

交流エレベータ用二重かご形誘導電動機

Double Squirrel Cage Induction Motor for AC Elevator

小 倉 純 一* 松 尾 正 裕*
Jun'ichi Ogura Masahiro Matsuo

要 旨

交流二段速度エレベータの高性能化と高信頼度化を図るため、巻線形誘導電動機をかご形誘導電動機に切り換え、二段速度電動機の系列化の見通しを得た。巻線形誘導電動機を使用してトルク制御を行なうとトルクの過渡的脈動によって、エレベータのケージが不快な上下持続振動を行なう場合がある。この解決策として二重かご形誘導電動機を使用し、加減速途中のトルク制御を行なわないためのフラットに近いトルクスリップ特性および低速極側に適正なスリップ特性を持たせることにより極数切換時のショックと電磁騒音を低減した。またエレベータの標準運転 Duty を検討し熱的設計の改良、低騒音化、起動電流の減少および現地ビル電源に適合する設計を行なうことにより、所期の高性能化、高信頼度化を達成することができた。

1. 緒 言

従来、交流エレベータ駆動用電動機には 3.5 kW 程度の小容量のものを除いては、巻線形三相誘導電動機を使用してきた。この理由は、巻線形誘導電動機はエレベータに要求される乗りごこち、すなわち速度制御の見地からみた加減速特性が、二次抵抗ノッチ制御により可能であり、特に高性能の二段速度交流エレベータに適しているという考えに基づくものである。

しかし、エレベータの乗りごこちは、誘導電動機の世界制御系と機械振動系が関連して定まるものであり、これらの関係を解明することにより、いっそうの高性能化と高信頼度化および機器の小形、軽量化を図ることができる。このためわれわれは交流二段速度エレベータ用かご形誘導電動機の開発を図り実用化してきた。本稿では、交流二段速度エレベータ用二重かご形三相誘導電動機について、その特長を述べるものである。

2. かご形誘導電動機の巻線形誘導電動機に対する利点

かご形を使用する場合の最大の利点は、エレベータのケージ上下持続振動を、容易に経済的に回避できる点にある。すなわち、巻線形における二次抵抗ノッチ制御では、エレベータ加速時に電動機トルクが過渡的に脈動するため、減速歯車からシーブ→ロープを介してケージに脈動が伝達され、不快な上下持続振動が起りエレベータの乗りごこちを阻害する場合がある。したがって、この防止策としては、各ノッチのタイミングをエレベータ機械振動系に見合っとうまく選定する方法、トルク脈動量減少のためノッチ数を増加する方法、またエレベータ機械系に吸振機構を設ける方法などがある。

しかし、これらの方策を講じた場合には、部品の増加とともに、現地調整の複雑さを伴うために、経済性・信頼性に問題がある。一方また、エレベータの加速特性すなわち乗りごこちをすぐれたものにするノッチ・タイミングとケージの上下持続振動を回避するに適切なノッチ・タイミングとは必ずしも一致しないため、選定が困難であり、クリティカルな選定をうまく行なっても経年的信頼性に欠けるうらみがある。

かご形誘導電動機、特に二重かご形回転子の場合、巻線形に対して比較的自由に、所望するトルクスリップ特性を出すことができる。したがって、エレベータ起動時および着床のための極数切換時のショックを緩和することを考慮すれば、加減速途中のノッチを使用しないことによりトルク脈動の全くない速度制御を得ることができ、トルク脈動に基づくケージ上下持続振動を容易に回避すること

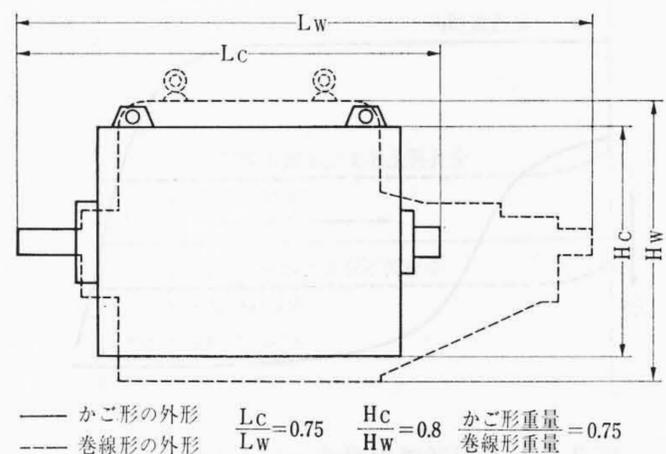


図1 交流二段速度エレベータ用 15 kW かご形と巻線形三相誘導電動機の比較

ができる。さらに速度制御用コンタクトとタイマーの大幅な減少が図れること、巻線形よりも小形、軽量となるので機械室据付面積が小さくてすみ運搬、据付工事が楽となること、スリップ・リングとカーボン・ブラシがなくなるので保守が簡単となり高信頼度化が図れることの利点がある。特に、カーボン・ダストによるコイル絶縁物劣化がない点は、電動機の寿命を長くする点で有利である。図1は二段速度 15 kW 誘導電動機のかご形と巻線形の外形寸法と重量の比較例を示したものである。

3. かご形誘導電動機の特長

3.1 トルク特性

エレベータの加減速途中以外には、かご形誘導電動機ではトルク制御を行なわないから、この場合のエレベータの速度特性は、かご形誘導電動機のトルクスリップ特性そのものにより、決定される。

人間の生理学的見地から、交流二段速度エレベータの理想的速度特性と加減速度特性は、図2に示すとおりであり、加減速度は台形波が理想的であって、その値は 0.15 g 以下であることが望ましい。

かご形誘導電動機のトルクスリップ特性を図3に示すようなものとすれば、ほぼ台形波に近いエレベータ加減速特性を与えることができる。図3にはさらに、エレベータの負荷トルクの積載量による変化範囲を破線で示したが、全負荷上昇または無負荷下降時に負荷トルクに最大となり、全負荷下降または無負荷上昇の場合に負荷トルクは最小となりこの場合は負のトルクとなる。

加減速途中ではトルク制御を行なわないので図3に示すトルクスリップ特性は常に一定であるから、エレベータの負荷トルクの変動によって、かご形誘導電動機によりエレベータに与えられるトルクは変動する。

* 日立製作所日立工場

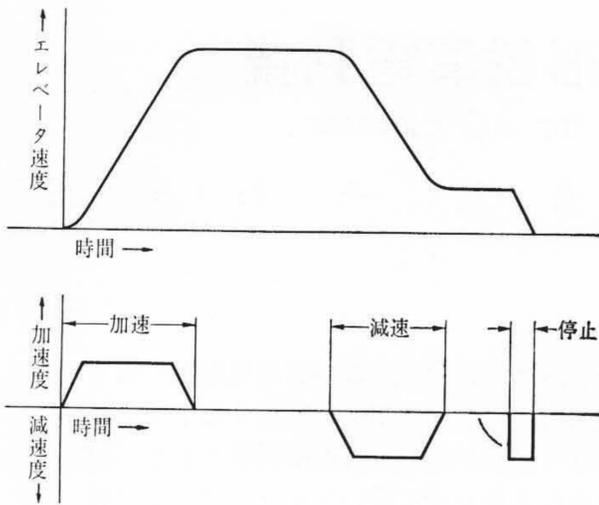


図2 交流二段速度エレベータの理想的特性

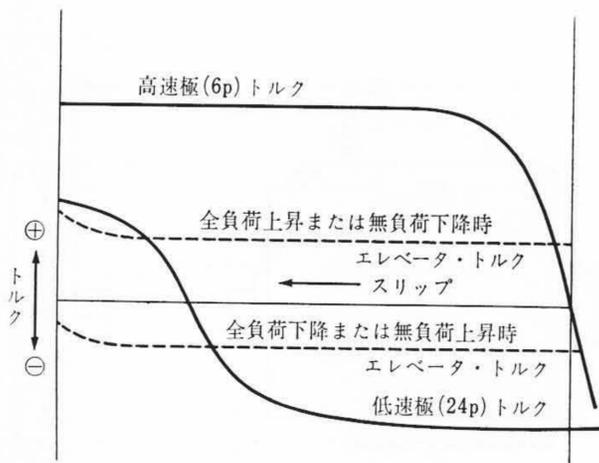


図3 かご形誘導電動機の理想的トルクとエレベータ負荷トルク

次に、スリップの値は、積載量の多少によってエレベータの定常走行速度に変動を与える原因となるので、小さくすることが望ましい。この考えから、定常走行速度の変動を小さくするために、高速側極数におけるスリップをできるだけ小さくした。しかし、着床精度をあげるために減速させる低速側極数において、スリップを小さくすると、極数切換後、負スリップから正スリップに移動のときのトルクの時間的変動が大きくなり、ショックと電磁騒音が大きくなる。これはエレベータ乗りごちを著しく阻害することとなり好ましくない。したがって、乗りごちを阻害しないことに重点をおいて、低速側極数におけるスリップ特性についてじゅうぶんに検討した。スリップが大きいとエレベータの乗りごちは良くなるがエレベータ着床速度の負荷による変動が大きくなり、着床精度を悪化させることになる。この点をじゅうぶん考慮した着床時の制御を行なうことにより着床精度を±10mm以内に収めることができた。

3.2 加減速トルク値の決定

エレベータの運転効率をあげるためには、加減速度をできるだけ大きくしたいが、3.1で述べたように乗りごちの点から、加減速度は0.15gで押える必要がある。いま、加減速度の上限値をそれぞれ、 $\alpha_{a\max}$ 、 $\alpha_{d\max}$ とすれば、かご形誘導電動機のトルクの最大値は次の式で決定される。加速トルクの最大値は

$$T_{A\max} = \alpha_{a\max} \cdot \frac{GD_1^2 + \eta_v GD_2^2}{2gD_s} - \eta_v T_L \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $T_{A\max}$: 加速トルク最大値 (kg-m)

$\alpha_{a\max}$: エレベータの許容最大加速度 (m/s²)

GD_1^2 =電動機 GD^2 +ブレーキ, ドラム GD^2 +ウォーム軸 GD^2 +ギヤ・ホイール GD^2 +シーブ GD^2 (kg-m²)

GD_2^2 =(かご GD^2 +カウンタ・ウェイト GD^2 +ロープ GD^2 +積載量 GD^2) の電動機軸換算値 (kg-m²)

η_v : 逆駆動効率

g : 重力の加速度 (m/s²)

D_s : 電動機軸に換算したシーブ直径 (m)

T_L : エレベータの負荷トルク (kg-m)

(1)式によって定まるかご形誘導電動機のトルクによって、エレベータに $\alpha_{d\max}$ が与えられるのは、図3に示すように全負荷下降または無負荷上昇の場合である。

次に減速トルクの最大値は

$$T_{B\max} = \alpha_{d\max} \cdot \frac{GD_1^2 + \frac{GD_2^2}{\eta_n}}{2gD_s} + \frac{T_L}{\eta_n} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $T_{B\max}$: 減速トルク最大値 (kg-m)

$\alpha_{d\max}$: エレベータ最大減速度 (m/s²)

η_n : 正駆動効率

その他は(1)式と同じ

(2)式によって定まるかご形誘導電動機のトルクによって、エレベータに $\alpha_{d\max}$ が与えられるのは、図3に示すように全負荷上昇または無負荷下降の場合である。

3.3 かご形回転子の設計

図3のような、フラットなトルクスリップ特性と、低速側極数における適正なスリップ特性を出すためには、二重かご形回転子を用いて、上下バーのスロットの漏れリアクタンスと、固定子と回転子間の空けきリアクタンスおよび各抵抗値をじゅうぶんに検討しなくてはならない。二重かご形誘導電動機のトルクを表わす式は衆知のように

$$T = \frac{m_1 \frac{R_2'}{s} V_1^2}{9.8 \omega_0 \left\{ \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right\}} \text{ (kg-m) } \dots\dots (3)$$

ここに、 m_1 : 一次側相数

V_1 : 一次側相電圧 (V)

R_1 : 一次側抵抗値 (Ω)

R_2' : 二次側抵抗の一次側への換算値 (Ω)

X_1 : 一次側リアクタンス (Ω)

X_2' : 二次側リアクタンスの一次側への換算値 (Ω)

$$\frac{R_2'}{s} + jX_2' = j(x_{2z'} + x_{23'}) + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3}$$

により R_2' 、 X_2' の値が定まる。

$$Z_2 = \frac{r_2'}{s} + j(x_2' - x_{23'})$$

$$Z_3 = \frac{r_3'}{s} + j(x_3' - x_{23'})$$

r_2' : 上バーの一次側換算抵抗値 (Ω)

r_3' : 下バーの一次側換算抵抗値 (Ω)

x_2' : 上バーの一次側換算漏れリアクタンス (Ω)

x_3' : 下バーの一次側換算漏れリアクタンス (Ω)

$x_{23'}$: 上下スロット間の一次側換算相互漏れリアクタンス (Ω)

$x_{2z'}$: 千鳥形漏れリアクタンスの一次側への換算値 (Ω)

s : スリッ プ

ω_0 : 電動機回転角速度 (rad/s)

R_2' 、 X_2' ともそれ自体スリップ s により変化するので、これらの総合として与えられる(3)式のトルクスリップ特性を、図3に

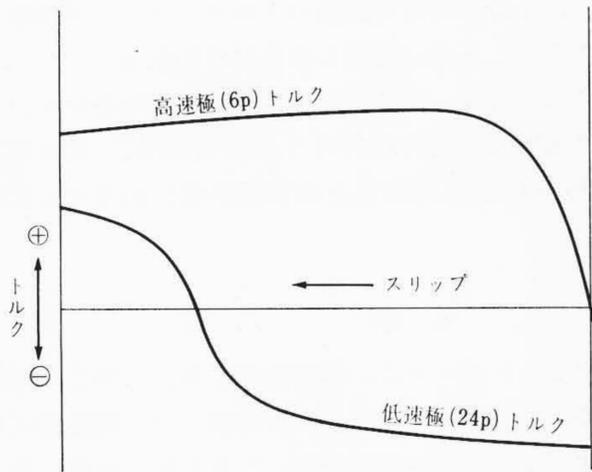


図4 交流二段速度エレベータ用かご形誘導電動機のトルク—スリップ特性の実測値

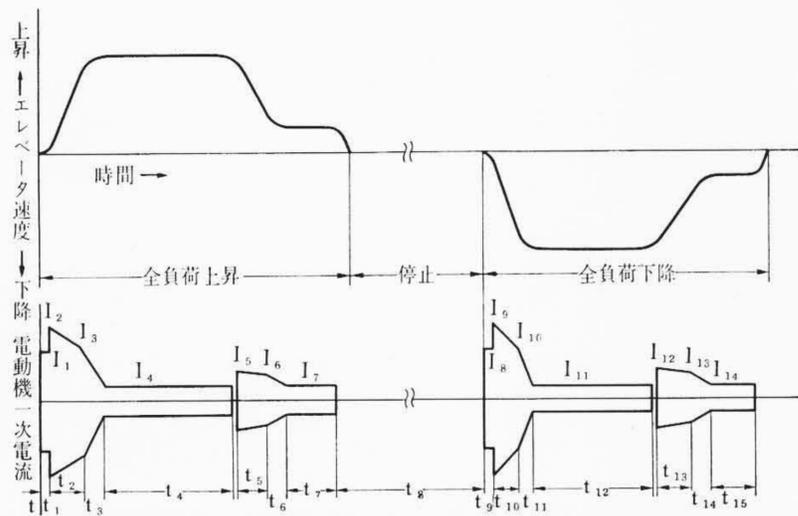


図5 交流二段速度エレベータの標準運転 Duty と電動機電流パターン

示すフラットに近くするように、上バーと下バーの寸法を決めた。この結果、図4に示すように実用上じゅうぶん満足すべきトルクスリップ特性を得ることができた。

4. 熱的設計

交流エレベータは、2,000回/日という高ひん度の起動回数が要求される。したがって、駆動用電動機の温度上昇は起動電流とその持続時間によってほとんど決定される。図5は、交流二段速度エレベータの速度特性とかご形誘導電動機の電流パターンの一例を示したものである。1サイクルのDutyは、全負荷上昇または無負荷下降、乗降のための停止、次に全負荷下降または無負荷上昇運転のサイクルとする。これから $I_{R.M.S.}$ を求めると、次式のようなになる。

$$I_{R.M.S.} = \sqrt{\frac{f(I, t)}{f(t)}} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

$$f(I, t) = 3I_1^2 t_1 + (I_2^2 + I_2 I_3 + I_3^2) t_2 + (I_3^2 + I_3 I_4 + I_4^2) t_3 + 3I_4^2 t_4 + (I_5^2 + I_5 I_6 + I_6^2) t_5 + (I_6^2 + I_6 I_7 + I_7^2) t_6 + 3I_7^2 t_7 + 3I_8^2 t_9 + (I_9^2 + I_9 I_{10} + I_{10}^2) t_{10} + (I_{10}^2 + I_{10} I_{11} + I_{11}^2) t_{11} + 3I_{11}^2 t_{12} + (I_{12}^2 + I_{12} I_{13} + I_{13}^2) t_{13} + (I_{13}^2 + I_{13} I_{14} + I_{14}^2) t_{14} + 3I_{14}^2 t_{15}$$

$$f(t) = at_1 + at_2 + bt_3 + t_4 + bt_5 + at_6 + at_7 + ct_8 + at_9 + at_{10} + bt_{11} + t_{12} + bt_{13} + at_{14} + at_{15}$$

a, b, cは自冷ファンの速度による冷却効果の大小に関係して定まる定数である。

(4)式に、日立製作所で定めた標準Dutyの値を入れ、かご形誘導電動機の熱的設計を行ない、高信頼度化を図った。

5. 低騒音化

最近の交流エレベータは、乗りごち、着床精度と運転効率の向上とともに、低騒音化を図って、乗客の不快感をできるだけ少なくする必要がある。この目的のためには、かご形誘導電動機の騒音を極力少なくしなければならない。誘導電動機の騒音源のおもなるものには、次のものがある。

- (1) 起動時の電磁音
- (2) 定常速度時の電磁音
- (3) 極数切換時の電磁音
- (4) コアのダクトによる機械的騒音
- (5) ファンによる機械的騒音
- (6) ベアリングによる機械的騒音

これらの低減方法として、次の方策を実施した。

まず電磁音低減方策としては、

- (1) 回転子と固定子の最良のスロット・コンビネーションを選定した。
- (2) 回転子と固定子の空げきを最適な値とした。
- (3) 回転子と固定子の磁束密度を高くとらないようにした。
- (4) 回転子バーの電磁力による振動を小さくする。
- (5) 回転子のスロットスキューを行なった。
- (6) 極数切換時の電磁音を減少するため、低速側極数のトルクスリップ特性を決定した。
- (7) エンド・プレートによる鉄心締付力を大きくした。

次に、機械的騒音低減方法としては

- (8) コアのダクト音を、減衰させるために、ハウジング中心部に放熱兼通気穴を設ける方式を廃止し、ハウジング端に必要最小限の吸排気孔のみを設ける方式とした。
- (9) ファン騒音低減策としては、冷却効果をじゅうぶんに検討して、ファン・ベーン幅を広げて、ファン外径を大きくすることを制限し適当なファン外径を選定した。またファン騒音周波数をできるだけ下げるため、ベーン枚数を減少し、耳ざわりの程度を極力減少させた。
- (10) ベアリング騒音に対しては、潤滑性の非常に良いグリースを選定した。

以上の低騒音化方策を講じた結果、所期の低騒音かご形誘導電動機としての目的をじゅうぶんに達成することができた。

6. 起動電流の減少

図5に示すように、エレベータ用かご形誘導電動機の大きな起動電流の値は設置ビルの電源容量との関係でビル全体の電圧変動に与える影響が大きいので、これを考慮する必要がある。起動電流を小さくするためには起動時のインピーダンスを大きく設計する必要がある。しかし、起動時インピーダンスをあまり大きくとると、熱的に苦しくなること、また定常速度に達したときに回転子のインピーダンスが大きいと、スリップが大となりエレベータ積載量の多少により定常走行速度が変動し好ましくない。これに対し上下バーのインピーダンス配分を考慮することにより、定常速度時のスリップを小さくするとともに起動電流を低い値に収めることができた。

7. 標準シリーズ化

以上の構想のもとに、二段速度かご形誘導電動機のシリーズ化の見通しを得た。かご形誘導電動機を使用してエレベータ加減速途中のトルク制御を行なわないことにより、高性能化、高信頼度化および小形、軽量化を図ったものである。かご形誘導電動機を持つ固有のトルクスリップ特性により、台形波加減速特性と運転時間が決

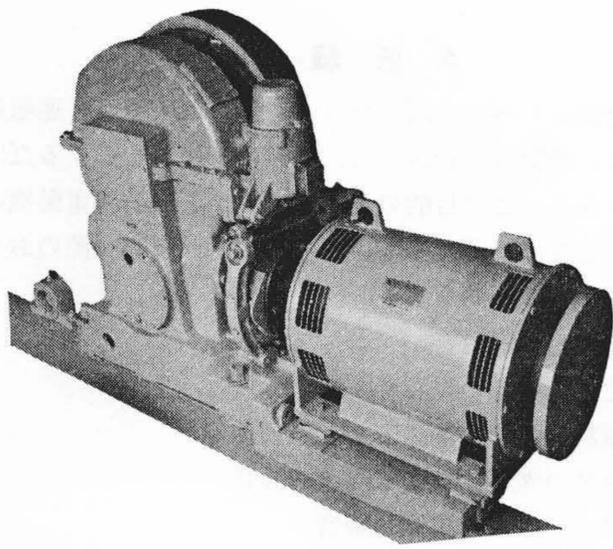


図6 交流二段速度エレベータ用 15 kW cage形三相誘導電動機と歯車減速機

定されるので、cage形誘導電動機のトルクスリップ特性が非常に重要なものであることは、前述したとおりである。

内外各地においては、電源事情がそれぞれ異なるため、この点をじゅうぶんに考慮した設計を行なう必要がある。図6は二段速度15 kW cage形三相誘導電動機と歯車減速機を組合せた状態の外観写真である。

8. 結 言

交流二段速度エレベータは、経済性を主体とし中小ビル用として最も需要の多いエレベータである。数年前から、積極的にかge形誘導電動機の使用を検討し一部実用化してきたが、今回、各ビルの電源の実状に見合った最適のトルクスリップ特性を再検討するとともに、低騒音化、現地運転 Duty に基づく熱的設計の再検討を行ない、cage形誘導電動機の新シリーズ化の見通しを得た。

第 32 卷

日 立

第 5 号

目 次

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 座 談 会 / 万 博 <li style="padding-left: 2em;">出席者： 見 小 真 安 鈴 葛 <li style="padding-left: 2em;">て 松 鍋 達 木 西 <li style="padding-left: 2em;">歩 左 瞳 文 <li style="padding-left: 2em;">き 京 博 子 彦 <li style="padding-left: 2em;">日立グループ館長 | <ul style="list-style-type: none"> • グ ラ フ / 世 界 の お 祭 万 国 博 <li style="padding-left: 2em;">花 そ え る 日 立 グ ル ー プ 館 • 随 想 / 科 学 史 か ら 見 た 万 博 (吉 田 光 邦) • ル ポ / デ ー タ 通 信 シ ス テ ム <li style="padding-left: 2em;">万 博 で 活 躍 す る 日 立 製 品 • P R コ ー ナ • ホ ー ム サ イ エ ン ス |
|---|---|

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
 郵便番号 100
 取次店 株式会社 オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
 郵便番号 101
 振替口座 東京 20018 番