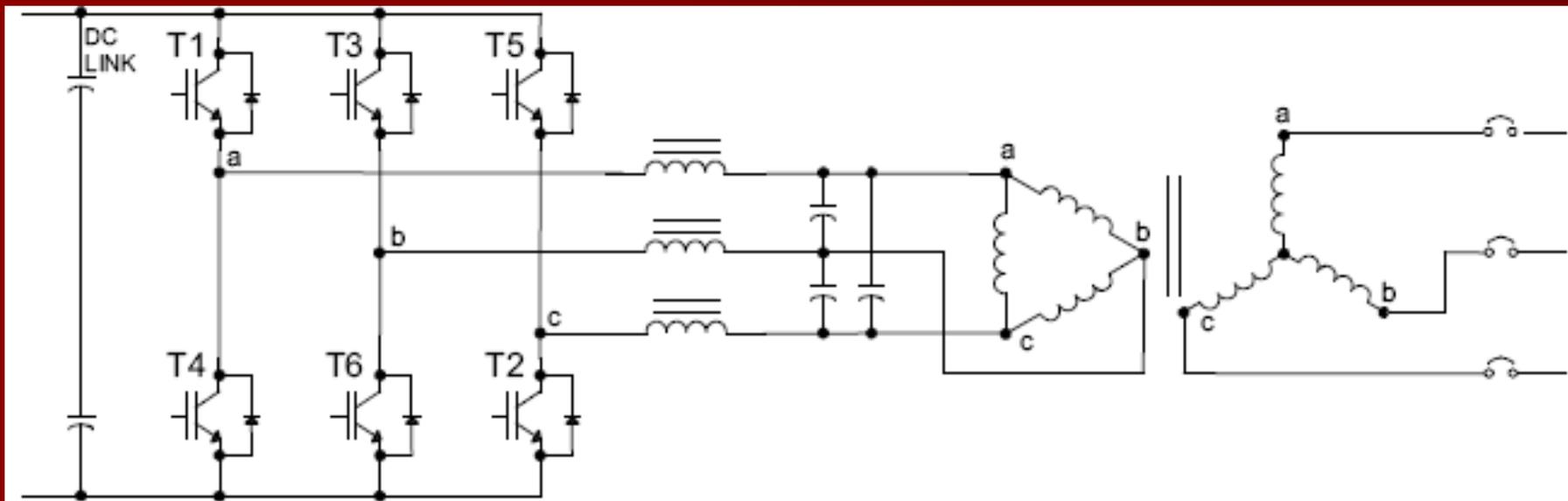
INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

La generación de la forma de onda trifásica para inversores switcheados



INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

Un inversor PWM conectado a la red con filtro de salida



INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

Inversores conmutados por línea:

Se trata de inversores basados en SCR's. Es necesaria una tensión "externa" que permita el su "apagado".

Es necesario el apagado antes del cruce por cero de la tensión de línea (podría producirse un cortocircuito de la fuente de dc). Hay un ángulo de disparo mínimo

Inversores autoconmutados:

No necesitan una fuente externa de tensión.

Un esquema de estos con tiristores requeriría de un circuito auxiliar para forzar la conmutación

Fundamentalmente dos razones hacen que la tecnología del IGBT sea la más apropiada: el apagado del mismo y la posibilidad de switcheo (mejora forma de onda)

INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

Inversores PWM:

PWM de forma de onda programada:

El inversor es switchado con un modelo periódico fijo.

Tal modelo es diseñado para producir la menor distorsión de forma de onda a un número dado de operaciones por ciclo

PWM con portadora modulada:

Una onda de referencia sinusoidal se compara con una triangular (o diente de sierra) con una frecuencia fija mucho más alta que la de la fundamental.

La magnitud de la distorsión depende del índice de modulación (relación entre loa picos de la senoidal y la portadora); más bajo índice de modulación implica mayor distorsión de forma de onda

INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

Inversores PWM:

Ventajas del los inversores PWM:

No requieren de fuente externa; se puede controlar la forma de onda;

Mayor control sobre la forma de onda de salida (menor distorsión)

Más fácil el filtrado

Desventajas de los inversores PWM:

Altas pérdidas por switcheo: tales pérdidas son proporcionales a la frecuencia de switcheo, a la tensión de dc y a la corriente de carga (la frecuencia de switcheo debería ser 10 veces más que la fundamental para que se mantengan las ventajas anteriores)

Perdidas por conducción: la caída de tensión directa es mayor que, por ejemplo, un SCR de similar característica de carga

INVERSORES Y CONVERTIDORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EVOLUCIÓN Y ESTADO:

Los inversores autoconmutados constituyen prácticamente la totalidad de las aplicaciones fotovoltaicas hasta los 100kW empleando PWM

En un 60% se usan IGBT

En el 40% restante MOSFET

MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

IGBT: frecuencias alrededor de 20kHz, potencias de inversores por encima de 100kW

MOSFET: hasta 80kHz, pero se reduce la capacidad de corriente con el incremento de la frecuencia

El rango de 1 a 10kW, con frecuencias de 20kHz, el mercado es compartido

Elevar la frecuencia de conmutación significa: mejorar forma de onda de corriente de salida y reducir tamaño y peso....

INVERSORES Y CONVERTIDORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EVOLUCIÓN Y ESTADO:

Del lado de ac, en general operan adecuadamente para variaciones, del lado del EPS, de +10% y -15% en tensión y $\pm 0,4$ a 1% en frecuencia

Del lado de dc:

Debajo de 1kW las tensiones típicas en V son: 14-25, 27-50, 45-100, 48-120 y 55-110

De 1 a 10kW: 40-95, 72-145, 75-225, 100-350, 125-375, 139-400, 150-500, 250-500, 350-750

Más de 10kW: 200-500, 450-800

Los THD de corriente, respecto de la corriente fundamental nominal es de 3 a 5%

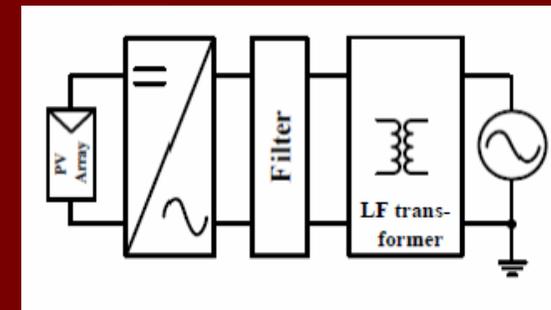
INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

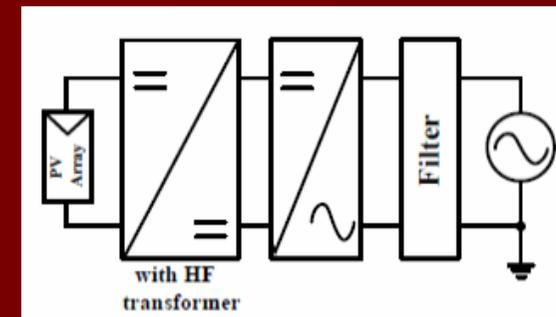
EVOLUCIÓN Y ESTADO:

El eventual aislamiento galvánico:

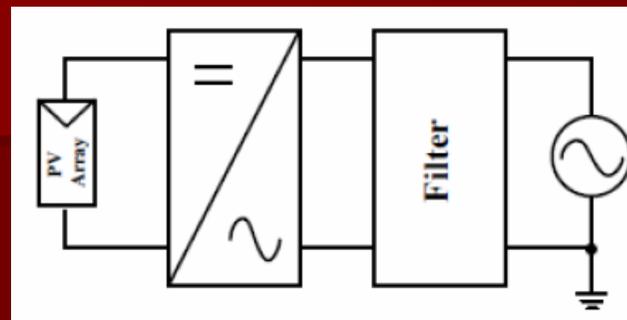
Con transformador de baja frecuencia:



Con transformador de alta frecuencia:



Sin transformador



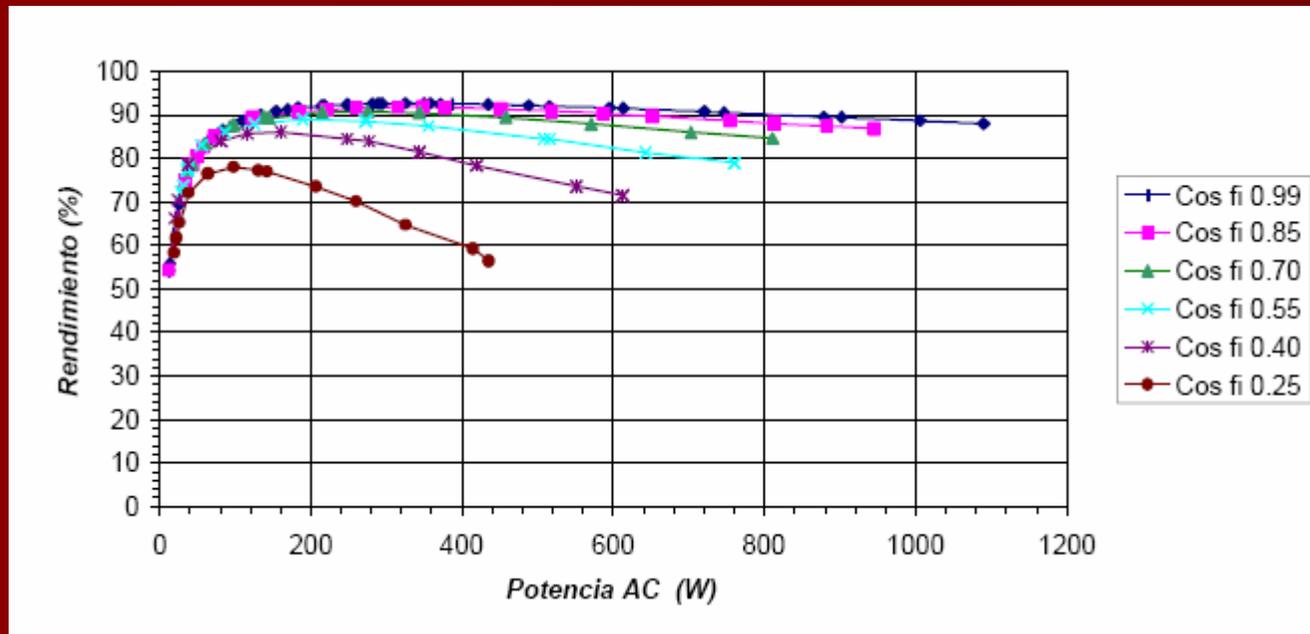
INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EVOLUCIÓN Y ESTADO:

Eficiencia: la potencia de salida de un sistema fotovoltaico varía en un rango muy amplio, por lo tanto el inversor debe ser eficiente en un amplio rango de potencias

Ejemplo:



El concepto de «eficiencia europea»

$$\eta_{EU} = 0.03 * \eta_{\eta 5\%} + 0.06 * \eta_{\eta 10\%} + 0.13 * \eta_{\eta 20\%} + 0.1 * \eta_{\eta 30\%} + 0.48 * \eta_{\eta 50\%} + 0.2 * \eta_{\eta 100\%}$$

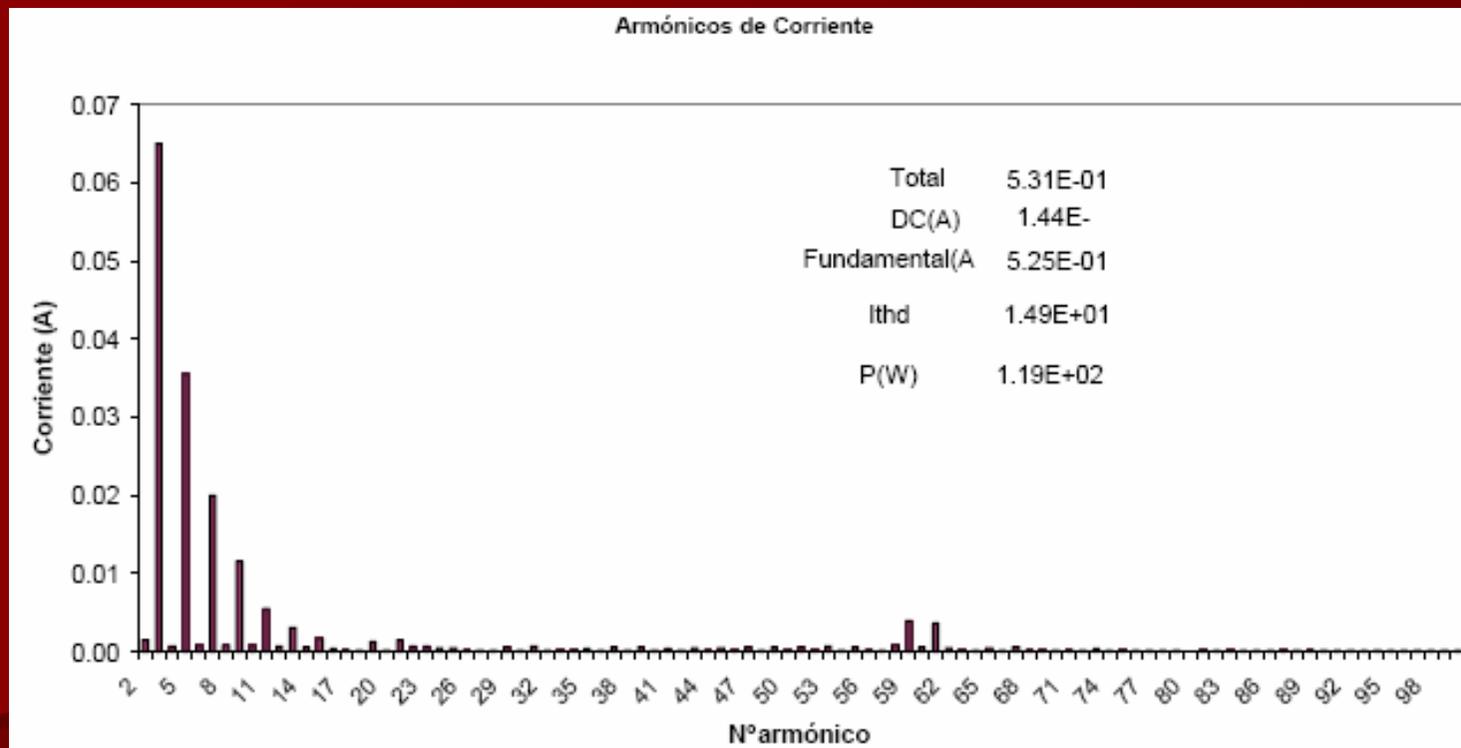
INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EVOLUCIÓN Y ESTADO:

Armónicos y estado de carga:

10% de potencia nominal



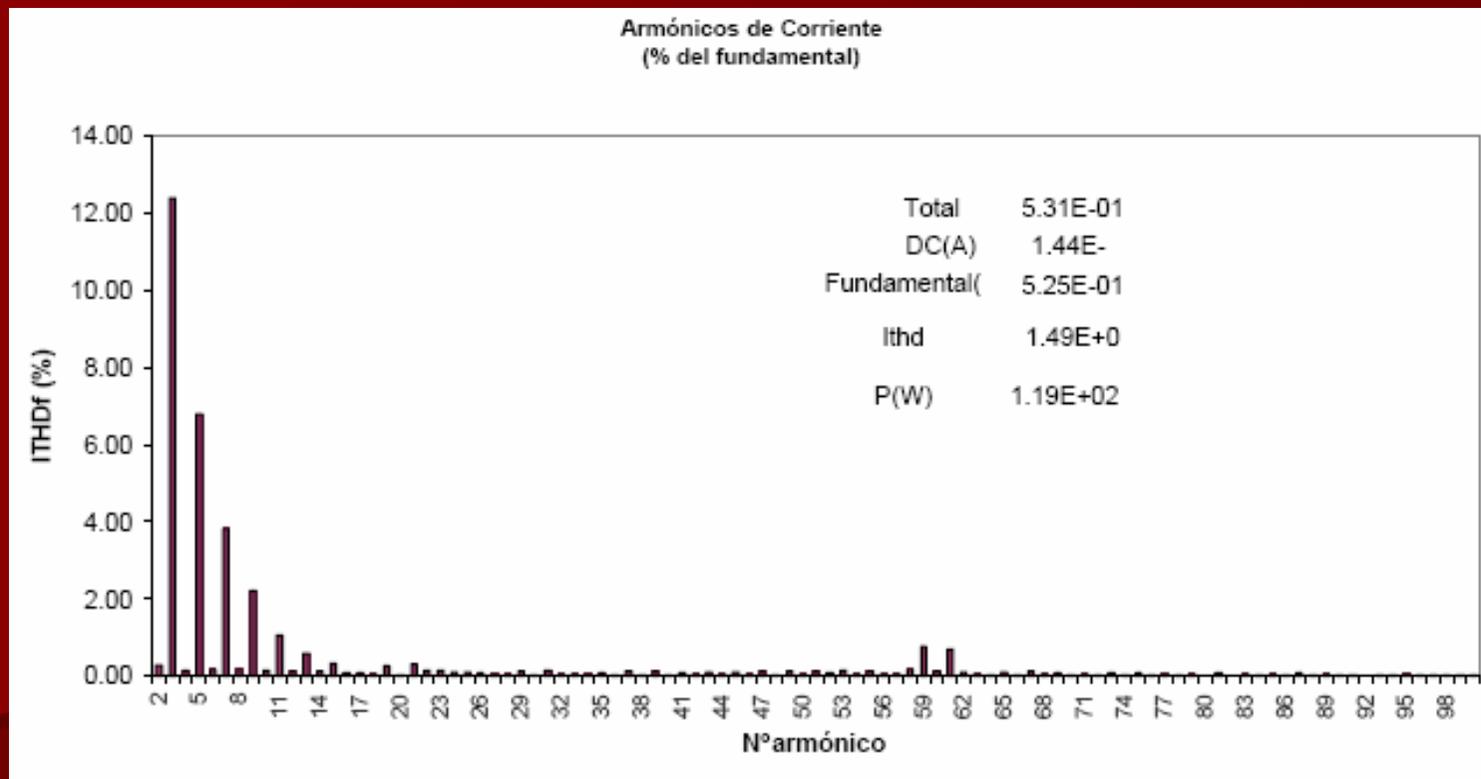
INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EVOLUCIÓN Y ESTADO:

Armónicos y estado de carga:

100% de potencia nominal



INVERSORES Y CONVERTIDORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EVOLUCIÓN Y ESTADO:

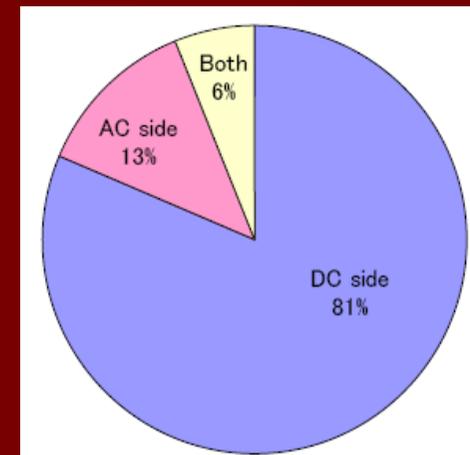
Los inversores para aplicaciones fotovoltaicas ya incluyen el Maximum Power Point Tracking Control

La fuente de alimentación del sistema de control:

En los sistemas alimentados por el lado de dc, el circuito de control se activa si la radiación solar es suficiente; caso contrario se desactiva;

En este caso su operación es automáticamente arrancada o detenida;

Si el control está alimentado del lado de ac, su operación es continua aun sin radiación; es necesario alimentar al sistema de control durante la noche



INVERSORES Y CONVERTIDORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EVOLUCIÓN Y ESTADO:

Condiciones ambientales de instalación:

Exteriores e interiores (las últimas son 80%, atribuibles a instalaciones residenciales)

Las instalaciones exteriores requieren pruebas de comportamiento frente a la humedad y al polvo

Rangos de temperatura: mínimos, -25, -15, -10 y 0°C; máximos: 40, 50 y 85°C

Ruido audible: hasta 10kW, el ruido audible a 1 m oscila 35 a 45dBA; en más de 10kW puede superar los 50dBA

La mayoría de los requerimientos de EMC para inversores se basan en la IEC

INVERSORES Y CONVERTIDORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EVOLUCIÓN Y ESTADO:

Funciones de protección

Del lado de dc: sobretensión, subtensión, sobrecorriente y detección de faltas a tierra

Del lado de ac: sobretensión, subtensión, sobrecorriente, incremento de frecuencia, caída de frecuencia, detección de puesta a tierra; como adicionales: detección de dc (en aquellos que usan transformadores de alta frecuencia para aislar el dc del ac), incremento de temperatura. Todas operan sobre el circuito de control a través de medición de corrientes y tensiones y varios tipos de sensores

Protecciones externas requeridas: contra descargas atmosféricas y sobretensiones; descargadores y varistores de ambos lados

INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

ASPECTOS BÁSICOS DE SELECCIÓN DEL INVERSOR:

Potencia:

Una suposición inicial suele ser que la potencia del inversor se encuentre entre el 0,7 y 1,2 de la potencia del sistema fotovoltaico:

$$0.7 * P_{pv} < P_{inv} < 1.2 * P_{pv}$$

Algunos elementos hacen que la potencia operacional de los sistemas fotovoltaicos sea aproximadamente un 80% de su valor nominal: valores de irradiancia que no alcanzan los 850 W/m², mayores temperaturas de celdas que las de diseño, sombreados, suciedad, etc..

El subdimensionado del inversor tendría por objeto incrementar el nivel de eficiencia del sistema para bajos niveles de irradiancia...

Habría que tener especial cuidado con eventuales sobrecargas....

INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

ASPECTOS BÁSICOS DE SELECCIÓN DEL INVERSOR:

Configuración:

Los inversores tienen un rango de tensiones de entrada asociado al rango del algoritmo interno de seguimiento del MPPT (además de un valor máximo de tensión de entrada)

El intervalo de operación del inversor (rango de seguimiento del MPPT) se ajustará en función de la curva característica del generador fotovoltaico para distintas temperaturas de operación; el punto de máxima potencia de cada curva deberá hallarse en el rango de seguimiento, siempre verificando la máxima tensión admisible del inversor para la más baja temperatura.

INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

ASPECTOS BÁSICOS DE SELECCIÓN DEL INVERSOR:

Tensión de entrada – Máximo número de módulos en serie:

Siempre es conocida la variación de la tensión en función de la temperatura (mV/°C) para la celdas fotovoltaicas y se supone conocida la temperatura mínima... con lo cual se podrá estimar la máxima tensión de entrada de circuito abierto $V_{OC(Tmin)}$; si la variación de tensión ΔV se conoce como variación porcentual en función de la variación de la temperatura ΔT (diferencia entre la temp. estándar y la de trabajo supuesta para el caso):

$$V_{OC(Tmin)} = \left(1 - \frac{\Delta T * \Delta V}{100}\right) * V_{OCstc}$$

Cuando ΔV se de como mV/°C, entonces:

$$V_{OC(Tmin)} = V_{OCstc} - \Delta T * \Delta V$$

INVERSORES Y CONVERTIDORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

ASPECTOS BÁSICOS DE SELECCIÓN DEL INVERSOR:

Tensión de entrada – Mínimo número de módulos en serie:

Si la temperatura de la celda aumenta disminuye la tensión y también la potencia. Mayor radiación....mayor temperatura... menor eficiencia de conversión de la celda

En general la tensión operativa del generador será inferior a la tensión teórica de sus condiciones de referencia (estándar) ya que la temperatura de las celdas tiende a estar por encima de los 50 °C.

Cuando la tensión se encuentre por debajo del límite mínimo del rango de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), el algoritmo del inversor optaría por la desconexión (no localiza el MPPT para tal condición) y pueden perderse horas del sol productivas.

INVERSORES Y CONVERTORES ESTÁTICOS

TECNOLOGÍA DE INVERSORES APLICADOS A INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

ASPECTOS BÁSICOS DE SELECCIÓN DEL INVERSOR:

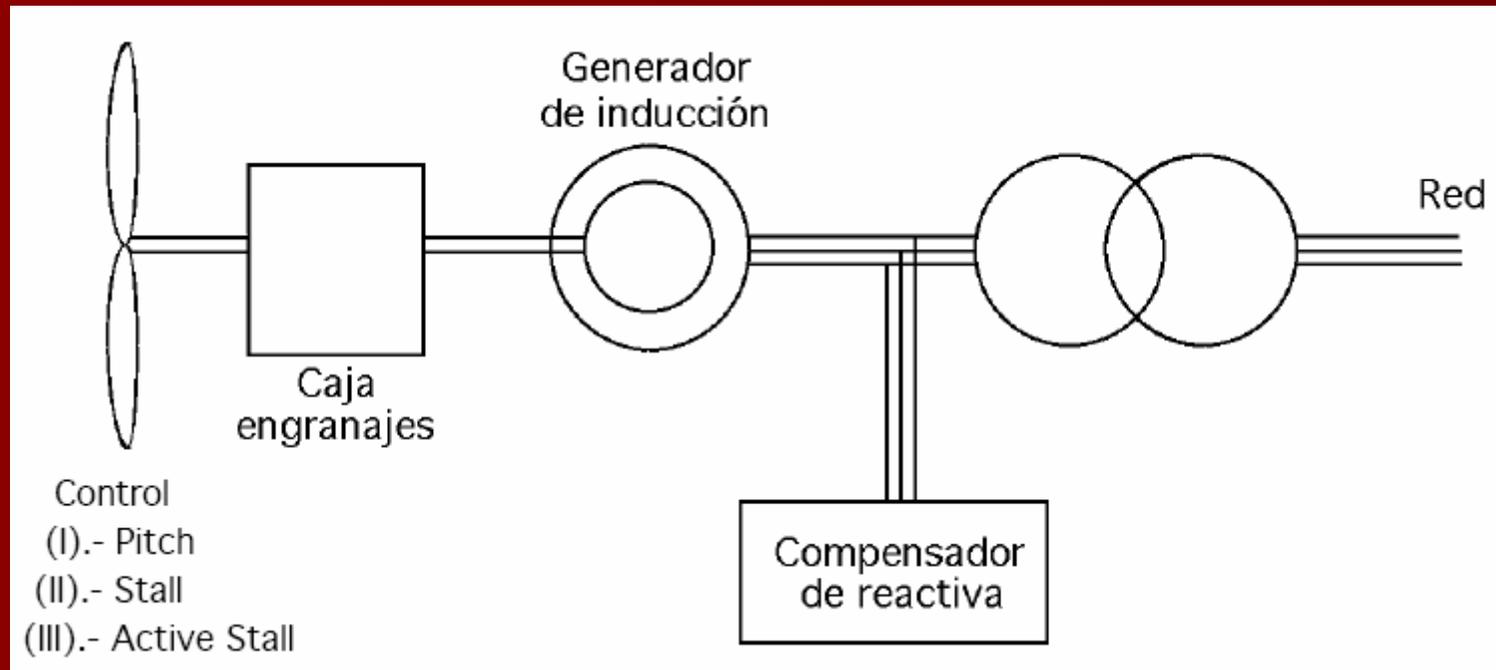
Tensión de entrada – Mínimo número de módulos en serie:

Debería verificarse cual es la mínima tensión para la supuesta temperatura máxima de operación ($V_{MPPT(Tmax)}$) sabiendo que la tensión de MPPT del módulo fotovoltaico viene referenciada a una condición estándar ($V_{MPPT(stc)}$)

$$V_{MPPT(Tmax)} = \left(1 - \frac{\Delta T * \Delta V}{100} \right) * V_{MPPT(stc)}$$

GENERADORES EÓLICOS

TURBINA EÓLICAS DE VELOCIDAD CONSTANTE

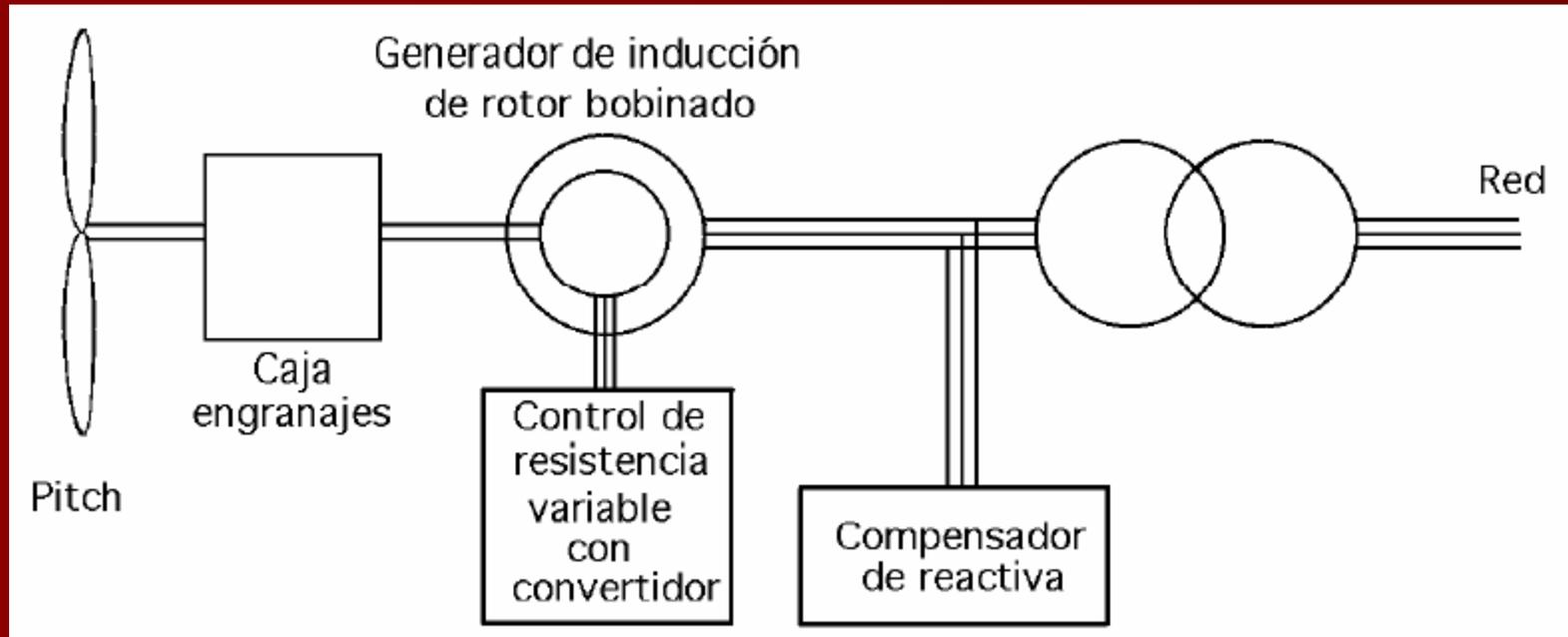


Generador de inducción, compensación de reactiva (o no), I) control de potencia por variación de ángulo; II) Por pérdida aerodinámica; III) Por pérdida aerodinámica activa (Active Stall, máquinas donde la potencia lo justifique).

Pueden estar equipados con dos generadores: uno potencia nominal para vientos medios y altos y otro para vientos bajos

GENERADORES EÓLICOS

TURBINA EÓLICAS DE VELOCIDAD CONSTANTE



El rotor bobinado permite ampliar el campo de velocidades (resistencia variables acopladas al rotor por anillos rozantes).

Opción de incorporar las resistencias en el mismo rotor evitando problemas de anillos rozantes (OptiSlip)

GENERADORES EÓLICOS

TURBINA EÓLICAS DE VELOCIDAD CONSTANTE

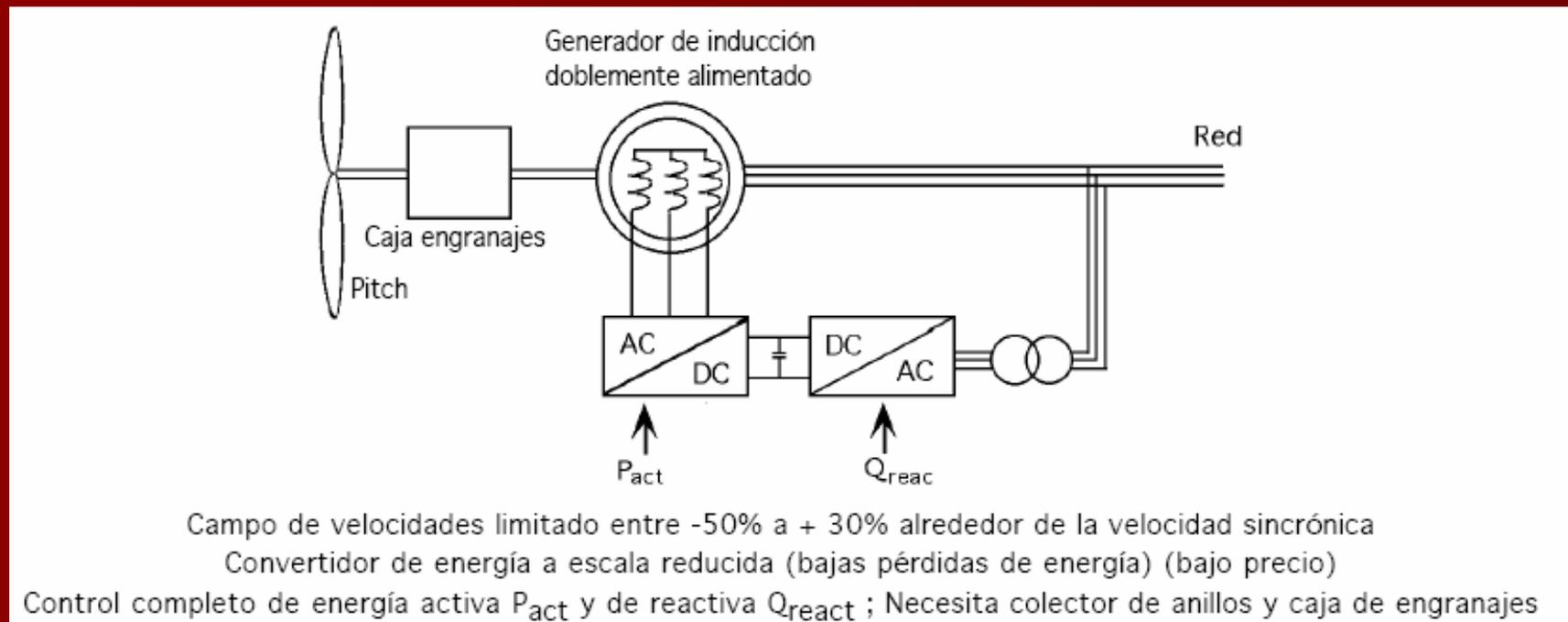
Generalidades de las máquinas de Velocidad Constante:

- Las variaciones de potencia del viento se transmiten «sin amortiguación» a la red
- La regulación de frecuencia de la velocidad de giro es posible solamente si se puede cambiar el número de polos de la máquina (o dos generadores)
- La regulación de tensión por medio de estas máquinas está considerablemente reducida ya que estas requieren de reactiva para su funcionamiento
- Ante un hueco de tensión reacciona aumentando su velocidad ya que el par eléctrico se reduce con el cuadrado de la tensión....relativamente alta inestabilidad para huecos relativamente profundos y/o prolongados
- La severidad del hueco y el estado de generación (nivel de viento) en ese momento influyen en gran manera en la inestabilidad (par mecánico y par eléctrico)

GENERADORES EÓLICOS

TURBINA EÓLICAS DE VELOCIDAD VARIABLE

Con control pitch, con generador asíncrono de rotor devanado y convertidor electrónico entre rotor y red (DFIG)



Estator acoplado directamente a la red (eventualmente mediante un transformador)

Relativamente amplio rango de variación de velocidades de giro

GENERADORES EÓLICOS

TURBINA EÓLICAS DE VELOCIDAD VARIABLE

Con control pitch, con generador asíncrono de rotor devanado y convertidor electrónico entre rotor y red (DFIG)

- Caja multiplicadora
- Control de potencia más preciso y amplio: regulación activa por variación del ángulo paso o variación de velocidad de rotación lo que permite optimizar la energía extraída para distintas velocidades del viento
- Las variaciones rápidas del viento se controlan y suavizan mediante el convertidor electrónico (menor tiempo de respuesta) y las variaciones del viento más lentas pueden manejarse por control de paso
- La potencia del convertidor es 25 a 30% de la nominal de la turbina y mediante él es posible el control de potencia activa y reactiva y de la velocidad por encima y por debajo de la velocidad síncrona

GENERADORES EÓLICOS

TURBINA EÓLICAS DE VELOCIDAD VARIABLE

Con control pitch, con generador asíncrono de rotor devanado y convertidor electrónico entre rotor y red (DFIG)

- Se puede regular tensión y potencia activa (regulación de frecuencia)
- Se puede «absorber» o «producir» reactiva...la limitación sería la potencia del convertidor
- En principio.... su capacidad para soportar huecos también es muy limitada... principalmente por la capacidad del conversor y su comportamiento frente a huecos...

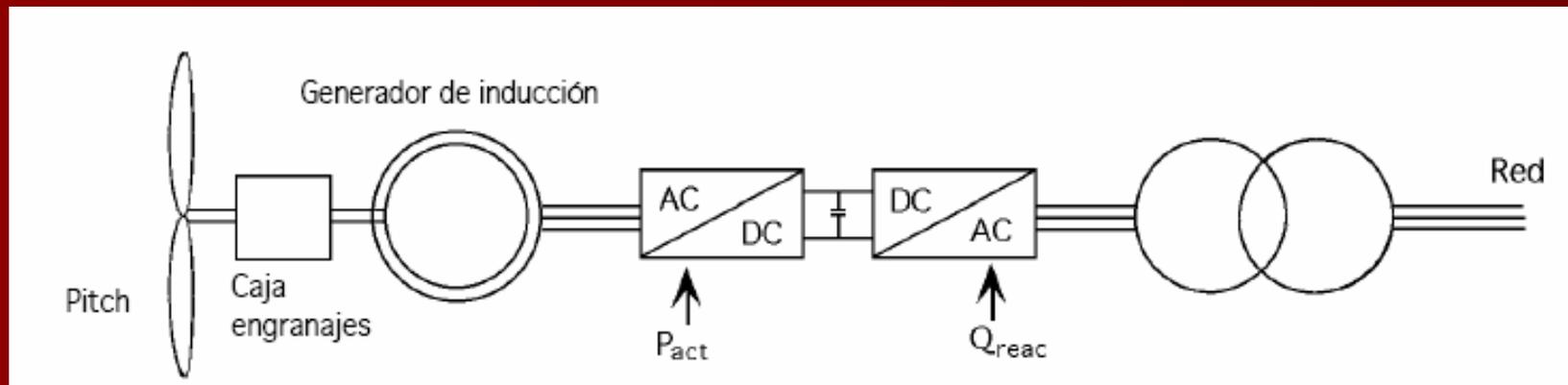
Alternativas:

- ❑ Sobredimensionar el conversor
- ❑ Desconectar transitoriamente el estator
- ❑ cortocircuitar transitoriamente el rotor (active crowbar) electrónicamente (p.e. tiristores) entre el conversor y el rotor

Más adelante se verá que en máquinas importantes esto no sería aplicable...

GENERADORES EÓLICOS

TURBINA EÓLICAS DE VELOCIDAD VARIABLE



Generador de inducción (sín escobillas)

Caja mutiplicadora

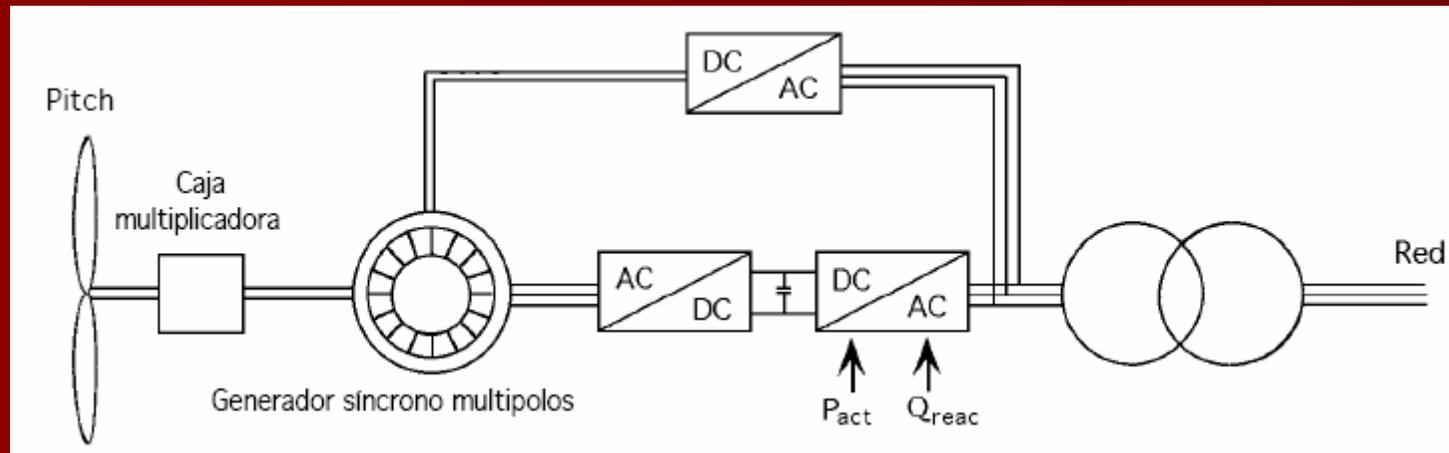
Amplio control P y Q

Amplio rango de velocidades respecto de las de inducción anteriores

Convertidor para toda la potencia

GENERADORES EÓLICOS

TURBINA EÓLICAS DE VELOCIDAD VARIABLE



Generador síncrono multipolo (colector de anillos)

Caja mutiplicadora

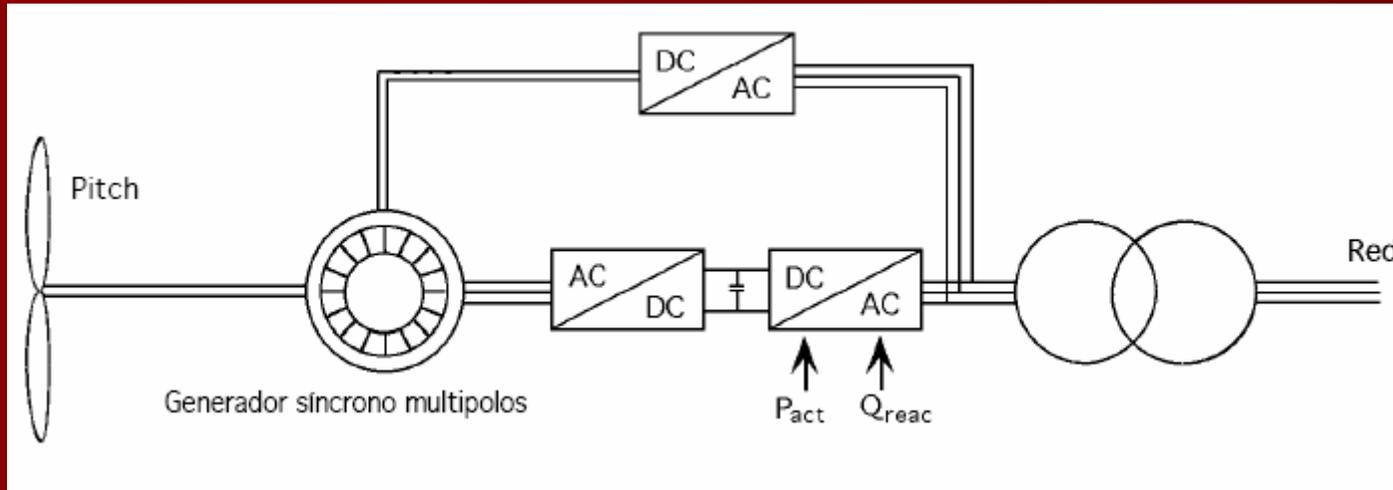
Amplio control P y Q

Excitación por convertidor (pequeño) y convertidor para toda la potencia

De este generador en adelante en general gira la excitación (por fuera)

GENERADORES EÓLICOS

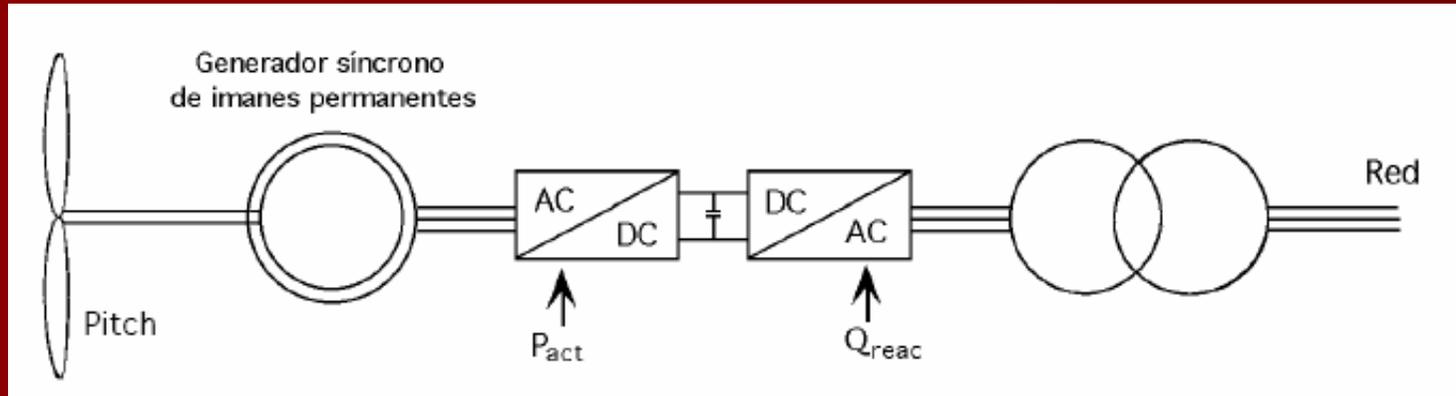
TURBINA EÓLICAS DE VELOCIDAD VARIABLE



Única diferencia con el anterior la eliminación de la caja

GENERADORES EÓLICOS

TURBINA EÓLICAS DE VELOCIDAD VARIABLE



Generador síncrono multipolo (excitación gira y por imanes permanentes)

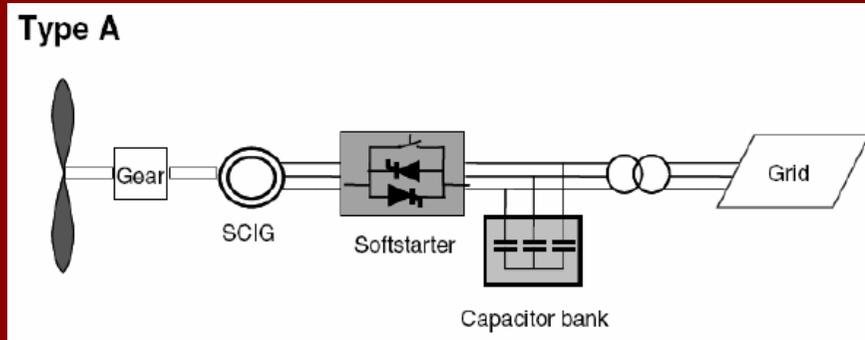
No Caja mutiplicadora

Amplio control P y Q

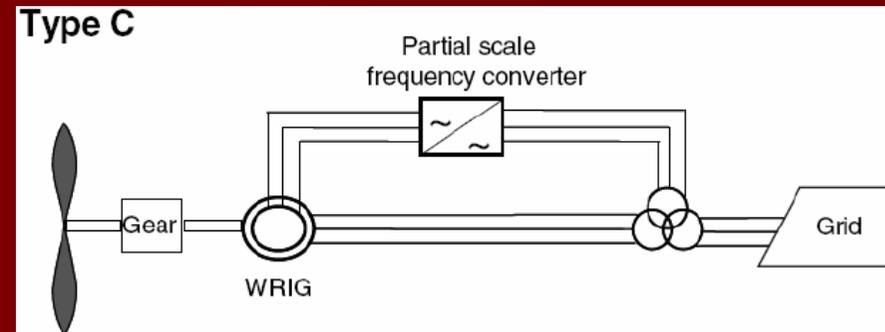
GENERADORES EÓLICOS

UN INTENTO DE RESUMEN GENERAL

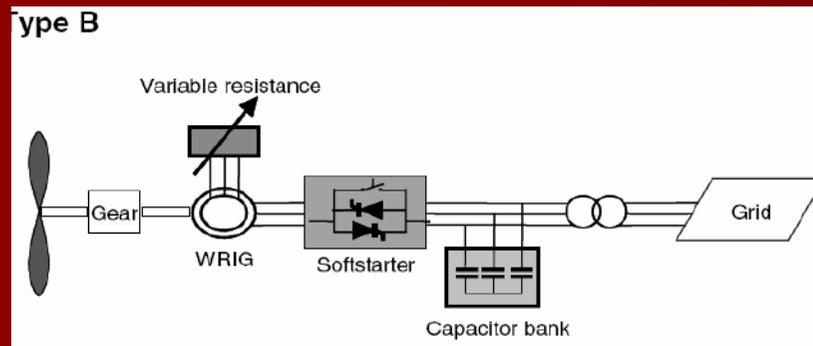
Type A



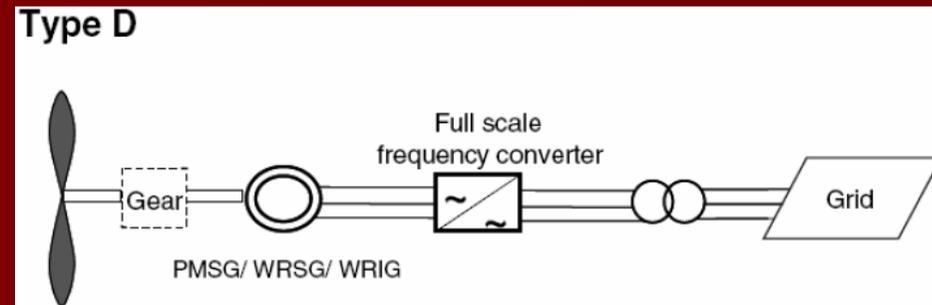
Type C



Type B



Type D

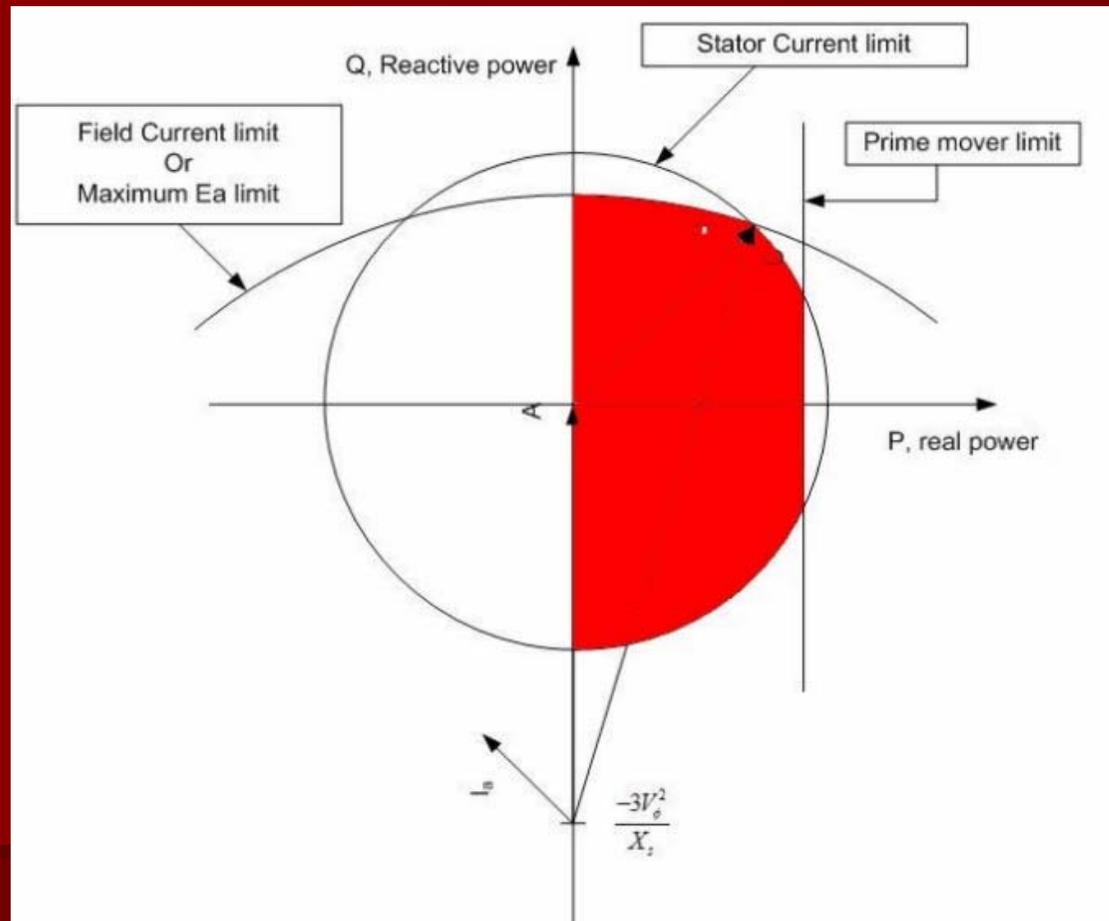


GENERADORES EÓLICOS

Tecnología	DFIG (Tipo C)	PMSG (Tipo D)	Rotor bobinado con resistencia variable (Tipo B)	SCIG: Generador de induccion `caja de ardilla` (Type A)
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Vel.Variable *Convertidor de potencia reducido (20-30%) *Control activo y reactivo de potencia 	<ul style="list-style-type: none"> *Vel.Variable *Acoplamiento directo *Control activo y reactivo de potencia *Aislamiento total de la red *Excitacion propia 	<ul style="list-style-type: none"> *Variacion de velocidad reducida al variar la resistencia del rotor. 	<ul style="list-style-type: none"> *Construccion simple y robusta. * Bajo costo.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> *Engranaje *Mantenimientode anillos y escobillas 	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo (convertidor 100%, materiales magneticos) *Demagnetizacion. 	<ul style="list-style-type: none"> *Perdidas en resistencia *Consumo de n potencia activa y reactiva. 	<ul style="list-style-type: none"> *Consumo de potencia activa y reactiva. *Sin control de velocidad

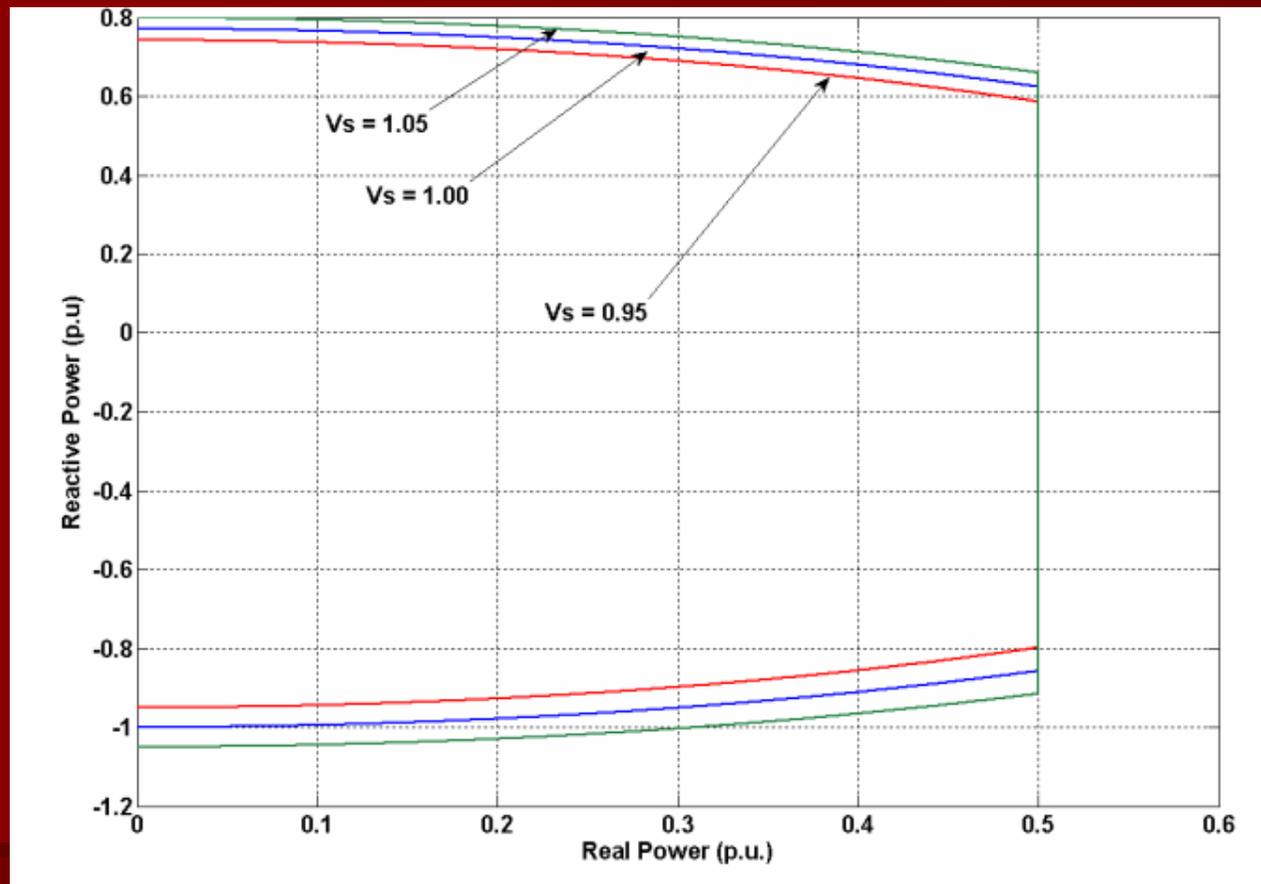
GENERALIDADES SOBRE CURVAS DE CAPABILIDAD DE GENERADORES

Curva de capacidad del Generado Síncrono



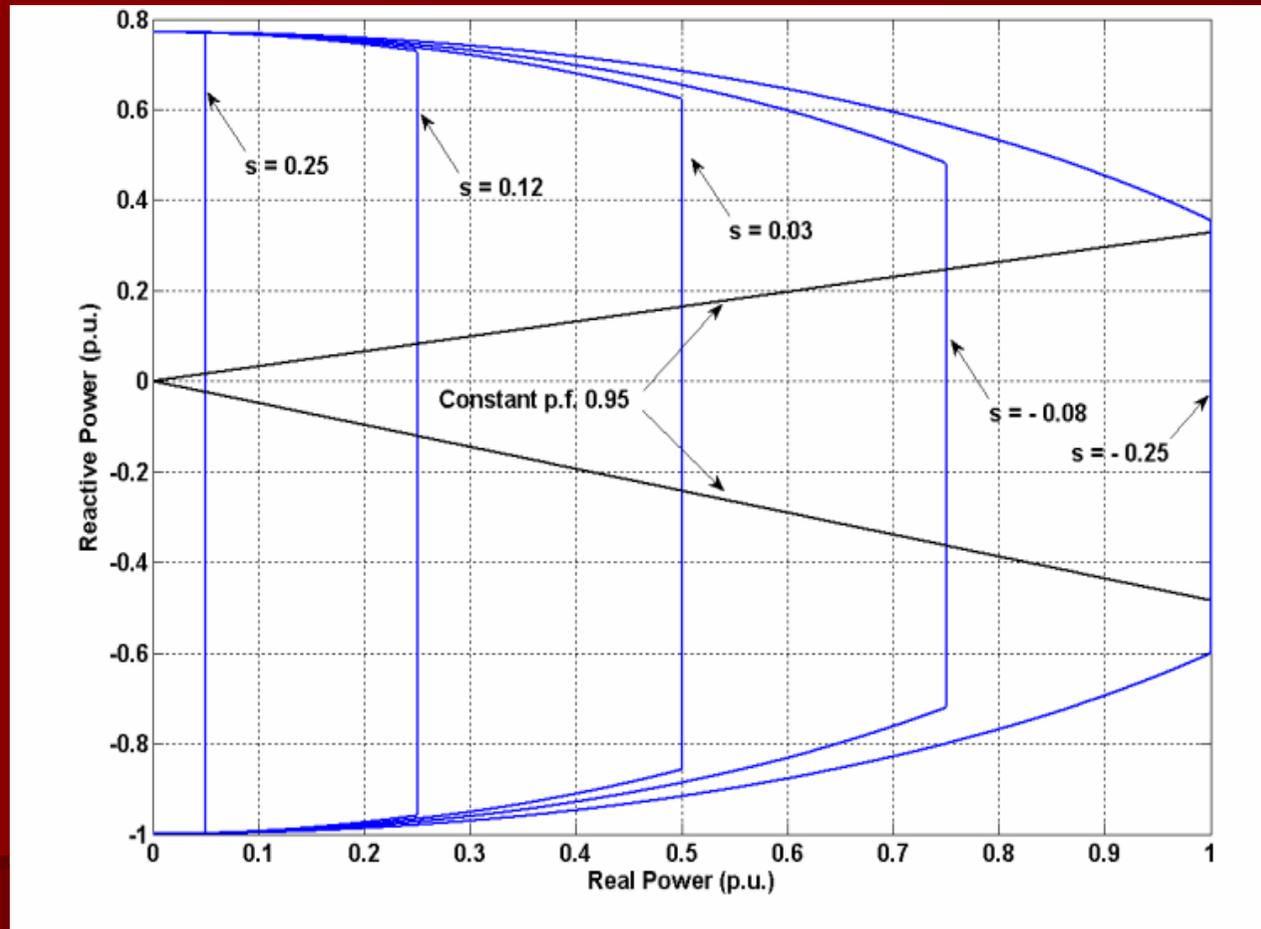
GENERALIDADES SOBRE CURVAS DE CAPABILIDAD DE GENERADORES

Curva de capacidad DFIG
Efecto de la tensión de estator



GENERALIDADES SOBRE CURVAS DE CAPABILIDAD DE GENERADORES

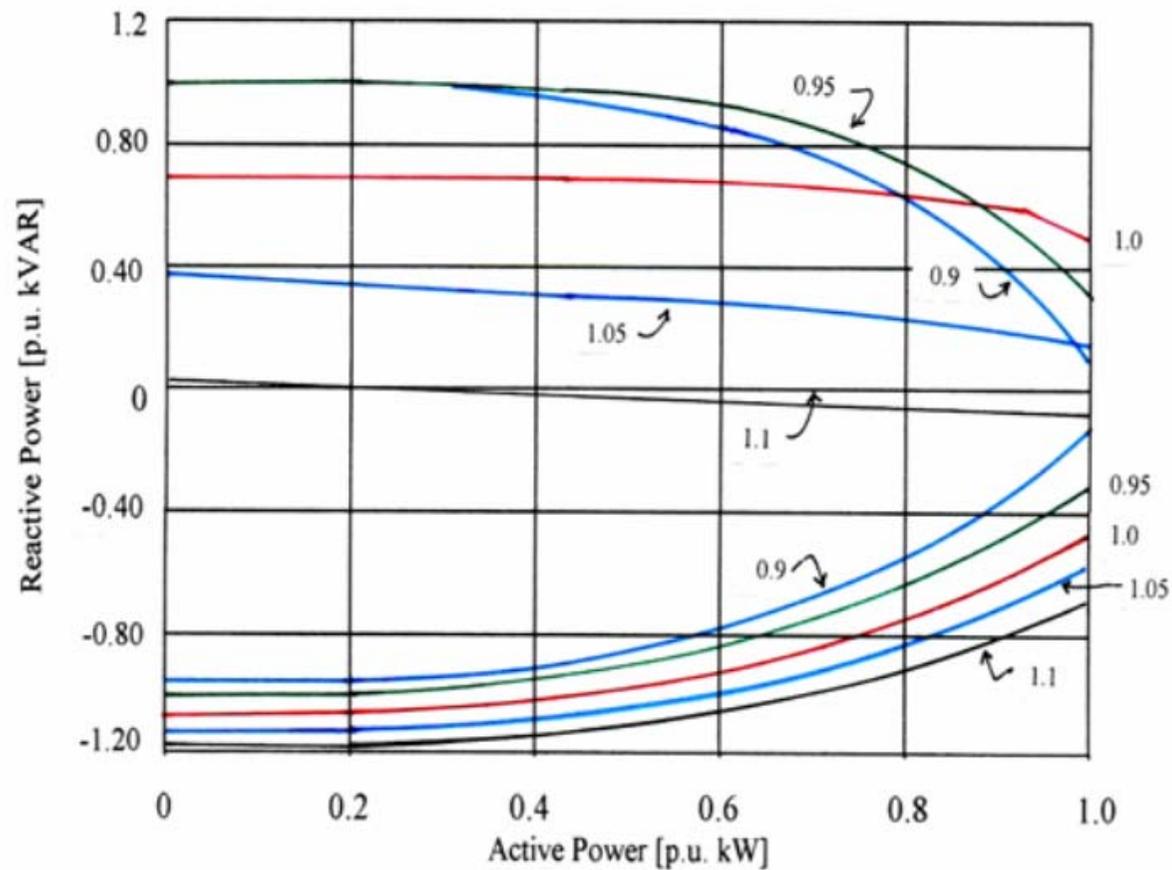
Curva de capacidad DFIG
Efecto del deslizamiento



Básicamente: Φ , $N \cdot i$, $i = V / \omega \cdot L$

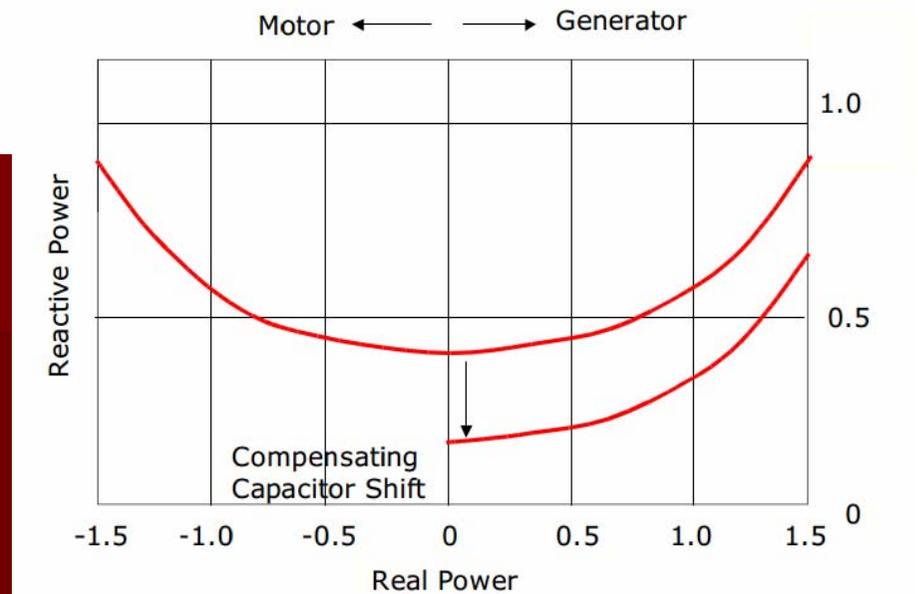
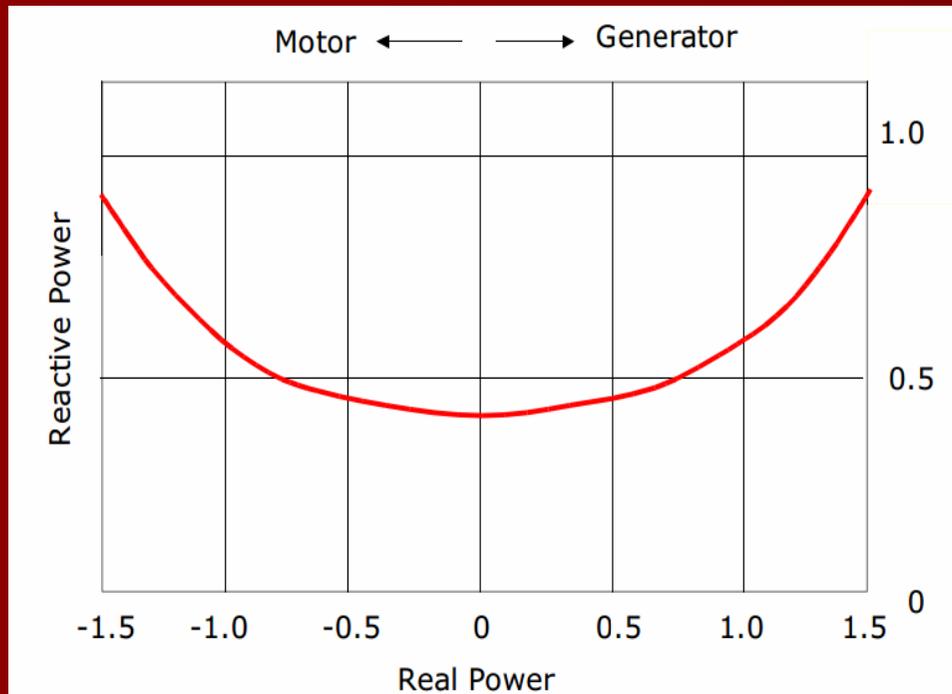
GENERALIDADES SOBRE CURVAS DE CAPABILIDAD DE GENERADORES

Curva de capacidad FULL CONVERTER con GS
Efecto tensión del generador



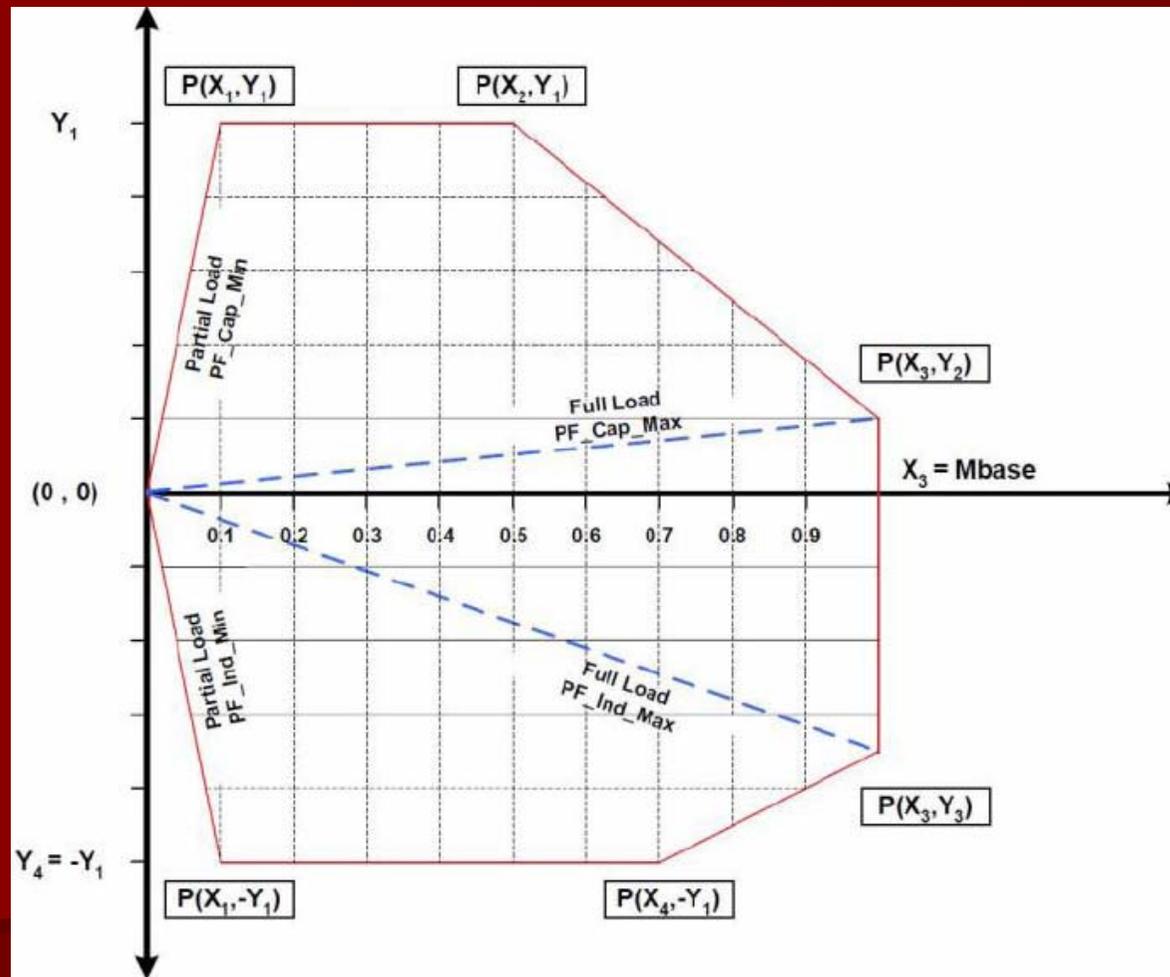
GENERALIDADES SOBRE CURVAS DE CAPABILIDAD DE GENERADORES

Curva de capacidad ??? De una maquina de inducción



GENERALIDADES SOBRE CURVAS DE CAPABILIDAD DE GENERADORES

Carta PQ generica



GENERALIDADES SOBRE CURVAS DE CAPABILIDAD DE GENERADORES

Carta PQ generica

Parameter	Units	V90 3MW VCS/VCRS
Mbase	MW	3.0
[X1, X2, X3, X4]	p.u.	[0.1021, 0.700, 1.0, 0.884]
[Y1, Y2, Y3, Y4]	p.u.	[0.5, 0.203, -0.292,-0.5]
PF_Cap_Max (Full Load)	-	0.98
PF_Ind_Max (Full Load)	-	0.96
PF_Cap_Min (Partial Load)	-	0.2
PF_Ind_Min (Partial Load)	-	0.2

GENERALIDADES SOBRE CURVAS DE CAPABILIDAD DE GENERADORES

