

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la U. N. L.



ASOCIACION MEXICANA DE INGENIEROS MECANICOS Y ELECTRICISTAS, A. C.

SEMINARIO DE ING. MECANICA

Ponencia:

ESTUDIO ANALITICO DEL CONTROL DE VELOCIDAD MEDIANTE GOBERNADOR ISOCRONO.

ION GENERAL DE BIBLIOTEC.

1055

Monterrey, N.L. Agosto de 1967. Presentada por: ING. MIGUEL GABINO PEREZ ING. JESUS LEAL MACIAS







UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la U. N. L.

ASOCIACION MEXICANA DE INGENIEROS MECANICOS Y ELECTRICISTAS, A. C.

bet Note Aslanamaria

SEMINARIO DE ING. MECANICA

Ponencia:

ESTUDIO ANALITICO CONTROL DE DEL VELOCIDAD MEDIANTE **GOBERNADOR ISOCRONO.**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE DIRECCIÓN GENERAL DE Water .

Monterrey, N.L. Agosto de 1967.

ING. MIGUEL GABINO PEREZ ING. JESUS LEAL MACIAS

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA *ALFONSO REVES



1.25



Capilla Alfonsina Biblioteca Universitaria UNIVER DITAGE 51235

05936

Presentada por:



TJ1055

ALERE FLAMMAM

Facultad de Ingenieria Mecánica y Electric de la U. N. L.

ASOCIADON MEXICANA DE INGE

SEMINAR



CAPITULO

III

INCRODUCCEON

menera sistematile posible at Countrille analitico de un gobare INTRODUCCION en terminadoria de sonteni, deriver la 1 I DERIVACION ANALITICA DEL DIAGRAMA DE BLOCK DEL SISTEMA De antemano solarenos que para 1.1 Nota Aclaratoria adente son accesarios cono 1.2 Análisis ol, a saber, noción de tran ANALISIS DEL DOMINIO DEL T II 2.1 Análisis del Dominio 2.2 Lugar Geométrico de 1 2.3 Análisis de Estado Es 2.4 Características de la 2.5 Respuesta Transitoria Señal de Referencia 2.6 Respuesta Transitoria

meaned eac Perturbación

RESPUESTA DE FRECUENCIA 3.1 Respuesta de Frecuenc carchen 3.2 Análisis de Estabilid

APLICACION DEL ANALISIS A IV 4.1 Valores de los Paráme

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

DIRECCIÓN GENERA

ei houamhagas

ERSIDAD AUT

GUTES

Presentadæ por: ING. MIGUEL GAI ING. JESUS LEAL

FONDO UNIVER I PALIN

ADDARDA LINED ADDRESS NATURA

Monterrey, N. L.

gosto de 1967.

PAGINA

3

Le someronaión de cete t	20.2
intentite alemantales de t	2
forendi de Laplaco, Line	4
and the second of the	
IEMPO	14
del Tiempo	14
as Raices	14
table rias as todavia vi	18
Respuesta Transitoria	19
ante un Cambio en la	
reportentes reliented	19
ante un Cambio en la	
	21
10 x 77	
FEON	24
ia Dop primera	24
ad pentionen in man	29
IN CASO PARTICULAR	33
De at as printer un fait	
nelded he avtere controll	
and the second of	35
	ê Çe
	37
	Re 2. 1 1

INTRODUCCION

El propósito fundamental de este estudio es mostrar de la manera más sencilla posible el desarrollo analítico de un gobernador ISOCRONO; dicho en terminologia de control, derivar la función de transferencia del sistema analizado.

- 1 -

De antemano eclaramos que para la comprensión de este trabajo sólamente son necesarios conocimientos elementales de teoría de control, a saber, noción de transformada de Laplace, linearización de ecuaciones, criterios de estabilidad, posición de raíces, respuesta de frecuencia, etc.

Hablemos ahora un poco sobre gobernadores. El sencillo gobernador mecánico de Watt de masas giratorias es todavía el corazón de muchos sistemas de control de velocidad. Su construcción relativamente sencilla, su viabilidad y su bajo costo lo han mantenido; pese a los grandes y atropellantes adelantos de nuestra época actual, en un puesto muy privilegiado de popularidad dentro de los medios más efectivos de control de velocidad.

Todos los gobernadores caen dentro de dos grandes clasificaciones, los ISOCRONOS y los NO-ISOCRONOS. Los primeros tienen como característica principal el que mantienen la máquina prima a velocidad constante (en estado estable) independientemente de los cambios de carga; explicando mejor, si se genera un cambio en la carga de la máquina cuya velocidad se quiere controlar, se producirá un transitorio cuyas características, desde el punto de vista de controles, están determinadas por el denominedor

UNIVERSIDAD AUTÓN

2.6 Respissio Swamstateia arte un Cambio en la

83

habilidajul ob stullânt S-E

L Valores de los Parfastros

INDISUISTICS I CONCLUSION

TELSECTION.

NOIDAVISZU

111/27

1.1

Sef

1.5

415

ETATAYA.

El frepósito festamentes de este estado es soltetes de la maners and concella pontain of day optobio tobset andana ob aðsat ches oligenvirules note and iofinidat nad THE STAR SOOT ADDITED TO BE BE THE TO STAR DO dad dantra de los medros mol en mineb bab -ROMONODER-ON NOT 1 ROMON OF RO-RECONSTRUCTOR entering al persioned out is indemine polisivetourse ones 105 combine R& outers explored anticipy and

on la carga de la minutat avre velocided de quiere contralar. Anime is those prophetication action of the desired an introduction of to de state de gog esteril. dete detender al denominador de la función de transferencia del sistema analizado, esto es, exclusivamente por la funcion característica. Durante este transitorio si habrá variaciones en la velocidad, sin embargo, una vez que el mismo ha muerto, la velocidad de la máquina será la misma que la que existía anterior al cambio de carga. Para los gobernadores NO-ISOCRONOS la situación es diferente, o sea, un aumento de carga acarrea una disminución en la velocidad, o a la inversa.

Aunque dentro de estas dos grandes clasificaciones de gobernadores podemos diferenciar un sinúmero de arreglos mecánicos o eléctricos, es imposible pretender un análisis general de todos ellos; razón por la cual limitamos este estudio al gobernador Isócrono mostrado esquemáticamente en la Figura 1.

CAPITULO I

1 .- DERIVACION ANALITICA DEL DIAGRAMA DE BLOCK DEL SISTEMA. Como se verá más adelante el sistema analizado es un sistema de control tipo integral, o sea que en el denominador de la función de transferencia se tiene una "s" con exponente 1, razón misma por lo que resulta insensible a cambios de carga en estado estable y que es precisamente lo que le da el carácter de Isócrono.

1.1 -- NOTA ACLARATORIA

Con objeto de evitar repeticiones inútiles durante el análisis de nuestro sistema conviene aclarar que para todas las linearizaciones en las funciones utilizadas se echó mano del método

El frepósito festamentes de este estado es soltetes de la maners and concella pontain of day optobio tobset andana ob aðsat ches oligenvirules note and iofinidat nad THE STAR SOOT ADDITED TO BE THE TO STAR TO ADDITED dad dantra de los medros mol en mineb bab -ROMONODER-ON NOT 1 ROMON OF RO-RECONSTRUCTOR entering al persioned out is indemine polisivetourse ones 105 combine R& outers explored anticipy and

on la carga de la minutat avre velocided de quiere contralar. Anime is those prophetication action of the desired an introduction of to de state de gog esterile dete dete destructes por el denominador de la función de transferencia del sistema analizado, esto es, exclusivamente por la funcion característica. Durante este transitorio si habrá variaciones en la velocidad, sin embargo, una vez que el mismo ha muerto, la velocidad de la máquina será la misma que la que existía anterior al cambio de carga. Para los gobernadores NO-ISOCRONOS la situación es diferente, o sea, un aumento de carga acarrea una disminución en la velocidad, o a la inversa.

Aunque dentro de estas dos grandes clasificaciones de gobernadores podemos diferenciar un sinúmero de arreglos mecánicos o eléctricos, es imposible pretender un análisis general de todos ellos; razón por la cual limitamos este estudio al gobernador Isócrono mostrado esquemáticamente en la Figura 1.

CAPITULO I

1 .- DERIVACION ANALITICA DEL DIAGRAMA DE BLOCK DEL SISTEMA. Como se verá más adelante el sistema analizado es un sistema de control tipo integral, o sea que en el denominador de la función de transferencia se tiene una "s" con exponente 1, razón misma por lo que resulta insensible a cambios de carga en estado estable y que es precisamente lo que le da el carácter de Isócrono.

1.1 -- NOTA ACLARATORIA

Con objeto de evitar repeticiones inútiles durante el análisis de nuestro sistema conviene aclarar que para todas las linearizaciones en las funciones utilizadas se echó mano del método

de la femerie de erappierentele del electron amiliando, neto de, exclusivamente per la fantion entectrificiate invante este transitorio al habré verievione en la velocided, sia embergo, una



de las tangentes; además, dado que, como mencionábamos en la introducción, todo sistema está caracterizado de pleno por su función característica (denominador de la función de transferencia) y en virtud de que esta función no depende de las condiciones iniciales del mismo sistema, cada vez que venga al caso, estas condiciones iniciales se supondrán iguales a cero; además las funciones transformadas al dominio de Laplace se indican testadas.

- 3 -



UNIVERSIDAD AUTÓN

DIRECCION GENERA

AIRCEARAGOA ATOR -++ F.F

Con ebjete de évicie repetieiones inútiles durante al mailiste de manitro blatere bourdene acterer que para todas les limentanoiones en les functores utilizades es enté mono del mitodo

FIGURA 1 SISTEMA ANALIZADO

and anto 2 of Ush Jun-

STILLS DEBUDDLE

de las tingelestit stating, dade que, come mendenhanne en la Lutroducoién, sodo misteau está caracterizado de pieno por eu funalon estadorighter (denostateder de la fonción de trausferencia) y an aterded on the same the

VERTATIS

with BAJE

state del state its

1.2.- ANALISIS

Para la derivación del diagrama de block del sistema, que es al fin de cuentas lo que realmente debe interesarnos desde el punto de viste de controles ya que esto es lo que nos definirá al sistema tanto en su estado transitorio como en su estado estable, se emplearon ecuaciones elementales de dinámica que aunque no sean todas ellas lineales, se procedió a su linearización alrededor de un punto de operación según se indicó en el inciso 1.1 .

Parte de las ecuaciones que definen a nuestro sistema son: El desplazamiento Z es una función 1 -- Z = f(Na) de la velocidad deseada.

2 .- Fs = Ks (Z-X)

3 -- DR=CRAX

La fuerza generada por el resorte es proporcional al desplazamiento neto del mismo (Z-X)

Por la geometría del sistema se ve fácilmente que un incremento en R(AR) es proporcional a uno en X (AX)

Aislando en cuerpo libre las masas giratorias se tiene la

Figura 2.

P ARUSTE

DIRE

1.2. ANALISIS Para la depirection del disgrama da block del sistema, que es al fin de quobin 16 que realocate debe interesernos desde el panto de vizir de control ab (ddad amorels Is table, as anglest abod name on ono VER TATES alrededor de un 1.1 Parts di 2.m. 83 = 1/3 /

X (AZ)

V 88 5

R Fs/2

6 er

FIGURA 2

De aqui se tiene que: La fuerza centrífuga en virtud del movimiento angular será

 $F_c = 2MRW^2$ 4 .-

Asumiendo, como usualmente acontece, que el gobernador está engranado a la flecha de salida.

5 .- W = Cg 21 Ns C_{g} = Relación de engranes

nes por minuto

DIR es tisse in

Ken ARology

Efectuando momentos sobre el pivote "m".

Febsend= Es a send

MASA M" Fc/2

3 x & 29. 224091

- 5 -

DIAGRAMA DE FUERZAS DE UNA MASA GIRATORIA.

Ns = Velocidad de la flecha de salida en revolucio-



ERSIDA

engriando a la flocha de enlida.

Statuand position source al pivate "o".

to been at the a sen of

Astalebdo, cobo unual

44- For EM

7.2. $\overline{\Delta F_5} = C_3 \overline{\Delta R} + C_4 \overline{\Delta N_5}$ $C_3 = \frac{\partial F_s}{\partial R} |_{op} = C_F C_R M N_o^2$ Velocidad de la fleche de salida en revolucio-CA = dFs / op = 2 CF CE MRONO

> Manipulando ecuaciones 2.a, 3.a, y 7.a 8.a. $\Delta \overline{X} = \frac{K_s \ \Delta \overline{Z} - C_s \ \Delta N_s}{K_s - C_s \ C_s}$

De aquí que:.

6.- Fs = CRFc

 $Ce = \frac{b}{a}$

Como resultado de las ecuaciones 4, 5 y 6 se tiene:

7 .= Fs = Ce Cr MRNs2 $C_F = 2 \left(\frac{2\pi}{60} C_g\right)^2$

Transformando y linearizando alrededor de un punto de operación cualquiera las ecuaciones 1, 2, 3 y 7

- 6 -

1.a. AZ = C2 ANE $C_2 = \frac{\partial Z}{\partial N_E} | op$

2. R. - AFS = KS (AZ - AX)

3.a. DR = CRAX

e 13 e ... oup hupe of 6- F3 = 6213 See. 2 7.0 6 fano màlost - Charl That AR = Each

Tomat AR = Q AR + Co ANG Bear - AV = Ma dia - Ce ditte

De las ecuaciones 1.a y 8.a establecemos el primer diagrama

- 7 -

de block parcial.

 $\Delta N\varepsilon$ Ks

FIGURA 3 DIAGRAMA DE BLOCK PARCIAL DEL SISTEMA

Analicemos ahora la válvula de combustible.

En ésta el flujo de combustible Q, como en cualquier otra válvula, depende tanto de la apertura (Y) como de la caída de presión a través de la misma; no obstante, bajo el supuesto de que la presión antes de la válvula (presión de suministro) es constante y de que las variaciones de presión después de ésta son despreciables al pasar el sistema de una condición de operación a otra, se concluye que el cambio neto de presión es razonablemente constante, lo que lleva a la simplificación de que el gasto es únicamente función de la apertura, esto es:

9.- Q=f(Y)

Ahora bien, la velocidad de salida de la máquina (Ns) se conoce está en función del gasto (Q) del combustible, del par so-

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA "ALFONSO REYES"



AX

059365

bre la maquina (7), pero además depende también (y en algunos casos con gran influencia) de la dinámica propia del proceso como pudiese ser retrasos en el transporte de la señal, efectos de la combustión de la máquina, etc., estos efectos pudieran ser expresados (si no se supone oscilatorio el proceso) por un término de primer orden, que en el dominio de Laplace se representaria como

1+15

Sin embargo, según se estableció anteriormente, este término de retraso depende directamente de la dinámica del proceso y dado que este análisis tiene carácter particular, se asumirá que la constante de tiempo más importante es la que depende de la inercia de la carga con todas sus reservas. Al final de este análisis se comentará de una forma general el efecto neto que produciria la introducción de este término de atraso en la respuesta del sistema.

De esta forma queda:

 $10.-N_{s}=f(Q,T)$

Despreciando perdidas, el par sobre la máquina está dado como $T = 7_L + \frac{2\pi}{60} \int \frac{dN_s}{dt}$

Donde:

Te = Par de carga

11.- T=T_+ 2TT J dNs

J = Momento de inercia de la máquina.

Do las sourcionen las y Sau cotablecanos el primer disgrada



a otra, se concluye gue el rasicio nello de presión es ranotable-

mente constante, le que liero e la sinvillimentan de que el gan-

Ahara bieb, In welcoided de valida de la constant /// ee con

RECONCERT

so sandlogialy and sub as y stars

AIRLYTHRAVIND ADRIVILIAIR

Lincarizando y transformando ecuaciones 9, 10 y 11

9.2.-
$$\overline{\Delta Q} = C_6 \overline{\Delta Y}$$

 $C_6 = \frac{\partial Q}{\partial Y} \Big|_{op}$
10.2.- $\overline{\Delta Ns} = C_5 \overline{\Delta Q} - C_7 \overline{\Delta T}$
 $C_5 = \frac{\partial N_5}{\partial Q} \Big|_{op}$
 $C_7 = \frac{\partial N_5}{\partial T} \Big|_{op}$

11.a.
$$\overline{\Delta T} = \overline{\Delta T_2} + \frac{2\pi}{60} \int 5 \overline{\Delta N}$$

De las ecuaciones 10.a y 11.a tenemos

$$2.a. - \Delta N_5 = \frac{C_5}{1+T_25} \left(\Delta Q - C_8 \right)$$
$$T_2 = \frac{277}{60} G J$$
$$\frac{2}{N_5}$$

C8 =-

AY GENERA DIRECCION

FIGURA 4

 C_8

DIAGRAMA DE BLOCK PARCIAL DEL SISTEMA

bre la maquina (Z), pero adumin dependo también (y en ulgunos casós con gran influencia) de la dinúmica propia del proceso cono pudiese mer retrador en el transporte de la meñal, efectos do la combuntión de la méguina.

- 8 -

presedos (at no se auto a arte initial il america por un ternino Carlaria con de primer drided, qu'a en ALERE FLAMMAN VERITATIS as ast black the set Sin ember. Second all de retraso departe directan que este análisis tiene Bullingas hauth day stempt of indust 29).500 A GETTE TON LOLAND B serves. Al Enal de este and yet SI 8 4 questará de une formi miniral al efecto seto cue 12 08853A testimette Asl statents 10 - 10 = f(0, T)

🗸 = Monento de instala de la sáquina.

A + Far de carga

La razón del signo negativo obedece a que la velocidad aumenta al disminuir el par y a la inversa.

Vs

ATZ)

El diagrama de block resultado de las ecuaciones 9.a y 12.a es ANS <u>Cs</u> 1+T25

AT2

Estudiemos ahora la válvula del servomotor



FIGURA 5

VALVULA DE CUATRO PASOS DEL SERVOMOTOR

De la ecuación de continuidad

 $V = \frac{dY}{df} = \frac{Q_1}{A} = \frac{Q_2}{A_2}$

15 = 27 SJ

Seen do - Co dy

10+2+ - ANG

A rasel

De las stud

12000 - ANS = 7

Q2 = 28

El disgrama de block resultado de las ecuaciones 9.a y 12.a ou

Lincortizando y transformado scanciones.9, 10 y 11

ALERE FLAMMAM VERITATIS





DIADRAMA DE ULCON PAROIAL DES SIGTEMA

Y de la ecuación de flujo para el caso de un orificio de pa-

redes angulosas

DE

 $Q = C_d W X \sqrt{\frac{2q}{p}} \Delta P = K_d X \sqrt{\Delta P}$

Donde:

 $K_d = C_d W \sqrt{\frac{2}{p}}$

Q = Flujo a través de la válvula

Cd = Coeficiente de descarga (considerado constante)

WX = Area del puerto donde:

W= Circunferencia

X= Longitud de la apertura

P= Densidad del fluído

9 = Constante gravitacional

AP= Diferencia de presiones en la válvula

Se llega a:

13.- $\frac{dV}{dt} = \frac{Q_i}{A_i} = \frac{K_d X}{A_i} \sqrt{P_s - P_i}$ 14. - $\frac{dy}{dt} = \frac{Q_i}{A_i} = \frac{K_d X}{A_i} \sqrt{P_i}$ 15.- $\frac{dY}{dt} = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{K_dX}{A_2} \sqrt{P_2}$ 16.- $\frac{dY}{dt} = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{KdX}{A_2} \sqrt{P_s - P_2}$

Se conoce además que la fuerza resultante sobre el pistón

es:

 $17 - F = P_1 A_1 - P_2 A_2$

De las ecuaciones 13, 15 y 17

 $18.-\frac{dY}{dt} = KdX \sqrt{\frac{P_{3}A_{1}-F}{A_{1}^{3}+A_{2}^{3}}}$

Estudience abore la valutie del servonotor



- OT

Y de la sopación de flujo para al caus de un orificio de pa-

 $R_0 = C_0 N$

X>0 X<O X>0 X<O

X70

Cre Costiciente de Gescorge (considerado constante)

- 17. 4



4-24

5 × X

16.- 11 - 21

18.- 11 = Rall A. + A.

185

De forma análoga llegamos a:

$$19 - \frac{A.Y}{A.t} = K_d X \sqrt{\frac{P_s A_2 + F}{A_i^3 + A_2^3}}$$

del pistón $\left(\frac{dY}{dt}\right)$ es función tanto del desplazamiento X como de la fuerza F sobre el mismo; por lo que linearizando y transformando tenemos:

$$\overline{\Delta Y} = -\frac{K_2 \,\overline{\Delta X} - K_3 \,\overline{\Delta F}}{S}$$

Donde las constantes K_2 y K_3 son como sigue



Para X<0

 $K_{2} = \frac{J\left(\frac{dY}{dt}\right)}{dX} |_{op} = K_{d} \sqrt{\frac{P_{s}A_{2} + F}{A_{s}^{3} + A_{2}^{3}}} |_{op}$ $-K_{3} = \frac{\partial \left(\frac{dY}{dt}\right)}{\partial F}\Big|_{op} = \frac{K_{dX}}{2} \sqrt{\frac{A_{i}^{3} + A_{2}^{3}}{P_{3}A_{2} + F}}\Big|_{op}$

Tomando como punto de operación X=0 (observar que K_3 se ha-

ce igual a cero) se llega al fian a la ecuación

20.a. $\Delta \overline{Y} = \frac{K_2 \ \Delta \overline{X}}{5}$

Con la ecuación 20.a llegamos a nuestro último diagrama par-

cial del sistema

Tanto de la ecuación 18 como de la 19 se ve que la velocidad

- 13 -S GAPTING IT-Do forma aniloga llegamos er 1900 AT = Karly APARA <u>K2</u> 5 AY_ oue la velocidad Tanto de la eduloión al ob case and so (2) as they is DERENTO? APAT fueres / sobre FIGURA 6 ALERE FLAMMAM DIAGRAMA DE BLOCK DEL SERVOMOTOR Langand IV ERSID Integrando los diagramas parciales (figuras 3, 4 y 6) se llega al diagrama de block del sistema. C3 XCO Para. 5 KsC co igual a core as liege al fian a la sevanión $K_1 = \frac{K_2 C_6}{K_5 - C_R C_3}$ NERA FIGURA 7 den la deasetén 20.a llejanes a muestro último diagrama par-DIAGRAMA DE BLOCK DEL SISTEMA. wish dol wisters



CAPITULO II

2.1-ANALISIS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO.

En forma general el diagrama de block del sistema es el si-

guiente.



FIGURA 8

FORMA GENERAL DEL DIAGRAMA DE BLOCK DEL SISTEMA.

De éste se tiene:

21.2. $\overline{\Delta Ns} = \frac{G_1 G_2 \ \overline{\Delta Ns}}{J + G_1 G_2 H} - \frac{G_1 G_3 \ \overline{\Delta T_L}}{I + G_1 G_2 H}$

En función de los parámetros, la ecuación 21.a queda:

21.a. $\overline{\Delta N_{5}} = \frac{(K_{1}, K_{5}, C_{2}, C_{5}|T_{2})\overline{\Delta N_{5}}}{S_{1}^{2} - \frac{S(C_{8}, C_{5}|T_{2})\overline{\Delta T_{1}}}{T_{2}} - \frac{S(C_{8}, C_{5}|T_{2})\overline{\Delta T_{1}}}{S_{1}^{2} + \frac{K_{1}, C_{5}, C_{4}}{T_{2}}}$

Como puede verse el sistema es de segundo órden

2.2-LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES.

La función de transferencia de circuito abierto se define

como:

DIRECCIÓN TIGUEA ?

lioga al dies

- 27 -

VERSIDA

ATL

ANS $G_2(s)$

 (\mathbf{R})

IT CLEITELO

- 41 -

2.3- AVALISIS EN EL DOMINIO DEL TIENPO.



 $G_1G_2H = \frac{K_1K_5C_2C_5}{S(1+T_2S)}C_4$

La sensibilidad de circuito abierto es

____K = K. K. S C2 C3 C4

La ecuación característica del sistema es:

Luego

 $-K = 5\left(\frac{1}{T_2} + 5\right)$

En forma polar la ecuación anterior queda como

(15/ (15+ 1/ (02)=K (180°+ k 360°

Seguidamente establecemos las condiciones para definir la posición de las raíces.

Condición de magnitud.

 $|s||s + \frac{1}{T_2}| = K$

Condición de ángulo

-\$, + \$\$_2 = 180° ± \$ 360°

Angulo de las asíntotas

 $22.- 4 = \frac{180^{\circ} \pm 360}{n-m}$

Donde:

arque el durale armeria, bésténdous m = Número de ceros

> = Número de polos

2.2-LUGAR GEOMETRICO DE LAS FRICES.

10000

27+0+ 416= 52 5 + 44

La función de transferencia de circuito abiento se define

E 22 . 22

depito on

- 15 -

(R



Condición de ungai tuda

22 - 2 = 180 232.0

6+ 40 = 100° 2 A 360°

By a Minero da ceros

solon ab oremili = %

Luego

$$x = \frac{180 \pm k360}{2} = \pm 90^{\circ}$$

- 16 -

Corce con el eje real de las asintotas

23.-
$$\int c = \frac{\oint P_{0205} G_1 G_2 H - \oint}{n - m}$$

 $\int c = \frac{0 - \frac{f_2}{F_2} - 0}{2 - 0} = -\frac{1}{2T_2}$

155

.



FIGURA 9 LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES EN EL PLANO COMPLEJO

Según se observa del trazo, no hay posibilidad de que el sistema sea inestable pues no podrá existir nunca una raíz del lado derecho del plano complejo. De lo mismo se puede ver que si va aumentando la sensibilidad de circuito abierto (K), la razón de amortiguamiento (L) disminuye ya que el ángulo aumenta, haciéndose

2

Caros G. G2 H

J

X polos O CEROS

J

el sistema más oscilatorio $(L = \cos \phi)$. En el caso límite de tenerse sensibilidad infinita, la razón de amortiguamiento valdría cero y el sistema oscilaría perpetuamente.

- 17 -

En el Capítulo I se aclaró que, ademas de las consideraciones hechas, el sistema depende también -en algunos casos fuertemente- de la dinamica propia del "proceso", o sea, efectos de la combustión (si es máquina de combustión), efectos eléctricos (si es eléctrica), retrasos en el transporte de la señal, inercias (eléctricas o mecánicas), etc.

De esto resulta que la función de transferencia del "proceso" es única para cada caso y no pueden hacerse generalizaciones; sin embargo, para los efectos de este estudio supondremos una constante de tiempo \overline{Z} mucho menor que el resto de las que pudiesen aparecer en esta función de transferencia a manera de que esta última sea reducida a un término de primer órden (término de atraso) que en el dominio de Laplace sería de la forma $\frac{1}{1+\overline{ZS}}$, de aquí que insertando este término en la función de transferencia total del sistema podemos predecir a primeras vistas que la respuesta total del mismo tenderá a ser más inestable por razón de haber agregado un polo.

Con las aclaraciones anteriores, el lugar geométrico de las raíces en la nueva ecuación característica

 $5(1/T_2+5)(1/T_3+5)=-K$

sería el siguiente:

UNIVERSIDAD AUTÓN

030111

IGAR GEORETRICO DE LAS RAIGES EN EL PIANO COMPLETO

VERSIDA

ISTARTED CONTRACTOR STATE AND A CONTRACTOR AND A AND

el stateun sida oneilleterio (2 econg) . En el onio linite de tenerge semplitided infinites, le reade de amortiguemiente valerie core y al distance considered perpetuanente.



sistems priemos predents a primeras vistas que la respuesta

-a tradat a

2. Ar- CARACIFAISTERAS DE 1A 1=0 60' 1600 - 1/13 basteri $\frac{T_2+T_3}{3T_2T_3}$ +10 ×=0

3.2.2.5

FIGURA 10 LUGAR GEOMETRICO DE LAS RAICES EN EL PLANO COMPLEJO

2.3.- ANALISIS DE ESTADO ESTABLE

Definiendo la ganancia del sistema como

 $24.-\overline{K}=\frac{21M}{5-0}\cdot\frac{\overline{\Delta Ns}}{\overline{\Delta Ns}}$

Se tiene

and ob pairsons to las

1-= (2+all)(2+all) =-K

norfa el siguiente:

 $\overline{K} = \frac{1}{C_4}$ Definiendo la sensibilidad del sistema como

25.- $K_i = \frac{LIM.}{5-0} \frac{\overline{\Delta N_s}}{\overline{\Delta T_i}}$

- 18 -



Llegamos a:

- 81 -

LUCAR ORDME

MAN ISIS DE

So tiens

25 - Ma 21M. ATA

Definiando la canancia del sistema como

perintendo la sensibilidad del sistema comu

VERSID

2.4.- CARACTERISTICAS DE LA RESPUESTA TRANSITORIA

Por tratarse de un sistema de segundo orden, para obtener la frecuencia natural y la razón de amortiguamiento del sistema, bastará comparar la ecuación característica del mismo con la forma general

 $26.-5^{2}+2LW_{n}5+W_{n}^{2}=0$

Donde

L = Razón de amortiguamiento

 U_n = Frecuencia natural

 $\mathcal{U}_h = \sqrt{\frac{K_i C_s C_4}{T_z}}$

 $L = \frac{1}{2\sqrt{K_1C_5C_4T_2}}$

RESPUESTA TRANSITORIA ANTE UN CAMBIO EN LA SEÑAL DE REFERENCIA

Haciendo el análisis para un cambio en la señal de referencia tipo escalon y un cambio en la señal de perturbacion igual a cero de manera tal que

27 .-

ANE = ANE M(t)

 $\Delta T_{L} = 0$

La transformada de la señal de referencia sería

$$28.-\overline{\Delta Ne} = \frac{\Delta Ne}{S}$$

Sustituyendo en la ecuación 21.a

 $\Delta N_{s} = \frac{K_{1} K_{s} C_{2} C_{s} / T_{2}}{S^{2} + \frac{S}{T_{s}} + K_{1} C_{s} C_{4} / T_{2}} \times \frac{\Delta N_{e}}{S}$

Con los conceptos de frecuencia natural y razón de amorti-

guamiento ya definidos.

 $\Delta N_{s} = \frac{K_{i} K_{s} C_{2} C_{5} / T_{2}}{S^{2} + 2 \mathcal{L} W_{n} S + W_{n}^{2}} \times \frac{\Delta N_{\varepsilon}}{S}$

Y definiendo

STATES AN NO CONTRACT IN STALL OF K = K, Ks C2 C5/T2

Resolvemos la expresión ANS aplicando fracciones parciales, Teorema de Heaviside y transformando inversamente para encontrar al fin la expresion en el tiempo dada por

FIGHL 17

LUnt $\frac{K\Delta N_s}{W_n^2} \cos W_n \sqrt{1-L^2} t + \frac{KL\Delta N_s}{W_n^2} \sin W_n \sqrt{1-L^2} t$ 29 .- ANS = KANE mio fue associado a manera da apo (R) a core, Bate tipo da

Para el rango 04241

Esquemáticamente tenemos

ENAGE CATE

all = All ac (2)

 $\Delta Z_{c} = Q$

For traterse to un sentime which and a same ar ar

VERSI

ot ALERS FLAMMAM ar an atorensers

2.4.- CARACIENTSTICAS

-. 35

Donde

27 ---

2-15

Reciendo el análista vara un cambio en la menal do referencia seril de perior bestor ignal a cere

- 21 -

172/073/ 92

FIGURA 11

La solución se marà pare una percurbación de tipo dif- 27

solazente, el racultado finel será la euperpocición de Sein y el

Trensformando al dominio de Depla

em cuanto más sea posible a un caso real.

Ns

No+ K3C2

 $-N_{0}+K_{3}C_{2}\left(\frac{1}{C_{4}}-\frac{K_{1}K_{5}}{W_{h}^{2}T_{2}}\right)$

La transforenda de la señal de referencia noria

+ OS



UNIVERSIDAD AUTONO DIRECCIÓN GENERA

Equendi Sinemeslishmeupe

RESPUESTA TRANSITORIA DEL SISTEMA ANTE UN CAMBIO EN LA SEÑAL DE REFERENCIA TIPO ESCALON

2.6.- RESPUESTA TRANSITORIA ANTE UN CAMBIO EN LA PERTURBACION

El anàlisis esta hecho para un cambio en la perturbación de tipo rampa-escalón, y un cambio en la señal de referencia igual a cero. Este tipo de cambio fué escogido a manera de aporximarse



FIGURA 12 TIPO DE PERTURBACION ANALIZADO

De esta forma, la expresión en el tiempo de la perturbación

es.

30.- $\Delta T_{L} = \Delta T_{L} t \left[\mu(t) - \mu(t-a) \right] + \Delta T_{L} a \left[\mu(t-a) \right]$

Transformando al dominio de Laplace

31.- $\Delta T_{L} = \frac{\Delta T_{L}}{S^{2}} - \left(\frac{\Delta T_{L}}{S^{2}} + \frac{\Delta T_{L}a}{S} \right) + \left(\frac{\Delta T_{L}a}{S} \right)$

a cero. Este tipo de cambio fué escogido a ganera de aporximarae

RESEURSTA

TERSIDA

 $\Delta T_{L} = \frac{\Delta T_{L}}{5} \left(1 - \left(\frac{-a_{s}}{5} \right) \right)$ Teah of the rate of the sol

solamente, el resultado final será la superposición de éste y el

a. AT.

t

La solución se hará para una perturbación de tipo $\Delta T_{z} = \frac{\Delta T_{z}}{S^{2}}$

- - - - - - - -ERSIDA

> reasformando al dominio de leplace 391- AN= ST DIR

30+ 12 = 72 - 12 E

La solución se hará para una perturbación de tipo $\Delta Z = \frac{\Delta T}{22}$ solamento, el resultado final será la supergosición de éste y al

FIGURA 13

TRANSITORIO DEL SISTEMA ANTE UN CAMBIO EN LA PERTURALOTI

- 23 -

cotenido al afectarlo por el término. teorema da traslación.

10 A

Ns

 $32.-s^{-1}\left[2^{-as}f(s)\right] = \mathcal{I}^{-1}\left[f(s)\right]\mu(t-a)$

deta se obtiche sontiregenio 5 por JU es la function De lo anterior, la expresion en el tiempo ante el cambio de perturbación supuesto es:

33.- $\Delta N_{5-} \int \frac{1}{\omega_n \sqrt{1-z^2}} \left(-\frac{\omega_n zt}{\omega_n T_2} \int \frac{C_2 C_5 \sqrt{1-z^2}}{\omega_n T_2} \cos \omega_n \sqrt{1-z^2} t + \frac{C_3 C_5 z}{\omega_n T_2} \sin \omega_n x \right)$ $- \times \sqrt{I - \mathcal{I}^{2}} t \int \frac{\mu(t-a)}{W_n \sqrt{I - \mathcal{I}^2}} \left(-\frac{W_n \mathcal{I}(t-a)}{W_n T_2} \cos W_n \sqrt{I - \mathcal{I}^2(t-a)} + \frac{C_n C_n \mathcal{L}}{W_n T_2} \sin W_n \sqrt{I - \mathcal{I}^2(t-a)} \right)^2$

ndo este concepto y los definiciones de

Graficando esquemáticamente la expresión anterior veremos

- 24 -

CAPITULO III

RESPUESTA DE FRECUENCIA.

15-141 平当 [11] [2 10] 合下 3.1 .- Recordando que por respuesta de frecuencia se entiende la respuesta del sistema a una señal de entrada tipo senoidal y que ésta se obtiene sustituyendo 5 por JW en la función de transferencia del sistema tendremos que:

34. = $\frac{\Delta N_s}{\Delta N_{\mathcal{E}}} (jw) = \frac{K_1 C_s C_2 K_s / T_2}{(jw)^2 + \frac{1}{T_a} (jw) + \frac{C_a K_1 C_s}{T_a}}$

Por lo que, según la definición ya dada en el capítulo anterior, la ganancia resulta.

R = K, Cs Cz Ks

Además, introduciendo este concepto y las definiciones de frecuencia natural y razón de amortiguamiento que también dimos

en el capitulo anterior se tiene:

$\frac{\Delta N_s}{\Delta N_e} (JW) = \frac{K}{(JW)^2 + 2LW_n (JW) + W_n^2}$ RSIDAD

sorema de traslación.

Benefit (Car

perturbación supuesto

Te lo anterior, la somregion

Multiplicando y dividiendo numerador y denominador respectivamente por \mathcal{U}_n^2 asi como rearreglando términos, la expresión anterior queda como

 $\frac{\Delta N_{s}}{\Delta N_{e}} (JW) = \frac{\frac{R}{UJ_{n}^{2}}}{\left(1 - \frac{W^{2}}{UJ_{n}^{2}}\right) + 2j\mathcal{I}\left(\frac{W}{W_{n}}\right)}$

coindeta de beja, la positivate de beta es apro-

ALLOTTER AS WE OTHER ANTE UN CAMETO IN TA PERTUAN

FIGURA 13

× 88 -

obtenido al afactarlo por al término. C acto según al asgundo





Expresando la magnitud del complejo anterior en decibeles:

35 - LM/ ANS (JW)= 20 LOG/ K + 20 LOG/ (1 - W)=)+2JI W)

Para el diagrama de Bode, parte medular del análisis de respuesta de frecuencia, la asintota de baja se obtiene haciendo tender U a cero por lo que resulta

36 - LM / ANS (JW) = 20 LOG. (K)

Para obtener ahora la asintota de alta se hace tender "W" a infinito por lo que se ve que el término que prevalece $es\left(\frac{w^2}{w_h^2}\right)^2$ por lo que:

37 - LM/ANS (JW) = 20 100. (K/W) - 10 LOG. (W/W) =

= 20 LOG. (K) - 40 LOG. (W)

Multiplicando y dividiendo numerador y denomicador respecanterior quella como

He (2100)= (1- 1/2)+ 2/2(1/2)-)

la ecuación correspondiente con respecto a $l_{o_{\overline{f}}}(\frac{\omega}{\omega_n})$

 $\frac{d LM \left| \frac{\Delta N_s}{\Delta N_s} (JW) \right|}{d \left[LOG. \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right) \right]} = -40 \ db \left[DSCADA$

En forma similar y según apreciamos en la ecuación de la asintota de baja, la pendiente de ésta es cero.

La pendiente de la asintota de alta la obtenemos derivando

Expressado le seguiend del socolojo anterior un docibeles:

35 - 2 10 1 201 1 100 - 20 200 10 - 10 20 200 der W a care por WERSID 36--- 1.87 / -=

a infinite ppr lo

= 20 200 (10 - (10 - 200) - 200 - (10 -)

Igualando las ecuaciones de alta y de baja ya encontradas obtenemos el corte de las mismas o punto de quiebre:

 $20 \ log. \left(\frac{K}{W_{n}^{2}}\right) = 20 \ log. \left(\frac{K}{W_{n}^{2}}\right) - 40 \ log. \left(\frac{W}{W_{n}}\right)$

semenata: W + 0 + W X_ 3 0 - 0 1-

De donde:

isin of tog

10-40 LOG. (W) = 0

 $\frac{\omega}{\omega_n} = 1$

En la Figura 14 ilustramos la gráfica de las asintotas. - Astatota de baja _ 20 log. (K/2) (919) 40 20 Im / AMs (jui) 0

FIGURA 14

Lens and a start and a start a figureras

ASINTOTAS DE LA MAGNITUD DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA

6 w



Con lo anterior encontramos solo uno de los dos diagramas de Bode, o sea, el diagrama Magnitud (decibeles) Frecuencia. El segundo diagrama, de Fase Frecuencia, lo encontraremos a continuación. Para esto bagta determinar las tres condiciones de frecuencia; $\mathcal{U}_{+} \rightarrow 0$, $\frac{\mathcal{U}_{+}}{\mathcal{U}_{0}}$: y $\mathcal{U}_{+} \rightarrow \mathcal{U}_{+}$; o sea.

 $\omega \to 0 \qquad \frac{\Delta N_s}{\Delta N_{\varepsilon}} (j\omega) = \frac{K}{\omega_n^2}$

 $\frac{\Delta N_s}{\Delta N_{\epsilon}}(j\omega) = -\frac{JK}{2LW_p^2}$ $-\frac{\omega}{\omega_n} = 1$

 $\frac{\Delta N_s}{\Delta N_e} (j \omega) = -\frac{K}{\omega_n^2}$

De lo que resulta que los diagramas de Bode quedan finalmente según se ilustra en la figura a continuación



Si disgrama polar (parto ilaginaria altad) er fheilusate dedaelkte a Tertir

Igualando Las seunciones de clos y do baja ya ancontradas obtenegos el corte de las ulsuas o punto de guiebre:

+ 35 -



UNIVERSIDAD AUTON DIRECCIÓN GENIER

ANDVIERIBNART BE MOIDNE AL EU CUPINDAN AL EG BATOTNISA

: +=0°

:. + = - 90°

· · · = - 180°

White 1. 7 2 7 2 3 7 2 4

Con lo anterior annochrents solo uno de los der diagramas of Bode, o sea, al disgute Magnitud (decidelas) Frecuentia. El segundo disgrama, de Naze Freouencia, lo encontrerence a donstangeton. Seen erre natio determ Trecuencia; 20 ---- 0 ERSIDA 111---- 13 $f = \frac{\partial f}{\partial \partial h}$ 201 ----De lo que resulte que seglo se fluetre en la ligure a

State Die De

19. 25. 4

 $\left(\frac{1}{10} \right) = \left(\frac$

BLIO FIGURA 15

DIAGRAMAS DE BODE PARA LA FUNCION DE TRANSFERENCIA

adiartic a differen

12

El diagrama polar (parte imaginario, parte real)de la magnitud) es fácilmente deducible a partir de la figura anterior y es según se muestra en la figura 16

Asintota

10



R



FIGURA 16

R

DIAGRAMA POLAR PARA LA FUNCION DE TRANSFERENCIA

- 29 -

UNIVERSIDAD AUTÓNO

- 85 -

ERSID

100

DIRECCIÓN GENERA

DIAGRAMAS DE BORU FARA LA TUNCION DE TRANSFERENCIA

El diagrama polar (parte imaginario, parte real de la megnitud) es facilmente deducible a partir de la figure anterior y

es según as musetra en la figura 16

(B)

人口の夢で

10

3.2.- ANALISIS DE ESTABILIDAD

El analisis de estabilidad mediante el criterio Nyquist se hace en base a la llamada función de transferencia de circuito abierto, a saber,

 $38 - G(s)H(s) = \frac{K_1 K_5 C_2 C_5 C_4}{S(1 + T_2 5)}$



FIGURA 17 VARIACION DE "S" EN EL PLANO COMPLEJO

Por lo que finalmente el diagrama polar de la función de transferencia de circuito abierto para nuestro sistema tiene la forma mostrada en la Figura 18

at observatus shore in Flourd 19 gut meatrs al disgram del cisteme no simplificado au gunda sater a Mingle vista que de edo not valor in Kills Colola.



- 65 -

FIGURA 15

DIACRAMA POLAR PARA LA FUNCION DE TRANSFERINCIA

QAGINTENTES DE ESTATANA -.S.E

bace en base a la llarada función de transferencia de circuito

abierto, a saber,

38 - ((s) H(s) = K1 K2 E e E e

- 30 -

V

en la pre hacemon con vivianton de "5" accèn co maatra en la

21 SHITA 17-



VARIACION DE S' EN EL PLANG COMPLEJO

transforencia de circuito abfarto para questro sistema tione la



FIGURA 18

CRITERIO DE ESTABILIDAD DE NYQUIST PARA EL SISTEMA ANALIZADO

El criterio de estabilidad mencionado establece que para que el sistema sea estable el diagrama anterior no debe encerrar al punto -1+jo . Consecuentemente el sistema analizado resulta estable.

Si observamos ahora la Figura 19 que muestra el diagrama del sistema no simplificado se puede notar a simple vista que de acuerdo al criterio Nyquist podremos tener inestabilidad dependiendo del valor de Kiks C2 C5 C4.



FIGURA 19

Establecierde adamin que le par un un de la detal de referen

CRITERIO DE ESTABILIDAD DE NYQUIST PARA EL SISTEMA NO SIMPLIFICADO

+ 1E +

ALERE

WERSIDA

AWALTSADO

punto ... - / A/0 Consecuencemente el sistema analizado resul-

aldetas st

CALTRAIO DE ESTABILIDAD DE NYQUIST

Si observance apera la Figura 19 que muestra el diagrama del sistema no simplificado se puede notar a simple vista que de ncuerdo al criterio Nyquist podrenos tener inestabilidad dependiendo dal valor de Kille Ce Ce Ca.



R

in prost is the

~

CAPITULO IV

APLICACION DEL ANALISIS A UN CASO PARTICULAR

4.1.- VALORES DE LOS PARAMETROS

Nos valimos de la referencia número 1 para establecer unos valores típicos de los parámetros del diagrama de block de nuestro sistema, a saber:

-K, = 3.65 - <u>piés</u>³ 16.-seg.2

C5 = 0.26 - rad. Ca= 2.5 - 16.- seg. T2=1.56 seg.

Estableciendo además que la ga: in is de la señal de referen-

UNIVERSIDAD AU DIRECCIÓN GE

ICO DE SEFLITION DE MIQ

IVERSIDA

62=0.5 pie-seg.

Ks = 2.0 16.

Eff Las

Ca = 1.0 16. - 509. rad.

cia y la retroalimentación sean iguale a la unidad se tiene:

R

YI DJUTIEAD.

- 28 m



Establectendo ademia que la gai lo is de la sedal de referen-02 = 0.5 put

De esto el diagrama de block resultaria según se muestra en

la Figura 20



FIGURA 20 DIAGRAMA DE BLOCK CON LOS VALORES DE LOS PARAMETROS ESCOGIDOS

Una vez establecido el diagrame de block numérico del gobernador isócrono y teniendo como base todo el desarrollo analítico de los capitulos anteriores, así como evitando repeticiones inútiles, colocamos las gráficas siguientes. Los valores numéricos de las gráficas fueron obtenidos con la ayuda de la computadora digital IBM 1620; el programa Fortran y los resultados de esta computadora no son incluidos por razón de que sólo fueron una herramienta auxiliar y no son de ninguna manera el propósito principal de este trabajo.

- 34 -

AT. 2.5

ANS 0.26 1+1.565

De este el disgrame de block repulteria segun se muestre en

la Figura 20

ALERE TAMMAN VENTATIS

Une vez establecido el disgigne de block numerico del geber-Une vez establecido el disgigne de block numerico del geberde los capitulos anteriores, sel como evitando repeticiones indtiles, colocamos las gráficas siguientes. Los valores numéricos

DIRECCIÓN GAENERA ates de cobsilieres y los resultados de ceta

computadora no non incluidos por razón de que ablo fueren una herramienta auxiliar y no sen de ninguna namera al propósito principal de este trabajo.













DIRECCIÓN GENERA

-180

w=75

-w=1.8

 $-\omega = 2.\Delta$





UNIVERSIDAD AU DIRECCIÓN GENEI

Con todas las aclaraciones y simplificaciones hechas durante el desarrollo de este trabajo, que según explicábamos obedecian a la imposibilidad de encontrar un análisis que fuese válido para cualquier gobernador Isócrono, la función de transferencia del sistema tratado se vió es de segundo orden. Los factores de mayor influencia en esta funcion de transferencia fueron la inercia del sistema $\left(\frac{1}{1+T_25}\right)$ y la integración pura $\left(\frac{1}{5}\right)$, proveniente ésta última del servomotor hidráulico del gobernador lo que a su vez es lo que le da a nuestro gobernador el carácter de Isócrono pues con ello se logra cero sensibilidad $(K_1 = 0)$; en suma, la velocidad de la máquina (Ns) permanece constante ante cambios finitos de la perturbación (T_c) , una vez que el

transitorio del sistema ha muerto. De lo anterior puede verse obviamente que existen otro tipo de arreglos de gobernadores diferentes ál analizado que no obstante seguirán siendo Isócronos siempre y cuando se les provea una integración mediante el mismo servomotor o algún otro mecanismo

también Isócronos, en los que además de tener el modo proporcional como en el que se analizó, se tenga cualquier combinación posible de este modo más el modo integral y derivativo (combinaciones serie o paralelo) que aunque bien sabemos harán el sistema más rápido en su respuesta, sin embargo lo hacen más oscilatorio aumentando su inestabilidad por razón de haber agregado más

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

similar a éste. De hecho es posible lograr algunos arreglos más,

- CONSERVENCE - CONCLUSIONS -



De le acterier puede verse obvintence que existen etre tipe

torio agaantaada ah nasar yoo babilidasaal uu abaasaaaa citor

polos a la función de transferencia; no olvidar que por regla general en todo sistema de control estan siempre en pugna la tendencia a la inestabilidad y la rapidez del mismo.

- 36 -

El caso particular analizado, dado los valores de los parámetros escogidos, resultó subamortiguado según se deduce de las gráficas que muestran una respuesta transitoria oscilatoria y además del diagrama de Bode que para la magnitud del complejo sigue la tendencia de las asíntotas por arriba de ellas. Del diagrama Magnitud-Fase de G(s)H(s) se vió que el márgen de fase es de unos 45 grados positivos corroborando con ello el análisis teórico así como también la estabilidad inherente al sistema según se deduce del criterio de Nyquist.

Por último permitasenos establecer, aunque de una manera completamente asímil con lo anterior, una última reflexión. Esperamos, quizas de una manera petulante, que la aportación que hayamos podido proporcionar pueda llegar a inquietar su curiosidad para que se adentren, quienes aún no lo hayan hecho, en campo tan basto, exitante y de tánta actualidad como es el del control automático.

DE BIBLIOTECA

Englawood Olific, N. J. , 1962

MGP/aca

polos a la fanción de branderencia: no olvidar que por regla general en todo eletens de control estan elempre en pages la tendencia e la inectabilidad y la repider del mismo.

Por últizo permissorios en hisecer, varque is da hoere com pletanente safall con le aterior da his tip tellector, peranos, quizas de una manera perminite que le de la riorizeron que hayamos podido proporcionar pueda llegar a inquietar su curicosidad

para que sa adentires, quienes sén no lo hayan hoche, en cuipo tan

UNIVERSIDAD AUTÓN

DIRECCIÓN GENERA

BIBLIOGRAFIA

DONNELLY, Reuben H. (Publicación de)

"Regulating Engine Speed Control Engineering"

Enero de 1966 Vol. 13 No. 1 Febrero de 1966 Vol. 14 No. 2

RAVEN, Francis H.

"Automatic Control Engineering"

McGraw-Hill Book Company Inc. New York, 1961

CHUNG KUO, Benjamin

"Automatic Control Systems"

Prentice-Hall Electrical Engineering Series

Englewood Cliffs, N. J., 1962

- 37 -



