11.発振回路
Oscillator

交流信号の発生

- 正弦波
- パルス
- その他の波形

発振回路の解析

- 能動素子の　　性が関係

↓

　　解析が必要

- 正弦波発振回路：非線形性が弱い

↓

　　解析により発振条件
（波形、振幅等は解析できない）

発振条件

- [　　]信号がない
- [　　]要素を[　　]表現

回路方程式(変数x:回路内の電圧/電流)

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \cdots + a_0 x = 0$$

$$s = \frac{d}{dt}$$

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_0) x = 0$$

$F(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_0$　　特性多項式

$F(s) = 0$の根:特性根

特性根と時間域波形

回路が特性根$\sigma + j\omega$を持てば

$$\frac{1}{s-(\sigma+j\omega)} \longleftrightarrow e^{(\sigma+j\omega)t}$$ 振動成分

$\sigma > 0$なら振動が

ある振幅で、能動素子の　　により　　が低下

等価的に$\sigma = 0$となり振幅が安定

発振条件

$$\begin{cases} \text{振幅条件（電力条件）} & \sigma \geq 0 \\ \text{発振角周波数} & \omega \end{cases}$$

$F(s) = a_2 s^2 + a_1 s + a_0$の場合

振幅条件　$a_0, a_2 > 0, a_1 \leq 0$

発振角周波数　$\omega = \sqrt{\dfrac{a_0}{a_2}}$

帰還回路

発振のためには

$\arg(AH) = -\pi$　となる周波数において

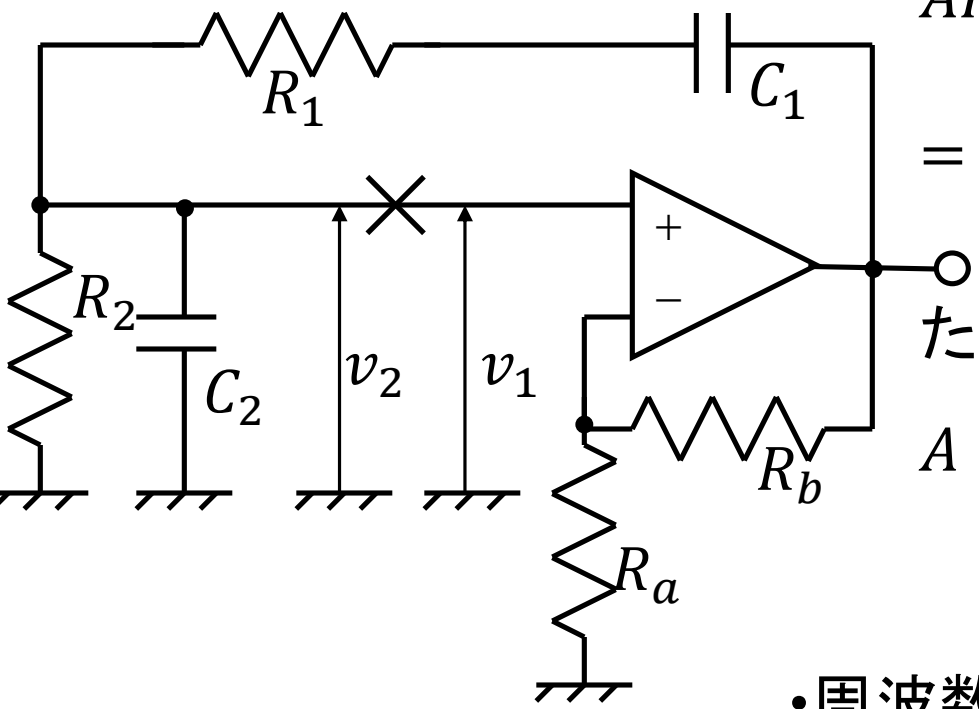
$|AH| \geq 1$

（帰還増幅器が安定に動作する条件の

$\mathrm{Im}(AH) = 0$　　周波数条件

$\mathrm{Re}(AH) \geq 1$　　振幅条件

ウィーンブリッジ発振回路



$$AH = \frac{v_2}{v_1}$$

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

ただし

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

ループ利得AHを計算するために、電流が0のところでループを切る

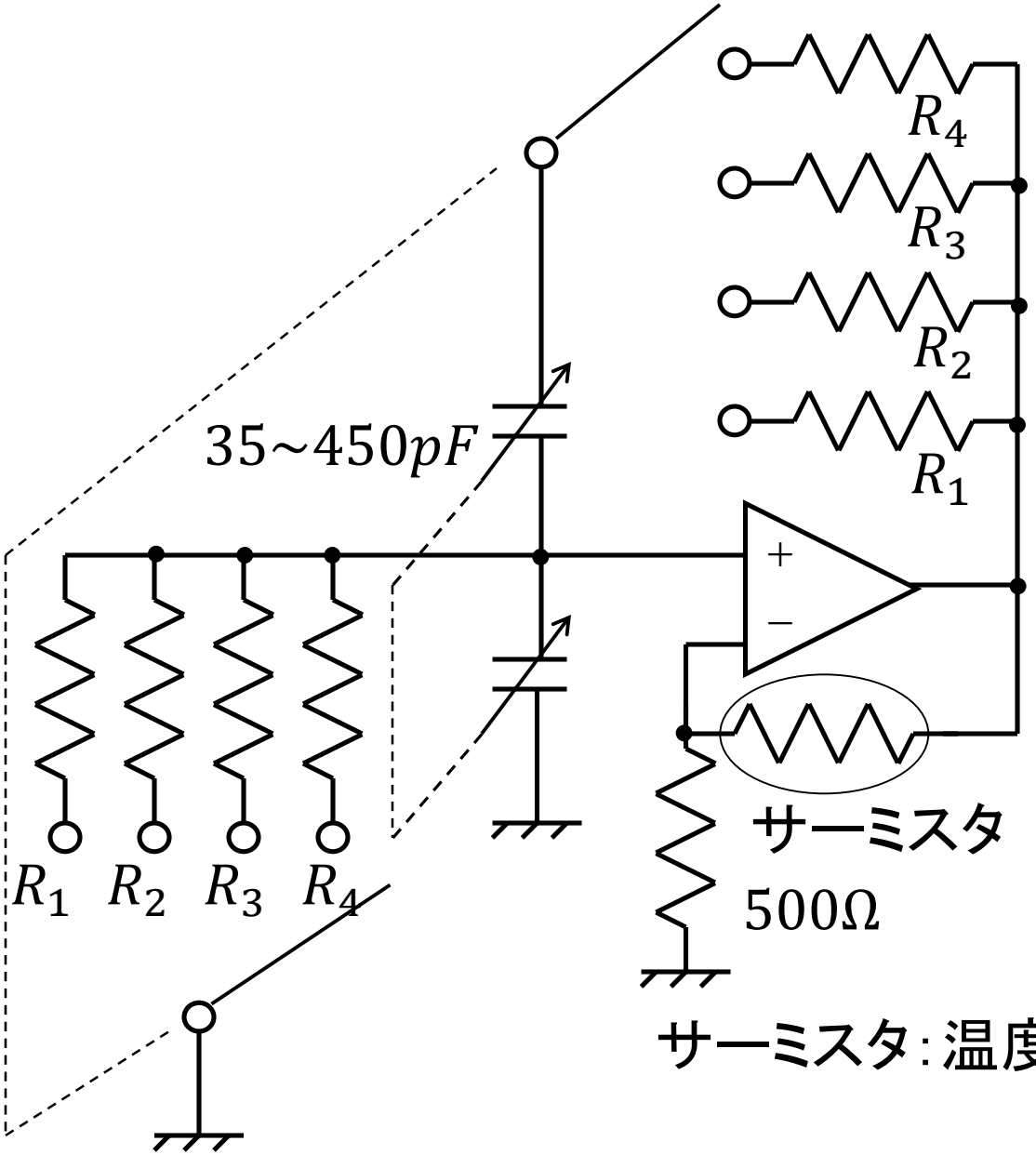
- 周波数条件$\mathrm{Im}(AH) = 0$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}}$$

- 振幅条件　$\mathrm{Re}(AH) \geq 1$（上記ωで）

$$A \geq 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}$$

ウィーンブリッジ発振回路の実例

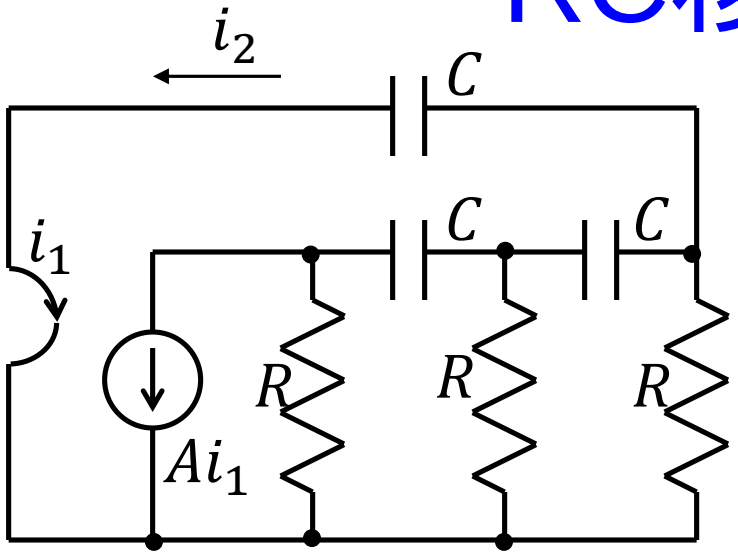


実験用信号発生器等に多用されている

$R_1 = 20M\Omega, R_2 = 2M\Omega,$
$R_3 = 200k\Omega, R_4 = 20k\Omega$
$f_{osc} = 20Hz\sim200kHz$

サーミスタ：温度が上がると抵抗が下がる

RC移相発振回路



$$(F) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{A} \end{pmatrix} \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{R} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{j\omega C} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}^3$$

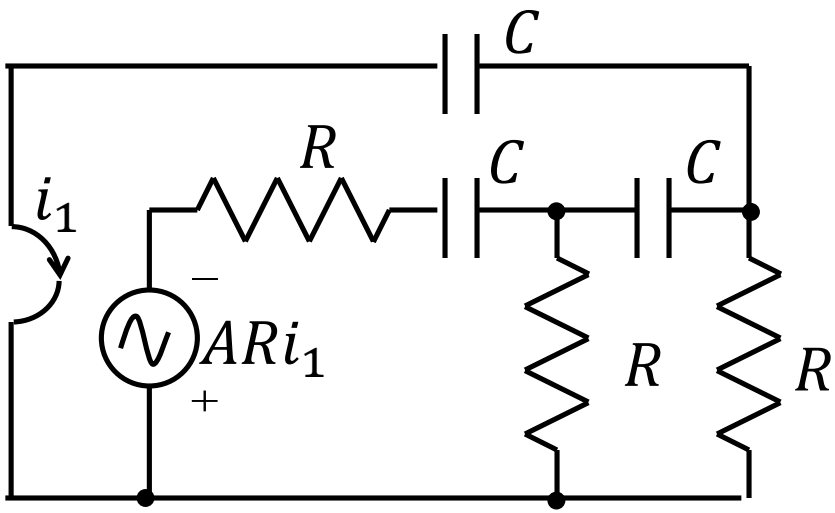
D要素の逆数により

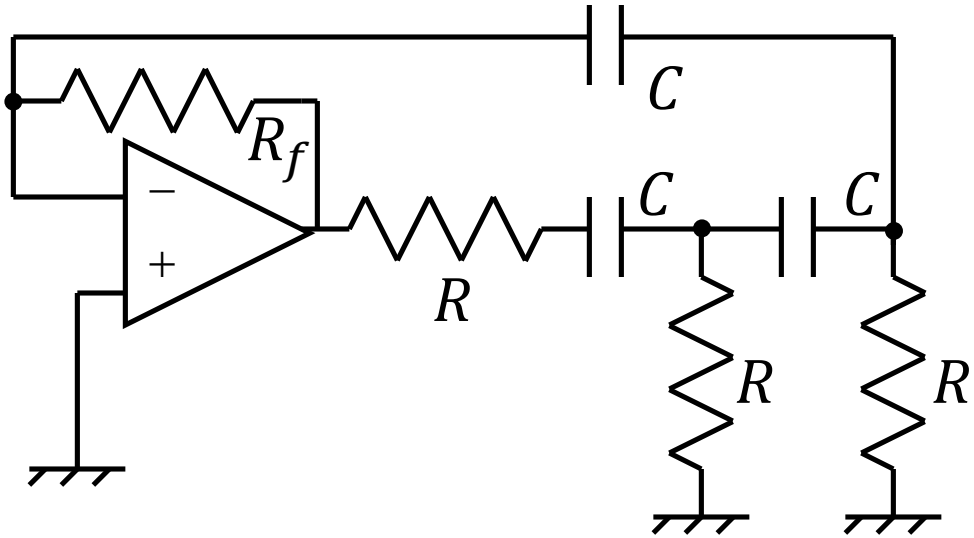
$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{-Ap^3}{p^3 + 6p^2 + 5p + 1}, \qquad p = j\omega CR$$

$\mathrm{Im}\left(\frac{i_2}{i_1}\right) = 0$より　$f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}CR}$

$\mathrm{Re}(\frac{i_2}{i_1}) \geq 1$より　$A \geq 29$

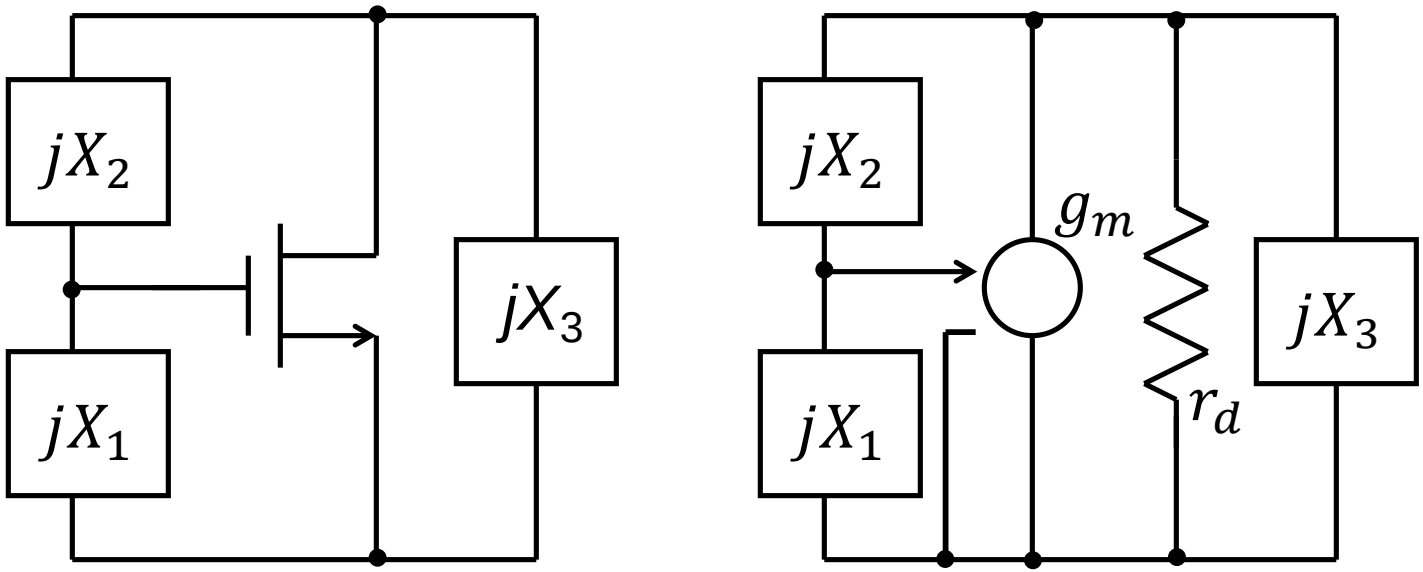
演算増幅器によるRC移相発振回路





$$R_f = AR \geq 29R$$

バルクハウゼン形発振回路



$$AH = -g_m r_d \parallel jX_3 \parallel j(X_1 + X_2)\frac{X_1}{X_1 + X_2}$$

$$= -\frac{X_1 g_m}{X_1 + X_2}\frac{1}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{jX_3} + \frac{1}{j(X_1 + X_2)}}$$

$$= -\frac{X_1 X_3 g_m r_d}{(X_1 + X_2)X_3 - jr_d(X_1 + X_2) - jr_d X_3}$$

周波数条件: $X_1 + X_2 + X_3 = 0$, 振幅条件: $-\frac{X_1}{X_1+X_2} g_m r_d \geq 1$

リアクタンスの符号

X_1とX_1+X_2が異符号

⇩

X_1とX_2が異符号($|X_1|<|X_2|$)

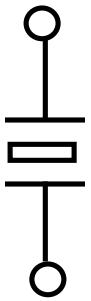
⇩

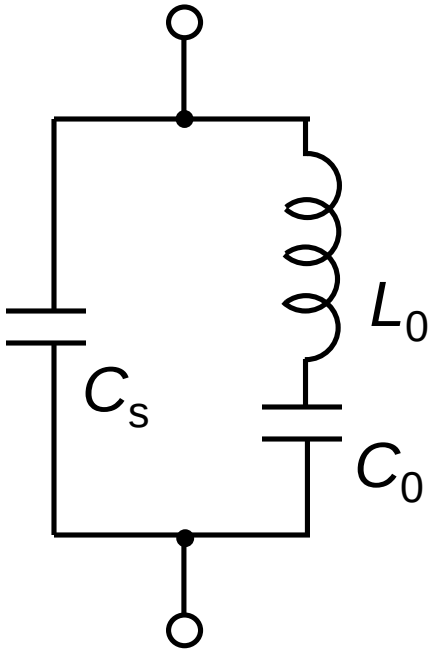
X_1とX_3は同符号

X_1	X_2	X_3	
C	L	C	コルピッツ発振回路
L	C	L	ハートレー発振回路

水晶発振回路

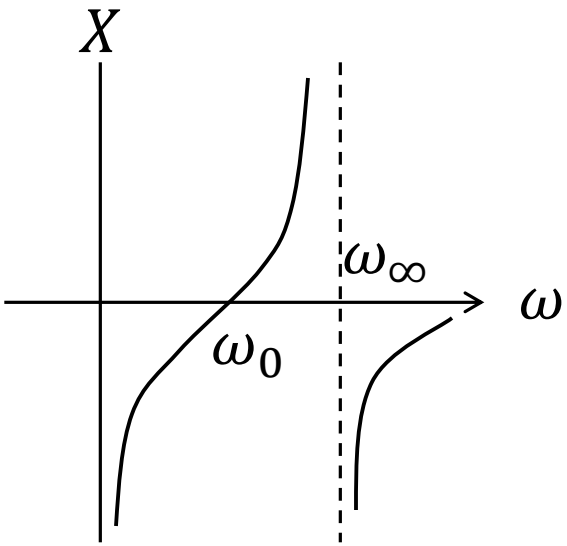
水晶振動子





L_0:数H
C_0:0.1pF以下
C_s:数pF

圧電効果



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$$

$$\omega_\infty = \sqrt{\frac{1}{L_0 C_0 \left(1 + \frac{C_0}{C_s}\right)}}$$

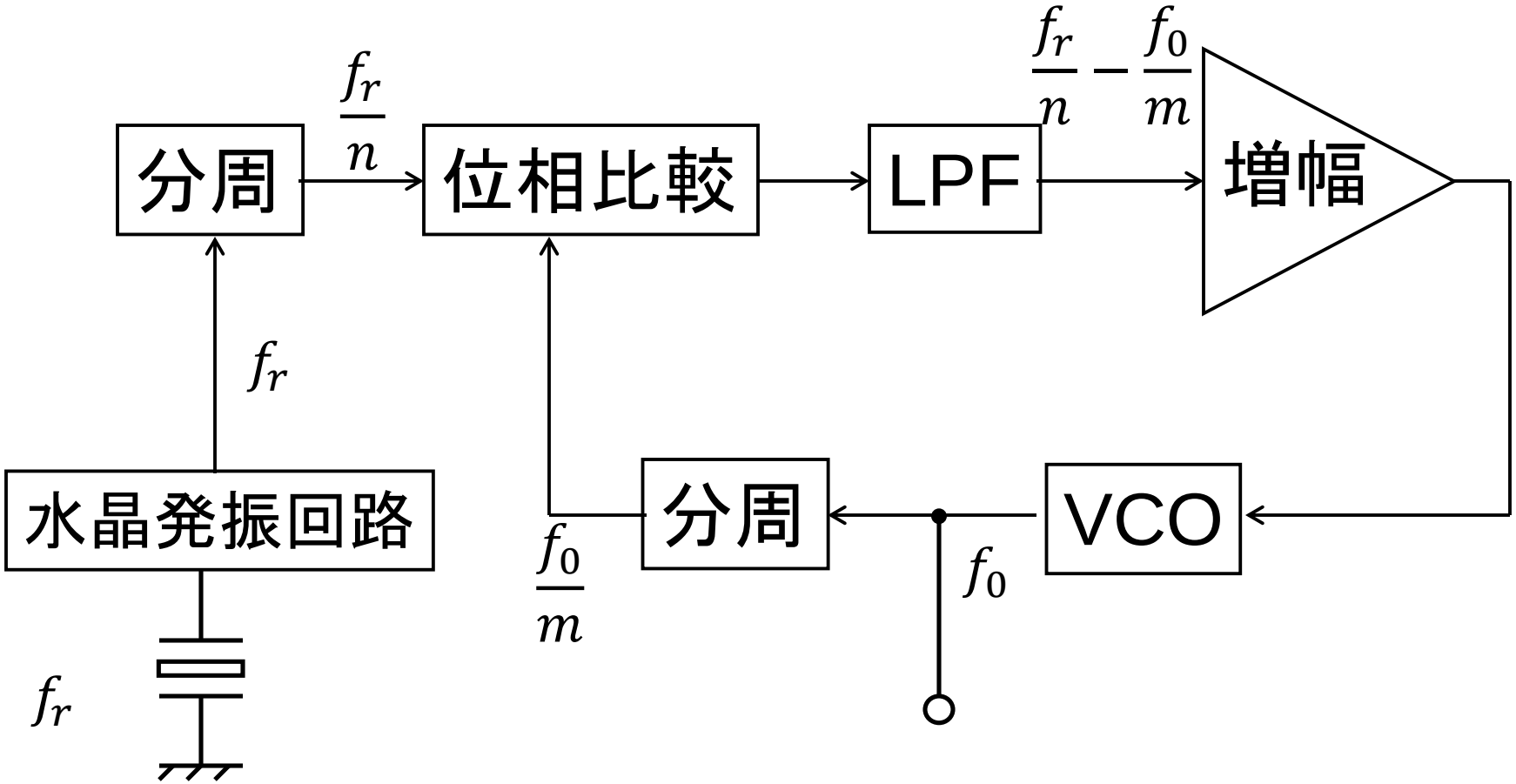
ω_0とω_∞は非常に近接

高安定水晶発振回路

水晶振動子の定数	ATカット
電源電圧	安定化電源
温度	恒温槽
回路	低振幅

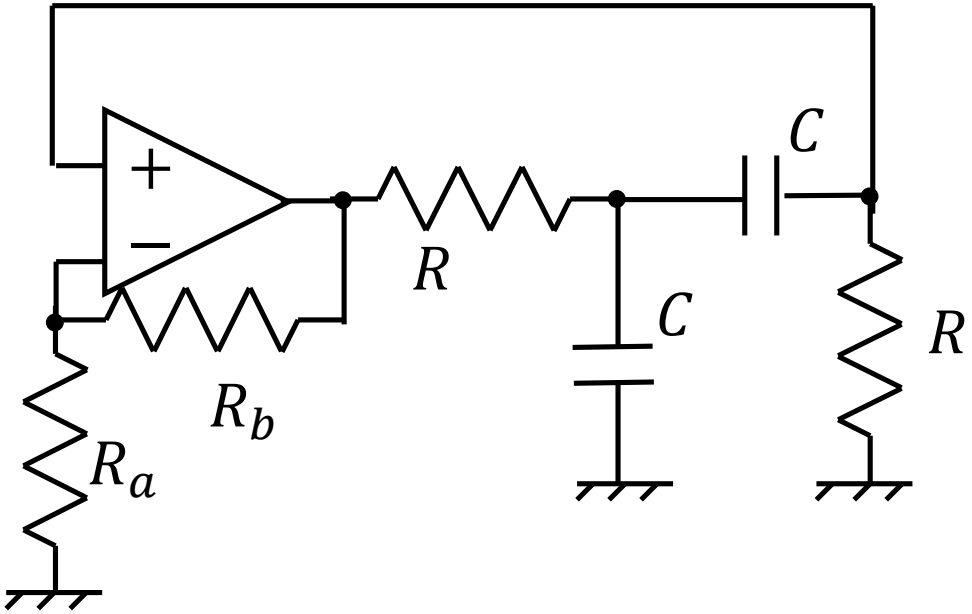
周波数安定度　　10^{-7}以下

Phase Locked Loop



周波数シンセサイザ

演習問題1



発振条件を求めよ。演算増幅器は理想的でナレータ・ノレータのモデルで表されるものとする

演習問題1

正相増幅器を除いた部分の縦続行列は

$$(F) = \begin{pmatrix} 1 & R \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ j\omega C & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \dfrac{1}{j\omega C} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \dfrac{1}{R} & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 + j\omega CR & R \\ * & * \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 + \dfrac{1}{j\omega CR} & * \\ \dfrac{1}{R} & * \end{pmatrix}$$

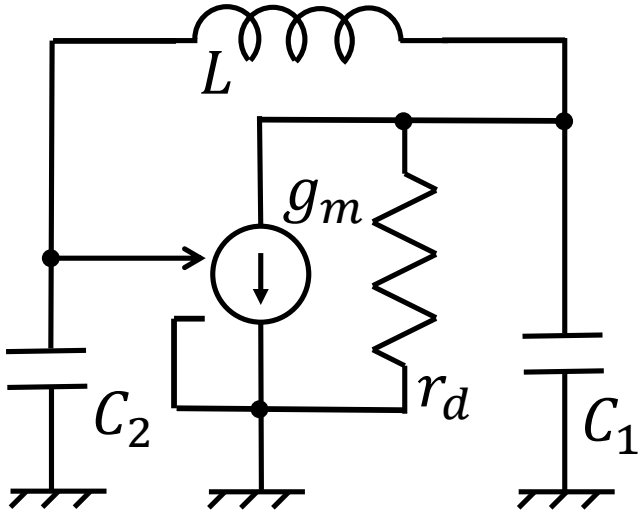
$$= \begin{pmatrix} 3 + j\left(\omega CR - \dfrac{1}{\omega CR}\right) & * \\ * & * \end{pmatrix}$$

これよりループ利得は

$$\frac{R_a + R_b}{R_a} \frac{1}{3 + j\left(\omega CR - \dfrac{1}{\omega CR}\right)}$$

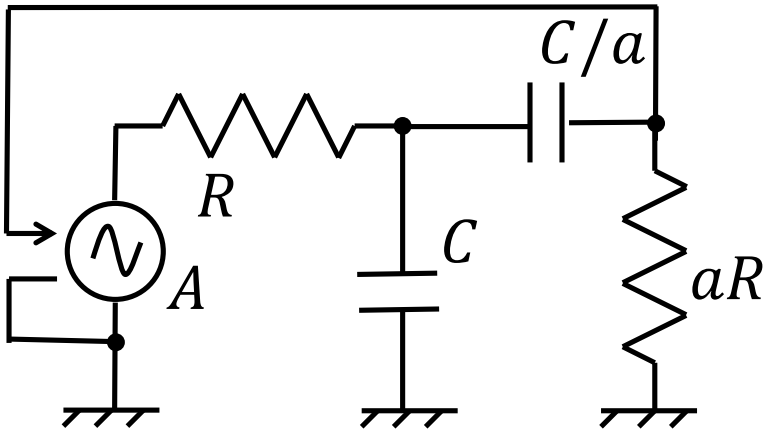
よって周波数条件は虚部$= 0$より$\omega = \frac{1}{CR}$、振幅条件は実部≥ 1より$R_b \geq 2R_a$。

演習問題2



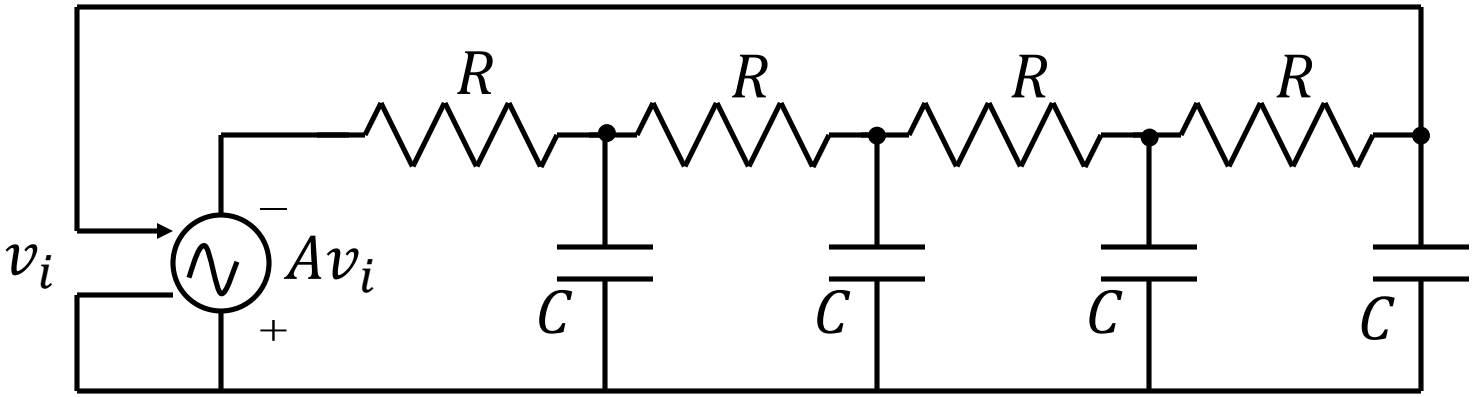
発振条件と発振周波数を求めよ。

演習問題3



発振条件を求めよ。aが大きくなるとAの条件はどうなるか?

宿題11



1. 発振回路として動作するための必要利得Aと発振周波数を求めよ。
2. 電圧制御電圧源の符号を反転した (図で上が+とする)場合にも発振するか？