

Report on the Experiment

No. 7

Subject 周波数変調・復調実験

Date 2020. 10. 28

Weather 晴れ Temp 23 °C Wet 62 %

Class E4
Group B
Chief
Partner

No 14
Name 小畠 一泰

Kure National College of Technology

1 実験器具

- 周波数変調・復調実習装置 FMH-105
- オシロスコープ DS1064B
- デジタルボルトメータ (DMM)

2 周波数変調の実習 1

2.1 目的

信号電圧による搬送波の周波数変化を測定し、周波数変調の原理を理解する。

2.2 実験手順と結果

1. 変調部の信号波選択 SW を内部直流電源の DC 側に切り換えた。
2. DMM を信号波測定端子 (S1) に、オシロスコープの 1CH を被変調波出力測定端子 (S2) に接続した。
3. 電圧調節ツマミを調節し、信号電圧を約 -3 [V] から 0.6 [V] 刻みで約 $+3$ [V] まで変化させ、そのときの被変調波出力を観測し、波形および周波数を記録した。
4. 信号電圧と被変調波出力周波数の関係を 図 12 に示す。

表 1: 信号電圧と周波数の関係

信号電圧 V [V]	被変調出力の周波数 f [kHz]	画像番号
-2.93	69.40	1
-2.40	71.40	2
-1.80	73.50	3
-1.20	75.80	4
-0.60	78.10	5
0.00	79.40	6
0.60	82.00	7
1.20	83.30	8
1.80	86.20	9
2.40	87.70	10
2.97	89.30	11

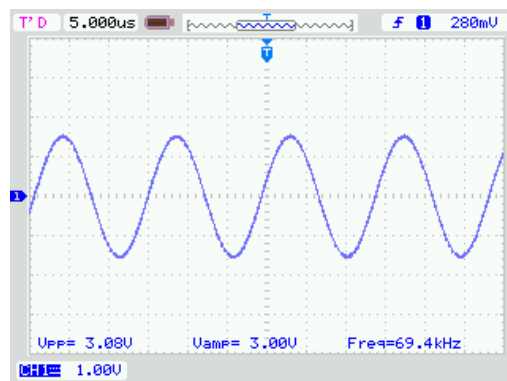


图 1: 1

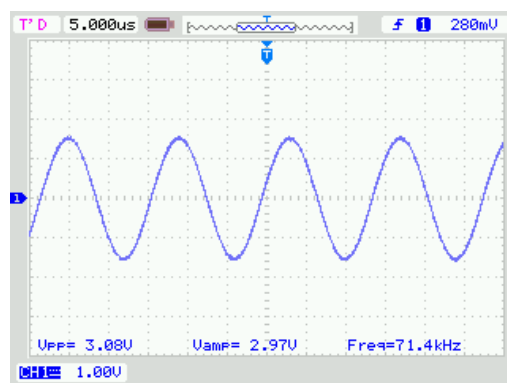


图 2: 2

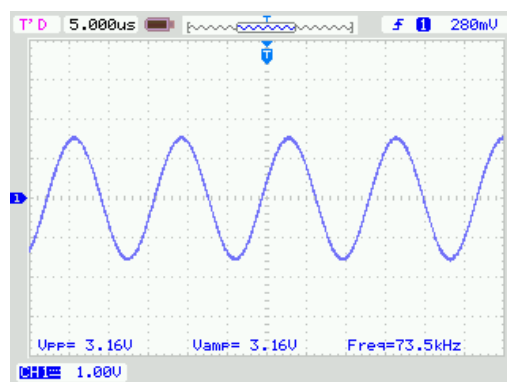


图 3: 3

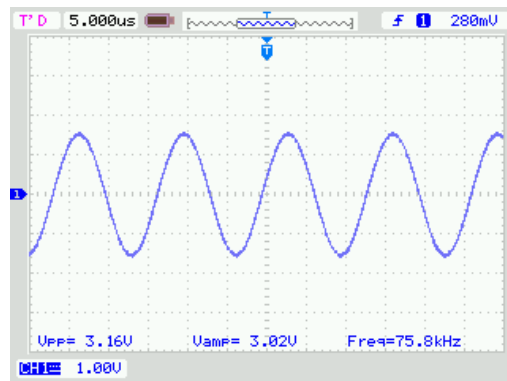


图 4: 4

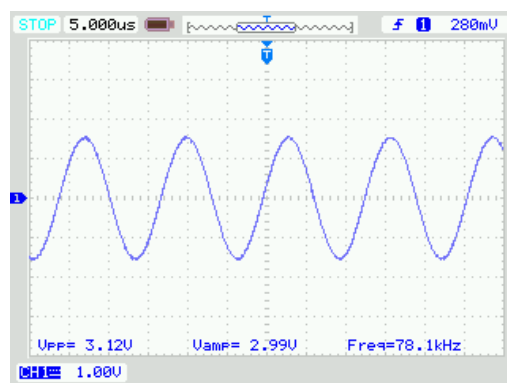


图 5: 5

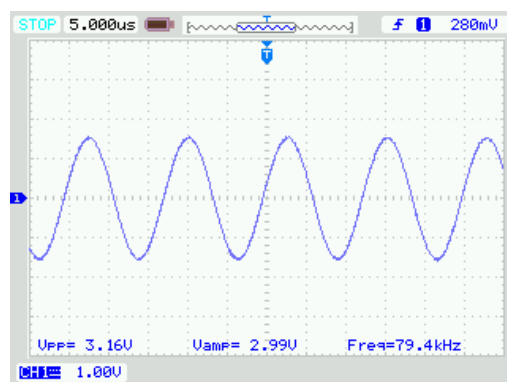


图 6: 6

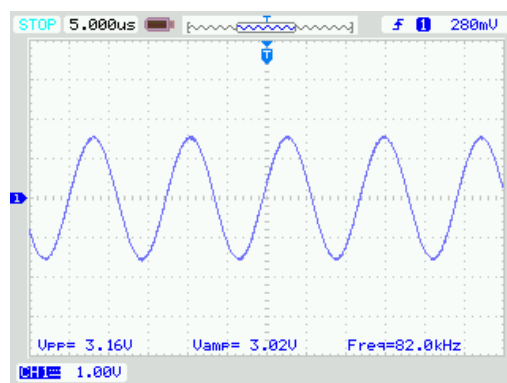


图 7: 7

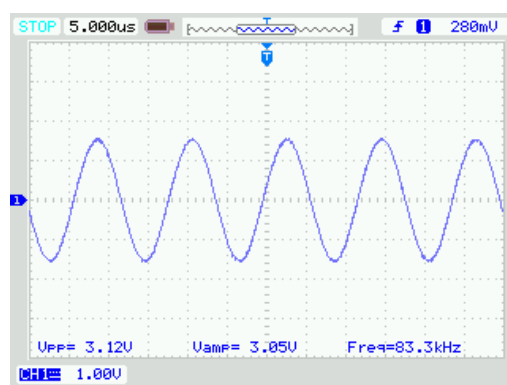


图 8: 8

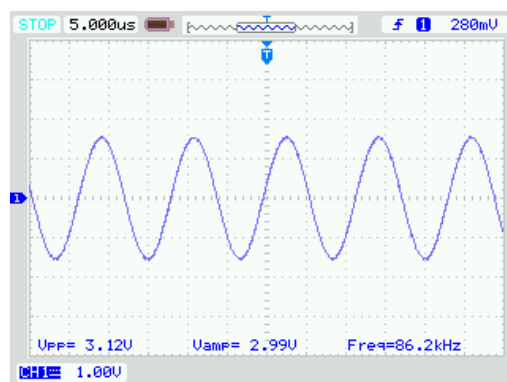


图 9: 9

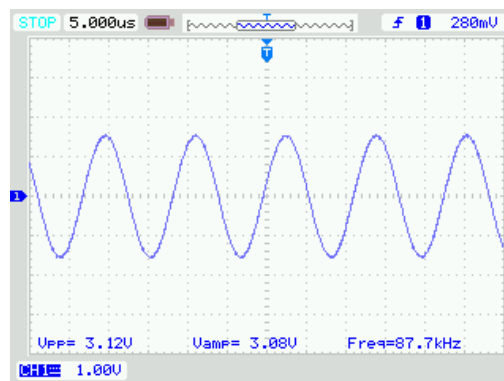


図 10: 10

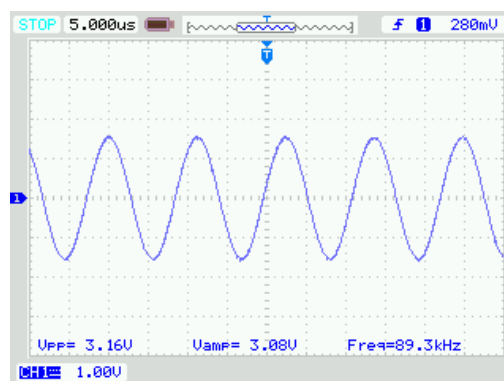


図 11: 11

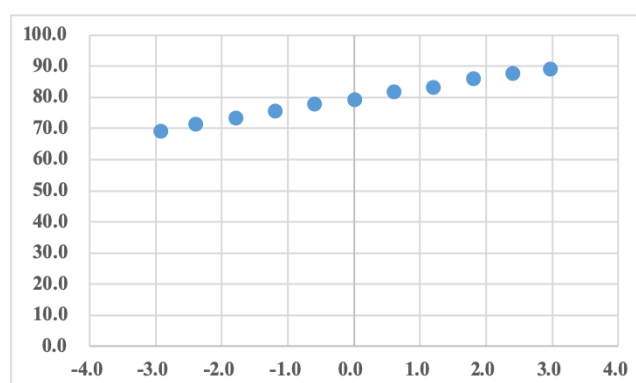


図 12: 信号電圧と被変調波出力周波数のグラフ

3 周波数変調の実習 2

3.1 目的

交流信号によって搬送波の周波数が変化を観測し、周波数変調された被変調波を理解するとともに、変調指数を求める。

3.2 実験手順と結果

1. 変調部の信号波選択 SW を信号波側 (SIGNAL) に切り換える、信号波は内部発振 (INT. OSC.) に切り換えた。
2. オシロスコープの 1CH を信号波出力の測定端子 (S1) に、オシロスコープの 2CH を被変調波出力の測定端子 (S2) に接続した。
3. 内部発振の周波数調節ツマミ (FREQUENCY ADJ.) を反時計方向に回しきり、最低周波数にセットした。
4. 信号波のゲイン調節ツマミ (GAIN ADJ.) を反時計方向に回しきり、信号波の大きさをゼロにしておき、この状態での被変調波の波形を観測し、波形及び電圧を記録した。ただし、オシロスコープの同期は 2CH の被変調波出力側にセットした。

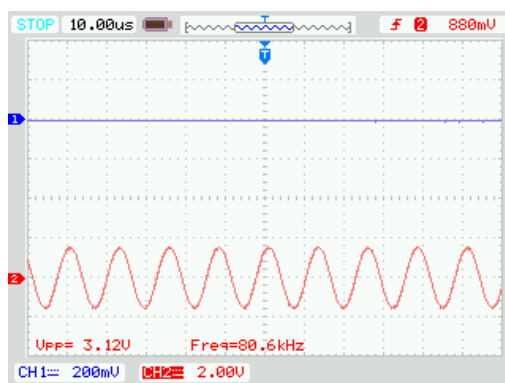


図 13: 被変調波 (ゲイン最小, 信号波の大きさゼロ)

5. 信号波のゲイン調節ツマミを回し信号波の大きさを色々変えると、被搬送波の周波数が変わるため被搬送波の波形が画面上で揺れ動く。信号波の電圧と被搬送波の波形を観測・記録した。(1CH の $V_{pp}=1V$, $2V$ 各々 $1[kHz]$ の 2 枚)
6. 周波数調節ツマミで信号周波数を色々変え、同様に観測・記録した。(表 2)
7. 内部発振を利用した時の変調指数を計算した。

表 2: 変調指数の計算結果

信号周波数 f [Hz]	信号電圧 V [V]	被変調波最大周波数 f_{max} [kHz]	被変調波最小周波数 f_{min} [kHz]	変調 指数	信号最大 時の画像 番号	信号最小 時の画像 番号
102	1Vpp	82.0	78.1	38.24	1	2
500	1Vpp	82.0	76.9	10.20	3	4
1,000	1Vpp	81.3	78.1	3.20	5	6
1,000	2Vpp	83.3	75.8	7.50	7	8
5,000	1Vpp	81.3	78.1	0.64	9	10

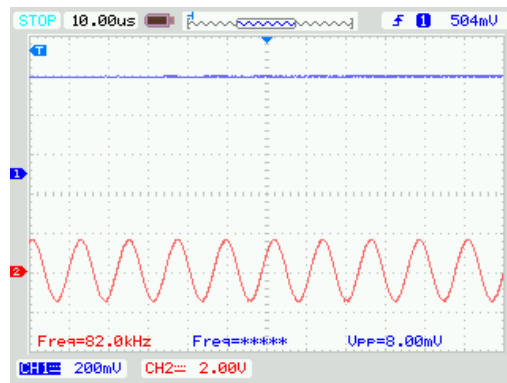


图 14: 1

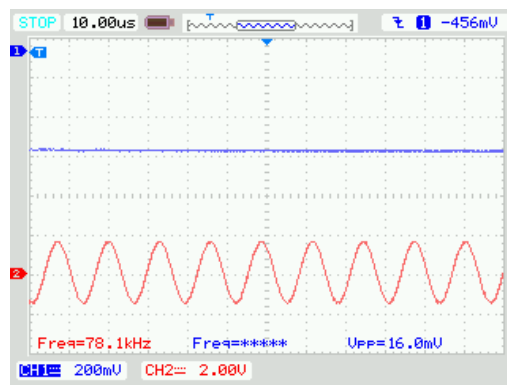


图 15: 2

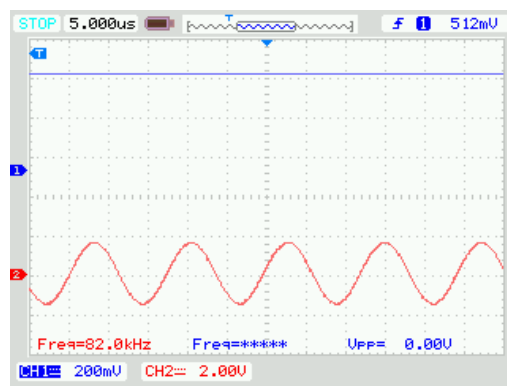


图 16: 3

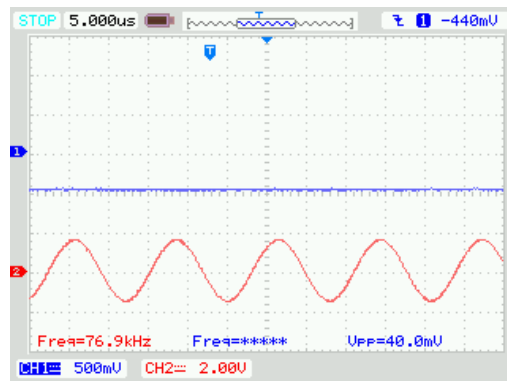


图 17: 4

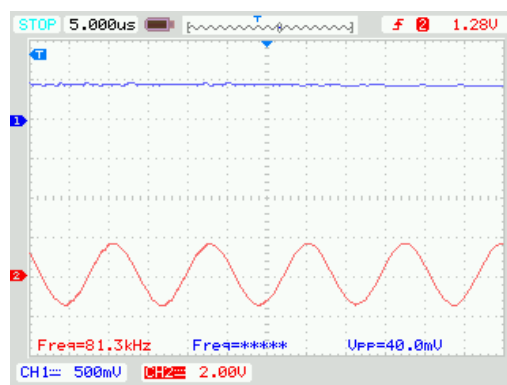


图 18: 5

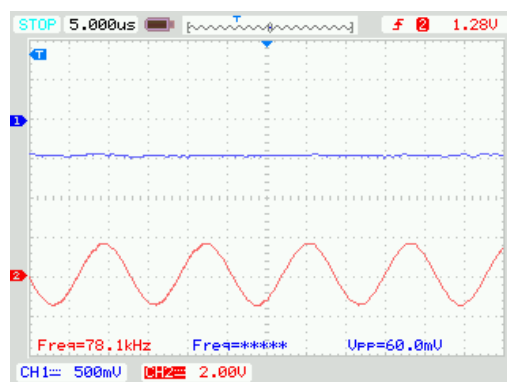


图 19: 6

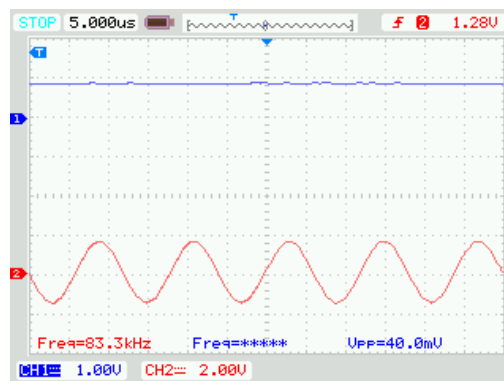


图 20: 7

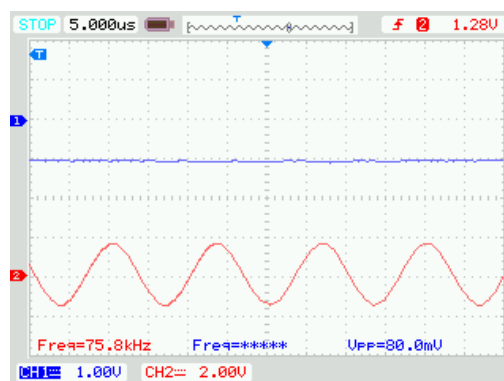


图 21: 8

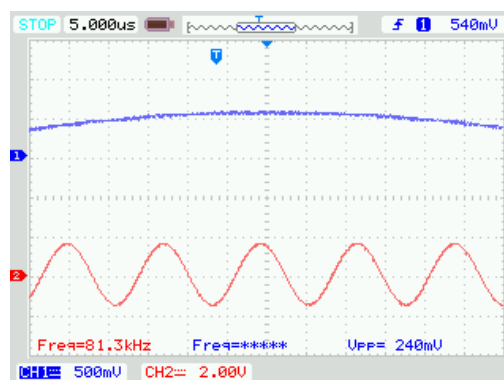


图 22: 9

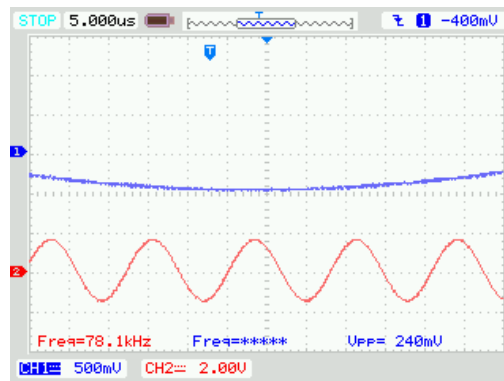


図 23: 10

4 復調特性の実習 1

4.1 目的

周波数変調の復調方式の 1 つである, トラビス復調に使用される 2 つのバンドパスフィルタ (BF) の特性を測定し, FM 復調の原理を理解する。

4.2 実験手順と結果

1. 変調部の被変調波出力端子と検波部の被変調波入力端子をケーブルで接続した。
2. 変調部の信号波選択 SW を内部直流電源の DC 側に切り換えた。
3. DMMV1 を信号波測定端子 (S1) に, DMMV2 を復調部の復調出力測定端子 (S5) に, オシロスコープの 1CH を被変調波出力測定端子 (S2) に接続した。
4. 内部直流電源の電圧調節ツマミを調節して V1 を見ながら信号電圧を 0 [V] に設定し, このときの被変調波出力周波数 (搬送波) を測定し, 記録した。

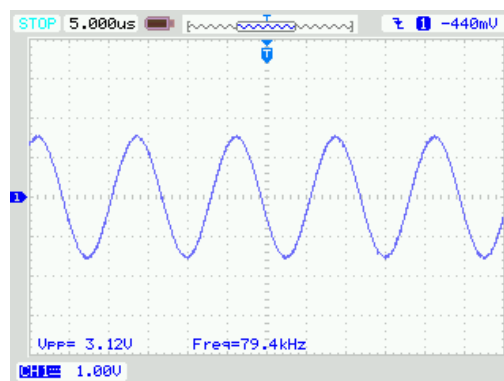


図 24: 被変調波出力周波数 (搬送波)

5. オシロスコープの 2CH を復調部の BF1 の出力測定端子 (S3) に接続し, 内部直流電源の電圧調節ツマミを調節し, 被変調波出力周波数が搬送波周波数より 2kHz 低い周波数になるようにセットし, この状態で BF1 の出力測定端子 (S3) の出力電圧が最大値になるように BF1 の中心周波数のツマミを調節した。

6. 次に、オシロスコープの 3CH を復調部の BF2 の出力測定端子 (S4) に接続し、内部直流電源の電圧調節ツマミ (DC VOLT A DJ.) を調節し、被変調波出力周波数が搬送波周波数より 2kHz 高い周波数になるようにセットし、この状態で BF2 の出力測定端子 (S4) の出力電圧が最大値になるように BF2 の中心周波数のツマミを調節した。
7. 電圧調節ツマミを調節し、信号電圧を変えた時の被変調波出力測定端子 (S2) の周波数及び BF1 の出力測定端子 (S3) の電圧、BF2 の出力測定端子 (S4) の電圧を記録、また、同時に、DMMV1(S1) と V2(S5) の値を測定・記録した。

表 3: 信号電圧変化による被変調波出力の周波数と出力電圧の測定結果

信号電圧 V_1 [V]	周波数 f [kHz]	BF1 出力電圧 V_{bf1} [V _{pp}]	BF2 出力電圧 V_{bf2} [V _{pp}]	復調電圧 V_2 [mV]	画像 番号
-2.92	69.40	1.52	0.28	306.0	1
-2.40	71.40	1.76	0.30	436.0	2
-1.80	73.00	2.32	0.40	634.0	3
-1.20	75.80	2.80	0.48	473.0	4
-0.60	78.10	3.04	0.60	-8.0	5
0.00	80.00	2.80	0.72	-562.0	6
0.60	82.00	2.32	0.74	-790.0	7
1.20	84.70	1.76	0.60	-650.0	8
1.80	86.20	1.60	0.50	-533.0	9
2.40	87.70	1.28	0.42	-405.0	10
2.97	89.30	1.20	0.34	-311.0	11

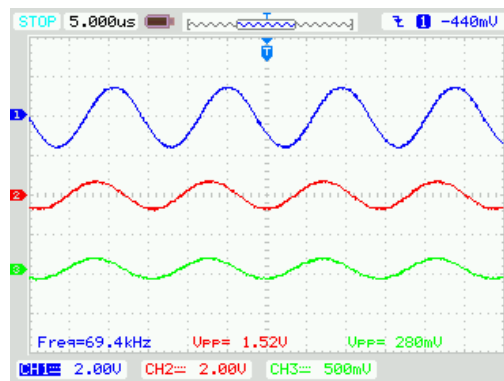


図 25: 1

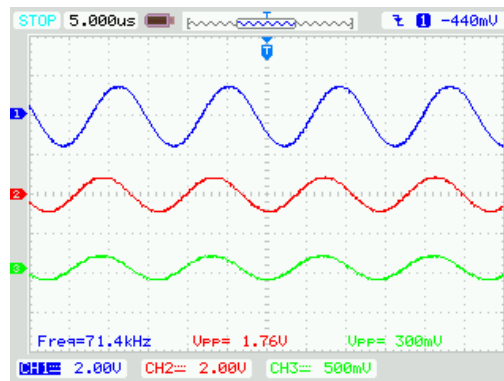


图 26: 2

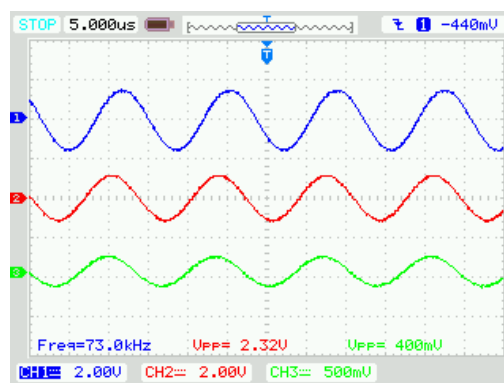


图 27: 3

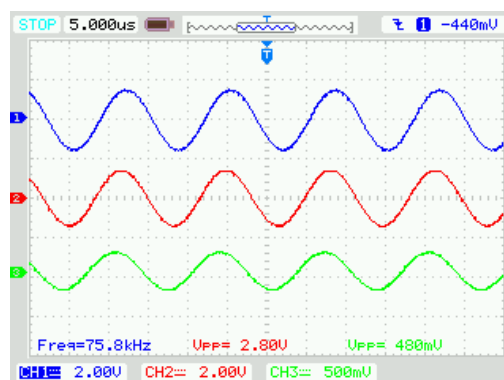


图 28: 4

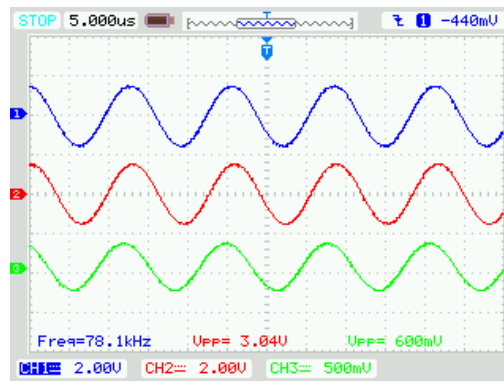


图 29: 5

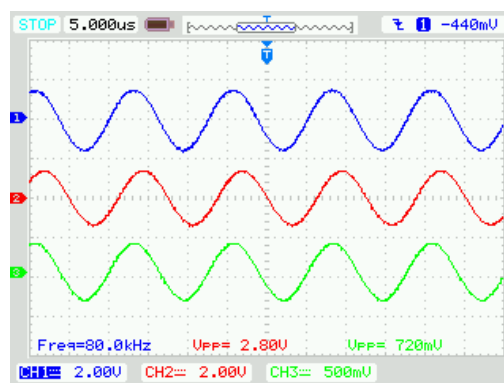


图 30: 6

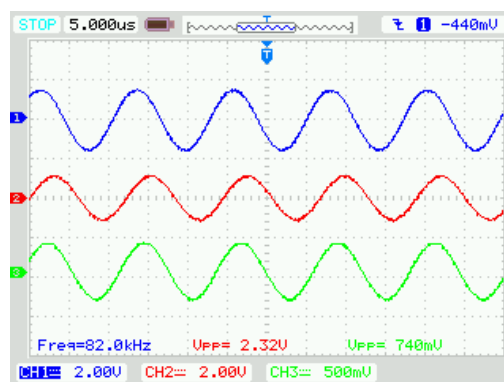


图 31: 7

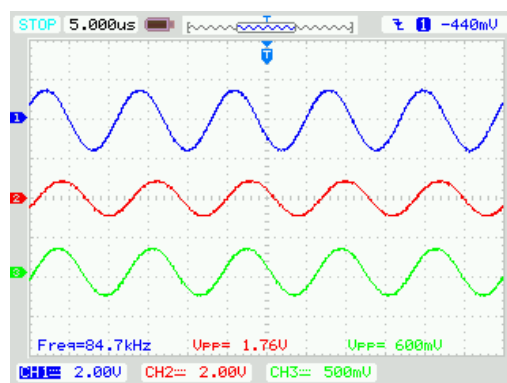


图 32: 8

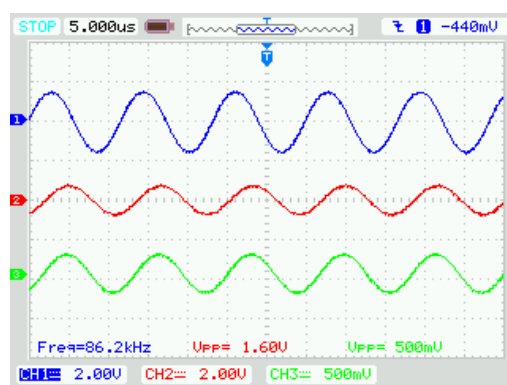


图 33: 9

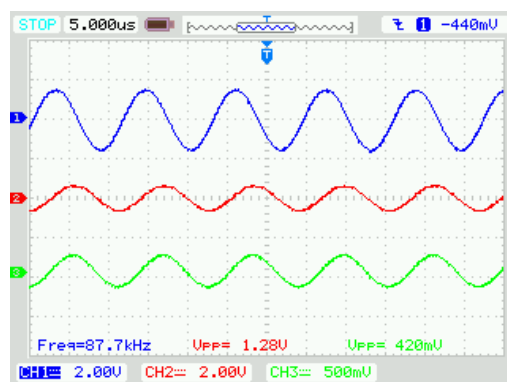


图 34: 10

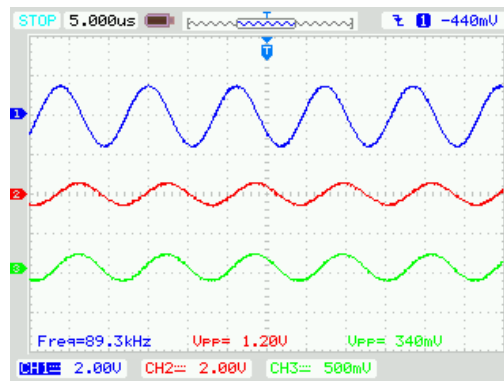


図 35: 11

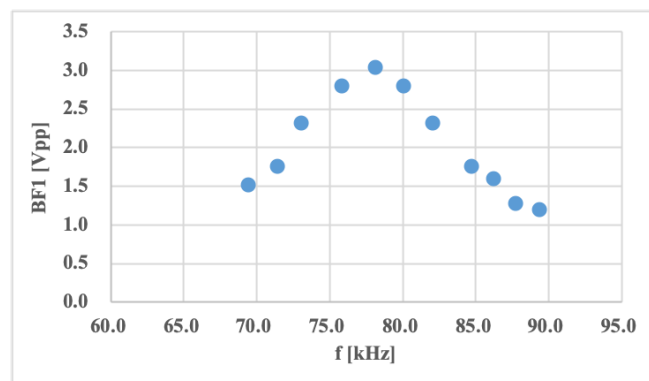


図 36: 被変調波出力測定端子の周波数及び BF1 の出力測定端子の電圧のグラフ

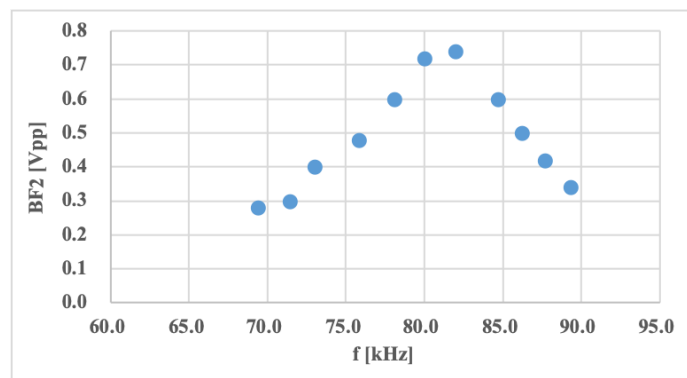


図 37: 被変調波出力測定端子の周波数及び BF2 の出力測定端子の電圧のグラフ

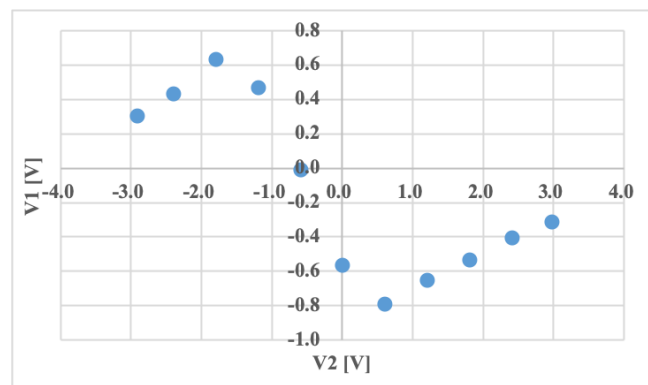


図 38: DMMV1 と V2 のグラフ

5 復調特性の実習 2

5.1 目的

周波数変調の復調方式の一つであるトラビス復調を利用し、バンドパスフィルタの特性と復調信号の関係を理解する。

5.2 実験手順と結果

1. 変調部の被変調波出力端子と検波部の被変調波入力端子をケーブルで接続した。
2. 次に、変調部の信号波選択 SW を信号波側 (SIGNAL) に、信号波は内部発振 (INT. OSC.) に切り換えた。
3. オシロスコープの 1CH を変調部の信号波測定端子 (S1) に、オシロスコープの 2CH を復調部の復調出力測定端子 (S5) に接続した。
4. 変調部の信号波のゲイン調節ツマミと周波数調節ツマミは反時計方向に回しきり、信号波測定端子 (S1) の電圧の 0V を確認し、この状態での復調後の信号波の電圧 (直流分のずれ・2CH の V average の値は -551 [mV]) を測定し記録した。その後、信号波のゲイン調節ツマミを回し、1 [kHz] における信号波測定端子 (S1) と復調出力測定端子 (S5) の信号波の波形と電圧を観測・記録した。

信号電圧 V_1 [V _{pp}]	復調後 V_2 [V]	画像番号
0.96	1.04	1
2.00	1.56	2
3.00	1.84	3
(最大) 3.36	1.96	4

5. 再び変調部の信号波ゲイン調節ツマミを反時計方向に回しきり、信号波測定端子 (S1) 電圧を 0V とした後、復調後の信号波の電圧が 0V になるように BF2 の中心周波数の調節ツマミを少し調節した。その後、信号波のゲイン調節ツマミを回し、1 [kHz] における信号波測定端子 (S1) と復調出力測定端子 (S5) の信号波の波形と電圧を観測・記録した。

信号電圧 V_1 [V _{pp}]	復調後 V_2 [mV]	画像番号
1.00	440	5
2.00	480	6
3.00	422	7
(最大) 3.36	461	8

6. 変調部の信号波の大きさや信号周波数を色々変化させ、再現性がもっともよい信号波の大きさの限度や信号周波数範囲を確認した。
7. スピーカーボリューム (GAIN ADJ.) を適当に上げて、このときの音を耳で確認した。
8. 2 つのバンドパスフィルタ BF1, BF2 の中心周波数の調節ツマミ (BF1 ADJ.) と (BF2 ADJ.) を変えて、波形や耳で聞く音がどのように変化するかを記録する (文章で記録・波形は目視確認のみ)。

バンドパスフィルタ	変化
BF1ADJ.	音は大きくなったが高さに変化はなかった。
BF2ADJ.	音は大きくなったが高さに変化はなかった。

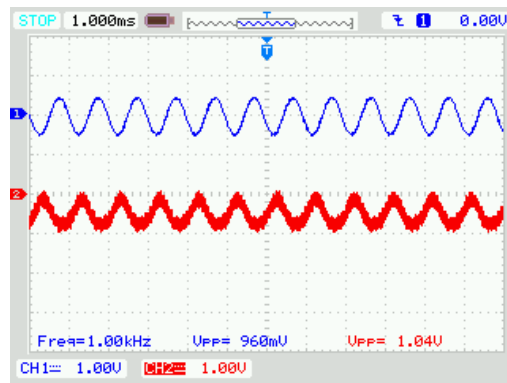


图 39: 1

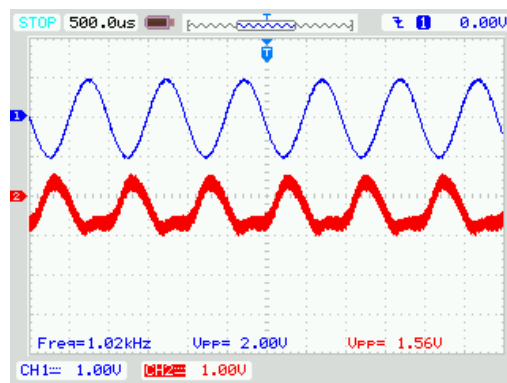


图 40: 2

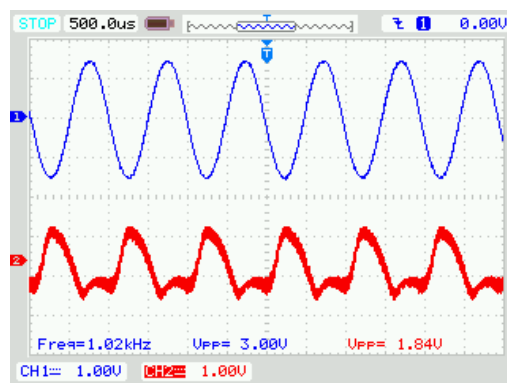


图 41: 3

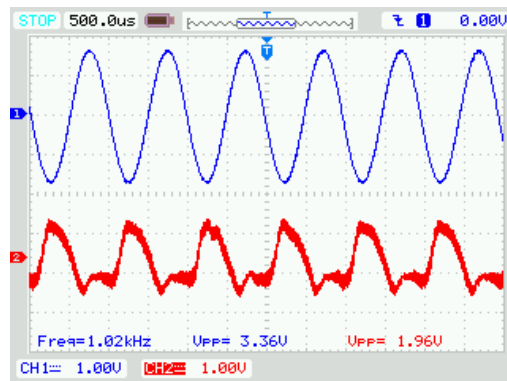


图 42: 4

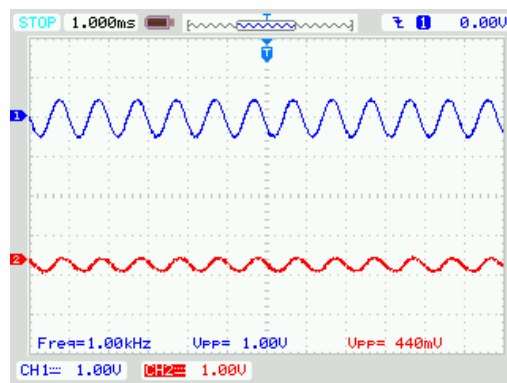


图 43: 5

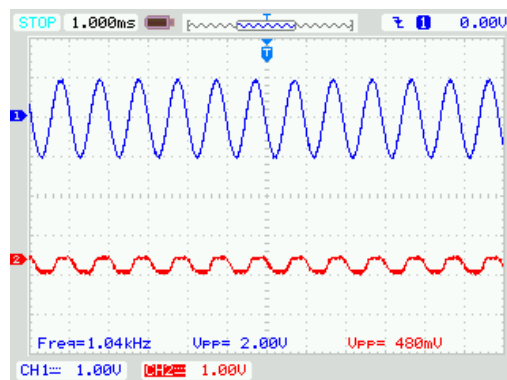


图 44: 6

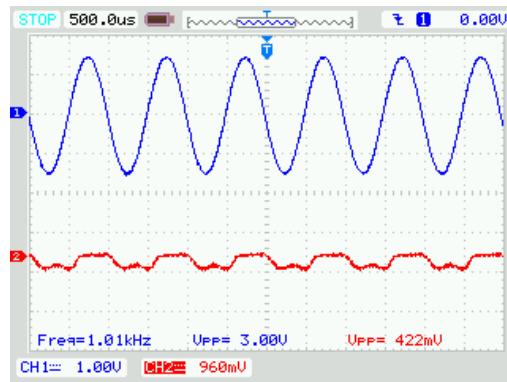


图 45: 7

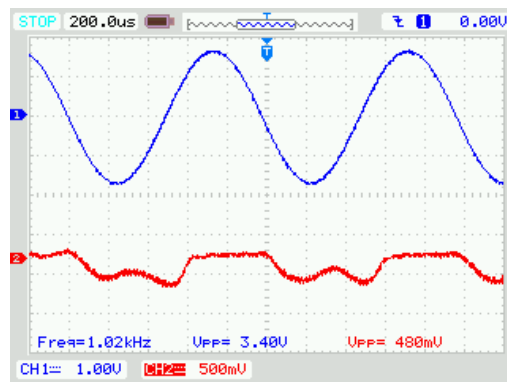


图 46: 8

6 側波帯観測の実習

6.1 目的

周波数変調における被変調波の側波の存在を確認し、側波帯の意味を理解する。

6.2 実験手順と結果

1. 変調部の被変調波出力端子と復調部の被変調波入力端子および、変調部のもう 1 つの被変調波出力端子と簡易側波帯観察ユニットの被変調波入力端子をそれぞれケーブルで接続した。
2. 変調部の信号波選択 SW を内部発振に切り換えた。
3. オシロスコープの 1CH を簡易側波帯観察ユニットの被変調波スイープ出力端子に、2CH を簡易側波帯観察ユニットの同期出力端子に、周波数計・DMM を ACV 計測レンジにし、信号波出力の測定端子 (S1) に接続した。
4. オシロスコープの 1CH を 1V/DIV, 2CH を 5V/DIV に、スイープは 10ms/DIV に、内部同期を 2CH にし、トリガー信号の立下りでトリガーがかかるようにセットした。
5. 内部発振の周波数調節ツマミを反時計方向に回しきり最低周波数にセットし、信号波のゲイン調節ツマミを (GAIN ADJ.) 反時計方向に回しきり、無変調にした。
6. この状態で画面のほぼ中央に搬送波の周波数成分がくるよう、位置調節ツマミで調節、記録した。

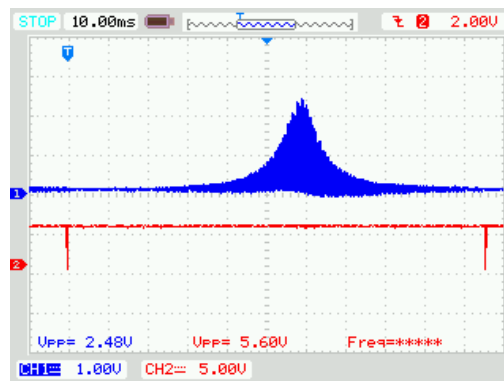


図 47: 無変調

7. 信号波のゲイン調節ツマミを時計方向にまわし適当な変調をかけると、搬送波の両側に側波が出ているのが観察できるので、内部発振の周波数調節ツマミと信号波のゲイン調節ツマミを色々変え、側波の様子の違いを観察した。(ゲインが 0 だと周波数調節ができないので、少しゲインを加えて周波数を設定した。

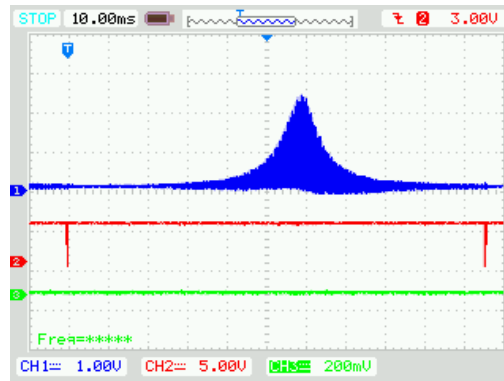


图 48: 500 [Hz], 0.00 [V]

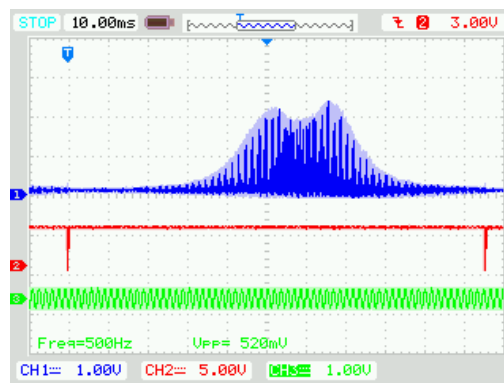


图 49: 500 [Hz], 0.52 [V]

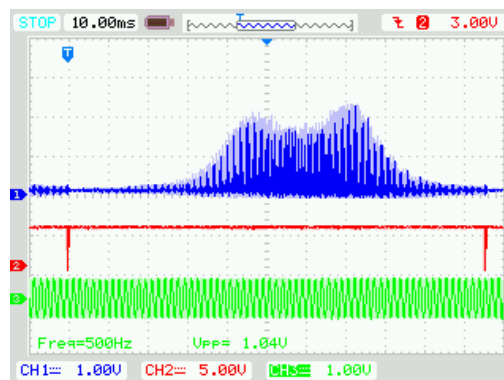


图 50: 500 [Hz], 1.04 [V]

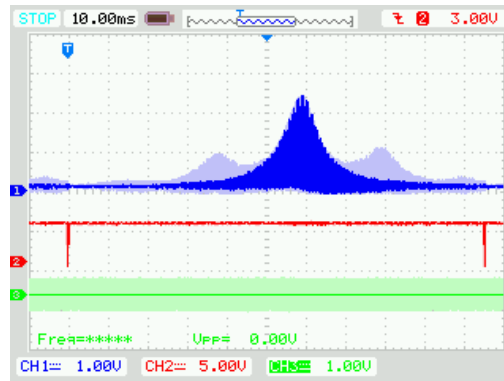


图 51: 4 [kHz], 0.00 [V]

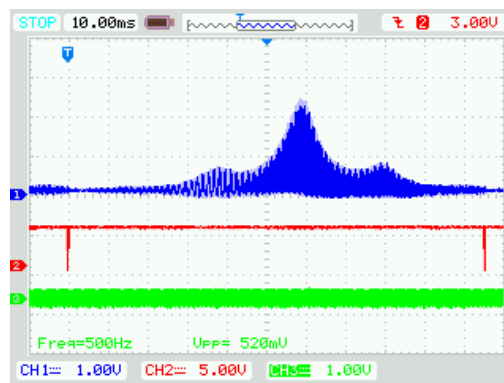


图 52: 4 [kHz], 0.52 [V]

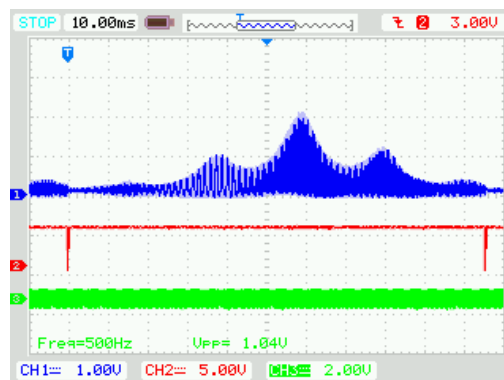


图 53: 4 [kHz], 1.04 [V]

7 参考文献

- やさしく学ぶ, 第二級陸上特殊無線技士試験 (2019)