

5. AM

1 目的

AM と復調の原理及びそれを実現する回路の動作を理解する。

2 AM の変調・復調の原理

無線通信では、高い周波数の電磁波を用いなければ、電波の放射が能率よく行われない。そこで、音声のような情報信号をどのようにして高周波にのせるかということが問題となる。その一つの方法が AM 变調であり、高周波（搬送波）の振幅を情報信号（変調波）で変化させる方法である。

いま、搬送波 v_c が

$$v_c = V_c \cos \omega_c t \quad (1)$$

で表される正弦波とし、これを

$$v_s = V_s \cos \omega_s t \quad (2)$$

で表される信号波（変調波）によって振幅変調する場合を考える。振幅変調は、搬送波の振幅が変調波によって変化する方式なので、被搬送波の振幅は

$$V_c + k_a V_s \cos \omega_s t \quad (3)$$

となり、振幅が時間によって変化する。ここに、 k_a は比例定数である。したがって、被変調波 v は、次のようになる。

$$v = (V_c + k_a V_s \cos \omega_s t) \cos \omega_c t = V_c (1 + m_a \cos \omega_s t) \cos \omega_c t \quad (4)$$

ここで、

$$m_a = k_a V_s / V_c \quad (5)$$

であり、これを変調度、または百分率で表して変調率という。

復調は、被変調波を整流または 2 乗し、それに含まれる低周波成分を取り出すことによってなされる。振幅変調は、搬送波増幅器の増幅度を変調信号によって変化させればよい。図 1 は変調信号、搬送波及び被変調波である。

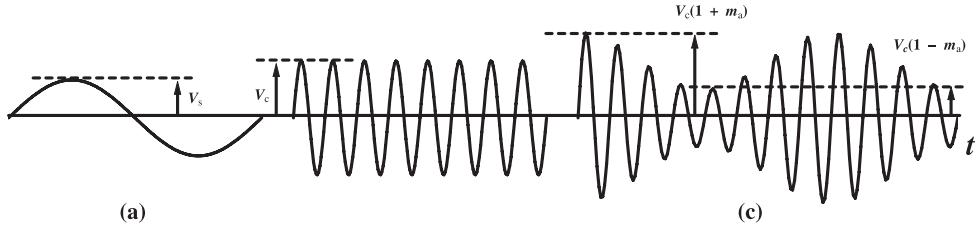


図 1: 各部の波形 (a) 変調信号, (b) 搬送波, (c) 被変調波

3 実験

図 2 は AM 变復調回路である。

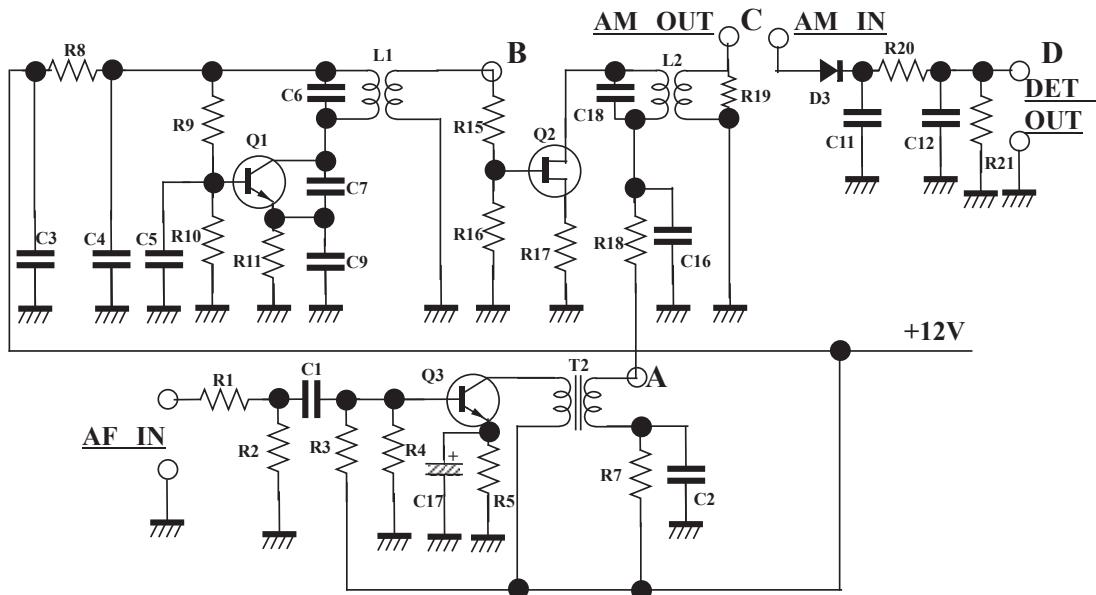


図 2: AM 变復調回路

- (1) 「AM OUT」端子と「AM IN」端子を接続した。
- (2) 低周波発振器を「AF IN」に接続し, 3 kHz の入力信号に対する図 2 の「AF IN」, 「AM OUT」及び「DET OUT」端子の電圧波形をスケッチした。ただし, 「AM OUT」の包絡線電圧や「DET OUT」が歪まないよう低周波発振器の Amplitude を調整した。
- (3) 100 Hz~50 kHz の周波数範囲の「AF IN」 - 「AM OUT」及び「DET OUT」間の周波数特性を測定した (10 ポイント以上)。

注: 片対数のグラフ用紙を用いた。「AM OUT」については, 包絡線電圧の p-p 値を測定した。

- (4) 入力周波数を一定 (3 kHz) としたときの「AF IN」に対する「AM OUT」, 「DET OUT」の入出力特性を測定した (10 ポイント以上)。

注: 方眼紙を用いた。「AM OUT」については, 包絡線電圧の p-p 値を測定した。

3.1 実験結果

以下は本実験で得られた測定結果の抜粋である。単位は測定器表示の通り。

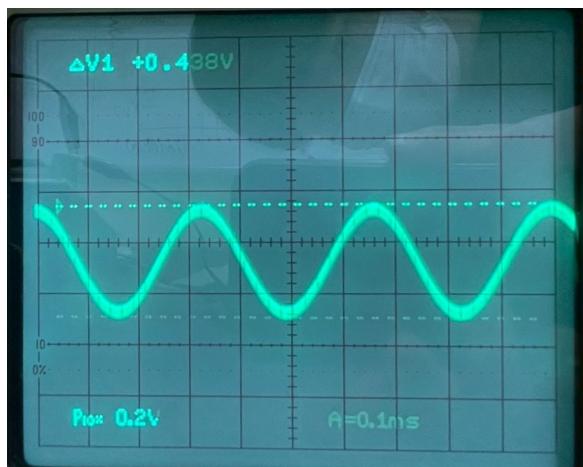
■注意 今回の測定はオシロスコープにプローブ $\times 10$ を使用して行った。そのため、表示された値はプローブの分圧により 10 倍（または表示がそのままの場合は実際値が表示の $1/10$ ）になっている場合がある。本稿では既存の測定結果はそのまま残し、後に補正（測定値を 10 で割る）した補正済みの表を示す。

以下、実験項目ごとに結果をまとめる。

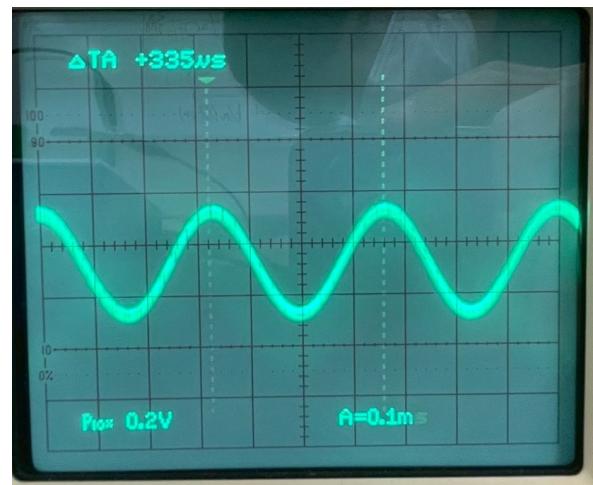
- 実験 (2): 波形のスケッチ (AF IN, AM OUT, DET OUT)
- 実験 (3): 周波数特性 (AF IN - AM OUT, DET OUT)
- 実験 (4): 入出力特性 (AF IN 対 AM OUT, DET OUT)

実験 (2) の波形スケッチ

実験 (2) により観測した波形を以下に示す。



(a) AF IN (p-p)



(b) AF IN (周期 T)

図 3: AF IN の波形 (p-p と周期)

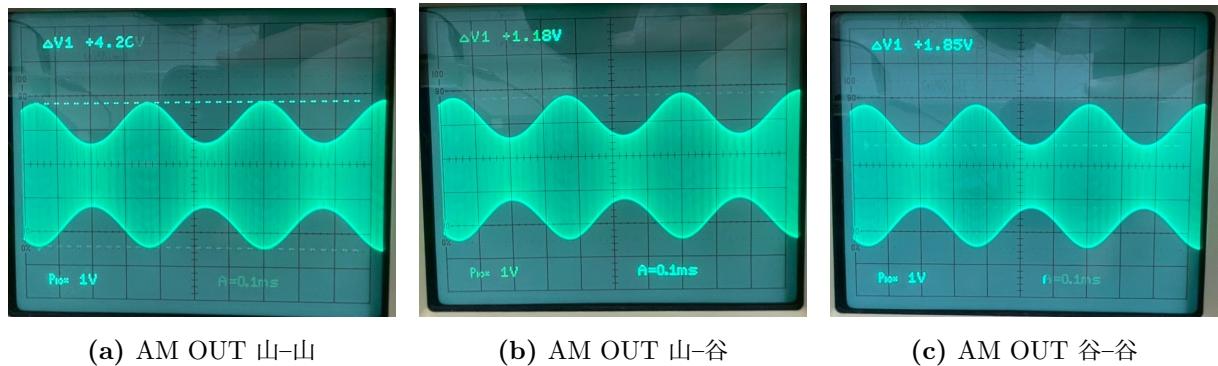


図 4: AM OUT の包絡線波形（各代表測定）

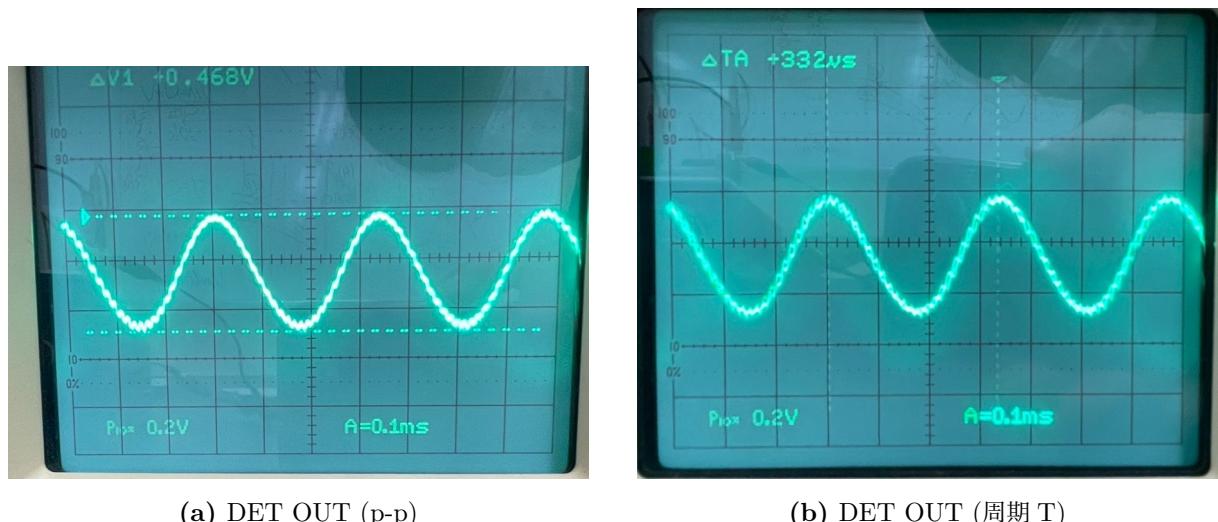


図 5: DET OUT の波形 (p-p と周期)

実験 (3) の周波数特性

実験 (3) により得られた周波数特性の測定結果は表および図の通りである。

表 1: 周波数特性: 周波数に対する AM OUT(包絡線 p-p) と DET OUT の測定値

周波数 (Hz)	AM OUT	DET OUT
100	1.46	0.186
400	1.88	0.394
600	1.95	0.584
800	1.94	0.734
2,000	2.07	0.810
3,000	2.09	0.802
5,000	2.08	0.860
10,000	2.01	0.860
20,000	2.07	0.835
50,000	0.94	0.830

表 2: 周波数特性: 測定値を 10 で割った実際の AM OUT(包絡線 p-p) と DET OUT

周波数 (Hz)	AM OUT (補正後)	DET OUT (補正後)
100	0.146	0.0186
400	0.188	0.0394
600	0.195	0.0584
800	0.194	0.0734
2,000	0.207	0.0810
3,000	0.209	0.0802
5,000	0.208	0.0860
10,000	0.201	0.0860
20,000	0.207	0.0835
50,000	0.094	0.0830

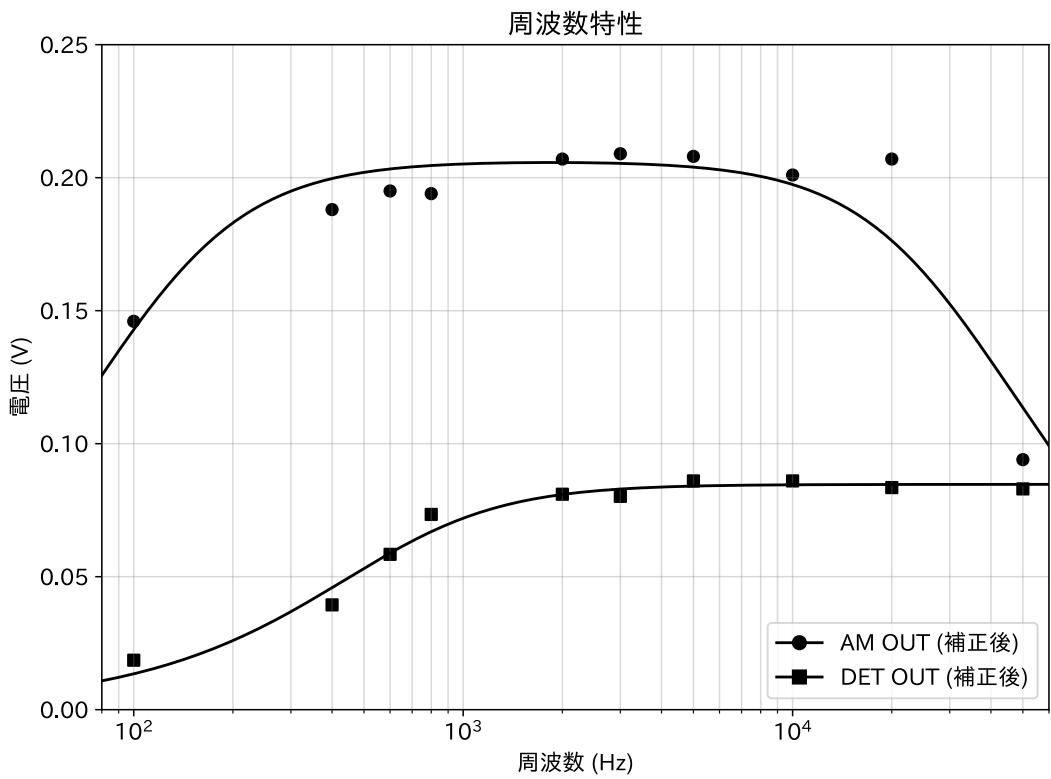


図 6: 周波数特性（補正後）のグラフ（片対数表示）

実験 (4) の入出力特性

実験 (4) により測定した入出力特性を表と図に示す。

表 3: 入出力特性: AF IN と対応する AM OUT, DET OUT の測定値 (3 kHz)

AF IN	AM OUT	DET OUT
1.35	3.50	1.36
1.225	3.24	1.23
1.13	3.00	1.15
0.995	2.55	1.025
0.83	2.22	0.87
0.735	1.93	0.76
0.596	1.66	0.634
0.49	1.36	0.514
0.41	1.07	0.432
0.18	0.405	0.174

表 4: 入出力特性: AF IN と対応する AM OUT, DET OUT の補正後測定値 (3 kHz)

AF IN	AM OUT (補正後)	DET OUT (補正後)
0.135	0.350	0.136
0.1225	0.324	0.123
0.113	0.300	0.115
0.0995	0.255	0.1025
0.083	0.222	0.087
0.0735	0.193	0.076
0.0596	0.166	0.0634
0.049	0.136	0.0514
0.041	0.107	0.0432
0.018	0.0405	0.0174

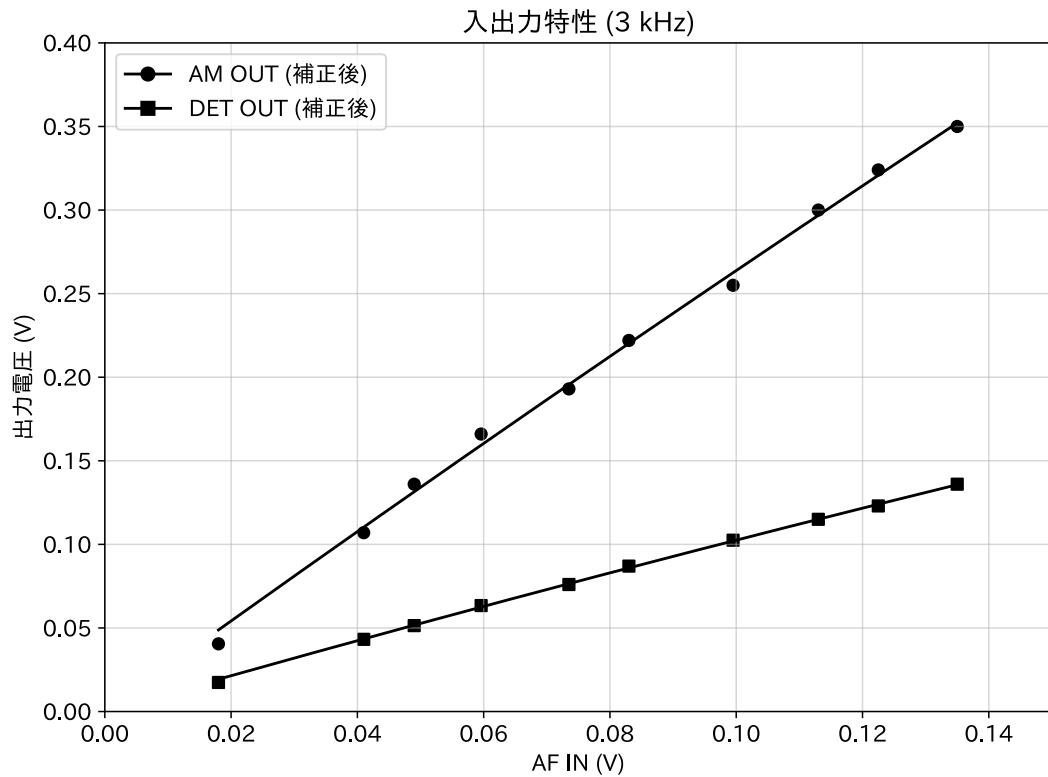


図 7: 入出力特性（補正後）のグラフ (3 kHz)

4 考察

- (1) 実験 (2) の波形について考察する.
- (2) 実験 (3) の結果を考察する.

- (3) 実験 (4) の結果を考察する.
- (4) 図 2 の AM 変復調回路の各部の動作について説明する.
- (5) 変調回路及び復調回路を一つずつ調べ動作を説明する.

実験結果

- AF IN: p-p = 0.438 V, T = 335 μs → $f_{AFIN} \simeq 2985 \text{ Hz} \simeq 2.99 \text{ kHz}$.
- DET OUT: p-p = 0.468 V, T = 332 μs → $f_{DETOOUT} \simeq 3012 \text{ Hz} \simeq 3.01 \text{ kHz}$.
- AM OUT の包絡線（観測値）：PK-PK = 4.26 V, 山 - 谷 = 1.18 V, 谷 - 谷 = 1.85 V.
- 変調度: 山 - 山 = 4.26 V, 谷 - 谷 = 1.85 V → $R = \frac{\text{山}-\text{山}}{\text{谷}-\text{谷}} = \frac{4.26}{1.85} \simeq 2.303$, 直接に計算すると $m = \frac{A - B}{A + B} = \frac{4.26 - 1.85}{4.26 + 1.85} \simeq 0.395 \simeq 39.5\%$.