

A 4 演算増幅器の 2 次極および浮遊容量の測定とその応用

藤田 直紀

渡辺弘道

菊池 久和

佐々木 重信

新潟大学 自然科学研究科

1. はじめに

受動 LCR フィルタを模擬する方法の一つにリープフロッグ回路がある。リープフロッグ回路で能動 RC 高域通過回路を加算器、積分器を使用して構成する場合、加算器として使用している演算増幅器の周波数特性 (特に 2 次極)、浮遊容量の影響により、高い周波数において利得の増加が見られる。そこで我々は、演算増幅器の 2 次極および浮遊容量を測定し、それを利用して加算器を補償し帯域を延ばすことを考えた。

本報告では、2 次極、浮遊容量の測定方法、加算器を補償する方法、および実験結果を示す。

2. 演算増幅器の 2 次極の測定

浮遊容量の影響を受けない図 1 の回路を考える。図 1 の回路の V_0/V_1 は式 (1) で表される。また、演算増幅器の利得 A を近似式で表すと、式 (2) となる。図 1 の回路を測定することで、利得の増加の頂点の角周波数 ω_{00} を知ることができる。また、測定された ω_{00} は式 (1) の分母多項式より、式 (3) で表すことができる。したがって式 (3) より 2 次極の角周波数 ω_1 を求めることができる。

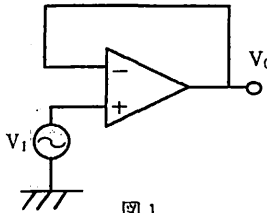


図 1

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{1}{1 + \frac{1}{A}} = \frac{GB \omega_1}{S^2 + \omega_1 S + GB \omega_1} \quad (1)$$

A : 演算増幅器の利得

ω_1 : 2 次極の角周波数

GB : 利得帯域幅 (GB 積)

$$\frac{1}{A} = \frac{S(S + \omega_1)}{GB \omega_1} \quad (2)$$

$$\omega_{00} = \sqrt{GB \omega_1} \quad (3)$$

なお GB 積は、100 倍程度の係数器を構成し 6 dB/octave 下がる特性を測定し、この特性から GB 積を求めることができる。本報告において GB は、使用している演算増幅器の利得帯域幅積を意味する。本実験に用いた演算増幅器の GB 積は約 5 MHz、式 (3) より 2 次極 ω_1 は約 10 MHz ($\omega_1 \approx 2GB$) であった。

3. 浮遊容量の測定

図 1 の回路の帰還部に抵抗 G を挿入したものを図 2 に示す。抵抗 G を挿入することによって浮遊容量 C_x が図 2 の回路の特性に影響を及ぼし、利得の増加の頂点の角周波数が G の値により変化する。また、図 2 の回路を測定することで、利得の増加の頂点の角周波数 ω_{01} を求めることができる。

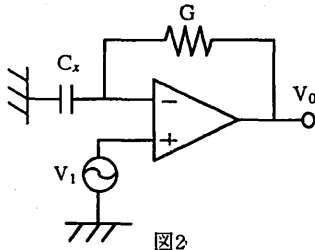


図 2

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{G + C_x}{G + \frac{G + C_x}{A}} = \frac{\omega_x + S}{\omega_x + \omega_x + S} \quad (4) \quad \text{ただし } \frac{C_x}{G} = \frac{1}{\omega_x}$$

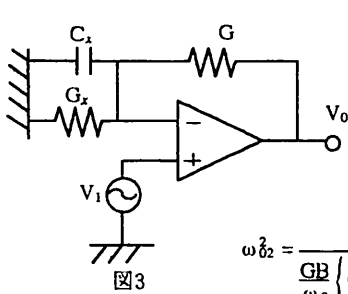
$$D = S^3 + (\omega_1 + \omega_x) S^2 + \omega_1 \omega_x S + GB \omega_1 \omega_x \quad (5)$$

$$\omega_{01}^2 = \frac{GB \omega_1 \omega_x}{\omega_1 + \omega_x} = \frac{\omega_{00}^2}{1 + \frac{\omega_1}{\omega_x}} \quad (6)$$

図 2 の回路の V_0/V_1 は式 (4) で表される。式 (4) の分母多項式を D とおくと、 D は式 (5) で表される。測定された ω_{01} と式 (5) の関係は、式 (6) で近似的に表すことができる^[1]。 ω_{00} と ω_{01} が測定できれば、式 (6) より、 ω_1/ω_x を評価することができる。つまり $1/\omega_x = C_x/G$ より、浮遊容量 C_x を求めることができる。

4. 加算器の補償と実験結果

図 2 の回路の利得の増加を補償するために、浮遊容量 C_x に並列に抵抗 G_x を挿入した回路を図 3 に示す。図 3 の回路の V_0/V_1 は式 (7) で表される。式 (7) の分母多項式は $\omega_1 = \alpha GB$ 、 $\omega_x = \beta GB$ 、 $P = S/\omega_0$ 、 $\alpha\beta GB^3 = \omega_0^3$ 、とおくと式 (8) になる。参考文献 [1] より式 (9-1)、式 (9-2) の近似的な関係式が得られる。



$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{G + G_x + C_x S}{G + \frac{G + G_x + C_x S}{A}} = \frac{\left(1 + \frac{G_x}{G}\right) \omega_x + S}{\omega_x + \frac{\left(1 + \frac{G_x}{G}\right) \omega_x + S}{A}} \quad (7)$$

$$P^3 + \frac{GB}{\omega_0} \left\{ \alpha + \beta \left(1 + \frac{G_x}{G}\right) \right\} P^2 + \alpha \beta \left(1 + \frac{G_x}{G}\right) \left(\frac{GB}{\omega_0}\right)^2 P + 1 \quad (8)$$

$$\omega_{02}^2 = \frac{1}{\frac{GB}{\omega_0} \left\{ \alpha + \beta \left(1 + \frac{G_x}{G}\right) \right\}} \quad (9-1) \quad \frac{\omega_{02}}{Q_{02}} = \frac{\omega_1 \omega_x \left\{ \left[\omega_1 + \omega_x \left(1 + \frac{G_x}{G}\right) \right] \left[1 + \frac{G_x}{G} \right] - GB \right\}}{\left\{ \omega_1 + \omega_x \left(1 + \frac{G_x}{G}\right) \right\}^2} \quad (9-2)$$

本報告の理論を確認するために実験1)を行った。

- 1) 2より $\omega_1 \approx 2GB$ がわかっているので、 $\alpha=2$ 、また $\beta=1/2$ とする。式(8)の1次の係数と2次の係数が等しいとおくと、 $G/G_x=3$ の関係式を求めることができる。式(8)は式(10)のように因数分解することができる。実験結果を図4に示す。

$$(P+1) \left(P + \frac{3-\sqrt{5}}{2} \right) \left(P + \frac{3+\sqrt{5}}{2} \right) \quad (10)$$

式(10)の特性は、式(10)の第2項で定められていると考えてよい。つまり約2MHzで3dB減衰することを式(10)は示している。図4より理論は正しいと言える。

5. 応用例

実験2)として、平坦部を延ばすことを考える。2より $\alpha=2$ 、また $\beta=1/2$ 、式(9-1)、式(9-2)より最大振幅平坦にするために $Q_{02}=1/\sqrt{2}$ とおき計算すると、 $G/G_x=1.7$ の関係式を求めることができる。実験結果を図5に示す。図5より理論はほぼ正しいと言える。

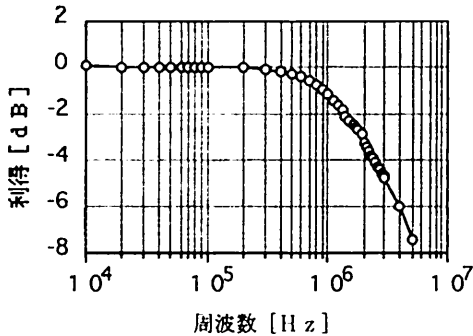


図4 1)の実験結果

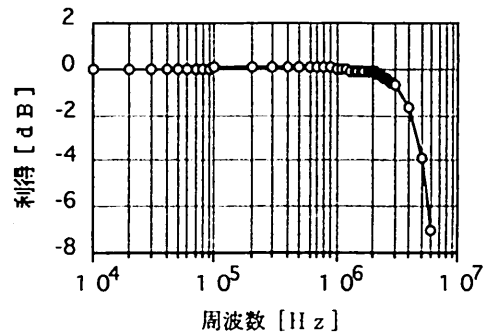


図5 2)の実験結果

6. まとめ

演算増幅器の2次極、浮遊容量の測定方法、またそれらを利用した補償法について述べ、その例を示した。実験結果より、本補償法は、加算器の高い周波数での利得の増加をなくし、帯域を延ばすのに有効であることがわかった。

今後の課題は、本補償法を用いた加算器を実際に能動RC高域通過回路に使用しての考察、複数個の演算増幅器を用いた回路の補償法の考察などが挙げられる。

7. 参考文献

- [1] 柳沢 健、渡辺 弘道： "増幅器の周波数特性を考慮した
能動帯域フィルタの設計および評価方法"
信学論 (A) vol.57-A No.5 (pp.413-414) (1974)