

誘導電動機の保護について

Protection Devices of Induction Motors

村上博武*
Hirotake Murakami

I. ま え が き

現在低圧誘導電動機の大多数のものは、熱動形過電流継電器（以下サーマルリレーと称す）で過負荷保護されている。しかし最近は、自動化、省力化の発達から電動機の間欠運転、正逆運転、変動負荷運転が増加してきている。この場合線電流で固定子巻線の温度上昇を模写する従来の保護方式（サーマルリレーや誘導形過電流継電器）では保護できない場合があり、直接固定子温度を感知し保護する必要が生じてきた。このため当社では、新形の PTCサーミスタによる電動機過熱保護装置（商標・モータガード）を新発売した。またヒューズコントロールセンタなどでは、欠相保護の必要な場合があるが、電磁式、電子式 2E (3E) リレーでは高価であり簡単には使えなかったが、このたび安価な欠相保護付サーマルリレー（2Eサーマルリレー）を新発売した。この機会に、これらを紹介するとともに、主として低圧誘導電動機保護の立場から従来からのサーマルリレーと 2Eサーマルリレー、モータガードの使いわけについて述べる。

II. 誘導電動機の保護項目と適用継電器

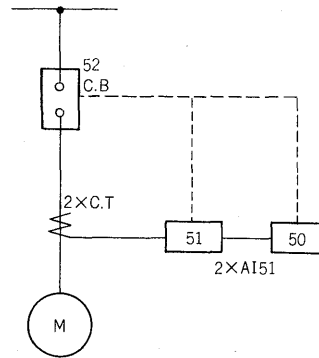
1. 保護項目と適用継電器

誘導電動機まわりの保護目的は (1) 電動機そのものの保護 (2) 被駆動機の保護 (3) 安全確保 (4) 配電設備の保護などが考えられるが代表的な保護項目と適用継電器をまとめて第 1 表に示した。

2. 過負荷保護および短絡保護

誘導電動機は、多くの場合過負荷保護および短絡保護装置によって保護されている。

高圧電動機の代表的な保護例を第 1 図に示す。かご形誘導電動機では、瞬時要素付長時限過電流継電器（ $2 \times C.T + 2 \times AI 51$ ）で過負荷および短絡を検知してしゃ断器を開路して保護している。主回路が高圧ヒューズ、高圧電磁接触器の構成では、短絡は高圧ヒューズで、過負荷は長時限過電流継電器（AI 5 準標準形）により高圧電磁接触器を開路して保護する。主として高圧電動機過負荷保護に使用される誘導形過電流継電器の長所は、つぎのとおりである。

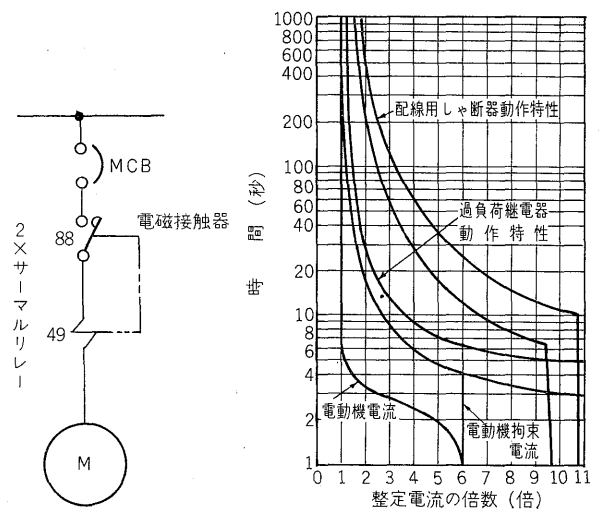


第 1 図
高圧誘導電動機の保護例
Fig. 1.
An example of high tension induction motor protection

- (1) 電流、時限の整定が広範囲に変えられるので種々の電動機容量、熱特性にマッチした保護が一種類の継電器で行なえること
- (2) 精度の良いこと

しかし欠点は、高価なことである。したがって一般に低圧電動機保護には使用されない。

低圧電動機の代表的な保護例を第 2 図に示す。この例では主回路は配線用しゃ断器 (MCB) と電磁開閉器によって構成されている。配線用しゃ断器の代わりにヒューズ



(a) 単線結線図 (b) 保護協調

第 2 図 低圧誘導電動機の保護例

Fig. 2. An example of low tension induction motor protection

* 技術企画部

第 1 表 三相誘導電動機保護項目と適用継電器
Table 1. Protection items and corresponding devices for induction motors

保 護 対 象	適 用 継 電 器	RC3737 シリーズ サーマル 熱動形過 電流継電 器	2Eサー マルリレ ー 欠相保護 付熱動形 過電流継 電器	モーター ドスター Cスター による保 護装置	ガ P T ミ よ 保 護	AI5 長 限 時 誘 導 形 過 電 流 継 電 器 (標準)	AI3 誘 導 形 過 電 流 継 電 器 (標準)	AI51 瞬 時 要 素 付 長 時 過 電 流 継 電 器	AI31 瞬 時 要 素 付 過 電 流 継 電 器	AA7 可 動 鉄 片 形 過 電 流 継 電 器	UVA7 UVI3 可 動 鉄 片 形 誘 導 形 不 足 電 圧 継 電 器	AI2+ R1402F 誘 導 形 逆 相 過 電 流 継 電 器 (標準)	軸 受 温 度 計	サ ー チ コ イ ル	
過 負 荷 保 護 (含拘束保護)		○	○	○	○	○	○	○	○						注5) △
変 動 負 荷, 反 復 負 荷, 過 負 荷 保 護		△	△	○											○
短 絡 保 護								○	○	○					
不 足 電 圧 保 護	注1) △	注1) △	注1) △	注3) △	注1) △	注1) △	注1) △					○			
三 相 不 平 衡 保 護				○								○			
逆 相 保 護												○			
欠 相 保 護			○	○								○			
冷 却 風 断 保 護				○											○
軸 受 保 護													○		
周 囲 温 度 が 基 準 周 囲 温 度 以 上 に な っ た 場 合 の 保 護				○											
被 駆 動 機 ま た は 電 動 機 の 機 械 的 故 障 の 保 護	注2) △	注2) △	注2) △	注4) △	注2) △	注2) △	注2) △	注2) △	注2) △						
備 考	注1) 不 足 電 圧 に 基 づ く 過 電 流 は 保 護 可 注2) 過 電 流 を 場 合 保 護 可 注3) 不 足 電 圧 に 基 づ く 過 熱 は 保 護 可 注4) 過 熱 を 生 じ る 場 合 保 護 可			注3) 不 足 電 圧 に 基 づ く 過 熱 は 保 護 可 注4) 過 熱 を 生 じ る 場 合 保 護 可	主 として 高 圧 誘 導 形 電 動 機 の 保 護	主 として 高 圧 誘 導 形 電 動 機 の 保 護	主 として 高 圧 誘 導 形 電 動 機 の 保 護	主 として 高 圧 誘 導 形 電 動 機 の 保 護	主 として 高 圧 誘 導 形 電 動 機 の 保 護						注5) 熱 時 定 数 が 大 け づ け 拘 束 保 護 は 不 可

ーズが使用されるケースも多い。第2図(b)に保護協調例を示してある。主として低圧電動機過負荷保護に使用されるサーマルリレーの長所はつぎのとおりである。

- (1) 安価であること
 - (2) 安価な割には相当の保護性能を持っていること
 - (3) 電動機保護上理想的な種々の反限時特性が容易に得られること
 - (4) 小形なので電磁接触器と組合わせてコンパクトな電磁開閉器にまとまること
- 一方欠点はつぎのとおりである。

- (1) 整定範囲が狭いので電動機容量によって適当な仕様のものを選ぶ必要があること
- (2) 反限時特性が不変なので電動機または負荷の種類によっては運動形、速動形のものを選ばねばならないこと

しかしながらこの欠点は適用資料、在庫の整備などによって容易に最適なサーマルリレーが入手できるようになっている。だからほとんどの低圧誘導電動機(したがって大多数の電動機)は、サーマルリレーで過負荷保護されている。

III. 欠相保護付サーマルリレー (2Eサーマルリレー)

三相誘導電動機まわりの欠相は、下記のものが考えられる。

1) 単純欠相

分岐回路から一組のヒューズ、1台の電磁開閉器を介して1台の電動機を開閉する標準の回路において、ヒューズが1本不良であるとまたは工事の不手際により1線のゆるみ、はずれなどによって電動機に単相電圧が加わるとき

2) 電動機巻線内の欠相

△結線の電動機において、たとえば1線断線するとか、あるいは不良Y-△スイッチを使って1接点が接触不良を起こして一相欠相となり電動機がV結線の状態になったとき

3) 変圧器一次側欠相

電動機が変圧器の二次より給電されているときに変圧器の一次側にあるヒューズが断線して欠相したとき

4) 電動機群運転時の共通母線の欠相

ここで3) 4)については、単に電動機だけが影響を受けるばかりでなく、配電設備全体として困る問題であるから、その観点から保護を考えるべきである。電動機保護の視野からすれば、1) 2)を検討すれば良い。

まず最初に過電流継電器は、定格線電流に設定した場合これ以上の過電流で動作するものであるから、欠相時に健全相には定格線電流 I_n が流れているという条件で電動機が保護できるかどうかを第3図により検討する。

(1) a 図単純欠相、電動機人結線では、二相に定格相電流 i_n が流れるだけなので、2エレメントで保護できる。

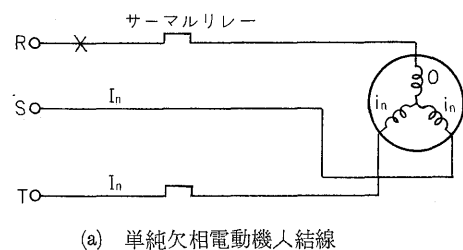
(2) b 図単純欠相、電動機△結線では、1相には $2/\sqrt{3}=1.15$ 倍の相電流が流れ、この相の熱損失は、定格時の $(2/\sqrt{3})^2=1.33$ 倍となる。しかしほかの二相ではおのおの $1/\sqrt{3}$ 倍の相電流が流れ熱損失はおのおの定格時の $1/3$ 倍である。したがって固定子全巻線熱損失は定格時の $2/3$ であり定格時より少ないことおよび各相間での熱平衡によって固定子巻線最高温度は許容値内に収まるかも知れないことが想像される。この点に関しては、15 kW までの△結線電動機で実験し問題のないことを確認している。まとめると単純R相の場合はY△結線のいかにかわからず、2エレメントで15kWまでの電動機は

保護可能である。

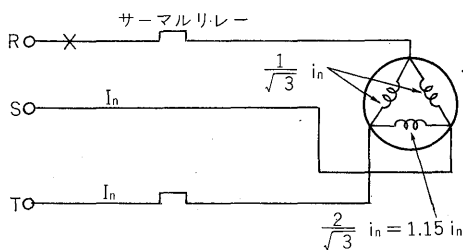
(3) c 図電動機巻線内欠相では、図のとおり2エレメントでは保護できないことがあり厳密には3エレメント必要である。しかしこの事故は特殊なものであり普通ここまで考える必要はないであろう。

以上は単純な検討であるが、さらに深く考えて見る必要がある。欠相時には回転子に逆相磁界により約2倍の商用周波数の電流が流れる。ゆえに普通かご形すなわち小容量のかご形電動機や巻線形電動機では問題ないが、深みぞ形、二重かご形、すなわち中、大容量のかご形電動機では回転子導体の表皮効果の影響が大きい。したがって逆相分電流に対する回転子抵抗がいちじるしく大きくなり回転子熱損失が増大する。全閉形の電動機ではこの発生熱が固定子に導かれ固定子の温度上昇がいちじるしくなる。さらに大形電動機ほど各相間の熱結合が疎になり熱平衡がむずかしくなる。先にもふれたように各種容量かご形電動機(Yおよび△結線)巻線形電動機について欠相時に健全相に定格線電流 I_n を流した場合の固定子巻線最高温度との関係を実験した。その結果では、15kW以上のかご形誘導電動機では、定格温度上昇値を上まわるものがでてきている。

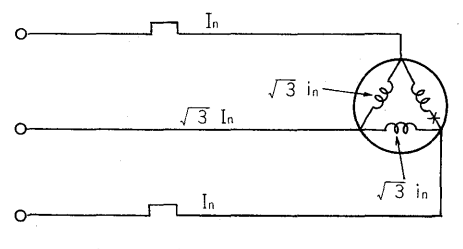
以上の検討により今回、欠相保護付サーマルリレー(2Eサーマルリレー)を発売した。特に上記理由で200Vで15~55kWまで用は標準在庫している。さらに単に



(a) 単純欠相電動機人結線



(b) 単純欠相電動機△結線

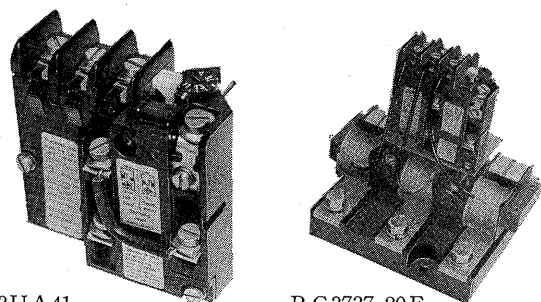


(c) 電動機巻線欠相

I_n = 定格線電流
 i_n = 定格相電流

第3図 欠相時の検討

Fig. 3. Examinations of open phase



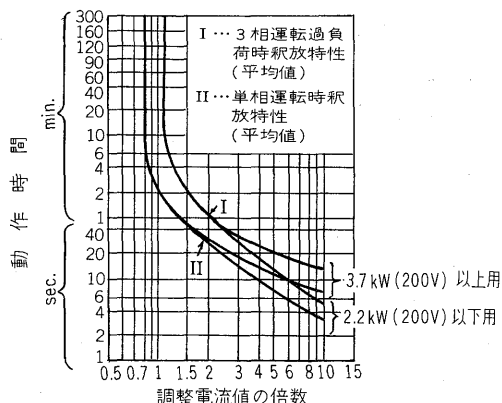
3UA41

RC3737-20E

2.2kW (200V)以下用

3.7kW (200V)以上用

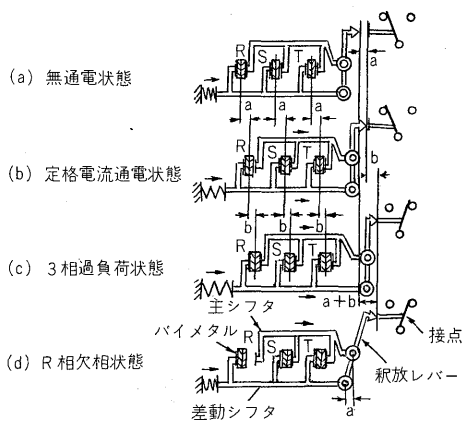
(a) 2E形リレー外観



(b) 2Eリレー動作特性曲線例

第4図 2Eリレー

Fig. 4. 2E relay



第 5 図 2 E 形リレー動作原理

Fig. 5. Fundamental action principles of 2 E relay

電動機が過熱するから保護するのではなく、欠相を放置することの種々の障害をも考慮し、15kW 以下用のものも供給できる。この 2 E サーマルリレーは比較的安価であり利用価値は高い。

第 4 図に 2 E サーマルリレーの外観（ほとんど標準サーマルリレーと変わらない）と動作特性の一例を第 5 図にその動作原理を示す。

標準リレーは、バイメタルのわん曲を接点に伝えるシフタが一組であるが、2 E リレーには、主シフタと差動シフタの二組があり、これらが接点しゃく放レバーに連結されていることが特長である。それによって欠相時に、二つのシフタの動きに差が生じしゃく放レバーが回転して通常の三相過負荷よりも接点が早くしゃく放する。第 5 図でこの動作を具体的に説明する。

(a) 無通電状態では、三つのバイメタルはまったくわん曲せずスタート位置にある。この状態では主シフタと差動シフタはたがいにバイメタルに接しており、しゃく放レバーは a だけ余裕をもって接点を押していない。

(b) 定格電流通電状態では、三つのバイメタルは若干すなわち、a だけわん曲し、主シフタ、差動シフタおよびしゃく放レバーは a だけ右に平行移動するが接点はまだしゃく放しない。

(c) 三相過負荷状態では、上記の定格電流通電状態よりさらに b だけバイメタルがわん曲して接点をしゃく放する。

(d) R 相欠相状態では、R 相のバイメタルがわん曲しないで、S、T 相のバイメタルがわん曲するので、差動シフタは R 相バイメタルに引掛ってなんら移動せず主シフタは、S、T 相バイメタルによって右方向に移動する。このためにしゃく放レバーは差動シフタとの連結支点を中心として主シフタによってある角度右回転する。この場合の差動レバーの先端の移動量はレバー比で拡大され

るので三相過負荷状態よりも短い時間で接点がしゃく放する（なお S 相あるいは、T 相が欠相した場合も同様である）。

IV. PTCサーミスタによる電動機過熱保護装置（商標 モータガード）

最近あらゆる分野で自動化が進み、標準の三相かご形誘導電動機でも単に連続運転するという使われ方から間欠運転、正逆回転運転、変動負荷運転などで使用されるケースが激増してきた。この場合線電流で固定子巻線温度上昇値を模写するサーマルリレーや誘導形電流継電器では保護困難となり、直接固定子巻線の温度を検知し保護する必要がある。かかる情勢から IEC では、PTCサーミスタによる電動機過熱保護装置の草案を検討中である。

この概要を紹介するとつぎのとおりである。

- (1) 保護対象は 660V 以下の電動機であること
- (2) 過負荷保護のみでなく拘束保護も可能であることたとえば E クラス全閉形では、定格温度（抵抗が急変する温度）130℃の素子により、過負荷保護を行なうとともに拘束時には、固定子巻線が短時間許容温度 200℃になる前にいち早くしゃく放するものである。

当社ではこの重要性を認識し、上記 IEC 草案にマッチした優秀でかつ経済的な保護装置を開発し商標モータガードとして新発売した。

モータガードのハードとして最大の特長は

- (1) きわめて時定数が小さく、過負荷保護、および拘束保護が行なえること
- (2) センサは小さくかつ円に近い構造でありしたがって機械的強度が強く電動機への組込が容易で、故障が少ないことである。

ソフト面での特長は、第 1 表でわかるようにほかの保護装置がいわば単機能形であるのに対し、モータガードは多機能形であることから発生する。

すなわち機能としてはつぎのものがある。

- (1) 過負荷保護および拘束保護
- (2) 変動負荷、反復負荷運転での過負荷保護および拘束保護
- (3) （不足電圧保護）
- (4) 三相不平衡保護
- (5) 欠相保護
- (6) 冷却風断保護
- (7) 周囲温度が基準周囲温度以上になった場合の保護
- (8) （被駆動機または、電動機の機械的故障の保護）

ゆえに

- (1) クレーン用電動機
- (2) 工作機用電動機

- (3) エレベータ用電動機
- (4) 各種自動化設備用電動機（電動操作機，立体倉庫関係電動機，電動ハンドなど）
- (5) 各種産業用電動機
- (6) 短時間定格電動機
- (7) 極数変換電動機
- (8) ファン駆動用電動機などの重慣性負荷電動機

などに適用することができる。特に最近では設備が大形化し故障による設備の停止および取替え時間により生ずる生産ストップによる損害はますます大きくなってきているから、電動機を故障させずに完全保護することは重要である。

ただし一般にかご形誘導電動機は、大容量になるとロータクリティカル機（固定子の温度よりも回転子の温度の方が早く限界温度に達するもの）となり、強度のロータクリティカル機では固定子温度を検知保護しただけでは、完全に保護できない。すなわち拘束保護ができないのである。したがってその場合は、モータガードで過負荷保護を行なわせ、拘束保護はサーマルリレーで行なわせれば良い。

ロータクリティカル機の拘束保護はこのほか、(1)近接スイッチなどでモーションディテクタを構成し、回転子

第2表 低圧かご形誘導電動機保護指針

Table 2. Application guide of protection devices for low voltage induction motor

電動機種類	ステータクリティカル機		ロータリティカル機	
	小容量かご形誘導電動機	大容量かご形誘導電動機	巻線形誘導電動機	安全増防爆形電動機の一部
一定負荷	過負荷保護 拘束保護	A	A	
* 変動負荷 反復負荷	過負荷保護 拘束保護	B	B A	

ただしA：サーマルリレーまたは2Eサーマルリレー
B：モータガード

注* 一定スケジュールで反復使用する場合には、サーマルリレーでも保護可能である。ただし整定値計算は面倒である。

がロックされたことを検知する方法と、(2)回転子温度を無接触で検知する方法が考えられるが、経済的に問題があり必しも一般的でない。なおモータガードの詳細については別稿で取上げているので参照されたい。

V. む す び

以上主として低圧誘導電動機の保護の観点から、サーマルリレー，2Eサーマルリレー，モータガードについて記述したが、最後にこれらの使い分けについて第2表のとおりまとめて見た。

技術論文社外公表一覧

題 目	所 属	氏 名	発 表	機 関
連続ヘリウム液面計の応答速度	中央研究所	石原 昭雄 木村 幸雄	第9回低温工学研究発表会	5月 低温工学協会
超電導コイルの安定化	中央研究所	藤原 治之昭 石原 昭之昭	第9回低温工学研究発表会	5月 低温工学協会
超電導四極界磁コイル	中央研究所	藤原 治之昭 石植 和雄	第9回低温工学研究発表会	5月 低温工学協会
逆導通サイリスタの定格および特性について	中央研究所	白井 祺一郎	合同研究会発表	5月 電気学会
弾性ロータのつりあわせ法の実際と問題点	川崎工場	鷺沢 忍	講習会	5月 機械学会
スポットネットワークシステムについて	電力技術第二部	菊池 通夫	電気機械工業新聞	5月 電気機械工業新聞社



*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。