

アナログ・デバイセズの エンジニアリング・ユニバーシティ をお勧めする理由

著者：Ryan Fletcher, Scott Wayne

はじめに

アナログ・デバイセズは、高度な技能を身につけたアプリケーション・エンジニア、オンラインの[EngineerZone](#)コミュニティ（英語）、広範な[テキスト](#)類、[回路ノート](#)、[雑誌記事](#)（英語）を提供するなど、創業以来常に教育・啓蒙に力を入れてきました。残念なことに、「デジタルがすべて」というこの時代にあって、多くの大学生がデジタル電子製品はモダンで魅力的だけれど、アナログ製品は退屈で時代遅れだと思っています。さらに悪いことに、大学のカリキュラムの多くは学生の興味を反映して、デジタル技術の授業に重点を置き、アナログ設計技術を軽視しています。

しかし、この実世界はアナログに満ちています。光、音、温度、圧力、加速度などはすべてアナログ量であるため、デジタルで信号処理するためにはアナログ・センサー、シグナル・コンディショニング、データ・コンバータが必ず必要になります。また、放送通信のデジタル化が次々と進んでいますが、そのRF信号処理にはアナログの受信器、送信機、低ノイズ・アンプが必要です。さらに、エネルギー効率や地球環境問題がますます重要になるなかで、アナログ・パワー・マネジメント技術が従来にも増して求められています。

このように衰えるどころか、[アナログ技術はますます活躍の場を広げています](#)（英語）。実際、従来のアナログ方式テレビよりも最先端の高品位テレビのほうが多数のアナログ回路を使用しています。また心臓モニターでは、ノイズに埋もれた小さな信号を高精度のアナログ信号処理で検出します。現代の携帯電話には、バッテリーの寿命を延ばすためにアナログ・パワー・マネジメント回路が必要です。自動車は、電子スタビライザシステムにMEMS（マイクロ・エレクトロニクス・マイクロ・マシン・システム）加速度センサーやMEMS ジャイロ스코ープを使用します。衛星通信では、RFトランスミッターを使ってアナログ領域でデジタル信号を送信します。このように、アナログ技術は時代遅れの技術どころか、今やこれまで以上に必要とされるようになっているのです。

大学で一般的なカリキュラムと、アナログ回路の設計技術を身につけたエンジニアに対する産業界のニーズとの間にギャップがあるのではないかと認識から、アナログ・デバイセズは2012年3月に[エンジニアリング・ユニバーシティ・プログラム](#)（Engineering University Program・英語）の開講を[発表](#)（英語）しました。これは学生がアナログ回路設計を学習する方法に革命をもたらすことをめざすもので、手頃な価格の携帯型アナログ設計キットを工学系の学生や教授に提供し、高度の技術を使った実験や実世界の信号を扱うアナログ回路の作成や試験をいつでもどこでもできるようにすることで教育効果を高めます。

工学系の学生以外にも、ソフトウェアの開発やデジタル技術には精通しているがアナログ回路設計の基本を知らないプロのエンジニア、アナログ回路の理解を深めたい技術者、新しい設計スキルを身につけたいアマチュアや発明家といった方々にも最適なプログラムです。

この広範なプログラムには、テキストを使った実習、ラボ、宿題、ソフトウェアによる制御、シミュレーション、解析、実技習得のための設計キットが含まれます。オンライン・コミュニティでは、学生、教授、エンジニアのみさんのコミュニケーションを支援します。2013年1月現在、前期課程の回路1を履修できます。回路2、エレクトロニクス1、エレクトロニクス2などの科目については現在準備中です。

テキスト

わかりやすい構成のテキストには宿題や実験（ラボ実習）が含まれます。各章には最初に内容の紹介と学習目的のリストがあります。本文中には豊富な具体例や読者のための練習問題があり、学習したことを各節の要約で確認します。前期課程「[実際のアナログ信号：回路1](#)」（英語）は12章で構成されています（ビデオやダウンロード可能な講義スライドでも視聴できます）。

1. 回路解析の基本

この章では、電圧、電流、電力の基本的な概念、最適なソースや抵抗を含む基本回路部品、さらにキルヒホッフの電圧法則、キルヒホッフの電流法則、オームの法則などの解析技術について説明します。ラボでは、実世界の信号動作を知るための最初のヒントとして抵抗値が抵抗器の理論値を中心に変動することを学び、実世界の最初のアナログ回路アプリケーションとしてサーミスタを使った温度測定を行います。

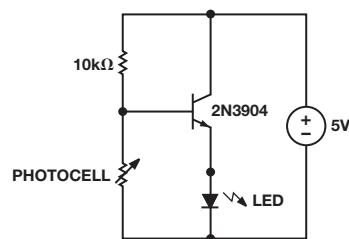


図1. 第1章のラボ：明暗センサー付きライトの回路

2. 回路の削減

この章では、第1章で学んだ技術を使って、直列抵抗と並列抵抗の組み合わせや電圧／電流分割器としての用途を解析します。さらに、非理想的なソースや非理想的な測定デバイスによって起こる実世界の動作の例を学びます。

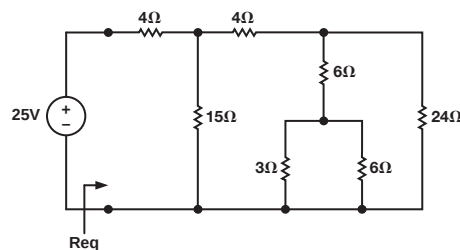


図2. 第2章の宿題：等価抵抗 (R_{eq})、および電源ソースからの電流を求めなさい。

3. ノードとメッシュの解析

この章では、リファレンス・ノード、依存ノード、スーパー・ノード、コンストレイントメッシュなど回路ノードおよびメッシュについて説明し、回路の電圧と電流を解析する簡単な方法を学びます。

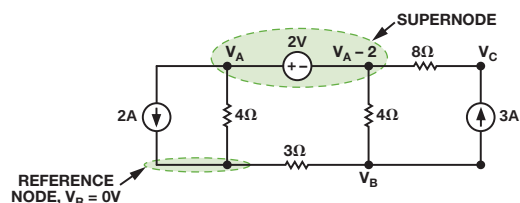


図3. 第3章の具体例：リファレンス・ノードとスーパー・ノードを示しています。

4. システムとネットワークの一般原理

この章ではシステム・レベルの回路解析法の説明をし、概念的な回路を入力と出力のある実際のシステムとして示します。ここでは直線性という数学的概念を定義し、重ね合わせを使って線形システムを解析する方法を解説するとともに、複雑な回路を単純な等価回路としてモデル化するために効果的なテブナン／ノートンの定理を紹介します。ラボでは、ソースから負荷に電力を送る方法や負荷とマッチングさせて電力伝送を最大化する方法を学びます。

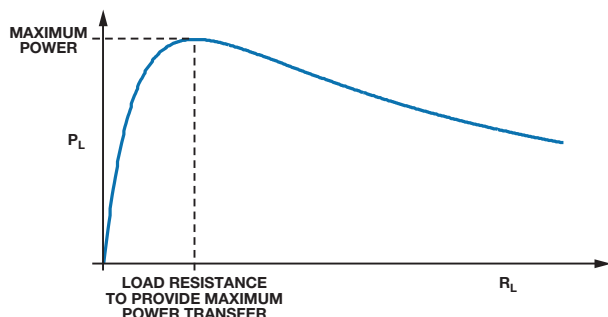


図4. 第4章の図：負荷抵抗と負荷電力の関係を示しています。

5. オペアンプ

この章ではオペアンプについて説明します。このオペアンプ (op amp: operational amplifier) という名前は、加算、積分、累算などの数学的演算 (mathematical operations) に由来します。まず、理想的な動作について説明し、反転回路、非反転回路、差動回路の簡単な解析ができるようになってから、有限なゲイン、有限な入力インピーダンス、有限な出力インピーダンス、ゼロではないオフセット電圧などが実世界に及ぼす影響の効果について説明します。ラボでは、オペアンプを使用して温度測定システムを改善します。

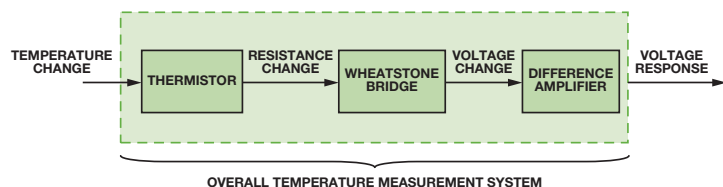


図5. 第5章のラボのブロック図：温度測定システムの設計

6. エネルギーストレージ素子

この章では、コンデンサとインダクタについて、またエネルギーを蓄積する素子としての役割や実世界での動作について説明します。これ以前の章で紹介した回路はすべて代数方程式を使って解析できますが、この章の動的な回路素子には微分方程式を使用します。このテキストでは過渡応答、定常状態応答、それに単位ステップや減衰指数関数などの数学的概念を定義します。ラボでは時間により変化する波形を生成し、観察します。

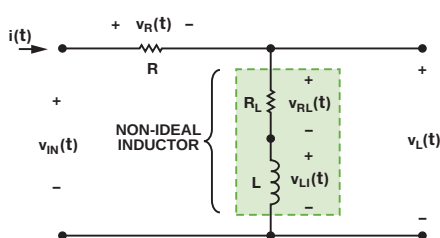


図6. 第6章の回路：インダクタの非理想的 (実世界モデルに近い) モデルを示しています。

7. 一次応答回路

この章では一次の応答を持つ回路について解説します。一次応答回路には独立したエネルギーストレージ素子が1個あり、一次微分方程式で回路応答特性を評価します。ここでは複数の抵抗や1個のコンデンサまたはインダクタを含む回路の自然応答や入力電圧または入力電流のステップ変化に対する応答を解析します。ラボでは、能動RC回路の時間定数やステップ応答を測定する方法を学びます。

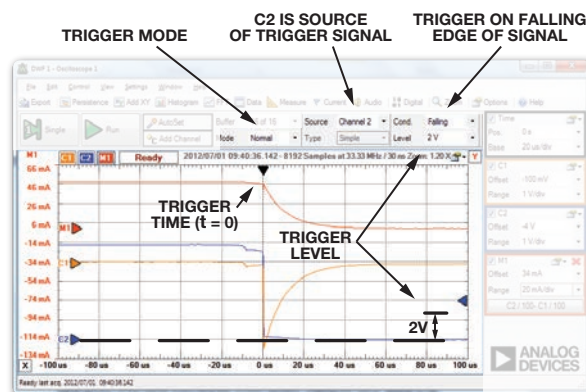


図7. 第7章の制御パネル：トリガの時間とレベルを示しています。

8. 二次応答回路

この章では、前章で学んだ概念を発展させて二次応答回路を解析します。この回路には独立したエネルギーストレージ素子が2個あり、二次微分方程式で回路応答特性を評価します。一次応答回路のステップ応答は時間とともに指数関数的に減衰しますが、二次回路のステップ応答は変動します。ここでは自然周波数と減衰率の概念を説明し、回路の立上がり時間、オーバーシュート、定常状態応答との関連を示します。ラボではRLC回路のステップ応答を測定し、実際の動作が理想的な計算値となぜ異なるのかを解析します。

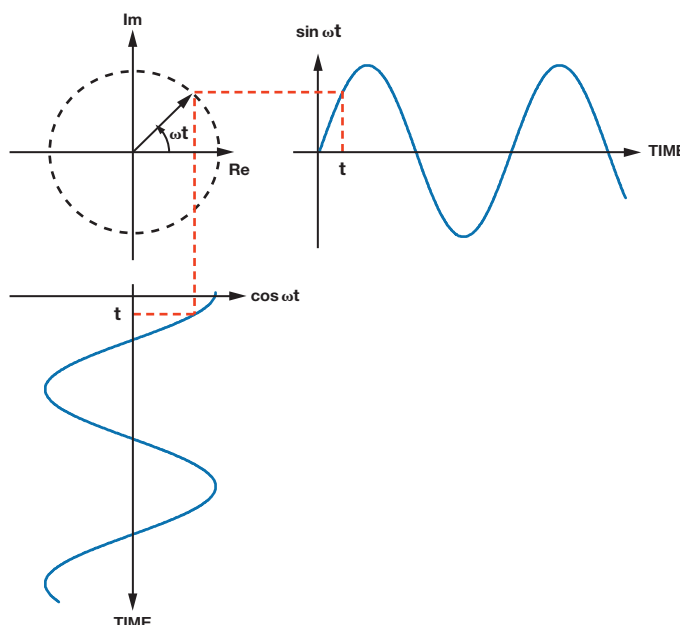


図8. 第8章の図： $\sin \omega t$ 、 $\cos \omega t$ 、 $e^{j\omega t}$ 間の関係を示しています。

9. 状態変移モデルについて

この章では、コンデンサの電圧とインダクタを流れる電流を使ってシステムの状態を確定する状態変数モデルについて説明します。システムは瞬間ごとに状態により完全に特性を表すことが出来るので、状態を随時把握し、その後のシステム入力を知ることによって、いつでも出力を把握することができます。ここでは、状態変移モデルによってどのように数値シミュレーションを実現しシステム応答を決定するかを示します。本章のラボでは、[MATLAB®/Octave](#)（英語）シミュレーションと測定結果を比較します。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1/L_1 \\ 0 & -R/L_2 & 1/L_2 \\ 1/C & -1/C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t)$$

図9. 第9章の行列代数：三次回路の状態変数解析を示しています。

10. 定常状態における正弦波信号解析

この章では正弦波入力を持つ動的システムの定常状態の動作を中心に説明し、システムの過渡応答は無視します。ここでは、複雑な指数や位相ベクトルの形式で正弦波信号を表現する方法を示し、インピーダンスとアドミタンスを定義するとともに、システムの周波数応答が入力信号と出力信号間の関係をどのように表しているかを説明します。ラボでは、アンプ回路のゲインと位相を測定します。

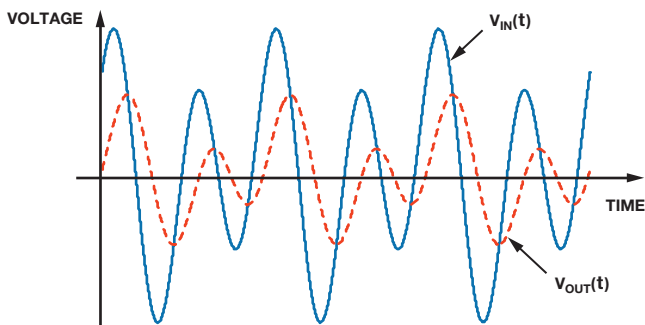


図10. 第10章の図：ツートーン入力信号に対するシステム応答を示しています。

11. 周波数応答とフィルタ処理

この章では、システムの周波数応答を設計／解析ツールとして使用する方法、さらに周波数成分によって信号を表す方法を説明します。また、ローパス・フィルタとハイパス・フィルタを中心にシグナル・コンディショニングの概念を説明し、システムの振幅や位相をボーデ線図でどのように表せるかを示します。ラボでは、オーディオ・アプリケーションのMEMSマイクの出力調整や、機械的ストレスを測定するための振動センサーの出力調整を行います。

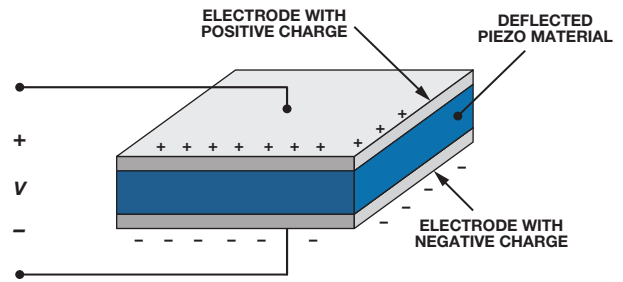


図11. 第11章のラボで使用する振動センサー

12. 定常状態の正弦波の電力

この章では、正弦波信号を使用する電力伝送について説明し、瞬時電力、平均電力、無効電力の概念を紹介します。さらに、誘導負荷の力率を補正する方法も示します。

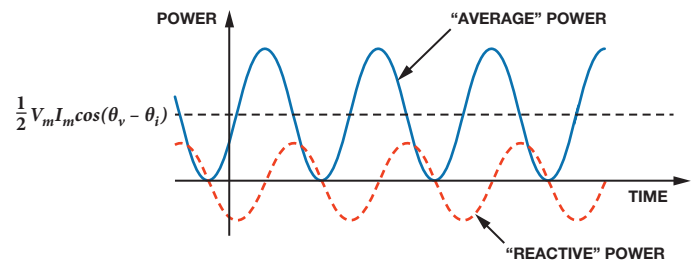


図12. 第12章の図：瞬時電力の成分を示しています。

ハードウェア

テキストでは、理論以外にも実用的な回路を提供し、非理想的な動作を論じるとともに、ラボ実習による実体験を提供します。しかし、本当の面白さは設計キットにあります。[Analog Discovery™](#)（英語）設計キットは、小型のパッケージ内に2チャンネルのオシロスコープ、2チャンネルの任意波形発生器、16チャンネルのロジック・アナライザ、16チャンネルのパターン発生器、2チャンネルの電圧計、ネットワーク・アナライザ、2個の電源を内蔵しています。これで完全な携帯型USB駆動アナログ設計ラボになっており、思い付いたアイデアをいつでもどこでも実験することができます。



図13. Analog Discovery設計キット

設計キットは、**実験用部品キット**（英語）とセットになっています。部品キットには抵抗、コンデンサ、ダイオード、トランジスタ、センサー、オペアンプ、コンバータ、レギュレータなどのほか、ハンダなしブレッドボード、ねじ回し、各種のリード線が入っています。



図14. アナログ部品キット

設計キットは、パワフルなバーチャル計測器 **WaveForms™**（英語）を搭載し、各種計測用のわかりやすく使いやすいグラフィカル・インターフェースを利用できます。これによって、アナログ信号やデジタル信号の取得、保存、解析、生成、再利用が簡単にできます。

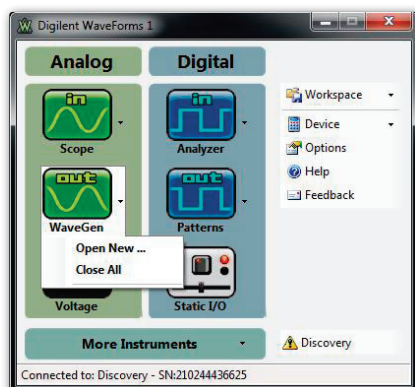


図15. WaveFormsソフトウェアの画面表示例

学生からのコメント

私は現在、学生用のプロジェクトで、バスルームの鏡の結露を自動的に蒸発させるデバイスのプロトタイプを作成しています。そのために、アナログ・デバイセズのエンジニアリングユニバーシティプログラムを利用しました。Analog Discovery設計キット、WaveFormsソフトウェア、アナログ部品キット、オンライン・テキストなどです。プログラムの豊富なりソースは私のプロジェクトにとって本当に貴重なものとなり、他の工学系学生も、自分でその場で利用できることにきっとワクワクするはずです。関心のある学生は、どの場所からでもプログラムの無償のオンライン教材に簡単にアクセスし、転送したりレビューしたりすることができます。Analog DiscoveryやElectronics Explorerのハー

ドウェア設計環境があれば、従来のラボ機能をどこにでも持ち歩くことができます。私の場合は、この融通のきく環境のおかげでアナログ回路に対する興味がわき、自由な発想ですぐに回路を作ることがおもしろくなりました。このような強力なりソースがあれば、学生は自分たちの好奇心をとことん掘り下げ、授業で学んだ事実をさらに補うことができます。

オンライン・コース教材には、プログラムの中でも最も興味をそそるリソースがあります。テキスト「**Real Analog**」(実世界のアナログ)にあるテーマは、プロの電気技術者の視点から教えてもらうため、大学の先生たちが従来通りの手法で書いている主題についてよく理解することができます。説明がわかりやすいビデオ講義やPowerPointのスライドが、テキスト教材の補足になります。また、手順を踏んで進むラボ実験で、実際のアプリケーションを使って、大切な実地技能を習得することができます。無償のオンラインADIエンジニアリングユニバーシティコースワーク(教育用プログラム)は、従来の授業の補足としても、独学用の優れたリソースとしても最適です。

オンライン・コース教材と同じぐらい知的刺激を与えてくれるもので、おそらく最も役に立つリソースは**バーチャル・クラスルーム**（英語）です。このオープン・フォーラムでは、コース教材、技術実習、または設計プラットフォームに関して誰でも質問することができます。バーチャル・クラスルームはエンジニアリングユニバーシティプログラムでは重要なものですが、ほかの大部分の一般的な教育パッケージにはありません。このコミュニティは、アナログ・デバイセズの専門スタッフの定常的な管理のもと、学生同士の協力を支援するためのものです。国際的なコミュニケーションを育むとともに、質問に対するタイムリーな回答が得られることで、多くの学生の効率アップになります。

私にとってプログラムの中で最も実用的だったのは、**Analog Discovery**設計キットでした。このプラットフォームと無償のWaveFormsソフトウェアを使って、オシロスコープ、任意波形発生器、電源を（自分のコンピュータから同時に）実装し、迅速かつ容易に回路の設計に取り掛かることができました。図16は、これらの機能を表示している私のコンピュータの画面ショットです。今回のプロジェクトでは使用しませんでした、設計キットにはロジック・アナライザ、パターン発生器、スタティックI/O、電圧計、ネットワーク・アナライザなど、ほかにも数多くの機能があります。デバイスは使いやすい携帯型なので、学生は従来のラボ環境の外で自分の創造力やイノベーションを試すことができます。寮に持ち込んでもよいし、公共の場所でも自宅でも作業できます。一般的な教育パッケージにはめったに入っていないハードウェアがあることは、実用的な設計技能と理論的な学習を結び付けるためにたいへん重要です。私は、信じられないほど便利なオプションのアナログ実験用部品キットを強くお勧めします。有用な部品がそろっているため、注文の面倒な手間や時間が省けます。

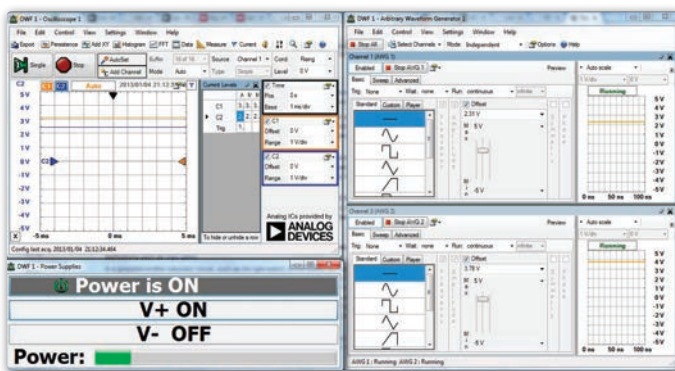


図16. コンピュータ画面に表示されたオシロスコープ、任意波形発生器、電源

図17は、Analog Discovery設計キットがあれば、キッチンテーブルなどどこにでもラボ機能を持ち込めることを示しています。これほど自由に使えるラボ・ツールのおかげで、学生は自分の知識を創造力豊かに応用したり、講義では教えてもらえないデバッグ技術など各種技術を学んだりすることができます。携帯性や使い勝手に優れたこの設計キットは、学生が自分の知識を応用するための素晴らしいツールになります。

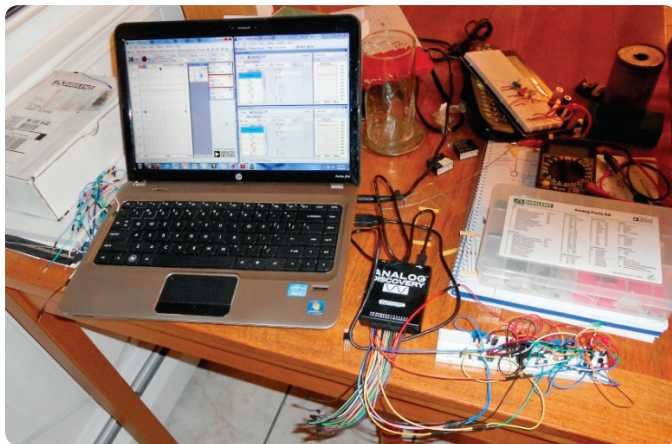


図17. Analog Discoveryがあれば、このようにキッチンテーブルでもどこでもラボ機能を持ち込むことができます

この教育パッケージもそうですが、アナログ・デバイセズのエンジニアリングユニバーシティプログラムにも長所と欠点があります。まず最大の長所は、コースウェア（講習内容）に簡単にアクセスでき、無料という点です。オンライン教材の執筆者はその内容を熟知しているため、混乱や誤解が生じることはまずありません。理論と実地（ラボ実習）の応用が一体となっていることで、テキストによる学習と実践的な学習がほぼパーフェクトに一緒にできます。また、オンライン・コンテンツは、ビデオ講義、PowerPointスライド、テキスト、習熟度を向上させるための宿題など、学習項目を完全に理解するためのさまざまな教材をミックスしており、このプログラムはアナログ回路を学習するための卓越したリソースとなっています。

その一方、このプログラムにも改善の余地があります。教材の理解を深めるには宿題の量や内容が不十分であり、バーチャル・クラスルームは今のところ参加者が不足しています。また、テキストには体裁のばらつきや文法ミスといった小さな欠点がありますが、情報を伝えるというテキストの役割を損なうほどではありません。最後に、混乱しないように、**Digilent®**（英語）には**WaveForms**と**Analog Discovery**キットのマニュアルをダウンロードするようという指示を入れたほうがよいでしょう（私はどのソフトウェアをダウンロードすればよいかわからず、パッケージの使用法全体を説明する文書を検索しなければならなかった）。

私のプロジェクトに興味をもった方のために、バスルームの鏡の結露を蒸発させるデバイスの説明をしましょう。このデバイスは手作りの透明薄膜ヒーターで、**AD22100**温度センサーで相対湿度と相対温度を検出し、コンパレータと単純なトランジスタ・ロジックで構成される回路を使ってヒーターを制御します。図18は、回路の試作とデバッグ、電圧の測定、それにセンサー入力のシミュレーションを行うのに使用したブレッドボードです。今は

アナログ・デバイセズのエンジニアリングユニバーシティプログラムが貴重なツールであることがわかってきました。今後はオンライン・コース教材をもっと利用して、アナログ回路について学習するつもりです。

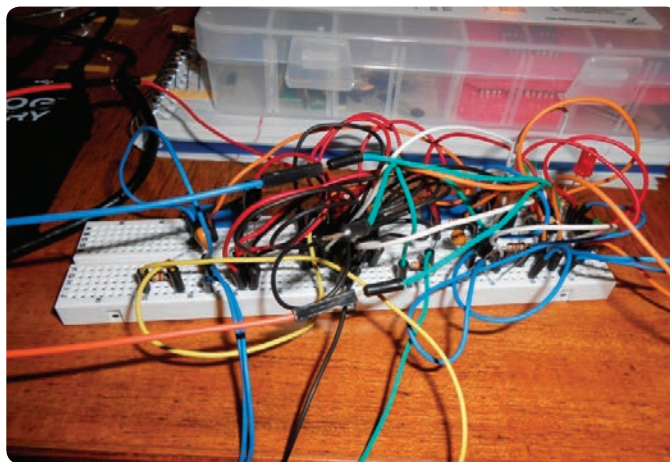


図18. ブレッドボードの試作回路

結論

アナログ・デバイセズのエンジニアリングユニバーシティプログラムは、アナログ回路を学習するための優れたリソースを提供します。テキスト、ビデオ講義、ラボによって高いレベルのアナログ理論を教えることで、学生たちの好奇心を掻き立てます。バーチャル・クラスルームは国際的なコミュニケーションの場となり、質問したり、リモート支援を得ることができます。また、ハードウェア設計プラットフォームには学生の自由な発想を誘う優れた機能があります。

参考文献

Revolutionizing How Engineering Students Learn Analog Circuit Design.

[アナログ・デバイセズ・ユニバーシティ・プログラムに関するビデオ](#)

著者

Ryan Fletcher [rfletcher@wpi.edu] は、ウースター工科大学数理科学マサチューセッツ・アカデミーの学生です。電気工学、ロボット工学、数学、ビジネスなどに興味があります。ディベート、アルティメット・フリスビー、レクリエーション・スキーなど、さまざまなクラブに所属。余暇には、サイクリング、マウンテンバイク、スノーボードを楽しんでいます。



Scott Wayne [scott.wayne@analog.com] は、1978年に設計エンジニアとして入社。Analog Dialogueのスタッフになる前は、モジュラー技術、ハイブリッド技術、モノリシック技術などを駆使してさまざまな高精度A/DコンバータやD/Aコンバータを設計していました。MITで電気工学士号（SBEE）を取得し、現在もedXプログラムで学業を継続しています。多数の論文（記事）を執筆しており、特許は2件取得しました。余暇には、ハイキング、サイクリング、カヌーを楽しんでいます。

