

「ものづくり教育のための電子回路」

— 授業実践報告 —

辻 正敏

Electronic Circuit for Manufacturing Education

— Report on the Practice of Course —

Masatoshi TSUJI

This paper describes methods to use in teaching how electronic circuits can be used in manufacturing education. The proposed teaching methods provide students with more incentive, greater understanding, and more effective study. In addition, they also pinpoint important matters and describe instructional methods for use in a manufacturing education. An increase in the design abilities of the students was confirmed in a questionnaire provided after the program was put into practice.

KEYWORDS : analog circuit, education of analog circuit, electronic circuit, circuit design

1. まえがき

高専では学生の学習意欲や創造性を高めるため、これまでに多くのものづくり教育の実践がなされており、その成果が多数報告されている¹⁾²⁾。電子系のものでづくり教育の最終目標の1つとして、電子機器を設計できるようになることが挙げられる。学生は電子機器の回路を理解し、それを自作することでこれまで学習してきたことの価値を知ると共に大きな達成感を得る。

学生に電子機器を製作させようとした時、アナログ設計の知識が必要となることが多く、これが足かせとなる。アナログ技術の修得には電子回路の理論とそれを活用した製作経験が必要であり、多くの時

間がかかるからである。また電子回路の知識は、電子機器の製作を行う前に修得しておく必要があるのだが、電子回路の授業は、学生と教員の両方から厄介な科目と考えられている。学生の意見では、「回路が複雑で、理解が難しい。学んだ知識が将来どのように役に立つかわからない」。教員側では、「適切な教科書がない。分野が広く、教えることがたくさんある。教科書を教えてもすぐに設計できるようにならない」と、それぞれが電子回路の難しさを訴える。このような理由で学校の限られた時間内でアナログ技術を習得するのは、難しいと考えられている。実際に私が企業で働いた20年間を振り返って見ると、大学や高専を卒業した新入社員の中でアナログ設計の業務ができた学生は、ほとんどいなかった。多く

の者が、トランジスタを用いて LED を点灯させることすらできない状態であり、学校教育で電子回路を修得する難しさを感じていた。在学中に授業で電子回路を学んだにもかかわらず、卒業した学生のほとんどがアナログ回路を設計できない理由として次の理由が考えられる。

- ・教える範囲が広い

電子回路の範囲は、広範囲に及んでおり、それらを在学中に全部教えるのは現実的ではない。それらの多くの内容を教えようとすると、1つ1つの知識が浅くなり、学生は学んだ知識を使いこなすことができない。高専では特定の学習指導案がまだ決められておらず、教員の判断で教える項目やその内容を決定しなければならない。そのよりどころになるのが教科書であるが、電子回路の教科書は多く出版されているものの、その内容とレベルは教科書によってさまざまであり、回路設計の知識を身につけるためにどれを選べば良いのか選択に迷う。

- ・在学中に設計の経験をしていない

電子回路の知識は、授業で学んだだけでは不十分である。多くの学生は、たとえテストで良い点を取れたとしても、実際に機器の設計はできない。座学で学んだ後のなるべく早い段階で、その知識を使った機器を設計・製作・評価させることにより、初めて知識の活用方法を知り、理解度を深めることができる。

- ・古い回路や、難解な回路を教えている

トランジスタを用いた複雑で難解な古い回路は、近年オペアンプを用いたシンプルな回路へと置き換えられている。学校で教える回路も、実際によく使われるオペアンプ回路に変えていく必要がある。

- ・非線形回路の理解が不十分な状態で、実用回路を学習している

非線形回路は、ダイオードやトランジスタ回路を扱ったことのない学生にとって理解しにくいものである。非線形回路が計算できない状態で複雑な実用回路に入っても、学生はその動作を十分に理解できない。

本論文で提案する電子回路のカリキュラムは、初めに座学の「電子回路」で知識を学び、その後で学んだ知識を活用して実習で機器を製作し、その性能を評価するものである。座学の内容と実習で用いる技術内容は一致させる。そうすることで、効率の良い学習ができると共に、学生の学習意欲を高め、学んだ知識の理解を深めることができる。また学生に

非線形回路を理解させるための指導方法として、近似特性を用いた解法、テブナンを用いた解法を用いる。また学生に知識を定着させるために演習問題中心の学習形式で行われる。

本授業方法を実践した結果、学生は、5年卒業時に自分らで考えた回路を自分で設計することができるようになるのが確認された。またアンケート結果より「電子回路の授業は、実習をする上で大変役に立った」、「自分の技術が向上したことを実感できる」という学生の意見が多く聞くことができたので、その実施内容を報告する。

本論文の構成は、2章で授業方針を解説し、3章で実践した授業内容を、4章で各授業項目の指導方法を紹介し、5章でアンケート結果を示し、6章であとがきとなっている。

2. 授業方針

2. 1 座学と実習の連携

実施した授業では初めに電子回路の理論を座学で学ばせ、その後の実習で、教材用機器を製作させる。そしてこの教材用機器の回路は、座学で学んだ回路と同じ回路を用いる。この実習と座学の学習内容を一致させたカリキュラムは、以下の利点がある。

- ・時間の効率が良い

座学と実習で同じ回路を使うことにより、実習で回路解説の時間を短縮できる。

- ・動機付けをしやすい

座学の授業の初めに行うガイダンスで、実習で製作するシステムのデモンストレーションを行い、その回路図を見せる。そしてこの授業を終えた後にこの回路が設計できるようになることを約束する。多くの学生は、「周辺の電子機器のしくみが知りたい」、「作れるようになりたい」と思っているが、それができないことを残念に感じている。そのような学生は、このデモンストレーションによって学習意欲が一気に高まる。

- ・学んだ知識の理解を深めることができる

実習で教材を製作する際、同じ回路を座学ですでに学んでいるため、回路の動作を理解しやすい。実習では実際に物を作らせた後、評価して理論値と測定値が一致することを確かめる。もし製作した回路が動作しなかった場合、学生に自分で考えさせ、解決させることが大切である。学んだ知識を活用する経験は、知識の定着度を高めるだけでなく、知識の

価値を知り、学習意欲を高めるのに役立つ。そして自分で解決した経験は、学んだ知識への自信となる。

- ・教える内容が明確になる

学生の到達度目標が「教材の回路理解」と、はつきりするため、教えるべき回路や技術内容が絞り込まれる。

- ・教員の教える意欲が湧く

「作品を完成した時の喜びを体験させてやりたい」という教員の学生に対する思いが、教える側のモチベーションを高め、教える喜びが生まれる。教員は、教える意欲が湧き、教壇上で声に力が入る。

2. 2 演習形式の授業

授業は、学ぶ内容が問題化されたプリントが配布され、その課題に対して「課題の解説→演習→解法の解説」を繰り返す演習形式で行われる。講義を聞くだけの学習では、電子機器を設計する能力を身につけるのは難しい。設計能力は、頭を使い、問題を自分の力で何度も解くことで初めて身に付く。また演習形式の授業は次のような利点もある。

- ・問題形式にすることで、これから学ぼうとする内容や課題が明確になり、学生は課題に取り組み易い。
- ・課題が問題形式となっているため、テストで似た問題が出題される確率が高く、緊張感を持って取り組める。

- ・学生に回答をさせやすく、双方向授業にしやすい。

なお本授業で用いるプリントは、自作で作成し、参考書を補助的に用いた。また設問は、なるべくシンプルにして、パズルを解く感覚で演習が取り組めるようにした。

3. 実践した授業内容

3. 1 電子回路の授業内容

本電子回路の授業は、香川高等専門学校の電気情報工学科で行われる。4年生の後期に「電子回路Ⅰ」で基礎回路を週2コマ、5年生前期に「電子回路Ⅱ」で応用回路を週1コマ学習する。

表1は「電子回路Ⅰ」と「電子回路Ⅱ」の学習項目である。()の中の数字は授業回数を示しており、1回の授業は50分である。電子回路Ⅰでは、ダイオード、トランジスタ、オペアンプの基本回路を学習する。電子回路Ⅱでは応用回路が中心であり、実際の現場で使用される頻度が高く、かつ理解が比較的容易な回路を学習する。

表1 電子回路Ⅰ、電子回路Ⅱの学習項目

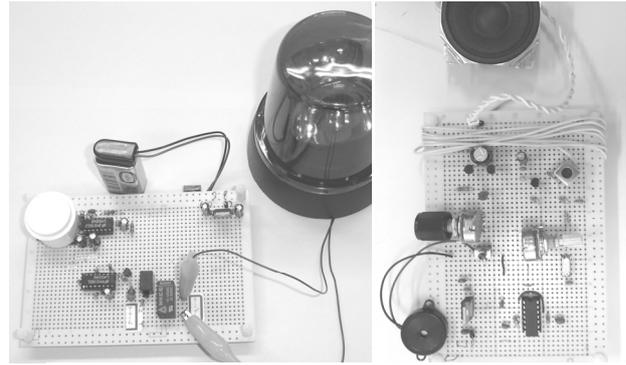
4 年後期 【電子回路Ⅰ】		
0. ガイダンス (1)		
1. ダイオード回路 (7)		
(1) ダイオード特性		
(2) スイッチング回路		
(3) ツェナーダイオード回路		
(4) ダイオードを用いた応用回路	【センサ】	
2. トランジスタ回路 (14)		
(1) トランジスタ特性		
(2) スイッチング回路	【センサ】	
[中間試験 1]		
(3) トランジスタを用いた論理回路		
3. 増幅回路Ⅰ (6)		
(1) バイアス回路		
(2) 動作点		
(3) 直流負荷線・交流負荷線		
[中間試験 2]		
4. 増幅回路Ⅱ (6)		
(1) hパラメータ		
(2) 等価回路		
5. 増幅回路Ⅲ (8)		
(1) 固定バイアス・自己バイアス回路		
(2) 電流帰還バイアス回路	【アラーム】	
[中間試験 3]		
6. オペアンプ (14)		
(1) 電圧比較回路		
(2) 反転増幅器	【センサ】	
(3) 非反転増幅器	【センサ】	
(4) 加減算回路		
(5) コンパレータ	【センサ】	
(6) タイマー回路	【センサ】	
[期末試験]		
5 年前期 【電子回路Ⅱ】		【回路設計】
0. ガイダンス(1)		センサシステムの製作
1. オペアンプ回路の応用 (5)		
(1) 単電源動作オペアンプ回路	【センサ】	
(2) フィルタ回路 (LPF、HPF)	【センサ】	
2. トランジスタ回路の応用 (4)		
(1) 各接地回路の特徴		
(2) エミッタフォロア	【アラーム】	
3. 定電圧回路 (2)	【アラーム】	
(1) トランジスタを用いた定電圧回路		
(2) オペアンプを用いた定電圧回路		
4. 電力増幅回路 (4)		
(1) PNP トランジスタ		
(2) B級プッシュプル電力増幅回路	【アラーム】	
[中間試験]		
6. 変調と復調 (5)		
(1) トランス		
(2) 変調と復調の理論		
(3) AM変調と復調	【アラーム】	
7. 発振回路 (6)		
(1) 発振の理論と発振回路		
(2) コレクタ結合形発振回路		
(3) RC 発振回路, LC 発振回路		
(4) 水晶発振回路	【アラーム】	
(5) パルス発振回路	【アラーム】	
8. FET		
(1) Hブリッジ回路 (1)		
[期末試験]		アラームシステムの製作

3. 2 実習内容

実習は、5年生前期に「回路設計（電子）」で前期に赤外線センサの設計・製作を行う。これは焦電センサの検出された信号をオペアンプで増幅し、5秒間警告灯を点灯させるものである³⁾。後期にアラーム回路の製作を行う⁴⁾。これは赤外線センサが反応した時にスピーカーでアラームを鳴らし、AMトランスミッタで電波を送信する装置である。

図1は、完成品の写真である。図2、図3は、それらの回路図であり、用いられる技術項目が点線枠内に示されている。これらの実習で製作する教材は、電子回路の授業の学習項目より抽出して製作される。表1内で、センサシステムで選ばれた項目は【センサ】、アラームシステムで選ばれた項目は【アラーム】と記されている。

また表1には、回路設計で製作されるセンサシステムとアラームシステムの製作時期も一緒に示されている。赤外線センサで使われる技術は、4年後期の座学で学び、その後5年前期で教材を製作する。センサシステムで使われる技術は、5年後期の授業で学び、5年後期で教材を製作する。実習の回路で用いられる全ての技術は、座学の学習後に現れており、学んだ知識がすぐに活用できるよう配慮されている。



(a) センサ回路 (b) アラーム回路

図1 教材の写真

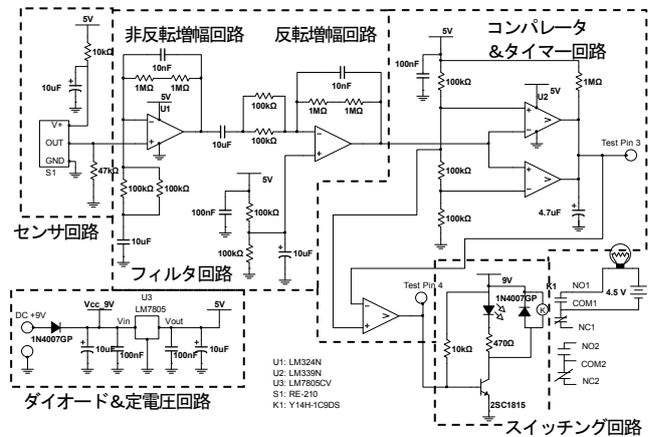


図2 センサ部の回路図

3. 3 注目されていない重要学習項目

次に教科書にはあまり解説されていないが、回路設計ができるようになるために必要となる重要な学習項目について述べる。

・ ダイオード回路

電子回路の導入段階で、ダイオードの学習に7回の授業を割く(表1参照)。これは非線形回路の計算方法をダイオードを使って十分に修得させるのが目的である。学生は初めてダイオード回路を扱うため、これまで学んだ電気回路の計算方法をどのように非線形回路に適用すれば良いか分からない。そのような学生に対しては、初期に十分なダイオード回路の演習時間が必要である。ダイオード回路の理解は、非線形回路の最も基礎となるため、ここでつまずくと、その次に学ぶトランジスタ回路の理解が難しくなる。

・ トランジスタのスイッチング回路

トランジスタのスイッチングは、実際のトランジスタ回路の中で最も使用頻度が高く、理解しやすい

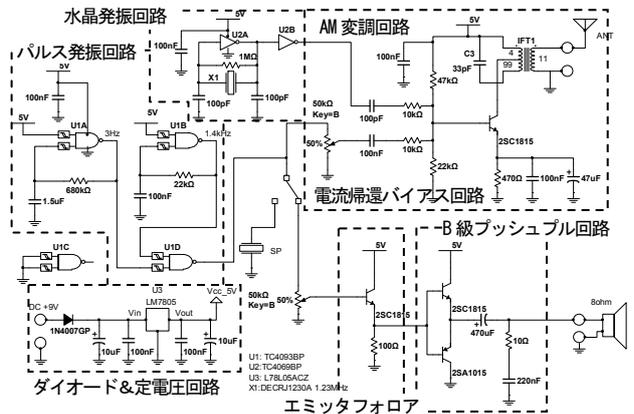


図3 アラーム部の回路図

回路である。トランジスタ回路の初期に学習するのが適しており、実際に設計ができるようになるまで学習する。スイッチング回路でトランジスタの動作を理解させた後に増幅器の学習へと繋げると、学生は無理なくトランジスタ回路の動作を理解できる。

・ トランジスタのバイアス計算

トランジスタの動作を理解し、設計ができるよう

になるためには、バイアス計算を十分に行う必要がある。バイアス計算はトランジスタ回路の基本であり、交流信号が加わった時の動作理解に繋がる。そのため本授業では、トランジスタの増幅回路の初期にバイアス計算として6回の授業を行い、学生の理解が深まるように配慮している。

・ 単電源動作オペアンプ増幅回路

増幅回路では、単電源動作のオペアンプ回路まで教える必要がある。学校用教科書で単電源回路を解説されたものは少なく、ほとんどが理想オペアンプか両電源を用いて解説されている。しかし実用回路では、単電源で動作させなければならないことがほとんどである。新入社員の多くの人たちが教科書に書かれた両電源用の回路をそのまま単電源で使用し、動作せずに悩むのを見てきた。単電源動作のオペアンプ回路は、重要な学習項目である。なお、オペアンプの学習は、初めに動作が理解しやすい比較器より学習する。その後に増幅器を学習すると学生は理解しやすい。

4. 各授業項目の指導方法

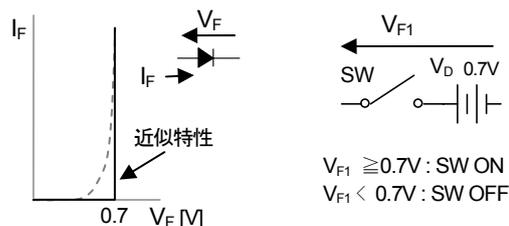
以下に本授業で実施したダイオードとトランジスタの指導方法の一部を紹介する。

・ダイオード回路

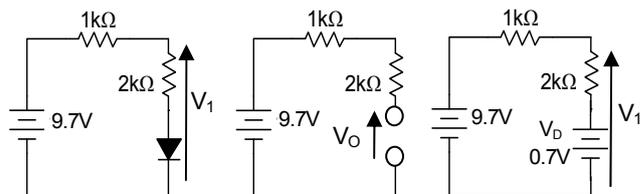
非線形回路を簡単に解析するために、ダイオードの近似特性を用いる(図5-a参照)。図5-bはそのダイオードの等価モデルであり、スイッチと0.7Vの直流電圧V_Dで構成される。スイッチは順方向バイアスV_{F1}が0.7V以上加わる時、ONとなり、V_{F1}が0.7Vより小さい時にOFFとなる(注1)。図5-cは、課題の回路図であり、その設問は「V₁を求めよ。」である。解法の初めは、図5-dのようにダイオードを取り外して考える。開放電圧V_oは、9.7Vであるため、ダイオードの順方向バイアスV_{F1}は0.7V以上であり、等価モデルのスイッチはONとなり、ダイオードは直流電圧0.7Vに置き換えることができる。この手順により非線形回路は、線形回路に変換できる。そしてこれまで学習した電気回路の計算方法を用いてダイオード回路を解けるようになる。LEDやツェナーダイオード回路も直流電圧V_Dの値を変えるだけで同様に考えることができる。

・トランジスタのスイッチング回路

スイッチング動作を教えるのに、図6の問題を解かせる。(1)の問に対してほとんどの学生がI_B=20μAの箇所、V_{CE}=-10Vと答える。そこで、NPNト



(a) ダイオード近似特性 (b) ダイオード等価モデル



(c).課題「V₁を求めよ」 (d) 開放電圧確認 (e) 線形回路に変換

図5 ダイオード回路の指導方法

問

(1) ベース電流 I_Bが以下の表に書かれた値で流れた時、コレクタ電流 I_Cとコレクタ・エミッタ間電圧 V_{CE}を求めよ。V_{BE}=0.7V, h_{FE}=100 とする。

(2) スwitchingを ON にするための適切なベース電流を下の表の中より選べ。

(3) I_B=30 [μA]の時のオーバードライブ OD の値を求めよ。

(4) OD=5 となるように R_Bの値を求めよ。

I _B [μA]	0	5	10	20	30
I _C [mA]					
V _{CE} [V]					

図6 トランジスタのスイッチング回路の問題

ランジスタの特性としてコレクタ電圧 V_Cはエミッタ電圧 V_Eより小さくなることはないことを教える。そして I_B=10μA 以上では V_{CE}=0V となり、トランジスタのコレクター・エミッタ間は、スイッチが ON の状態のように動作することを教える。(2)は、スイッチングするためのベース電流の問題である。多くの学生が消費電流を考えて、10μA と答える。そこで h_{FE}のばらつきや温度特性を教え、ベース電流は多めに流す必要があることを教える。そして(3),(4)でオーバードライブの動作について学ぶ。

・トランジスタのバイアス計算

図 7 (1)は課題の回路であり、設問は、「トランジスタの出力電圧 V_2 を求めよ」である。この問題の解法は多くあるが、本授業では、鳳テブナンの定理を用いて解くよう指導する。鳳テブナンの定理は、複雑な回路を簡略して、基本回路に置き換えることができるため、電子回路で用いると強力な解析ツールとなる。(2)は、鳳テブナンの定理により変換された回路である。A の入力部は、a の等価電源と等価抵抗に、B の出力回路は、b の等価回路に変換され、バイアス計算は簡単になる。

5. アンケート結果

5年修了時、回路設計の授業を受けた12名の学生にアンケートを行った。質問内容は(a)「製作にあたり電子回路の授業は役立ちましたか」と(b)「自分の回路設計能力が高まったと思いますか」である。アンケートは5段階評価で5が最も良い評価である。図8は、アンケート結果である。初めの(a)の質問には、ほとんどの学生が、大変役に立ったと感じている。コメント欄には「電子回路の授業がなければ、完成させることができなかつたと思う」「分からない箇所は、授業ノートを見直して理解できた」と書かれていた。次の(b)の質問に対しては多くの学生が、大変高まったと回答した。コメント欄には「1年前と比較して格段に能力が高まった」「他の本に載っている回路も理解できるようになった」と書かれていた。また実習の終わりには、多くの学生が自力で教材を完成させ、自主的に新しい回路を作る姿が確認できた⁵⁾。これらの結果より学生は、電子回路の座学と回路設計の実習を通して回路設計能力を高めたと言える。

6. あとがき

電子系ものづくり教育における電子回路の授業方法について述べた。提案した学習方法は、実習と座学の連携を図ることにより学生の学習意欲を高め、理解度を深め、かつ効率的に学ぶことができるものである。またものづくり教育のために重要となる電子回路の学習項目やその指導方法について述べた。本カリキュラムの実践後、アンケート結果より学生の設計能力の育成が確認された。本論文で提案した電子回路の授業方法は、ものづくり教育を目指す高専教育に役立つものである。

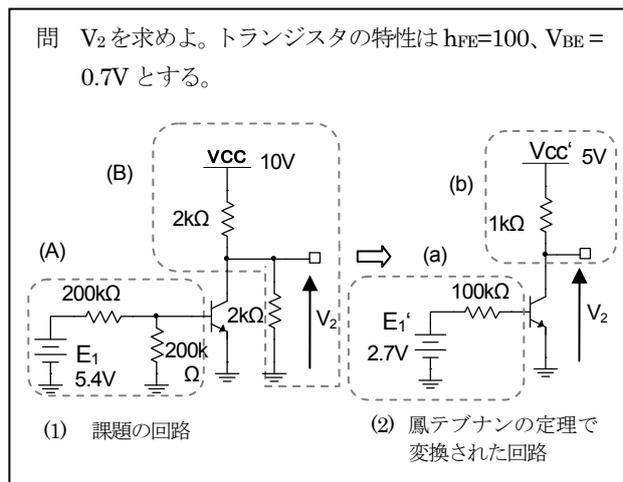
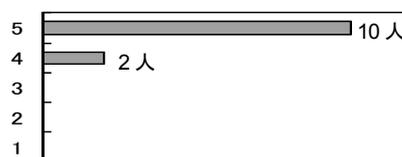
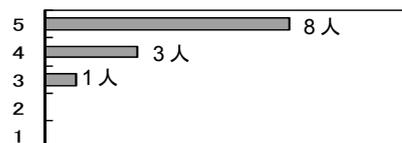


図 7 トランジスタのバイアス問題



(a) 製作にあたり電子回路の授業は役立ちましたか



(b) 自分の回路設計能力が高まったと思いますか

図 8 アンケート結果

参考文献

- 1) 出口幹雄他：電子創造性教育の試み，高専教育，No. 28，pp. 125-130 (2005)
- 2) 塩野計司他：創造性と実践力の発揮を促す実験科目の構成，高専教育，No. 31，pp. 433-438 (2001)
- 3) 辻正敏：アナログ回路設計の教材開発と実践（赤外線センサの製作），高専教育，No. 34，pp. 229-234 (2011)
- 4) 辻正敏：アナログ回路設計の教材開発と実践 2（アラームシステムの製作），高専教育 No. 35，pp. 61-66 (2012)
- 5) 辻正敏：ものづくり教材を用いた課題設定力と課題解決力の育成，高専教育 No. 36，pp. 271 - 276 (2013)

注記

- 注1) ダイオードに加える電圧の記号は、教科書によっては V_D を用いるものもある。