安定器の温度上昇とその熱特性

Temperature Rise of FL Ballast Coil and its Thermal Characteristics.

by Goro Shigedai (Member), Seiichi Kasai

正 会 員 重 台 五 郎* 河 西 清 一*

1. 緒 言

電気が質的に低下すると、負荷の動作特性は一般に好ましくない影響を受ける。けい光放電灯においても同様であるが、特に電源の周波数が低下した場合に、安定器に対してまず考えられることはコイルの過熱事故である。

けい光灯を点灯中、もし長時間に亘って周波数が異常低下するようなことがあれば、安定器は JIS に規定する温度上昇の許容限界 (50°C) を遙かに超過し、場合によってはコイルの焼損、混和物の熔融など思わぬ事故を惹起する危険性があるのである。

筆者はさきに若干の市販安定器について、許容温度上昇を越ゆべき周波数低下の限界を確め、併せてこれら市販品の温度上昇に対する熱特性を調査する機会があったので、ここにその概要を述べて大方の御参考供したいと思う。

2. 安定器の温度上昇

安定器に電流が流れると、発生する電力損によって安定器の温度が上昇することは、既に周知の通りである。

安定器の構造は熱現象的には極めて複雑で、熱伝導に関する法則を直接適用して安定器の温度上昇を計算することは殆んど不可能である。

しかし安定器の温度上昇過程を概括的に考える場合は、その全断面に亘って均一に温度変化が行われるものとして差支えない。

点灯中管電流 I が不変であるとすれば、安定器の鉄損 P_t は温度上昇 θ には関係なく、銅損 P_c のみ抵抗に比例して増大する。即ち

$$(P_c)_\theta = I^2 \cdot r_a (1 + \delta\theta) \quad (\text{W}) \quad \dots\dots(1)$$

$$P_t = k_1 B^2 f + k_2 B^2 f^2 \quad (\text{W/kg}) \quad \dots\dots(2)$$

ただし r_a : 室温における安定器の直流抵抗

B : 鉄心内の磁束密度

δ : 室温における抵抗の温度係数

また P : 安定器に発生する全熱量 (J)

V : 安定器の体積 (cm^3)

F : 安定器の熱放散に与る有効表面積 (cm^2)

α : 安定器表面の熱伝達率 ($\text{W}/\text{cm}^2\text{—}^\circ\text{C}$)

c : 安定器の平均比熱 ($\text{J}/\text{g—}^\circ\text{C}$)

τ : 安定器の平均比重 (g/cm^3)

とすれば、空気中に放置された安定器について、一般に次の式が成立つ。

$$c\tau V \frac{d\theta}{dt} + \alpha F \theta = P + \delta\theta P_c \quad \dots\dots(3)$$

この場合 c , α を θ に関係なく一定とみなせば、温度上昇 θ は簡単に求められて

$$\theta = \frac{P}{\alpha F - \delta P_c} \left[1 - e^{-\frac{\alpha F - \delta P_c}{c\tau V} t} \right] \quad \dots\dots(4)$$

$$\theta_m = \frac{P}{\alpha F - \delta P_c} \quad \tau = \frac{c\tau V}{\alpha F - \delta P_c} \quad \dots\dots(5)$$

θ_m は安定器の到達する最終温度上昇、 τ は安定器の時間定数、また αF は単位温度上昇につき安定器が単位時間に失う熱量即ち放熱力 L , $c\tau V$ は安定器の熱容量 C_t である。放熱力を支配する熱伝達率 α は伝導、対流、放射すべての影響を考慮に入れた熱放散の係数であって、実際には安定器周囲の空気の状態、熱授受面の状態などこれらの複雑な函数である。

しかし安定器について実際に温度上昇を測定した結果から θ_m および τ が判れば、次の関係式

$$L = \frac{P}{\theta_m} + \delta P_c \quad (\text{W}/^\circ\text{C}) \quad \dots\dots(6)$$

$$C_t = \tau \cdot L \quad (\text{g} \cdot \text{J}) \quad \dots\dots(7)$$

$$c = 0.2389 \times \frac{C_t}{\tau V} \quad (\text{cal}) \quad \dots\dots(8)$$

によって安定器の放熱力、熱容量および比熱の概数値を求めることができる。

3. 供試試料および測定法

3.1 供試安定器は FBC—20 5 個、FBC—40 3 個の 1 灯用で、何れも現規格制定以前の製品である。

これらについて構造調査および特性試験を行った結果は第 1 表乃至第 4 表および第 1 図に示す通りで、旧規格 JIS C 8106 に辛じて合格したものは僅かに 2 個に過ぎなかった。

また本試験を通じて使用した放電管 FL—20W および FL—40W の管電流は、第 4 表に示す通り何れも JIS C 7601 (1952) に規定する範囲内に入っている。

* 電力中央研究所

安定器の温度測定には銅—コンスタンタンの熱電対を使用し、これをコイルの最下層と次の層の間に挿入し（第2図）、後は空隙の調整によって特性を復元せしめた。

第2図 熱電対の挿入位置

3.2 測定回路は第3図に示す通りである。供給電源には直流電動機直結の3kVA、100V 交流発電機を使用し、また熱電対の起電力測定には記録型のミリボルトメータを使用した。供試安定器は机上に露出のまま放置されたが、測定中における室内温度の変化は各回（1回約3時間）平均して概ね1～2℃程度に収まっている。

第3図 試験回路

4. 測定結果

4.1 各周波数における安定器の温度上昇および管電流
安定器の温度上昇変化は第4図の測定記録にも見られる通り概ね指数函数的とみて差支えない。1回3時間の測定において、その多くはなお最終温度上昇に達しなかった。

(1) No. 2 (20W) 42c/s

(2) No. 8 (40W) 48c/s

第4図 安定器の温度上昇測定記録

第5図 管電流と周波数との関係

第5表 試験用けい光放電管電流 I (A)

c/s	50	48	46	44	42	40
番号						
1 (20.4)	0.361	0.380	0.401	0.426	0.445	0.476
2 (18.5)	0.359	0.386	0.405	0.429	0.449	0.476
3 (18.5)	0.329	0.341	0.355	0.371	0.384	0.409
4 (19.0)	0.384	0.403	0.421	0.447	0.468	0.489
5 (20.4)	0.337	0.348	0.361	0.381	0.391	0.412
6 (19.7)	0.409	0.430	0.455	0.497	0.527	0.564
7 (19.0)	0.411	0.437	0.467	0.515	0.553	0.605
8 (20.0)	0.400	0.420	0.442	0.475	0.499	0.519

1. 本表の数値は点灯3時間の平均値である。
2. 供試番号の括弧内は測定時の平均周囲温度(°C)を示す。

また管電流は実測の結果、点灯後15分乃至20分を経過すると、概ね一定値に落ち着いた。第5図および第5表は管電流の3時間の平均値と周波数との関係を示す。

4.2 各周波数における安定器の最終温度上昇

安定器の温度上昇曲線から、その最終温度上昇 θ_m を求めるには次の方法によった。

まず安定器の温度上昇 θ を指数函数

$$\theta = \theta_m \left[1 - e^{-\lambda t} \right] \dots\dots\dots (9)$$

で表わされるものと仮定し、 $t = 0$ から等時間間隔 t_0 毎の温度上昇をそれぞれ $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ とすれば

$$\theta_{m1} = \frac{\theta_1}{1 - Z}, \quad \theta_{m2} = \frac{\theta_2}{1 - Z^2}$$

$$\theta_{m3} = \frac{\theta_3}{1 - Z^3}, \quad \theta_{m4} = \frac{\theta_4}{1 - Z^4}$$

$$\text{ただし } Z = \sqrt{\frac{\theta_4 - \theta_3}{\theta_2 - \theta_1}} = e^{-\lambda t_0}$$

これから θ_m の平均値および τ が求められる。かくして求めた θ_m と周波数との関係を表わすと、第6図および第6表が得られる。

第 6 図 安定器の最終温度上昇

第 6 表 各種安定器の最終温度上昇 θ_m (°C)

c/s 番号	50	48	46	44	42	40
1 (20.4)	52.3	55.9	61.6	64.8	70.2	79.7
2 (18.5)	43.8	48.6	54.0	58.7	63.8	67.9
3 (18.5)	36.1	38.3	41.7	44.4	46.8	51.2
4 (19.0)	45.5	47.7	49.7	53.3	61.7	64.9
5 (20.4)	39.6	43.2	47.4	49.5	55.3	56.5
6 (19.7)	44.3	48.4	50.6	56.1	61.8	68.4
7 (19.0)	49.8	52.6	57.4	64.9	73.4	82.6
8 (20.0)	57.5	62.2	67.4	76.1	81.2	92.6

1. 番号の括弧内は測定中の平均周囲温度 (°C) を示す。

安定器について実測した温度上昇曲線は厳密には純正な指数函数ではなく、点灯開始の当初における τ は、値

が常に過小であつた (第4図参照)。

4.3 最終温度上昇時における安定器の電力損および実効抵抗

安定器の最終温度上昇時における電力損は、任意時刻における温度上昇 θ と電力損 $(P)_\theta$ の実測値から計算によって求めることができる。即ち鉄損 P_i は管電流と周波数が一定なる限り温度には関係なく一定で、これを電力損から分離すれば、

$$P_i = (P)_\theta - I^2 \cdot r_d (1 + \delta \theta)$$

従って求める最終温度上昇時における電力損 $(P)_{\theta_m}$ は

$$\begin{aligned} (P)_{\theta_m} &= (P)_{\theta_m} + P_i \\ &= (P)_\theta + I^2 \cdot r_d (\theta_m - \theta) \end{aligned}$$

また安定器の実効抵抗を R_e とすれば、

$$R_e = \frac{(P)_{\theta_m}}{I^2} = r_d (1 + \delta \theta_m) + \frac{P_i}{I^2}$$

第 7 表 点灯15分後における安定器の電力損および実効抵抗

c/s 番号		50	48	46	44	42	40
1	P	5.73	5.85	6.34	6.95	7.18	7.91
	Re	44.0	40.9	39.5	38.3	36.2	34.9
2	P	5.50	6.00	6.34	6.78	7.46	8.12
	Re	42.7	40.3	38.7	36.9	37.0	35.8
3	P	5.13	5.38	5.55	5.96	6.41	6.94
	Re	47.4	46.2	44.0	43.3	43.4	41.5
4	P	5.46	5.98	6.22	6.81	7.44	8.05
	Re	37.0	36.8	35.1	34.1	34.0	33.7
5	P	5.87	6.03	6.42	6.93	7.33	7.99
	Re	51.7	49.8	49.2	47.7	47.9	47.1
6	P	8.06	8.22	9.17	10.05	10.75	12.29
	Re	48.2	44.4	44.3	40.7	38.7	38.6
7	P	8.31	8.75	9.26	10.76	11.85	13.37
	Re	49.2	45.8	42.4	40.6	38.8	36.5
8	P	13.0	14.2	15.5	17.1	18.8	20.8
	Re	—	—	—	—	—	—

1. 電力損 P は、有効電力計により測定した値である。

2. 周囲温度は19°~21°C

第7表は点灯15分後における電力損の実測値および実効抵抗を、また第7図、第8図および第8表は第7表の実測値から計算によって求めた最終温度上昇時の電力損および実効抵抗を示す。

電力損の内、銅損は周波数低下と共に電流増加と温度上昇によって顕著に増大するが、これに対して鉄損は電流増加にもかかわらずその変化は極めて小さく、FBC—20が僅かに上昇するに対し、FBC—40はかえって低下の

第 7 図 最終温度上昇時における安定器の電力損

第 8 図 最終温度上昇時における実効抵抗

第 8 表 最終温度上昇時における安定器の電力損および実効抵抗

番号	c/s	f (Hz)					
		50	48	46	44	42	40
1	P	60.5	6.22	6.79	7.49	7.82	8.67
	Re	46.4	43.1	42.2	41.3	39.5	38.3
2	P	5.80	6.37	6.78	7.33	8.13	8.88
	Re	45.0	42.8	41.3	39.8	40.3	39.2
3	P	5.35	5.65	5.85	6.32	6.79	7.43
	Re	49.4	48.6	46.4	45.9	46.0	44.4
4	P	5.75	6.32	6.58	7.24	8.03	8.72
	Re	39.0	38.9	37.1	36.2	36.7	36.4
5	P	6.11	6.30	6.73	7.29	7.78	8.45
	Re	53.8	52.0	51.6	50.2	50.9	49.8
6	P	8.49	8.75	9.79	10.86	11.70	13.49
	Re	50.7	47.3	47.3	43.9	42.1	42.4
7	P	8.74	9.26	9.89	11.63	12.93	14.84
	Re	51.7	48.5	45.4	43.9	42.3	40.6
8	P	14.3	15.7	17.3	19.4	21.6	24.4
	Re	—	—	—	—	—	—

傾向を示している (第 9 図)。これはいうまでもなく電流増加による磁気飽和のためである。

従って実効抵抗は周波数低下と共に僅かしか低減しないが、FBC—20 の変化は FBC—40 に比べて更に小さい (第 8 図)。

4.4 安定器の最終温度上昇と放熱力, 時定数および熱容量との関係

安定器の放熱力は熱放散に与かる有効表面積の大きいもの程, また同じ安定器においても温度が高くなる程一般には大きい。

第 9 図 最終温度上昇時における銅損および鉄損

第 10 図 最終温度上昇と放熱力との関係

第 10 図の示す放熱力と最終温度上昇の関係は, FBC—40 において僅かにその傾向が認められる。また FBC—40 の放熱力は FBC—20 に比べて遙かに大きく, 丸型は他の普通型よりも小さい。

各周波数における平均時定数は, 最終温度上昇の高くなる程僅かながら減少し (第 11 図), 時定数と放熱力の積に相当する熱容量もまた, 最終温度上昇に対し時定数の場合と同様の傾向を示す (第 12 図)。

第 11 図 最終温度上昇と時定数との関係

第 12 図 最終温度上昇と熱容量との関係

以上供試安定器の最終温度上昇を比較するとき、その値はかなりの巾にまたがっている。即ち最低は周波数40 c/sに低下して始めて50°Cに達するものから、一部は50c/sの定格周波数において既に50°Cを超過するものまでであるが、これらの相違は必竟安定器の電力損と構造、材質によって定まる放熱力との関係に帰着するわけである。

5. 結 言

以上試験の概要を報告したが、安定器の温度上昇に及

第 9 表 最終温度上昇時における各種安定器の熱特性

供試番号	時定数 τ (m)	放熱力 L (W/°C)	熱容量 C_t (g·J)	平均比熱 c (cal)
1	44	0.11	297	0.15
2	41	0.13	318	0.16
3	34	0.14	292	0.16
4	35	0.13	279	0.19
5	32	0.15	278	0.19
6	39	0.19	447	0.15
7	37	0.18	392	0.15
8	54	0.26	834	0.14

本表の数値は周波数50c/s から40c/s の間の平均値を示す。ばず電源周波数および安定器自体の影響については、これによって大体の傾向を知ることができる。

ただ試験の実施に当っては、出来る限りもっと試料を多くすると共に、規格に定める恒温槽を利用し、また規程通りの試験用放電管を使用することが望ましい。

今回の報告は安定器が空气中に放置された場合に限られたが、実際は安定器を金属容器内に密閉して使用するのが普通である、このような場合の温度上昇は当然趣きが違って来るわけで、これらのことについては機会があれば改めて報告したいと思う。

終りに臨み、御指導と御鞭撻を戴いた東大教授大山松次郎先生に深厚なる謝意を表すると共にまた本編作成に当って当産業課の町田忠夫氏が手伝われたことを附記して敬意を払っておく。

文 献

重台, 紀村, 河西, 山下: 電研月報 2, 3号 (昭27) I

(昭30-3-16受付)

表紙説明

東京急行・玉川線新車の照明

最近の電車車輛は急激に発達しつつある自動車運送力に対抗して、その性能の向上は緊急不可欠の問題となつています。この程東京急行・玉川線に新造配車された最新型高性能路面電車はアメリカのPCC車の特長を完全に取り入れ、1軸の連節台車や完全張殻構造車体を始めとして種々の新機軸を打出したもので、車内の照明もそれらにふさわしい乳白プラスチックカバー器具によるけい光灯照明を行つています。

けい光ランプはマツダけい光ランプを車内2列連続配置にして1両当り20灯を取り付け、平均照度は読書面で350 lxの均斉度のよい照度分布を得ています。

電源は東芝 CLG—308 型の交直複流式電動発電機より得られる 200V 120c/s により点灯しているのでちらつきは全くなく、電車線電圧の広範囲の変動にもほとんど一定のランプ電流が得られます。

(東芝商事株式会社)