

# 反転増幅器における 雑音の振る舞い

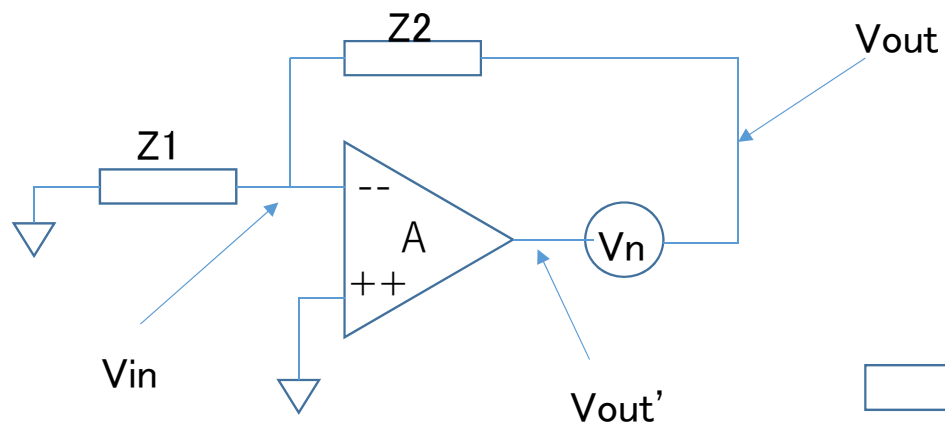
平成29年4月25日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所

池田 博一

帰還回路においては出力側の雑音が抑制されること



- 1)  $V_{out}' = -A * V_{in}$
- 2)  $V_{out} = V_{out}' + V_n$
- 3)  $V_{in}/Z1 + (V_{in} - V_{out})/Z2 = 0$

$$V_{out} = V_n / (1 + \mu * A)$$

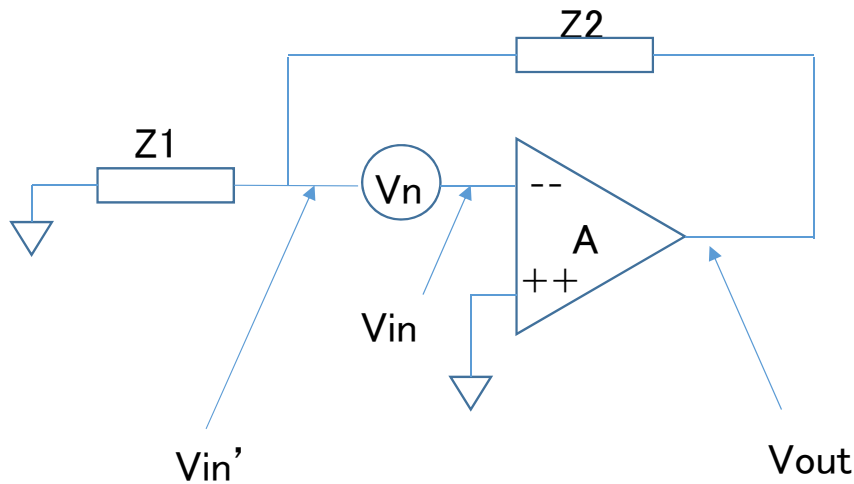
$$V_{out}' = -V_n * \mu * A / (1 + \mu * A)$$

$\mu = Z1 / (Z1 + Z2)$  : feed-back ratio

$V_n$ は、 $1 + \mu * A$ の因子分だけ抑制される。

雑音は本来電力で表すべきものであるが回路解析の便宜上単なる電圧振幅 $V_n$ でとり扱う。

## 演算増幅器の入力等価雑音電圧の取り扱い



- 1)  $V_{out} = -A \cdot V_{in}$
- 2)  $V_{in}' = V_n + V_{in}$
- 3)  $V_{in}' / Z1 + (V_{in}' - V_{out}) / Z2 = 0$

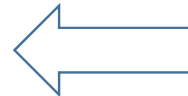


$$V_{out} = A \cdot V_n / (1 + \mu \cdot A)$$

$$\mu = Z1 / (Z1 + Z2) : \text{feed-back ratio}$$

入力等価雑音電力は、 $\mu \cdot A \gg 1$ の近似が成り立つときには、よく知られているように

$i_n^2 = V_n^2 \cdot \omega^2 \cdot (C_f + C_g + C_d)^2$  のように電流の等価雑音電力として表すことができる。このほか、検出器漏れ電流の効果、 $1/f$ 雑音の効果、抵抗成分の熱雑音を考慮すれば雑音の全体を評価することができる。



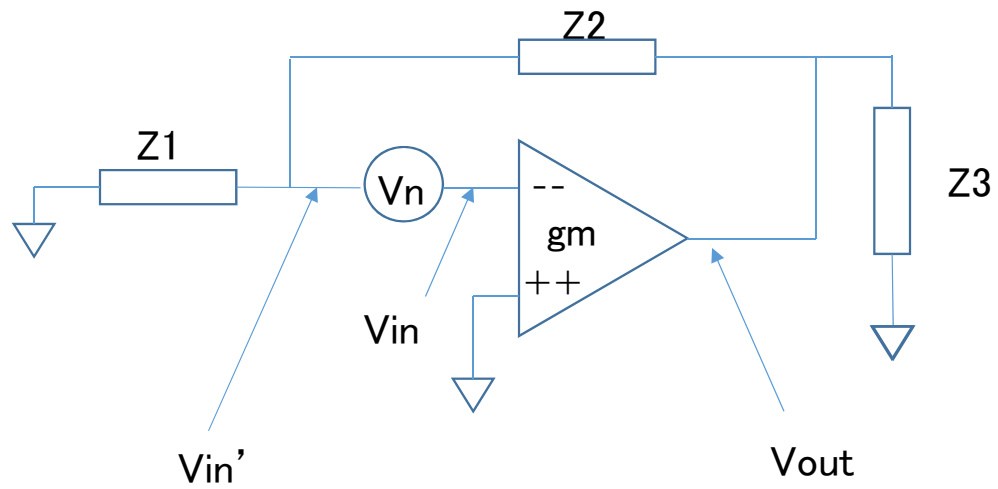
$\mu \cdot A \gg 1$ の近似では

$$V_{out} = V_n \cdot (1 + Z2 / Z1)$$

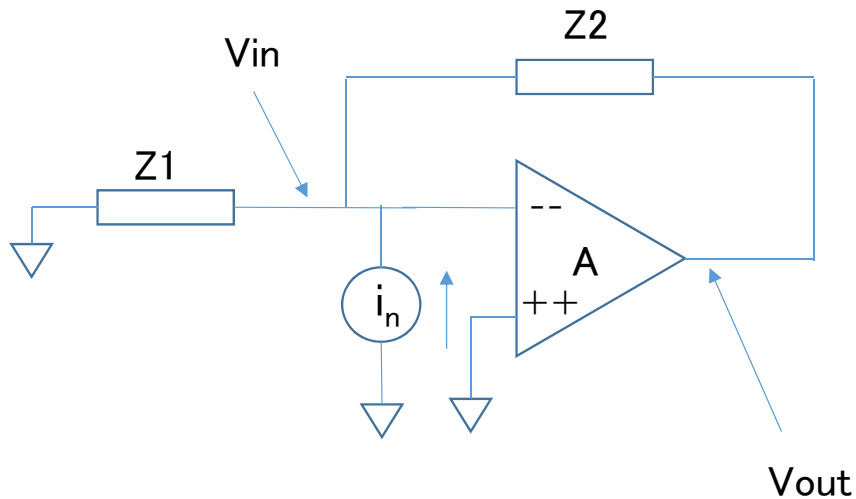
$$= V_n \cdot (1 / i\omega C_f) i\omega (C_f + C_g + C_d)$$

のようになる。

$\mu \cdot A \gg 1$ の近似が適切で無い場合にはより厳密な解析が必要である。



- 1)  $V_{out}/Z3 + (V_{out}-V_{in}')/Z2 + gm \cdot V_{in} = 0$
- 2)  $V_{in}' = V_n + V_{in}$
- 3)  $V_{in}'/Z1 + (V_{in}' - V_{out})/Z2 = 0$



右の結果をふまえると、Vn起因の雑音も、検出器並列な電流雑音に置き換えることができることが分かる。

$$V_{out} = -A \cdot V_{in}$$

$$V_{in}/Z1 + (V_{in}-V_{out})/Z2 = i_n$$

$$V_{out} = -i_n \cdot Z2 \cdot A \cdot \mu / (A \cdot \mu + 1)$$

$$\mu = Z1 / (Z1 + Z2)$$

前のページでは、

$$V_{out} = A \cdot V_n / (1 + \mu \cdot A)$$

とあったところで

$$V_n = -i_n \cdot (Z1 // Z2) = -i_n \cdot \mu \cdot Z2$$

と置き換えると

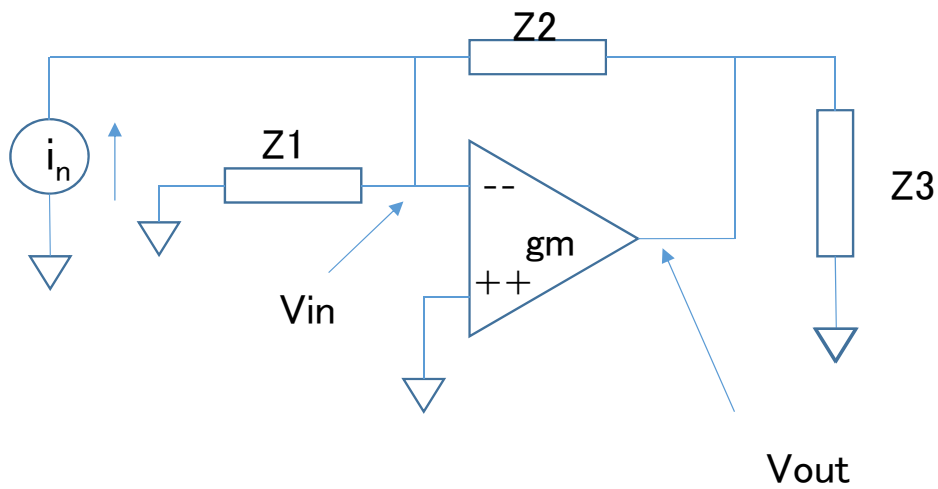
$$V_{out} = -i_n \cdot Z2 \cdot \mu \cdot A / (1 + \mu \cdot A)$$

となることに注意しておく

## その他

- 1) 前のページのVoutは周波数依存性を持たないので、そのまま雑音電力を積分すると発散してしまうことに注意してください。
- 2) そうはいつでも、実は回路の出力部の負荷容量CLによって  $A = A0 / (1 + i\omega * CL / gm)$  のような帯域制限がかかるので、A0が不十分な利得であることと引き換えに、帰還率との相互関係によって帯域が定まるようになっていると理解することができます。  
しかし、これは（たとえ実用的には許容できるとしても）積極的に雑音帯域制限を設けたものよりもかなり大きな値になっているものと思われます。

## OTAの取り扱い



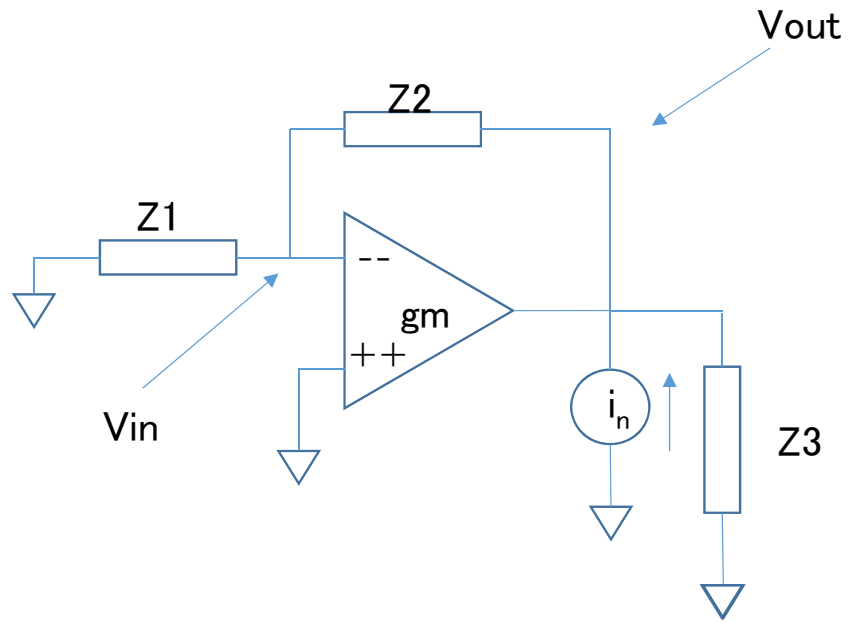
$$V_{out}/Z_3 + (V_{out}-V_{in})/Z_2 + g_m \cdot V_{in} = 0$$

$$V_{in}/Z_1 + (V_{in}-V_{out})/Z_2 - i_n = 0$$

$$V_{out} = -i_n \cdot Z_2 \cdot (A - Z_3/Z_2) \cdot \mu / \{(A - Z_3/Z_2) \cdot \mu + 1 + Z_3/Z_2\}$$

$$A = g_m \cdot Z_3$$

$$\mu = Z_1 / (Z_1 + Z_2)$$



$$V_{out}/Z3 + (V_{out}-V_{in})/Z2 + gm*V_{in} = i_n$$

$$V_{in}/Z1 + (V_{in}-V_{out})/Z2 = 0$$

$$V_{out} = i_n * Z3 / \{ (A - Z3/Z2) * \mu + 1 + Z3/Z2 \}$$

$$= i_n * Z3 * \mu2 / \{ (A - Z3/Z2) * \mu1 * \mu2 + 1 \}$$

$$A = gm * Z3$$

$$\mu1 = Z1 / (Z1 + Z2)$$

$$\mu2 = Z3 / (Z3 + Z2)$$



以上