チョーク式定電力形安定器の設計法[†]

専門会員 浦山 隆* 前田 稔夫*

正会員 山本 茂*

1. はじめに

高圧水銀灯用安定器には、もっとも簡単な遅相形、これにコンデンサを加えた進相形、鉄共振現象を利用した定電力形、およびこれと同一原理の Lead-Peak 形など種々の形式のものがある。そのうち遅相形、進相形安定器を使用した点灯回路の動作解析は、従来からかなり行なわれてきた¹⁾²⁾。

一方、定電力形安定器は、(1)電源電圧の変動に対するランプ電力の変動が少ないこと—電源電圧の低下による立ち消えがない—、(2)ランプ始動時の流入電流は点灯時電流より少ないこと—電源容量および配電線径が小さくてよい—、(3)力率が良いことなど、遅相形安定器にみられない特徴を有している。

しかし、この安定器回路には非線形素子を含むため、動作解析は遅相形安定器に比し困難であり、安定器の設計も従来からの経験によることが多く、製作、調整がめんどろであった。

定電力形安定器には、漏れ変圧器を用いた変圧器式と磁気回路の線形部分と非線形部分を分け、2個のチョーク・コイルを使用したチョーク式があり、また、飽和チョークの巻線構造をチョーク式にしたもの、2巻線分離形のもの、単巻式のものなどがあるが、その基本となるものは、2個のチョーク・コイルを使用したチョーク式である。そして、チョーク式の場合について得られた設計手順は、そのまま他の形式の定電力形安定器にも適用できる。

今回は、まず、チョーク式定電力形安定器について設計に必要な諸量の関係と実際の設計に関する理論、およびその手順について述べ、さらに試作したものについて

計算値と実測値の比較を行なった。設計にあたってはできるだけ簡単な式で、実際に近い物を設計することを主眼に各種の省略と簡化を行なった。すなわち、

(1) チョーク・コイルの巻線抵抗、鉄損などの影響は効率計算以外無視した。

(2) 放電灯や鉄心の磁気飽和に基づく各部電圧—電流の波形ひずみは無視し、等価正弦波として取り扱う。

(3) 放電灯の特性はランプ電圧—電流の実効値とその力率で表わす。

2. 定電力形安定器の理論

2.1 点灯回路とその動作特性

図1はチョーク式定電力形安定器の点灯回路を示す。図1で L_{CH} は不飽和チョーク・コイルで、 r_{CH} はその巻線抵抗、鉄損などを含まない損失抵抗分を表わす。 L_2 は飽和チョーク・コイルで、 r_2 はその等価損失抵抗分を表わす。

図1 点灯回路

図2は、図1の点灯回路でランプを短絡した場合の電圧—電流特性を示したものである。図2の曲線①、②、③は、それぞれ等価損失抵抗分を無視したチョーク・コイル L_2 、 L_{CH} およびコンデンサ C の特性を示す。 L_2 と C は並列鉄共振回路を形成しているが、その特性は曲線①と③より曲線④のようになる。曲線④の電流がゼロとなるときの飽和チョーク端電圧を並列共振電圧といい、 V_{2c} で表わすと、飽和チョーク端電圧 V_2 が $V_{2c} > V_2$ なる場合は並列共振回路は容量性に、 $V_{2c} < V_2$ なる場合は

[†] Design Method of the Choke Type Constant Wattage Ballast for the High Pressure Mercury Lamp

* 立命館大学理工学部電気工学科

この資料の一部は光源・関連装置研究会（昭52年1月）で発表した。
Takashi Urayama, Toshio Maeda and Shigeru Yamamoto

図2 並列共振特性

誘導性になる。また曲線④と②より曲線⑤のような印加電圧 V_1 と流入電流 I_1 の関係が得られる。曲線④と⑤の関係より、印加電圧 V_1 が $V_{1a} \sim V_{1b}$ の範囲で変動した場合、飽和チョーク端電圧 V_2 の変動幅を印加電圧 V_1 の変動幅以下におさえることができる。飽和チョーク端電圧 V_2 の変動をおさえることによって、コンデンサ電流 I_L を一定に近づけることができる。

ランプを点灯した場合、共振回路の鋭さが低下し並列共振現象は不明確となり、上記定電圧特性は幾分悪くなるが、その基本動作は変わらず印加電圧の変動によるランプ電力の変動をおさえることができる。

2.2 基準動作とベクトル図

安定器を設計する場合の基準となる動作点を定格印加電圧にとり、安定器は次の条件を満たすものとする。

(1) L_2 , C の並列共振回路は並列共振点付近で、かつ容量性となるように選ぶ。

(2) 不飽和チョーク・コイルのリアクタンス x_{CH} が容量性リアクタンス x_C より大きいと、直列共振による跳躍現象を起こすので、これを防ぐため基本波成分に対しては $x_{CH} < x_C$ 、第3高調波成分に対しては、 $3x_{CH} > x_C/3$ となるように x_{CH} の値を選ぶ³⁾。

(3) 飽和チョーク・コイルの鉄心磁束密度は、飽和特性上の屈曲点 (Knee) より高くとる。

基準動作時のベクトル図、および電圧-電流の関係式は図3および(1)式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \dot{V}_2 &= \dot{V}_C + \dot{V}_L \\ \dot{V}_1 &= \dot{V}_2 + \dot{V}_{CH} \\ \dot{V}_{CH} &= (r_{CH} + j\omega L_{CH}) \dot{I}_1 \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + \dot{I}_L \\ \dot{I}_0 &= \dot{I}_i + \dot{I}_r \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 I_i : 磁化電流、 I_r : 等価鉄損電流。

図3 ベクトル図

3. 設計と基礎

3.1 設計仕様

一般に、安定器の設計仕様として与えられる諸量には次のようなものがある。

・電源の条件より

- (1) 電源電圧 V_1
- (2) 電源周波数 f

・放電灯の電気特性より

- (3) 点灯時ランプ電流 I_L
- (4) 点灯時ランプ電圧 V_L
- (5) ランプ始動電圧 V_{20}
- (6) ランプ電力 W_L
- (7) ランプ力率 $\cos \theta_L$

・安定器の特性より

- (8) 点灯時飽和チョーク端電圧 V_2
- (9) 入力力率 $\cos \theta_1$

3.2 基準動作時における各部の関係

設計にあたって、まず必要な基準動作状態での各部の量的な関係を求める。

(1) 基準動作状態での、飽和チョーク端電圧を指定する。これを V_{2S} とする。

(2) 入力力率 $\cos \theta_1$ は1とする。

(3) 等価鉄損電流 I_r 。飽和チョーク・コイルは高磁束密度の状態で使用されるため、その鉄損は無視することとはできない。しかし、通常では励磁電流、流入電流の大きさ、位相に及ぼす影響は小さく無視し得るので、効率計算以外は鉄損分を無視する。

以上の条件をもとに、図3のベクトル図を簡単化すると図4のような簡易ベクトル図が得られる。

(4) コンデンサ容量 C 。コンデンサ電圧 V_C はランプ力率を遅れ力率 $\cos \theta_L$ とすると図4より

図 4 簡易ベクトル図

$$V_C = \sqrt{V_{2S}^2 - (V_L \cos \theta_L)^2} + V_L \sin \theta_L \quad \dots\dots(2)$$

となり、その容量 C は

$$C = (1/\omega x_C) \times 10^6 = (I_L/\omega V_C) \times 10^6 \text{ (}\mu\text{F)} \quad \dots\dots(3)$$

ただし、 $\omega = 2\pi f$.

(5) 不飽和チョーク端電圧 V_{CH} 、飽和チョーク端電圧 V_{2S} を指定すると、基準動作時における不飽和チョーク端電圧 V_{CH} は、

$$V_{CH} = \sqrt{V_{2S}^2 - V_1^2} \quad \dots\dots(4)$$

(6) 流入電流 I_1 . 図 4 のベクトル図より

$$I_1 = I_L \frac{\cos \theta_2}{\cos \theta_{12}} \quad \dots\dots(5)$$

となるが、 θ_2 はランプ電流 I_L と飽和チョーク端電圧 V_2 間の位相角で

$$\cos \theta_2 = V_L \cos \theta_L / V_{2S} \quad \dots\dots(6)$$

θ_{12} は、飽和チョーク端電圧 V_2 と印加電圧 V_1 間の位相角で、

$$\cos \theta_{12} = V_1 / V_{2S} \quad \dots\dots(7)$$

となるので、流入電流 I_1 は

$$I_1 = I_L \frac{V_L \cos \theta_L}{V_1} \quad \dots\dots(8)$$

となるが、鉄損、巻線による銅損などを無視しているので(8)式は、また、

$$I_1 = W_L / V_1 \quad \dots\dots(8')$$

と等価である。

(7) 飽和チョーク電流 I_1 . 基準動作状態で必要な飽和チョーク電流 I_1 は

$$\begin{aligned} I_1 &= I_L \sin \theta_2 - I_1 \sin \theta_{12} \\ &= I_L \left(\sin \theta_2 - \frac{V_L \cos \theta_L}{V_1} \sin \theta_{12} \right) \quad \dots\dots(9) \end{aligned}$$

となる。

(8) 不飽和チョーク・コイルのリアクタンス x_{CH} . (4)式、(8)式より

$$x_{CH} = \frac{V_{CH}}{I_1} = \frac{V_1}{I_L V_L \cos \theta_L} \sqrt{V_{2S}^2 - V_1^2} \quad \dots\dots(10)$$

となる。以上の結果より飽和チョーク・コイルは V_{2S} と I_1 の値より、そして不飽和チョーク・コイルは I_1 と x_{CH} の値よりそれぞれ設計することができる。

(9) 効率 η . 安定器の効率は

$$\eta = \frac{W_L}{W_L + \sum W'} \quad \dots\dots(11)$$

ただし、 $\sum W' = W_{2i} + W_{CHi} + W_{2CU} + W_{CHCU}$

W_{2i} : 飽和チョーク・コイルの鉄損

W_{CHi} : 不飽和チョーク・コイルの鉄損

W_{2CU} : 飽和チョーク・コイルの銅損

W_{CHCU} : 不飽和チョーク・コイルの銅損

である。鉄損は鉄心材料の $B-W_i$ 曲線より求めることができる。

2. 飽和チョーク・コイルの設計

(1) 巻数 N_2 . 一般にチョーク・コイルの設計はチョーク・コイルにかかる電圧の半分で変圧比が 1 なる変圧器として設計し、その後一次、二次コイルを直列に接続して使用する⁴⁾。したがって、飽和チョーク・コイルの VA 容量 P_2 は、

$$P_2 = \frac{1}{2} V_{2S} I_1 \text{ (VA)} \quad \dots\dots(12)$$

となり、その比電圧 (one turn voltage) e_2 は、

$$e_2 = m \sqrt{P_2} \quad \dots\dots(13)$$

ただし、 $m = \sqrt{4.44 \cdot K \cdot f \cdot 10^{-8}}$, K : 磁気装荷/電気装荷で鉄心の形状によって決まる。

これより必要な巻数 N_2 は、

$$N_2 = V_{2S} / e_2 \text{ (turn)} \quad \dots\dots(14)$$

となる。

(2) 鉄心窓面積 S_2 と鉄心平均磁路長 l_2 . 飽和チョーク・コイルの励磁電流 I_1 と巻数 N_2 が(9)式、(14)式より求まると、それに必要な窓面積 S_2 は、

$$S_2 = \frac{N_2 I_1}{k_w \cdot \sigma} \text{ (cm}^2\text{)} \quad \dots\dots(15)$$

ただし、 k_w : 巻線の占積率、 σ : 銅線の電流密度 (A/cm²)。

鉄心の窓面積と平均磁路長の関係は、鉄心の形状によって決まるが、鉄心の形状や一部の寸法はあらかじめ指定するものとする。たとえば、図 5 の外鉄形で窓幅 b を基準にとり、鉄心の側脚幅 a 、窓の高さ d_1 を

$$\left. \begin{aligned} a &= K_1 b \\ d_1 &= K_2 b \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(16)$$

とすると、鉄心の窓面積 S_2 と平均磁路長 l_2 および鉄心の幅 W と高さ H はそれぞれ

図 5 鉄心の形状 (外鉄形)

$$\left. \begin{aligned} S_2 &= K_2 b^2 \\ l_2 &= 2b(1 + K_2 + 2K_1) \\ W &= 2b(1 + 2K_1) \\ H &= b(K_2 + 2K_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (17)$$

となり、 l_2 は窓面積と鉄心の形状が決まれば、

$$l_2 = 2(1 + K_2 + 2K_1) \sqrt{\frac{S_2}{K_2}} \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots (18)$$

より求まる。

(3) 必要な磁化力 H_{2m} と鉄心磁束密度 B_{2m} 。必要な磁化力 H_{2m} は

$$H_{2m} = \frac{\sqrt{2} N_2 \cdot I_l}{l_2} \quad (\text{A/cm}) \dots\dots\dots (19)$$

となり、鉄心磁束密度の最大値 B_{2m} (T) は使用鉄心材料の磁化特性曲線上の H_{2m} に対する 磁束密度の値より決定できる。

(4) 鉄心断面積 A_2 および積み厚 d_2 、鉄心磁束密度 B_{2m} が決まると所要鉄心断面積 A_2 は、

$$A_2 = \frac{V_{2S} \times 10^4}{4.44 \cdot f \cdot N_2 \cdot B_{2m}} \quad (\text{cm}^2) \dots\dots\dots (20)$$

となり、その積み厚 d_2 は

$$d_2 = \frac{A_2}{2a \cdot F_S} \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots (21)$$

ただし、 F_S : 鉄心の占積率
となる。

(5) 鉄心体積 Q_2 。鉄心体積 Q_2 は20式と18式より
 $Q_2 = A_2 \cdot l_2 \quad (\text{cm}^3) \dots\dots\dots (22)$

(6) 銅線の径 d_{CU} 、銅線の断面積 A_{CU} は、
 $A_{CU} = I_l / \sigma \dots\dots\dots (\text{cm}^2)$

となり、丸線とするとその径 d_{CU} は

$$d_{CU} = \sqrt{\frac{4A_{CU}}{\pi}} \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots (23)$$

となる。

図 6 巻線断面図

(7) 銅量 Q_{CU} 、図 6 に示すように巻わくの外側寸法 $2a'$ 、 d' 、巻線の巻厚を c とすると平均巻線長 l_{CU} は

$$l_{CU} = 2(2a' + d') + \pi c \dots\dots\dots (24)$$

鉄心窓幅を b とすると、

$$c = K_w \cdot b$$

となるので24式は

$$l_{CU} = 2(2a' + d') + \pi K_w \cdot b \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots (24')$$

となり銅量 Q_{CU} は

$$Q_{CU} = K_w \cdot S_2 \cdot l_{CU} \quad (\text{cm}^3) \dots\dots\dots (25)$$

となる。また、巻線抵抗 R_{CU} は、

$$R_{CU} = \rho \cdot \frac{1}{A_{CU}} \cdot l_{CU} \cdot N_2 \dots\dots\dots (26)$$

ただし、

$$\rho : \text{銅の固有抵抗} (= 1.724 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm/mm}^2)$$

となる。

(8) 窓面積 S_2 が与えられたとき取りうる磁化力の最大値 $(H_{2m})_{\max}$ 。鉄心の体積と飽和特性からは磁化力が大になるようにすべきであるが、反面、それによって平均磁路長 l_2 は短く、窓面積 S_2 は小さくなるため巻線が収容しきれなくなる。したがって、取りうる磁化力の範囲には上限がある。最大磁化力 $(H_{2m})_{\max}$ は磁路長 l_2 が最小となるときに得られるので、18式の K_2 を変数として、

$$\frac{\partial l_2}{\partial K_2} = \frac{\{2K_2 - (K_2 + 2K_1 + 1)\} \sqrt{S_2}}{2K_2 \sqrt{K_2}} = 0 \dots\dots\dots (27)$$

より

$$K_2 = 2K_1 + 1 \dots\dots\dots (28)$$

の関係を得る。28式で $K_1 = 1$ とすると scrapless type の鉄心形状になる。28式を18式に代入し得られる最小平均磁路長 $(l_2)_{\min}$ は、

$$(l_2)_{\min} = 4\sqrt{S_2(1 + 2K_1)} \dots\dots\dots (29)$$

したがって、磁化力の上限值 $(H_{2m})_{\max}$ は、

$$(H_{2m})_{\max} = \frac{\sqrt{2} N_2 \cdot I_l}{4\sqrt{S_2(1 + 2K_1)}} \dots\dots\dots (30)$$

となる。

5. 不飽和チョークの設計

不飽和チョークの VA 容量 P_{CH} を,

$$P_{CH} = \frac{1}{2} V_{CH} \cdot I_1 = \frac{1}{2} I_1^2 \cdot x_{CH} \dots\dots\dots (31)$$

にとれば, 設計手順は鉄心の空隙長の計算以外はほぼ飽和チョーク・コイルの設計手順と同様の手順で行なえるので, ここでは省略する。

不飽和チョーク・コイルの磁路中に設ける空隙長 l_g は空隙のフリージングを無視すると,

空隙に要する起磁力

$$F_g = B_{gm} \cdot l_g / \mu_0 \quad (\mu_0 = 4\pi \times 10^{-5} \text{ H/cm})$$

鉄心中に要する起磁力

$$F_i = B_{im} \cdot l_i / \mu \quad (\mu = \mu_s \mu_0)$$

となるが, $B_{gm} = B_{im}$ とすると全起磁力 F は,

$$F = F_g + F_i = \sqrt{2} N_{CH} \cdot I_1 = B_{im} (l_i / \mu + l_g / \mu_0) \dots\dots\dots (32)$$

となるので, B_{im} を指定することにより空隙長を決定することができる。なお近似的には $F_g \gg F_i$ とし,

$$l_g \div \sqrt{2} N_{CH} \cdot I_1 \cdot \mu_0 / B_{im} \quad (\text{cm}) \dots\dots\dots (32')$$

となる。

6. 設 計 例

(1) 仕 様

$V_1 = 200 \text{ V}$, $f = 60 \text{ Hz}$, $I_L = 3.4 \text{ A}$, $W_L = 400 \text{ W}$,
 $\cos \theta_L = 0.98$, $V_{20} = 180 \text{ V}$ 以上。

(2) 設計に必要な基本量

$V_{2S} = 250 \text{ V}$, $\cos \theta_1 = 1$, $\sigma = 200 \text{ A/cm}^2$, $K_w = 0.3$,
 $m = 0.04$ にとると, $I_1 = 2.17 \text{ A}$, $I_i = 1.62 \text{ A}$, $C = 37.5 \mu\text{F}$, $x_{CH} = 69.3 \Omega$ になる。

(3) 設 計 値

(a) 飽和チョーク・コイルの寸法

使用鉄心材料および形状を H-14 (新日鉄製), Scrapeless type ($K_1 = 1$, $K_2 = 3$), $F_S = 0.98$ とし, 計算値に近い値として次のように寸法を決めた。

すなわち, $N_2 = 415$ 巻, 線径 $1.0 \text{ mm} \phi$, $a = b = 2.0 \text{ cm}$, $d_1 = 6 \text{ cm}$, $d_2 = 3.4 \text{ cm}$, $l_2 = 24 \text{ cm}$ とした (図 5 参照)。この結果 $H_{2m} = 40 \text{ A/cm}$ ($\therefore 1.65 \text{ Tesla}$) となった。これは H_{2m} の上限値である。

(b) 不飽和チョーク・コイルの寸法

$N_{CH} = 270$ 巻, 線径 $1.2 \text{ mm} \phi$ とし鉄心寸法は飽和チョーク・コイルに使用したものと同一に選んだ。 $B_{im} = 0.9 \text{ Tesla}$ とし積み厚 4 cm , $l_g = 1.0 \text{ mm}$ にとった。

7. 実 測 結 果

上記設計値にしたがって試作したチョーク・コイルの特性を図 7 に示す。図中曲線①, ②, ③はそれぞれ飽

図 7 チョークコイル, コンデンサの電圧-電流特性

和チョーク・コイル, 不飽和チョーク・コイル, コンデンサの特性で実線は実測値を, 破線は使用した鉄心材料の直流磁化特性曲線より計算した値を示す。

図 8 ランプ短絡時の特性

図 8 は, ランプ短絡時 (図 1 のランプ短絡時) の特性を示す。曲線 I_1 , I_L , V_2 はそれぞれ流入電流, コンデンサ電流, 飽和チョーク端電圧を示す。図中破線は飽和チョーク・コイルの特性として, 直流磁化特性曲線 (図 7 の破線) を使用したものであり, 実線は実測値 (図 7 の実線) に修正して計算した結果である。

飽和チョーク・コイルの磁化特性は, 計算値と実測値の間にならかなり差があるが, 計算結果の精度を上げるには計算に使用する磁化曲線の決定が重要な課題である。

コンデンサ電流の計算値と実測値の差は, このほかに高調波成分が加わったものである。

図 9 は, 印加電圧を変えた場合のランプ点灯時諸量の変化を示す。図 10 はランプ電流, 電圧の波形を示す。表 1 は, 基準動作状態 ($V_1 = 200 \text{ V}$) における計算値と実測値の比較を示した。

図9 点灯特性

図10 ランプ電圧-電流波形

表1 計算値と実測値の比較

$V_1 = 200$ V, $V_{2S} = 250$ V

		計算値	実測値
流入電流	無負荷時	0.125 A	0.16 A
	始動時	0.94	1.25
	点灯時	2.17	2.38
飽和チョーク電圧	無負荷時	192 V	194 V
	点灯時	250	273
ランプ電流	始動時	3.78 A	4.7 A
	点灯時	3.4	3.48
点灯時飽和チョーク電流		1.63 A	1.55 A
力率	入	0.998	0.98
	ランプ	0.98	0.93
コンデンサ容量		37.5 μ F	37.2 μ F
ランプ電力変動率 ($V_1 = \pm 10\%$ 変動)		-1.25~+0.9%	-2.3~+1.9%
ランプ電流波高率			1.62
効 率		94%	92%

8. 設計の基本量に対する検討

安定器を小型化するには V_{2S} を低く、 σ 、 K_w を大きくとればよいが、 σ を大きくすると銅損による発熱が増し、 K_w を大きくとれば窓面積が小さくなり巻線が収容

できなくなる。しかし、 σ 、 K_w は理論より経験的に決まる値であるから、以下では V_{2S} を決める場合、考慮すべき二、三の事柄と V_{2S} が、安定器諸量に及ぼす影響について検討する。

8.1 V_{2S} と跳躍現象

基準動作時の飽和チョーク端電圧 V_{2S} を高くとり、 x_{CH} が x'_C (ランプ短絡時の L_2 -C 並列回路のリアクタンス) より増大すると、直列鉄共振現象によって安定器各部電圧-電流に跳躍現象が生ずるようになる。跳躍現象が生ずる V_{2S} の範囲は、

$$x_{CH} \geq x'_C \quad (33)$$

の条件より、また近似的には

$$x_{CH} \geq x_C \quad (33')$$

の条件より求めることができる。すなわち、(3)、(10)より、

$$\left. \begin{aligned} x_C &= V_C/I_L = V_1 \{ \sqrt{\alpha^2 - \beta^2} + \beta \tan \theta_L \} / I_L \\ x_{CH} &= V_{CH}/I_1 = V_1 \sqrt{\alpha^2 - 1} / I_L \cdot \beta \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

ただし、 $V_{2S}/V_1 = \alpha$ 、 $V_L \cos \theta_L / V_1 = \beta$

となるが、(34)式を(33')式に代入し整理すると、

$$\begin{aligned} &\beta^2 \{ (\alpha^2 - \beta^2) + 2\sqrt{\alpha^2 - \beta^2} \\ &\quad \cdot \beta \tan \theta_L + \beta^2 \tan^2 \theta_L \} < (\alpha^2 - 1) \quad (35) \end{aligned}$$

あるいは

$$\begin{aligned} &\frac{(\beta^3 \tan \theta_L) + \sqrt{\beta^4 (1 + \tan^2 \theta_L) - 2\beta^2 + 1}}{(1 - \beta^2)} \\ &\quad + \beta^2 < \alpha^2 \quad (36) \end{aligned}$$

となる。

ここで、たとえば $\beta = 0.637$ 、 $\tan \theta_L = 0.2$ とすると、 $\alpha > 1.266$

$$\therefore V_{2S} < 1.266 V_1 = 253.2 \text{ V} \quad (37)$$

となり、 $V_{2S} \geq 260$ V 以上に設定すると印加電圧のある値に対して跳躍現象を生ずる。 x_{CH} が x_C より大となっても両者の差が比較的小さい場合は、跳躍現象は印加電圧の低いところで生ずるので、点灯にさほど支障はないが、差が増大すると、跳躍点は印加電圧の高い点に移り灯が不安定になることがある。

8.2 V_{2S} と安定器諸量の関係

設計定数を [6] の設計例と同じにとり、 V_{2S} だけを変えて計算した場合の安定器諸量との関係を図 11(a)、(b) に示す。

図中 Subscript CH, CUCH は不飽和チョーク・コイルに関する諸量を、2. CU2 は飽和チョーク・コイルに関する諸量を表わす、飽和チョーク・コイルは V_{2S} の上昇とともに巻数 N_2 は増大するが、必要な励磁電流 I_L は減少するので、起磁力、窓面積、平均磁路長などはほとんど変わらず、 V_{2S} を変えても必要な銅量、鉄心量はほとんど変わらない。

一方、不飽和チョーク・コイルでは、電流 I_1 は V_{2S}

図 11 飽和チョーク電圧と安定器諸量の関係

の値に無関係に一定となり、そのリアクタンス x_{CH} は V_{2S} の上昇とともに増大するので巻数、窓面積などは増加する。また、磁束密度を一定となるようにすると鉄心断面積も増加する。したがって、必要な銅量、鉄心量は V_{2S} の増大とともに増加する。安定器全体の体積、重量は V_{2S} の増大とともに増加するが、それは不飽和チョーク・コイル分によるところが大きい。

8.3 V_{2S} とランプ電流波高率の関係

図 12、図 13 は、基準動作時飽和チョーク端電圧 V_{2S} をそれぞれ 230 V、250 V、260 V、300 V に選んで設計した安定器を使用して点灯した場合のランプ電流の波高率を、印加電圧 V_1 および飽和チョーク端電圧 V_2 と V_{2S} の比に対してプロットしたものを示す。飽和チョーク・コイルは V_{2S} のそれぞれの値に対し、鉄心磁束密度はほぼ同一値 (1.65 Tesla) となるように製作した。したがって図 13 の横軸は飽和チョーク・コイルの鉄心磁束密度に比例するとみなすことができる。

図 12 印加電圧とランプ電流波高率の関係

図 13 飽和チョーク電圧とランプ電流波高率

ランプ電流の波高率は、鉄心磁気飽和の度合いと飽和チョーク端電圧のいずれにも影響され、鉄心磁気飽和の度合いを一定にしても V_2 を高くとした場合、ランプに直列に挿入したコンデンサの容量を一定にしても、磁気飽和の度合いを強めた場合、いずれも波高率は高くなる。

9. 結 言

以上、チョーク式定電力形安定器の設計法の一例について述べた。設計にあたっては、

(1) 基準動作状態での、飽和チョーク端電圧 V_{2S} を指定すること、

(2) 飽和チョーク・コイルの鉄心磁束密度は、できるかぎり高くするようにし、鉄心窓面積と鉄心磁路長より最大磁化力を決定する。

方法をとった。

ランプの電気的特性や法規の関係より、安定器の設計

にあたってはランプの始動電圧、および点灯時ランプ電圧が主な仕様として与えられ、 V_{2S} はあまり問題にされなかった。

しかし、あらかじめ V_{2S} を指定すると安定器の設計がより容易になり、より論理的な設計が行なえる。なお V_{2S} の指定にあたっては、ランプ電流の波高率、直列共振による跳躍現象、必要な始動電圧などに注意する必要がある。

鉄心磁気特性は、特性表に表示されているもの（たとえ直流磁化特性曲線）と、これを裁断しチョーク鉄心として組み立てた場合の励磁特性との間に差があること、鉄心磁気飽和とランプに起因する高調波成分が、計算結果と実測結果に差を生ずる原因となっている。設計の精度を向上させるには、計算に使用する磁気特性を実際の使用状態の特性に近づける必要がある。

本設計法は、計算式をできるかぎり簡単化するため鉄

損、高調波成分を無視した簡易設計法であり、実測結果との間には差があるが、設計に必要な基本的な諸量の関係は十分知ることができる。従来の試行錯誤的な設計法に対し設計の基準をかなり明確にし得たものとする。

終わりに、資料の提供にご協力いただいたヘルメス電機㈱ならびに、数値計算、実験にご協力願った大学院院生巻田茂、堀内英一の諸氏に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) H. Strauch : Arch. Elektrotech. (I~III) 53 (1939)
- (2) 青池, 野村 : 照学誌 58-5, 6 (昭49) 206, 246
- (3) 山本, 浦山 : 照学誌 55-4 (昭46) 214
- (4) 伊藤 : 電磁機器設計法 (昭18)

(受付 1977 年 10 月 27 日, 再受付 1978 年 1 月 26 日)

著者紹介

うら やま たかし
浦山 隆君 (専門会員)

昭和 11 年 1 月 15 日生まれ。昭和 33 年 3 月立命館大学理工学部卒業。同年 4 月立命館大学理工学部助手。昭和 46 年 11 月同助教授となり現在に至る。

電気回路論、電気工学実験担当。主に鉄共振回路の解析、もれ変圧器の応用に関する研究に従事。電気学会、計測自動制御学会会員。

まえ だ としを
前田 稔夫君

昭和 7 年 4 月 27 日生まれ。昭和 30 年 3 月立命館大学理工学部電気工学科卒業。昭和 30 年 4 月立命館大学理工学部電気工学科助手。現在に至る。もれ変圧器、くま取りコイル付交流電磁石、電気

機器統一理論、パワーエレクトロニクスの電力機器への応用などの研究。電気学会会員。

やま もと しげる
山本 茂君 (正会員)

明治 42 年 10 月 10 日生まれ。昭和 8 年 3 月京都大学工学部電気工学科卒業。昭和 8 年 5 月京都大学工学部副手。昭和 10 年 8 月より倉敷絹織株式会社、日本曹達株式会社、立命館大学専門学部、鐘淵通信工業株式会社などに勤務。昭和 20 年 11 月立命館専門学校教授。昭和 24 年 4 月立命館理工学部助教授。昭和 41 年 4 月教授。電気回路論担当。くま取りコイル付き交流電磁石、誘導型回転円板の駆動素子、定電力形放電灯安定器などの研究に従事。電気学会会員。

小堀 富次雄君 (専門会員)

昭和 51 年 9 月号参照。

井上 猛君 (専門会員)

昭和 51 年 4 月号参照。

川上 幸二君 (正会員)

昭和 51 年 12 月号参照。