

1 目的

周波数変調の概念を理解するとともに、その復調を理解する。

2 理論

2.1 FM変調

信号を遠距離に伝送するためには変調を行なう必要がある。搬送波の振幅を1m、搬送波の角周波数を $\omega_c (= 2\pi f_c)$ 、位相角を ϕ とすると、信号は式(1)と表わすことができる。

$$\begin{aligned} i &= I_m \sin(\omega_c t + \phi) \\ &= I_m \sin(2\pi f_c t + \phi) \end{aligned} \quad (2.1)$$

搬送波の振幅 I_m を変化させると振幅変調、周波数の $\omega_c/2\pi$ を変化させると周波数変調、位相角 ϕ を変化させると位相変調になる。

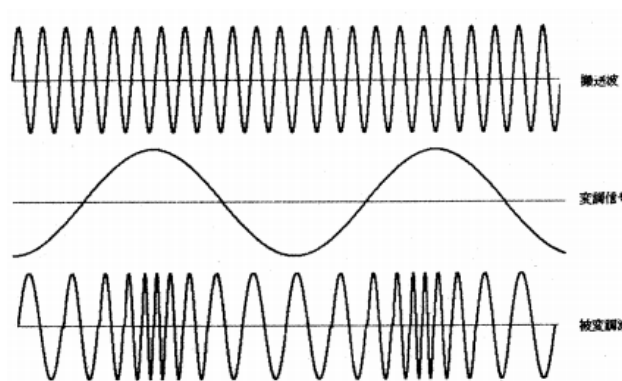


図1 周波数変調波

周波数変調(以下、FM と略)の一般式は、信号波の角周波数を ω_s とすると Equation(2) で表わされる。

$$i = I_m \sin\left(\omega_c t + \frac{\Delta\omega}{\omega_s} \sin \omega_s t\right) \quad (2.2)$$

ここで、 $\frac{\Delta\omega}{\omega_s} = m_f$ で表わすと、

$$\begin{aligned} i &= I_m \sin(\omega_c t + m_f \sin \omega_s t) \\ &= I_m (\sin(\omega_c t) \cos(m_f \sin \omega_s t) + \cos \omega_s t \sin(\omega_s t)) \end{aligned} \quad (2.3)$$

2.2 FM復調

FM 変調波から元の変調信号を取り出す復調器は、一般に周波数弁別器 (discriminator) が用いられる。

FM変調波などでの角度変調波の復調には、入力信号の周波数変化と直線的に比例した電圧または電流を取り出す回路が必要であり、この作用を行なわせる回路が周波数弁別器である。弁別器は、一般にFM波をAM波に変換する回路とAM波を包絡線検波する回路の組み合わせからなる。その特性を図2に示す。

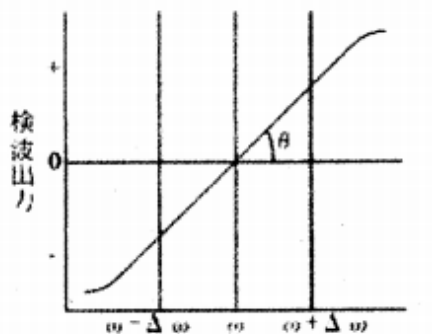


図2 周波数弁別器の特性

FM復調回路の種類としては、スロープ検波回路、離調形弁別回路、フォスター・シーレ回路、比検波回路、C結合形回路、乗算形回路などがある。

2.2.1 フォスター・シーレ回路

周波数の変化を振幅の変化した信号に変換した後 AM復調することで検波を行う。

真空管時代から存在する古典的な回路。

ダイオードに特性の揃ったものが必要なことと、良い特性を出すには回路設計と調整が難しい。

入力信号の周波数が高くなると出力電圧が正に増加、周波数が低くなると負に増加する特性を持つ。

3 実験回路図

3.1 周波数変調回路

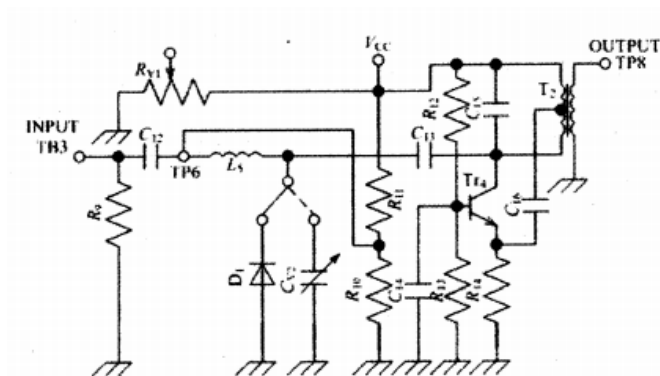


図3 周波数変調回路

3.2 周波数復調回路

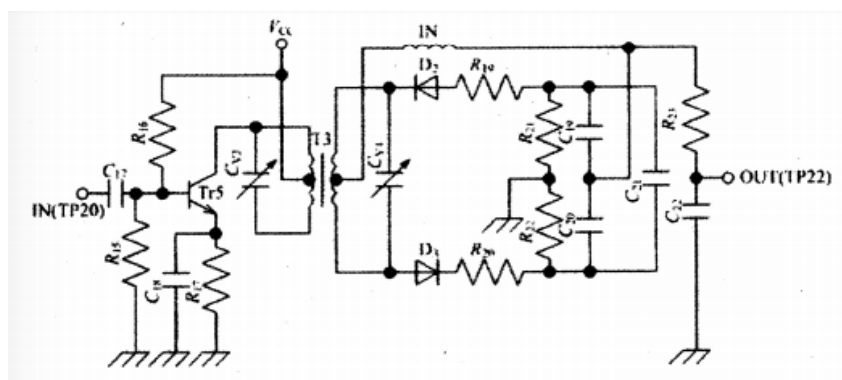


図4 周波数復調回路

4 使用機器

周波数変調復調実験装置

オシロスコープ

直流電源

テスタ

ファンクションジェネレータ

スペクトラムアナライザ

周波数カウンター

低周波発振器

5 実験方法

5.1 周波数変調実験

5.1.1 直流入力周波数特性

1. 直流入力用ボリューム RV1 の中間端子 TP3と変調回路TP6を接続し、TP6の電圧を測定できるようにテストを接続する。
2. 出力端子 TP8に周波数カウンターを接続する。
3. 切替スイッチ SW3を可変容量ダイオード（バリキャップ） D_1 側に切替え、電源スイッチを投入する。
4. RV1を調整して入力電圧を0から2Vごとに12Vまで変化させ周波数の変化を測定しグラフにまとめる。

5.1.2 交流入力周波数特性

1. 入力端子TB3にファンクションジェネレータを接続する。
2. TP4とTP8にオシロスコープを接続する。
3. 発振器から1Hzの正弦波を出力する。
4. 入力電圧の振幅で出力周波数が変化することを確認し、波形を連続写真撮影する。
5. TP8にスペクトラムアナライザを接続し任意の周波数を入力した場合の変調波スペクトラムを確認・測定する。

6 周波数復調実験

1. 入力端子 TP20 にファンクションジェネレータ、出力端子TP22にテスト (電圧計)を接続する。
2. ファンクションジェネレータからFM受信機の間周波数10.70MHz、 $0.7V_{p-p}$ を入力し、出力がOV付近になるように可変コンデンサ C_V4 を調整する。
3. 周波数を「中間周波数 +200kHz」に変化させて、出力が最大値を得られるように C_V3 を調整する。
4. 周波数を「中間周波数 -200kHz」に変化させて、出力が最小値を得られるように C_V3 を調整する。
5. 周波数を中間周波数に戻し出力が最初に調整した電圧付近 (0V 付近)であることを確認する。
6. 入力周波数に対する出力電圧を測定する。入力周波数の変化は 0.05MHz ごとに变化させ、±方向の電圧がピークを超えるまで測定すること。

7 実験結果

7.1 周波数変調実験

7.1.1 直流入力-周波数特性

周波数カウンタの不具合のため実施しなかった。

7.1.2 交流入力-周波数特性

入力電圧を変化させた時の波形を図5から図8に示す。また、1Hzと1kHzの周波数を入力した時のスペクトラムを図9、図10に示す。

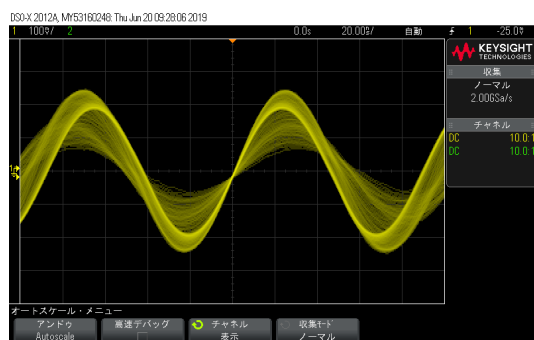


図5 入力電圧5Vの時の波形

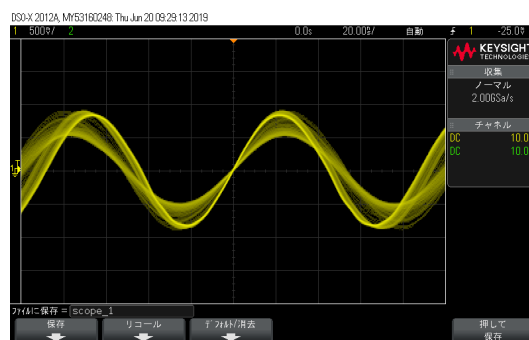


図6 入力電圧10Vの時の波形

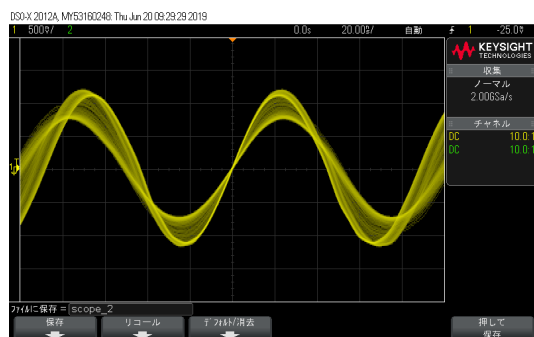


図7 入力電圧15Vの時の波形

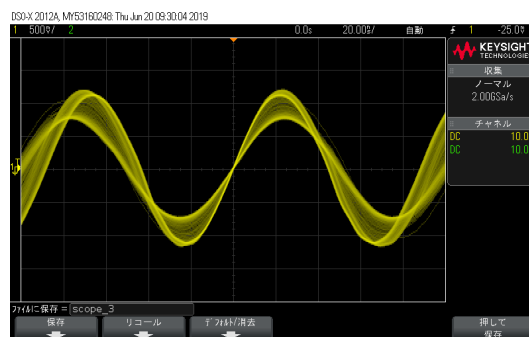


図8 入力電圧5Vの時の波形

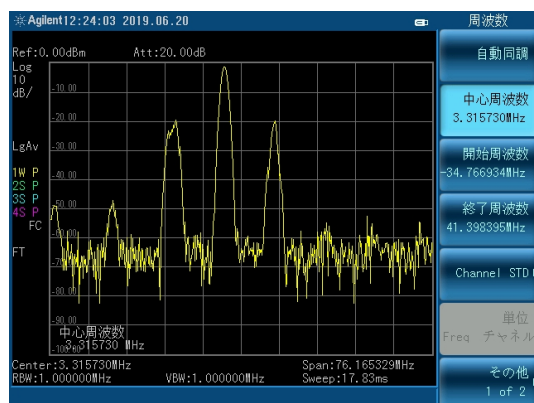


図9 入力1Hzの時のスペクトラム

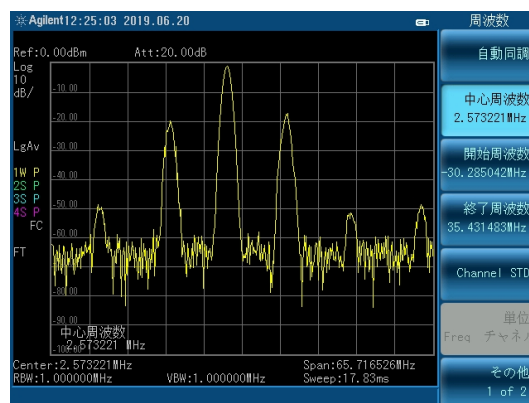


図10 入力1Hzの時のスペクトラム

7.2 周波数復調実験

入力周波数に対する出力周波数を表1に示す。

表1 入力周波数に対する出力周波数

周波数[MHz]	出力電圧[mV]	周波数[MHz]	出力電圧[mV]
10.45	-289	11.25	285.1
10.5	-294.1	11.3	288.9
10.55	-271.2	11.35	295.4
10.6	-211.1	11.4	303.3
10.65	-112	11.45	314.3
10.75	92	11.5	328
10.8	156.1	11.55	345.3
10.85	201	11.6	366.5
10.9	232.2	11.65	391.9
10.95	252.3	11.7	421
11	265.3	11.75	454
11.05	272.1	11.8	485
11.1	276.2	11.85	507
11.15	279	11.9	507
11.2	281.6		

8 考察