TP Motor de Corriente Continua

Código: TP_MCC

A-702 Control I

E-504 Dinámica de los Sistemas Físicos

1. Objetivos

- Simular un sistema con un grado de realismo tecnológico tal que importe un tratamiento ejemplar para otros casos.
- Visualizar los modelos estáticos del sistema como casos particulares del modelo dinámico, y ver aplicaciones de aquéllos (determinación de puntos de operación y de características estáticas de salida).
- Familiarizarse con los aspectos básicos del arranque de los MCC. Analizar las características dinámicas de los MCC con excitación independiente a través de la SD de su comportamiento en distintas condiciones de operación.
- Apreciar los efectos de la retroalimentación mediante la SD de un MCC en lazo cerrado.

2. Resultados esperados

SD de un MCC con excitación independiente - Respuesta temporal. Influencia sobre el régimen permanente de perturbaciones en T_c , U_a , U_e - SD de un MCC con velocidad controlada y análisis de su funcionamiento.

Informe escrito con resultados y conclusiones.

3. Introducción

3.1. Sistema Físico Idealizado

El diagrama esquemático del MCC con excitación independiente (Fig. 1) consta de dos circuitos galvánicamente independientes: el circuito de excitación o de campo (bobinado del estator) y el circuito de armadura o inducido (bobinado del rotor). La interacción del flujo magnético de excitación en el entrehierro con la corriente establecida en la armadura, produce la conversión de la energía eléctrica en energía mecánica.



Fig. 1

La conversión electromagnético-mecánica de energía responde a las siguientes ecuaciones:

El torque motriz electromagnético: $T_e = Km \Psi_e I_a$

La fuerza contraelectromotriz de rotación, inducida en la armadura: $e = Km \Psi_e \Theta$

TP MCC.doc 26/02/2001 DSF Código: TP MCC Página 1 de 12					
	TP_MCC.doc	26/02/2001	DSF	Código: TP_MCC	Página 1 de 12

donde ψ_e es el flujo total abrazado por el arrollamiento de excitación: ψ_e = N $_e$ ϕ_e ; N $_e$ es

su número de espiras, y ϕ_e es el flujo de excitación por espira.

Seguidamente se brindan los datos de un motor de porte (aproximadamente 150 Kw). La característica magnética del arrollamiento de excitación es la siguiente:



Datos

$U_{an} = 460 V$	$L_a = 3 \text{ mHy}$	$R_a = 0,05 \Omega$
$U_{en} = 184 V$	$R_e = 25,2 \Omega$	$K_{M} = 0,016$
n = 65,44 rad/s	$J_c = 15 \text{ Kgm}^2$	$b_c = 1,1$ Nm seg

3.2 Algunas propiedades (características y limitaciones) importantes a tener en cuenta

Se ha comprobado que el modelo anterior refleja muy bien la dinámica del MCC, adecuándose a las necesidades del diseño de lazos de control de su posición, velocidad y/o torque. No obstante, debe tenerse en cuenta que -a los fines de lograr el sistema físico idealizado dado por el circuito equivalente de la Fig. 1- se han despreciado muchos fenómenos en el proceso de modelado. Estos fenómenos (reacción de armadura -en algunos motores no compensada-, pérdidas en el hierro, corrientes de conmutación en las bobinas cortocircuitadas por el colector, entre otros), conjuntamente con características constructivas físicas y geométricas, imponen límites a los valores de operación en régimen permanente y transitorio de muchas magnitudes eléctricas y mecánicas de la máquina. En lo que sigue se comenta muy brevemente la forma en que algunas de las variables son afectadas, con el <u>objetivo de que haga previsiones para ensayar (simular) el MCC en su región admisible de operación en régimen estacionario, y de que controle -vía observación de su evolución temporal- que los valores transitorios admisibles no sean sobrepasados en los ensayos.</u>

TP_MCC.doc	DSF	Código: TP_MCC	Página 2 de 12

<u>Valores nominales:</u> En general las máquinas son dimensionadas para que puedan ser operadas permanentemente a potencia nominal, la cual está determinada por los límites de la solicitación térmica a que pueden ser sometidas sus diferentes partes, especialmente el colector, las escobillas y la aislación de los arrollamientos. La viabilidad del <u>punto de operación</u> deseado se determina sobre la gráfica "Región Admisible de Operación en RPE" ("capability curves", según su denominación inglesa), de la Fig. 2.



<u>Pico admisible de corriente de armadura</u>: La dinámica térmica de las máquinas permite trabajar por cortos períodos de tiempo con valores de corriente sensiblemente superiores a los nominales sin que se produzcan recalentamientos. El límite al valor de pico está impuesto por los fenómenos asociados a la conmutación. Valores típicos son: **2** I_{an} para máquinas sin, **4** I_{an} para máquinas con arrollamientos de compensación, y hasta **10** I_{an} para servomotores especiales. (téngase en cuenta en la simulación)

<u>Máxima dla/dt admisible</u>: Está dada por limitaciones de la conmutación, y es muy importante en aplicaciones de regulación de velocidad, pues determina la máxima tasa de variación del torque. Valores usuales: **100** I_{an}/s - **300** I_{an}/s . Tener en cuenta que las partes mecánicas deben ser capaces de soportar los torques asociados y sus variaciones.

<u>Máxima aceleración angular</u>: Es igual al cociente "Torque electromagnético máximo / momento de inercia en el eje del motor". Nótese que deben calcularse los momentos de inercia de todas las cargas rígida o estáticamente acopladas al motor, referir cada una de ellas al eje del motor, y luego sumarlas. Para relaciones de reducción grandes, esta suma bien puede aproximarse por el momento de inercia total de la carga realmente rotando a la velocidad del eje. Para motores de media potencia, los valores están alrededor de los 200 rad/s/s (para motores de muy baja potencia se pueden lograr hasta el orden de los 100.000 rad/s/s).

<u>Velocidad de régimen</u>: Hasta velocidad nominal se fija con la tensión de armadura, manteniéndose el flujo de excitación en su valor nominal. Sin regulación de velocidad, - i.e., en lazo abierto- el rango de valores de velocidad de régimen no fluctuantes que se puede lograr está en el orden de *1:30*, es decir, hay limitaciones inferiores en el orden de *1/30* de la velocidad nominal (las limitaciones se deben a la presencia de cuplas de fricción irregulares, y dependen del número de delgas del colector, de la caída de tensión en las escobillas, de aspectos constructivos de los arrollamientos del rotor, etc.).

Con regulación de velocidad es posible alcanzar relaciones del orden de 1:3000. Como no conviene aumentar la tensión de armadura por encima de su valor nominal, se logra

TP_MCC.doc	DSF	Código: TP_MCC	Página 3 de 12

sobrevelocidad en régimen permanente debilitando el campo. Se pueden lograr sobrevelocidades en relaciones del orden de *1:3*. En la Fig. 3 se muestran típicas curvas características estáticas de salida "Torque de carga T_c vs. Ω velocidad angular del motor". Tener en cuenta que los puntos de operación admisibles de esta gráfica están determinados por la Fig. 2.





<u>Frenado eléctrico</u>: El torque electromagnético es proporcional al producto "Flujo de excitación x Corriente de armadura", de manera que un torque de frenado se puede lograr cambiándole el signo a uno de ambos factores. Usualmente lo que se hace es disminuír la tensión de armadura por debajo del valor de la f.c.e.m., lo que tiende a forzar un cambio de signo en la corriente de armadura. Es interesante comparar las curvas $U_a(t)$, e(t), e $I_a(t)$ en un proceso de frenado con control de velocidad en lazo cerrado, por ejemplo frente a una consigna de velocidad como en la Fig. 4. Debe destacarse que deben hacerse previsiones tecnológicas que permitan la circulación de corriente por la fuente de alimentación de la armadura durante el frenado. En la Fig. 5 se muestran los esquemas de algunas soluciones tecnológicas con rectificadores controlados.



Fig. 4



Fig. 5

4. Desarrollo

Más alla de las preparatorias generales (# 4.1), las tareas propuestas en este TP se pueden agrupar según estén orientadas a comprender:

* el modelo estático de la máquina en relación con la determinación de su región admisible de operación y selección de un RPE adecuado a máquina y carga (# 4.2);

* el comportamiento dinámico de la máquina durante el arranque (# 4.3), y frente a perturbaciones de un RPE (# 4.4);

* la incidencia sobre las propiedades estáticas y dinámicas de la máquina de variaciones parámeticas en su modelo (# 4.5); y

* el efecto compensador que tiene la retroalimentación sobre las desviaciones provocadas por las perturbaciones de la carga. (# 4.6)

A D V E R T E N C I A : En esta guía se propone una cantidad muy grande de ensayos o simulaciones digitales. Usualmente no se pueden realizar todas en un turno de laboratorio, **Io que por otra parte no es un objetivo del TP!** Consideramos muy importante realizar exhaustivamente las tareas relacionadas con los RPE de las máquinas, pudiéndose hacer luego una selección representativa de ensayos de arranque (p. ej. -y sólo por ejemplo!-, SD1, SD2 y SD4), de RPE nominal y perturbaciones del mismo (p. ej. SD5 y SD8), más alguna variación paramétrica, y un ensayo de un MCC retroalimentado.

Durante la realización del TP dispondrá de archivos de simulación de sistemas de control de velocidad con diseños realistas como los de equipos comerciales. Por todo ello, la disponibilidad de estos archivos debe considerarse, en general, no más que como una oportunidad de simular un sistema de características realistas de dimensión y complejidad interesantes y, en particular, como una introducción por la vía de la experimentación a las bondades del control por retroalimentación. El estudio general de métodos de control es motivo de asignaturas más avanzadas en la carrera. Las aplicaciones de esos métodos a motores eléctricos en particular, son inclusive objeto de asignaturas especializadas.

Resumiendo la idea de esta <u>advertencia</u>: considere que aquí tiene material disponible para trabajar y aprender. Del mismo no se le exigirá más que una versión reducida consistente en un menú razonable, que puede ajustar en consulta con la cátedra. Pero alentamos a quien quiera trabajar exhaustivamente las propuestas de esta guía: para eso están disponibles todas las consultas y los horarios de consulta de laboratorio, en caso de no alcanzar con el turno estándar de laboratorio.

4.1 *Tareas previas generales !!!*

4.1.1 Realice un DB detallado del MCC representado en la Fig. (1) y de acuerdo a las especificaciones obtenga todos los datos del $\Sigma \phi I$ para una correcta SD.

TP_MCC.doc	DSF	Código: TP_MCC	Página 5 de 12

4.1.2 Haga una estimación inicial de los parámetros de la SD (paso de integración, tiempo total de simulación, rango de excursión de las salidas).

<u>Ayuda</u>: analice las constantes tiempo de los subsistemas de primer orden que componen el DB total.

4.1.3 Determine los valores de régimen para cada ensayo a realizar.

4.1.4 Determine las siguientes funciones de transferencia: $G_1(s) = \omega(s)/U_a(s)$ y $G_2(s) = \omega(s)/T_c(s)$

4.2 El Régimen Permanente Estacionario

4.2.1 Característica estática cupla - velocidad

Las características estáticas son muy útiles para resolver una serie de problemas que van desde la selección de una máquina hasta el cálculo de puntos de operación, pasando por el análisis cualitativo de propiedades de regulación, etc. Son curvas provistas por los fabricantes, caso contrario pueden obtenerse ensayando las máquinas y midiendo valores de régimen permanente (estáticas). En general son familias de curvas donde se representa una salida *Y* vs una entrada *U*, parametrizadas por otra entrada *V*, para valores fijos de las restantes entradas. La dependencia de cada salida de las tres entradas no es otra cosa que la correspondiente ecuación estática del RPE, que se puede obtener del modelo dinámico imponiéndole las condiciones de RPE:

$$\begin{split} \overline{\Psi}_{e} &= h_{e} \left(\overline{U}_{e} \right) \\ \overline{I}_{a} &= \widetilde{h}_{a} \left(\overline{U}_{a}, \overline{U}_{e}, \overline{\tau}_{carga} \right) = h_{a} \left(\overline{U}_{a}, \overline{\Psi}_{e}, \overline{\tau}_{carga} \right) \\ \overline{\omega} &= \widetilde{h}_{m} \left(\overline{U}_{a}, \overline{U}_{e}, \overline{\tau}_{carga} \right) = h_{m} \left(\overline{U}_{a}, \overline{\Psi}_{e}, \overline{\tau}_{carga} \right) \end{split}$$

donde la barra representa valores de régimen.

La característica estática cupla-velocidad que nos interesa es la curva correspondiente a la función h_m , que la representaremos -para $\Psi_e = \Psi_{en}$ fija- como $\Theta = h_{mUa}(\tau_c)$, es decir, como familia de funciones de τ_c parametrizadas por U_a (Fig. 3).

En nuesto caso tenemos:

$$\begin{split} \overline{\Psi}_{e} &= f\left(\overline{I}_{e}\right) = f\left(\frac{\overline{U}_{e}}{R_{e}}\right) = \frac{L_{e}}{R_{e}}\overline{U}_{e} \\ \overline{I}_{a} &= \frac{b}{bR_{a} + K_{m}^{2} \cdot \overline{\Psi}_{e}^{2}} \overline{U}_{a} + \frac{K_{m}\overline{\Psi}_{e}}{bR_{a} + K_{m}^{2} \cdot \overline{\Psi}_{e}^{2}} \overline{\tau}_{c} \\ \overline{\omega} &= \frac{K_{m}\overline{\Psi}_{e}}{bR_{a} + K_{m}^{2} \cdot \overline{\Psi}_{e}^{2}} \overline{U}_{a} - \frac{R_{a}}{bR_{a} + K_{m}^{2} \cdot \overline{\Psi}_{e}^{2}} \overline{\tau}_{c} \end{split}$$

Como tarea previa deduzca las ecuaciones anteriores resolviendo el DB para un RPE genérico y esquematice la familia de curvas de $h_{m\cup a}(\tau_c)$.

TP_MCC.doc	DSF	Código: TP_MCC	Página 6 de 12

Además, mediante el comando FPLOT de MATLAB obtenga la gráfica anterior $\omega = f(\tau_{carga}) \Big|_{Ua=cte}$ para tres valores de **Ua**. Una vez obtenida la gráfica, superpóngale la de la Región Admisible de Operación en RPE del MCC del práctico. Incluya todos estos puntos en el informe.

4.2.2 Característica estática velocidad vs. flujo de excitación

Dado que el flujo se modifica sólo cuando se quiere operar en RPE en la zona de potencia constante (sobrevelocidad), es interesante graficar esta dependencia en las condiciones de tal régimen: Ua = U_{an} e $I_a = I_{an}$. Para esto, la expresión anteriormente usada de la velocidad no es conveniente, ya que en ella aparece el torque de carga (cuyo límite no es constante en función de la velocidad de operación), en vez de la corriente de armadura. En su lugar use la expresión siguiente, que se deduce inmediatamente de la segunda ley de Kirchhoff aplicada al circuito equivalente de armadura:

$$\overline{\omega} = \left(\frac{\overline{U}_a - R_a \overline{I}_a}{K_m \overline{\Psi}_e}\right)$$

y grafíquela mediante un experimento de SD, variando Ψ_e entre algún mínimo y su valor nominal, para distintos valores de I_a (parámetro de la gráfica).

4.2.3 RPE admisibles para diferentes tipos de carga

En la Fig.7 se dan las características estáticas de diferentes tipos de carga. Superpóngales la gráfica de la Región Admisible de Operación en RPE para ubicar los segmentos de dichas curvas admisibles para operación en RPE. Calcule completamente un par de PO para cada una de las curvas (p. ej. uno en la región de cupla constante)



Fig. 7

4.3 Arranque del MCC

TP_MCC.doc	DSF	Código: TP_MCC	Página 7 de 12

Si se alimenta el circuito de armadura habiendo un flujo de excitación muy bajo, el motor tiende a embalarse. Tal excitación baja puede darse aún sin alimentar el circuito eléctrico de campo, debido a un magnetismo remanente en su circuito magnético. Por eso se tiene la precaución de proveer al comando del motor con enclavamientos que permiten alimentar al circuito de armadura recién después de que se ha establecido el régimen de excitación.

Además, si se conecta un escalón de tensión de armadura, en los momentos iniciales se tiene un pico de corriente muy grande en relación a su valor final, ocurriendo lo mismo con el torque motriz eléctrico.

A continuación se proponen tres ensayos. En todos los casos observe y registre los transitorios y los valores finales.

4.3.1 Respuesta a un escalón de alimentación de armadura, con excitación muy baja

Estas SD se proponen para verificar la ocurrencia de los fenómenos anteriores. Aplique en t = 0 las siguientes entradas:

SD1: $T_c = 0$ $U_e = U_{en}$ $U_a = U_{a reg}$

 $U_{a reg}$ tal que $\omega = \omega_n$ (precalcule $U_{a reg}$)

SD2: $T_c = 0$ $U_e = 0.2 U_{en}$ $U_a = U_{a reg}$

En ambos casos observe $\Omega(\cdot)$, $I_a(\cdot)$, $\mathcal{T}_e(\cdot)$ y $\mathcal{V}_e(\cdot)$.

4.3.2 Alimentación de armadura con pleno campo establecido

Esta SD refleja mejor que la SD1 la práctica mencionada de retardar la alimentación de armadura hasta asegurarse de que hay excitación plena.

SD3: $T_c = 0$ $U_e = U_{en}$ $U_a = U_{a reg}$ (idem SD1) con la temporización siguiente:



 T_{ee} : tiempo ligeramente mayor al del pleno establecimiento del régimen permanente de campo. Lleve una estimación del mismo al práctico.

Compare los transitorios con los de SD1 y halle una explicación de lo observado por inspección del DB.

De ahora en más en todos los ensayos conecte siempre el campo T_{ee} segundos antes que cualquier otra entrada.

TP_MCC.doc	DSF	Código: TP_MCC	Página 8 de 12

4.3.3 Respuesta al escalón de campo y rampa de armadura (retardada y limitada)

Con este ensayo se puede ver que se logra una reducción del pico de corriente de armadura, y un mejoramiento general de las respuestas.

SD4: Realícela en las mismas condiciones que las anteriores, a excepción de la tensión de armadura, para la cual proponemos la ley:



Con los resultados de sucesivos ensayos trate de ajustar un T_r "óptimo" (compromiso entre rápido establecimiento de régimen y un limitado pico de I_a)

4.3.4 Conclusiones

Saque conclusiones de las simulaciones e inclúyalas en el informe, junto a los registros realizados. ¿Qué consecuencias negativas ve en los problemas de embalamiento y sobrecorriente / sobretorque eléctrico del motor?

4.4 Perturbaciones del Régimen Permanente Estacionario (a plena carga)

Al esquema anteriormente simulado modelado con fricción y momento de inercia en el eje del motor se acopla una carga que se refiere al mismo eje y se supone (para simplificar) constante por intervalos.

Previo a la SD calcule el torque de carga nominal, que es aquél que junto a U_{an} y U_{en} causa la rotación a velocidad nominal (dato).

4.4.1 Ensayo: Régimen permanente nominal (RPN)

SD5: Suponga la siguiente operación del MCC:

Periodo 1: Idéntico a la SD4 hasta un tiempo t_{f1} en que ya se estableció el régimen permanente.

Periodo 2: En t_{f1} se aumenta en escalón la tensión de armadura hasta alcanzar su valor nominal U_{an} y simultáneamente se aplica un torque de carga igual al nominal. Observe que en el Periodo 2 la variable de estado correspondiente a la excitación

permanece constante por lo que el sistema aparece como de orden $n^* = 2$.

Grafique I_a vs. t, ω vs. t, y el plano de fases ω vs. I_a .

Observe y registre los transitorios y valores finales de la I_a (t) y Ω (t) y compárelos con la trayectoria en el plano de fases.

4.4.2 Perturbaciones en las entradas y desviaciones del régimen nominal.

Es interesante observar cómo se altera el régimen permanente cuando se desvían los valores de las tres entradas.

Realice los siguientes tres pares de ensayos a partir del MCC en RPN:

SD6: escalones $\Delta U_a = \pm 0.2 U_{an}$

|--|

SD7: escalones $\Delta U_e = \pm 0.7 U_{en}$

SD8: escalones $\Delta Tc = \pm 0.5 T_{cn}$

En cada uno de los casos las otras dos entradas quedan fijas en sus valores nominales. En todos los casos observe la forma de los transitorios y la forma y magnitud del cambio del régimen permanente de la velocidad ω_n y de la corriente de armadura I_a . Observe toda otra variable que le interese.

En los casos en que por las características del ensayo el orden del modelo aparezca como $n^* = 2$, grafique las trayectorias en el correspondiente plano de fases y compárelas con las curvas de respuesta temporal de las variables.

4.4.3 Conclusiones

En el informe escriba las conclusiones de los ensayos anteriores apoyándose en las gráficas obtenidas. Incluya la fundamentación de la aparente reducción del orden a n*=2 en ciertas condiciones de operación.

Note que en ciertos ensayos (¿CUALES?) el sistema se comporta como si fuera lineal. Explíquelo. Los pares de ensayos "lineales" tienen una característica intrínseca común que no comparte el ensayo "alineal". ¿CUAL ES? ¿POR QUE? (para cada par compare la curva del incremento positivo con la del negativo.

4.5 Variaciones estáticas y dinámicas por modificación de parámetros

El archivo matlab *mccvp.mdl* es un script que calcula y grafica los polos y ceros de las FTs

 $G_1(s) = \omega(s)/U_a(s)$ y $G_2(s) = \omega(s)/T_c(s)$ para variaciones de los parámetros de las mismas. Al ejecutar el script, el mismo solicita los valores nominales de los parámetros del motor y los límites de variación de los mismos. Dichos límites establecen una variación porcentual con respecto al valor nominal de los parámetros. Luego se grafican en el plano complejo los polos y los ceros de sendas FTs para la variación porcentual de parámetros deseada. En base a los resultados arrojados por el script *mccvp.mdl*, extraiga conclusiones sobre la respuesta temporal. Además establezca algunas de las causas por las cuales se pueden producir dichas variaciones.

4.6 Ensayos con distintos tipos de cargas

La cátedra proveera un bloque simulink que permite la simulacion de diferentes tipos de cargas. Dicho bloque se caracteriza por generar a su salida caracteristicas de torque de carga en función de la velocidad del rotor similares a la de la figura 7.



Realice algún par de ensayos de su elección con algunas cargas. En el laboratorio se explicará cómo parametrizar el bloque simulink *Static loads*.

4.7 Regulación de velocidad por tensión de armadura

TP_MCC.doc	DSF	Código: TP_MCC	Página 10 de 12

Supóngase que la máquina está trabajando en un RPE, digamos el nominal. Como se vio en #4.4, perturbaciones (permanentes) en las entradas provocan desviaciones (permanentes) en las salidas. Por ejemplo, una perturbación en el torque de carga produce una desviación del valor del régimen de la velocidad. Esto es indeseable si se tiene al MCC en una aplicación donde es importante mantener lo más constante posible la velocidad de rotación. Como el torque de carga es dado e inmanejable - y en la práctica siempre varía - hay que buscar una forma de compensar su efecto perjudicial. Como se vio en #4.4, variaciones en las otras dos entradas U_a y U_e , también provocan

desviaciones en Ω . Como ambas tensiones son manipulables se pueden modificar para contrarrestar el efecto del torque de carga. Por esta razón a las entradas U_a y U_e se las

designa como señales de control y a τ_c como perturbación.

Si bien es posible un control combinado por armadura y campo, ello sólo es necesario para alcanzar velocidades por encima de la nominal. Aquí proponemos un esquema de control automático por tensión de armadura con retroalimentación de velocidad, y un lazo interno de retroalimentación de corriente de armadura, Fig.8. Este esquema es muy común en sistemas de control usados en la práctica, donde además se agregan elementos limitadores de excursión de las variables del controlador, aquí no representados.

En las fotocopias anexas pueden verse diferentes esquemas y circuitos de control aplicables a un MCC. A quien tenga interés en perseguir el tema se le recomienda el libro [4].



La cátedra proveerá un archivo simulink con el esquema de control propuesto.

Sugerimos dos ensayos:

TP_MCC.doc	DSF	Código: TP_MCC	Página 11 de 12

En el primero lleve la máquina en vacío hasta la velocidad nominal mediante alguna consigna de referencia (una rampa limitada, y escalón p. ej.), una vez allí aplique la carga nominal, y -luego de establecido nuevamente el RPE- aplique perturbaciones positivas y negativas de torque, como en SD8. Compare las evoluciones de las variables con ésta, y simulaciones anteriores pertinentes.

5. Requisitos para la realización del TP

Concurra al TP con todas las tareas previas resueltas, es recomendable además consultar el material de clase relacionado y las referencias que se detallan. Tome la precaución de documentar las conclusiones sobre cada punto del TP durante el desarrollo del mismo.

6. Referencias

[1] OGATA, K., "Ingenieria de Control Moderna", Prentice-Hall Internacional, Madrid, 1974, (Biblioteca Central, FCElyA)

[2] OGATA, K., "Dinámica de Sistemas", Prentice-Hall Hispanoamericana, Madrid, 1974, (Biblioteca Central, FCElyA)

[3] KUO, B., "Sistemas Automáticos de Control", C.E.C.S.A, Madrid, 1970 (Biblioteca Central)

[4] LEONHARD, W., "Control of Electrical Drives", Springer-Verlag, Berlin-New York, 1985. (Cátedra de DSF).

[5] ERDMAN, William L., "Dynamic Braking of DC Machines: A Mathematical Approach", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol IA-19, No. 3, May/June 1983, pp.388-392.

DSF