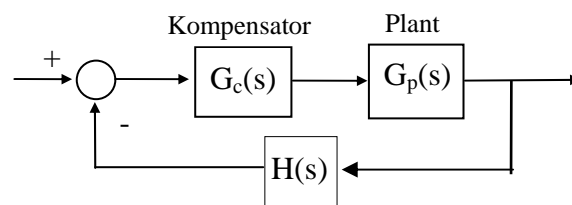


DESAIN KOMPENSATOR KAWASAN FREKUENSI

Dalam bab terdahulu, telah dipelajari analisa TKA dan prosedur desain. Desain TKA telah ditampilkan sebagai metode untuk menangani tanggapan peralihan (*transien*) sistem kontrol dengan berbagai keterbatasan. Sistem kontrol dirancang agar memiliki *pole kompleks* pada lokasi yang dikehendaki. Namun, jika sistem memiliki orde lebih dari dua, maka *pole* fungsi alih lainnya tidak dilokalisasikan. Jika pole ini berada pada lokasi yang tidak dikehendaki, maka diperlukan prosedur desain agar pole digeser pada lokasi dikehendaki.

Desain Kompensasi

Berikut ini akan dibicarakan kompensasi untuk sistem SISO (*single input single output*) seperti diperlihatkan gambar 1 berikut :



Gambar 1 Sistem kontrol dengan kompensator

$G_c(s)$ harus dirancang sedemikian hingga sistem memiliki karakteristik yang telah ditetapkan. Kompensasi jenis ini disebut *kompensasi bertingkat* atau *seri*. Pengaruh kompensasi terhadap sistem ditunjukkan dengan kedudukan akar persamaan karakteristik berikut

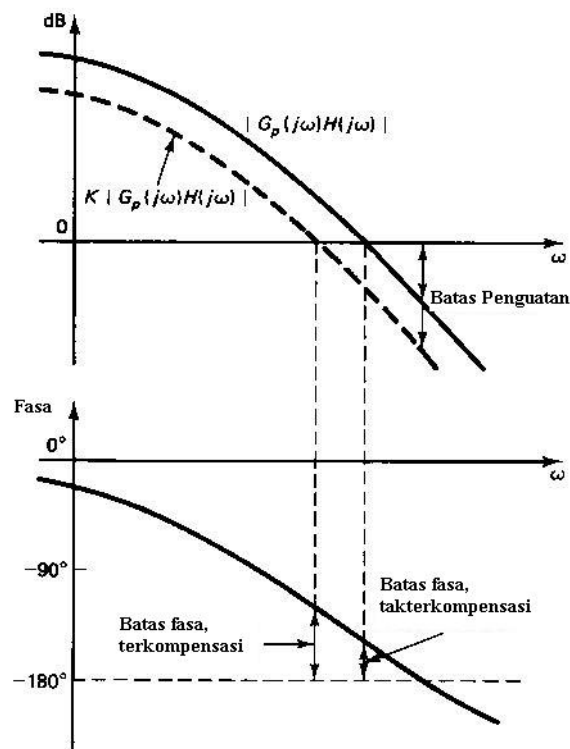
$$1 + G_c(s)G_p(s)H(s) = 0$$

Kompensasi Penguatan

Bentuk kompensasi penguatan adalah

$$G_c(s) = K$$

Pengaruh kompensasi ini terlihat dalam diagram Bode yang diperlihatkan gambar 2. Karakteristik magnituda tergeser dengan tanpa perubahan bentuk; sedangkan karakteristik fasa tak ada perubahan. Oleh karena itu batas fasa dinaikkan. Karena frekuensi saat terjadinya batas fasa direduksi, maka lebar pita sistem berkurang. Sehingga waktu naik sistem bertambah, tetapi lewatan tanggapan peralihan berkurang karena batas fasa naik.



Gambar 2 Diagram Bode untuk kompensasi penguatan

Contoh 1 :

Diberikan sistem dengan fungsi alih lup terbuka

$$G_p(s)H(s) = \frac{4}{s(s+1)(s+2)}$$

Rancanglah kompensasi penguatan agar batas fasa (*phase margin*) sebesar 50^0 .

Penyelesaian :

Tanggapan frekuensi sistem adalah

$$G_p(j\omega)H(j\omega) = \frac{4}{j\omega(j\omega+1)(j\omega+2)}$$

magnituda sebagai fungsi ω adalah

$$|G_p(j\omega)H(j\omega)| = \frac{4}{\omega\sqrt{\omega^2+1}\sqrt{\omega^2+4}}$$

sedangkan fasa sebagai fungsi ω adalah

$$\angle G_p(j\omega)H(j\omega) = 0^0 - 90^0 - \arctg \omega - \arctg \frac{\omega}{2}$$

Tabel 12-1 memperlihatkan tabel harga magnituda dan fasa dari $\omega = 0,01$ rad/s sampai $\omega = 5$ rad/s. Perhatikan bahwa batas fasa sistem tanpa kompensasi mendekati $180^0 - 168,5191^0 = 11,4809^0$, suatu harga batas fasa yang sangat kecil sekali. Untuk menaikannya menjadi 50^0 . Maka harga $|G(j\omega)H(j\omega)| = 1$ dan sudut fasanya sebesar -130^0 . Dari tabel terlihat bahwa untuk keperluan harga ini, frekuensi pada saat terjadi batas fasa adalah ketika $\omega \cong 0,5$.

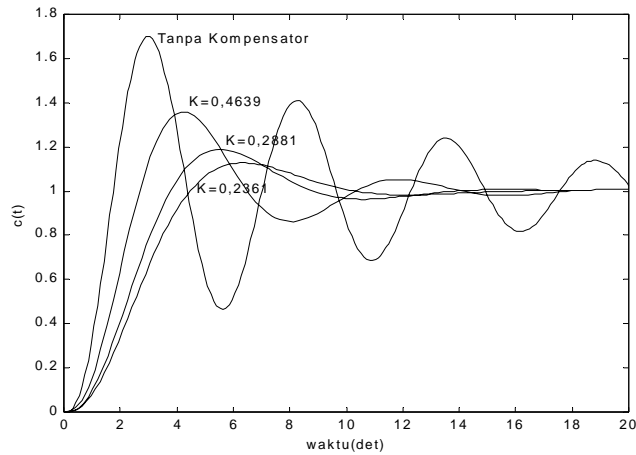
Karena magnituda fungsi lup terbuka pada frekuensi ini sebesar 3,4709, kita memilih K sama dengan $1/3,4709$ atau 0,2881.

Tabel 1 : Tanggapan frekuensi contoh 1

ω	$ G(j\omega)H(j\omega) $	dB	Fasa ($^{\circ}$)
0.01	199.9875	46.0201	-90.8594
0.02	99.9750	39.9978	-91.7187
0.03	66.6292	36.4733	-92.5777
0.04	49.9501	33.9707	-93.4364
0.05	39.9376	32.0276	-94.2945
0.06	33.2585	30.4381	-95.1520
0.07	28.4842	29.0921	-96.0087
0.08	24.9005	27.9242	-96.8645
0.09	22.1104	26.8919	-97.7193
0.10	19.8759	25.9665	-98.5730
0.20	9.7571	19.7865	-107.0205
0.30	6.3149	16.0073	-115.2300
0.40	4.5522	13.1645	-123.1113
0.425	4.2364	12.5399	-125.0224
0.50	3.4709	10.8088	-130.6013
0.60	2.7378	8.7479	-137.6630
0.70	2.2093	6.8849	-144.2821
0.712	2.1557	6.6718	-145.0466
0.80	1.8125	5.1658	-150.4612
0.90	1.5063	3.5581	-156.2150
1	1.2649	2.0412	-161.5651
1,142	1.0019	0.0166	-168.5191
1,7	0.4545	-6.8495	-189.8990
2	0.3162	-10.000	-198.4349
3	0.1169	-18.6407	-217.8750
4	0.0542	-25.3148	-229.3987
5	0.0291	-30.7119	-236.8887

Untuk menyelidiki pengaruh kompensasi penguatan lebih jauh , kompensasi dapat juga dihitung untuk menghasilkan margin fasa 35° dan 65° . Untuk margin fasa 35° diperoleh K sebesar $1/2,1557$ atau $0,4639$ dan margin fasa 65° diperoleh K sebesar $1/4,2364$ atau $0,2361$.

Tanggapan tangga untuk sistem tanpa dan dengan kompensasi diperlihatkan gambar 3 berikut .



Gambar 3 Tanggapan sistem tanpa dan dengan kompensasi

Kompensasi Tertinggal-Fasa

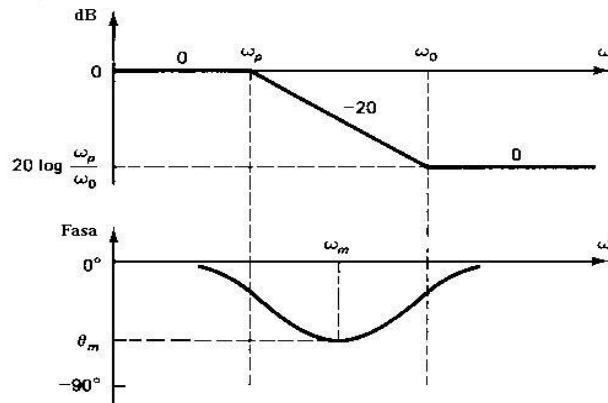
Bentuk fungsi alih kompesasi tertinggal-fasa adalah

$$G_c(s) = \frac{1 + s / \omega_0}{1 + s / \omega_p}$$

Kompensator ini memiliki *penguatan DC* sebesar satu. Persoalan desain adalah menentukan *zero kompensator*, $-\omega_0$ dan *pole kompesator*, $-\omega_p$, dengan harga $\omega_0 > \omega_p$, sedemikian rupa sehingga sistem lup tertutup akan memiliki karakteristik yang telah ditetapkan.

Karena kompensator ini memiliki penguatan DC sebesar satu dan $\omega_0 > \omega_p$, maka diagram Bode kompensator tertinggal-fasa diperlihatkan dalam gambar 4. Pendekatan garis lurus diberikan untuk karakteristik magnituda. Dalam karakteristik fasa, sudut kompensator haruslah negatif pada setiap frekuensi, dan sudut tertinggal fasa maksimum, θ_m , kurang dari 90° . Tertinggal fasa maksimum terjadi pada saat frekuensi ω_m , yang ditunjukkan sebagai rata-rata geometri dari ω_0 dan ω_p , yaitu sebesar

$$\omega_p = \sqrt{\omega_o \omega_p} .$$

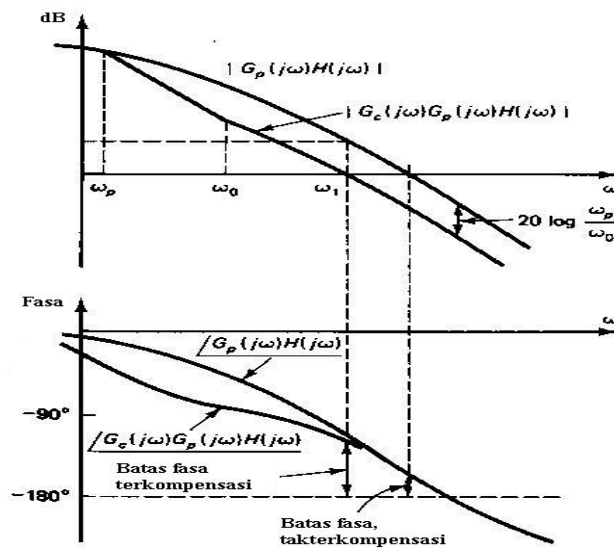


Gambar 4 Diagram Bode kompensator tertinggal-fasa

Perhatikan bahwa pengaruh kompensator tertinggal-fasa adalah menurunkan penguatan pada frekuensi tinggi dan memberikan fasa tertinggal. Penguatan frekuensi tinggi diturunkan dengan faktor

$$\text{Penguatan frekuensi tinggi} = \frac{\omega_p}{\omega_0}$$

Pengaruh kompensasi tertinggal-fasa terhadap sebuah sistem diperlihatkan dalam bentuk diagram Bode gambar 5.



Gambar 5 Pengaruh kompensator tertinggal-fasa terhadap sistem

Prosedur desain kompensator tertingga-fasa sebagai berikut :

1. Mengatur penguatan DC dari $G(s)H(s)$ untuk memenuhi frekuensi-rendah.
2. Menentukan frekuensi ω_1 saat mana sudut $G_p(j\omega)H(j\omega)$ sama dengan $(-180^\circ + \phi_{pm} + 5^\circ)$, dengan ϕ_{pm} adalah *batas fasa* yang ditetapkan.
3. Magnituda *zero* kompensator ditentukan dengan

$$\omega_0 = 0,1 \omega_1$$

4. Perbandingan *pole* dan *zero* kompensator adalah

$$\frac{\omega_p}{\omega_0} = \frac{1}{|G_p(j\omega_1)H(j\omega_1)|}$$

5. Fungsi alih kompensator adalah

$$G_c(s) = \frac{K_c(1 + s/\omega_0)}{1 + s/\omega_0}$$

dengan K_c adalah faktor penguatan DC dari $G_p(s)H(s)$ yang ditentukan pada langkah 1.

Contoh 2 :

Perhatikan sistem seperti contoh 1 dengan bentuk fungsi alih lup terbuka :

$$G_p(s)H(s) = \frac{4}{s(s+1)(s+2)}$$

Dengan anggapan bahwa penguatan DC telah memenuhi spesifikasi. Andaikan bahwa batas fasa yang diinginkan sebesar 50° . Maka frekuensi ω_1 ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\angle G(j\omega_1)H(j\omega_1) = -180^\circ + 50^\circ + 5^\circ = -125^\circ$$

Dari tanggapan frekuensi yang diperlihatkan tabel 1, dapat ditunjukkan bahwa sudut fasa -125^0 terjadi pada $\omega_I=0,425$. Magnituda fungsi alih pada frekuensi ini 4,2364.

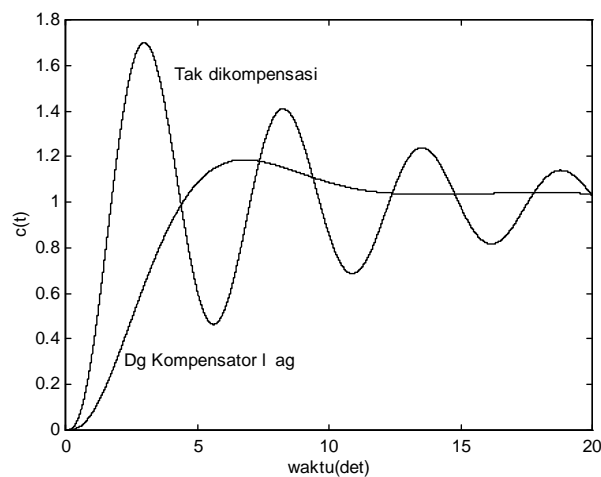
Sehingga $\omega_0=0,1$ $\omega_I=0,0425$ dan dari persamaan

$$\frac{\omega_p}{\omega_0} = \frac{1}{|G_p(j\omega_1)H(j\omega_1)|} = \frac{1}{4,2364} = 0,2361$$

Maka magnituda pole $\omega_p = (0,2361)(0,04)=0,01$, dan fungsi alih kompensator adalah

$$G(s) = \frac{1 + s/0,0425}{1 + s/0,01} = \frac{1 + 23,5294s}{1 + 100s} = \frac{0,235294s + 0,01}{s + 0,01}$$

Tanggapan sistem tanpa dan dengan kompensator tertinggal-fasa diperlihatkan gambar 12-6.



Gambar 6 Tanggapan sistem tanpa dan dengan kompensator

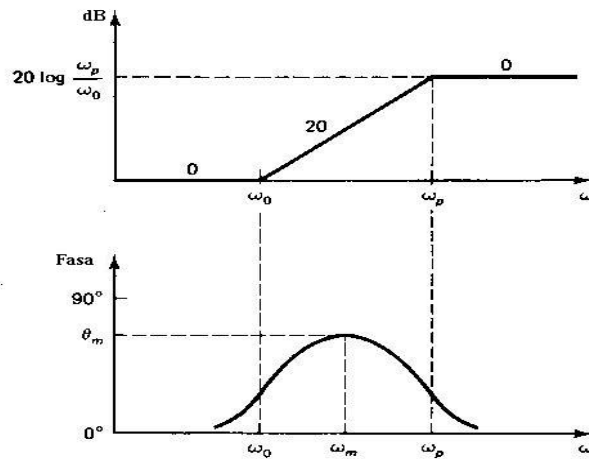
Kompensator Mendahului-Fasa

Bentuk fungsi alih kompesasi mendahului-fasa adalah

$$G_c(s) = \frac{1 + s / \omega_0}{1 + s / \omega_p}$$

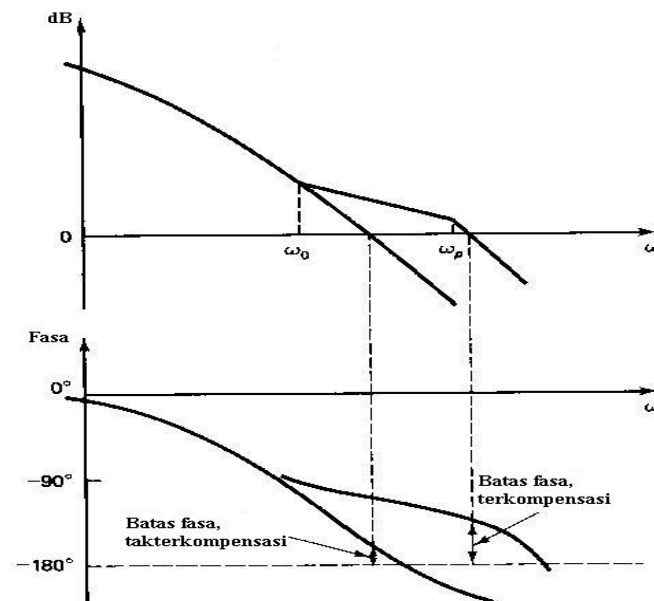
Kompensator mendahului-fasa memiliki harga $\omega_0 < \omega_p$, sedemikian rupa sehingga sistem lup tertutup akan memiliki karakteristik yang telah ditetapkan.

Diagram Bode kompensator ini diperlihatkan gambar 7. Jadi kompensator mendahului-fasa adalah berbentuk tapis pelewat tinggi, yang mana frekuensi tinggi dikuatkan dibanding frekuensi rendah.



Gambar 7 Diagram Bode kompensator mendahului-fasa

Pengaruh kompensator mendahului-fasa terhadap sistem diperlihatkan dalam gambar 8.



Gambar 8 Desain kompensator mendahului-fasa

Karena baik penguatan maupun fasa kompensator mempengaruhi batas fasa dalam gambar 8, maka desain kompensator ini cenderung menggunakan cara coba-coba (*trial and error*).