

# パソコン支援による振幅変・復調回路の実験指導

宮内正義

(技術科研究室)

本田安

(松山工業高等学校)

(平成3年10月11日受理)

## 1. はじめに

パソコン支援システムの導入による電子回路の実験指導は、座学で学ぶ理論と、実験より学ぶ実際面の総合化が容易に図れ、基本原理の学習徹底から設計法の修得、構成回路の動作と特徴の掌握までを、系統的に、しかも効率よく学習展開が出来ることから指導効果も高められることを報告してきた。(1)~(4)

本論文は、このような指導成果を踏まえて実践的研究を継続してきた工業高校や高専、教員養成学部で実施する一連の電子回路実験の内、通信分野で最も重要な基本回路の一つに挙げられる、振幅変・復調回路を対象とした支援システムの活用による指導法の検討を行ったもので、この実践事例の紹介とこのような指導が学習効果を高めるのに有効な一形式となることを示す。

本文では、この支援システムのハードウェアの紹介と、課題実験遂行時に使う解説演示教材を含む実験内容の進化や広がりを目指すためのCALソフト、回路動作のシミュレーション、及びパソコンにインターフェイスボードを付加した計測システムで教材回路の実動実験を行う際のプログラムなどにより構築をしたシステムのソフト概要について述べる。

そして、支援システムの活用とRF、AF帯の発振器、シンクロスコープ、電源の併用により、教材回路の動作実験を行うこの課題実験指導のあり方を、工業高校(電子科)での実践事例を通して検討し、この指導法が有効なことを述べるとともに、高専や教員養成学部での指導試案についても言及する。

## 2. システムの構成

この支援システムの構成は、汎用パソコン(98VM2)の標準装備に、教材準備機能や、学習展開時の指導演示と回路設計を含む動作のシミュレーション機能をもたせ、これに教材回路の実動データを取り込むインターフェイスボードを付加し、システムを波形観測用のオシロスコープ、あるいは、この波形情報を分析するスペクトルアナライザーに仕立てて計測器としても利用し、この他に、回路の駆動用電源と信号源(AF、RF発振器)及びシンクロスコープを併用し実験を支援遂行するものである。

## 2. 1 インターフェイスボードの仕様

本システムのインターフェイスボードは、実授業時に課題のローテーション方式をとったとしても複数システムの同時使用が望ましいことから、1セットは市販ボードを、今一つのボードは自作し、今回は、これらを使用した2システムの構成を行った。

表1に、市販ボード(Analog・Pro-DMA)の仕様を、自作ボードのそれと対比して紹介しておく。(3)、(6)

自作ボードは、DMA機能を持たないK社のAnalog・Pro II相当の回路構成で、これと同一性能を具備するものである。

表1 インターフェイスボードの仕様

	ANAROG・PRO-DMA	自作ボード
ビット数	12ビット・バイナリ	同左
入力チャンネル数	8チャンネル・差動、シングル(同)切り換え可	同左
入力電圧範囲	-5V~+5V, -10V~+10V, 0~+10V切り換え	同左
変換時間	アンプゲイン1~10倍変更可能	アンプゲイン 1~5倍
サンプリングクロック	5μsec max	15μsec
サンプリング周期	プログラマブル水晶発振器を内蔵 (SPG8640B)	同左 (SPG8650B)
デジタル入力	5μsec/チャンネル	15μsec/チャンネル
デジタル出力	10μsec/チャンネル	
DMAインターフェイス	4ビットTTLレベル	2ビット
	4ビットTTLレベル	2ビット
	インターフェイスロジック内蔵	なし

## 2. 2 ソフトウェアの構成

このシステムのソフトウェアを図1に示す。プログラムの作成は、現場利用の配慮から、BASIC言語(一部マシン語を含む)を使い対話形構成をした。

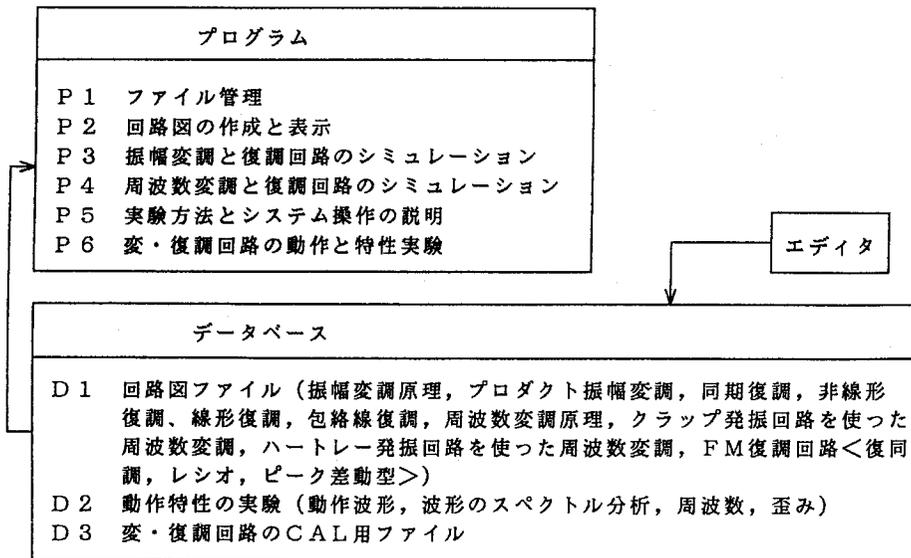


図1 ソフトウェア

そして、 $P_2$  を教材準備時の回路図作成に、学習支援には、データベースとして構築した  $D_1 \sim D_3$  ファイルから必要な情報を  $P_1$  の管理プログラムにより適宜ピックアップし、実験遂行時の主プログラム・ $P_3 \sim P_6$  に取り込み使用することで、システム操作が全て CRT 画面上のメニュー（例・図 2）選択により行える、学習者利用の極めて容易なソフト構成を行った。

☆☆電子回路実験支援システム☆☆  
(変・復調回路)

- 教材の作成と表示
- 振幅変・復調回路のシミュレーション
- 周波数変・復調回路のシミュレーション
- 教材回路の特性実験
- 実験方法とシステム操作の説明
- 変・復調回路の CAL
- 終了

カーソルを指定し（リターンキー）を押して下さい。

図 2 主メニュー画面

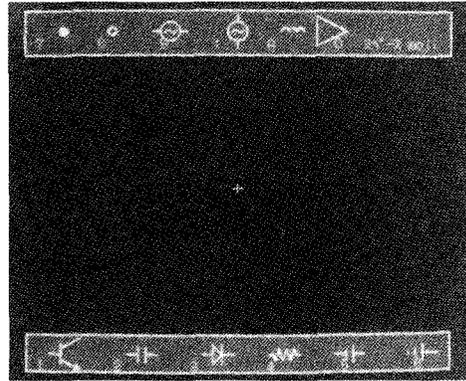


写真 1 回路図作成用テンプレート

$P_2$  の回路図作成プログラムは、写真 1 に示す CRT 画面の上下に用意したテンプレートを参照し、回路要素の作図は、カーソル（+印）の移動点で、そのエレメント番号と文字記号をキー入力（方向は移動キーで定める）することで行い、回路の接続線は、カーソル移動の始点と終点で S キーを使って描き、画面上に作成した回路図を  $D_1$  ファイルに収録して、これを必要に応じて CRT 画面上への表示、またはプリンターや X-Y プロッタに選択出力ができる構成をした。

振幅変・復調回路のシミュレーションプログラム  $P_3$  は、 $D_3$  の CAL ファイル中に集録の振幅変・復調回路の基本原則と、その方式及び構成法の解説ソフトを呼び出し、この基礎的学習の徹底を図った後、プロダクト変調回路の変調動作とこの特性、得られる出力変調波の周波数スペクトルに対するシミュレーションを行うプログラム構成をした。

そして、復調回路のソフト作成は、SSB と DSB 入力時における同期復調法の基本動作と周波数スペクトル、非線形復調（通称、自乗検波とも言う）と線形復調（平均値検波とも言う）、及び包絡線復調回路の各復調動作と非線形復調の周波数スペクトルや、この出力波形歪に対するシミュレーションプログラムの構成を行い、 $P_3$  中で用いる原理図や教材回路図の  $D_1$  ファイルよりの呼び出しは、全てメインプログラムから行う形式とした。

$P_4$  では、周波数変調の基本動作を学習徹底するためのシミュレーションプログラムと、クランプ発振回路やハートレー発振回路を用いる FM 変調回路の設計及びこの動作シミュレーションを行うプログラムの構成をした。<sup>(5)</sup> また、FM 復調回路については、代表的な復調型回路の設計プログラムと、S 字特性動作のシミュレーション、最近 IC 素子化され多用されるようになったピーク差動型回路と、従来からなじみの深いレシオ FM 復調回路の各動作シミュレーションを行うプログラムの構成を、 $D_3$  ファイルの併用で題材回路の変更・拡大など指導上の効率的運用が容易なものとした。

教材回路の実験を行う計測システム用のプログラム・ $P_6$  は、 $D_2$  ファイルに集録の K 社の DSS-98 (Type II または、Type IV)<sup>(6)</sup> に若干の機能追加を行い、動作波形の観測や波形

のスペクトル分析と歪み測定用ソフトが適宜呼び出し利用できることに併せて、周波数測定とデータ処理用プログラムも加え、これが P<sub>5</sub> の実験方法とシステム操作法の説明を参照することで容易に使えるものとした。

更に、D<sub>3</sub> ファイルには、この実験指導に必要な解説演示プログラムと、考察課題に関連を持つ事項を学習強化用として Q/A 形式の CAL にまとめ、これを操作の容易なメニュー選択で使えるように仕立てて集録をしている。

### 3. 授業の展開

この支援システムは、工業高校や高専、及び教員養成学部で実施する変・復調回路の実験指導に対応できる一通りの回路形式が扱える構成をしているが、本稿では、振幅変・復調回路の実験を課題とし、工業高校電子科の2年生を対象に試行した実践事例の紹介を行い、併せて、高専や教員養成学部でのこの課題に対する指導試案の検討をしておく。

授業実践の対象学習者は、1年時にパソコン使用の入門学習を終了していることと、素子特性の測定から増幅回路や発振回路の実験などでも、このような支援システムの活用を行ってきたため、システム操作等の戸惑いは少ない。

従って、実授業の展開は、指導書と解説演示材による簡単な教授に基づき、ステップごとの理解度を確認しながら遂行した。

#### 3. 1 振幅変調の基本原理とプロダクト変調回路の実験

従来のこの課題実験では、線形振幅変調回路の代表例であるトランジスタ使用のベース変調、またはコレクタ変調回路が採用されてきたが、最近では IC 掛算素子によるプロダクト変調回路（平衡変調器とも呼ばれている）も多用されるようになってきており、実践授業では、この変調回路を課題とし、まず、変調の必要理由や各種変調方式、この情報通信分野での応用に対する概要と、本時の実験目的、方法を指導書に基づき教授の後、次の手順で学習展開を行った。

##### (a) 振幅変調の基本原理

支援システムの駆動によって得る図2の主メニュー選択から、図3のサブメニューを呼び出し、項目・変調回路を指定して CRT 画面に得た振幅変調の原理図（図4）を演示材として、この変調動作のしくみを学習させ理解の徹底を図る。併せて、図5に示すこの変調波の周波数スペクトルから、単一正弦波信号による振幅変調では、搬送波周波数  $f_c$  の上下に信号周波数  $f_m$  の和と差 ( $f_c + f_m$ ,  $f_c - f_m$ ) 側波成分が同図(a)に示すごとく生じ、また、信号周波数が帯域をもつ場合には、上・下側波信号の占める周波数範囲が同図(b)のように上側波帯 (upper said-band), 下側波帯 (lower said-band) として表されることより、通信情報は、搬送波ではなくこの側波信号によって十分伝送されることを理解させる。

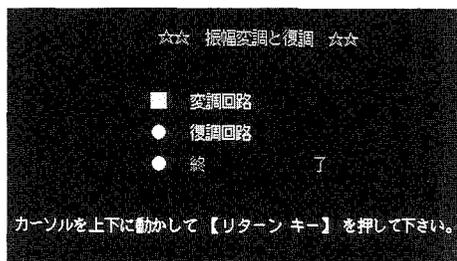


図3 サブメニュー画面

そして、この通信方式には、上側波または下側波信号のみ伝送する（搬送波をわずか残す場合もある）単側波帯 (single said-band : SSB)

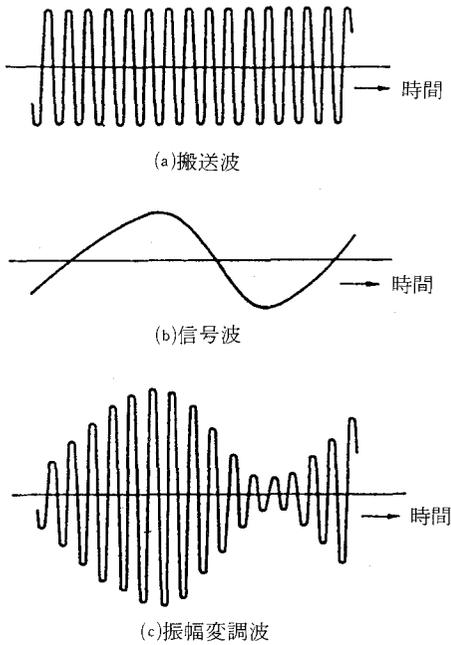


図4 振幅変調の動作説明

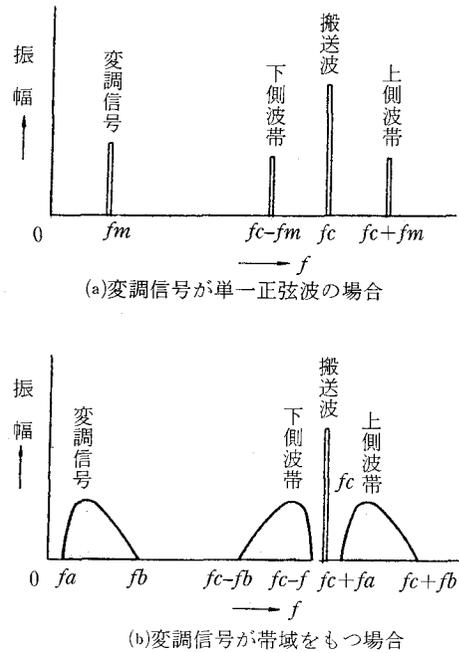


図5 振幅変調波の周波数スペクトル

方式と、搬送波を残すか、あるいは、この抑制を行った両側波信号を用いる両側波帯 (double said-band : DSB) 方式<sup>(7)</sup>があることを徹底しておく。

そして、SSB方式は、短波帯やVHF帯の通信で広く使用され、DSB方式は、中波ラジオ放送や多重通信で用いられることなど、両方式の特徴を含めて応用面の教授を行い、指導書中のワークシートにこの要点整理をさせる。なお、高専や教員養成学部では、テレビの画像電波は、搬送波と上側波帯および下側波帯の一部のみを伝送する残留側波帯 (vestigial said-band : VSB) 方式が採用されていることも加えて学習させる。

(b) プロダクト変調回路の実験

振幅変調回路の実現形式 (コレクタやベース変調, リング変調回路など) の中で、IC掛算素子を用いるプロダクト変調回路の位置づけと特徴、及びこの回路入力に搬送波:  $E_c \cos \omega_c t$ , 入力信号波:  $E_m \cos \omega_m t$  を加えた場合、これらの掛算出力として  $e_o$  の変調波が得られる動作原理をCRT画面上の図6により解説教授する。

そして、図7(a)に示す画面の指示コメントに従って、搬送波の  $E_c$  と  $f_c$  値, 信号波の  $E_m$  と  $f_m$  値を入力させ、得られる変調結果が同図(b)に例示するシミュレーションを、 $E_c$  に対する  $E_m$  値の変更毎に実行させ。

このシミュレーションで得た変調出力波の波形形状と入力波形の観測から、搬送波振幅が信号波の瞬時値で変調される動作のしくみの確認

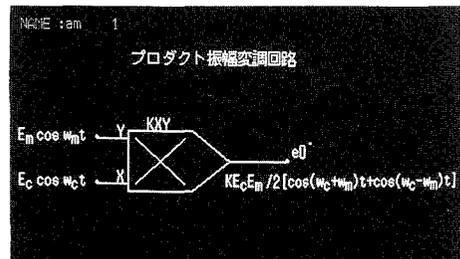


図6 プロダクト振幅変調回路の動作原理

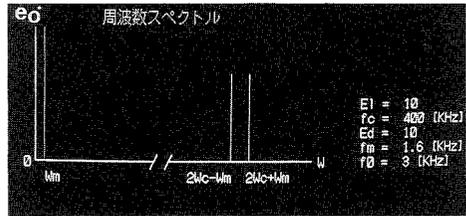
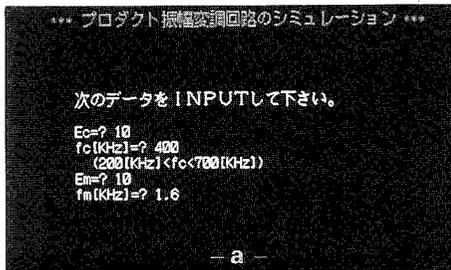


図8 周波数スペクトルのシミュレーション結果

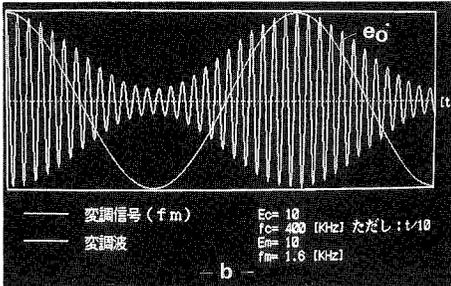


図7 変調動作のシミュレーション結果

と、変調される割合、つまり変調度は、通常、 $m = (E_m / E_c) \times 100(\%)$ で定義され、これが、振幅変調動作を規定する重要な定数となることを掌握させる。

また、 $e_o$ の周波数スペクトルを調べるシミュレーションを実行させ、これより得た図8から、 $e_o$ の変調信号の角周波数 $\omega_m (= 2\pi f_m)$ に対する変調波の周波数成分は、搬送波が抑制された上下側波成分からなることがわかり、この

変調回路での情報伝送は、DSB方式であること、つまり、平衡変調動作をすることを確認して、次ステップの教材回路実験に進む。

図9は、代表的なIC掛算素子・MC1596を用いた教材回路で、図中の点線で囲む $P_1$ 部を除けば、図6の原理図を即、実現した回路に、 $P_1$ 部を接続すれば、変調度 $m$ が、変調信号に加える直流電圧で容易に可変設定でき、この回路の変調出力 $e_o$ は、次のようになることを承知させて、次ステップに進む。

$$e_o = KE_m E_c \cos \omega_c t + \frac{m KE_m E_c}{2} \left[ \cos(\omega_c + \omega_m) + \cos(\omega_c - \omega_m) t \right]$$

教材回路の実動実験は、図2の主メニューの関係項目を選択し、CRT画面上の解説指示に従って、教材回路の駆動と計測システムの利用による特性測定の前準備を行わせ、システム操作法の説明を参照しながら、 $P_1$ 部を除去した場合と、 $P_1$ 部を使用した回路の変調動作の波形観測、変調度特性及び、変調波の周波数スペクトルの測定を行わせる。ただし、これらの実験

では、この計測システムの扱える周波数上限を配慮して、搬送波周波数は中波ラジオの放送電波で使用されるものの $1/100$ 程度・ $f_c = 5 \sim 15 \text{ KHz}$ とし、信号周波数は $f_m = 200 \sim 500 \text{ Hz}$ の範囲を使用する。

変調度特性の実験は、 $P_1$ 部除去回路の変調動作の波形観測に併せて、 $E_c$ に対する $E_m$ 値を可変設定し、この場合のCRT画面上の出力変調波形(図10(a))から、 $V_1$ と $V_2$ 値を読み取り、この値をデータ処理して画面上に得た同

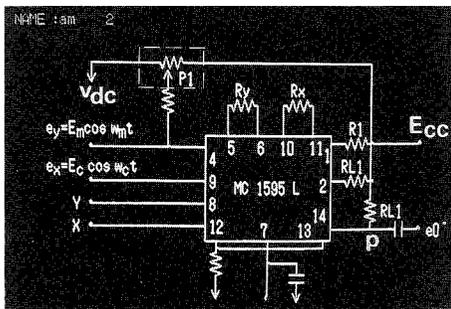
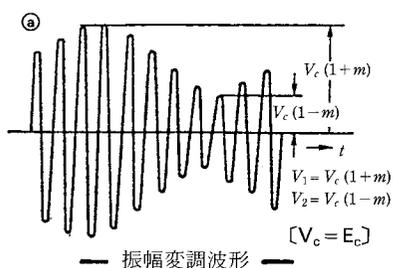


図9 教材用プロダクト変調回路

図(b)の変調度特性をハードコピーさせておく。また、 $P_1$  部使用の回路では、 $E_m$  値を  $E_c/N$  (ただし、 $N > 1$ ) に設定しておき、 $P_1$  点の直流電圧値を可変時の変調度特性を同手法で実測し、 $P_1$  部除去回路で得る特性との比較をさせる。

そして、 $e_o$  の周波数スペクトル実験では、 $P_1$  部使用及びこれを除去した回路の各周波数スペクトルを計測システムのCRT画面上で実測させ、前者での実測結果・図11、後者で得る図8のシミュレーション結果と同様な周波数スペクトルの実測結果を、それぞれハードコピーさせておき、前者回路での  $f_c$  に対する  $f_m$  値の2～3変更時におけるスペクトル分布を観測し、 $f_c$  に対する上下側波信号の位置変化についても調べさす。

さらに、図12に示す実用化回路例としての教材回路を、搬送波周波数・ $f_c = 10\text{MHz}$ 、信号波周波数・ $f_m = 1 \sim 10\text{kHz}$  に設定して駆動し、かつ、 $E_c$  に対する  $E_m$  値を2～3可変設定して得られる出力変調波の観測をシンクロスコープによって行う。そして、この回路では、P点でのDSB波を出



$$m = \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2} \quad \text{変調度}$$

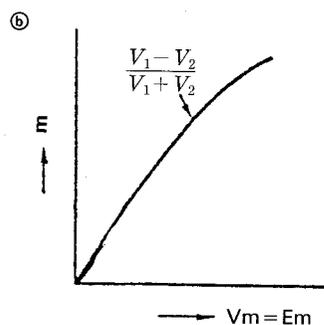


図10 変調度特性

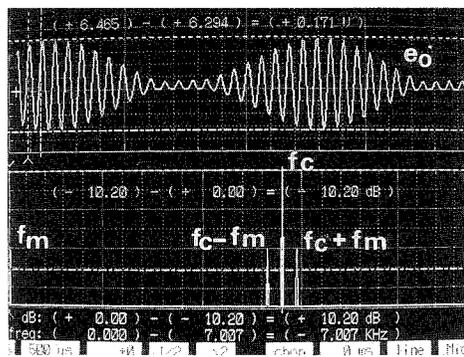


図11 変調波の周波数スペクトル (実験結果)  
—  $P_1$ 部使用の場合—

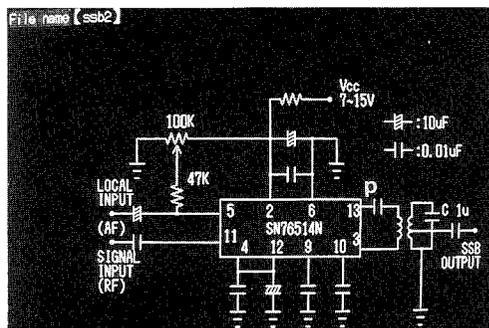


図12 プロダクト変調の実用回路例  
(教材用)

カトランスの2次側共振回路を介してSSB出力を得ていることも承知させ、この課題の「まとめ」と考察課題を与えて本時を終了する。なお、この教材回路の実験を高専や教員養成学部で実施の場合は、実用化回路での変調特性に関する実測も加える。

### 3. 2 振幅復調回路の実験

振幅変調波から伝送情報としての信号成分を取り出す復調回路の実験では、まず、指導書とCALファイルの解説演示教材の併用により、復調の基本原則とその方法、回路形式、この用途についての概要<sup>(7)</sup>と、本課題実験の目的や方法について教授した後、次のように学習展開

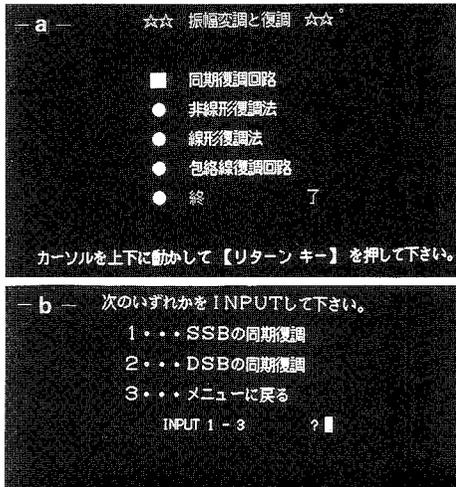


図13 サブメニュー画面

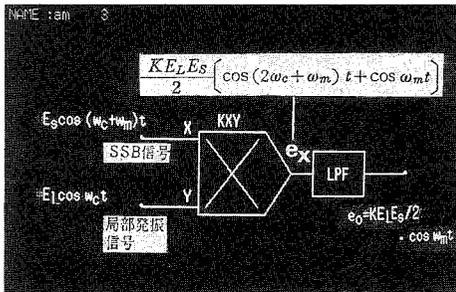


図14 同期復調回路の動作原理

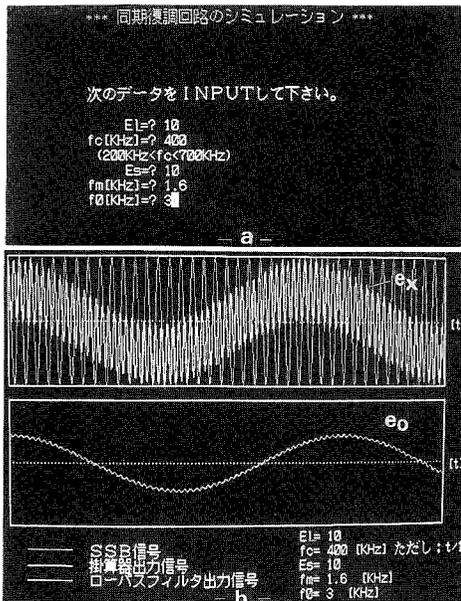


図15 復調動作のシミュレーション結果

を行う。

図3のサブメニューから呼び出された図13(a)のメニューより同期復調回路（プロダクト変調回路とも呼ぶ）を、同図(b)のメニューからはSSBの同期復調を選択する。

図14は、CRT画面で得るこの単側帯波（SSB）信号入力時の同期復調原理を示したもので、この動作はSSB信号・ $E_s \cos(\omega_c + \omega_m)t$ と、搬送波と同一周波数の局部発振信号・ $E_L \cos \omega_c t$ を掛算器に加えると、その出力 $e_x$ は、図中に示すようになり、これよりローパスフィルタで搬送波成分を取り除くと、図中の信号出力 $e_o$ が得られる動作原理の掌握をさせ、次ステップの動作シミュレーションを行う。

この復調動作のシミュレーションは、図15(a)に例示の指示コメントに従って局部発振信号の $E_L$ と $f_c$ 、SSB信号の $E_s$ と $f_m$ 値をそれぞれ入力させ、同図(b)に $e_x$ と $e_o$ の結果を示すシミュレーションを $E_s$ と $f_m$ 値を2～3変更入力させて実行し、結果の一例をハードコピーさせておく。なお、ここで、(b)図の $e_x$ から $e_o$ を取り出すローパスフィルタは、伝達関数 $H(j\omega)$ が、次式で与えられる1次のアクティブフィルタを使うものとしてシミュレーションプログラムの作成をしている。

$$H(j\omega) = 1/\sqrt{1 + (\omega CR)^2}$$

図16は、 $e_x$ の周波数スペクトルのシミュレーション結果であり、これよりローパスフィルタの設計時における遮断角周波数の設定は、 $2\omega_c + \omega_m$ より充分低く、かつ、 $\omega_m$ の必要帯域上限より高く行えば、 $2\omega_c + \omega_m$ 成分の除去ができ目的とする $e_o$ の取り出しが可能なることを理解さす。

そして、図17の実用的にもよく使用されている教材用復調回路の実動実験を、図12の教材用変調回路で得るSSB信号を使って行う。

この実験は、シンクロスコープと計測システムを併用し、前者で $e_x$ の波形観測を、後者により $e_o$ 波形とこのスペクトル測定をCRT画面上で行い、図18にこの結果を示すハードコ

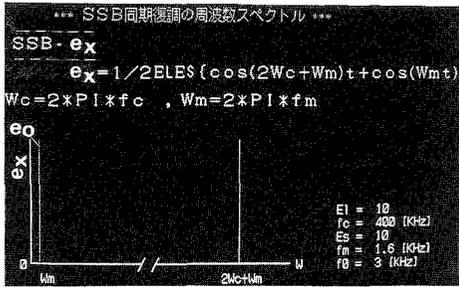


図16 掛算器出力・ $e_x$ の周波数スペクトル (SSB入力の場合)

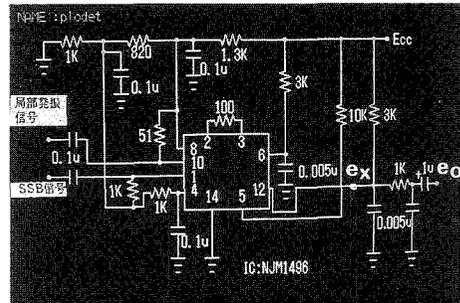


図17 教材用同期復調回路

ピーを取らせ、図15のシミュレーション結果との比較をさせておく。そして、この復調法の基本動作のしくみや用途と特徴についてのまとめを行い、次ステップに進む。なお、この実験を高専や教員養成学部で実施の場合は、DSB信号入力時の図19に示す動作シミュレーションも加える。

ラジオ受信機や一般無線機器などでは、ダイオードの整流作用を用いる線形復調(平均値復調または、平均値検波とも呼ぶ)と包絡線復調回路を採用することが多いことから、この両者の実験も行う。

図20は、CALファイルからCRT画面上に呼び出した線形復調と包絡線復調回路の動作原理を示したもので、これを演習教材として両回路動作のしくみを学習させ、図13のサブメニュー選択で得る図21(a)線形復調回路の動作シミュレーションを実行する。

図21(b)は、同図(a)の変調波  $V_{am}$  入力時におけるシミュレーション結果を例示したものである。このシミュレーションの実行は、変調入力の  $E_m$  と  $m$  の値を2~3変更して行い、この結果の一例をハードコピーさせておく。そして、このシミュレーションの実行より、復調動作のしくみは、ダイオードの  $V_d$  と  $I_d$  特性の線形部分を使い  $V_{am}$  に比例する整流電流をRの端子電圧  $V_d$  として得、この平均値を図20(a)の回路部 ( $R_f$  と  $C_f$ ) を介して復調出力  $V_{out}$  を取り出すものであることを掌握させる。

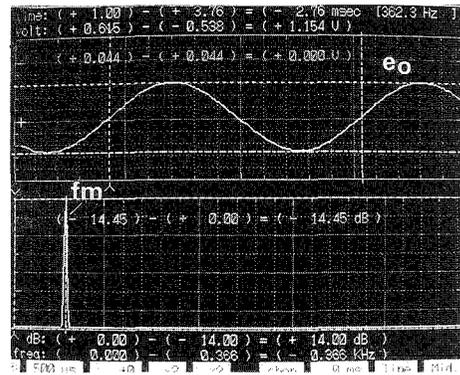


図18 復調波の周波数スペクトル (実験結果)

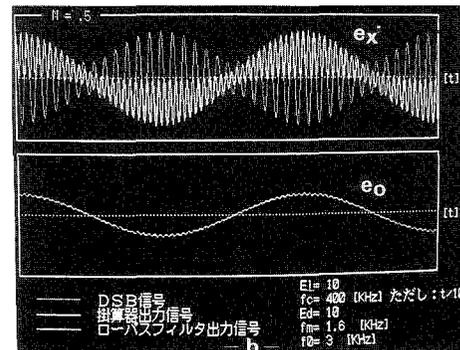
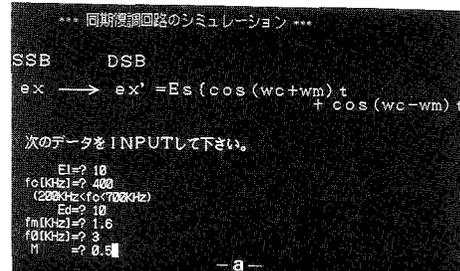


図19 復調動作のシミュレーション結果 (DSB入力の場合)

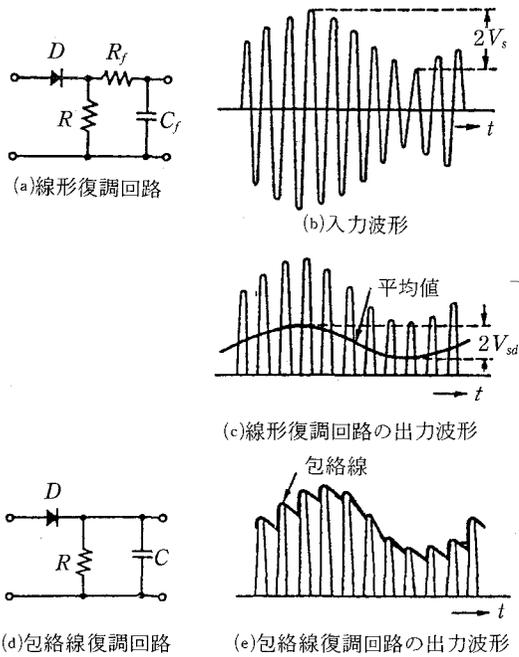


図20 線形（平均値）復調回路と包絡線復調回路の動作原理

次に、この線形復調動作と包絡線復調の差違は、前者がRの端子電圧  $V_d$  の平均値を取って復調出力  $V_{out}$  を得たのに対し、後者では、RにCを並列接続し  $V_d$  波形のせん頭値を保持し、この包絡線波を復調出力とするものであることを徹底させる。また、この回路は、図22(a)に示すように、中間周波トランス（IFT）の2次側に設置することが多く、ラジオ受信機等では同図(b)に示す搬送波成分の除去効果を高めるフィルタと、AGC（自動利得調整）機能も付加して用いられることを承知させた後、この回路の設計を行わせる。

良好な復調出力を得るための回路設計は、RCの時定数を、搬送波（周波数・ $f_c$ ）の一周期より充分長く、変調信号の上限周波数（ $f_m \cdot \max$ ）の一周期より充分短くすることが必要で、このための条件

$$2\pi/f_{m \cdot \max} R \gg C \gg 2\pi/f_c R$$

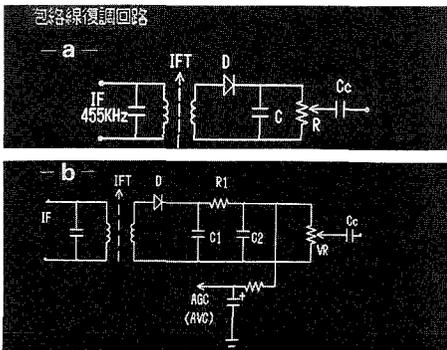


図22 包絡線復調回路

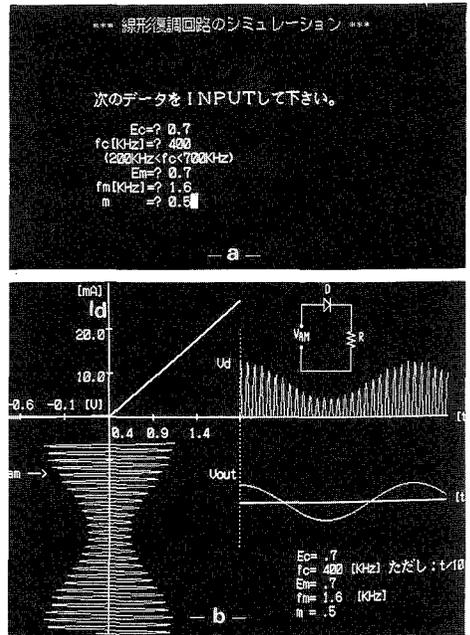


図21 線形復調動作のシミュレーション結果

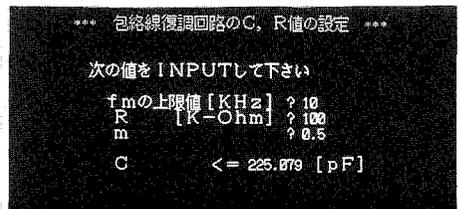


図23 包絡線復調回路の設計

をみたくR, C値の算出プログラムの実行を通して行う。図23は、画面上の指示コメントに従う入力条件での設計結果である。なお、この設計は、R値の2~3変更入力時についても実行させておく。

線形及び包絡線復調回路の復調効率特性の実験は、図24(a)(b)に示す教材回路のいずれかを選択させて、図12の教材回路で得る振幅変調波を復調回路入力に使い、図中の復調効率 $\eta$ を求める $V_{sd}$ ,  $V_s$ 値はシンクロスコープで測定することにより実施する。そして、m値をパラメータとしR値を変可変設定した場合の $\eta$ 値を図24(c)に示す復調特性としてグラフ紙に整理させ、本時のテーマのまとめと考察課題を与えて実験を終わる。

この復調回路の実験を高専や教員養成学部で実施の場合は、非線形復調回路を加え、かつ、線形及び包絡線復調回路の両復調効率実験を行う。

なお、工業高校におけるこれらの課題実施時間は、各3時間とした。また、これを教員養成学部で実施の場合は、4コマ(1コマ/100分)を予定した。

以上の高校での授業実践成果を確かめるために行った評価テストとアンケート結果は、既に実践報告を行った発振回路やロジック回路でのこのような実験指導の場合とほぼ同様の結果が得られ、課題授業後に行った理解度テストの平均正解率が約70%(対象人数・38名)で、これは、従来授業の形態と比較して5~10%の正答率向上があった。そして、授業実施後のアンケートでは、このような実験指導を良しとする者が70%, 理解が容易とした者が65%, 内容面では、65%の者が良いとし、時間的に内容が多いとする改善希望も30%の者からあった。更に、各課題の提出レポートでも内容面の質的向上が認められ、今後の改善は残るが、本指導法の効果は高いものといえよう。

#### 4. おわりに

通信技術を支える電子回路の中でも骨格をなす振幅変・復調回路のパソコン支援システムによる実験指導について、このシステムの構成概要と工業高校の電子科・2年生を対象に試行した授業実践の展開事例を紹介し、比較的良好な指導効果が得られることを述べた。また、これを高専や教員養成学部で実施する場合の指導試案についても示した。

この支援システムを導入しての学習展開は、変・復調法の原理学習、これらの回路形式に伴うシミュレーションを通じた動作の確認、そして、教材回路のシステム利用と通常計測器を使った実動実験による動作特性の掌握までを系統化し、学習効率の向上に配慮をして実施したが、若干の反省事項は残るものの、ほぼ期待通りの良好な指導効果が得られ、本支援システムの有効性と、この導入による実験指導法の有用性が確認できた。

なお、周波数変・復調回路や各種演算回路のパソコン支援による実験指導についても現在試

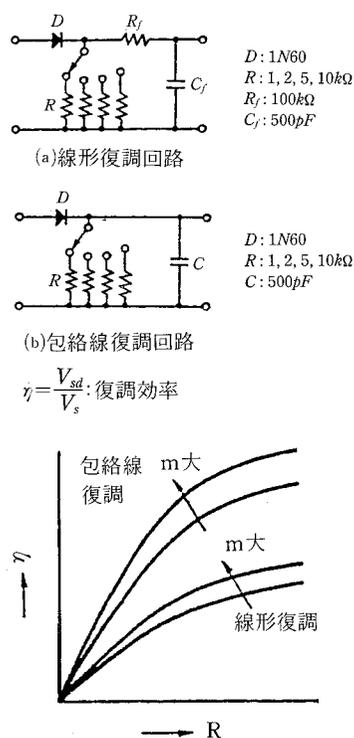


図24 教材用線形(平均値)及び包絡線復調回路と復調効率特性

行実践を重ねているが、これらについては別に報告をしたい。また、この稿をまとめるに当たり協力を願った、平成3年度の卒研生・斧 純司君に謝意を表する。

## 文 献

- (1) 宮内, 本田: “パソコン支援による電子回路の実験指導(1)” 日本産業技術教育学会誌, Vol. 28, No. 3 (1986)。
- (2) 宮内, 本田, 宮脇: “パソコン支援による電子回路の実験指導・Ⅳ, 変・復調回路” 第4回日産技四国支部大会論文集, No.05 (89-11)。
- (3) 宮内, 本田: “パソコン支援による発振回路の実験指導” 日本産業技術教育学会誌, 第32巻, 第1号 (1990)。
- (4) 宮内, 本田: “パソコン支援によるロジック回路の実験指導” 愛媛大学教育学部紀要, 第1部, 教育科学, 第37巻 (1991-02)。
- (5) 宮内, 本田: “パソコン支援による周波数変・復調回路の実験指導” 第34回 日本産業技術教育学会 全大論文集, No. (91-07)。
- (6) ANALOG PRO 及び DSS98. Type Ⅳ, ユーザーズガイドブック: カノープス電子株式会社。
- (7) 小柴典居, 植田佳典: “発振・変復調回路の考え方” オーム社 (1979)。