工業高専における SoftOscillo2 を利用した OP アンプ実験の試み

An Op-Amp Experiment Utilizing the SoftOscillo2 in National College of Technology

平 野 旭^{※1}
Akira HIRANO

外 谷 昭 洋^{※1}
Akihiro TOYA

横 沼 実 雄^{※1}
Mitsuo YOKONUMA

田 中 誠^{※1}
Makoto TANAKA

National College of Technology focuses on developing of human resources with outstanding capacity for technological development. In the education for electronics engineering technicians, it is necessary to teach the knowledge of Op-Amp which plays critical roles in various electronic circuits. In a real-world classroom situation, however, we constantly face the problem of lack of measurement hardware because each student needs a function generator and an oscilloscope to learn the signal amplification circuit of Op-Amp. To solve this problem, in this paper, we propose a method to learn the signal amplification circuit of Op-Amp using "SoftOscillo2".

Keywords : Engineer Education, Student Experiment, Operation Amplifier, SoftOscillo2, TINA

キーワード : 技術者教育, 学生実験, OP アンプ, SoftOscillo2, TINA

1. はじめに

近年, 小中学校における深刻な理科離れの一方で, 産業界における「ものづくり技術者」の育成が大きな要望として挙がっている. 全国に51校存在する高等専門学校(高専)は, 設立からこれまでの50年間, 「即戦力を有する中核エンジニア」の育成という役割を担ってきたが, 現在のグローバル化時代への変化を背景に, 立案から実際に“もの”としてカタチにするまでの総合力を備えた「実践的なものづくり技術者」の育成を担う教育機関への変化を試みている.

これまでに呉工業高等専門学校電気情報工学科が3年生に対して行ってきた学生実験は, 実験を行うことで測定器具の取り扱いやデータ処理に習熟するとともに, 基礎的な理論や法則を実証することを目的としてきた. 平成23年度より, この学生実験のありかたを抜本的に見直し, 実践的なものづくり技術者の素養を身につけることに目的を変更しつつある. 具体的には, 実験実習で使用した計測機器や最新の計測ツールなどを使って, 自発的にものづくりに取り組む学生の育成を目標としており, 現在, それに伴って学生実験のテーマ見直しに取り組んでいる^{1) - 3)}. 本稿では, その取り組みの中で新規に導入したオペアンプ(OPアンプ)実験について, 実習キットおよびテキストを作成し, 学生実験を試行した結果について報告する.

本学科でこれまでに行っていたOPアンプ実験は, 4

年生前期に「電子工学」, 「電子回路」の講義にてOPアンプの構造や増幅回路への用途について学んだ学生のうち, 後期のコース選択にて情報通信工学コースを選択したクラスの半数にあたる約20名のみに実施していた. しかしながら, 電子回路のさまざまな場面で多用されるOPアンプについて低学年の段階から慣れ親んでもらうため, 1テーマ3時間で実施している3年生後期の学生実験にOPアンプ実験を導入することにした.

導入した実験の内容は, (a) 電子回路シミュレータTINAによる予備実験, (b) OPアンプを用いた増幅回路の入出力波形の観測, (c) 入力信号の周波数を変化させた場合における回路の周波数依存性の解析(AC解析)とした. ここで, 学生一人一人にブレッド・ボード上で増幅回路を組ませて入出力波形の観測を行う場合, ファンクションジェネレータとオシロスコープが1人1セットずつ必要となり, 実験設備が不足してしまう問題が挙がった. しかし, 従来の4~5人1組での実験スタイルでは, 班ごとに「機器操作担当」「計測担当」「データ記録担当」「グラフ担当」などの役割分担が固定化する懸念があり, 「実践的なものづくり教育」の目的を達成しない可能性が想定された. そこで, パソコンのサウンドカードをオシロスコープとして利用可能にする株式会社デジタルフィルター(DIGITALFILTER.COM)の「SoftOscillo2」を利用することで, 学生一人一人が増幅回路の入出力波形の計測実験ができるように工夫した. 本稿では, この導入したOPアンプ実験の内容について報告し, アンケート形式で効果の

2014年4月11日受付

※1 呉工業高等専門学校

確認を試みた結果について述べる。

2. SoftOscillo2

SoftOscillo2⁴⁾は、パソコンをオシロスコープとして動作させることができる株式会社デジタルフィルターから販売されているソフトウェアである。音源ボードをA/D、D/Aコンバータとして使用できるようになるため、信号計測実験が低価格で実現可能になる。

パソコンにインストールすることにより、「オシロスコープ」「シグナルジェネレータ」「FFTアナライザ」「ネットワークアナライザ」などの機能が使えるようになる。オシロスコープ機能では、16bit 2チャンネルの信号計測が可能で、サンプリング周波数は48kHz、96kHz、192kHzの3種類から選択できる。シグナルジェネレータ機能では、ステレオもしくはモノラルのwavファイルを繰り返し再生することでファンクションジェネレータの代用になる。ただし、本ソフトウェアを利用してパソコンに信号を取り込む際、LINE端子が必要であるため、一般的なノートパソコンで実験する場合には、外付けUSBオーディオデバイスが必要になる。

3. 導入したOPアンプ実験の内容

導入した実験では、まず、3年生の段階では学習頻度が低い「増幅回路」に慣れる為、電子回路シミュレータを用いて仮想実験を行うものとした。次に、各学生がSoftOscillo2をインストールしたノートパソコンを用いて、増幅回路の入出力波形について観測を行う。最後に、オシロスコープとファンクションジェネレータの実機を用い、5人1組でAC解析を行うものとした。本章では、実験手順の詳細について述べる。

3.1 TINAによる増幅回路のシミュレーション

本学科の学生実験のスケジュールでは、半期15週のうち、第1週目は各実験テーマについて説明をする。今回の試行ではこの時間の一部を利用して、電子回路シミュレータTINAを用い、図1に示す「反転増幅回路」「非反転増幅回路」および「ボルテージ・フォロワ」の3つについてシミュレーションを行うものとした。シミュレーションは、情報処理演習室にて全学生がそれぞれ1台のパソコンを用いて一斉に行い、演習時間は約1時間とした。なお、本実験で使用するオペ

(a) 反転増幅回路 (b) 非反転増幅回路

図1 実験回路

アンプは、入手がしやすくTINAに標準で登録されている点から、TL081を採用した。TINAによるシミュレーション結果の一例を図2に示す。図2は反転増幅回路について、(a)DC解析-DC伝達特性、(b)過渡解析、(c)AC解析を行った結果である。シミュレーションを行うためにエディタで作成した回路図とシミュレーション結果の画面は、画像ファイル形式でエクスポートして保存させ、レポートに貼付して提出させるものとした。

3.2 SoftOscillo2を利用した過渡解析

学生は、SoftOscillo2をインストールしたノートパソコンと直流スイッチング電源を用いて増幅回路の入出力波形を観測し、TINAによる過渡解析のシミュレーション結果と比較した。

SoftOscillo2による「ジェネレータ出力」は、あらかじめ作成された波形のサンプリングデータを繰り返し再生する形で出力される。したがって、正弦波、鋸歯状波、矩形波などの基本波形についてあらかじめ用意した周波数を選択して出力することができる。さらに各周波数成分を合成した波形の出力や、ノイズを含めることも可能である。また、出力信号の大きさはパソ

図2 TINAによるシミュレーション結果の例

表1 実験の組合せ

回 路	$R_1 [\Omega]$	$R_2 [\Omega]$
反転増幅回路	10k	20k, 30k
非反転増幅回路	10k	10k, 20k
ボルテージ・フォロウ	—	—

図3 SoftOscillo2を使用している様子

コンの「スピーカ音量」によって調整することができる。ただし、音源ボードを使っているために入出力電圧が制限され、実験では増幅度が2～3倍程度に限定されてしまう。

実験では、表1に示す抵抗の組み合わせについて、ブレッド・ボード上に図1に示す増幅回路を組み、SoftOscillo2の「シグナルジェネレータ」機能を利用して出力信号波形を1kHzの正弦波、鋸歯状波、矩形波の順番に変更して、増幅回路における入力波形と出力波形の観測を行った。図3は学生がSoftOscillo2を用いて実験している様子である。増幅度2倍の反転増幅回路に対して出力波形を計測した結果を図4に示す。SoftOscillo2のシグナルジェネレータ機能では、周波数帯域が20kHzに制限されているため、図4(b)，(c)に示す通り、1kHzの鋸歯状波、矩形波でも波形の歪みが現れる。SoftOscillo2の画面出力は、スクリーン・キャプチャして画像形式で保存し、レポートに貼付して提出させるものとした。

3.3 発振器とオシロスコープを用いたAC解析

図2(c)のTINAを使ったAC解析のシミュレーション結果から確認できる様に、AC伝達特性を十分に学習させるためにはゲインが減少する100k～1MHz帯域までのAC解析が必要になる。TINAを用いた仮想実験によってこの特性を知識として学ぶことはできるが、実践的なものづくり技術者を育成する上では、OPアンプと計測機器を用いて実際に計測実験を経験することが望ましいと考えられる。しかし、SoftOscillo2のオシロスコープ機能ではサンプリング周波数が最大192kHzに限られるため、AC解析の実験には十分に対応できな

(a) 正弦波 1 kHz $R_1=10k, R_2=20k$

(b) 鋸歯波 1 kHz $R_1=10k, R_2=20k$

(c) 矩形波 1 kHz $R_1=10k, R_2=20k$

図4 SoftOscillo2による入出力波形観測の例
(上：入力信号，下：出力信号)

い。そこで、従来の学生実験の様に、4～5人のグループで1組の回路を組み、ファンクションジェネレータとオシロスコープの実機を用いてAC解析を行うものとした。ファンクションジェネレータはNF function synthesizer 1915、オシロスコープはRIGOL DS1064Bを用い、増幅回路はブレッド・ボード上に組むものとした。計測実験は、図1(a)の反転増幅回路について $R_1=1k\Omega$ に対して $R_2=10k\Omega$ の場合、図1(b)の非反転増幅回路について $R_1=1k\Omega$ に対して $R_2=9.1k\Omega$ に

図5 実機を使ったAC解析の様子

ついて実験を行うように指示した。

ファンクションジェネレータの周波数を100Hzから1 MHzまで変化させたときの入出力波形をオシロスコープで観測し、オシロスコープのオプション機能を利用して振幅と位相差を測定し、周波数特性を記録した。その結果を3.1節で実施したTINAによるシミュレーション結果と比較させた。図5は学生が周波数分析を行っている様子である。

4. 効果の確認と考察

導入した実験について、効果の確認を行うことを目的として、実習後にアンケートを実施した。アンケートは、各設問に対して5段階もしくは3段階評価で回答を求めるものとした。その集計結果を踏まえ、導入した実習内容の効果について考察を行った。

4.1 対象とする学生像についての調査

今回導入した実験の効果を確認するため、まず、対象者である学生像についての調査を行った。教科書で学習した内容をどれだけ記憶しているか、もしくは、普段にどれだけ積極的にものづくりに関わっているかの調査を目的として、OPアンプに関する予備知識を調査した。「OPアンプの使い方や機能について知っていますか？」という設問に対して、5段階評価で回答を求めた結果を図6に示す。「使い方まで良く知っている」と回答した2名は、ロボット製作に関するクラブに属する学生であり、普段から電子部品に積極的に関わっている学生と推測される。「使い方を少し知っている」「名前程度知っている」と答えた学生は、2年生の「計測」の授業でOPアンプを習ったことを覚えていた学生であると推測される。残りの半数以上の学生は、教科書で学習したことが記憶に残っておらず、学生実験などで導かない限り自主的に電子回路に取り組む機会を持たない学生であることが読み取れる。

次に、実験に用いたソフトウェアに関する予備知識の調査として、TINAについてのアンケートを実施した。「TINAについて知っていますか？」という設問に対して、「使い方まで知っている」「名前程度は知って

図6 OPアンプに関する事前アンケート結果

図7 TINAに関する事前アンケート結果

いる」「知らない」の3段階で回答を求めた。その結果を図7に示す。今回実験を行った3年生は、2年次の学生実験でTINAによるシミュレーションを経験している。有効回答数38に対して、2年生の学生実験で使ったTINAの使い方を覚えていた学生は23名(61%)であった。

図6、図7のアンケート結果より、自主的にものづくりをする学生の育成には、授業方法ならびに実験内容についての工夫の必要性がうかがえる。

4.2 実施効果の確認

今回試行したOPアンプ実験が学生にもたらした効果をアンケート形式で調査した。その結果を図8に示す。(a)の「実験を通じてOPアンプの機能や使い方が分かるようになりましたか？」という設問に対する回答では、約25%の学生を除くと「おおむね満足した学習結果が得られた」と読み取れる。この結果より、TINAによるシミュレート学習およびSoftOscillo2の導入による学生ごとの個別実験の効果があったものと考えられる。また、(b)の「SoftOscillo2などのソフトウェアを使って、学校と同じ実験環境が得られることについて面白いと感じましたか？」という設問については、22名の学生が面白いと感じている。従って、安価で高機能な実験ツールの提示は、学生に実験の面白さを感じさせるには効果的であると判断できる。一方、実験後の自発的なものづくりの可能性についてアンケートを行った結果を図9に示す。(a)の「TINAを使って、実験以外でもシミュレートしてみたいと思ったか？」および(b)の「SoftOscillo2を使って、実験以外でも計測してみたいと思ったか？」という設問については、(a)では53%、(b)では61%の学生から消極的な意見を得た。

(a) 実験を通じたOPアンプに対する理解

(a) TINAの活用に関する意識調査

(b) 実験ツールに対する興味の調査結果

図8 効果確認用のアンケート結果1

(b) SoftOscillo2の活用に関する意識調査

図9 効果確認用のアンケート結果2

SoftOscillo2は周波数帯域や電圧の測定可能範囲に制限があるが、FFTやネットワーク解析も行うことができ、専用のデジタルオシロスコープよりも優れている点がある。何よりも、オシロスコープとファンクションジェネレータの実機よりも比較的安価で入手可能なため、学生が自ら回路製作に取り組む上で測定に用いて欲しいと考えて実験に導入した。しかしながら、今回導入した実験内容では、SoftOscillo2のFFTやネットワーク解析機能を試すことが無かったため、学生達にとってオシロスコープやファンクションジェネレータの実機よりも扱いにくく、制限の多いものとして受け止められたものと推測された。改善案としては、今後さらに、4年生の学生実験にてアナログ・フィルタ、5年生の学生実験にてデジタル・フィルタの実験を新たに追加して、SoftOscillo2のFFTやネットワーク解析機能を体験させることで学生の認識を変えてゆく予定である。

4.3 実験中の学生の振る舞いについての考察

今回の実験におけるOPアンプ回路のシミュレーションでは、学生が以下のことを学ぶことを期待した。

- (1) OPアンプを使う場合に、電源やバイパスコンデンサが必要であることの理解
- (2) 反転増幅器、非反転増幅器について、抵抗の組み合わせで増幅度が決まること
- (3) DC解析において、グラフの傾きの正負から、反転増幅と非反転増幅の違いの確認
- (4) 過渡解析では、入力波形と出力波形の振幅比が増幅度に一致していること、および、波形の山と谷が反転しているか一致しているかの違いで、反転増幅と非反転増幅の確認
- (5) AC解析では、ゲインについて減衰が始まる周

波数の確認と、位相が変化する範囲の理解

以上の点について、実習中の学生を観察した結果、回路図をテキスト通りに入力して、各種解析を実行し、結果のグラフを保存する作業についてはテキパキと行っていた。しかしながら、結果の中身について上述の点を詳細に確認している様子は見受けられなかった。これについては、実習時間が1時間程度と短かったことや、実習当日に実験テキストを配布したことが影響している可能性も考えられたが、実習を行う前に何を学び取るか目的意識を持たせる工夫が必要であることがわかった。

今回の実験では、最初にファンクションジェネレータ出力とオシロスコープの入力(スピーカ端子とLINE入力端子)を短絡させ、出力した波形をそのまま観測することで、ジェネレータ出力の設定やトリガの設定など、画面の操作に習熟させた。次に、スピーカ端子にワニ口クリップ、LINE入力端子にICクリップを取り付け、ブレッド・ボード上に組んだ増幅回路の入出力端子にそれぞれを接続させた。このとき、ファンクションジェネレータとオシロスコープの配線に戸惑う学生が多かった。これは、スピーカ端子が発振器出力、LINE入力がオシロスコープの入力であるということで混乱が生じやすい点と、実際の発振器やオシロスコープの機器との形状のギャップをすぐには埋めることができなかったものと推測した。また、普段の実験において、回路接続を積極的に行っていないことや、ブレッド・ボードの使い方慣れていないことも要因として考えられた。これに対しては、個人でブレッド・ボードの回路接続を行う実験を増やすことで配線および個人での機器操作に慣れさせるなどの今後の対応が必要である。

5. おわりに

本稿では、「実践的なものづくり技術者」の育成を目的として、高専3年生後期の学生実験にOPアンプ実験を追加導入した事例について述べた。実験内容は、電子回路シミュレータによる予備実験、増幅回路の入出力波形の観測、AC伝達特性の測定とし、増幅回路の入出力波形の観測においてファンクションジェネレータとオシロスコープが学生ごとに必要となる点を「SoftOscillo2」の導入により解決した。これにより、各学生が自分で増幅回路の実験を行うことができ、OPアンプをつかった増幅回路に関する理解に比較的多くの学生から満足と実験に対する面白いという感想を得られた結果について報告した。しかしながら、アンケートの結果、学生が自ら電子回路製作に取り組み、「SoftOscillo2を自学自習で利用したいと思う」という回答を十分に得るまでには至らなかった。今後は、自ら回路製作に取り組みたいと感じさせることができる工作テーマの提示に取り組むとともに、他の実験テーマの内容についての見直しを行い、実践的なものづくり技術者の素養を身に付けさせる取り組みを進めていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 梶原和範, 田中 誠: 16ビットマイコンdsPICを用いた学生実験の試み, 論文集「高専教育」(35), pp.101-106, 2012
- 2) 梶原和範, 田中 誠: C#を用いた学生実験の試み, 論文集「高専教育」(35), pp.125-130, 2012
- 3) 梶原和範, 平野 旭, 田中 誠: Matlabによるデジタル信号処理演習-データ解析手順の導入と画像処理での関数適用法について-, 高専教育(36), pp.265-270, 2013
- 4) 株式会社 デジタルフィルター, Webページ, <http://digitalfilter.com/jpindex.html>, SoftOscillo2 Standard Editionは定価6,800円で同サイトから購入できるが, 下記5)の書籍(本体3,000円)を購入するとCQ Edition(評価版)とマイコン基板が付属している。
- 5) 岩田利王: dsPIC基板で始めるデジタル信号処理, CQ出版社, 2009

著 者 紹 介

平野 旭

2008年広島大学大学院工学研究科複雑システム工学専攻博士課程後期修了。博士(工学)。2010年より呉工業高等専門学校電気情報工学分野助教。現在、環境計測システムに関する研究および高専教育に関する教育研究に従事。電子情報通信学会、日本工学教育協会の会員。
連絡先: hirano@kure-nct.ac.jp