

電気電子情報工学実験I 「アナログICとその応用」 (5月21日, 講義)

ILIASからテキストをダウンロードして用意して下さい
本日のスライドとテキストの穴埋め(P7, 8)の答えもDLできます

電気電子情報工学専攻
情報通信制御システム工学講座
坪根 正

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(本日の内容) 担当: 坪根 正

1) 理論

- 2次低域通過フィルタ(Low Pass Filter)の伝達関数
- 弛張発振器(Relaxation Oscillator)の発振周波数

2) 設計

- 実験回路の設計

~~3) 考察課題~~

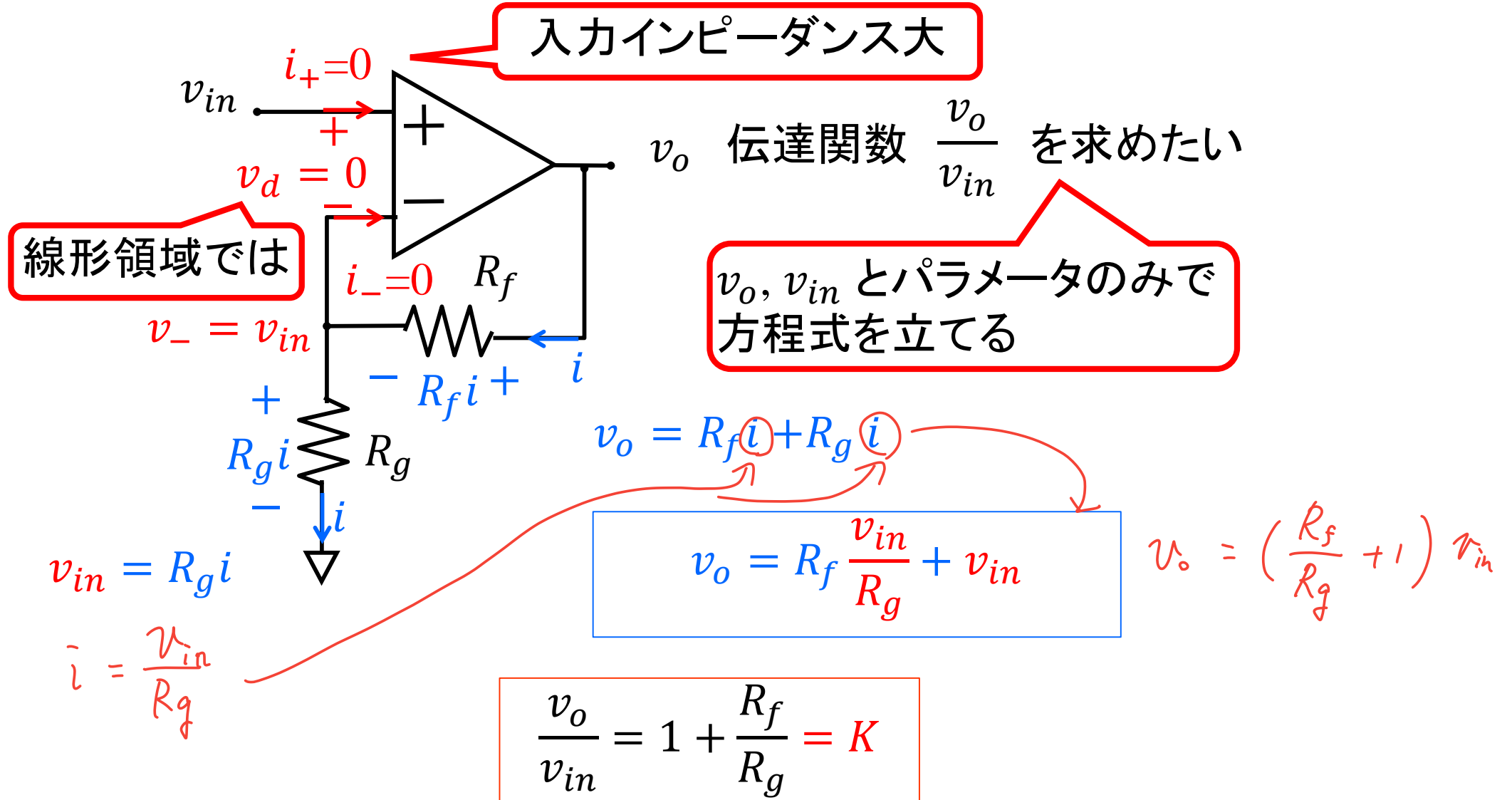
- ~~▪ 素子感度を利用した誤差評価~~

4) レポート作成について

(5月28日 12:30 締切)

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

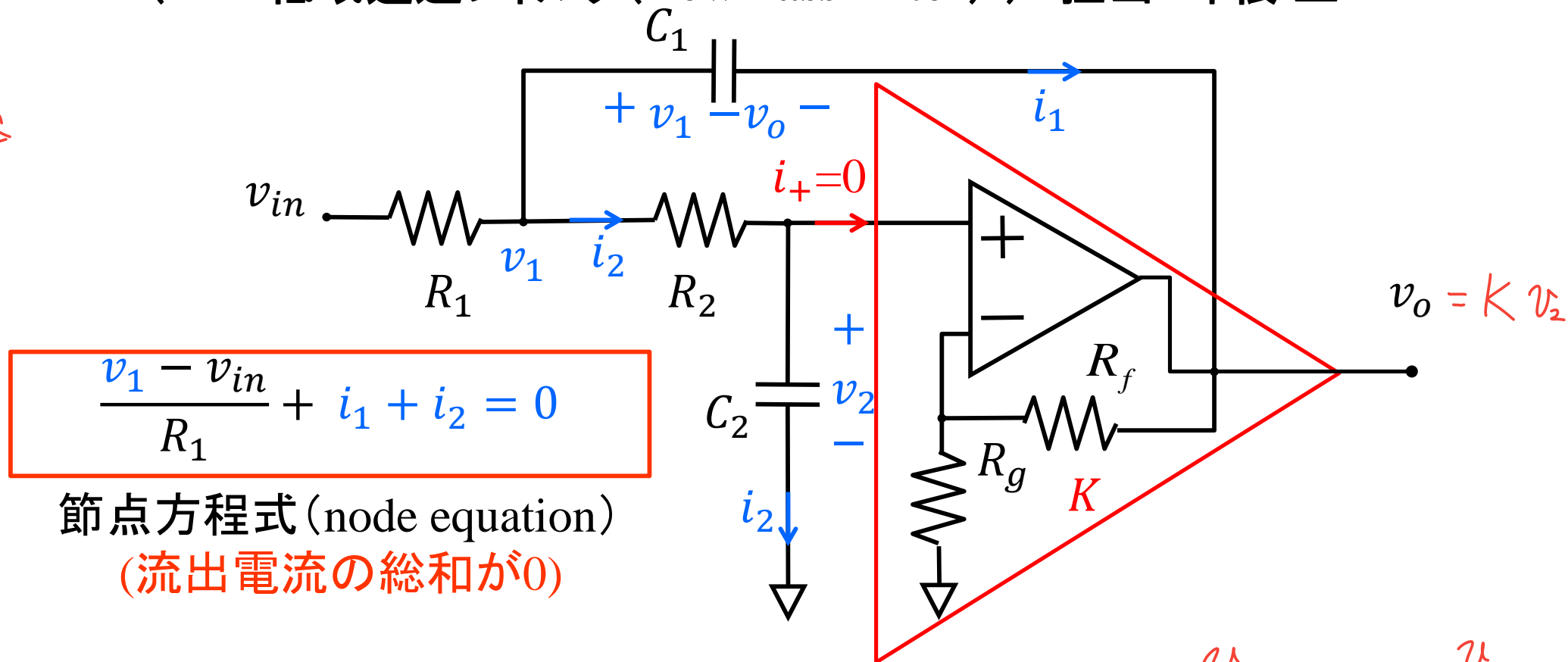
(非反転増幅器 (non-inverting amplifier)) 担当: 坪根 正



電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(2-D 低域通過フィルタ(Low Pass Filter)) 担当: 坪根 正

テキスト 7P
穴いめ問題



$$\frac{v_1 - v_{in}}{R_1} + i_1 + i_2 = 0$$

節点方程式 (node equation)
(流出電流の総和が0)

$$v_2 = \frac{v_o}{K}$$

$$i_2 = sC_2 \frac{v_o}{K}$$

$$v_o = K v_2$$

$$v_2 = \frac{1}{j\omega C_2} i_2 = \frac{1}{sC_2} i_2$$

($s = j\omega$)

$$v_1 = v_2 + R_2 i_2 = \frac{v_o}{K} + sR_2 C_2 \frac{v_o}{K}$$

$$v_1 - v_o = \frac{1}{sC_1} i_1$$

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(2-D 低域通過フィルタ(Low Pass Filter)の伝達関数) 担当: 坪根 正

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{K \omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

双2次低域通過関数 (low-pass quadratic function)



係数比較をして, Q, ω_0 を
パラメータで表現したい

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{K \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{s^2 + \underbrace{\frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}}_{\omega_0} \left(\underbrace{\sqrt{\frac{R_2 C_2}{R_1 C_1}} + \sqrt{\frac{R_1 C_2}{R_2 C_1}} + (1-K) \sqrt{\frac{R_1 C_1}{R_2 C_2}}}_{\frac{1}{Q}} s + \underbrace{\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}_{\omega_0^2} \right)}$$

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(2-D 低域通過フィルタ(Low Pass Filter)の振幅特性と位相特性) 担当: 坪根 正

$$T_{LP}(s) = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{K\omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2} \quad s = j\omega \text{を代入}$$

$$T_{LP}(j\omega) = \frac{K\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + j\frac{\omega\omega_0}{Q}}$$

複素数 $z = a + jb$ に対して

$$|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\angle z = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

複素数 $z' = \frac{1}{a+jb}$ に対して

$$|z'| = \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$\angle z' = -\tan^{-1} \frac{b}{a}$$

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(2-D 低域通過フィルタ(Low Pass Filter)の設計) 担当: 坪根 正

調整できるパラメータ $\rightarrow R_1, R_2, C_1, C_2, k = 1 + \frac{R_f}{R_g} \rightarrow 6$ の素子

$$T_{LP}(s) = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{K \omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

Q と ω_0 の2つを変えただけなのに、6つの素子を調整するのは冗長。

$R_1 = R_2 = R, C_1 = C_2 = C$ とおいてほう

要求される設計仕様(ここでは Q と $\omega_0 = 2\pi f_0$)を出来るだけ満足するように設計する

設計仕様: ($Q = 8.4, f_0 = 1[\text{kHz}]$)

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = 2\pi \cdot 1k = 6.28k$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2 C_2}{R_1 C_1}} + \sqrt{\frac{R_1 C_2}{R_2 C_1}} + (1 - K) \sqrt{\frac{R_1 C_1}{R_2 C_2}}} = \frac{1}{3 - K} \quad \left(K = 1 + \frac{R_f}{R_g} \right)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{1}{\cancel{\sqrt{RC}}} = \frac{1}{RC}$$

求めたい設計値: R_f, R_g, R, C

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(2-D 低域通過フィルタ(Low Pass Filter) の設計仕様, 設計値, 設計誤差) 担当: 坪根 正

設計仕様

$Q = 8.4$

$f_0 = 1000[\text{Hz}]$

$K =$

設計値

$R_g = 3.3 \text{ (33k}\Omega\text{)}$

$R_f = 6.2 \text{ (62k}\Omega\text{)}$

$R = 24\text{k}$

$C = 6.8\text{n}$

$Q = 8.25$

設計誤差

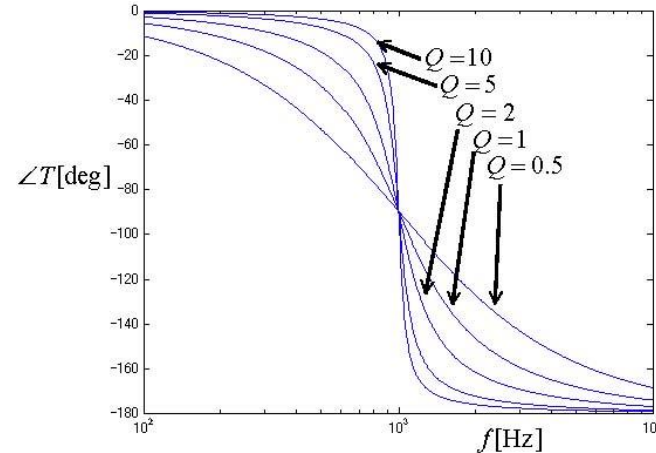
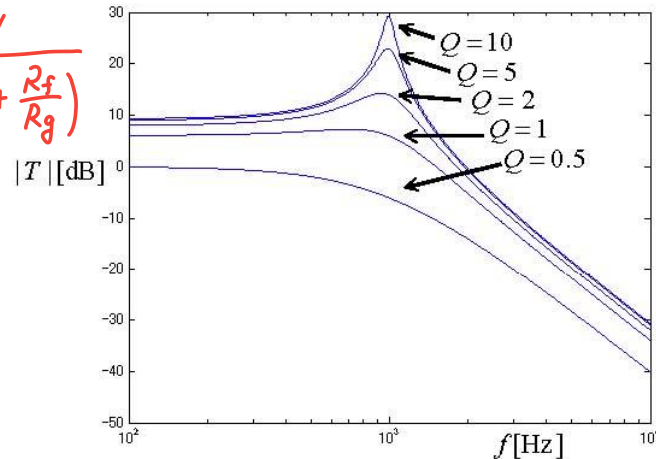
$\Delta Q = -0.15$

$\Delta f_0 = 25\text{Hz}$

$\Delta K =$

$$\begin{aligned}\omega_0 &= 2\pi f_0 \\ &= 2\pi \cdot 1\text{k} \\ &= 6.28\text{k}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= \frac{1}{3-K} = \frac{1}{3-(1+\frac{R_f}{R_g})} \\ &= \frac{1}{2-\frac{R_f}{R_g}} = 8.4\end{aligned}$$



電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(ヒステリシス比較器(Hysteresis comparator)) 担当: 坪根 正

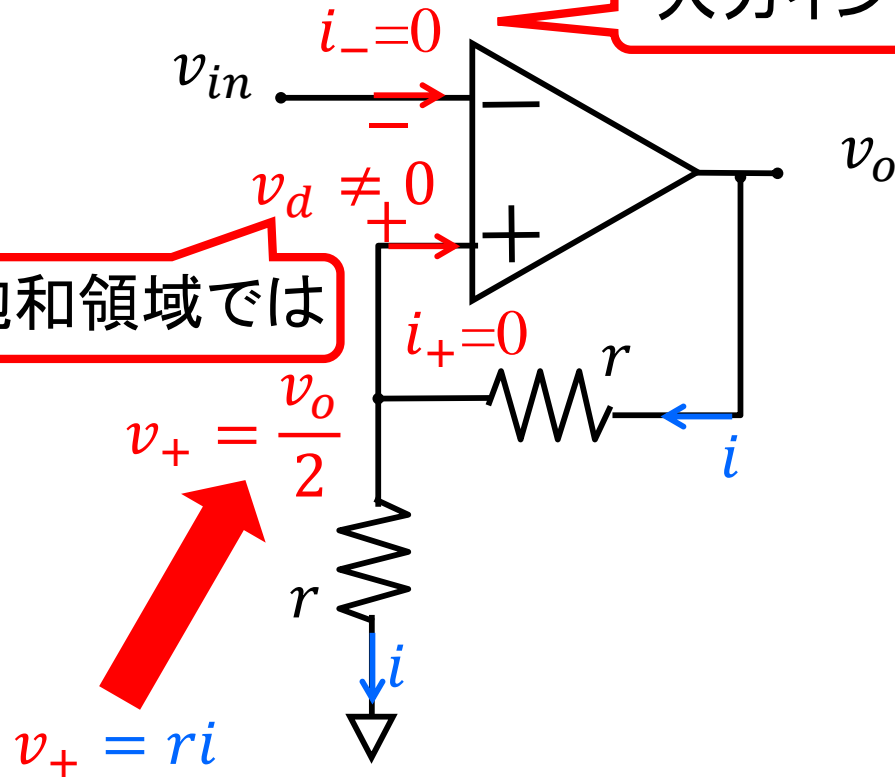
入力インピーダンス大

$$V_o = A V_d$$

$$v_o = \begin{cases} E_{sat} & \text{for } v_d > 0 \\ -E_{sat} & \text{for } v_d < 0 \end{cases}$$

$$v_d = \begin{cases} \frac{E_{sat}}{2} - v_{in} & \text{for } v_o = E_{sat} \\ -\frac{E_{sat}}{2} - v_{in} & \text{for } v_o = -E_{sat} \end{cases}$$

飽和領域では



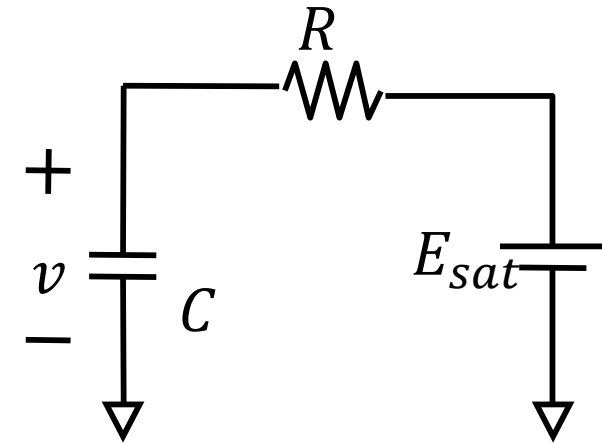
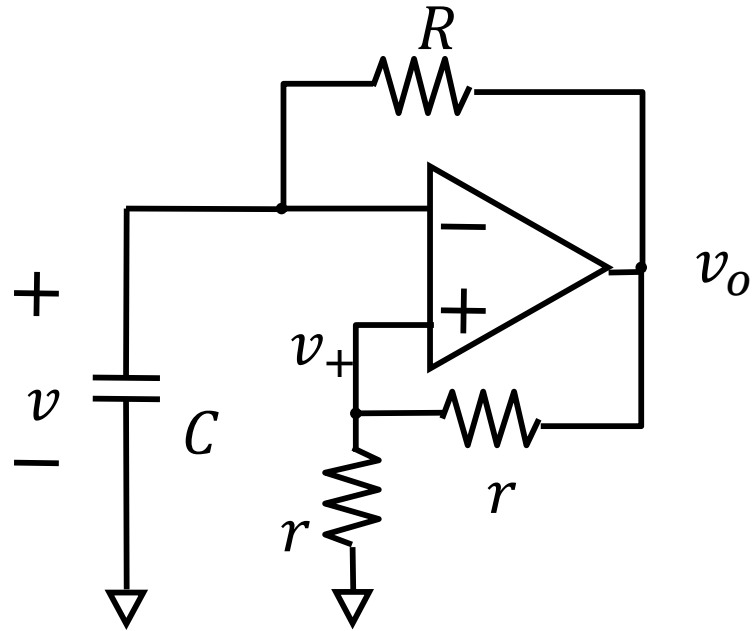
$$v_o = ri + ri$$

$$V_d = \frac{V_o}{2} - V_{in}$$

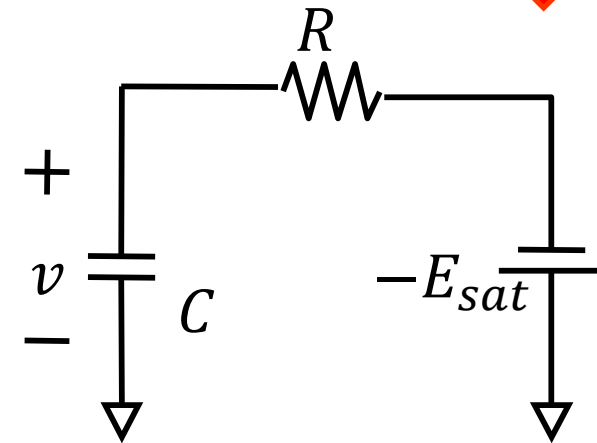
出力は2値($\pm E_{sat}$), 切り替わりは($\pm \frac{E_{sat}}{2}$)で起こる

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(弛張発振器(Relaxation Oscillator)) 担当: 坪根 正



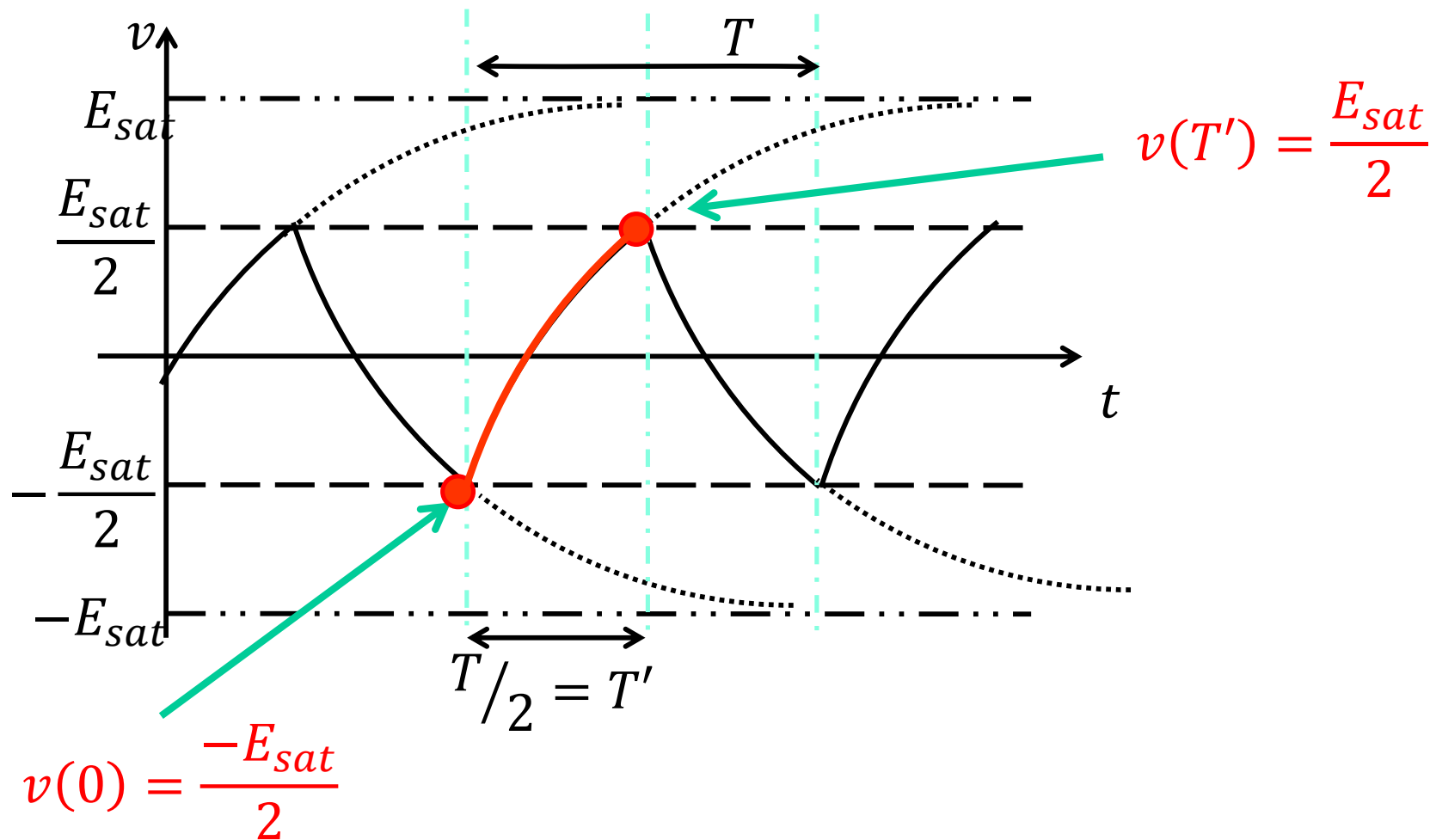
切替わる



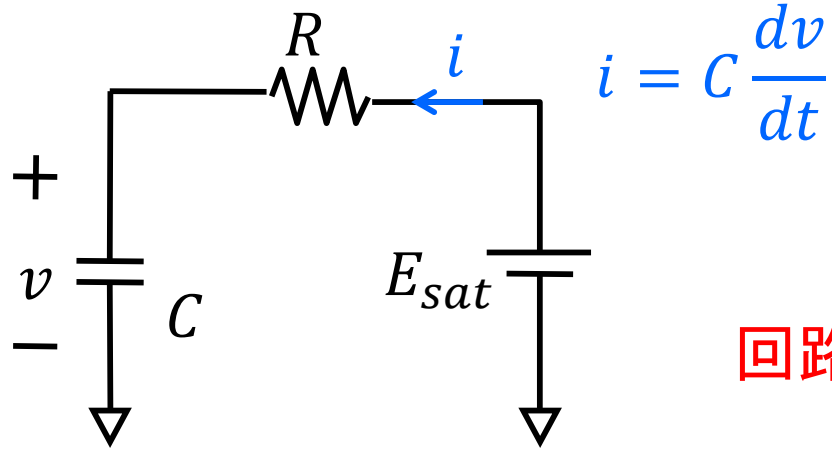
v が
 $\left\{ \begin{array}{l} \frac{E_{sat}}{2} \text{ になったら} \\ v_o \rightarrow -E_{sat} \text{ に切り替わる} \\ \frac{-E_{sat}}{2} \text{ になったら} \\ v_o \rightarrow E_{sat} \text{ に切り替わる} \end{array} \right.$

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(弛張発振器(Relaxation Oscillator)の動作と時間波形) 担当: 坪根 正

発振周波数を求めたい → 発振周期 T を求めれば良い



電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(弛張発振器(Relaxation Oscillator)の区分的厳密解) 担当: 坪根 正



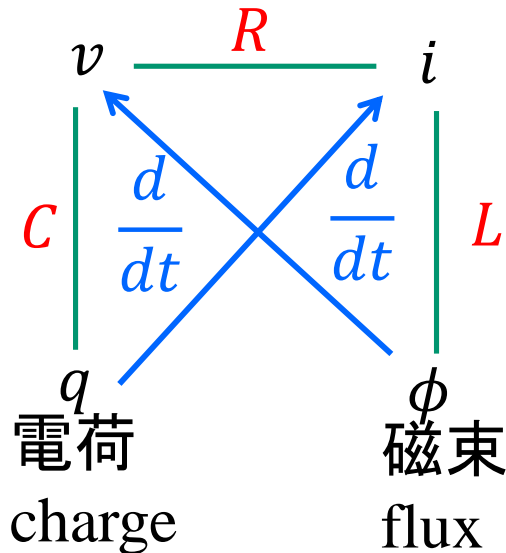
回路方程式を立てたい

$$v + Ri = E_{sat}$$

回路方程式:

$$v + RC \frac{dv}{dt} = E_{sat}$$

覚えていますか？



$$\begin{aligned} v &= Ri \\ \phi &= Li \\ q &= Cv \\ v &= \frac{d\phi}{dt} \\ i &= \frac{dq}{dt} \end{aligned}$$



解くと

$$v(t) = (v(0) - E_{sat})e^{-\frac{1}{RC}t} + E_{sat}$$

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(弛張発振器(Relaxation Oscillator)の区分的厳密解の導出) 担当: 坪根 正

微分方程式の解法

$$v + RC \frac{dv}{dt} = E_{sat}$$

$v(t)$ = 余関数 + 特解
(complementary + particular)

余関数: 右辺=0の時の解

特殊解: 右辺と同じ関数

(1) 余関数 $v_1(t)$ を求める

$$v_1 + RC \frac{dv_1}{dt} = 0$$

$v_1 = ke^{\lambda t}$ として代入

$$ke^{\lambda t} + RCk\lambda e^{\lambda t} = 0 \text{ より}$$

$$\lambda = -\frac{1}{RC} \text{ が求まる.}$$

(RC = 時定数)(time constant)

(2) 特殊解 $v_2(t)$ を求める

$v_2 = A$ (定数)として代入すると

$$A = E_{sat}$$

つまり, 特殊解は E_{sat}

(3) 積分定数を初期条件で表現する

$$\text{まとめると: } v(t) = ke^{-\frac{1}{RC}t} + E_{sat}$$

$t=0$ を代入して k を求める

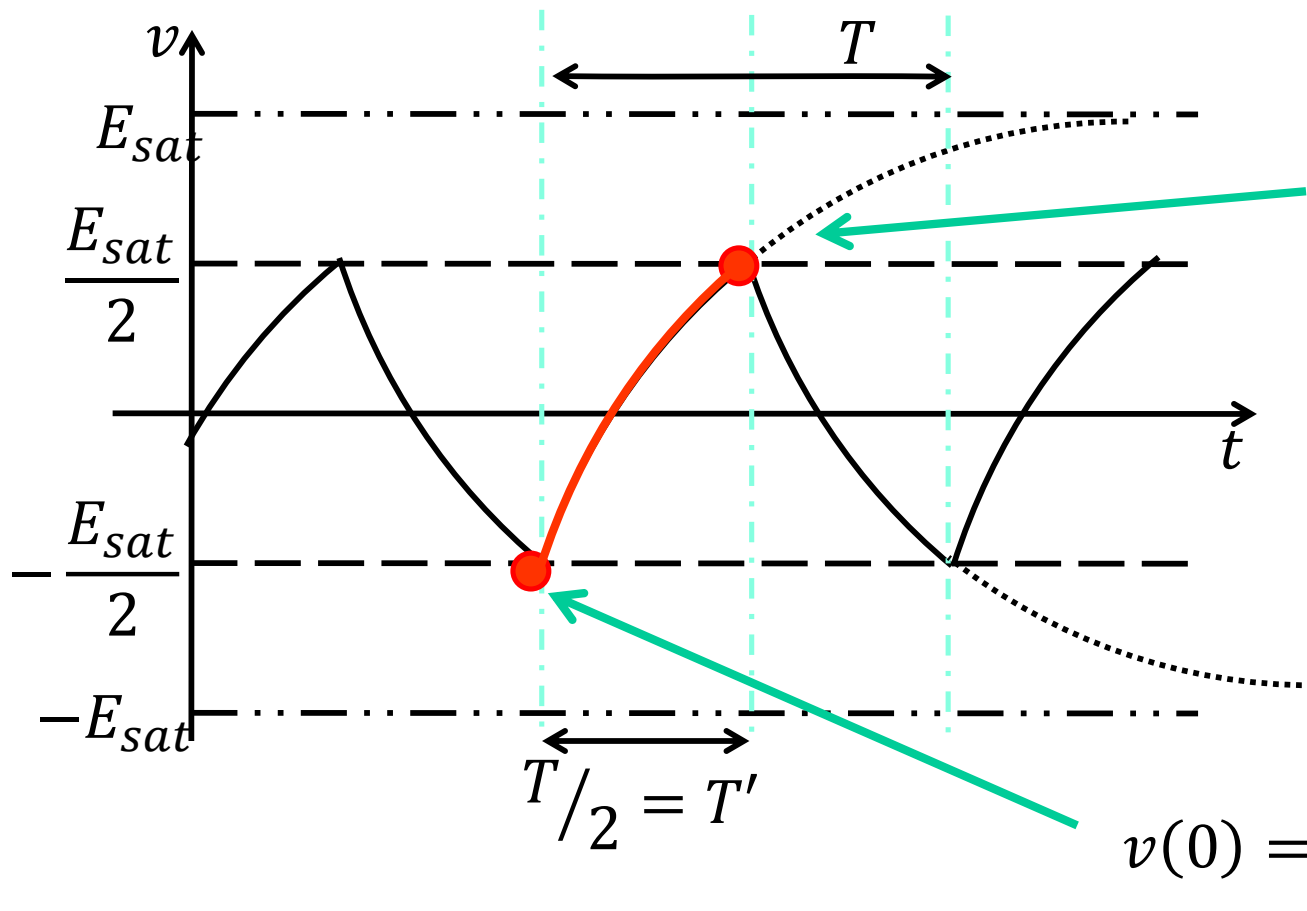
$$v(0) = k + E_{sat} \text{ より,}$$

$$k = v(0) - E_{sat}$$



$$v(t) = (v(0) - E_{sat})e^{-\frac{1}{RC}t} + E_{sat}$$

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
 (弛張発振器(Relaxation Oscillator)の発振周波数) 担当: 坪根 正



$$v(T') = \frac{E_{sat}}{2}$$

$$t = T'$$

$$v(t) = (v(0) - E_{sat})e^{-\frac{1}{RC}t} + E_{sat}$$

$$v(0) = -\frac{E_{sat}}{2}$$

$$T = 2RC \ln 3$$

$$f = \frac{1}{2RC \ln 3}$$

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(弛張発振器(Relaxation Oscillator)の設計仕様, 設計値, 設計誤差)担当: 坪根 正

設計仕様

$$f = 1000[\text{Hz}]$$

設計値

$$R = 10\text{k}\Omega$$

$$C = 47[\text{nF}]$$

$$r =$$

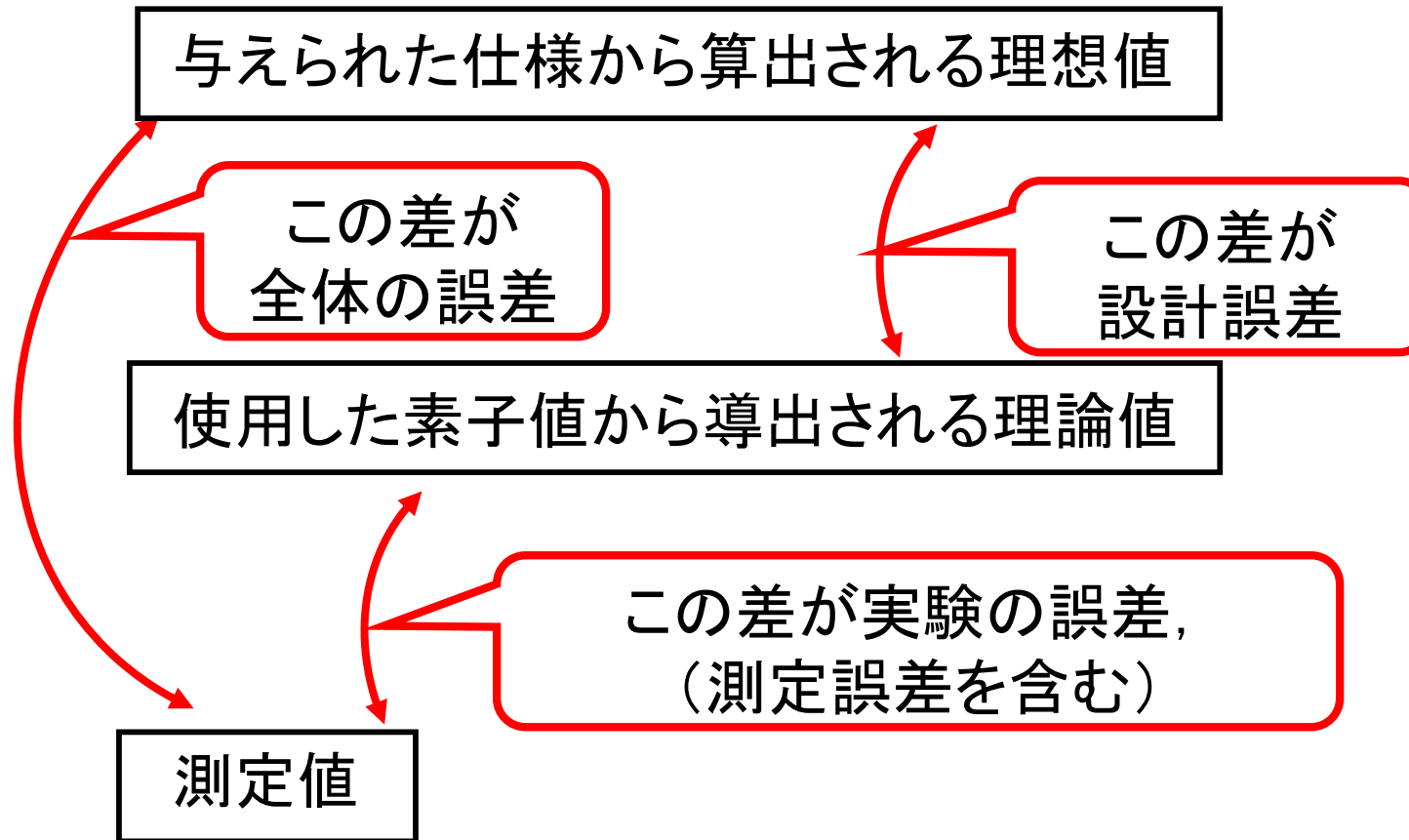
設計誤差

$$\Delta f = 31.7$$

$$f = 968.3$$

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(誤差の検討)担当: 坪根 正



電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(感度) 担当: 坪根 正

抵抗の誤差と利得の誤差の関係

(非反転増幅器の例):

$$K = 1 + \frac{R_f}{R_g}$$

$$\frac{\Delta K}{K} = S_{R_g}^K \frac{\Delta R_g}{R_g}$$

素子の誤差と特性の誤差の比率

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(感度の求め方) 担当: 坪根 正

感度を求める(非反転増幅器の例): $K = 1 + \frac{R_f}{R_g}$

$$S_{R_g}^K = \frac{R_g}{K} \frac{\partial K}{\partial R_g} \qquad S_{R_f}^K = \frac{R_f}{K} \frac{\partial K}{\partial R_f}$$

$$S_{R_g}^K = \frac{R_g}{K} \left(-\frac{R_f}{R_g^2} \right) = -\frac{R_f}{KR_g}$$

$$S_{R_f}^K = \frac{R_f}{K} \left(\frac{1}{R_g} \right) = \frac{R_f}{KR_g}$$

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(感度を利用した誤差評価) 担当: 坪根 正

誤差を見積もる(非反転増幅器):

$$\frac{\Delta K}{K} = S_{R_g}^K \frac{\Delta R_g}{R_g} + S_{R_f}^K \frac{\Delta R_f}{R_f}$$

マルチパラメータを考慮

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(感度を利用した誤差評価) 担当: 坪根 正

誤差を見積もる(非反転増幅器):

$$\frac{\Delta K}{K} = S_{R_g}^K \frac{\Delta R_g}{R_g} + S_{R_f}^K \frac{\Delta R_f}{R_f}$$

0.01 0.01 マルチパラメータを考慮

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(感度を利用した誤差評価) 担当: 坪根 正

誤差を見積もる(非反転増幅器):

$$\frac{\Delta K}{K} = S_{R_g}^K \frac{\Delta R_g}{R_g} + S_{R_f}^K \frac{\Delta R_f}{R_f} = 0$$


0.01

マルチパラメータを考慮

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(感度を利用した誤差評価) 担当: 坪根 正

誤差を見積もる(非反転増幅器):

$$\frac{\Delta K}{K} = S_{R_g}^K \frac{\Delta R_g}{R_g} + S_{R_f}^K \frac{\Delta R_f}{R_f}$$

0.01

0.01

マルチパラメータを考慮

$$\frac{\Delta K}{K} = |S_{R_g}^K| \frac{\Delta R_g}{R_g} + |S_{R_f}^K| \frac{\Delta R_f}{R_f} \cong 0.013 ?$$

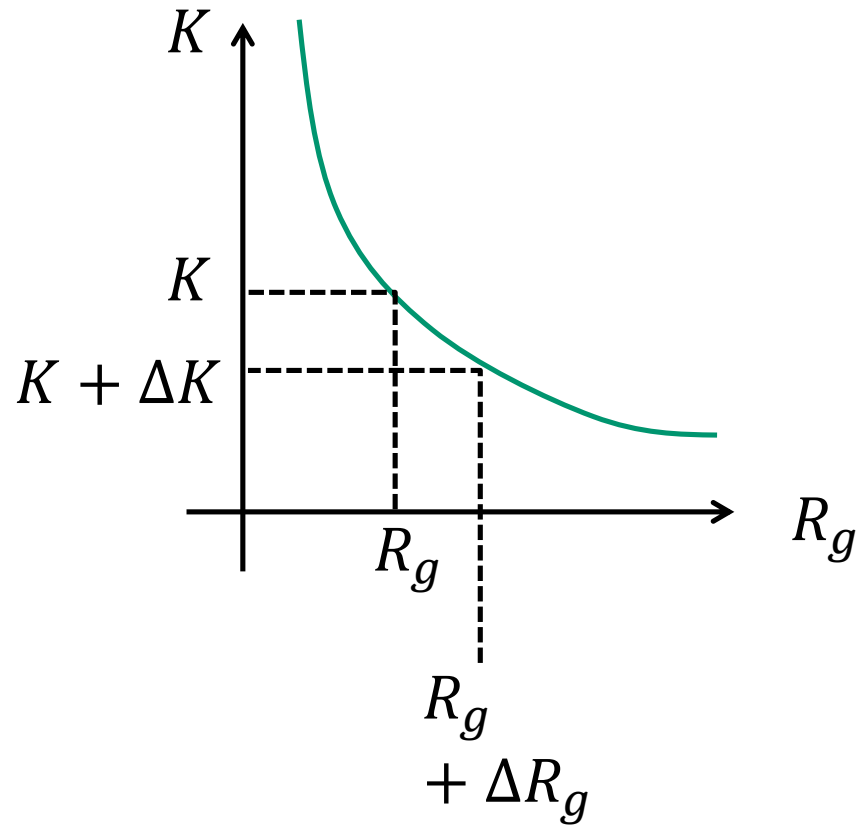
絶対値をとる

絶対値をとる

ワーストケース

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(感度の考え方) 担当: 坪根 正

$$\frac{\Delta K}{K} = S_{R_g}^K \frac{\Delta R_g}{R_g}$$



電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(感度の考え方) 担当: 坪根 正

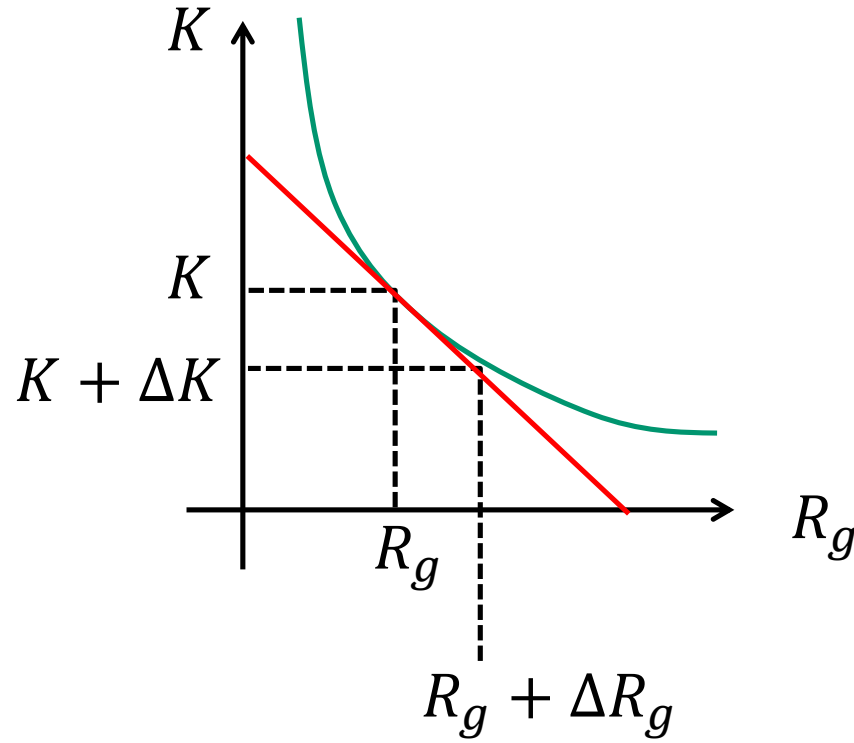
$$\frac{\Delta K}{K} = S_{R_g}^K \frac{\Delta R_g}{R_g}$$

$$\frac{\Delta K}{\Delta R_g} \cong \frac{\partial K}{\partial R_g}$$

$$\Delta K \cong \frac{\partial K}{\partial R_g} \Delta R_g$$

$$\frac{\Delta K}{K} \cong \frac{1}{K} \frac{\partial K}{\partial R_g} \Delta R_g$$

$$\frac{\Delta K}{K} \cong \frac{R_g}{K} \frac{\partial K}{\partial R_g} \frac{\Delta R_g}{R_g}$$



電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(感度の考え方) 担当: 坪根 正

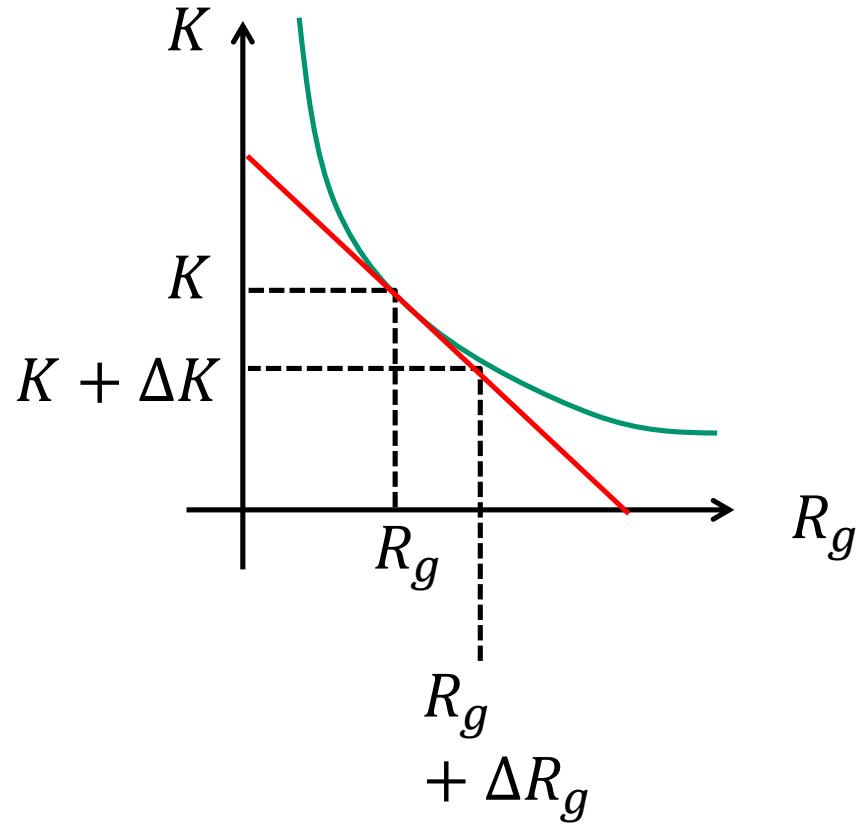
$$\frac{\Delta K}{K} = S_{R_g}^K \frac{\Delta R_g}{R_g}$$

$$\frac{\Delta K}{\Delta R_g} \cong \frac{\partial K}{\partial R_g}$$

$$\Delta K \cong \frac{\partial K}{\partial R_g} \Delta R_g$$

$$\frac{\Delta K}{K} \cong \frac{1}{K} \frac{\partial K}{\partial R_g} \Delta R_g$$

$$\frac{\Delta K}{K} \cong \frac{R_g}{K} \frac{\partial K}{\partial R_g} \frac{\Delta R_g}{R_g}$$



電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(感度を利用した2-D低域通過フィルタの誤差評価) 担当: 坪根 正

- 1) フィルタの素子感度を求めよ. (3-6頁の3.6の値全て)
特に, Q に対する感度は大きくなるはずなので, それに対する考察を加えること.
- 2) 全ての素子が最大で相対誤差を1%持つと仮定したときの, の最大誤差(ワーストケースの相対誤差)を見積もれ.

$$\frac{\Delta Q}{Q} = |S_{R_1}^Q| \frac{\Delta R_1}{R_1} + |S_{R_2}^Q| \frac{\Delta R_2}{R_2} + |S_{C_1}^Q| \frac{\Delta C_1}{C_1} + |S_{C_2}^Q| \frac{\Delta C_2}{C_2} + |S_K^Q| \frac{\Delta K}{K}$$

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(感度を利用した2-D低域通過フィルタの誤差評価) 担当: 坪根 正

- 1) フィルタの素子感度を求めよ. (3-6頁の3.6の値全て)
特に, Q に対する感度は大きくなるはずなので, それに対する考察を加えること. (これを一番評価します.)
- 2) 全ての素子が最大で相対誤差を1%持つと仮定したときの, 最大の誤差(ワーストケースの相対誤差)を見積もれ.

$$\frac{\Delta Q}{Q} = |S_{R_1}^Q| \frac{\Delta R_1}{R_1} + |S_{R_2}^Q| \frac{\Delta R_2}{R_2} + |S_{C_1}^Q| \frac{\Delta C_1}{C_1} + |S_{C_2}^Q| \frac{\Delta C_2}{C_2} + |S_K^Q| \frac{\Delta K}{K}$$

0.01 0.01 0.01 0.01 ?

$\frac{\Delta K}{K}$ は7.2例題で導出済み.

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)
(感度を利用した2-D低域通過フィルタの誤差評価の可視化) 担当: 坪根 正

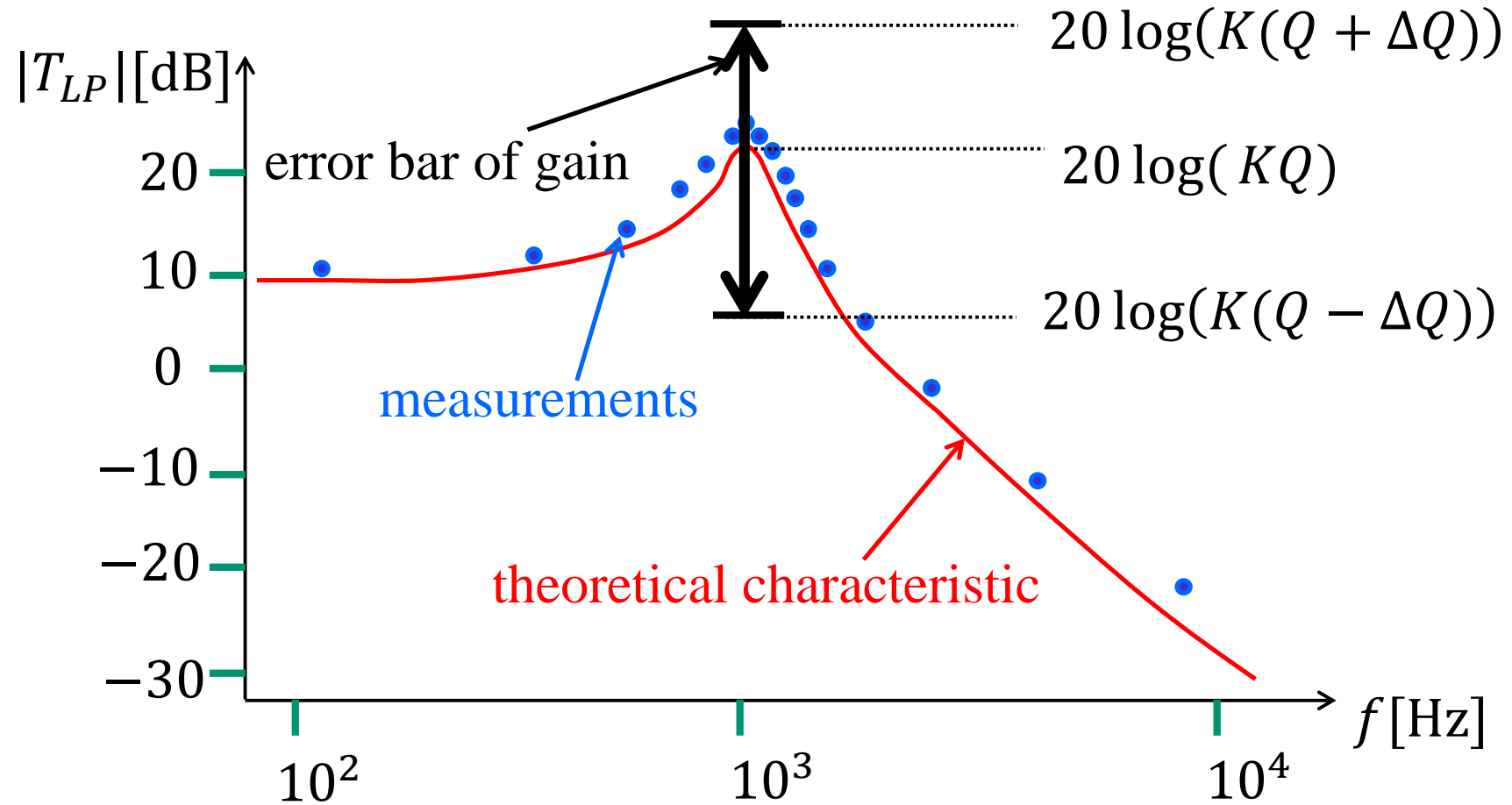


Fig. 1 Magnitude characteristic for LPF

電気電子情報工学実験I「アナログICとその応用」(5月21日, 講義)

(レポートの内容) 担当: 坪根 正

1) 概要

- ・ 今回は不要です(空欄にしておいて下さい)

2) 目的

300字

- ・ 何を目的にして, 何をやるのかを具体的に書いて下さい で言外

3) 理論

1~2ページくらい ex) 変換回路の周波数特性を導出するに...

- ・ 冗長にならないように必要な式を厳選して下さい
- ・ 振幅特性と位相特性の理論値のグラフを示してください
- ~~・ フィルターの素子の感度を明確にして誤差を推定して下さい~~

4) 実験方法

- ・ 与えられた仕様とそれを満足するように導出した設計値を明確にして下さい

5) まとめ

- ・ 上記内容を簡単にまとめ下さい

1言, 2言くらいでもかゝ。
簡易書式はNG

設計仕様を満足するように
理論をもとにして設計
↓
仕様を満たしているかを実験