

三相誘導電動機の逆相制動時のトルクについて

武 石 泰 亮*

ON TORQUE CURVE OF THE THREE PHASE INDUCTION MOTOR FOR PLUGGING STOP

Taisuke TAKEISHI

This is the reports on the torque curves which are obtained from four of three phase induction motors for speed range between $s=2$ (at inverse no load running) to $s=0$ (at no load running). The method of experiment is by the visual torque observation by cathode-ray oscillograph. Especially for the crawling torque occured between $s=2$ to $s=1$, we indicate the method of elimination to transient torque which is several times larger of full load torque.

Received May 31, 1962.

1. 緒 言

三相誘導電動機を小形機器の原動機として使用する
場合、主として起動特性を中心にして機種を選定を行
ない、大部分は簡単な手動形開閉器または押釦スイ
ッチを併用した電磁接触器によつて運転操作を行なつ
ている。また頻繁な起動停止を繰返すときは、制動方
式として逆相制動がしばしば応用されて来た。この
場合、操作回路は機器が小容量、機械に接近し監視
して操作出来る状態にある等の理由から大部分が手
動操作の可逆開閉器 (Reversing switch) を用いて、
操作者のカンと熟練によつて制動操作を行つて来た。

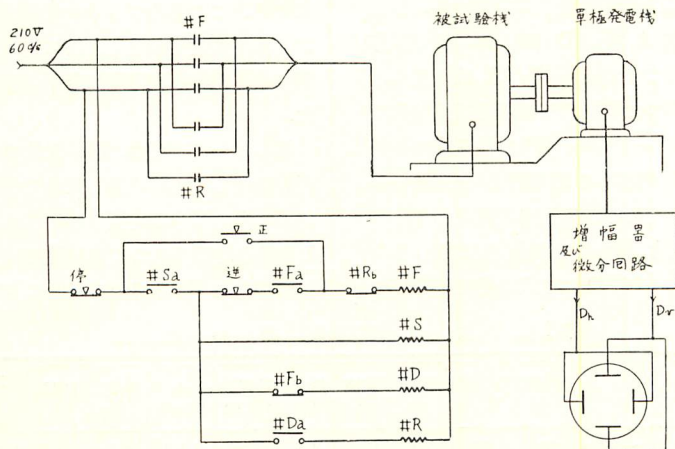
然るに自動制御が広汎に応用されて各種工程を次々に自動的に行ふ必要が生じた現在に於ては、制動操作も当然電磁接触器を用いて自動的に行なわれる様になつた。

然し、従来の手動操作時に見られない問題が生じて来た。それは正転側電磁接触器を開くと同時に、逆転側電磁接触器を投入するので、正転時の残留エネルギーとの相互作用で異常トルクが発生することである。

本報告はその数例について報告するものである。

2. 試 験 装 置

試験装置は第 1 図の構成になるもので、単極発電機



第1図 試験装置構成図

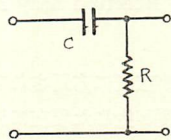
* 電気工学教室

とトルク直視測定装置と電磁接触器制御回路に大別出

来る。

単極発電機は特に大出力を要しなくて、被試験機と接手で直結して一緒に回転させ、回転数に比例した出力電圧を得る様にした。この場合、被試験機と単極発電機は完全に一体となる様、強固な Common base に精密な芯出しをした上で取付け、接手もガタがない様に締付けた。

トルク直視測定装置は増幅器、電源部を含めて西部電機工業株式会社で製作した速度微分方式のもので、被試験機の回転数に比例した単極発電機の出力を増幅器に結合して、X軸成分としてはそのまま増幅したものの、Y軸成分としては第2図の様なCR回路により微分した出力をブラウン管の各々の偏向板に与える様に



第2図 微分回路

なっている。従つてブラウン管上のX軸方向の振れは

$$D_h = k_1 \omega$$

(ω は回転子の回転数, k_1 は比例定数)

となつて回転子の回転数 (r.p.m.) に比例した振れが得られる。Y軸方向の振れは

$$D_v = k_2 I \frac{d\omega}{dt} = k_2 \tau$$

(I は回転子等の慣性能率, k_2 は比例定数)

となり、その瞬間のX軸の振れ D_h に対応する回転数 ω に於けるトルク τ に比例する様になっている。

電磁接触器制御回路は #F, #D, #R, #S, その操作用押釦スイッチからなっている。#F, #R は a 接点, b 接点の補助接点を持つた普通の三相用電磁接触器である。#S は補助のパワーリレー, #D は油入式の遅延リレーである。今 #F が閉じて電動機が全速運転中に、もし押釦スイッチでその励磁回路を開くと #F の主接点は開く、このとき #F_b の補助接点は閉じるので #D は励磁される。所が #D は油入の遅延装置が付

属しているので一般のリレーの様に直ちに動作せず、油量を調整してプレセットした時間だけ遅れて動作する様になつている。一定時間後 #D が動作するとその接点 #D_a により #R が励磁され、#F 閉路時と逆回転方向に被試験機に電源が接続され逆相制動が行なわれる。本試験では逆相制動で停止しても #R は開かずに逆回転の無負荷速度に達する迄、そのままにして置く。この結果、得られた曲線は #R が投入された瞬間は逆の無負荷速度 (ほぼ $s=2$)、停止 ($s=1$)、最終到達は正の無負荷速度 (ほぼ $s=0$) の範囲に亘ると考えることが出来る。

電源は九州電力より供給うけた 60c/s, 3300V 標準のものを工場用として 100kVA×3 台の変圧器で 210V に降圧したものをを用いた。従つて電源容量は充分であつた。

3. 試験結果

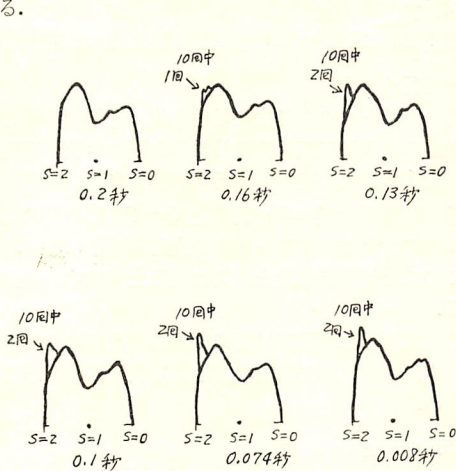
試験は表に示す M 社製 4p 3.7kW, T 社製 4p 3.7kW, Y 社製 4p 1.5kW, 3.7kW いずれもカゴ形の 4 台について行つた。順序はまず被試験機の出力軸側 (負荷側) から見て反時計式無負荷 (単極発電機が負荷となつているが、出力電圧のみ取出し電流を取らないので、實際上無負荷と見做すことが出来る) 状態から逆相制動に切換え、時計式回転無負荷になる迄の速度トルク特性曲線を観測した。#D の調整を変えて順次各遅延時間ごとに 30 回以上正転逆転を繰返して測定した結果を、ブラウン管上に複写用方眼紙をあて、直接写し取つた結果を整理すると第3図~第6図の様になる。この場合ブラウン管は残光性のものであつたが、曲線の変化が速く、特に逆相投入の瞬間のピーク等は早くて写し取る際に若干の誤差はやむを得なかつた。

然しピークの高さ、幅、急激さ等は充分目測し、幾回も繰返して正確を期したので曲線の特性は把握している。尚、図中の時間はいづれも #D のプレセットした目盛り時間であつて実測値ではない。7~8×10⁻³ 秒はいづれも #F を切つて直ちに #R を投入したときで

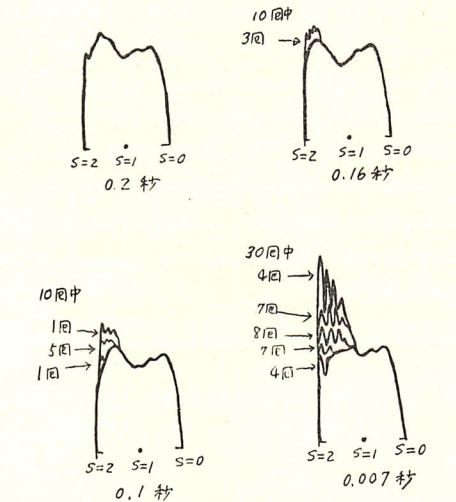
第1表 供 試 機 負 荷 特 性 表

社名	形式	極数	出力 kW	定 格	負荷 %	周波数 C/S	電圧 V	電流 A	滑り %	回転数 r.p.m.	トルク kg-m	能率 %	力率 %	最大 出力 %	停動 トルク %	起動 トルク %	起動 電流 %
M	SB-A	4	3.7	レンゾク	100	60	200	13.4	4.5	1719	2.1	88.1	90.5	207	253	156	510
T	IK	4	3.7	レンゾク	100	60	200	13.9	6.5	1683	2.14	85.9	89.4	190	244	164	458
Y	FEQ	4	3.7	レンゾク	100	60	200	13.9	4.5	1719	2.1	87.0	88.5	219	267	152	513
Y	FEQ	4	1.5	レンゾク	100	60	200	5.66	6.0	1692	0.863	83.0	91.5	211	278	218	537

ある。



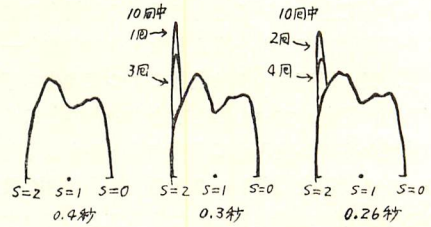
第3図 M 社製 3.7kW 4 P



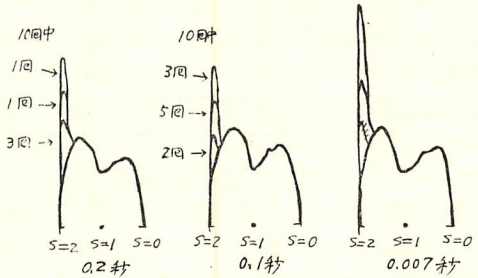
第4図 T 社製 3.7kW 4 P

曲線の傾向を検討すると、各被試験機に亘つて無負荷運転 ($s=0$) から停動トルク時回転数と推定される回転数の範囲では、ほぼ理論曲線に相似した曲線が得られている。

停動トルク回転数から停止 ($s=1$) 迄の間では理論曲線を基調にして、次同期クローリングと見做されるコブが出ているのが特徴である。この傾向は各機種とも若干認められる。停止の位置は逆に考えれば起動時になるので、ここで起動トルクと比較することが出来る。算出された起動トルクと停動トルクの比と観測値の両トルクの比を較べると、算定値の方が観測値よりその差が大きい、起動トルクの実測値も算定値より大



第5図 Y 社製 3.7kW 4 P



第6図 Y 社製 1.5kW 4 P

きく現われる傾向があるので、現在行っている起動、停動両トルクの算出法による算出値間の開きより、実際の値は相当少いと見るべきではないだろうか、少くとも測定した曲線からは被試験機全般に亘つて同一結果を得ている。

停止 ($s=1$) から逆回転、無負荷 ($s=2$) の間が逆相制動に使用する範囲であるが、この範囲では理論曲線と全く似つかわしくもない曲線が得られている。特に #R 投入を #F が開いて後極く短時間に於て行くと、#R 投入時に全負荷トルクの数倍にも及ぶと推定されるトルクの発生を見ている。この異常過渡トルク (以後過渡トルクと呼ぶ) は #F 開路後 #R が投入される迄の時間に関連があり、その時間は各被試験機によつて差があるが、一定の時間 (10 分の 1 秒台) 後は発生しない。又、その発生確率、トルクの大きさは時間の関数で、時間が短い程共に大きくなる傾向がある。ただプレセットした一定の時間の中で 10 回行なつて、10 回とも同一のものが発生するとは限らず、発生したものの大きさもいろいろあり、その中で全く過

渡トルクを発生しないこともある。この場合の曲線は充分時間を置いて #R を投入したときの曲線と一致している。又、過渡トルクは機種によつて発生の傾向に差があり、起きやすいものと割合少ないものとある。以上の結果から #R 投入時に発生するトルクは電動機固有のトルク（以後固有トルクと呼ぶ）と、#R 投入時迄のその電動機の置かれていた条件によつて発生する過渡トルクとに分けて考えるべきではないだろうか。過渡トルク発生の原因は、正転時の電磁エネルギーの残留分が #R 閉路時迄消去しないで残存したとき、発生するのではないかと考えられる。従つて、これは一定の消去時間を置かなくては発生を避けることが難しい。或いは極く短時間での #R 投入に於ても過渡トルクを発生しないことがあつた。もし過渡トルク発生の機構が充分解明されて、極く短時間での投入でも発生しない瞬間があつたとしても、現在使用されている電磁接触器で、それ程精密な時間をセットすることは不可能である。

固有トルクは前述の様に理論曲線より予測されるものと、全くかけ離れたものであるが、いずれも似通つた形を持つていて、特にその大きさが停動トルクをしのぐ大きさを持つていて ($s=1.5$) 付近に山の最高点があるのが特徴である。これが何に起因するものか未だ結論を得ていない。

4. 結 論

以上の結果から小形カゴ形三相誘導電動機にて逆相制動を行うときは

1) 過渡トルクの発生を避ける為、逆相制動用電磁接触器の投入は正転用電磁接触器が開いた後、適当な時間（1秒以内）を置いて行う必要がある。

2) 制動開始 ($s=2$) 後停止 ($s=1$) 迄の間の制動トルクの大きさは停動トルクを上廻ることがある。

このことは機器設計上、又は使用上留意する必要がある。

3) 観測した範囲では従来の特性算定法による停動トルク、起動トルク値間の開きより実測値の開きは相当少い。

5. あ と が き

本報告は昭和35年に西部電機工業株式会社で行つた実験によるもので、当時自動旋盤に使用した電動機直結の歯車減速機を逆相制動した所、歯車が破損する事故が発生した。同一機を手動で逆相制動しても異常がなかつた。とくに自動で行つたとき強い衝撃があつて歯車が破損することから本実験にとりかかつた。上述の結果を得たので、#R を遅延リレーで励磁する様にして歯車破損を防止しえた。

本実験を行うについては、装置から実験の実施に至る迄多くの上司同僚社員諸君の協力があつたことを付記し感謝の意を表したい。