電子情報工学実験報告
実験 03 帰還増幅器・高域補償増幅器

報告者：4D-29 永安 佑希允
共同実験者：石井武人，石田真二郎，肥田野純一，宮城祐介
指導教官：村田教官

実験日：1999 年 11 月 01 日
提出日：1999 年 11 月 22 日

1 目的

帰還増幅器及び高域補償増幅器の理論と特性を理解する。

2 実験内容

2.1 帰還増幅器

発振器，電子電圧計を用いて，実験回路の電圧利得の周波数特性を測定する。実験回路には直流電源から 9 [V] を供給する。

発振器から電圧 $V_{in} = 10$ [mV] の正弦波交流を入力し，周波数を変化 (10 [Hz] $\geq f \geq 10$ [MHz]) させて出力電圧 V_{out} を測定する。但し， $R_f = 0, 100, 300$ [Ω] の 3 通りについて実験を行う。

2.2 高域補償増幅器

発振器，電子電圧計を用いて，実験回路の電圧利得の周波数特性を測定する。この増幅器には直流電源から 9 [V] を供給する。

発振器から電圧 $V_{in} = 10$ [mV] の正弦波交流を入力し，周波数を変化 (1 [kHz] $\geq f \geq 10$ [MHz]) させて出力電圧 V_{out} を測定する。但し， $L = 0, 2.22, 5$ [mH] の 3 通りについて実験を行う。

3 検討報告事項

3.1 帰還増幅器

測定データのグラフは，図 1 及び図 2 及び図 3 に示す。また同様のことを，表 1 にも示す。

また， R_f ごとの周波数帯域幅 $B = f_H - f_L$ については，表 2 と，比率をグラフ化したものを図 4 に示す。比率は， $R_f = 0$ の場合の B を 1 としたものである。これらの結果から， R_f が大きいほど B の値も増えることがわかる。即ち，利得が低いものの周波数帯域幅の広い増幅器になることがわかる。但し周波数帯域幅の増分は利得の減少に比べると僅かなものであり，広い実用範囲があるとは思えない。ただ，このような増幅器を何段にも使用する場合は，安定した周波数特性を得る役に立つかも知れない。

また図より， R_f と B の間には特に比例関係などは認められないが，もっとたくさんのデータを採れば何らかの法則性が見つかる可能性がある。

次に実験回路の電圧利得 A_f の理論計算だが，以下のようになる。 A_f の単位を [dB] とすると，

$$A_f = -20 \times \log \left| \frac{R_f}{R_c} \right|$$

となるから，これに各 R_f を代入すると，表 3 のようになる。誤差は，理論値の実験値に対する割合である。尚， $R_f = 0$ に対する利得は導出することができなかった。これは， $\log$ の中身が 0 になってしまうからである。仮に， $R_f = 20$ とすると，実験値と同様の 40 [dB] になるが。

また誤差は大きく，最大で 25% 程度のものになった。

表 1: 帰還増幅器の周波数特性 [dB]

f	$R_f = 0$	$R_f = 100$	$R_f = 300$	f	$R_f = 0$	$R_f = 100$	$R_f = 300$
10	12.87	11.13	8.30	10000	39.87	21.94	13.29
20	18.28	15.56	10.32	20000	39.87	21.94	13.29
30	21.66	17.84	11.60	30000	39.87	21.94	13.29
40	23.97	19.08	12.04	40000	39.87	21.94	13.29
50	25.80	19.74	12.46	50000	39.87	21.94	13.29
60	27.23	20.42	12.67	60000	39.87	21.94	13.29
70	28.63	20.75	12.83	70000	39.87	21.94	13.29
80	29.54	20.98	12.91	80000	39.87	21.94	13.29
90	30.37	21.21	12.99	90000	39.87	21.94	13.29
100	31.36	21.29	13.06	100000	39.87	21.94	13.29
200	35.71	21.80	13.26	200000	39.65	21.87	13.06
300	37.50	21.87	13.27	300000	39.55	21.80	13.06
400	38.33	21.94	13.29	400000	39.40	21.66	13.03
500	38.79	21.94	13.29	500000	39.18	21.58	12.87
600	39.08	21.94	13.29	600000	38.99	21.44	12.77
700	39.28	21.94	13.29	700000	38.79	21.29	12.65
800	39.51	21.94	13.29	800000	38.54	21.14	12.46
900	39.55	21.94	13.29	900000	38.33	20.98	12.30
1000	39.37	21.94	13.29	1000000	37.95	20.67	12.04
2000	39.78	21.94	13.29	2000000	34.96	18.49	9.97
3000	39.82	21.94	13.29	3000000	30.88	16.12	7.60
4000	39.87	21.94	13.29	4000000	26.65	13.62	5.11
5000	39.87	21.94	13.29	5000000	23.81	11.60	3.52
6000	39.87	21.94	13.29	6000000	20.83	10.10	1.94
7000	39.87	21.94	13.29	7000000	20.00	9.40	0.83
8000	39.87	21.94	13.29	8000000	19.08	7.23	-0.18
9000	39.87	21.94	13.29	9000000	16.90	7.04	-0.92
				10000000	15.56	6.44	-1.41

表 2: R_f ごとの周波数帯域幅

R_f	f_H	f_L	B	比率
0	1010000	118	1009882	1.00
100	1070000	40	1069960	1.06
300	1080000	20	1079980	1.07

表 3: R_f ごと利得の理論値の実験値

R_f	A_f	実験による利得	誤差
0	—	40	—
100	26	22	1.18
300	16.5	13.3	1.24

3.2 高域補償増幅器

実験に使った高域補償増幅器の周波数特性を，図 5 及び表 4 に示す。

考察すると，今回実験に使用した中では $L = 2.22$ [mH] のコイルが最も良い高域補償特性を示しており， $L = 5$ [mH] では補償が大きすぎる。 $L = 2.22$ [mH] の場合でも少し大きいので，これよりも少しインダクタンスの低いコイルがあれば理想的である。そのインダクタンスを求めてみよう。

$$\frac{A_{vh}}{A_{vm}} \simeq \frac{-Z_L h_{fe}/h_{ie}}{-R_c h_{fe}/h_{ie}} = \frac{Z_L}{R_c} = \frac{1}{1 + j\omega R_c C_0}$$

において，

$$\left| \frac{A_{vh}}{A_{vm}} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

となる角周波数 ω が高域遮断角周波数 ω_h なので，

$$\begin{aligned} 1^2 + (\omega_h R_c C_0)^2 &\simeq 2 \\ (\omega_h R_c C_0)^2 &\simeq 1 \\ \omega_h R_c C_0 &\simeq \pm 1 \\ \omega_h &\simeq \pm \frac{1}{R_c C_0} \end{aligned}$$

となるが， $\omega_h \geq 0$ なので

$$\omega_h \simeq \frac{1}{R_c C_0}$$

のように求まる。これより C_0 は

$$C_0 \simeq \frac{1}{R_c \omega_h}$$

のように求まる。グラフより今回の高域遮断周波数は 300 [kHz] と読みとれるので，これをもとに $C_0 = 7.58 \times 10^{-11}$ が求まり，共振の条件 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ より， $L = \frac{1}{\omega_h^2 C_0} = 3.71$ [mH] となる。

実験からすると $L = 2.22$ [mH] よりも少し小さな値ができれば理想的なはずだったが， $L = 2.22$ [mH] よりも大きな値が理想との結果となった。これには，回路の素子の誤差や測定時の誤差をはじめ，高域遮断周波数を目測で読みとったことによる誤差などの各種誤差の影響ではないかと考えられる。

表 4: 高域補償増幅器の周波数特性 [dB]

f	$L = 0$	$L = 2.22$	$L = 5$	f	$L = 0$	$L = 2.22$	$L = 5$
1000	43.92	43.92	43.92	100000	43.46	43.92	45.58
2000	43.92	43.92	43.92	200000	42.28	44.35	48.56
3000	43.92	43.92	43.92	300000	41.06	44.81	48.40
4000	43.92	43.92	43.92	400000	40.00	44.51	45.62
5000	43.92	43.92	43.92	500000	38.89	43.23	42.54
6000	43.92	43.92	43.92	600000	37.73	41.58	40.34
7000	43.92	43.92	43.92	700000	36.90	40.00	38.79
8000	43.92	43.92	43.92	800000	36.12	38.89	37.38
9000	43.92	43.92	43.92	900000	35.19	37.62	36.26
10000	43.92	43.92	43.92	1000000	34.40	36.26	34.96
20000	43.92	43.92	43.92	2000000	29.25	29.54	27.60
30000	43.81	43.92	44.08	3000000	24.19	26.02	24.08
40000	43.75	43.92	44.08	4000000	21.58	21.21	21.36
50000	43.64	43.92	44.30	5000000	19.37	19.37	19.18
60000	43.64	43.92	44.51	6000000	17.84	17.84	17.73
70000	43.58	43.92	44.66	7000000	16.65	16.65	16.52
80000	43.52	43.92	44.96	8000000	15.99	15.85	15.99
90000	43.52	43.92	45.15	9000000	14.96	15.12	14.96
				10000000	14.15	13.98	13.98