

電子回路の基礎知識 (解答付き)

2 設 福本

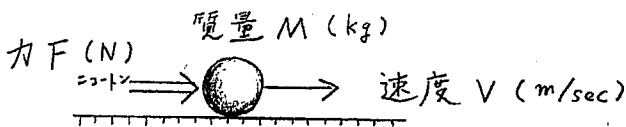
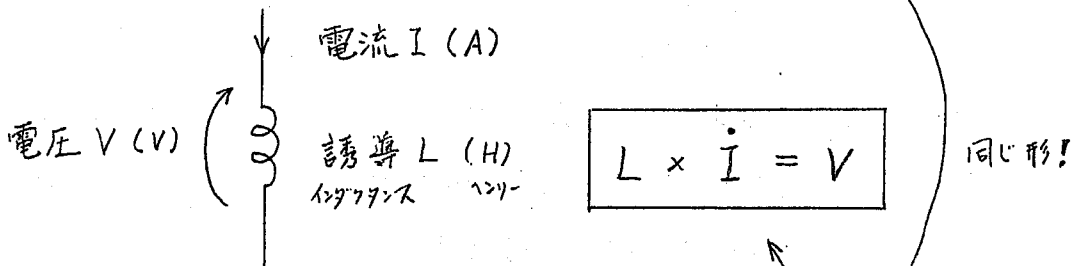
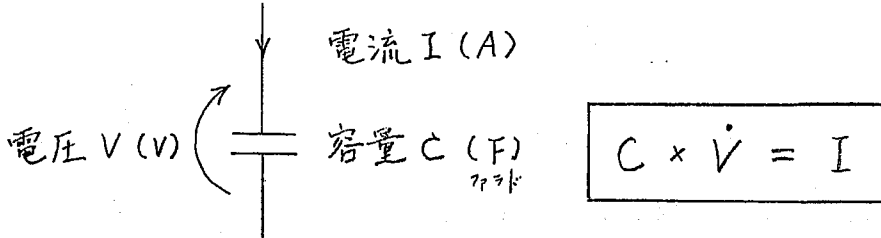
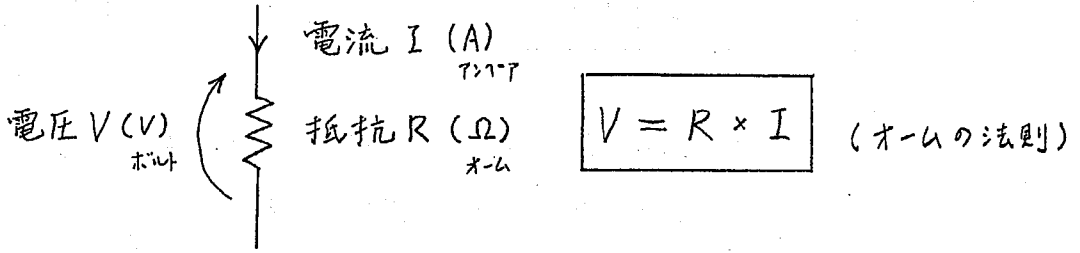
H1. 9. 16 (土) 9:00 ~ 12:15 実施

H1. 9. 30 (土) 訂正加算

(目次)

	頁
1. 抵抗、コンデンサ、コイル	1 ~ 4
2. 電圧、電流の意味	5
3. インピーダンス	6
4. トランジスタの動作	7
5. トランジスタの直流回路	8 ~ 10
6. トランジスタの交流増幅回路	11 ~ 13
7. 帰還(フィードバック)の話	14 ~ 17

1. 抵抗, インデンサ, コイル の捉え方



同じ形!

$$M \times \dot{V} = F$$

質量 加速度 力

物体

物体の質量 M は、速度 V を一定に保とうとする働きをする。
 速度 V を変えるためには、力 F が必要で、 $F > 0$ ならば、
 速度 V は増加し、 $F < 0$ ならば減少する。同じ力 F を加えても、
 質量 M が大きい程、速度 V はゆっくりと変化する。

コンデンサ

コンデンサの 容量 は、電圧 を一定に保とうとする働きをする。

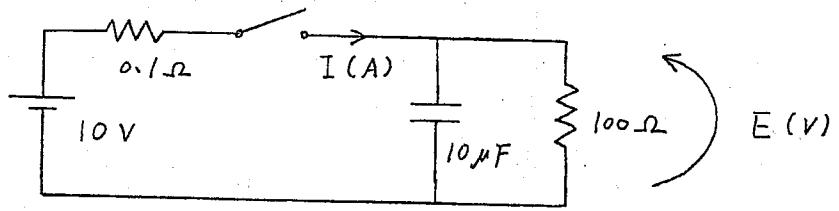
電圧 を変えるためには、電流 が必要で、 $I > 0$ ならば、
 電圧 は増加し、 $I < 0$ ならば、減少する。同じ電流 を加
 えても、容量 が大きい程、電圧 は、ゆっくりと変化する。

コイル

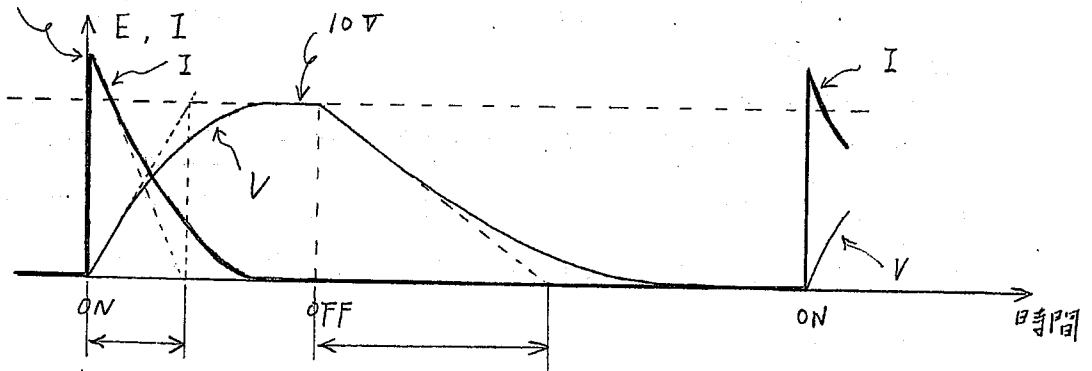
コイルの誘導 は、電流 を一定に保とうとする働きをする。
 電流 を変えるためには、電圧 が必要で、 $V > 0$ ならば、
 電流 は増加し、 $V < 0$ ならば、減少する。同じ電圧 を加
 えても、誘導 が大きい程、電流 は、ゆっくりと変化する。

例

① 突入電流



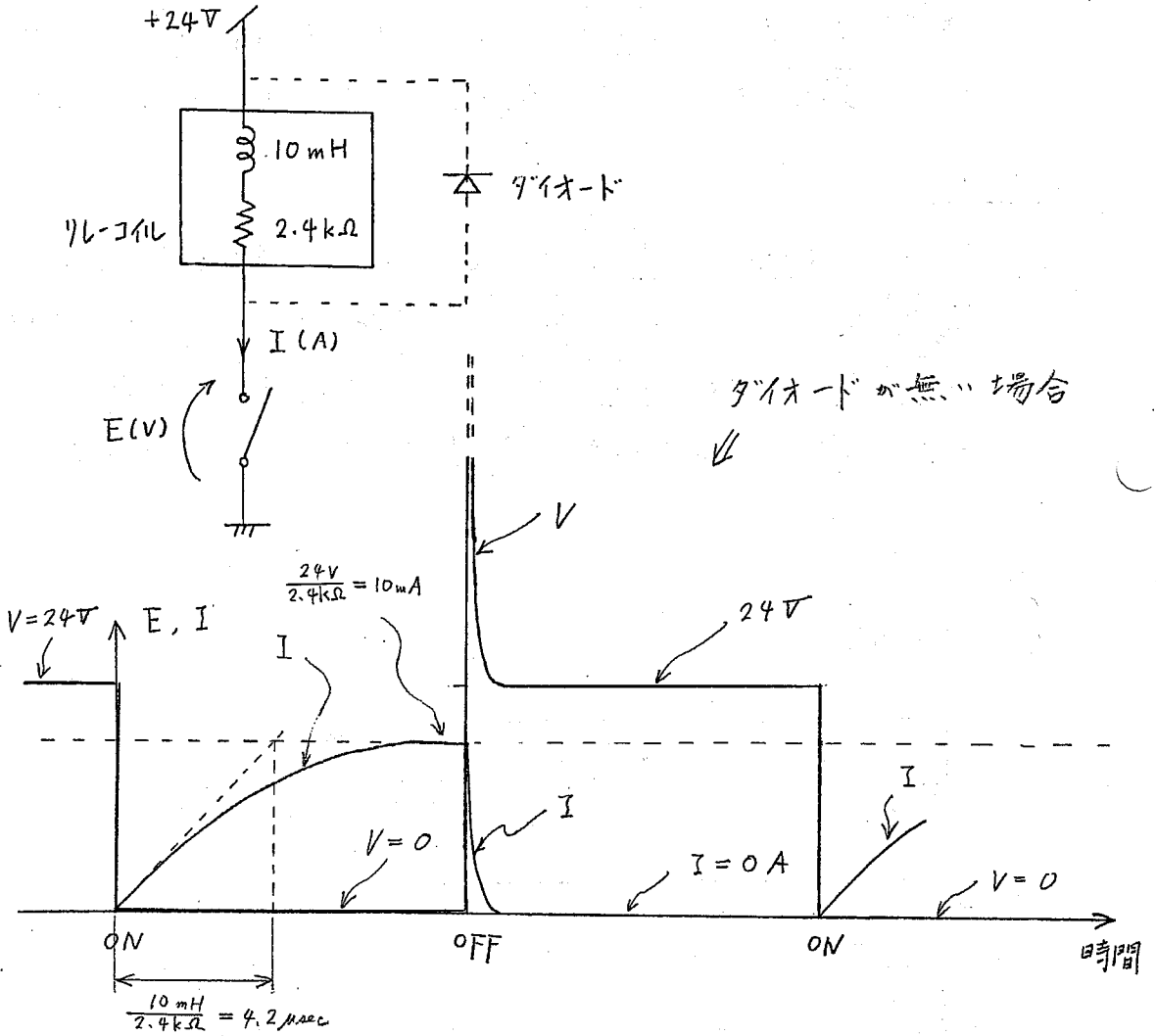
$\frac{10V}{0.1\Omega} = 100A$



$0.1\Omega \times 10\mu F = 1\mu sec$ $100\Omega \times 10\mu F = 1msec$

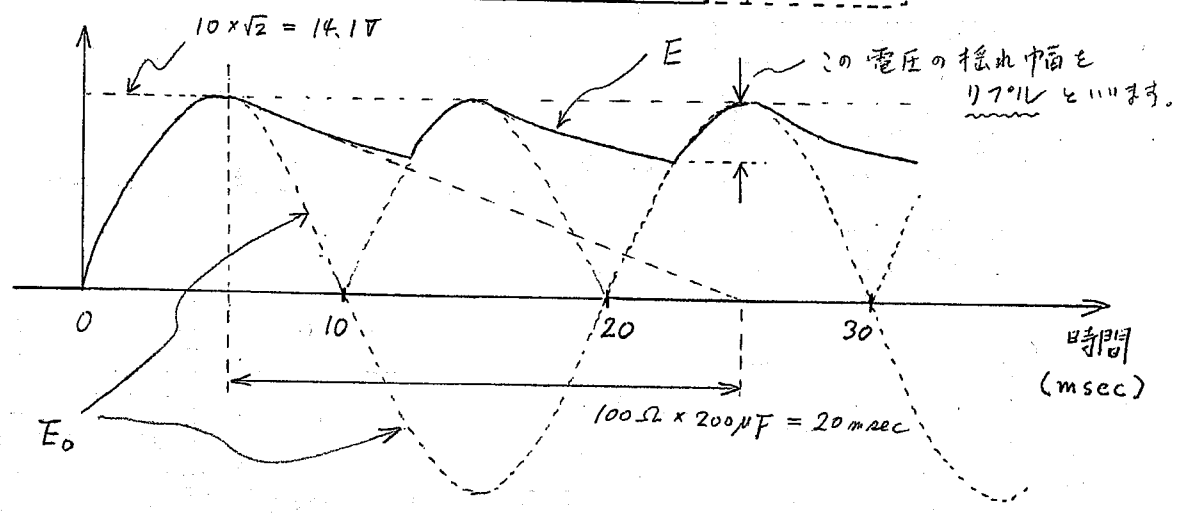
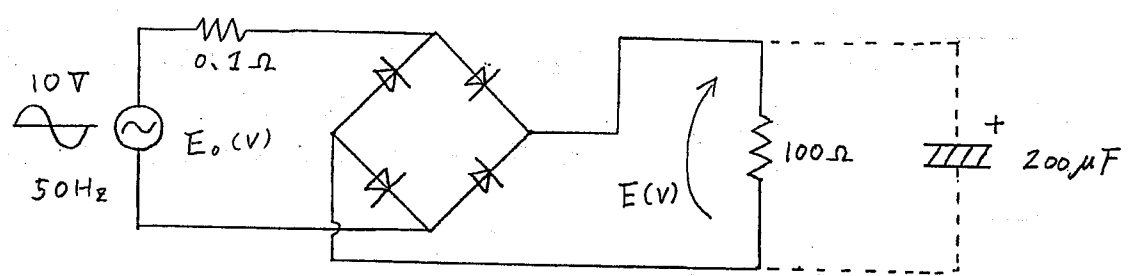
コンデンサが負荷にあるとき、回路スイッチをオンした時に、
 電流のサージが出る。これを突入電流 という。電気
 装置の多くは、負荷に容量を含んでおり、電源投入時に、
 突入電流 が流れる。

② リレー駆動回路

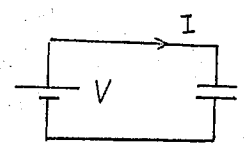


コイルが負荷にあるとき、回路スイッチを **オフ** した時に、
電圧 のサージが出る。この時、ダイオード等の保護
 回路が無い場合は、スイッチの接点に火花が飛び、スイッチ
 の寿命を縮める。
 (7-7)

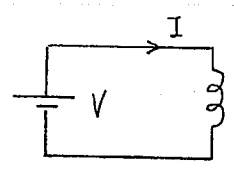
③ 整流及び平滑回路



コンデンサやコイルの抵抗は？

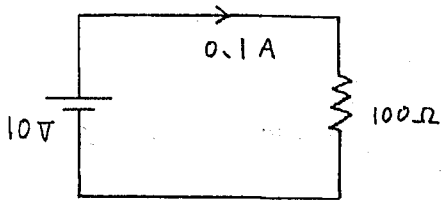


コンデンサに直流電圧を加えているとき、電流 I は 0 になる。
つまり、コンデンサは直流に対して、**オープン** と同じになります。



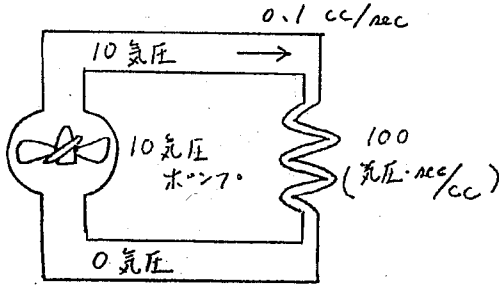
コイルにも抵抗がなく、直流電圧を加えているとき、電流 I は、**無限大** になる。つまりコイルは、直流に対して、**ショート** と同じ。

2. 電圧、電流の意味 (回路上の見方)



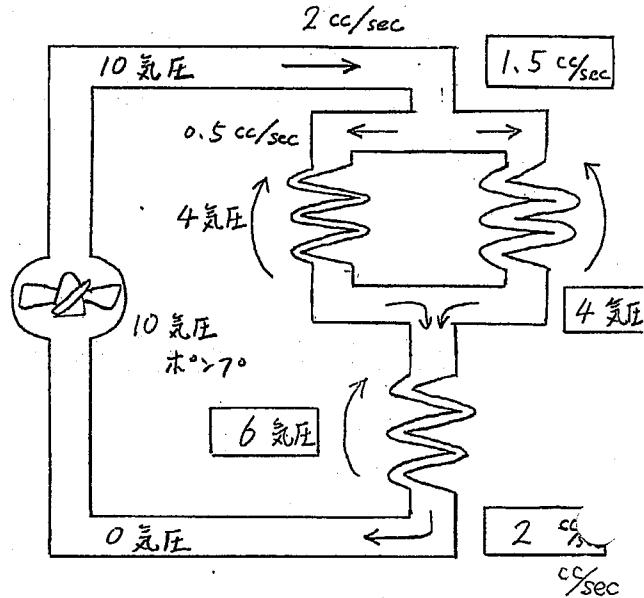
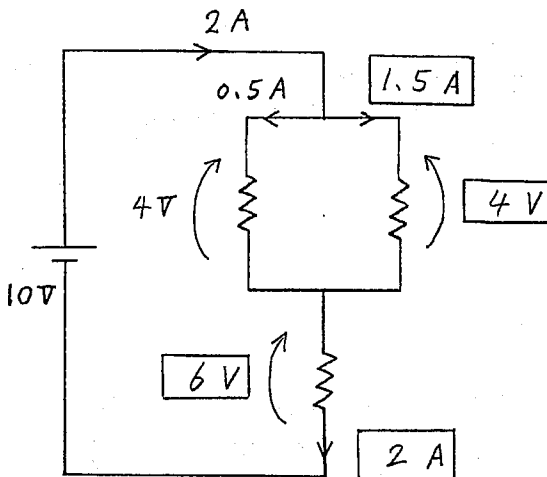
電流 - 電気という流体 (電子の集まり) の流れ。

電圧 - 電気を流すもとになる圧力。



水流 - 水という流体 (水の分子の集まり) の流れ。

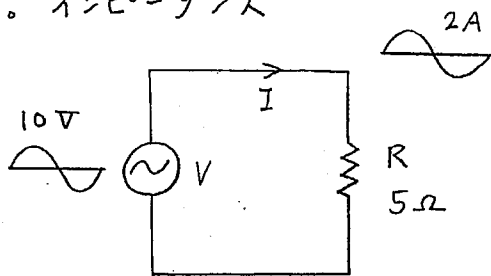
水压 - 水を流すもとになる圧力。



電流は枝分かれしても、合計電流は同じ。一本道では、どこでも同じ電流が流れる。

電圧は、直列では足し算になる。並列では同じになる。

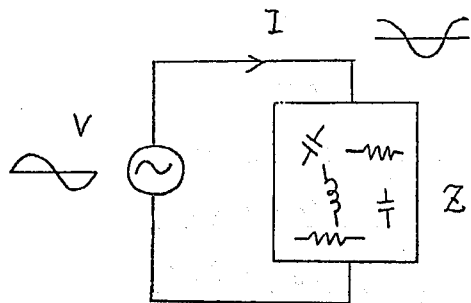
3. インピーダンス



抵抗の場合、交流でも

$$V = R \times I \quad (\text{オムの法則})$$

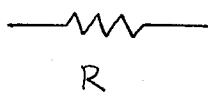
が成り立っている。



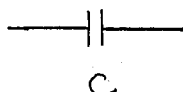
コンデンサやコイルを含む、
一般の回路に交流を加えた
ときも、電圧と電流は

$$\text{比例して, } V = Z \times I$$

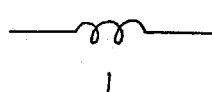
と書ける。この Z は、その回路と、交流の **周波数** と
によって決まる定数で、**インピーダンス** といふ。



$$Z = R$$



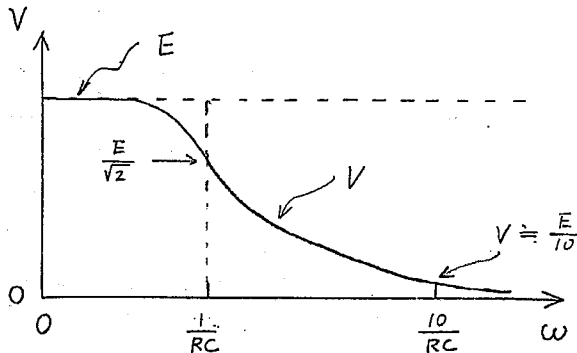
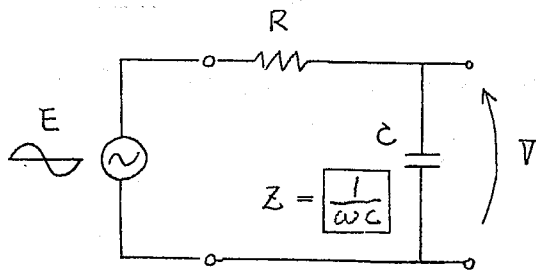
$$Z = \frac{1}{\omega C}$$



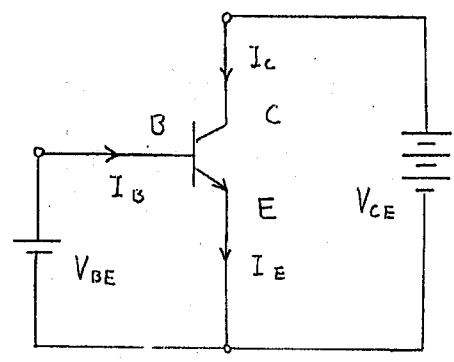
$$Z = \omega L$$

フィルタ-の例

★ ω は 周波数 f を 2π 倍したもので、角周波数
と呼ばれます。つまり、 $\omega = 2\pi f$ です。

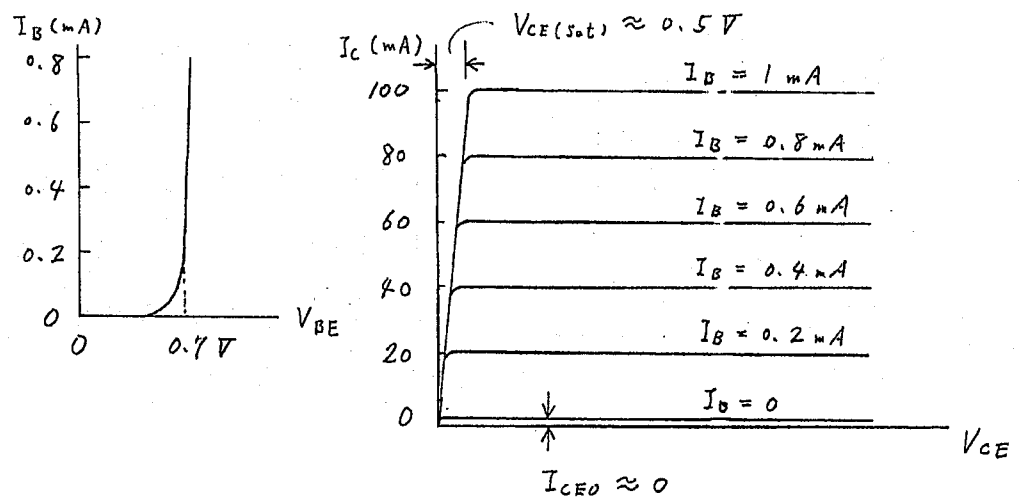


4. トランジスタの動作



$$I_E = I_C + I_B$$

$$\cong I_C$$



$V_{CE} > V_{CE(sat)}$ のとき、 I_C は I_B に比例し、
 しかも、大きく増幅されている。この増幅の比率を h_{FE}

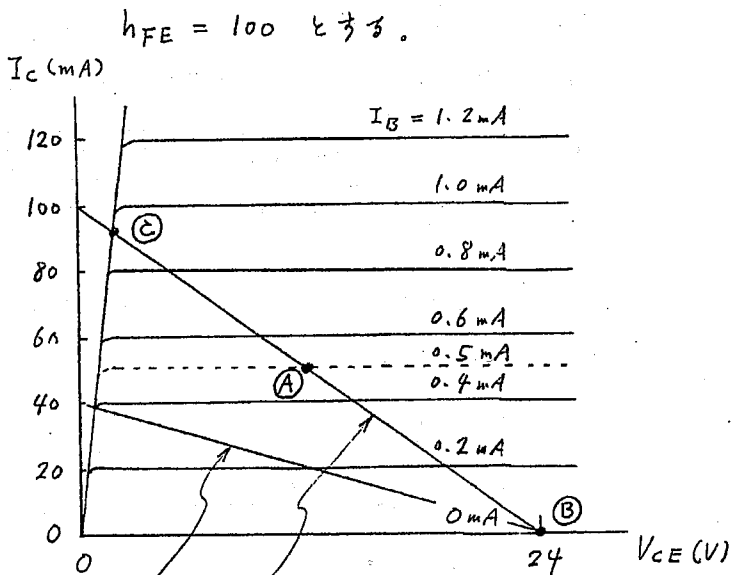
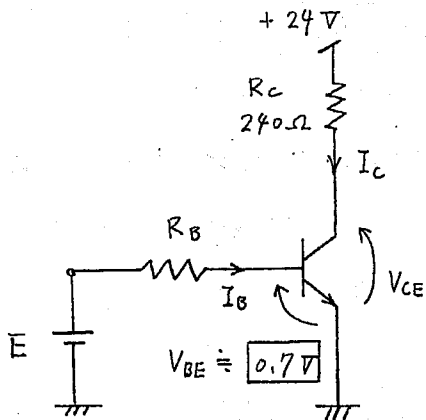
で表わす。つまり、 $I_C = h_{FE} \times I_B$ 。

上のトランジスタの例では、 $h_{FE} = 100$ 。

ベース電流 I_B が流れるときは、 V_{BE} は、ほぼ一定で、
 $V_{BE} \cong$ $0.7V$ である。

★ h_{FE} は (直流)電流増幅率 の名で呼ばれます。

5. トランジスタの直流回路(バイアス回路)



$R_C = 600 \Omega$ $R_C = 240 \Omega$

I_C の電流 I_C が決まれば、負荷抵抗 R_C によって、

$V_{CE} = 24 (V) - R_C \times I_C$ となって、 V_{CE} が決まる。これが

グラフの中の右下りの直線で表わされる。これを、

(直流)負荷線 とする。トランジスタは、この直線上で動作する。

$E = 0$ になると、ベース電流 $I_B = 0$ から、 $I_C = 0$ で、

$V_{CE} = 24V$ となる。これは、トランジスタをスイッチに倒えると、

オフ の状態に相当する。(図の **ⓑ** 点)。

E を上げてゆくと、約 $0.7V$ を超えたところから、ベース電流 I_B が流れ始め、 I_B が増えるとともに、 I_C が増える。

(直流)負荷線 の上を左上の方向へ移動してゆくと、 I_B が

約 **1.0** mA 以上で、図の **Ⓒ** 点になる。このとき、

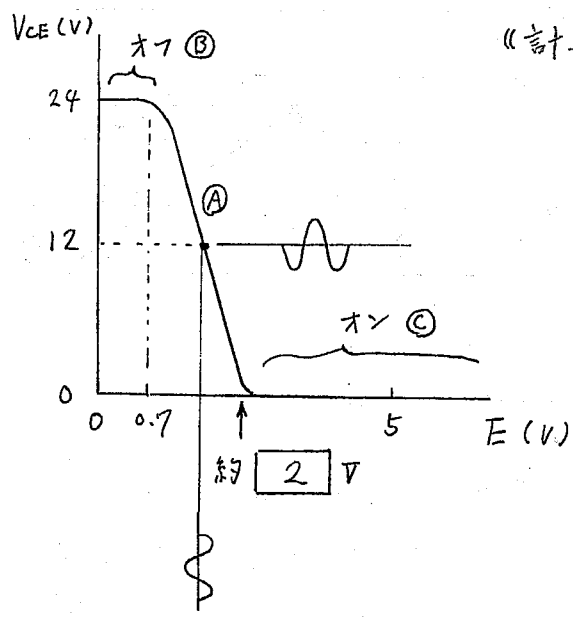
$V_{CE} = 0$ V で、 $I_C = 100mA$ となる。これは、トランジスタ

をスイッチに倒えると **オン** の状態に相当する。

トランジスタをスイッチとして使用する場合は、トランジスタをオン
するのに必要なベース電流（上の例で 1.0 mA ）の 3 倍の
ベース電流を流す様に、余裕を見た設計を行なう。

上の回路で、 $E = 5 \text{ V}$ でトランジスタをオンさせるために
は、ベース抵抗 R_B を $1.4 \text{ k}\Omega$ に設計するのが良い。

このときの、 E と V_{CE} の関係は、次の図の様になる。



《計算》

$$\frac{5 \text{ (V)} - 0.7 \text{ (V)}}{R_B} = 1.0 \text{ mA} \times 3$$

$$R_B = 1.4 \text{ k}\Omega$$

マージン

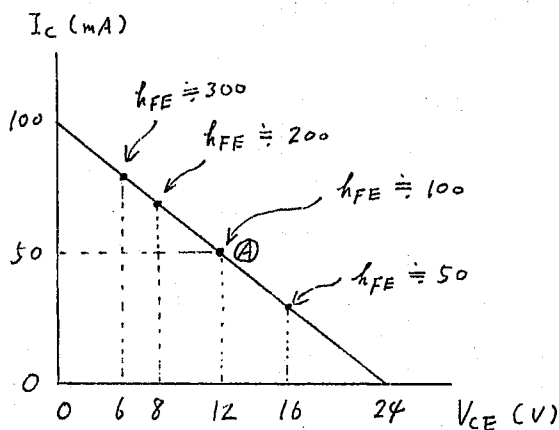
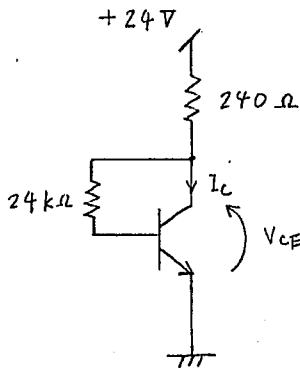
$$\frac{E - 0.7 \text{ (V)}}{1.4 \text{ k}\Omega} = 1.0 \text{ mA}$$

$$E = 2.1 \text{ V}$$

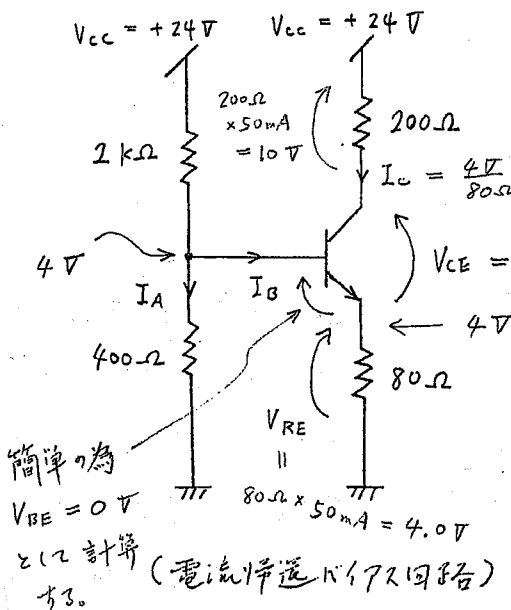
オン (C) と オフ (B) の間は、オンとオフの中間状態で、
交流信号の増幅に使える領域です。交流信号の増
幅を行なうためには、図の (A) 点の付近を中心に、
交流動作をさせるのが理想的。この点付近に、動作の
中心が位置する様に、まず直流回路を組む必要がある。
これを **バイアス回路** といふ。

同じ品種のトランジスタでも、 h_{FE} は、個々のトランジスタ間
で、ばらつきが大きく、温度による変化も小さくない。
この様な h_{FE} の違いがあっても、動作の中心が、余りばら
つかない様な **バイアス回路** が、工夫されている。

バイアス回路の例



(自己バイアス回路)



左の回路では、 $h_{FE} > 50$ であり、 V_{CE} 、 I_C は h_{FE} によらず、ほぼ一定になる。いくらになるだろうか？

$I_C \approx 50 \text{ mA}$

$V_{CE} \approx 10 \text{ V}$ $V_{RE} \approx 4.0 \text{ V}$

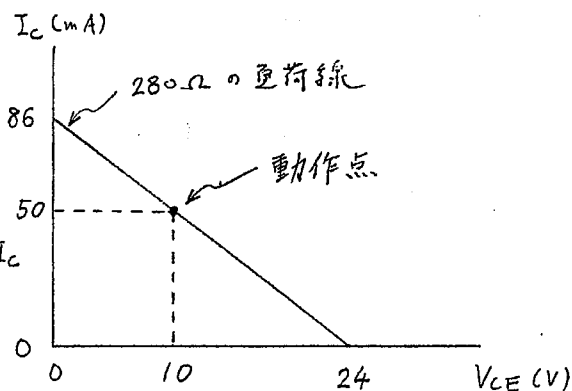
簡単の為 $V_{BE} = 0 \text{ V}$ とし計算 (電流分送バイアス回路) する。

★ この回路では、 V_{CE} と I_C の関係は、

$$V_{CE} = 24 \text{ (V)} - [200 \text{ (}\Omega\text{)} + 80 \text{ (}\Omega\text{)}] \times I_C$$

$$= 24 \text{ (V)} - 280 \text{ (}\Omega\text{)} \times I_C$$

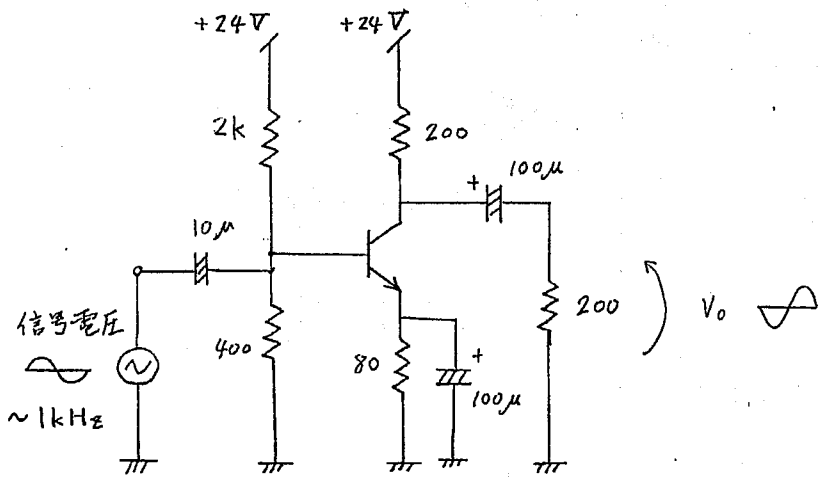
となりますので、トランジスタは、右の図の様な 280Ω の負荷線の上で動作します。



<Now How> 電流分送バイアス回路では、 $V_{RE} \approx 0.2 \times V_{CC}$ 、

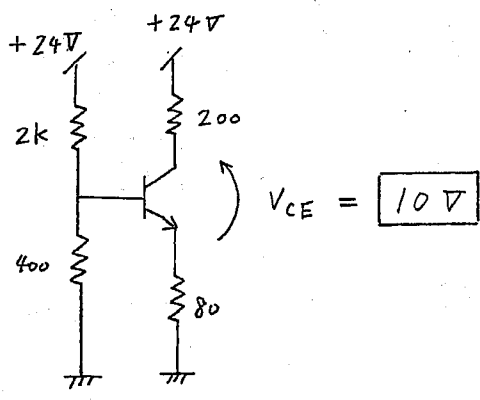
$I_A > 10 \times I_B$ とするようにより、各々の抵抗値を決める。

6. トランジスタの交流増幅回路



直流と交流に分ける.

直流のみ、交流なしのとき

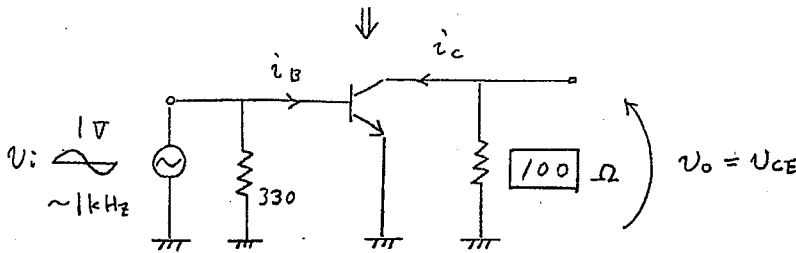
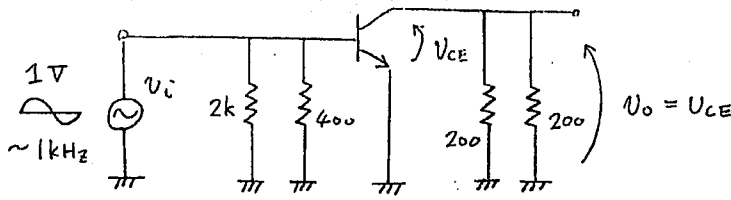


交流がなく、直流だけのときは、コンデンサはオープンになる。そのため、上の回路は、左と同じ。
これは、前出の電流帰還バイパス回路の例と同じ。

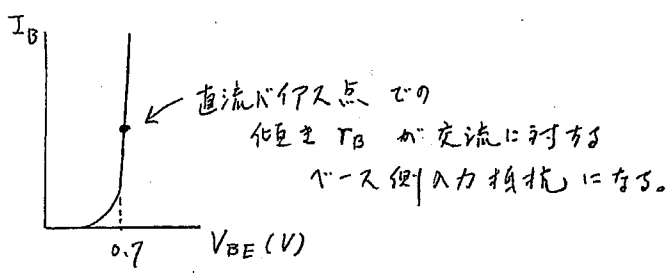
交流のみ、直流をしのぐとき

大きな容量のコンデンサは、

ショート と考えよう。



★ V, I, R など直流に対しては、大文字で、 v, i, r の様に交流については、小文字で表わすことが多くあります。

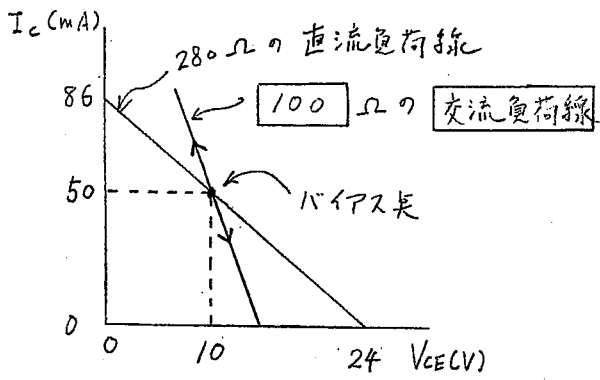


(計算)

$$\begin{cases} i_B = \frac{v_i}{r_B} \\ i_c = h_{fe} \cdot i_B \\ v_{CE} = -100\Omega \times i_c \end{cases} \downarrow v_{CE} = -h_{fe} \times \frac{100\Omega}{r_B} v_i$$

ベース側入力抵抗を r_B とすると、入力信号 v_i と出力電圧 $v_o = v_{CE}$ との関係は、 $v_{CE} = \boxed{-h_{fe} \times \frac{100\Omega}{r_B}} \times v_i$ となる。

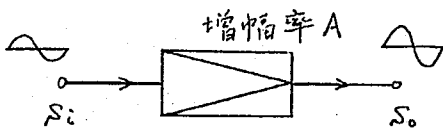
h_{fe} は交流に対する電流増幅率で、 $i_c = h_{fe} \times i_B$ で与えられる。通常 $h_{fe} \doteq \boxed{h_{FE}}$ とする。



交流に対する i_c と v_{CE} の関係は、上の回路図の通り、 $v_{CE} = \boxed{-100\Omega \times i_c}$ で、負荷は、100 Ω であって、直流に対する負荷

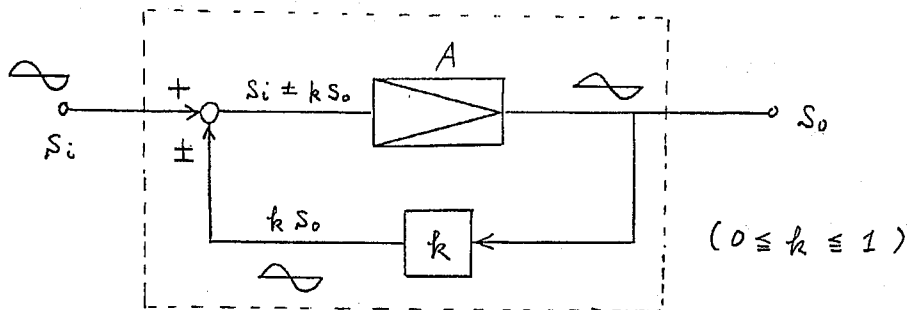
280Ω とは異なる。これを図に示すと上図の様になる。
交流に対する負荷線を **交流負荷線** という。交流信号
に対して、トランジスタは、この **交流負荷線** の上を動作する。

7. 帰還(フィードバック)の話



入力信号 S_i がアンプに入ると、
 よって増幅されて、信号 S_o を
 出力する。増幅率が A の
 信号は電圧、電流、何れでも

らば、 $S_o = A \times S_i$ となる。
 電圧、電流以外でもよい。



出力信号の一部又は全部を入力側へ返すことを **帰還** といい、
 入力信号を強める方向に帰還することを **正帰還** といい、
 入力信号を弱める方向に帰還することを **負帰還** といい。

通常、負帰還が多く使われる。負帰還では、アンプへの
 入力 $S_i - kS_o$ となるから、アンプの出力は $A \times (S_i - kS_o)$
 となる。これが出力 S_o に等しいのだから、 $S_o = A \times (S_i - kS_o)$ 。

これより $S_o = \frac{A}{1 + kA} \times S_i$ となる。

つまり、負帰還を含むアンプの全体(点線の中)の増幅率は、

$\frac{A}{1 + kA}$

となる。これは、アンプそのものの増幅率 A より

小さい。

これは、出力 S_o を入力へ返す割合を表わし、

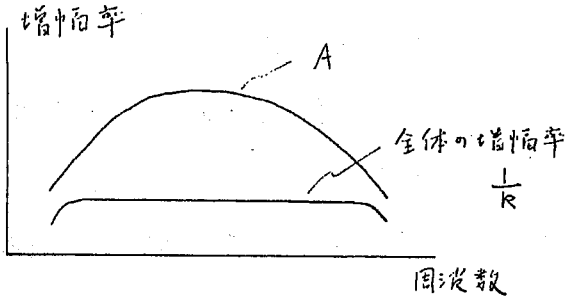
帰還率

という。 $k \gg \frac{1}{A}$ であれば、全体の増幅率は

は、近似的に $\frac{1}{k}$ となり、アンプの増幅率 A に依存せず、

k だけで決まる。

負帰還の特徴



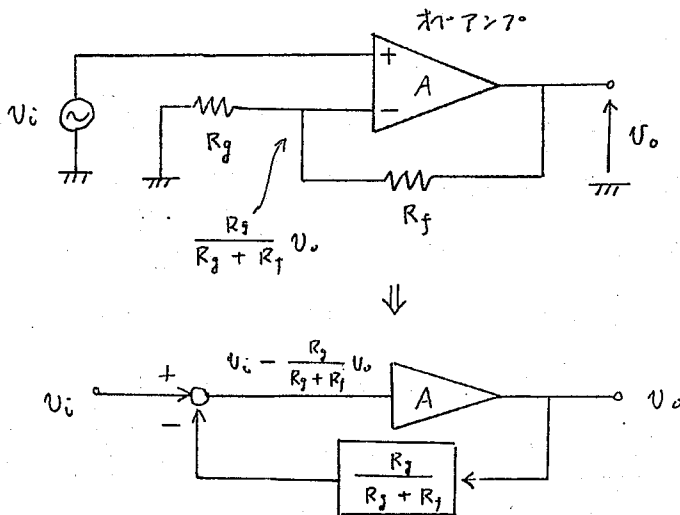
① アンプの増幅率 A がばらばらでも、常に一定の増幅率が得られる。

② 増幅率の周波数特性 (f特) が改善される。

③ 信号 s の歪みがなくなり、入力信号に比例した、きれいな出力信号が得られる。

負帰還回路の例

① オペアンプを使った例



オペアンプの \ominus 側の入力電圧は、

$$\frac{R_g}{R_g + R_f} U_o$$

U_i とこれとの差がオペアンプの \ominus 増幅される。だから、

これを、信号の伝達を表わす図に書きかえ

と、下の図のようにする。これより、 $k = \frac{R_g}{R_g + R_f}$ 、オペアンプ

では、 A は 10^5 程度の非常に大きい値だから、普通は、

$k \gg \frac{1}{A}$ である。だから、この回路全体の増幅率は、

$\frac{R_g + R_f}{R_g}$ となる。抵抗 R_g, R_f の比だけで決まる。これより、

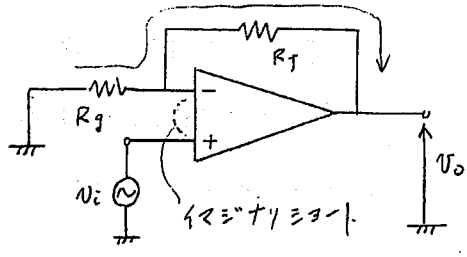
オペアンプの \ominus 側入力電圧は、 $\frac{R_g}{R_g + R_f} \times U_o = 1 \times U_i$ となる。

つまり、 \oplus 側入力電圧 U_i と 1 になり、見かけ上、両入力間が、

ショートしている。しかし、両入力共に電流は流れない、あくまで見かけ上の短絡であり、**仮想的なショート**と呼ばれる。

オペアンプに負帰還をかけると、この**仮想的なショート**が起る。

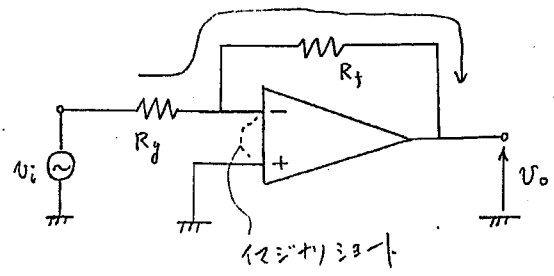
② オペアンプの負帰還回路の簡単な考え方。



(非反転増幅器)

仮想的なショートの実実を使えば、オペアンプの負帰還回路の動作は、かんたんに理解できる。

$$V_o = \frac{R_g + R_f}{R_g} \times V_i \text{ となる。}$$



(反転増幅器)

$$V_o = - \frac{R_f}{R_g} \times V_i \text{ となる。}$$

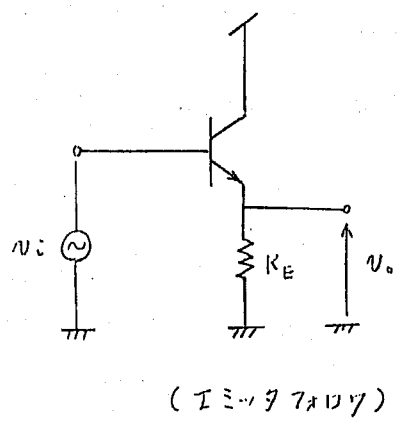
《解説》

上の非反転増幅器の場合、⊖入力端子の電圧は、仮想的なショートにより、⊕入力端子の電圧と同じ V_i となる。一方、入力端子を通して、オペアンプに流入したり、流出したりする電流は、ほぼ 0 になります。従って、抵抗 R_g を流れる電流は、全て抵抗 R_f を流れるので、オームの法則から、抵抗 R_g , R_f 各々にかかる電圧は、 R_g と R_f の比となります。従って、 $\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_g + R_f}{R_g}$ となる。

下の反転増幅器でも、同じ仮想的なショートのために、⊖入力端子の電圧は ⊕入力端子電圧と同じ、0V になります。入力端子を通してオペアンプを出入りする電流は、殆んど 0 ですので、 R_g を流れる電流は、この回路の場合でも、全て R_f を流れる。このため、 R_g , R_f 各々にかかる電圧は、 R_g と R_f の比になります。従って、

$$\frac{V_o}{V_i} = - \frac{R_f}{R_g} \text{ になります。}$$

③ トランジスタを用いた例



左のエミッタフォロワ回路では、

$$v_o = \boxed{1} \times v_i \quad \text{となる。}$$

電圧の増幅率は $\boxed{1}$ となる。

この回路は帰還率 $k = 1$ の
負帰還回路であることが、

下の図から理解できる。

