

電子情報工学科

工学専門実験 報告

第 1 号

実 験 題 目

C4 信号変調の基礎実験

情報システム工学コース 第 2 班

阿部 寛希

尾本 涼太

菊池 圭祐

報 告 者

08D23091 番 辻孝弥 (情報システム工学コース)

電子メールアドレス: u316705e@ecs.osaka-u.ac.jp

令和 7 年 11 月 19 日

大阪大学工学部電子情報工学科

1 目的

本実験の目的は、ベースバンド信号を振幅変調および位相変調した際の、時間波形と周波数スペクトルの特徴を理解することである。これにより、信号を時間領域と周波数領域の対応関係で整理することを通じて、フーリエ変換への理解を深めることができる。実際に、授業の冒頭では先にフーリエ変換に関する理論的な理解の確認を行い、その理論的な結果と実験を通して得られた結果を比較した。

2 理論的背景

2.1 連続時間信号と周波数スペクトル

信号とは、情報を表す量が時間とともに変化するものであり、本実験では連続時間信号に注目する。連続時間信号は単一の周波数だけでなく、さまざまな周波数成分を含んでいる。周期性を持たない信号の周波数成分を明らかにするため、フーリエ変換 $X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp(-i\omega t) dt$ を用いて周波数領域に変換する。周波数スペクトル $X(\omega)$ は複素数となるため、グラフ表示には振幅スペクトル $|X(\omega)|$ やエネルギースペクトル $|X(\omega)|^2$ を用いることが多い。

2.2 アナログ変調の基礎

下限周波数が 0 Hz である帯域をベースバンドと呼び、0 Hz を含む信号をベースバンド信号 $m(t)$ と呼ぶ。ベースバンド伝送には、一本の伝送路で複数の信号を送れないという制約がある。この制約を解決するため、ベースバンド信号を高い周波数帯へ移す周波数変換（変調）搬送波 $\cos \omega_c t$ を用いて行う。

2.3 振幅変調 (AM)

搬送波の振幅をベースバンド信号 $m(t)$ に合わせて変化させる方式であり、変調信号 $x_{AM}(t)$ は $x_{AM}(t) = m(t) \cos \omega_c t$ で表される。AM 信号の周波数スペクトル $X_{AM}(\omega)$ は、ベースバンド信号のスペクトル $M(\omega)$ を搬送波周波数 ω_c の正負にそれぞれ移動させた形となる。このとき、スペクトルの形状は変化しない（線形変調）。

2.4 位相変調 (PM) とベッセル関数

搬送波の位相成分をベースバンド信号 $m(t)$ に合わせて直接的に変化させる方式を位相変調 (PM) と呼び、信号 $x_{PM}(t)$ は $x_{PM}(t) = \cos\{\omega_c t + k_p m(t)\}$ で与えられる。ベースバンド信号 $m(t) = \sin \omega_m t$ (正弦波) の場合、PM 信号のスペクトル解析にはベッセル関数展開を用いる。その周波数スペクトル $X_{PM}(\omega)$ は、 ω_c を中心に ω_m の整数倍の間隔 ($\omega_c \pm n\omega_m$) で線スペクトル（くし形スペクトル）として現れる。このスペクトルの振幅は第 1 種ベッセル関数 $J_n(k_p)$ によって決定され、変調度 k_p が大きいほど高調波成分 ($n \geq 1$) が大きくなる。

3 実験方法（セットアップと手順）

本実験では、信号の生成、変調、および観測のために、以下の機器を使用した。

3.1 実験セットアップおよび使用機器

実験系は、任意波形発生器をオシロスコープ、またはスペクトラムアナライザに接続する構成で構築された。

使用機器は以下の通りである。

機器名称	型番	役割	観測対象
パーソナルコンピュータ	PC	Excel にて波形データを作成	—
任意波形発生器	Tektronix AFG1062	変調信号の出力	
デジタルオシロスコープ	Tektronix TBS1102B-EDU	時間領域の波形観測	時間波形
RF スペクトラムアナライザ	Agilent Technology N9060A	周波数領域の波形観測	周波数スペクトル

3.2 共通の搬送波設定

変調に使用する搬送波には、以下のパラメータを持つ正弦波を使用した。

- 周期 T_c : $T_c = 1\mu\text{s}$ (周波数 1 MHz に相当)
- ピーク電圧 A_c : $A_c = 1.0\text{V}$

3.3 実験手順

3.3.1 波形データを PC で作成

それぞれの実験に必要な変調信号の波形データを Microsoft Excel を使用して作成した。作成したデータを任意波形発生器 (Tektronix AFG1062) に送信し、信号を生成した。その信号の時間波形と周波数スペクトルを、それぞれデジタルオシロスコープ (Tektronix TBS1102B-EDU)、スペクトラムアナライザ (Agilent Technology N9060A) を使用して観測した。

3.3.2 一週目：振幅変調 (AM)

周期 $T_c = 1\mu\text{s}$ 、ピーク電圧 $A_c = 1.0\text{V}$ の正弦波を搬送波とし、以下のベースバンド信号で搬送波の振幅を変調した。

正弦波変調 (a)

- 手順 (i): 周期 $T_m = 10\mu\text{s}$ 、ピーク電圧 $A_m = 1\text{V}$ の正弦波で搬送波の振幅を変調し、時間波形と周波数スペクトルを観測・保存した。時間波形は、搬送波の高周波成分がみえる時間幅と、変調信号の周期がわかる時間幅の 2 種類を観測・保存した。周波数スペクトル測定では、縦軸のスケールを Linear に設定し、観測・保存した。
- 手順 (ii): ピーク電圧 A_m を $0.5\text{V} \sim 3\text{V}$ の範囲で 0.5V 刻みに変化させ、その際に波形が変化しないことを観測・保存した。そのうえで、周波数スペクトルにおけるピーク値の A_m 依存性を評価するためにデータを取得した。

矩形波変調 (b) 矩形幅 $T_m = 10\mu\text{s}$ 、繰り返し周期 $T_r = 1\text{ms}$ 、ピーク電圧 $A_m = 1\text{V}$ の矩形波を用いて搬送波の振幅を変調し、時間波形と周波数スペクトルを観測・保存した。

Sinc 波変調 (c) 減衰時間 $T_m = 10\mu\text{s}$ 、繰り返し周期 $T_r = 1\text{ms}$ 、ピーク電圧 $A_m = 1\text{V}$ の Sinc 波形で搬送波の振幅を変調し、時間波形と周波数スペクトルを観測・保存した。

3.3.3 二週目：位相変調 (PM)

一週目と同様の搬送波を用い、位相変調された信号を観測した。観測時、位相変調信号の時間波形では包絡線は一定であり、その周期が変調されている点に注意を払った。

正弦波変調 (a)

- 周期 $T_m = 10\mu\text{s}$ の正弦波で搬送波の位相を変調し、変調信号のピーク電圧 A_m を $3\text{V} \sim 0.5\text{V}$ の範囲で 0.5V 刻みに変化させたときの時間波形と周波数スペクトルを観測・保存した。
- 観測された、 1MHz を中心に 100kHz 間隔で線スペクトルを持つくし形の周波数スペクトルについて、 1MHz の搬送波成分、 1.1MHz の基本波成分、 1.2MHz の 2 次高調波成分のピーク値を測定し、その A_m 依存性を評価するためのデータを取得した。

Sinc 波変調 (b) 減衰時間 $T_m = 10\mu\text{s}$ 、繰り返し周期 $T_r = 1\text{ms}$ の Sinc 波を用いて搬送波の位相を変調した。Sinc 波形のピーク電圧 A_m を $6\text{V} \sim 1\text{V}$ の範囲で 1V 刻みに変化させたときの周波数スペクトルを観測した。なお、時間波形の観測も行ったが、保存は省略した。

4 実験結果および考察（検討項目の実施）

4.1 振幅変調の結果と考察

4.1.1 正弦波変調

4.1.2 矩形波変調

4.1.3 Sinc 波変調

4.2 位相変調の結果と考察

4.2.1 正弦波変調

4.2.2 Sinc 波変調

5 結論／まとめ

6 班内での役割と自己貢献

7 参考文献