

## 最近の電動機制御 ①

東京芝浦電気KK府中工場\* 尾山 純一\*\*

## 1. プロセスと電動機動作との協調

1.1 電動機制御の考え方の変化<sup>1)</sup>

電動機の制御は産業の発達、製品又は成果の質と量の向上、絶縁材料や半導体素子の発展、自動制御技術の適用により、運転の安定性や制御精度と速応性の向上、運転操作や監視保守の簡易化に向けて急速に進歩している。特に電動機を使用する各種プロセスは、その製品や成果を所要目的に合致させるように電動機が動作することを要求している。電動機は単に電気エネルギーを機械エネルギーに変換させるのみならず、そのエネルギーの正逆変換の量と方向との制御の容易さを十分に活用する必要がある。そのためには電動機はプロセス運転に適した静特性（トルク-速度特性）をもつと共に、制御過程における駆動系を含めた動特性と制御方式との協調が必要である。従って電動機は単に出力と回転数や速度調整範囲のみでなく、制御方式を含めた制御性能の適正さから定められ、電動機を各種制御要素の一つとして考えるようになり、制御動作によって電動機定数（たとえば、 $GD^2$ 、出力、台数）を決定する。

一般のプロセスでは、その特性特に動特性については定性的に理解されていても定量的に不明確な場合が多く、更に多数の変動要素—原料、電源、負荷量、機器内部ドリフト、温度、湿度、素材特性—があり、運転員の技能と保守状況とがプロセス運転の変動となる。故にプロセス運転後も制御系や操作監視制御に変更修正が必要になる場合も多いので、制御装置にはある程度の融通性のあることが望ましい。制御の速応性は機械系を含めた蓄積エネルギーの迅速なる吸収放出で与えられるので、電動機制御系はエネルギーの可逆制御の容易なもの、即ち電動機作用と発電機作用とを簡単に切換制御できるように構成することが重要となる。

## 1.2 電動機速度制御とはずみ車効果

電動機の制御はトルクと速度との方向と量とを所望値

に保つことであり、速度のもつ運動エネルギー蓄積が動作遅れの一因となり、トルクの発生を電磁現象によるので電磁気エネルギー蓄積が動作遅れの他の一因であり、電動機制御にはこの二つの遅れ要素が過渡的状態の支配的要素である。

駆動系のトルク変化が速度変化を招来するから、一般に速度制御はトルク制御で行なわれ、トルクは電流と磁束との積であり、磁気飽和と電圧電流の許容値と磁氣的相互干渉とが制御性能を劣化させる。電動機の動作プロセス運転に適応するには、この速度変化が始動時から連続運転中も、プロセス動特性に協調していることが必要である。

定速連続運転プロセスで始動過程を問題にしない電動機は静特性（トルク-速度特性）がそのプロセスの静特性に適応していればよいが、速度制御や頻繁始動停止制御を要するプロセスには電動機の動特性と制御器具動作（閉閉制御能力や寿命）との適応性に留意する。

与えられたプロセスに対して電動機の種別を定めると、制御の動特性の向上に残された要素ははずみ車効果と磁氣的慣性との低減、制御系のゲインの増加と安定化とであり、制御機器諸定数の協調により経済的制御系を構成することになる。一般に制御電力や設備機器容量を大きくすると容易に速応性を向上できる。

(a) 電動機の加速時間とトルク慣性比

電動機系にて速度  $n_1$  から  $n_2$  迄速度変化する時間  $t$  は

$$t = \frac{\pi GD^2}{2g} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{\tau_r} \quad (\text{s}) \quad (1)$$

である。ここに、 $\tau_r$  = 有効加速トルク =  $(\text{kg} \cdot \text{m}) = (\text{電動機トルク}) - (\text{負荷トルク})$ 、 $g$  = 重力の加速度 =  $9.8 \text{ m/s}^2$ 、 $GD^2$  = はずみ車効果  $(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$  である。

電動機の定格トルク  $\tau_0$ 、定格出力  $k\text{w}_0$ 、定格速度  $N_0$  (rpm) にて停止から  $N_0$  迄加速するに、有効加速トルクが  $\tau_0$  一定であるとする、その加速時間  $t_a$  は

$$\begin{aligned} t_a &= \frac{\pi GD^2}{2g} \cdot \frac{N_0}{60\tau_0} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{N_0}{\tau_0} \\ &= \frac{GD^2}{365} \cdot \frac{N_0^2}{k\text{w}_0} \times 10^{-3} \quad (\text{s}) \quad (2) \end{aligned}$$

であり、有効加速トルクが速度に比例して減少すると、

\* 東京都府中市東芝町1

\*\*副工場長兼制御盤部長

速度の変化は、

$$N = N_0(1 - \varepsilon^{-\frac{t}{T_m}}) \quad (3)$$

$$\text{ただし } T_m = \frac{\pi GD^2}{2g} \cdot \frac{N_0}{60 \tau_0} = t_a \quad (4)$$

となる。従って加減速過程における有効トルクの変化が同一である複数個の電動機に加減速状態は(4)式で比較することができる。そこで上式から

$$\frac{T_m}{GD^2} = 2.74 \times \frac{N_0^2}{k\omega_0} \times 10^{-6} \quad (5)$$

となるから、この  $T_m/GD^2$  をトルク慣性比といい、電動機の定格が定まると一定値であるから、速度の過渡特性を均一にするための  $GD^2$  の値の決定、或は異なる  $GD^2$  の電動機に対し速度変化を揃えるために必要な有効加速トルク値の決定に有用な定数となる。

#### (b) $GD^2$ の調整

電動機出力は  $D^2l$  に比例するから、 $GD^2 \propto D^4l$  となて、 $GD^2$  の調整は回転子半径によるのが有効である。このことは  $GD^2$  を小さくするために細長い回転子の電動機となり、電圧と巻回数、温度上昇、軸の撓み振動、通風冷却、直流機の整流等で出力の制限を受ける。故に  $GD^2$  を更に小さくするには複数電動機の並列駆動が行なわれ、現在は電動機を6分割（3電機子×2）までしている。電動機を複数に分割しても構造部分で制限され、分割数を多くしても  $GD^2$  の低減効果は小さくなり限界がある。

電動機を複数に分散配置すると機械的駆動系の伝達出力も分散されて機構が簡単になり、更に機械的部分的休止やプロセス系の運転速度や経路変更が容易になる効果があるが、個々の電動機の関連速度比の揃速制御や負荷平衡制御が必要となり、それだけ制御が複雑になる。複数電動機の負荷平衡は電動機を電氣的直列接続にすると各電動機の電圧分担を、並列接続では電流分担を夫々平衡化する制御となる。駆動軸に機械的不平衡負荷のある

合には負荷分担に偏差を与えることも容易になるので、複数駆動はプロセス運転の融通性を大きくする効果がある。

広範囲出力調整では容量の異なる親子電動機を機械的に直結するが、切放接手の挿入位置に注意が必要である。複数電動機を直結すると、負荷直結側電動機軸は合計出力で定まり、互換性を考えると、反負荷側電動機軸も太くなり、標準寸法から外れた非標準のものになる。

### 1.3 プロセス動作と電動機の種類

プロセス電動機を決定するには前記のように静と動との両特性を検討するが、それには (i) 始動停止特性（電流、トルク）(ii) 可逆要旨、(iii) 動作頻度、(iv) 運転状態（時間定格、負荷変動）、(v) 速度範囲がある。

一般的に交流電動機は定速運転負荷に適するが、構造が堅固で経済的となるので、可変速度負荷にも適用される。交流電動機は電圧と周波数とで磁束密度の定まる回転磁界を生じ、速度に応じて回路のインダクタンスが変化し電流位相がずれて無効分を生じ、速度制御範囲を広くすると過電流になり易く、能率及び制御精度の低下となり、制御系が複雑になるので、制御の容易さから制御性能の高い用途には直流電動機を使用する。しかし交流電動機は上記の利点から間歇負荷、狭範囲速度制御、多数電動機の一括速度制御等の可変速度制御性能の向上に各種の制御方式が提案されている。

直流電動機では界磁々束が固定し、電機子電流が回転数に応じた交流となるので整流子を必要とする。この整流子の存在が構造的弱点であるが、界磁の強さは別個に制御でき、電機子電圧で速度制御ができるので制御操作が容易となる。磁氣的慣性の低減は磁路の積層と励磁回路の時定数の減少や強め界磁制御で達成される。回転形整流子を制御整流素子（SCR）に置換しようとするものが無整流子電動機で、交流電動機の構造上の堅固さを利用し直流電動機の可変速度性を得ることができる。

$GD^2$  の低減を重要項目とするサーボモータには低慣性電動機やプリント配線モータがあり、 $GD^2$  は普通形電動機の数分の一ないし20分の一となる。前者は特に電動機の回転子を細長くして直径を小さくしたもので、后者は絶縁板に電機子巻線をプリント配線したもので回転子重量を極めて小さくできる。特に後者は極めて  $GD^2$  が小さいが、巻線数の制限から電圧制限を受け、回転子が絶縁板なので空隙長が長くなり磁束密度が低下するので小出力となり、回転子巻線の冷却もよいため電流密度を高くとれるが内部電圧降下も大きくなり、速度変動率が大きて能率が低いのが欠点となる。

### 1.4 直流電動機の加速遅れ<sup>2)</sup>

電圧制御による地励分巻直流電動機は精密速度制御に広く使用される。この場合の電動機速度は電機子電圧に比例するが、 $GD^2$  によって電動機時定数  $T_m$  に相当した速度の時間的遅れがある。この電機子電圧制御による時定数  $T_m$  は一般に下式で与えられる。

$$T_m = \frac{JR_a}{K_V K_T} = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{R_a}{K_B K_T} \quad (5)$$

$J$ : 慣性モーメント =  $GD^2/4g$  ( $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$ )

$R_a$ : 電機子回路電圧降下による等価抵抗 ( $\Omega$ )

$K_V$ : 電圧定数 =  $\frac{V_0 - I_0 R_a}{2\pi N_0 / 60}$  ( $\text{v/rad/s}$ )

$K_T$ : トルク定数 =  $\frac{\tau_0}{I_0} = 974 \times \frac{k\omega_0}{I_0 N_0}$  ( $\text{kg} \cdot \text{m/A}$ )

$K_B$ : 逆起電力定数 =  $\frac{2\pi}{60} K_V = \frac{V_0 - I_0 R_a}{N_0} = \frac{E_0}{N_0}$

(v/rpm)

 $I_0$ : 電動機定格電流(A) $V_0$ : 電動機定格端子電圧(v) $E_0$ : 電動機の定格値における逆起電力(v)

上式を書き直すと、(2)(5)式から

$$T_m = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{R_a}{\frac{E_0}{N_0} \cdot \frac{\tau_0}{I_0}} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{N_0}{\tau_0} \cdot \frac{I_0 R_a}{E_0}$$

$$= t_a \frac{I_0 R_a}{E_0} \quad (s) \quad (6)$$

即ち、 $T_m = \left( \begin{array}{l} \text{定格トルクに} \\ \text{よる始動時間} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{l} \text{定格電流による} \\ \text{電機子電圧降下比} \end{array} \right)$

となる。そこで、 $t_s$  を所要加速時間、 $\tau_a$  をそれに必要な加速トルクとすると、トルクと加速時間と逆比例して、

$$\tau_a = \tau_0 t_a / t_s \quad (7)$$

であるから、

$$T_m = (t_s \tau_a / \tau_0) (I_0 R_a / E_0) \quad (8)$$

$$= \left( \begin{array}{l} \text{所要加速} \\ \text{時間} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{l} \text{所要加速} \\ \text{トルク比} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{l} \text{定格電機子} \\ \text{電圧降下比} \end{array} \right)$$

$$= (\text{所要加速時間}) \times (\text{加速遅れ})$$

で示される。この加速遅れとは所要加速トルク比と定格電機子電圧降下比との積で、一般に%値で示して%加速遅れといい、電動機の加減速制御において、均一な加減速過程を得るにはどのように制御すればよいかの判定ができる。従って加減速過程を同じにするには、加速トルク比は  $GD^2$  で定まるので、結局定格電機子電圧降下比を同一にするように、電機子の  $IR$  降下を補償することとなり、これは電圧制御系に  $IR$  分の補償値  $K_c I_0$  を加えて、 $V - I_0 R_a + K_c I_0 = V - I_0 (R_a - K_c)$  となり、 $R_a$  分を補正したことになる。この  $I_0 R_a$  分は電動機の負荷特性で与えられ、分巻界磁の強さでも変化する。分巻電動機は弱め界磁高速領域では電流が大きくなると速度が逆に大きくなる尻上り特性になりやすく、これでは速度制御ができなくなる。また、 $IR$  降下は配線抵抗でも変化するから、制御を容易にするためには、界磁に僅少の和動複巻作用を加えて負荷特性を線形化し変動率を大きくし次に  $IR$  補償を加えて各電動機の加速遅れを同一にする制御方式が採用される。

## 2. 最適制御条件の達成

### 2.1 シーケンス制御から計算機制御

電動機を運転するに当たり、始動停止や速度制御には一定の順序の繰り返し動作が多くなっている。この場合の制御の各段階を予め定められた順序に従って逐次進めていく制御がシーケンス制御であり、人的誤作を防ぎ、プロセスに最適と考えられた制御動作が得られる。こうして一連のプロセスの各部をシーケンス制御にすると、全

系統を一ヶ所で集中的に総括監視制御も容易になる。更にデジタルパルス制御により選択制御も容易である。もちろん、系統の部分的運転休止や事故処置のため、各電動機の局部制御もできるようにするのが普通である。

しかるにプロセスを自動制御するにはプロセスの動作に不明確な部分も多く、過去の経験や熟練にたよることになるが、不規則不随意的な変動に対しても完全なプロセス自動運転が得られるように、統計的処理理論その他の数学的解析を必要とし、そのためにデーター処理装置から電子計算機による制御が採用される。特にプロセス制御に多数の変動要素があって、それらの総合判断を必要とする場合に計算機制御が極めて有用となるが、それにはプロセスの静的動的の動作方程式を必要とする。

(a) シーケンス制御からプログラム制御と数値制御、

電動機があるシーケンスで繰り返し頻りに運転制御され、製品や成果の種類に応じて多数のシーケンスがある場合には、そのシーケンススケジュールをプログラムしたプログラム制御が適当となる。このプログラムに、時間や距離と速度とをアナログ値で画いたカム円板やピンボード板、複数電動機の数値、方向、位置等をプロセス動作の進行度に応じたデジタル値で与えるパンチカード、パンチテープ、磁気テープがある。後者は普通数値制御といわれ、計算機制御に移り得る制御系となる。前者は鉱山巻上機や高炉巻上機、量産用工作機械、バッチプロセス反応塔などの制御に使用される。パンチカードを使用したものを特にカードプログラム制御(CPC)という。この場合に運転数値と共に各種の動作種別を数値により符号化し、多数の信号入力を識別する。

(b) サンプル値制御とデータ処理

無駄時間の長いプロセスには、ある時間間隔で抽出されたデータ列からなる信号で動作させるサンプル値制御が適し、データパルスの時間間隔を一定にし、そのパルス列からその連続運転値(包絡線)を得るためのホールド回路をもち、複雑多岐の制御対象を総括制御でき、パルス抽出の走査時間間隔を極めて短かくすると、急速変動にも応動できて、計算機制御に移り得る。

運転状態の監視には同一瞬時の各部の動作値を比較して推移を検討することによりプロセス動作方程式を解明できるはずであり、それにデータ処理装置が使用される。普通のデータ処理は運転数値の記録表示や集計、品質表示、統計演算等を行なうが、他方その結果から数式模型やシミュレータを組立てて、プロセス方程式の係数や因数を決定しようとしている。

(c) 予測制御と探索制御

制御しようとするプロセスの数式模型を作って、そのプロセスが外乱に対してどのような結果になるかを予め予測し、その予測結果に従って所望目標を得るように制

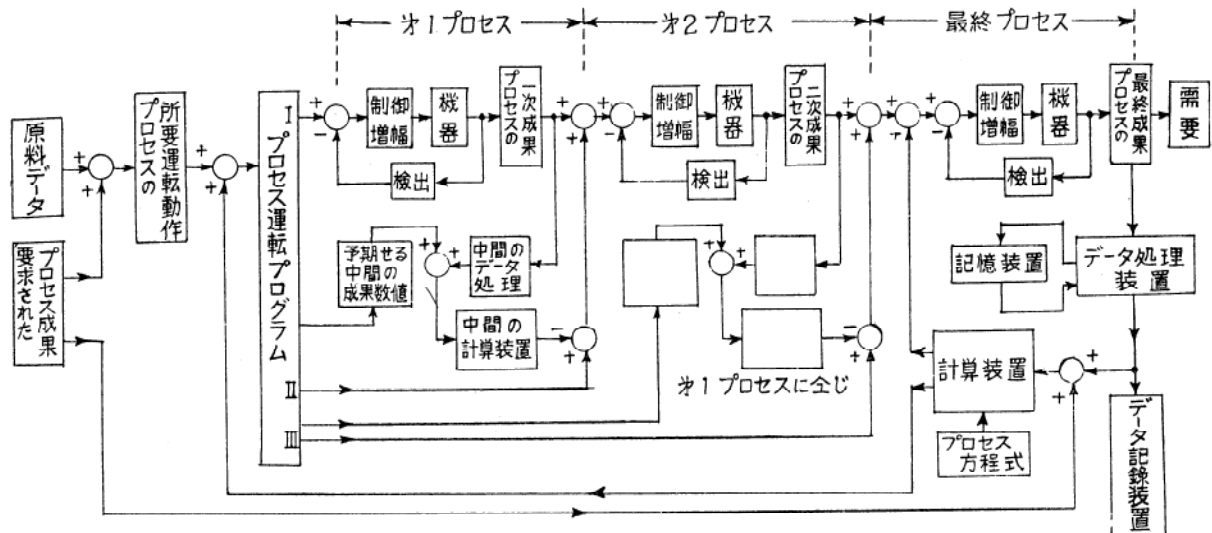


図1 フィードフォワード制御

できればよいはずである（予測制御）。これに達する  
 は前記のようにプロセス方程式自体が明確でないので  
 困難であるが、初段プロセス出力が予想値と異なると、  
 次段プロセスで修正するフィードフォワード制御がで  
 きる。そこで操作変数を僅かに変えて見て（摂度）、そ  
 の結果が予測値とどう異なるかで、与えた制御回路の動  
 作とその結果と一致するようにプロセス演算回路を求め  
 ることも（探索制御）一方法である。しかしプロセスが  
 複雑になると変動要因が多く摂動のやり方が難しい。前  
 の予測制御は連続、熱間圧延機の厚み制御等に適用され  
 ようとしており、後者はプロセス特性の不明確な変動要  
 素の主因を探し求めるに適用され、最適制御に近づけら  
 れる。

(d) 計算機制御と適応制御

プロセスの運転値と材料との状況から、従来の運転監  
 視員が調節器を設定したり制御操作を行なう代りにプロ  
 セス方程式から計算機に頭腦的作業を行なわせることが  
 できる。それにはまづ熟練運転員で操作させて計算機の  
 演算結果の制御司令値と運転員の操作値とを比較照合し  
 て、その間の偏差が支障ない程度に小さくなれば、次に  
 完全な閉ループ計算機制御に移行できる。そこで計算機  
 には (i) 従来の調節器や局部的自動制御装置の入力設定  
 値を計算機出力で補正するものと、(ii) 計算機自体で最  
 適の目標値になるよう各部基準値を与えるものがある。

そしてプロセス過程と結果を検出し、その価値を評価  
 し、その結果から必要な運転量を設定し、プロセスの各  
 種変数を統計的に処理して基準演算回路定数を補正しな  
 がら制御すると、プロセスは最も効果的な運転をする適  
 応制御になるが効果的の評価算定に種々の考え方があ  
 る。

2.2 信頼性の向上<sup>3)</sup>

電動機の制御には多数の制御器具を使用しているので、  
 どの部品や端子の不具合があっても全プロセスを停止さ  
 せ破壊に到ることとなる。その原因は電氣的性能変化と  
 機械的（化学変化を含む）損傷とによるもので、プロセ  
 スを安全に運転するには個々の制御要素の信頼度を充分  
 高くすることが重要であると共に、不具合点を局限し、  
 異常動作に対する保護の完全を期さねばならない。

(a) 信頼性の概念

一般構造物や機械は安全率で信頼性の概念を与えるが  
 電気制御では信頼度を簡単な数値で示すことは困難であ  
 る。電氣的信頼度に影響する要因に内外二種がある。

(i) 内的要因 これは部品の固有寿命（劣化、消耗、  
 熱的や機械的疲労）、ガタ、機構的歪、過渡的容量不足  
 （電圧や電流）、絶縁不良、接触不良などがある。

(ii) 外的要因 これは制御動作頻度、利用率、過負荷  
 とその継続時間、急峻負荷変動、衝撃的負荷、周囲条件  
 （温度、湿度、塵埃、ガス）、保守などがある。

ここで信頼度とはシステムが規定の環境下で規定の時  
 間故障なく満身に機能を果たす確率と定義されている。  
 この規定の環境とは上記外的要因であり、規定の時間と  
 は年月、スイッチでは所定の開閉頻度における開閉回数  
 であり、満身の機能とは所定条件下にて定格出力の発生  
 又は所要動作の完遂である。

一般に信頼度  $R(t)$  は時間の経過と共に  $\lambda$  を定数と  
 して

単独器具  $R(t) = e^{-\lambda t}$

直列形器具  $R(t) = \prod_i R_i(t) = \prod_i \exp\left(-\int_0^t \lambda_i(t) dt\right)$   
 $= e^{-\sum_i \lambda_i t}$

並列形器具  $R(t) = \prod_i \{1 - (1 - R_i(t)^{\gamma_i})\}$   $\gamma_i$  は冗長度

で示され、直列に使用すると低下し、並列に使用すると上昇する。たとえば信頼度90%の器具を5個直列にすると総合信頼度は60%以下になり、同一動作に3個並列に使用すると99.9%に向上する。

実際の使用信頼度は前記外的要因や輸送などで変化するが、信頼性の高い部品を使用するよりも、バラツキの少ない部品を使用するのが好ましいことがある。たとえば平均寿命1万時間でも1000時間までに故障が数個あり得る部品と、平均寿命3000時間でも1000時間までは絶対に故障のない部品と比較すると、信頼できるのは後者であり、1000時間で部品を交換すれば絶対に安心して使用できる。故に平均寿命の長い部品よりも寿命のバラツキの少ない部品、即ち品質管理のよい部品が使用信頼度を高くする。

#### (b) 制御器具の信頼度

制御器具は静止器であり信頼度は回転機器に比して高いはずであるが、むしろ一般に低いとされている。それは器具の適用（電氣的と使用条件）の不適正、特性の変歪、疲労現象、絶縁破壊、サージ耐圧等に帰因している。その主なる事項は下記の通りである。

(1) 開閉部分の寿命 開閉頻度と開閉条件（電圧、電流、通電時間など）を規定した開閉回数で寿命を表示するが、個々の開閉部分の寿命試験は破壊試験となるので製品に実施することができないから、実際には品質管理のヒストグラフ上をガウス分布している。更に適用の不適正もあるから、実際には実用に入ってから一定期間後開閉部分の損傷状態を個々に点検して、早朝に寿命を判定するのが最良の手段となる。

(2) 接点動作の安定 接点の動作不良は接触不良が主体であり、部分によってはプロセスに致命的損害を与える。その原因は表面汚損（酸化金属の微粒粉末、有機物、空中のじんあい、腐食性ガス、ひげの発生など）が多い。電氣的損傷は負荷の性質、消弧機構、材料、回路開路時の再起電圧、開閉容量と開閉頻度および事故電流、通電容量と突入電流と利用率などで寿命が制限される。

接触不良を少なくするには、表面皮膜を破るために接触圧力を高目にして、なるべく高い電圧を使用する。その他並列使用もあるが、接点を平面的でなく垂直で使用し、絶縁材固定接点はガス放出の点で避ける。接点加工工程における潤滑剤も初期接触不良の一因である。閉鎖形構造が望ましく、上部にある接点の誤動作が少ない。

(3) コイル 層間短絡が最も多く、過電圧による過熱やサージ電圧（コイル両端子部に集中する）による絶縁破壊がこれにつぐ。層間短絡防止のため、マグネットワイヤのピンホール試験、コイル巻作業の一定張力保持、

コイルの高周波過電圧誘導試験（たとえば400c/s 4倍電圧の開閉5回）などで不良コイル除去に努力する。

(4) 抵抗器 過熱断線事故で、電流容量不足、抵抗線素材不良、通風冷却不足、熱疲労や締付不良が主因である。じんあいの堆積や近接発熱体の熱輻射などにも影響される。閉鎖箱内での全熱損失も重要であるが、局部的通風不良による過大温度部分の形成を避ける。

(5) 回路サージ電圧と誤動作、制御回路の開閉動作により回路内 LC に蓄積されたエネルギー放出により開閉過渡過電圧が発生し、半導体素子を誤動作させ、器具の絶縁破壊を発生する。これは開閉器具の形式、配線周辺の磁路、配線間相互誘導、機器の接地状態などに变化し、200V回路で尖頭値5000V時間10msの振動波形になることもある。装置にコンデンサ挿入や器具のコンデンサや非線抵抗または整流素子による分路接続で除かれ、接地の取り方でも効果が大きい。

誘導電動機の一次回路開閉すると、過渡突入電流やV路過電圧の発生がある。電動機が小形化し磁気飽和に近く使用されるので、許容値限度の電圧上昇にての開路突入電流は定格電流の15倍に達することがある。もちろんこの過電流は極めて短時間で、閉路電圧位相や初期空隙残留磁束で変化するが、誘導電動機の直入スイッチの開閉容量試験電流値は日本電機工業会規格では負荷定格電流値の10倍であったものを、国際電気規格 IEC では12倍の開路10倍の開路に改訂する機運にある。誘導電動機の開路過渡電圧は二次回路開放時には固定子蓄積エネルギーが磁束変化を急速にして放出されることにより発生するので、普通は二次単相接続にて甚しくなる。減電圧始動時に開放切換を行なうと、電源電圧位相と残留空隙磁束による残留電圧位相の回転子減速による位相ずれとで過大な過渡切換突入電流を生ずることもある。

## 2.3 電磁制御装置の構成

制御装置とは電気を応用した機械および装置の始動（止ならびに調整等）に使用される制御器具を集成したもので、プロセスの製品または成果と電気機器との中間に介在して、総合監視計測保護制御操作を行ない、製品または成果を所期の目的に合致させるものである。このように電気制御装置の使用目的の主体性がプロセスに置かれるので、構造も逐次プロセスに順応させられ、監視操作の容易な構造とし、自動計測制御化している。

#### (a) 運転室制御盤の傾向

自動運転では運転員はプロセスの監視者となり、単に運転司令を発し、運転数値を設定し、機器の運転状態を監視するのみである。故に制御監視器具の配列を有機的にプロセスと協調させ、誤認や誤操作を防止し、判断を適正にするように環境を整備して、次の構造をとる。

(1) 操作及び監視を容易にするため、全体の高さとお興行とを小さくし、所要器具を小形化して座席から両手両足の操作範囲におき、扇形構造で複動連動器具を採用してハンドル数を感じ、人間工学的検討を加えている。

(2) 操作監視器具はプロセス機器配置や操作シーケンスに一致した配置とし、指先操作の制御器具や象形化した信号表示器具、色別内部表示灯付押釦等を利用する。

(3) プロセス群別、機種別に操作監視器具の色や形を分け、織別をよくし疲労を減少させ、光の強さや反射を適当に調整できる指向性カバーを付ける。

(4) 運転室の照度を多少低目にして、操作ハンドル、文字板、計器盤に蛍光塗料を用い、室外監視機器を見やすくする。室内照明で盤上に陰影を形成させない

(5) 連絡警戒信号のためにマイクと拡声器、ベルとブザーを音色を分けて設備し、不可視機器には工業テレビで監視させ、室外雑音を遮断した運転室とする。

b) 一部では指示計器はアナログ式からデジタル式に、更に制御動作指示を単に設定値に対する限界表示方式（動作値が許容限界値の内外表示）とする。

(7) 運転記録は自記録計からデータ処理装置による数値印字方式とする。主要機器には磁気記憶式自動オシログラフ等による自動故障記録装置を設け、故障発生前後の各要素の動作値を記録し、故障原因の追求と後日対策の基礎資料を確実にする。

#### b) 電動機制御盤の傾向

電動機制御盤は主回路及び制御回路の器具を内蔵し保護継電動作を行ない、器具個々の性能を完全に発揮し得るように点検保守や動作状態の監視を容易にし、各器具を機能的に配列すると共に、設置および使用条件に適応した保護構造となっていて、次の構成となる傾向にある。

(1) 運転員の安全のために表面に裸充電部（特に高電圧大電流器具）のない構造とし、電弧遮断部のアークの噴出し方向や点検保守に安全で危害を防止している。

(2) 個々の調整器具を有機的に集中配置し、盤の表面

には制御のための監視計測と調整や運転基準値や許容限度の設定を行ない、これら調整設定値の変動を防止するように固定し、異常時処置すべき制御電源スイッチや運転保安鎖錠スイッチを設ける

(3) 鋼板ベースに単位組立器具を直接取付け、二重パネル構造として電気室面積を縮小し、配線を集約して掘付工事を容易となし、常時監視点検を要しない器具を内面または背面に取付ける。

(4) 盤組込の静止形増幅器の増加、検出増幅回路の相互誘導防止のためのシールド配線の利用、プリント配線器具、シールドリレー、リードリレーの適用による微弱電流接点の事故防止、差込接続による部品の点検保守の簡易化の互換性による信頼性の向上。

(5) 主回路器具（接触器や断路器）と制御用器具（継電器、増幅器、抵抗器、コンデンサーの半導体素子）との分離取付による磁気誘導や機械的動作衝撃に基づく誤動作の防止ならびに配線工事の簡易化。

(6) 難燃性絶縁電線による配線事故の拡大防止、樋配線による配線作業の簡易化と色分け配線による点検の簡易化、受電々源部と負荷端子との閉鎖やケーブル（制御配線共）引込による工事の簡易化。

(7) 閉鎖通風冷却構造やじんあい過装置により、盤内温度上昇、誤動作、ドリフト、局部過熱の防止。内部気圧を高くしてガスじんあいの侵入防止。

（次号に続く）

## 文 献

- (1) 尾山：最近の電動機制御，エレクトロダイジェス 39年2月
- (2) 尾山：巻取電動機の張力制御 東芝レビュー 35年12月
- (3) F. Metzger: Über den Sicherheitsgrad elektrischer Steuerungen und Schaltanlagen in Blickfeld der Automatisierung. ETz-A. Bd, 82, H18 1961-8
- (4) C. Macmillian and G. K. Carter: Overvoltage in Polyphase Induction Motors during Single-phase Operation. T-AIEE 60. No.8. 819~823 (Aug. 1961)