

厚生労働大臣賞（入選）

実学一体型訓練教材「実践FET活用技術」の制作と訓練実施状況について

神奈川センター（関東職業能力開発促進センター） 電気・電子系 高橋 昭吾

1. はじめに

雇用・能力開発機構 神奈川センターでは、求職者を対象とした6ヶ月訓練（以下、「求職者訓練」という。）および地域の事業主団体・企業の在職者を対象とした2～5日間の能力開発セミナー（以下、「能開セミナー」という。）を職業訓練の二本柱として実施しています。求職者訓練については13科（14コース）を設けており、電気・電子系では制御技術科、組込みマイコン技術科、生産システム技術科の3科を実施しています。また、能開セミナーについては電気・電子系で約70種類のコースを実施しています。いずれの訓練においても地域ニーズに即したカリキュラムにより、求職者訓練では早期就職に必要な基礎から応用までの知識・技能の習得を目標に、能開セミナーでは専門知識の習得、技能・技術の向上を目標に展開しているところです。

本稿では、能開セミナー「実践FET活用技術」での使用を目的に制作した教材および訓練の実施状況について報告します。

2. 教材のねらい

神奈川県は、自動車メーカーや家電メーカーなどの研究開発拠点となっており、エレクトロニクス分野の設計・開発現場で多数のエンジニアが活躍しています。現場のエンジニアや能開セミナーの受講者からは「バイポーラ・トランジスタに代わって、FETの使用頻度が高くなっている。」という声が多く、その

多くの声の本教材を制作したきっかけとなっています。

教材で取り上げているFET（Field Effect Transistor）は電界効果トランジスタと呼ばれ、1950年代にベル研究所で誕生した半導体部品です。以来、今日も発展を続けており電子回路の中で広く使われています。

モータ駆動や電源回路などに代表されるパワー・エレクトロニクス分野では、半導体によるスイッチング回路が主役となっており、なかでも高速スイッチング用途には「MOSFET」が使われています。また、センサ回路に代表される高入力インピーダンス回路や低雑音プリアンプには「JFET」が、無線通信アプリケーションなどの高周波回路には「HEMT」や「MESFET」が使われています。

FETは種類が多く、電気的特性や構造によって更に複雑に分類されます。その複雑な分類がエンジニアを悩ませ“FETは難しい”という印象を与えているようです。

本教材では、FETの中でもモータ駆動などパワー系の回路やセンサアンプなどの信号増幅回路によく使われている「MOSFET」と「JFET」について取り上げ、FETに関する基盤知識と応用回路技術の習得をねらいとしています。

3. 教材の概要

本教材は「テキスト／実習の手引き」、「テキスト／実習の手引き中のスライド資料」（以下、「スライド資料」という。）、「実習用ボード」、「D級アンプ



図1 「テキスト／実習の手引き」と「スライド資料のCD-R」

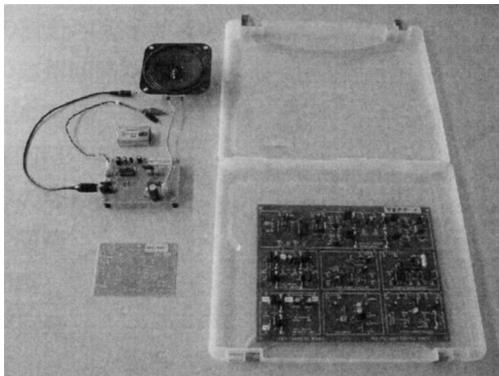


図2 「実習用ボード」と「D級アンプ製作基板」

製作基板」の4点で構成されています。

「テキスト／実習の手引き」については、今後の普及性や指導員相互の情報共有を考慮し「受講者用」とは別に「指導員用」も制作しました。この指導員

用テキストと「スライド資料」を併用することで、複数の担当指導員が共通認識のもとに訓練を展開することができます。

また、FETの電気的特性や応用回路技術について習得するための「実習用ボード」やものづくり課題用の「D級アンプ製作基板」を開発し、学科のみならず実技についてもサポートできるものとなりました。

3.1 「テキスト／実習の手引き」について

「テキスト／実習の手引き」については図や写真を多く取り入れ、ビジュアル的にも内容把握できるように努めました。また、実習項目ごとに「実習のねらい」や「実習方法」などを記載し、受講者が目的意識を持って実習に取り組めるような構成としています。なお、指導員用のテキストには「指導のポイント」を記載しており、これを参考に指導・展開できるようになっています。

以下は、「テキスト／実習の手引き」で取り上げている主な内容です。

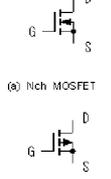
1. What's FET ?
 - ・ MOSFETの概要と伝達特性
 - ・ FETの動作モードについて
 - ・ JFETの概要と伝達特性
 - ・ LED点灯回路の設計エキササイズ
2. リニア・モードの応用回路

MOSFETを理解しよう

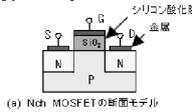
◆ MOSFETの概要



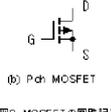
図1 使用するMOSFETの外観



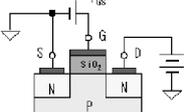
(a) Nch MOSFET



(a) Nch MOSFETの断面モデル



(b) Pch MOSFET



(b) バイアスのかけ方



(c) Nch MOSFETの断面モデルと動作原理

図2 MOSFETの回路記号 図3 Nch MOSFETの断面モデルと動作原理

■ □ 指導のポイント □ ■

・ MOSFETには、Nch (Nチャネル) 型と Pch (Pチャネル) 型があり、図2の記号で表される。各端子には、G (ゲート)、D (ドレイン)、S (ソース) という名前がついており、トランジスタのベース、コレクタ、エミッタに当てはめると分かりやすい。ただし、両者の動作原理は異なることに注意する。

<実習ボードの記号>

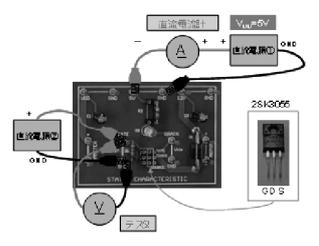


写真1 実習ボードの配線図

<実習方法>

1. ボード上に FET を装着し、機器の配線を行う。
2. 直流電源①を 5V に設定し、回路に印加する。
3. 直流電源②の電圧を 0V から徐々に上げていく。電流計の針が振れることと LED の明るさが変化する (明るくなる) ことで回路が正常に動いているかを確認する。
4. 直流電源②で V_{GS} を 0V ~ 4V まで変えながら、電流計で I_D を測定する。同時に下のグラフに V_{GS} と I_D の読みをプロットする。なお、 V_{GS} はテスタで測定する。おおよその特性をつかむことが目的であるため、大雑把な測定でよい。

図3 「テキスト／実習の手引き」の内容例

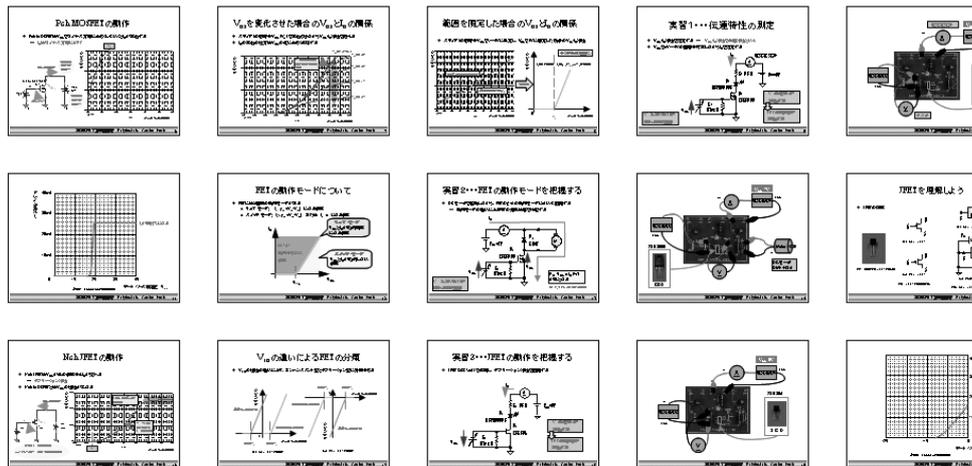


図4 CD-R中のスライド例

- ・LEDの定電流駆動回路
- ・ソース接地増幅回路
- 3. スイッチ・モードの応用回路
 - ・ハーフブリッジ回路
 - ・フルブリッジ回路
- 4. 高速スイッチング回路
 - ・MOSFETのスイッチング特性と特性の改善手法
 - ・Nch MOSFETを用いたフルブリッジ回路
- 5. ものづくり課題…D級アンプの設計・製作
 - ・D級アンプの概要
 - ・PWM回路の構成と動作原理
 - ・電力スイッチ部と出力フィルタ部の構成と定数設計
 - ・基板への実装と動作検証・評価

3.2 「スライド資料」について

「テキスト／実習の手引き」に掲載されている図や写真をまとめたスライド集です。座学時あるいは実習方法を説明する場合に使用する指導員用の資料です。

3.3 「実習用ボード」について

7種類の回路を1枚のボード上に収めたコンパクトなもので、実習内容に応じて部品の差し替えが可能となっています。これにより、受講者はブレッドボード上での回路製作時間を大幅に短縮することが可能となり、効率よく知識と技術を習得することが

できます。また、教材という観点から、計測器との接続用にテストピンを配置したほか安全面を考慮して、耐電圧・耐電流の大きい部品を採用しています。

なお、能開セミナー「実践FET活用技術」では、本実習用ボードを使用した以下の12種類の実習を行っています。

1. MOSFETの伝達特性の測定
2. MOSFETの動作モードの把握
3. JFETの伝達特性の測定
4. 複数個LEDの定電流駆動回路
5. MOSFETによる増幅回路
6. JFETによる増幅回路
7. MOSFETを用いたハーフブリッジ回路
8. MOSFETを用いたフルブリッジ回路
9. DCモータの速度コントロール
10. MOSFETのスイッチング特性の把握
11. 高速スイッチングのための各種ドライブ回路
12. ハイサイド・ゲート・ドライブと実用フルブリッジ回路

3.4 「D級アンプ製作基板」について

本基板は最終的な総合課題用として開発したものです。受講者自らが課題回路の設計・製作・評価に取り組むことで、訓練効果を更に高めることをねらいとしています。

受講者の興味・関心を喚起するために、近年、カ



図5 実習用ボードの外観

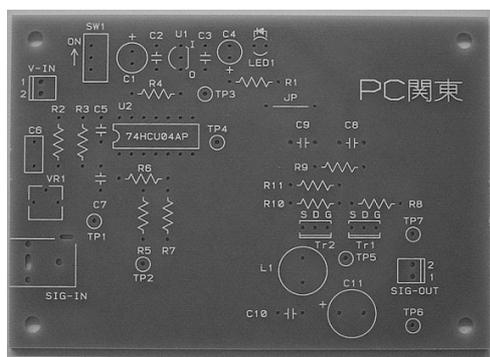


図8 D級アンプ製作基板の外観

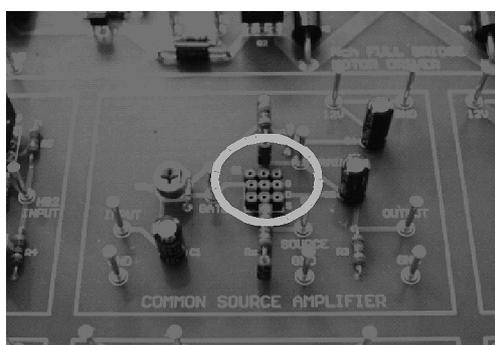


図6 実習用ボードでの部品差し替え可能箇所

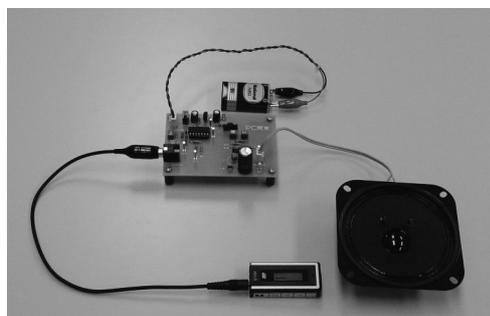


図9 完成したアンプにMP3プレイヤーを接続してスピーカをならしている様子

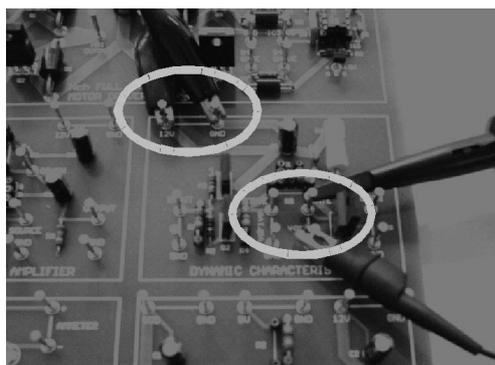


図7 テストピンへの配線接続の様子

オーディオや薄型テレビなどに多数採用されているD級アンプ（デジタル方式のアンプ）を題材としました。

設計に関しては、PWM回路部の発振回路，電力スイッチのゲート駆動部，出力フィルタの各定数設計について受講者に行ってもらいます。

なお，ハンダ付け完了後の動作確認・評価については，オシロスコープによる波形の観測，FFT解析，ゲイン-周波数特性の測定などにより行います。

4. 訓練実施状況および結果報告

「実習用ボード」と「D級アンプ製作基板」を使用しての訓練は，平成19年度から実施しています。ここでは，能開セミナー「実践FET活用技術」の実施状況と受講者からのアンケート結果について報告します。

4.1 訓練実施状況について

コース名：「実践FET活用技術」

訓練時間：18時間（3日間）

定員：10名/回

受講者数：15名

実施回数：2回（平成19年度～平成20年度11月末現在）

なお，本コースは表1のカリキュラムシートに基づいて実施しています。

表2 アンケート結果（訓練内容等）

項目	項目詳細		人数	割合	備考
受講者区分	職種	製造業	10	71%	
		情報・通信業	4	29%	
受講者満足度	大変役に立った		3	21%	
	役に立った		11	79%	
	役に立たなかった		0	0%	
	全く役に立たなかった		0	0%	
役に立った理由	理論と機器を使った演習・検証が理解の向上に役立った		4	29%	
	知識・経験が整理でき、今後の方向性や要点が整理できた		2	14%	
	新たな知識・手法を身につけることで業務の幅が広がった		6	43%	
	その他		2	14%	
カリキュラムについて	よい		13	93%	1名
	よくない		0	0%	未回答
教材（資料）について	大変わかりやすい		2	14%	
	わかりやすい		11	79%	
	わかりにくい		1	7%	
	全くわからない		0	0%	

表3 アンケート結果（受講者習得度の確認）

訓練項目	受講前		受講後	
	習得度	割合	習得度	割合
FETの概要について	1	29%	1	0%
	2	29%	2	0%
	3	43%	3	29%
	4	0%	4	57%
	5	0%	5	14%
リニア・モードの回路について	1	64%	1	0%
	2	36%	2	7%
	3	0%	3	43%
	4	0%	4	43%
	5	0%	5	7%
スイッチ・モードの回路について	1	64%	1	0%
	2	21%	2	0%
	3	14%	3	43%
	4	0%	4	50%
	5	0%	5	7%
高速スイッチング回路について	1	64%	1	0%
	2	29%	2	0%
	3	7%	3	57%
	4	0%	4	29%
	5	0%	5	14%

※習得度判断の目安 1：まったく理解していなかった（できなかった）
 2：ほとんど理解していなかった（できなかった）
 3：おおむね理解していた（できた）
 4：かなり理解していた（できた）
 5：十分に理解していた（できた）

を活用しながら座学と並行して実習を行うことで理論と実践を身につけることができたのではないかと考えています。

教材については、「大変分かりやすい」、「わかりやすい」の合計が93%、「わかりにくい」が7%となっています。これまでは、実習方法の説明を口頭で行っていたため、わかりにくい点があったようです。今回制作した教材は、その反省点を踏まえて「実習の手引き」をテキストに盛り込み、詳細な実習方法を記載しています。また、測定結果や実習のまとめが記入できる欄を設け、復習時に少しでも役立つ教材としました。

表3は、受講者の習得度に関するアンケート結果で、いずれの項目においても受講後のポイントがアップしています。これも本教材を活用することによって、受講者が短期間で効率よく知識と技術の習得ができた成果の現れであると考えています。ただ、「訓練項目」の内容が簡易的なものとなっているため、残念ながら詳細な分析には至っていません。今後は、新たなアンケート様式を用意するなどして更なる工夫により習得度の分析を行っていこうと考えています。

5. おわりに

本教材は、能開セミナー「実践FET活用技術」で

の使用を目的に制作したのですが、「実習用ボード」については個別回路の集まりであるため、他の訓練でも使用可能となっています。次年度については、能開セミナー「事例で学ぶフィードバック制御回路（DCモータ編）」や求職者訓練（電子回路技術科）の「アナログ応用回路設計技術」等での活用を検討しています。

まだまだ、完全な教材とはいえませんが、多くの方々から意見をいただき今後も教材の改良・改善に努めていきたいと考えています。また、新しい時代を創るエンジニアの技術力向上に役立つような、新たな教材づくりにもチャレンジしていきたいと思っています。

最後になりましたが、本教材を制作するにあたり、いろいろな方々にお世話になりました。教材の企画、開発等の面で多大なご尽力をいただきましたアキュフェーズ（株）鈴木 雅臣氏、「実習用ボード」の製作等でご協力いただいた神奈川センター電気・電子系の方々にこの場を借りてお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 鈴木雅臣：「実習で学ぶFET活用ノウハウ」セミナー資料、2006年11月25日～26日、於：雇用・能力開発機構 神奈川センター
- 2) 渡辺明禎：特集 はじめてのトランジスタ回路設計、「トランジスタ技術」2003年4月号、CQ出版（株）
- 3) 稲葉保：「パワーMOSFET活用の基礎と実際」、CQ出版（株）

好評発売中!

書籍案内

地域における雇用創造

～未来を拓く地域再生のための処方箋～

地方自治体による人材育成、資源活用、情報発信への支援、連携
——地域が主体的に推進する活性化策の具体例を紹介

地域の未来はこうして拓く!

発行●財団法人 雇用開発センター
発売●社団法人 雇用問題研究会

執筆者
伊藤 実
金 明中
清水希容子
永久寿夫
西澤正樹

●A5判 / 292ページ / ソフトカバー
●2008年6月発行

●定価2,000円(本体1,905円)
ISBN978-4-87563-245-0

■ご購入・お申し込みはこちら

社団法人 雇用問題研究会 <http://www.koyoerc.or.jp>
〒104-0033 東京都中央区新川1-16-14 電話 03-3523-5181(代表) FAX 03-3523-5187

改定発刊教科書のご案内

職業能力開発総合大学校 能力開発研究センター編 厚生労働省認定

木工材料



B5判 / 244 ページ / 定価 2,205 円 (本体 2,100 円)
ISBN978-4-87563-405-8

- 木工材料の概説
- 木材の構造と性質
- 主要木材と木取り
- 木材の乾燥と保存法
- 木質材料
- プラスチック成型材料・その他の材料
- 接着と接着剤
- 金属材料および金具類
- 内装材料

大変お待たせ
いたしました

職業能力開発総合大学校 能力開発研究センター編 厚生労働省認定

木工加工系実技教科書



A4判 / 196 ページ / 定価 2,625 円 (本体 2,500 円)
ISBN978-4-87563-090-6

長さの測り方、かな刃の研ぎ方、線引き、のこびき、欠き取り、接合、接ぎ手、研削盤による刃物の研ぎ方、手押しかな盤の使い方、電動丸のこの使い方、電動ドリルの使い方、かまち組みの組立て他

お申込み・お問い合わせは **社団法人 雇用問題研究会**

<http://www.koyoerc.or.jp> 〒104-0033 東京都中央区新川1-16-14 電話 03-3523-5181 FAX 03-3523-5187