

電気系以外の学生に対する応用電子工学の 実践教育の改善充実に関する研究

機 械 工 学 科

1. ま え が き

近年における電気・電子工学技術の急速な進歩と他の工学技術との結合が、今日の高度な技術を生み出し産業の技術革新とそれに伴う社会の発展をもたらしている背景の一つである。このため、電気・電子工学を専攻する学生でなくとも電気・電子工学の基礎学力を修得しておく必要性が以前より一層高くなっていることは言を待たない。電気系以外の学生に電気・電子工学の基礎知識を充分身につけさせ、社会的要請に応えうるような総合的判断力を育成させる目的で本プロジェクトは発足した。

基本的には、カリキュラムに検討を加え、電気・電子工学実習の時間を新たに確保し、電気・電子工学の一貫教育の強化を企画し実施してきた。対象となる学生は電気系以外の学科学生であり、限られた時間内に電気・電子工学の基礎学習を効果的に行うように配慮した。関連科目との関係を考慮して本実習は第1学年から第3学年にわたる3ケ年に実施される。

この計画の実施に当って、昭和52年度から3ケ年にわたって教育方法等改善経費による援助を受けた。本計画は一応の完成に至ったので、ここに報告するとともに実習の成果に検討と批判を加え将来一層の内容充実を図っていきたい。

2. 電気・電子工学実習を実施するに至った経緯

本校において、新たに電気・電子工学の実習を設け、機械工学科の低学年（1～3年）を対象として昭和52年度から実施した。この発足に至る経過について以下に概略を述べる。

2. 1 電気系以外の学科学生に対する電気・電子工学実習の重要性

今日では、電子工学が日常生活においても産業界においても広く活用され、さらにはますます発展の途上にある。この発展は、産業構造の変化をもたらす間接的に天然資源、およびエネルギー資源の節約となって現われ、社会的に還元されている。このような背景から、電気・電子工学の専門技術者を目指す学生でなくともエレクトロニクスの基礎学力を備えておくことの必要性は強調され始めてすでに久しく、改めてここに取り上げる必要のない周知の事実である。つまり、他の工学分野の専門技術者を目指す学生といえどもエレクトロニクスの技術をこれまで以上に理解していないと、将来専門分野の職責を十分に果し難い時代となってきている。

たとえば、機械工学の分野を取り上げても、その専門に精通していることはもとより、最近の IC（集積回路）や LSI（大規模集積回路）あるいは超 LSI の急速な発展によるマイコンおよび計測用各種センサについても基礎知識が必要とされる。

今日の高度な技術発展は、機械工学と電子工学の技術結合があらゆる分野で進行しさらに融和した結果といえよう。教育者の立場としては、本来の専門教育を些かもなおざりにすることなく一層充実するとともにさらに加えて、エレクトロニクスの教育実習を取り入れ時代の要請に応える必要がある。

このような見地から、数年来機械工学科の学生の教育にエレクトロニクス教育の強化が検討されてきた。その具体的方法は後に詳述されるが、1学年から開始され、3ケ年つまり3学年で修了するものである。本計画は、時代の要請を踏まえた教育方法の研究と実施であって一時的に終るものではなく、必修のカリキュラムに組入れられ永続的なものである。

2.2 目 的

電気系以外の学科学生に対するエレクトロニクス教育の強化充実が主たる目的である。終局的には、エレクトロニクス技術に対してより一層の興味を持たせ、専門の工学技術との関連性の理解、さらにその重要性を認識させ技術的に視野の広い総合的判断力を養うことにある。これに振り向けられる時間と内容を勘案し、学生達にこの分野への興味を喚起させかつ実習の成果を上げるように、次の目標を掲げて実施した。

- (1) 興味の喚起：身近な電気工具をそろえて自由に使用可能とする。
- (2) 実験実習に重点：プラクトロニクス学習器の他に補助計測器を準備し、基礎理論の学習と併用して電気現象を扱うようにする。
- (3) 重要性の認識：実習の進行とともに応用分野の考察を通して認識を深める。
- (4) 専門工学との関連性：主として産業界における現状の指摘からその関連性の知識を増す。
- (5) 総合的判断力の養成：電気・電子工学についての基礎技術の学習を他の専門工学の学習に並行かやや先行しながら行うことによって、工学の修得上、総合的判断力の向上が期待される。

2.3 電気・電子工学実習と関連科目との関係

前節の目的達成のために振り当てられる時間数にはかなりの制約がある。その制約内で効果的に電気・電子工学実習を行うためには、従来から必修として履修してきた関連科目および関連実験との有効な連係が重要である。とりわけ電気系以外の学生がエレクトロニクス技術を修得する上には、基礎理論の段階的理解と実験によってその確証を得ることを併進させる方法がもっとも効果的であるとされている。以上のことから、電気・電子関係の履修すべき科目、および電気系以外の学生が対象であること等を配慮し、実施に当り次の諸点を織り込むことが望まれた。

- (1) 電気関連科目の進捗状況と有機的に関連させて効果を上げる。
- (2) 学生の科学的思考力の発達に合せ、無理な内容にならないよう精選し、なお段階的に理解できるよう配慮する。
- (3) 実習が短期間に集中する形態は避けるようにする。
- (4) 興味を喚起し、強烈な印象として残るように、専

門科目の占める時間数が少い低学年において実施する（図1参照）。

授業科目	学 年				
	1	2	3	4	5
電気・電子工学実習	3時間×3回 1	同左 1	同左 1		
電気工学(講義)		1			
電子工学(講義)				1	
電気工学実験				3時間×4回 1	
専門科目時数	8	10	21	28	31以上

図1. 電気・電子工学実習とその関連する科目との関係（機械工学科）（表中の数値は年間に換算した1週当りの時間数を示す）

図1は、本校において電気・電子工学実習を実施した学年（第1～第3学年）と電気関連科目との関係を示したものである。各学年における専門科目時数も参考のため記入してある。図から明らかなように、電気・電子工学実習は第1学年から開始し3年間にわたって履修することになっている。1年間の履修時間は（1回3時間）×〔5回（5週）〕、すなわち合計15時間である。このような形態を採用した理由は上述の諸点(1)～(4)を考慮したことによる。一方、電気関係科目との関連としては、第2学年の後半から電気工学の講義が始まり、それまで実施してきた実習の成果が講義内容の理解に効果を上げることになる。第3学年の終了まで実習の内容が概ね電気工学の講義内容より先行するから講義内容の理解には好都合である。さらに、第4学年の電子工学の講義および電気工学実験に継続される。このように、段階的に電気・電子工学実習を取り入れることによって効率的な一貫教育形態をとることができ、多大の時間を充当することなく、すなわち本来の専門科目（ここでは機械工学科の学生が対象であるから機械工学の科目を指す）の履修時間の多くをけずって当てることなく、当初の目的に沿えるものと確信して実施した。

3. 実施にあたっての調査

3.1 調 査

実習の対象となる学年および他の電気系科目との関連について検討し、さらに機械工学専攻の教官が指導にあたることを前提として実習内容の選定に入った。主として内容の充実性、段階的な理論構成、電気・電子工学の講義との関連、総合内容等の諸点が検討対象とされた。

さらに、電気・電子の専門教官に検討をお願いした。その結果、表1に示すような実習機器と補助計測器を用いることとなった。

表1 主たる実習機器と補助計器 (詳細は表4～表6を参照)

学年	主たる実習機器とテキスト	補助計器
1～2	プラクティクス学習器を主軸として活用する(1部他のテキストも併用する)	電気工具 テスタ オシロスコープ 記録計
3	トランジスタ回路実験装置を主軸として活用する(テキストは教官が自作する)	電気工具, テスタ, 直流電源, 電流計, 電圧計, オシロスコープ, ファンクションゼネレータ, 容量計, 増幅器用部品

エレクトロニクス技術の基礎となる電気現象は目に見えないものであるため、直観的に理解することはできない。順を追って基礎理論を理解し、実験によって納得させる必要がある。また、実施にあたっては他の関連教科目の進捗状況および学生の科学的思考力の進歩と合せて実習を効果的に織り込むことが重要であろう。

このような性格から、本校における実習の形態として、短期集中形実習教育は避けることにし、第1学年か

ら第3学年にわたって能力に応じて実施することにした。具体的には、テレクトロニクスに対しまず興味を持たせること、将来における重要性を認識させることおよび基礎理論を修得させることに第1のねらいをおいた。そこで、第1～第2学年ではプラクティクス学習器¹⁾を主として用い、基礎理論の理解とともに並行して実験を行い理論の確認と理解を深めさせることに重点をおくことにした。これらは、さらに第2学年後期から学修する電気工学の講義に継続される(図1参照)。

3.2 実習の班編成と時間配分

高専制度創設後十数年を経て、国専協教育課程等委員会をはじめ全国各高専において、旧来のカリキュラムに対する調査・検討が行われた。その過程において、情報処理教育等時代の要請にもとづく「時間増の要素」を含みながら、その反面、毎日の授業時間数から見て学生に対する負担が過重と見られる面、すなわち「教育課程の過密性」が問題視された。具体的には、高専の授業科目について何をどの程度減じ、何をどの程度増やさなければならぬか及び総時間数をどの程度に考えたらよいか、という課題がとりあげられた。

本校においては一応総時間数180時間(10時間減)を目安に、各授業科目とその時数および選択制の導入に対する詳細な検討が行われた。総時数減にともない機械工作実習の時間数に対する見直しが行われ、従来の週9時間(週3時間×3学年)を週7.5時間(週3時間×2.5学

表2 班編成と時間配分

班別	教育課程改正前			教育課程改正後		
	第1学年	第2学年	第3学年	第1学年	第2学年	第3学年
A	手仕上	手仕上 機械加工(II)	機械加工(II)	手仕上	手仕上 機械加工(II)	機械加工(II)
B	機械加工(I)	機械加工(I)	機械加工(I)	機械加工(I)	機械加工(I)	機械加工(I)
C	鍛造	鍛造	鍛造 機械加工(II)	<u>電気・電子</u>	鍛造	鍛造 機械加工(II)
D	木型製作	木型製作	木型製作	木型製作	木型製作	<u>電気・電子</u>
E	鑄造	鑄造	鑄造	鑄造	<u>電気・電子</u>	鑄造
F	溶接	溶接	分解組立 N C 加工	溶接	溶接	分解組立 N C 加工

※ 各部門の時数は3時間×5週

年)程度が妥当であろうとの結論に達した。さらに、講義と実験実習の関連を考慮し、少ない時間でより大きな成果を上げるために種々の検討が行われた。その結果、電気・電子実習と機械工作実習との関係がもっとも効果的であろうという結論が得られた。

前述のように、電気・電子工学実習が短期に集中することを避け、電気関連科目の進捗状況などを考慮し、しかも機械工作実習の成果もそこなわれない実施形態を模索し、表2に示すような班編成を行った。すなわち、従来行っていた機械工作実習の内第1学年で実施していた鍛造実習、第2学年の鋳造実習、第3学年の木型製作実習を減じ、それぞれ電気・電子実習(内容その他の詳細については別記)に振り当てた。なお、時間数減にともない機械工作実習の内容(どの実習を減ずるかなど)についても検討されたが、その考察過程については省略する。

3.3 産業界におけるエレクトロニクス技術の動向と実状把握

前述したように、今日の高度な技術社会を築いてきた原動力の一つにエレクトロニクス技術の進歩発展と他の工学技術との融合が挙げられる。この現状を正確に認識し、さらに将来への動向をも見極め、学生の教育指導に反映させる必要がある。このための調査研究として、産業界各分野の第一線で活躍中の専門家に本校へきて戴き、講演および教官との質疑応答を依頼し実施してきた。このような形をとることによって、多数の者が第一線の技術者と接することができ、付帯的には調査研究に携わる限られた者への負担を軽減することができた。

表3は講師の氏名、勤務先と職名および主要な講演題目を示したものである。当時、多忙中にもかかわらず、資料の作成に時間を割き、はるばる本校まできて講演して戴いた上記の方々の御厚意にこの紙面を借りて、改めて厚く敬意を表したい。

表3 講師名と講演題目

講演年月日	講師名	勤務先と職名	講演題目
52. 12. 20	飯島 信明	岩通, 計測器部計測器開発室室長	エレクトロニクス産業の現状と将来の展望
53. 1. 23	川口 忠雄	新日鉄, 光製鉄所設備部電気計装技術課長	企業における機械技術者とエレクトロニクス
53. 3. 7	西川 喜八郎	松下通信, 電子計測事業部主幹技師	電気会社(弱電・通信)における機械技術者の役割と電気技術との接点
53. 3. 9	黒田 文司	いすゞ自動車, 小型車生産研究本部主査	企業が期待する機械技術者
53. 3. 14	小沢 大成	日産自動車, 中央研究所電子機器研究部主管研究員	自動車とエレクトロニクスについて
53. 3. 17	関 敬文	日立, 電子通信部部長	コンピュータの現状と将来の展望
54. 3. 7	大野 勇	横河電機, 取締役技術部長兼研究開発部長	最近の計測制御技術
54. 3. 16	窪田 正	松下電産, 生産技術本部精機事業部開発企画室長	自動化について
54. 3. 20	星野 俊和	共和電業, サービス部課長	最近の歪ゲージとその応用
55. 3. 13	土屋 徹	山武ハネウエル, プロセス制御事業部マーケティング部係長	最近の計装機器の現状と将来
55. 3. 18	和泉 忠美	池貝鉄工, 工作機械営業部長	NC工作機械; エレクトロニクスの利用, 現状と応用

4. 各学年の実習内容と設備

4.1 第1学年の実習内容

第1学年では、実験を通して電気の基礎理論を修得することに重点を置いた。テキストとしてはプラクティクス・パート1・1A¹⁾を用い、別に副本として基礎電

表4 第1学年の実習内容

	主 な 内 容	併用する副本の内容	使用する機器	備 考
第1回 3時間	1. 電気単位, 素子とその記号 ◦ 測定概念, 単位系, 電気の単位, 10のべき乗 ◦ 電流 ◦ 導体, 絶縁体, 抵抗率, コンダクタンス ◦ 抵抗, コンデンサ, コイル, 変圧器 ◦ 図示記号	◦ 原子核の模形 ◦ 電子, 陽子, 中性子		説明 練習問題を完成する
第2回 3時間	2. 電気回路とオームの法則 ◦ 電流概念, 電流の方向, 開回路と閉回路 ◦ 電圧; 電流と抵抗の関係 ◦ 電力		プラクティクス テストセット	説明と実験 テストセットを用いて実験をし, 練習問題を完成する.
第3回 3時間	3. 並列, 直列抵抗 ◦ 並列抵抗, キルヒホッフの電流法則 ◦ 直列抵抗, キルヒホッフの電圧法則 ◦ キルヒホッフの法則の応用	複合回路 ◦ 複合回路の抵抗 ◦ 複合回路にかかる電圧 ◦ 複合回路の解き方 ◦ 練習問題	同 上	説明と実験 テストセットを用いて実験をし, テキスト及び副本の練習問題を完成する.
第4回 3時間	4. 並列, 直列抵抗の応用 ◦ 分流器, 分圧器 ◦ 電流計, 電圧計の測定範囲の拡大 ◦ 電流計と電圧計の感度	◦ 倍率器 ◦ 分路抵抗 ◦ 練習問題	同 上	同 上:
第5回 3時間	5. 内部抵抗と等価回路 ◦ 理想的な電源と理想的でない電源 ◦ 定電圧源, 定電流源 ◦ 等価回路 ◦ ノートンの定理とテブナンの定理 6. 電力伝達	◦ 練習問題	同 上	同 上:

実工学²⁾を併用している。表4は第1学年で行っている実習内容をテキスト1Aの目次に沿って紹介したものである。

写真1と2は、第1～第2学年で主として使用する部品収納箱と電子計器である。

4.2 第2学年の実習内容

第1学年に引き続き、実験を通して基礎理論を修得することに重点を置いて遂行してきた。テキストとしては、プラクティクス・パート1・1Aの1部とパート1・1B¹⁾が主として使用されるほか、基礎電子工学²⁾も副本として併用されている。この学年では、コンデンサ、周波数およびインピーダンスの項目を実験実習を通して理解させることに主目標を置いている。表5は第2学年で行っている実習内容をテキストに沿って示したものである。

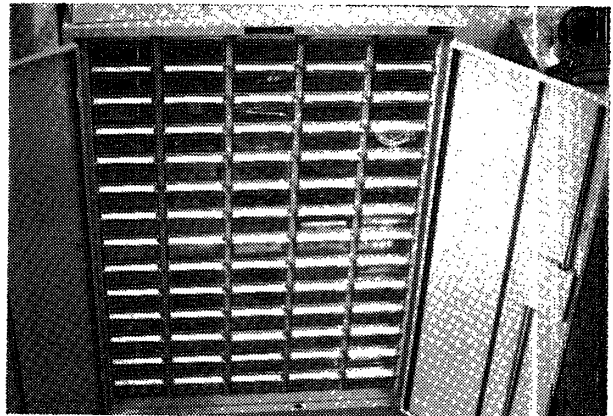


写真 1

表5 第2学年の実習内容

	主 な 内 容	併用する副本の内容	使用する機器	備 考
第1回 3時間	1. ブリッジ回路網 ◦ 平衡ブリッジと平衡条件 ◦ ブリッジの感度 ◦ ブリッジ回路網の解析	◦ ホイートストーンブリッジ ◦ 練習問題	プラクトロニクス テストセット	説明と実験 テストセットを用いて実験をし、テキスト及び副本の練習問題を完成する。
第2回 3時間	2. コンデンサ ◦ コンデンサの充電と放電 ◦ 電荷、電荷と静電容量の関係 ◦ CR回路、時定数	◦ 練習問題	ストップオッチ プラクトロニクス テストセット	同 上
第3回 3時間	◦ 並列コンデンサ ◦ 直列コンデンサ 3. 交流の電流と電圧 ◦ 瞬時値、波形、周期 ◦ 周波数 ◦ 交流の波形、正弦波、ピーク・ピーク値、実効値と平均値 ◦ オシロスコープの取り扱い		プラクトロニクス テストセット オシロスコープ ファンクション ゼネレータ	説明と実験 オシロスコープを用いて自由実験
第4回 3時間	◦ 三角関数 ◦ 波形の図式表示 4. 簡単な交流回路 ◦ 抵抗、リアクタンス ◦ インピーダンス	◦ 練習問題	同 上	説明と実験 テストセットを用いて実験をし、テキスト及び副本の練習問題を完成する。
第5回 3時間	5. 一般回路網の定理 ◦ オームの法則、キルヒホッフの電流と電圧法則 ◦ テブナンの定理、ノートンの定理	◦ 練習問題	同 上	同 上

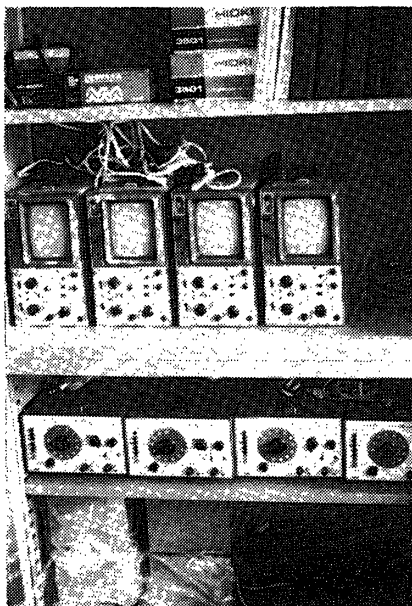


写真 2

4.3 第3年の実習内容

第1, 2学年における基礎実習をさらに充実させていくことも考えられたが、限定された時間内で、ある程度総合的な知識の修得を目指すということから、第1, 2学年で学修した基礎の上に立って、第3学年に対しては将来接する機会が多い電子装置を選んで、その回路素子、回路構成、各回路の特性試験、関連する計測機器の取り扱いおよび回路工作等の実習に重点を置くことにした。

機械工学における各分野にも電氣的計測は数多く取り入れられている。それらの計測器に接するところから機械技術者としての電気への接触が始まると考えられる。そこで、これらの計測器類に含まれているところのもっとも基本的な要素といえるトランジスタ式増幅器を学習の対象として選び、今後の電気・電子回路のさらに幅広い理解への糸口としている。

表6 第3学年の実習内容

	主 な 内 容	使 用 す る 機 器 等	備 考
第1回 3時間	1. 半導体の基本動作 <ul style="list-style-type: none"> ◦ トランジスタの記号 ◦ トランジスタ端子の見分け方 ◦ 分圧器の利用 ◦ エミッタ接地増幅回路 ◦ コレクタ接地増幅回路 ◦ 直流電流増幅率の測定 ◦ ダイオードの記号, 極性 ◦ ダイオードのV-I特性の測定 	半導体素子 プラクトロニクステストセット テスタ 直流電源 電流計	説明と実験
第2回 3時間	2. 定電圧電源回路 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 整流回路 ◦ ツェナダイオードのV-I特性 ◦ ツェナダイオードによる定電圧回路実験 ◦ トランジスタによる帰還形定電圧回路実験 ◦ ダーリントントランジスタ ◦ リップルの測定 ◦ コレクタ損失の測定 	トランジスタ回路実験装置 オシロスコープ テスタ	同 上
※ 第3回 3時間	3. トランジスタの特性 <ul style="list-style-type: none"> ◦ エミッタ接地静特性の測定 ◦ トランジスタの最大定格 ◦ 負荷直線と増幅の種類 ◦ バイアスによる波形のひずみ 	トランジスタ回路実験装置 テスタ 電流計	同 上 ※4回(12時間)しかない班では省略する。
第4回 3時間	4. トランジスタ増幅回路 <ul style="list-style-type: none"> ◦ バイアス回路 ◦ エミッタ接地交流増幅回路 ◦ 2段CR結合増幅回路 ◦ CR結合フィードバック増幅器 ◦ 各増幅器回路の利得特性の測定 ◦ 各増幅器回路の周波数特性の測定 ◦ 直流差動増幅器の入出力特性の測定 	トランジスタ回路実験装置 オシロスコープ ファンクションジェネレータ テスタ	説明と実験
第5回 3時間	5. 回路工作 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 各部品の検査 ◦ CR結合低周波増幅器の工作 ◦ 各作品について, 利得特性および周波数特性の測定 	◦ 増幅器用部品 (トランジスタ, 抵抗, コンデンサ) ◦ テスタ ◦ 容量計 ◦ 電気工作用工具 ◦ 直流電源 ◦ オシロスコープ ◦ ファンクションジェネレータ	工作と特性試験

大まかな実習内容としては, (1)第1, 2学年で取り扱わなかった半導体(トランジスタ, ダイオード)の動作

実験, (2)電源回路(整流回路, 定電圧回路)実験, (3)トランジスタの静特性の測定, (4)交流および直流増幅回路

実験, (5)増幅回路の工作および(6)特性試験法および関連する計測機器の取り扱い等である。

(1)には, 第1, 2学年で使用したプラクトロニクスセットの一部と, 教材として用意した半導体素子を使用する。(2)~(4)にはトランジスタ回路実験装置を用いる。詳しい実習内容および使用する機器等を表6に示す。また, 使用しているテキストの内容を付録に示す。

5. 実習の成果

5.1 実習風景

写真3~写真7は実習風景を紹介したものである。写真3と4は第2学年, 写真5~7は第3学年の実習中の1コマである。

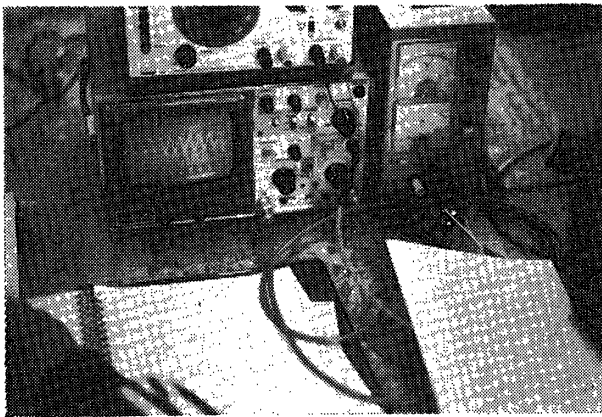


写真 3

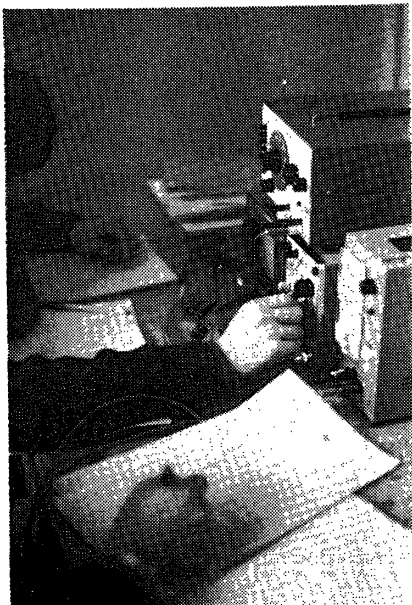


写真 4

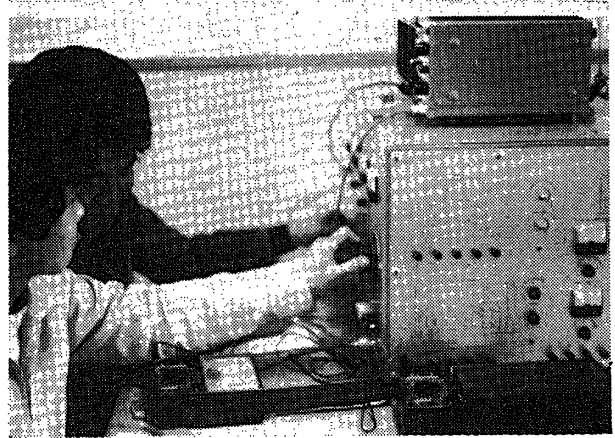


写真 5

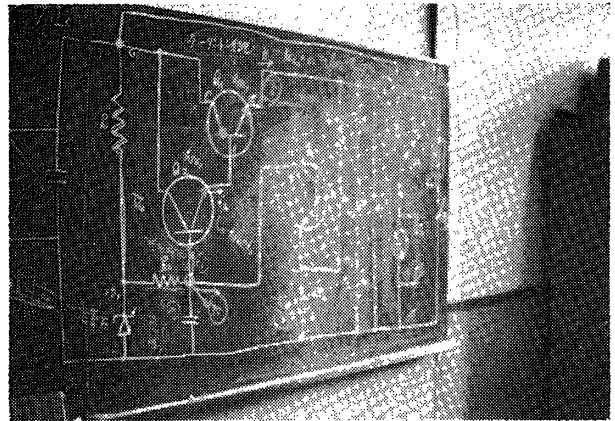


写真 6

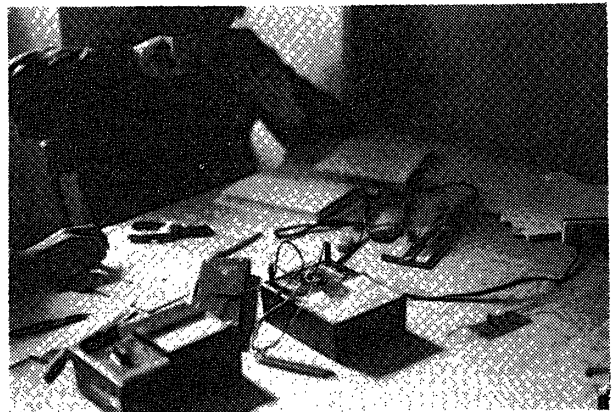


写真 7

5.2 学生の反応

実習報告書を毎回提出させているが, その考察および感想覧にみられた学生の実習に対する反応のおもな点を要約して示す。ここでは第3学年を取り上げている。

(I) おもな要望:

(1)電気回路の工作は非常に興味を持てたので, その時

間を増してほしい。

(2)IC を使った回路の工作実習を組み入れてほしい。

(3)内容を絞って、時間をかけて実習に取り組んでみたい。

(4)今後、自身で(自主的に)いろいろな回路を組立てていきたい。

(Ⅱ)良かったとした点:

(1)半導体の働きについて、講義で習っていたことが今回の実習によってよく理解できた。

(2)いろいろな電気機器・計器を使用するので、やる気がでる。

(3)自分が作った回路について、測定および試験できることが実にうれしい(第5週目に行っている)。

(4)種々の電気機器・計器の取り扱いに慣れることができた。

(5)トランジスタ端子の見分け方や回路図をみることに慣れた。

(6)測定結果がほぼ予測通りになり、計算結果と精度よく合致するので興味がわいてくる。

(Ⅲ)不満とした点

(1)第1, 2学年時のように個々の部品を自分達の手で組み立てて実験回路を作るほうがわかり易い。

(2)時間が短か過ぎる(時間を増加してほしい)。

(3)回路をよく理解しない内に実験をしなくてはならない(時間増を要望)。

(4)回路の実習には長時間を要するので、複雑な回路の実験ができない。

(5)機械工作の時間に比して、測定に時間を取り過ぎる。

(6)電気機器(実験装置)が比較的大きいため、机が狭くなる。また、部屋も狭くて実験がしにくい。

学生の実習に対する反応は意外に大きく、内容も具体的に指摘していて心強く感じられた。その中で、これまでに何らかの形で電気回路に接触を持ったことのある者は、特に実習に対して意欲的である。実習時間の増加を望む声が多いが、当面は現在の限定された時間をより有効に使用するよう指導し、時間増については今後の検討課題としたい。実習室が狭いという不満は現在のところやむを得ない。電子機器を駆使する実習であるから、面積さえ確保できればどこでもよいということにもならない。将来への課題として、本実習の発展と合わせて継続検討していきたい。

5.3 アンケートの集計結果

アンケートの対象とした学生は本実習を行った機械工学科の第1～第3学年の全員である。アンケート実施日は昭和55年2月14日～28日の期間で1回のみ無記名の形式とした。そのため、本実習を実施した学生と実施しない学生との対比や同一学生の3年間の実習に対する意識変化等について言及することは不可能であることをあらかじめ断っておきたい。

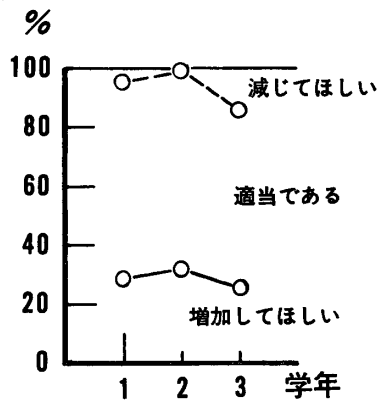
図2(a)～(f)は、アンケートの集計結果を図示したものである。同図(a)は、現在実施している年間の実習時間(3時間×5週)に関する調査の回答結果を示したものである。たて軸に回答者の人数割合、横軸に学年をとって調査事項に対する意識の推移をみたものである。第1～第3学年の実習時間に対する意識はほぼ同程度であって、現状の時間数で適当としたものが全体のほぼ60～65%、実習時間をもっと増加してほしいとするものがほぼ30%となっている。他に、減じてほしいとするものもわずかながら存在する。

図2(b)は、実習に対する興味の有無についての回答結果である。機械工学を専攻する学生であるため、実習に臨んで最初から興味を持っていたものは第1学年で40%、第2, 3学年で20%程度となっていて比較的少ない。一方、興味がもてなかったものは第1, 第2学年で10%、第3学年40%となっている。第3学年の40%という数値はやや大きい。第3学年になると専攻の機械工学関係の専門科目がかなり増加しているため、これらとの比較が回答に反映したのではなかろうかと考えられる。

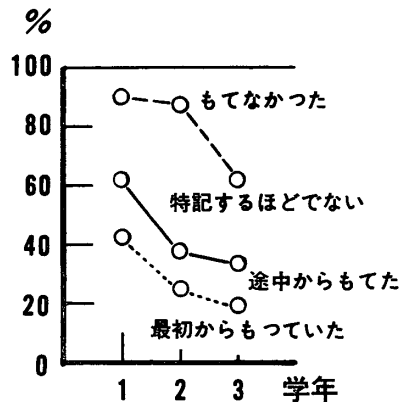
図2(c)には、実習を通してこの分野の知識修得の重要性を感じたかとの設問に対する回答結果を示した。とても重要だとしたものは各学年とも40～50%となっている。特記する程でないが重要だとするものが前者とほぼ同数である。重要性を感じなかったとするものは10%前後で、(b)図の実習に対して興味がもてなかったものと第1, 2学年ではほぼ一致する。第3学年では、実習に興味ももてなかったものでも重要性については十分認識されていることが(b)と(c)図の比較から推察される。

図2(d)は、第1学年時に実習を行っていき、中学校で習った知識がどの程度役立ったかについての回答結果である。役立たなかったと答えた数に第1～第3学年の間でかなりの差異(6～40%)がみられる。実習に対して、容易に入り込めるよう予備知識を与えておく必要があるように強く思われる。

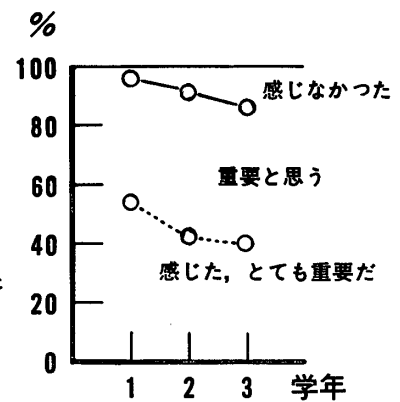
実習の進行速度と理解度について調査した結果が図2(e)である。(よく理解できた、もっと進んでよいとし



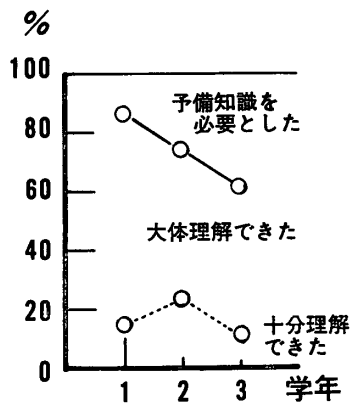
(a) 実習時間について



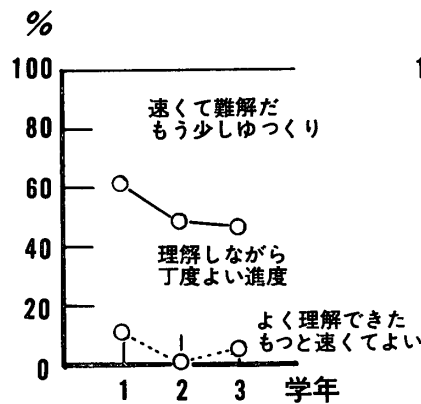
(b) 実習に対する興味



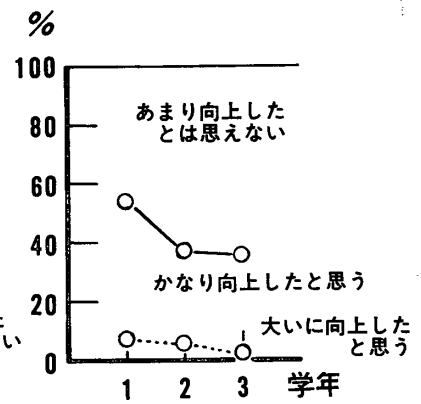
(c) 実習を通して、この分野の知識修得の重要性を感じたか



(d) 実習内容の難易の度合



(e) 実習の進行速度理解度について



(f) 実感として電気・電子の知識が向上したと思うか

図2. 学生の実習に対する意識調査

た数) + (理解していく上で丁度よい速度とした数) ÷ (速くて難解だからもう少し進行速度を落してほしいとした数) となっていて、各学年の間にもあまり差がない。限られた時間内に多くの内容を修得させようとする教官側の意欲が、約半数の学生にとって難解だからもう少しペースを落してほしいと回答させたものと思われる。内容と時間数との兼ね合いに再検討を加える必要がある。

図2(f)には、実感として電気・電子知識が向上したと思われるかと問うた結果を示した。あまり向上したとは思えないと控え目な回答者(46~65%)が、かなり向上したと思うとの回答者(30~53%)を上回っている。この設問に関しては向上したかどうかの判断基準を与えていないので、回答者の主観によって回答結果はかなり左右されるであろう。しかしながら、多種の電気・電子機器を自分自身で操作できた経験のみから勘案しても、

実践面で大いに役立つ、知識の面でも向上があったものと担当者の間では評価している。

6. あとがき

電気系学科以外の学生に対する電気・電子教育の充実強化は時代の要請である。本校の機械工学科では、(1)充当し得る時間数、(2)電気系科目の効果的な連係、(3)その他の条件等を総合的に検討し、機械工学科学生に対する電気・電子教育の強化策(低学年にエレクトロニクス実習を新設する)を3ヶ年計画で打出し実施してきた。実習内容およびテキスト等に独特な工夫を試みている。この実習の対象学年は第1~第3学年で、各学年の実習時間には3時間×5週を割り当てた。これによって既存の電気系科目との関係でも一貫教育の形式をとることができた。ここに、3ヶ年を経過したので、この機会に実習

の経緯を整理し成果を報告することになった。その成果の主な点は次のようである。

(1) 低学年に電気・電子実習を実施したことによって電気・電子の一貫教育をより効果的にしかも明確に打出すことができた。その結果、学生の理解度を著しく高めることができた。

(2) 機械工学関係の時間の多くをさいて振り当てることなく、電気・電子実習を効果的に実施し得たので、他の教科目への影響は極めて少ない。

(3) 主要教材のほか実習用補助計測器を多数取り入れ学生自身に取り扱わせるように工夫しているので、学生の実習への取り組みが積極的である。

(4) 学生に対して、従来より一層電気・電子への興味と認識を喚起することができるようになった。

(5) 高技術社会への教育の対応を高め得る方策の一つとして、本実習の果たす役割は重要である。

なお、この実習形態は、種々の制約内での一つの試みであって発展段階である。本報告を基盤に今後、種々の角度から分析し検討を加える必要がある。主な問題点を挙げると次のようであろう。

(1)場所：実習用教室として現在の専用教室（約16m²）は現行の7名制でもせまく不便である。引き続き優先的に検討すべき課題である。

(2)担当者：3ヶ年計画も終了し、次の充実期を迎えるに当り検討の余地があろう。

(3)実習の形態：現在の低学年（第1～第3学年）対象は専門教科目との関連からも一つの理想的な形態であろう。しかし、時間数については現行の3時間×5週の2倍程度が、内容の消化、進行状況および充実の面から必要である。時間数の増加は必然的に学生数、場所、設備と関連して解決していくべき課題である。現状より理想的な形態へと移行させていく上で段階的に実行可能な課題であろう。

(4)教育上の問題：特に第1、第2学年における、学生個人用テキストの充実があげられる。

(5)設備：現在整備されている実習用計器セット数は各学年7人1組、3時間×5週が根拠となっている。現在の設備が十分とはいえない。除々に充実していく必要が

ある。

(6)上記(5)項までの将来の検討課題は、いずれも現行の実習形態をベースに段階的に発展させるためのものである。場所と設備が一挙に見通しがつき飛躍的發展が見通せる時には、40人1クラス専用実習室での実習形態が望ましい展望である。本実習も電気工学（現在第2学年後期～第3学年前後期）との有機的結合、さらには応用物理および計測工学の一部との有機的結合が考慮され得るものと思われる。

謝 辞

本実習の基礎を確立する上で、多方面からの支援と援助を受けた。費用の面では文部省教育方法等改善経費（昭和52、53、54年度）の援助を受け、これによって本実習の基盤を固めることができた。学外では、産業界の第1線で活躍中の方々に講演依頼をしたところいずれの方も快諾され、本校にて講演と討論に御参加戴いた（表3参照）。これによって、産業界の実状をよりの確に認識することができ、エレクトロニクス教育の充実強化の方針をより強固なものにすることができた。学内では、今川博前校長、木村規現校長の強い激励を賜った。また、他学科の主任から厚い支援を戴いた。特に電気工学科の教官には公私共に御指導を戴いた。さらに事務職員各位には一方ならぬお世話を戴いた。ここに、明記し厚く謝意を表し、今後とも関係各位の一層の御理解と御協力を賜わるようお願いする次第である。

文 献

- 1) 応用電子工学学習システム（プラクトロニクス学習器）、フィリップス社、輸入発売元：長瀬産業。
- 2) 基礎電子工学、上巻、H. V. Hickey and W. M. Villines（博田五六、石井正博共訳）、近代科学社。

執筆担当者

中里見 正 夫
瀬 戸 雅 文
山 根 健 治

第1週

I 半導体素子の基本動作実験

I-1 トランジスタの基本動作

(1) トランジスタの記号 (Fig. 1, Fig. 2)

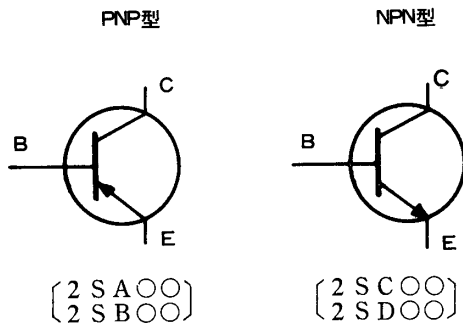


Fig. 1 トランジスタの記号

端子の見分け方……… 2SC735の場合

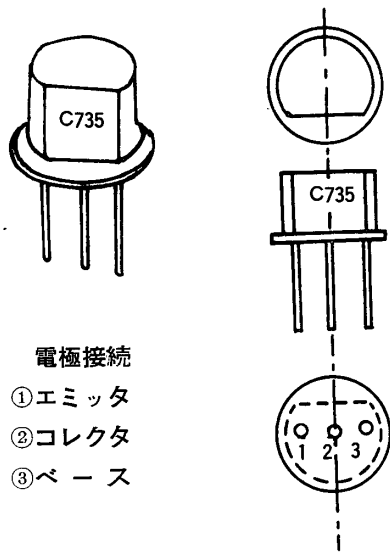
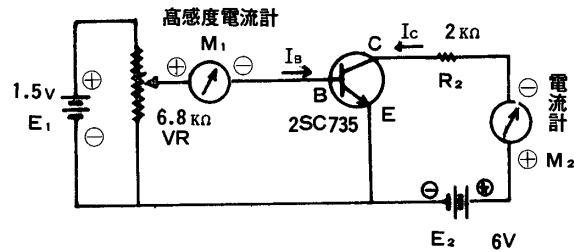


Fig. 2 トランジスタの記号

(2) トランジスタの基本回路—直流増幅実験

(2)–A エミッタ接地

実験 1 Fig. 3 の回路を組み、可変抵抗を回して、 I_B と I_C の値の変化を観察せよ。



I_B : ベース電流, I_C : コレクタ電流

(注) 電池 E_1 , E_2 は、1つの 6V 直流電源と分圧器回路から作る。

Fig. 3 トランジスタの基本回路

実験 2 2SC735 の直流電流増幅率 h_{FE} はどの程度の値になるか。 I_E , I_C の測定値から求めてみよ。ただし、 $h_{FE} = I_C / I_B$ (I_C は $R_2 = 0\Omega$ としたときの値)。

(2)–B コレクタ接地

実験 3 Fig. 4 の回路を組み、 i_1 , i_2 , V_1 , V_2 を測定し電圧利得 (V_2/V_1) および電流利得 (i_2/i_1) を求めてみよ。

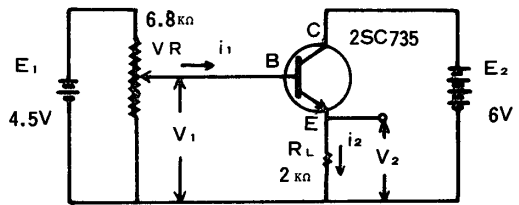


Fig. 4 実験回路

I-2 ダイオードの V-I 特性

(1) 記号 (Fig. 5)

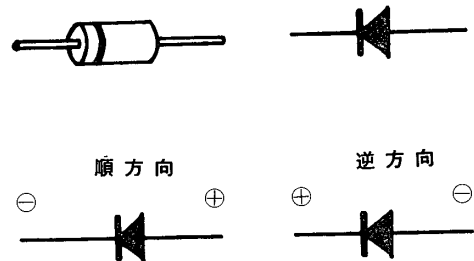


Fig. 5 ダイオード

(2) V-I 特性 (Fig. 6, Fig. 7)

ダイオード 10D1 (日本インター製) を用いて、順方向、逆方向の各々について、電圧—電流の特性

を求めてみよう。

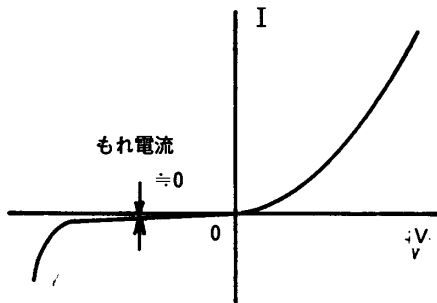


Fig. 6 V-I 特性

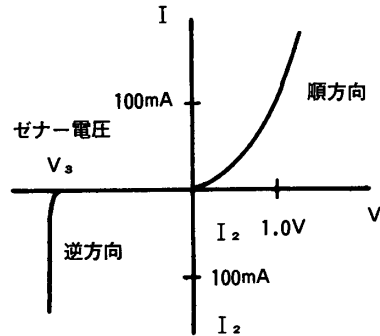


Fig. 9 ゼナーダイオードV—I 特性

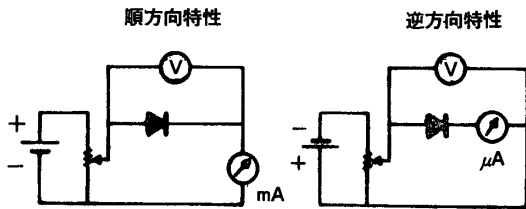


Fig. 7 測定回路

第2週

II 直流定電圧装置実験回路

II-1 無帰還型安定化電源—B.15V 0.1A 定電圧回路

(Fig. 8, Fig. 9)

$$V_1 - V_3 = R_1 \cdot I_1$$

$$= R_1 (I_L + I_2)$$

$$\therefore V_3 = V_1 - R_1 (I_L + I_2)$$

V_1 または I_L が変化しても、 V_3 一定のまま、 I_2 は任意に変化することができる (Fig. 9).

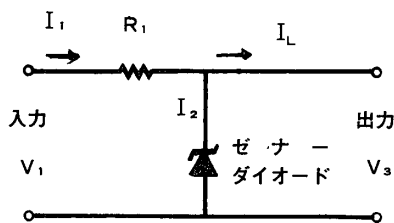


Fig. 8

実験 1

a. 負荷変動に対する出力電圧変動率の測定

1. 電源交流電圧を 100V にする。
2. 負荷切換器 SW_3 により、負荷を 0 と全負荷 (0.1A) とし、そのときの出力電圧 V_3 を読む。

b. 電源電圧の変化に対する出力電圧の変動率の測定

1. 負荷を SW_3 により 0 にする。
2. 電源電圧をスライダックにより 50, 70, 90, 100, 110, 130V とし、出力電圧を測定する。
3. 負荷を SW_3 により 0.1A にする。
4. 電源電圧を 50, 70, 90, 100, 110, 130V とし、出力電圧を測定する。

c. 整理

a, b で測定した値を Fig.10 のような形で整理する。

参考：改良形…… 2段結合 (Fig.11).

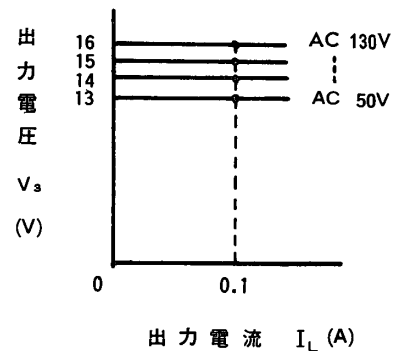


Fig. 10

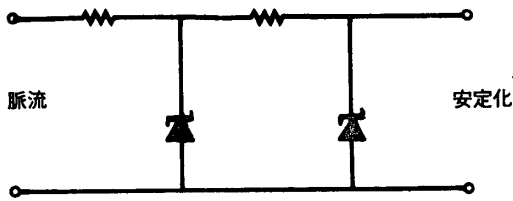


Fig. 11 2 段 結合

II-2 帰還型安定化電源……A. 15V 0.5A 定電圧回路
回路図 (Fig. 12)

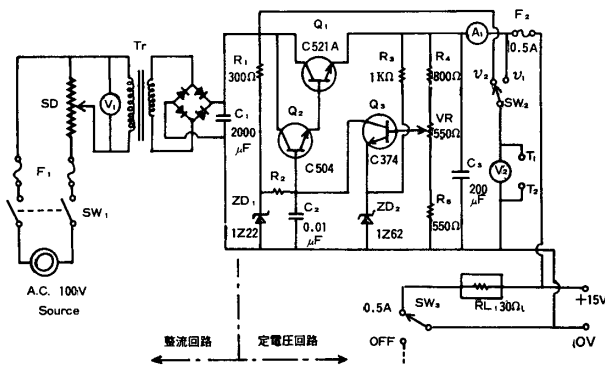


Fig. 12 回路 図

実験 2

- a. 負荷変化に対する出力電圧の変動率
 1. 電源交流電圧 V_1 を 100V にする。
 2. VR を調整して、出力電圧を 15V にする。
このとき SW_3 により負荷を 0 (OFF) にしておく。
 3. 負荷を SW_3 により全負荷 (0.5A) として電圧を測定する。
- b. 電源電圧の変化に対する出力電圧の変動率
 1. 負荷を SW_3 により 0 にする。
 2. 電源電圧を 50, 70, 90, 100, 110, 130V とし、出力電圧を測定する。
 3. 負荷を SW_3 により 0.5A とする。
 4. 2. と同じく電源電圧を変えて、出力電圧を測定する。
 5. 実験 1.c と同じ要領でデータを整理する。
- c. リップルの減少率
 1. 負荷を全負荷とする。
 2. 端子 T_1, T_2 にオシロスコープを接続し、切換器 SW_2 により、電源側 (V_2) と出力側 (V_1) にして両者のリップルを測定し、比較する。

d. 損失の測定 (直列トランジスタの損失)

1. SW_3 を全負荷にする。
2. SW_2 を V_2, V_1 に切換えて、それぞれ電圧を読む。両電圧の差がトランジスタ Q_1 のコレクタエミッタ電圧となる。
3. 負荷電流 (A_1) を読みとり、損失を計算する。(コレクタエミッタ電圧に負荷電流をかけたものが Q_1 の損失 (コレクタ損失) である。

第 3 週

III エミッタ接地静特性曲線の測定

III-1 測定回路 (Fig. 13)

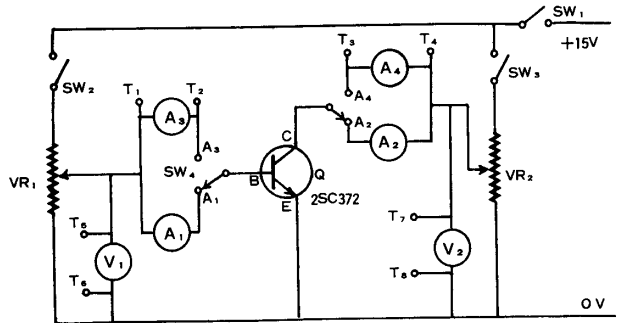


Fig. 13 測定 回路

III-2 標準的な特性 (例: Fig. 14, Fig. 15)

- なお、トランジスタ SC372 の最大定格は次の通り。
- | | | |
|----------------------|----|--------|
| コレクタ・ベース間電圧 V_{CB} | 最大 | 35V |
| ベースエミッタ間電圧 V_{BE} | 最大 | 4V |
| コレクタ電流 I_C | 最大 | 100mA |
| コレクタ損失 P_C | 最大 | 200mW |
| 直流電流増幅率 h_{FE} | | 70~280 |

(注. $P_C = I_C \times V_{CE}$)

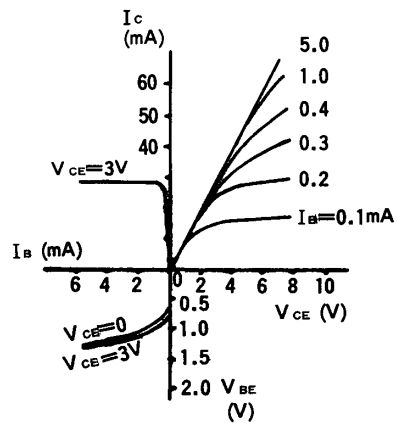


Fig. 14 標準特性 (1) 高電流領域

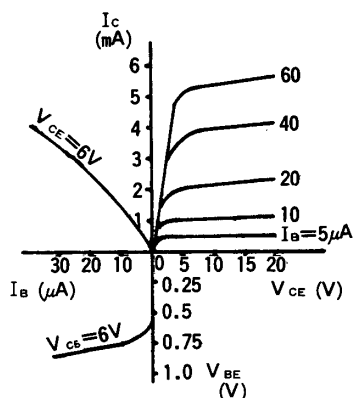


Fig. 15 標準特性(2) 低電流領域

III-3 実験方法

a. 高電流領域

SW₄, SW₅ をそれぞれ A₁, A₂ 側にする (但し、出来るだけ測定精度を上げるため、外部からの電流計 A₃, A₄ を接続して測定する方がよい)。

(1) 第1, 2象限の特性

ベース電流 I_B を一定値に保ち、V_{CE} を変化させたときのコレクタ電流 I_C を測定する。この場合、I_B の設定値は、可変抵抗 VR₁ により調整し電流計 A₁ (または A₃) で読む。また、V_{CE} の設定値は VR₂ により調整し、電圧計 V₂ で読む (なお、I_B と V_{CE} は、一方が変化するので、交互にくり返しながら値を設定すること)。

コレクタ電流 I_C (mA)

I _B	V _{CE} (V)							
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	10.0	
0.1mA								
0.2								
0.3								
0.4								×
1.0								×
5.0						×	×	

(2) 第3象限の特性

コレクタエミッタ電圧 V_{CE} を一定に保ち、I_B を変化させたときのベース電圧 V_{BE} を測定する。

V_{BE} の測定値は電圧計 V₁ により読みとる。

ベース電圧 V_{BE} (V)

V _{CE}	I _B						
	0.1 mA	0.2	0.4	1.0	2.0	3.0	5.0
0							
3 V							

b. 低電流領域

SW₄, SW₅ をそれぞれ A₃, A₄ 側に倒し、電流計 A₃, A₄ を接続する。前項 a. 高電流領域での測定と同じ要領で次の測定を行う。

(1) I_C の測定 (mA)

I _B	V _{CE} (V)							
	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0	10.0	15.0	
5 μA								
10								
20								
40								
60								

(2) V_{BE} の測定 (V)

V _{CE}	I _B						
	2 μA	5	10	20	30	40	50
0							
6 V							

III-4 結果の整理

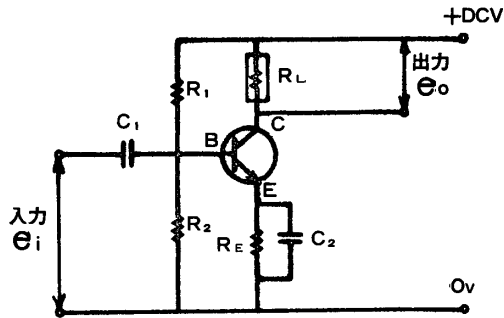
以上の測定結果を用い、トランジスタ 2SC372 について、第1象限、第2象限、第3象限のエミッタ接地静特性曲線をグラフに表せ。

第4週

IV. CR結合低周波負帰還増幅器回路

ここでは微小交流電圧の増幅回路について実験学習を行う。

IV-1 CR結合増幅回路 (Fig. 16)



R_L : 負荷抵抗, e_i : 交流微小入力電圧
 e_o : 交流出力電圧, R_E : エミッタ抵抗 (帰還抵抗
 になっている)

(この回路は、バイアス回路のついたエミッタ接地回路となっている)

Fig. 16 CR結合増幅回路

IV-2 2段交流増幅回路

実験に用いる増幅回路は、Fig. 16 の CR 結合増幅回路を 2 段に用いたものを使用し、その増幅回路部分のみを Fig. 17 に示す。ただし、Fig. 17 の破線で示した R_6, C_6 については後に説明する。

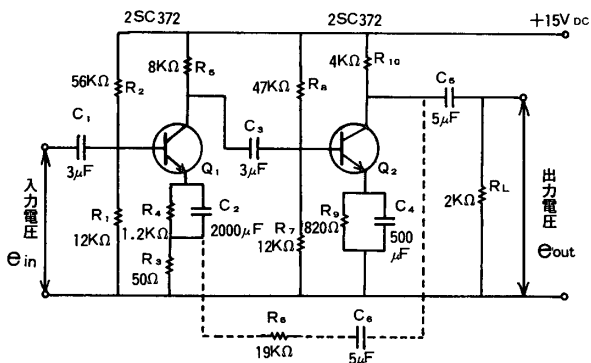


Fig. 17 2段交流増幅回路

注) C_6, R_6 を接続した場合について:

このとき C_6, C_2 インピーダンスを無視すると R_3 の両端には、 $R_3 e_{out} / (R_3 + R_6)$ なる電圧が加わる。故に、 e_{out} が大きくなると Q_1 のベースエミッタ電圧 V_{BE} は小さくなり、そのため Q_1 のベース電流は減少し、コレクタ電流も減少するので、その結果 e_{out} も減少する。したがって、 C_6, R_6 を接続することによりフィードバック (帰還) 作用をすることがわかる。

IV-3 実験

(1) 直流電源電圧を 15V に設定。

- (2) 入力端子 T_1, T_2 ファンクションジェネレータ (波形は正弦波として) を接続し、端子 T_3, T_4 にオシロスコープを接続する。
- (3) スイッチ SW_3 を切換えることにより入力電圧 V_i , 出力電圧 V_o を測定する。

実験 1 増幅度の測定 (入力周波数は 1 KHz とする)

- 1. スイッチ SW_2 を OFF (フィードバックなし) にして V_i の値を変化させ、そのときの V_o の値を測定する*).
- 2. SW_2 を ON (フィードバックあり) にして、前項1.と同様にする。
 *) V_o (出力電圧) は 1/500 に分圧されて端子にでているので、測定値の 500 倍を V_o の値とすること。
- 3. フィードバックをかけた場合と、かけない場合について出力波形の歪の差を調べよ。
- 4. 前項1.と2の結果を Fig.18 のように両対数グラフにプロットし、増幅度の相違を比較せよ。

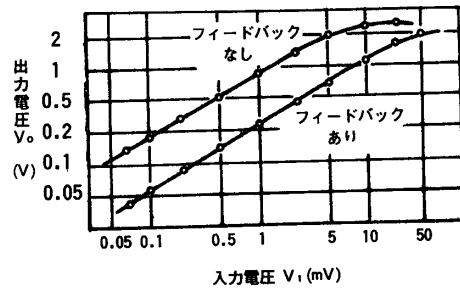


Fig. 18 利得特性

実験 2 周波数特性の測定 (入力電圧 $V_i = 4$ mV とする)

- 1. SW_2 を OFF にして V_i を常に一定にし、周波数を 10Hz~10KHz に変化させて V_o を測定せよ。
- 2. SW_2 を ON にして、前項1.と同様にせよ。
- 3. 前項1.と2の結果を Fig. 19 のように片対数グラフにプロットし、周波数特性の相違を比較せよ。

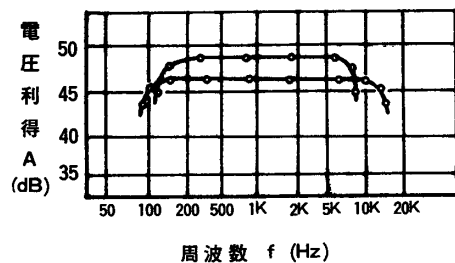


Fig. 19 周波数特性

注) デシベル値 A (dB) = $20\log(V_0/V_i)$ として計算せよ。

V. 直流増幅器 (差動増幅器)

V-1 差動増幅器回路 (Fig. 20)

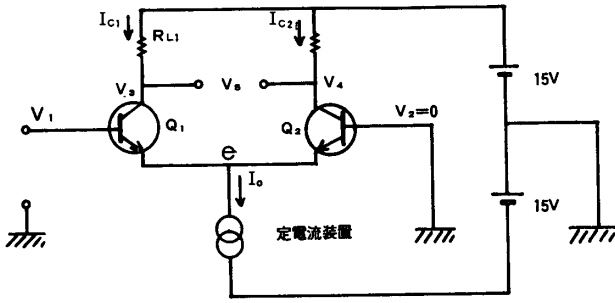


Fig. 20 差動増幅器回路

入力電圧 $V_1 - V_2 = V_1$ ($V_2 = 0$ とする)

出力電圧 $V_5 = V_3 - V_4$

トランジスタ Q_1, Q_2 の特性が全く同一であれば $R_{L1} = R_{L2} = R$ とする

$$V_5 = R(I_{C1} - I_{C2}) \dots$$

$$= a I_0 R \left(\frac{1}{1 - e^{-KV_1}} - \frac{1}{1 + e^{KV_1}} \right)$$

a, K は定数

となる。(Fig. 21)

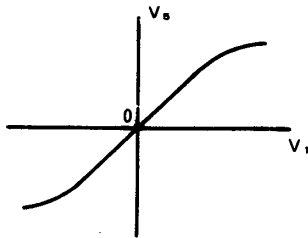


Fig. 21

V-2 実験回路 (Fig. 22)

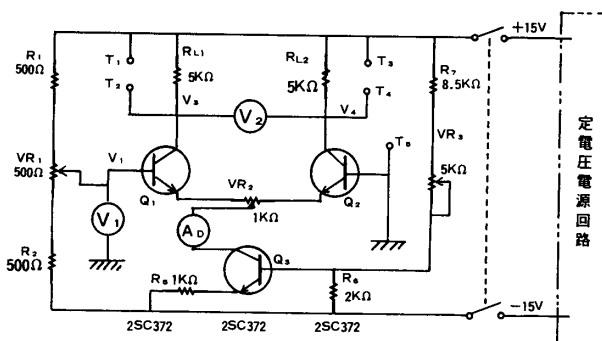


Fig. 22 実験回路

V-3 実験方法

(1) 定電流回路

VR_3 により一定電流 I_0 を 4 mA とする。

(2) バランス

VR_1 を調整して V_1 を 0 にする。そのとき、出力電圧計 V_2 が 0 でないならば、 VR_2 を調整して V_2 を 0 にする。

(3) 入力電圧と出力電圧の関係

入力電圧 V_1 を 0 から $+$ に増加し (約 3 V)、そのつど出力電圧 V_5 を測定する。また、 V_1 を 0 から -3 V まで変化させた時の V_5 も同様に測定する。

(4) 前項(3)の結果を Fig. 21 のようにグラフにして、ほぼ比例関係の成り立つ V_1 の範囲を求めよ。

第5週

VI 一段低周波増幅器の工作

トランジスタを1個だけ用いた最も簡単な交流低周波アンプの工作と簡単な特性試験を行う。

VI-1 回路図 (Fig. 23)

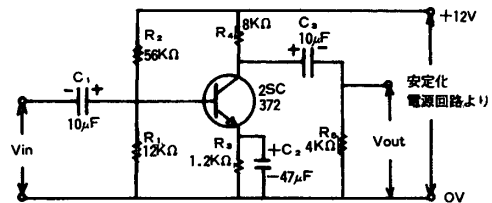


Fig. 23 回路図

VI-2 工作

- (1) 各抵抗, コンデンサの抵抗値, 容量を測定する。
- (2) 各パーツをプリント基板上にハンダ付けする。その際、トランジスタ端子や電解コンデンサの極性を間違えないようよく注意する。
- (3) 工作上の注意

VI-3 特性試験

完成した増幅回路に、電源、オシロスコープ、ファンクションジェネレータを Fig. 24 のように接続する。

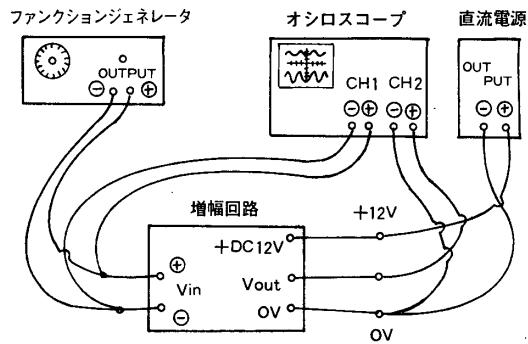


Fig. 24 接続図

(1) 増幅度の測定

1. ファンクションジェネレータの発振周波数を 1 KHz に設定する。
2. ファンクションジェネレータの出力の大きさ (i.e. アンプの入力電圧 V_{in}) をアンプの出力電圧 V_{out} の波形の歪が無くなる程度に小さくす

る。

3. この状態で、 V_{in} と V_{out} の大きさをオシロスコープから読みとり増幅度 $A = V_{out} / V_{in}$ を求める。

(2) 周波数特性

1. V_{in} の大きさを前項(1)と同じく V_{out} の波形に歪を生じない程度にする。
2. ファンクションジェネレータにより V_{in} の周波数を低域から高域まで変化させ、 V_{out} の大きさが 1 KHz 時の 70% 以上になる周波数の範囲 (これを周波数帯域幅という) を求める。

注) 出力の減衰量が 1 KHz 時に比して 3 dB 以下の周波数の範囲を周波数帯域幅という。

$$-3 \text{ dB} = 20 \log A \rightarrow A \approx 0.708$$