



目 的

初学者が理科教育で電気現象の実験を行うとき、直流では電圧計や電流計などの計器を用い、交流ではオシロスコープを利用して電圧波形の観測を行うのが一般的である。しかし、こうした一般的な方法で電気の動き、特に時間的な変動を伴う電気現象を考え理解することは必ずしも容易ではない。

オシロスコープは波形を観測できる利用価値の高い機器だが、取り扱いが難しい。電気の性質を理解しているからこそ利用できる計測器である。特に直列接続回路で各素子間の電圧波形を見る場合、共通の基準点に接続しなければならないという制約があり、直流計器のような直観的な理解が得やすい計器とは言い難い。

初学者のために取り扱いが簡単で、電気現象を分かり易く表現する計測器が必要と考え、科目「課題研究」で、生徒と一緒に従来の計器で不便な点を改善する目標を立て、計測器を開発した。

概 要

本作品は、電流の向きや電圧測定における接地端子の共有を気にせずに直流や低周波の交流での電圧・電流値の可視化ができる LED 表示器である。製作に当たっては市販のレベルメータ IC や LED アレイが使えるため、安価に組み立て可能である。

応用対象の電気現象は、抵抗 R を組み合わせたブリッジ回路での抵抗値の変化に伴う電流値の変化、コンデンサ C やコイル L の電圧と電流の位相差、 RCL 共振回路で交流周波数を変化させたときの電圧・電流の相殺の様子、三相交流の位相差、トランジスタ回路など、直流バイアス分のある交流信号を含めて多岐にわたる。特に、直列接続ではオシロスコープと違って各素子両端子間の交流電圧の時間変化をそのまま可視化でき、初学者にも理解が容易である。

本作品は、直流や低周波の交流回路のゆっくりとした応答を通じて直感的に理論と実験をつなぐものである。視覚的にもインパクトのある補助教材として活用することで、オシロスコープの原理や動作の理解にも

役立てられる。

教材・教具の製作方法

I. 電圧計・電流計に持たせる機能について

装置の開発にあたって、生徒の理解のつまづき所を考え、電気の動きを直観的に理解できるよう、開発する計器のねらいを以下のように決めた。

- ・計器の接続の際に、直流と交流の違いや、電位の高低、電流の方向を気にしなくてもよい。
- ・複数の計器を接続する際に、共通の電圧基準を定めなくてよい。

これらの特徴により、交流と直流を混合した複雑な回路でも簡単に接続でき、バイアスを含んだ信号の電圧・電流が表示可能になる。オシロスコープのように共通の接地基準点に接続しなくてもよいので、初学者にとって扱いやすい計器となる。

II. 電圧計・電流計の製作と動作について

1. 計器の製作

電圧計は、2 点間の入力電位差をオペアンプで差動増幅し、コンパレータで正負各 10 段階の比較を行って、レベル表示する。

①入力電圧差動増幅処理

入力インピーダンスが大きな差動増幅回路で、基準なしに複数台の電圧計が同時に使用できるようにする。

②マイナス電圧変換処理

交流のマイナス側電圧を表示するため、オペアンプの反転回路でプラス側電圧に変換する。

③電圧レベル比較処理

コンパレータで電圧レベルを区分する。比較電圧は電源電圧を精度の高い抵抗で分圧して得ている。

④LED 表示部

LED の点灯個数で電圧を表示する。マイナス側の電圧は、絶対値が大きくなれば、マイナス側に大きくなるように表示回路を工夫する。

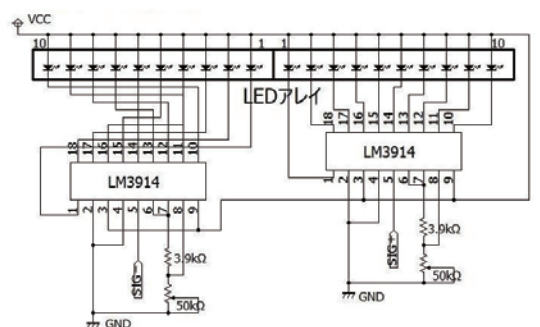
回路構成の③と④は、レベルメータ IC の LM3914 や、LED アレイが手に入るの、少ない部品数で簡単に作ることができる。この場合、片側の LED アレイの配線

(注) 富永英二常勤講師は令和 3 年 3 月 31 日付で退職された。

*とみなが えいじ E-mail ejijson_tomi-3@izm.bbiq.jp

を振じることで、0 V を基準にして外側に広がる表示になるようにする (図 1 上)。

電流計は、電圧計の入力部に小さな抵抗を加え、その電圧降下を増幅して電流値となるようにする (図 1 下)。正負の電源には、9 V 電池 2 個を使用している。



10V-1A測定回路 (内部抵抗0.1Ω)

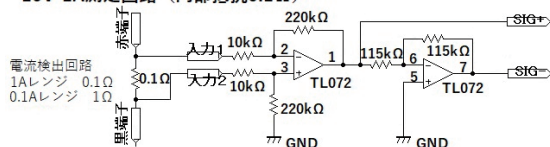


図 1 電圧計・電流計回路図

2. 計器の接続と動作

本装置の接続は従来の計器と同様に、電流計は回路の測定したい箇所に直列に、電圧計は測定したい 2 点間に並列に接続する。このとき、プラス側とマイナス側の入力端子の区別を気にすることなく接続でき、なじみのある電圧計、電流計の延長として初学者にも理解が容易である。写真 1 に示した例では、左から直流 +10 V、-10 V、交流 60 Hz ± 10 V、交流 1 Hz 瞬時値の表示となっている。

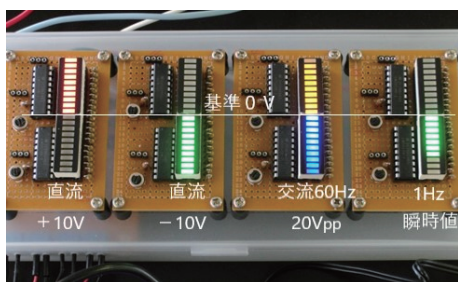


写真 1 電圧計の直流電圧、交流電圧の表示

学習指導方法

I. 指導例 1：抵抗回路の直流電圧印加による電圧バランスの確認

抵抗を直列、並列接続して、直流電圧を印加し、各抵抗に流れる電流や、各端子電圧を複数の電流計・電圧計で確認する。このねらいは、オームの法則の理解

を深めることにある。そして、キルヒホッフの法則やブリッジ回路の実験で、電源電圧や抵抗の大きさを変えて、電流の方向や電圧のバランスが変わる様子を確認する (写真 2)。また、電流計を複数用いて、キルヒホッフ第一法則を確認する (写真 3)。

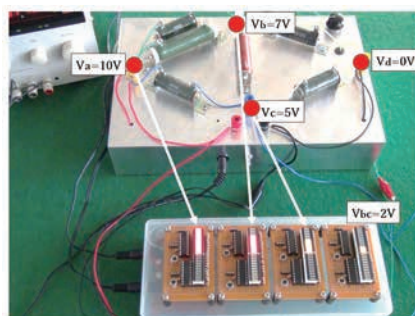


写真 2 ブリッジ回路各位置の電圧の表示

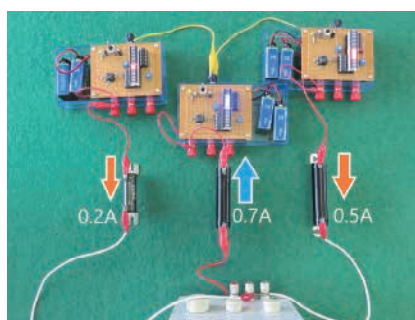


写真 3 キルヒホッフ第一法則の確認

II. 指導例 2：抵抗 (電球) と LED の交流電流による動作確認

インバータ電源で 0.5 Hz ~ 1 Hz の正弦波交流を発生させ、電圧計の LED 光がプラス・マイナスの間を単振動のように上下する動きを生徒に観察させる。

次に電球を負荷として電源に接続し、電圧の変化に応じて点滅を繰り返す様子を観察させる。同時に、電圧に合わせて電流の方向が変化することを確認させる。また、電球と LED を並列接続して両者の点滅を比較すると、LED には半周期分 (順方向) の電流しか流れていないことが観察できる (写真 4)。

電源周波数を徐々に上げていき、点滅が分からなくなる様子を観察させる。

また、電圧計を一定の高さに保持して横移動し、残像により sin 曲線が見えることを確認させる。



写真 4 電球と LED の交流電圧での点灯比較

Ⅲ. 指導例 3：R、C、L 素子のはたらき

RCLの直列回路で、周波数を次第に増加させたときの各素子の電圧や電流の動きを比較し、位相の違いや、周波数による電圧や電流の振幅の変化を確認させる(写真5)。周波数を変化させ、電流の振幅変化を確認できた後、共振現象へと導いていく。直列共振では、周波数の変化で各素子の電圧や回路の電流の振幅が変わる様子を確認させる(写真6、写真7)。なお、周波数 16 kHz における共振現象では、容量 $0.1\ \mu\text{F}$ のコンデンサと、インダクタンス $1\ \text{mH}$ のコイルを用いた。

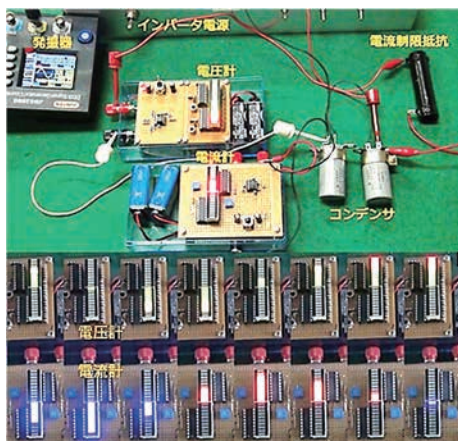


写真5 コンデンサの交流電圧・電流表示

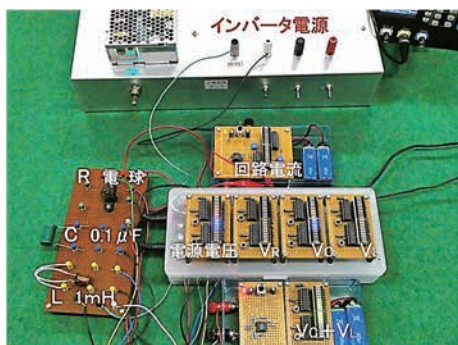


写真6 低周波数で容量性リアクタンス大の状態

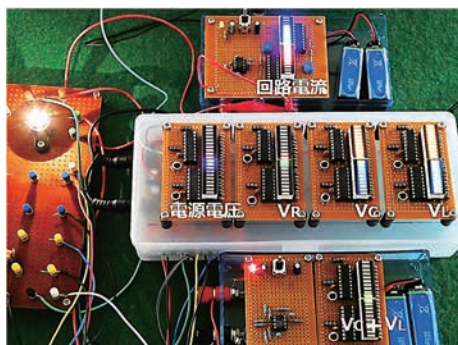


写真7 16 kHz における共振現象の表示

Ⅳ. 指導例 4：トランジスタ増幅回路の入出力信号の関係

ブレッドボードにエミッタ接地増幅回路を作らせ、低周波発信器の信号を入力する。そして、①小信号交流入力信号、②バイアス電圧を含んだ入力信号、③直流分を含んだコレクタ電圧、④結合コンデンサ後の出力電圧、以上4箇所から電圧を取り出して、並べて表示させることで、トランジスタ増幅回路の動作を視覚的に理解させることができる(写真8)。

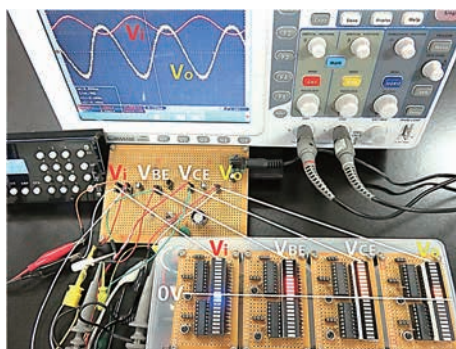


写真8 トランジスタ増幅回路の各段階の電圧表示

Ⅴ. 指導例 5：三相交流の表示

工業高校の学習内容であり、三相交流電力の表示にこだわって開発をしてきた。本装置は、位相を 120° ずつずらした単相交流の組合せである電力の姿を表現する。

ここでは電圧表示のみ記載するが、瞬時値の合計が、ゼロになることがよく分かる(写真9)。

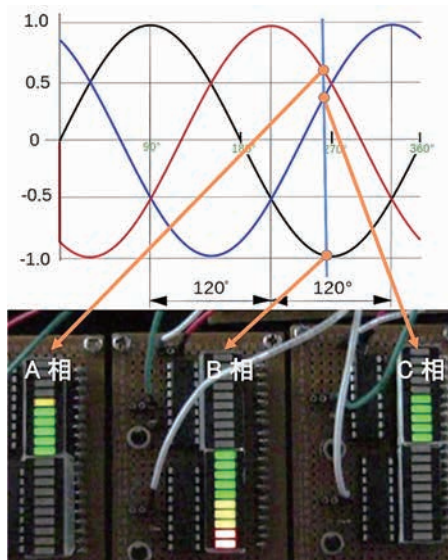


写真9 三相交流波形と電圧計表示

実践効果

本装置は計測器なので、装置そのものは学習対象ではなく補助教材である。しかし、本装置と関係機器を用いて電気の動きを観察している生徒の様子を見ると、明らかにその表現力に魅了され、自分達で電気回路を組み変えて光の動きや量を確かめてみようとする能動的な学びの姿勢を見ることができる。

I. 指導例 1：抵抗回路の直流電圧印加による電圧バランスの確認

各抵抗に流れる電流や、抵抗の端子電圧、各接合点の電位を、複数の電流計・電圧計で全体を俯瞰するように確認することが、学習効果を得るキーポイントとなる。

この指導のねらいは、オームの法則を単に $I = V/R$ の公式としてではなく、深い理解を促すことにある。 $V = RI$ の電圧 V が、抵抗に電流が流れているときの「電圧降下」と、各端子間の「電位差」という意味をもつことを本装置が表現するので、これらの用語が生きたものになり、理解の深さが違ってくる。

また、キルヒホッフの法則の実験やブリッジ回路のような複雑な回路において、電圧のバランスや、電流の大きさや方向の関係を考える際に、効果を発揮する装置である。

特に、電流計・電圧計の接続はそのまま、電源電圧や抵抗の大きさを変えられることは、初学者の実験において大きなメリットで、電流方向が変わる様子や電圧バランス変化の直感的な可視化ができる。

II. 指導例 2：抵抗（電球）と LED の交流電流による動作確認

低周波数の交流電圧を本装置で観察させると、LED の光でプラス・マイナスの間を上下する動きが生徒に新鮮な印象を与え、一様に驚きの声を上げる。それは、このようなゆっくりとした交流電気の動きを見た経験がないからである。電球は点滅を繰り返すが、同時に電流計により電流の方向が電圧に合わせて変わることが確認できる。

また、LED を負荷にすると、その光の点滅から順方向の電流しか流れていないことが明らかとなり、ダイオードの整流作用を確認することになる。電球と並列接続にして点滅の違いを観察させると、その違いが一層はっきりする。

周波数を上げていくと点滅が分からなくなる様子からは、私たちが 50 Hz や 60 Hz の交流を利用し、さらに積極的に周波数を変化させて利用していることに気付かせることができる。

また、電圧計を空間的に横移動すると残像で sin 曲線が見える。オシロスコープは静止した sin 曲線を描くが、それが時間軸を同時に表したものであることを知ることにもなる。

III. 指導例 3：R、C、L 素子のはたらき

RCL 回路では、各素子の電圧と電流の位相の違いや、周波数による電流の変化を直接見ることが理解を促し、感動を与えている。

これには事前に素子の働きを説明しておくことが必要だが、説明内容をゆっくりとした実際の動きと照らし合わせて理解するのである。

電源の周波数を変化させると C と L のリアクタンスが変わるが、容量性と誘導性の違いが分かるので、共振現象へとスムーズに導いていくことができる。

共振現象の確認では、電源周波数の上昇と共に、C と L の電圧の変化の違いや、電流が急激に変わる様子が確認できるが、同時に現象のもつ意味を考えさせたい。

直列の C と L の間で電圧が相殺される現象を実際に見ることは、理論の検証に重要な意味をもつ。写真 7 の直列共振では、C と L の電圧が電源電圧よりも数倍大きくなっていること、互いの電圧が相殺し、抵抗の電圧と電源の電圧が同じになっていること、電流が最大となり電球が輝いている様子などが確認できる。

このような表現はオシロスコープといえども容易にはできないことである。

IV. 指導例 4：トランジスタ増幅回路の入出力信号の関係

生徒が自作した回路の入出力信号をすぐに確認でき、信号電圧とバイアスが含まれた電圧、出力信号電圧が 1 Hz の変化で確認できる。コンデンサによる交流・直流成分の分離や入出力信号の位相が 180° 異なることなど、回路図だけでは分かり難いことが体験を通じて理解できるので、生徒が喜びを味わうことのできる実験である。

V. 指導例 5：三相交流の表示

3 組の単相交流の組み合わせとしての三相交流について、電圧波形の位相関係を正しく理解することは難しい。三相交流の学習の導入段階で、各相の電圧の変化をゆっくりとした動きで確認すると、三相交流の説明波形図と合わせて考えることができる。そして、各相電圧の瞬時値の合計がゼロになることが理解できる。

その他補遺事項

本装置を用いた実習プログラムは、生徒たち誰もがとても分かり易いと言い、評価が高い。電気理論の初期段階から応用まで、電気現象の可視化による理解の促進に寄与する装置であると確信する。

指導した生徒は、この研究成果をもって研究発表し、第 12 回高校生技術・アイディアコンテスト全国大会で「優れた機能と表現力をもつ電圧計」、「電気現象を見える化する装置」の 2 作品が入賞した。

筆者も、平成 28 年九州地区工業教育研究協議会にて「表現力のある電圧計と三相回転磁界発生装置の開発」を研究発表した。