

HILECTOL-シリーズ サイリスタ・レオナード装置

HILECTOL-SERIES of Thyristor Leonard System for Motor Drives

齋藤 奎二*
Keiji Saitô神山 健三*
Kenzô Kamiyama島 忠夫*
Tadao Shima清水 五雄*
Ituo Shimizu阿部 重忠*
Shigetada Abe佐藤 晃*
Akira Satô堀 孝正**
Takamasa Hori

要 旨

IC素子の性能および信頼性の向上などにより、最近のサイリスタ・レオナード装置は、性能、信頼性、小形軽量化、保守点検、現地工事費および試運転期間などに関し、大きく進展している状況にある。この気運にかんがみ、主として圧延機などの直流電動機の制御に用いられる重負荷用の制御装置として、日立 HILECTOL-シリーズの開発を行なった。本シリーズ中本報では新しく開発した1個の自動パルス移相器を用いて正、逆2組のサイリスタ変換器を駆動するパルス切換方式および1組のサイリスタ変換器で正、逆転を行なう単基切換方式について述べる。

1. 緒 言

HILECTOL は、日立製作所が信頼性と経済性とを主眼として新しく開発したサイリスタ・レオナード装置で、制御回路はすべて専用リニヤ IC パッケージよりなる。この名称の由来は HITACHI LEONARD CONTROLLER である。

ソフトウェア的には、マイナーループとして電流制御の内側に電圧制御系を設け、電流断続時のメジャーループの特性劣化を補償し、かつガンマーミニマム制御により、インバータ開始時の突入電流を電動機の許容 di/dt に制御する。また、異常過大電流時など事故時には電流を電動機の許容 di/dt で減少させてから、主回路をしゃ断する、いわゆるソフト・ストップ方式を採用している。

ハードウェア的には、AC電源部、サイリスタ変換部、制御部、センサー部、DC出力部をすべて同一キュービクルに収納し、現地調整期間の短縮を目的として構成している。

2. 仕様と特長

表1は、HILECTOL (以下Hと略記する)-シリーズの一般仕様である。ここでH-2, 3, 4は、主として800#シリーズの直流電動機制御用として開発したものである。制御回路には専用リニヤ IC パッケージを用いて信頼性の向上および小形軽量化を図ると同時に、AC電源、サイリスタ変換、制御、センサー、DC出力などの各部を同一キュービクルに収納することにより現地調整期間の短縮を図っている。現地でHシリーズを運転に入れるために必要な外部配線作業は次のとおりである。

- (1) AC入力電源の接続
 - (2) 直流電動機の電機子回路およびDC操作電源と界磁回路の接続
 - (3) デスクおよび制御対象とのインターロック回路の接続
- 次に、Hシリーズの特長は次のとおりである。

- (1) サイリスタ・レオナードの速度、電圧および電流制御系の最大の欠点は、軽負荷時電流が断続領域にはいると系の特性が著しく劣化することであるが、Hシリーズはマイナーループとして電流制御のほかに瞬時応答の電圧制御系を採用し、電流断続時の特性を連続時と同じくし、応答の速い制御系とした。
- (2) マイナーループとして電流制御のほかに電圧制御系を持つ

た系は、減速を始めるときなどのインバータ運転開始時、主回路定数で決まる突入電流が流れる欠点を有しているが、Hシリーズのインバータ電流は本装置独自のガンマーミニマム制御により常に電流制御系の応答で決まる di/dt に制御され、転流失敗が防止される。

(3) 短絡時など事故時には、ガンマーミニマム制御により事故電流を1サイクル以内でゼロ近傍に減少させてからしゃ断するので、しゃ断器のしゃ断容量の負担を小さくし、かつしゃ断時のサージを問題にならない程度に軽減した。

(4) Hシリーズには数種のタイプが標準化されているので、用途に最も適した性能を持った装置を提供できる。

(5) Hシリーズには全面的に専用リニヤ IC パッケージが使用されており、かつ制御装置、サイリスタ変換装置および接触器が一体構造となっているので、従来の装置に比べ盤面数が少なく、据付面積および工事費が低減される。また、調整箇所は各制御ループごとにワンポイントになっているため現地調整期間が短縮される。

(6) 制御装置はエイジングされた高信頼性部品を用いた専用リニヤ IC パッケージで構成されているため MTBF (Mean Time Between Failure) が向上し、また各ユニットあるいはパッケージは標準化されて互換性があり、かつ各制御ループの調整箇所はワンポイントとなっているため、万一故障が生じた場合でもユニットあるいはパッケージごとと交換し、迅速に再セットすることができるので MDT (Mean Down Time) を短縮することができる。

(7) 各種の事故からサイリスタおよび電動機を保護するため、特に保護協調に注意をはらった。

(8) 据付面積は従来の設備に比べて約30%に減少したので、電気室の面積を大幅に減少することができる。

3. 回路の動作説明と特性

3.1 HILECTOL-2, 4の原理と動作

H-2の主回路構成は3相全波整流全波制御逆並列接続で、H-4のそれは単相全波整流全波制御逆並列接続である。いずれも無循環電流制御方式で、制御回路も共通である。H-2, 4の単線結線図は図1に示すとおりである。ここで2点鎖線内の回路が1面の制御盤に収納されている。以下、図に従って原理と動作を説明する。まず、制御回路から説明する。

- (1) 自動パルス移相器(APPS)は1個で、点弧パルスはマイナーループの電圧制御(AVR)系の出力の極性を LOGIC により判別し

* 日立製作所大みか工場

** 日立製作所日立研究所 工学博士

表1 HILECTOL-シリーズの一般仕様

HILECTOL		2	3	4	備考
周囲条件 (標準)	温度	0~40°	0~40°	0~40°	
	湿度	85% 以下	85% 以下	85% 以下	
	高さ	海拔 1,000 m 以下	海拔 1,000 以下	海拔 1,000 m 以下	
AC電源部	入力電源電圧	225/450 V±10%	225/450V±10%	350 V±10%	(1) 入力電源電圧は、 負荷および運転条件により200/220V、 400/440Vでも可能である。
	電源周波数	50/60 Hz±2 Hz	50/60 Hz±2 Hz	50/60±2 Hz	
	相数	3	3	1	
	相間アンバランス	相電圧 1/2 Hz 当り 2% 以下	相電圧 1/2 Hz 当り 2% 以下	相電圧 1/2 Hz 当り 2% 以下	
	高調波	5% 以下	5% 以下	5% 以下	
サイリスタ 変換部	整流方式	3相全波整流全波制御	3相全波整流全波制御	単相全波整流全波制御	(1) サイリスタの出力は、 負荷の過負荷率によって異なる。 (2) 過負荷率は標準としては 250%と150% との2種類ある。
	接続方式	逆並列	単基	逆並列	
	正/逆切換方式	無循環電流パルス切換	単基切換	無循環電流パルス切換	
	出力電圧	230/450 V	230/450 V	230 V	
	過負荷	100% 連続 / 100% 連続 250% 10 秒 / 150% 10 秒	100% 連続 / 100% 連続 250% 10 秒 / 150% 10 秒	100% 連続 / 100% 連続 250% 10 秒 / 150% 10 秒	
	FUSE/ ANDDE L	付/不付 (ただし、400V回路以上付)	付/不付 (ただし、400V回路以上付)	付/不付	
制御部	制御方式	ASR(AVR)+ACR+AVR	ASR(AVR)+ACR+AVR	ASR(AVR)+ACR+AVR	(1) 特殊な機能は PATTERN PACKAGE で処理する。 (2) CTL: 制御
	正/逆切換方式	制御入力信号による OFFSET CTL	OFFSET / サイリスタ駆動による CTL / 主接触器切換	制御入力信号による OFFSET CTL	
	設定範囲	定格値の 10~100%	定格値の 10~100%	定格値の 10~100%	
	制御精度	ASR	定格値の ±0.5% (ただし PGの精度 ±0.5% 以内)	定格値の ±1% (ただし PGの精度 ±1% 以内)	
		AVR	定格値の ±0.5%	定格値の ±0.5%	
	標準付属機能	寸動, DROOPING, SUMMING 端子	寸動, DROOPING, SUMMING 端子	寸動, DROOPING, SUMMING 端子	
	保護回路	γ min CTL	γ min CTL	γ min CTL	
	構成	専用リニヤ IC パッケージ	専用リニヤ IC パッケージ	専用リニヤ IC パッケージ	
	BIAS待期回路	γ min → EMF 待期	γ min → EMF 待期	γ min → EMF 待期	
	異常時の制御	SOFT STOP	SOFT STOP	SOFT STOP	
負荷	電動機端子電圧	220/440 V	220/440 V	220 V	
	電動機容量	220 V 時, 3.7~205 kW	220 V 時, 3.7~205 kW	3.7~15 kW	
その他	ACL	不付 (ただし COMMON Tr 使用時付)	不付 (ただし COMMON Tr 使用時付)	不付 (ただし COMMON Tr 使用時付)	
	DCL	不付	不付	整流上より決定	
応用	用途	圧延補機	圧延主機/補機	小容量圧延/一般補機	
	おもなる応用	熱間圧延/線材補機, ラインもの	熱間圧延補機, 冷間圧延主機, 精整	熱間圧延補機, 一般圧延補機	

て正側サイリスタ点弧用に、あるいは逆側サイリスタ点弧用に切換え使用されている。APPSの特性は、入力ゼロのとき制御進み角が最小(γ min)に、入力が増加するにつれて制御遅れ角が小さくなるようになっているので、パルス切換え直前においては制御角はγ minの状態に保持されており、主回路電流はゼロになってからパルスが切換えられ、そのとき循環電流は流れることはない。

(2) マイナ AVR 系は、主回路電流が断続している場合と連続している場合とで主回路特性が異なるのを線形化するためのもので、電動機端子電圧を電圧センサー(FLOATING AMP.)により瞬時に検出し、電圧指令と突き合わせている。この回路の応答はきわめて速く、数ミリ秒以下である。このループの採用により、電流断続、連続に基づく制御性能の相違は完全に一掃される。

(3) マイナ電流制御(ACR)系は、主回路電流の制御用である。すなわち、圧延機主、補機駆動用直流電動機では、電流の di/dt が整流上制限されており、これを規定値内に保つ必要がある。ACR 系の応答は任意に調整できるので、直流電動機の整流を良好に保つことができる。また、マイナ AVR 系の効果により ACR 系の応答には電流断続、連続による差はほとんどみら

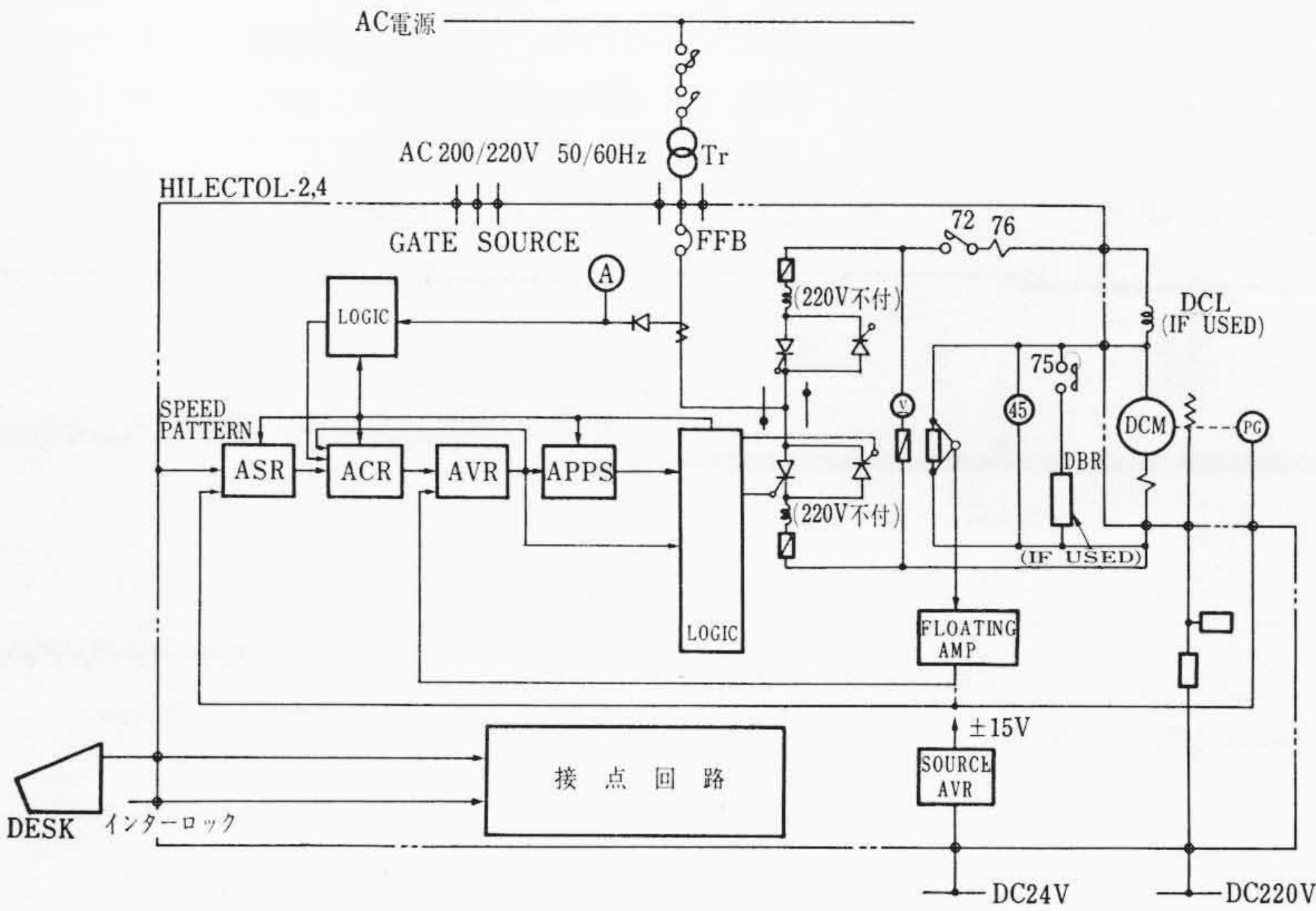


図1 HILECTOL-2, 4 単線結線図

れない。インバータ切換時の電流の突込みも、本装置独自の方法により解決されている。帰還電流の検出は交流で変流器により行なわれ、正側サイリスタの電流か、逆側サイリスタ電流かを LOGIC で判定し、帰還電流の極性を反転させている。

(4) ASR 系はメジャーループの速度制御系で、速度制御指令と

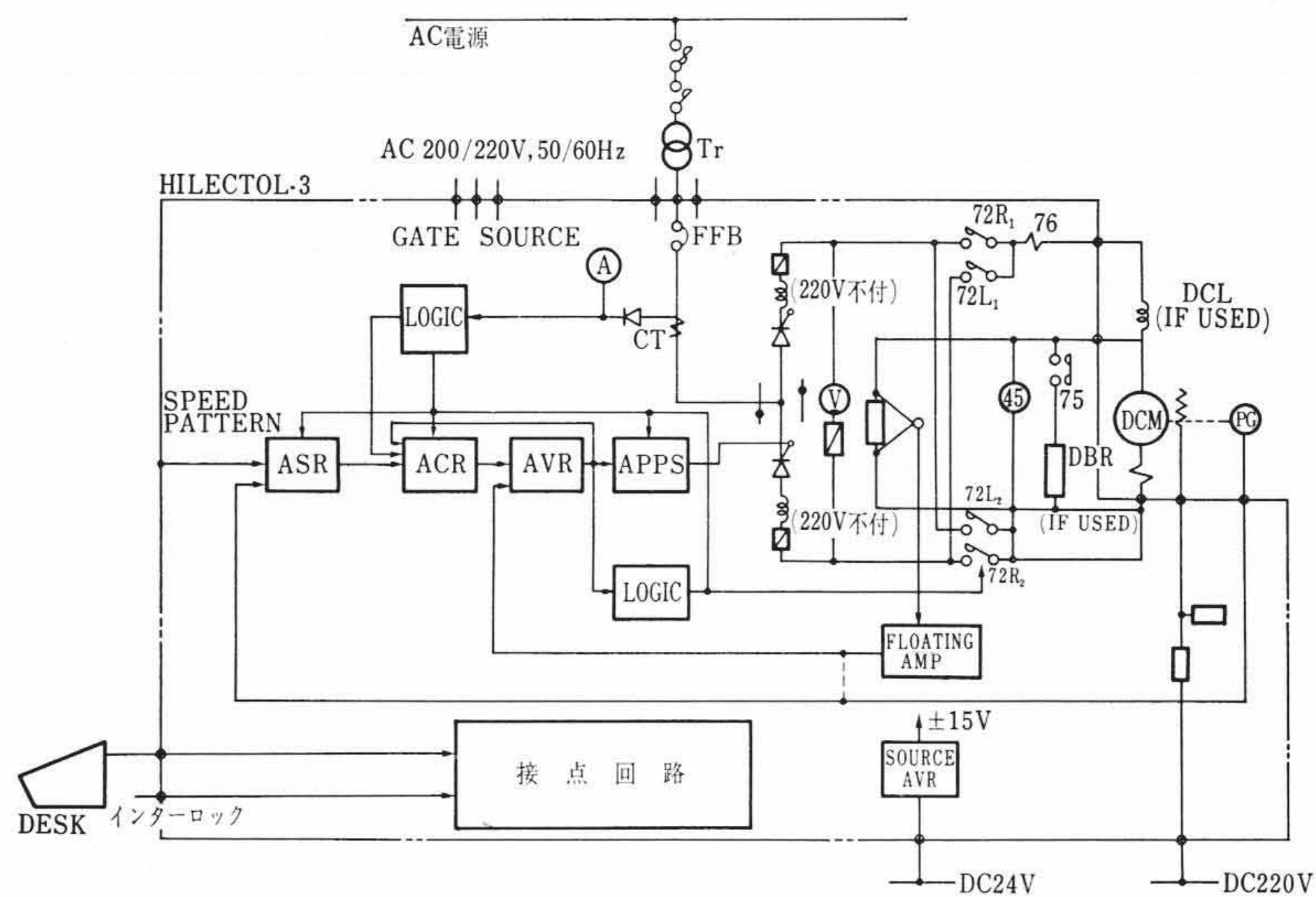


図2 HILECTOL-3 単線結線図

速度帰還信号とを突き合わせ、制御対象を所定の速度に制御すると同時に、ACR系の指令を発生する。また、この部分をAVR(電圧制御)系とすることもでき、このときは帰還信号としてマイナAVR系の出力をそのまま使用する。

以上説明したASR(AVR)、ACR、AVR系が互いに協調を保つように補償回路が構成されており、どのような用途に対しても同じ制御回路で仕様を満足するように、制御系を調整することができる。次に主回路について説明する。本方式は、無循環電流制御方式を採用しているため、循環電流抑制用のリアクタンスは不要である。直流側のインダクタンスは制御上は不要であるが、直流機の整流上必要ならば直流回路にそう入される。また、サイリスタ回路の1アームは逆並列回路分を一つにまとめ、図8に示すような構成を持ち、アノードカソード間のC-Rや、アノードリアクトルならびにヒューズを各アーム1個で済ませ、回路構成の簡単化と信頼性の向上を図っている。

3.2 HILECTOL-3の原理と動作

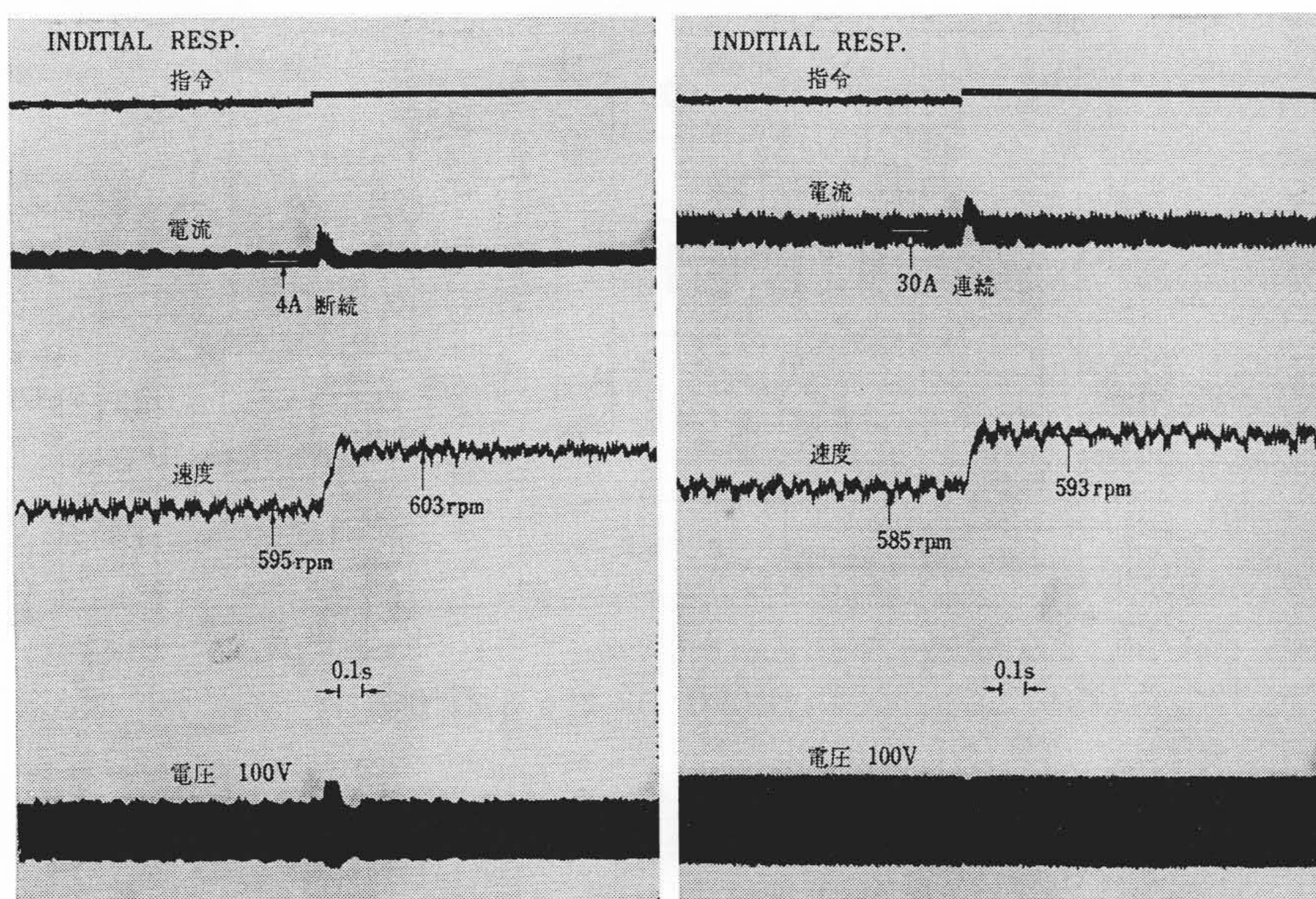
H-3の主回路構成は単基の3相全波整流全波制御接続で、制御回路は前記のH-2, 4と同じ考え方により作られている。その単線結線図は図2に示すとおりである。やはり2点鎖線内の回路が1面の

制御盤に収納されている。以下、図に従ってH-2と異なる点を中心に、原理と動作を説明する。

まず、制御回路ではAVR、ACR、ASR(AVR)系についてはH-2, 4と全く同じである。H-3はサイリスタが1セットであるため図で示すように正、逆は主回路接触器(72R₁, 72R₂, 72L₁, 72L₂)により切換えられている。この主回路切換のタイミングは、H-2, 4と同じく、AVR系の出力の極性をLOGICにより判別して行なっている。すなわち、H-2, 4では点弧パルスを切換えていたのを、H-3では主回路接触器の切換えにただけであるため、切換時間がやや長くなる以外は、制御性能はH-2, 4と全く同一である。また、切換回路の信頼性を向上させるためにそれら駆動回路の無接点化を図っている。かつ、H-3における主回路切換には長寿命直流接触器をそのまま使用し、無電流切換方式であるので機械的寿命のみが問題となり、接触子の損傷はなく、ほとんど無保守で長期間の使用に耐える。

3.3 性能

H-2, 3, 4のおもな性能について、その2, 3のオシログラムを示したのが図3および4である。図3は代表的な性能としてASR系のインデッシャル応答を、図4はインパクト負荷応答を示したもの



(a) 電流断続時

(b) 電流連続時

図3 ASR系のインデッシャル応答

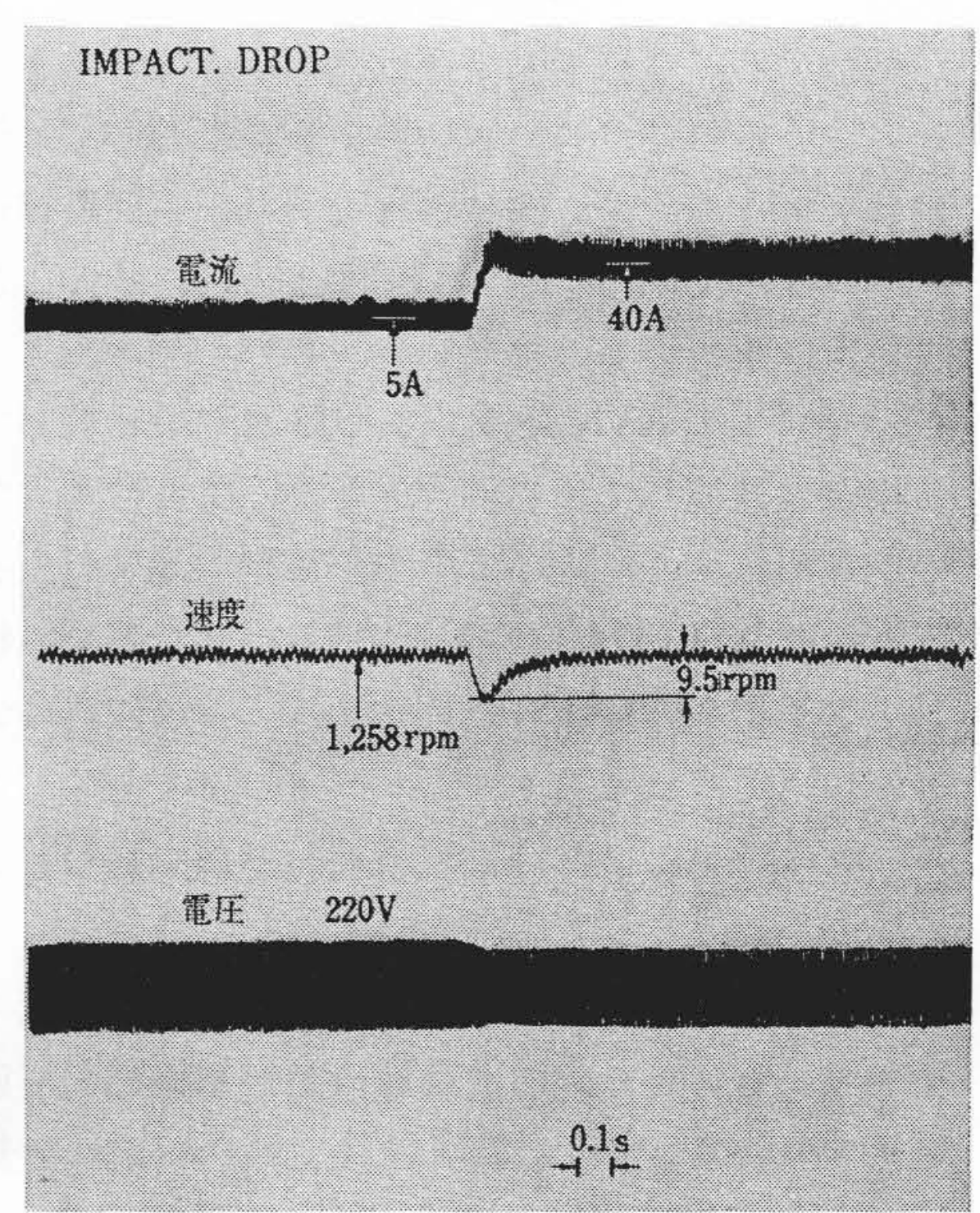


図4 ASR系のインパクト負荷応答

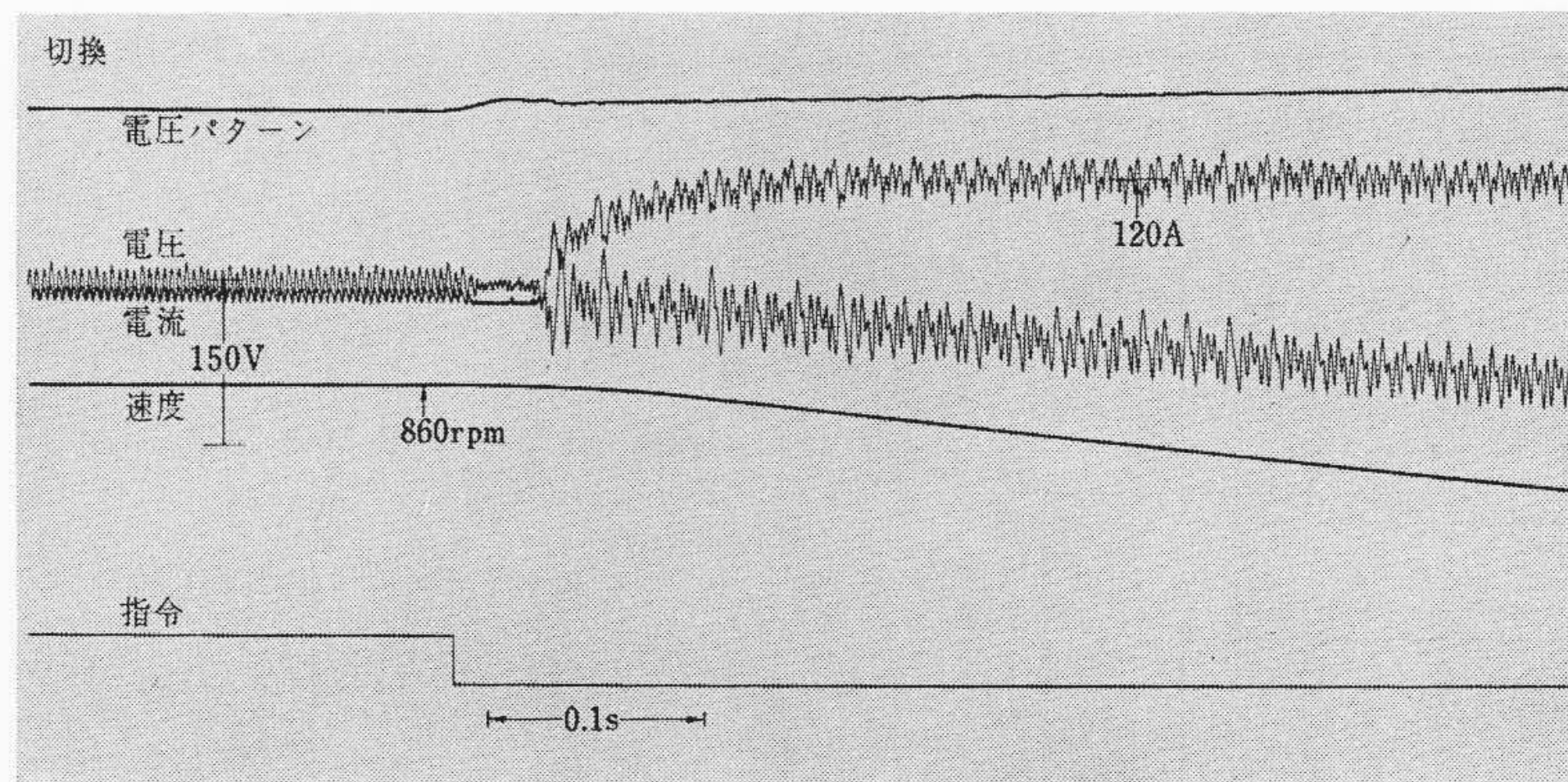


図5 ガンマーミニマム制御特性

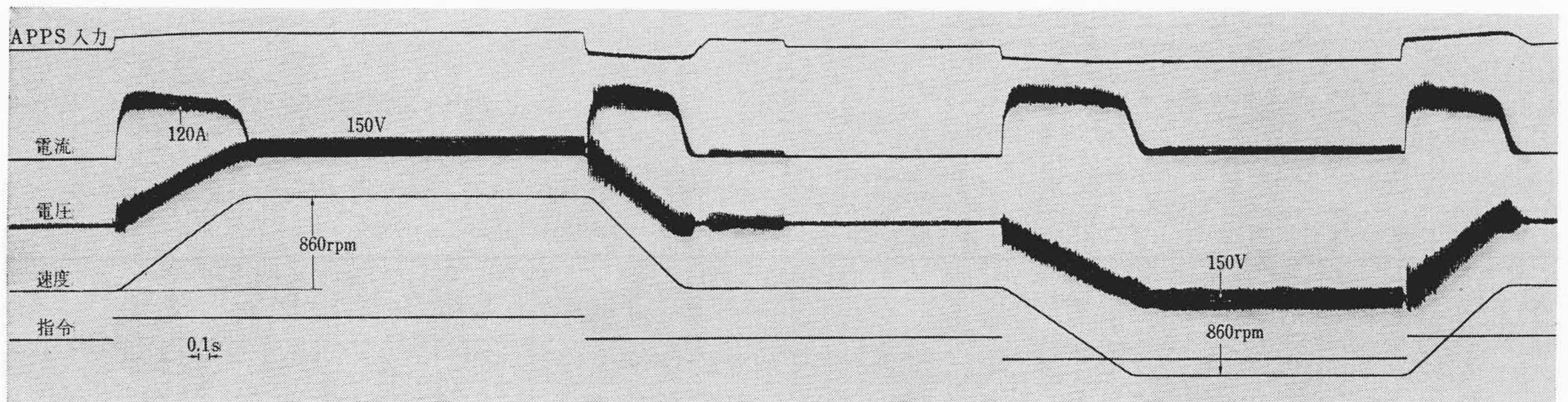


図6 加減速時の電流特性 (H-2)

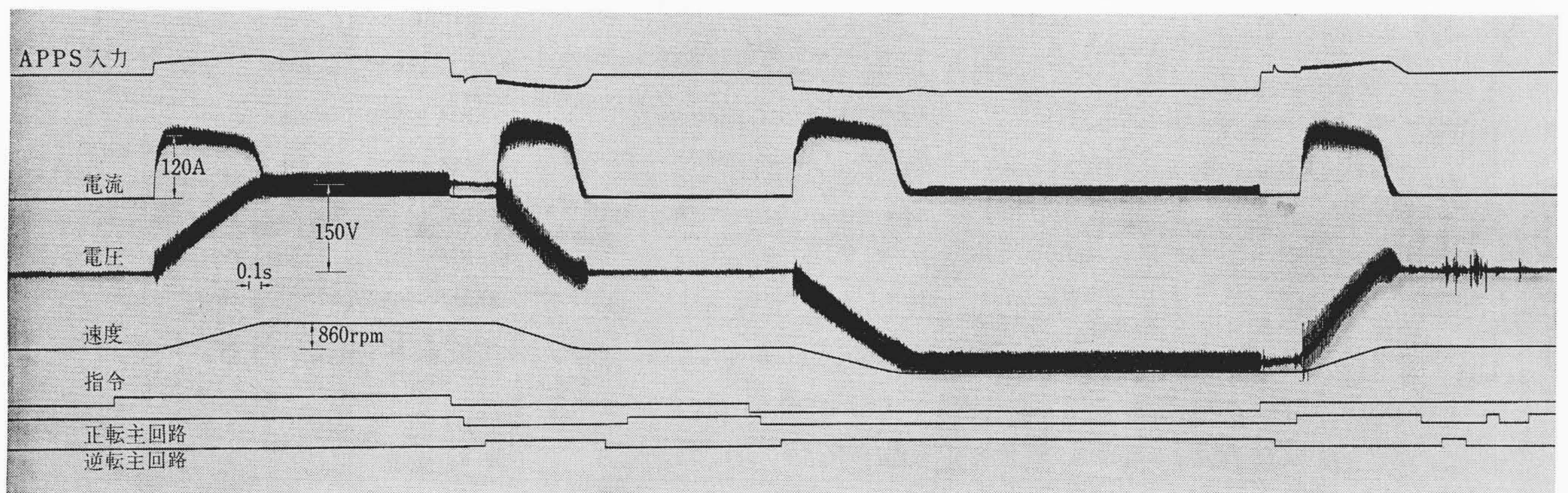


図7 加減速時の電流特性 (H-3)

である。

次に、本シリーズに採用されているマイナ AVR 系および切換時の突入電流防止回路の効果について説明する。

マイナ AVR 系は、電流が断続したときマイナ ACR およびメジャーループ系の性能の劣化を防止するものであるが、図 3 の (a) が電流断続状態のもの、(b) が連続状態の速度のインデッシャル応答を示している。(a)、(b) にはほとんど差が認められない。

切換時の突入電流防止については、本装置独自のガンマーミニマム制御により図 5 に示すように、切換完了直後のインバータ電流の立上りは、ACR 系にて定められた立上りで流れ始めている。

H-2, 3 のステップ指令による一般的な加減速波形は図 6 (H-2)、図 7 (H-3) に示すとおりである。切換時間に差があるほか、特性上には差はない。

4. HILECTOL の保護と保護協調

サイリスタ回路の保護には、過大電圧に対する保護と過大電流に対する保護とを考慮しなければならない。このうち、ここでは主として過大電流保護に対する H シリーズの考え方について述べる。

H シリーズのサイリスタ変換装置は、H-3 を除き図 8 に示すとおり逆並列接続 1S-1P を最小単位に構成されている。ここで、サイリスタ用のヒューズおよびアノードリアクトルは、使用される正、逆サイリスタ 1S-1P に対し保護協調がとられている。すなわち、図 9 はサイリスタとヒューズの保護協調の一例であり、表 2 は各種事故に対する保護方式を示すものである。図 10 は以上を別な角度から説明したものである。このようなスタック構成は、特に逆並列接続無循環電流方式の場合に有効で、次の利点がある。

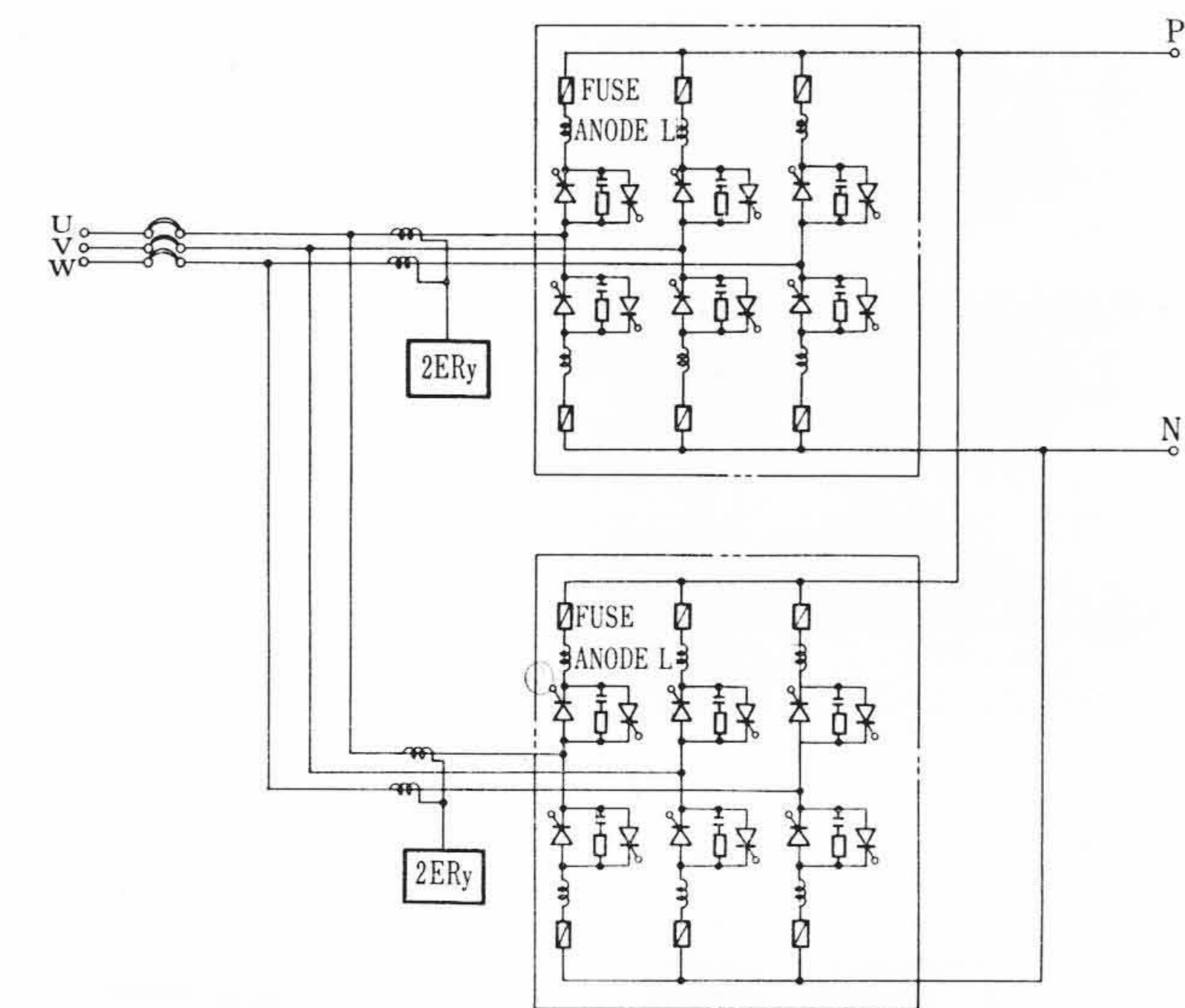


図8 サイリスタスタックの構成

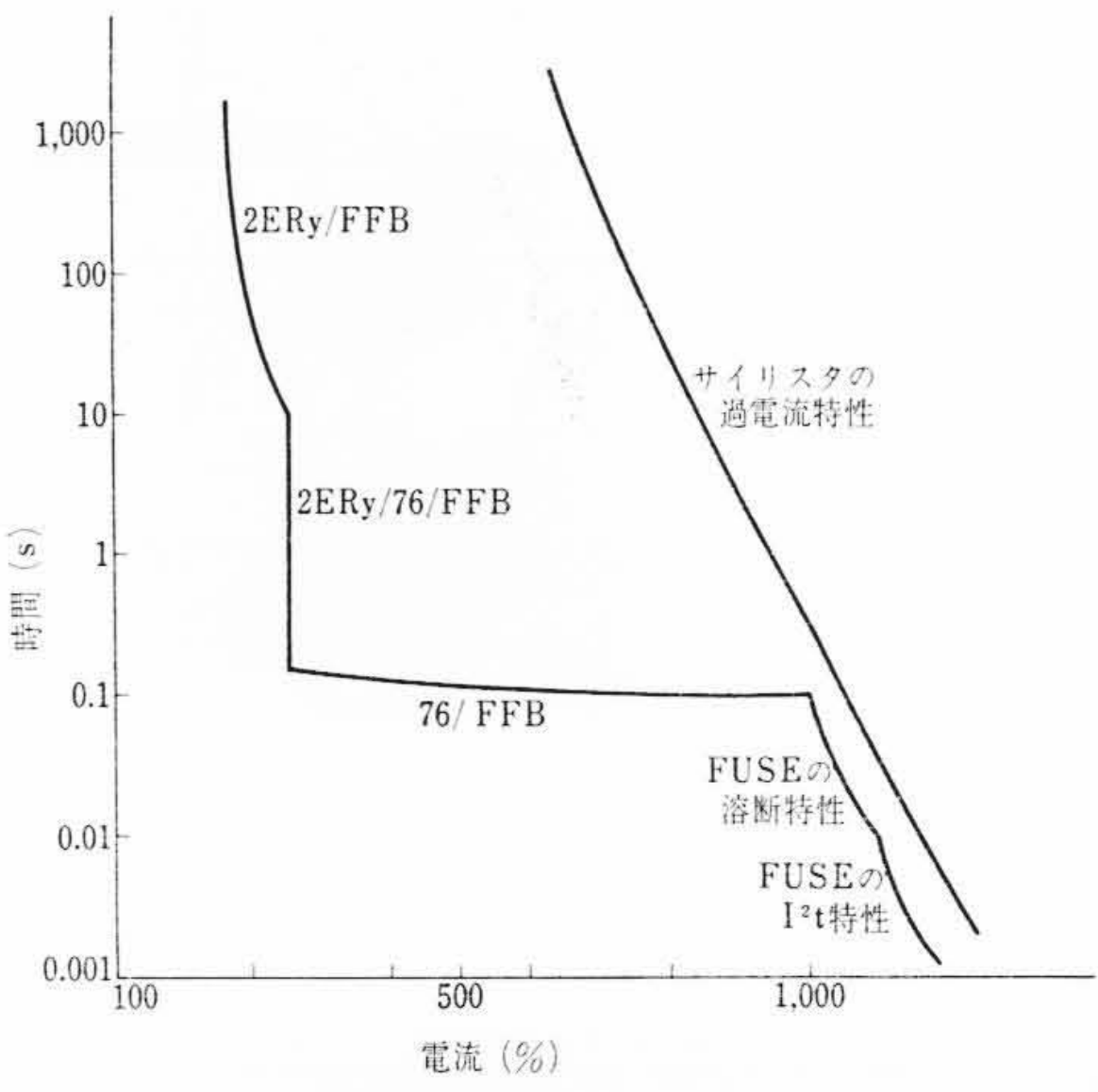


図9 保護協調

表2 各種事故に対する保護

No.	事故		説明	保護器具	APPS	備考
	内容					
1	AC側短絡	線間短絡	FFBよりAC入力端子間で線間短絡する	FFB	γ min	電流検出位置よりサイリスタ側で起きた場合
		相間短絡	FFBよりAC入力端子間で相間短絡する	FFB	γ min	
		地絡 (1相がアースされている場合)	FFBよりAC入力端子間で地絡する	FFB	γ min	
2	サイリスタの内部短絡	B D による線間短絡	正側あるいは逆側間のみおよび正、逆間でサイリスタがBD後、線間短絡する	ARM FUSE	γ min	2ERyは欠相(46)/過負荷(49, 76)検出器で、OPTION
		SHOOT THROUGH による線間短絡	CONV 運転中転流失敗後、線間短絡する	ARM FUSE	γ min	
		サイリスタ劣化による過負荷	正側あるいは逆側間のみおよび正、逆間でサイリスタが劣化し、過負荷となる	2ERy/FFB		
3	インバータ時の転流失敗	転流失敗	転流失敗の後、逆側サイリスタにパルスが印加される場合	76/ARM FUSE	γ min	線間短絡に至って γ min となる
			パルスが印加されない場合	76/ARM FUSE	γ min	
		SHOOT THROUGH	転流失敗の後、逆側サイリスタにパルスが印加される場合	76/ARM FUSE	γ min	
			パルスが印加されない場合	76/ARM FUSE		
4	DC側短絡	線間短絡	負荷が短絡	76/ARM FUSE	γ min	
5	過負荷	欠相による場合	1 ϕ 運転	2ERy/FFB/26		
			m PARA の場合	2ERy/FFB/26		
			1組が1 ϕ	2ERy/FFB/26		
			m PARA が1 ϕ	2ERy/FFB/26		
		DC負荷による場合		2ERy/FFB/26		
		冷却ファン停止による場合	強制風冷の場合ファン停止	電圧 Ry/49/26		

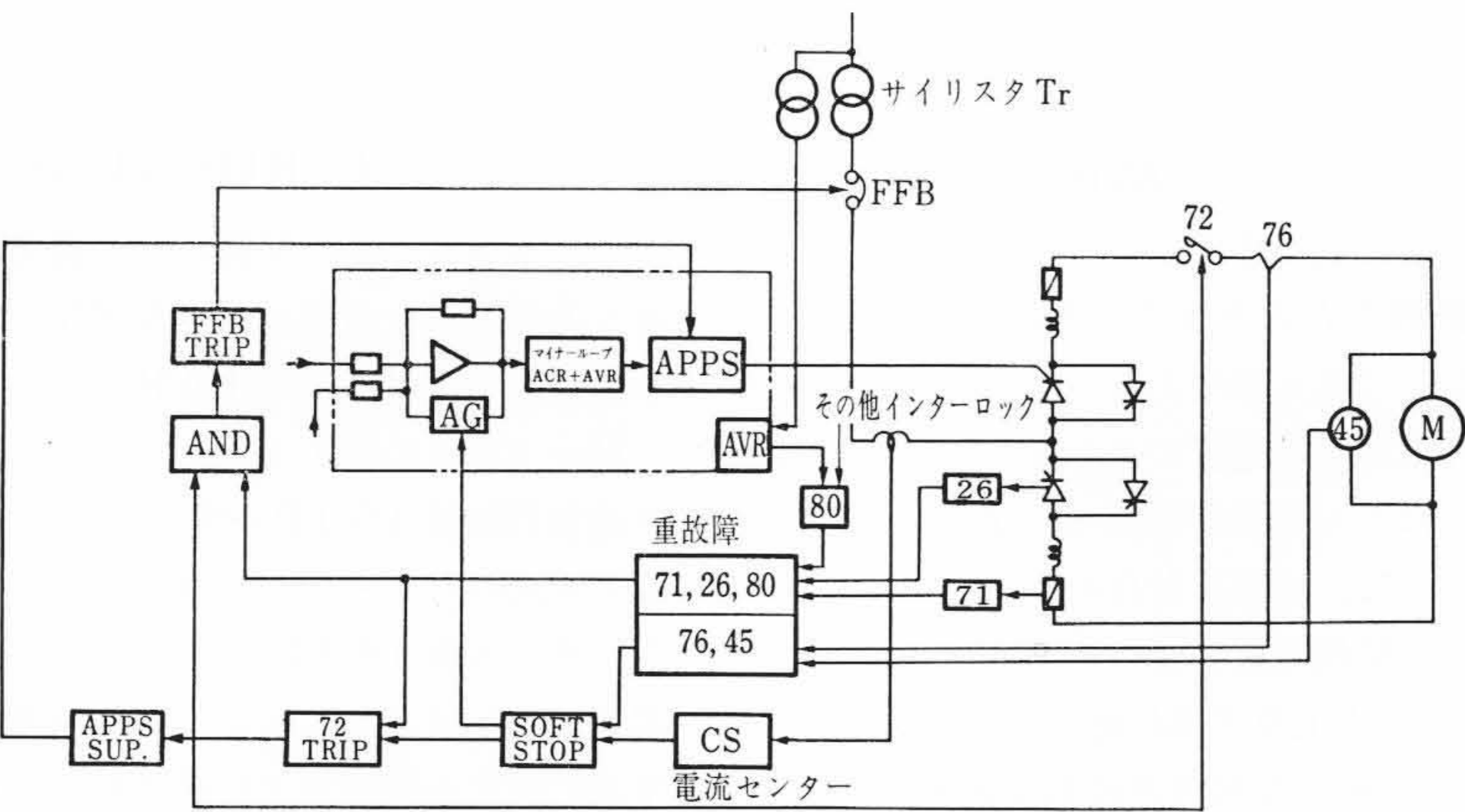


図10 保護方式

表 3 HILECTOL-シ リ ー ズ の 定 格 表

定 格		D C M		サイ リ ス タ				盤 寸 法						備 考
過 負 荷	電 圧 (V)	わ く 番	出 力 (kW)	冷 却	相 数	電 圧 (V)	出 力 (kW)	H-2	H-3	H-2/3	H-4		H-2/3/4	
								幅 (mm)	幅 (mm)	奥行 (mm)	幅 (mm)	奥行 (mm)	高さ (mm)	
100% conti. 250% 10 sec	220	802A~ 804A	3.7~15	自 冷	1	230	11.5~ 19.0				800	650	2,300	ただし DCM/サイリスタ 出力は電圧が 220/ 230 V の時の値を 示す
	220/ 440	802A~806	3.7~22	自 冷	3	230/460	11.5~ 26.5	800	800	1,300			2,300	
		808~812	37~75	強 冷	3	230/460	41.5~ 92.0	800	800	1,300			2,300	
		814	110	強 冷	3	230/460	138.0	1,600	800	1,300			2,300	
		816~818	150~185	強 冷	3	230/460	208	1,600	1,600	1,300			2,300	
		820	205	強 冷	3	230/460	260	2,400	1,600	1,300			2,300	
100% conti. 150% 10 sec	220	802A~ 804A	3.7~15	自 冷	1	230	11.5~ 19.0				800	650	2,300	ただし DCM/サイリスタ 出力は電圧が 220/ 230 V の時の値を 示す
	220/ 440	802A~806	3.7~22	自 冷	3	230/460	11.5~ 38.0	800	800	1,300			2,300	
		808~814	37~110	強 冷	3	230/460	46.0~ 138.0	800	800	1,300			2,300	
		816	150	強 冷	3	230/460	184.0	1,600	800	1,300			2,300	
		818~820	185~205	強 冷	3	230/460	230~246	1,600	1,600	1,300			2,300	

- (1) サイリスタの容量増加が、BBS(ビルディングブロック方式)により簡単にできる。
- (2) ヒューズおよびアノードリアクトルは、正、逆1S-1Pに対し1組使用されているため、スタックの小形軽量化ができる。

5. 標準系列と外形寸法

表 3 は直流電動機のわく番に対するサイリスタおよび盤寸法を示したものである。

また、図 11 はHシリーズの外観である。

6. 結 言

HILECTOL シリーズは以上説明したように重負荷の正、逆転運転の直流電動機用制御装置として開発されたもので、工場内において適用負荷を導入して完全な試験を行なうことにより、現地においてはほとんど調整をすることなく直ちに稼働にいらることができ

部品も H シリーズ全体として互換性を有しているので、予備品数も少なく、保守性も良く、安心して使用することができる。

本稿では H-2, 3, 4 シリーズについて紹介したが、もし単変換のみの場合には H-12 (3 相整流単変換), H-14 (単相整流単変換) が適用できる。さらに高性能を必要とする用途に対しては H-1 シリーズを開発しており、それについては稿を改めて紹介したいと考えている。

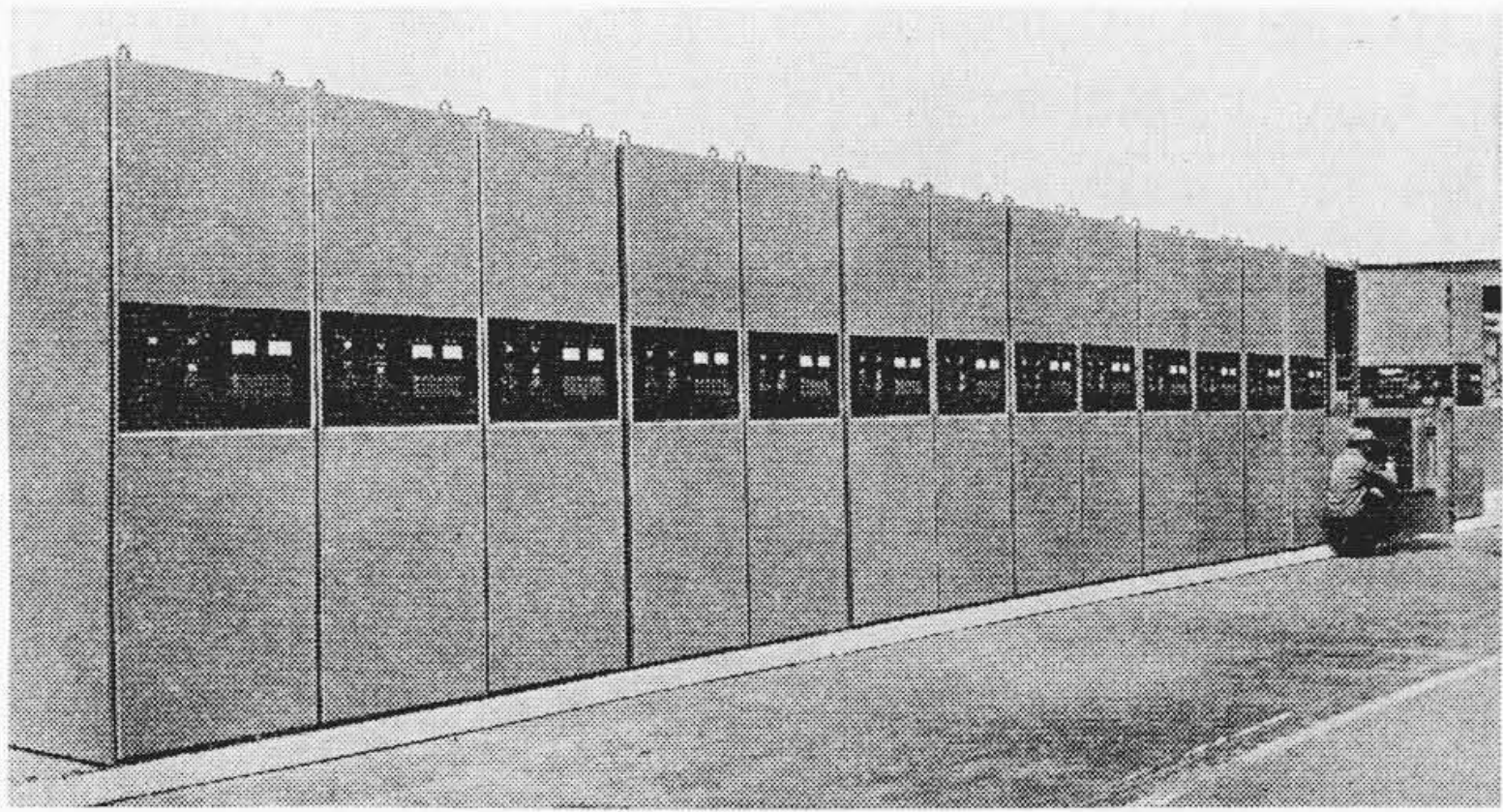


図 11 HILECTOL の外観

参 考 文 献

(1) 斎藤, 神山, 竹村: 日立評論 52, 598 (昭 45-7)

(2) Arne Buxbaum: Techn. Mitt AEG-TELEFUNKEN, 348~352, 6 (1969)

(3) Arne Buxbaum: Techn. Mitt AEG-TELEFUNKEN, 361~365, 6 (1970)

(4) L.F.STRINGER, EMIL T.SCHONHOLZER: Iron and Steel Engineer, 75~90, 3 (1967)

(5) V.S.R NAIDU: Iron and Steel Engineer, 70~81, 10 (1970)