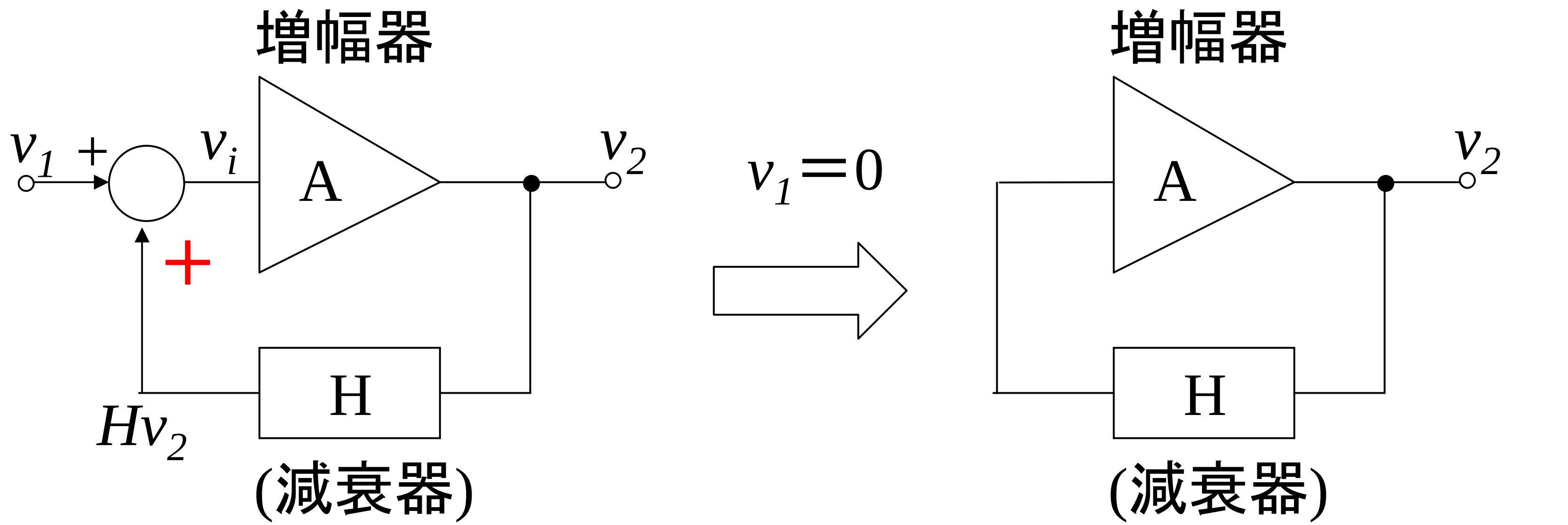
第8章 発振回路

- 発振回路
  - 低周波
    - RC発振回路
      - ブリッジ形
        (正相増幅器)
        - ウィーンブリッジ形
        - ターマン形
      - 移相形
        (逆相増幅器)
        - 進相形(HP形)
        - 遅相形(LP形)
  - 高周波
    - LC発振回路
      - 3素子形
        - コルピッツ形
        - ハートレー形
      - 同調形
        - コレクタ,ベース,エミッタ
          または
          ドレイン,ゲート,ソース
    - 水晶発振回路
      (等価回路はLC回路)
      - ピアスB-C形(コルピッツ形)
      - ピアスB-E形(ハートレー形)
      - 無調整(サバロフ形)

[帰還形発振回路の原理]

正帰還のために入力が0でも一定の出力が現われるようになった回路

[発振回路の発振条件]



正帰還回路　　帰還形発振回路

$$\begin{cases} v_2 = Av_i \\ v_i = v_1 + Hv_2 \end{cases}$$

v_iを消去して

$$v_2 = A(v_1 + Hv_2)$$
$$= Av_1 + AHv_2$$
$$(1 - AH)v_2 = Av_1$$

利得Gは

$$G = \frac{v_2}{v_1} = \frac{A}{1 - AH} \qquad (8.1)$$

利得Gは式(8.1)でAH=1とするとG=∞となり、v_1=0でも出力v_2は零とはならないで、発振状態となる。したがって、発振条件は

ループ利得AHが、

$$\boxed{AH = 1 \quad \text{または} \quad AH > 1}$$

$AH \geqq 1$ ⇒ $\mathrm{Im}(AH) = 0$ 周波数条件 (位相条件)
$\mathrm{Re}(AH) \geqq 1$ 電力条件 (振幅条件)

一般にループ利得
***AH*は複素数**である。

振幅情報と位相情報がある。

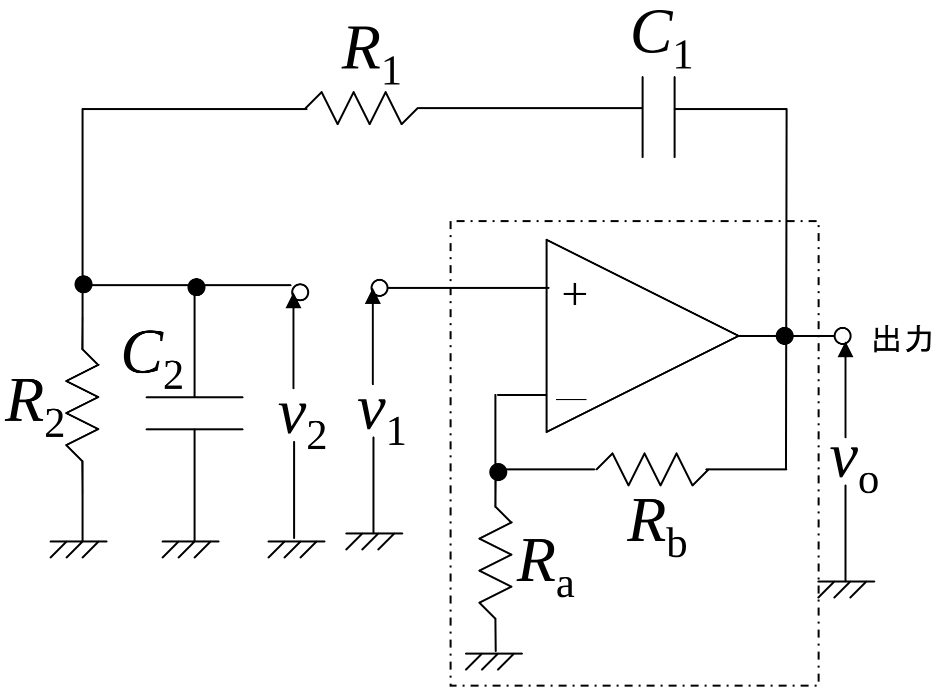
発振するには同位相⇒$\mathrm{Im}(AH) = 0$

低周波RC発振回路 ⇒ RC回路＋正相(逆相)増幅器
(演算増幅器)

高周波LC発振回路 ⇒ LC回路＋1段(1個)のトランジスタ

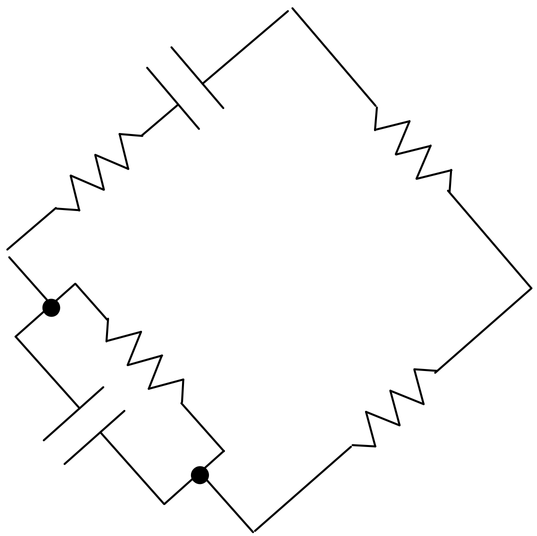
8.2 低周波RC発振回路

8.2.1 ウィーンブリッジ発振回路 (正相増幅器を利用)

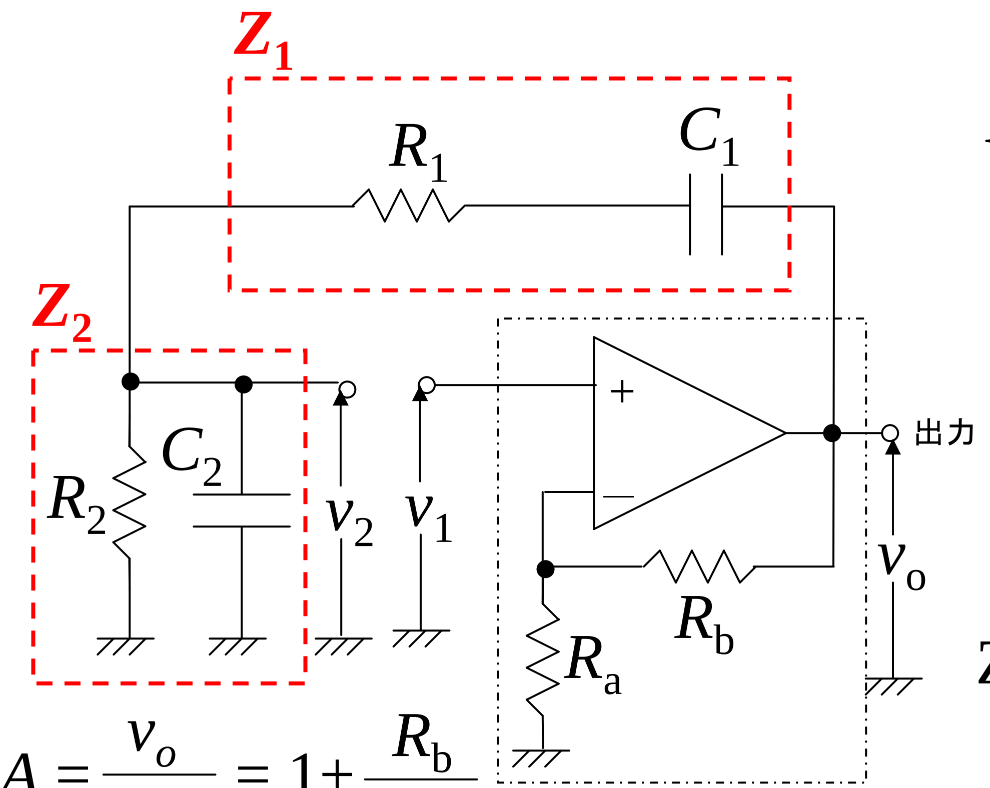


理想演算増幅器による
正相増幅回路(P.162)

$$G = \frac{v_o}{v_1} = 1 + \frac{R_b}{R_a} \ (= A \ )$$



ウィーンブリッジ



$$A = \frac{v_o}{v_1} = 1+\frac{R_b}{R_a}$$

$$\begin{cases} v_2 = \dfrac{Z_2}{Z_1+Z_2} v_o = \dfrac{1}{1+\dfrac{Z_1}{Z_2}} v_o \\ v_o = A v_1 \end{cases}$$

$$v_2 = \frac{A}{1+\dfrac{Z_1}{Z_2}} v_1$$

$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} = \frac{j\omega C_1 R_1 + 1}{j\omega C_1}$$

$$Z_2 = \frac{\dfrac{R_2}{j\omega C_2}}{R_2 + \dfrac{1}{j\omega C_2}} = \frac{R_2}{j\omega C_2 R_2 + 1}$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{j\omega C_1 R_1 + 1}{j\omega C_1} \; \frac{j\omega C_2 R_2 + 1}{R_2} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j\left(\omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega C_1 R_2}\right)$$

ループ利得***AH***は

$$\mathrm{AH} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{A}{1+\frac{Z_1}{Z_2}} = \frac{A}{1+\frac{R_1}{R_2}+\frac{C_2}{C_1}+j\left(\omega C_2R_1 - \frac{1}{\omega C_1R_2}\right)}$$

周波数条件は $\mathrm{Im}(AH) = 0$ より

$$\mathrm{Im}(AH) = \omega C_2R_1 - \frac{1}{\omega C_1R_2} = 0 \qquad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1C_2R_1R_2}}$$

電力条件は $\mathrm{Re}(AH) \geqq 1$ より

$$\mathrm{Re}(AH) = \frac{A}{1+\frac{R_1}{R_2}+\frac{C_2}{C_1}} \geqq 1 \qquad A \geqq 1+\frac{R_1}{R_2}+\frac{C_2}{C_1}$$

$R=R_1=R_2$, $C=C_1=C_2$ とすれば

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{CCRR}} = \frac{1}{2\pi CR}$$

$$A \geqq 1 + \frac{R}{R} + \frac{C}{C}, \qquad A \geqq 3$$

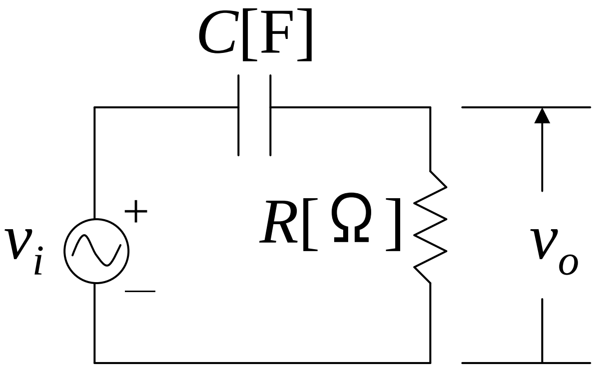
$A = 1 + \frac{R_b}{R_a}$ を代入すれば

$$1 + \frac{R_b}{R_a} \geqq 3, \qquad \frac{R_b}{R_a} \geqq 2$$

となる。

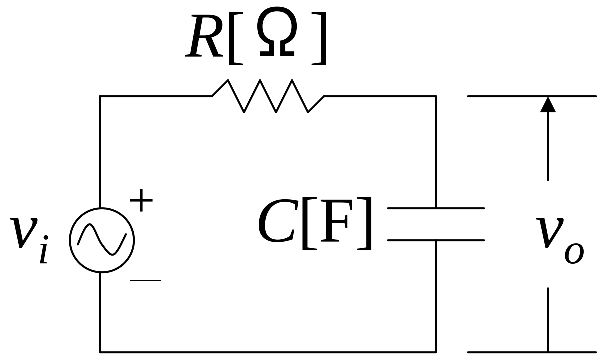
8.2.2 RC移相形発振回路 (逆相増幅器を利用)

[RC移相回路要素]



進相 $0 < \phi < 90°$

(高域通過フィルタ HPF)

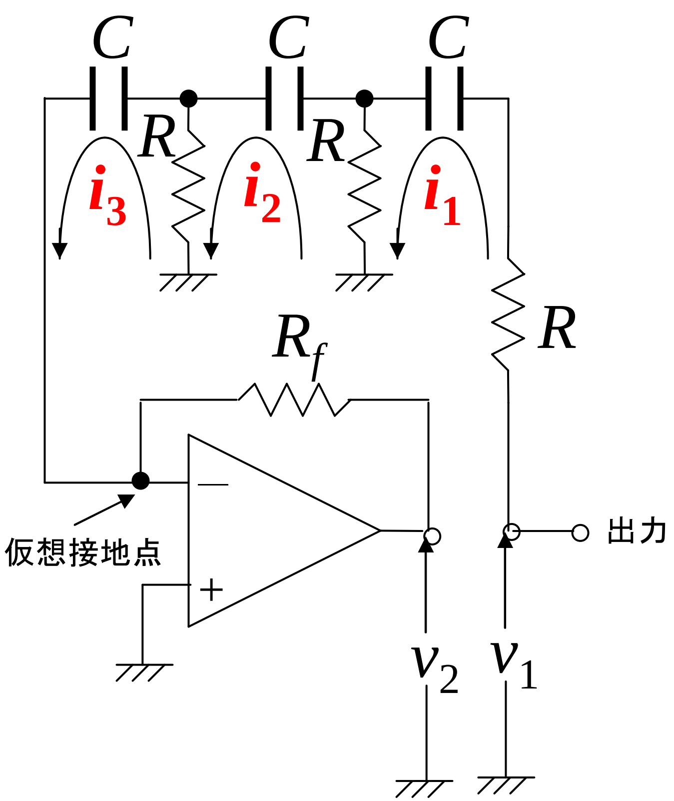


遅相 $0 < \phi < 90°$

(低域通過フィルタ LPF)

移相回路要素は単独では90°未満の移相シフトしか実現できないので、最低3段の回路要素を用いる必要がある。

図8.3のRC移相形発振回路においてa=1とする。



$$
\begin{cases}
v_1 = \left(R + \dfrac{1}{j\omega C}\right) i_1 + R(i_1 - i_2) & (1) \\
\dfrac{1}{j\omega C} i_2 + R(i_2 - i_3) = R(i_1 - i_2) & (2) \\
\dfrac{1}{j\omega C} i_3 = R(i_2 - i_3) & (3)
\end{cases}
$$

式(1), (2), (3) を整理して

$$
\begin{cases}
\left(2R + \dfrac{1}{j\omega C}\right) i_1 - Ri_2 = v_1 & (4) \\
\left(2R + \dfrac{1}{j\omega C}\right) i_2 - Ri_3 = Ri_1 & (5) \\
\left(R + \dfrac{1}{j\omega C}\right) i_3 = Ri_2 & (6)
\end{cases}
$$

式(4) より

$$i_1 = \frac{1}{2R+\frac{1}{j\omega C}}(v_1+Ri_2) \tag{7}$$

式(5) に代入してi_1を消去すると

$$\left(2R+\frac{1}{j\omega C}\right)i_2 - Ri_3 = \frac{R}{2R+\frac{1}{j\omega C}}(v_1+Ri_2)$$

$$\left(3R+\frac{4}{j\omega C}-\frac{1}{\omega^2C^2R}\right)i_2 - \left(2R+\frac{1}{j\omega C}\right)i_3 = v_1 \tag{8}$$

式(6) より

$$i_2 = \left(1+\frac{1}{j\omega CR}\right)i_3 \tag{9}$$

式(8) に代入してi_2を消去すると

$$\left(3R+\frac{4}{j\omega C}-\frac{1}{\omega^2C^2R}\right)\left(1+\frac{1}{j\omega CR}\right)i_3-\left(2R+\frac{1}{j\omega C}\right)i_3=v_1$$

$$\left(R-\frac{5}{\omega^2C^2R}+\frac{6}{j\omega C}-\frac{1}{j\omega^3C^3R^2}\right)i_3=v_1 \qquad (10)$$

ここで

$$v_2=-R_f i_3, \qquad i_3=-\frac{v_2}{R_f} \qquad (11)$$

式(11) を式(10) に代入してi_3を消去すると

$$\left(R-\frac{5}{\omega^2C^2R}+\frac{6}{j\omega C}-\frac{1}{j\omega^3C^3R^2}\right)\left(-\frac{v_2}{R_f}\right)=v_1$$

$$\left\{-\frac{R}{R_f}+\frac{5}{\omega^2C^2RR_f}+j\left(\frac{6}{\omega CR_f}-\frac{1}{\omega^3C^3R^2R_f}\right)\right\}v_2=v_1$$

ループ利得*AH*は

$$\mathrm{AH} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{-\dfrac{R}{R_f} + \dfrac{5}{\omega^2 C^2 R R_f} + j\left(\dfrac{6}{\omega C R_f} - \dfrac{1}{\omega^3 C^3 R^2 R_f}\right)}$$

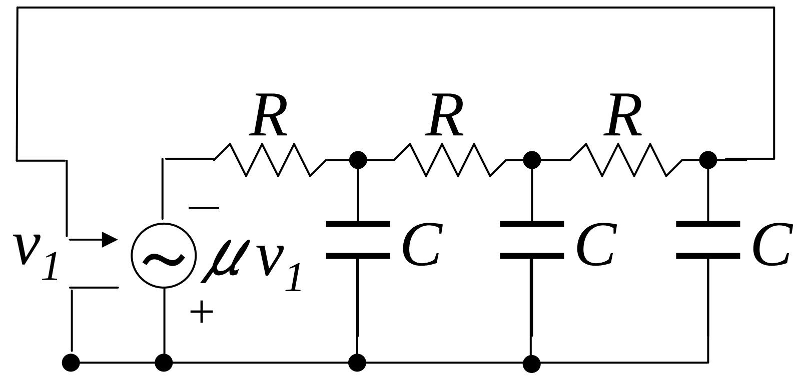
周波数条件は Im(*AH*) = 0 より

$$\mathrm{Im}(AH) = \frac{6}{\omega C R_f} - \frac{1}{\omega^3 C^3 R^2 R_f} = 0 \qquad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}\,CR}$$

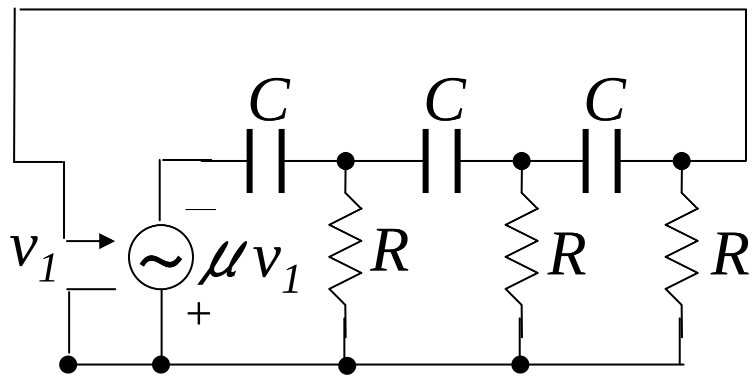
電力条件は Re(*AH*) ≧1 より

$$\mathrm{Re}(AH) = \frac{1}{-\dfrac{R}{R_f} + \dfrac{5}{\omega^2 C^2 R R_f}} \geqq 1 \qquad \frac{R_f}{R} \geqq 29$$

[その他のRC移相形発振回路 (演習問題)]

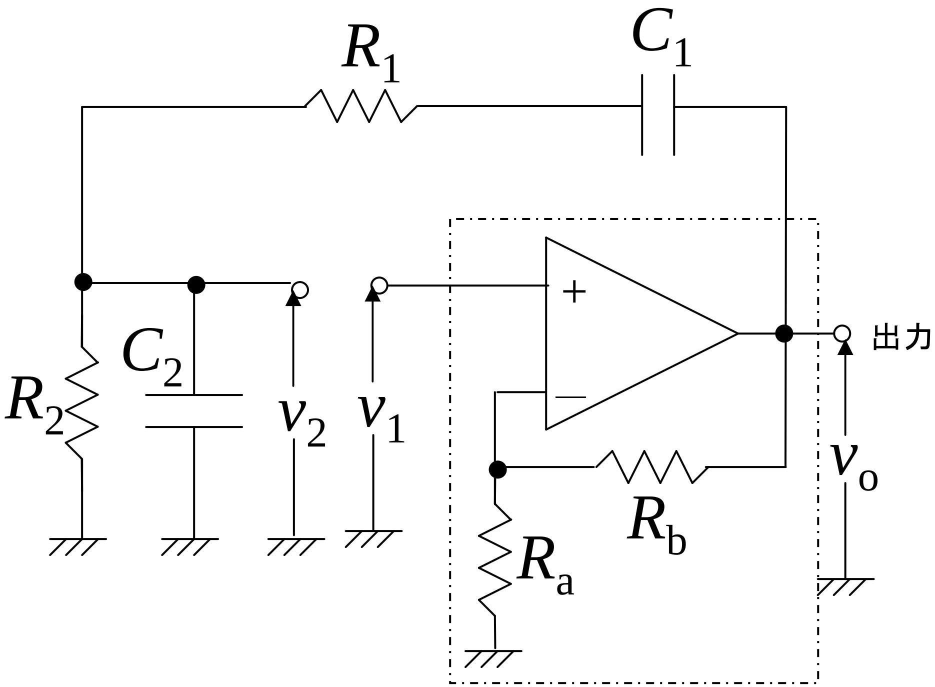


遅相形

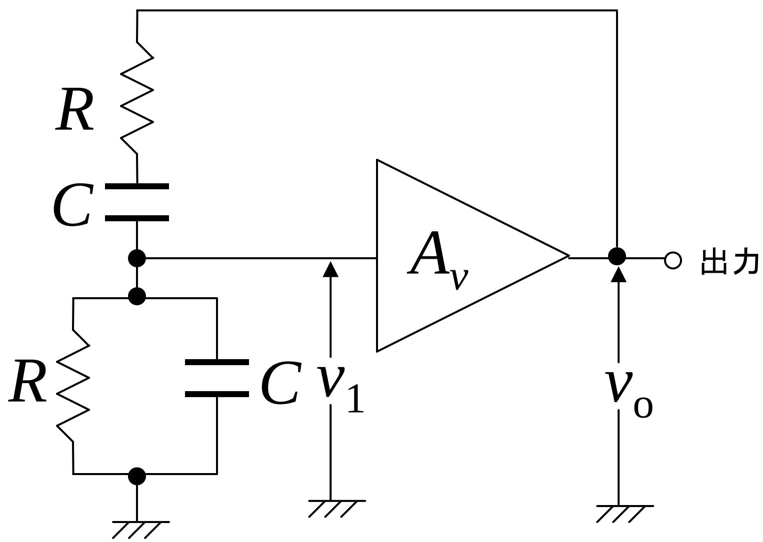


進相形

[ウィーンブリッジ発振回路とターマン発振回路]



ウィーンブリッジ発振回路



ターマン発振回路