BIDANG PENDIDIKAN DAN PENGAJARAN

BERITA ACARA PERKULIAHAN

KULIAN ONLINE(*E-LEARNING*)

PERIODE SEMESTER GENAP 2021-2022

MATA KULIAH:

SISTEM KENDALI MULTIVARIBEL

LAMPIRAN BERITA ACAR A PERKULIAHAN :

1. *SK.DEKAN FTI SEMESTER GENAP 2021/2022*
2. *PRESENSI KEHADIRAN DOSEN DAN MATERI AJAR*
3. *CONTOH HAND OUT MATERI AJAR*
4. *NILAI KOMULATIF; KEHADIRAN,TUGAS, UTS DAN UAS*

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

YAYASAN PERGURUAN CIKINI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moh. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640
Telp. 021-7270090 (hunting), Fax. 021-7866955, hp: 081291030024
Email : humas@istn.ac.id Website : www.istn.ac.id

SURAT PENUGASAN TENAGA PENDIDIK

Nomor : 146/ 03.1 – G / III / 2022

SEMESTER ***GENAP*** , TAHUN AKADEMIK 2021 / 2022

N a m a	:	**Abdul Muis,Ir.MT**	Status Pegawai	:	Edukatif Tetap / Tidak Tetap
NIK	:	**22870039**	Program Studi	:	Teknik Elektro
Jabatan Akademik	:	**Lektor**			

Bidang	Perincian Kegiatan	Tempat	Jam / Minggu	Kredit (sks)	Keterangan
I PENDIDIKAN Dan PENGAJARAN	**MENGAJAR DI KELAS (KULIAH / RESPONSI DAN LABORATORIUM)**				
	1. Dasar Sistem Kendali (Klas A)			2	Senin, 08:00-09:40
	2. Sistem Kendali Digital (Klas A)			3	Senin, 10:30-12:10
	3. Sistem Kendali Non Linier (Klas A)			3	Selasa, 10.30-12.30
	4. Dasar Sistem Kendali (Klas K)			2	Kamis, 17.00-18.40
	5. Sistem Kendali Multivariabel (Klas A)			3	Jum'at, 13.00-14.40
	6. Prak. Teknik Kendali (D.III Klas A)			2	-
	7. Prak. Mikroprosesor (D.III Klas A)			2	-
	8.				-
	9.				-
	10.				-
	11.				-
	12.				-
	13.				-
	14.				-
	15.				-
	16.				
	17. Membimbing Skripsi / Tugas Akhir				
	18. Menguji Skripsi / Tugas Akhir				
II PENELITIAN	1. Penelitian Ilmiah				
	2. Penulisan Karya Ilmiah			1	
	3. Penulisan Diktat Kuliah				
	4. Menerjemahkan Buku				
	5. Pembuatan Rancangan Teknologi				
	6. Pembuatan Rancangan & Karya Pertunjukan				
III PENGABDIAN DAN MASYARAKAT	1. Menduduki Jabatan di Pemerintahan				
	2. Pengembangan HasilPendidikan Dan Penelitian				
	3. Memberikan Penyuluhan/Pelatihan/Ceramah pada masyarakat			1	
	4. Memberikan Pelayanan Kepada Masyarakat Umum				
	5. Menulis Karya Pengabdian Pada Masyarakat yang tidak dipublikasikan				
	6. Komersial / Kesepakatan				
IV UNSUR-UNSUR PENUNJANG	1. Jabatan Struktural				
	2. Penasehat Akademik				
	3. Berperan serta aktif dalam pertemuah ilmiah / seminar			1	
	4. Pengembangan program kuliah / Kelompok Ilmu Elektro				
	5.Menjadi anggota panitia / Badan pada suatu Perguruan Tinggi				
	6. Menjadianggota Badan Lembaga Pemerintahan				
	7. Menjadi Anggota Organisasi Profesi				
	8. Mewakili PT / Lembaga Pemerintah duduk dalam Panitia antar Lembaga				
	9. Menjadi Anggota Delegasi Nasional ke Parlemen – Parlemen Internasional				
	Jumlah Total			**20**	

Kepada yang bersangkutan akan diberikan gaji / honorarium sesuai dengan peraturan penggajian yang berlaku di Institut Sains Dan Teknologi Nasional
Penugasan ini berlaku dari tanggal **21 Maret 2022** sampai dengan tanggal **31 Agustus 2022.**

Jakarta, 21 Maret 2021
Dekan,

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI ISTN

(Dr. Musfirah Cahya F.T.S.Si.,M.Si.)

Tembusan :

1. Direktur Akademik - ISTN
2. Direktur Non Akademik - ISTN
3. Ka. Biro Sumber Daya Manusia - ISTN
4. Kepala Program Studi Fak. ....
5. Arsip

Berita Acara Perkuliahan
(Presentasi Kehadiran Dosen)
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2021/2022
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1 FTI - ISTN

Nama Dosen	: 1. Ir. Abdul Muis,MT.	Hari	: Jum'at
Mata Kuliah	: Sistem Kendali Multivariabel	Jam	: 13.00-14.30
Kelas	: A & 3 SKS	Ruang	:

No.	Hari /Tanggal	Materi Pembelajaran	Metode Belajar	Jml Mhs	Paraf Dosen	
1.	**Jum'at / 25-03-2022**	**Introduction: Historical, Perspective, Descripsi, Referensi**	**Google Meet**	**1**		
2.	**Jum'at / 01-04-2022**	**Sistem Model: State Space Discripsi,Transfer Fungsion,Matrik representasi, rosen brok matrik, Matrik Fraksion, Diskrit system model**	**elearning istn dan Google Meet**	**1**		
3.	**Jum'at / 08-04-2022**	**Lanjut: Matrik Fraction descripsi, Discrate System Model, Open loop and close loop Relationship, System equivalent,**	**elearning istn dan Google Meet**	**1**		
4.	**Jum'at / 15-04-2022**	**Controllability, Observability,**	**elearning istn dan Google Meet**	**1**		
5.	**Jum'at / 22-04-2022**	**Canonicall form**	**elearning istn dan Google Meet**	**1**		
6.	**Jum'at / 29-04-2022**	**Poles And Zeros of multivariable system**	**elearning istn dan Google Meet**	**1**		
7.	**Jum'at / 13-05-2022**	**Multivariabel system invers**	**elearning istn dan Google Meet**	**1**		
8.	**Jum'at / 20-05-2022**	**UJIAN TENGAH SEMESTER (UTS) SEMESTER GENAP 2021/2022**	**elearning istn dan Google Meet**	**1**		

Berita Acara Perkuliahan
(Presentasi Kehadiran Dosen)
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2021/2022
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1 FTI - ISTN

Nama Dosen	: 1. Ir. Abdul Muis,MT.	Hari	: Jum'at
Mata Kuliah	: Sistem Kendali Multivariabel	Jam	: 13.00-14.30
Kelas	: A & 3 SKS	Ruang	:

No.	Hari /Tanggal	Materi Pembelajaran	Metode Belajar	Jml Mhs	Paraf Dosen	
9	**Jum'at / 27 - 05-2022**	**Pole AssismentAnd Observer Disain:**	elearning istn dan Google Meet	**1**		
10	**Jum'at / 03 - 06-2022**	**Lanjut : Pole AssismentAnd Observer Disain:**	elearning istn dan Google Meet	**1**		
11	**Jum'at / 10 - 06-2022**	**Minimal Design Problem:**	elearning istn dan Google Meet	**1**		
12	**Jum'at / 17 - 06-2022**	**Lanjut Minimal Design Problem:**	elearning istn dan Google Meet	**1**		
13	**Jum'at / 24 - 06-2022**	**The Linier Quadratik Regulator Problem:**	elearning istn dan Google Meet	**1**		
14	**Jum'at / 01 - 07-2022**	**Frequensi Domain Desain Tehniquis:**	elearning istn dan Google Meet	**1**		
15	**Jum'at / 08 - 07-2022**	**Ngulang ngulang Contoh Soal**	elearning istn dan Google Meet	**1**		
16	**Jum'at / 15 - 07 -2022**	UJIAN AKHIR SEMESTER GENAP 2122	elearning istn dan Google Meet	**1**		

Mengetahui
Ka. Program Studi

(Ir. Harlan Effendi., MT)

Bab. Model Matematika Sistem Kontrol

Kuliah : Sistem Kontrol Multivariabel

Hari : Jum'at 04 Maret 2022

Jam : 13 – 14. 40

Introduction To Control Multivariabel :

3.1. Transformasi Laplace

Metode transformasi Laplace adalah suatu metode operasional yang dapat digunakan secara mudah untuk menyelesaikan persamaan diferensial. Suatu kelebihan transformasi laplace adalah bahwa metode ini memungkinkan penggunaan teknik grafis untuk meramal performansi sistem tanpa menyelesaikan persamaan diferensial sistem.

Transformasi Laplace dari berbagai fungsi standar

1. Fungsi direct (delta/impulsa)

$f(t) = A\,\partial(t)$ dimana $f(t) = A$ pada $t = 0$ dan

$f(t) = 0$ pada t yang lain

$$L\{A\partial(t)\} = \int A\partial(t).e^{-st}\,dt$$

$$= \lim Ae^{-s\,t} + \lim \int 0.e^{-st}\,dt$$

$$= A + 0$$

$$= A$$

2. Fungsi Step

$f(t) = A\mu(t)$ dimana $f(t) = A$ untuk $t \geq 0$ dan

$f(t) = 0$ untuk t yang lain

$$L\{A\mu(t)\} = \int A\mu(t).e^{-st}\,dt$$

$$= \int Ae^{-st}\,dt$$

$$= -(A/s)\,e^{-st}\Big|$$

$$= A/s$$

3. Fungsi Ramp

$f(t) = At\mu(t)$

$L\{At\mu(t)\} = \int At.e^{-st}\, dt = -(1/s) \int At\, de^{-st}$

$= -(1/s)\, Ate^{-st} \Big| + (1/s) \int Ae^{-st}\, dt$

$= -(1/s)\, Ate^{-st} \Big| + A/s\, (-1/s.e^{-st}) \Big|$

$= A/s^2$

4. $f(t) = At^n$ maka $F9s) = An! / S^{n+1}$
5. $f(t) = Ae^{\pm at}$

$F(s) = A \int e^{\pm at} e^{-st}\, dt = A \int e^{-(s\pm a)t}\, dt$

ganti : $S^{\bullet} = s\pm a$

$F(s) = A \int e^{-st}\, dt$

$= A/s^{\bullet}$

$= A/(s\pm a)$

6. a. $f(t) = te^{\pm at}$

$F(s) = \int te^{\pm at}\, e^{-st}\, dt$

$= \int t\, e^{-(s\pm a)t}\, dt$ ganyi $s\pm a = s^{\bullet}$

maka $F(s) = \int te^{-s\, t}\, dt$ (seperti pada fungsi ramp)

$= 1/(s\pm a)^2$

b. $f(t) = t^2 e^{\pm at}$ maka $F(s) = 2/(s\pm a)^3$

c. $f(t) = t^3 e^{\pm at}$ maka $F(s) = 6/(s\pm a)^4$

d. $f(t) = t^h e^{\pm at}$ maka $F(s) = n! / (s\pm a)^{n+1}$

7. $f(t) = \sin \omega t$

dari expresi bilangan kompleks dalam notasi euler

$\sin \omega t = (e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}) / 2j$

$F(s) = \int \sin \omega t\, e^{-st}\, dt$

$= 1/2j \int (e^{j\omega t} - e^{-j\omega t})\, e^{-st}\, dt$

$F(s) = \omega / (s^2+\omega^2)$

8. $f(t) = \cos \omega t$ maka $F(s) = \omega /(s^2+\omega^2)$

Sifat-sifat Transformasi Laplace

1. $f(t) = ag(t)$ maka $F(s) = aG(s)$
2. $f(t) = ag_1(t) \pm bg_2(t)$ maka $F(s) = aG_1(s) \pm bG_2(s)$
3. a. $f(t) = d/dt\, g(t)$ maka $F(s) = sG(s) - g(0)$

   b. $f(t) = (d^2/dt^2)\, g(t)$ maka $F(s) = s^2G(s) - sg(0) - g'(0)$

   c. $f(t) = (d^n/dt^n)\, g(t)$ maka $F(s) = s^nG(s) - s^{n-1}g(0) - s^{n-2}g'(0) - \ldots - g^{n-1}(0)$
4. $f(t) = \iint \ldots \int g(t)\, (dt)^n$ maka $F(s) = G(s)/s^n + \Sigma_{k=1} \iiint \ldots \int f(t)\, (dt)^k \big|_{t=0} / (s^{n-k+1})$
5. Pergeseran :

   $f(t) = e^{\pm at} g(t)$

   $F(s) = G(s \pm a)$
6. $f(t) = g(t-a)\, \mu(t-a)$

   dan diketahui $L\{g(t)\} = G(s)$ maka $F(s) = e^{-as}\, G(s)$

$$\mathbf{K}_{m-1} = \frac{1}{1}\frac{d}{ds}\mathbf{F}(s)(s+r)^m$$

- $$\mathbf{K}_{m-j} = \frac{1}{j}\frac{d^j}{ds^j}\left(\mathbf{F}(s)(s+r)^m\right)\Big|_{s=-r}$$

Contoh : dapatkan f (t) dari F (s) berikut

1) $$\mathbf{F}(s) = \frac{2s+1}{(s+1)(s+2)^3}$$

$$= \frac{\mathbf{A}}{s+1} + \frac{\mathbf{B}}{(s+2)^3} + \frac{\mathbf{C}}{(S+2)^2} + \frac{\mathbf{D}}{s+2}$$

$$\mathbf{A} = \frac{2s+1}{(s+2)^3}\Big|_{s=-1} = -1$$

$$\mathbf{B} = \frac{2s+1}{s+1}\Big|_{s=-2} = 3$$

$$\mathbf{C} = \frac{d}{ds}\left(\frac{2s+1}{s+1}\right)\Big|_{s=-2} = \frac{2(s+1)-(2s+1)(1)}{(s+1)^2}\Big|_{s=-2}$$

$$= \frac{2s+2-2s-1}{(s+1)^2}\Big|_{s=-2} = \frac{1}{(s+1)^2}\Big|_{s=-2} = 1$$

$$\mathbf{D} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}!}\frac{d^{\mathbf{2}}}{ds^{\mathbf{2}}}\left(\frac{2s+1}{s+1}\right)\Big|_{s=-2} = \frac{1}{2!}\frac{d}{ds}\left(\frac{1}{(s+1)^2}\right)\Big|_{s=-2} = \frac{1}{2}\left(\frac{-2}{(s+1)^3}\right)\Big|_{s=-2}$$

$$= \frac{1}{2}\frac{-2}{(s+1)^3} = 1$$

$$\mathbf{F}(s) = \frac{-1}{s+1} + \frac{3}{(s+2)^3} + \frac{1}{(s+2)^2} + \frac{1}{s+2}$$

$$= \frac{-\mathbf{1}}{\mathbf{s}+\mathbf{1}} + \frac{3}{2!}\frac{2!}{(s+2)^3} + \frac{1}{1!}\frac{1!}{(s+2)^2} + \frac{1}{s+2}$$

$$f(t) = -e^{-t} + \frac{3}{2}t^2e^{-2t} + te^{-2t} + e^{-2t}$$

$$= -e^{-t} + e^{-2t}\left(\frac{3}{2}t^2 + t + 1\right)$$

2) $$\mathbf{F}(s) = \frac{s+2}{(s+1)^2(s^2+2s+2)^2}$$

$$\mathbf{F}(s) = \frac{\mathbf{A}}{(s+1)^2} + \frac{\mathbf{B}}{s+1} + \frac{\mathbf{C}s+\mathbf{D}}{(s^2+2s+2)^2} + \frac{\mathbf{E}s+\mathbf{F}}{(s^2+2s+2)}$$

$$\mathbf{A} = \frac{s+2}{(s^2+2s+2)^2}\Big|_{s=-1} = \frac{-1+2}{(1-2+2)^2} = 1$$

$$\mathbf{B}=\frac{d}{ds}\left(\frac{s+2}{\left(s^2+2s+2\right)^2}\right)\Bigg|_{s=-1}=\frac{\left(s^2+2s+2\right)^2-2(s+2)(2s+2)\left(s^2+2s+2\right)}{\left(s^2+2s+2\right)^2}\Bigg|_{s=-1}\quad=1$$

$$\mathbf{C}s+\mathbf{D}\Big|_{s=-1+j}=\frac{s+2}{(s+1)^2}\Big|_{s=-1+j}=\frac{-1+j+2}{\left(-1+j+1\right)^2}$$

$$-\mathbf{C}+\mathbf{D}+j\mathbf{C}=-1-j$$

$$\mathbf{C}=-\mathbf{1}\longrightarrow-\mathbf{C}+\mathbf{D}=-\mathbf{1}\longrightarrow\mathbf{D}=-\mathbf{1}-\mathbf{C}=-\mathbf{2}$$

$$\mathbf{E}s+\mathbf{F}\Big|_{s=-1+j}=\frac{d}{ds}\left(\frac{s+2}{(s+1)^2}\right)\Bigg|_{s=-1+j}=\frac{(s+1)^2-2(s+2)(s+1)(1)}{(s+1)^4}\Bigg|_{s=-1+j}$$

$$-\mathbf{E}+\mathbf{G}+\mathbf{E}j=\frac{\left(-1+j+1\right)^2-2\left(-1+j+2\right)\left(-1+j+1\right)(1)}{\left(-1+j+1\right)^4}=1-2j$$

$$\mathbf{E}=-\mathbf{2}\longrightarrow-\mathbf{E}+\mathbf{G}=\mathbf{1}\longrightarrow\mathbf{G}=\mathbf{1}-\mathbf{E}=-\mathbf{1}$$

$$\mathbf{F}(s)=\frac{1}{(s+1)^2}+\frac{1}{s+1}+\frac{-s-2}{\left(s^2+2s+2\right)^2}+\frac{-2s-1}{s^2+2s+2}$$

$$=\frac{1}{(s+1)^2}+\frac{1}{s+1}-\frac{s+1+1}{\left((s+1)^2+1^2\right)^2}-2\frac{s+1-\frac{1}{2}}{(s+1)^2+1^2}$$

$$=\frac{1}{(s+1)^2}+\frac{1}{s+1}-\frac{s+1}{\left((s+1)^2+1^2\right)^2}-\frac{1}{\left((s+1)^2+1^2\right)^2}-2\frac{s+1}{(s+1)^2+1^2}+\frac{1}{(s+1)^2+1^2}$$

$$f(t)=te^{-t}+e^{-t}-te^{-t}\cos t-te^{-t}\sin t-2e^{-t}\cos t+e^{-t}\sin t$$

$$=e^{-t}+\left(t+1-t\cos t-t\sin t-2\cos t+\sin t\right)$$

<u>Catatan</u> :

Jika diketahui F(s), akan ditentukan $f(t)\big|_{t=0}\longrightarrow f(0)$

Maka $f(0) = \lim_{s \longrightarrow 0} s\mathbf{F}(s)$

Bila akan ditentukan $f(\infty) \Rightarrow$ adalah keadaan <u>steady-state</u>

$f(\infty)$ terpakai untuk menghitung error steady state

Integral Konvolusi

$$\xrightarrow{r(t)} \boxed{f(t)} \xrightarrow{c(t)}$$

$f(t)$ = impuls respon

$$c(t) = \int_0^t r(t-\tau) f(\tau) d\tau = \int_0^t f(t-\tau) r(\tau) d\tau$$

$$\mathbf{C}(s) = \mathbf{F}(s)\mathbf{R}(s)$$

$\mathbf{F}(s) = \dfrac{\mathbf{C}(s)}{\mathbf{R}(s)} =$ Fungsi transfer = Transformasi Laplace dr Impuls Respon

3.2. Representasi Sistem dengan Persamaan Diferensial dan Transformasi Laplace

Upaya untuk menggambarkan hubungan antara input dengan output pada sebuah sistem dalam bentuk relasi matematis bisa melalui beberapa bentuk, antara lain :

☞ Persamaan differensial

☞ Diaram blok

☞ Signal flow graph

☞ Persamaan State

Kegunaan:

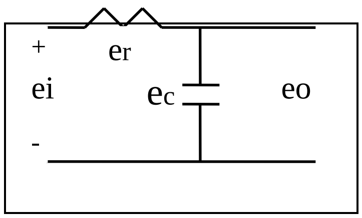
1. Untuk menggambarkan sistem dalam bentuk hubungan Input-Output.
2. Untuk memudahkan analisis dan disain dalam suatu sistem.

Macam-macam cara penyajian model matematik:

1. dalam bentuk Persamaan Diferensial PD. Kontinue,persamaan beda diskrit.
2. dalam bentuk Transformasi Laplace kontinue
3. dalam bentuk Transformasi Z diskrit
4. dalam bentuk persamaan state (kontinue/diskrit)

5. dalam bentuk polinomial dengan variabel delay (q)

Contoh:



$$e_o = e_c$$

$$e_i = e_R + e_c$$

$$e_i = e_R + e_o \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$e_o = i.R$$

$$i = c\frac{de_c}{dt} = c\frac{de_o}{dt}$$

$$e_r = RC\frac{de_o}{dt} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$(2)\ldots\ldots\ldots(1)$

$$RC.\frac{de_{o(t)}}{dt} + e_o(t) = e_i(t) \ldots\ldots dalam..bentuk..PD$$

Dengan menganggap semua kondisi awal = nol, maka TL (3) dapat ditulis sebagai berikut:

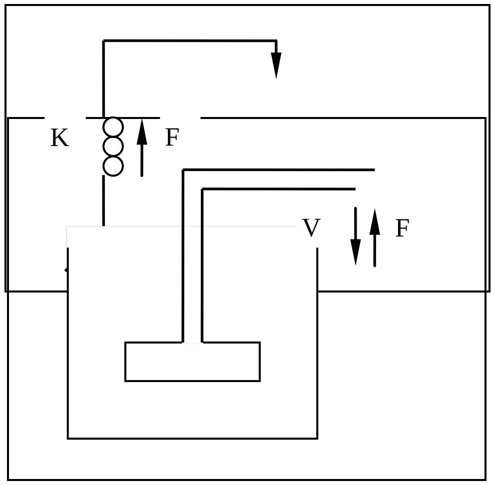
$$(RCS+1)Eo(s) = Ei(s)$$

$$\frac{Eo(s)}{Ei(s)} = \frac{1}{RCS+1}$$ Model matematik dinyatakan dalam fungsi Laplace

Contoh :

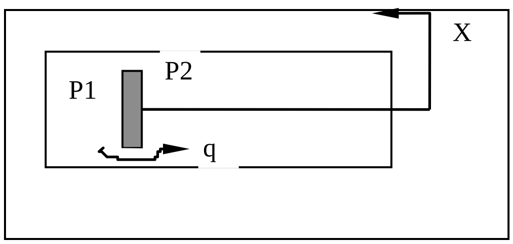
Sistem mekanik:

pegas.



$$F = B.V$$

$$F = B\frac{dx}{dt}$$



Gaya-gaya yang bekerja pada torak:

$$F = A(P1 - P2)$$

$$qA \rightarrow k.A(P1 - P2) = A^2\frac{dv}{dt}$$

$$Vol = A.X$$

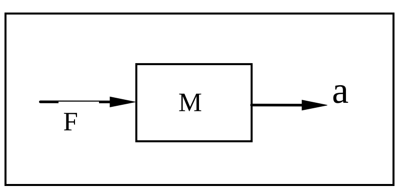
$$q = \frac{dvol}{dt} = A\frac{dx}{dt}$$

$$q = k.\Delta P = k.(P1 - P2)$$

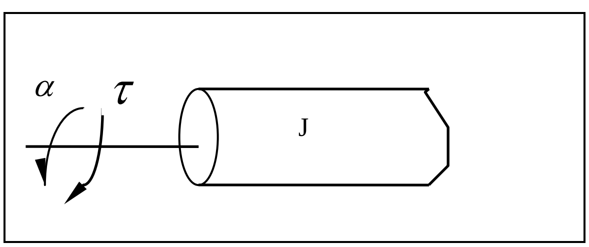
$$F = \frac{A^2}{k}.\frac{dx}{dt} = B\frac{dx}{dt}$$

B = Konstanta pedoman daspot.

c) Massa

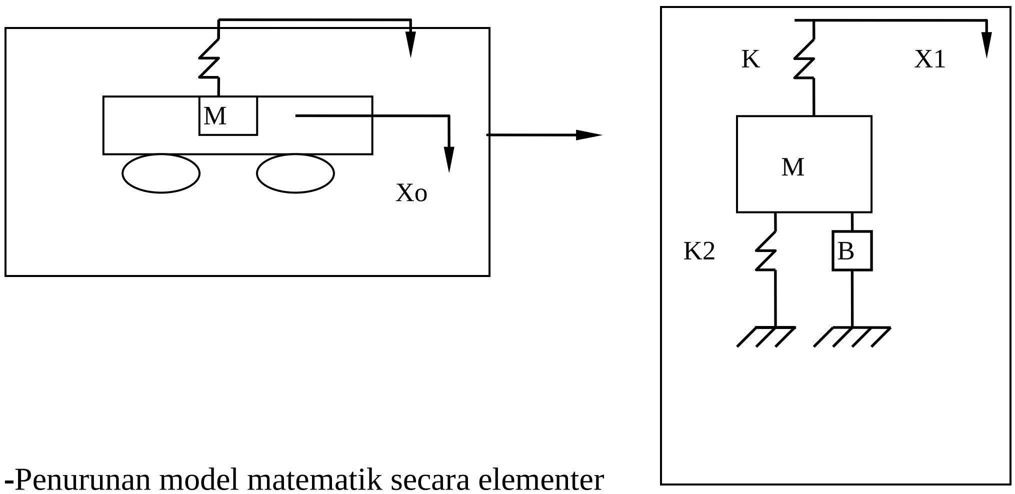


$$F = m.a = m\frac{d^2x}{dt^2}$$

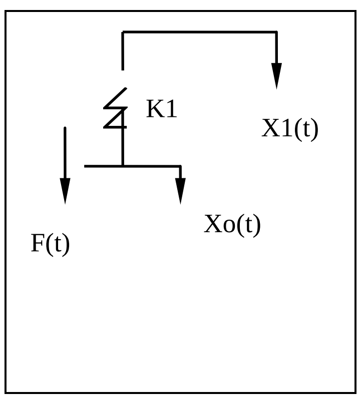


$$\tau = J.\alpha = J\frac{d^2\alpha}{dt^2}$$

Contoh sistem mekanis pada mobil



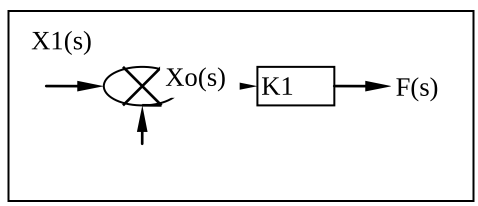
-Penurunan model matematik secara elementer



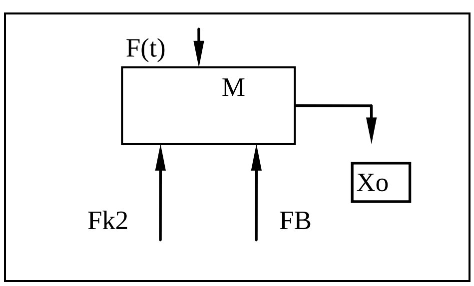
$F(t) = k1(X1 - X2)$

Dalam bentuk transformasi laplace

$F(s) = K1[X1(s) - X2(s) \cdots\cdots\cdots (1)]$ Gb..1



-Massa



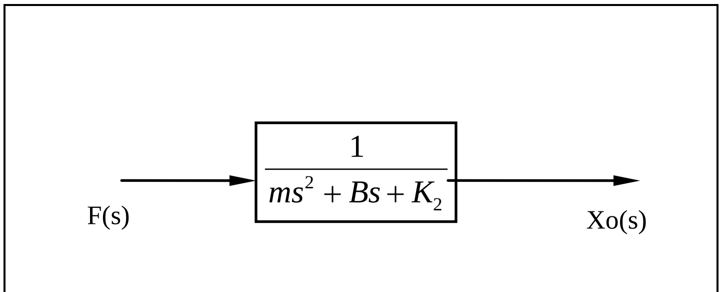
$\Sigma F = m.a$

$F(t) - Fk2 - FB = m.a$

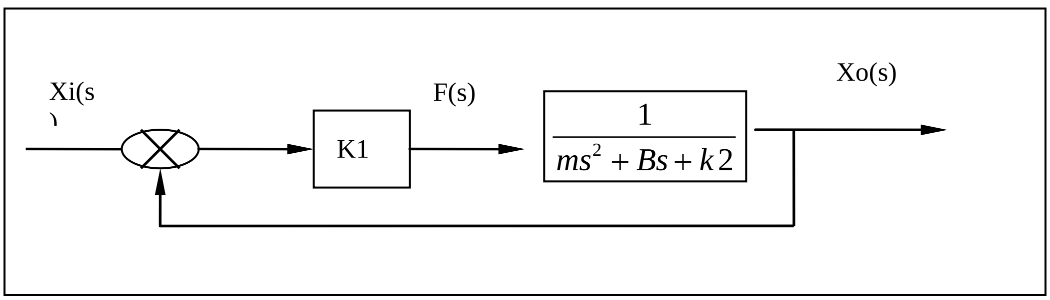
$F(t) = m.\dfrac{d^2 x_o(t)}{dt^2} + B\dfrac{dx_o(t)}{dt} + K_2 X_o$

$TL \rightarrow K(s) = (ms^2 + BS + K_2)\, Xo(s)$

$TF \rightarrow \dfrac{Xo(s)}{F(s)} = \dfrac{1}{ms^2 + Bs + k_2} \cdots\cdots\cdots (2)$



Gb.2



Persamaan 1 dan persamaan 2

$$Xo(s) = \frac{1}{ms^2 + Bs + k_2} F(s) = \frac{1}{ms^2 + Bs + K_2} k_1\left(x_1(s) - x_0(s)\right)$$

$$X_0(s) = \frac{k_1}{ms^2 + Bs + k_2} x_1(s) - \frac{K_1}{ms^2 + Bs + k_2} x_0(s)$$

$$\left[1 + \frac{k_1}{ms^2 + Bs + k_2}\right] x_0(s) = \frac{k_1}{ms^2 + Bs + k_2} x_1(s)$$

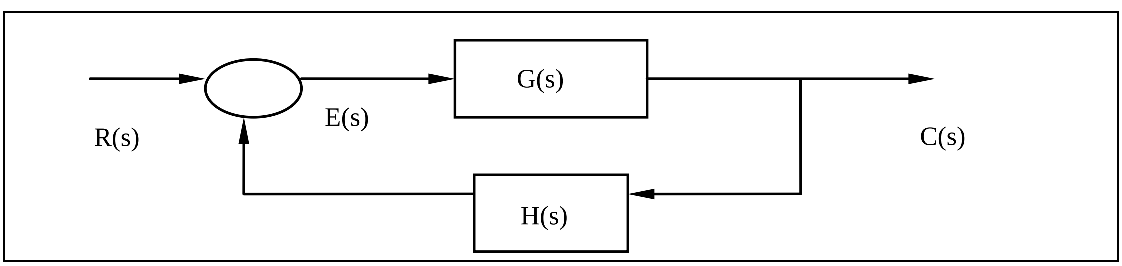
$$\frac{ms^2 + Bs + k_2 + k_1}{ms^2 + Bs + k_2} x_0(s) = \frac{k_1}{ms^2 + Bs + k_2} x_1(s)$$

$$\frac{x_0(s)}{x_1(s)} = \frac{ms^2 + Bs + k_2 + k_1}{ms^2 + Bs + k_2}$$

Persamaan diatas adalah model matematik dalam bentuk transformasi Laplace

Mendapatkan Transformasi Laplace dari blok diagram

Secara umum suatu sistem dapat di sederhanakan menjadi blok diagram sebagai berikut:



$$E(s) = R(s) - H(s).C(s) \cdots\cdots\cdots (1)$$
$$C(s) = G(s).E(s)$$
$$E(s) = \frac{1}{G(s)} C(s) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

1.....2

$$\frac{1}{G(s)} C(s) = R(s) - H(s).C(s)$$
$$\left[\frac{1}{G(s)} + H(s)\right] C(s) = R(s)$$
$$\frac{1 + G(s)H(s)}{G(s)} C(s) = R(s)$$

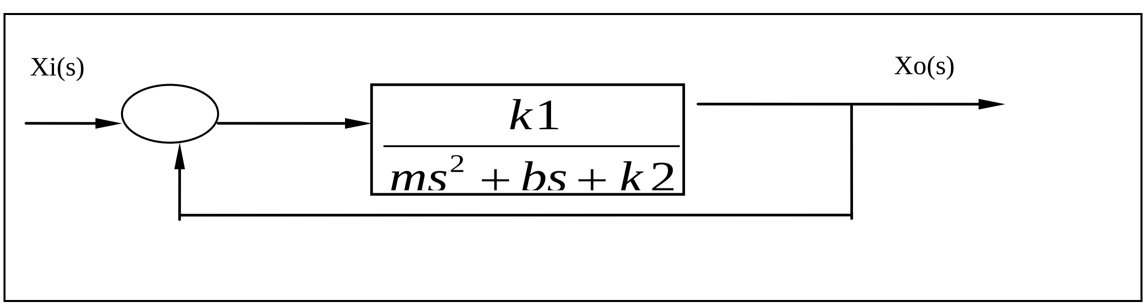
-- Untuk negatif feed back feed back

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

--untuk positif feed back

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 - G(s)H(s)}$$

Contoh:
Sistim pengujian Suspensi mobil digambarkan sebagai berikut:



$$G(s) = \frac{K1}{ms^2 + Bs + K2}$$

$$H(s) = 1$$

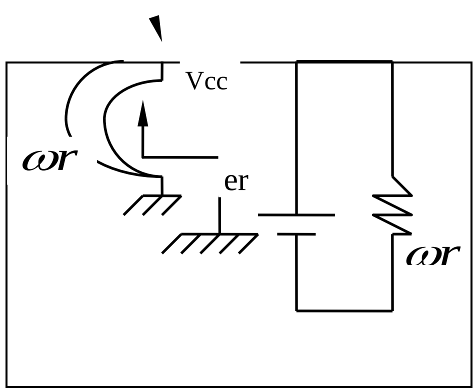
Penyelesaian

$$\frac{Xo(s)}{Xi(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} = \frac{K1 / ms^2 + Bs + K2}{1 + K1 / ms^2 + Bs + K2} = \frac{K1}{ms^2 + Bs + K1 + K2}$$

♦ Langkah-langkah mendapatkan Transfer Function dari suatu sistem fisik:

1. Turunkan hubungan input/output tiap komponen yang menyusun sistem, kemudian gambarkan dalam bentuk diagram blok.
2. Hubungkan tiap-tiap diagram blok yang didapatkan sehingga menjadi diagram blok lengkap.
3. Sederhanakan diagram blok sehingga menjadi bentuk yang standart
4. Tentukan Transfer Funtionnya.

1. Rangkaian Potensio



$$e_R = \frac{R_{\omega r}}{R_{tot}} \times Vcc \ldots\ldots \omega r_{\min} = 0$$

$$R_{\omega r} = Tahanan..pada..skala$$

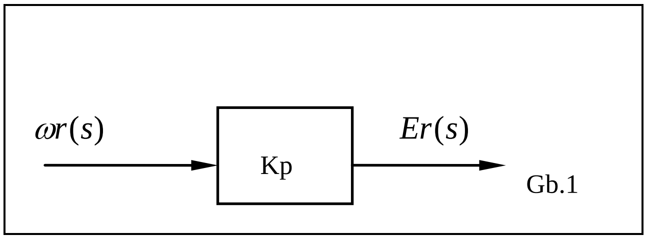
$$R_{\omega r} = \frac{\omega_r}{3000} \times R_{tot}$$

$$e_r = \frac{\frac{\omega_r}{3000} \times R_{tot}}{R_{tot}}$$

$$e_r(t) = \frac{Vcc}{3000} \times \omega r(t) = Kp.\omega r(t) = \frac{Vcc}{\omega r_{\max}}.\omega r(t)$$

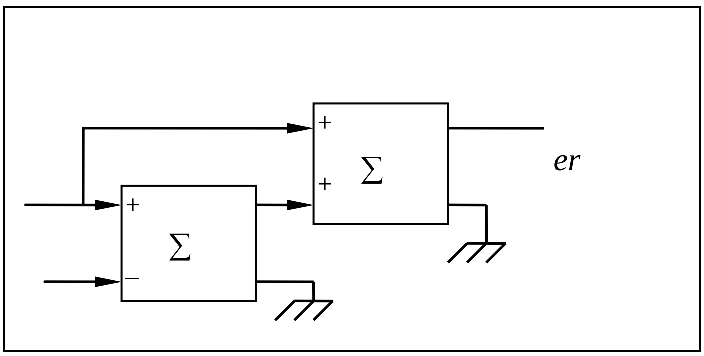
$$TL\ldots\ldots Er(s) = Kp.\omega r(s)$$

$$Kp = \frac{Vcc}{3000} \cdots konstanta..potensio$$

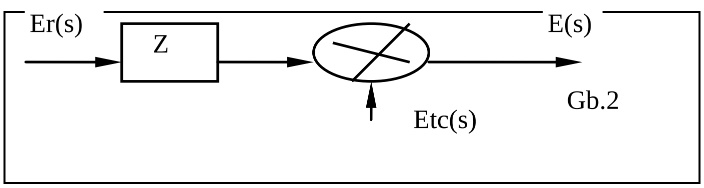


Gb.1

2. Rangkaian penjumlah error

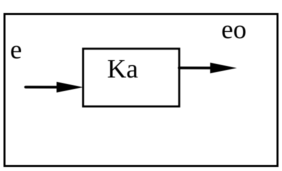


$$e(t) = e1(t) + er(t)$$
$$e1(t) = er(t) - e_{TC}(t) \Rightarrow$$
$$e(t) = 2er(t) - e_{TC}(t)$$
$$TL \rightarrow E(s) = 2Er(s) - Etc(s)\cdots\cdots(2)$$



Gb.2

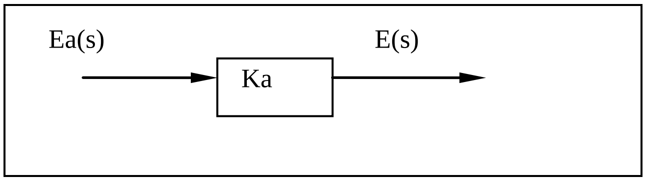
3. Amplifier



Ka gain amplifier

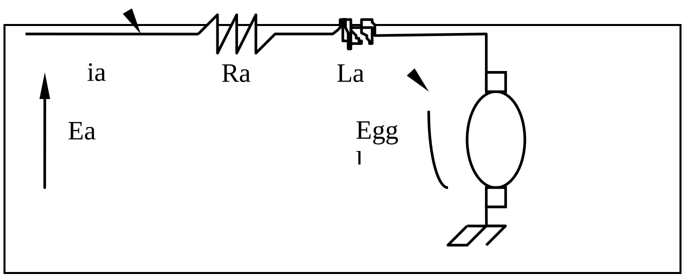
ea=Ka.e

TL-------Ea(s)=Ka.E(s)……………………….(3)



4. Motor DC dengan medan Konstan

a. persamaan arus dan tegangan pada motor

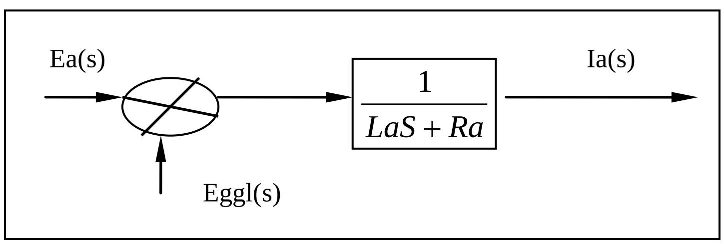


ea – eggl = Ra . ia + la . dia/dt

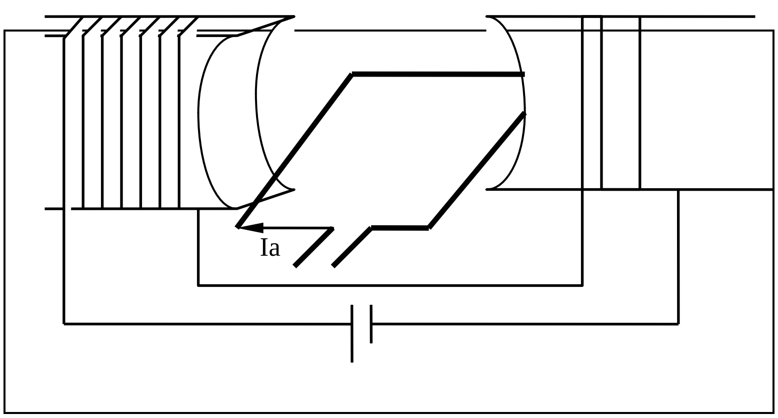
TL….

$$Ea(s) - Eggl(s) = (Ra + LaS)Ia(s)$$

$$\frac{Ia(s)}{Ea(s) - Eggl(s)} = \frac{1}{LaS + Ra} \cdots\cdots(4)$$



b. Teori Motor



$$\beta = \mu_k \frac{N_f i_f}{2\pi e_f} = kons\tan$$

$$B = \frac{\mu_0 .n.i}{2.\pi.e}$$

■ Untuk satu kawat

$F = B.i_a.l.\sin\alpha = B.i_a.l$

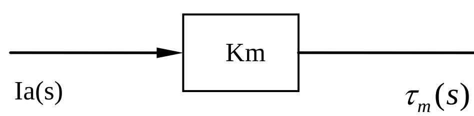
■ Untuk n kawat

$Fn = n.B.l.i_a$

$\tau_m = Rm.Fn = Rm.n.B.l.i_a$

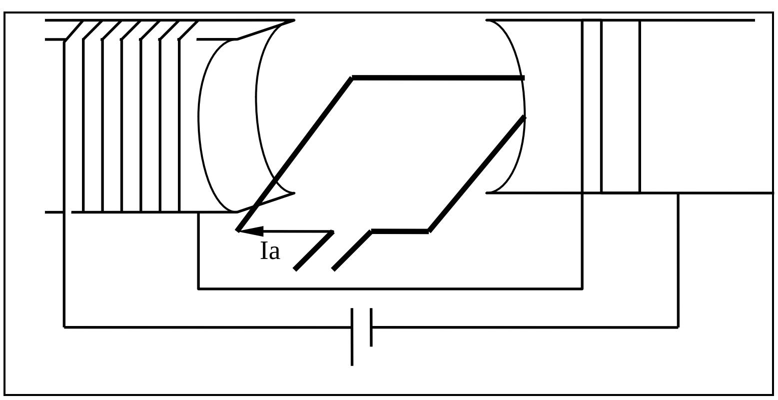
$\tau_m = Km.i_a$

$TL \rightarrow \tau_m(s) = Km.i_a(s) \cdots\cdots\cdots (5)$



Gb.5

c. GGL lawan pada motor

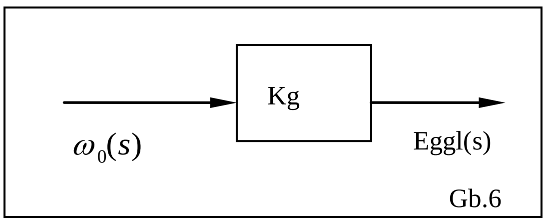


. Untuk satu kawat

$$e_{ggl} = B.L.V.\sin\alpha = B.L.\sin\theta_0$$
$$V = R_m\omega_0$$

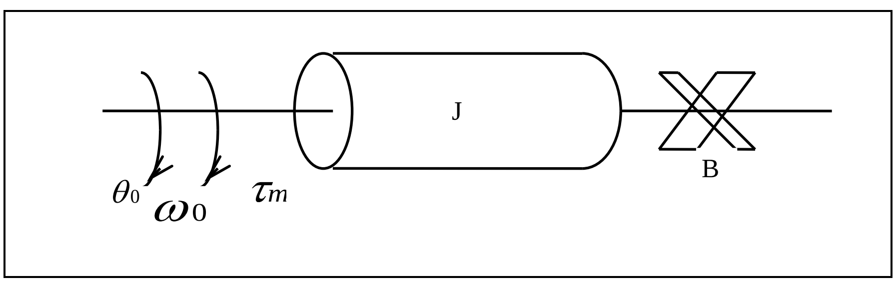
- Untuk n kawat

$$e_{ggl} Rm.n.B.l.\left|\sin\theta_0\right|\omega_0 = Kg.\omega_0$$
$$TL \rightarrow Eggl(s) = Kg.\omega_0(s)............(6)$$

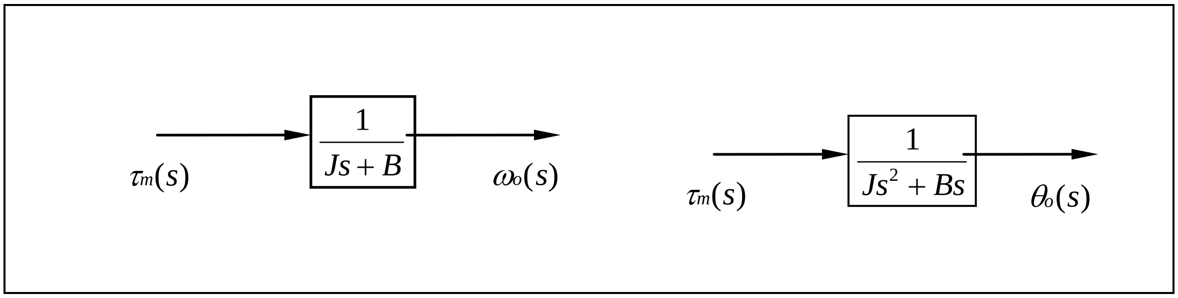


Gb.6

5. Rangkaian beban



$$\tau_m = B\frac{d\theta_0}{dt} = B\omega_0$$
$$\sum\tau = J.\alpha$$
$$\tau_m - \tau_B = J\frac{d^2\theta_0}{dt^2} = J\frac{d\varpi_o}{dt}$$
$$\tau_m = J\frac{d\varpi_o}{dt} + B\varpi_o$$



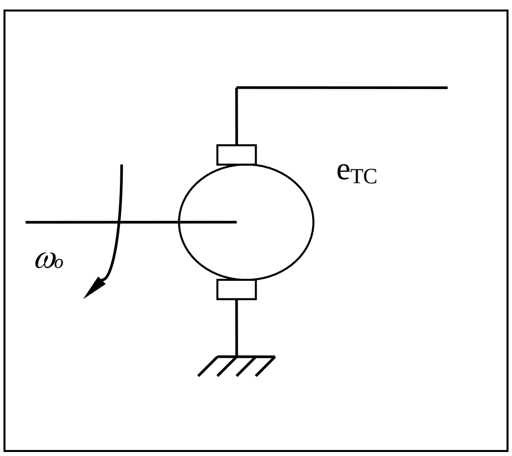
$TL: \tau_{m(s)} = (Js + B)\omega_0(s)$

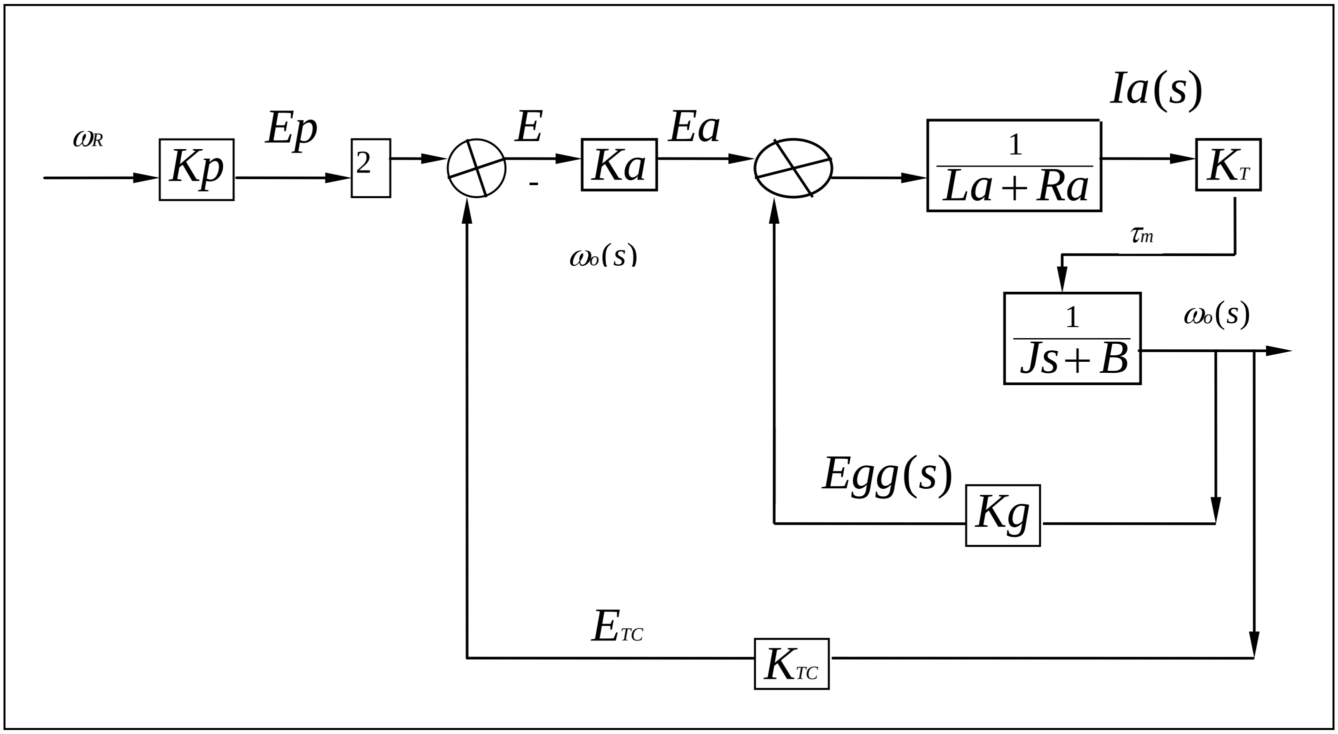
$$\frac{\omega_o(s)}{\tau_m(s)} = \frac{1}{Js + B}$$

$$\frac{\theta_o(s)}{\tau_m(s)} = \frac{1}{Js^2 + Bs}$$

–

6. Komponen Tachogenerator





Blok diagram lengkap dari sistem servo mekanis Pengaturan Kecepatan Motor DC

Adapun penyederhanaan suatu model bisa dilakukan melalui beberapa cara, antara lain :

☞ Linierisasi

☞ Asumsi proses stasioner

☞ Penyederhanaan parameter terdistribusi

☞ Penyederhanaan orde PD (persamaan diferensial)

Sistem Linier

Sistem linier adalah suatu sistem yang model matematisnya dikarekteristikkan dengan PD linier.

Contoh :

$$\dot{Y} + 2Y = 3U(t)$$
$$\dot{Y} + a^2 Y = 2\sin\omega t$$

Sistem non - Linier

Sistem linier adalah sistem yang model matematisnya dikarakteristikkan dengan PD non linier atau sistem yang mengandung komponen non linier.

Contoh :

$$\ddot{Y} + 2SinY = 2U(t)$$

Proses Linierisasi

Hubungan non linier dari Input Output komponen dapat dituliskan sebagai berikut:

y=f(t) SISO

$y=f(x_1,x_2,x_3,\ldots,x_n)$ MISO

Linierisasi y=f(t) di sekitar titik kerja:

y=mx+n……. persamaan garis dengan koefisien arah m dan melalui titik kerja.

$m=\dfrac{df(x)}{dt}$ untuk $x=x_o$

$y=\dfrac{df(x)}{dx}$, untuk $x=x_n$ sampai $x=x_o$.

melalui xo,yo:

$X= x_o$ maka $y=y_o= mx_o + n$, sehingga $n= y_o - mx_o$

substitusi n ke persamaan garis:

$y= mx + y_o - mx_o$

$y - y_o = m (x-x_o)$ atau $\dfrac{y-y}{\tilde{y}} = \dfrac{df(x)}{dx}$, untuk $x= x_o$.

$\tilde{y} = \dfrac{df(x)}{dx}$, untuk $x=x_o$, sehingga didapat persamaan garis yang baru dengan:

$$\tilde{x} = x - x_o$$

$$\tilde{y} = y - y_o$$

“MISO” (dua input satu output).

$Y = f(x_1, x_2)$

dengan cara yang sama maka linierisasinya ditulis sebagai berikut:

$$\tilde{y} = k_1 x_1 + k_2 x_2 \quad \text{, dimana } k_2 = \frac{\delta f(x_1, x_2)}{\delta x_2} \quad \text{, untuk } x_1 = x_{10},\ x_2 = x_{20}$$

$$k_1 = \frac{\delta f(x_1, x_2)}{\delta x_1} \text{ , untuk } x_1 = x_{10},\ x_2 = x_{20}$$

untuk n input dan satu output

$$\tilde{y} = \sum_{i=1}^{n} k_i \tilde{x}_i \quad \text{, dimana } k_i = \frac{\delta f(x_1, x_2, ..., x_n)}{\delta x_i} \text{ , untuk } x_1 = x_{10} \text{ sampai } x_n = x_{n0}$$

$k_i < 0$ jika kenaikan dari x_i menyebabkan penurunan y

$k_i > 0$ jika kenaikan dari x_i menyebabkan kenaikan dari y.

Contoh:

Dapatkan TF dari rangkaian komponen berikut:

Jika diketahui bahwa hubungan arus Ic dengan tegangan V_{BC} sebagai berikut:

$Ic = 12(1 - e^{-0.5V_{BC}})\text{mA}$

$V_{BE} = V_B - V_E \approx 0 = V_B = \frac{10}{120} \text{ x } 12V = 1 \text{ Volt}$

$Ic = 12(1 - e^{-0.5V_{BC}})\text{mA}$

$V_{BE}\ V_i$, $Ic = 12(1 - e^{-0.5V_i}) \text{x } 0{,}001 \text{ A}$

$V_o = 12 - 12(1 - e^{-0.5V_i}) \text{x } 0{,}001 \text{ x } 1000 \text{ Volt}$

$= 12\,e^{-0.5V_i}$ Volt

$\dfrac{V_o}{V_i}$ = ? Perlu linierisasi

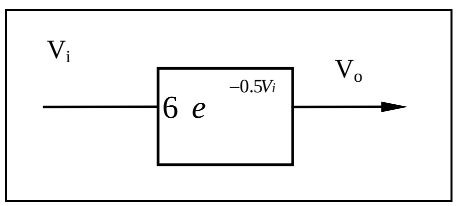
$\tilde{V}_o = \dfrac{d(12e^{-0.5V_i}}{dV_i}$, untuk V_i = 1 sampai $\tilde{V}_i$

$\tilde{V}_o$ = -6 $e^{-0.5V_i}$, untuk V_i = 1 sampai $\tilde{V}_i$

V_o = -6 $e^{-0.5V_i}$, sehingga didapat : $\dfrac{V_o}{V_i}$ = -6 $e^{-0.5V_i}$. Tanda negatif di sini hanya menunjukkan arah dari gradien.

Dalam TF tanda negatif dapat dihilangkan .

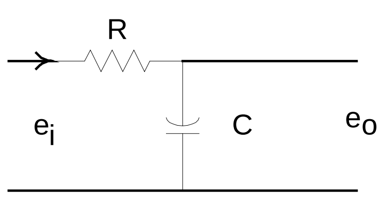
$\dfrac{V_o}{V_i} = 6\ e^{-0.5V_i}$



Fungsi Alih

Fungsi alih atau transfer function (TF) adalah penyajian sistem dalam bentuk hubungan input - output yang dinyatakan sebagai perbandingan transformasi Laplace.

Contoh :



$$e_i = i_R + \frac{1}{C}\int Idt$$

$$Ei(s) = RI(s) + \frac{1}{Cs}I(s)$$

$$Ei(s) = \frac{R(1+s)}{Cs} I(s) \ldots\ldots\ldots\ldots.(1)$$

$$E_O(s) = \frac{1}{Cs} I(s) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.(2)$$

MAKA:

$$\frac{E_O(s)}{Ei(s)} = \frac{1}{R(s+1)}$$

Secara umum fungsi alih dapat ditulis sebagai :

$$\frac{Y(s)}{G(s)} = \frac{b_o s^m + b_1 s^{m-1} + \ldots\ldots\ldots + b_{m-2} s + b_{m-1}}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \ldots\ldots\ldots + a_{n-2} s + a_{n-1}}$$ di mana n adalah orde dari sistem.

ANALOGI GAYA - TEGANGAN

Sistem Mekanik	Sistem Listrik
Gaya p (torsi T)	tegangan e
Massa m (momen inerisa J)	induktansi L
Koefisien geswkan viskos f	tahanan R
Konstanta pegas k	kebalikan kapasitsanis 1/C
Perpindahan x (perpindahan sudut θ)	muatan q
Kecepatan x (kecepatan sudut θ)	arus I

ANALOGI GAYA - ARUS

Sistem Mekanik	Sistem Listrik
Gaya p (torsi T)	Arus I
Massa m (momen inerisa J)	Kapasitsanis C
Koefisien geswkan viskos f	Kebalikan tahanan 1/R
Konstanta pegas k	Kebalikan induktansi 1/L

Perpindahan x (perpindahan sudut θ)	Fluks magnetik gandeng ψ
Kecepatan x (kecepatan sudut θ)	Tegangan e

3.3. Representasi dengan Diagram (Blok/Signal Flowgraph)

3.3.1. Diagram Blok

Diagram blok digunakan untuk menggambarkan sistem menurut fungsi dari komponen yang dinyatakan dalam gambar simbolik berupa blok-blok.

Simbol-simbol dalam diagram blok, antara lain :

- Simbol penjumlahan, digunakn untuk menyatkan hubungan antar variabel dalam bentuk

  $$y = \sum_{i=1}^{\sim} x_i$$

- Simbol balok, digunakan untuk menyatakan hubungan input -output dari komponen baik tungla atau kumpulan yang dinyatkan dalam bentuk fungsi alih.

  $$X(S) \longrightarrow \boxed{G(S)} \longrightarrow Y(S)$$

  Y(S)/X(S) = G(S)

- Garis Arah, menyatakan arah pengaruh variabel.

Penyederhanaan Diagram Blok

Dalam penyederhanaan diagram blok perlu diperhatikan bahwa blok hanya dapat dihubungkan secara seri jika keluaran blok tidak dipengaruhi oleh blok berikutnya. Jika ada pengaruh pembebanan antara komponen ini maka perlu menggabungkan komponen ini menjadi satu blok. Sejumlah blok hubung seri dari komponen tanpa pembebanan dapat diganti dengan satu blok dengan fungsi alih sama dengan hasil kali masing-masing fungsi alih tiap komponen. Dalam menyederhanakan diagrma blok perlu dingat antara lain :

1. Hasil kali fungsi alih pada arah umpan maju harus tetap sama.
2. Hasil kali fungsi alih pada pengelilingan lup harus tetap sama.

Suatu aturan umum untuk menyederhanakan diagram blok adalah memindahkan titik cabang dan titik penjumlahan, saling tukar menukar titik penjumlahan dan kemudian menyederhankan lup umpan balik di dalamnya.

3.3.2. Grafik Aliran Sinyal (Signal Flowgraph)

Untuk sistem yang kompleks, pendekatan penyederhanaan diagram blok membutuhkan waktu yang lama. Untuk mengatasi masalah ini digunakan pendekatan grafik aliran sinyal yang dikembangkan S.J. Mason. Adapun rumus penguatan Mason adalah :

$$P = \frac{1}{\Delta}\sum_{k} P_k \Delta_k$$

dimana :

P_K = penguatan atau transmitansi lintasan maju ke k

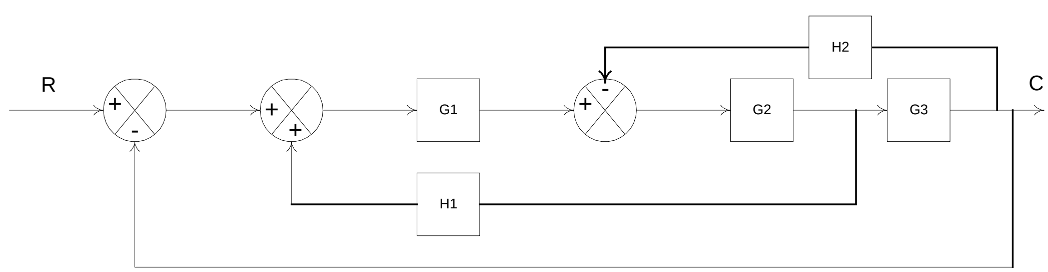
Δ = determinan grafik

= 1-(jumlah semua penguatan lup yag berbeda)+(jumlah hasil kali penguatan dari semua kombinasi yang mungkin dari dua lup yang tidak bersentuhan)- (jumlah hasil kali penguatan dari semua kombinasi yang mungkin dari tiga lup yang tidak bersentuhan)+ ......

$$= 1 - \sum_{a} L_a + \sum_{b,c} L_b L_c - \sum_{d,e,f} L_d L_e L_f + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

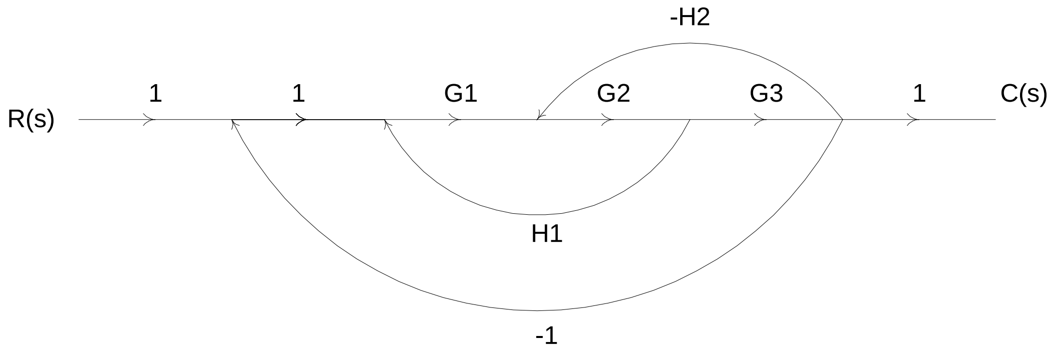
Contoh :

Diketahui blok diagram sebagai berikut :



dan ditanyakan C(s)/R(s).

Maka terlebih dahulu kita harus menyederhanakan blok diagram di atas dengan pendekatan grafik aliran sinyal. Grafik aliran sinyalnya bisa kita buat sebagai berikut :



pada sistem ini hanya ada satu lintasan mauj antara masukan R(s) dan keluaran C(s). Penguatan lintasan maju tersebut adalah :

P1 = G1 G2 G3

Dari grafik aliran sinyal kita lihat bahwa terdapat 3 lup individual. Penguatan lup lup ini adalah :

L1 = G1 G2 H1

L2 = - G2 G3 H2

L3 = - G1 G2 G3

Dari persamaan di atas terlihat bahwa semua lup bersentuhan, sehingga determinan Δ diberikan oleh :

Δ = 1- (L1 + L2 + L3)

= 1 - G1 G2 H1 + G2 G3 H2 + G1 G2 G3

kofaktor Δ 1 dari determinan sepanjang lintasan maju yang menghubungkan simpul masukan dan simpul keluaran diperoleh dengan menghilangakan lup yang menyentuh lintasan ini. Karena lintasan P1 menyentuh semua lup, mk kita peroleh Δ 1 =1. Dengan demikian penguatan keseluruhan antara masukan R(s) dan keluaran C(s) atau fungsi alih tertutup, diberikan oleh :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = P = \frac{P_1 \Delta_1}{\Delta}$$

$$= \frac{G_1 G_2 G_3}{1 - G_1 G_2 H_1 + G_2 G_3 H_2 + G_1 G_2 G_3}$$

3.4. Representasi dengan Persamaan State (Variabel Phasa)

Pada teori pengaturan konvensional memiliki beberapa keterbatasan yaitu :

- Hanya masukan, keluaran dan sinyal kesalahan yang dianggap penting.
- Dalam analisa dan desain menggunakan transfer function dan metode grafis (root locus, Bode plot dan lain-lain).
- Berlaku pada sistem linear time-invariant dengan Single Input – single Output (SISO).
- Tidak dapat untuk desain sistem pengaturan optimal dan sistem pengaturan adaptif, yang biasanya parameter pengaturannya tidak tetap.

Hal tersebut dikarenakan beberapa kecenderungan dalam bidang teknik sistem, yaitu :

- Lebih kompleks (terutama disebabkan akan adanya sasaran yang komplek dan ketelitian yang baik)
- Multiple Input – Multiple Output (MIMO)
- Time varying
- Large scale computer

Sehingga muncullah teori pengaturan modern yang mempunyai keunggulan berikut ;

- Berlaku pada sistem MIMO yang linear (dan non-linear) dan time invariant (dan time varying).
- Menggunakan pendekatan kawasan waktu (time domain approach).
- Memungkinkan untuk mendesain sistem pengaturan optimal terhadap suatu indeks performansi yang diberikan.
- Desain dapat dilakukan untuk sekelompok masukan.
- Memungkinkan menyertakan syarat-syarat awal dalam desain.

State dair suatu sistem dinamis adalah kumpulan terkecil dari variabel-variabel (disebut variabel state/keadaan) sedemikian rupa sehingga pengetahuan dari variabel-variabel ini pada $t=t_0$, bersama-sama dengan masukan untuk $t>0$ secara lengkap menentukan kelakuan (behaviour) sistem untuk $t \geq t_0$.

State $x(t)$ ditentukan secara unique oleh $x(t_0)$ oleh masukan untuk $t \geq t_0$ (tidak untuk $t<t_0$). Pada sistem time-invariant linier, biasanya dipilih sama dengan nol.

State variabel dari suatu sistem dinamik adalah kumpulan terdiri dari variabel-variabel yang menentukan state/keadaan sistem dinamiknya.

State variabel tidak harus secara fisik merupakan besaran yang dapat diamati/diukur.

State vector (vektor keadaan) adalah vektor yang menentukan state sistem secara unique untuk $t \geq t_0$, selama masukan $u(t)$ untuk $t \geq t_0$ diberikan.

State space (ruang keadaan) adalah ruang dimensi n dimana sumbu-sumbu koordinatnya terdiri dari sumbu x_1, x_2, x_3, …., x_n.

Teori pengaturan modern didasarkan pada deskripsi persamaan-persamaan sistem dalam bentuk n persamaan diferensial orde pertama.

Notasi vektor-matrik sangat menyederhanakan representasi matematis dari sistem persamaan. Dimana komputer digital sangat bermanfaat untuk menyelesaikan persamaan diferensialnya.

DAFTAR NILAI

SEMESTER GENAP REGULER TAHUN 2021/2022

Program Studi : Teknik Elektro S1
Matakuliah : Sistem Kendali Multivariabel
Kelas / Peserta : A
Perkuliahan : Kampus ISTN Bumi Srengseng Indah
Dosen : Abdul Muis, Ir.MT

No	NIM	N A M A	ABSEN	TUGAS	UTS	UAS	MODEL	PRESENTASI	NA	HURUF
			10%	**20%**	**30%**	**40%**	**0%**	**0%**		
1	21220701	**Wira Dwicaksana**	100	73	72	70	0	0	74.2	**B+**

Rekapitulasi Nilai							
A	0	B+	1	C+	0	D+	0
A-	0	B	0	C	0	D	0
		B-	0	C-	0	E	0

Jakarta,31 July 2022

Dosen Pengajar

Abdul Muis, Ir.MT

Security ID 91d367f46b2e53f9929d27b026e4915f