

ものづくり融合実習を通して感じること

愛媛センター（愛媛職業能力開発促進センター） 鍛冶原克之

1. はじめに

平成13年度から9年間ポリテクカレッジ福山において、アナログ電子回路、電子回路実験を中心に授業を担当してきた。

ポリテクカレッジは実学融合教育をその特徴の1つとしているが、理工系の授業は実験や実習を通して初めて理解できる内容が多く、融合教育はポリテクカレッジだけでなく多くの教育機関で実施されてきている。しかしポリテクカレッジでは更に20～30名の少人数教育が実施されており、実験実習の中で学生1人ひとりが取り組めることは、最大の特徴である。

私が担当してきた電子回路関係の授業でも、座学だけでは理解しがたいことが多く、製作を通じた実習を行って理解させることに努めてきた。製作は、電子回路、電磁気学、電気回路の分野を融合できる課題を選び、就職にも役立つよう配慮してきた。こうしたものづくり融合実習は、達成感からか多くの学生たちが熱心に取り組んでくれている。ここでは、その製作課題と、学生たちの製作実習に対する状況を、学生たちへのアンケートを通して述べてみたい。

2. 製作課題の紹介

(1) シリーズ型デュアルトラッキング電源の製作

図1に回路図を、写真1に製作物を示す。

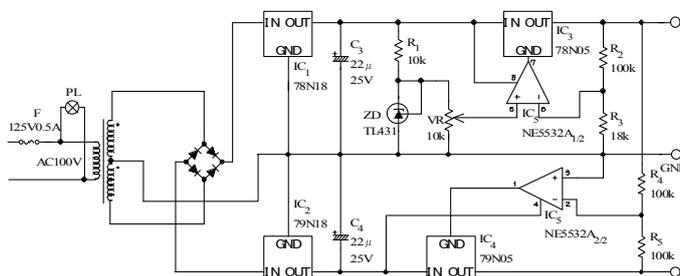


図1 シリーズ電源回路図



写真1 シリーズ電源製作物

掛けたときにバーチャルショートが働き、出力電圧を制御できることを、測定を通して徹底的に理解させる。

(2) FCCスイッチングレギュレータの製作

図2に回路図を、写真2に製作物を示す。

この製作の目的は、商用周波数トランスとスイッチングトランスの相違、トランスの極性を磁気学を使って明らかにする。さらにパワー MOSFETの動作原理と発熱処理、電解コンデンサの大きさとリップル電流容量の重要性、一般ダイオードと高速ダイオードの相違、PWM制御法などである。

トランスによるパワー MOSFETのドライブ法などである。

(5) AMラジオの製作

図5に回路図を、写真5に製作物を示す。

この製作の目的は、同調型高周波発振回路、直並列共振回路、同調回路、周波数変換回路の原理と働き、ヘテロダイン受信方式、検波回路と整流回路、受信感度の調整方法などである。

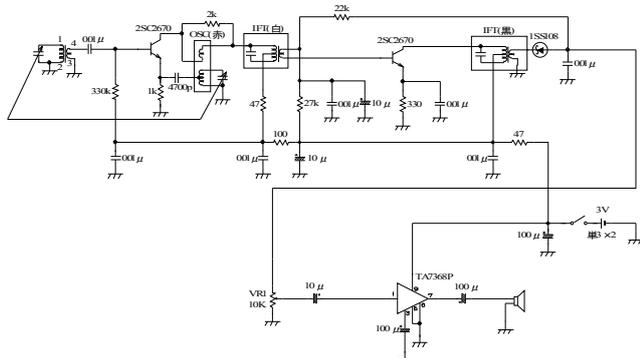


図5 AMラジオの回路図

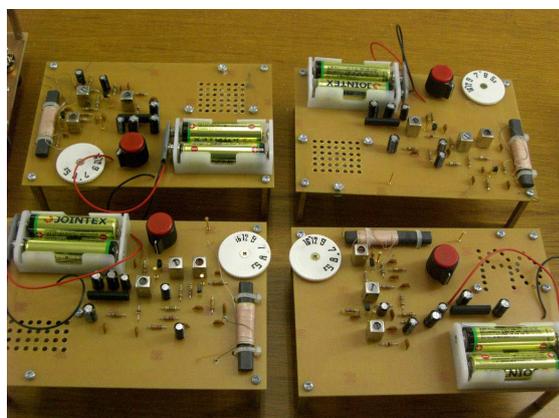


写真5 AMラジオの製作物

3. プリント基板の製作

すべての製作に共通するのは、電子回路結線図を、プリント基板として実現する力をつける、プリントパターンおよび基板製作実習である。

電子部品の規格書と実物を参考に部品パターンを製作し、次に回路図を見ながら配線パターンを基板の大きさの中に収めるように引いていく。電流容量やノイズの関係からパターンに制限が入るところも

あり、試行錯誤が続くことになる。比較的時間が掛かる面倒な作業であるが、毎年大半の学生が熱心に取り組んでおり、なかには残って作業を続ける学生もいる。慣れてくると座学で授業を聴くよりは、自分で考えながらできるのが面白いし楽しいという学生もいる。

最初のパターン製作実習は1年次の前期集中実習になるが、パターン製作に全実習時間の半分くらいの時間をかけている。これはパターンを引くことによって身につけてほしい下記のような目的があるためである。

- (1) 部品パターンを製作することにより電子回路部品を知り慣れる
- (2) 結線図における電子部品の記号と実物を結びつける
- (3) 電子回路部品の形、特性から部品の配置を考える
- (4) パワー素子におけるヒートシンク等、結線図にない部品の必要性を知る
- (5) 電子回路結線図を立体的に見る力をつける
- (6) 許容電流値からパターン幅に変化をつけることができるようにする
- (7) グラウンドパターンの取り方の重要性を知る

パターン完成後は、結線図どおりに配線ができているか、全員のパターンをチェックし、誤っている箇所があれば指摘する。指摘した学生の大半は、どう修正すればよいか聞いてくるので、授業の目的を説いて、修正を考えさせる。私が考えたパターンより良いパターンを引く学生もいて、センスの良さ、器用さに感心することもある。

2年次後半の総合制作では、ほぼ全員が自力でパターンを引き、露光、エッチングしてプリント基板を製作できるようになっている。

列車制御継電連動装置を製作する、ある信号機器メーカーで、数基のリレー架に数種類数百個のリレーを取り付け配線している社員の人が、「自分が作っている物がどういう動きをするのかはよく知りませんが、設計図を頂ければ、早く正確にそして見栄え良く組み上げる自信があります。これが仕事ですか

ら」と言われていたのを覚えているが、パターン製作を行うのは、そういった技能、技術を身につけることを目指す一歩にしたいという思いがあるからである。

写真6に製作中の様子および写真7に製作したパターンの一例を示す。パターンは力率改善型インバータ蛍光灯のパターンである。



写真6 配線パターン引き実習の様子



写真7 高力率インバータ蛍光灯パターン図

4. 測定器を使った視覚による確認

パターンが出来上がると、露光・エッチング・穴あけをしてプリント基板を製作し、部品の取り付け半田付けとなる。

半田付け作業に入る前にパターンの不良はないか、テストでチェックする癖をつけさせる。これはパターンが接近している箇所、エッチング不良等により細かなパターンの接触による短絡があるからである。また、細いパターンの切断している箇所もまれにある。

半田付け作業中は、抵抗、極性のある部品の取り付け間違いがないよう十分注意する。カラーコードを覚えていない学生に、抵抗の取り付け間違いが多くみられる。半田付け不良には特に注意する。目玉・イモ・ツノ・ヒビ・ブリッジ・半田くず・リード接触等、不良パターンについて十分認識させ作業に入る。半田付け不良は加熱不足が多いので、リードおよびパターンを十分加熱するよう指導する。

シリーズ型およびスイッチング型電源を制作していた頃、学生たちから出来上がって動きがすぐに見えないので、何をしているのかわからないといった意見をよく聞いた。

そこで新たに製作課題として取り入れたのが、力率改善型インバータ蛍光灯である。完成してスイッチをオンすると正常に動作すれば蛍光灯が点灯するのですぐわかる。自分が製作した蛍光灯が点灯したときの喜びからか、「オッ！ 点いた」という声思わず出るようである。

しかし、ここは学習の場である。無事点灯しただけで終わらせるわけにはいかない。動作原理を学習させる必要がある。

「蛍光灯を点灯させるには、電極（陰極）に電流を流して加熱する。ここで高電圧をかけることで高温になったエミッターから大量の電子を放出させる。放出された電子はもう片方の電極（陽極）に移動し、放電が始まる。この高電圧を発生するのに直列共振を使っている。……」などと黒板に書きながら説明し学生たちのほうを振り返ると、もう何人かが伏せている。さすがに製作を途中で投げる学生は

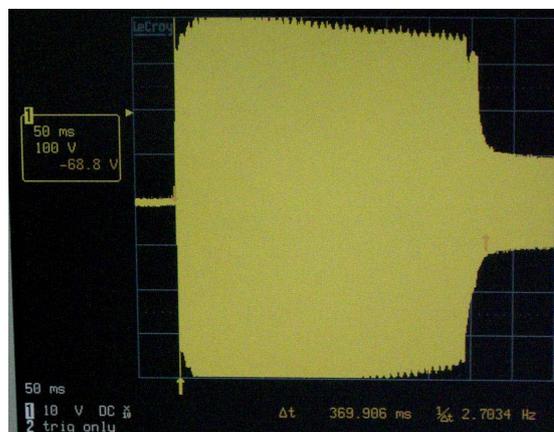


写真8 蛍光灯点灯時の電極間電圧波形

いない。パターン作成でも、何人かは、できた学生のファイルをコピーしたようで、全く部品配列が同じものがいくつか見受けられる。コピーしてでも一応作ろうとする姿勢があるが、原理等を聞き、理解しようとする学生は少ない。

授業を聴き理解しようとする学生は少ないので、理論的な話をするより動きを視覚で見るオシロス

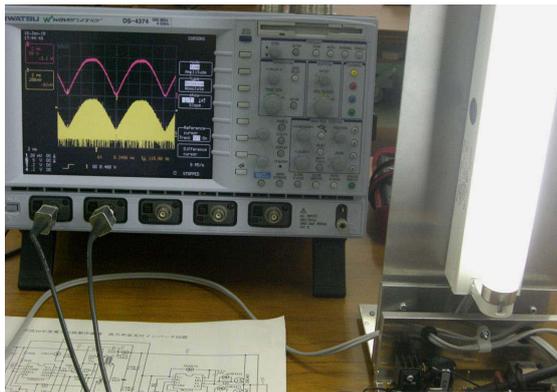


写真9 全波整流電圧と充電電流波形



写真10 市販インバータ蛍光灯の力率



写真11 製作したインバータ蛍光灯の力率

コープ等の測定器を使って、視覚により印象付けるようにしている。

写真8は点灯する瞬間の蛍光灯の両電極間の高周波電圧である。800Vppの電圧がおよそ370msにわたって掛っている。

力率が悪化するのには、交流電源の全波整流電圧波形に対し、平滑電解コンデンサの充電電流波形がパルス状になるため、電流を高周波でスイッチングして導通角を広げ、これを電圧波形に相似させる。これをオシロスコープで確認させる。この様子を写真9に示す。しかし、こちらのほうは何をしているのかよくわからないようで反応はなかった。

最近パワーメータが入ってきたので、力率が改善されている様子を目で見ることができるようになった。写真10が市販のインバータ蛍光灯の力率であり、0.57となっている。写真11は学生たちが製作したインバータ蛍光灯で力率は0.96である。どちらも100V、22Wであるが、電流値は市販の蛍光灯のほうが0.15A程度多いことがわかる。

5. 実習に対する学生たちの関心度

電子技術科最後の年の平成21年度2年生は、1年次と2年次で、FCCスイッチングレギュレータ、高周波誘導加熱器、AMラジオの3作品を製作した。

学生たちに、3つの中で良かったと思う順に番号をつけさせた。一番良かったと回答した学生が最も多かったのはAMラジオで、理由は最も身近な物で、選局して音が出たことであつた。最も不人気だったのはFCCスイッチングレギュレータであつた。AMラジオは音が出て、加熱器は熱くなるが、レギュレータはどうなればよいのかわからないというのが理由であつた。

また、回路図を見て自分でパターンを引き、エッチングして基板を製作する過程について聞くと、

- ・時間がかかるがきれいに仕上がる
- ・友達と話し合いながらパターンを考えるのは面白い
- ・パズルを組み立てていく作業みたいでとても楽しい

- ・自分が作ったパターンで動いたときはとても達成感があり楽しい
 - ・パターンを引くことは難しそうであったが、1年も経たないうちにできるようになり驚いた
 - ・面倒な作業だが回路図を理解できるようになる
 - ・とにかく座学よりは好きです
- といったようにおおむね好評であった。

さらに、こういった作品の理論や原理を理解すれば楽しいし、説明できるようになれば就職にも有利になるのではないか、と聞いたところ、

- ・原理には興味がない
- と答えた学生が19人中3人おり、
- ・難しいから自分には理解できない

と、最初から諦めて、その努力をしようとしないう学生も9人見受けられた。ほかは無回答であった。

作業はこなすが、仕組み等は理解しようとしないう学生たちの姿がみえてくる。

学生たちが製作した3つの作品の中で、最も時間を要したのは誘導加熱器の製作である。プリント基板の製作、アルミ製ケースの加工作業のほかに、加熱用コイルを巻く作業が入った。

入手できたリッツ線は、15/0.08で、これは直径が0.08mmのウレタン線が15本撚ってある撚り線であるが、これをさらに7本束ねて、0.8mmφの単線ウレタン線と同程度の断面積を稼ぐことにした。

リッツ線を巻くアクリル製のパイプは、直径が120mmあるので、これに20回程度巻くには、15/0.08のリッツ線は8mくらい必要である。これを直線状に7本用意して束ねていった。当然1人で作業することは難しく、実習場の作業台を一方に片付け、二人一組でリッツ線を張りながら束ねていった。

この作業では、面倒臭がって適当にしている学生はいなかった。むしろきれいに巻こうとして慎重になっているくらいである。また、「体を動かすことが好きだから、いつもこういう授業にしてほしい」という声も出てきた。実に生き生きと作業をしていた。

しかし重要なことは、なぜこういう面倒な作業をするのかということであり、こちらのほうに大いに関心を持ってほしいのである。

写真12左側はリッツ線を使ったコイルで、右側は同程度のインダクタンスが確保できるように、0.8mmφの単線のウレタン線を巻いたコイルであり、下の数値はLCRメーターで測定した、それぞれの空心状態のインダクタンス値とQ値である。

Q値に注目すると、リッツ線のほうが倍以上大きく確保できている。これは $Q = \omega L / R$ であるから、LCRメーターの発振周波数250kHzに対して、



写真12 リッツ線を使ったコイル（左）と単線ウレタン線を使ったコイル（空心）



写真13 リッツ線を使ったコイル（左）と単線ウレタン線を使ったコイル（ポット有り）

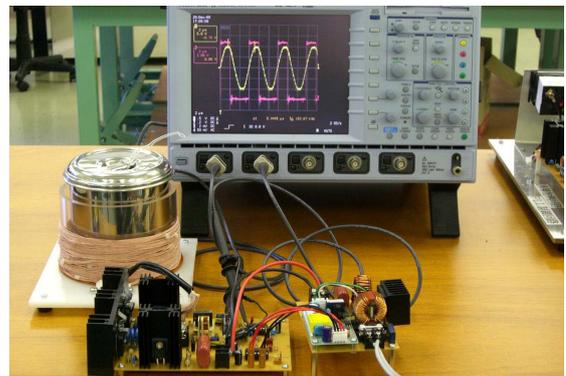


写真14 誘導加熱器の発振動作試験

表皮効果によって単線のほうのコイルの抵抗値が、倍以上大きくなっていることを示している。

また、写真13はアクリルパイプの中に、被加熱物となるステンレスポットを挿入して、インダクタンス値とQ値を測ったものである。Q値に注目すると、倍以上の開きがあったが、両コイル共に同程度まで下がっている。このことは空心時のQ値が高いほど、ステンレスポットに供給できる熱エネルギーとして、渦電流等の鉄損分が大きいことを示している。

製作した加熱用コイルは、耐圧1kVの高周波用セラミックコンデンサと直列共振回路を作るので、ステンレスポットを挿入した状態で、この回路の共振点周波数と共振点インピーダンスを、周波数特性測定装置で測定する。この値は学生個々により異なるので、実際はこの測定した周波数でのインダクタンス値やQ値をLCRメーターで測定し記録する。

製作には時間を要するため、多くの学生が放課後

残って製作している。また、一通り出来上がると動作確認をする。動作確認では、写真14に示すようにPLL回路が働いてこの共振周波数で動作していることを確認する。しかし一度で正常に動作することはまれで、その原因究明にまた時間がかかる。この段階になると連日遅くまで残っている学生も多い。一生懸命やっているのだから、上記のような自分の製作過程や測定結果を、原理とともにノートに整理すれば、良いドキュメントができるし、就職活動に必ず生かせると何度も言っているのだがなかなか旨くない。

先のインダクタンス値やQ値の測定、直列共振回路の共振周波数・共振点インピーダンスの測定、写真14のように共振周波数に応じて回路の発振周波数に変化する動作波形の測定等で、測定器に出た結果を見ながら理論的なことを説明するが、メモするあるいは必要なら写真に撮るといっても、撮ってほしいという学生は結局1人もいなかった。こういった製作実習を通して、電気・電子の仕組み・原理に興味を持ち、関心を示し、自分から学習するようになり、就職に生かしてほしいという思いで取り組んできているので残念である。

6. 就職活動に使ってみると

平成21年度、求人が大幅に減り、就職活動は非常に難しい状況であった。

その中で関西のK社が技術面接を行うといい、電子技術科から1人学生が受験した。FCCスイッチングレギュレータを製作したことを発表したいということで、試験前約1週間、放課後残って真剣に勉強した。

スイッチングレギュレータで最も重要なのはスイッチングトランスであり、トランスの原理、巻き数の求め方、極性の重要性、極性のチェック方法、PWM制御を使ったFCCの安定化法など説明していき、発表用資料も作成した。もちろん面接試験場では参照することはできない。

彼が試験場で作成したという発表資料を図6に示す。一生懸命覚えようとした跡はうかがえるが、学

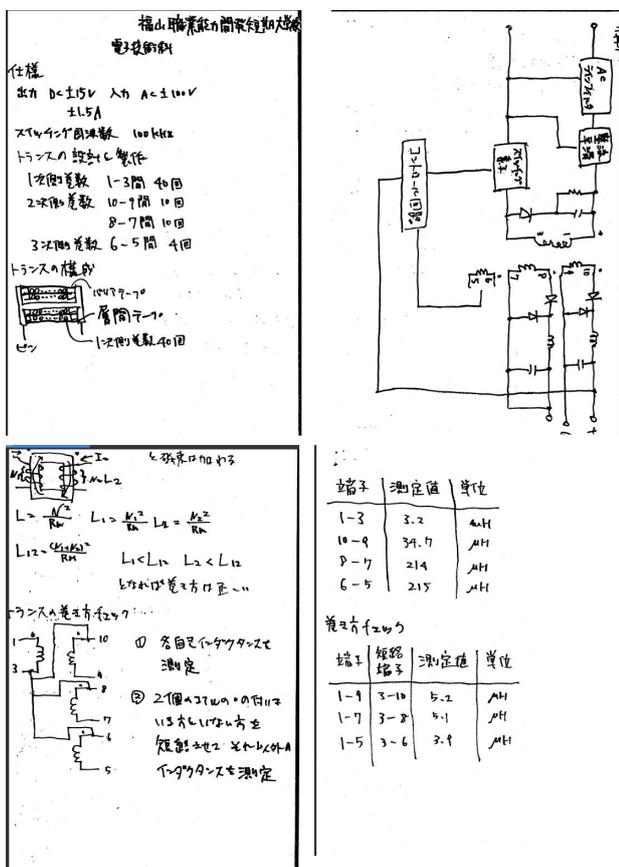


図6 K社の技術面接あて受験した学生が発表用に試験場で作成した資料

習した半分も書いていないし、フリーハンドで書いており、内定はやはり難しかったといえよう。

また、別の学生が関西のD社を受験したいといい、面接時に学校内でどんなことを勉強しているか聞かれたとき、スイッチングレギュレータを製作したことを中心に話したいというので、K社を受験した学生と一緒に、同様に勉強した。

面接官に強い印象を残すためにどうすればよいか。製作した作品を持っていくのはもちろんであるが、学生が実習でどのようなことを行っているのか、写真でも見てもらうことにした。実際の実習時の彼の写真があれば一番よいのであるがないので、写真15に示すように試験用に撮って、これをA4サイズに引き伸ばして、実際の作品と写真を見せながら、製作実習の説明をさせることにした。

また、この学生は声が小さく、元気がないように思われるといけなないので、担任がグラウンドに連れて行き大きな声を出す発声練習も行った。

時間をかけて実際に自分が製作しているので、製作過程の説明はできるが、どういう仕組みでどんな動きをしているのか、基本がしっかりと身につけていないと、自分の言葉で説明することができないようである。「『準備は良くできていますね』と言われました」と言っていたが、そのニュアンスのとおり内定は難しかった。



写真15 D社の面接で受験した学生が提示した実習写真

7. おわりに

5年くらい前に電子技術科から、福山市内の電機

の製造会社に就職した卒業生に、在学中にもっと勉強しておけばよかったと思う科目は何かと聞いたところ、即座に「電磁気学です」と答えた。やはり電磁気学は、電気・電子系にとってぜひ理解しなければならない重要な分野であり、私もこの製作実習において、電磁誘導現象、インダクタンス、磁気回路、相互誘導回路など何度も繰り返し説明してきた。しかもスイッチングトランスや誘導加熱現象、共振用やチョーク用コイルの話など製作に必要な最低限の範囲である。しかし彼らが自主的に理解し覚えようとする意欲を持たなければ、頭の中を素通りしてしまっただけなのだろう。

動機はどうであれ、電気・電子系の科に入学してくる学生たちに、電気磁気やアナログ電子回路関係で、これは面白いから仕組みや原理を勉強してみようと思わせる教材とはどんな教材なのだろうか。

K社を受験した学生の試験後の感想は、「原理をしっかりと深く勉強しておけば良かった」ということであり、後輩に伝えたいことは、「実習授業をきちんと受けること」であった。

その場におち当たってその必要性がわかるが、そのときには、自分の言葉で説明できるようになるくらいの十分な理解をして、覚えるための十分な時間がないのである。

座学より製作実習のほうが楽しく面白いという学生がほとんどであるというより全員といいいいが、その先にあるものにも、十分生かせることをわかしてもらい、自ら学習するようになるにはどうすればよいのか、もどかしさが続く。

<参考文献>

- 1) 高周波誘導加熱器の製作
稲葉保：『パワー MOSFET活用の基礎と実際』、P285～302 CQ出版
- 2) 力率改善型インバータ蛍光灯の製作
トランジスタ技術 2005年9月号 p235～242
- 3) トラッキング電源の製作
青木英彦：『アナログ回路の設計製作』、p79～91 CQ出版
- 4) AMラジオの製作
鈴木憲次：『ラジオ&ワイヤレス回路の設計製作』、p137～152 CQ出版
- 5) FCCスイッチングレギュレータの製作
トランジスタ技術 2000年5月号 p213～227