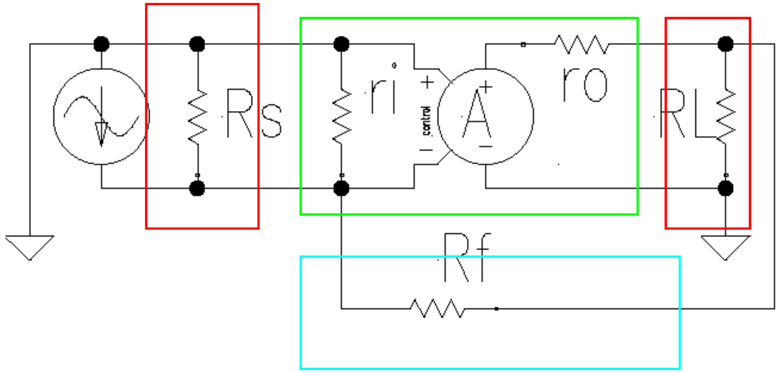
宇宙電子情報工学特論I
演算増幅器と四端子回路

総合研究大学院大学
物理科学研究科　宇宙科学専攻　名誉教授
池田　博一

Yパラメータによる取扱い（反転増幅器）

増幅部と帰還部とを分けて考えたときに、V1とV2とを共有する一方I1とI2については加算的に取り扱うことができるような回路構成であることがYパラメータを用いることの根拠である。



$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

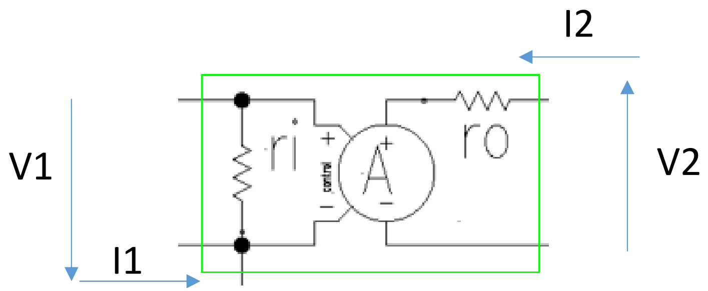
$$Z = \begin{pmatrix} r_i & 0 \\ -r_i A(s) & r_o \end{pmatrix}$$

電流は内向きを正の方として定義されていることに注意。

$$\begin{aligned}
Y_a &= \begin{pmatrix} 1/r_i & 0 \\ A(s)/r_o & 1/r_o \end{pmatrix} \\
Y_f &= \begin{pmatrix} 1/R_f & -1/R_f \\ -1/R_f & 1/R_f \end{pmatrix} \\
Y_{Ls} &= \begin{pmatrix} 1/R_s & 0 \\ 0 & 1/R_L \end{pmatrix} \\
Y &= Y_a + Y_f + Y_{Ls} \\
Z &= Y^{-1}
\end{aligned}$$

Z*Y=Iであることを確認。

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$



V1 = ri*I1

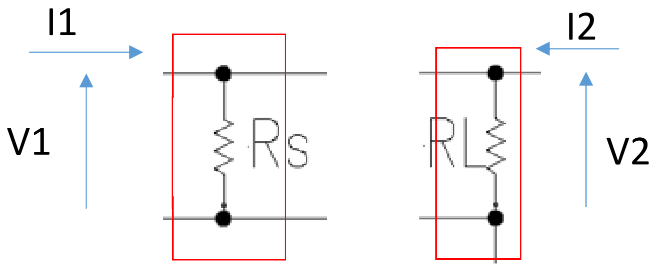
V2= -A(s)*V1 + r0*I2

--- >> - ri*A(s)*I1 + r0*I2

$$Z = \begin{pmatrix} r_i & 0 \\ \text{-}r_i A(s) & r_o \end{pmatrix}$$

ここに負の符号をつけるのが
正しい。

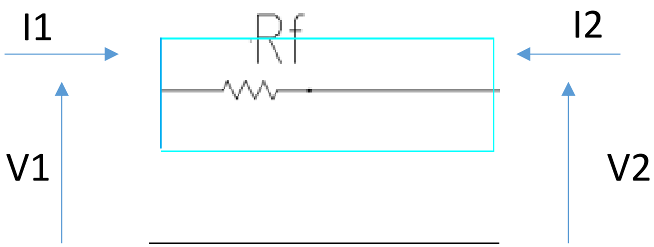
$$Y_a = \begin{pmatrix} 1/r_i & 0 \\ A(s)/r_o & 1/r_o \end{pmatrix}$$



V1 = Rs*I1
V2 = RL*I2

$$Y_{Ls} = \begin{pmatrix} 1/R_s & 0 \\ 0 & 1/R_L \end{pmatrix}$$

YとZは、両立している。



V1 = Rf*I1 + V2
V2 = Rf*I2 + V1

I1 = V1/Rf - V2/Rf
I2 = -V1/Rf + V2/Rf

$$Y_f = \begin{pmatrix} 1/R_f & -1/R_f \\ -1/R_f & 1/R_f \end{pmatrix}$$

YとZは、両立しない。

$$\boxed{r_i \to \infty \text{ かつ } r_o \to 0 \text{ の近似}}$$

入力インピーダンス

$$
\begin{aligned}
Z_{11} &= R_s \| \boxed{\frac{R_f}{1 + A(s)}} \\
Z_{12} &= \frac{r_o \mu}{1 + \mu A(s)} \\
Z_{21} &= -R_f \frac{\mu A(s)}{1 + \mu A(s)} \\
Z_{22} &= R_L \| \boxed{\frac{r_o}{1 + \mu A(s)}}
\end{aligned}
$$

出力インピーダンス

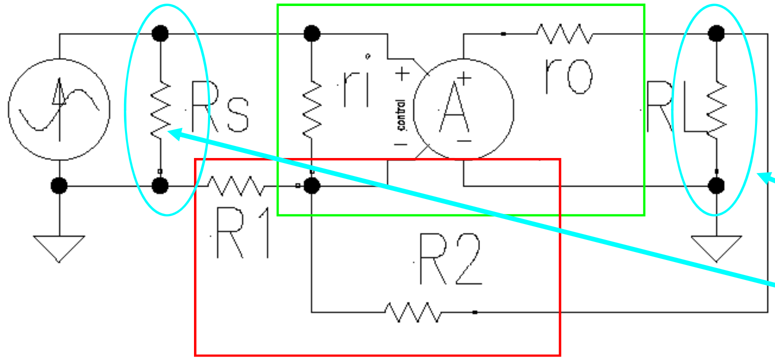
= Vs/Rs（テブナン）

I2=0
出力部に信号源
は、存在しないため。

V2= Z21*I1 + Z22*I2

---- >> gain = V2/Vs ~ -Rf/Rs

Hパラメータによる取扱い（非反転増幅器）



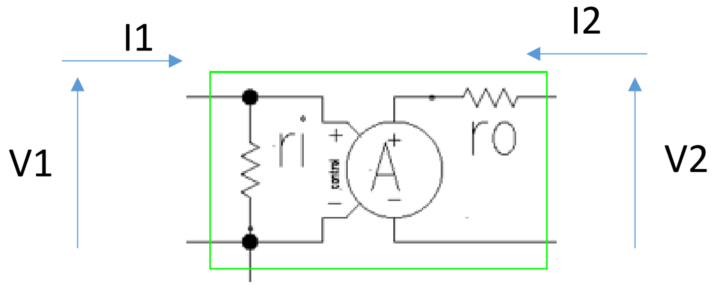
増幅部と帰還部を分離して考えたとき、I1とV2が共通であり、I2とV1が加算的に取り扱うことができる構成になっていることがHパラメータを用いる根拠である。

$$
\begin{aligned}
H_a &= \begin{pmatrix} r_i & 0 \\ -A(s)r_i/r_o & 1/r_o \end{pmatrix} \\
H_f &= \begin{pmatrix} R_1R_2/(R_1+R_2) & R_1/(R_1+R_2) \\ -R_1/(R_1+R_2) & 1/(R_1+R_2) \end{pmatrix} \\
H_{af} &= H_a + H_f
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
Y &= Y_{af} + Y_{Ls} \\
Z &= Y^{-1}
\end{aligned}
$$

$$
Y = \begin{pmatrix} 1/H_{11} & -H_{12}/H_{11} \\ H_{21}/H_{11} & det(H)/H_{11} \end{pmatrix}
$$

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_i & h_r \\ h_f & h_o \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$



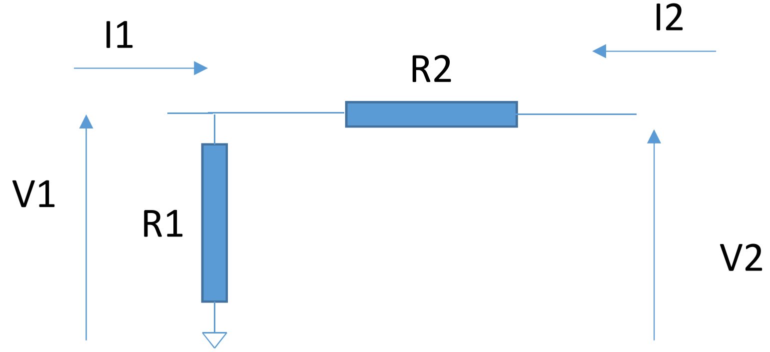
$$H_a = \begin{pmatrix} r_i & 0 \\ -A(s) r_i / r_o & 1/r_o \end{pmatrix}$$

V1 = ri*I1

V2= A(s)*V1 + r0*I2
--- >> ri*A(s)*I1 + r0*I2

V1 = r1*I1
I2 = (-ri*A(s)/ro)*I1+(1/ro)*V2

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_i & h_r \\ h_f & h_o \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$



I2 = -I1 + V1/R1
V2 = V1 + R2*I2

I2 = -I1 +(1/R1)*(V2-R2*I2)
V1 = V2 –(1/R2)*(-I1+V1/R1)

(1+R2/R1)*I2 = -I1 + (1/R1)*V2
(1+R2/R1)*V1 = V2 + R2*I1

$$H_f = \begin{pmatrix} R_1R_2/(R_1+R_2) & R_1/(R_1+R_2) \\ -R_1/(R_1+R_2) & 1/(R_1+R_2) \end{pmatrix}$$

$\boxed{r_i \to \infty \text{ かつ } r_o \to 0 \text{ の近似}}$

入力インピーダンス

$$
\begin{aligned}
Z_{11} &= R_s \| \boxed{(1+\mu A(s)) r_i} \\
Z_{12} &= R_s \frac{r_o}{r_i} \frac{\mu}{1+\mu A(s)} \\
Z_{21} &= R_s \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) \frac{\mu A(s)}{1+\mu A(s)} \\
Z_{22} &= R_L \| \boxed{\frac{r_o}{1+\mu A(s)}}
\end{aligned}
$$

出力インピーダンス

I2=0

Vout = Z21*I1 + Z22*I2

I1 = Vs/Rs （テブナン）

Gain =V2/Vs ~ 1+ R2/R1

以上