

OHP で演示できる電気工学用教具の研究 II

—基礎電気回路用教具—

遠 矢 守

The Teaching Tools to be Demonstrated by O.H.P.:

The Fundamental Principles on the Basic Electric Circuit

Mamoru TOYA

I. 序 言

学校現場における電気磁気学，電気回路などの授業においては，電気自体が直接目に見えることがないため理論のみの抽象的な授業になりがちである。このような際，授業に関連する内容の演示（教師）実験をしてみせることは，理論だけの授業に較べ，学生・生徒達（以下，学習者と呼ぶ）の理解を深め，かつ，彼等をもその学習内容に引きつける上で望ましいことである。このような観点から筆者は今までに，OHP が備えてあれば普通教室でも簡便に演示実験できる装置を開発（製作）してきており，実際の授業でも活用し学習者から好評を得てきている。^{(1)~(6)}

ここに報告するものは，エンジニアリングサイエンスからみた基礎電気回路を教授するためのOHP 演示実験装置であって筆者がすでに発表したものを改良したり，あるいは，新たに開発したものである。すなわち，アラゴの円板，フレミング右手の法則，電磁誘導の法則，相互誘導の法則，キャパシタ充放電作用，自己保持作用などについて演示実験するための装置である。なお，これらは演示用のみならず個別あるいはグループ実習用としても使用可能である。

ところで，従来の自作教具の多くは現場教師の方々がいざ製作する段になると，その意志はあっても「材料が入手できない」「製作する時間がない」「費用がない」など現実的制約の他に「作るのが面倒だ」「理論学習だけでよい」などの消極的な理由で，なかなか自作されないことが多かった。しかし，本報に述べる装置は，その開発（製作）にあたっては以下に述べる設計理念で製作してあるので現場用に向いていると考えられる。すなわち，簡易自作教具の立場から，いずれも身の周りにある入手容易な部品・材料を利用しており，また特殊な工具を使用することなく初歩的工作技術で製作できるように考慮してある。さらに，学習者の学習意欲を喚起し学習内容の理解を助けるように，演示装置として基礎電気回路の基本事項をできるだけ適確に具現化するように考慮した。また，電気部品の中には実際にOHP で投影した場合，その部品の種別や極性が識別不能となることもあるので，この点は以下の本文に述べる方法で改善を施してある。

II. OHP 演示実験装置の製作と演示法

序言で述べた趣旨にもとづいて、いくつかの演示装置の開発を試みたのであるが、以下に、その個々の装置の開発意図、製作法ならびに演示法などについて順次述べていくことにする。なお、製作法のうち基本的（共通的）事項については文献（3）で述べてあるので省略する。

§1. アラゴの円板演示装置

〔開発意図〕

アラゴの円板は誘導型電動機の回転原理を理解するための重要な教材の一つであり、また、初めて学習する者にとっては磁石と無接触にもかかわらず電磁作用で回転するアルミニウム円板をみて興味を感じさせられる教材の一つでもある。

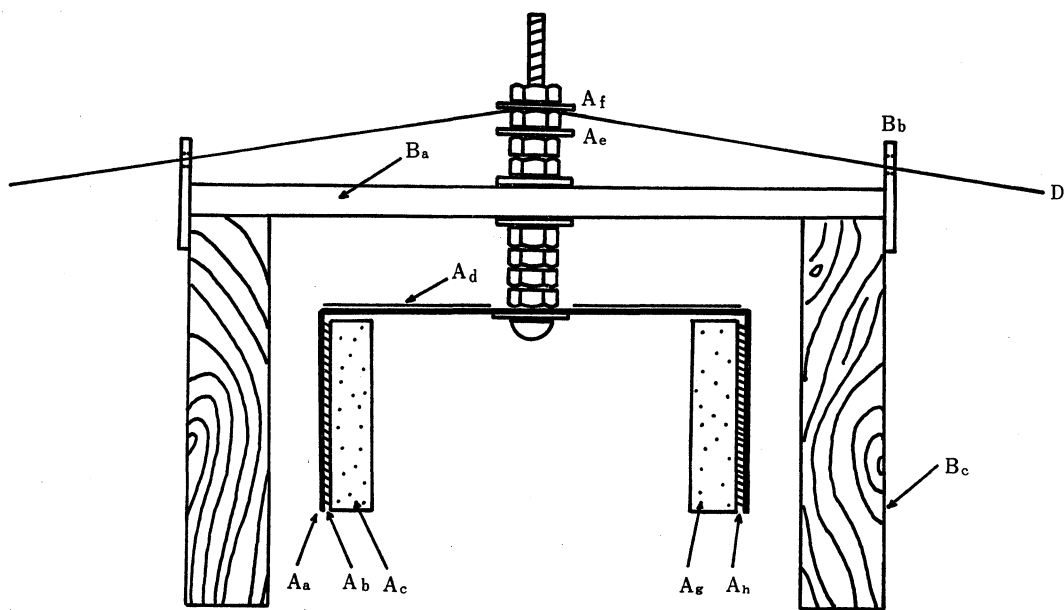
このアラゴの円板教具として市販されているものは、OHP で演示することは不可能であり、また、大型で持ち運びに不便なものが多く、自作教具に比べて高価である。しかし、最近強い磁力をもつ永久磁石も比較的安価で簡単に入手できるようになっているので、教師自らが自作してOHP 演示ができるようにした方が得策と考えられる。

OHP 演示可能なアラゴの円板教具としてすでに、筆者は文献（1）、（2）、（3）に述べたように順次改良を試みてきている。すなわち、第1のタイプとしては、磁石の回転数（回転磁界の速度）を増加するために手回しドリルを利用したもの、第2のタイプとして、手回しドリルをビューレット台で固定するもの、第3のタイプとして、カメラ用リリース・バネで磁石をリモートコントロールして回転させるものなどであった。

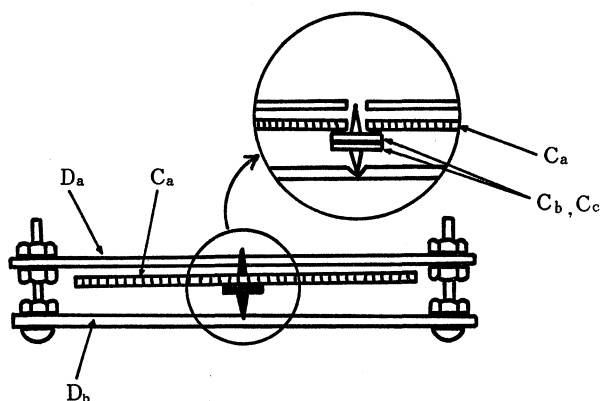
第1、第2のタイプのものは、ともに、製作の手数が非常に少なくすむが、演示する際の準備と技巧が必要であった。また、第3のタイプは準備と技巧は不要であるが、リモートコントロールするためのリリース・バネの機械的寿命の点と、磁石の着脱がやや面倒な点があった。そこで、製作が比較的簡単にでき、その演示も容易に、かつ効果的にできるように改良したのが本報の装置である。以下にその製作法を回転円板部、回転磁界部、遠隔操作部に分けて述べる。

〔製作法〕

（1） 回転円板部（図1（b）参照）としては、まず直径 80 [mm] ほどのアルミニウム円板 C_a を作る（なお、厚さは 1.0 [mm] 1.5 [mm] 2.0 [mm] でも大差なく、どれもほぼ同様にスムーズに回転する）。この円板の中心に直径 1 [mm] 弱の孔をあけ、この孔に画鋸 C_b , C_c を背中合わせにして瞬間接着剤で接着したものを、同図に示したように上記の円板の中心孔に入れて接着する。（なお、アルミ円板にはその回転状態がスクリーン上でも分かるように、数個の孔をあけて透明カラーテープを貼っておく。）このアルミ円板を次のような2枚の透明板で支持する。すなわち、上側の板 D_a は、磁石とアルミ円板との gap を小にするため、1 [mm] 厚の透明塩化ビニール板を用い、下側の板 D_b は、2 [mm]~3 [mm] 厚の透明アクリル板を用いる。



(a) 回転磁界部



(b) 回転円板部

図1 アラゴの円板

(2) 回転磁界部は、図 1(a) のように磁石を手動で回転させるための回転磁石部 A とこれの支持台 B とから成っている。支持台の脚部は前項で述べた回転円板部 (図 b) の枠の寸法に合わせて組み立て、これに回転磁石部 A を取りつけるようにする。支持台の亚克力板 Ba は 10 [mm] 位の厚いものが望ましく、一方、亚克力板 Aa は 3~4 [mm] 厚のものでよい。この板を、幅 10 [mm] 位の短冊状板にしてから同図に示したように「コ」の字型に加熱し折り曲げて作る。なお、これにカラーシート Ad を貼って磁石の極性を色表示できるようにしておく。

この「コ」の字型亚克力板 Aa に磁石 Ac, Ag を保持させるために、両者にマジックテープ (+ あるいは-の一对) をボンドで貼りつけておく (図の Ab, Ah 部分)。なお、このマジックテープによる方法では、回転によって磁石が離脱しそうであるが、アラゴの円板を回す程度の回転数位では確実に保持が可能である。こうすることにより、磁石の着脱が容易になり、磁石の多用途使用

(すなわち磁石が一对あれば、レンツ則、フレミングの法則などに共用)ができ、また、磁石の界磁が弱くなっても磁石の着脱磁器で容易にもとにもどせるなど便利な点が多い。

(3) 磁石を回転させるために図(a)のナット部分を手でつまんで回転力を与えるのでは、スクリーン上に手の大きな影が投影されてしまう上に、滑らかに継続する回転が得にくい。そこで、回転磁石部をリモートコントロールにより回転させるために、糸の摩擦力による方法を用いることにした。すなわち、2枚のワッシャ A_f, A_e 間にあるナット(4mm ϕ)に糸D(ダイヤル用糸あるいは、たこ糸)を巻きつけてから、糸の両端はそれぞれ支持台の穴 B_b に通す。こうすることにより糸のよじれることが少なくなり、スムーズに磁石を正転、逆転させることができる。また、支持台の脚部 B_c の底には、ビニールテープを貼っておけば糸の操作による支持台の OHP ステージ上での滑りをなくすことができる。なお、糸は細い上に、OHP のピントをステージ上に合わせてあるので、スクリーン上では糸はうすく投影されるのみである。

〔演示法〕

まず、回転円板部(図b)の実物を学習者に提示したのち、これを OHP ステージ上にのせ、円板がその枠に独立して自由に回転することを示す。次に、回転磁石部(図a)の実物を提示したのち、ステージ上にのせ、磁石を装着してから糸の操作で磁石を回転させる。このとき、OHP 用磁針(あるいはオリエンテーリング用透明型磁針)を磁石 A_c, A_g 間に置くと、回転磁界の概念を演示することができる。

次に、この OHP 用磁針の代わりに、回転円板部(図b)をはめこみ、糸の操作によって磁石を回転させるにつれて円板はゆっくり同方向に回転を始める。糸を反対方向に動かすと磁石を直ちに逆転し、円板も逆方向に回転を始める。

このように演示すれば、回転磁界の同期速度に対してすべり S をもって回転する誘導電動機の回転原理を OHP 上で実験することができるし、さらに、上述の OHP 用方位磁針を用いれば、同期速度で回転する同期電動機の原理も合わせて演示できる。

アラゴの円板演示装置の外観を写真1に示し、その OHP での投影状態を写真2に示す。

§2. フレミングの法則演示装置

〔開発意図〕

フレミング左手の法則(以下、左手則と呼ぶ。)、および、フレミング右手の法則(以下、右手則と呼ぶ。)を実験をするための教具は、市販品も自作教具も少なからず見受けられるが、OHP 演示可能なものはなかなか少ないようである。そこで、筆者は左手則については文献(1)(5)(6)で、すでに述べたように、OHP 演示可能なものへと開発と改良を試みてきており、文献(5)(6)で述べた縦軸型のもは、自作が極めて容易であり、しかも、演示の操作性、演示の効果も、ほぼ満足

できる所まできていると考えている。

しかし、右手則用教具となると、その誘導起電力 e は Blv 則より分かるように極めて微小であるため、OHP 演示用の VU メータ ($\pm 50 \sim \pm 100 \mu A$) でもその指針を振らすことはできない。(すなわち、序言で述べたように入手容易な材料部品を用いて VU メータの指針を振らせるとすれば、永久磁石の発生する磁束密度 B の大きさに限界があるし、また、導線の長さ l も OHP ステージ上での演示という点で大きさの限界があり、さらに、導体を動かす速度 v にも限界がある。) なお、導体をコイル状にして数百回巻けば、VU メータの指針を振らすこともできるが、スクリーン上ではコイルが一様な黒い影となってしまう学習者にとってはコイルであるという印象が得られにくい。さらに、コイルを巻いたのでは、一般の教科書に載っているような説明図(すなわち磁界中に直線状導体を移動して、その直線状導体の起電力の発生方向を示している)と異なり右手則をそのまま具現しているものでない。現実の教具を原理・法則や実物機器などに、より結びつきやすいものに近づけることが教具として必要条件の一つでもあるので、この教具としては導体はコイルでなく、直線状導体であることが望ましい。

しかし、一本の直線状導体ではその誘導起電力は極めて微小であるので、直流増幅器で増幅して VU メータの針を振らせる必要がある。ところで、市販の直流増幅器は高価であり、また、OHP 用に製作されているわけでもない。また、教具として OHP 用メータ(検流計を含む)が最近市販されるようになったが、そのメータ自体の占める底面積で OHP ステージの大部分を占有してしまい都合が悪い。なお、OHP を 2 台用いれば演示は可能ではあるが、教室では OHP は普通 1 台しか常備されておらず、また OHP が 2 台では装置全体として大がかりなものとなってしまう序言で述べた簡易性を満足しない。そこで、高感度増幅器を内蔵し、かつ、底面積を広く要しない検流計(高感度 OHP 用センターメータ、以下 OP 型メータと呼ぶ)が必要となる。この OP 型メータおよび関連部品の製作法を以下に述べる。

〔製作法〕

(1) メータ本体は、文献(2)(3)で述べたように価格や加工性の点で有利である VU メータ(ここでは、零目盛が中心にあって左右に両振れするものを選ぶ)を利用する。まず、メータの目盛板の裏面のプラスチック板を金鋸あるいはプラスチックカッターなどで切り取り、図2に示すように、そのあと同寸法の透明アクリル板 A をはめこみ、セロハンテープなどで固定しておく。なお、あらかじめ指針 G には OHP 用カラーテープを貼っておくとスクリーン上では、細い指針が拡大投影されるし、また、影絵部分が多い中で色表示されるのでその投影効果が改善される。ここで、このカラーテープが指針からはがれてしまうことも考えられるので、そのためには透明板 A をメータ本体 B に接着しないでセロハンテープで半固定する方がよい。なお、指針が比較的太い VU メータを選べば、このメータに電氣的過負荷、静電気の影響、機械的ショック、テープの変質にも充分耐えて、カラーテープが指針からはがれてしまうことはない。

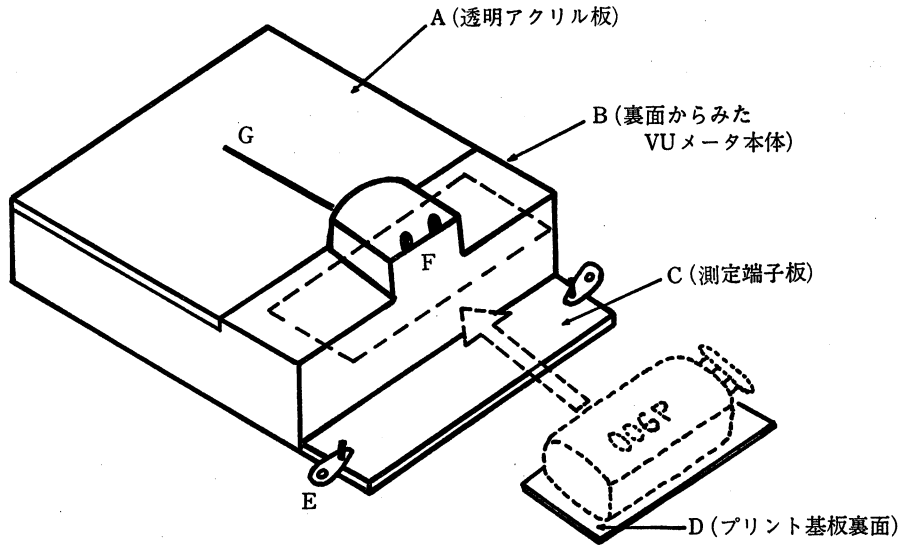


図2 OP型メータ

(2) 次に、直流増幅器を製作するのであるが、この増幅器はOHP 演示用としてできるだけ小型にする必要があり、また、現場教師でも製作が容易であるようにその回路は単純なものであることが必要である。加えて、直流増幅器としてドリフトが少なく、安定に動作し、また、比較的安価に作れることが要求される。

この目的のためには広く安価で市販されているOP アンプ（オペレーショナルアンプ）を利用すればよい。そこで、これを用いて図3に示した反転型直流増幅回路をできるだけ小型のプリント

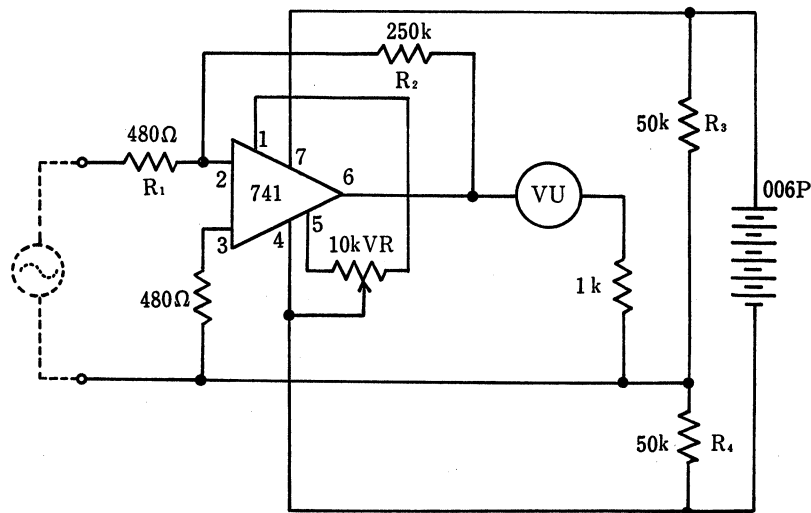


図3 OP型メータ増幅回路

基板に配線する。この直流増幅器の増幅度は近似的に2個の抵抗の比 R_2/R_1 で与えられるが、ある限度以上に増幅度を上げると発振してしまい安定動作が得られなくなる。また、OP アンプの場合、一般の使用法としては、+と-の2電源が必要であるが、図3に示したように抵抗 R_3 , R_4 で電圧を分割した単一電源方式でも十分に直流増幅器としての機能を果している（設計法については

たとえば文献 (9) (10))。

(3) 図2に示すように、この直流増幅器を組込んだプリント基板 D を (1) で製作した VUメータ B に点線で示した位置に接着 (あるいはマジックテープで着脱自在と) する。その上にビニールテープを巻いた 006 P の乾電池を着脱自在できるようにマジックテープで半固定とする。次に、不透明板 C をメータ本体 B に接着して、これに卵ラグ E をビスナットじめして、この OP 型メータの測定端子とする。測定端子にはその極性に依じて、二色の OHP 用カラーボードを貼りつけておくと、スクリーン上でも端子の極性が分かりやすくなる。

なお、プリント基板の出力線と VU メータの端子 F との接続は、指針の振れの方向と図2の端子 E の極性を考慮して決める必要がある。

(4) 次に、短冊状 (5 mm×250 mm×1 mm) のアルミ板を図4のように折り曲げて取手部分 A

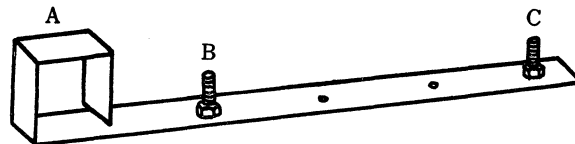


図4 OHP用直線状導体

を作り、また 2 mmφ のビスナット B, C で測定端子の代用とする。この直線状導体の測定端子 B, C と OP 型メータ端子とを接続するためのリード線は、適切な長さに切断して、その両端には小型のみの虫クリップをハンダ付けしておく。なお、みの虫クリップのビニールカバーは、スクリーン上での影絵部分の面積を減らす意味で、取り除いておいた方がよい。

〔演示法〕

まず、U 型磁石の実物を学習者に提示したうえ、これを TP シートの敷いた OHP ステージの上部中央 (図5 A₂) に置き、磁界の方向がスクリーン上で ⊙ 方向であるか ⊗ 方向であるかを OHP ペンで明示する。次に、直線状導体 B の実物を学習者に提示してから、これをステージ上に置いてリード線で OP 型メータと接続し、そのスイッチを閉じる。

導体が静止したままであれば、メータの指針は中央の零点にあるはずであるが、そうでない場合はボリウム VR で零位調整をする。このあと、直線状導体 B を U 型磁

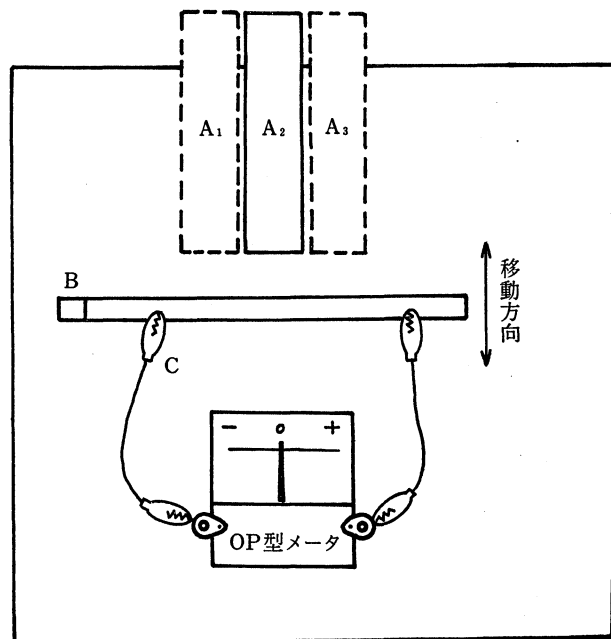


図5 部品配置図 (右手の法則)

石の磁極間で移動させると、その運動方向の向きに応じてメータの指針が+あるいは-方向に振れて、右手則の起電力の方向を OHP で演示することができる。

また、一定磁界中において、導体の移動速度 v や導体の端子間距離 l の増減に応じて、その起電力の大きさが増減することを演示実験することにより、定性的ではあるが $e=Blv$ 則が成り立つことを OHP 上で説明できる。なお、後者の演示の場合、図5の A_1, A_2, A_3 のように、U 型磁石を3~4個使用するか、あるいは磁極面積の広い板磁石を使用する。ただし、VUメータは原理的構造が可動コイル型に属するが、分解してみると分かる通り、平等磁界が得られるような磁極構造となっていないため、OP アンプによる直流増幅回路の直線性が得られたとしても、このメータは総合的にみて直線性があるとは言えない。しかし、上記のような定性的演示だけでよいのであれば、充分その機能を果しているものと言える。

写真3に右手則演示装置の外観を示し、写真4にそのスクリーン上での投影状態を示す。

§3. 電磁誘導の法則演示装置

〔開発意図〕

電磁誘導の法則は、ファラデーの法則とレンツの法則から成るが、この法則を用いることにより、アラゴの円板の駆動原理、相互誘導作用、磁気浮上の原理などその他多くの電磁現象を定性的に説明できる。この重要な法則を OHP 演示することのできるものとして、筆者は文献(1)で述べたものを製作したが、その誘導電流で VUメータの指針を振らせるためには、コイルの巻回数を数百回以上にする必要があり、また、このようにするとスクリーン上ではその影絵がコイルとしての感じが得にくい点と、コイルの巻方向が識別できないという問題点があった。

一方、文献(4)ではコイルの巻回数を10数回に減らして学習者にとってもスクリーン上でもコイルの感じが得られるようにする一方、減少した誘導電流もトランジスタ差動増幅器で増幅してメータの指針を振らす方式をとっている。しかし、この方式では演示中零点の移動が大きく、指針が安定に動作し難いものであった。また、ディスクリット回路であるため増幅回路部分の面積が大で、スクリーン上では影の面積が増加する問題点もあった。

そこで、筆者は回路が簡単で安定に動作する前節で述べた OP 型メータをここでも利用したところ、上記の問題点が解決できたので、以下にその製法および演示法について述べることにする。

〔製法〕

- (1) 誘導電流を検出するためのメータは、前節で述べたものを共用する。
- (2) 直径 1.5 [mm] のエナメル線 (マグネットワイヤ) を直径 50 [mm] 位の円筒に巻きコイル状に成形したのち、円筒をはずし図6のようにコイル辺上部にエンパイヤチューブを挿入する。こうすることにより、OHP で投影した場合、スクリーン上でもコイルの立体感が得られて、コイ

ルの巻方向が学習者にも一層はっきりと表示されて都合がよい（さらに、これを透明なアクリル円筒に巻きつけるとより巻方向が分かりやすくなる）。巻回数、巻方向の異なるものを数種類、同様にしておく。

(3) 永久磁石は、演示上の取り扱いやすさから、棒磁石（長さ 15 mm）が便利である。この磁極両端にはスクリーン上でも極性を識別できるように二色の OHP 用カラーボードを貼りつけておく。

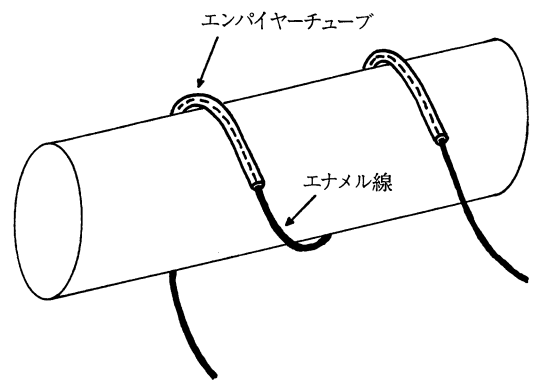


図6 OHP用コイル

〔演示法〕

(1) まず、OP型OHPメータをステージ上にのせてから、コイル（巻数2~3回のもの）の実物を学習者に提示した後に、これを図7のAのようにステージ上にのせ、コイルの巻方向を学

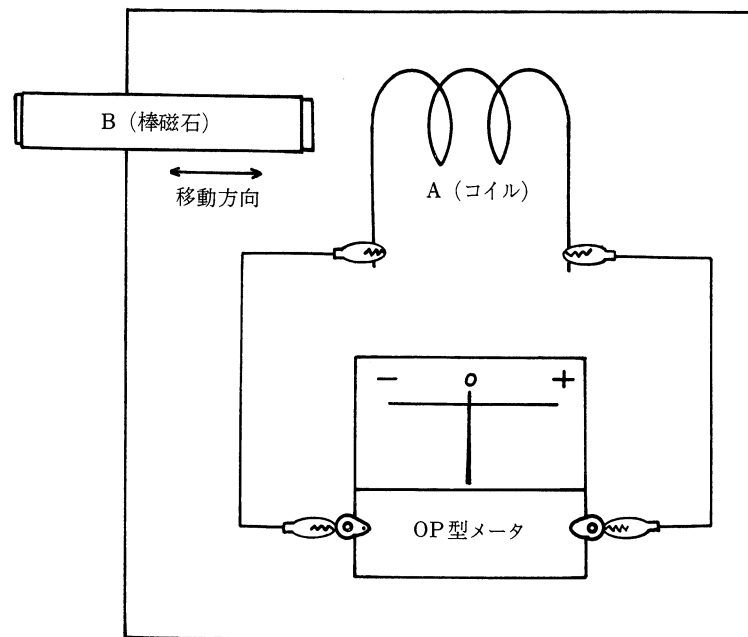


図7 部品配置図（電磁誘導則）

習者に確認させる。次に、このコイル内に棒磁石 B を出し入れして誘導電圧の方向がレンツの法則に従うことを演示実験する。さらに、棒磁石の極性を逆にしたり、コイルの向きをかえて同様の演示をする。

(2) 次に、磁石を素早く出し入れしたり、ゆっくり出し入れしたり、あるいはコイル内の磁石を静止したままの状態にしたりして、その誘導起電力 e が磁束 ϕ の変化速度 $(d\phi/dt)$ に応じて増

減することを演示する。さらに、巻回数 N の異なるコイルで上と同様のことを繰り返して、誘導起電力が巻回数に応じて増減することを演示実験する。なお、理論式では、 $e=N d\phi/dt$ の関係にあるのであるが、教具の簡易化という点で磁石の移動を手で行なわねばならぬことと、VU メータの非線形性から、定量的な実験を通して比例関係を実証することは困難である。しかし、ここに述べた演示装置で——誘導起電力の大きさは巻回数と磁束変化速度の増減に応じるといふ——ファラデー電磁誘導則の概念を演示することは可能である。

写真5にこの装置の外観を示し、写真6にはスクリーン上での投影状態を示す。

§4. 相互誘導作用演示装置

〔開発意図〕

この電磁現象は2個のコイルを互いに同軸になるように接近しておき、一方のコイルに電流を流すと、別のコイルに起電力が発生する現象であり、始めて学ぶ学習者にとっては、2つのコイルが電線で直接結線されていないにもかかわらず電圧が誘導されることに興味を感じさせられるものである。

この電磁作用を OHP 演示できる教具としては、すでに文献(4)に発表されているが、この教具の場合、誘導コイルとして整合トランスを利用しているため、これを OHP でスクリーン上に投影した場合、一つの黒い塊としか映らないので、その妥協策としてトランスの内部構造を示す TP をオーバーラップして表示する方法をとらざるおえない。

そこで、筆者はこの点を改良するため次のようにした。スクリーン上でもコイルらしい形状とするためには、その巻回数を減らせばよいが、このようにすると、その誘導起電力は激減してしまい、とても VU メータの指針を振らせることはできない。また、この微小電圧は §2 の OP 型メータでもその指針を振らすことはできない。さらに、同節で述べたように、同メータの増幅度をこれ以上大きくすることは好ましくない。したがって、この微小電圧を測定するメータとして、次項で述べるように OP アンプの2段増幅器としてメータの指針の安定化を計った。以下に、その製作法ならびに準備すべき材料・部品について述べる。

〔製作法〕

(1) OP 型2段直流増幅器の回路は図8に示す通りで、これをできるだけ小型になるようにプリント基板に結線する。ここでは §2 の回路と異なり単一電源化をはからず乾電池(006P)2個の2電源方式とした。

(2) VU メータ(零点が中央部にあるものを選ぶ)を図2に示したのと同様の方法で、OHP メータ化し、測定端子板を取り付ける。この端子板上に2個の電池をマジックテープで装着する。

(3) エナメル線(1.5mmφのマグネティックワイヤー)でコイルを数種類作っておく。たとえ

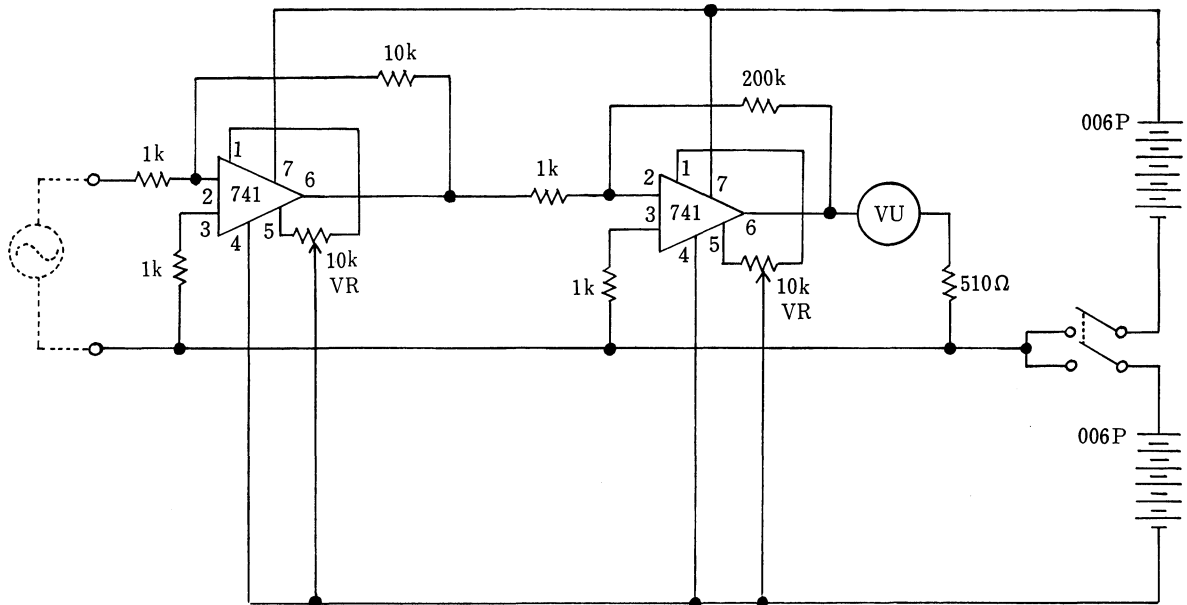


図8 OP型2段増幅回路

ば次のようである。①1次コイルとして20数回巻いたもの（これを120 [mm]×70 [mm]の亚克力板に小形陸式ターミナルで固定しておく）②2次コイルとして巻数を2, 4, 8……としたもの ③巻数は同じであるが巻方向を逆にしたもの（コイル辺上部には図6と同様にエンパイヤチューブを挿入しておく）

(4) その他準備するものとして、鉄棒、コの字型鉄心、OHP用磁針などである。

鉄棒：直径10 [mm]、長さ100 [mm]程度のもの数本で硬鉄棒より軟鉄棒が望ましい。なぜならば、硬鉄棒の場合は鉄心をコイルから出し入れしながら演示するとき、その残留磁気が比較的大きいためメータの指針を大きく振らしてしまうからである。

コの字型鉄心：EI型鉄心が望ましい。しかしながら、適度の大きさのもの入手が容易でないため、鉄板を成層してコの字型に成型することも考えられるが、ここでは小中学校の教材用として広く市販されている安価な馬てい形磁石（極間隔50 [mm]、脚の高さ100 [mm]）を、磁石の着脱磁器⁽⁷⁾で充分脱磁したものを使用する。

OHP用方位磁針：市販品でもよいが、使用できなくなった方位磁針があれば、文献(1)に述べた方法で製作するとよい。こうすることにより、市販品と違ってその極性を色表示できる上、振れの応答性のよいものができる。

リード線：2次コイルとメータを接続するものと、1次コイル・電源・スイッチを結ぶものを用意する。なお、後者のリード線にはコイルを接続する側のみの虫クリップ部にカラーボードを取付けてスクリーン上でも極性判別ができるようにしておく。なお、1次電流を表示するためのOHPメータを準備することが望ましいが、プッシュボタンスイッチをOHPステージ上にもせて演示すれば、スイッチの開閉が学習者に明示されるので、あえて製作する必要はない。

〔演示法〕

(1) 相互誘導作用による起電力の大きさについて以下のように演示する。

(イ) 1次・2次の両コイルの実物を学習者に提示した後、両者を図9のA、Bに示すようにOHPステージ上に配置し結線する。スイッチDをONしても、メータの振れは極めて微小であることを演示する。

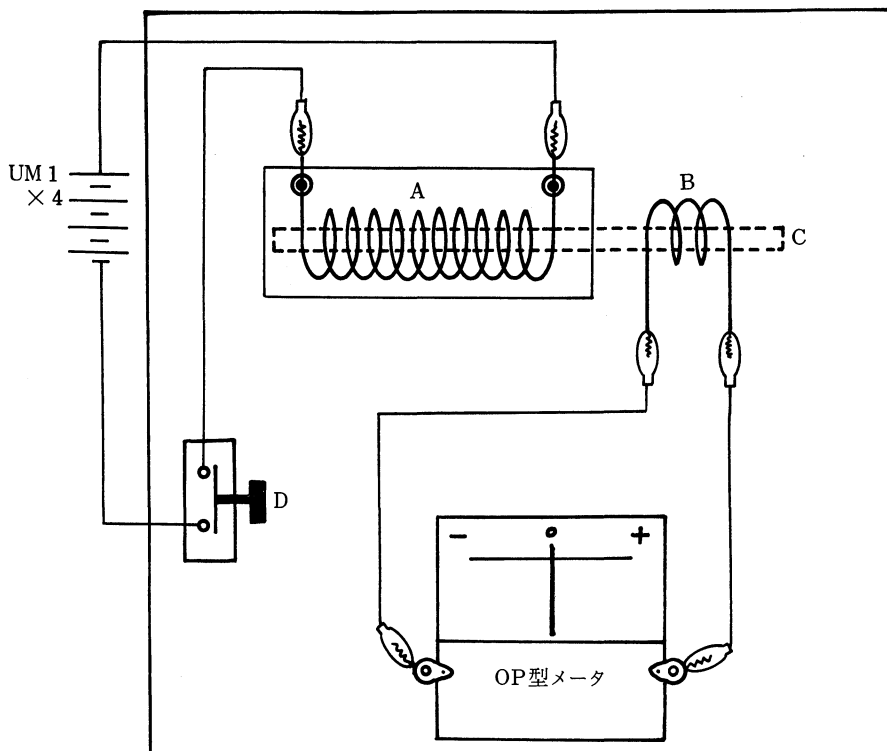


図9 部品配置図(相互誘導作用)1

(ロ) 次に、鉄棒CをコイルA、B内に入れてメータの振れをみる。2次側コイルBの巻数(2, 4, 8など)を増減して、起電力の大きさが増減することを演示する。

(ハ) 2次コイルを1次コイルから近づけた場合遠ざけた場合とで、メータの振れが増減することから、漏れ磁束の概念を説明する。さらに、鉄棒を2, 3本と増加したり、あるいは図10のCに示すコの字型鉄心をコイルA、B内に入れて継鉄C'の有無によりメータの振れが増減することから、磁気抵抗の概念($R=l/\mu S$)を説明する。

(2) 次に、誘導起電力の方向について以下のように演示する。

(イ) OHP用方位磁針をコイルAと同軸上(図9のBの位置)において、スイッチを押した時の磁針の振れからコイルAの発生する磁界の向きを調べる。

(ロ) OHP用コイル(図6)を図9のように同軸上に並べておき、スイッチDを押した時、離れた時のメータの振れ方向をみる。さらに、1次コイルの印加電圧の向きを変えたり、2次コイル

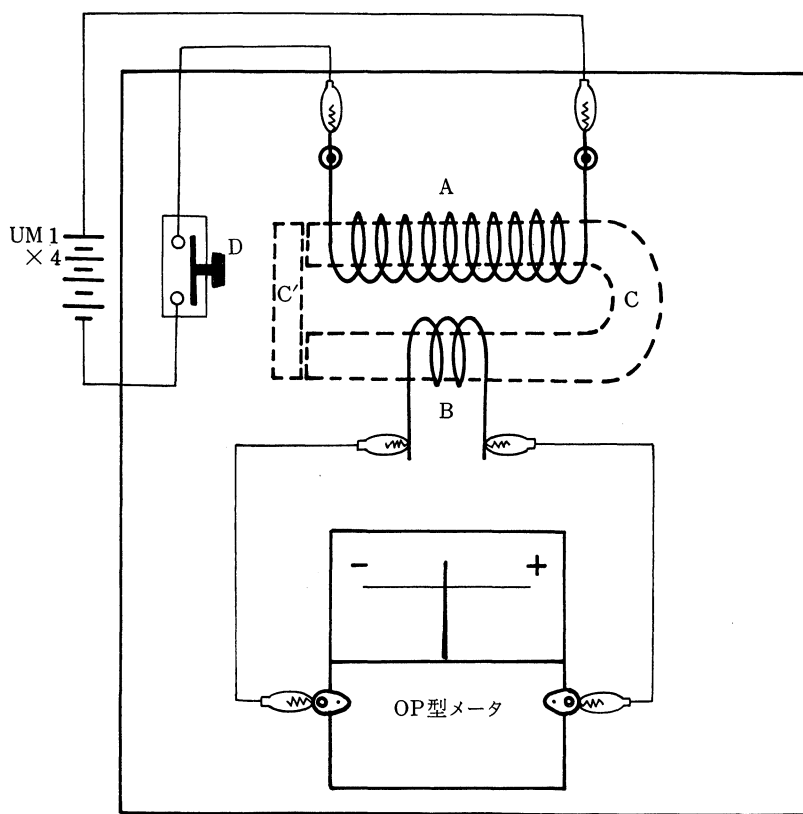


図10 部品配置図 (相互誘導作用) 2

の巻方向の逆のものを用いて、上と同様なことを繰り返すことにより、誘導起電力の方向がレンツの法則に従うことを説明する。

(ハ) 2次コイルとして、巻方向の異なるコイル2個を直列接続して、その接続法(極性)の違いと相互インダクタンスの正負の概念について説明する。

写真7, 9に本装置の外観を示し、写真8, 10にそれぞれのスクリーン上での投影状態を示す。

§5. キャパシタの充放電演示装置

〔開発意図〕

キャパシタには、言うまでもなく、(1) 電圧に対して電流を 90° だけ位相を進める作用、(2) 電源の周波数に応じて電流の大きさを制限するリアクタンス作用、(3) 電荷の充放電作用などの性質がある。学習者に対して、キャパシタにはこのような性質があることを数式や図面のみ用いて説明しても具象的なものとして充分理解していないことが多い。

上記の項目(1)(2)については文献(3)のRC直列回路教具を応用すればOHP演示できるが、これでは、それらを直接具現しているものでない。この(1)については、2現象シンクロスコープを用いて電圧と電流を観測する方法がOHP演示化するよりも直観的で学習者にとって理解しや

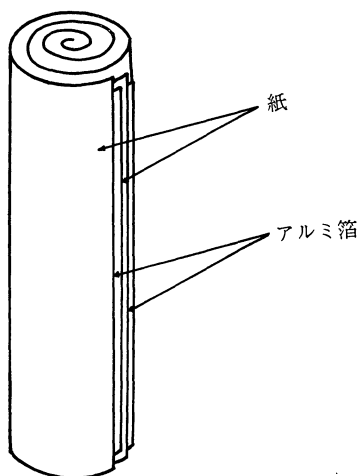


図 11 手作りのキャパシタ

すい。さらに、(2) についても図11に示すように、それぞれ2枚のアルミ箔を普通用の紙を重ね巻きした、手製のキャパシタを学習者の目の前で作り、これを蛍光灯の点灯スイッチに並列に結線しAM ラジオを近づけて、このキャパシタの有無により雑音が増減することから、高周波に対するリアクタンス減少作用を興味深く演示実験できる。また、(1) (2) についてあえて OHP 演示するとすれば、OHP ステージ上に交流電圧を用意しなければならず簡易性という点で望ましくなく、上記の項目 (1) (2) については OHP 演示化することは現在のところ得策でないと考えている。

しかし、項目 (3) については、教室で全生徒に一斉にかつ平等に説明できる点や、メータの指針の振れが拡大投影されダイナミックな演示ができる点などを考慮すると、(3) を OHP 演示可能化することは意義あると考えるので、以下にその製作法および演示法について述べることになる。

〔製作法〕

約 250 mm×250 mm のアクリル板上に、図12に示すようにキャパシタ (16[V], 1000 [μ F] の電解コンデンサ)、OHP メータ、スイッチその他の部品を配置する。OHP メータは文献 (3) で述べた方法で VU メータを改造して製作する。なお、そのリード線は図12のように長く伸ばし、その両端 H, I には後述の放電抵抗を接続できるように成形しておく。a 接点形のスイッチ E はりん青銅板を OHP で投影したときの効果を考慮して適切に成形して作る。F, G はみの虫クリップと卵ラグを利用した着脱自在の部品取付端子⁽³⁾ で、ここに OHP メータを取り付ける。放電抵抗として、たとえば 50 [Ω], 500 [Ω], 5 [k Ω], 50 [k Ω] を用意し、それぞれアクリル板の小片に接着して抵抗値を表示する。なお、C, D の端子は小形の陸式ターミナルとして、部品交換を容易なようにしておく。

〔演示法〕

まず、図12のようにゼネコン (手回し発電機)⁽¹²⁾⁽¹⁷⁾ のリード線の片端にダイオードを接続してキャパシタを充電する。(このダイオードにより、キャパシタを充電した直後の逆流によるキャパシタの放電電流を阻止できる。) このあと、スイッチ E を押してキャパシタが充電されたことをメータで確認する。これを数十秒後あるいは十数分後になってもその指針の振れに変化がないことから、キャパシタには充電作用があることを説明する。

次にキャパシタを再度十分に充電した後、スイッチ E を押しつつ、H, I 部に抵抗器を引っかけのように接続し、メータの指針の振れの変化をみる。抵抗値を変化して指針の振れの差異を見るこ

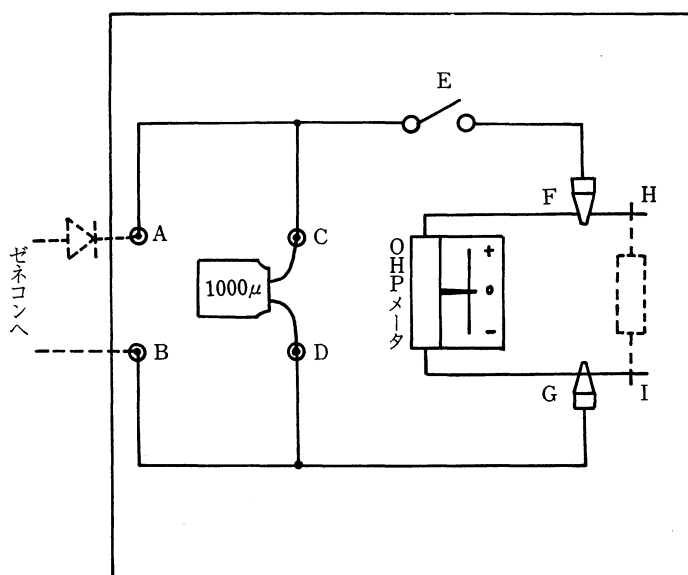


図12 部品配置図 (キャパシタ放電)

とにより、抵抗値の変化による放電特性（いわゆる時定数回路）の概念を演示説明する。

なお、ここでキャパシタを充電する際に、乾電池でなくゼネコンを使用したのは、電気を人間自らの手で発電してから充電するという演示上の効果を考えたからである。すなわち、ゼネコンを用いればエネルギーの感覚を体で感じさせることができるが、電池ではそれを味わせることは難しいからである。⁽¹⁷⁾

写真11にキャパシタ充放電演示装置の外観を、写真12にスクリーン上での投影状態を示す。

§6. 自己保持作用演示装置

〔開発意図〕

言うまでもなく、SCRの特性の一つとして自己保持作用があるが、これも初めて学ぶ学習者にとっては、その現象を実際にその目で見るまでは充分納得するところまで行かないものである。特に、SCRは半導体素子の一つで、そのスイッチング動作が直接目で見られるわけではないので、余計に理解しにくいものである。

また、継電器（リレー）を用いても有接点方式ではあるが、自己保持回路を構成することができる。これはリレーシーケンス回路の基本となる重要な回路の一つであり、また、自己保持回路には停止優先型と動作優先型の2種類あるが、これも初めて学ぶ学習者にとっては理解し難い内容の一つとなっている。

〔製作法 A………SCRによる自己保持の場合〕

図13のように、アクリル板（250 mm×250 mm）上の C, D, E 端子に SCR のアノード、カソード、

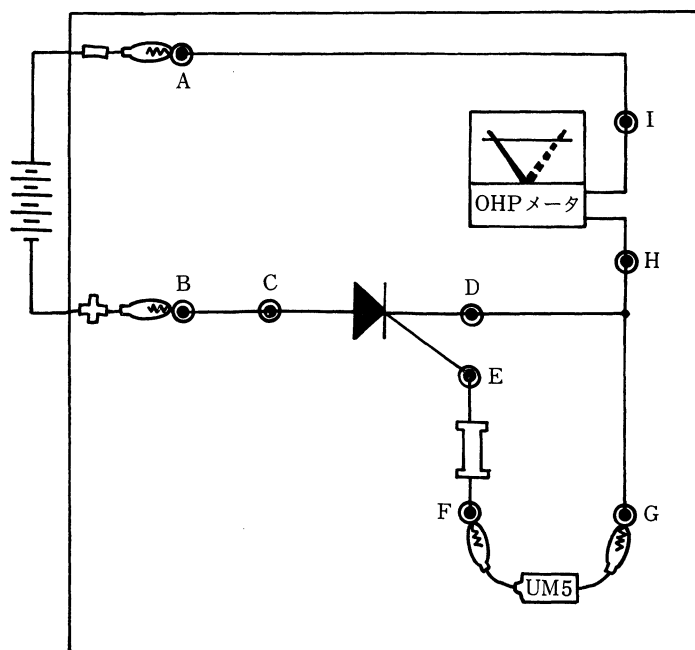


図13 部品配置図 (SCR 自己保持作用)

ゲートを結線する。(このとき、SCR の記号図を形どったカラーシートをアクリル板上に貼っておくと、学習者は各端子の意味が分かりやすくなる。) また、端子 E, F 間にはゲートの保護抵抗、端子 H, I 間には負荷抵抗内蔵の電流計 (VU メータを OHP 化したもの) を接続する。なお、A, B 端子に接続するみの虫クリップには、電源の極性を示すカラーボードを貼っておく。

〔製作法 B……………継電器による自己保持の場合〕

アクリル板上に、マイクロスイッチ A, B と継電器 (接点形式は 1a1b でもよいが、2a2b であれば負荷を接続できる。) を図14のように配置する。マイクロスイッチの端子の意味 (NC, NO, C) および継電器の端子の意味 (a, b, c) をアクリル板に OHP ペンで記入しておく。なお、リード線の各端子への接続法として、ここでは、洋裁用のスナップをマイクロスイッチの端子やリード線の先端にハンダ付けする方法を用いた。こうすることにより、接続部での影絵部の面積が少なくすみスクリーンの上での投影状態が良くなり、しかも、結線の変更が容易となる。

〔演示法 A……………SCR による自己保持の場合〕

端子 A, B に順方向に電源を接続しただけでは、OHP メータの指針は振れないが、端子 F, G 間に一瞬順方向電圧を印加すれば、これを取り去っても、OHP メータの指針は図13の点線の状態のように自己保持することを演示する。また、端子 B に適当な値のボリウム (5~10 kΩ) を接続すれば、そのボリウム操作により保持電流およびラッチング電流の概念も容易に説明できる。なお、メータの代わりに端子 I, H に豆電球をつないでもよい。ただし、そのままでは OHP 演示はでき

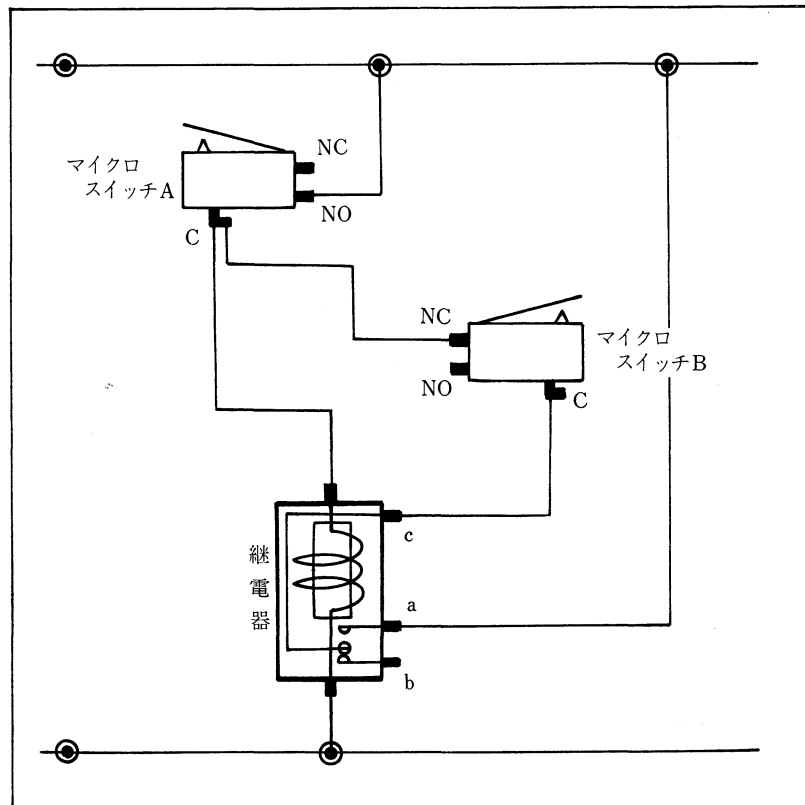


図14 部品配置図（継電器の自己保持作用）

ないので、電球のリード線を長く延ばして、その点灯状態（自己保持作用）を直接学習者に提示する方法をとる。さらに、小形の亚克力板上にツーロン回路を組み込み、この出力端子を図13のF, G端子に接続することにより、SCRによる調光装置についてもOHP演示できる。

〔演示法 B……………継電器による自己保持の場合〕

図14のように結線し、自己保持動作することを演示した後、Aが自己保持スタート用スイッチであり、Bがストップ用スイッチであることを確認する。さらに、スイッチA, Bを同時に押すことにより、図14のように結線した回路は動作優先型の自己保持回路となることを示した後、この回路からOHPステージ上で順次結線替えして、停止優先型の自己保持回路になることを演示する。

写真13, 15に自己保持作用演示装置の外観を、写真14, 16にはそれぞれのスクリーン上での投影状態を示す。

III. 結 言

本報で述べた各種の演示実験装置はいずれも次のような特徴をもっている。

- (1) 身近な部品・材料を用いて簡単に製作できる。

- (2) 関連する原理・法則をできるだけ適確に具現し、学習者の理解を助けるようにしてある。
- (3) 全体の学習者に一齐、かつ、平等に演示説明できる。
- (4) 演示することにより、学習内容の理解を一層深めるとともに学習意欲を喚起するなど学習者に Cue 効果を与える。
- (5) 小形・軽量のため、持ち運びが容易で簡便に教室で演示できる。
- (6) OHP 演示用のみならず、個別あるいはグループ実習用に適する。また、現場教師の中には今まで述べてきたような諸法則が成立することは極く当然のこととして、実際に自らの手をとって実験をして確認されてない方が居られるかもしれないので、その方々の自己研修教材の一つになるとも考えられる。

しかし、本報で述べた各種の演示装置は、筆者が試みた一試作例であって、そのハードウェアとソフトウェア（ユースウェア）⁽¹²⁾の両面で未だ改善の余地が多いと思われるし、さらに、教育学的立場からも充分検討することが必要であり不備な点も多々あると思われるので、今後とも大方の御批判・御指導を得てこれからの装置の改善に努力していきたいと考えている。

(謝辞) 日頃から御指導いただいている東京工業大学教育工学開発センター長 末武国弘教授に厚く御礼申し上げますとともに、開発にあたって参考にさせて頂いた文献の著者の方々に感謝致します。

文 献

- (1) 梅沢 (改姓→遠矢) : OHP で演示できる電気工学用教具の研究 I, 鹿児島大学教育学部研究紀要 第27巻 1976/3
- (2) 梅沢, 末武 : OHP で演示可能な電動機教具の製作, 電子通信学会信学技報 ET 76-8 1976/12
- (3) 吉田, 梅沢, 末武他 : OHP で演示可能な電気回路教具 (1), 電子通信学会信学技報 ET 77-1 1977/4
- (4) 大熊, 坂口, 末武 : OHP で演示可能な電気回路教具 (2), 電子通信学会信学技報 ET 77-5 1977/8
- (5) 大熊, 梅沢, 末武他 : OHP で演示可能な電気回路教具 (3), 電子通信学会信学技報 ET 77-7 1977/10
- (6) 末武, 坂口, 梅沢他 : OHP で演示可能な電気用教具の製作, 昭和53年度電子通信学会総合全国大会 (2136) 1978/3
- (7) 大塚 : 理科教具の開発と自作 東洋館出版 1977/6
- (8) 河原 : 教具に関する一考察 科学技術教育 1974/1
- (9) 北川 : オペアンプ IC マニュアル, オーム社 1974/1
- (10) 岡村 : OP アンプ回路の設計, CQ 出版 1974/5
- (11) 末武 : 基礎電気回路 1, 培風館 1971/11
- (12) 末武 : 教育機器活用の実際と展望, 学研 1977/3
- (13) 畑, 古川 : OHP デモンストレーション装置, 電子通信学会教育技術研究会資料 E 68-10 1968/10
- (14) 森原 : 黒板をスクリーンとして活用する電気回路用 OHP 演示装置, 電子通信学会教育技術研究会資料 E 72-1 1972/1
- (15) 川上 : OHP で演示可能な論理回路教具, 電子通信学会信学技報 ET 78-16 1979/3
- (16) 佐藤 : 透視回路計の試作, 理科教育センター研究集録 1973/3
- (17) 大隅 : ゼネコン実験集, 国立教育研究所教材研究会 1977/7

(1979年10月15日 受理)

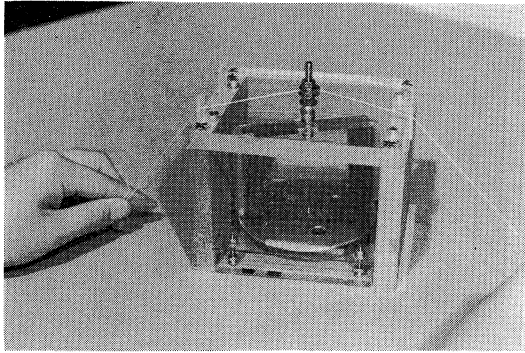


写真 1

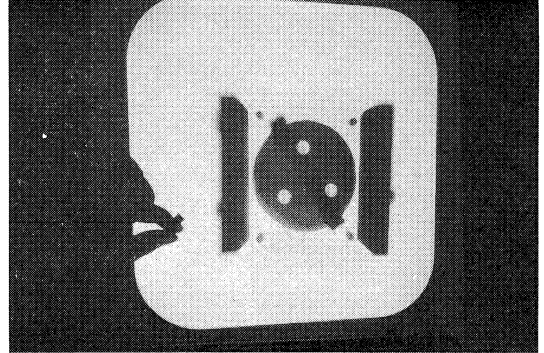


写真 2

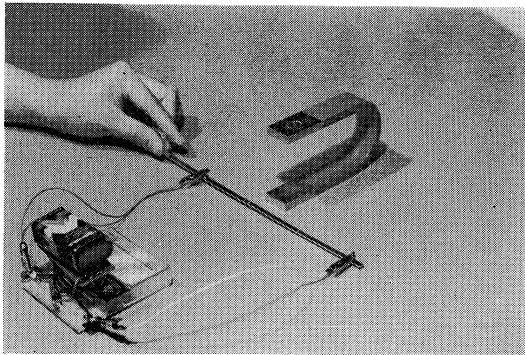


写真 3

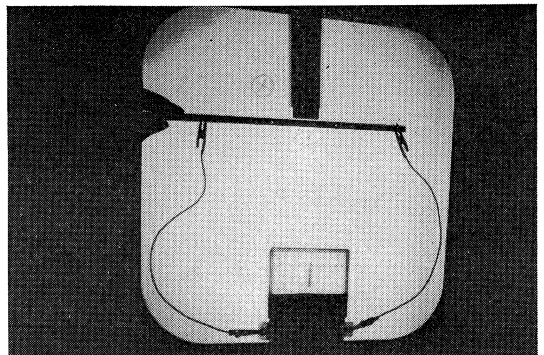


写真 4

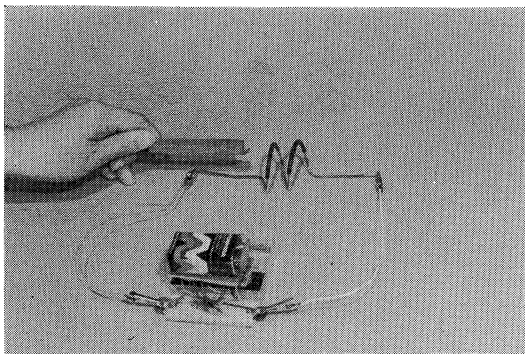


写真 5

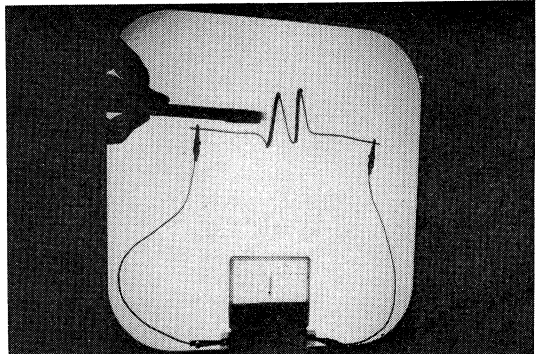


写真 6

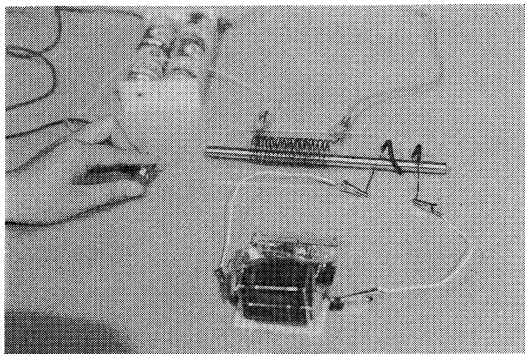


写真 7

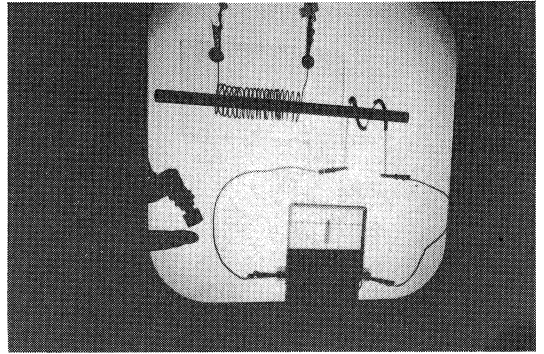


写真 8

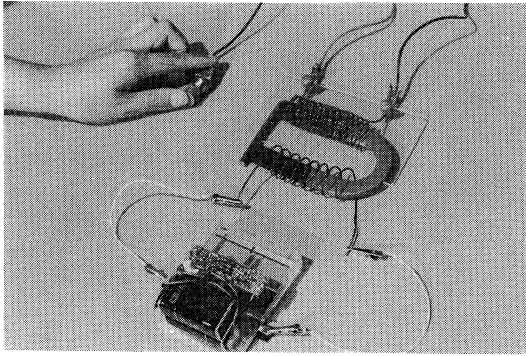


写真 9

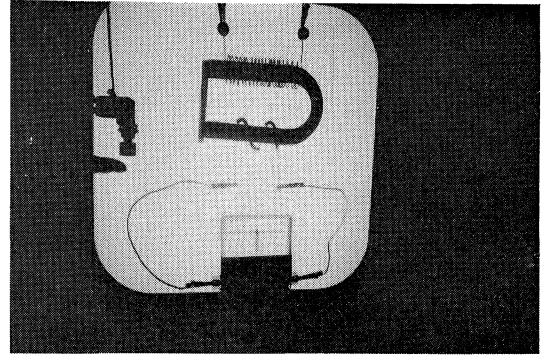


写真 10

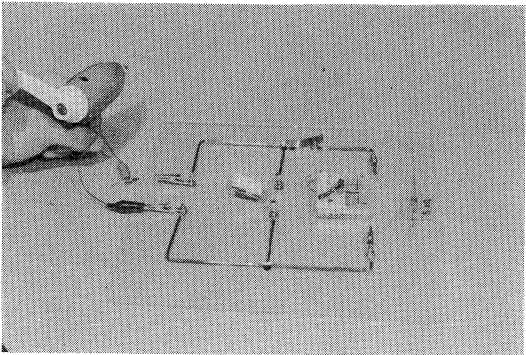


写真 11

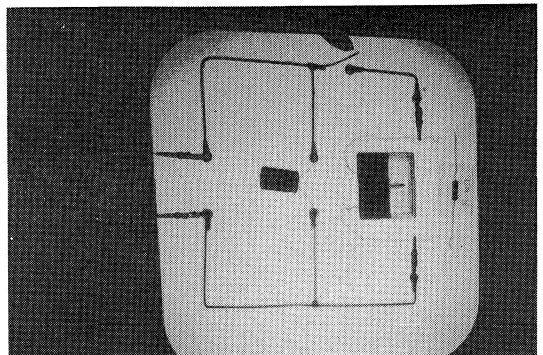


写真 12

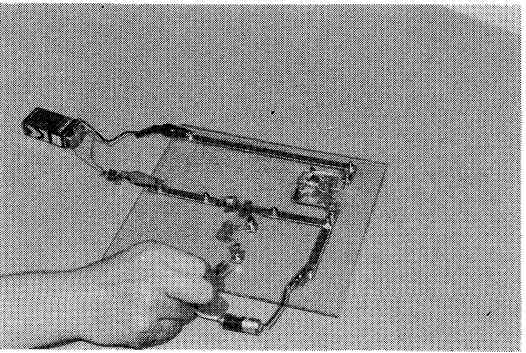


写真 13

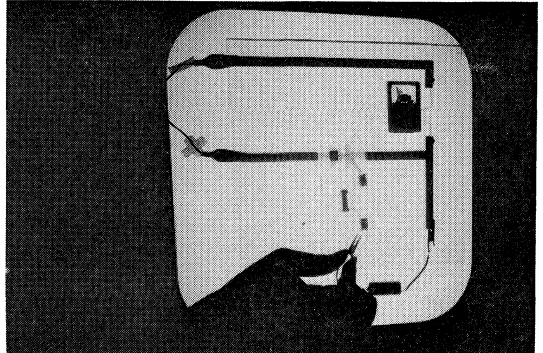


写真 14

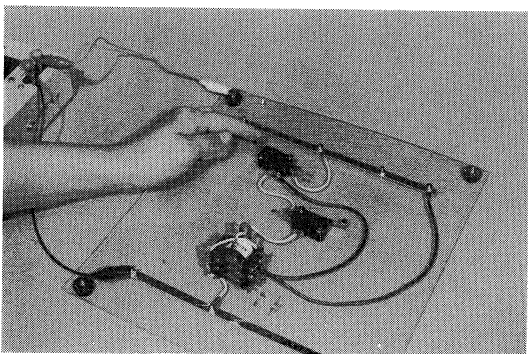


写真 15

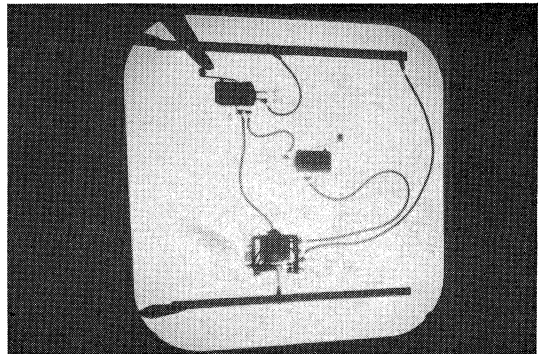


写真 16