

電気電子工学実験へのパソコンの利用 2

- 電子回路シミュレータを用いた電気電子工学実験 -

システム工学技術分野 佐藤孝雄

1. はじめに

電子回路シミュレータは、パソコン上で電子回路の設計を行い、その動作を検証することができるソフトウェアであり、企業や大学の研究室等で現在広く使用されている。そこで、大学の講義の中にもこの様なソフトウェアを積極的に取り入れ学生に紹介し、体験・実習させることが必要であると考えます。

本学工学部では、電気電子工学科 4 年生向けに「電気電子工学実験」という講義が開講されている。この中で筆者が担当している「制御系の実験」という題目について、今年度よりこの電子回路シミュレータを用いて、実験回路の解析を行い、実測値、理論値と比較・検討するという内容の実験を行った⁽¹⁾。本文ではこれらの実験内容について紹介する。

2. 電子回路シミュレータ

電子回路シミュレータは、1970 年初頭米国カルフォルニア大バークレー校にて、アナログ回路シミュレータとして、「SPICE」(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)が開発された。ただし、この「SPICE」では回路は、テキスト形式で入力される。この実験で使用した電子回路シミュレータ「Micro-Cap」は、米国Spectrum Software社で開発され、最初のバージョンは1982年にリリースされた。この「Micro-Cap」では、当初から回路図入力方式が採用されている。今回、使用したものは、1996年発売の「Micro-Cap /CQ版」^{(2),(3)}である。このソフトは、米国製の「Micro-Cap5」の機能を制限し、日本製の素子を部品ライブラリに追加した形式でCQ出版(株)より販売されている廉価版のソフトウェアである。かなり古いバージョンではあるが、下記に示す様な旧式のパソコンでは、容量が小さくて済むため使い易い。また、この実験で使うには機能的に十分である。

3. 実験装置

この実験で電子回路シミュレータを動作させるために使用した器具は次の通りである。まずソフトを動かすために使用したパソコンは、研究室で使わなくなった Pentium 200 ~ 300 MHz クラスの旧式のもの(図1, 図2)を2台提供してもらい、これをオーバーホールして使用した。この程度のパソコンでもこの電

子回路シミュレータを快適に動作させることができる。それと結果出力用に、これも同様に古いインクジェットプリンタ 2 台提供してもらい使用した。実験を行うために新たに購入したものは、消耗品のインクカートリッジ以外は無い。

3. 実験の概要

この「制御系の実験」は、OP アンプを使用した電子回路により電子式調節器を構成した図 3 に示す実験装置を用いて、以下の実験⁽⁴⁾を行う。

電圧 - 電流変換器のゲイン特性

1 次遅れ要素のステップ応答の観測

2 次遅れ要素のステップ応答の観測

1 次遅れ要素のゲイン - 位相特性の測定

2 次遅れ要素のゲイン - 位相特性の測定

比例制御系の定常偏差測定

今まで行ってきた実験では、上記の ~ の項目について、実験装置の入・出力波形を図 4 に示すアナログ式ペンレコーダで記録し、これより読み取った実験値と、理論式より計算で求めた理論値とを比較するという内容で行ってきた。

今回、この実験装置で使用されている電子回路をそのまま電子回路シミュレータで作成し解析を行い、実験値、理論値にさらにシミュレーション値を加え、3 者を比較検討するという内容に変更した。ここで、実験で使用する測定装置もアナログ式ペンレコーダから図 5 に示すデジタルレコーダに変更し、測定データはパソコンで取り込まれ、処理を行いグラフ作成し、プ



図 1 パソコン 1, プリンタ 1



図 2 パソコン 2, プリンタ 2



図 3 実験装置

リントに出力される。この内容の詳細については次の機会に紹介する。

この実験は、2組ずつ同じテーマを行うので、一方が実験回路による測定を行い、他方がパソコンによるシミュレーションを行い、終わったら交代するという形で進められる。

実験結果の一例として、「1次遅れ要素のステップ応答」について次に示す。図6に示す電子回路は、以下の手順により解析されて、図7に示す解析結果が出力される。

電子回路シミュレータを起動する。

パソコン画面上に部品ライブラリより選択した部品をマウスにより移動する。

部品のパラメータを設定する。

各部品をワイヤで接続し回路を完成させる。

この回路をトランジェント解析し、図7に示す解析結果(入力、出力波形)を画面で確認する。

この解析結果をプリンタに出力する。

同様に、実験装置を用いて測定した入出力波形を図8に示す。また、理論値、実験値およびシミュレーション値より求めた時定数の比較を表1に示す。

この実験を開始する際、どこまでこちらで用意をして、学生にはどの程度のことをやってもらうかということが問題となった。

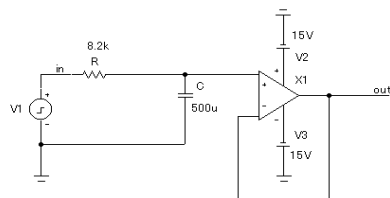
ソフトウェアの使用法から説明をして、全てを学生にやってもらうには



図4 アナログ式ペンレコーダ



図5 デジタルレコーダ



.MODEL PULSE PUL (vzero=0 vone=2.5 p1=5 p2=5.001 p3=500 p4=500.001 p5=1000)

図6 1次遅れ要素のステップ応答

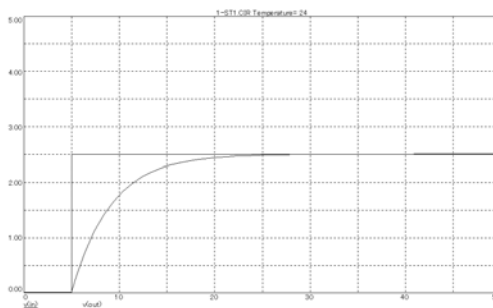


図7 解析結果

時間が足りない。しかしながら，こちらで用意しておいた回路を解析するだけでは瞬時に実験が終了してしまう。そこで，学生にモニタをやってもらい，下記の要領で行えば，何とか実験の時間内に終了することができ，しかも操作を十分学べることが分った。

- 必要な機能，操作のみ説明する。
- 使用する項目について操作マニュアルを作成する。
- マクロ機能を用いて回路を簡略化する。
- 2 台のパソコンで回路を半分ずつ作成する。
- 操作をする人は適宜交代し，傍観しているだけの人を作らない。

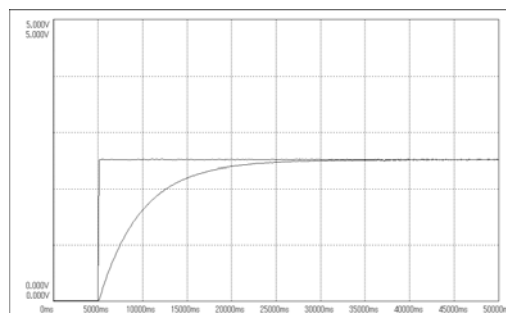


図 8 実験結果

表 1 各値の比較

	理論値 (s)	実験値 (s)	シミュレーション値 (s)
時定数	4.10	4.80	4.04

その後実験を実施していく内に，生じてきた不具合点を説明の仕方，マニュアルにフィードバックさせ，より良い形に改良されて，スムーズに実験が進行できる様になった。

4. 学生の意見(レポートの感想より抜粋)

- ・ パソコンに書くだけで回路動作を測定できるシミュレータを初めて使用して，実際に実験を行った結果と同じ結果が得られることが分り感動した。
- ・ パソコンを使ったシミュレーションは初めての作業でしたが，こういう作業もあるのかとおもしろかったです。今までは，実際に回路を組んで波形を計測していましたが，こういう方法もこれから使ってみたいと思いました。
- ・ パソコンを使ったシミュレーションは初めてなので，難しかったが，とても楽しく実験ができた。
- ・ パソコンを用いて回路の波形を簡単に求めることができるソフトがあることを知って驚いた。簡単に回路を書くことができたので良かった。

5. まとめ

電子回路シミュレータを電気電子工学実験に取り入れ、実験装置の電子回路をシミュレーションして実測値、理論値と比較するという内容の実験を行った。その結果、この実験で学生が自分で実験回路をパソコン画面上で組立て、解析することにより、次に示す様な効果が得られることが分った。

電子回路シミュレータを実際に体験して使い方を学ぶことができる。

実験回路の動作について理解を深めることができる。

実験で測定した値をシミュレーションで確認するという一般的に良く行われている研究手法を学ぶことができる。

受講した学生のレポートの感想を見ると『興味を持てる内容で、こういった実験をもっとやってもらいたい』という意見が多かった。今後は、パソコンを活用した実験をもう少し増やして行く予定である。

謝 辞

この実験に使用したパソコン、プリンタをご提供いただきました工学部 小椋一夫教授ならびに自然科学研究科 福井聡助教授、およびデジタルレコーダ（ソフトウェアを含む）、電子回路シミュレータソフトをご提供いただきました工学部 山口貢教授に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- (1) 佐藤孝雄，鈴木孝昌：「電子回路シミュレータを用いた電気電子工学実験」，第14回電気学会東京支部新潟支所研究発表会 P-19, p. 99, (平成16年11月)
- (2) CQ出版株式会社編：「パソコン用電子回路シミュレータ Micro-Cap /CQ版取扱説明書」，(1996年10月30日発行)
- (3) CQ出版株式会社編：「トランジスタ技術 SPECIAL No.56」，(1996年10月1日発行)
- (4) 新潟大学工学部電気電子工学科編：「電気電子実験 指導書」，(2004年4月発行)