講義中の注意

e-DEN【イーデン】 × 電験どうでしょう Let me inject Energy to you!

〇講義中は、参加者のマイク・カメラの機能はミュート状態になります。

〇進行はスタッフ及び講師が行いますので、指示に従ってください。

〇質疑応答の時間は、参加者のマイクをオンにして質問を受け付けることもあります。希望される方は「チャット欄」で申し出てください。

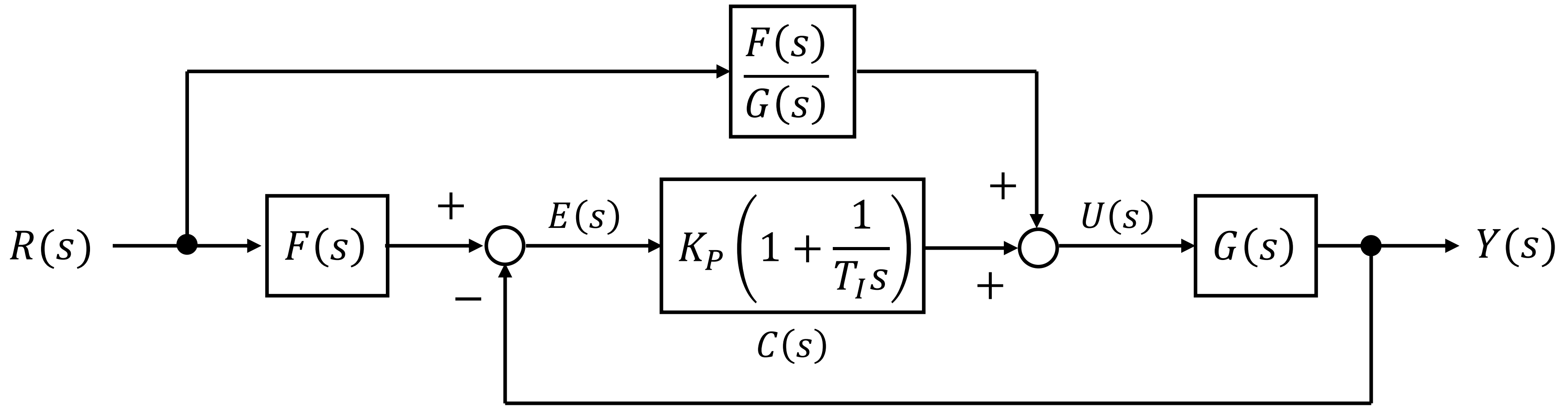
電験二種二次対策 オンライン講座

第2回

ブロック線図（2自由度制御系）

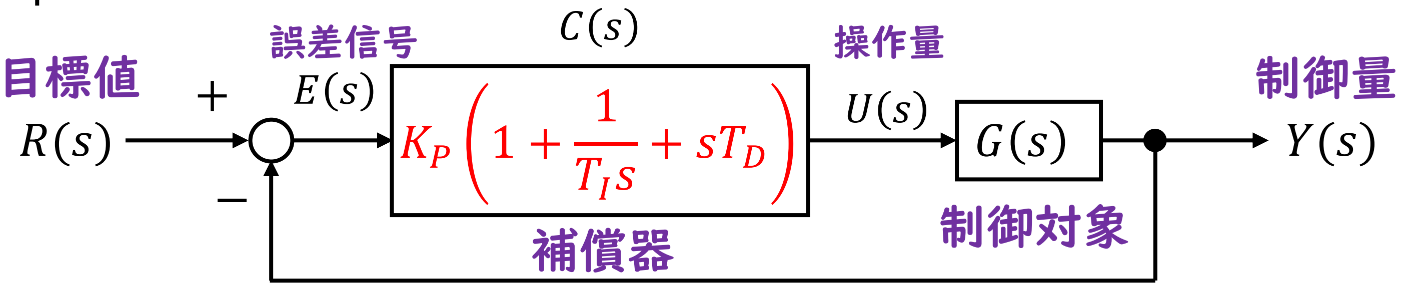
2021.09.25 Sat

講義のテーマ：2自由度制御系



この制御系の各ブロックの意味を解説していきます

PID制御



K_P：比例ゲイン（比例感度）
T_I：積分時間（リセットタイム）
T_D：微分時間（レートタイム）

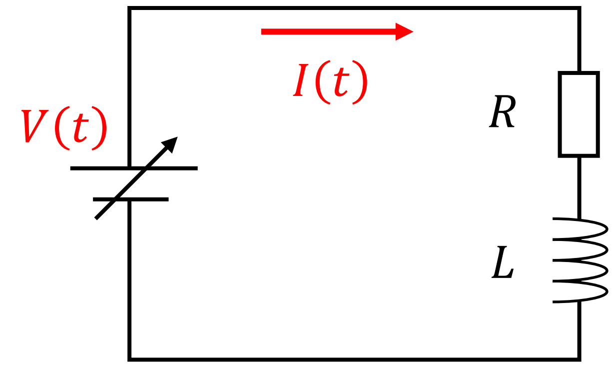
PID制御：比例動作（Proportional）、積分動作（Integral）、微分動作（Differential）からなる補償器を有する制御系

比例動作：誤差信号に比例した操作量を生成する。比例ゲインを大きくすると、制御系の応答速度が増加し、定常偏差も小さくなるが、安定度は悪くなる。

積分動作：誤差信号を時間積分した操作量を生成する。定常偏差を0にできる。
積分ゲイン（K_P/T_I）を大きくすると応答速度が増加するが、安定度は悪くなる。
目標値が変化した直後の操作量は小さく、制御遅れが生じる。

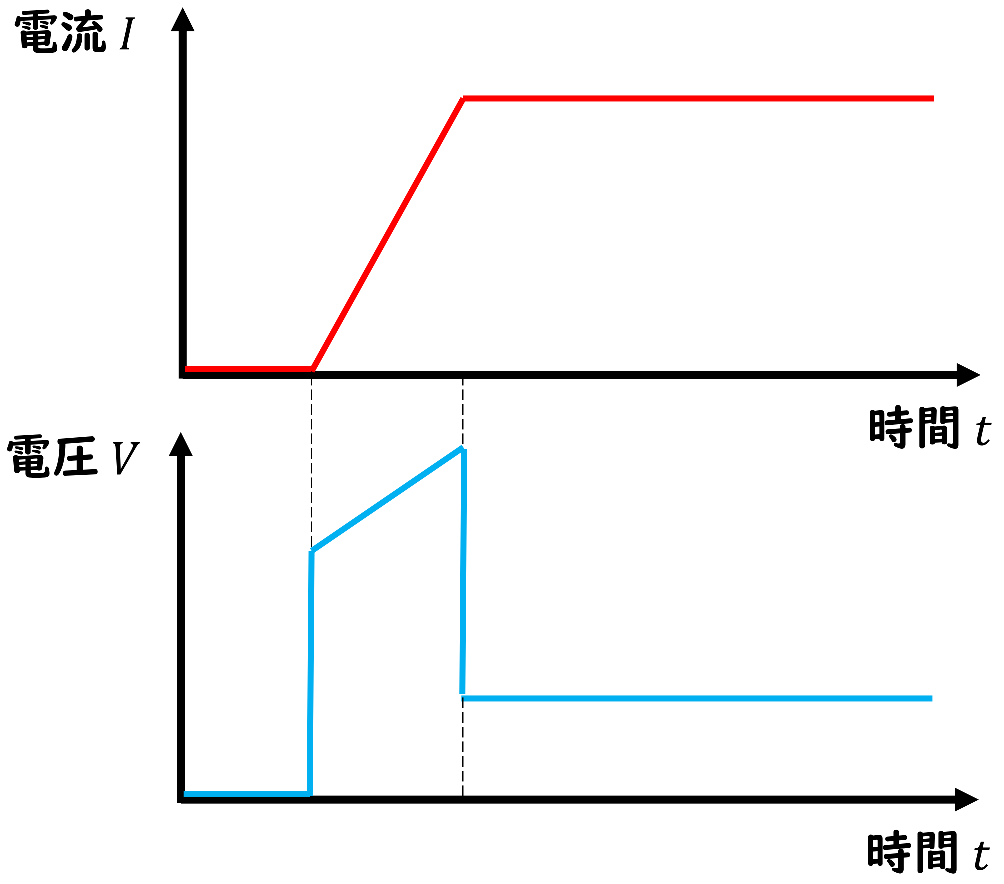
微分動作：誤差信号を時間微分した操作量を生成する。
伝達遅れや無駄時間といった制御遅れを改善できる。
微分ゲイン（K_PT_D）を大きくすると、安定度が悪くなる。

PID制御の例

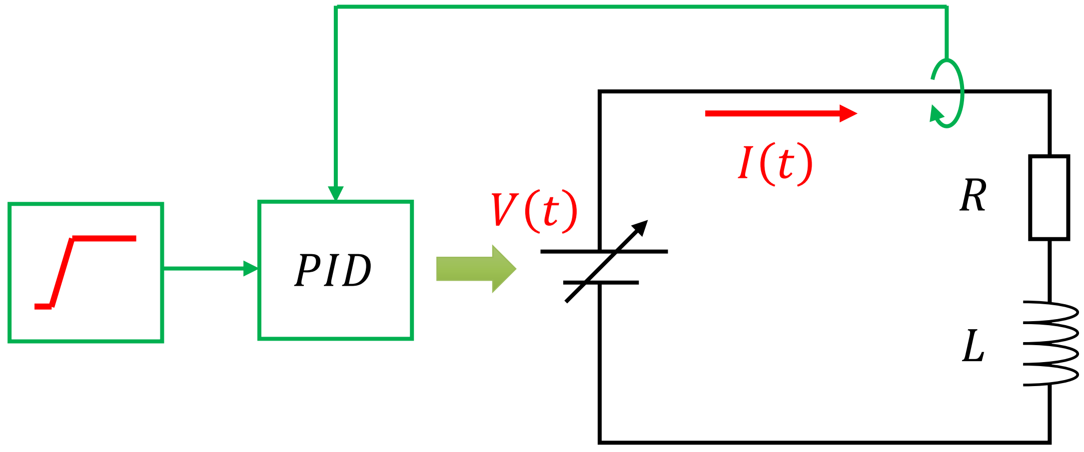


電流と電圧の関係

$$V(t) = RI(t) + L\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}I(t)$$



電源電圧により電流を調整する制御系



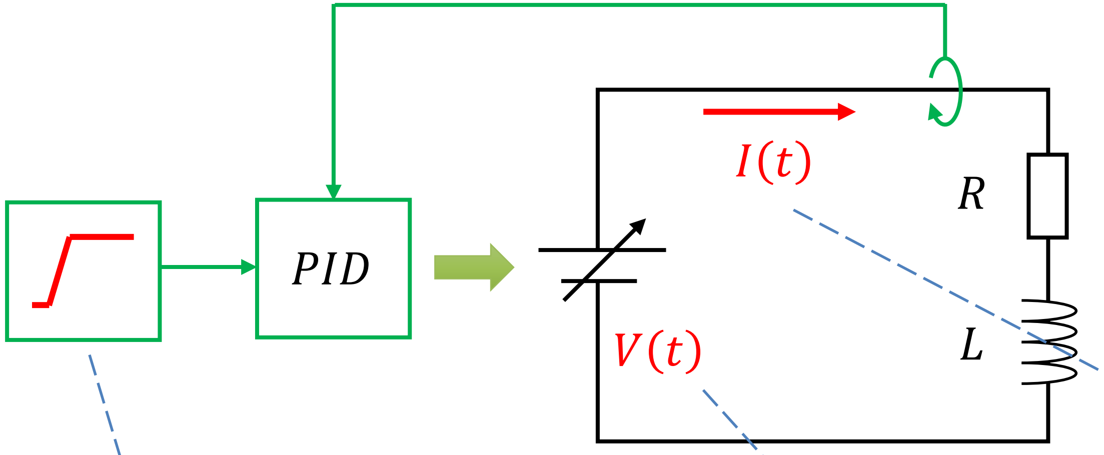
PID制御の例

電源電圧により電流を調整する制御系

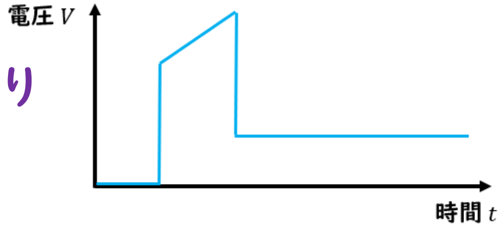
$$V(t) = RI(t) + L\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}I(t)$$

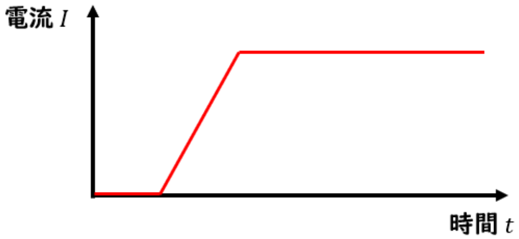
$$\xrightarrow[\mathcal{L}]{} \quad V(s) = RI(s) + sLI(s)$$

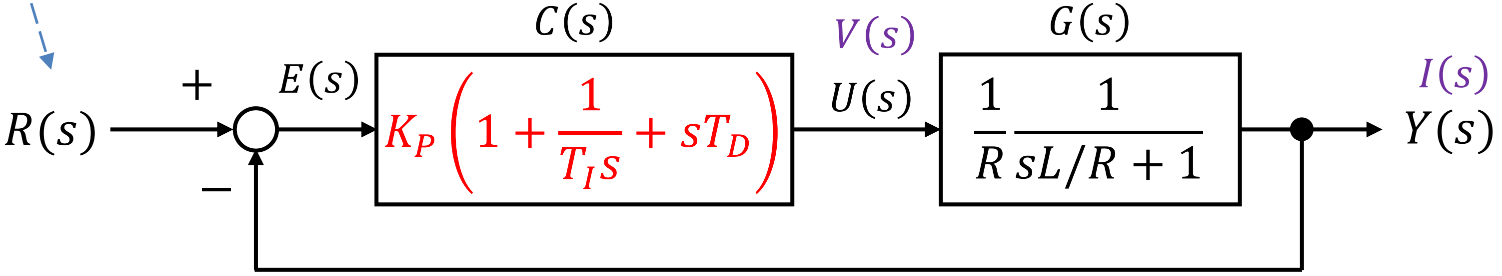
$$\underbrace{I(s)}_{Y(s)} = \frac{V(s)}{R + sL} = \underbrace{\frac{1}{R}\frac{1}{sL/R + 1}}_{G(s)}\underbrace{V(s)}_{U(s)}$$



補償器$C(s)$により
電圧を制御する

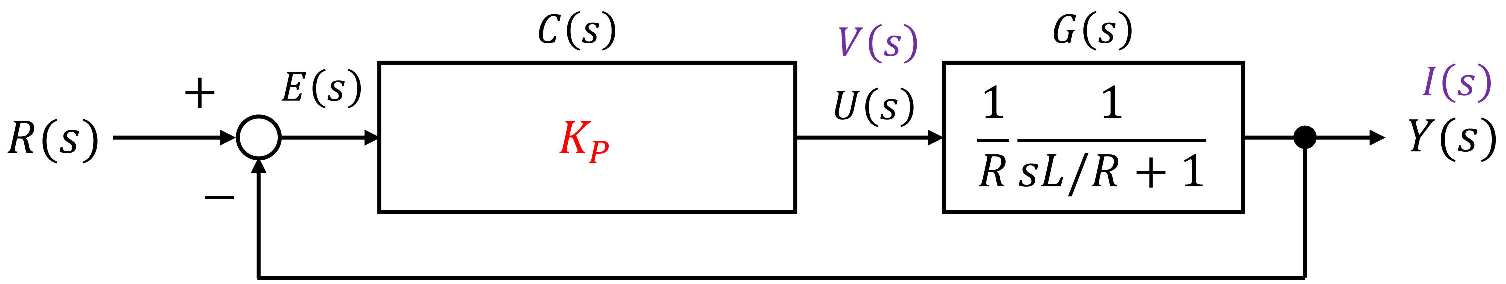




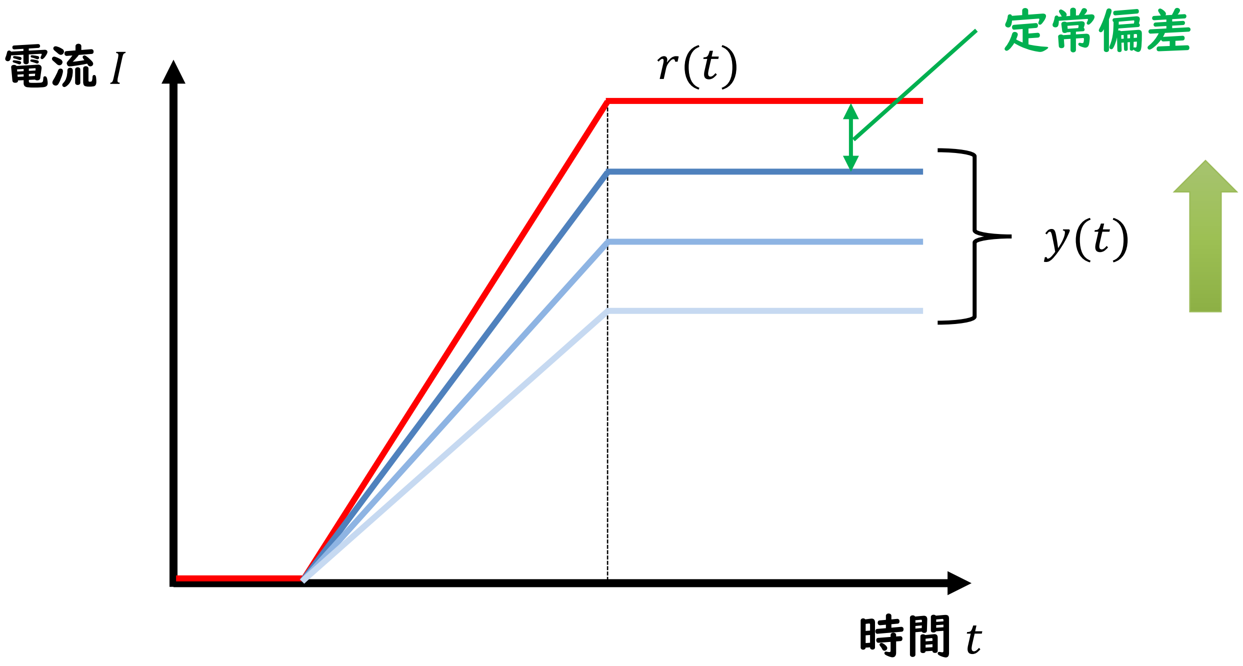


PID制御の例（比例動作）

e-DEN【イーデン】 × 電験どうでしょう Let me inject Energy to you!



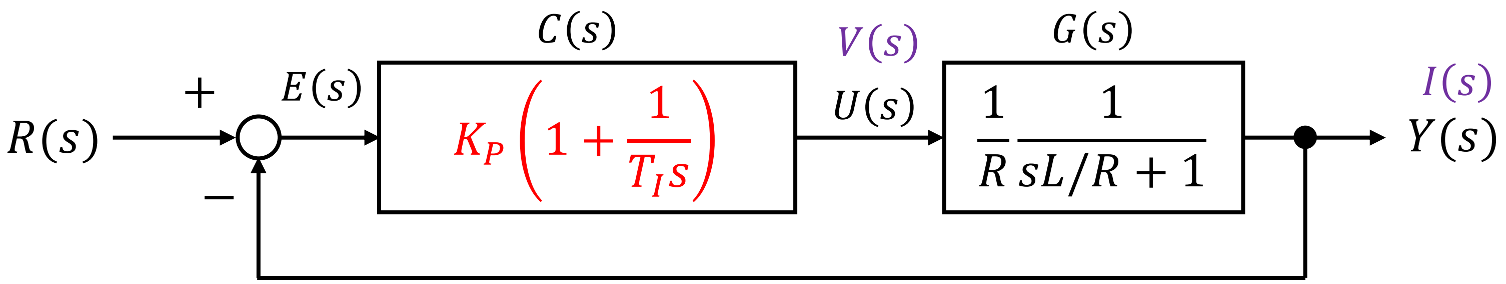
$r(t)$：入力信号（電流の目標値）
$y(t)$：出力電流
$e(t)$：入力と出力のずれ



K_Pを大きくすると、目標値と制御量のずれが小さくなる。

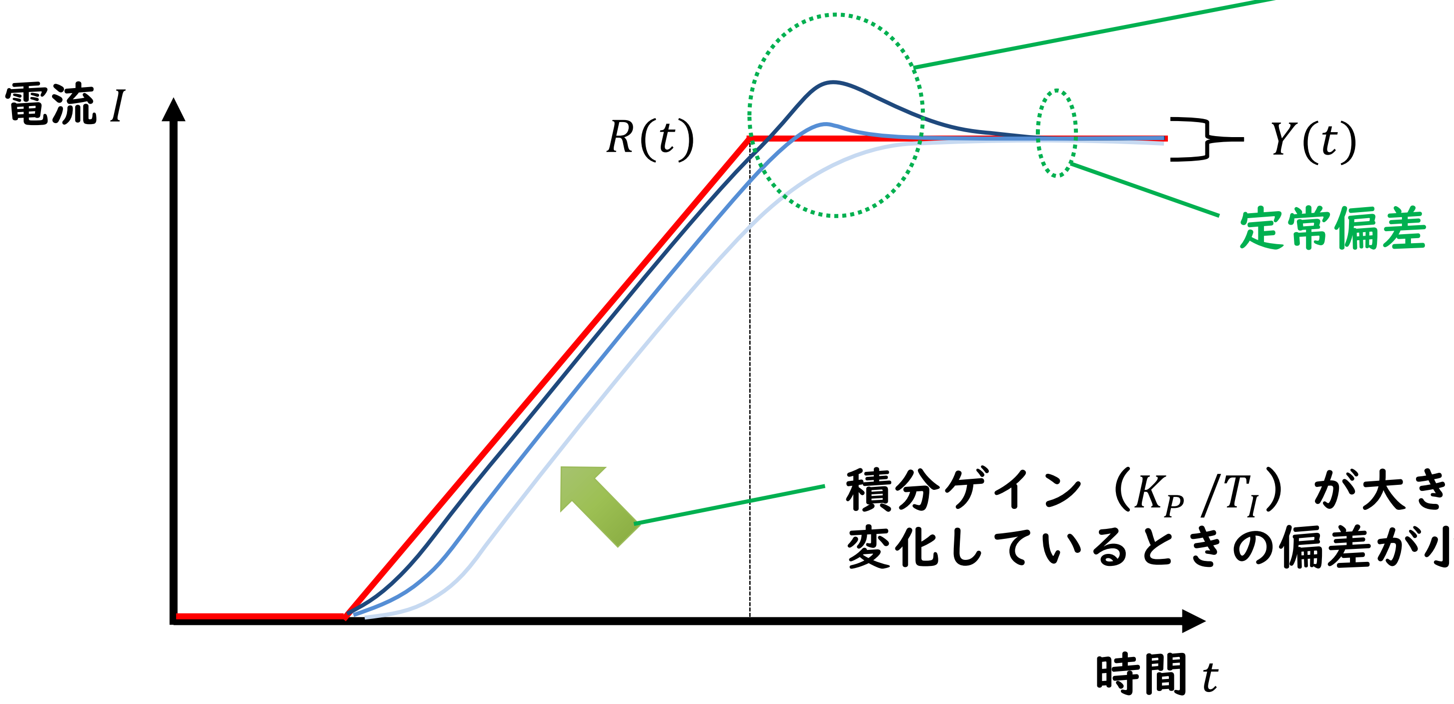
しかし、K_Pをどれだけ大きくしても定常偏差は0にならない。

PID制御の例（積分動作）



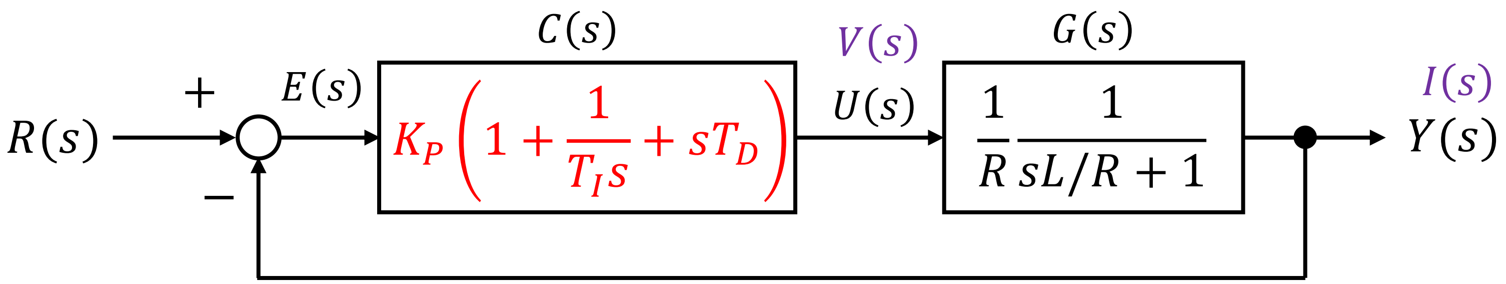
$r(t)$：入力信号（電流の目標値）
$y(t)$：出力電流
$e(t)$：入力と出力のずれ

積分ゲイン（K_P/T_I）が大きくなると、オーバーシュートが大きくなる

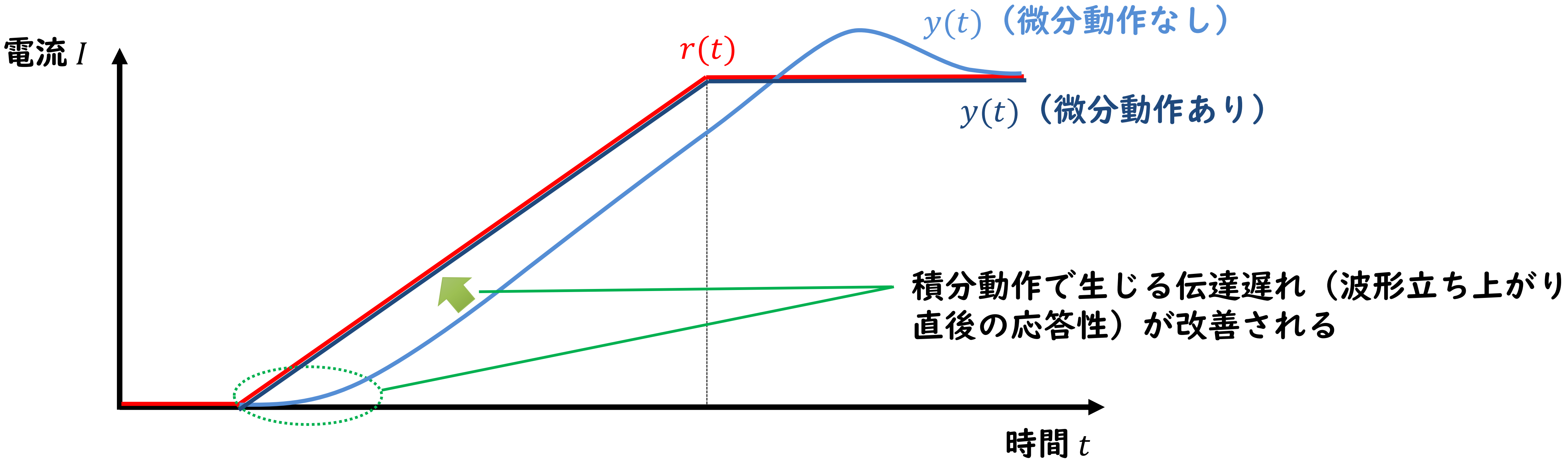


積分ゲイン（K_P/T_I）が大きくなると、目標値が変化しているときの偏差が小さくなる

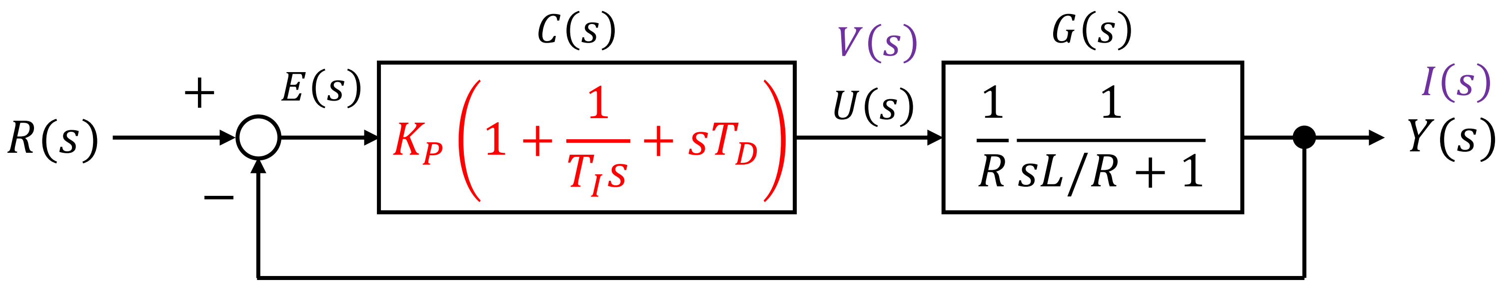
PID制御の例（微分動作）



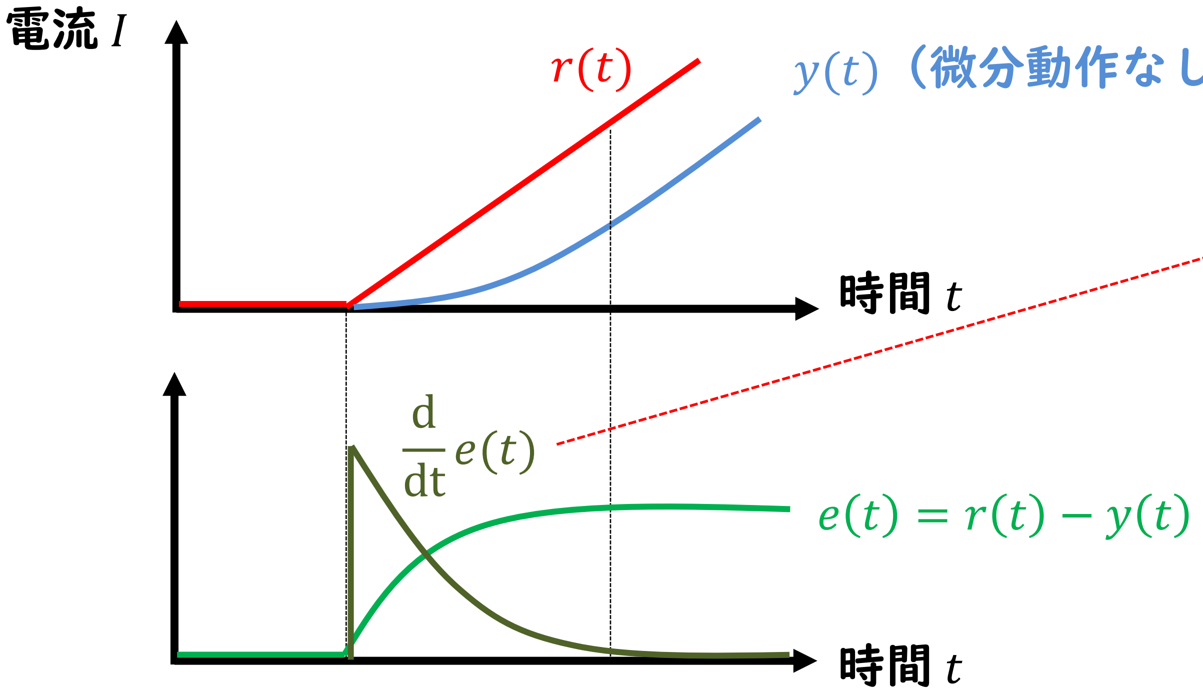
$r(t)$：入力信号（電流の目標値）
$y(t)$：出力電流
$e(t)$：入力と出力のずれ



PID制御の例（微分動作）



$r(t)$：入力信号（電流の目標値）
$y(t)$：出力電流
$e(t)$：入力と出力のずれ

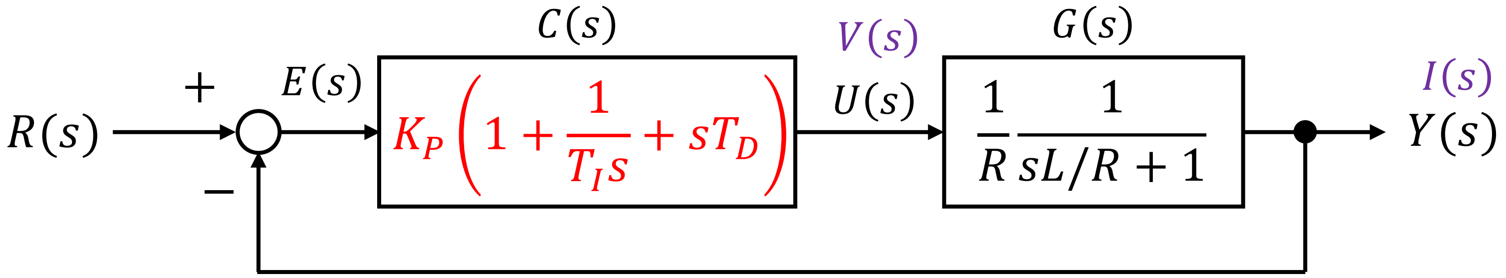


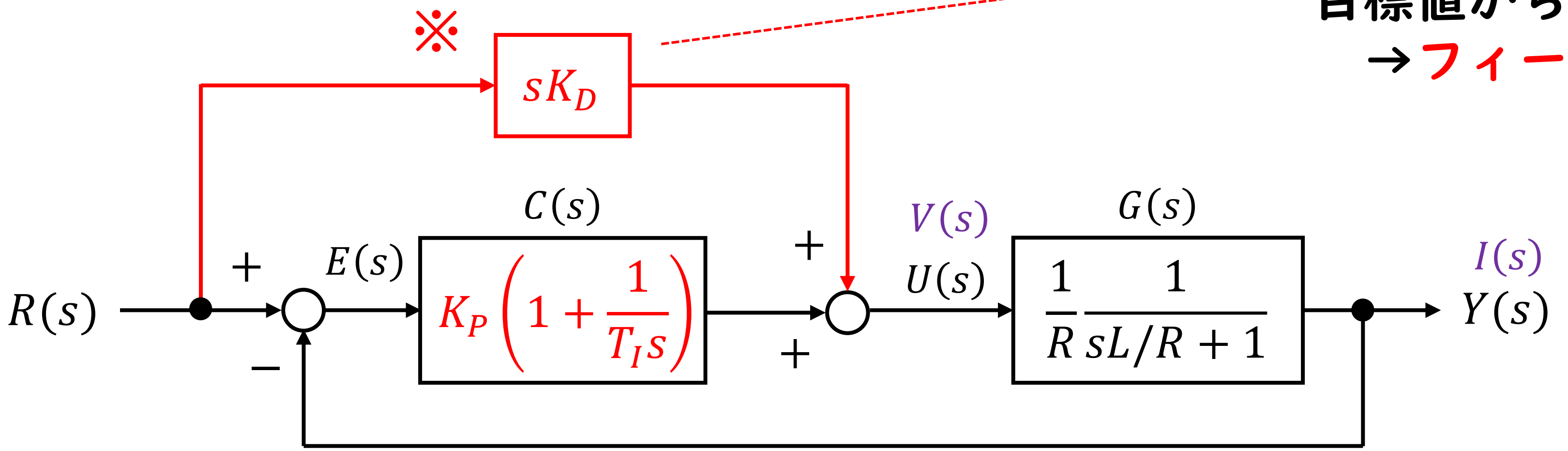
$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}e(t)$は$r(t)$が大きく変化するタイミングで大きな値となる。（このとき補正量が大きくなる）

→$r(t)$の変化が大きさに合わせて補正をすればいい
→フィードバック制御じゃなくてもいい

＜積分動作と微分動作のイメージ＞
積分動作：過去のずれをまとめて補正する
微分動作：未来のずれを予測して補正する

フィードフォワードによる微分補正



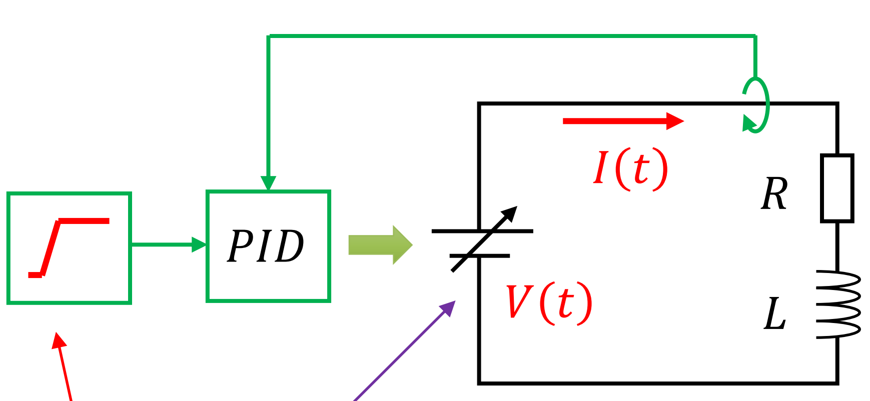


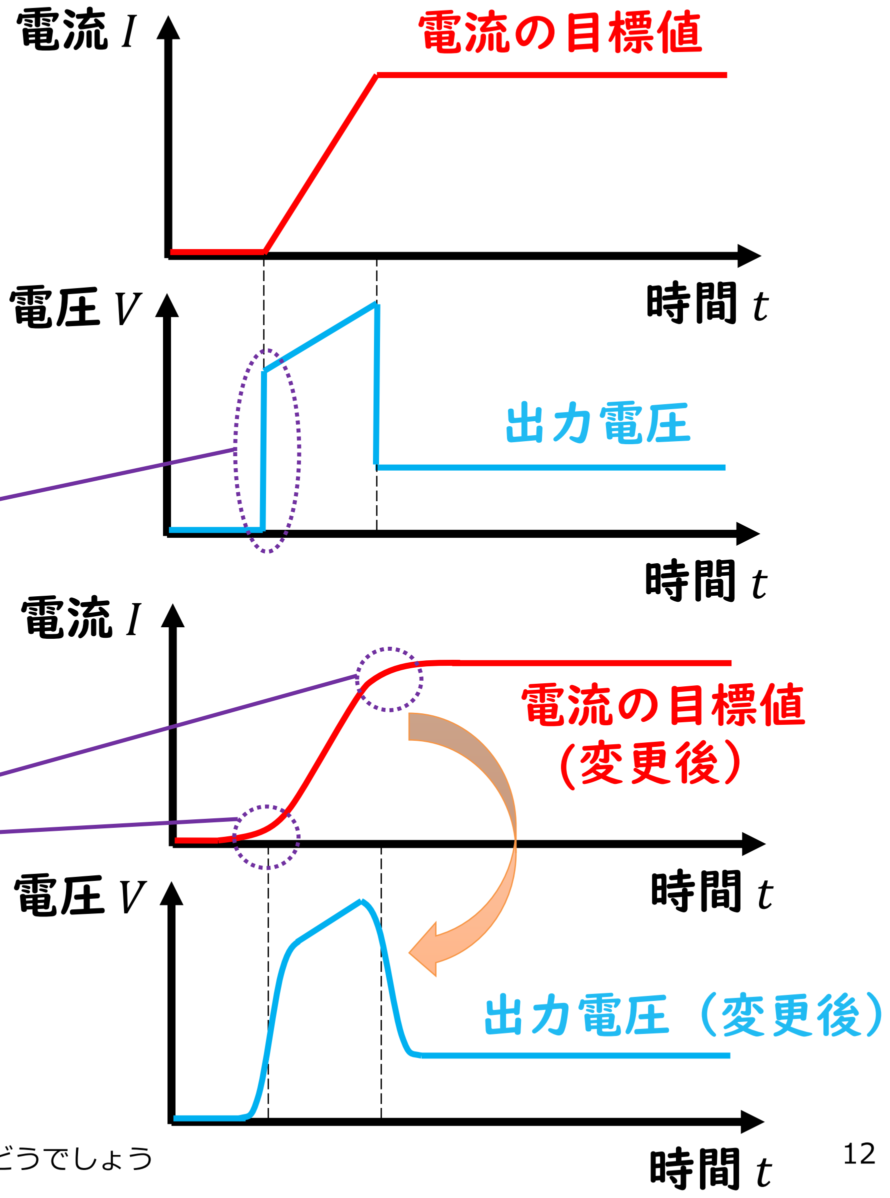
微分動作の操作量を誤差信号からではなく、
目標値から生成する
→フィードフォワード制御

※ 理想的には$1/G(s)$がよい

$$\boxed{sK_D} \Rightarrow \underbrace{\boxed{R(sL/R+1)}}_{1/G(s)}$$

実制御に合わせた目標値の調整

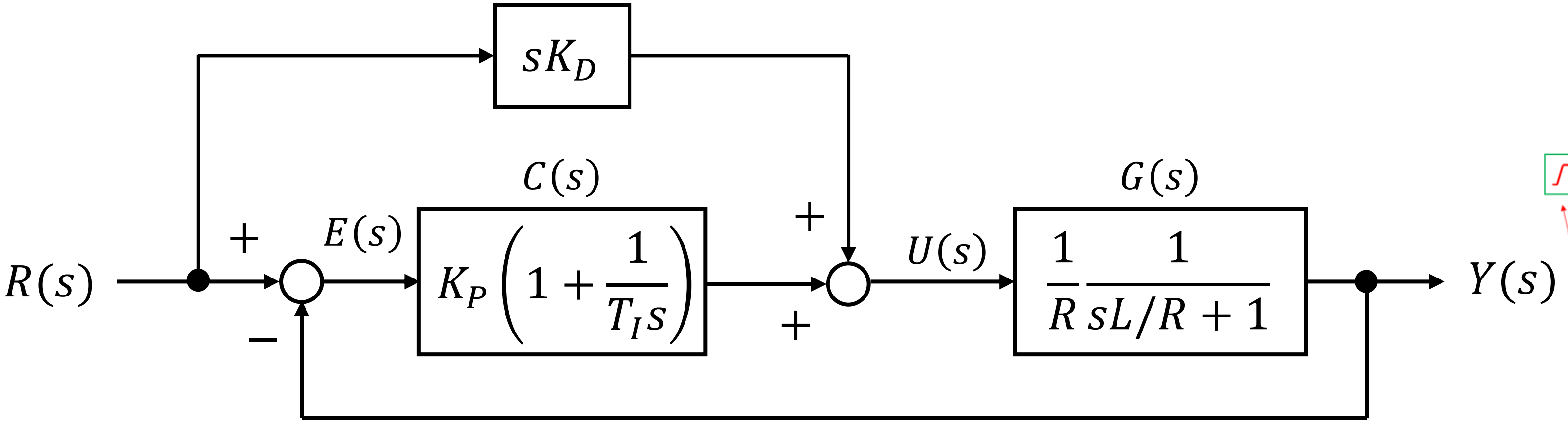


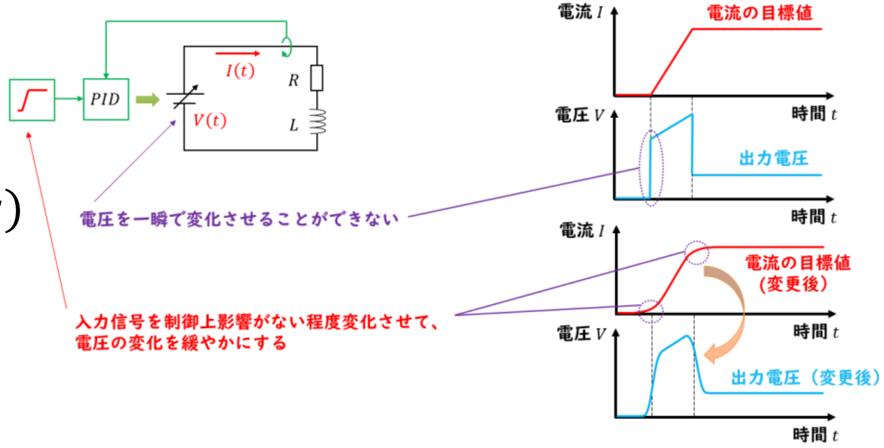


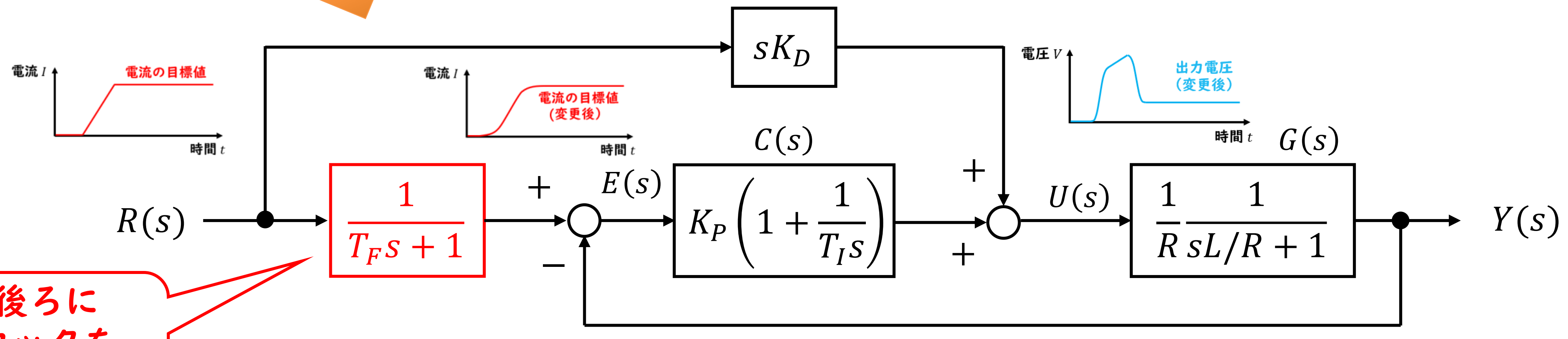
電圧を一瞬で変化させることができない

入力信号を制御上影響がない程度変化させて、
電圧の変化を緩やかにする

実制御に合わせた目標値の調整





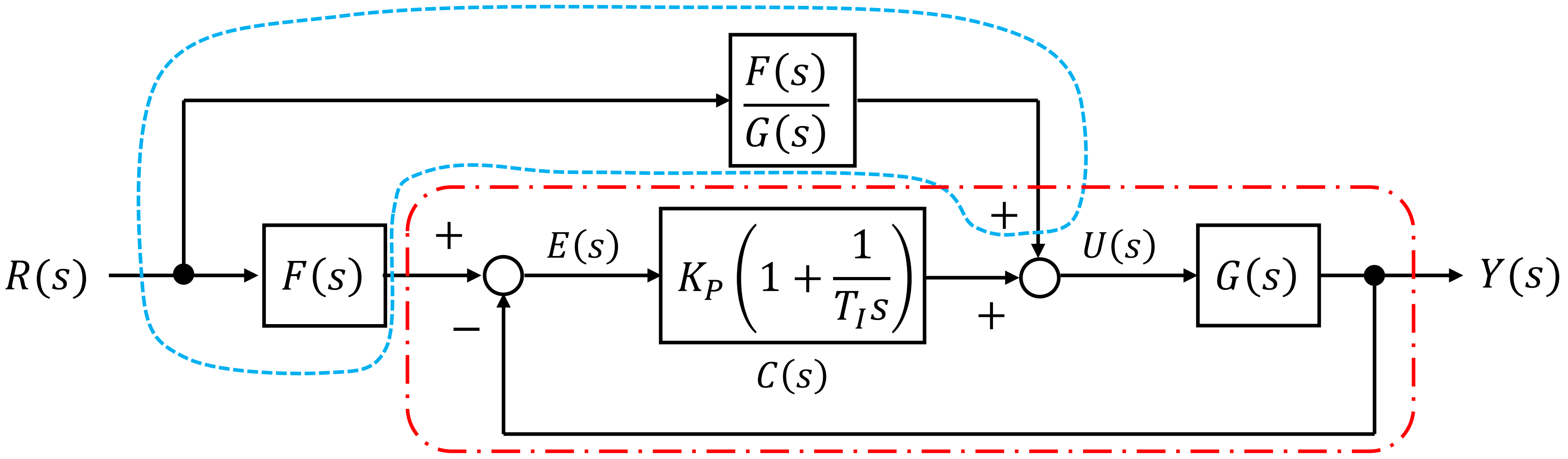


$R(s)$の後ろに
制御ブロックを
追加する

2自由度制御系

フィードフォワード制御の部分

目標値追従特性（制御量が目標値にできるだけ早く追いつき、誤差が小さくなる）に大きく寄与する　※外乱がなければ、フィードフォワード制御だけで成り立つ



フィードバック制御の部分

システムの安定性（外乱に対する制御量ずれの抑制）に寄与する

H30 問4（機械・制御）

問４　図１のような２自由度制御系がある。ここで $G(s)$ は制御対象，$C(s)$ 及び $F(s)$ は補償器である。また，$R(s)$ は目標値，$D(s)$ は外乱，$Y(s)$ は制御量，$E(s)$ は制御偏差である。この制御系について，次の問に答えよ。

(1) 図１に示すフィードバック補償器 $C(s)$ の係数 K_P 及び T_I の名称を答えよ。

(2) $K_P = 10$，$T_I = 0.1$ のとき，$C(s)$ の角周波数 ω[rad/s] に対するゲイン特性の概形を答案用紙に印刷されている図２に折れ線近似で図示せよ。

(3) $R(s) = 0$ として，外乱 $D(s)$ から制御偏差 $E(s)$ までの閉ループ伝達関数を求めよ。

(4) 上記小問(3)で求めた閉ループ伝達関数において，固有角周波数が 5 rad/s，減衰係数が 0.7 となるように，K_P と T_I の値を定めよ。

(5) $D(s) = 0$ として，目標値 $R(s)$ から制御量 $Y(s)$ までの閉ループ伝達関数を $F(s)$，$C(s)$，$G(s)$ を用いて求めよ。

(6) 上記小問(3)で求めた閉ループ伝達関数は $F(s)$ に依存しない。また，上記小問(5)で求めた閉ループ伝達関数は $C(s)$ に依存しない。これは制御系にどんな特長をもたらすか答えよ。この性質を利用しているのが２自由度制御系である。

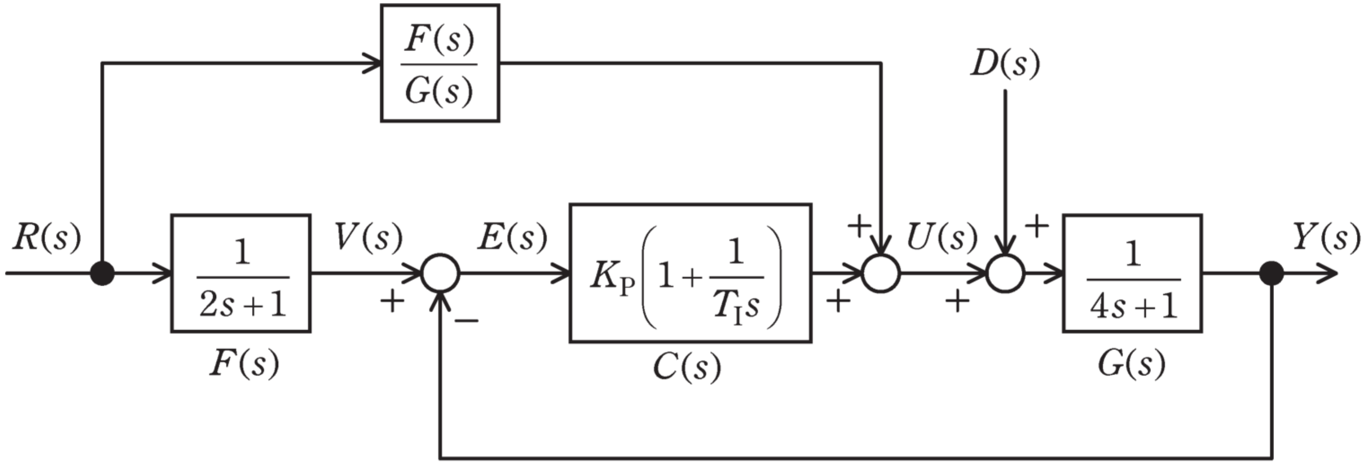


図１

H30 問4（解説）

（1）図 1 に示すフィードバック補償器 $C(s)$ の係数 K_{P} 及び T_{I} の名称を答えよ。

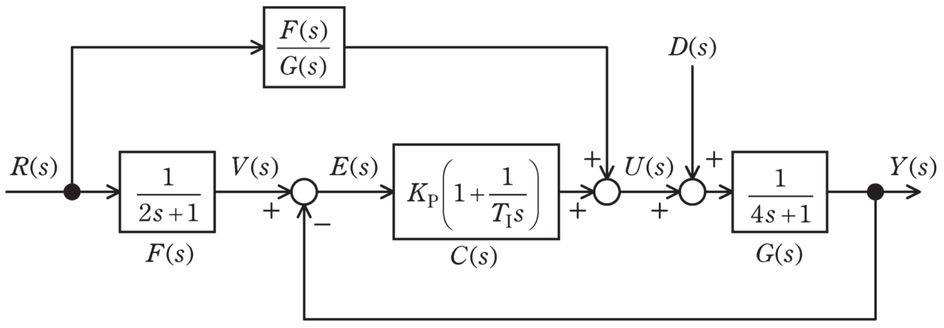


図 1

K_P ：比例ゲイン（比例感度）

T_I ：積分時間（リセットタイム）

（2） $K_{\mathrm{P}}=10$， $T_{\mathrm{I}}=0.1$ のとき， $C(s)$ の角周波数ω[rad/s]に対するゲイン特性の概形を答案用紙に印刷されている図 2 に折れ線近似で図示せよ。

$$C(s)=K_P\left(1+\frac{1}{T_I s}\right) \to C(j\omega)=10\left(1+\frac{1}{j0.1\omega}\right)$$

$$C(j1)=10\left(1+\frac{1}{j0.1}\right) \to |C(j1)|=10\sqrt{1^2+10^2} \sim 10\times 10 \to 40\ \mathrm{dB}$$

$$C(j10)=10\left(1+\frac{1}{j0.1\times 10}\right) \to |C(j10)|=10\sqrt{1^2+1^2}=10\times\sqrt{2} \to 23\ \mathrm{dB}$$

$$C(j\infty)=10\left(1+\frac{1}{j0.1\times\infty}\right) \to |C(j\infty)|=10\sqrt{1^2+0^2}=10 \to 20\ \mathrm{dB}$$

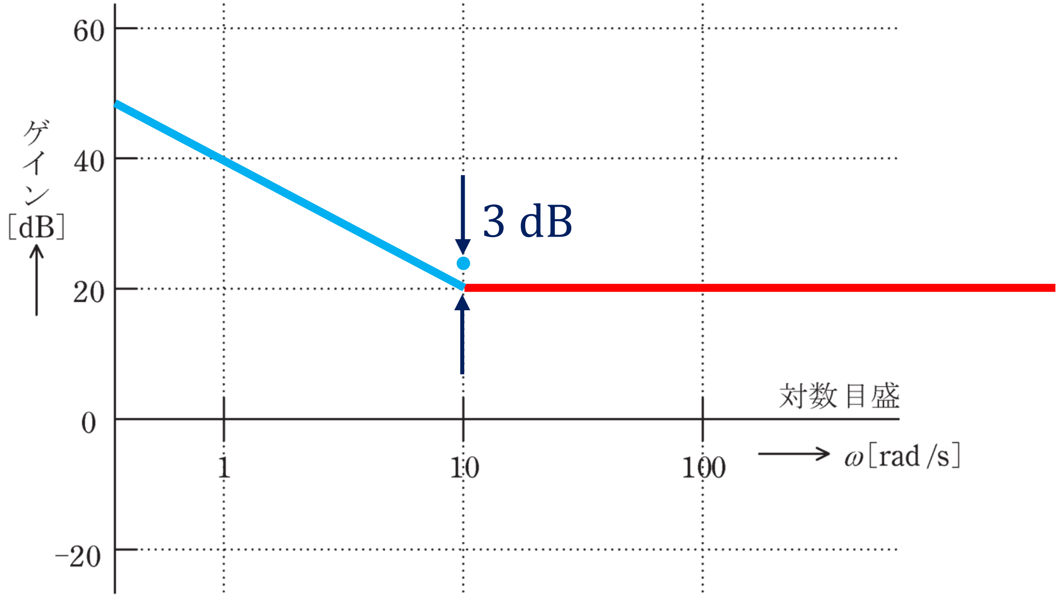


図 2

$cf.\quad A \to 20\log_{10}|A|\ [\mathrm{dB}]$

H30 問4 (解説)

(3) $R(s)=0$ として，外乱 $D(s)$ から制御偏差 $E(s)$ までの閉ループ伝達関数を求めよ。

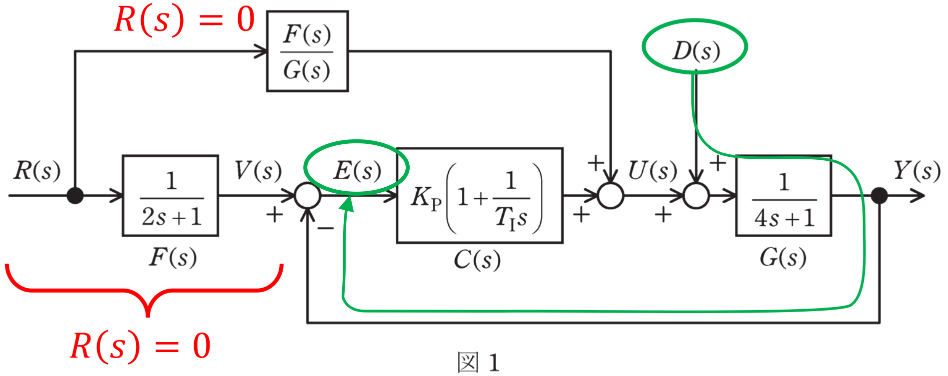


図 1

$$Y = G(D+U)\ ,E = -Y\ ,U = CE$$

$$E = -G(D+CE) = -GD - CGE$$

$$E + CGE = -GD$$

$$\frac{E}{D} = -\frac{G}{1+CG} = -\frac{\frac{1}{4s+1}}{1+K_P\left(1+\frac{1}{T_I s}\right)\cdot\frac{1}{4s+1}} = -\frac{1}{4s+1+K_P\left(\frac{T_I s+1}{T_I s}\right)}$$

$$= -\frac{T_I s}{4T_I s^2 + T_I s + K_P T_I s + K_P}$$

(4) 上記小問(3)で求めた閉ループ伝達関数において，固有角周波数が 5 rad/s，減衰係数が 0.7 となるように，K_P と T_I の値を定めよ。

$$\frac{E}{D} = -\frac{T_I s}{4T_I\underbrace{\left(s^2+\frac{(1+K_P)}{4}s+\frac{K_P}{4T_I}\right)}_{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}}$$

$$2\zeta\omega_n = \frac{(1+K_P)}{4} \qquad \omega_n^2 = \frac{K_P}{4T_I}$$

$$2\zeta\omega_n = 2\times0.7\times5 = \frac{(1+K_P)}{4} \to 7 = \frac{(1+K_P)}{4} \to 28 = 1+K_P \to K_P = 27$$

$$\omega_n^2 = 5^2 = \frac{K_P}{4T_I} \to T_I = \frac{K_P}{100} = 0.27$$

H30 問4（解説）

(5) $D(s)=0$ として，目標値 $R(s)$ から制御量 $Y(s)$ までの閉ループ伝達関数を $F(s)$，$C(s)$，$G(s)$ を用いて求めよ。

$D(s)=0$

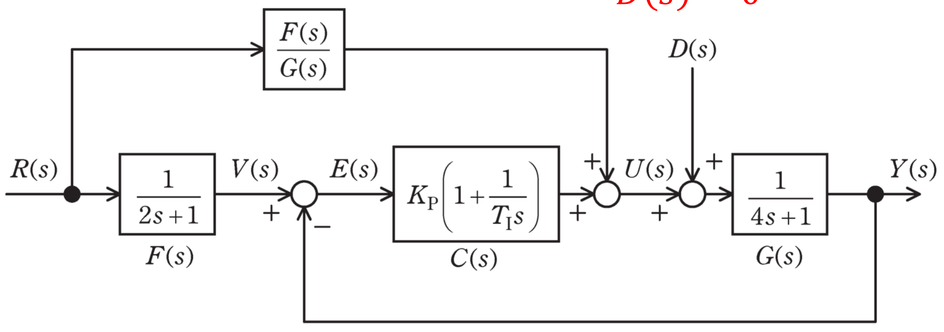
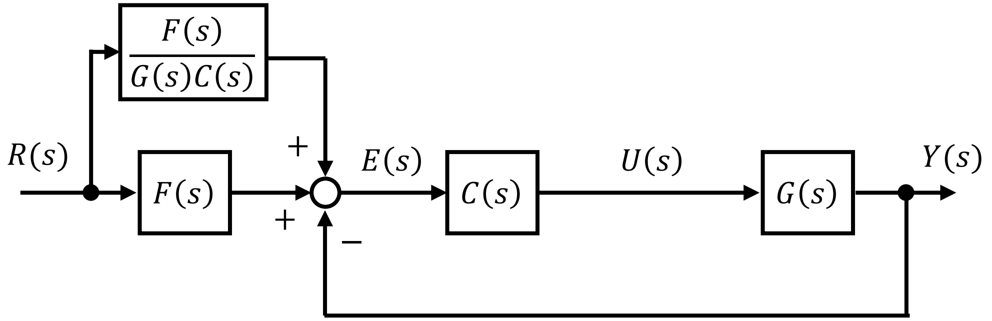


図 1



$$Y=\frac{CG}{1+CG}\left(F+\frac{F}{CG}\right)R=\frac{CG}{1+CG}\cdot\frac{CG+1}{CG}FR=FR$$

$$\frac{Y}{R}=F$$

(6) 上記小問(3)で求めた閉ループ伝達関数は $F(s)$ に依存しない。また，上記小問(5)で求めた閉ループ伝達関数は $C(s)$ に依存しない。これは制御系にどんな特長をもたらすか答えよ。この性質を利用しているのが 2 自由度制御系である。

目標値追従特性は$F(s)$で指定することができる。
一方，外乱に対する安定性は$C(s)$で指定できる。
このように，二つの補償器 $F(s)$と$C(s)$を用いて，２つの特性を独立に指定できる特徴がある。

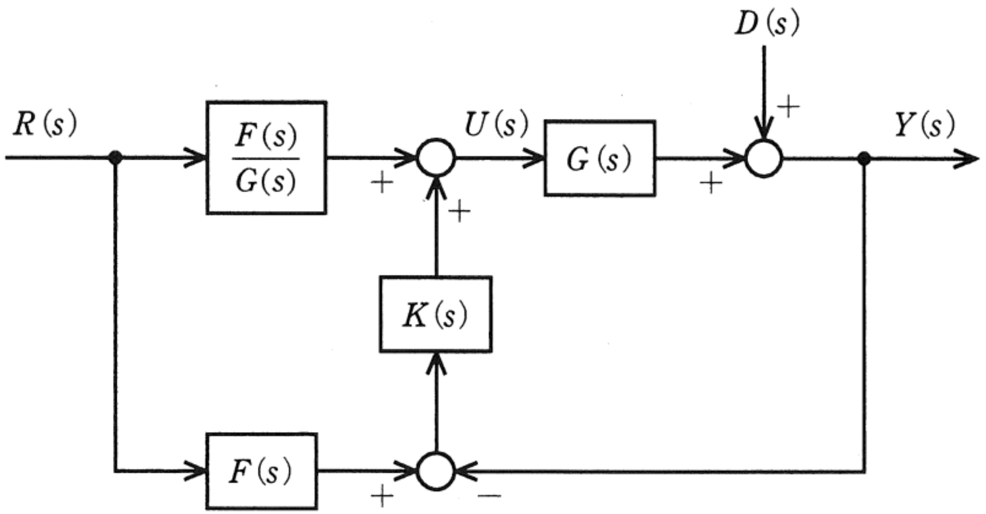
H24　問4（機械・制御）

問４　図のフィードバック制御系について，次の問に答えよ。ただし，$R(s)$，$U(s)$，$D(s)$，$Y(s)$は，それぞれ目標値 $r(t)$，操作量 $u(t)$，外乱 $d(t)$，出力 $y(t)$のラプラス変換を表す。また，$G(s)$は制御対象の伝達関数，$F(s)$及び $K(s)$は補償器の伝達関数を表す。

(1)　$R(s)=0$ のとき，$D(s)$から $Y(s)$までの伝達関数を求めよ。

(2)　$D(s)=0$ のとき，$R(s)$から $Y(s)$までの伝達関数を求めよ。

(3)　図において，$G(s)=\dfrac{1}{s^2}$，$F(s)=\dfrac{c}{s^2+as+b}$，$K(s)=K_P\left(1+\dfrac{1}{T_I s}+T_D s\right)$ とおく。$D(s)=0$ のとき，$R(s)$から $Y(s)$までの応答特性として，単位ステップ関数の目標値 $r(t)=1$ に対して出力 $y(t)$の定常値が 1 となり，かつ，減衰定数が 0.8，固有角周波数が 10〔rad/s〕を満たす 2 次系の補償器 $F(s)$の係数 a，b，c を求めよ。



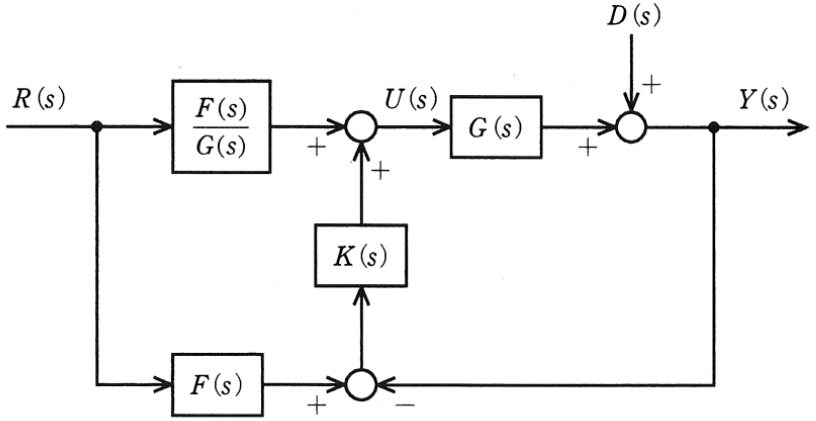
(4)　上記(3)の補償器 $K(s)$の名称を答えよ。また，各係数 K_P，T_I，T_D の名称についても答えよ。

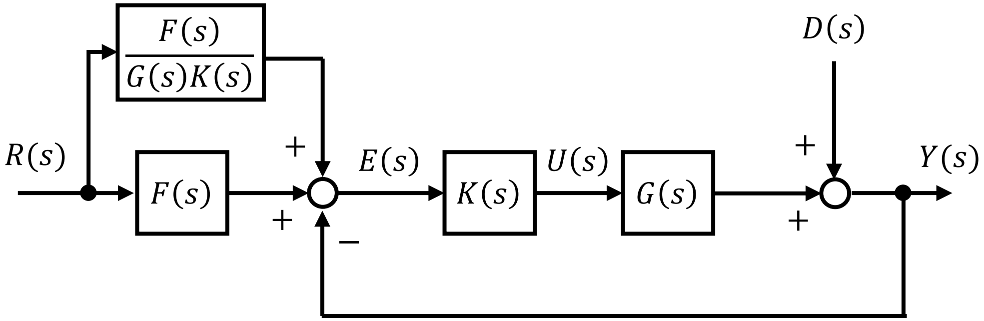
(5)　上記(3)において，$F(s)$は安定な補償器であり，図の制御系全体の安定性は $F(s)$にはよらない。制御系全体が安定となるために補償器 $K(s)$の係数 K_P，T_I，T_D が満たさなければならない条件を求めよ。ただし，$K_P>0$，$T_I>0$，$T_D>0$ とする。

H24 問4（解説）

(1) $R(s)=0$ のとき，$D(s)$ から $Y(s)$ までの伝達関数を求めよ。

(2) $D(s)=0$ のとき，$R(s)$ から $Y(s)$ までの伝達関数を求めよ。





(1) $R(s)=0$ **のとき**

$Y=GU+D, E=-Y, U=KE$

$Y=GU+D=G(-KY)+D=-GKY+D$

$Y+GKY=D$

$$\frac{Y}{D}=\frac{1}{1+GK}$$

(2) $D(s)=0$ **のとき**

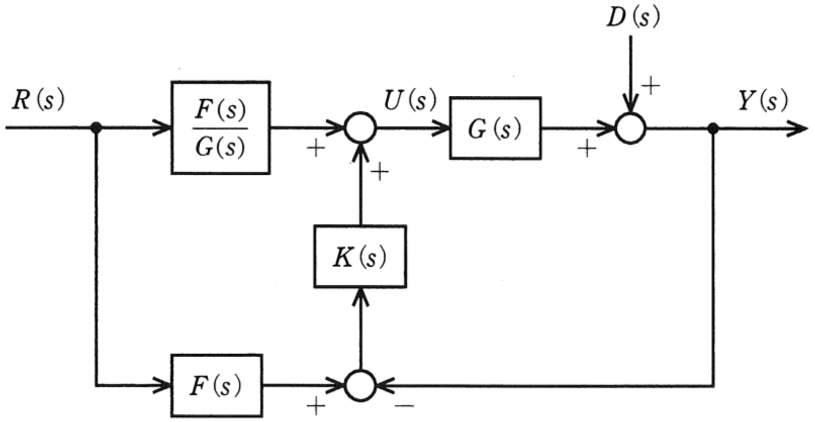
$$Y=\frac{GK}{1+GK}\cdot\left(F+\frac{F}{GK}\right)R$$

$$\frac{Y}{R}=\frac{GK}{1+GK}\cdot\frac{1+GK}{GK}F=F$$

H24　問4（解説）

(3) 図において，$G(s)=\dfrac{1}{s^2}$，$F(s)=\dfrac{c}{s^2+as+b}$，$K(s)=K_{\mathrm{P}}\left(1+\dfrac{1}{T_{\mathrm{I}}s}+T_{\mathrm{D}}s\right)$ とおく。

$D(s)=0$ のとき，$R(s)$ から $Y(s)$ までの応答特性として，単位ステップ関数の目標値 $r(t)=1$ に対して出力 $y(t)$ の定常値が 1 となり，かつ，減衰定数が 0.8，固有角周波数が 10〔rad/s〕を満たす 2 次系の補償器 $F(s)$ の係数 a，b，c を求めよ。



(2)より $D(s)=0$ のとき

$$\frac{Y}{R}=F=\frac{c}{s^2+as+b}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$

$$a=2\zeta\omega_n=2\times0.8\times10=16$$

$$b=c=\omega_n^2=10^2=100$$

(4) 上記(3)の補償器 $K(s)$ の名称を答えよ。また，各係数 K_{P}，T_{I}，T_{D} の名称についても答えよ。

$$K(s)=K_P\left(1+\frac{1}{T_I s}+T_D s\right)$$

$K(s)$　**：PID補償器（PID調節計）**
K_P　**：比例ゲイン（比例感度）**
T_I　**：積分時間（リセットタイム）**
T_D　**：微分時間（レートタイム）**

ご聴講ありがとう
ございました!!