

医療福祉工学コースにおける回路シミュレータを活用した 回路設計学習法の実践的検討

Practical Analysis of Exercise Style Learning for Electronic Circuits Design using Circuit Simulator in Medical and Welfare Engineering Course

福田 恵子¹⁾ , ニコデムスレディアン²⁾

Keiko Fukuda¹⁾, Nicodimus Retdian²⁾

Abstract: Human resources capable of designing electronic circuits are widely required. We saw the importance of circuit design education in order to provide the students with more options for their future professionalism. Thus, it is important to teach the concept and to raise student interest in circuit design. Since the time allocation for the learning is limited in the medical and welfare engineering course, we are trying to find an effective learning method to teach the essence of circuit design. We developed an exercise style learning method of circuit design based on assignments of circuit analysis using QUCS, open licensed circuit simulator software. The proposed learning method fully utilizes the merit of QUCS as a freeware. Survey result shows that more than 80 percent of the students understood the usage of the simulator and that around 60 percent of the students understood the relationship between the preliminary assignment and the designed circuits in the exercise. Our proposed method is effective for learning the concept of the electronic circuits design. The improvement of preliminary and exercise assignments will be a future task to make more students get a better understanding and interested in the circuit design.

Keywords: Electronic circuit, Operational amplifier, Circuit design, Analog circuit

1. はじめに

電子回路技術は電子機器の小型化や多機能化, さらに自動車等の機械の制御の分野で重要度を増している. そのような製品の開発・製造に対応できる回路技術者の活躍の場は広い. このような状況の中で, 高等専門学校においても電子回路や電気回路の授業及び実験実習が行われている. さらに回路設計から LSI 実装までを大規模集積システム設計センター (VDEC : VLSI Design and Education Center)^[1] を利用した回路設計試作システムを通じた教育を行い, 回路設計技術者を育成する動きもある^{[2][3]}. これらは半導体のプロセスやデバイス特性を実践的に学習して集積回路の内部回路やデバイスの設計技術を養い, 集積回路の設計が行える技術者を育成することに主眼がおかれている. 製品の開発・製造現場においては集積回路の設計のみならず, それらを使用した回路や回路ブロックを設計できる技術者も求められている. 社会のニーズに対して回路設計技術者, 特にアナログ回路の設計技術者の養成は追いついていないのが現状であり, 回路教育を通して社会の要請に応えられる技術者の育成が望まれている. このようなニーズに答えられる技術者を育成することが高等専門学校の 1 つの使命であると考えられる.

この中で, 著者が所属する本校の医療福祉工学コースは電子, 機械, 情報の基礎を学び, 医療福祉機器をはじめと

する工業分野で活躍できる技術者の育成を目指している. しかしながら, 電子系分野は機械系分野に比べて, 理論と回路動作のつながりが視覚的・直感的に理解しづらい面があり, 学生にとってどちらかといえば敷居が高く感じられている. 本研究の目的は, このような電子回路に対する抵抗感をなくし, 学生の関心を高めて, 自主的・積極的に取り組む姿勢を育てることである. さらに, 卒業研究や就職・進学などの進路を決める際の 1 つの選択肢として回路設計技術に目を向けられるようにすることを目指している.

医療福祉機器における電子系の技術は福祉機器の制御や微弱信号の検出技術と共に, 回路方式や信号処理方式などの理論的な理解が必要である. 特に微弱信号の検出にあつてはセンサとアナログ回路が重要である. このようなアナログ回路の設計の基礎となる実践教育法を検討している. この際に複合コースである医療福祉工学コースにおいて, 時間的な制約が特に大きな課題である. 現状のカリキュラムにおいて, 3 単位 (1 年半) の中で半導体の基礎から, 回路方式や用法に至るまで習得する必要があり, 基礎理論の習得と理解度を確認するための計算問題が中心となる傾向がある. これが回路の動作がわかりづらいという問題に拍車をかけ, 実用面で重要となる「設計」の概念が伝わりにくくなっている. そこで, 「設計がどんなものか?」に興味を持たせるためにオープンソースの回路シミュレータ

1) 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科, 医療福祉工学コース 2) 東京都立産業技術高等専門学校 非常勤講師, Global Edge Institute, Tokyo Institute of Technology

(QUCS: Quite Universal Circuit Simulator) ⁶⁾を活用した回路設計学習法の実践的検討を行った。回路シミュレータにて回路図を作成すれば回路の動作を視覚的に把握できる。しかも自宅の PC を活用して回路解析が行えることから自主的な学習意識を育てる効果があると期待できる。

本報告では本科医療福祉工学コース 4, 5 年の授業での実施内容に関して報告し、さらに、今後の課題と展望について述べる。

2. 授業の展開と演習の位置づけ

今回、電子系の科目の中で取り上げている科目はアナログ電子回路に関する授業である。医療福祉工学コースにおいては本科の第 3 学年から第 5 学年にかけて現行のカリキュラムにおいて 3 単位の授業を行っている。この中で取り扱う主な学習項目と該当科目を表 1 に示す。

表 1 アナログ電子回路の主な学習項目と該当科目

学習項目	該当科目
(1) 半導体の基礎	電子回路 I
(2) ダイオード (動作原理, 静特性, 動特性)	電子回路 I
(3) トランジスタ (動作原理, 静特性, 動特性)	電子回路 I, III
(4) 負帰還の原理と演算増幅器の基礎	電子回路 III
(5) 正帰還の原理と発振回路	電子回路 III 医用電子回路設計
(6) 変調回路 (振幅・周波数変調方式)	医用電子回路設計
(7) 演算回路の内部回路	医用電子回路設計
(8) 演算増幅器の応用 (フィルタ, 仕様, 雑音特性)	医用電子回路設計
(9) アナログ・デジタル変換方式	医用電子回路設計

このうち、(1) 半導体の基礎、(6) 変調方式、(9) アナログ・デジタル変換方式などの項目は、一般的な電子工学系の学科、コースにおいては半導体物性、通信工学、電子計測などの授業科目において理論や方式を学習する内容である。しかしながら、医療福祉工学コースにおいては該当科目を開講する余裕がないことから、電子回路の中で基礎的な内容を取り扱っている。従って、各学習項目の授業時間が必然的に少なくなっている。この制約のある状況において、設計を意識した授業展開を図るために、回路シミュレータによる動作解析を授業の演習に取り入れることとした。本年度は回路入力と特性の理解・考察が比較的簡単な項目(4)(5)(6)に相当する演算増幅回路を中心とした回路動作特性の解析に関して演習を行った。

3. 回路シミュレータによる演習

3.1 回路シミュレータの特徴・機能

回路シミュレータは、電気回路や電子回路の動作をパソコン上で確認するシミュレーションソフトウェアである。実際に部品や基板を使って回路を組み立てて回路の特性を測定することなく、回路の動作を知ることができる。企業では、集積回路や回路・素子の開発や設計時に試作前の動作確認に用いられる。教育面では、電気回路や電子回路の学習に役立てることができる。

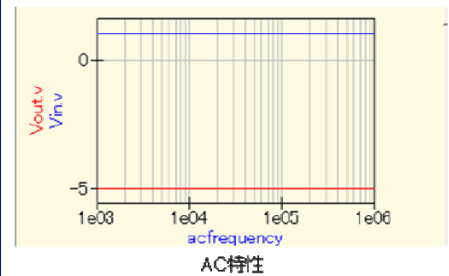
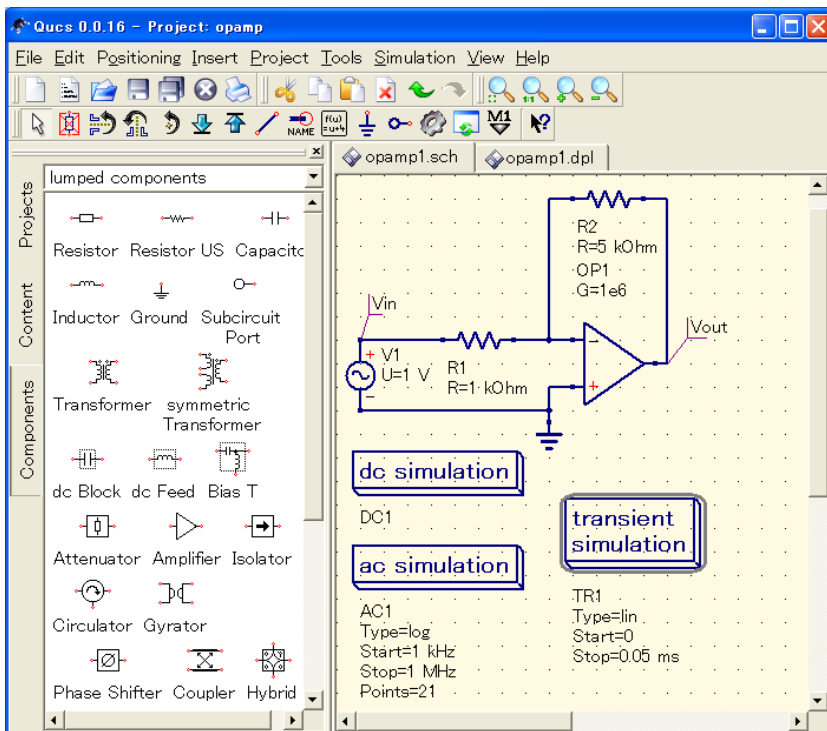
アナログ回路のシミュレータとして有名なものには、1973 年にカリフォルニア大学パークレー校で開発された SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) がある。SPICE は受動素子 (抵抗, キャパシタ, インダクタなど) や能動素子 (ダイオード, トランジスタなど) の特性を予め定義しているモデルパラメータと呼ばれるものを用い、これらの受動素子や能動素子と伝送線路や各種電源を組み合わせた回路の動作を解析するソフトウェアである。

今回使用する QUCS は、簡易的であるが SPICE に類似したアナログ回路の特性を解析できるオープンソース・ソフトウェアである。グラフィカルなユーザインターフェースを持つことから SPICE のコマンドを意識せずに回路解析が行える。QUCS は各種 OS 向け (Linux, Windows, Unix, Mac OSX) に提供されており、言語も日本語などが用意されている。抵抗, キャパシタ, 増幅器などを配置した回路図を作成し、回路の定数を入力して実行すると、グラフや表で結果を確認できる。また、SPICE と同様に回路のデバイスモデルが部品ライブラリーとして用意されており、実際の回路の特性を考慮した解析が可能である。さらに、QUCS はフリーウェアであり、プログラムの容量も大きくないことから、学生が自宅の PC にインストールして回路解析を行うことも容易である。また、マニュアルの入手も容易であり、自学自習に適している。

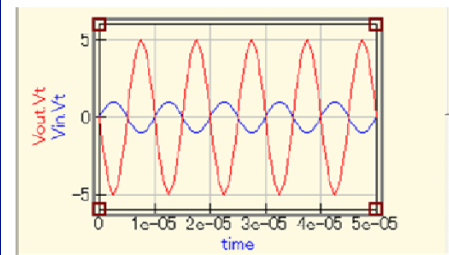
ここで、QUCS による回路解析方法を図 1 により簡単に説明する。まず、解析を行う回路図を入力する。図 1 (1)の左枠内に示される部品を選択して右枠内に配置して配線し、回路図を作成する。次に解析の種類を指定する。DC simulation は直流解析(直流動作点の決定), AC simulation は交流解析(周波数特性), TR simulation は過渡解析(時間に対する特性)である。図 1 の回路は反転増幅回路である。入力電圧 V_{in} に対する出力電圧 V_{out} は抵抗 $R_1 (= 1 \text{ k}\Omega)$, $R_2 (= 5 \text{ k}\Omega)$ を用いて次式で与えられる。

$$V_{out} = -R_2 / R_1 \cdot V_{in} = -5V_{in} \quad (1)$$

解析は図 1 (1)上部の Simulation ボタンを押すことで実行できる。図 1 (2)に示す解析例のように、交流解析では入力電圧 1 V に対して -5 V の一定出力が、過渡解析から



AC特性



TR特性

(1)

(2)

図1 回路シミュレータ QUCS (1) 部品と回路入力の場合, (2) 解析結果の例

は振幅 1 V の正弦波入力に対して出力では位相差が 180 度、振幅が-5 V の正弦波が得られることが確認できる。

3.2 演習内容

3.2.1 演習の流れ

演習のはじめに演習の目的と回路シミュレータの役割について説明する。次に回路シミュレータの使用法を説明する。回路図の入力方法と解析方法について理解するために、演習室にて PC を使いながらシミュレータの動作を体験する。図 1 に示す例題の回路図を入力し、交流解析と過渡解析を行う。また、作成した回路図とシミュレーション結果の出力 (印刷) 方法を PC を使いながら指導する。2 時間の授業時間の中で上記の説明と次章で述べる課題を提示する。課題は、あらかじめ授業にて動作を学習した回路と構成が等しい回路である。課題提出後に 1 時間、演習で求めた解析結果に関する解説を行い、演習に関するアンケート調査を実施した。第 1 回目の演習に要した時間は 30 時間の授業時間の中で 3 時間であり、10%と低く抑えられている。

3.2.2 演習項目

演習の具体的な実施項目と該当科目を表 2 に示す。

表 2 演習の実施項目

演習項目	該当科目
(1) 演算増幅器	電子回路Ⅲ
(2) 発振回路	医用電子回路設計
(3) 能動フィルタ	医用電子回路設計

ここでは主として(1)の演算増幅器 (オペアンプ) に関する演習内容について説明する。この演習の目的は以下の 4 点である。

- (1) 回路設計の意識付け
 - (2) 理想オペアンプの動作特性の理解
 - (2) 周波数特性の考え方の確認 (RC 回路)
 - (3) 現実のオペアンプの動作特性の理解
 - (4) オペアンプ実用回路へのシミュレータ適用法の理解
- 演習では、回路設計を意識できるように、事前課題として設計条件を与えて回路定数を求める。図 1 の例題の場合の事前課題は、与えられた回路の増幅度を満たす抵抗 R_1 と R_2 の値を決定することである。また、周波数に対する信号特性の考え方を理解することを主眼として、交流解析を主に演習で実施する。回路の入力例やシミュレーション条件の設定方法に関しては図 2 に示すような形であらかじめ提示する。さらに回路仕様に対する関心を高めるために、現実の演算増幅器と理想演算増幅器の周波数特性の違いを解析する。演算増幅器のデバイスモデルは、図 1 上部の Tools 内から図 3 に示すように部品を選択して用いる。理想演算増幅器と異なり、回路に供給する電源電圧 VCC、VEE も配線する形状となっている。

電子回路の応用・実践科目である医用電子回路設計では、演算増幅器の演習で学習した内容をもとに、発振回路と能動フィルタの解析に取り組む。発振回路に関しては発振の原理と素子決定方法の理解、フィルタ特性に関しては周波数特性や安定性の検証を目的としている。条件

設定がやや難しい過渡解析も実施し、発振が収束する様子などを観測する。

演習後は、回路図とシミュレーション結果を添付して課題を提出する。(1)の演算増幅回路では2回の課題提出を(2)発振回路と(3)能動フィルタでは各1回の課題提出を課している。

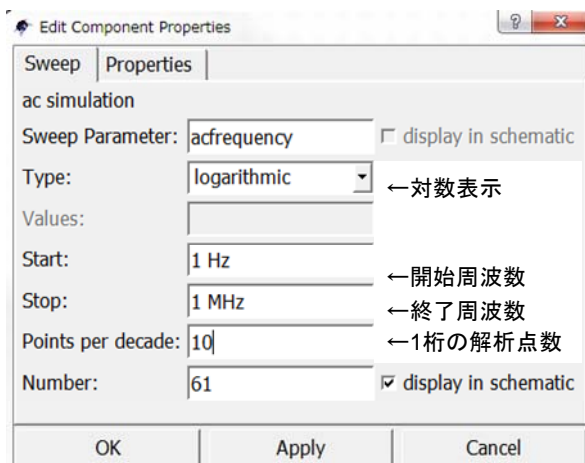


図2 AC特性の解析条件の設定

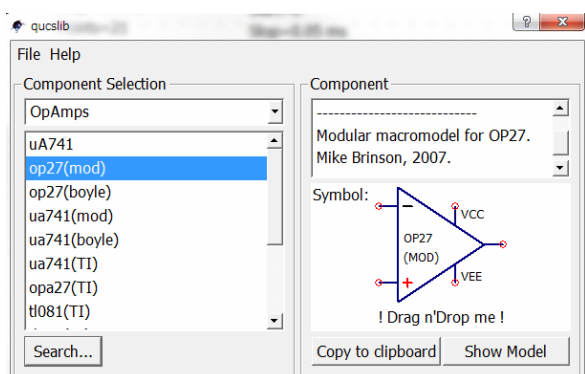


図3 回路モデルの入力法

4. 演習結果の検証

アンケートを通して演習の効果について検証した。アンケートの対象者は本年度前期に電子回路Ⅲを受講した本校医療福祉工学コース4年42名と医用電子回路設計を受講した5年31名である。なお、医用電子回路設計の受講者は前年度に電子回路Ⅲにて本年度とほぼ同様の演習を行っている学生である。

まず、課題への取り組み方について調査した。調査結果を図4に示す。グループ、教えてもらった人がそれぞれ37%、38%と高く、一人で取り組んだ割合は22%であった。特に5年生に関してはグループで取り組んだ例が53%と最も高くなっている。学習時間は2-4時間が29%であった。また、4年生に関して演習の実施場所に関して調査したところ、表3に示すように図書室や研究室など学内のPCを利用した学生が大多数であった。また、自宅・個人のPCで演習を実施している学生もいる。

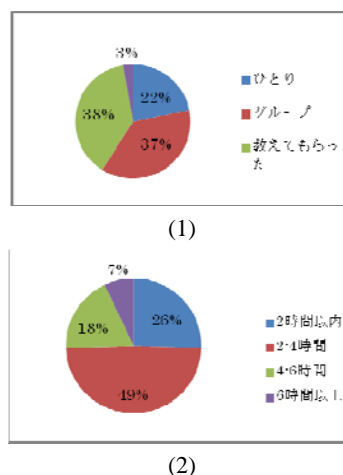


図4 課題への取り組み方(1)学習方法 (2)学習時間

表3 演習の実施場所 (延べ人数)

演習室	学内 PC	自宅・個人 PC	合計
6	31	12	49

次に、解析方法に関する理解についての調査結果を図5に示す。回路入力方法はある程度理解できた学生を含めると80%以上が習得できている。3種類の解析方法に関しては過渡解析に関する理解度が60%とやや低いが、回路図を入力して解析するレベルに到達している。なお、不十分の中には課題の結果をコピーした学生が含まれている。次に、事前課題との対応について見る。これは、回路定数の設定値を机上計算により求めて、定数(抵抗などの値)に代入してした解析結果が妥当であるか検証したものである。理解度はある程度理解したものを含めて58%であった。

さらに、4年生に対して、演習の前後での電子回路の印象をたずねた。図6に示すように他の教科に比べて難しい、やや難しいという印象を持っている学生が60%以上であったが、演習を通して難しいという印象が多少減少傾向にあった。

以上のアンケート結果より次の点が明らかになった。まず、解析方法に関しては大方の学生が理解をしているが、理解できなかった学生も存在する。その原因としては、回路図の入力方法と解析方法についてのガイダンスの際についてゆけず、シミュレータの動作を確認できなかったことが考えられる。その対策として、(1)ガイダンスで紹介したマニュアルの活用を推進する、(2)ガイダンスの時間を長く確保する、(3)補助教員あるいは学生を配置して指導を行うなどの対策が必要と考える。

また、事前課題と解析結果の対応については、やや不十分・不十分の学生が見られた。この原因として、事前課題をシミュレーション演習と同時に学生に提示したために、事前課題に取り組まずにシミュレータの動作に着

手した者もいた点があげられる。今後、事前課題にシミュレータ演習開始前に答える形式をとることで理解度の向上を図る。

今回は自主的な学習が容易なフリーウェアのシミュレータを使用した。演習の実施場所は学内の PC が多く、グループ学習が容易に行えていることが分かる。また、自宅・個人の PC で演習を終えている学生もあり、これが一人で学習する割合と対応している。このように、手軽にシミュレータを活用できるメリットが生かされていると考える。自宅での学習が可能である半面、シミュレータの使い勝手や解析スピードなどの機能面での課題があることも明らかとなった。これに対しては、過渡解析の条件などの与え方を検討する必要がある。

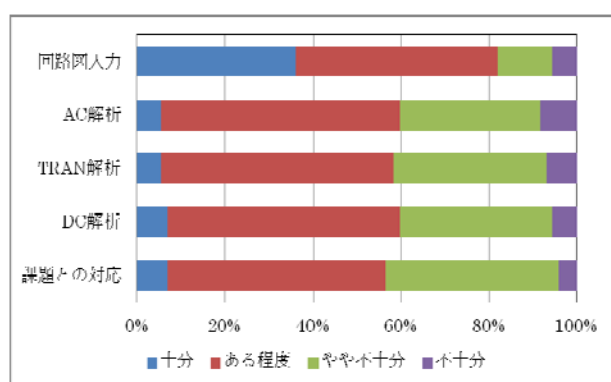


図5 演習に関する理解

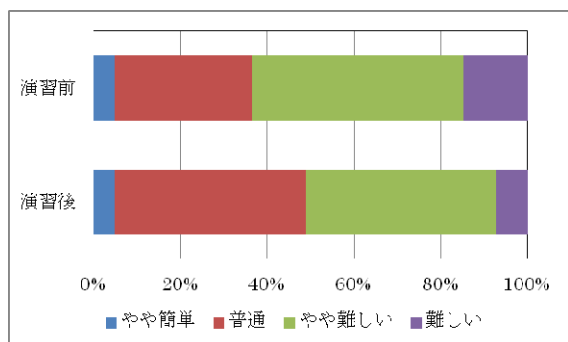


図6 電子回路の印象

5. まとめ

本校医療福祉工学コースにおいて、時間的な制約の厳しい中で電子回路の実用面である「設計」の概念を伝え、設計に興味を持たせることを目指して回路シミュレータ (QUCS) を活用した学習法の基礎検討を行った。

本科医療福祉工学コース4、5年の授業を対象とした演習を実施した概要を報告した。アンケート調査から、8割以上の学生が回路入力や解析方法をほぼ理解して回路シミュレータによる演習課題を実施できたことを確認した。シミュレータによる学習を通して、難しいという電子回路の印象が多少減少傾向にあり、電子回路設計に関

心を持たせる上で有効と考える。事前課題と解析課題の対応の理解度は6割程度であり、今後、回路設計の概念をさらに多くの学生に徹底するには事前課題と演習課題の内容や実施方法などに改良が必要である。学習時間は2-4時間である。また、使用する回路シミュレータソフトウェアはフリーウェアであるため、学生が自宅でも簡単に実行できるメリットが活かされていると考える。

今後は、低学年から回路設計への関心を高めるために、低学年の電子回路の授業へも本回路設学習法の展開を目指す。

6. 参考文献

- [1] 大規模集積システム設計センター (VDEC) のホームページ <http://www.vdec.u-tokyo.ac.jp/>
- [2] 石川洋平：高専におけるアナログ LSI 設計教育環境の構築，有明工業高等専門学校紀要，第 43 号 pp. 47-50, 2007
- [3] 秋山正弘，柄澤孝一，大平祐介ほか：演算増幅回路製作を通じた半導体・集積回路工学教育の実践，長野工業高等専門学校紀要，第 45 号 pp. 1-4, 2011
- [4] 秋山正弘，柄澤孝一，大平祐介ほか：VDEC を利用した実践的な半導体・集積回路工学教育の実践，論文集「高専教育」，第 35 号，pp. 43-47, 2012
- [5] 清水暁生，平田佳章，石川洋平ほか：オペアンプ設計自習システムの検討”日本産業技術教育学会第 21 回九州支部大会，D11，pp. 61-62, 2008
- [6] 齊藤 剛史：回路シミュレータ QUCS マニュアル http://www.slab.ces.kyutech.ac.jp/~saitoh/ja/Lecture/manual_20090421.pdf