

琉球大学学術リポジトリ

発光ダイオードの基本交流回路実験教具への活用

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学教育学部 公開日: 2007-09-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 新田, 保秀, Arata, Yasuhide メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/1876

発光ダイオードの基本交流回路実験教具への活用

新 田 保 秀

An Application of Light Emitting Diode to Educational
Tool for Alternating current

Yasuhide ARATA

(Received July 10, 1979)

I まえがき

電気の授業は、とかく数式にたよりがちで、抽象的になり、物理的意味を把握させるのがむづかしいものである。導線中を流れる電気の様子が見えないうことが、電気が理解しにくい大きな理由であろう。電気分野でも、直流回路に関しては、電圧、電流の概念を、水圧と水流の概念に対応させることにすれば、理解させやすいのであるが、交流に関しては、そのような方法だけではうまくゆかず、どうしても数学的になりがちである。

中学技術科の電気分野で、交流とはどういうものかを理解させる為に、商用周波数 60 Hz、あるいは低周波発振器から出力した電圧波形を、オシロスコープで観測させたとしても、オシロスコープという機器を通して、間接的に観る正弦波と交流を結びつけることはむづかしいであろう。工業高校、高等専門学校等の更に進んだ電気の学習において、コイルやコンデンサを流れる電流はその両端に加えられた交流電圧と位相が異なることを学ぶが、そのことを確認する手段としてよく用いられる方法が、オシロスコープを用いて、リサージュの図形を描かせることである。しかしながら、その場合にも、描かれたリサージュの図形から、数学的に位相のずれを説明する必要がある。数式に弱い学生でも、電気の学習についてゆけるようにするには、電流の流れる方向とその大きさを定性的でもよいから、直接的に知覚できるような教具が必要であろう。

発光ダイオード (Light Emitting Diode : LED) は、その中に電流が流れると発光する性質をもつダイオードであり、観測したい回路に、それを直列に接続すれば、それが発する光を観測することにより、回路を流れている電流の方向を知ることができる回路素子である。そこで、LED を回路にうまく接続することにより、オシロスコープ等の機器を用いることなく、位相の

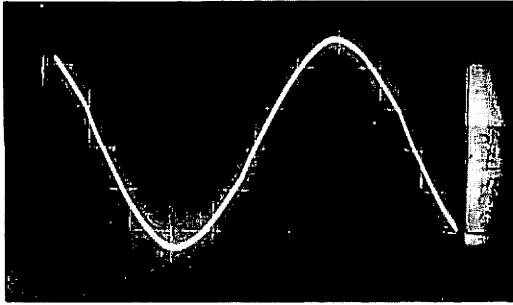
ずれ等が、LED の点滅で直接的に感知することができるであろう。

LED の点滅を通して、位相のずれを知覚するには 1 Hz 以下の周波数をもつ正弦波交流が適当であり、更に多数の LED を同時に点滅させることができるような電流容量の大きな超低周波発振器が必要である。このようなことで、上記の目的を達成すべく、周波数が 0.25 Hz から 2 Hz の間で可変で、出力電圧約 10 V、許容出力電流約 0.8 A、出力インピーダンスが 74Ω 以下の正弦波出力超低周波発振器を製作し、更に、LED を効果的に活用した、基本交流回路実験教具 (パネル) を製作した。

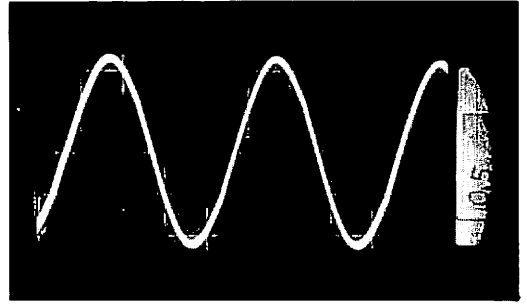
II 超低周波発振器

LED の点滅を通して、視覚的に電流の流れを知覚するには、その点滅の周期が短かければ知覚が困難になり、又、あまり長くても、間のびして効果がない。点滅の周期は 1 Hz 前後が望ましいであろう。市販されている通常の低周波発振器では、周波数 1 Hz 前後の正弦波は出力できないのがほとんどであり、1 Hz 前後の正弦波を発振できる低周波発振器は、とても高価なものである。たとえ、それを使用したとしても、出力電流容量が小さく、LED を何個も同時に点灯することはできないのである。そこで、リレーを応用した、出力電流容量が大きい超低周波発振器を市販の書物¹⁾を参考にして製作した。

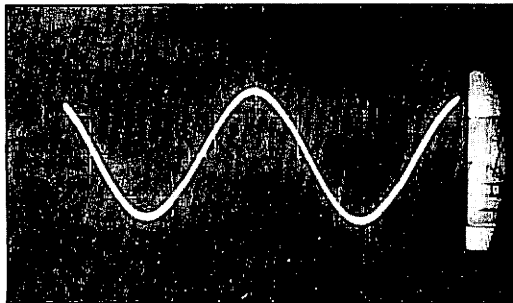
製作した、超低周波発振器は、上記のような、基本交流回路実験教具に使用する目的であるから、高い周波数や、極端に低い周波数は必要ないので、0.25 Hz から 2 Hz の間の周波数範囲で、十分に近似された正弦波が出力できるように設計してある。製作した本器の正弦波出力波形を〔写真 1〕～〔写真 4〕に示す。本発振器の配線図



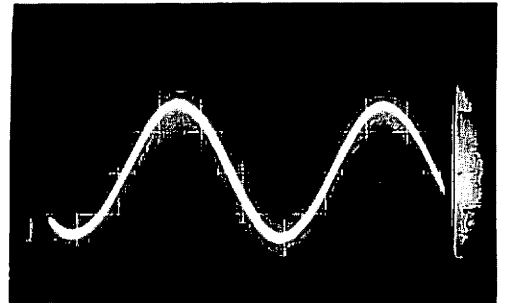
〔写真1〕 0.25 Hz 正弦波出力波形 5 V/cm
0.5 sec/cm



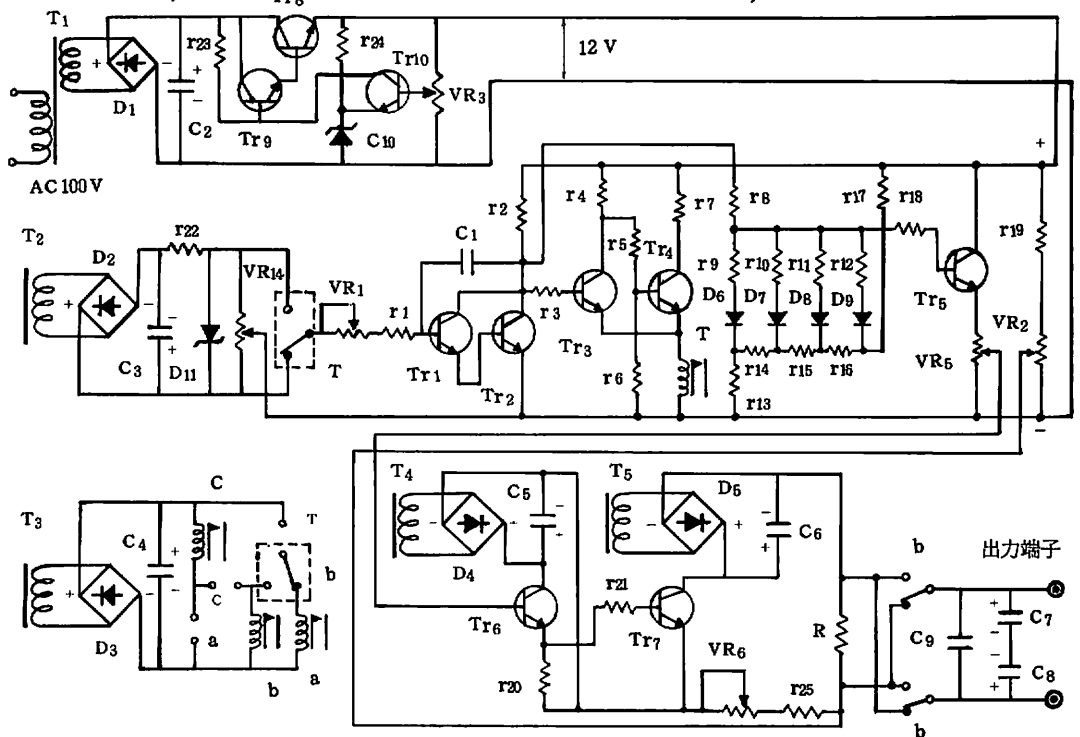
〔写真2〕 0.5 Hz 正弦波出力波形 5 V/cm、
0.5 sec/cm



〔写真3〕 1 Hz 正弦波出力波形 5 V/cm、
0.2 sec/cm



〔写真4〕 2 Hz 正弦波出力波形 5 V/cm、
0.1 sec/cm



〔図1〕 超低周波発振器の配線図

新田：発光ダイオードの基本交流回路実験教具への活用

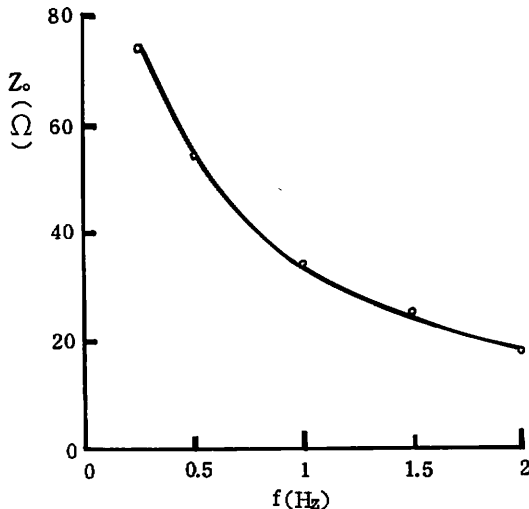
は〔図1〕に示した通りであり、使用部品は〔表1〕に示してある。部品の入手の都合もあり、上記書物¹⁾の配線図や部品表とは一部異なっている。〔図2〕には、本器における、周波数と出力インピーダンスの関係を示し

ている。図から、出力インピーダンスは0.5 Hzで使用すれば、約50 Ω程度である。本器の最大出力電圧は約10Vで、最大許容電流は約0.8 Aである。なお、本器の全容を〔写真5〕に示す。

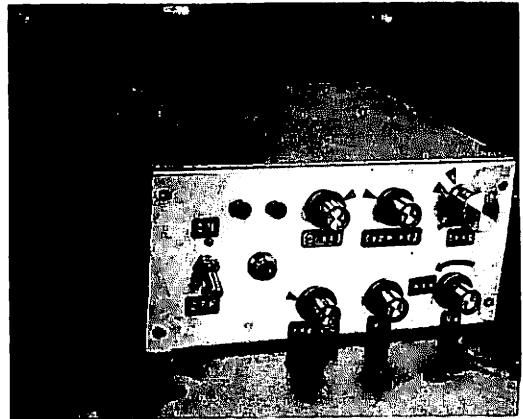
〔表1〕 部品表。 超低周波発振器を製作するにあたり、実際に入手でき、使用した部品を表にしてある。

Tr ₁ ~ Tr ₅	トランジスタ	2SC 372
Tr ₆		2SC 504
Tr ₇		2SC 793
Tr ₈		2SC 1096
Tr ₉ , Tr ₁₀		2SC 372
D ₁ ~ D ₅	1.5 A / 200 V シリコン全波整流スタック	
D ₆ ~ D ₉	1.5 A / 100 V シリコンダイオード	
D ₁₀ , D ₁₁	6 V ツェナダイオード RD-6 A	
VR ₁	ポリウム	100 KΩ
VR ₂		4 KΩ (1 W)
VR ₃ ~ VR ₅		2 KΩ (1 W)
VR ₆		140 Ω (2 ~ 3 W)
C ₁	コンデンサ	3 μF / 50 V
C ₂		4400 μF / 60 V
C ₃ , C ₇ , C ₈		330 μF / 50 V
C ₄		1000 μF / 16 V
C ₅ , C ₆		2000 μF / 25 V
C ₉		2800 μF / 50 V
T ₁	トランス	AC 100 V / 16 V, 2 A
T ₂ , T ₃ , T ₅		AC 100 V / 15 V, 12 V, 15 V, 2 A
T ₄		AC 100 V / 6 V, 300 mA
T, a	リレー	DC 12 V 730 Ω 接点3組
b, c		DC 6 V 83 Ω 接点5組

r ₁ , r ₂ , r ₅	1 KΩ (1/4 W)
r ₃	45 KΩ (")
r ₄	4 KΩ (")
r ₆	50 KΩ (")
r ₇	50 Ω (")
r ₈	7 KΩ (")
r ₉ ~ r ₁₁	10 KΩ (")
r ₁₂	75 Ω (")
r ₁₃	250 Ω (")
r ₁₄	40 Ω (")
r ₁₅ , r ₁₆	10 Ω (")
r ₁₇	170 Ω (")
r ₁₈	500 Ω (")
r ₁₉	5 KΩ (")
r ₂₀	100 Ω (1 W)
r ₂₁	50 Ω (1/4 W)
r ₂₂	4 KΩ (1 W)
r ₂₃	1 KΩ (1/4 W)
r ₂₄	750 Ω (1/2 W)
r ₂₅	20 Ω (5 W)
R	70 Ω (11 W)



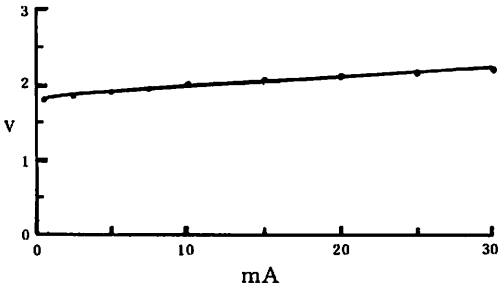
〔図2〕 本発振器の出力インピーダンスZ_oの周波数特性



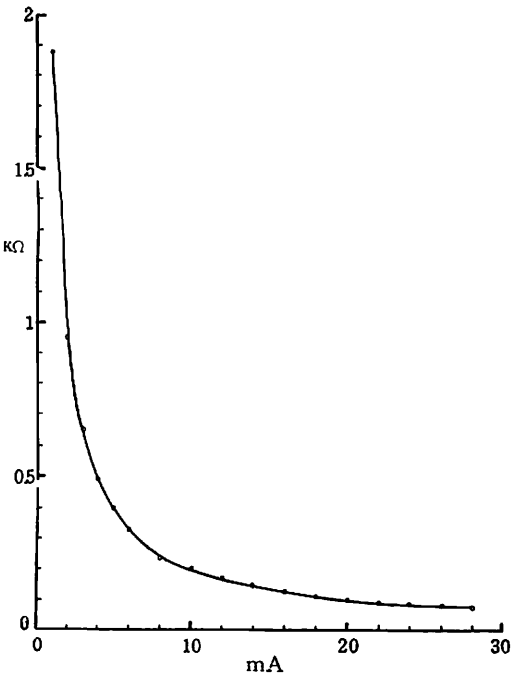
〔写真5〕 超低周波発振器の全容

Ⅲ 発光ダイオード

発光ダイオード(LED)を回路に直列に接続して使用するので、LEDを回路に挿入することにより、回路を流れる電流は影響される。そこで、回路への影響をできるだけ小さくする為に、入手したLEDのうちでは、許容電流の一番大きく、抵抗値の一番小さい、DB-8を使用することにした。DB-8は1mA程度の電流が流れても、十分知覚しうる程度の光を発生し、30mA程度まで電流が流れても破壊することはない。DB-8について、電圧・電流の特性試験を行い、それをグラフにしたのが〔図3〕であり、電圧・電流特性から電流と抵抗の関係を探りだしてグラフにしたのが〔図4〕である。



〔図3〕 LEDの電流・電圧特性



〔図4〕 LEDの電流・抵抗特性

3個のDB-8について特性試験を行ったがその結果は、3個ともほとんど同じ値を示しており、バラツキはほとんどないと思われる。〔図4〕からわかるように、LEDは、それを流れる電流 I_{LED} が增大するとともに、順方向抵抗 R_{LED} は減少するものである。このグラフ上の3点 ($I_{LED} = 1\text{mA}$ 、 13mA 、 28mA) を満足するように、 I_{LED} と R_{LED} の関係を近似的に求めると

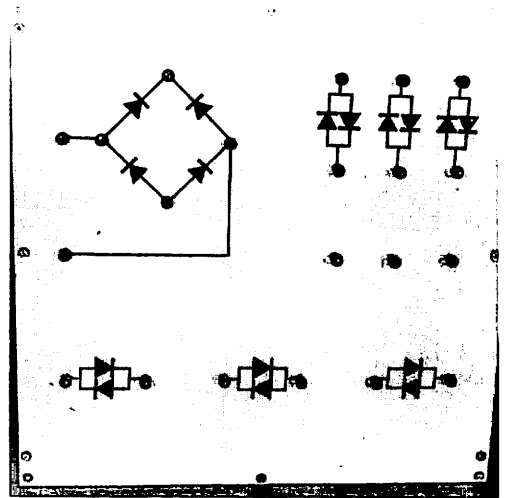
$$R_{LED} = 10.3 + 1.9 \times \frac{1}{I_{LED}} - 7.0 \times 10^{-5} \times \frac{1}{I_{LED}^2}$$

となる。この式から、電流のとても小さな範囲は別とすれば、 R_{LED} は電流におよそ逆比例していることがわかる。又〔図3〕は、LEDに電流が流れている時には、その両端の電圧はほとんど変化がないことを示している。

回路にLEDを挿入した場合、LEDによる電圧降下(約2V)の影響により、回路を流れる電流は、LEDを挿入していない場合より、いくぶん減少するであろうが、〔図3〕、〔図4〕から、その電流波形、あるいは位相等は大きな影響は受けないものと考えられる。

Ⅳ 基本交流回路実験教具及びその使用例

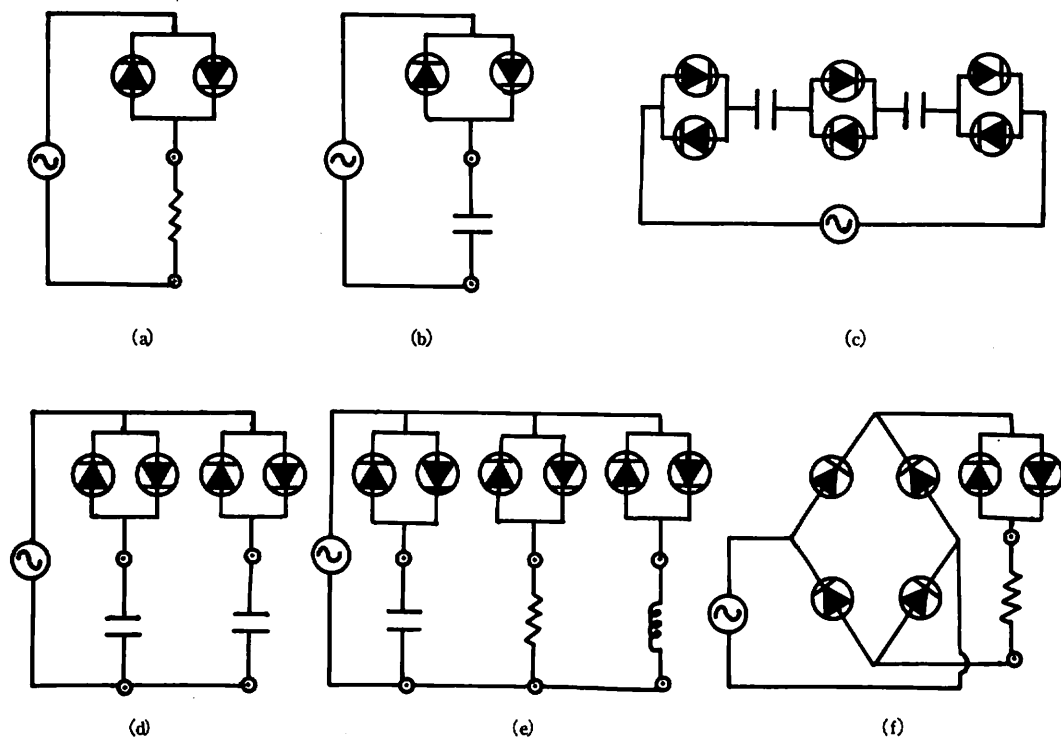
厚さ3mm、縦、横、それぞれ50cmの白色アクリル板に、〔写真6〕に示すように、黒色のレトラテープで配線を描き、ダイオードの記号の中央にLEDをはめ込み、裏で配線を行なっている。製作した超低周波発振器を交流電源として用い、このパネル上で、抵抗、コンデンサ、コイルの種々の組合せによる実験や整流回路の実験を行うことができる。



〔写真6〕 基本交流回路実験教具

〔図5〕の各回路(a)~(f)について、実験を行ってみたいので、以下にその結果について簡単に述べる。LEDの点滅の周期は0.5 Hzが適当と思われるので、以下の記述

で特にことわりのない限り、入力交流周波数は0.5 Hzである。



〔図5〕 実験を試みた各回路図

a) 交流とは、どのような性質のものであるかを、理解させる実験である。図のようにおよそ $500\ \Omega \sim 2\ \text{K}\ \Omega$ の範囲の抵抗を接続すると、2個のLEDが互いに交互に点灯し、導線中を、電流が一定周期で、たえず逆方向に流れていることがわかる。

b) コンデンサの両端に、交流電圧を加えると、電流が流れることを理解させる実験である。図のように $10\ \mu\text{F}$ 以上の容量をもつコンデンサを接続すれば、2個のLEDが互いに交互に点灯することで、電流が流れていることがわかる。更に、発振器の周波数を $0.25\ \text{Hz}$ から $2\ \text{Hz}$ まで変化させることにより、周波数がふえると、流れる電流が増大することもわかる。

c) 互いに容量の異なるコンデンサ、 C_1 、 C_2 を、図のように直列に接続する。LEDは、同じ方向がそらって

点滅し、明るさも同程度である。このことから、コンデンサを直列に接続した場合には、コンデンサの容量は異なっても、それぞれのコンデンサに貯えられる電気量は、同じであることがわかる。

d) 容量の大きなコンデンサほど、容量リアクタンスが小さいことを理解させる実験。容量の異なる2つのコンデンサ、 C_1 、 C_2 を図のように並列に接続すると、容量の大きなコンデンサに、直列に接続されているLEDが、他方のそれより明るく点滅し、その中を大きな電流が流れていることがわかる。即ち、容量の大きなコンデンサほど、容量リアクタンスが小さいことがわかる。

e) コンデンサ、抵抗、コイルのそれぞれの両端に、正弦波交流電圧を加えた場合、コンデンサを流れる電流は、その両端の電圧より位相が進み、抵抗を流れる電流は、

その両端の電圧と同位相であり、コイルを流れる電流は、その両端の電圧より位相が遅れることを示す実験。

図のように、コンデンサC、抵抗R、コイルLに直列に挿入されているLEDを、それぞれ、LED 1、LED 2、LED 3とする。コンデンサを流れる電流と、抵抗を流れる電流の位相を比較するには、それぞれを流れる電流の最大値が、同じ大きさであるほうがわかりよい。その為には、正弦波交流の周波数を f とした場合に、 $R = 1 / 2\pi fc$ の関係を満足するように、コンデンサと抵抗の値を用いるとよい。そうすれば、 $f = 0.5 \text{ Hz} \sim 1 \text{ Hz}$ の値に対して、LED 1がLED 2より先に点灯することが、はっきりと知覚でき、コンデンサを流れている電流の位相は、抵抗を流れている電流の位相、即ち、その両端の電圧の位相より進んでいることがわかるであろう。

コイルの両端に加えた電圧と、そのコイルを流れる電流の位相差は、コイルの純抵抗を r とすれば、 $\varphi = \tan^{-1}(2\pi fL/r)$ と書ける。LEDの点滅の比較で位相のズレを知覚するわけであるから、 r の値が小さく、 L の値が大きいものほど有用であることが上記の式よりわかる。このような目的に沿うコイルとして、純抵抗 $r = 20 \Omega$ 、インダクタンス $L = 6$ ヘンリーのコイルを入手することができた。このコイルを用いると、 1 Hz の正弦波交流を加えた場合、位相差 $\varphi = \tan^{-1}(2\pi \times 1 \times 6 / 20) \approx 62^\circ$ となる。このコイルLを流れている電流と、抵抗Rを流れている電流の位相を比較するわけであるが、抵抗Rを流れている電流とコイルLを流れている電流の最大値が同じ大きさのほうがわかりよいので、抵抗Rの値は $R = \{r^2 + (2\pi fL)^2\}^{1/2}$ となるような値を用いるとよい。そうすれば、LED 3の点灯がLED 2より遅れることが、はっきりと知覚できる。このようなことか

ら、コイルLを流れる電流の位相は、抵抗Rを流れる電流の位相、即ち、コイルに加えた電圧の位相より遅れることがわかる。

f) ブリッジ整流回路の実験。ある瞬時に、電流がどのダイオードをどの方向に流れているかがわかる。その他に、種々の整流回路の実験を、このパネルを用いて行うことができる。

V むすび

上述の実験は、本教具と超低周波発振器を用いて行ってみた実験例である。それだけでも、十分とまではゆかないが、数式を用いることなく、感覚的に、交流の基本的性質を、かなり把握することができるものである。コイルに関する実験はあまり行えなかったが、その理由は、入力周波数が $0.5 \text{ Hz} \sim 1 \text{ Hz}$ という低周波に対しても、十分に感応するようなコイルの入手がむづかしいという点にある。コンデンサや抵抗に関する実験は、その実験に必要な部品が容易に入手できるので、それらを組み合わせると、ここで示した実験のほかにも、種々の実験が可能である。

電気は数学的で、抽象的なものであるとして、敬遠しがちな学生でも、このように、LEDを教具に活用することにより、感覚的に、電流の流れや位相差をとらえることができ、電気を具体的なものとしてとらえるようになり、教育効果が増すものと思われる。

参考文献

- 1) 北川一雄 リレー回路実験と工作マニュアル オーム社