

タタ製鉄会社納クレーン用電気設備
Electric Equipment for Cranes Supplied to TATA Iron and Steel Mfg. Co.

白 木 勇* 宅 間 豊*
Isamu Shiraki Yutaka Takuma

内 容 梗 概

インド・タタ製鉄会社に納入された天井走行および製鋼クレーン用電気品は、苛酷な使用条件および気候条件にあつて十分性能を発揮するよう製作された高性能電気設備である。本報告ではその概要について述べる。

電動機はすべて AISE 600 番型直流直巻電動機を使用し、電動機の小型化と回転子慣性の減少により、据付保守ならびに運転制御上その特長を十分発揮したほか整流および温度上昇の点でも十分余裕のある設計となつている。また各制御器具も、AISE の規格に準拠し、検討をつくして製作されたものであり、制御方式は、いかなる場合に対しても、無理危険のないよう考慮されている。

1. 緒 言

日立製作所は昭和29年にインド・タタ製鉄会社に天井走行クレーンを納入し、現在好評のうちに運転中であるが、今回さらに、200 万トン増設計画にあたつて、天井走行クレーンおよび製鋼クレーンを納入し、現在現地据付中である。

本クレーンは、すべて直流直巻電動機を、間接制御する高性能クレーンであり、インドにおける気候的条件、および製鉄所用クレーンとしての苛酷な使用条件に適応するよう設計製作されている。以下その電気設備の概要について述べる。

2. 電気設備の概要と特長

第1表に各クレーンの概略仕様を示す。電動機はすべ

て AISE 600 番型直流直巻電動機で、その総数は 118 台に及び、その内訳と仕様を第2表に示す。

これら電気設備は苛酷な使用条件においても、安全確実な運転が行われるよう特別な考慮が払われており、種々の特長を有する。

- (1) 電気機器はすべて AISE および BSS の規格によつた。
- (2) インドにおける気候的条件が考慮されている。
周囲温度 55°C、湿度 100% という苛酷な条件に耐えるよう設計製作された。
- (3) 直流電動機は AISE 600 番型である。

従来のこの種電動機に比し、合理的な設計と構成材料の進歩により、いつそう小型化され、回転子慣性の減少を図つてある。また整流や温度上昇の点で十分余裕のあるもので過負荷耐量きわめて大きく、信頼性高く、速

第1表 タタ製鉄所納クレーン仕様一覧表

用 途	台 数	巻 上 荷 重		ス パ ン	電 動 機						ストリップ ピン	リンクモ ーション
		主	補		主 巻 上	補 巻 上	横 行	走 行	ト ン 開	ト ン 閉		
ソーカー	2	15T	15T	109'-3"	170HP	87HP	40HP	120HP×2	29HP	29HP	—	—
ソーカー	1	10	10	76-6	177	40	40	87×2	12	16.8	—	—
ストリッパー	2	30	—	73-0	177	—	57.5	87×2	—	—	177HP	29HP
E O T	2	50	—	55-0	57.5	—	16.8	57.5	—	—	—	—
E O T	2	25	15	85-0	87	87	29	40×2	—	—	—	—
E O T	3	25	15	95-0	87	87	29	57.5×2	—	—	—	—
E O T	1	35	—	55-0	40	—	12	57.5	—	—	—	—
E O T	1	35	—	55-0	177	—	29	48	—	—	—	—
E O T	1	10	—	55-0	16.8	—	5.8	12	—	—	—	—
E O T	1	25	15	95-0	87	87	29	40×2	—	—	—	—
E O T	6	15	—	95-0	57.5	—	12	87	—	—	—	—
E O T	1	15	—	71-7	57.5	—	12	57.5	—	—	—	—
E O T	1	15	—	83-0	57.5	—	12	57.5	—	—	—	—
E O T	1	60	15	55-0	87	57.5	29	57.5×2	—	—	—	—

* 日立製作所日立工場 走行中—HP×2 とあるは2電動機駆動

第2表 直流電動機仕様一覧表

枠 番	台数	出力(HP)	回転数(rpm)	電 圧 (V)	定 格	全重量 (kg)	回転重量(kg)	GD ² (kg-m ²)	最大安全回転数 (rpm)
402	1	5.8	800	230	30分	200	40	0.37	3,500
602	0	8.5	760			270	65	0.71	3,600
603	12	12	670			350	85	1.24	3,300
604	4	16.8	645			400	120	1.97	3,000
606	15	29	540			550	160	4.23	2,600
608	14	40	490			780	250	7.63	2,300
610	29	57.5	470			1,100	300	12.2	2,100
612	31	87	455			1,450	430	20.7	1,900
614	4	120	420			2,000	630	35.4	1,700
616	6	177	420			2,800	890	61.0	1,600
618	2	170	440		60分	3,500	1,100	97.0	1,500

- 備考： 1. 電動機はすべて直巻電動機である。
 2. 全閉型，短時間定格である。
 3. 温度上昇限度は 60°C（温度計法），周囲温度は 55°C である。
 4. 602 番は受注していないが参考のため併記した。
 5. 電動機の総台数は 118 台である。

度制御容易で，運転性能がすぐれている。

（4）すべて間接制御方式である。

電磁接触器，限時継電器，電圧継電器を用いて，あらゆる運転操作に対して，迅速かつ安全な加減速が行われるよう設計されているため，運転が容易である。

（5）あらゆる故障に対して保護が考慮されている。

3. 電動機の構造と特性

電動機はすべて米国鉄鋼協会より1947年新規格⁽¹⁾として制定されたいわゆる AISE 600 番型直流電動機である。

これは従来の AISE 400 番型電動機，あるいはわが国にて使用されてきた日鉄規格⁽²⁾または JEM 規格⁽³⁾によるものに比べて，ほぼ1枠番下の構造寸法に同定格の容量をもたせたもので，設計ならびに構造，絶縁材料の進歩による電動機の小型化と信頼度の増大を如実にあらわすものである。その結果，回転子慣性の減少とともに，据付や保守および運転制御の点で著しい特長を発揮した。

今回納入した直流電動機は前述の第2表に示すものであるが，これら電動機に共通な仕様は，次のとおりである。

- （1）界磁巻線は直巻巻線である。
 - （2）絶縁はB種，かつ湿度100%を考慮して耐湿絶縁を施す。
 - （3）温度上昇限度は60°C(温度計法)である。ただし周囲温度は55°Cとする。
 - （4）定格は全閉30分定格，ただし 170HP電動機(618番)のみ全閉60分定格とする。
- 以下，電動機の構造ならびに特性についてその概要を

説明する。

3.1 構造

3.1.1 回転子

通常の設計のものに比べて，回転子慣性を極力少なくするよう特に考慮し，温度上昇，整流などの諸点もあわせ考えて，最も合理的な電機子外径を撰定した。また，電機子巻線の電流密度，アンペア導体のスロット形状，セグメント電圧，刷子のセグメントカバー数なども整流特性や温度上昇の点から，全枠番について一貫した見地から十分な検討を加え，統一ある設計となつている。そのほか，鉄損と銅損の割振りをよくして，全体の発生損失を少なくし，温度上昇を各部均等にするよう損失の配分にも考慮を加えた。

電機子巻線は，614 番以下の枠番の電動機に対しては，波巻巻線を採用して，均圧線の使用をさけ，事故発生の原因を少なくした。616 番と 618 番については，良整流特性を確保するため重巻巻線としたが，均圧線は反整流子側に設けて万一事故発生の場合，容易に見修りができるよう考慮した。電機子巻線はヒートプレースしてスロットに挿入され，スロット内でのゆるみを極力少なくして，冷却効果をよくするとともに，急速な正逆転や外部からの衝撃に対して機械的にも電気的にも信頼度の高いものになつている。またバインド線には非磁性線を用い，バインド線内での熱損失の発生を抑え，整流を良好なるよう考慮した。さらに電機子鉄心は大型機に対しては，特に鉄損の少ない鉄板を選んで使用するなど細心の注意を払つた。

整流子ライザーはすべて整流子片より削り出す構造で，電機子導体が真直ぐこれに挿入接続される。この

ため、機械的にも熱的にもきわめて信頼度高く、ライザ一部での故障を排除するべく努めた。また整流子片および片間マイカは特に材料の吟味を入念に行い、整流子の成形工作、組立には細心の注意を払つてある。

電機子鉄心、および整流子下部には、有効な軸方向の通風孔を設け、また反整流子側エンドプレートは、電機子巻線端を包むような構造となつて、これを保護するとともに、通風孔をもち、またファンにもなり、通風冷却が有効に行われるよう設計されている（第7図参照）。

なお、直巻電動機の場合、軽負荷における速度は定格速度に比べて著しく高くなるので、この場合でも十分機械的に耐えられるよう考慮し、第2表に示すように最大安全速度を規定しておいた。

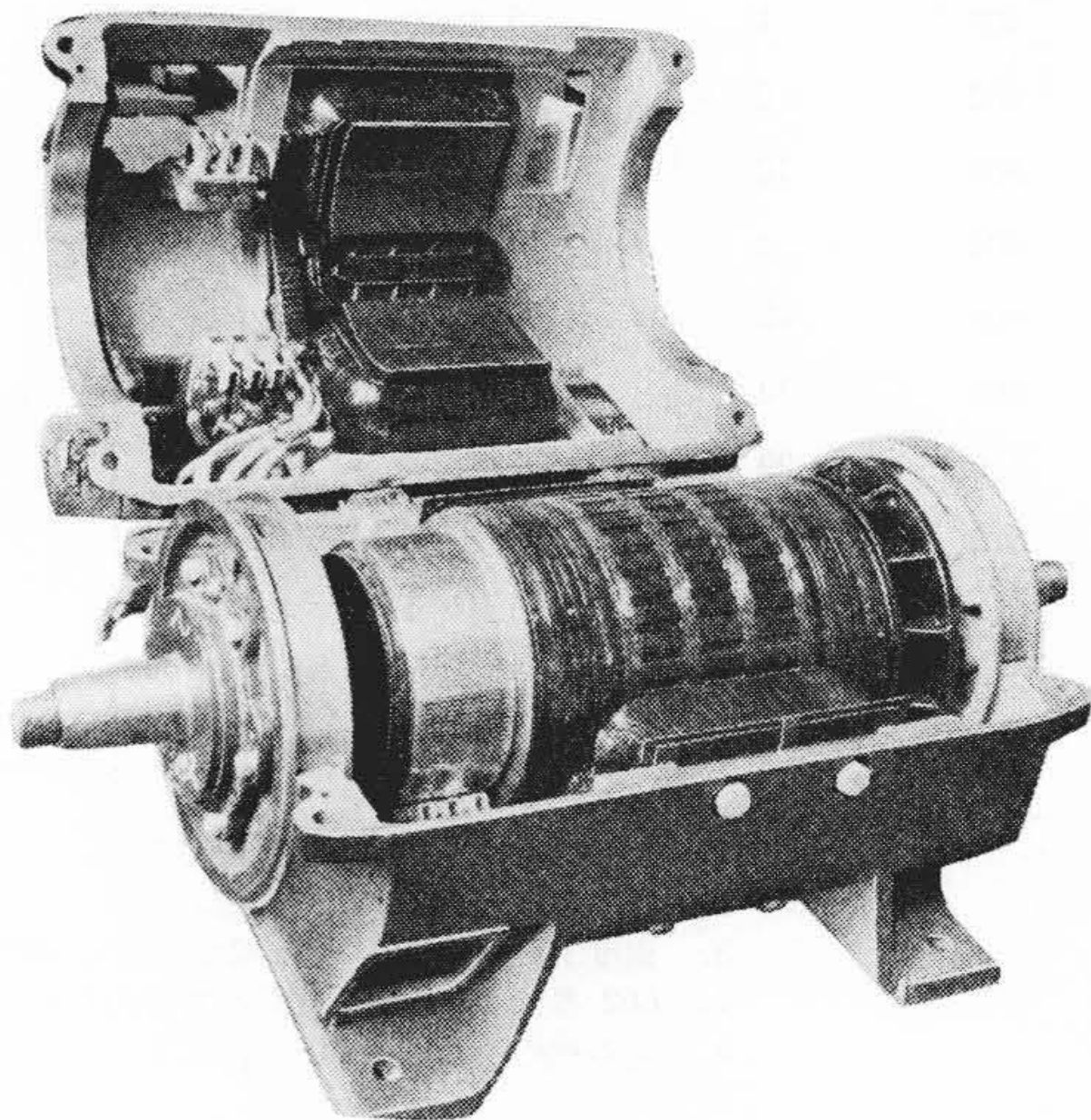
3.1.2 固定子

コイルの占積率を増すため、全枠番を通じて、4極8角形の鋳鋼製外枠となつており、また分解点検に便利なるよう外枠はすべてヒンジ付二つ割り構造である（第2図参照）。なお614番以上のものに対しては、万全を期してボルト締めも併用した。

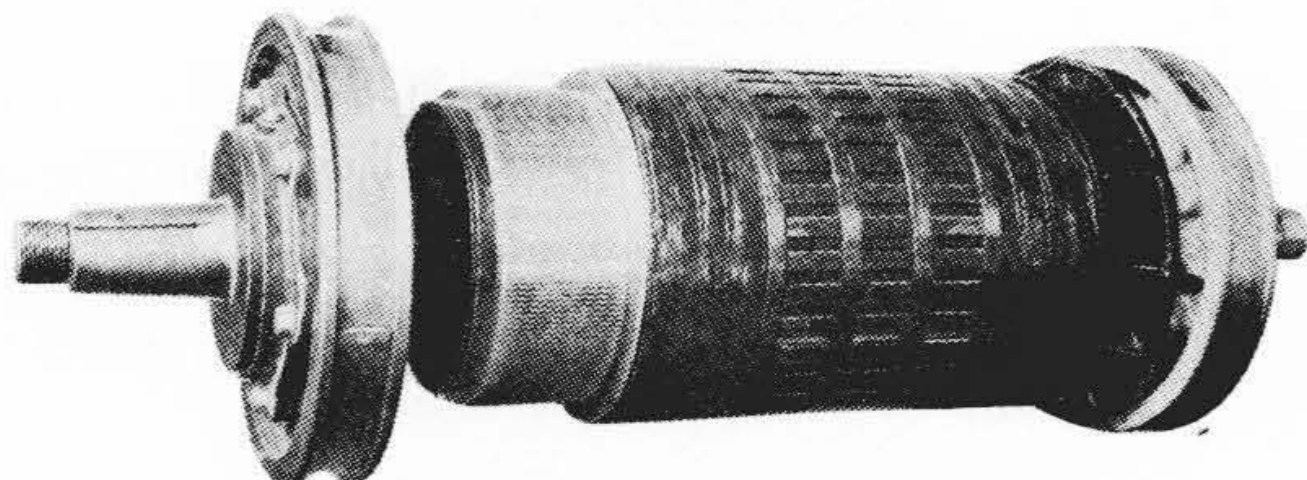
主極巻線と補極巻線は、熱放散や占積率を良くするため、適宜フラットワイズまたはエッジワイズに巻き、最適の設計となつている。また強度の大きい打抜型ボビン板を使用し、ボビン板と継鉄との間には強力なバネ板を入れて界磁巻線を押え、振動や衝撃に耐えうる構造とした。さらにこれら巻線は磁極鉄心にしつかり固定されるよう加熱して挿入する作業方法をとっている（第4図参照）。

主極鉄心および補極鉄心の空隙に面する先端部分の形状や寸法は整流作用に非常な影響を及ぼすので特に入念に検討を加え、また大型機は補極磁束回路に非磁性ライナーを挿入して急激な電流変化に対しても良好な整流を得るよう心がけた。なお、補極鉄心の磁路断面積は磁氣的に飽和しないよう余裕のあるものとして、過負荷における良整流を確保するようにしてあ

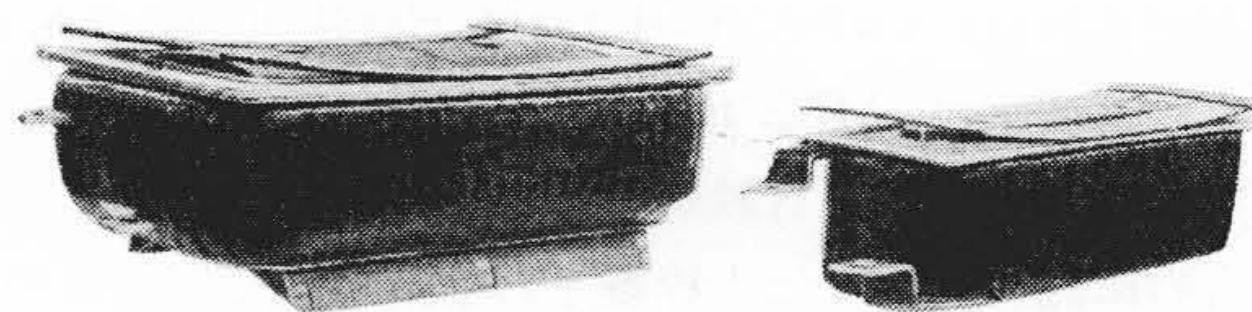
る。主極鉄心は鋼板積層鉄心であるのはもちろんであるが、軸方向に心金を入れて、機械的強度と継鉄への



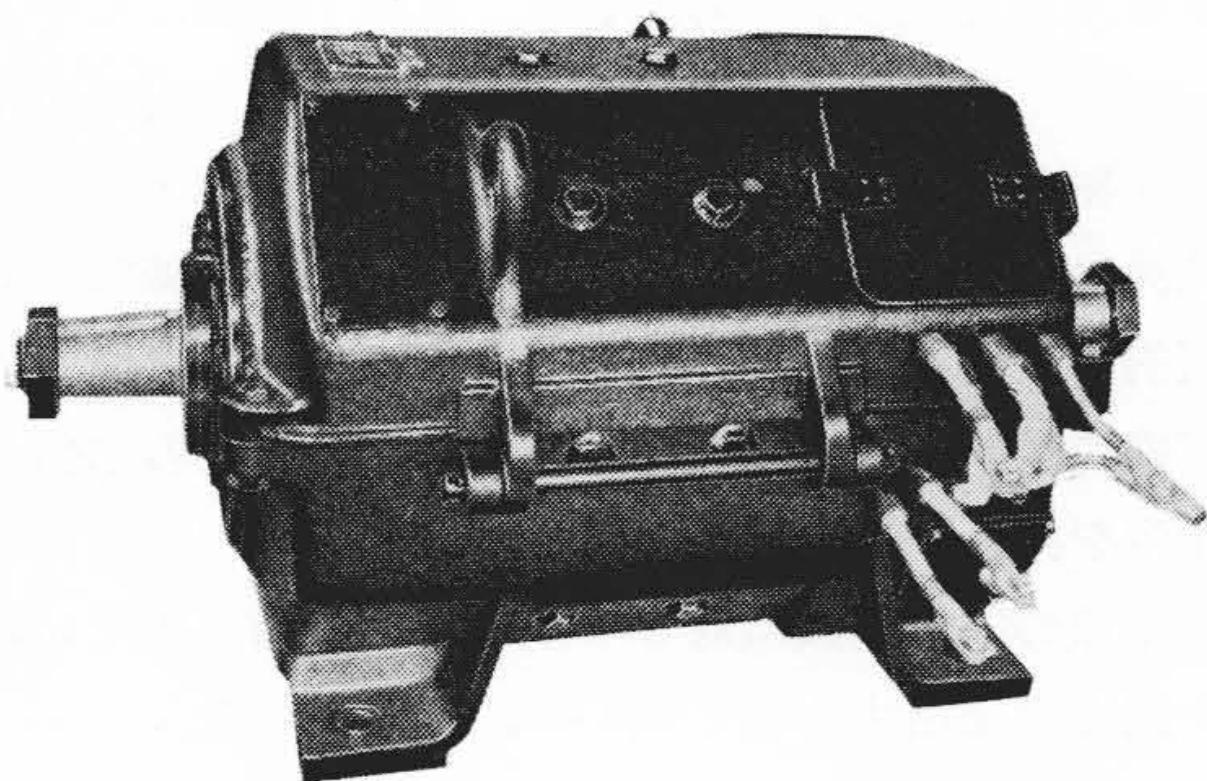
第2図 AISE 612番, 87HP直流直巻電動機内部状況



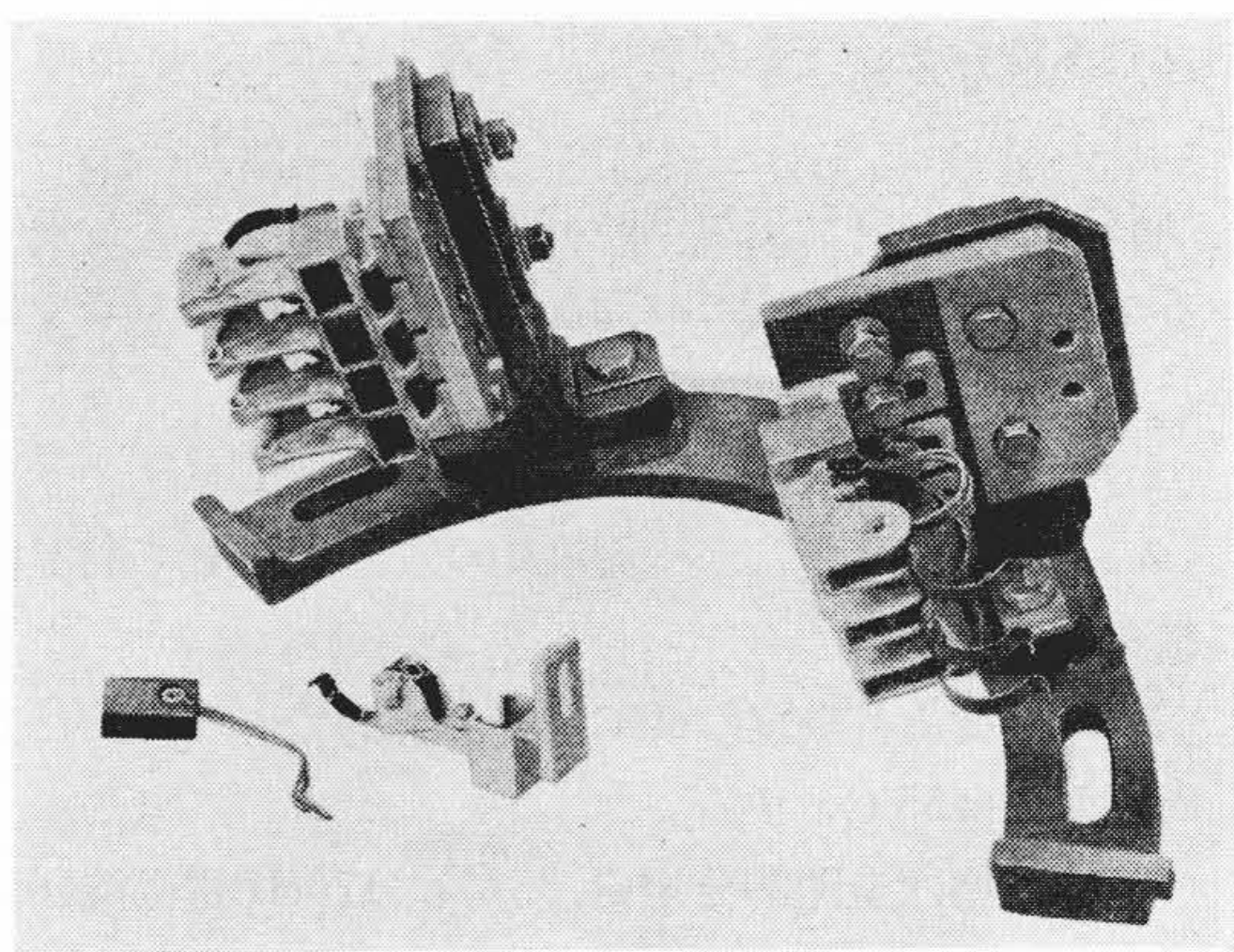
第3図 AISE 612番, 87HP直流直巻電動機回転子



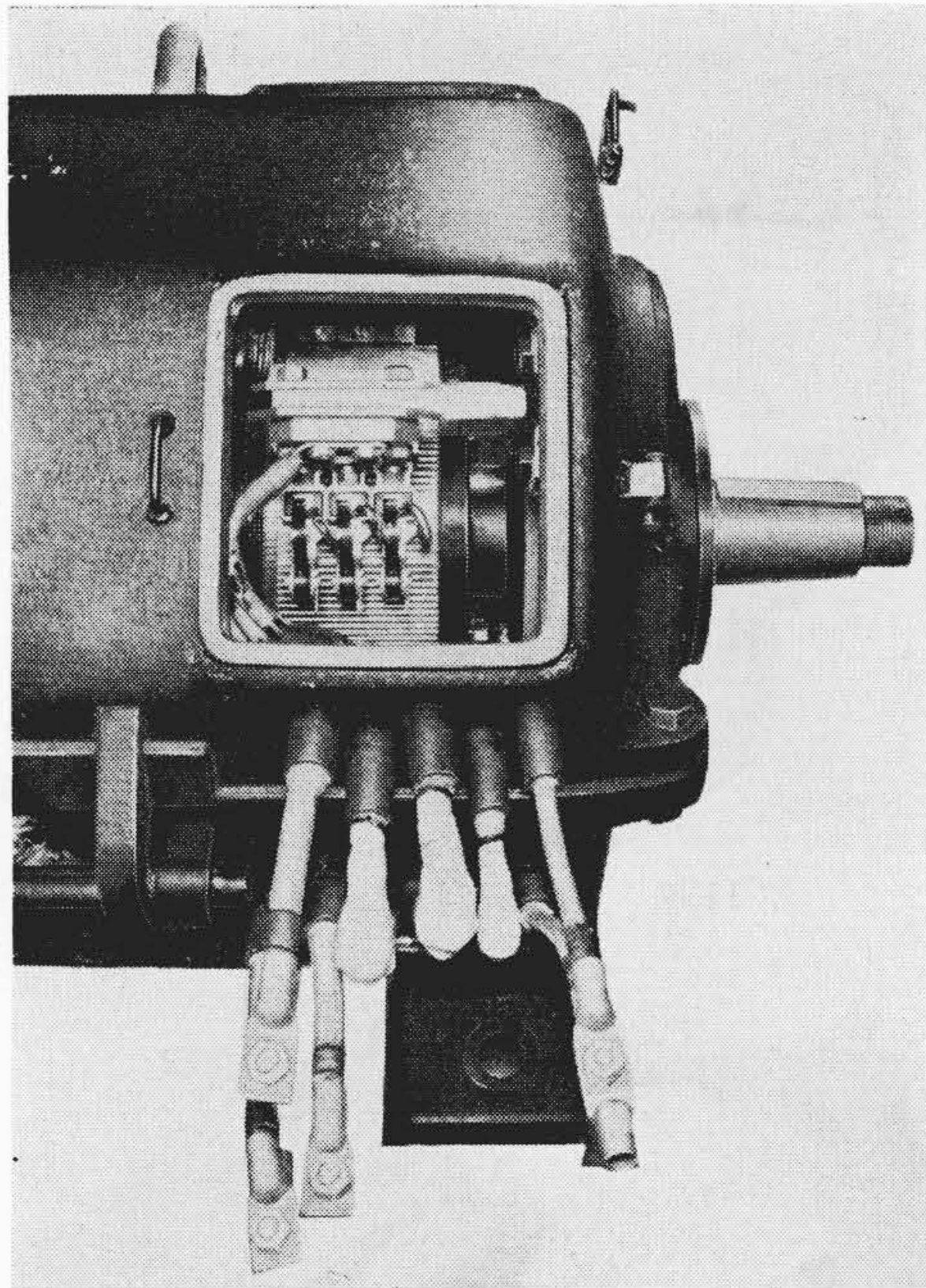
第4図 AISE 612番, 87HP直流直巻電動機の主極(左)および補極(右)



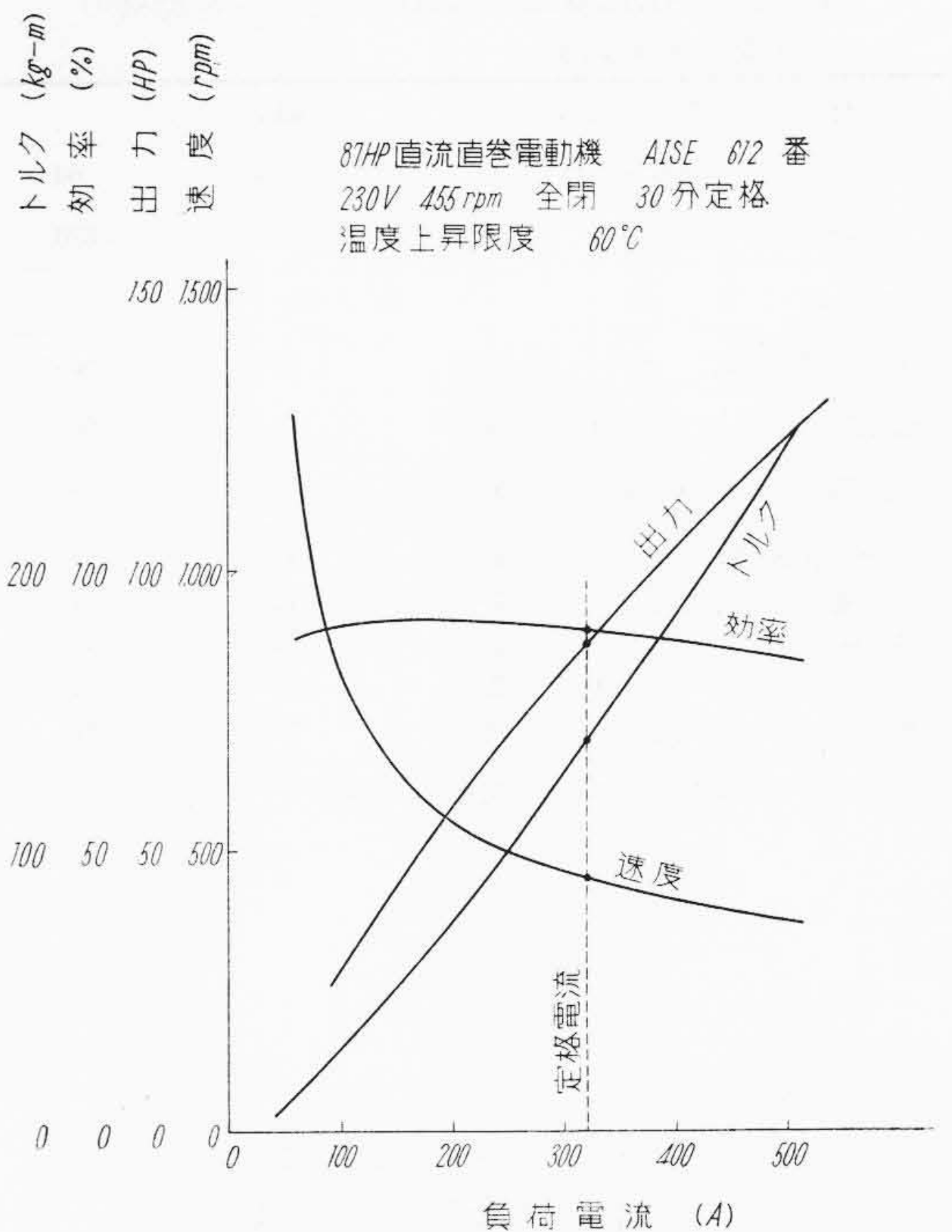
第1図 AISE 612番, 87HP直流直巻電動機外観
230V 455rpm



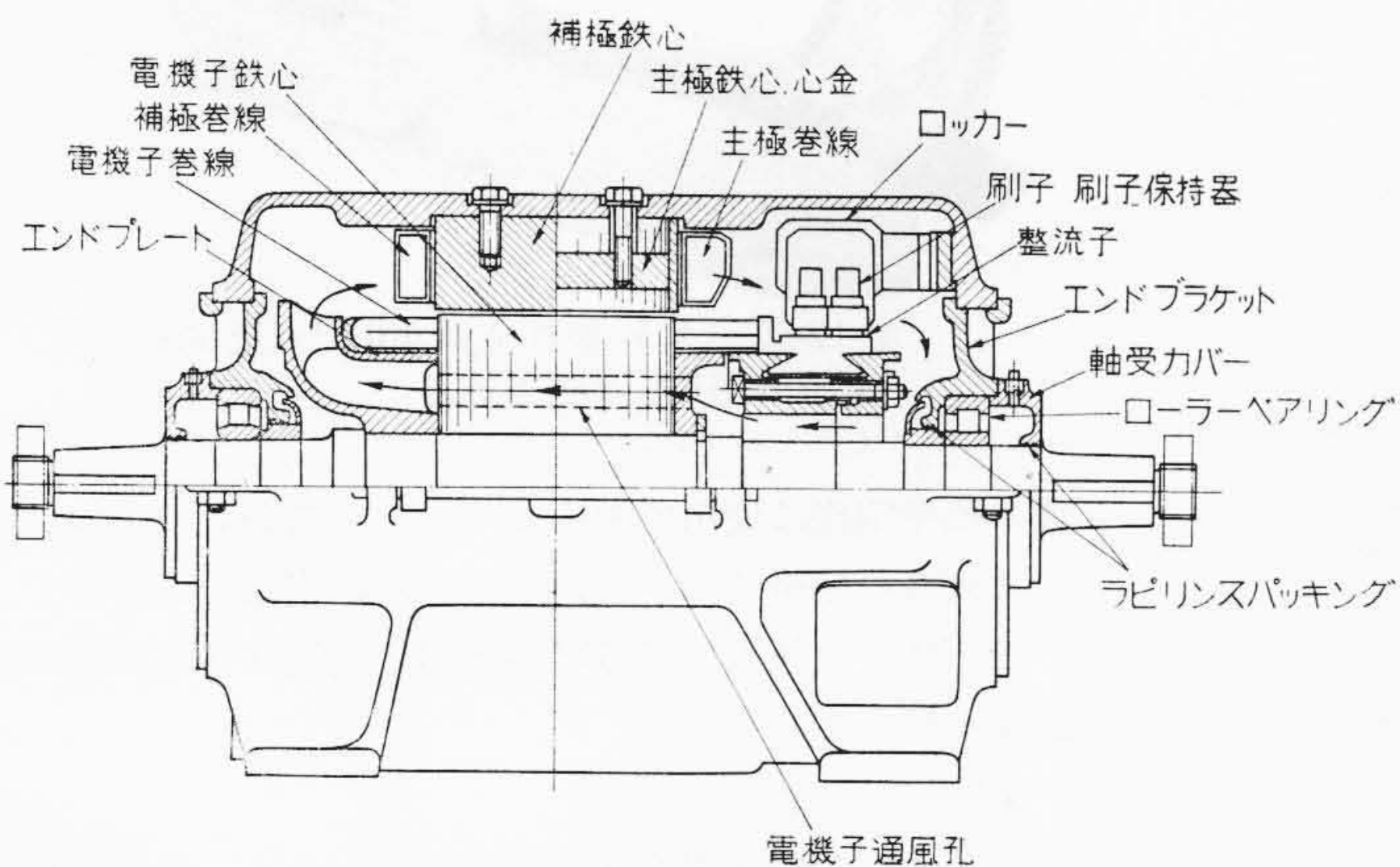
第5図 AISE 612番, 87HP直流直巻電動機の刷子
刷子保持器およびロッカー



第6図 AISE 612 番, 87HP 直流直巻電動機整流子側ハンドホールよりみた、刷子取付状況



第8図 AISE 612 番直流直巻電動機特性曲線



第7図 AISE 600 番型直流電動機内部構造説明図

取り付けを強固ならしめた。

刷子保持器は耐熱性の絶縁物を介してロッカーに取り付けられ、刷子の位置を多少調整できる構造となっている。

刷子押えパネは蔓巻パネで簡単にして確実な方式を採用した。刷子はすべて日立製作所製で特に整流能力の優秀なものを使用している(第5図参照)。

軸受は過負荷にも十分余裕のあるもので、またカートリッジ型で内輪のみを残し密封のままで引き抜くことができる。なおグリース注入口および排出口を設けてあり保守点検が容易である。パッキングはラビリ

スとなっておりグリース洩れの心配はない。

口出し導線は耐熱耐湿性を考慮して、ガラスキャンブリック線を使用し、また継鉄貫通部はゴムブッシングをはめて、機械的電氣的にも事故の発生を防止した。

最後に代表例として612番87HP直流直巻電動機の写真を掲げておく、第1図は外観、第2図は外枠をヒンジ部分で二つに割って開いたところ、第3図は回転子、第4図は主極および補極、第5図は刷子、刷子保持器およびロッカー、第6図はハンドホールより整流

子および刷子取付状況を観たところをそれぞれ示している。また第7図は電動機内部構造説明図を示す。

3.2 特性

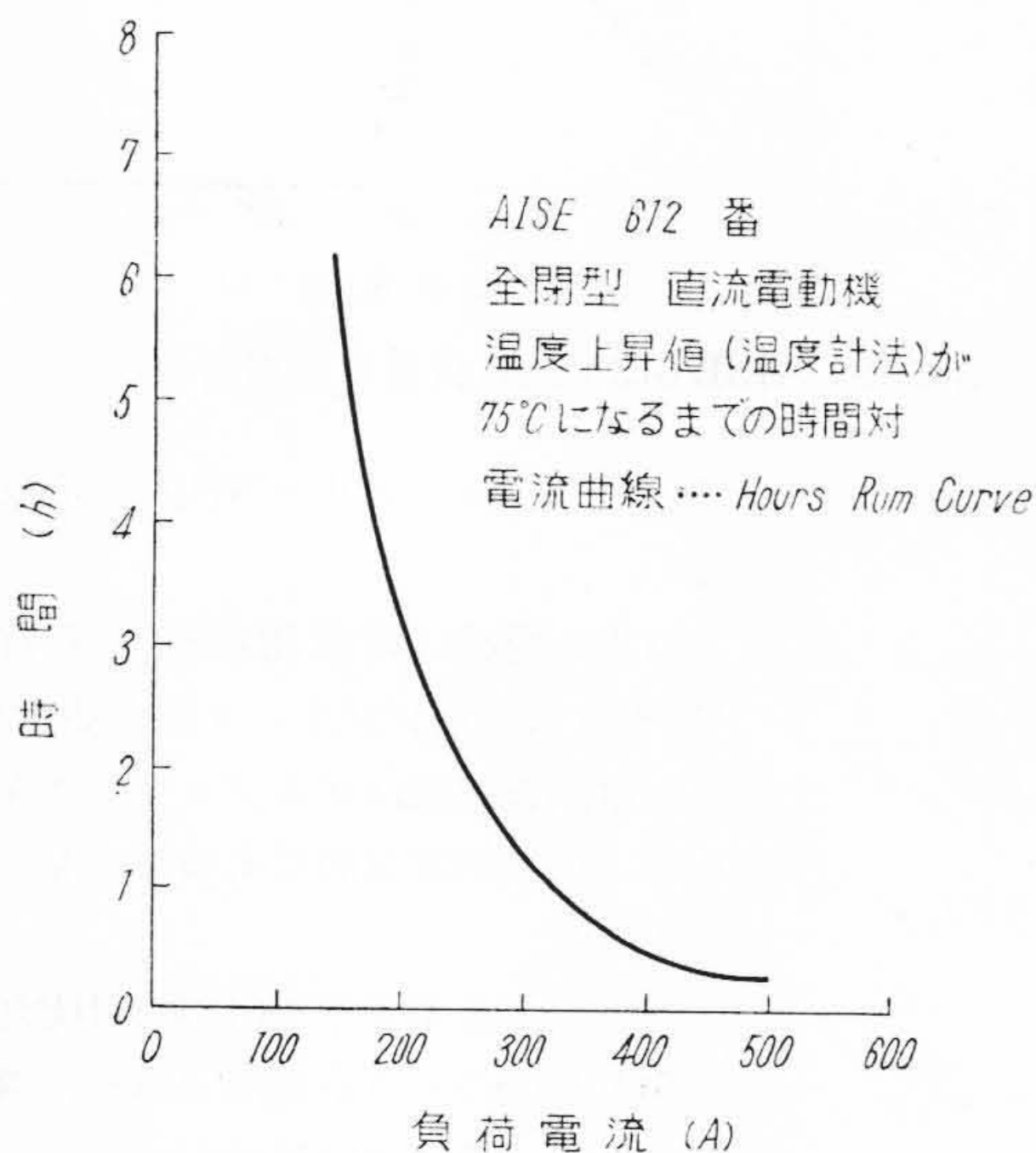
以上のようにきわめて切りつめた設計となっているが、合理的な設計と入念な製作により、次に示すように熱的にも電氣的にも、また機械的にも過負荷耐量の大きな電動機となっている。

本電動機の定格は前述のように、30分あるいは60分定格で温度上昇限度は60°C(温度計法)周囲温度55°Cの仕様となっているがこれが周囲温度40°Cしたがつて温度上昇限度75°C(温度計法)となるときには、そのままAISE規

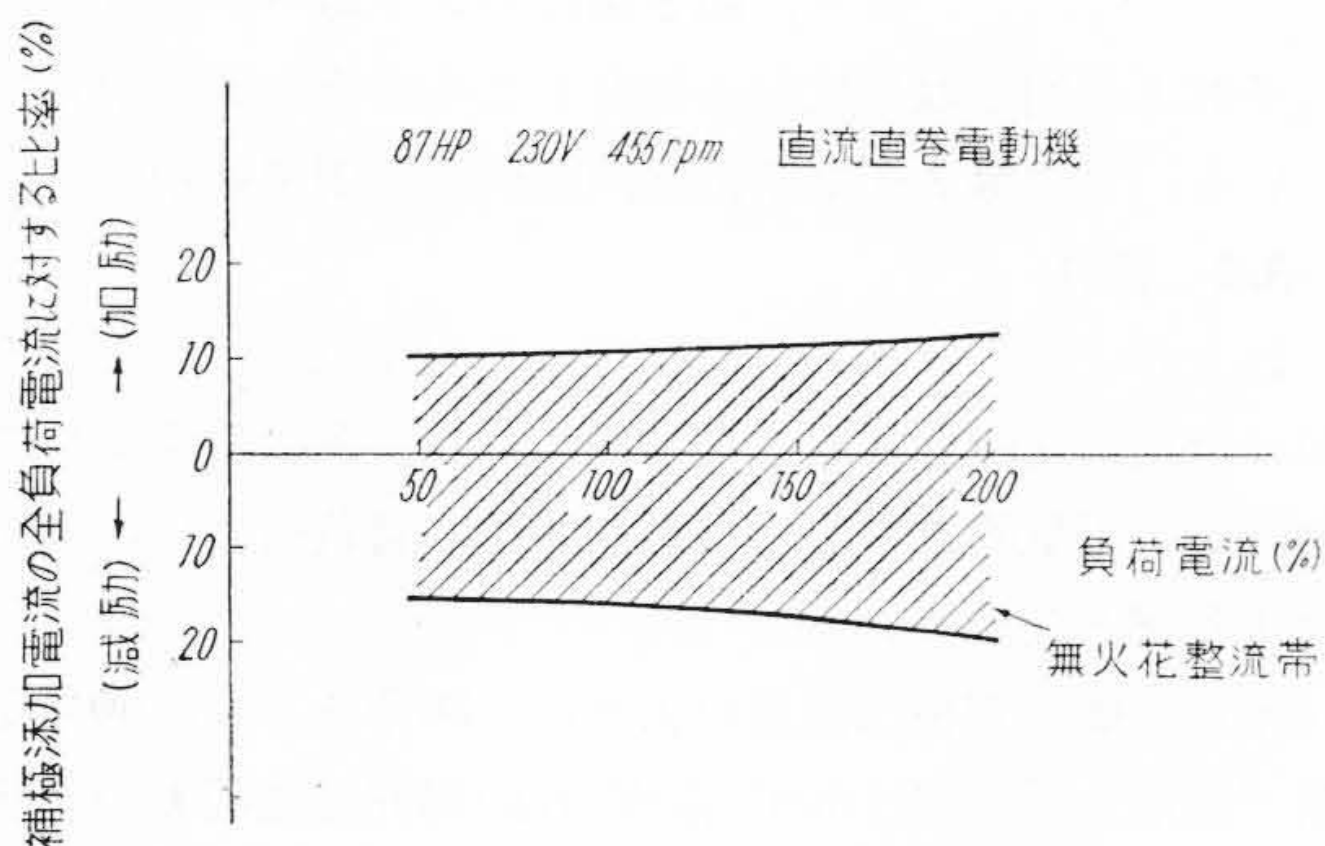
第3表 AISE 612番 87HP直流直巻電動機の
温度上昇試験値

枠 番	612		
出力 (HP)	87	75	64
回転数 (rpm)	455	475	520
冷却方式	全閉型		
時間定格	30分	60分	60分
温度上昇限度 (°C)	60	75	60
周囲温度 (°C)	55	40	55
電機子巻線 (°C)	47	57	53
主極巻線 (°C)	30	42	33
補極巻線 (°C)	43	54	48
整流子 (°C)	52	64	55
外 枠 (°C)	9	13	11

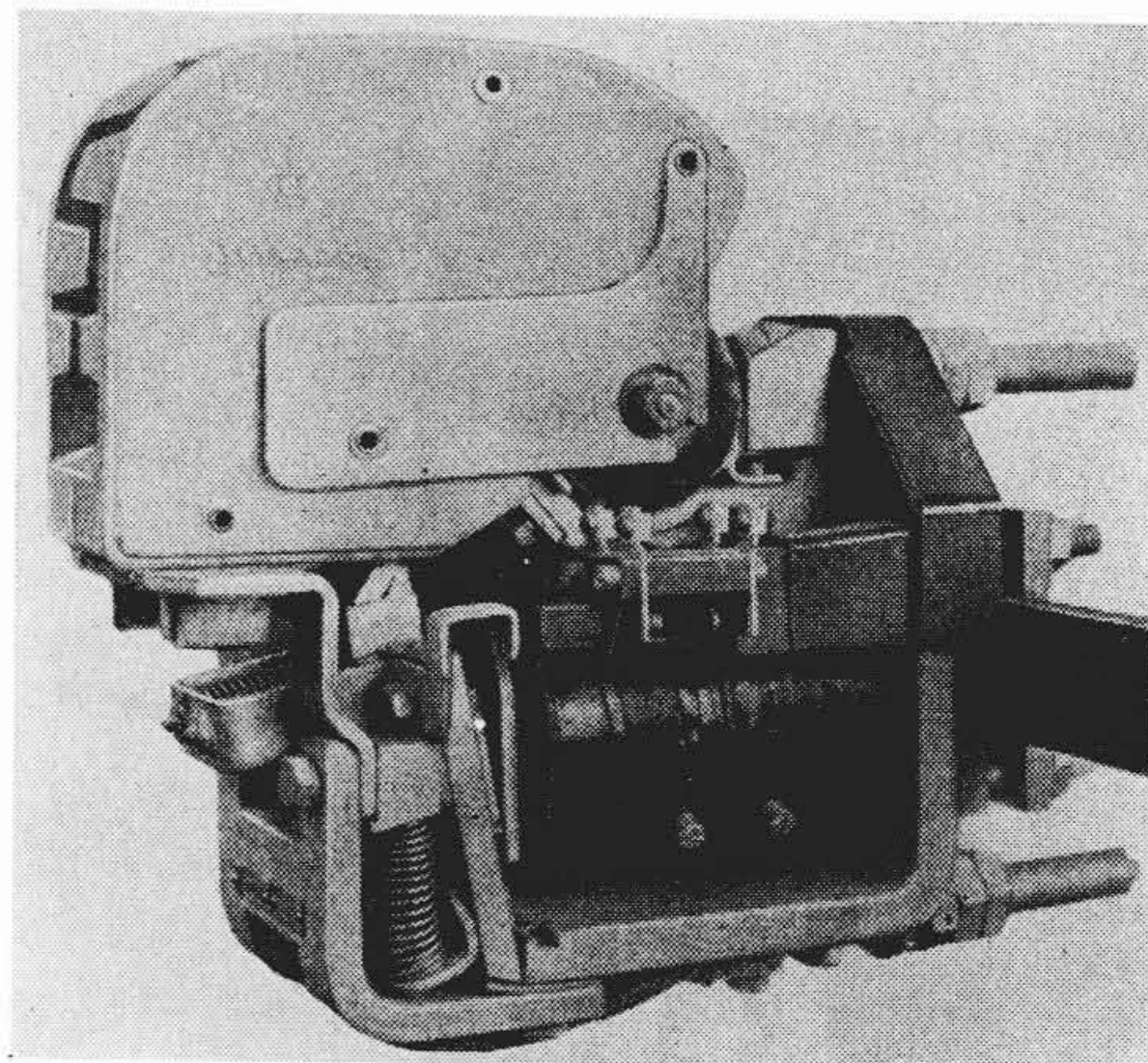
備考：温度上昇値はすべて温度計法による



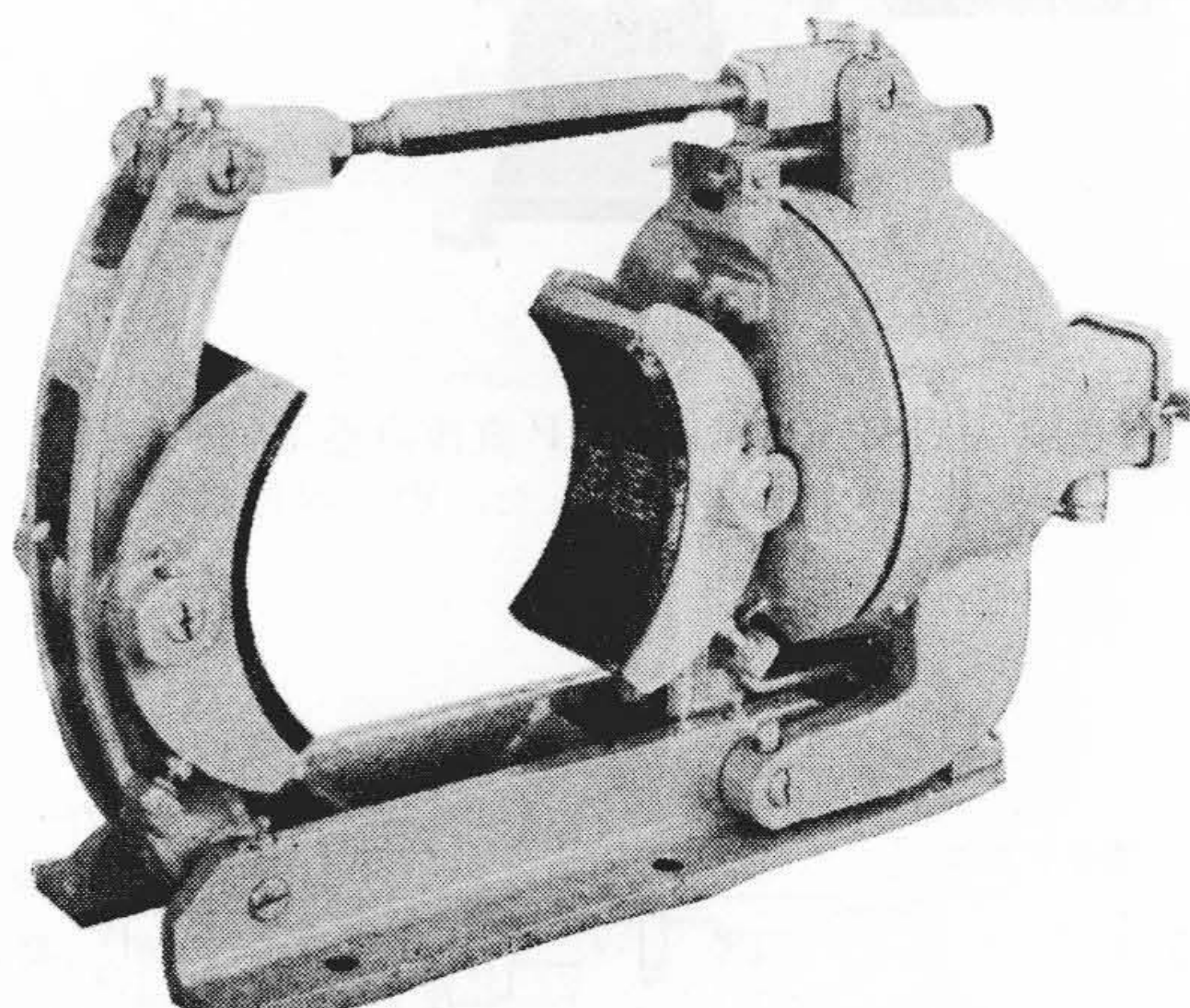
第9図 AISE 612 番全閉型直流電動機の
Hours Run Curve(試験値)



第10図 AISE 612番, 87HP直流直巻電動機
無火花整流曲線試験値



第11図 GPF 型直流電磁接触器



第12図 タタ製鉄所納 40HP直流電動
機用 AISE型電磁制動機

格の標準定格に使用できるようになっている。工場試験では両者の定格につき試験を行い、好成績をおさめた。

以下代表的例として 612 番 87HP 直流直巻電動機の試験値を紹介する。

3.2.1 速度特性その他

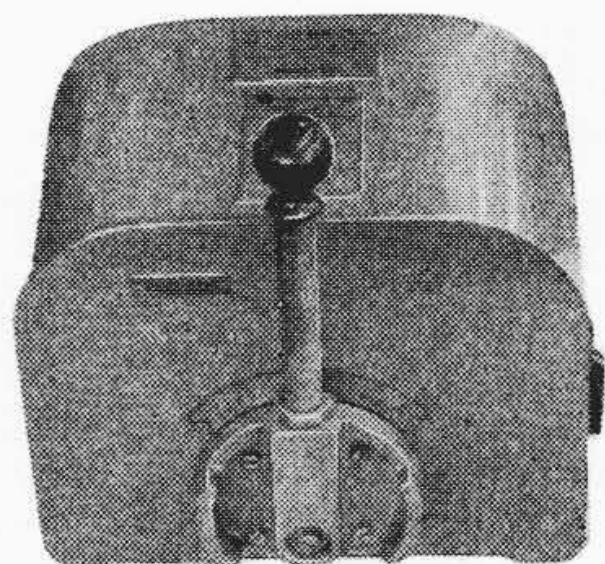
負荷電流に対する速度，出力，トルク，効率曲線を第8図に示す。

3.2.2 温度上昇値

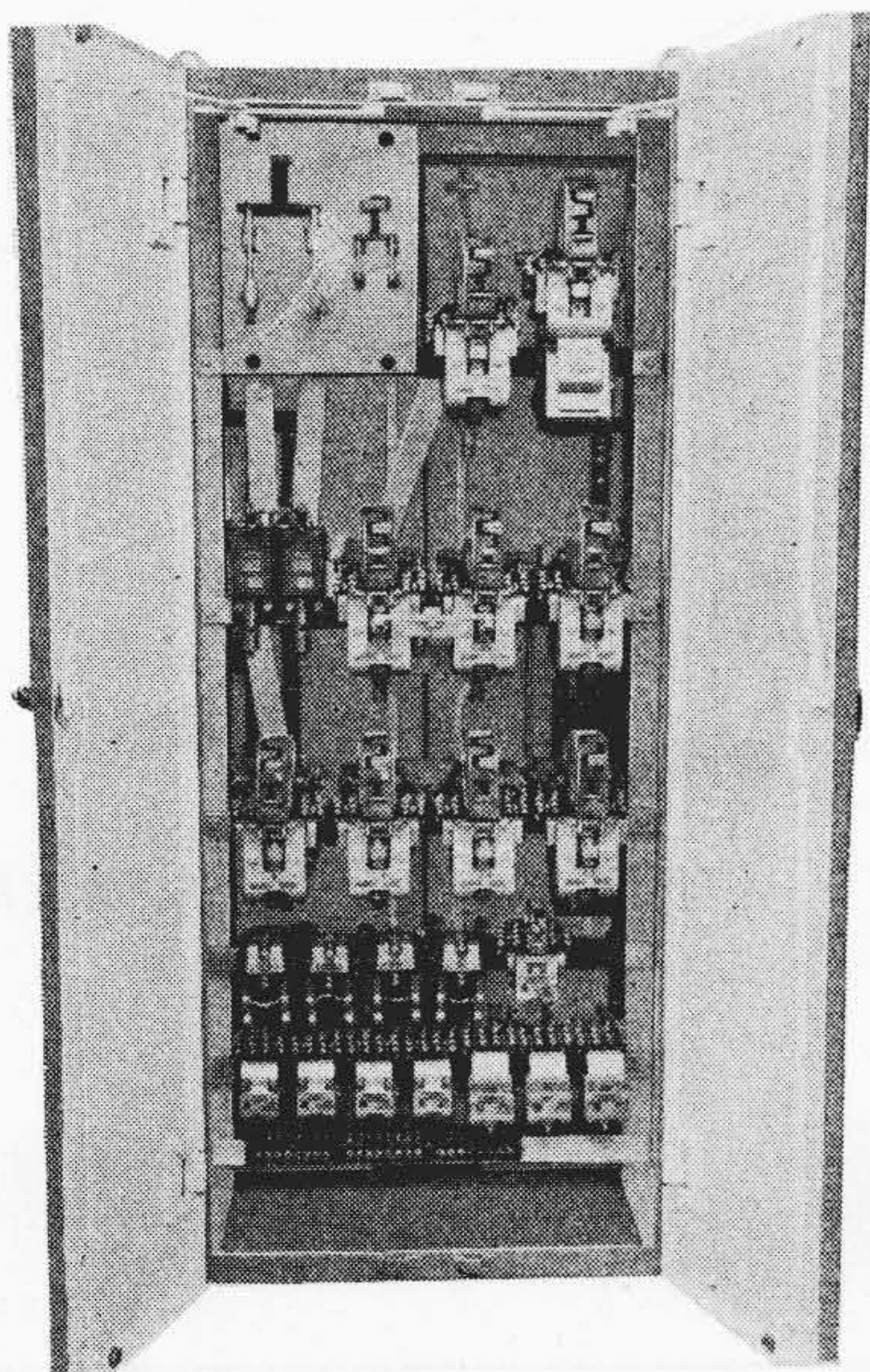
第3表に示すように温度上昇値はその限度60°Cまたは75°Cに対して余裕が大きく，したがってそれだけ電動機の寿命に対する信頼度は著しく高いものとなっている。なお第9図は温度上昇値が75°Cになるまでの負荷電流—時間の関係曲線いわゆる Hours Run Curveを示す。

3.2.3 無火花整流曲線

第10図は定格電圧100%界磁における無火花整流曲線を示す。これよりわかるように，過負荷においても良好な整流特性を有している。



第13図 主幹制御器



第14図 巻上接触器キュービクル

4. 制御器具と制御方式

4.1 制御器具

電磁接触器の優劣は設備の優劣を決定する重要な要素であるが、本設備の電磁接触器は、好評の GPF 型直流電磁接触器シリーズに、さらに特殊条件を考慮して設計したものであり、摩耗の少ないナイフエッジ・ベアリングと、迅速なる消弧機構を備えているので、機械的および電氣的に十分な寿命を有することが寿命試験において確かめられたものである。また接点の点検、交換もきわめて容易な構造のものである。

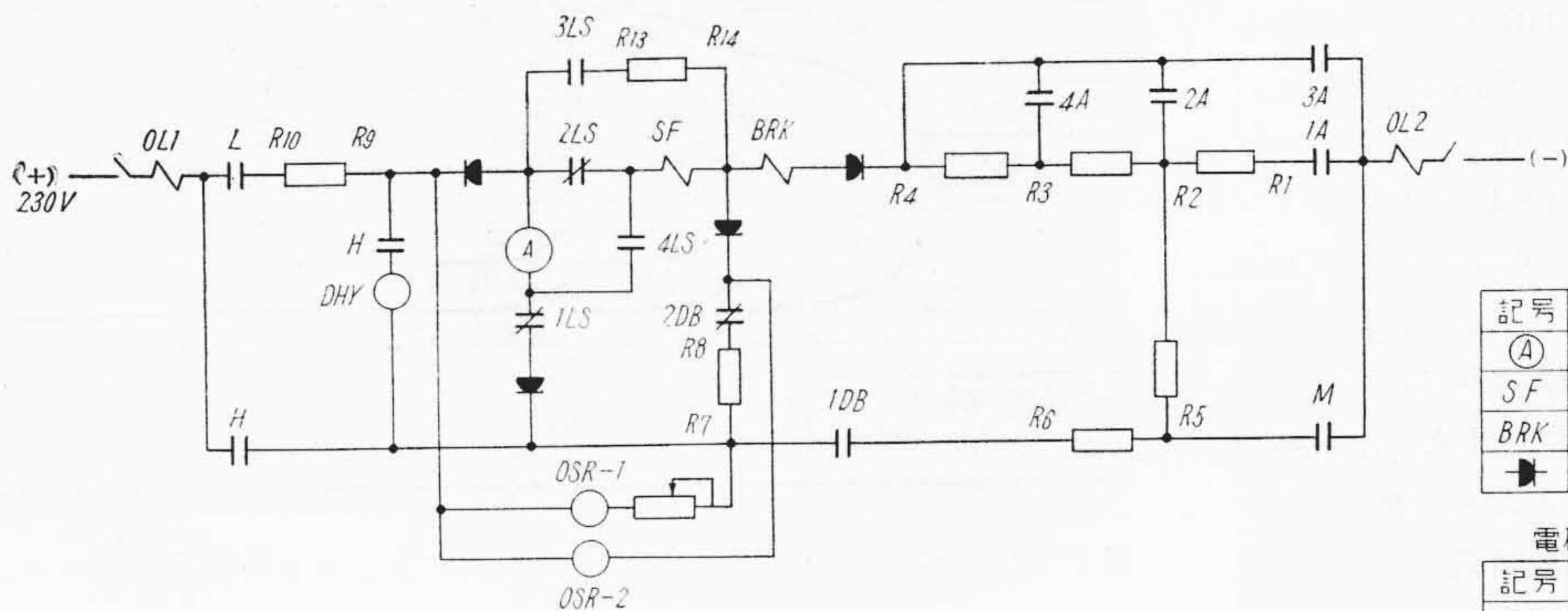
電磁制動機は、電動機に合せて AISE のミル補機および起重機用の標準型を採用している。電磁石はクラッパ型であること、B種絶縁であること、完全な防水構造であること、注油装置が設けられていることなどの特長を有する。

主幹制御器は小型軽量、操作容易であり、保守点検も容易な構造であり、また接点部分には磁気吹消用の永久磁石を備えており接点の消耗を少なくする構造になっている。

4.2 制御方式

4.2.1 巻上制御回路

第15図に巻上主回路を示す。本方式は9個の主回路接触器、主回路直切型の過巻制限開閉器、動作時間の小さい直巻型の電磁制動機などを使用し、各ノッチの運転特性が良好であること、加減速および故障に対する万全の保護が考慮されていることなどの種々の特長を有している。

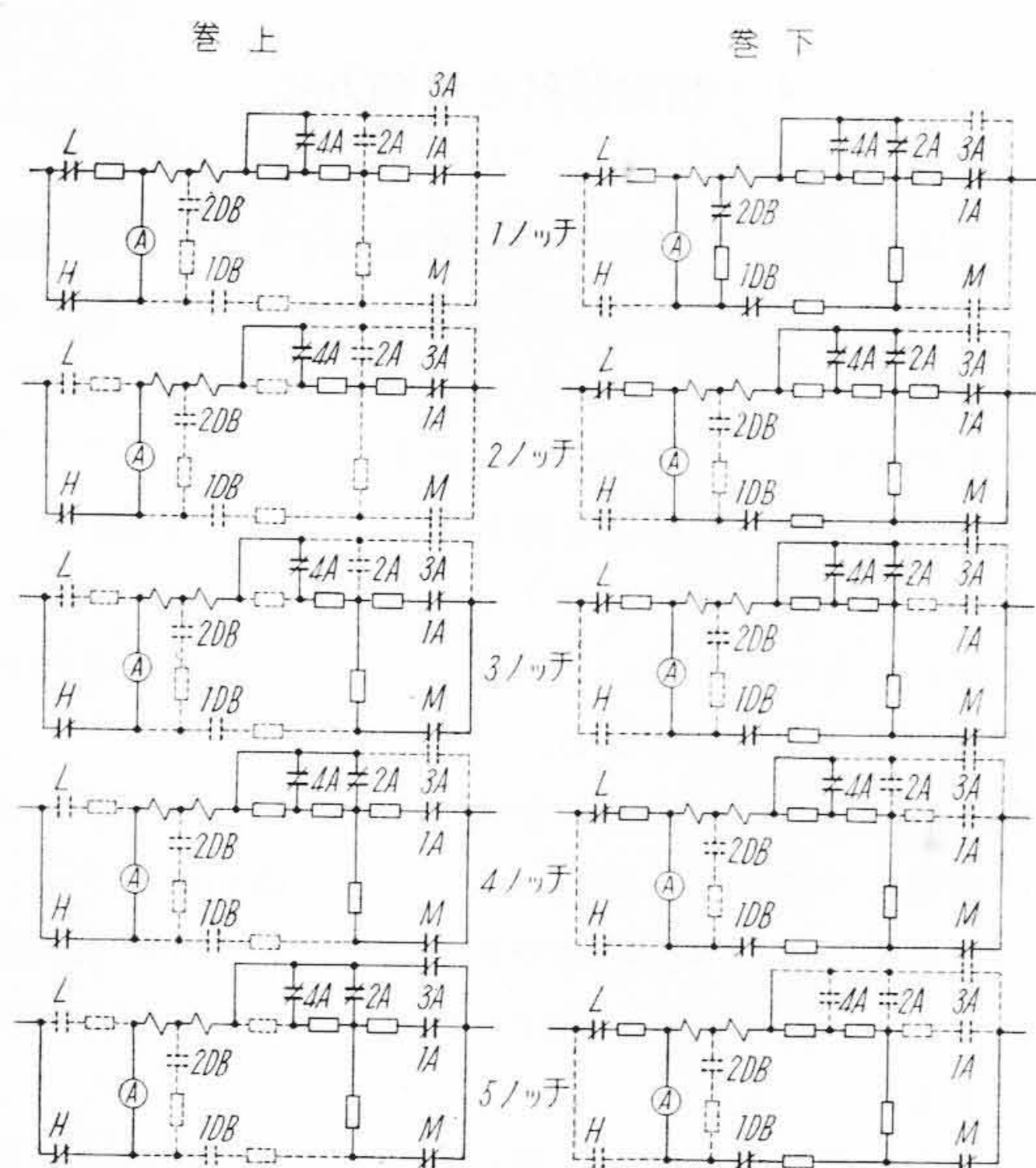


記号	説明
(A)	電機子
SF	直巻界磁
BRK	電磁制動機
トローリシュー	

電磁接触器

記号	説明
H	巻上
L	巻下
IDB	巻下
2DB	制動
M	主回路
1A	加速
2A	
3A	
4A	

第15図 巻上主回路



第16図 巻上および巻下各ノッチにおける主回路接続

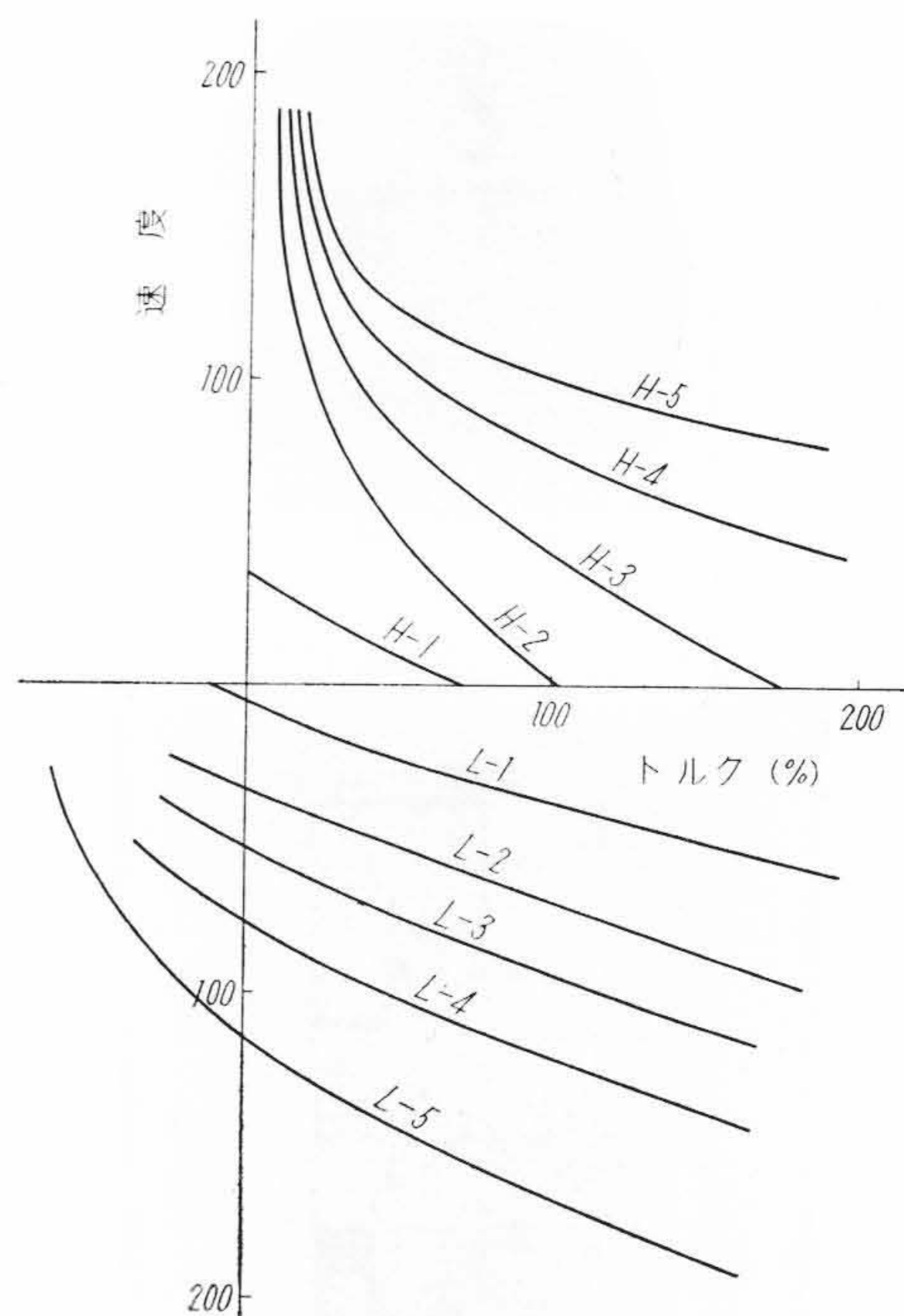
(1) 各ノッチの特性

巻上げ、巻下しの各ノッチの主回路接続を第16図に示す。第17図はトルク速度曲線の一例である。巻上第1ノッチでは、図に示すような特性となるので空フックのロープの巻取りも静かに行うことができる。第2、第3、第4、第5ノッチは、直巻特性の加速ノッチである。

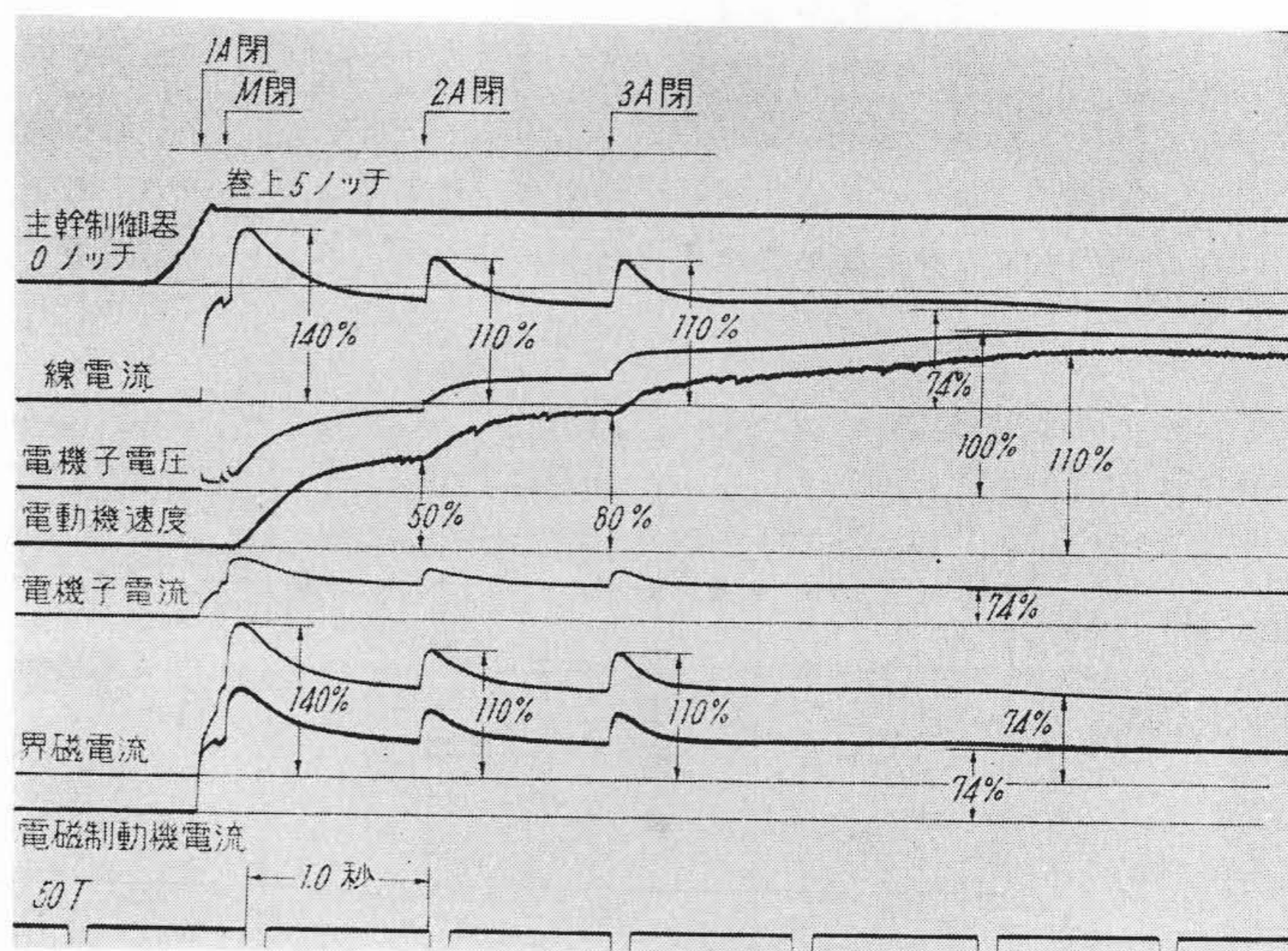
巻下時には、電動機電機子と、界磁とは分巻接続となる。第1ノッチでは、接触器2DBが閉じ、界磁を強めているから、低速度が得られ、全負荷時速度も30%程度であるから、着床制御が容易である。第2ノッチでは、2DBの回路が開いて加速し、第3～第5ノッチでは、順次界磁直列抵抗が挿入されて、界磁が弱められ、高速度に達する。なお第17図より見られるとおり、巻下し各ノッチの曲線は、無負荷から全負荷まで速度変化が少なく、この方式の運転特性が良好であることを示している。

(2) 自動加減速

自動加減速の行われなないクレーンでは、運転に際して、主幹制御器の操作を十分注意して行わねばならず、熟練を要するのであるが、本設備では自動加減速方式を採用してあるので、主幹制御器をいかに乱暴に



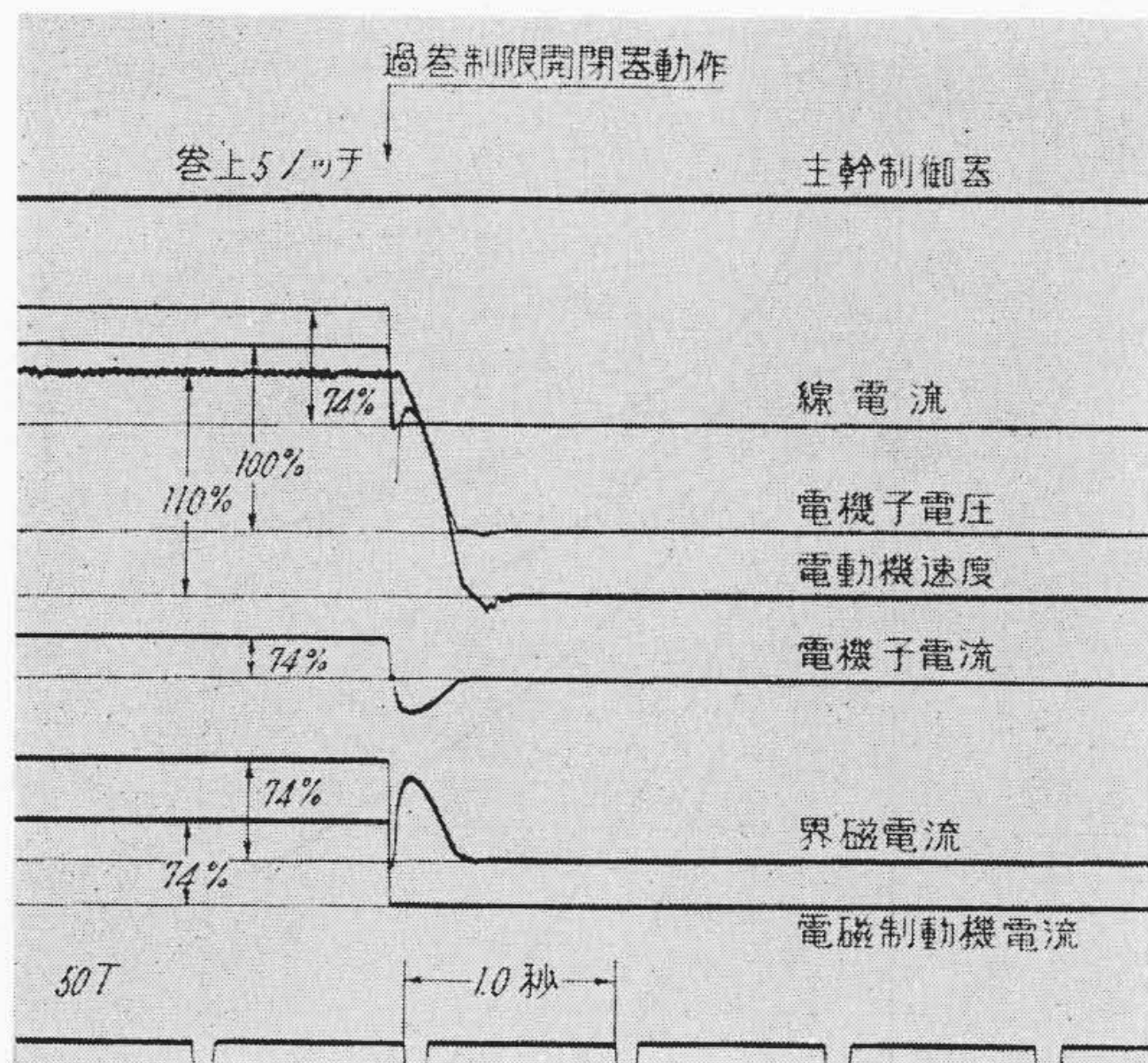
第17図 57.5HP 巻上電動機のトルク速度曲線



第18図 50t 天井走行クレーン実負荷試験巻上加速時電磁オシログラム

操作しても、円滑に加減速が行うことができる。以下その主な場合について簡単に説明する。

- (i) 主幹制御器を巻上5ノッチに急操作した場合
主回路は第16図巻上第3ノッチの接続となり、第3ノッチのトルク—速度曲線に従って加速する。一定時間後、限時継電器の動作により、第4ノッチ



第19図 50t天井走行クレーン実負荷試験過巻制限開閉器動作時電磁オシログラム

の接続となり加速し、さらに一定時間後、限時継電器の動作により第5ノッチの接続となり全速に至る。このように、限時継電器により、加速ノッチが進められるため、運転把手をいかに乱暴に操作しても、電動機に過大電流を流す危険はない。

(ii) 主幹制御器を巻下し5ノッチに急操作した場合

第16図巻下第2ノッチの接続で加速し、その後は限時継電器の動作により、界磁弱め段階に入り、第16図巻下第3ノッチの接続となり、ついで巻下し第5ノッチの接続となり、全速に至る。

(iii) 主幹制御器を巻上5ノッチから、巻下5ノッチに逆転する場合

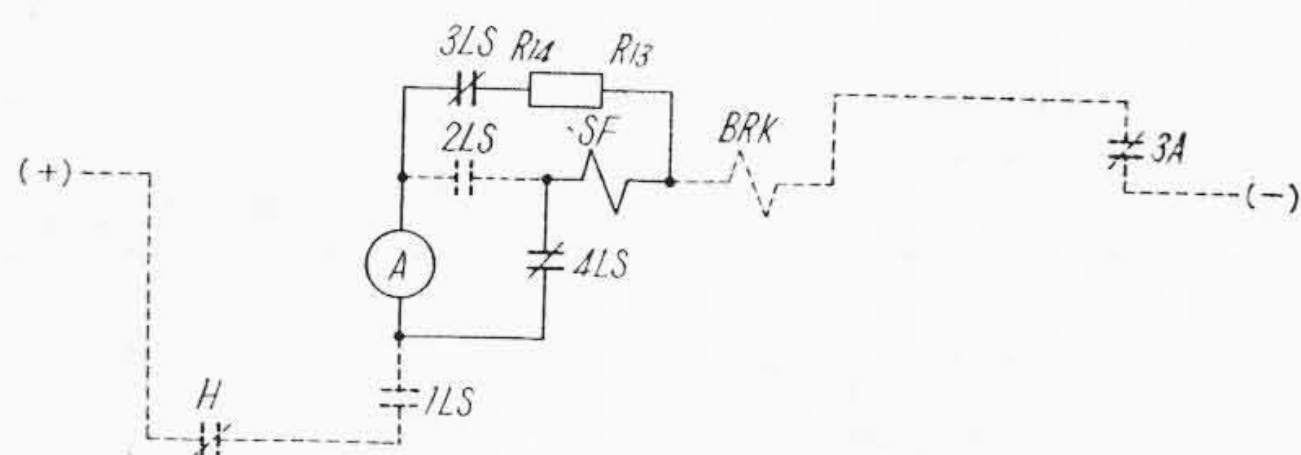
最大速度で巻上中、過巻制限開閉器付近で急停止せしめようとして、極端な場合であるか誤つて主幹制御器を巻上5ノッチから、巻下5ノッチに進める場合を考えるとこの場合でも電動機は逆転接続となり、巻上減速の限時継電器および巻下し加速の限時継電器の動作時間の間、界磁の強い巻下第2ノッチに保たれ、十分な逆転トルクが働いて、急速な停止を行うことができるようになっている。

(3) 過巻防止制限開閉器

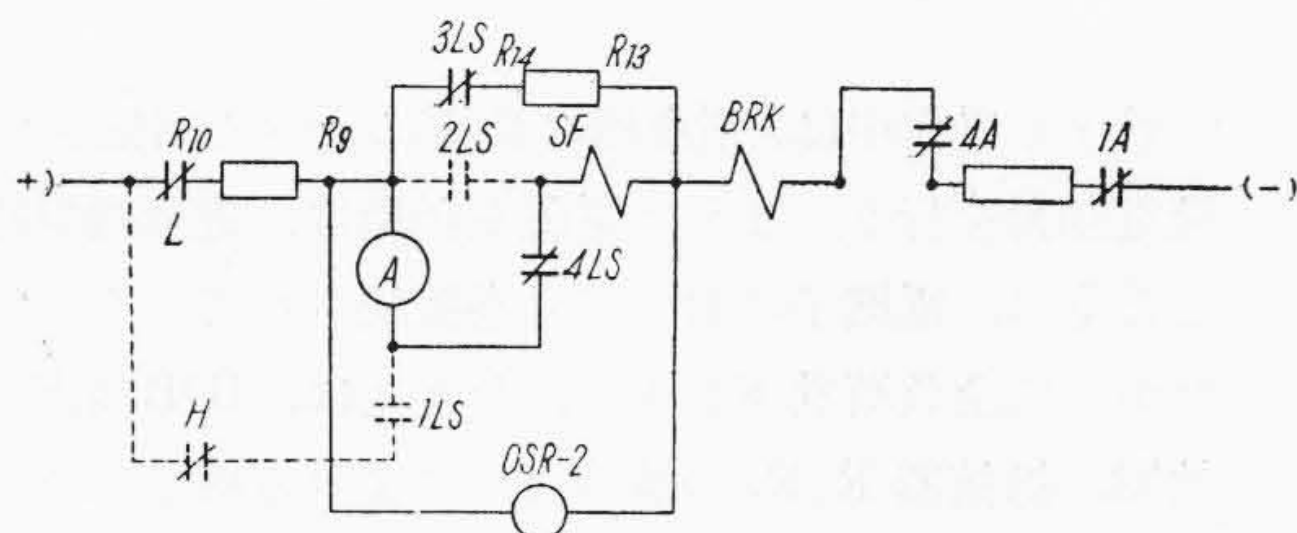
主回路直切型の制限開閉器を用いて保護の確実を期しているのは従来のものに比して著しく異なつた点である。以下これが動作した場合に起る二、三の問題を検討してみよう。

(i) 巻上第2ノッチ～第5ノッチにおいて制限開閉器が動作した場合

第20図の回路となる。すなわち、電機子の接続は



第20図 巻上2～5ノッチで巻上中に過巻制限開閉器が動作した場合の回路



第21図 巻上1ノッチで巻上中に過巻制限開閉器が動作した場合の回路

逆となり、強力な発電制御を行うとともに、電磁制動機による機械制動がかかつて急速に停止する。

(ii) 巻上第1ノッチにおいて制限開閉器が動作した場合

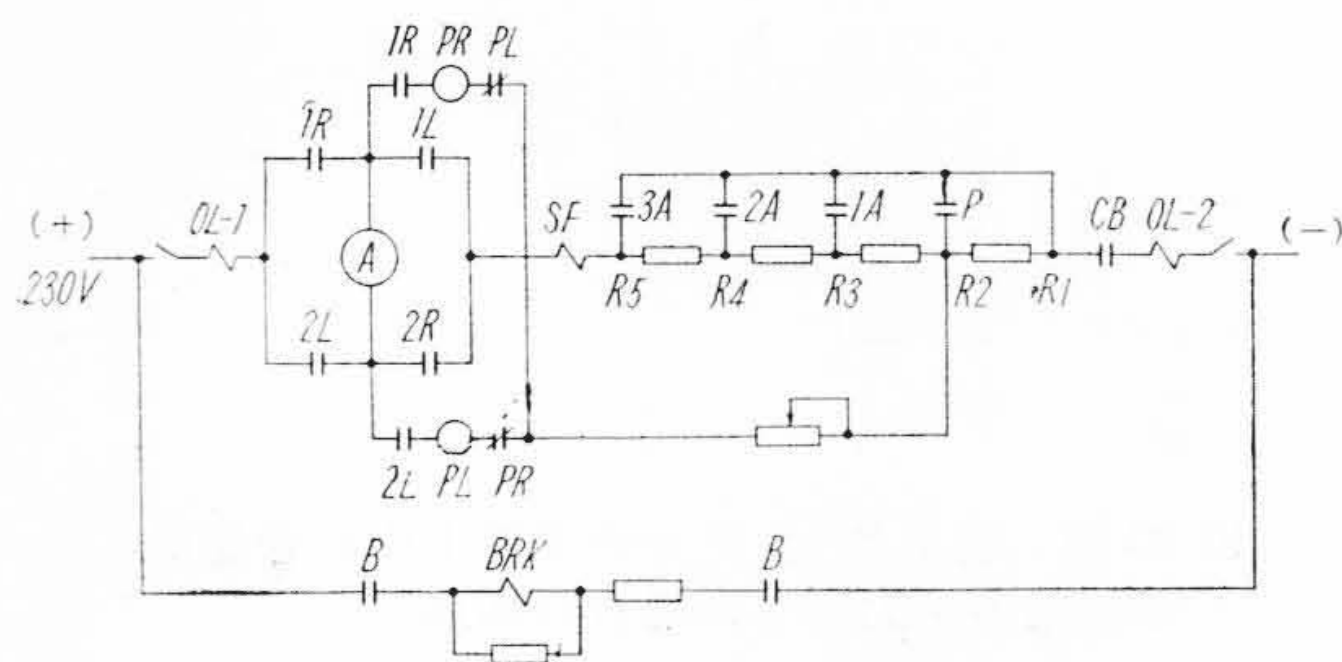
この場合は第21図の接続となる。電機子が、電源に対して逆接続となるから、電動機は逆転トルクを発生して急速に停止し、さらに巻下し始める。この場合、特に方法を講じないならば、電動機が巻下し方向に回転して、制限開閉器を復帰せしめると、ふたたび巻上1ノッチの接続となるから、巻上げ動作を始めて制限開閉器を動作せしめるに至る。したがって、上下運動をくり返すことになる。本制御方式では、この上下運動を防ぐため、第21図に示された電圧継電器OSR-2を設ける方式を採用している。電動機が、制限開閉器が動作した状態で巻下し方向にやや加速すると、OSR-2動作し、制御回路の主幹接触器の付勢を除き、電動機を停止せしめて、上下運動のくり返しを防止している。

(iii) 制限開閉器が動作した状態で主幹制御器を巻下しノッチに進めた場合

この場合は直巻電動機回路で巻下しを行うことになるが、前述のOSR-2が制限開閉器動作時の電動機回転数を検出して動作するから、電動機が、速度上昇する前に制御回路を遮断して停止せしめるから安全である。

(4) 故障保護方式

(i) 巻下発電制動回路の故障



第22図 走行主回路

巻下し操作中は、電動機は荷重によつて回転され、発電制動を行う。また、電磁制動機は、電動機界磁とともに、電機子に対して分巻接続されている。したがつて全負荷巻下し中に、たとえば、IDB接点の故障、抵抗器 R_5 R_6 の故障などにより電機子回路が遮断した場合には、電動機はトルクを失い、荷は自然落下することになり、最も危険な故障状態となる。本制御方式では第15図に示される電圧継電器 OSR 1 を用いて電動機電機子電圧を検出し、電動機が200%速度以上になつた場合には、制御回路を遮断して電磁制動機を動作させて非常停止を行うよう設計されており、安全性の上から大きな特色をなしている。

(ii) 電磁接触器の故障

主回路接触器のうち、H, L, 3A, 1DB, 2DB が異常に投入されると危険であるが、これらは互に電気的あるいは機械的にインターロックされているから、どの接触器が故障しても危険な接続となることはない。

4.2.2 走行制御回路

第22図に走行主回路を示す。電磁制動機は分巻型を用い、足踏開閉器により、任意に動作せしめられるようになっている。第23図にトルク—速度曲線を示す。

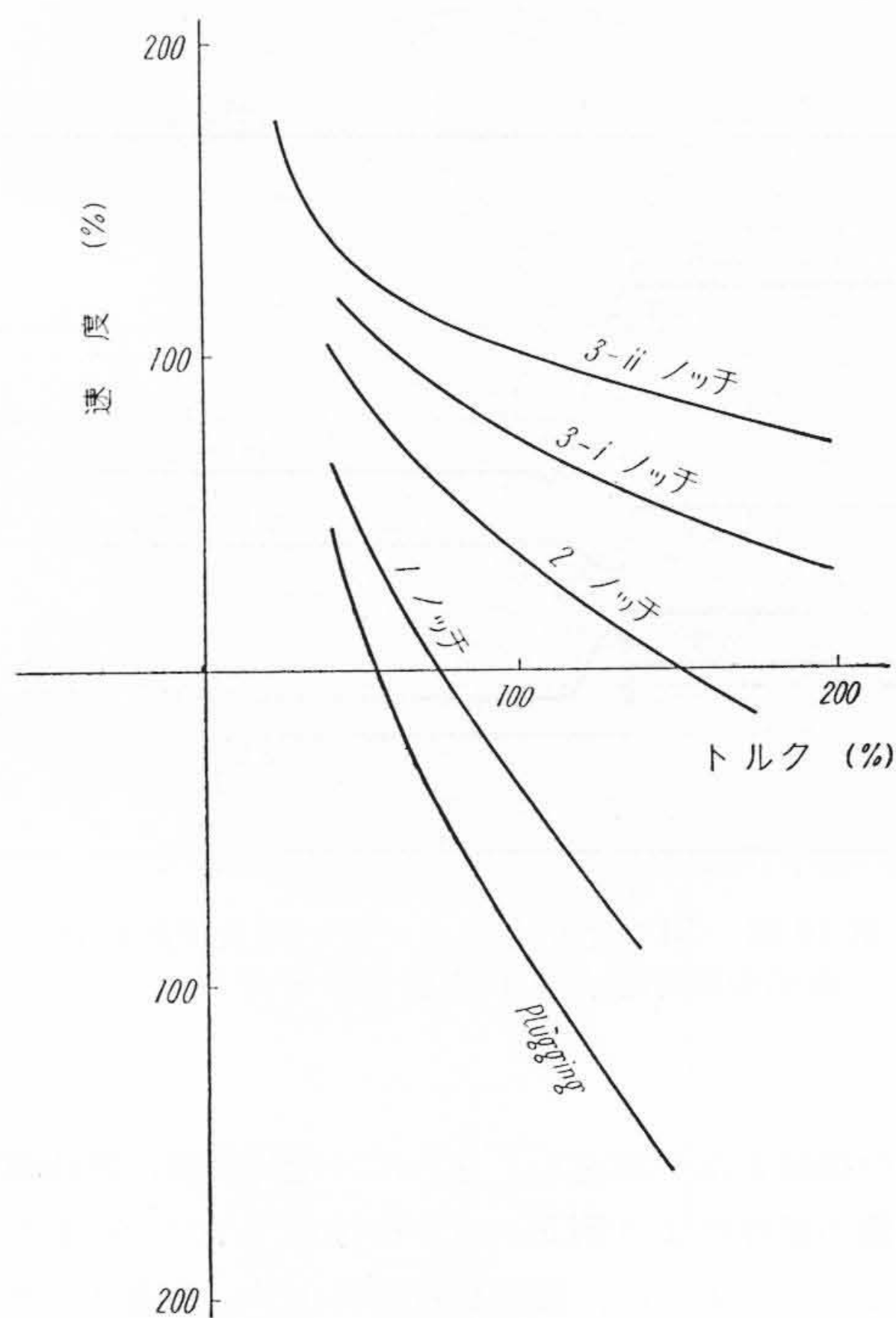
加減速保護方式

巻上回路と同様に限時継電器を用いて、加速尖頭電流が十分小さくなるように加速接触器の投入を制御する。また逆転の場合には、逆転1ノッチの接続で十分減速してから、逆転制御用電圧継電器 PR あるいは PL 動作して、接触器 P を投入し、以後限時継電器で加速する。

2台の電動機により駆動される走行は、1台故障時には、切換開閉器により残りの1台でも単独運転ができるように接続されている。

4.2.3 横行制御回路

走行と同様であるので省略する。



第23図 57.5HP 走行電動機速度—トルク曲線

5. 結 言

以上、タタ製鉄所に納入されたクレーンの電気設備の概要と、運転制御上の諸特性とについて述べた。本設備は、インドの国際的な競争のなかで、今後ますます日本の工業技術の成果を高からしめることと期待されている。本設備の製作に当つてはタタ製鉄所 Kuka氏、Lau氏など諸氏の御指導に負うところ多く、同氏らおよび日立製作所日立工場泉副部長、田附課長、松垣課長はじめ日立ならびに亀有工場関係者の方々に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) AISE Mill Motor Standardization Committee: AISE Standard No.1 DC Mill Motor Standards Iron and Steel Eng. Dec (1947)
- (2) 日本製鉄規格 起重機用直流電動機
- (3) JEM-C2 起重機用直流電動機寸法
- (4) 日立評論: Vol. 39. 46 (1957)
- (5) KUKA "A stabilized D.C. Crane Hoist Control" Iron and Steel Eng Feb. 1956.
- (6) R. S. GRAHAM "Crane Power Limit Switch" Iron and Steel Eng. May 1954.
- (7) "R. E. MATHIAS "Constant Potential D. C. Hoist Control" Westinghouse engineer March. 1952.