

パソコン支援による周波数 変・復調回路の実験指導

宮内正義*, 稲井義正*, 本田安**

(*愛媛大学教育学部技術研究室・**松山工業高校)

(平成5年4月26日)

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、この支援活用を行わない従来の指導方法と比較して、座学で学ぶ理論と実験より学ぶ実際面の統合化が容易に図れ、基本原理の学習徹底から、回路設計の概要習得、回路動作と特性及び特徴と用途の掌握までを、系統的に、しかも効率よく学習できることから、指導効果も高められることを報告してきた。(1)～(5)

本論文は、このような指導成果を踏えて実践的研究を継続中の、工業高校や教員養成学部技術科で実施する電子回路実験の重要課題の一つ「周波数変・復調回路」を対象とした実験支援システムの構成と、この活用による指導法の検討を行ったもので、試行実践例の紹介に併せて、これが効果的学習指導の一形式と成ることを示す。

本文では、まず、この実験支援システムのハード概要と、本課題実験の遂行時に使う解説演示教材、回路の動作と設計を含む特性のシミュレーションプログラム、教材回路の実働実験用に仕立て使う計測システム化のためのプログラムや実験内容の補充と深化を期すためのCALソフトなどにより構成したシステムソフトの概要について紹介する。

そして、この支援システムと発振器やシンクロスコープ等の測定器を併用して教材回路の実働実験を遂行する本課題実験の学習展開のあり方を、工業高校と学部技術科で試行した実践事例を通して検討し、このような指導方法が有効なことを述べる。

2. システムの構成

この支援システムのハードウェアは、既報の「振幅変・復調回路の実験指導」で構成したものと同一で、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解説演示と回路設計を含む動作特性のシミュレーション機能をもたせ、パソコンに教材回路の実働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と波形情報の分析を行うスペクトルアナライザーに仕立てて他の測定器(駆動電源や発振器とシンクロスコープ)との併用により、教材回路の実験を支援遂行するものである。

測定用のインターフェイスボードには、既報の課題実験で使用したK社のAnalog Pro DMAとAnalog Pro IIに相当の自作ボードを使い⁽⁶⁾、2支援システムの構成を行って複数班

の同時実験が実施できるようにした。

図1は、振幅変・復調回路と本課題実験の両者に対応可能な、支援システムの作成ソフトウェアである⁽⁵⁾。プログラム言語には、現場利用の配慮から BASIC（一部マシン語を含む）を使って対話型構成をしており、 P_2 を教材準備時の回路図作成用に、学習支援時には、 $D_1 \sim D_2$ ファイルからの必要情報を P_1 により適宜ピックアップして、実験遂行上の主プログラム・ $P_4 \sim P_5$ に結合利用できるものに仕立て、操作も、全て主メニュー（図2）やサブメニューの選択とコメント指示に従って行え、学習者の利用が極めて容易なソフト構成をしている。

P_4 の構成は、 D_3 ファイル中の周波数変・復調動作の基本原理・回路の構成法やその形式と用途に関する基礎的事項の教授支援を行う解説演示ソフトの呼び出し利用が行えるとともに、変調回路については、原理学習の徹底を期す基本動作のシミュレーションプログラム、実用回路例としてのクランプ発振回路とハートレー発振回路を用いる周波数変調回路の設計と、この各動作特性のシミュレーションプログラムで構成を行っている。

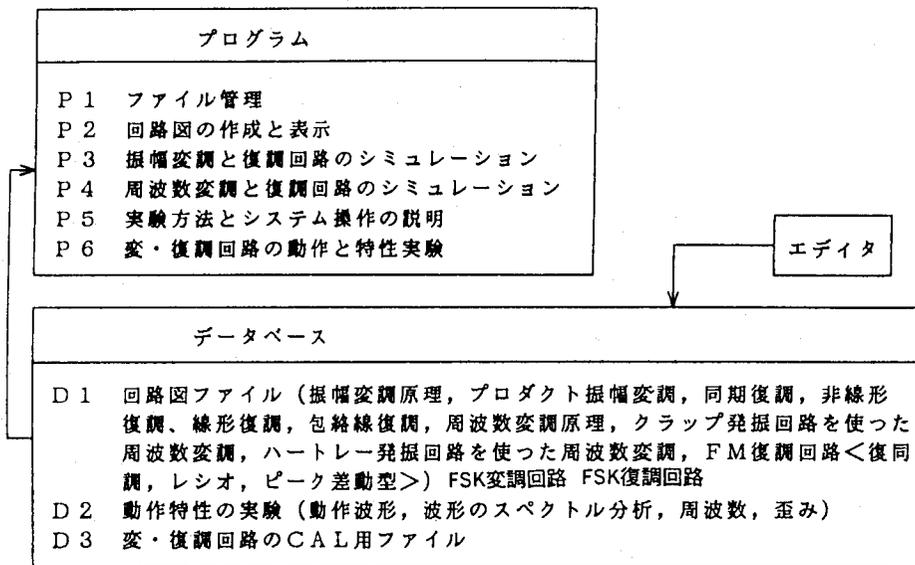


図1 ソフトウェア

☆☆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CALL
- 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

そして、復調回路については、最も代表的な復同調型復調回路の設計とS字特性動作のシミュレーションプログラム及びFMラジオやTV受像機等で多用されるようになったIC素子の採用によるピーク差動型復調回路と、従来よりなじみの深いレシオFM復調回路の動作シミュレーションプログラムをそれぞれ作成し、これらの全てをサブメニュー管理下で利用できるものにまとめてP₄ソフトの構成を行っている。そして、D₃ファイルの併用により指導計画に伴う題材回路の変更と拡張にも対応でき、効率的運用も容易なものに仕立てている。

P₆の教材回路実験に使う計測システム用のプログラムは、D₂ファイルに収録のK社のD D S・98 (Type II, Type N) に若干の機能追加を行い、波形観測や波形のスペクトル分析と歪みの測定用プログラムが呼び出し利用できるように構成したもので、これに測定データの処理用プログラムを加え、これがP₅の実験方法や計測システムの操作法の解説を参照して容易に使用できるものとしている。

更に、D₃ファイルには、本課題実験に必要な解説演示材ソフトと、考察課題に関連する諸問題を学習強化用としてQ/A形式のCALに仕立て、これを操作の容易なメニュー管理形式にまとめて収録した。尚、P₄として、FSK変・復調回路の実験指導プログラムを作成しこの支援システムのソフト構成を行ったが、本稿では、この課題は扱わないため、これを割愛した。

3. 授業の展開

この支援システムは、工業高校や高専の電気・電子科、教員養成学部 of 技術科等で実施する振幅及び周波数変・復調回路の実験指導全般に対応できる構成をしているが、ここでは、振幅変・復調実験に引き続いて行う本課題実験の指導を、工業高校の電子科及び教員養成学部 of 技術科において試行してみたので、この実践事例を高校のそれに学部での付加事項を併せて紹介し、この指導法を検討しておく。

高校電子科2年生、または3年生、学部技術科3回生を対象とした授業展開は、それぞれのレベルに合せた指導書と支援システムの解説演示教材に基づく教授や対話式のメニューコメントに従い、ステップ毎の理解度を確認しながら遂行した。

3-1 周波数変調の基本原則とFM変調回路の実験

通常、振幅変・復調回路の実験指導後に実施するこの課題項目の実験では、まず、振幅変調と周波数変調の相違点やこの必要理由と特徴及び用途の概要教授を行い、本時の学習目的と方法を指導書により確認後、次の手順で学習展開を行う。

(a) 周波数変調の基本原則⁽⁷⁾

支援システムの駆動後、図2の主メニューの項目選択で得たサブメニュー(図3)より変調回路を指定し、CRT画面上に図4の周波数変調の原理図を呼び出す。

この原理図を解説演示教材として、周波数変調(FM)とは、図4(a)の①に示す振幅が一定の搬送波の角周波数を、信号波(変

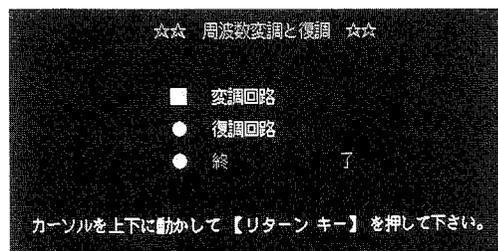


図3 サブメニュー画面

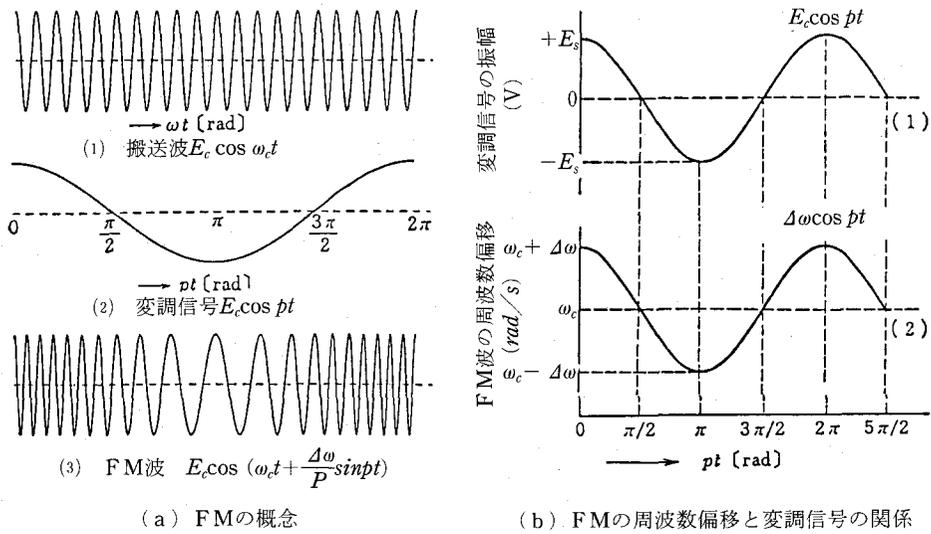


図4 周波数変調 (FM) の原理

調信号とも呼ぶ、同図②)の振幅に比例させて変化し、同図③) FM波を得る変調方式であること、また、FM波の周波数偏移と変調信号の関係は、同図 (b) で表され、FM波電圧 $V_{fm}(t)$ は、次式で与えられることを教授する。

$$V_{fm}(t) = E_c \cos(\omega_c + m_f \sin Pt) \tag{1}$$

ただし P = 信号波の角周波数

ω_c = 搬送波の角周波数

E_c = 搬送波の電圧振幅

$m_f = \Delta\omega / P$, ($\Delta\omega = 2\pi \Delta f$): 変調度

そして、図4に接続して呼び出されたCAL演示教材を使い、この変調法は振幅変調に比べて信号の周波数帯域が同一である場合、圧倒的に周波数帯域幅が広く、このため搬送波はVHF帯 (30 MHz ~ 300 MHz) を使う必要があり、実用通信ではUHF帯 (300 MHz ~ 3 GHz) が多用されていること、従って、そのサービスエリア (放送電波が良好な品質で到達する範囲) は可視範囲に限定され、可視範囲以外の地域に妨害を及ぼすことがなく、本質的に外来雑音からの妨害を受けにくい強さをもっており振幅変調では不可能な良質通信方式を提供できる大きな特徴を持つことを解説し、身近な使用例にはラジオのFM放送やテレビの音声放送があり、この他にも公衆通信 (電話) やデータ通信などの多重通信方式、宇宙通信など広い応用面があることなど、座学での理論学習の復習を兼ね基本原理から、その特徴及び用途に関する解説教授を行い理解の徹底を期して、次のステップのシミュレーション実験に移る。

この変調原理の理解を徹底させるためのシミュレーションプログラムは、諸種の変調回路形式があるが、搬送にはVHF帯か、それ以上の周波数帯が用いられることから通常の変調回路には、倍周器、つまり倍周比がNの周波数進倍器が付加され実用回路を構成することが多い。従

って、この場合の変調波 $V_{fm}(t)$ は

$$V_{fm}(t) = E_c \cos \{N\omega_c t + N(\Delta\omega/P) \sin Pt\} \quad (2)$$

となり、この倍周比・Nも配慮して作成したものである。

動作シミュレーションの実験は、教授学習時のCAL演示教材提示後に呼び出された図5の定数コールに従って所要の定数を入力し、図6に結果を例示の動作シミュレーションを行わせる。

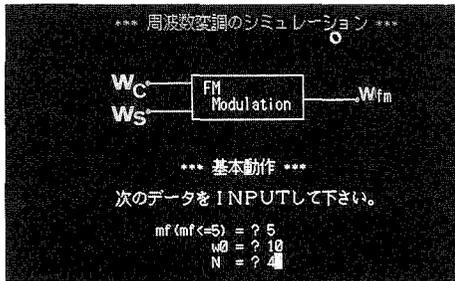


図5 変調動作シミュレーションの定数値入力画面

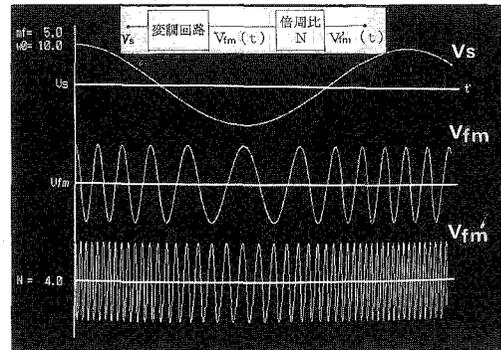


図6 FM変調動作のシミュレーション結果

このシミュレーションは、変調率の m_f 値、倍周比Nを2～3変更させて実施させ、この過程で動作原理と m_f やN値のFM波形状に及ぼす役割を掌握させます。

尚、この項目を養成学部で行う場合は、ここで割愛した位相変調の原理や用途に関する教授も加え、特にFM変調との関連を理解させ、知識の広がりや深化を図っておく。

(b) FM変調回路の実験

周波数変調波を得るには、(i) 発振回路の共振部に使われるインダクタンスLやコンデンサCを変調信号で変化させることにより、直接発振周波数を変調信号によって変化させる直接周波数変調回路と (ii) あらかじめ発生させてある搬送波の位相を、変調信号を積分回路に通して得た信号に対応して変化させ、等価的に周波数変調を行う直接周波数変調回路の2方式があるが、この項目実験では、実用的にも良く使われ、仕組の理解も容易な (i) の方式回路を選び、この指導を行った。

学習の展開は、画面上に呼び出したCAL演示教材により直接周波数変調回路の構成形式には (イ) LC自励発振器の共振回路部に可変容量ダイオード (バラクタダイオードとも呼ぶ) を並列接続配置して用いるクラップ発振回路と、ハートレー発振回路による変調回路、(ロ) トランジスタ回路の等価リアクタンスを同調要素に採用するリアクタンストランジスタ変調回路、(ハ) コンデンサマイクロホンを用いる変調回路があることを、これらの構成法とその特徴を含めて解説教授する。

その上で、本項目実験で扱う可変容量ダイオードを用いた変調回路 (図8) を、図7のサブメニューを介して画面上に呼び出し、同図、(a) (b) 2形式回路の発振周波数 f_c は、

$$f_c = 1 / 2\pi \sqrt{LC_T} \quad (3)$$

ただし、(a) 回路の場合

$$C_T = \frac{C_1 C_2 C_D}{(C_1 + C_2) + C_1 C_2}, \quad C_D = \frac{C_P + (C_d + C_3)}{C_P + C_d + C_3}$$

(b) 回路の場合

$$L = L_1 + L_2 + 2M, \quad M \text{ は } L_1, L_2 \text{ の相互インダクタンス}$$

$$C_T = C_1 + \frac{C_1 C_d}{C_2 + C_d}, \quad C_1 \text{ には FET の入力容量も含める}$$

となり、ここで、バリキャップダイオードの容量 C_d は V_s 電圧により可変されることから f_c 偏移が得られ、これらの回路でFM変調が行えることを指導書により学習さす。

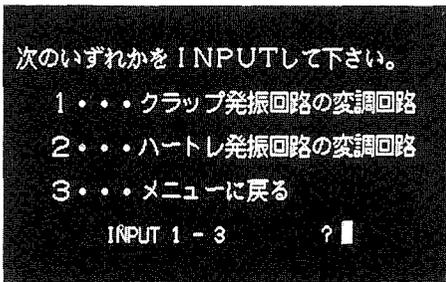


図7 メニュー画面

併せて、この回路設計においては、変調器の特性として通常要求される、発振周波数の帯域と変化範囲、 C_d の制御電圧範囲、最大周波数偏移より、バリキャップダイオードの選択と発振定数の設定が必要であることを教授し、バリキャップダイオードの動作特性を理解するためのシミュレーション実験に進む。

図9は、この C_d 可変特性に関するシミュレーション結果の例示である。これはバリキャップダイオードの C_d 値が

$$C_d = C_o / (1 + V_r / V_d) \tag{4}$$

ただし、 C_o : バイアス電流0での容量値

V_o : 拡散電位

V_r : 逆バイアス電位 ($= V_{ro} \pm V_s$, V_{ro} : バイアス電圧)

で与えられることから、教材回路に採用したダイオード・1 SV 101 (T社製) の定数値 (C_o , V_d , n 指導書に記載) を画面上のコールコメントに従って入力させた場合の実行結果で、このシミュレーションの実施によりダイオードの V_r に対する C_d 値の可変特性を掌握させる。

そして、この C_d 特性のバリキャップダイオードを用いたFM変調回路 (図8) で得られる周波数偏移特性のシミュレーションを実施さす。

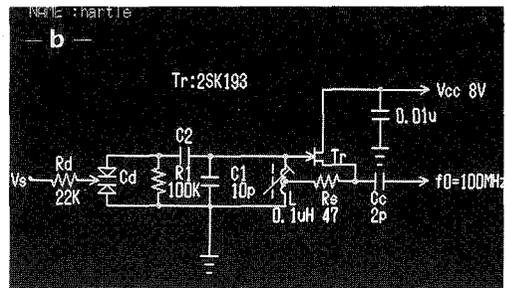
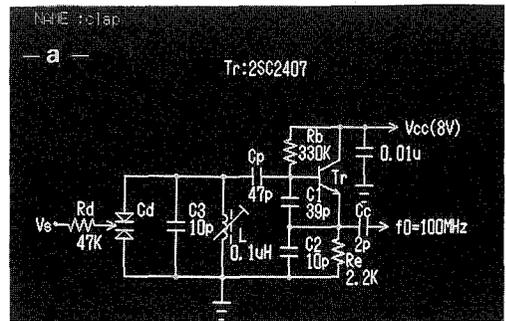


図8 クラップ発振型FM変調回路 (a) とハートレ発振型FM変調回路 (b)

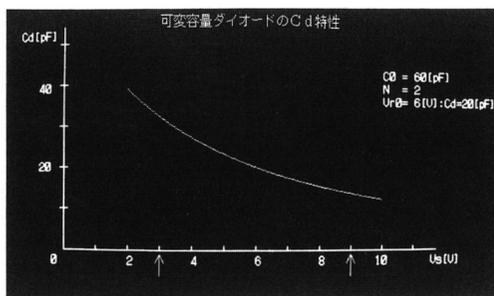


図9 可変容量ダイオードの C_d 特性 (シミュレーションの結果)

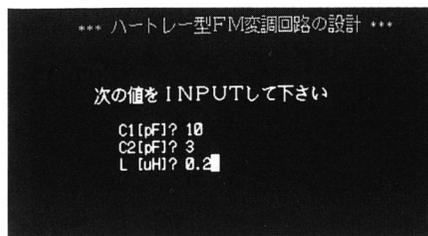


図10 定数値入力コール画面

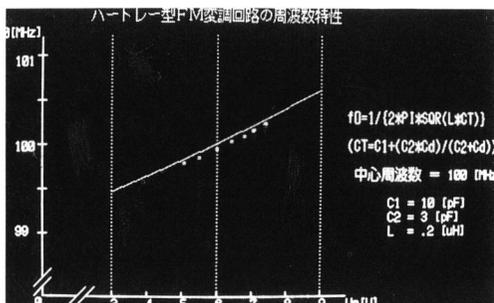


図11 ハートレー型FM変調回路の周波数偏移特性 (シミュレーションと実測結果)

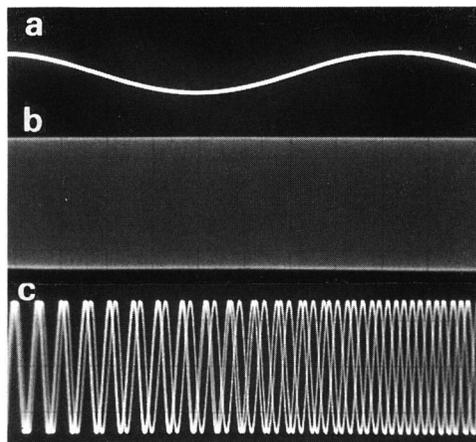


図12 変調信号とFM波の電圧波形例
 $\left[\begin{array}{l} \text{Time Div: } c/b = 1/2000 \\ f_s = 10\text{KHz}, f_0 = 100\text{MHz} \end{array} \right]$

図11は、ダイオードの C_d 値を20 pF ($V_r=6[V]$) としたときの搬送発振周波数 f_c を100 MHz に設計したハートレー型FM変調回路 (図8 (b)) の周波数偏移特性の例示で、図10の画面コールによる回路定数入力時に得たシミュレーションの実行結果である。なお、クラップ型FM変調回路 (図8 (a)) については、2班で同時実験指導を行うため片方の班でこれを実施させ、本課題実験終了時に未実行回路のシミュレーション結果はハードコピーを取らせたものを互いに提供させ考察課題の資料として使わす。

教材回路の実働実験は、シミュレーションを行ったそれぞれの回路を対象に、 V_r 電圧 (直流) の可変設定に伴うFM出力波形のシンクロスコープによる観測とカウンターでの周波数偏移特性の計測を行わせる。図11中の実測点表示は、ハートレー型FM変調回路の実験結果で、学習者にはシミュレーションで得た周波数偏移特性のハードコピー上にカウンターの読み取り値を整理させるとともに、図12に例示の変調信号 (同図 (a)) 入力時の出力FM波 (同図 (b) (c)) をシンクロスコープにより観測させ、このFM変調回路の考察課題を与えて本時を終わる。

3-2 周波数復調回路の実験

振幅一定で、周波数が変調信号の振幅変化に対応して変化している周波数変調波から信号成

分を取り出す周波数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、復調原理とその方法、回路形式やこの用途についての概要及び本課題実験の目的と方法について教授した後、次の様に学習の展開を行う。

(a) 周波数復調回路の動作原理とこのシミュレーション実験

図3のサブメニューから呼び出された図13のメニューより復同調型周波数復調回路を選択する。

図14は、CRT画面上に呼び出された二つの包絡線検波回路の組み合わせから成るこの復調回路の基本構成図で、同図から、一次側のLCの同調回路を入力周波数変調波の中心周波数 f_0 (角周波数 ω_0)に同調させ、二次側の L_1C_1 の同調回路の共振周波数を f_0 より少し高い周波数 f_H (角周波数 $\cdot \omega_1$)とし、 L_2C_2 の同調回路の共振周波数を f_0 より少し低い周波数 f_L (ω_2)とすると、二次側の二つの同調回路は対称的に接続され、かつ、それぞれの端子電圧を包絡線検波して差動的に合成しているので、この復調回路の出力特性は、図16に示すS字特性(同図中の V_o 曲線)が得られる。

これより入力周波数が V_0 の時は、 L_1C_1 と L_2C_2 の同調回路の出力は等しく、これによる包絡線検波出力も等しくなって復調出力電圧は零となる。入力周波数が $f_0 + \Delta f$ の時は、 L_1C_1 の同調回路の出力の方が L_2C_2 の同調回路の出力より大きくなり、包絡線検波出力は両者の差であるから復調出力端子には、正の電圧が出てくる。また、入力周波数が $f_0 - \Delta f$ の時には、逆に L_2C_2 の同調回路が L_1C_1 の同調回路の出力より大きくなり包絡線検波出力を取り出す復調出力電圧は負となり、入力周波数の変化が復調出力端子では電圧の振幅変化に変

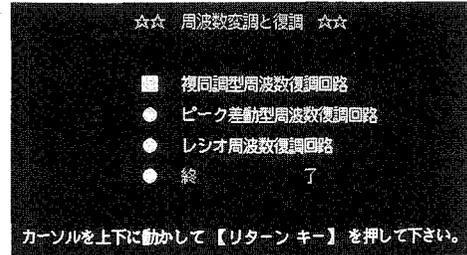


図13 メニュー画面

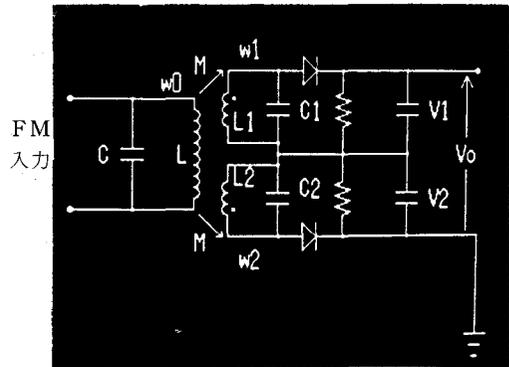


図14 復同調型FM復調回路

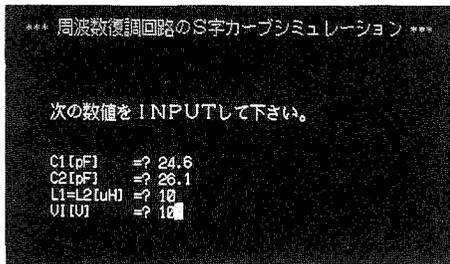


図15 復調動作シミュレーションの定数値入力コール画面

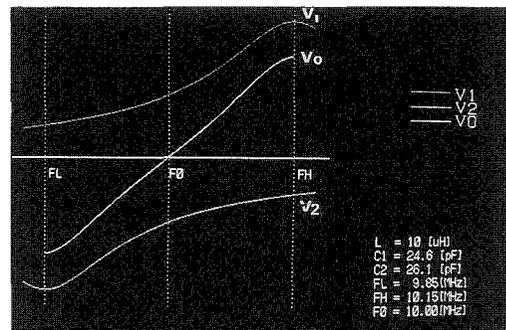


図16 S字特性のシミュレーション結果

換されるので、この回路で周波数変調波を復調できることを解説教授し、この動作確認のためのシミュレーション実験に進む。

図16は、図15の回路定数入力時における L_1C_1 、 L_2C_2 同調回路の共振特性 (V_1 、 V_2) とS字特性 (V_0) のシミュレーション結果で、図17は、 f_0 を10 MHz とするFM波の周波数偏移 F_d を a, b, c に設定した場合に得られる復調出力電圧特性のシミュレーション結果を示したものであり、いずれもハードコピーをとらせ、このシミュレーション実施を通して、復同調型復調回路の動作理解の徹底を期す。

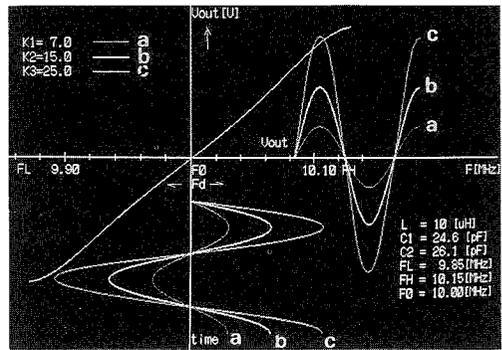


図17 復調動作のシミュレーション結果

次に、図13のメニューよりピーク差動型FM復調回路を選択し、CRT画面上に呼び出され

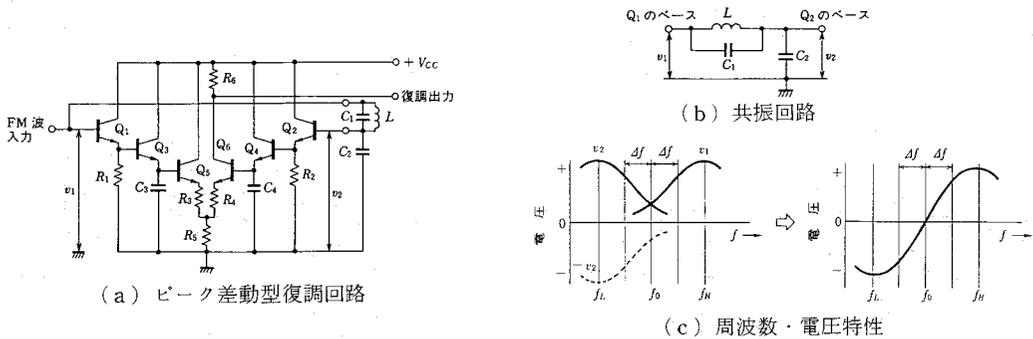


図18 ピーク差動型FM復調回路と動作特性

た図18の回路と動作原理図を基に、最近ではICを用いたこのタイプの復調回路が良く使われていることを初め、復調動作の仕組みについて、次の様に解説教授する。

トランジスタ $Q_1 \sim Q_6$ から成る IC 素子を用いた図18 (a) 回路の周波数動作を定める同図 (b) から、 Q_1 のベースから見た共振周波数 f_H [Hz] は

$$f_H = 1 / 2\pi \sqrt{LC_1} \quad (5)$$

であり、 Q_2 のベースから見た共振周波数 f_L は

$$f_L = 1 / 2\pi \sqrt{L(C_1 + C_2)} \quad (6)$$

となる。FM波の中心周波数 f_0 を

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C_1 + C_2 / 2)}} \quad (7)$$

とすると、 V_1 、 V_2 は同図(c)に示す様に入力周波数 f が変化することによって変化し、FM波の入力周波数偏移 $\cdot f_0 \pm \Delta f$ は電圧の変化に変えられAM波に変換される。

このAM波から搬送波成分を除去する検波回路には、エミッタホロワ検波回路がよく使われ、図18(a)の回路では、このAM検波部は Q_1 、 Q_3 、 R_1 、 R_3 、 Q_2 、 Q_4 、 R_2 、 C_4 により構成している。したがって、 Q_3 と Q_4 のエミッタには V_1 、 V_2 に比例した検波出力が得られる。ここで Q_3 の出力は Q_5 のベースに加わるが、 Q_5 はエミッタホロワ増幅器であるから、 Q_5 のエミッタには V_1 と同相の出力が得られ、これが Q_6 のエミッタに加えられる。一方、 Q_4 の出力は Q_6 のベースに加えられるが、 Q_6 はエミッタ接地の増幅器であるから、 Q_6 のコレクタには V_2 と逆相の出力が得られる。

よって、復調出力には V_1 と $-V_2$ の検波出力電圧が得られ、この回路の復調特性は同図(c)に示す様なS字特性となって、FM波を復調することができることを教授し、この動作シミュレーションに移る。図19は、FM波の中心周波数 $f_0(=F_0)$ を10 M[Hz]とし、 L と C_1 の定数値を与え、 $f_L(=F_L)$ と $f_H(=F_H)$ を定めた上でこれを満たす C_2 値を求め、かつ、適当な周波数偏移(F_d)を想定させてキー入力を行わせたS字特性と復調動作確認のためのシミュレーション結果で、この動作理解のワークシートによる確認を行い、実働実験はIC素子にTA7130Pを用いた図20の教材回路により行うことを指示して、今一つの復調回路・レシオ復調回路の教授とシミュレーション実験に進む。

図21は、図13のメニューを指定により呼び出されたレシオ復調回路(レシオ検波器と呼ぶ場

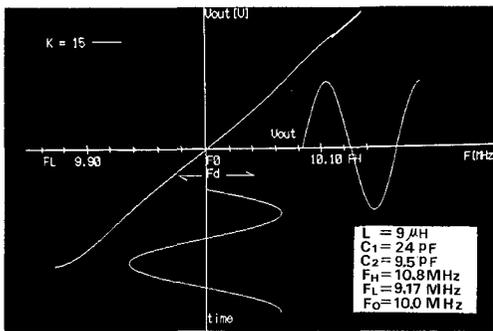


図19 復調動作のシミュレーション結果

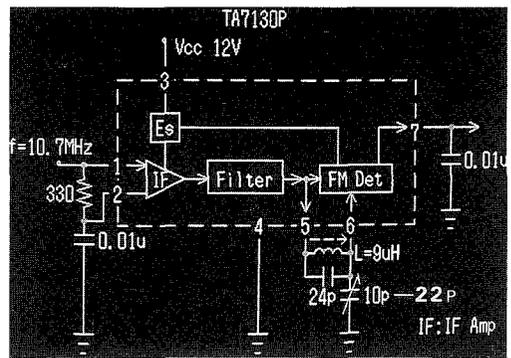


図20 TA7130Pを用いたピーク差同型復調回路

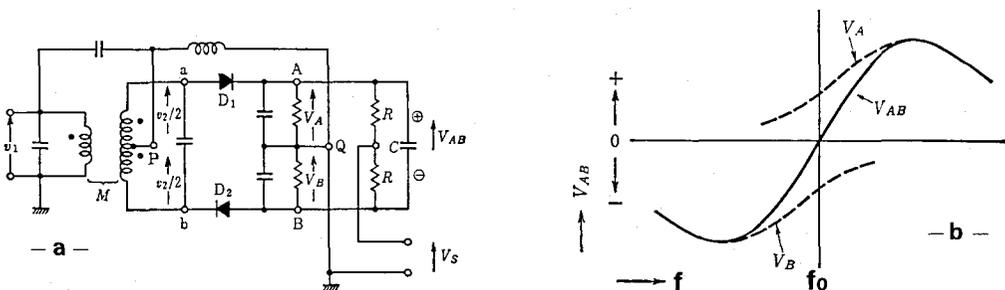


図21 レシオFM復調回路(a)と動作特性(b)

合が多い)の構成図(a)と、得られるS字特性を示したものである。

この復調回路は、本課題実験では割愛したフォスター・シーレーの復調回路を原型としたもので、この原型回路と比較し包絡線検波のダイオード D_2 が逆であること、端子A-B間が十分大きいコンデンサCで交流的に短絡されていること、Q点が接地されアースに対して回路が平衡していることなどの特徴をもち、原型のフォスター・シーレー復調回路よりリミッタの簡略化が図れるため、FM復調回路として多用されていることを教授する。

図21(a)のアースと端子a, b間の電圧 V_a , V_b は、それぞれ

$$\left. \begin{aligned} v_a &= v_1 + v_2 / 2 \\ v_b &= v_1 - v_2 / 2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\text{ただし } v_2 = -j2\pi f_0 L_2 i_2 = i_2 / j2\pi f_0 C$$

が成り立っているものとし、変調信号の角周波数 P に対して $2\pi RC \gg 1$ に RC 値を設定すると、Cの両端の直流電圧 V_{AB} は、 K を検波能率として

$$V_{AB} = V_A + V_B = K(|v_a| + |v_b|) \quad (9)$$

で与えられ同図(b)のS字特性を得、入力FM波の周波数 f が中心周波数 f_0 に等しい点で V_{AB} は

$$V_{AB} = 2K\sqrt{v_1^2 + (v_2/2)^2} \quad (10)$$

となり、 f が f_0 から極端に離れない範囲では、ほぼこの式が成り立つ。

一方、信号出力 V_S は

$$V_S = V_A - \frac{V_{AB}}{2} = -V_B + \frac{V_{AB}}{2}$$

であるので、これに V_{AB} を代入すると

$$V_S = \frac{1}{2}(V_A - V_B) = \frac{K}{2}(|v_a| - |v_b|) \quad (11)$$

となり、出力はフォスター・シーレーの復調回路の $1/2$ となる。

V_{AB} は、 D_1 , D_2 に対しては、自動逆バイアスとして作用しているため検波能率 K は

$$K \propto 1 / (|v_a + v_b|)$$

であり、これを式(11)に代入すると

$$V_S \propto \frac{|v_a| - |v_b|}{|v_a| + |v_b|}$$

さらに近似すれば

$$|v_a| + |v_b| = 2V_1$$

よって

$$v_S = \frac{|v_a| - |v_b|}{2v_1} \propto 1/2 \quad (12)$$

となり、入力レベル v_1 の大きさに関係なくほぼ一定に保たれるので、雑音のような速い振幅

変動には出力は応答せず，原理的にリミッタが不要な復調回路であることを教授し，S字特性を得るシミュレーションを実施させ，図22の教材回路の紹介を行い実働実験に移る。

尚，この復調回路の動作原理の教授と復調動作の仕組み理解のためのシミュレーション実験は，高校で行う場合，実働実験に対応する復調回路形式のみを行い，教員養成学部においては，2形式を対称に学習展開を行う。

(b) FM復調回路の実働実験

この課題実験で用意した教材回路は，図14の復同調型復調回路の入力側に中間周波増幅器(10 MHz)を付加したもの，図23に外観図を示す図20のピーク差動型復調回路(a)と図22のレシオ復調回路(b)であるが，工業高校では2班で授業実践を行うため復同調型とピーク差動型復調回路を採用し，班別にいずれか片方の実働実験を行わせる。

供試教材回路の実働実験は，FM波の信号源に自作の電圧制御発振器($f_0 \pm \Delta f = 10 \text{ MHz} \pm 1 \sim 50 \text{ KHz}$)を使い，波形観測には2現象シンクロスコープを，復調出力電圧波形のスペクトル測定には，このために構成をしたパソコン計測システムを使い，指導書と計測システムの操作法に関する解説画面を参照させながらこの実験の遂行をさせた。

図24は，ピーク差動型復調回路のFM波入力信号 V_{fm} (10 MHz \pm 5 KHz) と復調出力電圧波形 V_0 のシンクロスコープによる観測結果で，この実験では変調波正弦波信号の周波数を

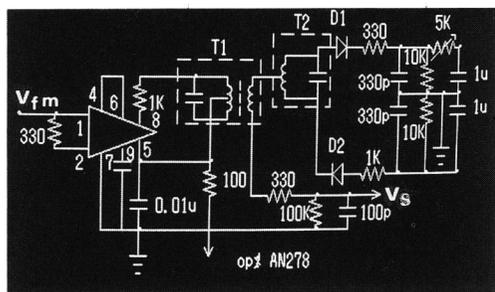


図22 AN278を用いたレシオFM復調回路

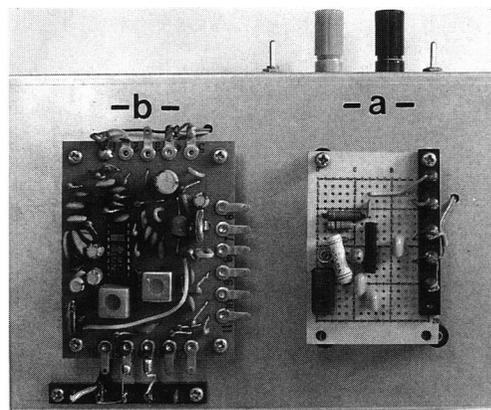


図23 教材用回路の外観
a : ピーク差動型FM復調回路
b : レシオFM復調回路

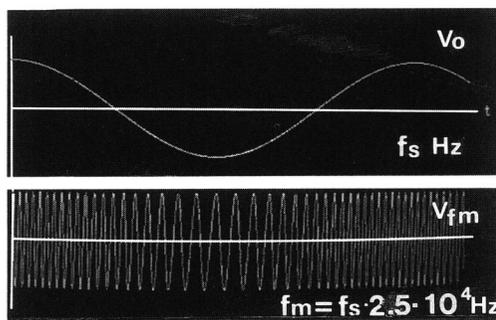


図24 ピーク差動型FM復調回路の入出力電圧波形例

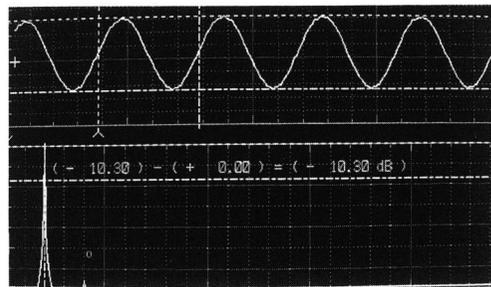


図25 復調出力電圧波形とスペクトル

2～3可変設定（例 5, 20, 40 KHz）させ、FM波入力に対する復調出力電圧の波形観測を行い、この一例をスケッチさせておく。

そして、計測システムの利用により、図25の復調出力の質的検討にかかわる電圧波形とスペクトルの測定を行う。

この測定結果は、変調信号周波数が5 KHzの例示であるが、1 KHzと10 KHzの場合についても測定を実施させ結果の一例をハードコピーしておく。さらに、変調信号周波数の可変設定時における復調出力電圧の歪み値を測定させ、両班の実験データの交換提供を行わせ、考察課題を与えて本時を終わる。

また、本復調回路の実働実験を教員養成学部で実施の際は、2形式回路の実験を行わせ、未実験復調回路を含めた考察課題を与える。

尚、工業高校での本課題：周波数変・復調回路の実験での実施時間は、各3時間とし、教員養成学部で実施の場合は4コマ（1コマ90分）を予定した。

以上の高校で試行した授業実践の成果を確認するために行った評価テストとアンケート結果は、既に実践報告を公表してきたロジック回路や発振回路と振幅変・復調回路でのこのようなパソコン支援による実験指導の場合と同様の結果が得られた。

授業後に行った理解度テストの平均正答率は70%（人数42名）で、これは従来授業のものと比較し約8～12%の向上があった。また、授業実践後のアンケートでは、このような実験指導を良いとするものが70%、理解が容易と答えた者が65%、内容面では60%の者が良いとし、時間的に内容面の改善希望をする者も20%程いた。さらに、各課題のレポートでも、従来形態による指導に比べ質的向上が認められ、今後の改善も残るが、本指導法による学習成果は高いものと言える。

4. お わ り に

無線通信機器の主要回路でもある周波数変・復調回路のパソコン支援システムの活用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（電子科・2～3年生）で試行した授業実践の事例を紹介し、比較的良好な指導結果が得られることを述べた。また、これを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。

この支援システム利用による実験指導は、周波数変・復調法の原理学習をはじめ、これらの回路形式に伴う動作のシミュレーションを通じた確認、その上で通常計測器とシステムの併用により行う教材回路の実働実験を踏まえた回路動作と特性の掌握までを系統化して実施できる特徴を持ち、若干の改善事項は残るが、ほぼ期待通りの指導結果が得られたことから、本支援システムの有効性とこの活用による実験指導法は学習成果の向上に役立つことが確認できた。

尚、各種演算回路とその応用に関するパソコン支援による実験指導についても現在試行実践を行っているが、これについてはまとまりをみて報告したい。また、本稿の作成時に協力を願った平成4年度の卒研究生・八木健君に謝意を表する。

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(I)” 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I部, 教育科学, 第37巻 (1991-02)。
- ⑤ 宮内・本田: “パソコン支援による振幅変・復調回路の実験指導” 愛媛大学教育学部紀要, 第38巻, 第2号 (1992-02)。
- ⑥ ANALOG PRO 及び DSS 98. Type IV, ユーザーズガイドブック: カノーブス電子株式会社。
- 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)。