

## 6. 照明実験

### 6.1 目的

球形光束計や長形光度計により光源の光束、配光曲線を測定し、その相互関係を理解するとともに、光源の電圧変動特性について調べる。

### 6.2 原理

#### 6.2.1 光測定の基本量

光の測定には、光束、光度、照度という量が用いられる。

光束：光のパワー、すなわち単位時間あたりに伝わる光のエネルギーを、人間の目の感度に合わせて表した量。単位はlm(ルーメン)。最も目の感度がよい黄緑色の光 ( $\lambda = 555\text{nm}$ ) の1Wを、683 lmとする。

光度：点光源からある方向に出る光の単位立体角 (1sr:ステラジアン) あたりの光束。単位はcd(カンデラ)。1 cd=1 lm/sr

照度：単位面積あたりに入射する光束。単位はlx(ルクス)。1 lx=1 lm/m<sup>2</sup>

#### 6.2.2 球形光束計

光源の光束を計るために、内面を白く塗った球の中で光源を点灯する。光源の光束を  $\Phi$ [lm]、球の直径が  $D$  [m]、内面が反射率  $\rho$  の完全拡散面とすると(図 6.1)、内部の拡散照度  $E_k$ [lx] は、

$$E_k = \frac{\rho \Phi}{\pi D^2(1 - \rho)} \quad (6.1)$$

となり、光源光束  $\Phi$  に比例する。この球の一部に覗き窓を設けて、照度  $E_k$  を測定すれば、 $\Phi$  が得られる。

表 6.1: 電圧特性指数

$Y$	電流 $I$	電力 $P$	抵抗 $R$	光束 $\Phi$	光源効率 $\eta$
$n$	0.6	1.6	0.4	3.6	2.0

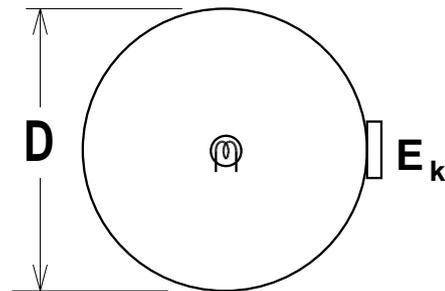


図 6.1: 球形光束計

#### 6.2.3 白熱電球の電圧特性

白熱電球を定格電圧付近で点灯するとき、その特性を実験式として次のように表す。

$$Y = kV^n \quad (6.2)$$

指数  $n$  の値を表 6.1 に示す。なお、光源効率  $\eta$  は、消費電力に対する全光束の比  $\Phi/P$  [lm/W] である。

#### 6.2.4 蛍光灯の点灯回路

蛍光灯の点灯回路を図 6.2 に示す。S はスタートスイッチであり、S を閉じると、蛍光ランプ両端にあるフィラメントを予熱する電流が流れる。その後 S を開くと、安定器(チョークコイル)の両端に高電圧が発生し、ランプ内に放電が始まる。放電が始まるとランプの電圧・電流特性は負特性となるので、安定器を直列に接続して電流を制限

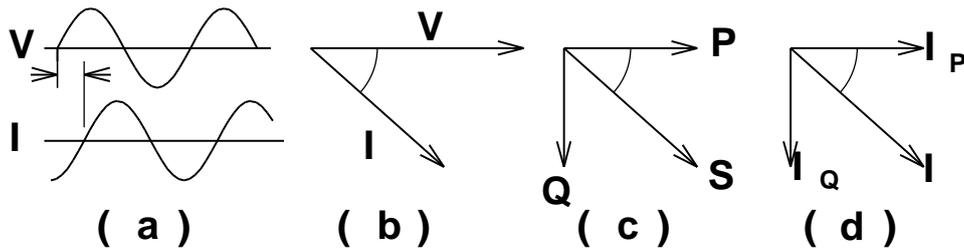


図 6.3: 位相差とベクトル図

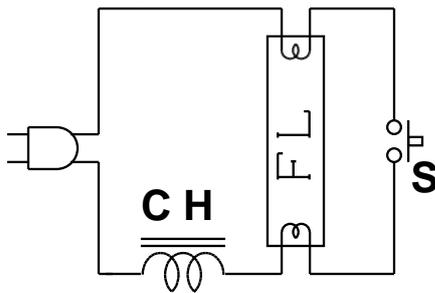


図 6.2: 蛍光灯点灯回路

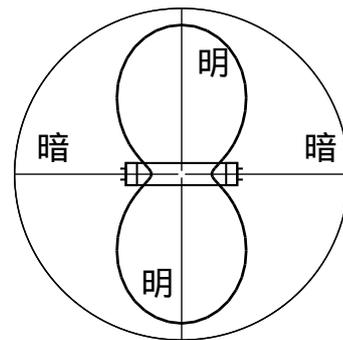


図 6.4: 管状光源の配光曲線

する。

### 6.2.5 力率と進相コンデンサ

蛍光灯では、安定器に誘導性リアクタンスがあるため、電流の位相は電源電圧の位相よりも遅れる。

一般に、交流電圧 (実効値)  $V$ 、交流電流 (実効値)  $I$ 、その位相差を  $\varphi$  とするとき (図 6.3(a,b))、皮相電力  $S$ 、有効電力  $P$ 、無効電力  $Q$  は、それぞれ

$$S = VI \quad [\text{VA}] \quad (6.3)$$

$$P = VI \cos \varphi \quad [\text{W}] \quad (6.4)$$

$$Q = VI \sin \varphi \quad [\text{Var}] \quad (6.5)$$

である (図 6.3(c))。

電流  $I$  を、電圧  $V$  に同相な成分  $I_P = I \cos \varphi$  と直交した成分  $I_Q = I \sin \varphi$  に分解する (図 6.3(d))。  $I_P$  は有効電力、  $I_Q$  は無効電力を運ぶ。すなわち、  $P = VI_P$ 、  $Q = VI_Q$  である。

皮相電力に対する有効電力の比  $P/S (= \cos \varphi)$  を、力率と呼ぶ。電流と電圧の位相が同じであれ

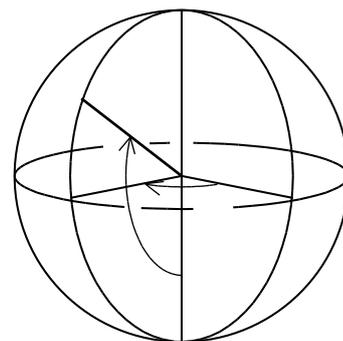


図 6.5: 鉛直角  $\theta$ 、水平角  $\varphi$

ば、力率は 1 である。しかし、電流の位相が電圧よりも遅れると、力率は 1 より下がる。この場合、負荷は有効電力だけでなく、無効電力も消費している。力率を改善する (1 に近づける) ために、進相コンデンサを並列接続して、無効電力を発生させる。力率を改善すると、電源電流の  $I_Q$  成分が減り、電源電流が低減するので、送電損失を小さくできる。

表 6.2: 球帯係数  $Z(\theta)$  ( $10^\circ$  分割)

$I(\theta)$ を測定する 方向 $\theta$ [度]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
係数 $Z(\theta)$	0.024	0.190	0.375	0.548	0.704	0.839	0.948	1.029	1.079	1.095

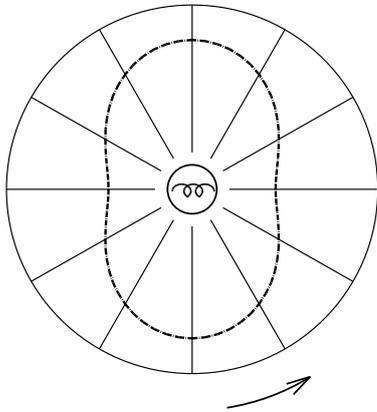


図 6.6: 水平配光曲線

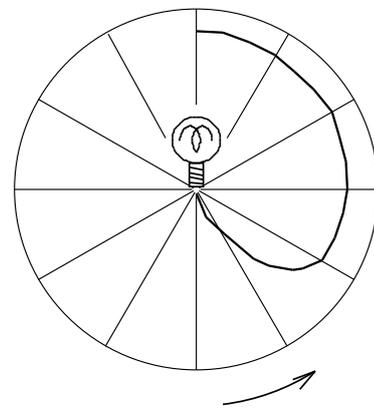


図 6.7: 鉛直配光曲線

### 6.2.6 配光曲線

光度の空間的分布, すなわち, 光源を種々の方向から見た光度のグラフを配光曲線と呼ぶ。例えば, 蛍光灯のような管状光源では, 管と直角方向には明るい, 管の延長方向には暗い。この光度分布を円グラフに描くと, 図 6.4 のようになる。

鉛直角を  $\theta$ , 水平角を  $\varphi$ , その方向の光度を  $I(\theta, \varphi)$  とする (図 6.5)。水平角  $\varphi$  に対するグラフを水平配光曲線 (図 6.6), 鉛直角  $\theta$  に対するグラフを鉛直配光曲線 (図 6.7) と呼ぶ。水平方向を平均した  $\theta$  のグラフ (平均鉛直配光曲線) を用いることもある。

### 6.2.7 配光曲線と光束計算

光源から各方向へ向かう光度の分布, すなわち配光曲線がわかっているならば, その総和から, 全光束を計算できる。平均鉛直配光曲線  $I(\theta)$  から, 光源の全光束  $\Phi$  は

$$(6.6)$$

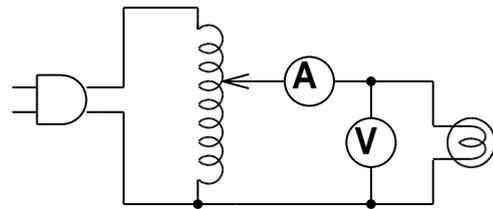


図 6.8: 電球点灯回路

と計算できる。

計測した平均鉛直配光曲線  $I(\theta)$  を用いて, この積分を近似的に求める。すなわち, 有限個の  $I(\theta)$  の測定値を用い, 積分を総和に書き換える。

$$\begin{aligned} \Phi &= 2\pi \sum_{\theta=0}^{\pi} I(\theta) \sin \theta \Delta\theta = \sum_{\theta=0}^{\pi} I(\theta) Z(\theta) \\ &= I(0^\circ)Z(0^\circ) + I(10^\circ)Z(10^\circ) + \\ &\quad \dots + I(180^\circ)Z(180^\circ) \end{aligned} \quad (6.7)$$

$10^\circ$  毎に計算した球帯係数  $Z(\theta)$  を表 6.2 に示す。すなわち, 測定した  $I(\theta)$  に, 表 6.2 の係数  $Z(\theta)$  をかけて, (6.7) 式のように総和をとると, 全光束  $\Phi$  が求まる。

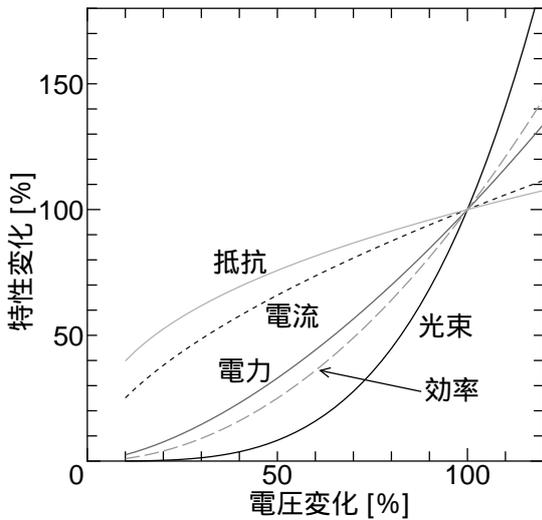


図 6.9: 白熱電球の電圧特性

### 6.3 実験方法

#### 6.3.1 球形光束計による光束測定

##### 実験 1 白熱電球の光束測定

球形光束計の内部に光束標準電球を入れ、定格電圧で点灯する。測光窓に取り付けた照度計の読み  $E_s$  を記録する。電球の電圧は、スライダックで調整する (図 6.8)。

つぎに、光源を被測定電球に取り替え、同様に照度計の読み  $E_x$  を記録する。標準電球の光束値

$\Phi_s [lm]$  より

$$\Phi_x = \frac{E_x}{E_s} \Phi_s \quad (6.8)$$

として  $\Phi_x$  が得られる。

さらに点灯電圧を定格値の 10~120%まで変化させて、照度  $E_x$ 、電流値を記録し (表 6.6)、白熱電球の電圧特性試験を実施する (図 6.9)。

##### 実験 2 蛍光灯の光束測定

図 6.10 の蛍光灯試験回路を構成する。球形光束計の内部に蛍光灯をおき、電源電圧を 120%から消灯するまで徐々に低下させ、照度計の読み、電流、入力電力、ランプ電圧を記録し (表 6.7)、電圧特性曲線を描く (図 6.11)。単相電力計は、計器底面の回路図に従って接続すること。

#### 6.3.2 蛍光灯の電気的特性

##### 実験 3 蛍光灯の高調波

オシロスコープで蛍光ランプ電圧の波形を観測してスケッチせよ。波形のスケッチには電圧、時間のスケールを添える。波形より、基本波の周波数および高調波の周波数を概算せよ。高調波とは、基本波の上に乗った高い周波数成分のことである。また、波形からランプ電圧の実効値を概算し、実験 2 の結果と比較せよ。

##### 実験 4 コンデンサによる力率改善

電源電圧  $V_s=100V$  とし、入力電流、入力電力を測定し、蛍光灯回路の力率を求めよ。 $K$  を閉じてコンデンサを入れた場合と入れない場合、蛍光灯

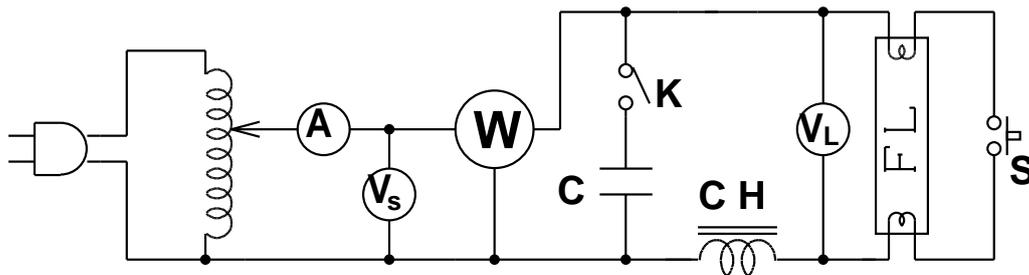


図 6.10: 蛍光灯測定回路

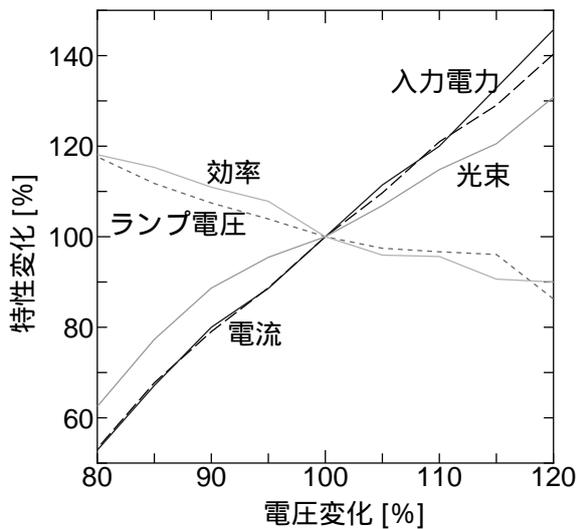


図 6.11: 蛍光放電管の電圧特性

を点灯した場合と消灯している場合のそれぞれの組合せについて、入力電流、入力電力を測定せよ(表 6.8)。これらより、各場合の力率、位相差を求め、ベクトル図を描いて(図 6.12)、コンデンサ電流を推定せよ。蛍光灯消灯、コンデンサ OFF の状態で入力電流 ( $I_0$ ) が 0 とならないなら、その理由を考えよ。

/\*可能なら電流波形を観測する。\*/

次の 3 つ方法で、コンデンサに流れる電流を求め、比較せよ。

1. 電流  $\dot{I}_1, \dot{I}_3$  のベクトル差より
2. コンデンサのみが入った状態の測定値より
3. コンデンサ容量、電圧、周波数より計算

### 6.3.3 長形光度計による光度測定

実験 5 視感測光 (光度計頭部を用いる方法)

図 6.13 に示すように、長形光度計の左方に光度標準電球  $L_s$ 、右方に比較電球  $L_c$  をつける。

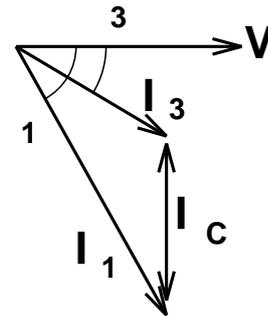


図 6.12: 力率改善と電流ベクトル

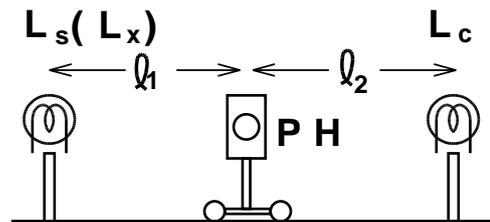


図 6.13: 視感測光

図 6.8 に示す回路を 2 セット組み、 $L_s, L_c$  を定格電圧で点灯する。光度計頭部 PH の位置を左右に移動し、左右の輝きが等しく見える場所、すなわち菱形の様が見えなくなる場所を探す。 $L_s, L_c$  から PH までの距離  $l_1, l_2$  を記録する(表 6.10)。PH は上下反転するので、両方で距離を測定し、その平均を用いる。

次に、標準電球を被測定電球  $L_x$  に置き換え、同様に距離  $l'_1, l'_2$  を記録する。標準電球の光度  $I_s [cd]$  が判明しているので、比較電球の光度  $I_c [cd]$ 、被測定電球の光度  $I_x [cd]$  を知ることができる。

$$I_c = \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^2 I_s \quad (6.9)$$

$$I_x = \left(\frac{l'_1}{l'_2}\right)^2 I_c \quad (6.10)$$

実験 6 物理測光 (照度計を用いる方法)

実験 5 の光度計頭部の代わりに、照度計を用いて光度を測定する。図 6.14 のように、まず標準電球  $L_s$  を定格電圧で点灯し、これより  $l [m]$  離

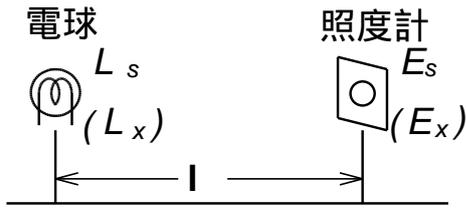


図 6.14: 物理測光

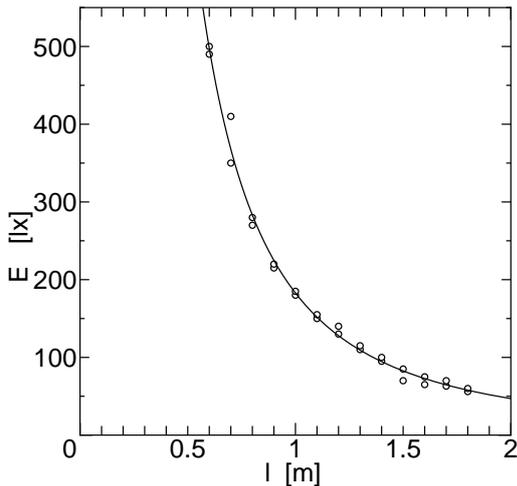


図 6.15: 距離と照度の関係

れたところで照度計の読み  $E_s[\text{lx}]$  を記録する (表 6.11)。標準電球の光度を  $I_s[\text{cd}]$  とすると、

$$k_s = \frac{I_s}{E_s \ell^2} \quad (6.11)$$

より、受光器の補正係数  $k_s$  を求める。

つぎに電球を 被測定電球  $L_x$  に置き換え、照度計の読みを  $E_x$  とすると、被測定電球の光度  $I_x[\text{cd}]$  は次式で求められる。

$$I_x = k_s \ell^2 E_x \quad (6.12)$$

#### 実験 7 照度と距離の関係

図 6.14 のセットで被測定電球を点灯して、 $\ell$  を  $0.6 \sim 1.8\text{m}$  の間で変え、照度  $E(\ell)$  を測定する

(表 6.12)。  $E(\ell)$  を  $\ell$  に対してグラフに描け (図 6.15)。

#### 6.3.4 配光曲線の測定

##### 実験 8 水平配光曲線

被測定電球  $L_x$  を定格電圧で点灯し、水平方向に水平角  $\varphi = 0^\circ \sim 360^\circ$  まで  $10^\circ \sim 20^\circ$  間隔で移動回転し、 $\varphi$  に対する光度の関係を測定する (表 6.13)。これを円グラフに表示して、水平配光曲線を描く (図 6.6)。

##### 実験 9 平均鉛直配光曲線

被測定電球  $L_x$  を電動機で水平方向に連続回転させ、鉛直角  $\theta = 0^\circ \sim 180^\circ$  までを  $10^\circ$  間隔で移動し、光度の変化  $I(\theta)$  を測定せよ (表 6.14)。これを円グラフに表示して、平均鉛直配光曲線を描く (図 6.7)。

### 6.4 研究課題

#### 課題 1 立体角

1. 伸ばした手の先に 5円硬貨を持つ。その穴の立体角は、何ステラジアンに見えるか?
2. 地球の中心から大阪府を見た立体角は、何  $sr$  か? ただし、地球の半径は  $6370\text{km}$ 、大阪府の面積は  $1868\text{km}^2$  である。
3. 地球表面の 29%が陸地、71%が海洋である。陸地を地球の中心から見た立体角は、何  $sr$  か? 海洋を見た立体角は、何  $sr$  か? また、それらの和は何  $sr$  か?
4. 全方向に対する立体角は何  $sr$  か?

#### 課題 2 光度と光束

1. 全方向に対して 光度  $I[\text{cd}]$  の電球がある。全光束は何  $\text{lm}$  か?
2. 被測定電球が「全方向に対して同じ光度である」と仮定すると、全光束は概略何  $\text{lm}$  になるか。

### 課題 3 光度と照度

1. 光源から  $\ell[m]$  離れたところに、照度計をおく。照度計の受光面の面積を  $S[m^2]$  とすると、光源から見た受光面の立体角  $\Omega$  は何  $sr$  か。
2. 光源の光度を  $I[cd]$  とする。上で求めた立体角内  $\Omega$  に含まれる光束は、何  $lm$  か。
3. 上の光束を面積  $S[m^2]$  の受光面で受ける。照度は何  $lx$  か？
4. 以上をまとめて、 $I[cd]$  の点光源から  $\ell[m]$  離れた面の照度  $E[lx]$  を  $I, \ell$  で表せ。
5. (6.11) 式の係数  $k_s$  は、理論上いくつか？

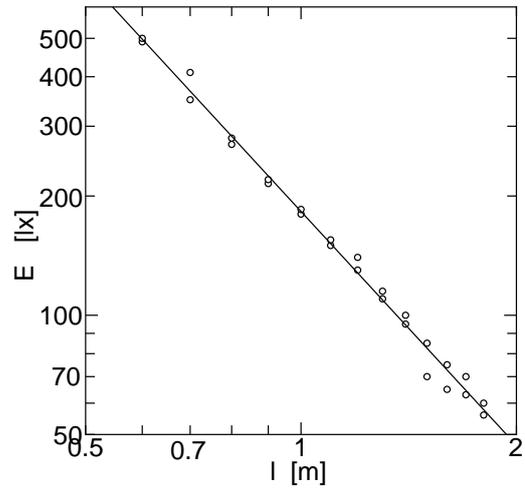


図 6.16: 距離と照度 (対数目盛り)

### 課題 4 照度と距離

1. (数学の問題)  $Y = KX^n$  と表せる時 ( $K$  は比例定数),  $y = \log Y$  と  $x = \log X$  の関係を考える。  $x - y$  平面上で、傾き  $n$  の直線となることを示せ。
2. 実験 7 の結果より、照度  $E(\ell)$  を距離  $\ell$  に対して両対数グラフに描け (図 6.16)<sup>1</sup>。  $\log E(\ell)$  を  $\log \ell$  に対して、通常のグラフ用紙にプロットしてもよい。
3. 上のグラフを直線と見なして、その傾きを数値として求めよ。
4. 上のグラフが、3. で求めた傾きの直線であるなら、 $E(\ell)$  と  $\ell$  の間に、どのような関係式がなりたつか？ (ヒント: 1. の性質を用いる。)
5. 課題 3-4. の理論式と比較せよ。

### 課題 5 配光曲線からの光束計算

平均鉛直配光曲線の測定結果  $I(\theta)$  を用いて、球帯係数  $Z(\theta)$  (表 6.2) と (6.7) 式により光束  $\Phi$  を計算せよ。

計算結果を、球形光束計による測定値と比較せよ。さらに、課題 2-2. の結果と比較せよ。

<sup>1</sup>対数グラフ用紙には片対数と両対数がある。ここでは両対数を用いる

### 課題 6 電圧特性指数

実測データに基づき、白熱電球の電圧特性式の指数  $n$  を定めよ。

1. 実験 1 で実測した  $I, P, R, \Phi, \eta$  を  $V$  に対して両対数グラフ用紙にプロットし<sup>2</sup>、測定点を通る直線を引いて (図 6.17)、その傾きを読む。
2. 求めた指数  $n$  を、表 6.1 の値と比較せよ。

### 課題 7 交流回路とベクトル図

$\dot{V} = 100V$  の交流電源に、各種の負荷が接続されている (図 6.18)。

1. アドミタンス  $Y = 3.5mS (R = 286\Omega)$  の抵抗 (図 6.18[1])。
2. アドミタンス  $\dot{Y} = -j4mS$  のリアクトル (インピーダンス  $\dot{Z} = j250\Omega$ ) (図 6.18[2])。
3. 上の抵抗とリアクトルの並列 (図 [3])。

<sup>2</sup> $\log I, \log P$  等を  $\log V$  に対して通常のグラフ用紙にプロットしてもよい。

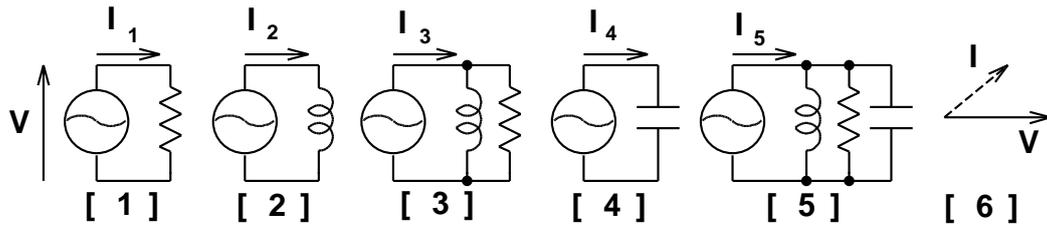


図 6.18: 交流回路とベクトル図

表 6.3: 回路と電流・電力

回路	$P$ [W]	$Q$ [Var]	$S$ [VA]	$I_P$ [A]	$I_Q$ [A]	$\dot{I}$ [A]	$ \dot{I} $ [A]	$\cos \varphi$	$\varphi$ [deg]
[1]	1.2	3.4	5.6			$7.8 + j9.0$			
:	:	:							
[5]									

4. アドミタンス  $\dot{Y} = j2.56mS$  のキャパシタ (インピーダンス  $\dot{Z} = -j390\Omega$ ) (図 6.18[4])。

5. 上の抵抗, リアクトル, キャパシタの並列回路 (図 6.18[5])。

[1] ~ [5] の回路について, 以下の問に答えよ。

1. それぞれの回路について, 以下の量を求め, 表 6.3 の形に整理せよ。

- 有効電力  $P$  [W], 無効電力  $Q$  [Var], 皮相電力  $S$  [VA],
- 電流の同相成分  $I_P$ , 直交成分  $I_Q$ ,
- ベクトル電流  $\dot{I} = I_P + jI_Q$ , 電流の絶対値  $|\dot{I}|$ ,
- 負荷の力率  $\cos \varphi$ , 電圧と電流の位相差  $\varphi$

2. 各回路について, 電流ベクトル  $\dot{I}$  を作図せよ。ただし, 電圧ベクトル  $\dot{V}$  を水平に描く (虚数成分が 0) ことにする (図 6.18[6])。

3.  $P, Q, S, I_P, I_Q, |\dot{I}|, \cos \varphi, \varphi$  のうち, [1] + [2] = [3], [3] + [4] = [5] となる量は, どれとどれか?

課題 8 測定した蛍光灯回路において, 力率を 1.0 まで改善するためには, 何  $\mu F$  のコンデンサを入れればよいか。

ヒント: 図 6.12 で, コンデンサから供給される電流は, どの辺の長さか? 力率を 1 にすると, 電源電流ベクトルをどうすることか?

課題 9 白熱電球の構造と発光原理を説明せよ。

課題 10 蛍光管の内部構造と発光原理を説明せよ。

問題 1 蛍光放電管と白熱電球の電圧特性の差異について検討せよ。

問題 2 「蛍光放電管の電圧・電流特性が負特性である」ことは, 図 6.11 のどの部分からわかるか?

問題 3 蛍光灯を点灯する回路で, 安定器の役割を述べよ。

問題 4 図 6.19 のように電池  $E$ , チョークコイル  $CH$ , ネオン管  $NL$  とスイッチ  $SW$  を組み合わせる。電池の電圧だけではネオン管は放電しない。

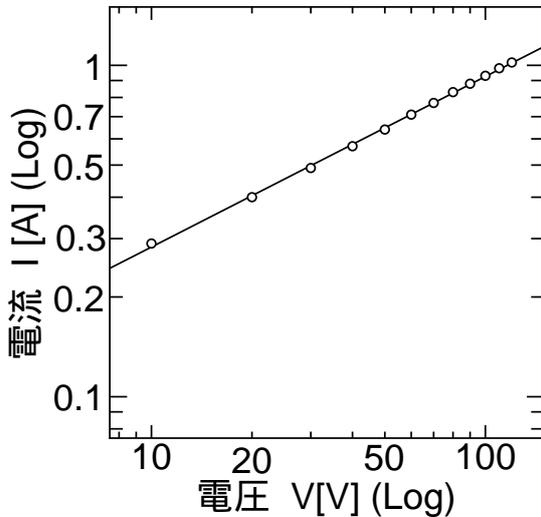


図 6.17: 電圧と電流 (対数目盛り)

しかし、スイッチを ON - OFF すると、スイッチを切った瞬間、ネオン管の中で放電が起きる。放電するような高電圧が、どうして発生するのか？

問題 5 蛍光灯の点灯回路で、 $S$  を開いた瞬間に高電圧が発生するのはなぜか？

問題 6 蛍光灯のグロー スタータ (点灯管) の働きを述べよ。

問題 7 測定した蛍光灯回路で、安定器のインダクタンスは何  $H$  か。ただし、蛍光ランプは抵抗分のみ、安定器はリアクタンス分のみと考え、蛍光灯回路を抵抗とリアクタンスの直列回路と見なす。ヒント: 電圧, 電流, 力率の実測値を用いる。

問題 8 蛍光灯回路の力率改善方法について調べよ。

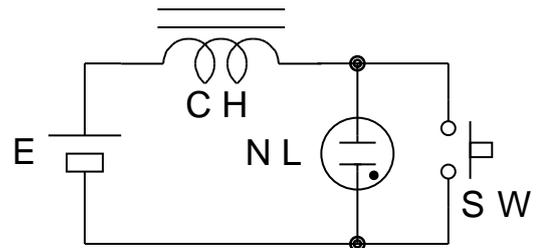


図 6.19: ネオン管点灯回路

問題 9 実験で用いた蛍光灯を、抵抗  $3\Omega$  の電線の先で点灯する。コンデンサを用いない場合と、力率を  $1.0$  に改善した場合、それぞれ電線での電力損失を求めよ。

問題 10 白熱電球の水平配光曲線が、完全な円にならない理由を述べよ。

問題 11 光度計頭部について調べよ。

問題 12 物理測光と視感測光の差異および特徴を述べよ。

問題 13 水平配光曲線の全平均値と、鉛直配光曲線の  $\theta = 90^\circ$  の値を比較検討せよ。

問題 14 蛍光灯  $FCL-30W$  の寸法と光束より光束発散度  $[lm/m^2]$  および輝度  $[cd/m^2]$  を算出せよ。管径寸法は  $JIS-C7601(1982)$  参照。

問題 15 直射日光の照度は約  $10^5 lx$  である。太陽の光度  $[cd]$ , 光束  $[lm]$  を求めよ。太陽-地球間は、1億5千万  $km$  離れている。

問題 16 満月の照度は約  $0.2 lx$  である。

1. 月の光度  $[cd]$  を求めよ。月-地球間は、38万  $km$  離れている。
2. 月面の輝度  $[cd/m^2]$  を求めよ。月の半径は  $1740km$  である。
3. 月面が完全拡散面であるとして、その光束発散度  $[lm/m^2]$  を求めよ。

4. 月面の反射率を求めよ。月面での日光照度は地球と同じとする (問題 15 参照)。

問題 17 電球に反射鏡とレンズをつけてスポットライトを作った。スポットライトの光度および全光束は、電球のそれらからどう変わるか？

問題 18 配光曲線から光束を計算する方法を調べよ (球帯係数法以外にいくつかある)。

問題 19 配光曲線から光束を求める積分 (6.6) 式を、導出せよ。

ヒント：光源を中心とした球面を考え、鉛直角  $\theta$  と  $\theta + \Delta\theta$  に挟まれた球帯を照らす光束を求めよ。

問題 20 球帯係数  $Z(\theta)$  を表す理論式を導出し、表 6.2 の数値を確認せよ。

ヒント：各測定点を含む区間で、 $I(\theta)$  一定として、積分する。

問題 21 (6.7) 式において、左辺の光束  $\Phi$  と、右辺の光度  $I(\theta)$  は異なる物理量である。表 6.2 に示した係数  $Z(\theta)$  の次元 (あるいは単位) は、何か。

問題 22 球形光束計の拡散照度を表す (6.1) 式を導出せよ。

ヒント：球の内壁を照らす光を、光源からの直接光と、他の壁面から反射してきた拡散光に分ける。これらの和の  $\rho$  倍が壁面で反射し、拡散光となる。これらの球面全体の総和を考える。

問題 23 球形光束計の内部反射率  $\rho$  を求めよ (直径  $D$  を測定記録せよ)。

問題 24 白熱電球、蛍光灯の中に入っているガスは、それぞれ何か。蛍光灯の蛍光物質には何が使われているか。

問題 25 殺菌ランプと蛍光灯の類似点・相違点を述べよ。

問題 26 蛍光ランプには、白色、昼光色、電球色などの種類がある。蛍光ランプの構造上は、どこを変えてあるのか？用途としては、どう使い分けるのか？

問題 27 白熱電球の光源効率が、電圧とともに大きくなるのはなぜか？

問題 28 電気エネルギーを、黄緑色の光に無損失で変換する光源が作れたら、光源効率は何  $lm/W$  になるか？

問題 29 光源効率、発光率の定義を調べ、その違いを述べよ。

問題 30 消費電力  $100W$ 、効率  $15 lm/W$  の電球 10 個と、消費電力  $40W$ 、効率  $75 lm/W$  の蛍光ランプ 20 本を点灯している部屋がある。この部屋の照明光源全体の総合効率 [ $lm/W$ ] はいくらになるか？ (電験 3 種, 1986 年)

問題 31 実験で用いた長形光度計では、光源と受光器の間に、穴のあいた黒色板が立ててあった。この働きは何か？

問題 32 白熱電球のガラスには、つや消し (刷り) ガラスタイプと透明ガラスタイプがある。光源として、どう違うか。

問題 33 光束と放射束の違いを述べよ。

問題 34 定格電圧  $100V$ 、定格電力  $40W$  の白熱電球がある。

1. 定格電圧で点灯したとき、電流は何  $A$  か？
2. 定格電圧で点灯したとき、抵抗は何  $\Omega$  か？
3. 電圧を  $90V$  に落として点灯したとき、電流は何  $A$  か？ただし、抵抗値が 2. の値から変わらないと仮定する。
4. 同じく電圧を  $90V$  に落として点灯したとき、電圧特性 (6.2) 式を利用すると、電流は何  $A$  か？

問題 35 定格  $100V$ 、 $40W$  の電球と定格  $100V$ 、 $60W$  の電球がある。これらを直列につないで  $130V$  の電源に接続すると、どちらが明るくなる

表 6.4: 使用器具

器具名	メーカー名	形式	規格または定格	製造番号	整理番号
標準電球					
被測定電球					
比較電球					
長形光度計					
照度計					
球形光束計					
交流電流計					
交流電流計					
交流電圧計					
交流電圧計					
スライダック					
スライダック					
電力計					
オシロスコープ					
蛍光灯点灯装置					

か？ また、それぞれの電球にかかる電圧、電流、消費電力を求めよ。

ヒント：近似としては、それぞれの電球を定格電圧で点灯したときの抵抗値を求め、その直列回路と考える。より精密には、電圧特性 (6.2) 式より  $I = kV^{0.6}$  と表せることを利用する。

問題 36 2本の抵抗  $r, R (r < R)$  がある。

1. 抵抗 2本を電源に 並列 につなぐ。  $r, R$  のうち どちらの消費電力が大きいか？
2. 抵抗 2本を電源に 直列 につなぐ。  $r, R$  のうち どちらの消費電力が大きいか？
3. 電力  $P$  を計算する公式に、  $P = RI^2$  と  $P = \frac{V^2}{R}$  がある。前者では  $P$  は  $R$  に 正比例 するが、後者では 逆比例 する。これらの公式の使い分けを述べよ。

問題 37 消えていた白熱電球を点灯し始めるとき、定格電流より はるかに大きな電流が流れる (ラッシュ・カレント, 越流, 電流の行過ぎ と呼ぶ)。なぜ、大きな電流が流れるのか。

問題 38 定格  $100V, 60W$  の電球を、 $100V$  の電圧源で点灯する場合と、 $0.6A$  の定電流源で点灯する場合 を比べる。後者では、スイッチを入れてから明るくなるまでに時間がかかる。なぜか？

問題 39 白熱電球の電圧特性

白熱電球の電圧特性 (6.2) 式を理論的に導く。電球の抵抗値が電圧で変わるのは、フィラメント温度が変わるからである。

1. 熱放射とは、どんな現象か？
2. ステファン-ボルツマンの法則を説明せよ。
3. 白熱電球に供給された電力が、すべて放射束になると考える。電球の消費電力  $P$  とフィラメントの絶対温度  $T$  の関係を示せ。
4. 「フィラメントの抵抗  $R$  は絶対温度  $T$  に比例する」と仮定する。温度  $T$  を消去し、電力  $P$  と抵抗  $R$  の関係を導け。
5. 電力と抵抗の関係  $P = V^2/R$  を用いて  $P$  を消去し、抵抗  $R$  を電圧  $V$  によって  $R = kV^n$  の形で表せ。

6. 同様にして, 電力, 電流を  $V^n$  の形で表せ。
7. 以上の答えを, 表 6.1 および (6.2) 式と比較せよ。

問題 40 白熱電球のフィラメント温度の推定

1. フィラメントを円筒状と考えて, その概略寸法から表面積を概算せよ。
2. 電球が消費した電力がすべて放射束に変わるとして, 放射発散度  $[W/m^2]$  を求めよ。
3. ステファン-ボルツマン定数  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/(m^2K^4)$  を用いて, フィラメント温度  $T[K]$  を推定せよ。
4. 表 6.5 と比較し, 推定した温度を検討せよ。

注意 1 本実験のレポートでは, 原理・方法を丸写しする必要はない。

表 6.5: 諸々の温度

線香の火	800 ° C
ろうそくの炎	1400 ° C
太陽の表面	6000 ° C
タングステンの融点	3390 ° C

表 6.6: 白熱電球の電圧特性

標準電球:  $V_s =$  [V],  $\Phi_s =$  [lm],  $E_s =$  [lx]  
被測定電球

電源電圧 $V$ [V]	電流 $A$ [A]	電力 $P$ [W]	抵抗 $R$ [ $\Omega$ ]	照度 $E_x$ [lx]	光束 $\Phi_x$ [lm]	効率 $\eta$ [lm/W]
120		計	計		計	計
110		算	算		算	算
100						
90						
:						
10						

表 6.8: 進相コンデンサと力率

コンデンサ SW	蛍光灯	電圧 $V_s$ [V]	電流 $I$ [A]	電力 $P$ [W]	力率 $\cos \varphi$	位相角 $\varphi$ [deg]
off	消灯		$I_0$ :			
off	点灯		$I_1$ :			
on	消灯		$I_2$ :			
on	点灯		$I_3$ :			

コンデンサ容量 = [μF], 周波数 = [Hz],

コンデンサにかかる電圧 = [V]

(コンデンサ容量は、現物の表示により確認)

表 6.7: 蛍光放電管の電圧特性および光束

電源電圧 $V_s$ [V]	電流 $I_\ell$ [A]	入力電力 $P$ [W]	ランプ電圧 $V_L$ [V]	照度 $E_x$ [lx]	光束 $\Phi_x$ [lm]	効率 $\eta$ [lm/W]	力率 $\cos \varphi$
120					計	計	計
115					算	算	算
110							
105							
:							
消灯							

表 6.9: コンデンサ電流の比較

電流 $\dot{I}_1, \dot{I}_3$ のベクトル差	[A]
C のみが入った状態の測定値	[A]
容量, 電圧, 周波数より計算	[A]

表 6.10: 視感測光

標準電球  $L_s$  : 比較電球  $L_c$

$V_s =$  [V],  $A_s =$  [A],  $I_s =$  [cd]

PH の 向き	電源電圧 $V_c$ [V]	電流 $A_c$ [A]	PH までの距離		光度 $I_c$ [cd]
			$\ell_1$ [m]	$\ell_2$ [m]	
上					-
下					-
平均	-	-			

被測定電球  $L_x$  : 比較電球  $L_c$

$V_c =$  [V],  $I_c =$  [cd]

PH の 向き	電源電圧 $V_x$ [V]	電流 $A_x$ [A]	PH までの距離		光度 $I_x$ [cd]
			$\ell'_1$ [m]	$\ell'_2$ [m]	
上					-
下					-
平均	-	-			

表 6.11: 物理測光

標準電球

$V_s =$	[V]	$A_s =$	[A]
$I_s =$	[cd]	$\ell =$	[m]
$E_s =$	[lx]	$k_s =$	

被測定電球

$V_x =$	[V]	$A_x =$	[A]
$k_s =$	同上	$\ell =$	[m]
$E_x =$	[lx]	$I_x =$	[cd]

表 6.12: 距離と照度

$V_x =$  [V],  $I_x =$  [cd]

距離 $\ell$ [m]	照度 $E(\ell)$ [lx]
0.6	
:	
1.8	

表 6.13: 配光曲線 (水平)

$\ell =$  [m],  $k_s =$  [A]  
電源電圧  $V_x =$  [V], 電流  $A_x =$  [A]

水平角 $\varphi$	照度 $E_x$ [lx]	光度 $I_x(\varphi)$ [cd]
0°		計 算
10°		
20°		
30°		
:		
360°		

表 6.14: 配光曲線 (鉛直)

$\ell =$  [m],  $k_s =$  [A]  
電源電圧  $V_x =$  [V], 電流  $A_x =$  [A]

鉛直角 $\theta$	照度 $E_x$ [lx]	光度 $I_x(\theta)$ [cd]
0°		計 算
10°		
20°		
30°		
:		
180°		