

熱形過負荷継電器の特性と特殊適用

岩 田 悟*

Satoru Iwata

Characteristics of Thermal Overload Relay and Its Special Application

Synopsis

Owing to low-price, excellent characteristics and high reliability which results from improvement of designing and manufacturing technique, thermal overload relay is widely adopted to protect the motor from being overloaded. This paper presents the characteristics, proper and special applications of our Fuji thermal overload relay.

I. ま え が き

熱形過負荷継電器は通称サーマルリレーと呼ばれマグネットスイッチの過負荷継電器として広く用いられている。

この理由としては単に誘導形あるいは電磁形過電流継電器に比して安価であるのみならず、原理的に通電電流による発熱を利用しているので電動機の熱特性に類似しており、合理的な保護が可能であること、さらには設計製造技術の進歩により著しく信頼度が向上していることがあげられる。

サーマルリレーは単に標準電動機の連続運転中の過負荷保護のみならず特殊な始動、運転条件においてもその適用を考慮することにより、充分その真価を発揮しうるものである。

富士熱形過負荷継電器は多年の経験を基礎に、あらゆる用途に適した特性のものを有しており市場の要望にこたえているものであるが、本稿において、その適正な使用法ならびに特殊適用法を説明し各位の参考に供したいと考える。

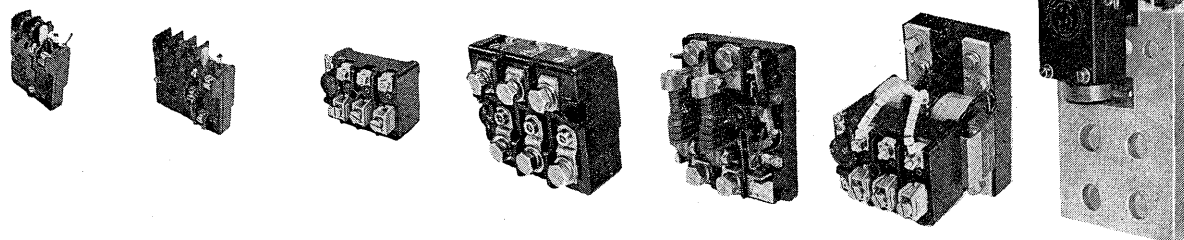
II. 富士熱形過負荷継電器とその標準特性

1. サーマルリレーの特性規格

サーマルリレーは反限時特性を有する過電流継電器で、その特性については JIS, UL をはじめ VDE においても詳細に特性の規定がなされている。前2者は限界動作条件はもとより電動機の拘束条件を考慮して焼損防止の見地から動作時限の上限を規定しているのに対し、後者は始動条件による誤動作を考慮して始動電流による動作時限の下限値を規定していることは興味のあることである。第1表にこれら規格の要点を示す。

2. 富士サーマルリレー群とその標準特性

第1図に各種の富士サーマルリレーを示す。いずれも JIS C 8325 に適合した特性を有し、冷状態から動作さ



RC 3737-0	RCa 3737-1	RC 3737-4	RC 3737-10	RCa 3737-II	RC 3737-20	RF 1338 (直流専用)
0.125~8 A	0.125~16 A	0.125~60 A	8~120 A	0.5~170 A ±20%	2.5~200 A	175~6,000 A

第1図 各種富士熱形過負荷継電器

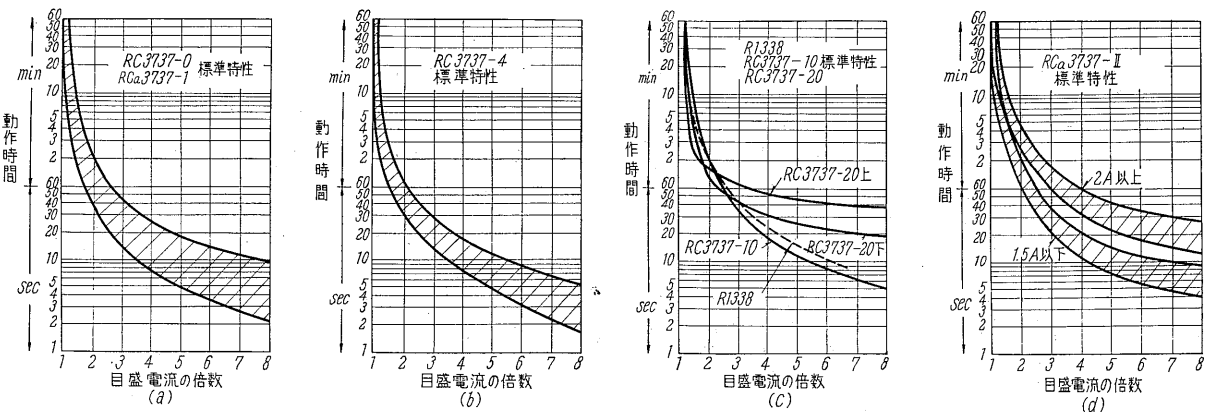
Fig. 1. Fuji thermal overload relay

* 吹上工場

第1表 サーマルリレーの特性規格
Table 1. Rules for characteristics of overload relay

規格名 条 件	JIS C8325 (1963)	UL *	VDE 0660
限界動作値	電動機定格電流の100%で不動作, 125%で動作	ヒートエレメント定格電流の100%で限界動作すること	整定電流の105%で2hr以内では不動作, 整定電流の100%を通電, 温度一定になった後120%通電して2hr以内に動作
中間特性	電動機定格電流の100%を通電, 温度一定になった後200%通電して4min以内に動作	ヒートエレメント定格の200%の電流で8min以内(冷状態より動作)	整定電流を通電し温度一定になった後150%で2min以内ただしこれ以上の過負荷動作時間を許容される重負荷始動電動機用にあつてはこれ以上でもよい
拘束電流付近	電動機定格電流の500%で45sec以内に動作	ヒートエレメント定格の600%の電流で30sec以内に動作	整定電流の600%で軽負荷始動用は2sec以上で動作 重負荷始動用は5sec以上で動作
基準周囲温度	40℃	40℃	20℃

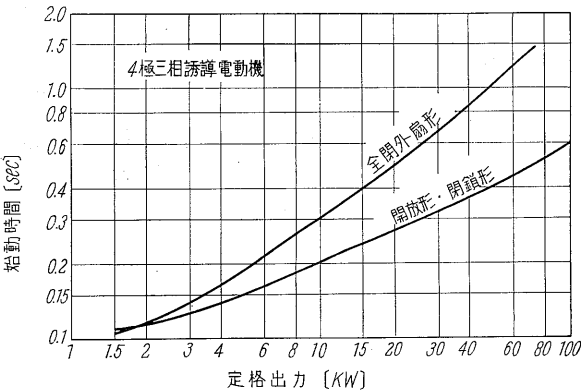
* ULの場合はヒートエレメント定格電流に対する%で表現しているので、これを電動機定格電流に換算するためには表の%の値を1.25倍しなければならない。



第2図 各種富士熱形過負荷継電器の cold start 標準特性
Fig. 2. Standard characteristic curve of Fuji thermal overload relay

せたときの標準動作特性を第2図に示す。第3図は(1)かご形電動機の無負荷始動時間の概略値を示すもので汎用電動機では負荷の GD^2 が電動機の GD^2 に比して極端に大きくない限り始動時間はあまり問題にならず第2図(a)(b)に示した比較的動作特性の早い形でも問題にはならない。

これらの特性は一般用としては充分その機能を発揮するものであるが、特に重負荷始動用として遅延特性を要求される場合、あるいは熱容量の少ない電動機で特に速動特性を要求される場合は個々に検討のうえ適当な形式ならびに定格のものを選ぶ必要がある。



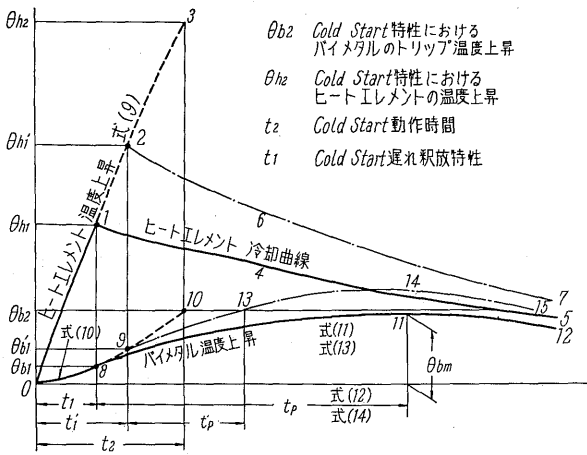
第3図 かご形電動機の無負荷始動時間の一例
Fig. 3. No-load starting time of 4 pole cage motor

III. 遅動特性を要求される場合

かご形電動機は始動期間中は始動突入電流はほぼ一定であり、始動完了とともに電流は急速に定格電流あるいは無負荷電流に低減する。大形ファン、遠心脱水機その他負荷の GD^2 が大きくて始動時間が長い電動機に対しては遅動特性が必要になる。RC 3737-II, -20 形が遅動形サーマルリレーとして適用しうるものであるがこれ以上の遅動要求には特別な飽和変流器を準備しなければならない。電動機の始動時間がわかっている場合サーマルリレーを選定するに当たっては単に cold start の標準特性ぎりぎりを選定するといわゆる“遅れ釈放”により miss trip してしまう場合があるから注意しなければならない。したがって始動時間が長い電動機に適用する場合は標準特性のみでなく“遅れ釈放特性”を考慮してリレーの形式を決定していただきたい。

1. 遅れ釈放とは

バイメタルを直接ヒータとして使用する直熱形を除いて大抵のサーマルリレーはバイメタルとは別にヒータを有し、この両者間に空気、マイカ、石綿紙などの絶縁物が介在している。一般にこの絶縁層が厚いほど cold start 特性が長くなる傾向にある。しかしながらヒータからバイメタルへの熱の移行には見掛上の遅れが生じるのでたとえ cold start 特性以内に rush current が減衰してもあとからリレーがトリップする傾向を生じる。第 4 図にその原理を示す。図中縦軸に温度上昇を、横軸に経過時間を取っている。 n 倍の始動突入電流を流した場合ヒートエレメントは 0—1—2—3 の曲線で温度上昇し、バイメタルは 0—8—9—10 の曲線で加熱され t_2 sec 後に θ_{b2} に達しトリップする。これが cold start 特性である。しかしながら t_1 sec 後に始動突入電流が定格電流あるいは無負荷電流に減衰してもヒートエレメントは θ_{h1} に上



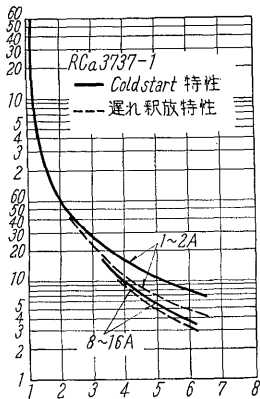
第 4 図 遅れ 釈 放 原 理 図
Fig. 4. Illustration of after-tripping

昇しているの曲線 2—6—7 のごとく下降を始めてもバイメタルの温度はヒートエレメントの熱を受けて 9—13—14 と上昇し θ_{b2} になったとき接点を動作させることになる。

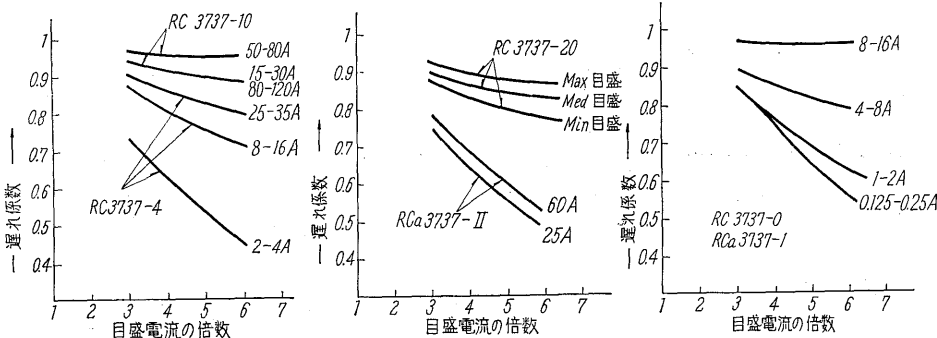
しかしながら始動突入電流が少なくとも t_1 sec 以内に無負荷電流に減衰すればヒートエレメントは 1—4—5 と冷却されバイメタルは 8—11—12 と加熱されてもその最大値が $\theta_{bm} < \theta_{b2}$ であるゆえ miss trip はしない。以上で明らかなように始動電流は cold start 特性よりある程度下回った時間以内に定格以下に減衰しないと miss trip をする。この現象を“遅れ釈放”と称しヒータとバイメタル間の熱絶縁の度合いが高いほど、始動突入電流倍率が低いほど顕著に現われるもので、熱絶縁を厚くして折角 cold start 特性を長く（遅動形）しても遅れ釈放のためにあまり始動時間の長い電動機に使えないという傾向を生じる場合がある。

$$k = \frac{t_1}{t_2} = \frac{\text{許容始動時間特性}}{\text{cold start 特性}}$$

を“遅れ係数”と呼び、cold start 特性に k を乗じた曲



第 5 図 特 性 一 例
Fig. 5. Example of characteristics



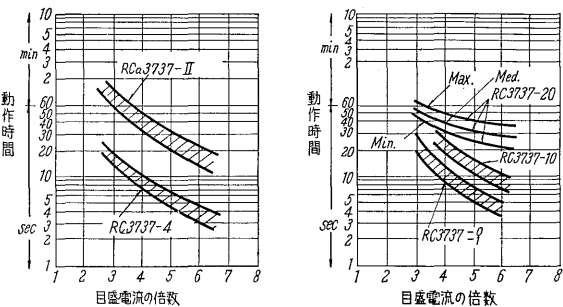
第 6 図 各種サーマルリレーの遅れ係数
Fig. 6. Coefficient of after-tripping

線を“遅れ釈放特性”と呼ぶことにする。

ヒートエレメントが直熱に近くあるほど k は1に近くなる。

また同一形式のリレーでもヒートエレメントの定格により係数は異なる場合が多く、また同一エレメントでも電流倍率が少ない領域ほど k は1に近づく。代表的リレーの k の値を第6図に示す。第5図はRCa 3737-1形リレーの cold start 特性と遅れ 釈放特性の一例を示すもので、図より明らかなごとくエレメント定格により cold start 特性は大幅に相違するが動作時間の遅いエレメントの方が k が小さいので結局遅れ 釈放特性は大体似かよった値になるのは興味深いことである。すなわちこれにより単に特性を遅らせるために絶熱縁のみを増しても実用的にはあまり効果がなくヒートエレメントおよびバイメタルの熱容量を相対的に大きくしなければならないことがわかる。

標準特性曲線は同一形式については全電流領域を網羅して band で画かれているのが普通である。そしてその上限は比較的傍熱傾向が強く k が小さいエレメントに属し下限は比較的直熱傾向が強く k が1に近いエレメントにするのが普通である。したがってこの下限値は単純に k を乗じて遅れ 釈放特性をだすのは誤りで個々の定格について求めなければならない。第7図に代表的形式の標準エレメントの遅れ 釈放特性を列記した。始動電流により miss trip することが懸念される場合は始動時間との照合は本図により行なわれない。



第7図 富士サーマルリレーの cold start 遅れ 釈放特性

Fig. 7. After-tripping characteristics of Fuji thermal relay in case of cold start

2. 遅れ 釈放の理論的考察

第4図にて遅れ 釈放現象を概念的に説明したが、さらに理論的に解析を行ないその裏付をしたい。

いま各種記号を下記のごとく定める

ヒートエレメント側	バイメタル側
比重 σ_1 (gr/cm ³)	σ_2
比熱 C_1 (cal/gr°C)	C_2

体 積 V_1 (cm ³)	V_2
放熱係数 h_1 (W/cm ² °C)	h_2
放熱面積 S_1 (cm ²)	S_2
熱 容 量 $q_1=4.2\sigma_1C_1V_1$ (Joule/°C)	q_2
放熱容量 $H_1=h_1S_1$ (W/°C)	H_2
バイメタルの受熱係数	k (W/cm ² °C)
” 受熱容量	$K=kS_2$ (W/°C)
ヒートエレメント損失 (定格通電時)	W_1 (watt)
” (n 倍通電時)	n^2W_1 (watt)
ヒートエレメント温度上昇経過	θ_H (deg)
バイメタル 温度上昇経過	θ_B (deg)
定格通電時のヒートエレメントの温度上昇 θ_{h0} (deg)	
” バイメタルの 温度上昇 θ_{b0} (deg)	
$\theta_{b'}, \theta_{bm}, \theta_{b2}, \theta_{h'}, \theta_{h2}$ ……特定条件における	
ヒートエレメントならびにバイメタルの温度上昇値	
いまバイメタル θ'_b ヒータ θ_h' の時電流通電して W の加熱を行なったときバイメタルおよびヒータの温度上昇を求める。	

$$\begin{cases} Wdt=q_1d\theta_H+H_1\theta_Hdt\cdots\cdots\cdots(1) \\ K(\theta_H-\theta_B)dt=q_2d\theta_B+H_2\theta_Bdt\cdots\cdots\cdots(2) \end{cases}$$

式(1)より

$$\theta_H=\left[\frac{W}{H_1}-\frac{(W-H_1\theta_h')}{H_1}e^{-\frac{H_1}{q_1}t}\right]\cdots\cdots\cdots(3)$$

これを式(2)に代入してまとめると

$$\frac{d\theta_B}{dt}+\frac{K+H_2}{q_2}\theta_B=\left\{\frac{K}{q_2}\left(\frac{W}{H_1}\right)-\frac{K}{q_2}\left(\frac{W-H_1\theta_h'}{H_1}\right)e^{-\frac{H_1}{q_1}t}\right\}\cdots\cdots\cdots(4)$$

これを解いて整理すると

$$\begin{aligned} \theta_B=&\frac{KW}{H_1(K+H_2)}\left(1-e^{-\frac{K+H_2}{q_2}t}\right)+\theta_b'e^{-\frac{K+H_2}{q_2}t} \\ &+\frac{Kq_1(\theta_h'-W/H_1)}{(K+H_2)q_1-H_1q_2}\left(e^{-\frac{H_1}{q_1}t}-e^{-\frac{K+H_2}{q_2}t}\right) \end{aligned}\cdots\cdots\cdots(5)$$

$$W=n^2W_1\quad \frac{q_2}{K+H_2}=\lambda_2\quad \frac{q_1}{H_1}=\lambda_1$$

とすれば

式(3)より

$$\theta_{h0}=\frac{W_1}{H_1}$$

式(5)より

$$\theta_{b0}=\frac{KW_1}{H_1(K+H_2)}$$

また

$$\frac{Kq_1}{(K+H_2)q_1-H_1q_2}=A$$

と置けば

式(5)は次のごとく書換えられる

$$\theta_B = n^2 \theta_{b0} \left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda_2}} \right) + \theta_{b'} e^{-\frac{t}{\lambda_2}} + A \left(\theta_{h'} - n^2 \theta_{h0} \right) \left(e^{-\frac{t}{\lambda_1}} - e^{-\frac{t}{\lambda_2}} \right) \dots\dots\dots (6)$$

式(6)を t につき微分して極値を与える時間 t_p を求めると

$$t_p = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \log \left\{ \frac{A(\theta_{h'} - n^2 \theta_{h0}) + n^2 \theta_{b0} - \theta_{b'}}{A(\theta_{h'} - n^2 \theta_{h0})} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

また式(3)は次のごとく書き換えられる

$$\theta_H = \theta_{h0} \left\{ n^2 - \left(n^2 - \frac{\theta_{h'}}{\theta_{h0}} \right) e^{-\frac{t}{\lambda_1}} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

式(6)(7)(8)に $n, \theta_{h'}, \theta_{b'}$ を適当な値を与えれば任意の条件における θ_B, θ_H が求められる。

以上は一般条件について解いたもので特定条件に対して整理すると下記となる。

[全負荷始動 cold start 遅れ釈放計算式]

式(8)にて $\theta_{h'} = 0 \quad t = t_1$ と置けば、

$$\theta_{h1} = n^2 \theta_{h0} \left(1 - e^{-\frac{t_1}{\lambda_1}} \right) \dots\dots\dots (9)$$

式(6)にて $\theta_{h'} = 0 \quad \theta_{b'} = 0 \quad t = t_1$ と置けば

$$\theta_{b1} = n^2 \theta_{b0} \left(1 - e^{-\frac{t_1}{\lambda_2}} \right) - n^2 A \theta_{h0} \left(e^{-\frac{t_1}{\lambda_1}} - e^{-\frac{t_1}{\lambda_2}} \right) \dots\dots\dots (10)$$

式(6)(7)にて $\theta_{h'} = \theta_{h1} \quad \theta_{b'} = \theta_{b1} \quad n = 1$ とすれば、第4図8—11—12に曲線は

$$\theta_B = \theta_{b0} \left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda_2}} \right) + \theta_{b1} e^{-\frac{t}{\lambda_2}} + A \left(\theta_{h1} - \theta_{h0} \right) \left(e^{-\frac{t}{\lambda_1}} - e^{-\frac{t}{\lambda_2}} \right) \dots\dots\dots (11)$$

$$\left\{ t_p = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \log \frac{A(\theta_{h1} - \theta_{h0}) - (\theta_{b1} - \theta_{b0})}{A(\theta_{h1} - \theta_{h0})} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

式(12)の t_p を式(11)の t に代入すれば θ_B の極値 θ_{Bm} が求められる。したがって任意に t_1 を仮定し θ_{bm} がバイメタルの釈放温度上昇 θ_{b2} に等しくなる t_1 を求めることにより全負荷始動 cold start 遅れ釈放特定を求めることができる。

[無負荷始動 cold start 遅れ釈放計算式]

$\theta_{h1} \theta_{b1}$ は前述の式(9)(10)をそのまま使用し得る。

式(6)(7)にて $\theta_{h'} = \theta_{h1} \quad \theta_{b'} = \theta_{b1} \quad n = 0$ と置けば第4図8—11—12 曲線は

$$\theta_B = \theta_{b1} e^{-\frac{t}{\lambda_2}} + A \theta_{h1} \left(e^{-\frac{t}{\lambda_1}} - e^{-\frac{t}{\lambda_2}} \right) \dots\dots\dots (13)$$

$$t_p = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \log \left(\frac{A \theta_{h1} - \theta_{b1}}{A \theta_{h1}} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \dots\dots\dots (14)$$

無負荷始動と全負荷始動の場合、理論的には遅れ釈放特性は相違するものであるが実用的には大差は無い。

3. 特に遅動特性を必要とする場合の適用

RCa 3737 II形はヒートエレメントならびにバイメタルの熱容量が大きく設計されているので遅れ釈放を考慮しても始動時間の長い電動機まで使用可能であるがそれ以上の遅動特性を要する場合はRC 3737-20形を推奨する。

この形は飽和変流器を介してRC 3737-4を作動されるもので一次側には数倍の突入電流が流れても二次側には2～3倍の電流しか流れないように設計されている。したがって cold start 特性も長時間の所を使っている上に遅れ釈放の影響を受け難くなっているのできわめてすぐれた特性を有する。なおこの形は調整目盛の上下によって飽和度が異なるため若干特性が変化する。

IV. 速動特性を要求される場合

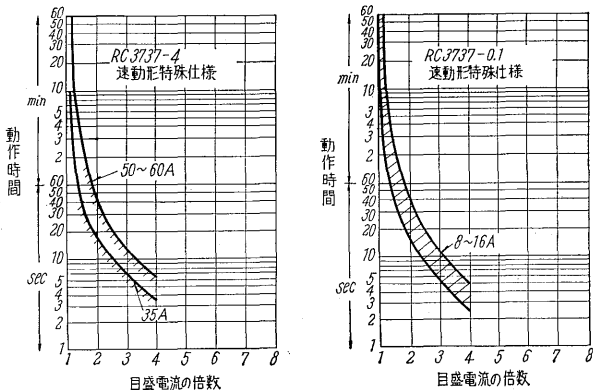
1. 一般

RC 3737-0, -1, -4, -10 形はその標準特性において速動形といい得る。RC 3737 II, -20 形で動作時間が長過ぎるような電動機に対しては10形以下の形を使用されることをおすすめする。

2. 空気調節器用電動機, 水中ポンプ電動機などへの適用

冷房機コンプレッサ専用電動機でその内部に冷媒が通過して強制冷却される形の電動機, あるいは水中ポンプモータのように内部に水が通流して強制冷却される電動機はその特性上おさえられる定格電流以上の電流が流れても温度が異常にあがらないので俗に言えば無理をしても使えることになる。しかしながら拘束条件に対する短時間の温度上昇に関しては冷媒の恩恵はほとんど受けないので早くしゃ断する必要がある。したがって必然的に特に速動性のサーマルリレーが要求される。

当社においては空気調節器コンプレッサ電動機用として早くからこの用途に対する研究を行っており第8図にその特性の一例を示すようなRC 3737-0, -1, -4 形の



第8図 速動形サーマルリレーの特性例

Fig. 8. Characteristics of quick action type thermal overload relay (example)

特殊仕様のものも製作可能となっている．もちろんこれは汎用品では無理であるのでオーダーメイドをお願いしたい．そして電動機特性との兼ね合いがあるゆえその都度の詳細な仕様の打合せを必要とする．

3. 安全増防爆電動機に対する適用

安全増防爆構造のかご形誘導電動機の許容拘束時間に対する温度上昇限度に対して工場電気設備防爆指針によれば電動機に対して第2表の値が規定されている．

第2表 許容拘束時間に対する温度上昇限度 (deg)
Table 2. Limit of temperature for permissible locking time

	絶縁階級	温度上昇限度				
		G 1	G 2	G 3	G 4	G 5
固定子および絶縁した回転子巻線	A	120-θ	120-θ	120-θ	85-θ	50-θ
	E	135-θ	135-θ	135-θ	85-θ	50-θ
	B	145-θ	145-θ	140-θ	85-θ	50-θ
	F	170-θ	170-θ	140-θ	85-θ	50-θ
	H	195-θ	195-θ	140-θ	85-θ	50-θ
絶縁していない回転子		360-θ	230-θ	140-θ	85-θ	50-θ

(注) θ は定格負荷で連続運転時の巻線の温度上昇を示す．

なお許容拘束時間は第2表の値をこえるおそれのない運転を保証されたもの以外はなるべく 10 sec 以上、いかなる場合でも 5 sec を下ることができないとされている．したがってサーマルリレーの側からみれば単に JIS 規格に適合しているからといって安心はできず、適用に関しては必ず電動機の許容拘束時間を確かめた上その時間よりも cold start 特性(遅れ解放特性ではない)が下回るリレーを選ばなければならない．

対象サーマルリレーとしては RC 3737-0, -1, -4, -10 形があげられるが電動機の許容拘束時間によっては必ずしも満足とはいえない場合が考えられる．このような場合は特別仕様により速動形特殊仕様のサーマルリレーをオーダーしていただきたい．

V. 繰返し自動復帰特性を要求される場合

1. 一般

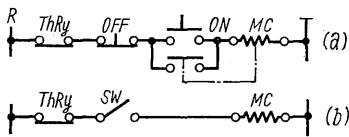
サーマルリレーが動作することは一般的には負荷条件あるいは機械的条件の事故を意味する．したがって動作後は各部の点検を行ない故障を排除してからでないと再始動させてはならない．点検後復帰ボタンを確認のために押してから、ふたたび運転に入れる意味から手動復帰形サーマルリレーが最も合理的である．

防食開閉器などで密閉構造の箱内に使用する場合、あるいはサーマルリレーの設置場所が手のとどきにくいところにある場合には自動復帰形が用いられる．この場合には再始動防止のために電磁接触器は自己保持回路を有する回路構成をしなければならない〔(第9図(a))〕．

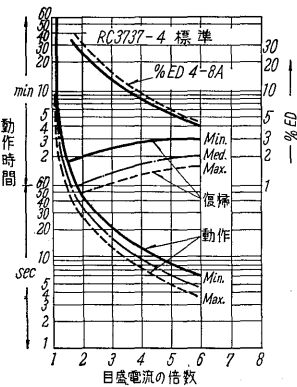
2. 空気調節器(ルームクーラ、冷蔵庫など)に対する適用

ルームクーラなどの場合外気温度の異状上昇による過負荷、あるいは電圧降下による始動不能、コンプレッサの圧力バランス前の再始動による始動不能などにおいてはサーマルリレーが動作する．そしてこれは致命的な故障とはいえず、また一般家庭においてその都度復帰ボタンを押すことがいやがられる場合もあるので確認操作をはぶくため第9図(b)のように自己保持回路の無い回路に組まれることがある．この場合リレー動作後復帰するやいなや再閉路されるので過負荷または拘束条件が消滅しない限りリレー接点はオンオフを繰り返えし、これに伴って電動機も加熱冷却が繰り返えされる．電動機巻線の温度上昇に関してはオン期間と一周期の比すなわち利用率%EDが重要となり、また周期に関しても必ずしも無視はできない．したがってこのような使い方をする場合のはリレーと電動機の協調をとることがぜひ必要となり、適用電動機での実験により確認した方が安全である．第10図に RC 3737-4 標準形 4-8 A エLEMENT の繰り返えし自動復帰の場合の特性一例を示した．このような用途に使用される場合は必ず仕様の打合せを必要とする．

なお RC 3737-0, -1 形の自動復帰形標準品は接点に応差の動きが無い．したがって動作直後ただちに復帰す



第9図 サーマルリレー回路
Fig. 9. Connection diagram



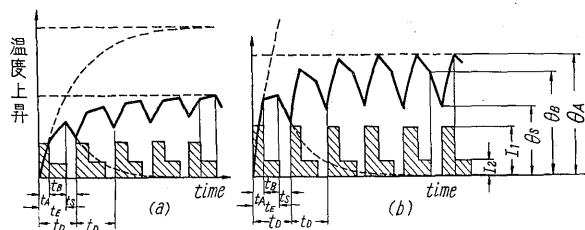
第10図
自動復帰特性一例
Fig. 10.
Examples of self-resetting characteristics

るから、きわめて短時間の周期でオン、オフが繰り返えされ、電磁接触器はあたかもブザーのように振動するからこのような使用は不可能である。

VI. 間欠使用電動機に対する適用⁽³⁾

間欠使用電動機をサーマルリレーで保護することは慎重なる検討を要する。まず電動機側にとって考えてみるに、その温度上昇が単に通過電流の 2 乗平均に必ずしも比例しないゆえ電動機のメーカに確認する必要がある。すなわち銅損と鉄損の配分が関係し、もし後者の占める割合が大きい場合は 2 乗平均のみで過負荷か否かの判定はできず平均損失を求めて判定しなければならないからである。また加速減速中は電動機の損失は発生しているにもかかわらずファン冷却が充分行なわれないからその実周期よりも短い等価周期を用いる必要がある。

上記を考慮のうえ電動機の使用可能が確認された場合規則的な運転を行なうという条件であればその電流波形により計算によりリレーの整定電流を定めることは必ずしも不可能ではない。すなわちこの許容された運転条件に対してサーマルリレーのヒートエレメント、バイメタルの温度上昇がきめられるゆえその値で trip しないように目盛整定をすればよい。



第 11 図 間欠使用時の温度上昇
Fig. 11. Temperature rise in intermittent use

第 11 図に間欠使用時の温度上昇経過を示す。始動電流 I_1 が t_A sec 後運転電流 I_2 に低減し t_B sec 間運転され後 t_S sec 休止し総計 t_D sec の周期でふたたび始動停止が繰り返えられる。

いまサーマルリレーの熱時定数を T_C , $I_1/I_2=n$ とすれば

$$n^2 \left(1 - e^{-\frac{t_A}{T_C}} \right) > \left(1 - e^{-\frac{t_A+t_S}{T_C}} \right)$$

なる場合は第 11 図(b)のごとく $\theta_A > \theta_B$ となる。逆の場合は図(a)となる。運転開始後 n 回目の θ_A , θ_B , θ_S を θ_{An} , θ_{Bn} , θ_{Sn} とし I_1 が連続に流れた場合の温度上昇を θ_m , I_2 が連続流れたときを $\theta_{m'}$ と置けば

$$\theta_{An} = \theta_m \frac{\left(1 - e^{-\frac{nt_D}{T_C}} \right) \left(1 - e^{-\frac{t_A}{T_C}} \right)}{1 - e^{-\frac{t_D}{T_C}}}$$

$$+ \theta_{m'} \frac{\left(1 - e^{-\frac{(n-1)t_D}{T_C}} \right) \left(e^{-\frac{t_A+t_S}{T_C}} - e^{-\frac{t_D}{T_C}} \right)}{1 - e^{-\frac{t_D}{T_C}}} \dots\dots(15)$$

$$\theta_{Bn} = \frac{1 - e^{-\frac{nt_D}{T_C}}}{1 - e^{-\frac{t_D}{T_C}}} \left\{ \theta_m \left(1 - e^{-\frac{t_E}{T_C}} \right) - \left(\theta_m - \theta_{m'} \right) \left(1 - e^{-\frac{t_B}{T_C}} \right) \right\} \dots\dots(16)$$

$$\theta_{Sn} = \theta_{Bn} e^{-\frac{t_S}{T_C}} \dots\dots(17)$$

飽和後すなわち $N \rightarrow \infty$ の時は

$$\theta_{A\infty} = \theta_m \frac{1 - e^{-\frac{t_A}{T_C}}}{1 - e^{-\frac{t_D}{T_C}}} - \theta_{m'} \frac{1 - e^{-\frac{t_A+t_S}{T_C}}}{1 - e^{-\frac{t_D}{T_C}}} + \theta_{m'} \dots\dots(18)$$

$$\theta_{B\infty} = \frac{\theta_m \left(1 - e^{-\frac{t_E}{T_C}} \right) - \left(\theta_m - \theta_{m'} \right) \left(1 - e^{-\frac{t_B}{T_C}} \right)}{1 - e^{-\frac{t_D}{T_C}}} \dots\dots(19)$$

$$\theta_{S\infty} = \theta_{B\infty} e^{-\frac{t_S}{T_C}} \dots\dots(20)$$

通電電流の自乗に温度上昇が比例すると仮定し、遅れ積放の影響を無視すればサーマルリレーの整定電流は、下式の I_0 , I_0' うち大きい方に合わせれば良い。

$$I_0 = \sqrt{I_1^2 \frac{1 - e^{-\frac{t_A}{T_C}}}{1 - e^{-\frac{t_D}{T_C}}} - I_2^2 \frac{1 - e^{-\frac{t_A+t_S}{T_C}}}{1 - e^{-\frac{t_D}{T_C}}} + I_2^2} \dots\dots(21)$$

$$I_0' = \sqrt{I_1^2 \left(1 - e^{-\frac{t_E}{T_C}} \right) - \left(I_1^2 - I_2^2 \right) \left(1 - e^{-\frac{t_B}{T_C}} \right)} \dots\dots(22)$$

以上で間欠使用電動機に対するサーマルリレー整定の基本的な考え方の説明を終える。実用に際しては運転条件は必ずしも正確な周期で繰り返えられるものとは限らず、また場合によっては遅れ積放も考慮に入れなければならないのでケースバイケースで検討しなければならない。

VII. む す び

以上でサーマルリレーの特性ならびに特殊使用に対する基本的考え方の説明を終える。種々の特殊使用に関してはとうていこの小文のみでは解決されないが適用に関してなんらかの参考になれば幸いである。

参考文献

- (1) 電力機器便覧：P 361
- (2) 三橋：富士時報 28 No.4 (昭 30)
- (3) Hans Haas：Siemens Z. August 1958



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。