

高速実験炉「常陽」運転試験報告書

1 次主循環ポンプ速度制御現象記録装置の強化



1986年4月

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

高速実験炉「常陽」運転試験報告書

1 次主循環ポンプ速度制御現象記録装置の強化

伊東秀明* 磯崎和則* 前田幸基** 星野勝明*

竹内 徹* 永山哲也* 黒沢龍一* 村上義幸*

光延秀夫* 小沢健二* 山下芳興* 秋山孝夫*

要 旨

高速実験炉「常陽」の1次主循環ポンプは昭和51年の初起動以来昭和61年2月までに約62,000時間の運転実績を達成した。本ポンプの速度制御は静止セルビウス方式を採用しているため、その特殊性から外部電圧の変動による影響を受け易く安定な運転性を確立するために多くの時間と労力を要した。これらの運転経験に基づいて、昭和53年4月に制御装置の信号を集めて必要な時に自動的に記録するセルビウス現象記録装置を設置した。その後本装置によって多くの貴重なデータが得られ、ポンプの信頼性確保上の有用性が認められていたが、装置にエンドレステープレコードを用いていたためにデータ処理上の問題とともに、その機能維持に多くの労力を必要とする等の問題を有していた。このため昭和59年8月に本装置をデジタル化しデータの蓄積と解析を容易なものとした。これによって各制御信号、保護信号及びプロセス信号の詳細な解析が可能となり、従来より部分的に動作状態が不明確であった速度制御装置の動作が解明可能となった。そして昭和60年2月に発生した交流過電流によるセルビウス重故障ポンプトリップにおいては、一早くその原因究明の手がかりを与え装置強化の有意性を示した。

また、本装置によるデータの解析及び従来からのデータの積み重ねにより、1次主ポンプ速度制御装置の機能は十分に信頼性があるとの結論を得た。

* 実験炉部 高速増殖炉第一課

** 実験炉部 高速増殖炉第二課

Apr. 1986

Experimental Fast Reactor "JOYO" Operation Report

Motor Control Recording System of the Primary Main Pumps

H. Ito*, K. Isozaki*, Y. Maeda**,
K. Hoshino*, T. Takeuchi*, T. Nagayama*
R. Kurosawa*, Y. Murakami*,
H. Mitsunobe*, K. Ozawa*, Y. Yamashita*
and T. Akiyama*

Abstract

The primary main pumps of F.B.R. "JOYO" have been operated for about 62000 hours since the initial start to on February 1986. The pump speed control system is the type of Static Services and because of peculiarity of the system, the pumps had tended to be influenced by the fluctuation of off-site electric power. So we had spent many hours and efforts in order to acquire the stability of the pump operation. After above efforts we set this event recorders which collected many control signals of the Serbus for the pumps and recorded them automatically as occasion demands on April 1978. Therefore we had acquired many valuable data from the recorders had been effectually in confirming the reliability of the pumps. But because they had used the type of endless tape, it had required many efforts to maintain the efficiency of them. So we renewed the tape type by the digital signal type in order to simplify the accumulation and analysis of data. After the remodeling, it became possible to go into detail analysis of control signals, protect signals and process signals and it became possible to explain several actions of the Serbus system which had been inaccurately up to the time.

Therefore it was concluded that the function of Serbus system had not the adequate reliability by this recorder because of the analysis and accumulation of the data from Serbus.

* JOYO Operation Section

** JOYO Maintenance Section

目 次

1. 緒 言	1
2. 1次主循環ポンプの速度制御	2
2.1 静止セルビウス法の原理	2
2.2 整流回路とインバータ回路	4
2.3 インバータの転流失敗	4
2.4 静止セルビウス制御の主要回路	11
2.5 制御回路の動作	22
3. 速度現象記録装置の概要	25
3.1 旧現象記録装置の問題点	25
3.2 新現象記録装置の改善点	27
3.3 新現象記録装置の構成及び機能	31
4. データの検討	43
4.1 ポンプ起動	43
4.2 ポンプ停止	59
4.3 瞬時停電による再起動	64
4.4 停電による停止	88
4.5 重故障停止	102
5. 現象記録装置の評価	120
6. ポンプ速度制御装置の監視結果	121
7. 結 言	122

図 一 覧

Fig. 2.1	Main circuit diagram of static serbius 静止式セルビウス主回路接続図	3
Fig. 2.2	Three-phase full wave rectification circuit(1) 三相ブリッジ全波整流回路	5
Fig. 2.3	Phase control wave from by SCR SCR による位相制御波形	7
Fig. 2.4	Commutation overlapping angle and margin angle 転流重り角と余裕角	10
Fig. 2.5	Main circuit diagram of primary main pump static serbius control system 1次主循環ポンプ静止セルビウス制御装置基本構成	13
Fig. 2.6	APPS Brockdiagram APPS ブロック図	14
Fig. 2.7	APPS control voltage and phase angle APPS制御電圧と位相角	15
Fig. 2.8	Analoge current set values of primary main pump static serbius control system 1次主循環ポンプ静止セルビウス制御装置アナログ 回路設定値図	16
Fig. 2.9	Control voltage γ angle shift by detecting current difference and suppression system diagrams 電流差検出による制御電圧 γ 角シフトおよび サプレッション系統略図	17
Fig. 2.10	Phase control angle and average D.C voltage 位相制御角と直流平均電圧	18
Fig. 2.11	Relation between IM speed and main direct circuit voltage & current IM 速度と直流主回路電圧・電流の関係	19
Fig. 2.12	Scheme of pump speed control system ポンプ速度制御系統図	24

Fig. 3.1	Record of electromagnetic Osiro 電磁オシロ記録	26
Fig. 3.2	External appearance of function key board ファンクションキーボード外観図	28
Fig. 3.3	Components parts diagram of primary pump event recorder 1次主循環ポンプ現象記録装置構成図	30
Fig. 3.4	Record format of graphic printer グラフィックプリンターの記録フォーマット	33
Fig. 3.5	External appearance of event recorder 現象記録装置外観図	35
Fig. 3.6	Inner component parts diagram of event recorder 現象記録装置内部構成図	36
Fig. 3.7	Synthetic motion diagram 総合動作線図	41
Fig. 3.8	Indication of each data 個別データ表示図	42
Fig. 4.1	Synthetic motion diagram at start 起動時総合動作線図	45
Fig. 4.2	Pulse suppression diagram at start 起動時パルスサプレッション線図	47
Fig. 4.3	γ shift diagram at start 起動時 γ シフト線図	48
Fig. 4.4	Current limiter diagram at start 起動時カレントリミッタ線図	49
Fig. 4.5	APPS diagram at start 起動時APPS線図	50
Fig. 4.6	D.C current diagram at start 起動時直流電流線図	52
Fig. 4.7	Revolution order diagram at start 起動時回転数指令線図	54
Fig. 4.8	Sodium flow diagram at start 起動時Na流量線図	55

Fig. 4.9	Revolution diagram at start 起動時回転数線図	56
Fig. 4.10	Synthetic motion diagram at stop 停止時総合動作線図	61
Fig. 4.11	Synthetic motion diagram at instantanesus loss of electric power 瞬停時総合動作線図	66
Fig. 4.12	Pulse suppression diagram at instantaneous loss of electric power 瞬停時パルスサプレッション線図	68
Fig. 4.13	γ shift diagram at instantaneous loss of electric power 瞬停時 γ シフト線図	69
Fig. 4.14	Current limiter diagram at instantaneous loss of electric power 瞬停時カレントリミッタ線図	70
Fig. 4.15	APPS diagram at instantaneous loss of electric power 瞬停時 APPS 線図	71
Fig. 4.16	D.C current diagram at instantaneous loss of electric power 瞬停時直流電流線図	72
Fig. 4.17	Revolution order diagram at instantaneous loss of electric power 瞬停時回転数指令線図	73
Fig. 4.18	Sodium flow diagram at instantaneous loss of electric power 瞬停時 Na 流量線図	74
Fig. 4.19	Revolution diagram at instantaneous loss of electric power 瞬停時回転数線図	76
Fig. 4.20	Synthetic motion diagram at instantaneous loss of electric power (at 1 second) 瞬停時総合動作線図 (1.0 秒瞬停)	78

Fig. 4.21	Current limiter diagram at instantaneous loss of electric power (at 1 second)	
	瞬停時カレントリミッター線図 (1.0 秒瞬停)	80
Fig. 4.22	Sodium flow diagram at instantaneous loss of electric power (at 1 second)	
	瞬停時 Na 流量線図 (1.0 秒瞬停)	81
Fig. 4.23	Synthetic motion diagram at instantaneous loss of electric power (FEB. 17. 1986)	
	瞬停時総合動作線図 (昭和 61 年 2 月 17 日)	82
Fig. 4.24	Current limiter, APPS and DC current diagram at instantaneous loss of electric power	
	瞬停時カレントリミッター, APPS, 直流電流線図 (昭和 61 年 2 月 17 日)	84
Fig. 4.25	Sodium flow diagram at instantaneous loss of electric power (FEB. 17. 1986)	
	瞬停時 Na 流量線図 (昭和 61 年 2 月 17 日)	86
Fig. 4.26	A.C voltage diagram at instantaneous loss of electric power (FEB. 17. 1986)	
	瞬停時交流電圧線図 (昭和 61 年 2 月 17 日)	87
Fig. 4.27	Synthetic motion diagram at loss of electric power	
	電喪時総合動作線図	89
Fig. 4.28	Pulse suppression diagram at loss of electric power	
	電喪時パルスサプレッション線図	92
Fig. 4.29	γ shift diagram at loss of electric power	
	電喪時 γ シフト線図	93
Fig. 4.30	Current limiter diagram at loss of electric power	
	電喪時カレントリミッター線図	94
Fig. 4.31	APPS diagram at loss of electric power	
	電喪時 APPS 線図	95
Fig. 4.32	D.C current diagram at loss of electric power	
	電喪時直流電流線図	97
Fig. 4.33	Revolution order diagram at loss of electric power	
	電喪時回転数指令線図	98
Fig. 4.34	Sodium flow diagram at loss of electric power	
	電喪時 Na 流量線図	99

Fig. 4.35	Revolution diagram at loss of electric power 電喪時回転数線図	100
Fig. 4.36	A.C voltage diagram at loss of electric power 電喪時交流電圧線図	101
Fig. 4.37	Synthetic motion diagram at trip by heavy accident (A) 重故障停止時総合動作線図 (A 号)	104
Fig. 4.38	Pulse suppression diagram at trip by heavy accident (A) 重故障停止時パルスサプレッション線図 (A 号)	105
Fig. 4.39	γ shift diagram at trip by heavy accident (A) 重故障停止時 γ シフト線図 (A 号)	106
Fig. 4.40	Current limiter diagram at trip by heavy accident (A) 重故障停止時カレントリミッタ線図 (A 号)	107
Fig. 4.41	APPS diagram at trip by heavy accident (A) 重故障停止時 APPS 線図 (A 号)	108
Fig. 4.42	D.C current diagram at trip by heavy accident (A) 重故障停止時直流電流線図 (A 号)	109
Fig. 4.43	Revolution order diagram at trip by heavy accident (A) 重故障停止時回転数指令線図 (A 号)	111
Fig. 4.44	Sodium flow diagram at trip by heavy accident (A) 重故障停止時 Na 流量線図 (A 号)	112
Fig. 4.45	Revolution diagram at trip by heavy accident (A) 重故障停止時回転数信号 (A 号)	113
Fig. 4.46	Synthetic motion diagram at trip by heavy accident (B) 重故障停止時総合動作線図	114
Fig. 4.47	Pulse suppression diagram at trip by heavy accident (B) 重故障停止時パルスサプレッション線図 (B 号)	116
Fig. 4.48	γ shift diagram at trip by heavy accident (B) 重故障停止時 γ シフト線図 (B 号)	116
Fig. 4.49	Current limiter diagram at trip by heavy accident (B) 重故障停止時カレントリミッタ線図 (B 号)	117
Fig. 4.50	APPS diagram at trip by heavy accident (B) 重故障停止時 APPS 線図 (B 号)	117
Fig. 4.51	D.C current diagram at trip by heavy accident (B) 重故障停止時直流電流線図 (B 号)	118

Fig. 4.52 Characteristic of APPS voltage

APPS 電圧特性	119
-----------------	-----

表 一 覧

Table 2.1	Control signal value of primary pump (A)	
	A主循環ポンプ制御信号値	20
Table 2.2	Control signal value of primary pump (B)	
	B主循環ポンプ制御信号値	21
Table 3.1	Function key and the Setting content	
	ファンクションキーとその設定内容	29
Table 3.2	Record correspond with input signal	
	入力信号と記録の対応	32
Table 3.3	List of motion data	
	動作データリスト	40
Table 4.1	List of synthetic motion at start	
	起動時総合動作表	46
Table 4.2	List of circuit breaker motion time at start	
	起動時遮断器作動時間表	57
Table 4.3	List of synthetic motion at stop	
	停止時総合動作表	60
Table 4.4	List circuit breaker motion time at stop	
	停止時遮断器作動時間表	62
Table 4.5	List of synthetic motion at instantaneous loss of electric power	
	瞬停時総合動作表	67
Table 4.6	List of synthetic motion at instantaneous loss of electric power (at 1 second)	
	瞬停時総合動作表 (1.0 秒瞬停時)	79
Table 4.7	List of synthetic motion at instantaneous loss of electric power (FEB. 17. 1986)	
	瞬停時総合動作表 (昭和 61 年 2 月 17 日)	83
Table 4.8	List of synthetic motion at loss of electric power	
	電喪時総合動作表	91
Table 4.9	List of synthetic motion at trip by heavy accident (A)	
	重故障停止時総合動作表 (A 号)	103

Table 4.10 List of synthetic motion at trip by heavy accident (B)

重故障停止時総合動作表 (B 号)	115
-------------------------	-----

1. 緒 言

高速実験炉「常陽」の1次主冷却系はA、B 2つのループから成り、それぞれ巻線型三相誘導電動機によって駆動される1次主循環ポンプを有している。この1次主循環ポンプの速度は、静止セルビウス方式によって制御されているため、速度制御がなめらかでかつ電力効率が良い反面、外部電源電圧の変動による影響を受け易い。

また2台のポンプの静圧軸受の軸受負荷容量の制限から相互のポンプの速度差に運転制限範囲が設けられているため、ポンプは同時起動、同時停止で運転され、相互の速度差を極力小さくするように運転しなければならない。

上記のような問題、制限があるため速度制御系の応答特性の把握、経年変化、異常の監視は、ポンプの健全な運転及びプラントの安定運転を維持するために非常に重要なものと考えられ、これら速度制御系の作動状態を記録監視するものとして現象記録装置が昭和53年5月に設置された。本装置によっていくつかの重要なデータを得ることができたが、この装置はエンドレステープレコーダと電磁オシログラフを用いたものであったため、データ記録及び装置の機能維持、保守の面からいくつかの不具合が指摘された。

このため昭和59年8月に本現象記録装置をデジタル化する改造を行った。この結果、従来から不明確であったいくつかの制御現象や、過渡状態についての解析が容易に行うことが可能となった。

本報告書では新しい現象記録装置の概要を紹介し、これまでに得られたデータから1次主循環ポンプの速度制御特性や問題点について報告するものである。

2. 1 次主循環ポンプの速度制御

2.1 静止セルビウス法の原理

誘導電動機の二次電圧とすべりの間には次の関係がある。

$$E_2 = S \cdot E_{2s}$$

但し E_2 : 二次電圧

E_{2s} : 最大二次電圧

S : すべり $(S = \frac{N_o - N}{N_o})$

N : 回転数

N_o : 同期回転数

E_{2s} は電動機によって定まる定数なので、二次励磁を行って二次電圧 E_2 を変化させればすべり S が変化し誘導電動機の速度制御が行える。静止セルビウス方式は二次励磁をシリコン整流器によって行うもので、二次電圧の制御は位相角制御によって行われる。

Fig. 2.1 に示すように電動機の二次電圧をシリコン整流器により整流した直流電圧 E_D は

$$E_D = S \cdot E_2 \cdot \frac{3\sqrt{2}}{\pi}$$

で表わされる。

シリコン整流器の内部電圧降下と回路抵抗による電圧降下を考慮すると

$$E_D = S \cdot E_2 \cdot \frac{3\sqrt{2}}{\pi} - (E_{SR} + E_{IN}) = 1.35 S \cdot E_2 - (E_{SR} + E_{IN})$$

となる。

但し E_D : シリコン整流器直流電圧

E_{SR} : シリコン整流器内部電圧降下

E_{IN} : 回路抵抗による電圧降下

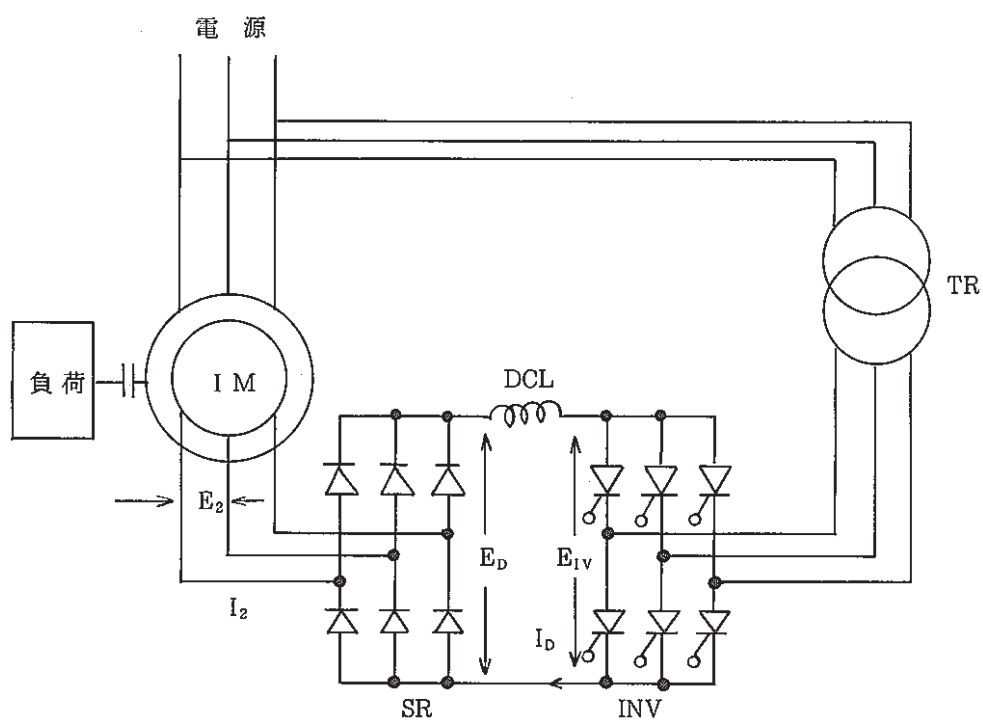
このとき逆変換器（サイリスタインバータ）のゲート信号を制御して逆変換電圧を任意の値とすると

(a) $E_D > E_{IV}$ のとき

誘導電動機の二次電流が増大し電動機を加速し、トルクが増し、負荷トルクと平衡する点ですべりが決り運転される。

(b) $E_D < E_{IV}$ のとき

誘導電動機の二次電流は E_D より E_{IV} が高いので減少して電動機は減速され、トルクが減少して負荷トルクと平衡する点ですべりが決まり運転される。このようにサイリスタインバータのゲートに与えるパルスの移相角 α を変えることにより、 E_{IV} を変化させ、電動機の速



- IM : 誘導電動機
 SR : シリコン整流器
 INV : 逆変換器
 (サイリスタインバータ)
 DCL : 直流リアクトル
 TR : 変圧器
 E_2 : 誘導電動機二次電圧
 I_2 : " 二次電流
 E_D : シリコン整流器直流電圧
 I_D : 直流電流
 E_{IV} : 逆変換電圧

Fig.2.1 Main circuit diagram of static serbius
 (静止式セルビウス主回路接続図)

度を制御する。

2.2 整流回路とインバータ回路

三相ブリッジ全波整流回路を Fig. 2.2 に示す。各相を U, V, W とし直流側の(+)極を P, (-)極を N, 各シリコン整流器 (以下 SR) を $U_P, V_P, W_P, U_N, V_N, W_N$ とする。

今 e_1 の電圧波形について考えると (F)-4 の SR_{U_P} と W_N に電圧が加わり e_1 の正方向のみ通流して逆方向は阻止する。このときの波形が (F)-3 の実線で示した部分で破線の部分には他の相の波形が重なり、しかも電位が高いので電流は流れない。また e_1 の位相の 180° 転換した時は (F)-10 の様に W_P と U_N に順方向の電圧が加わり、(F)-9 のような出力波形が出る。他の e_2, e_3 も e_1 と同様に各 SR を通り、結局 (F)-1 のような直流出力を得る。(F)-1 から (F)-14 を見ると電流は各 SR を次々と変えて流れている。この移り変わりのことを転流という。

次に三相交流をシリコン制御整流器 (以下 SCR) により制御角を変化させる場合について説明する。

SCR の制御角 $\alpha = 0^\circ$ ならば SR による三相全波整流回路と同じである。今 $\alpha = 15^\circ$ とすると負荷が高誘導リアクタンスであれば Fig. 2.3 の (10)-2 のように e_1 と e_3' の重なり合った点より 15° 先まで e_1 の電流が流れ、また e_2' は $\alpha = 15^\circ$ の点で U_P に通流する。つまり $\alpha = 15^\circ$ で制御した場合 U_P に順方向の電圧が加わるのは e_2' と e_1 であるが e_2' の順方向のうち $\alpha = 15^\circ$ まではゲートが開いていないので順阻止電圧が現われ、このときの U_P の A-K 間 (アノード, カソード間) 電圧の波形は (10)-4 のようになる。

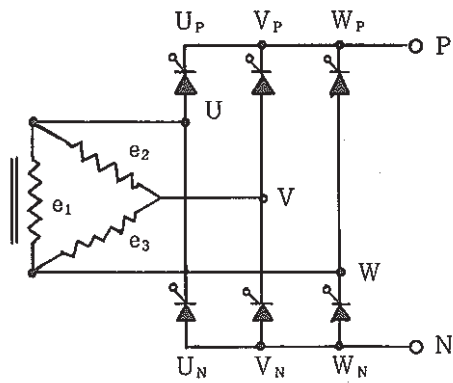
$\alpha = 75^\circ$ のとき電圧は負の領域までであるが、高誘導リアクタンス負荷であるため電圧 $0 \sim (-)$ の間は逆起電力により電流が跡切れず流れている。

$\alpha = 90^\circ$ では直流出力平均電圧は正の領域も等しくなり 0 となる。A-K 間波形も上下等しい面積になる。

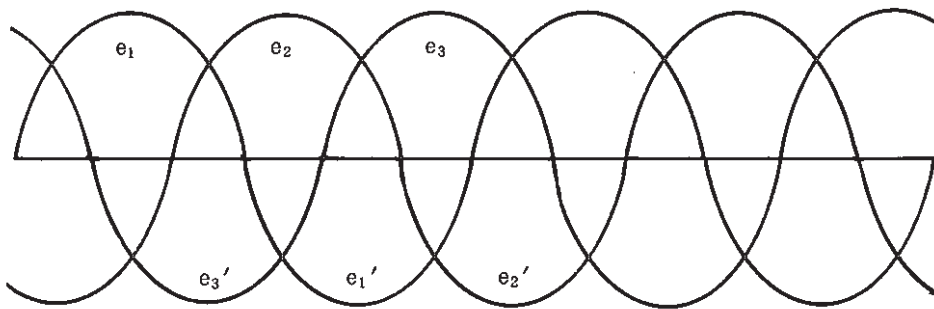
$\alpha > 90^\circ$ 以上になると直流平均電圧の極性が反対になるが、サイリスタは逆方向には電流を流さない。そこで (10)-20 のように直流電源を加えると、直流電力はサイリスタを通して交流側に送られる。これをインバータと呼び、セルビウス方式では二次側に発生した電力をインバータによって交流側へ戻すため電動機効率が良くなる。

2.3 インバータの転流失敗

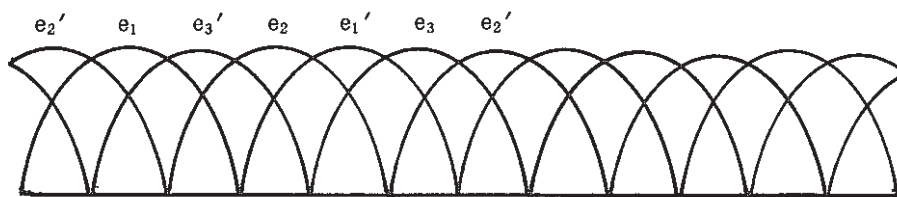
インバータでは整流器の場合と異って α が π に近い位相で転流を行うので整流要素には転流終了後もなく順電圧が印加される。このとき変圧器のもれリアクタンスを考慮すると、Fig. 2.4 のように e_1 の電流 i_1 はすぐには切れずに長びき、 e_2 の電流 i_2 も急には立ち上がれなくて、 e_1 と e_2 の電流が同時に流れ、重なり期間が生ずる。この期間を角度 u で表わし「重なり角」と呼ぶ。このように重なり角が生じるために逆電圧が印加される期間は結局 $\pi - (\alpha + u)$ または $\gamma -$



(A) 三相ブリッジ全波整流回路



(B)

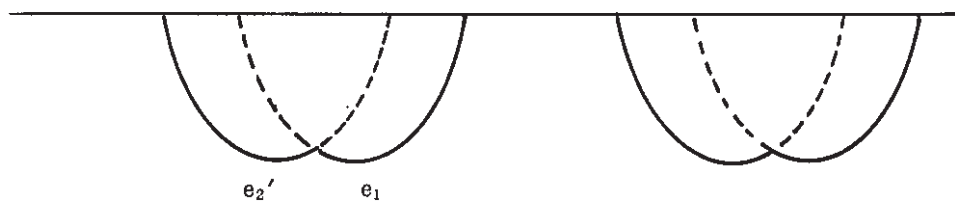


SCR を SR におき
かえて考えたとき
すなわち
制御角 $\alpha = 0^\circ$

(C) 三相全波整流直流電圧波形

U_p		V_p		W_p		U_p		V_p		W_p	
V_N		W_N		U_N		V_N		W_N		U_N	V_N

(D) 転流順序



(E) A - K 間電圧波形 U_P の SR について

Fig. 2.2 Three-phase full wave rectification circuit (1)
(三相ブリッジ全波整流回路(1))

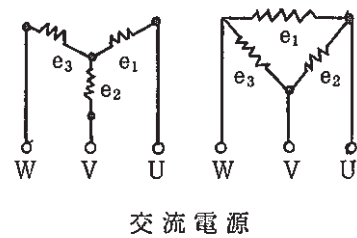
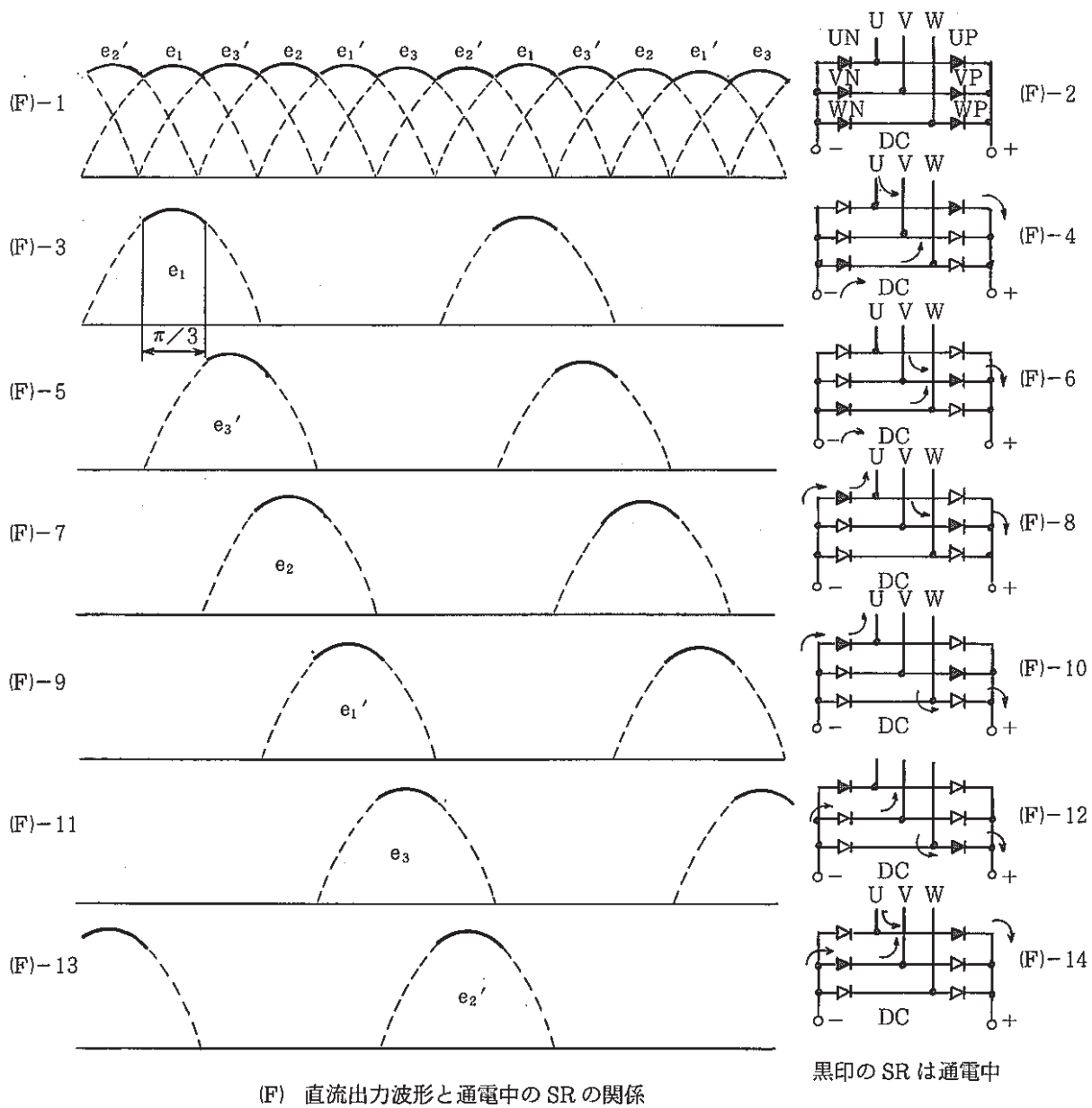


Fig. 2.2 Three-phase full wave rectification circuit (2)
(三相ブリッジ全波整流回路(2))

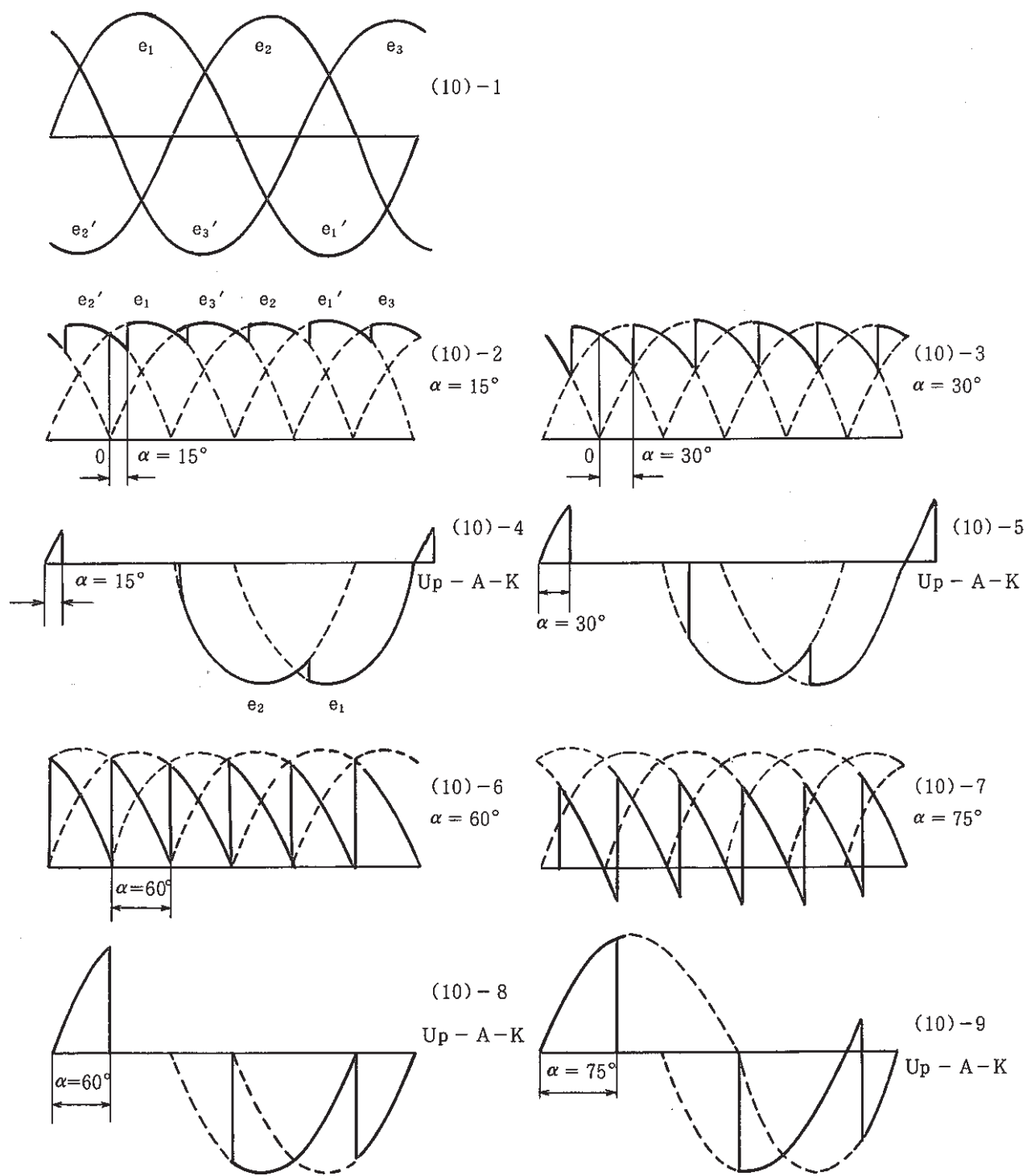


Fig. 2.3 Phase control wave from by SCR(1)
(SCRによる位相制御波形(1))

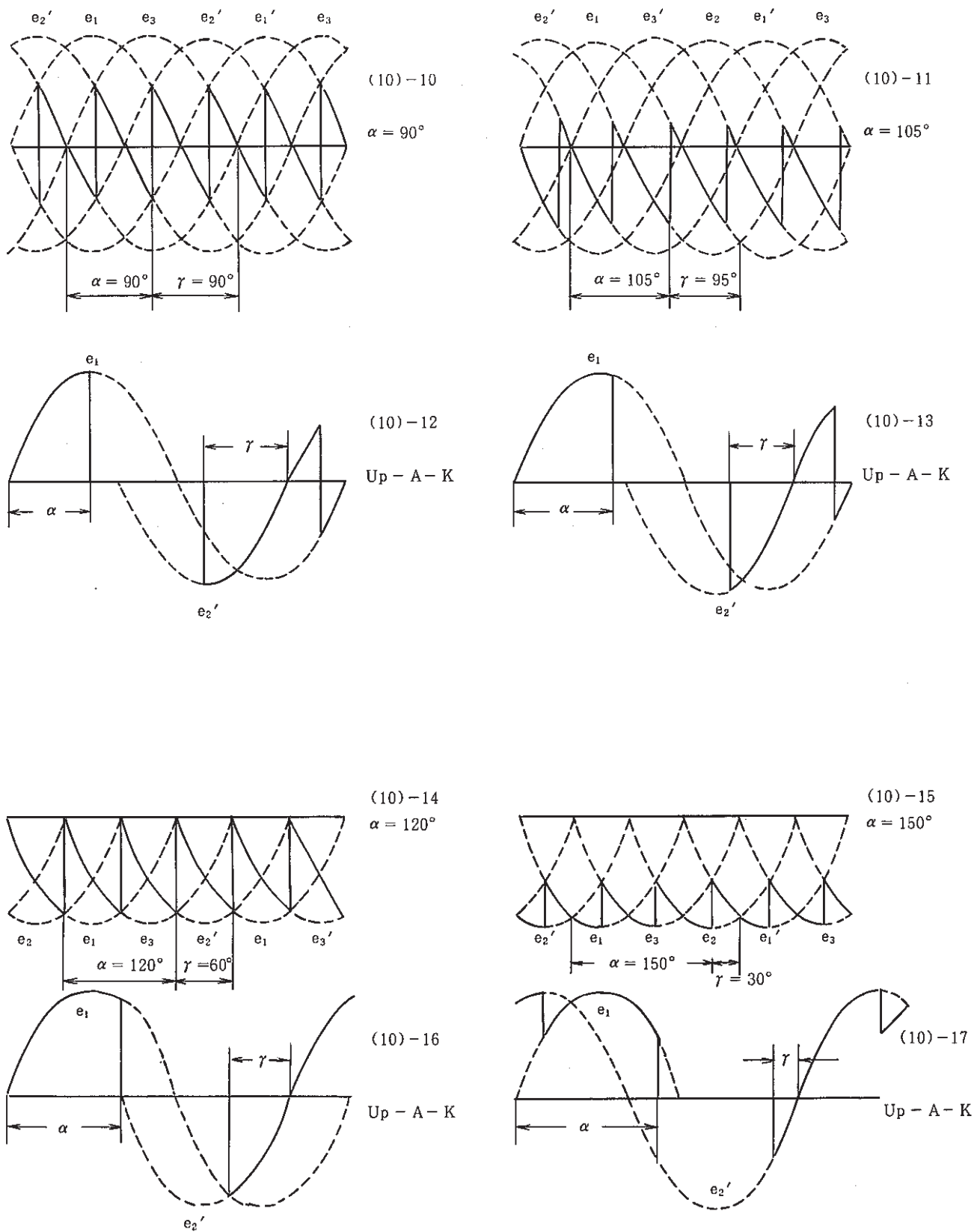
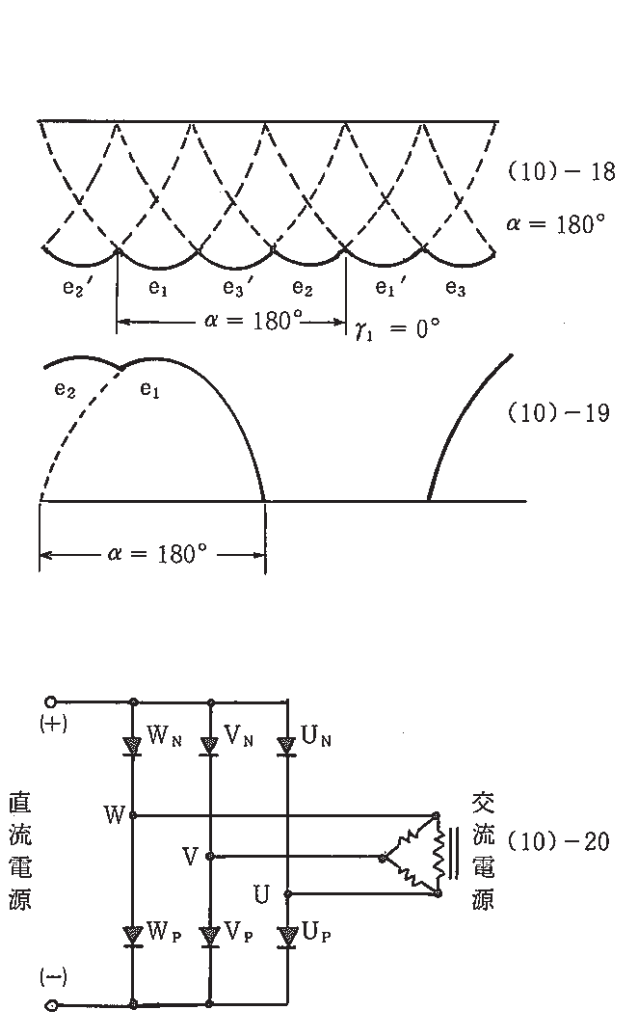


Fig.2.3 Phase control wave from by SCR (2)
(SCRによる位相制御波形(2))



P 相の半波整流平均電圧

$$\begin{aligned}
 E_d &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{p} + \alpha}^{\frac{\pi}{p} + \alpha} \sqrt{2}E \cos \theta \cdot d\theta \\
 &= \frac{\sqrt{2}EP}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{p} + \alpha}^{\frac{\pi}{p} + \alpha} \cos \theta \cdot d\theta \\
 &= \frac{\sqrt{2}EP}{2\pi} \left[\sin \theta \right]_{-\frac{\pi}{p} + \alpha}^{\frac{\pi}{p} + \alpha} \\
 &= \frac{\sqrt{2}EP}{2\pi} \left\{ \sin \left(\frac{\pi}{p} + \alpha \right) - \sin \left(-\frac{\pi}{p} + \alpha \right) \right\} \\
 &= \frac{\sqrt{2}EP}{2\pi} \cdot 2 \cos \alpha \cdot \sin \frac{\pi}{p} \\
 &= \frac{\sqrt{2}EP}{2\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{p} \cos \alpha
 \end{aligned}$$

三相全波の場合 $P = 6$ となるので

$$\begin{aligned}
 &\frac{6\sqrt{2}E}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{6} \cos \alpha \\
 &= \frac{3\sqrt{2}E}{\pi} \cdot \cos \alpha
 \end{aligned}$$

Fig. 2.3 Phase control wave from by SCR (3)
(SCR による位相制御波形(3))

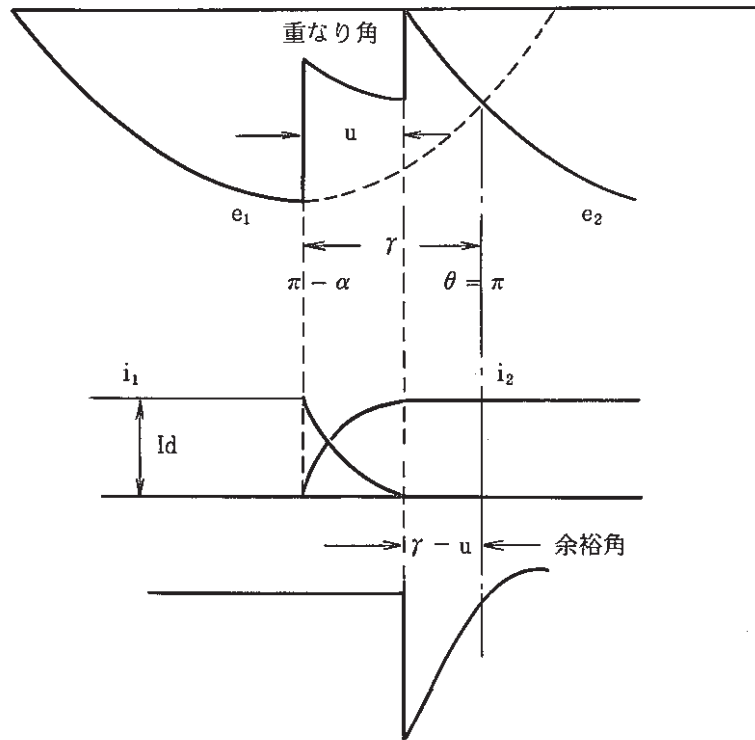


Fig. 2.4 Commutation overlapping angle and margin angle
(転流重なり角と余裕角)

u ($\gamma = \pi - \alpha$) の間のみになる。これを余裕角と呼ぶ。SCR は順方向通電後順阻止状態に回復するまでにターンオフ時間（オン状態の順電流が 0 に到達してからゲートが再び順阻止制御能力を回復するまでに要する時間）だけは逆電圧をかけておくことが必要である。したがって $\alpha - u$ がターンオフ時間よりも短くなると、いったん転流を終えた整流要素に再び電流が移り直流短絡を起こす。これが「転流失敗」である。

2.4 静止セルビウス制御の主要回路

1 次主循環 ポンプ速度制御の主要回路を Fig. 2.5 に示す。制御回路の主な構成は、(1)流量設定部（サンプリングコントローラ）、(2)速度制御部（自動パルス移相調整器— APPS）、(3)直流主回路部（整流回転）および(4)電力返還部（インバータ回路）に大別される。以下に各部の機能を通してポンプの速度制御動作の概要を説明する。

(1) 流量設定部

本設定部はポンプ速度制御の入力となる流量信号を発生する。電磁流量計からの実流量信号は変換器で $4 \sim 20 \text{ mA}$ ($0 \sim 1400 \text{ m}^3/\text{h}$ に相当) の電流信号に変換され、流量設定器の設定値と比較されて流量偏差信号となる。この偏差信号はサンプリングコントローラにより、偏差信号の極性と大きさに見合った電流パルス信号に変換され、コントロールモータ (CM) の ON, OFF (正転, 逆転) 制御を行い、速度設定用のポテンションメータ (VR) を駆動し、速度指令を出す。

(2) 速度制御部

流量設定部からの速度指令信号は、流量制御が滑らかで安定なものとするため、ポンプの実回転数信号（タコジェネレータ, PG）と突合わされ、修正されて APPS の制御入力信号となる。APPS は SCR のゲートパルスを与える時期、すなわち位相点弧角を制御して逆変換電圧を任意の値に調整し、回転数を変化させる中枢部分である。Fig. 2.6 にそのブロック図を示す。同図は簡略化のため、移相部およびパルス増幅回路は 1 相のみを示してある。

APPS の基本動作は以下の通りである。

移送特性の基準となる鋸歯状波電圧を発生させ、制御入力信号と加算し、フロントリミッタおよびエンドリミッタ回路により移相範囲を制限された短形パルスが発生させ、成形、増幅回路を経た後パルストランス (PTr) より SCR へのゲートパルスが発生させる。制御入力電圧と PTr からの出力パルスの移相特性を Fig. 2.7 に示す。

パルスサプレッションは、パルス成形回路のパルス発生を阻止し、SCR を阻止状態とする。これは瞬時停電（以下瞬停とも記す）発生時や制御系の故障等で 1 次主回路と 2 次直流主回路との間に電流の不均衡が生じ、2 次直流主回路に過電流が生じることを防止するためのものである。すなわち、1 次側電流値を I_p 、2 次直流主回路電流の 1 次側換算値を I_s とすると、 $I_s \geq 76 \text{ A}$ 、かつ $I_s \geq I_p + 33 \text{ A}$ となった時、この偏差を捉えて SCR の点弧角を $r_{\min}$ 角 ($\alpha = 165^\circ$)

にシフトし、 $I_s \leq 76 \text{ A}$ となった時点で SCR ゲートパルスを消滅させる。

制御装置の設定値を Fig. 2.8 に異常時のための電流差検出回路を Fig. 2.9 に示す。

(3) 直流主回路部

直流主回路部は、電動機の 2 次側すべり電力をスリップリングを介して取出し、シリコン整流素子 (SR) およびシリコン制御整流素子 (SCR) を用いて電源側に返還する回路である。主回路を流れる電流は、SCR のゲート位相制御による 2 次電圧の変化により制御される。過電流、過電圧による回路素子の損傷を防止するために保護継電器および高速度遮断器がある。

APPS からのゲートパルスの位相角 α を変えることにより、2 次励磁電圧 (E_b) は Fig. 2.10 のように変化する。

ポンプの低速度領域ではすべりは大きいので 2 次誘起電圧は大きくなるが、2 次電流は低速度に見合せて小さく抑える必要がある。従って、2 次励磁電圧を大きくし (位相角 α を 180° 近く)、高速度領域ではその逆に α を 90° 近くとして負電圧を小さくし、2 次電流を大きくしている。

(4) 電力返還部

SCR、インバータトランス (Tr) および電流制御回路用変流器 (CT) よりなり、2 次側電力を返還すると共に、CT から APPS へフィードバック信号をかけている。

回転数の上昇に従って直流電圧 E_b は直線的に減少するが、直流電流 I_b は逆に上昇する。この関係を Fig. 2.11 に示す。この図に $W_b = E_b \times I_b$ [KVA] として返還可能な直流電力をも示した。

Table 2.1, 2.2 にポンプ運転時における制御系の信号等の実測値について示す。

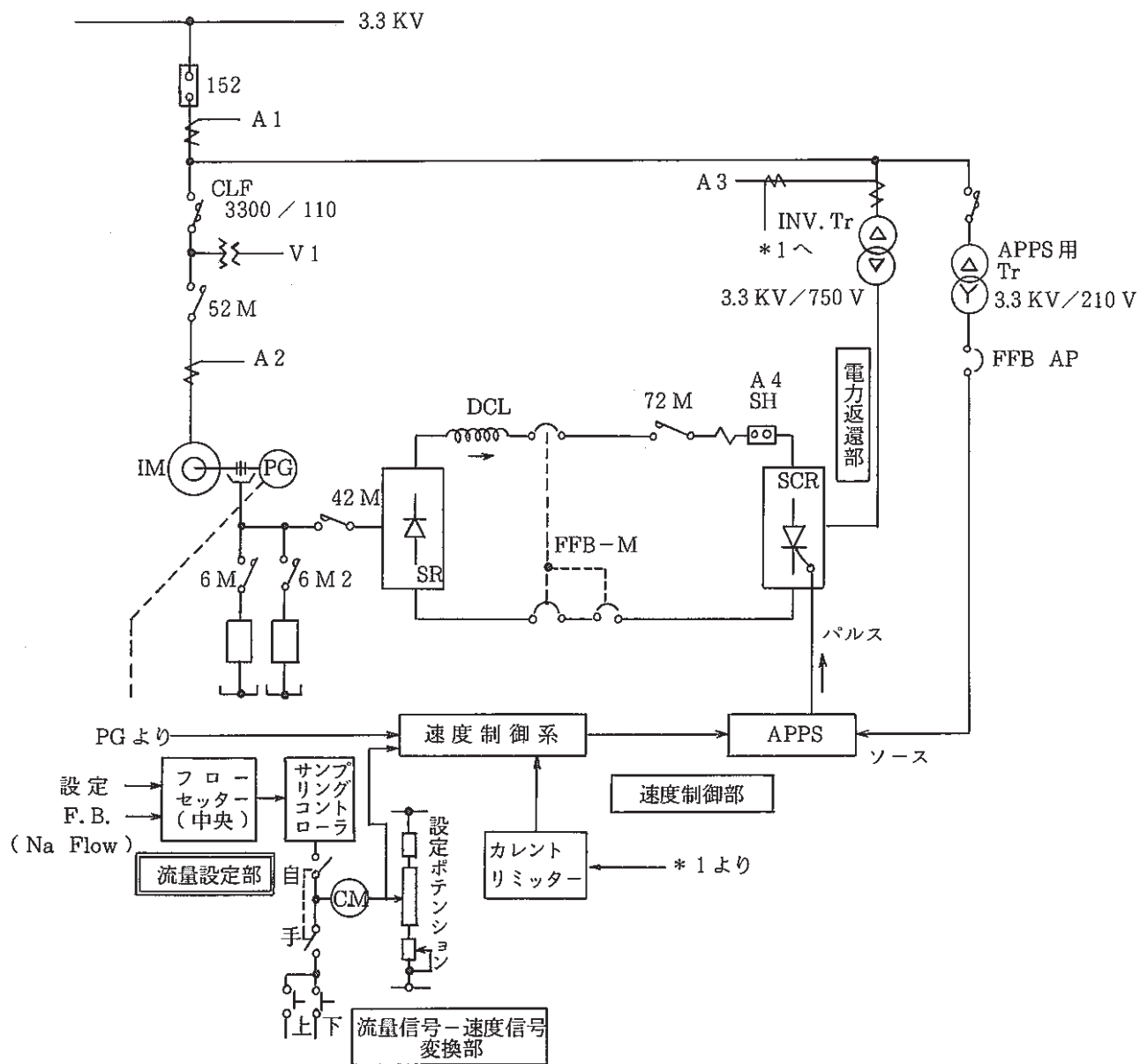


Fig.2.5 Main circuit diagram of primary main pump static serbius control system

(1 次主循環ポンプ静止セルビウス制御装置基本構成)

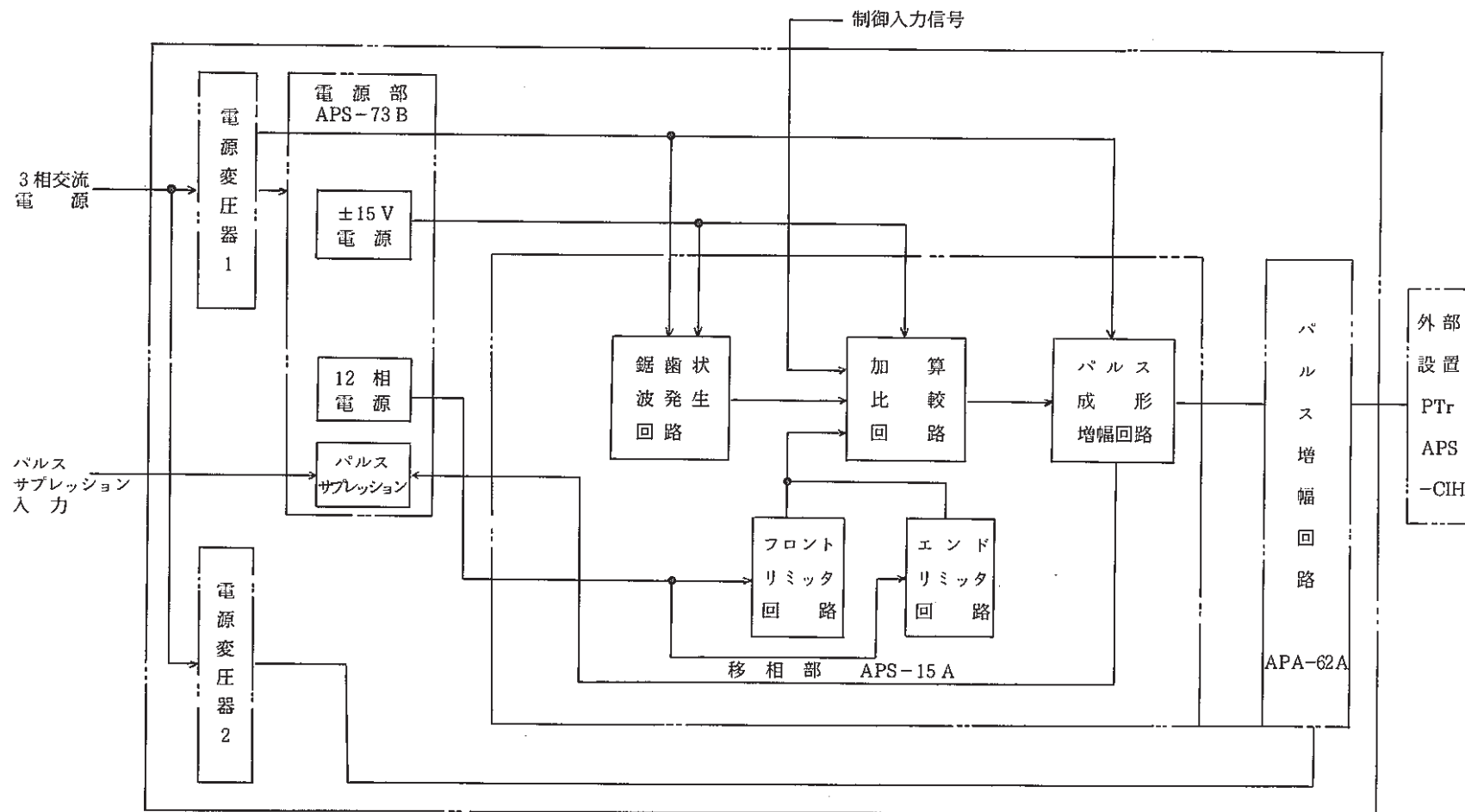


Fig. 2.6 APPS Brock diagram
(APPS ブロック図)

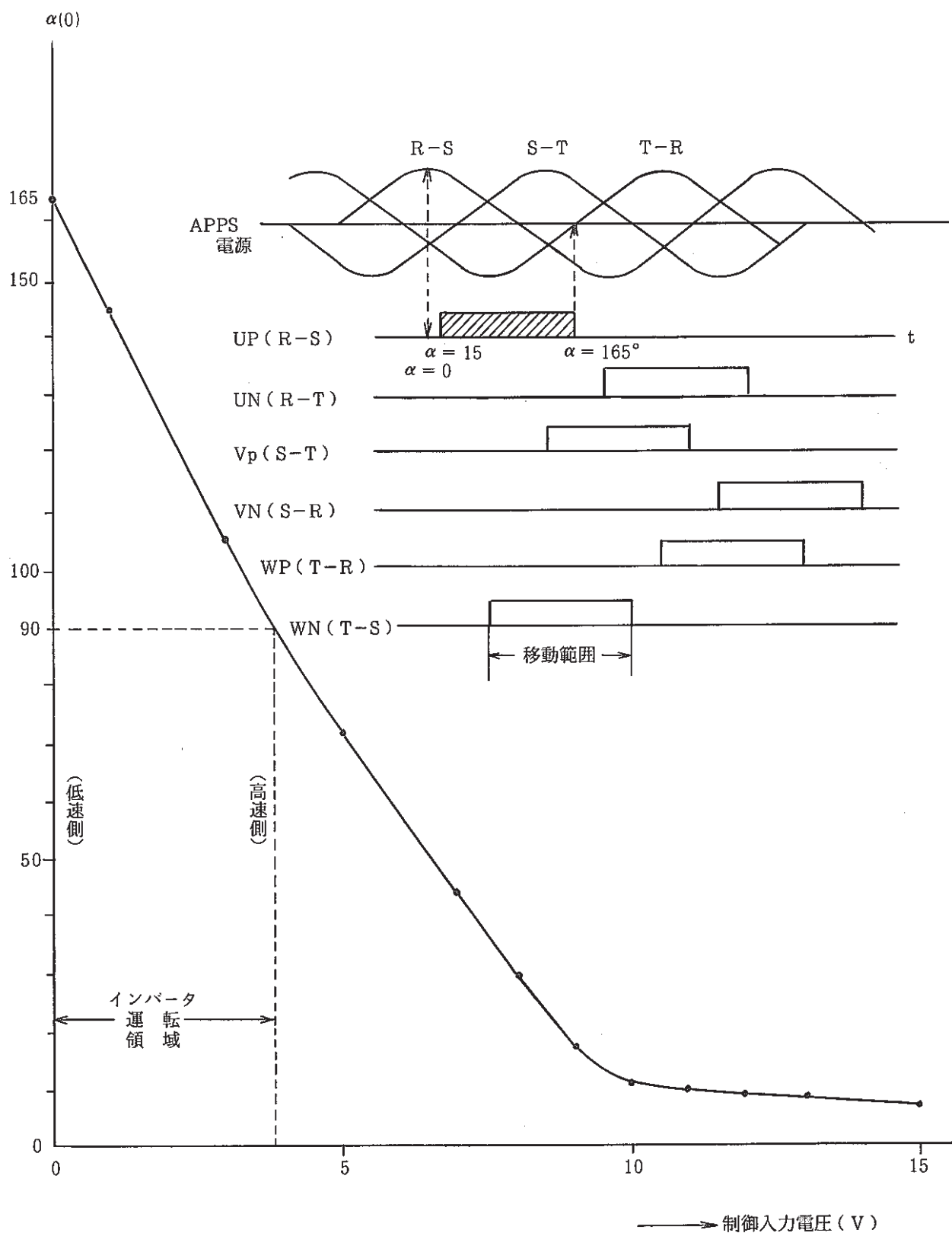


Fig. 2.7 APPS control voltage and phase angle
(APPS制御電圧と位相角)

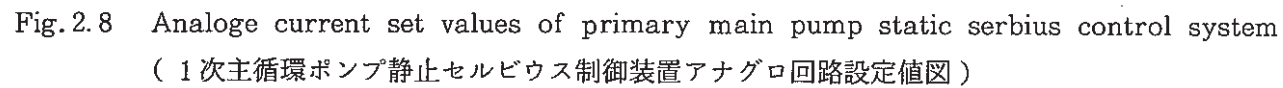


Fig.2.8 Analoge current set values of primary main pump static serbius control system
(1次主循環ポンプ静止セルビウス制御装置アナログ回路設定値図)

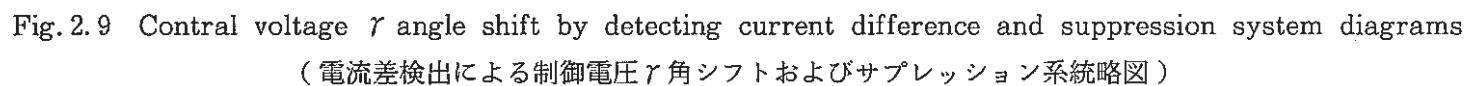


Fig. 2.9 Contral voltage γ angle shift by detecting current difference and suppression system diagrams
(電流差検出による制御電圧 γ 角シフトおよびサプレッション系統略図)

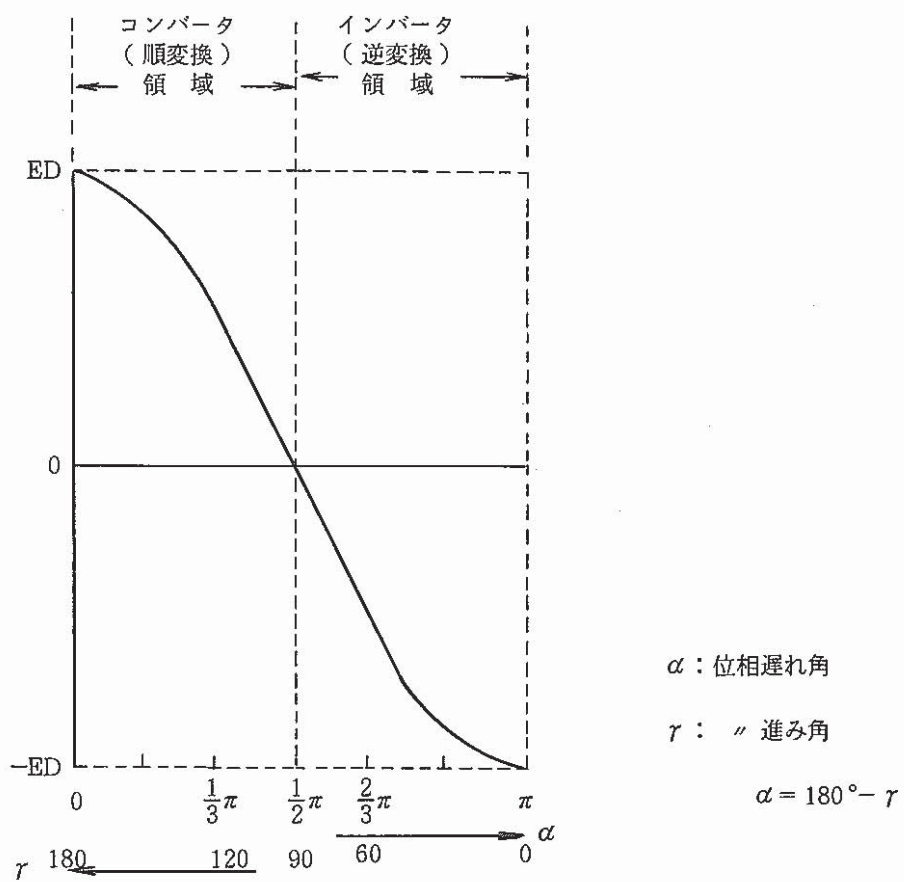


Fig. 2.10 Phase control angle and average D.C voltage
 (位相制御角と直流平均電圧)

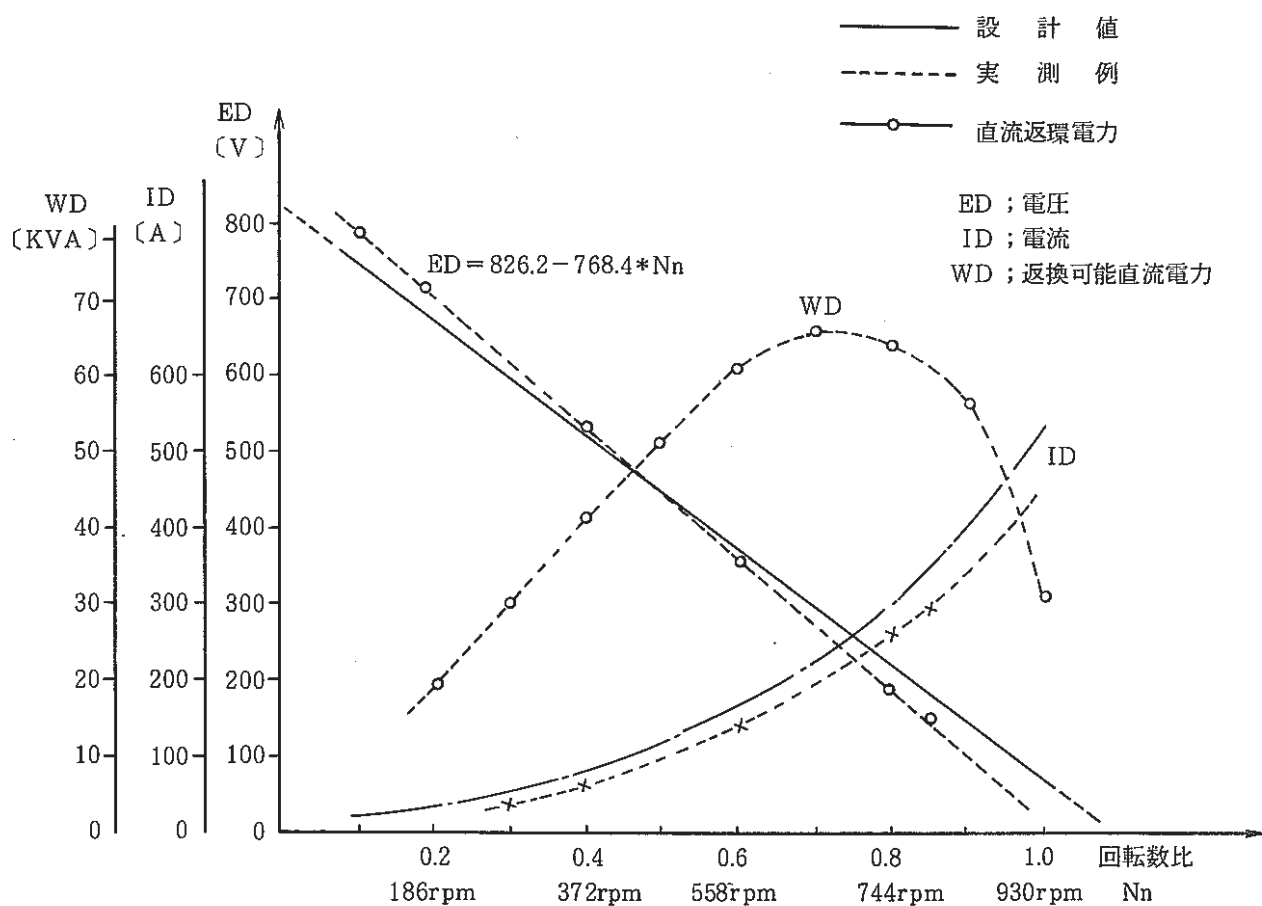


Fig. 2.11 Relation of between IM speed and main direct circuit voltage & current
(IM 速度と直流主回路電圧・電流の関係)

Table 2.1 Control signal value of primary pump (A)

(A主循環ポンプ制御信号値)

(MK-II炉心 250℃)

		計 器 指 示 値																アナログ値 （デジボで測定）								
No.		設定流量		記録 流量	吐出 圧	設定 FC	IM-次電圧(KV)			IM 一次電流 (A)			速度	DC 電圧	DC 電流	インバータ 電 流(A)			速度指 令(V)	流 量 FB(V)	速 度 FB(V)	インバ ータ電 流(V)	APPS 制御入 力(V)	IM一 次電流 (V)	速 度 (rpm)	備 考
		%	m³/h	m³/h	kg/cm²	%	R-S	S-T	T-R	R	S	T	rpm	KV	A	R	S	T	AIP ₁ A -A 24	AIP ₂ A -A 18	AOA ₁ A -B.8	AIP ₁ A -B 6	AOA ₂ A -B 26	APA - A 6	デジタ ル 式	
1		20	260	250	0.6	12	3.13	3.16	3.15	29	30	31	120	0.710	20	-	-	-	1.405	-2.990	-1.557	0.023	0.810	1.260	177.0	
2		40	500	500	1.1	30	3.16	3.20	3.10	32	33	35	330	0.565	55	-	-	-	2.828	-4.435	-2.895	0.114	1.634	1.420	333.0	
3		60	750	750	2.0	50	3.12	3.15	3.12	38	38	39	500	0.410	110	29	27	25	4.218	-5.998	-4.283	0.596	2.156	1.799	493.5	
4		80	1120	1120	3.9	78	3.13	3.17	3.15	54	56	58	730	0.200	245	56	53	53	6.213	-8.200	-6.257	1.885	2.916	2.930	738.0	
5		100	1260	1260	4.8	89	3.15	3.20	3.15	63	65	64	840	0.110	330	74	71	70	7.073	-9.068	-7.130	2.700	3.121	3.500	835.5	
6		100	1260	1260	4.9	90	3.17	3.21	3.20	66	69	70	840	0.110	330	77	73	73	7.087	-9.057	7.123	2.720	3.156	3.500	835.5	

Table 2.2 Control signal value of primary pump (B)

(B主循環ポンプ制御信号値)

(MK-II炉心250℃)

No		計 器 指 示 値												アナログ値（デジボルで測定）										速 度 (rpm)	備 考	
		設定流量		記録 流量	吐出 圧	設定 FC	IM一次電圧(KV)			IM一次電流（A）			速度	DC 電圧	DC 電流	インバータ 電 流			速度指 令(V)	流 量 FB (V)	速 度 FB(V)	インバ ータ電 流(V)	APPS 制御入 力(V)			IM一 次流量 (V)
							R-S	S-T	T-R	R	S	T				R	S	T								
		%	m³/h	m³/h	kg/cm²	%	R-S	S-T	T-R	R	S	T	rpm	KV	A	R	S	T	AIP ₁ B -A14	AIP ₂ B -A18	AOA ₁ B -B8	AIP ₁ B -B6	AOA ₂ B -B16	APB-A6	デジタ ル 式	
1		20	26	260	0.50	8	3.14	3.17	3.15	29	30	31	170	0.715	20	-	-	-	1.428	-2.770	-1.472	0.023	0.758	1.360	176.0	
2		40	500	510	1.00	25	3.15	3.19	3.17	33	33	33	330	0.565	55	-	-	-	2.814	-4.051	-2.810	0.112	1.698	1.430	330.0	
3		60	750	750	1.90	48	3.13	3.17	3.15	38	38	39	500	0.420	110	27	26	25	4.179	-5.773	-4.200	0.576	2.123	1.730	490.5	
4		80	1120	1120	3.80	72	3.12	3.16	3.16	55	56	57	730	0.200	245	55	53	53	6.247	-7.936	-6.267	1.997	2.872	2.882	733.5	
5		100	1260	1260	4.70	85	3.15	3.16	3.17	62	64	64	845	0.110	320	70	68	68	7.137	-8.770	-7.157	2.710	3.095	3.420	829.0	
6		100	1260	1260	4.75	85	3.16	3.20	3.19	62	65	65	845	0.110	320	70	68	68	7.142	-8.780	-7.163	2.700	3.120	3.400	831.0	

2.5 制御回路の動作

1次主循環ポンプの速度制御系統図を Fig. 2.12 に示す。図に示されるように速度制御系統は非常に複雑な構成になっている。これは静止セルビウス方式を用いているために、種々の保護回路があること及びポンプの起動や瞬時停電再起動には抵抗を用いてポンプを運転し、その後セルビウス運転に切替える等の複雑な運転制御を採用しているためである。

(1) 起動時

起動用 CS 「入」によってメタクラの遮断器（152 A 3, 152 B 3）が投入後、主循環ポンプ起動シーケンスが進行し、起動抵抗器用電磁接触器（6 M 口^{*}）が閉じた後、電磁接触器 52 M A, 52 M B がほぼ同時に投入され、主循環ポンプ電動機は起動抵抗器により加速される。そして 140 r.p.m のセルビウス切り換えポイントになると速度検出リレー（14 M₁ 口, 14 M₂ 口）が作動し、セルビウス速度制御運転への切り換え用電磁接触器 42 M A, 42 M B が投入され、同時に起動抵抗器用電磁接触器（6 M 口）が開放されてセルビウス速度制御運転に移行する。

セルビウス速度制御運転に移行後は、セルビウス速度制御運転範囲の最低速度に対応する回転数指令信号とタコジェネレータからの実際の回転数信号との間の偏差信号を APPS 入力信号として、サイリスタの制御点弧角を変化させる。電動機 2 次電圧は SCR の電圧制御により変化し、ポンプは回転数指令信号に見合う速度に制御される。なお、速度偏差信号は電動機 1 次側電流と 2 次側電流（直流主回路）とのコンパレータ出力信号と加算されて APPS 入力となるが、コンパレータ出力が出るのは 1 次側と 2 次側との間に定常状態を逸脱する電流が生じた場合のみである。この場合は SCR 点弧角は $\gamma_{\min}$ 角に引込まれ、APPS パルス発生を阻止して直流主回路過電流トリップを防止する。

(2) 停止時

停止時（CS 切、電源喪失、主循環ポンプトリップ）には 152 口 3 が “OFF” となるため、セルビウス制御系の電源も “OFF” となり、セルビウス速度制御系の各信号は OV に低下する。主循環ポンプはフローコストダウンにより回転数が 130 r.p.m 迄低下した時点で速度検出リレー（NS 31・1-1 口, NS 31・1-1 口）が作動しポニーモータ駆動運転に引き継がれる。

(3) 瞬時再起動時（1.5 秒以内の停電時）

電源電圧の低下が 85 % 以下で約 20 msec 以上継続されると、不足電圧継電器 27 M 3 口の b 接点が瞬間的に閉じ、瞬時停電再起動シーケンスが開始される。最初に 52 M 口, 42 M 口, 72 M 口の各接触器が開路されて、セルビウス回路の保護を行った後、再起動抵抗器投入用電磁接触器 6 M 2 口を励磁し、次に 52 M 口, 72 M 口が励磁され、主循環ポンプは再起動抵抗器により加速される。そして瞬時停電発生前の設定流量に相当する回転数との差が -70 r.p.m 以

* 口はポンプ A, B 号機の A または B を示す。

内まで昇速されると速度検出リレー 14 M 3 口により 42 M 口が励磁され、これから 0.6 秒間は再起動抵抗とセルビウス速度制御運転がオーバーラップした後、再起動抵抗器用 6 M 2 口が開放される。ただし、遮断器 152 口 3 の保護用不足電圧継電器の限時整定時間（1.5 秒）を超過する停電が発生した場合には、152 口 3 がトリップしてしまうため瞬停再起動シーケンスは成立しない。

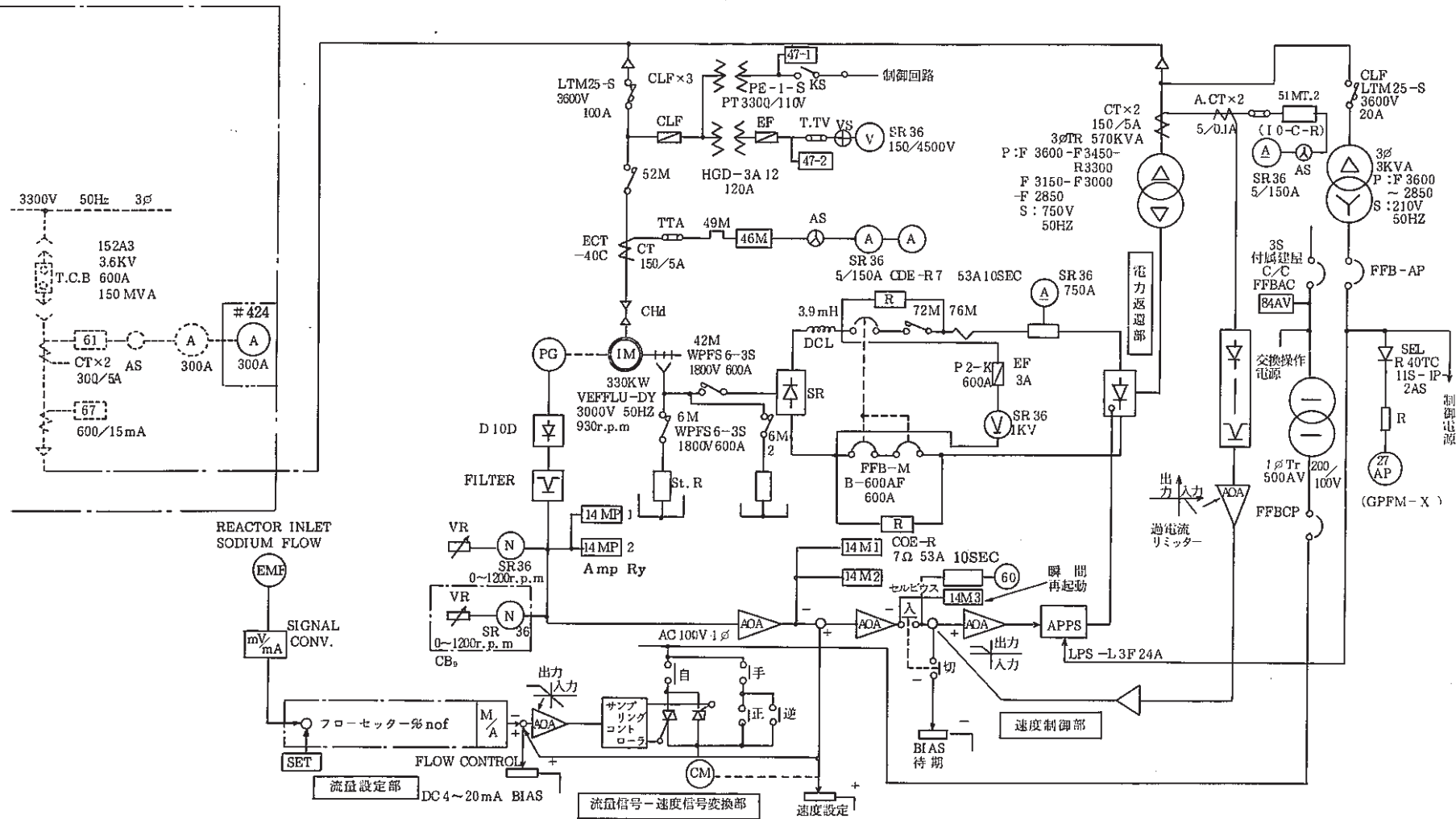


Fig. 2.12 Scheme of pump speed control system
(ポンプ速度制御系統図)

3. 速度現象記録装置の概要

3.1 旧現象記録装置の問題点

旧現象記録装置は昭和 53 年度に設置されて以来約 6 年を経過したが、この間に以下に示す項目のような問題点が指摘されるようになった。

(1) 機能維持上の問題

- 1) エンドレステープレコーダは連続で回転しているためテープの摩耗や伸びなどのいたみが激しく、1 週間に 1 回程度テープを交換する必要があった。
- 2) タングステン電磁オシロを記録計に使用しているため、連続的に使用していると零点のシフト等が発生し、記録数値の読み取りが困難になる場合があった。
- 3) エンドレステープレコーダの磁気ヘッドは寿命が約 6000 時間のため 1～2 年に 1 回ヘッドの交換をする必要があった。しかしこのヘッドは特別仕様品で高額の保守費用が必要であった。

(2) 機能の不足

- 1) データの記録がタングステンオシロの感光紙であったため数値としての読み取りが困難であったり、信号同志が重なり合って、信号の識別や読み取りのできない場合があった。(Fig. 3.1 参照)
- 2) 記録されたデータについて一般の運転員が解読するのが困難であり異常判別に遅れを生じた。
- 3) データが記録紙上にしか残らないために後からデータを処理してさらに詳細な解析を行うことができなかった。
- 4) 3) 項と同様にデータの蓄積を有効に行うことができなかった。

(3) 信号の不足

セルビウス速度制御系の監視を強化するためさらに以下の信号を追加することが望まれた。

- 1) 遮断器 52 M 口を A・B 号独立して記録させる。
- 2) 瞬停再起動動作等のタイミング監視を強化するために低電圧検出リレー 27 E の動作を A・B 号両記録計に入れる。
- 3) 瞬停再起動動作監視強化のために、電動機 1 次側交流電圧記録を追加する。



注) 本図はオシロペーパーの上を鉛筆で加筆してある。

Fig. 3.1 Record of electromagnetic osiro
(電磁オシロ記録)

3.2 新現象記録装置の改善点

(1) 機能維持性能

旧現象記録装置は動的機構が多く部品の損耗や、劣化により機能維持に多くの労力を必要としたが、新現象記録装置ではデータの集録にデジタルメモリーを用いた静止型とした。これによって動的部品はフロッピーディスクのみとなり大幅な労力・費用の節減を図った。

(2) 機能の強化

1) データ表示と処理

新現象記録装置においては集録されたデータをA/D変換して数値化して5インチフロッピーディスクに記憶させることによって、データ表示の精度を向上させ、かつ、後からのデータ処理による現象の詳細解析及びデータの蓄積を可能とした。

2) 操作性

運転や保守面での負担をできる限り少なくなるように装置の操作はFig. 3.2に示すファンクションキーボードによるものとし、操作内容もTable 3.1に示すように極力少なくした。また保守面においては装置自身に自己診断機能を持たせ、ファンクションキーボードからの指令によって、CPU、メモリ、フロッピーディスク、プリンターなどの主要構成部品を点検出来るようになっている。

(3) 信号の追加

3.1(3)において指摘した以下の3点の信号を追加した。

1) 遮断器 52 M口

2) 低電圧検出リレー 27 E

3) 電動機 1 次側交流電圧

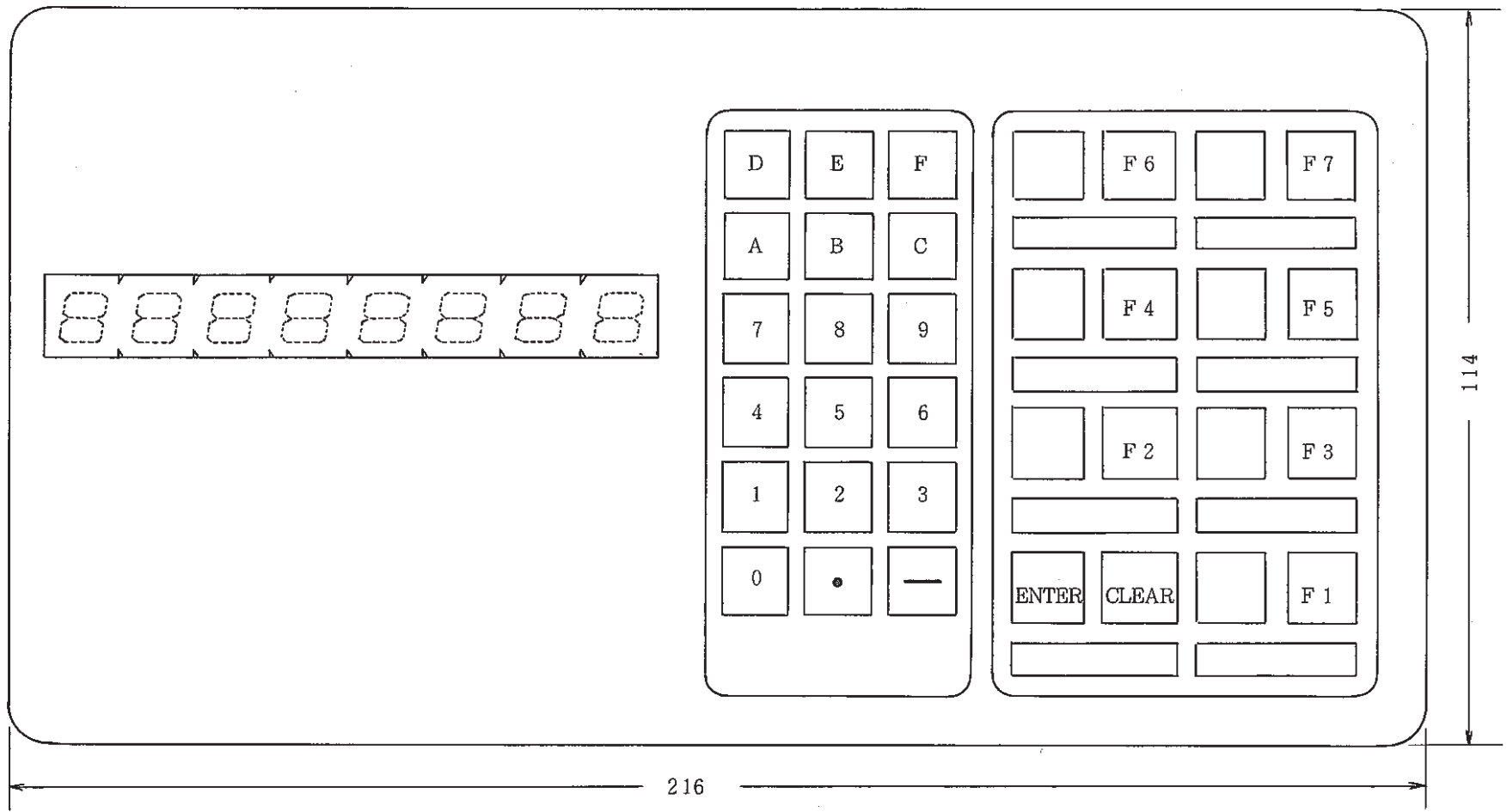


Fig. 3.2 External appearance of function keyboard
(ファンクションキーボード外観図)

Table 3.1 function key and the Setting content

(ファンクションキーとその設定内容)

ファンクション	設定内容	表示内容	初期設定値
F 1	新しいFDのフォーマッティング	_____	_____
F 1, F 7	使用済FDのフォーマッティング	_____	_____
F 2	年, 月, 日の設定	現在の年, 月, 日の表示	時計回路(バッテリバックアップ)の保持値
F 3	時, 分 の設定	現在の時, 分, 秒の表示	
F 4	FD ラベル No. の設定	現在のラベルNo.の表示	0 0 0
F 4, F 6	トリガ後記録時間選択	現在のトリガ後記録時間	1 0 (秒)
F 5	イベント No. の設定	現在のイベントNo.の表示	0 0 0 0
F 5, F 6	プリンタによるプリントアウト有無	設定したプリントアウトの有無表示	プリントアウト有り
F 6	プリントアウトの指定	_____	_____
F 6, F 7	プリントアウト不要チャンネル削除	_____	全チャンネルプリントアウト
F 1, F 6, F 7	診 断 開 始	_____	_____

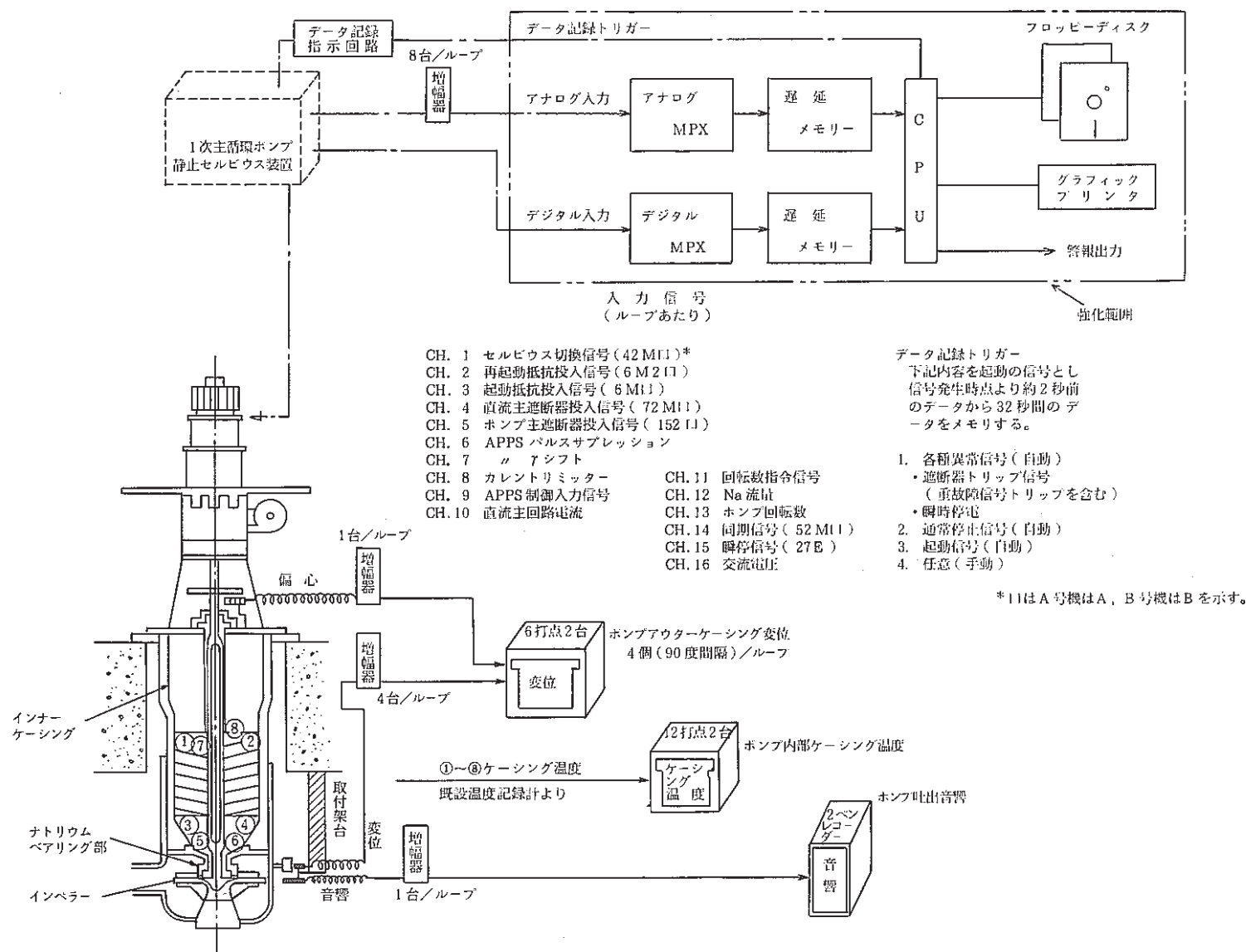


Fig. 3.3 Component parts diagram of primary pump event recorder
(1次主循環ポンプ現象記録装置構成図)

3.3 新現象記録装置の構成及び機能

(1) 装置の構成

Fig. 3.3 に新速度現象記録装置の構成を示す。新現象記録装置は旧現象記録装置の問題点を解決するためにエンドレステープレコーダとタングステンオシロの組合せから、デジタルメモリーを使用したデータロガーとグラフィックプリンタの組合せに変更された。

また、これによって得られたデータは5インチのフロッピーディスクに記録され、オフラインのパーソナルコンピュータによってデータ処理する事が可能になっている。

新速度現象記録装置は下記の部分から構成されている。

- 1) 信号増幅器 (旧記録装置のものを流用した。)
- 2) 記録装置本体 (フロッピーディスクを含む。)
- 3) プリンタ
- 4) データ記録指示回路 (旧記録装置のものを流用した。)

速度制御装置の制御アナログ信号 (9点) および遮断器等のON-OFF信号 (7点) は直流増幅器で調整され、あるいは電圧のON-OFF信号に変換される。そして、データ記録指示回路からトリガーが入った時点の前2秒から後30秒の合計32秒間のデータを記録装置本体内のR.A.Mに記憶する。32秒間が経過するとR.A.M内のデータは5インチのフロッピーディスク内に転送され、その後プリンタによって印字出力される。

各信号の記録装置への入力レンジをTable 3.2に、プリンタの印字フォーマットをFig. 3.4に示す。

1) 増幅器

速度制御装置のアナログ信号を装置の記録に適する値である0～1Vに調整する直流電圧増幅器である。

2) 記録装置本体

イ) 入力信号処理部 (DATELADC-HZ 12 BGC)

アナログ信号

信号電圧	DC 0～+1V
入力点数	9点
サンプリング周期	1 msec
分解能	8 bit
変換時間	8 μ sec

デジタル信号

信号電圧	OV, 3V (TTLレベル変換)
入力点数	7点

Table 3.2 Record correspond with input signal
(入力信号と記録の対応)

CH No.	信号種類	入力信号名・記号	入力電圧	グラフィックプリンタ上の記録		
				表示線種	振 幅	ス ケ ー ル
1	ON/OFF	セルビウス切換遮断器動作 42 M	論理 0 = (OP-EN) 論理 1 = 3 V 論理 0 = 0 V 論理 1 = 3 V	実 線	約 3 mm	(2 値表示で、特定のスケールはない。)
2	"	再起動抵抗投入信号 6 M ₂				
3	"	起動抵抗投入信号 6 M				
4	"	直流接触器 72 M				
5	"	ポンプ主遮断器投入信号 152 M				
14	"	同期信号 52 M				
15	"	低電圧検出 27 E				
6	アナログ	パルスサプレッション	DC0 V ~ + 1 V	破 線	23 mm	0 V ~ +15V, 5V 目盛
7	"	r シフト		一点鎖線	23 mm	同 上
8	"	カレントリミッタ		二点鎖線	23 mm	0 V ~ +6 V, 2 V 目盛
9	"	APPS 入力		一点鎖線	76 mm	0 V ~ +5 V, 1 V 目盛
10	"	直流主回路電流		二点鎖線	107 mm	0 A ~ 700 A, 100 A 目盛
11	"	回転数 指令		破 線	76 mm	0 rpm ~ 1000 rpm, 200 rpm 目盛
12	"	Na 流量		実 線	107 mm	0 m ³ /h ~ 1400 m ³ /h 200 m ³ /h 目盛
13	"	ポンプ回転数		実 線	76 mm	0 rpm ~ 1000 rpm, 200 rpm 目盛
16	"	交流電圧		破 線	107 mm	0 KV ~ 3.5 KV 0.5 KV 目盛
-	-	(時間軸) (1)		実 線	- mm	- 2 秒 ~ + 30 秒 1 秒 目盛

***** RECORDER A *****

84年 5月30日 15時12分36秒 EVENT NO.0000

(1)	ON-OFF	42M	
(2)	ON-OFF	6M ₂	
(3)	ON-OFF	6M	
(4)	ON-OFF	72M	
(5)	ON-OFF	152M	
(14)	ON-OFF	52M	
(15)	ON-OFF	27E	
(6)	ANALOG	-----	PULS SUPPRESSION
(7)	ANALOG	-----	GAMMA SHIFT
(8)	ANALOG	-----	CURRENT LIMITER
(9)	ANALOG	-----	APPS
(10)	ANALOG	-----	DC CURRENT
(11)	ANALOG	-----	rpm COMMAND
(12)	ANALOG	-----	Na FLOW Q.
(13)	ANALOG	-----	PUMP rpm
(16)	ANALOG	-----	AC VOLTAGE

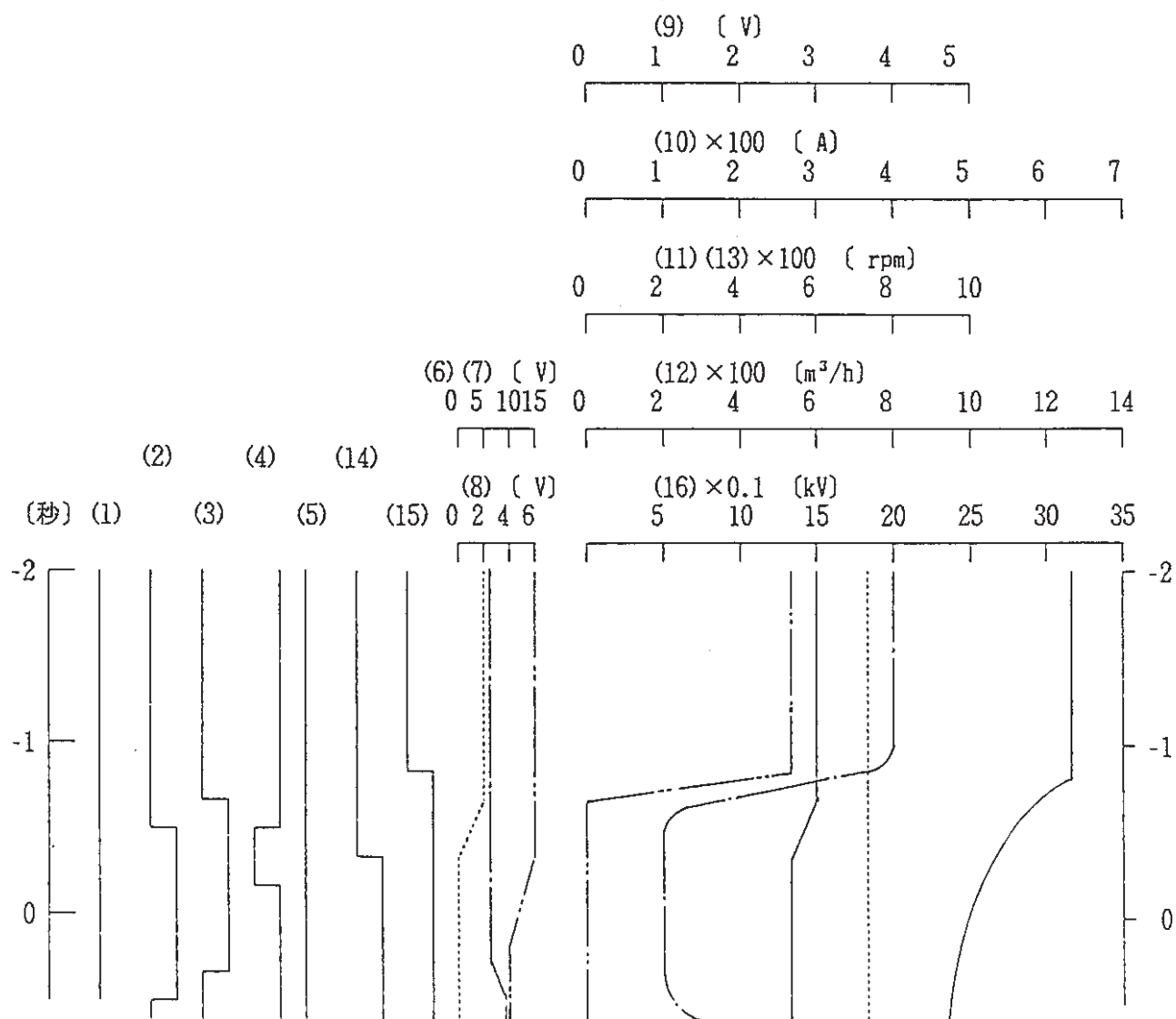


Fig. 3.4 Record format of graphic printer

(グラフィックプリンタの記録フォーマット)

ロ) CPU

型 式	MC 6809
クロック	1MHz
レジスタ	16 Bit max

ハ) データ時記録容量

使用 IC	HM4864
RAM 容量	256 KB × 2 基板

ニ) フロッピーディスク

型 式	TEAC FD-55B
	5.25 両面倍密度
容 量	500 KB (アンフォーマット)
連送速度	250 Kbits/sec
トラック数	80 トラック / 1 ドライブ

Fig. 3.5 に装置本体の外観図を, Fig. 3.6 に装置の内部構成図を示す。

3) プリンター

データ印字用のプリンターはグラフィック印字に時間がかかり, この間システムの機能が停止することになる。この時間を短縮するためプリンターの前段にバッファメモリを採用している。

バッファメモリ

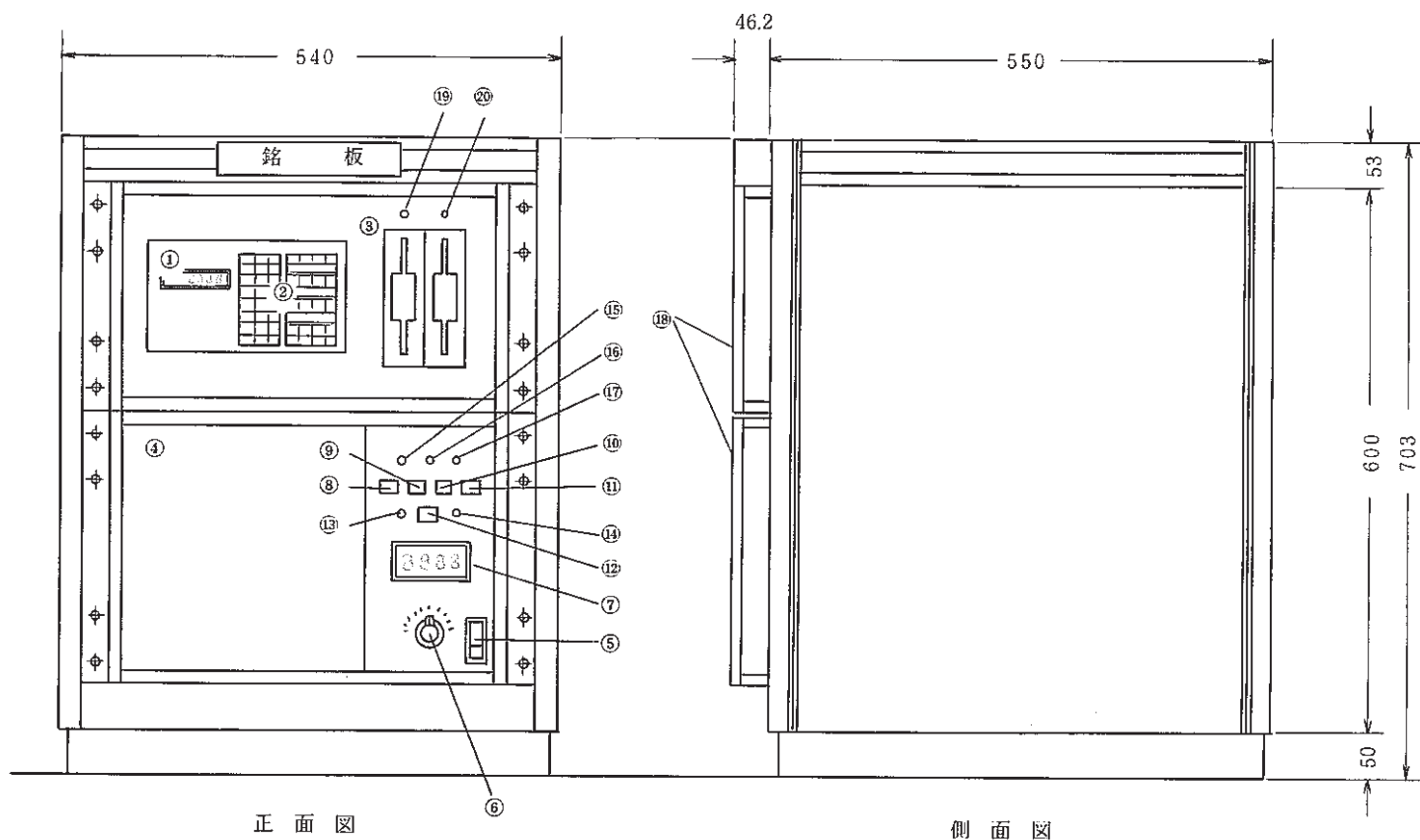
型 式	MELCO バッファロー EX-256
容 量	256 KB
入出力	セントロニクス

プリンター

型 式	EPSON RP-80 II
印字方式	片方向通常印字
文字構成	テキストモード / 9 × 9 ドットマトリックス ビットイメージモード / 8 × 480
記録用紙	紙幅 10 インチ
印字速度	100 cps

4) データ記録指示回路

1 次主循環ポンプのイベント発生時に 1 次主循環ポンプの制御シーケンス回路の各種リレー動作よりこれを検知し, 現象記録装置にトリガーを転送するシーケンス回路である。本回路は, 旧速度現象記録装置の回路を多少改造したものであり基本的な構成については変っていない。



1	時計表示部	11	PRINTER表示ランプ
2	ファンクションキーボード	12	テスト用押釦
3	フロッピーディスクドライブ	13	FDD#0 準備OK 満杯
4	CUP, メモリー部	14	FDD#1 同上
5	電源スイッチ	15	DC + 5V 表示
6	アナログ入力モニター用切換SW	16	DC + 15V 表示
7	アナログ入力デジタルメータ	17	DC - 15V 表示
8	トリガ表示ランプ	18	取手
9	READ表示ランプ	19	DC + 12V 表示
10	FDD表示ランプ	20	DC + 15V 表示

Fig.3.5 External appearance of event recorder
(現象記録装置外観図)

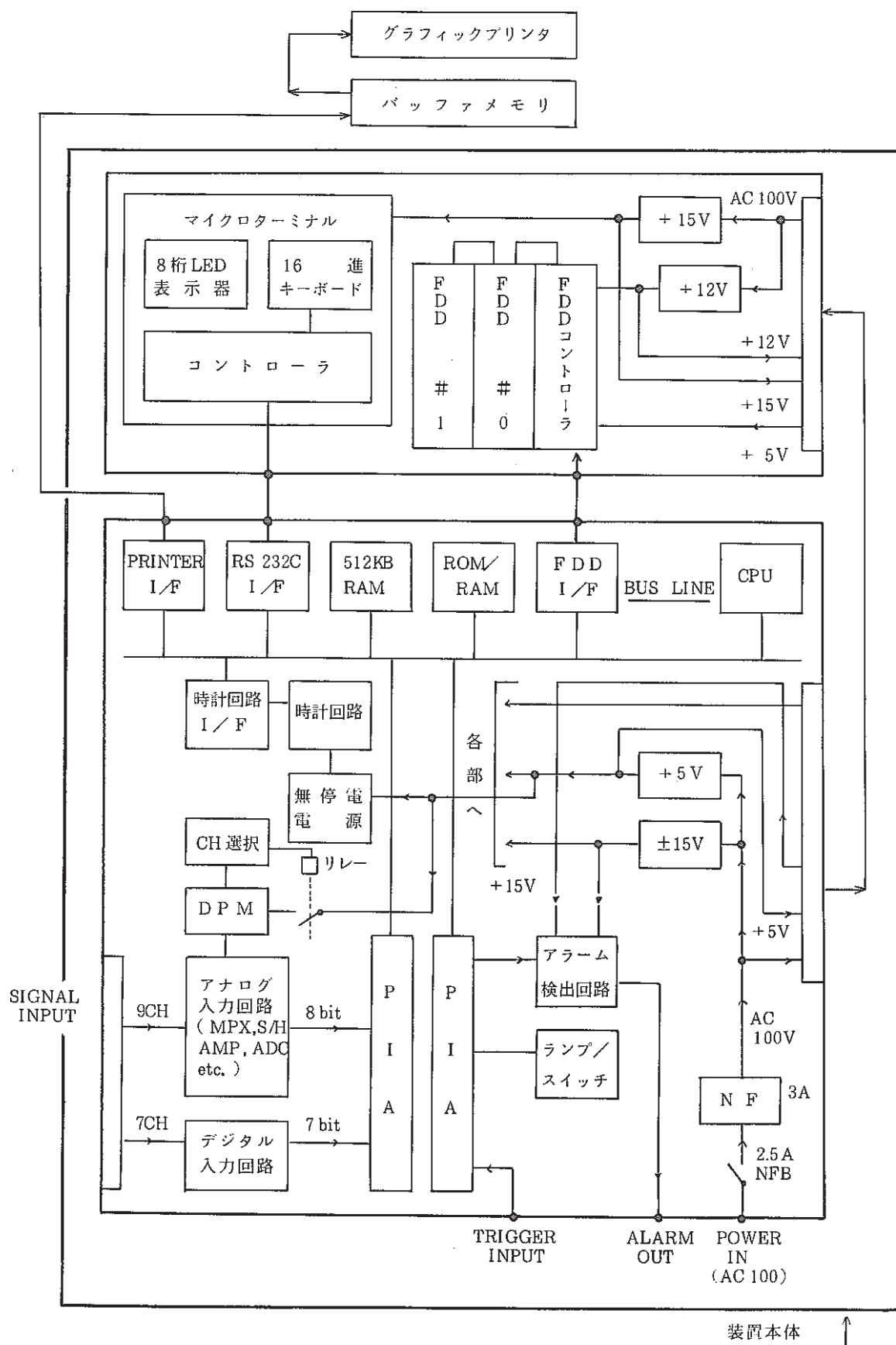


Fig.3.6 Inner component parts diagram of event recorder
(現象記録装置内部構成図)

イベントには以下のものがある。

- イ) ポンプ起動
- ロ) ポンプ停止
- ハ) 瞬時停電発生
- ニ) 停電発生
- ホ) ポンプ事故発生(トリップ)
- ヘ) 任意記録

(2) 入力信号

新現象記録装置に入力されている信号は以下の通りである。

(1) アナログ信号

1) タイミング信号

タングステンオシロ上のタイミングマーク用の信号として入力されている。

2) 主循環ナトリウム流量

主冷却系の実流量信号であり、主循環ポンプの速度制御目標値である。

3) ポンプ回転数

主循環ポンプの実回転数である。

4) 回転数指令信号

流量調節計の偏差出力によって設定される回転数要求設定用ポテンションメータの端子電圧である。

5) 直流主回路電流

電動機2次側の電力を電源側に変換する直流主回路に流れる電流である。

6) APPS(自動パルス移相調整器)入力信号

直流主回路の逆変換電圧を調整するため、サイリスタインバータのゲートパルスを与える時期を変える APPS への制御信号である。

7) カレントリミッター信号

直流主回路電流がその定格値 530 A の 125 % (≒ 660 A) を超えた時、定格値から超過電流に比例した出力信号を出し、APPS の制御入力信号に加えられて、直流主回路の電流を減少させるようにゲートパルスの点弧角を調整する信号である。

8) パルスサプレッション、 γ シフト

過渡現象発生時(制御系の故障等)に電動機1次主回路と2次直流主回路との間に電流の不均衡が発生した場合、この電流差を捉えて SCR の点弧角を $\gamma_{\min}$ 角 (165°) にシフトしたり、SCR ゲートパルスをサプレッションする信号である。

9) 交流電圧

瞬時停電発生時において、電動機1次側電圧の低下はおよそ数 Hz の間である。この瞬

時停電している時間と速度制御装置の動作の相互の関係を確認するため電動機 1 次側の交流電圧信号を記録している。

(2) 接点信号

1) 同期信号 52 M口

主循環ポンプは交流遮断器 52 MA, 52 MB によって同時起動されるため, このタイミングを見るための信号として入力されている。

2) 再起動抵抗投入信号 6 M2 口

瞬停再起動シーケンスが作動した時に投入される再起動用抵抗用遮断器の動作信号として入力している。

3) 起動抵抗投入信号 6 M口

主循環ポンプ起動時に起動昇速用として投入される起動抵抗用遮断器の動作信号として入力している。

4) 直流接触器投入信号 72 M口

直流主回路に設けられた単相遮断器で, 52 M口に連動して動作するが保護動作はしない。

5) セルビウス切換接触器投入信号 42 M口

主循環ポンプ起動時や瞬停再起動時に, 起動抵抗器運転よりセルビウス運転に切換える時投入される切換用接触器の動作信号として入力される。

6) 主遮断器投入信号 152 口3

AC 3000 V のメタクラ母線と接続する主遮断器の動作信号として入力されている。

7) 27 E

27 Eは交流電圧の低電圧を検出するリレーの増幅接点リレーであり, 主に瞬停検出に使用されている。また本継電器は A ポンプ側のみに設置されているものを, A, B 両記録装置に入力することによって同期信号としても利用される。

(3) データ処理機能

新現象記録装置によって記録されたデータは, 現場においては Fig. 3.3 に示すフォーマットでプリンターへ印字出力される。

しかし速度制御装置の動作は高速であるため, Fig. 3.4 に示されるものからでは細部における現象が解明できない恐れがあり, またデータの経時変化の監視や, 新旧データの比較の面からより高度なデータ処理機能が必要となった。これらのデータ処理機能は 5 インチのフロッピーディスクに記録されたデータをオフラインのパーソナルコンピュータを用いて行うことができる。

以下のデータ処理の概要を示す。

1) データリスト

現象記録装置に記録されたデータの内 ON-OFF 信号については、動作時刻、復帰時刻を、アナログ信号については、初期値および最大値、最小値とその時刻を Table 3.3 に示す。これらは、リストとして印字させている。

2) グラフ表示

イ. 全データ表示

ON-OFF 信号及びアナログ信号の全信号を Fig. 3.7 に示すフォーマットによって印字することができる。またこれを時間軸について、0.5 秒～32 秒の任意の時間に設定できる。Fig. 3.7 の上の図は 32 秒のデータであり下の図はこれを -0.2 秒から +0.3 秒までの 0.5 秒間に拡大したものである。

ロ. 個別データ表示

アナログ信号の内いずれか 1 点をグラフ表示するものである。Fig. 3.8 にアナログ信号の 1 つである APPS について示す。

Fig. 3.8 の上の図は縦軸、横軸とも最大値目盛となっている。これを時間軸を -0.5 ～+0.5 秒に拡大し、さらに縦軸について電圧を 0～1 V に拡大したのが下の図である。

Table 3.3 List of motion data

(動作データリスト)

発生時刻：1985年5月26日 07時00分00秒 LABEL A085 EVENT NO.0054

デジタル信号	初期状態	動作時刻	復帰時刻
(1) 42 M	ON	OFF : -0.037sec	ON :
(2) 6 M 2	OFF	ON :	OFF :
(3) 6 M	OFF	ON :	OFF :
(4) 72 M	ON	OFF : 0.112sec	ON :
(5) 152 M	ON	OFF : 1.596sec	ON :
(14) 52 M	ON	OFF : -0.008sec	ON :
(15) 27 E	ON	OFF : -0.051sec	ON :

アナログ信号	初期値	最大値	最小値
(6) PULSE SUPPRESION	14.6 V	14.8 V	: -1.908sec 0.0 V : 0.067 sec
(7) GAMMA SHIFT	14.8 V	14.9 V	: -0.142sec 0.0 V : 0.054 sec
(8) CURRENT LIMITER	0.00 V	2.14 V	: 0.063sec 0.0 V : -2.000 sec
(9) APPS	0.84 V	1.04 V	: -1.312sec 0.00V : -0.034 sec
(10) DC CURRENT	0 A	563 A	: 0.075sec 0 A : -2.000 sec
(11) rpm COMMAND	173 rpm	376 rpm	: 11.080sec 0rpm : 0.298 sec
(12) Na. FLOW Q.	291 m ³ /h	714 m ³ /h	: 18.527sec 44m ³ /h: 0.146 sec
(13) PUMP rpm	153 rpm	235 rpm	: -0.500 sec 27rpm : 11.080 sec
(16) AC VOLTAGE	0 V	3171 V	: -1.968 sec 0 V : -2.000 sec

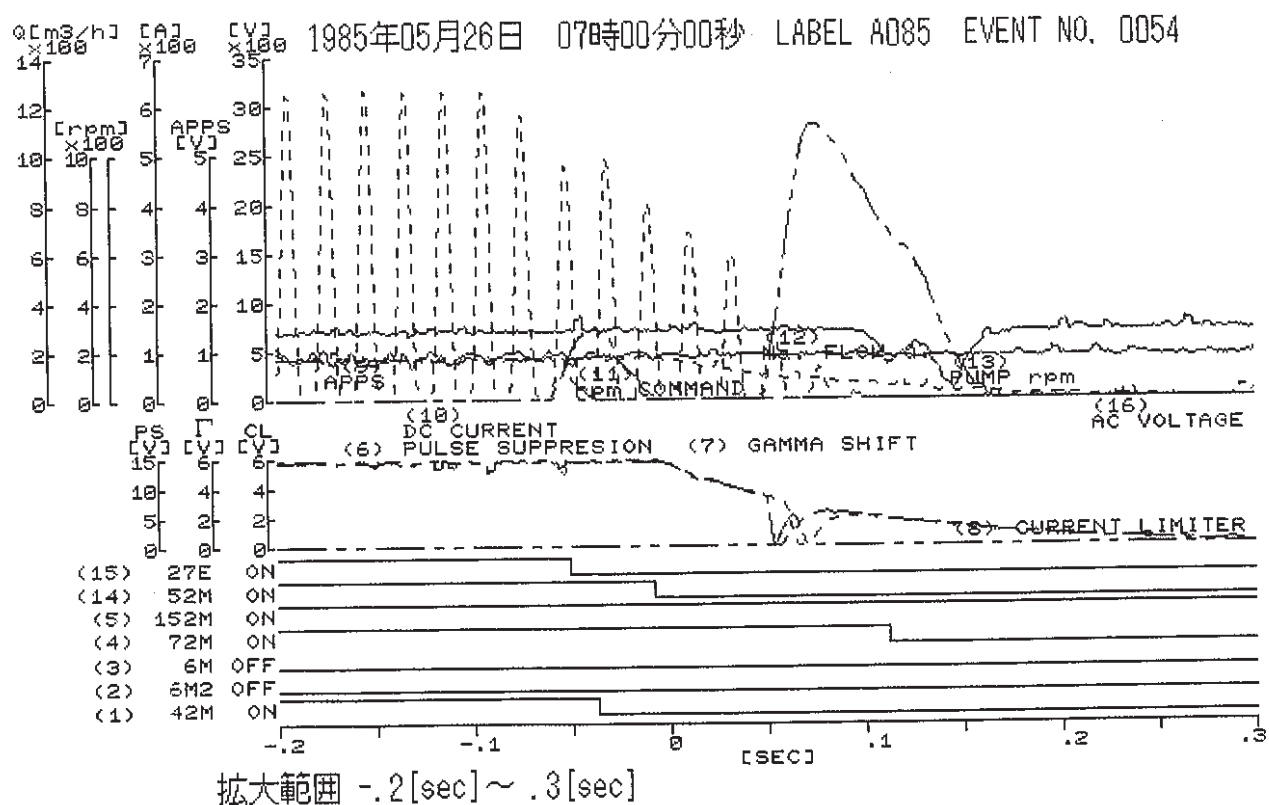
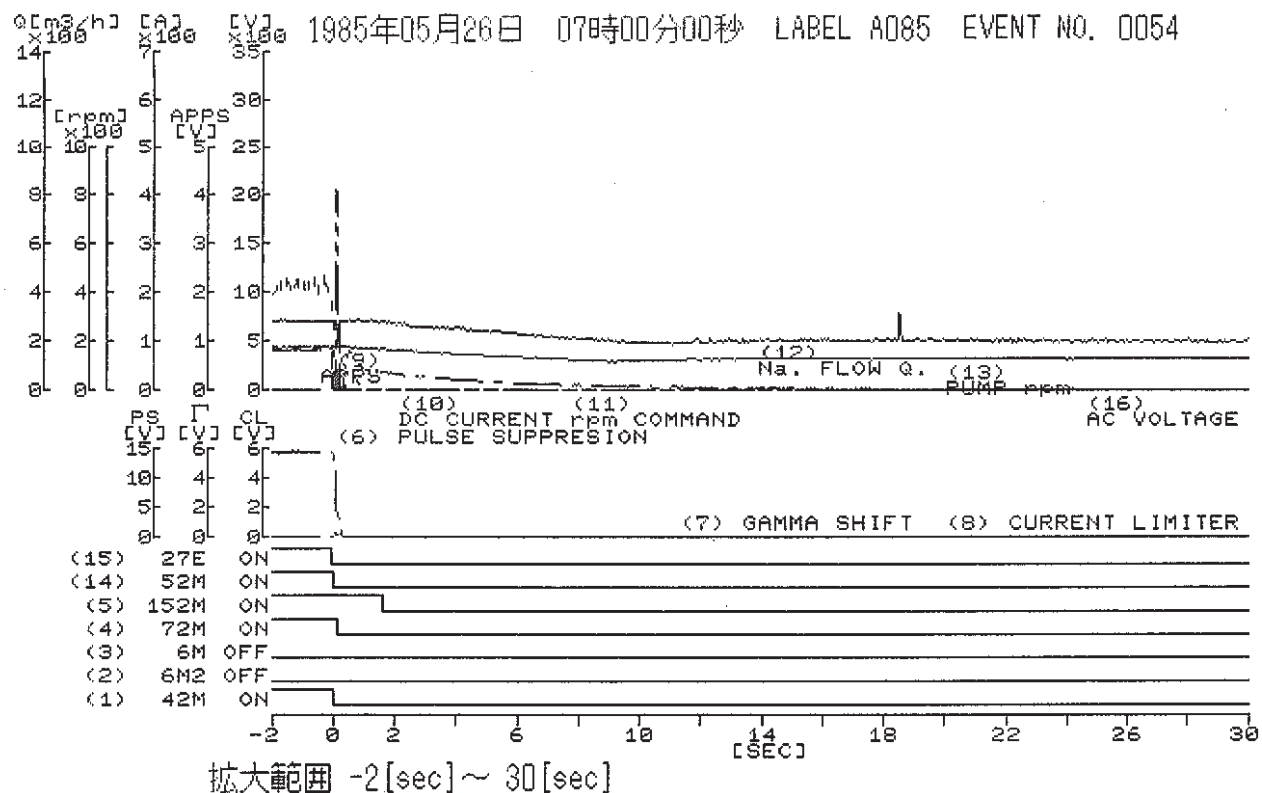
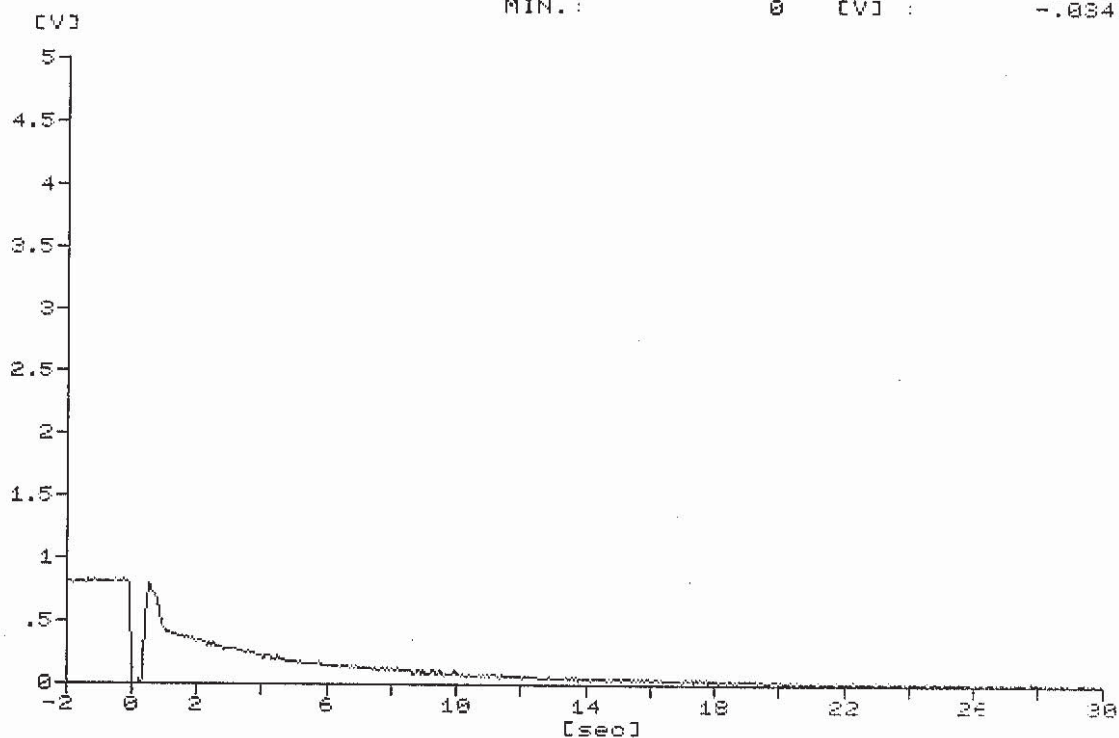


Fig. 3.7 Synthetic motion diagram
 (総合動作線図)

(9) APPS

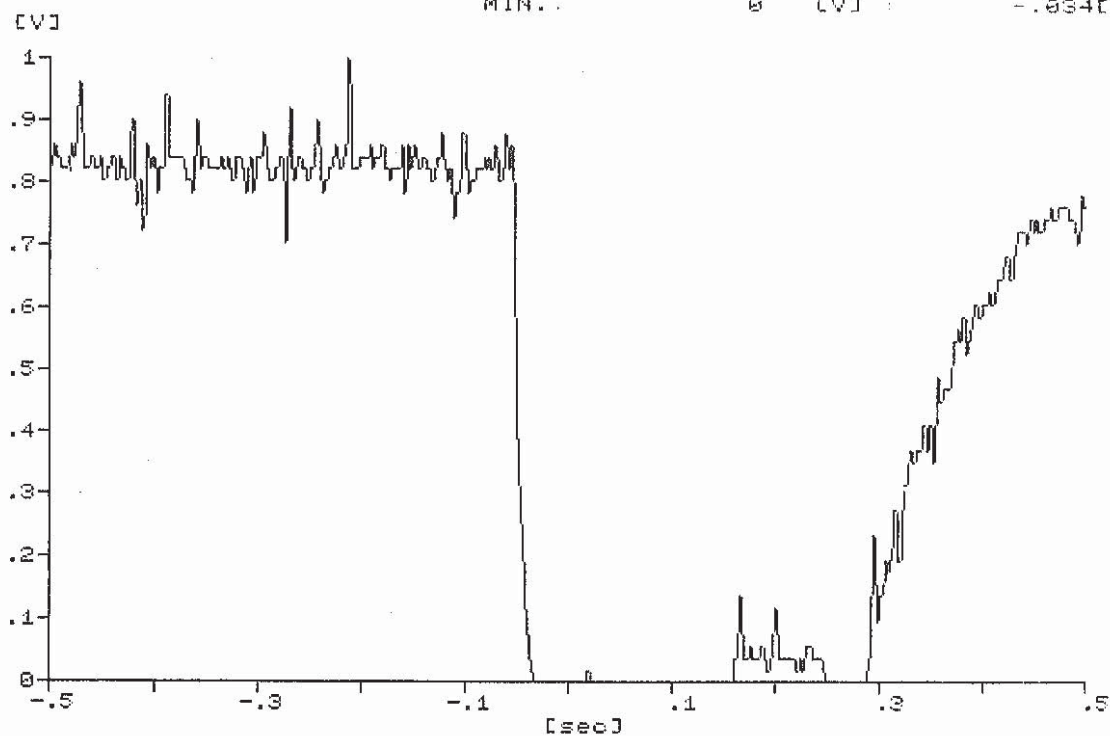
MAX.:	1.04	[V]	:	-1.312[sec]
MIN.:	0	[V]	:	-1.034[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [V] ~ 5 [V]

(9) APPS

MAX.:	1	[V]	:	-1.314[sec]
MIN.:	0	[V]	:	-1.034[sec]



拡大範囲 -0.5[sec] ~ 0.5[sec] 振巾 0 [V] ~ 1 [V]

Fig.3.8 Indication of each data
(個別データ表示図)

4. データの検討

新現象記録装置の運用を昭和59年9月に開始して以来昭和60年6月6日の第5回定期点検による1次系ドレンに至るまでの間に68回に及ぶデータを収録することができた。これらの中には、通常の起動、停止の他に計画的な外部電源喪失や、原子炉停止期間中において速度制御装置内配線の断線によるポンプトリップなどの貴重なデータも含まれている。

以下にこれらの記録について検討を行う。

4.1 ポンプ起動

Fig. 4.1～Fig. 4.9に主循環ポンプの起動記録図を示す。またTable 4.2にポンプ起動時の各遮断器動作時間をまとめたものを示す。データ記録上の0秒はポンプ起動用CSを「入」操作した時点である。A、B両ポンプのデータを比較すると、両ポンプ間に特に問題となる差異は認められない。また現象記録装置自身の動作について見ると、Table 4.1の27Eの信号はAポンプの回路のみにあるリレーの動作をA、B号に記録してあり相互の装置の時間の差異を見ることができるが、この差はわずかに $\frac{2}{1000}$ 秒であり十分に同調されていることがわかる。

- (1) Table 4.1の総合動作表において各接触器の動作や制御信号の値を見ることができるが、この内のアナログ信号の値は、各信号のノイズが多いためにそのピークをとらえていることが多く、本データだけでは最大値、最小値を見ることはできない。
- (2) Table 4.1より現象記録装置の0秒は、ポンプ起動CS「入」とした時であり、それから約2.3秒後に主遮断器152Mが投入されていることがわかる。この遅れは152Mの投入モータの作動時間であり正常な動作である。

72M、152M、52Mについて6.434秒後に復帰したように記録されているが、これは同時刻に入ったノイズによる影響と思われる、実際には各遮断器は動作していない。

- (3) Fig. 4.4カレントリミッタ線図において2.3～2.4秒の間にサイクリックな信号が記録されているがこの時間にはまだセルピウス運転となっていないことから152M投入のサージ電流に対して反応したものと思われる。
- (4) Fig. 4.5 APPS線図において、APPSの信号が20秒後から出力されているのは、Fig. 4.7回転数指令線図に示されるように、運転員がポンプ起動操作後約15秒で流量調節計をMAN→AUTOに切替えこの時点から回転数指令出力が徐々に増加し、その後制御回路の積分動作により約20秒後にAPPS信号が増加したものである。

またAPPS信号に対応してFig. 4.6でDC電流が増加し、Fig. 4.9の回転数及びFig. 4.8のNa流量が増加していることがわかる。

- (5) Table 4.2 よりポンプ起動時の各遮断器動作は、標準偏差で約 0.1 秒前後であり非常に安定しているといえる。

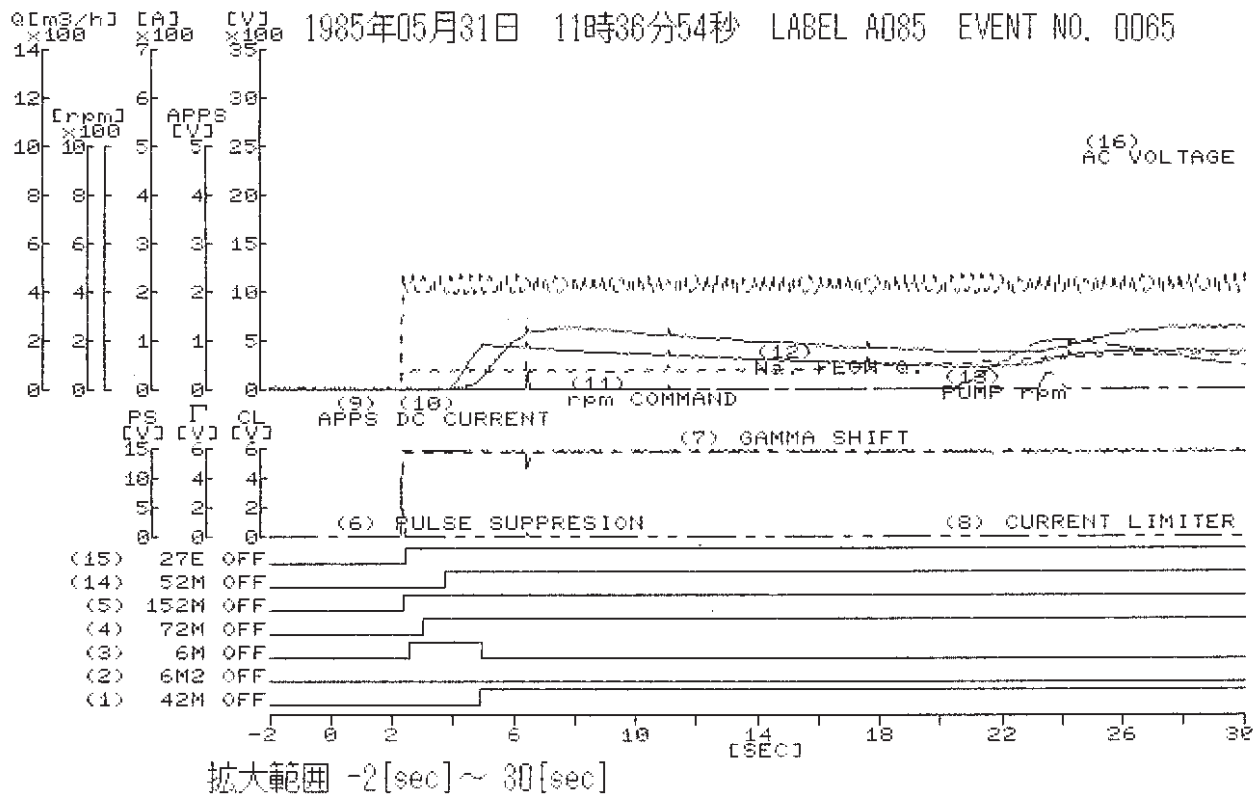


Fig.4.1 Synthetic motion diagram at start
(起動時総合線図)

Table 4.1 List of synthetic motion at start
(起動時総合動作表)

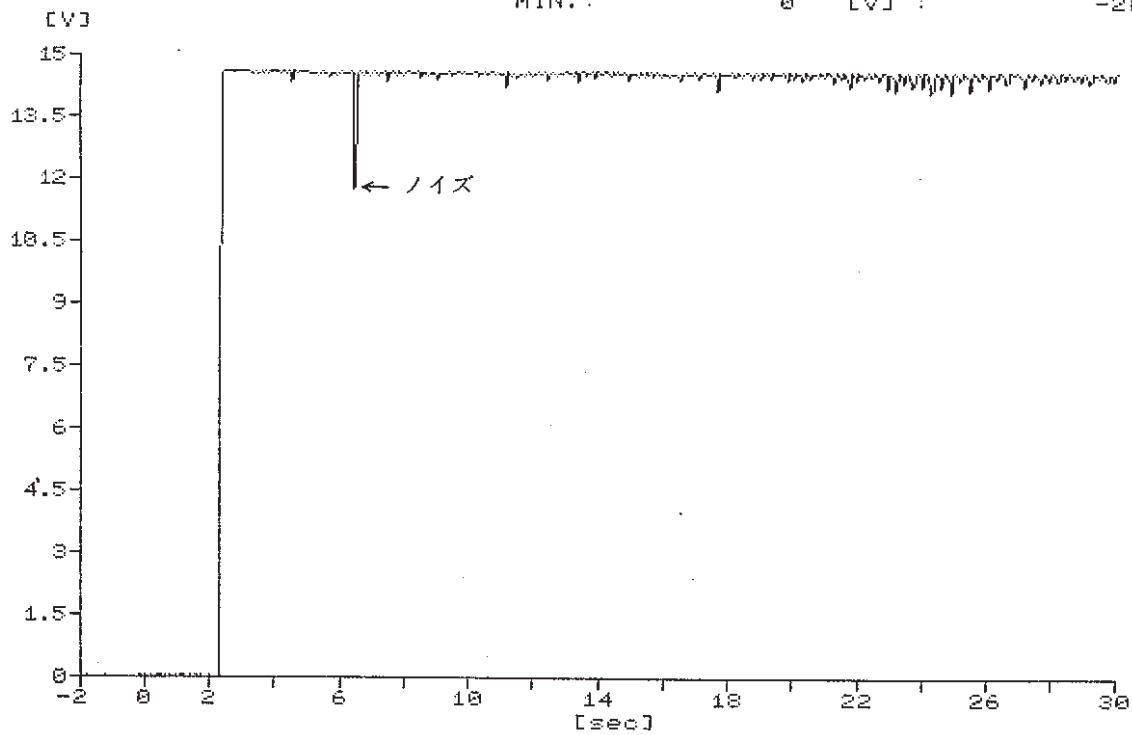
発生時刻：1985年05月31日 11時36分54秒 LABEL A 085 EVENT NO. 0065

デジタル信号	初期状態	動作時刻	復帰時刻
(1) 42 M	OFF	ON : 4.861 sec	OFF : 4.925 sec
(2) 6 M 2	OFF	ON :	OFF :
(3) 6 M	OFF	ON : 2.505 sec	OFF : 4.929 sec
(4) 72 M	OFF	ON : 2.974 sec	OFF : 6.434 sec
(5) 152 M	OFF	ON : 2.325 sec	OFF : 6.434 sec
(14) 52 M	OFF	ON : 3.672 sec	OFF : 6.434 sec
(15) 27 E	OFF	ON : 2.404 sec	OFF :

アナログ信号	初期値	最大値	
(6) PULSE SUPPRESSION	0.0 V	14.9 V	: 27.957 sec 0.0 V : -2.000 sec
(7) GAMMA SHIFT	0.0 V	14.9 V	: 2.410 sec 0.0 V : -2.000 sec
(8) CURRENT LIMITER	0.02 V	6.00 V	: 2.312 sec 0.0 V : -1.994 sec
(9) APPS	0.00 V	1.25 V	: 6.434 sec 0.00 V : -2.000 sec
(10) DC CURRENT	0 A	412 A	: 11.081 sec 0 A : -2.000 sec
(11) rpm COMMAND	0 rpm	761 rpm	: 11.080 sec 0 rpm : -2.000 sec
(12) Na FLOW Q.	16 m ³ /h	1082 m ³ /h	: 11.080 sec 0 m ³ /h : -1.975 sec
(13) PUMP rpm	8 rpm	773 rpm	: 11.080 sec 0 rpm : -1.996 sec
(16) AC VOLTAGE	0 V	3212 V	: 23.134 sec 0 V : -2.000 sec

(6) PULSE SUPPRESSION

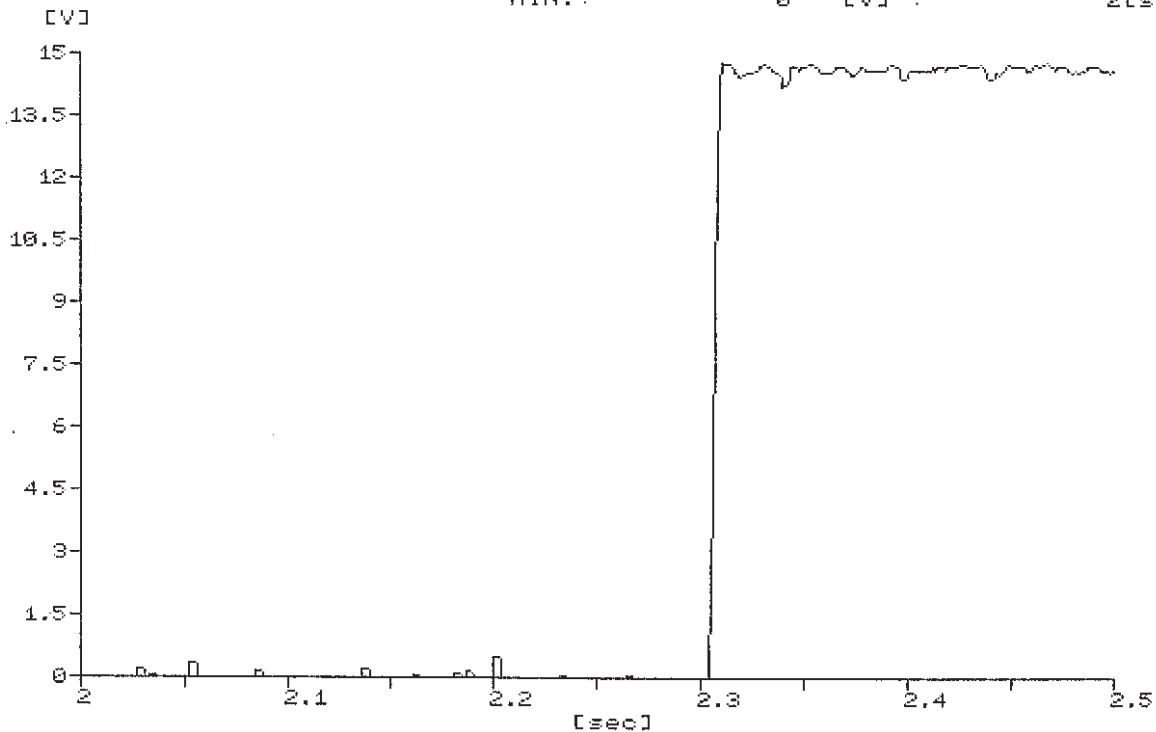
MAX.: 14.94 [V] : 27.957[sec]
MIN.: 0 [V] : -2[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

(6) PULSE SUPPRESSION

MAX.: 14.82 [V] : 2.31[sec]
MIN.: 0 [V] : 2[sec]



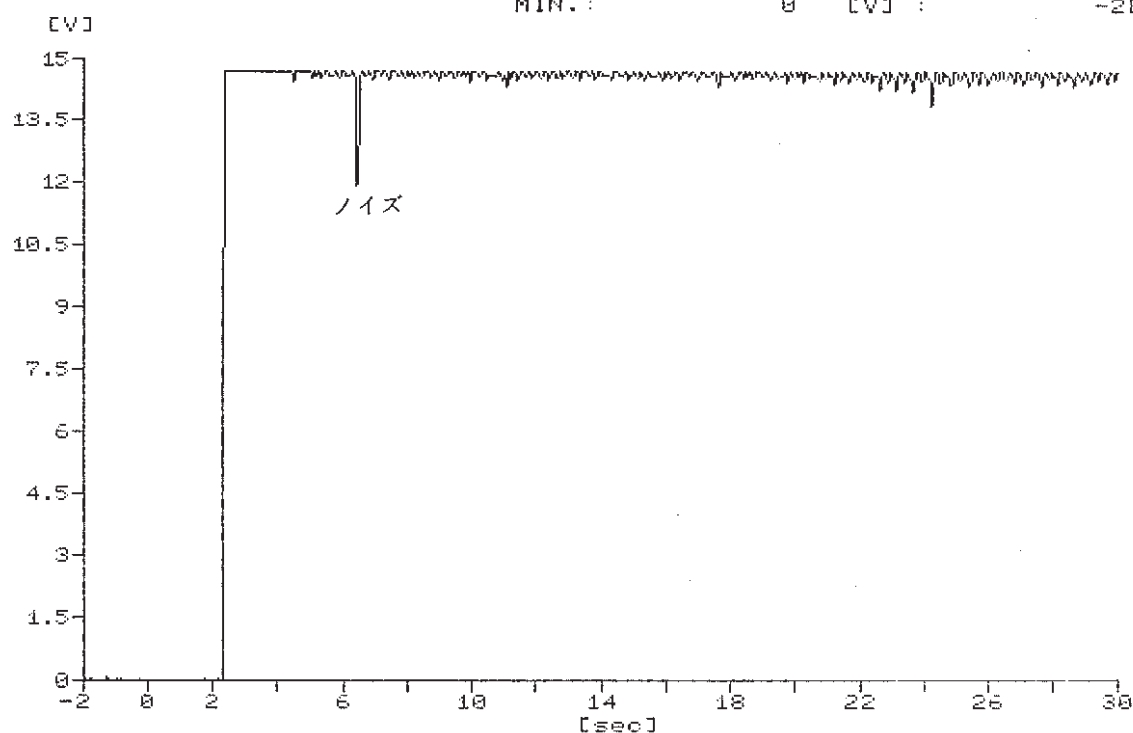
拡大範囲 2[sec] ~ 2.5[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

Fig.4.2 Pulse suppression diagram at start

(起動時パルスサプレッション線図)

(7) GAMMA SHIFT

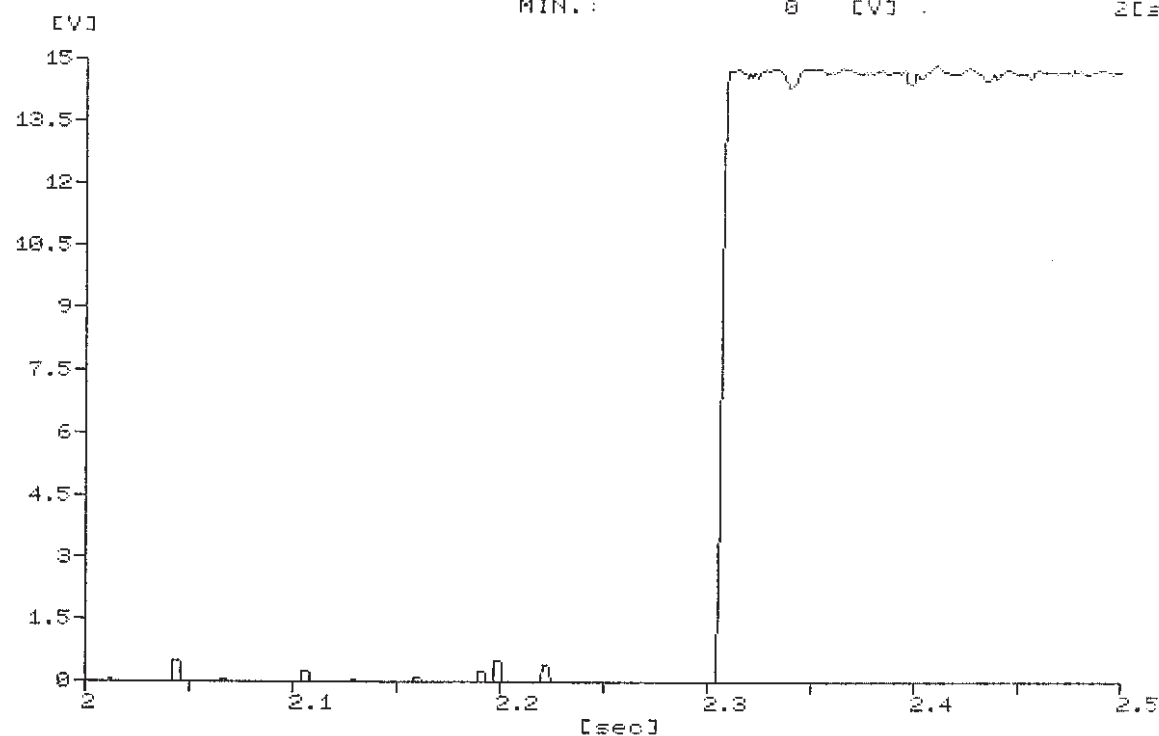
MAX.: 14.94 [V] : 2.41[sec]
 MIN.: 0 [V] : -2[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

(7) GAMMA SHIFT

MAX.: 14.94 [V] : 2.41[sec]
 MIN.: 0 [V] : 2[sec]

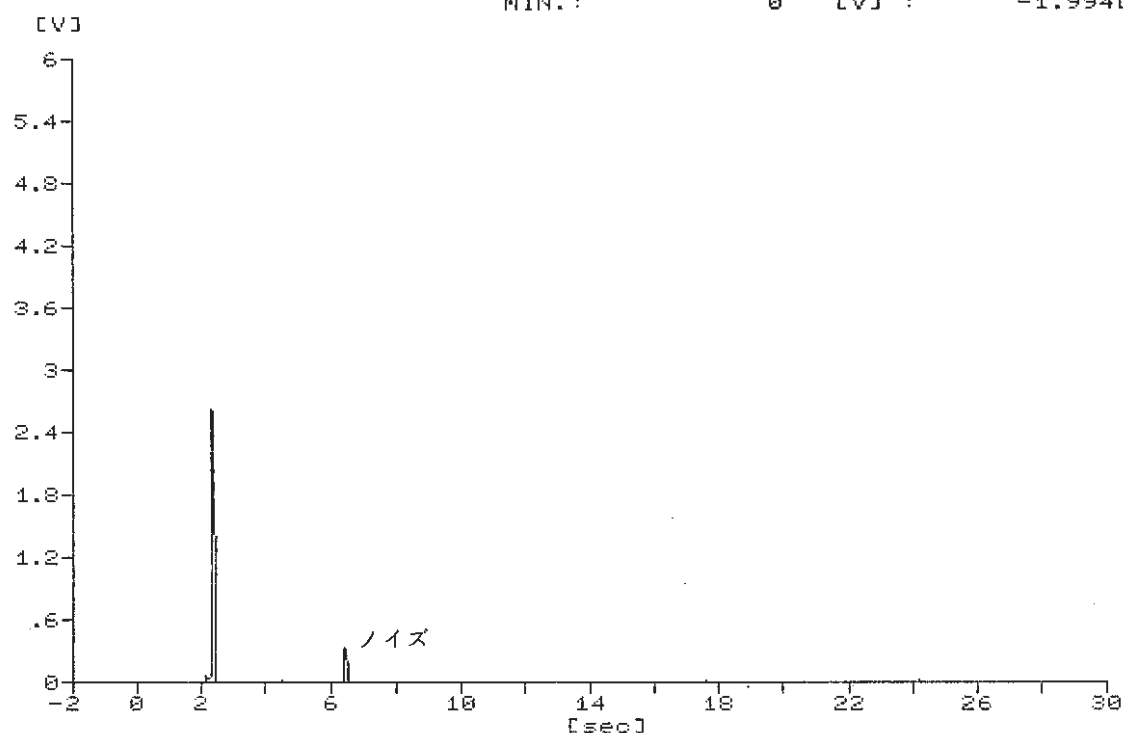


拡大範囲 2[sec] ~ 2.5[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

Fig.4.3 γ shift diagram at start
 (起動時 γ シフト線図)

(8) CURRENT LIMITER

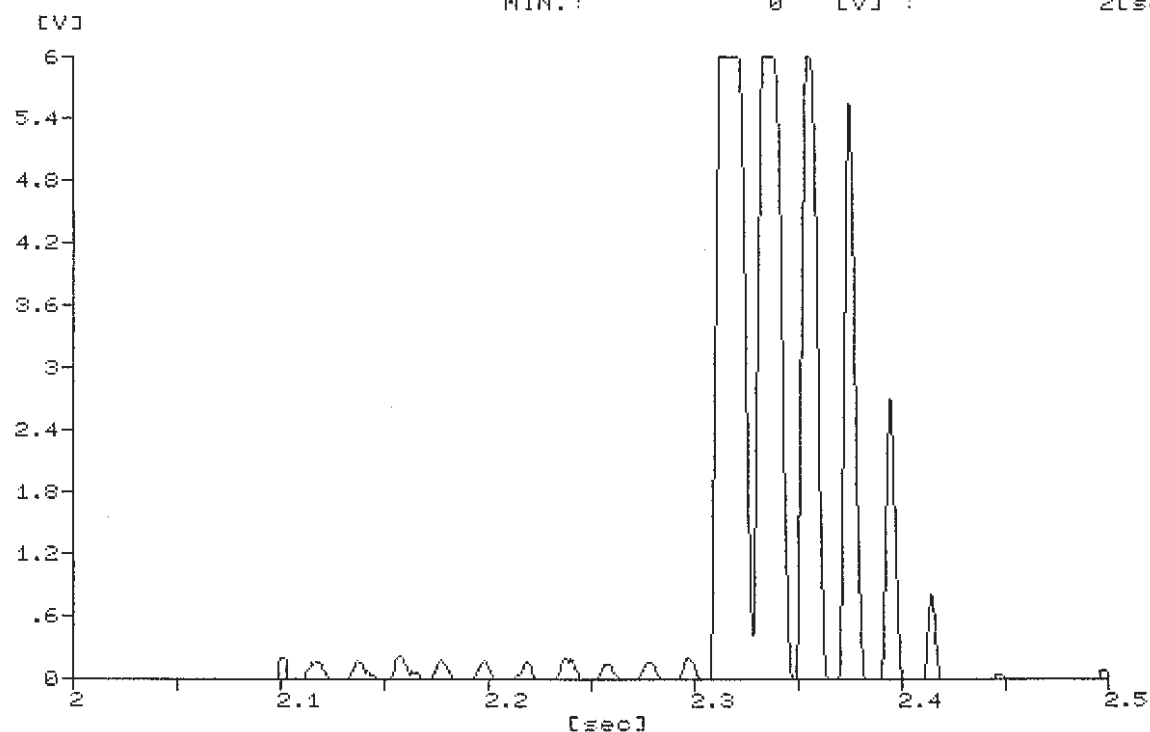
MAX.: 6 [V] : 2.312[sec]
 MIN.: 0 [V] : -1.994[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [V] ~ 6 [V]

(8) CURRENT LIMITER

MAX.: 6 [V] : 2.312[sec]
 MIN.: 0 [V] : 2[sec]



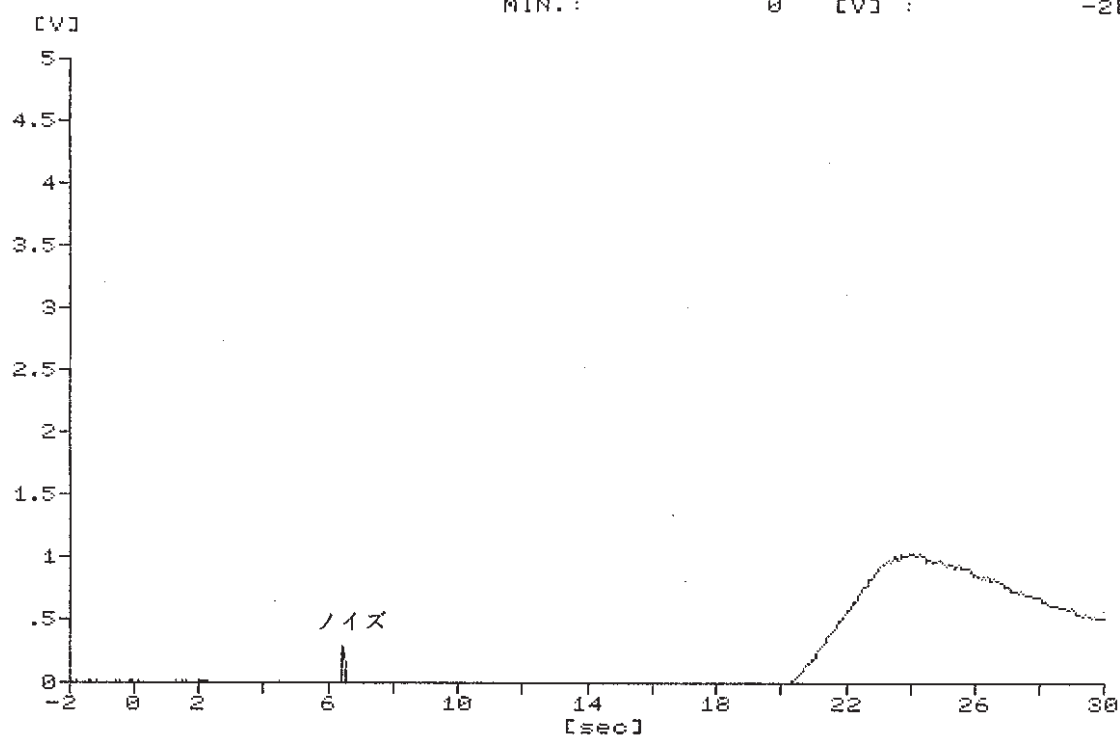
拡大範囲 2[sec] ~ 2.5[sec] 振巾 0 [V] ~ 6 [V]

Fig. 4.4 Current limiter diagram at start

(起動時カレントリミッタ線図)

(9) APPS

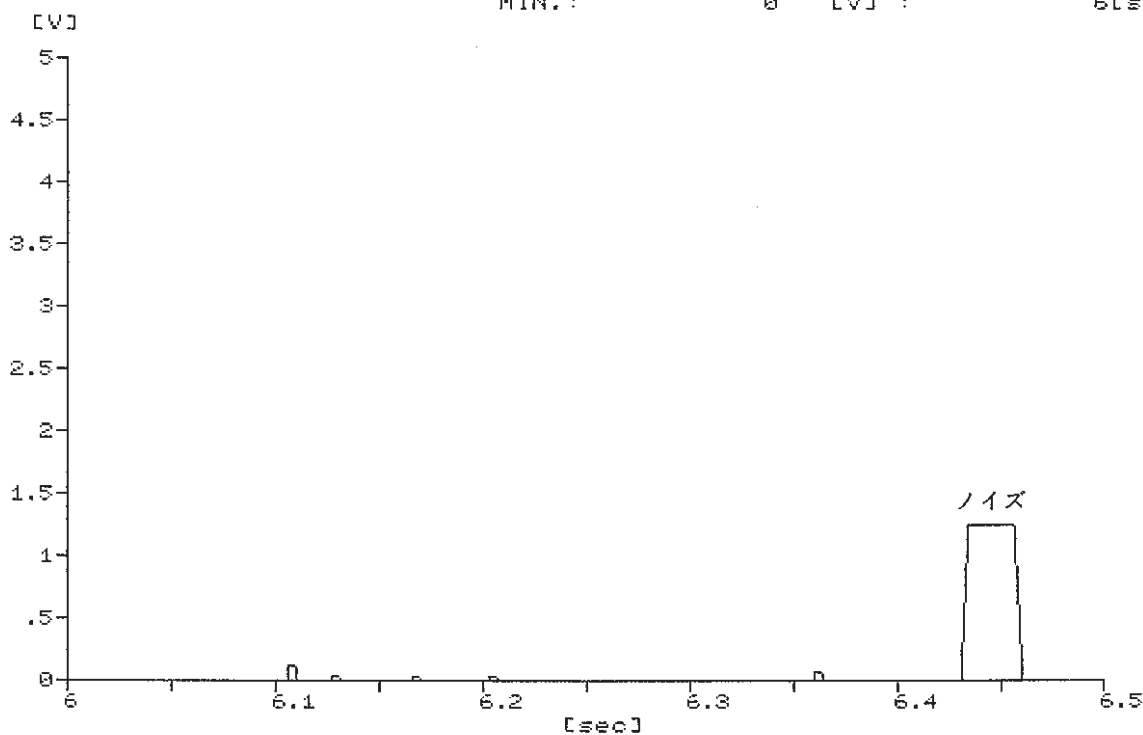
MAX.: 1.25 [V] : 6.434[sec]
MIN.: 0 [V] : -2[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [V] ~ 5 [V]

(9) APPS

MAX.: 1.25 [V] : 6.434[sec]
MIN.: 0 [V] : 6[sec]

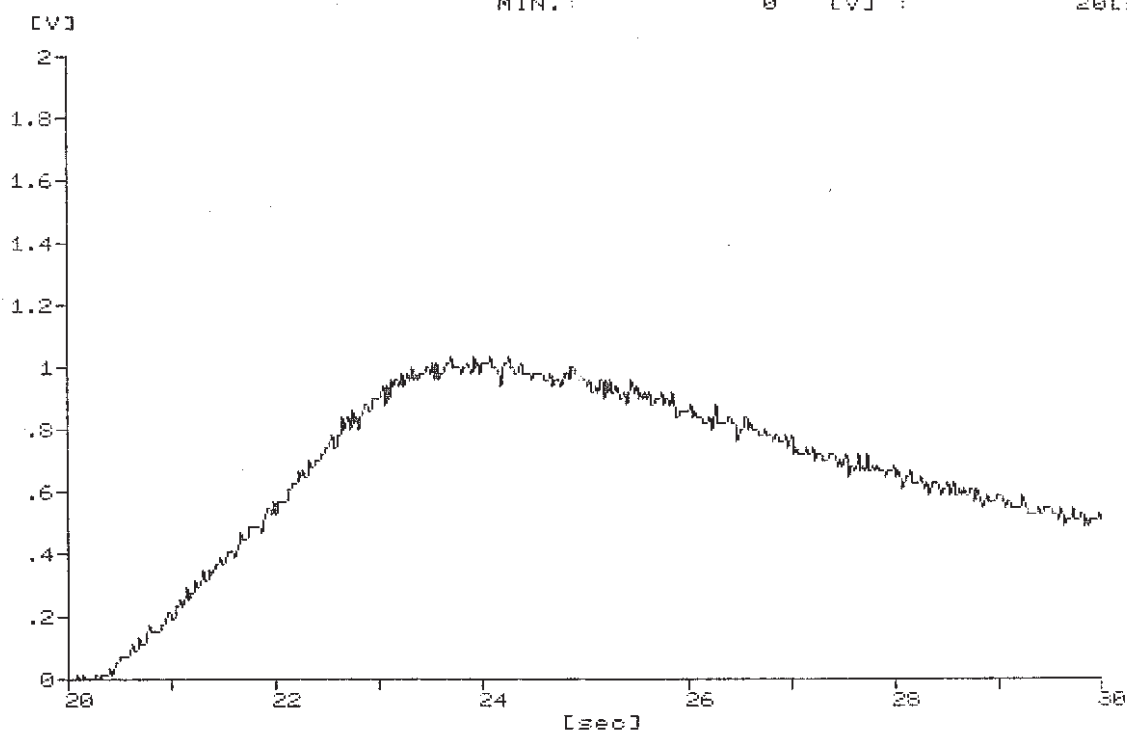


拡大範囲 6[sec] ~ 6.5[sec] 振巾 0 [V] ~ 5 [V]

Fig.4.5 APPS diagram at start
(起動時 APPS 線図)

(9) APPS

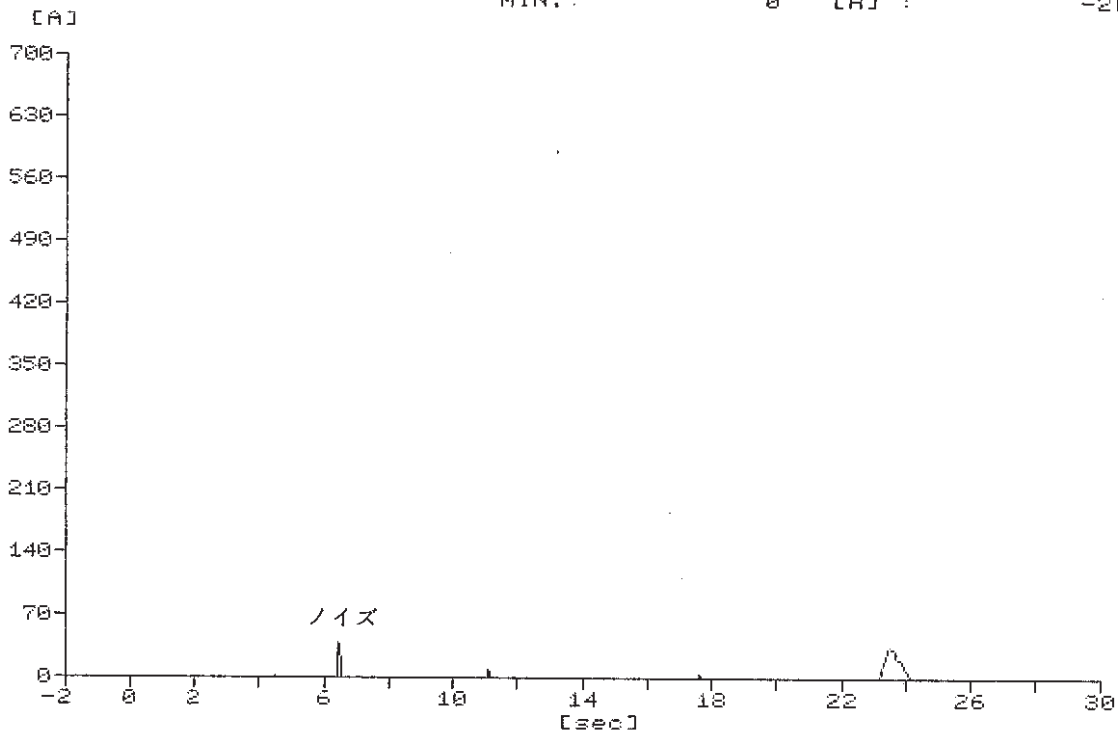
MAX.: 1.18 [V] : 23.931[sec]
 MIN.: 0 [V] : 20[sec]



拡大範囲 20[sec]~30[sec] 振巾 0 [V]~2 [V]

(10) DC CURRENT

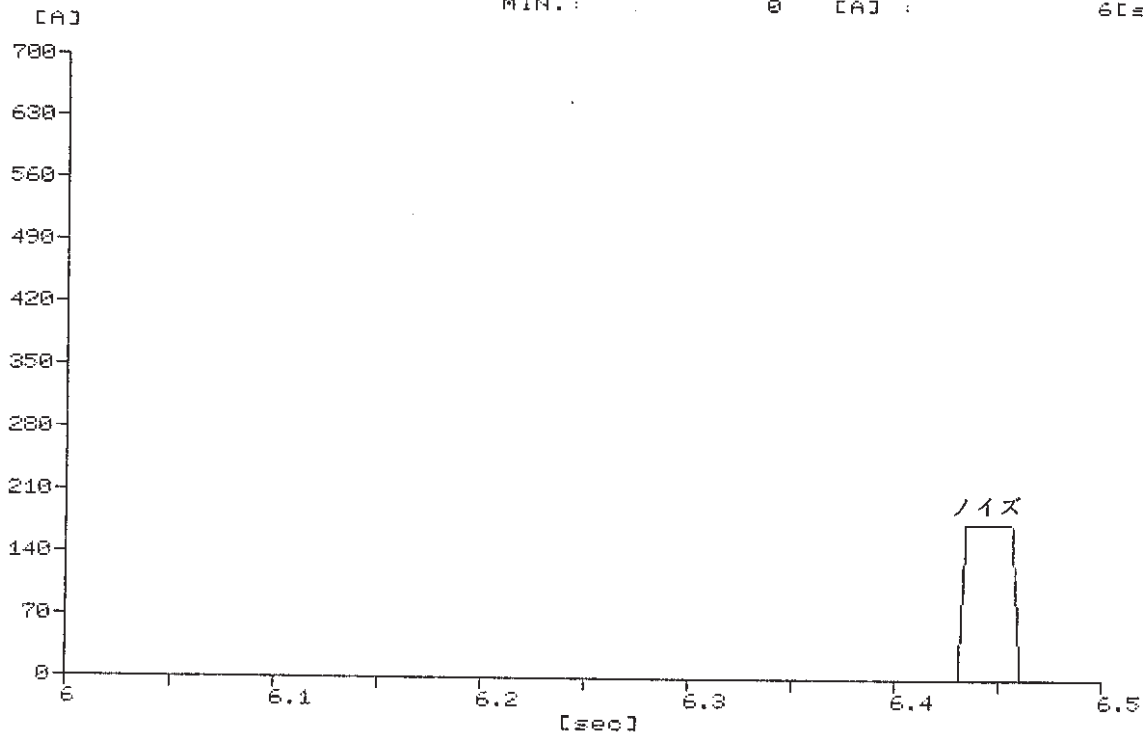
MAX.: 411.76 [A] : 11.081[sec]
MIN.: 0 [A] : -2[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [A] ~ 700 [A]

(10) DC CURRENT

MAX.: 175.69 [A] : 6.434[sec]
MIN.: 0 [A] : 6[sec]



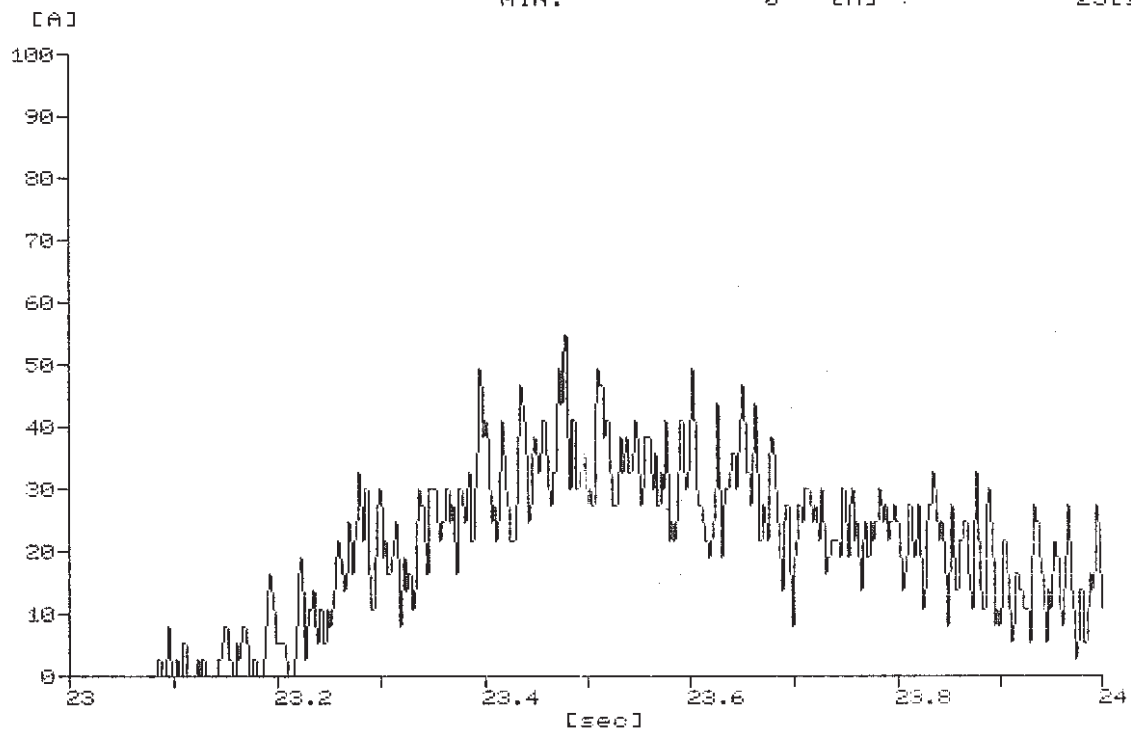
拡大範囲 6[sec] ~ 6.5[sec] 振巾 0 [A] ~ 700 [A]

Fig.4.6 D.C diagram at start

(起動時直流電流線図)

(10) DC CURRENT

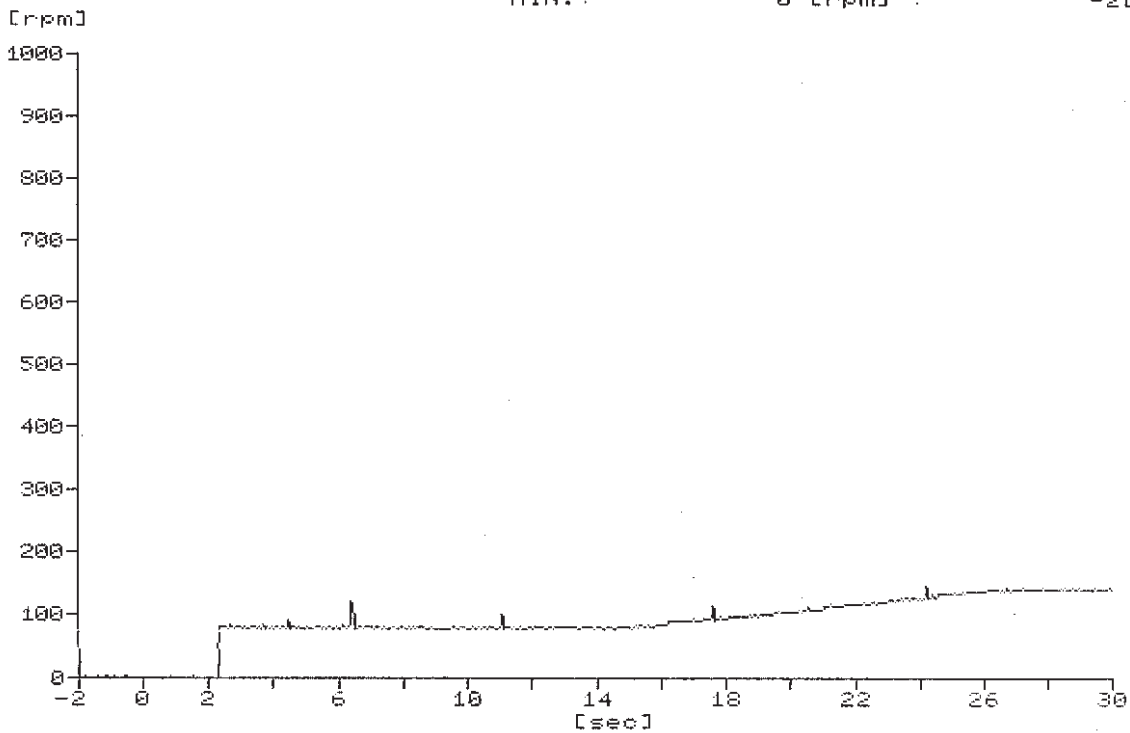
MAX. 57.65 [A] : 23.478[sec]
 MIN. 0 [A] : 23[sec]



拡大範囲 23[sec]~24[sec] 振巾 0 [A]~100 [A]

(11) rpm COMMAND

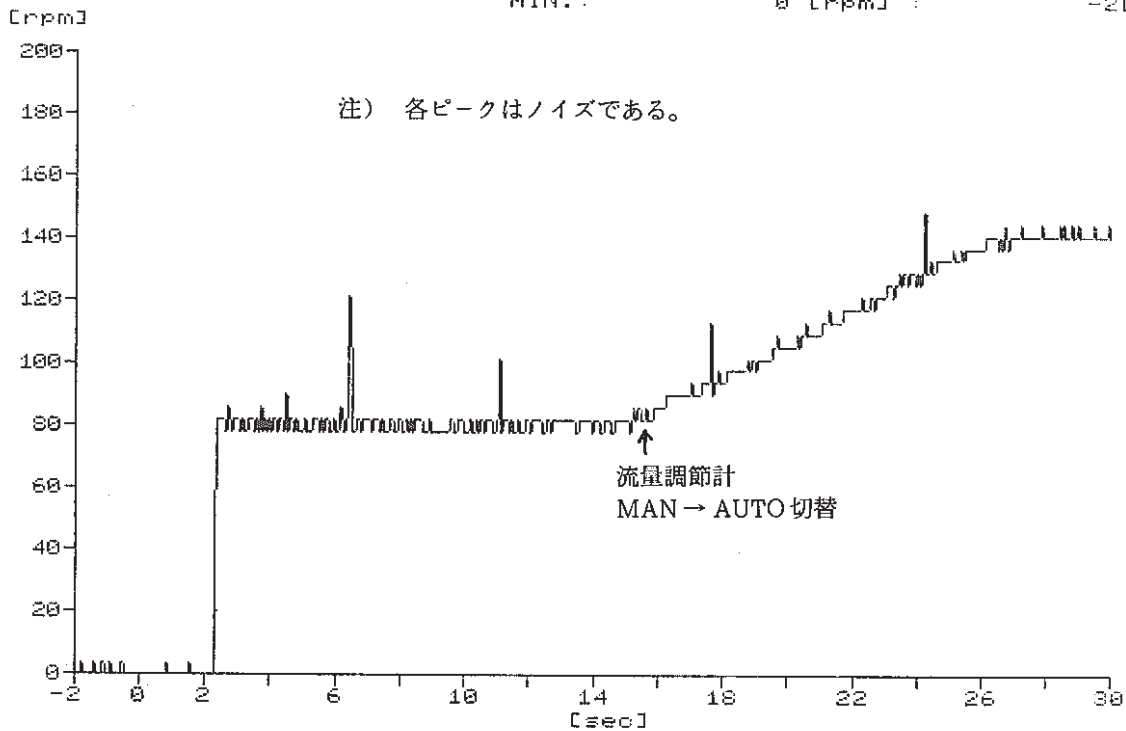
MAX.: 760.78 [rpm] : 11.08[sec]
MIN.: 0 [rpm] : -2[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [rpm] ~ 1000 [rpm]

(11) rpm COMMAND

MAX.: 760.78 [rpm] : 11.08[sec]
MIN.: 0 [rpm] : -2[sec]

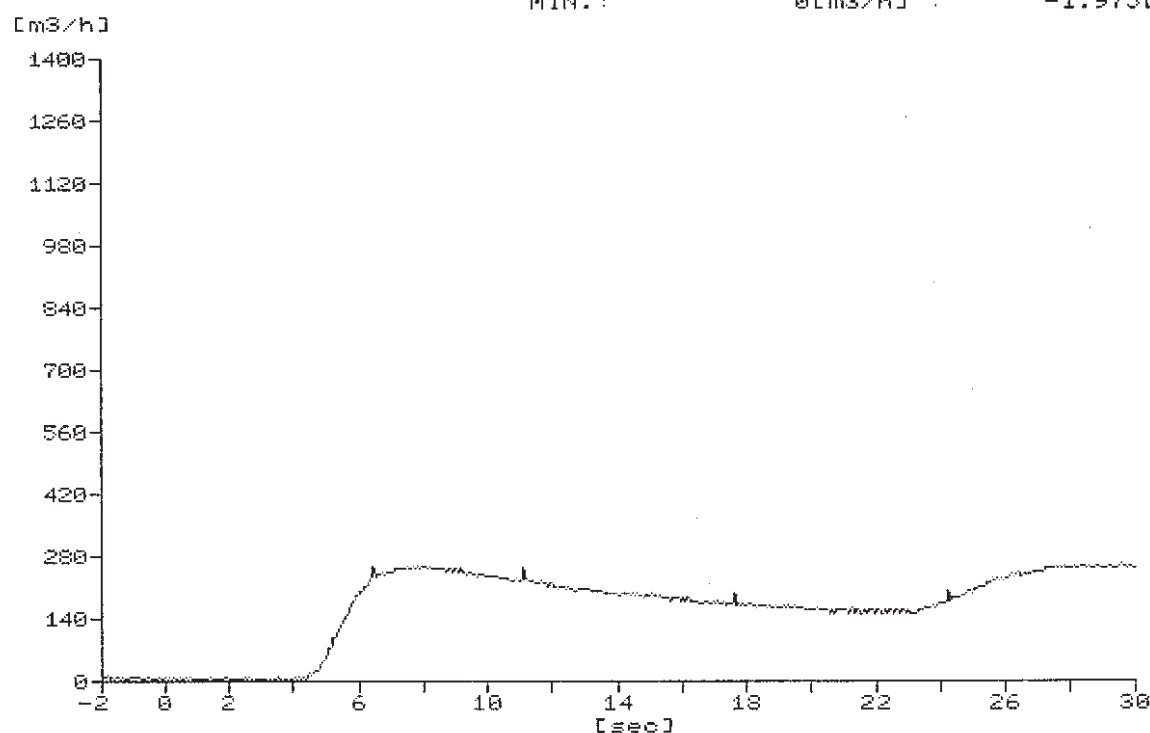


拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [rpm] ~ 200 [rpm]

Fig.4.7 Revolution order diagram at start
(起動時回転数指令線図)

(12) Na. FLOW Q.

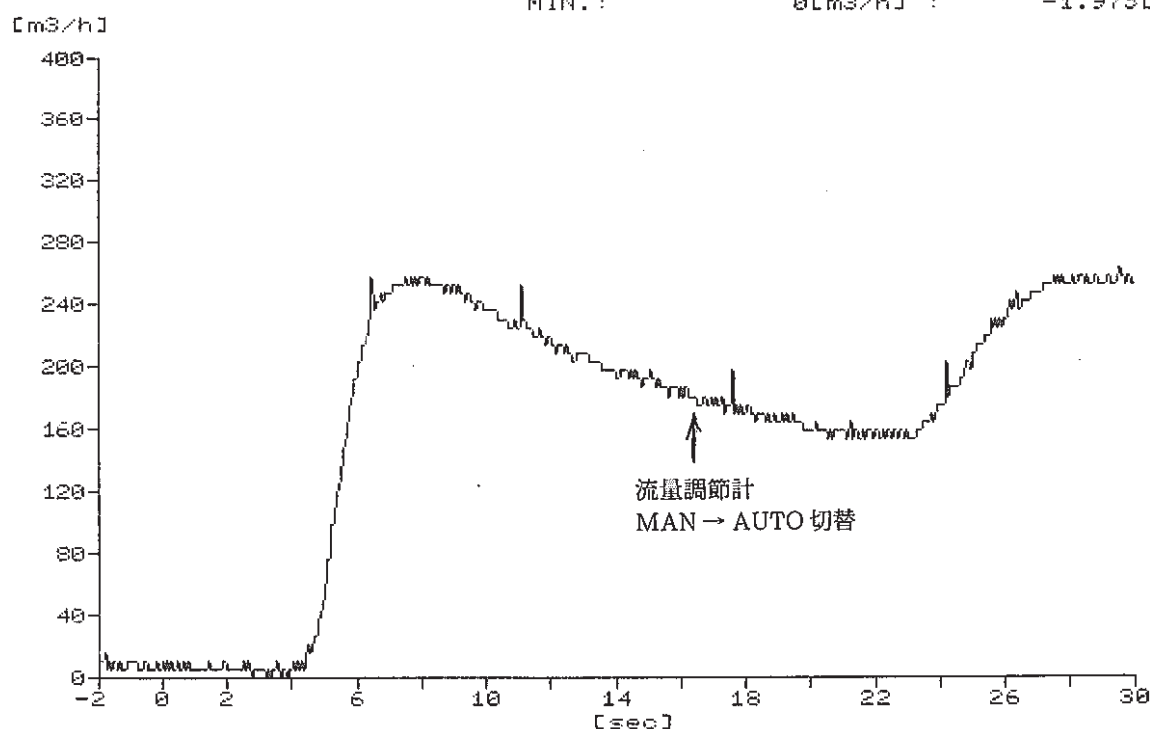
MAX.: 1081.57[m3/h] : 11.08[sec]
MIN.: 0[m3/h] : -1.975[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0[m3/h] ~ 1400[m3/h]

(12) Na. FLOW Q.

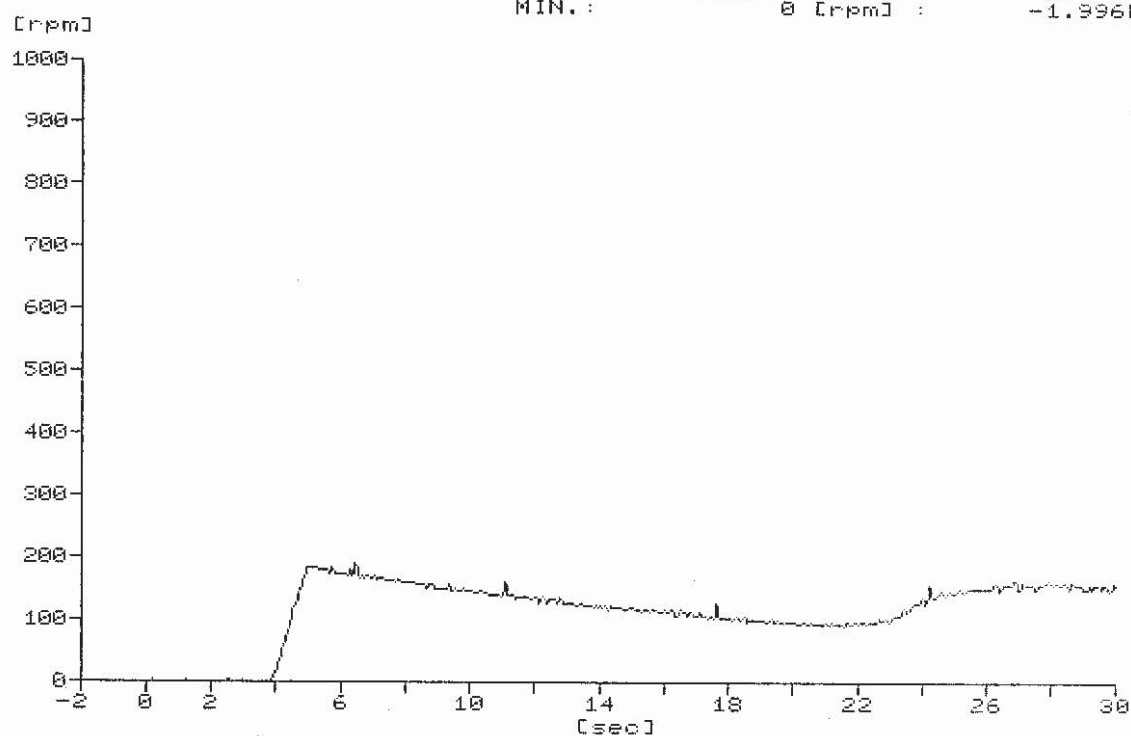
MAX.: 1081.57[m3/h] : 11.08[sec]
MIN.: 0[m3/h] : -1.975[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0[m3/h] ~ 400[m3/h]

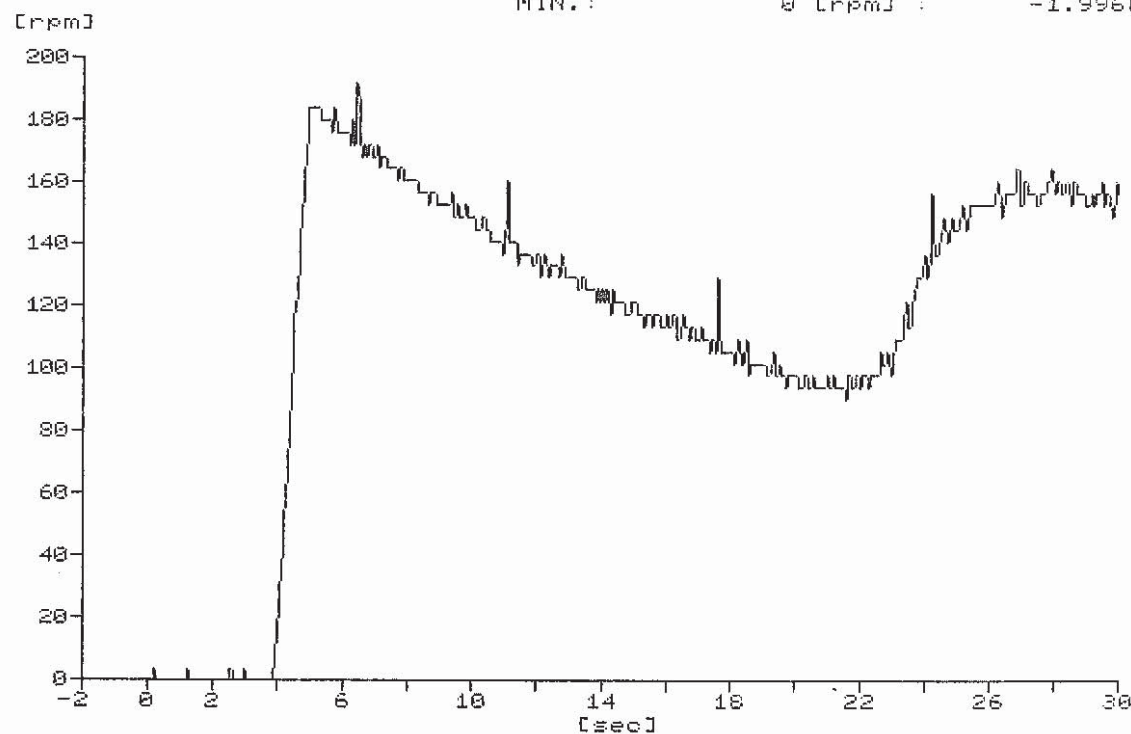
Fig.4.8 Sodium flow diagram at start
(起動時 Na 流量線図)

(13) PUMP rpm

 MAX.: 772.55 [rpm] : 11.08[sec]
 MIN.: 0 [rpm] : -1.996[sec]


拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [rpm] ~ 1000 [rpm]

(13) PUMP rpm

 MAX.: 772.55 [rpm] : 11.08[sec]
 MIN.: 0 [rpm] : -1.996[sec]


拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [rpm] ~ 200 [rpm]

 Fig.4.9 Revolution diagram at start
 (起動時回転数線図)

Table 4.2 (1) List of circuit breaker motion time at start (A)

(遮断器作動時間表 A 号)

	イベント No	42 M ON	6 M		72 M ON	152 M ON	52 M ON	27 E ON	備 考
			ON	OFF					
1	0005	4.606	2.336	4.667	2.833	2.135	3.444	—	
2	0007	4.633	2.372	4.697	2.821	2.189	3.486	2.258	
3	0011	4.606	2.322	—	2.809	1.883	3.432	2.223	
4	0031	4.823	2.459	—	2.918	2.266	3.592	2.363	
5	0033	4.698	2.427	4.757	2.876	2.239	3.503	2.315	
6	0039	4.469	2.456	4.526	2.881	2.256	3.543	2.347	
7	0046	4.466	2.423	4.550	2.856	2.118	3.492	2.347	
8	0048	4.673	2.396	4.730	2.846	2.185	3.486	2.286	
9	0050	4.753	2.410	—	2.874	2.236	3.554	2.315	
10	0053	4.696	2.452	4.753	2.904	2.240	3.544	2.349	
11	0057	4.744	2.483	4.797	2.904	2.277	3.564	2.356	
12	0060	4.780	2.465	4.839	2.895	2.264	3.594	2.337	
13	0062	4.789	2.480	—	2.933	2.283	3.592	2.364	
14	0065	4.861	2.505	4.929	2.974	2.325	3.672	2.404	
15	0067	4.740	2.883	—	2.824	2.225	3.564	2.295	
16	0074	4.834	2.512	4.893	2.969	2.320	3.653	2.404	
17	0076	4.815	2.498	4.867	2.960	2.313	3.623	2.395	
18	0079	4.774	2.466	4.838	2.914	2.275	3.561	2.353	
19	0081	4.703	2.389	4.773	2.840	2.225	3.497	2.294	
20	0083	4.746	2.493	4.814	2.881	2.263	3.563	2.335	
21	0087	4.896	2.581	3.829	3.004	2.357	3.703	2.445	
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
N	データ数	21	21	16	21	21	21	20	
	平 均	4.719	2.467	4.704	2.891	2.232	3.555	2.33	
SD④	標準偏差	0.112	0.111	0.250	0.053	0.097	0.07	0.05	

Table 4.2(2) List of circuit breaker motion time at start (B)

(遮断器作動時間表 B 号)

	イ ベ ント No	42 M ON	6 M		72 M ON	152 M ON	52 M ON	27 E ON	備 考
			ON	OFF					
1	007	4.652	2.361	4.722	2.798	2.008	3.384	2.257	
2	0011	4.636	2.328	4.706	2.782	2.193	3.391	2.223	
3	0031	4.840	2.457	4.912	2.891	2.189	—	2.361	
4	0033	4.725	2.413	4.799	2.847	2.214	—	2.314	
5	0039	4.466	2.423	4.550	2.856	2.188	3.492	2.347	
6	0046	4.740	2.410	4.805	2.849	2.129	3.473	2.315	
7	0048	4.690	2.376	—	2.809	2.134	3.443	2.284	
8	0050	4.768	2.417	4.840	2.851	2.118	3.464	2.313	
9	0053	4.728	2.442	4.820	2.877	2.159	3.484	2.349	
10	0057	4.762	2.450	4.850	2.876	2.007	3.525	2.355	
11	0060	4.753	2.451	4.824	2.878	1.995	3.515	2.339	
12	0062	4.820	2.466	4.907	2.908	2.085	3.533	2.365	
13	0065	4.889	2.510	4.979	2.953	2.120	3.593	2.405	
14	0067	4.762	2.385	4.844	2.807	2.003	3.415	2.296	
15	0071	4.838	2.526	4.911	2.965	2.065	3.573	2.415	
16	0074	4.864	2.515	4.912	2.955	2.057	3.544	2.405	
17	0076	4.836	2.502	—	2.936	2.064	3.534	2.396	
18	0079	4.792	2.461	—	2.895	2.077	3.515	2.354	
19	0081	4.734	2.393	—	2.814	1.970	3.417	2.296	
20	0083	4.774	2.429	4.859	2.850	1.937	3.463	2.335	
21	0085	4.782	2.412	4.851	2.841	1.914	3.446	1.185	
22	0087	4.926	2.550	—	3.001	2.112	3.584	2.446	
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
N	データ数	22	22	17	22	22	20	22	
	平 均	4.763	2.44	4.829	2.875	2.079	3.489	2.289	
SD(σ)	標準偏差	0.095	0.055	0.096	0.058	0.084	0.061	0.246	

4.2 ポンプ停止

Table 4.10 に主循環ポンプの停止記録図を示す。また Table 4.4 にポンプ停止時の各遮断器動作時間をまとめたものを示す。

- (1) Fig. 4.10 において、0 秒はポンプ停止 CS を切とした時点となるはずであるが 52 M の動作は -0.009 秒となっている。これはトリガーを発生するシーケンスの補助リレーが多段であるための遅れである。
- (2) ポンプ停止時においては主遮断器 152 M の開路によってセルビウス制御系の制御電源は喪失するが、Fig. 4.10 に示されるように各信号はコンデンサーの放電時間等の影響により即時には低下しないことがわかる。

Table 4.3 List of synthetic motion at stop
(停止時総合動作表)

発生時刻：1985年04月27日 13時30分01秒 LABEL A 085 EVENT NO. 0045

デジタル信号	初期状態	動作時刻	復帰時刻
(1) 42 M	ON	OFF : 0.031 sec	ON :
(2) 6 M 2	OFF	ON :	OFF :
(3) 6 M	OFF	ON :	OFF :
(4) 72 M	ON	OFF : 0.119 sec	ON :
(5) 152 M	ON	OFF : 0.115 sec	ON :
(14) 52 M	ON	OFF : -0.009 sec	ON :
(15) 27 E	ON	OFF : 0.128 sec	ON :

アナログ信号	初期値	最大値	
(6) PULSE SUPPRESSION	14.7 V	14.9 V	: -0.903 sec 0.0 V : 0.471 sec
(7) GAMMA SHIFT	14.8 V	14.9 V	: -1.507 sec 0.0 V : 0.480 sec
(8) CURRENT LIMITER	0.00 V	2.68 V	: 11.081 sec 0.0 V : -2.000 sec
(9) APPS	3.02 V	3.24 V	: -0.982 sec 0.00 V : 0.075 sec
(10) DC CURRENT	192 A	214 A	: -0.696 sec 0 A : 0.063 sec
(11) rpm COMMAND	824 rpm	859 rpm	: -0.542 sec 0 rpm : 0.485 sec
(12) Na. FLOW Q.	1257 m ³ /h	1290 m ³ /h	: -1.667 sec 71 m ³ /h : 24.188 sec
(13) PUMP rpm	851 rpm	890 rpm	: -1.861 sec 51 rpm : 24.187 sec
(16) AC VOLTAGE	2896 V	3308 V	: 0.096 sec 0 V : -1.992 sec

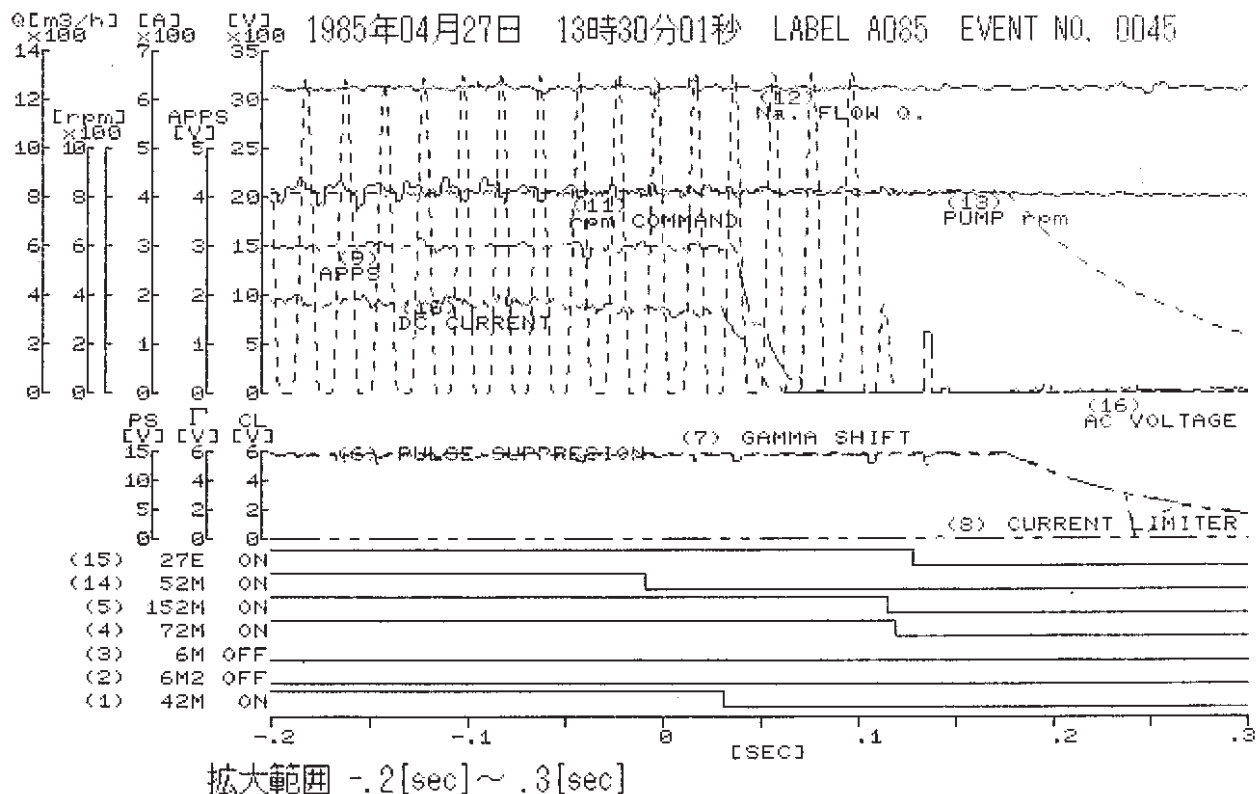
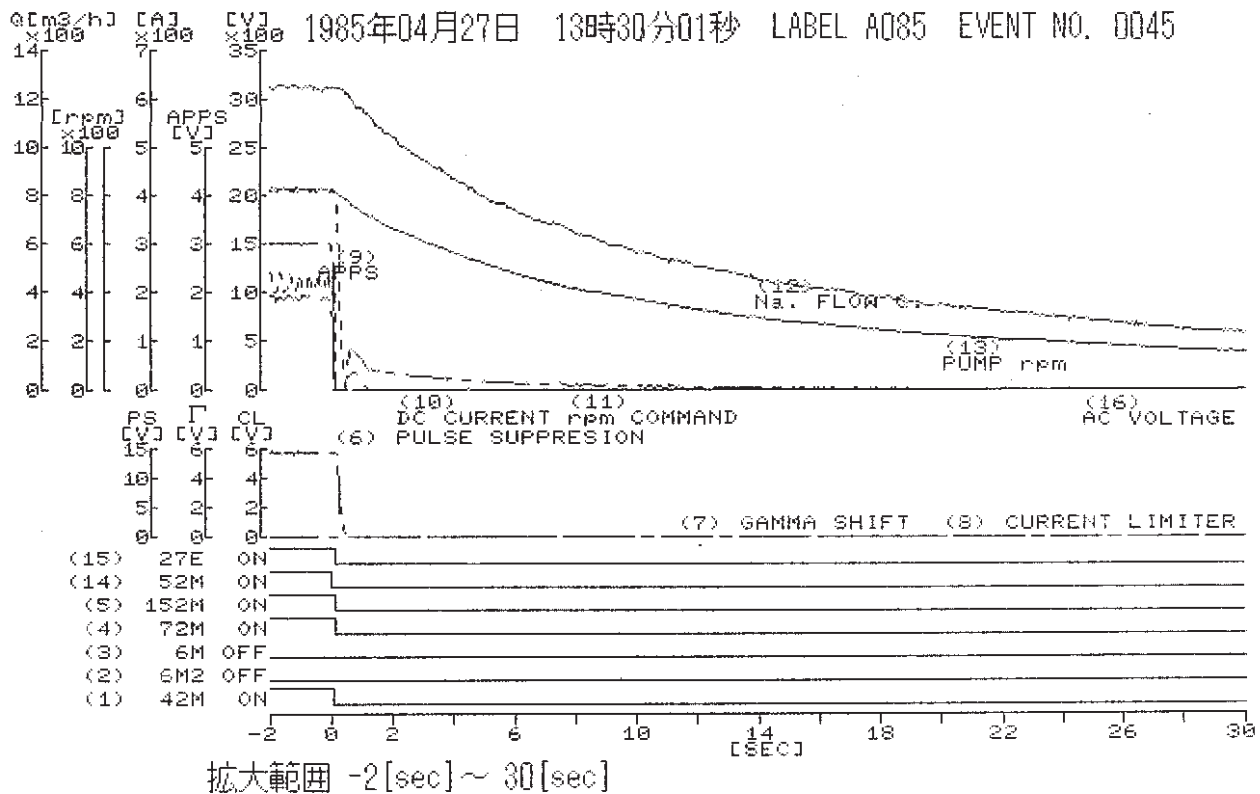


Fig. 4.10 Synthetic motion diagram at stop
(停止時総合動作表)

Table 4.4(1) List circuit breaker motion time at stop (A)

(遮断器作動時間表 A 号)

	イベント No	42 M OFF	6 M2	6 M	72 M OFF	152 M OFF	52 M OFF	27 E OFF	備 考
1	0006	0.032	—	—	0.117	0.116	0.000	0.137	
2	0010	0.050	—	—	0.137	0.134	0.010	0.143	
3	0030	0.043	—	—	0.135	0.133	0.012	0.155	
4	0032	0.045	—	—	0.133	0.132	0.013	0.145	
5	0038	0.042	—	—	0.129	0.133	0.006	0.148	
6	0040	0.034	—	—	0.127	0.114	0.002	0.140	
7	0041	0.033	—	—	0.124	0.116	0.002	0.135	
8	0045	0.031	—	—	0.119	0.115	-0.009	0.128	
9	0047	0.045	—	—	0.137	0.132	0.014	0.143	
10	0049	0.044	—	—	0.134	0.133	0.009	0.142	
11	0051	0.045	—	—	0.138	0.134	0.014	0.143	
12	0052	0.038	—	—	0.129	0.116	0.004	0.134	
13	0055	0.040	—	—	0.127	0.123	0.003	0.141	
14	0056	0.039	—	—	0.122	0.113	0.004	0.130	
15	0058	0.038	—	—	0.124	0.115	0.004	0.132	
16	0061	0.044	—	—	0.136	0.134	0.012	0.156	
17	0063	0.041	—	—	0.132	0.131	0.011	0.149	
18	0068	0.029	—	—	0.122	0.115	-0.005	0.132	
19	0075	0.041	—	—	0.136	0.132	0.010	0.140	
20	0077		—	—					
21	0080	0.036	—	—	0.125	0.122	0.003	0.142	
22	0082		—	—					
23	0084	0.045	—	—	0.135	0.128	0.012	0.151	
24	0086	0.032	—	—	0.129	0.114	0.003	0.137	
25									
26									
27									
28									
29									
30									
N	データ数	22			22	22	22	22	
	平 均	0.039			0.129	0.124	0.006	0.141	
SD(σ)	標準偏差	0.006			0.006	0.008	0.006	0.007	

Table 4.4 (2) List circuit breaker motion time at stop (B)

(遮断器作動時間表 B 号)

	イベント No.	42 M OFF	6 M 2	6 M	72 M OFF	152 M OFF	52 M OFF	27 E OFF	備 考
1	0006	0.031	—	—	0.117	0.125	0.002	0.137	
2	0010	0.041	—	—	0.132	0.119	0.010	0.140	
3	0030	0.041	—	—	0.132	0.135	—	0.155	
4	0032	0.041	—	—	0.130	0.121	—	0.142	
5	0038	0.041	—	—	0.126	0.128	0.012	0.148	
6	0040	0.032	—	—	0.123	0.125	0.003	0.139	
7	0041	—	—	—	—	—	—	—	
8	0045	0.028	—	—	0.113	0.105	0.009	0.125	
9	0047	0.044	—	—	0.132	0.115	0.013	0.143	
10	0049	0.043	—	—	0.129	0.122	0.006	0.141	
11	0051	0.043	—	—	0.128	0.118	0.014	0.141	
12	0052	0.036	—	—	0.121	0.114	0.003	0.131	
13	0055	0.032	—	—	0.124	0.116	0.005	0.141	
14	0056	0.031	—	—	0.122	0.114	0.004	0.130	
15	0058	0.030	—	—	0.122	0.125	0.004	0.132	
16	0061	0.044	—	—	0.132	0.134	0.014	0.155	
17	0063	0.041	—	—	0.130	0.133	0.013	0.150	
18	0068	0.029	—	—	0.117	0.108	0.001	0.132	
19	0075	0.041	—	—	0.133	0.124	0.014	0.141	
20	0077		—	—					
21	0082		—	—					
22	0084	0.045	—	—	0.140	0.134	0.011	0.151	
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
N	データ数	19			19	19	17	19	
	平 均	0.038			0.126	0.122	0.007	0.141	
SD(σ)	標準偏差	0.006			0.007	0.008	0.006	0.008	

4.3 瞬時停電による再起動

(1) 瞬時停電試験

Fig. 4.11～4.22 に昭和 59 年 8 月 18 日に実施した 0.5 秒及び 1 秒間の瞬時停電試験の結果を示す。ただしこの試験においては、電源側を実際に瞬停させずにシーケンス回路の中で 0.5 秒間の瞬停を模擬したものである。よってアナログ値の -2 ～ 0 秒の間のデータは実際の瞬停時の値と相異がある。

- 1) Table 4.5 において、トリガー信号の発生元である 27 E の動作が 0 秒となるはずであるが、データでは -0.037 秒となっている。これは 27 E リレーからトリガーを発生させるシーケンスの補助リレーが 5 段階あるための遅れである。
- 2) Fig. 4.12～4.19 各図の中で 4.527 秒の位置に記録されている異常に大きな信号の乱れは各図とも共通していることから制御系等のノイズである。
- 3) 42 M の投入条件である初期設定回転数 - 70 rpm は図 4.19 より 0 秒の初期値が約 865 r.p.m であり 42 M が投入された 2.275 秒時の回転数が 790 r.p.m であることから回転数差は 75 r.p.m であり問題のない動作であったことがわかる。
- 4) Table 4.4 より 42 M と 6 M 2 のオーバーラップタイムを求めると 0.645 秒であり、設定の 0.6 秒に対してほぼ問題のない動作であったことがわかる。
- 5) Fig. 4.14 より 4.3～5.5 秒のところで保護信号であるカレントリミッタが作動していることがわかる。カレントリミッタの作動は、SCR からの返環交流電流が定格値の 125% 以上となった時に発生する保護信号である。本記録装置には返環交流電流は記録されていないがこれに対応する直流回路の返環交流電流の 125% に対応する直流電流は 660 A であることが知られている。しかし、Fig. 4.16 の直流電流記録においては 530 A 程度でありカレントリミッタの作動設定値は約 100% であることがわかった。直流電流の実測値は、ポンプ起動時の直流電流の最大値で約 60 A、ポンプ 100% 流量運転時においても約 330 A 程度であるから、カレントリミッタの作動設定値は瞬停再起動機能に支障がなければ良いものと考えられる。よって現状の 100% 設定で問題はないといえる。
- 6) 原子炉出力運転中における瞬停発生時はポンプ速度低下による Na 流量低下を生じ、この値が定格流量の 85% ($1071 \text{ m}^3/\text{h}$) で流量低警報が発生し、さらに流量の 80% ($1008 \text{ m}^3/\text{h}$) 以下となると原子炉はスクラムに至る。Fig. 4.18 に示す 0.5 秒の瞬停の場合流量低下は再びセルビウス運転に切替わる点の方が大きいことがわかる。しかしこの時の流量は、 $1070 \text{ m}^3/\text{h}$ であり問題とならない。

これに比較して Fig. 4.22 に 1.0 秒瞬停時の Na 流量線図を示す。この場合流量低下の大きいのは 1.0 秒間の瞬停中であり、 $1060 \text{ m}^3/\text{h}$ まで低下していることがわかる。またセルビウスへの切替点では 0.5 秒の瞬停時と同様に $1070 \text{ m}^3/\text{h}$ まで低下していることがわかる。

7) 以上の検討から、電源喪失として原子炉がスクラムする時間である1秒以内の瞬停では1次主ポンプは何ら問題のない動作をすることが立証できた。

(2) 瞬時停電実績(昭和61年2月17日)

Fig. 4.23 ~ 4.26 に昭和61年2月17日に発生した瞬時停電の実績データを示す。

瞬時停電事故の原因は、外部電源側の短絡事故による影響であった。

当日は原子炉定格出力100 MWで運転中であつたが、本瞬停において、1次主ポンプの瞬停再起動は正常に動作し、約6秒後には安定運転に復帰した。

本瞬停によって得られた知見を以下に示す。

- 1) Fig. 4.23 より、瞬停による低電圧検出リレー 27 E の作動は3回であつたことがわかる。これを詳細に見ると、Fig. 4.26 に示した交流電圧の記録から見ると、最初に続けて2回、それぞれ3 Hz程度の瞬停があつた後、約1秒後に8 Hz程度の瞬停があつたことがわかる。またこの時の電圧低下は、大きいもので2000 V程度まで低下している。
- 2) Fig. 4.24 より、保護信号であるカレントリミッターは、4秒直前より作動し、APPSの信号立上りを押えて、直流電流を制限していることがわかる。
- 3) Fig. 4.25 より、冷却系 Na 流量低下は、瞬停中よりもセルビウス切替え時の方が大きい。が、 $1060 \text{ m}^3/\text{H}$ 程度までしか低下せず、原子炉スクラム設定値である $1008 \text{ m}^3/\text{H}$ には十分に余裕があることがわかる。

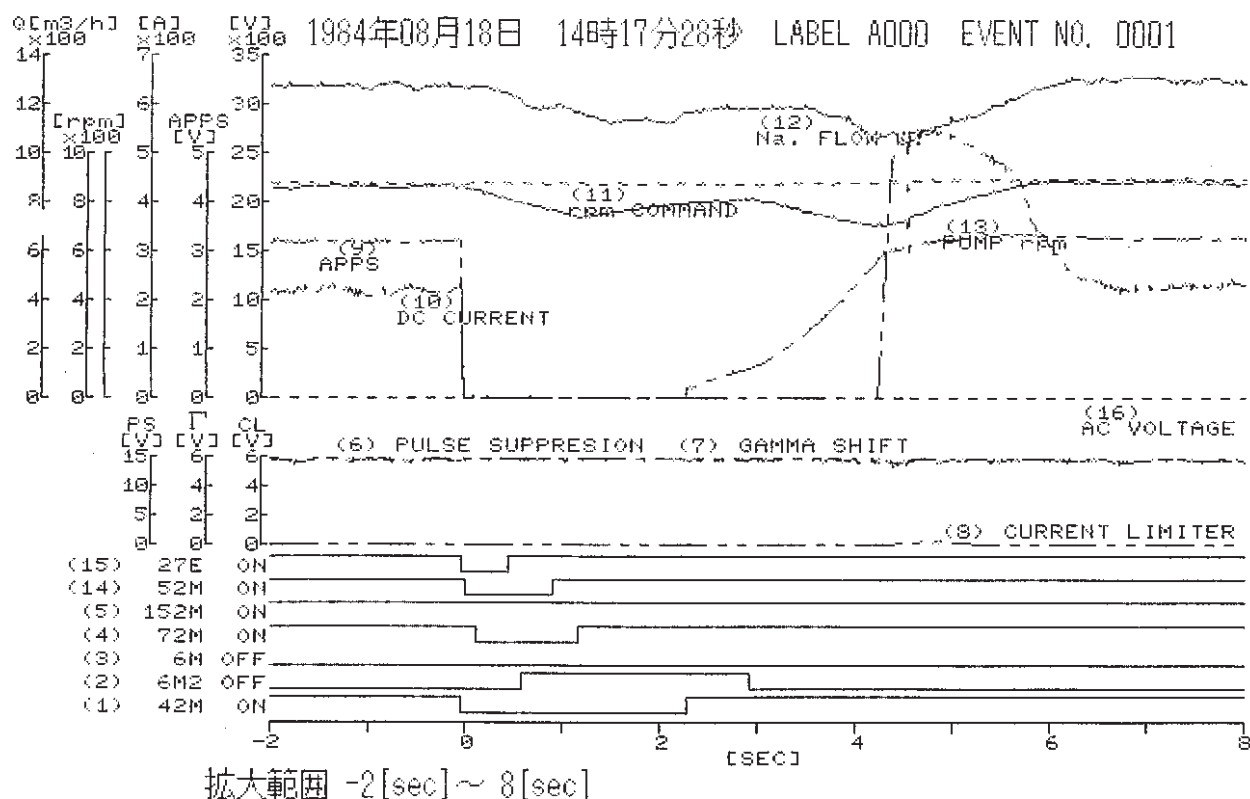
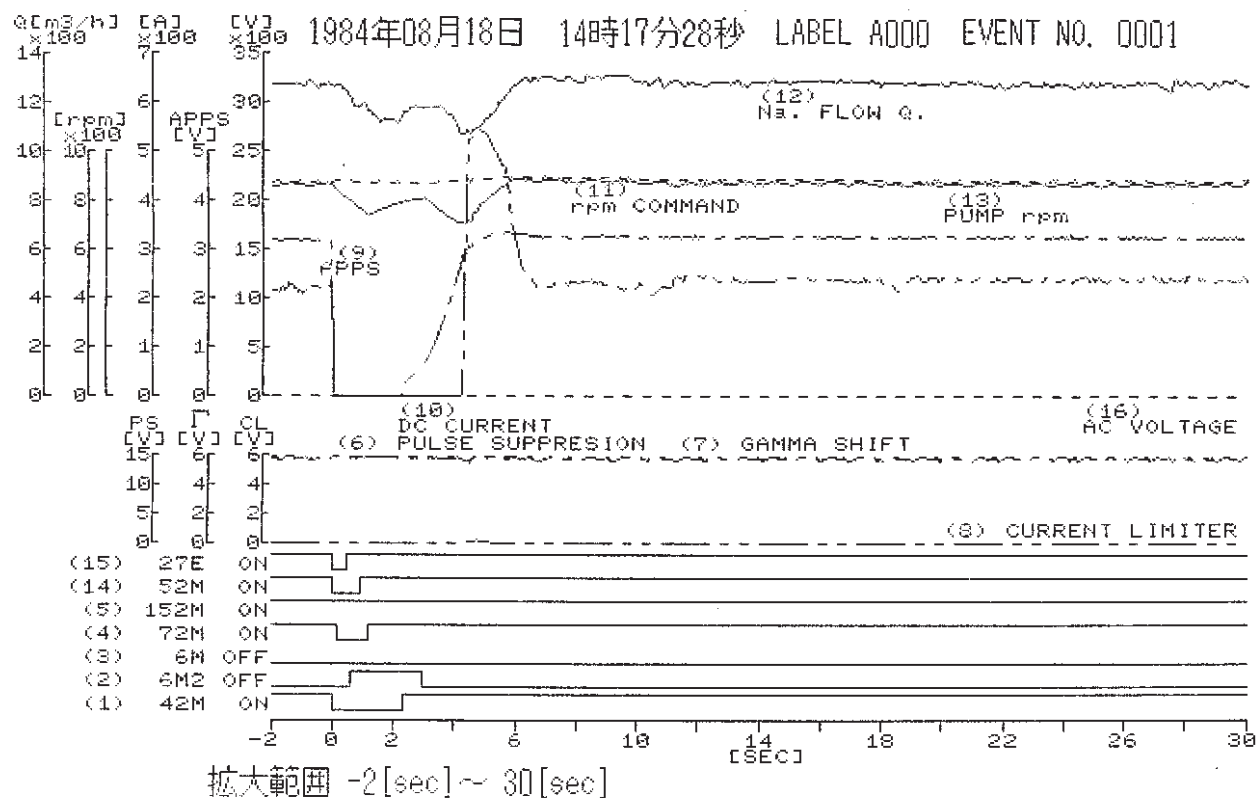


Fig.4.11 Synthetic motion diagram at instantaneous loss of electric power
(瞬停時総合動作線図)

Table 4.5 List of synthetic motion at instantaneous loss of electric power
(瞬停時総合動作表)

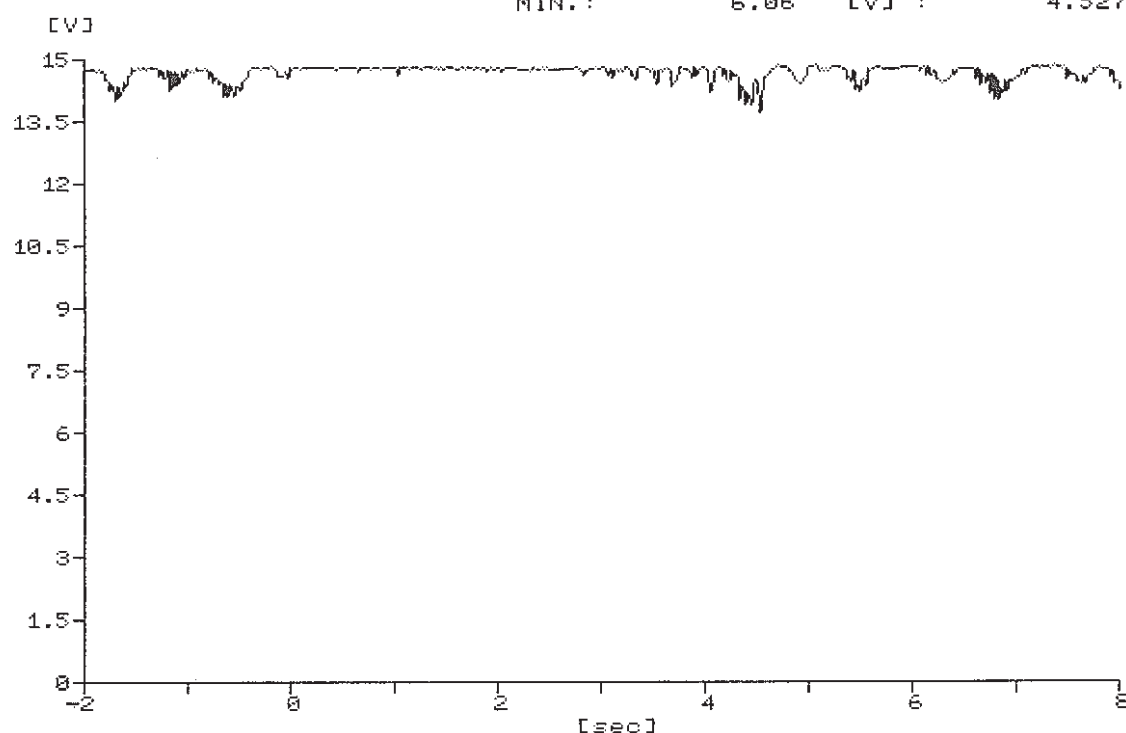
発生時刻：1984年08月18日 14時17分28秒 LABEL A 000 EVENT NO. 0001

デジタル信号	初期状態	動作時刻	復帰時刻
(1) 42 M	ON	OFF: -0.037 sec	ON: 2.275 sec
(2) 6 M 2	OFF	ON: 0.575 sec	OFF: 2.920 sec
(3) 6 M	OFF	ON:	OFF:
(4) 72 M	ON	OFF: 0.111 sec	ON: 1.152 sec
(5) 152 M	ON	OFF:	ON:
(14) 52 M	ON	OFF: -0.009 sec	ON: 0.898 sec
(15) 27 E	ON	OFF: -0.037 sec	ON: 0.448 sec

アナログ信号	初期値	最大値	最小値
(6) PULSE SUPPRESSION	14.9 V	15.0 V : -1.709 sec	6.1 V : 4.527 sec
(7) GAMMA SHIFT	14.8 V	14.9 V : -1.411 sec	5.3 V : 4.527 sec
(8) CURRENT LIMITER	0.00 V	4.14 V : 17.634 sec	0.0 V : -2.000 sec
(9) APPS	3.20 V	4.22 V : 24.188 sec	0.00 V : -0.019 sec
(10) DC CURRENT	220 A	560 A : 4.817 sec	0 A : -0.012 sec
(11) rpm COMMAND	890 rpm	957 rpm : 11.080 sec	549 rpm : 4.526 sec
(12) Na FLOW Q.	1279 m ³ /h	1367 m ³ /h : 17.634 sec	686 m ³ /h : 4.526 sec
(13) PUMP rpm	820 rpm	980 rpm : 11.080 sec	282 rpm : 4.527 sec
(16) AC VOLTAGE	0 V	343 V : 4.526 sec	0 V : -2.000 sec

(6) PULSE SUPPRESSION

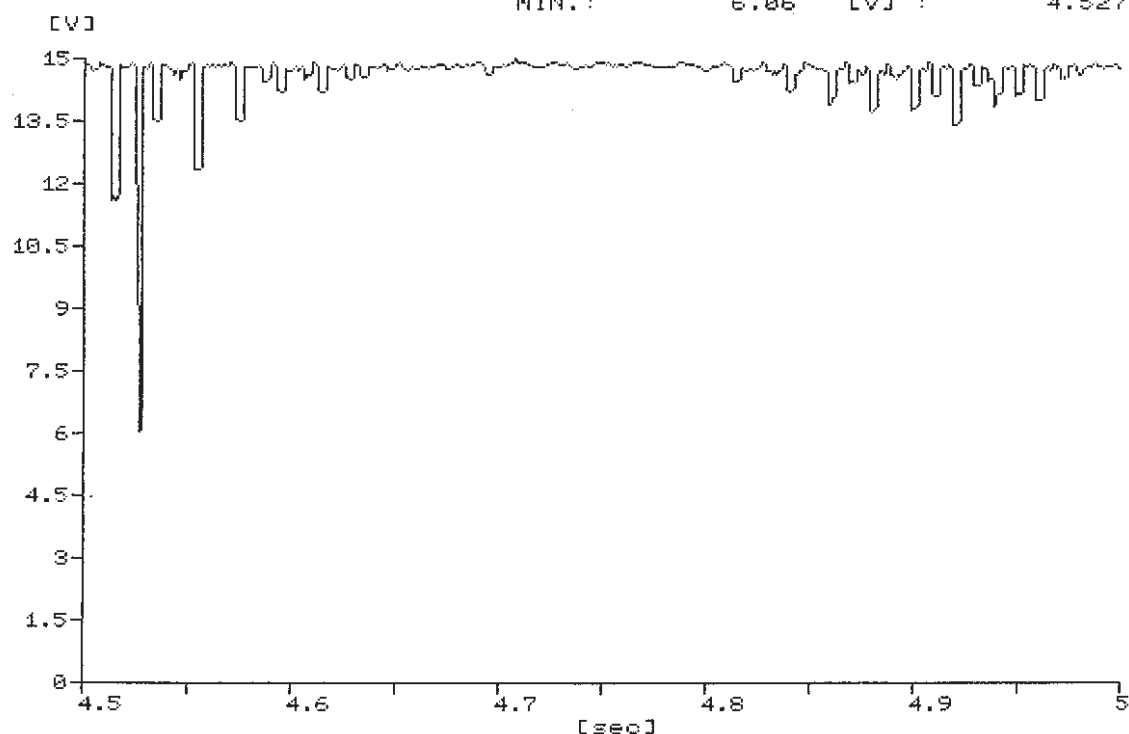
MAX.:	15	[V]	:	-1.789[sec]
MIN.:	6.06	[V]	:	4.527[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 8[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

(6) PULSE SUPPRESSION

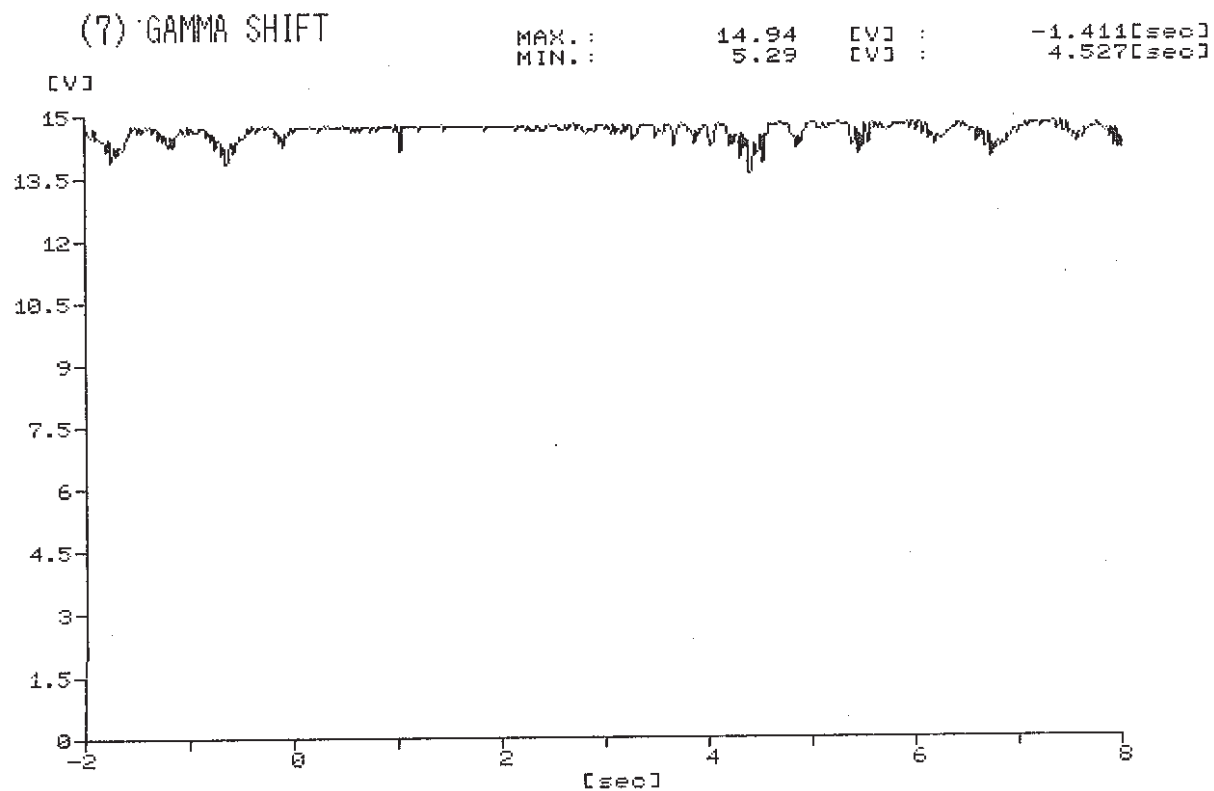
MAX.:	15	[V]	:	4.788[sec]
MIN.:	6.06	[V]	:	4.527[sec]



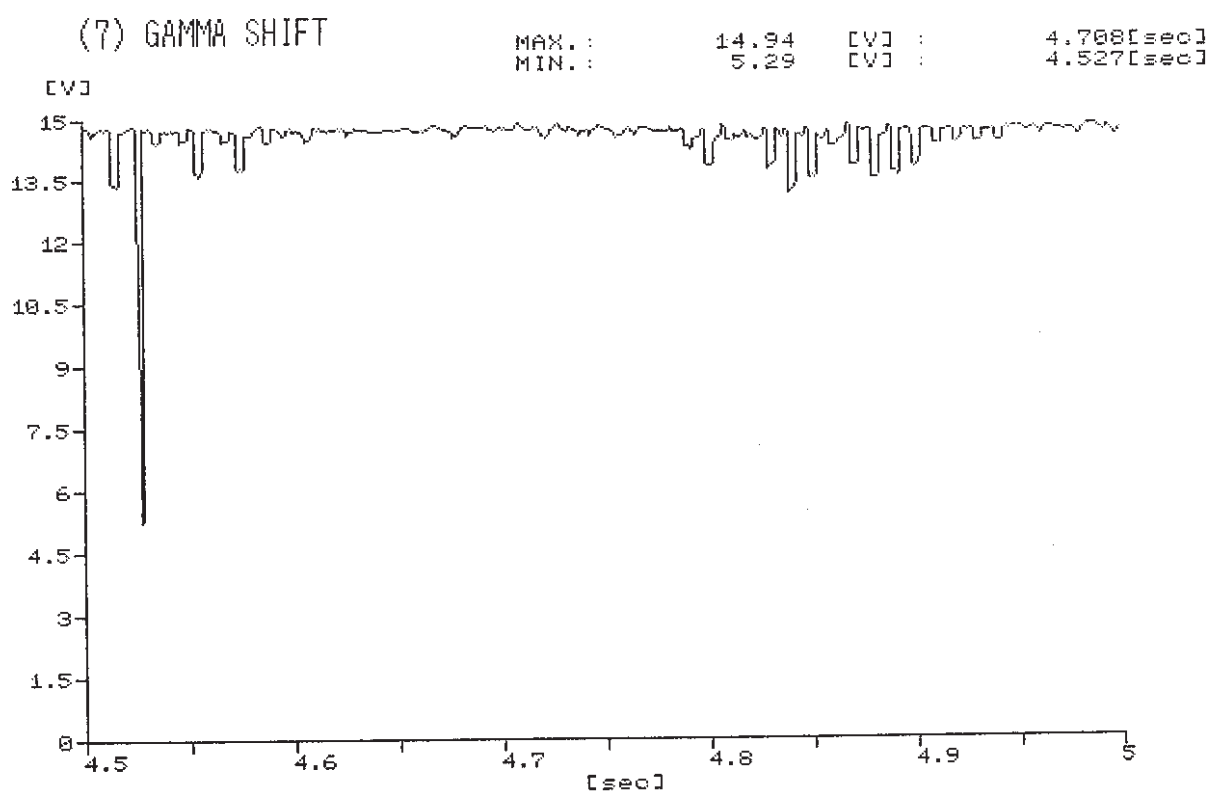
拡大範囲 4.5[sec] ~ 5[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

Fig. 4.12 Puls suppression diagram at instantaneous loss of electric power

(瞬停時パルスサプレッション線図)



拡大範囲 -2[sec]~ 8[sec] 振巾 0 [V]~ 15 [V]

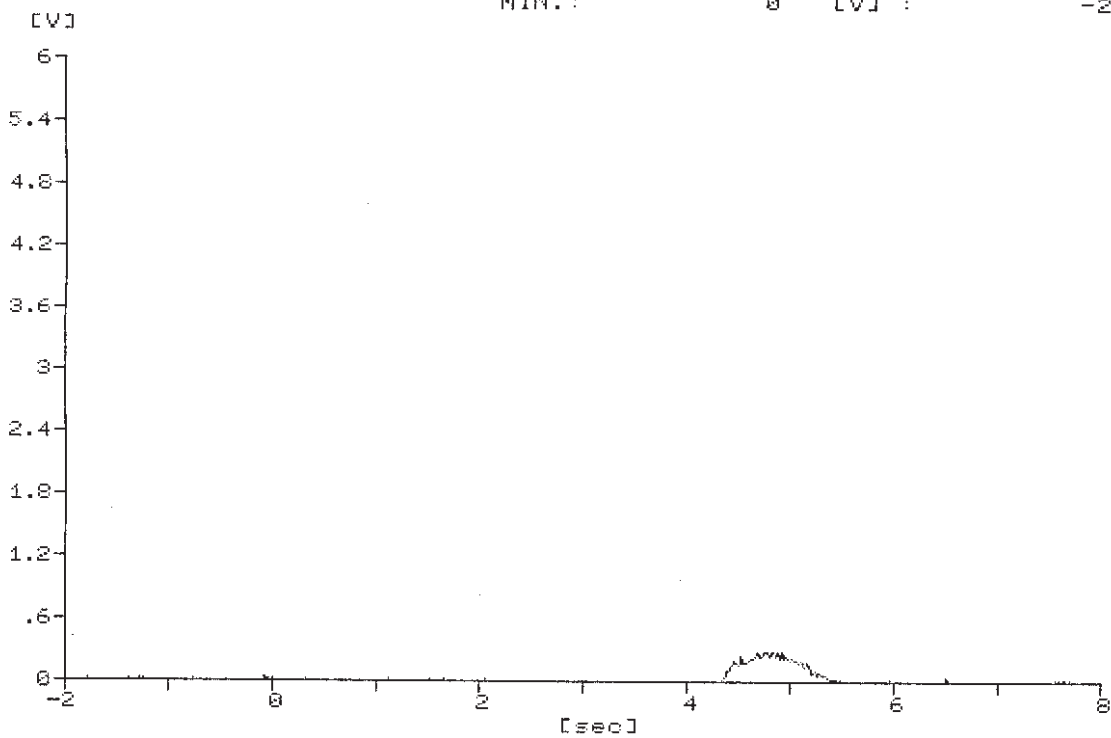


拡大範囲 4.5[sec]~ 5[sec] 振巾 0 [V]~ 15 [V]

Fig.4.13 γ shift diagram at instantaneous loss of electric power
(瞬停時 γ シフト線図)

(8) CURRENT LIMITER

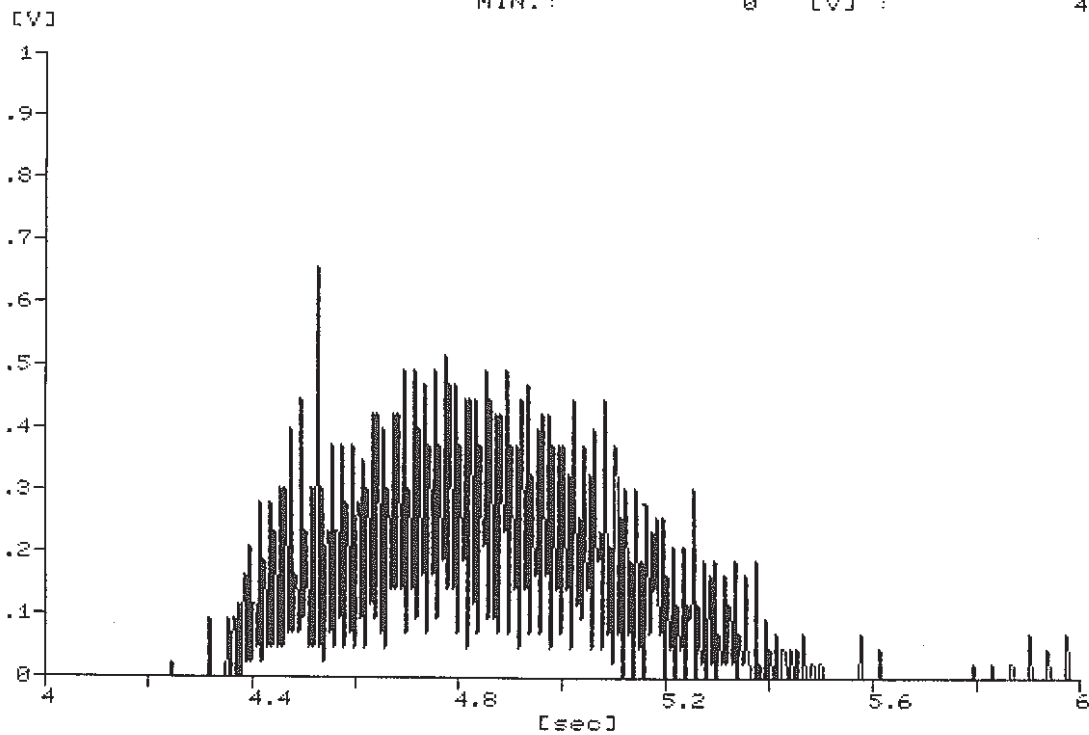
MAX.: .85 [V] : 4.526[sec]
MIN.: 0 [V] : -2[sec]



拡大範囲 -2[sec]~8[sec] 振巾 0 [V]~6 [V]

(8) CURRENT LIMITER

MAX.: .85 [V] : 4.526[sec]
MIN.: 0 [V] : 4[sec]

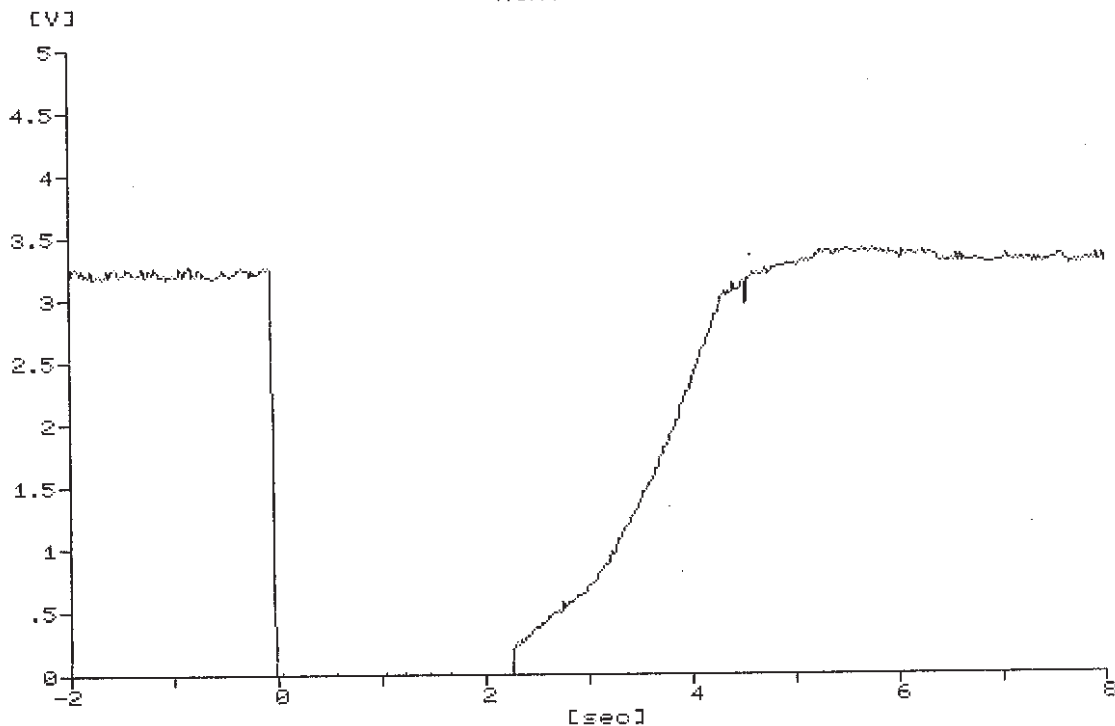


拡大範囲 4[sec]~6[sec] 振巾 0 [V]~1 [V]

Fig.4.14 Current limiter diagram at instantaneous loss of electric power
(瞬停時カレントリミッタ線図)

(9) APPS

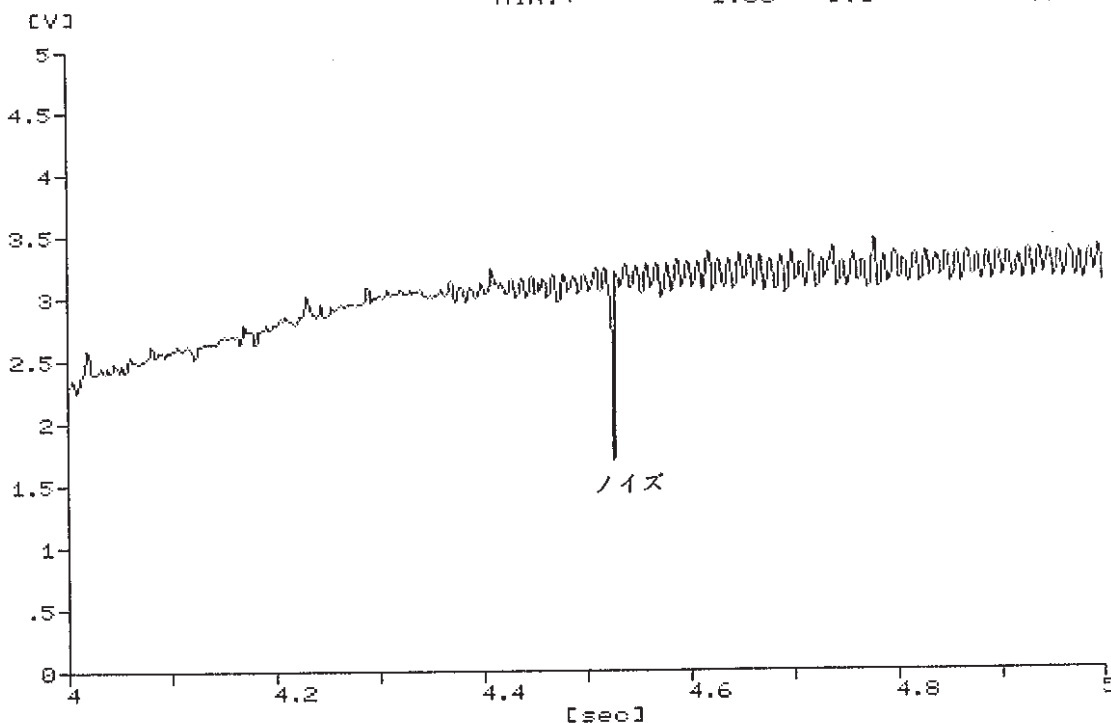
MAX.: 3.55 [V] : 5.097[sec]
MIN.: 0 [V] : -.0190001[sec]



拡大範囲 -2[sec]~ 8[sec] 振巾 0 [V]~ 5 [V]

(9) APPS

MAX.: 3.49 [V] : 4.778[sec]
MIN.: 1.33 [V] : 4.527[sec]

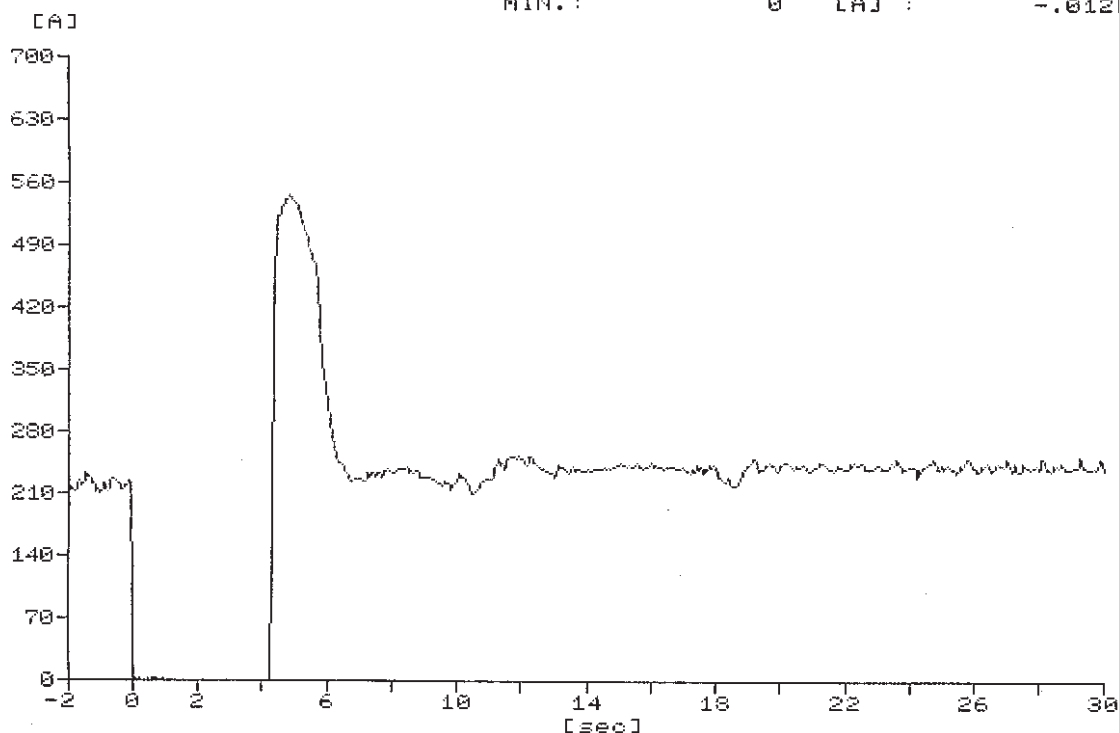


拡大範囲 4[sec]~ 5[sec] 振巾 0 [V]~ 5 [V]

Fig.4.15 APPS diagram at instantaneous loss of electric power
(瞬停時 APPS線図)

(10) DC CURRENT

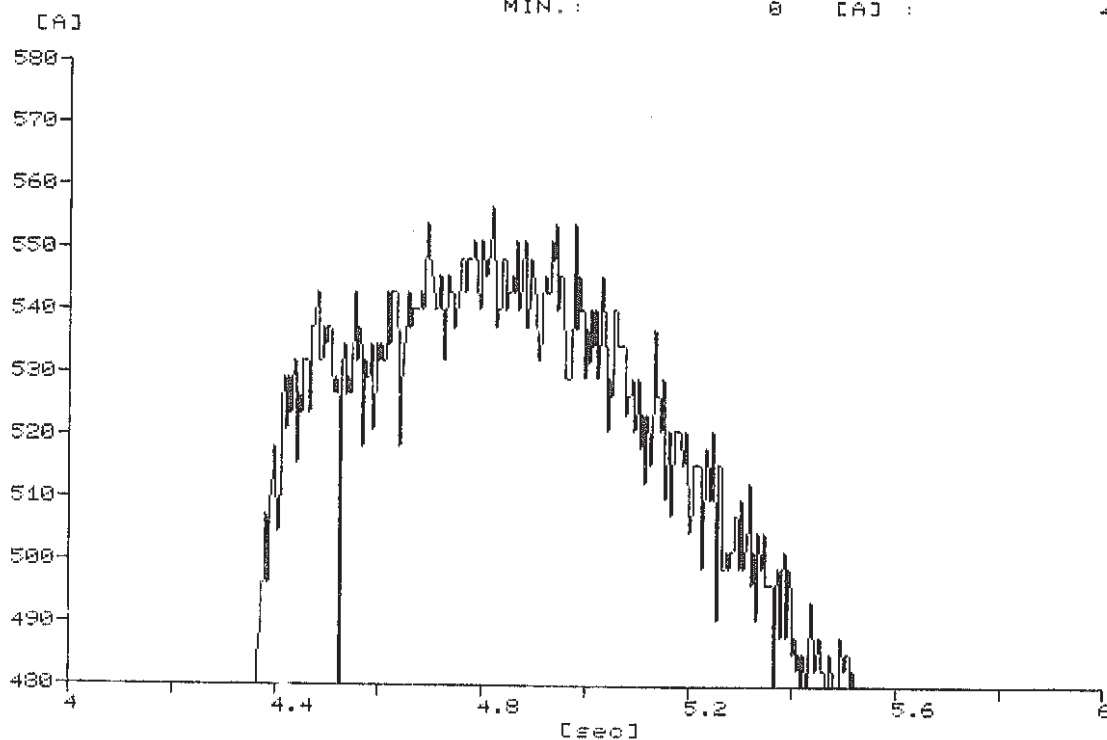
MAX.: 560 [A] : 4.817[sec]
MIN.: 0 [A] : -0.012[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [A] ~ 700 [A]

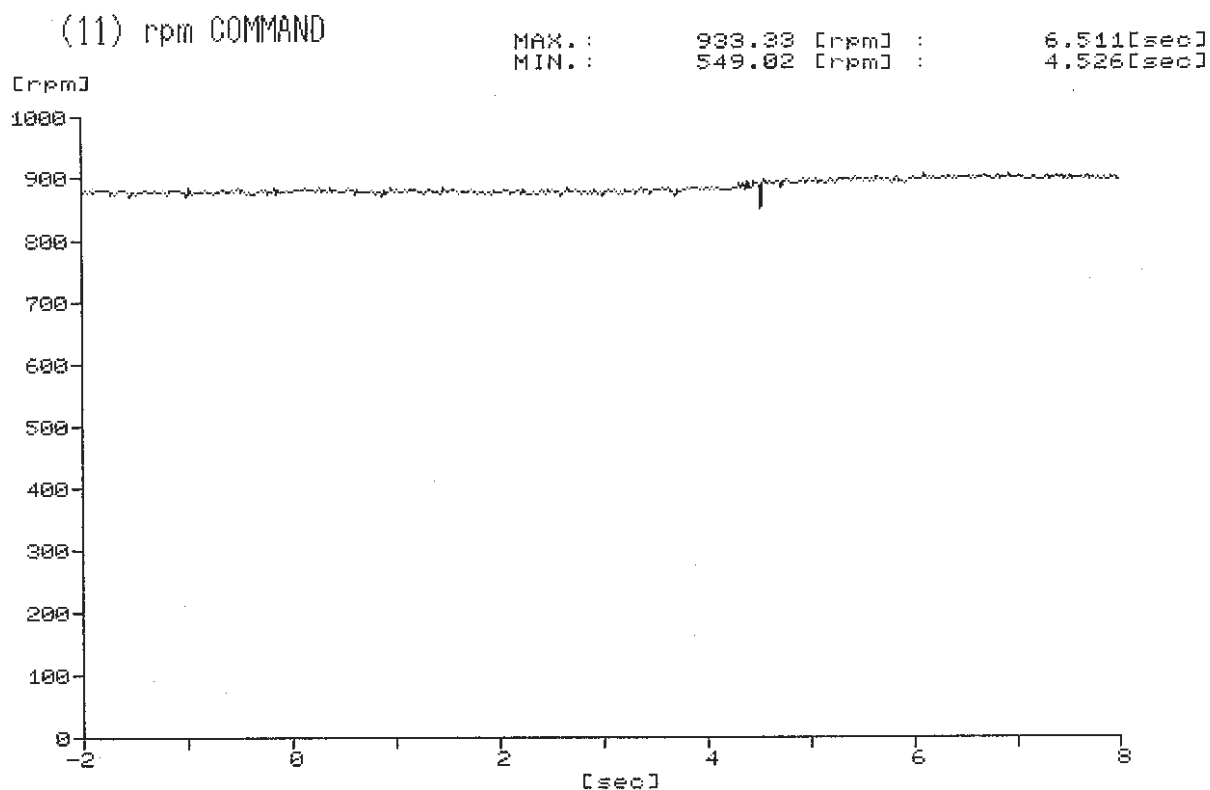
(10) DC CURRENT

MAX.: 560 [A] : 4.817[sec]
MIN.: 0 [A] : 4[sec]

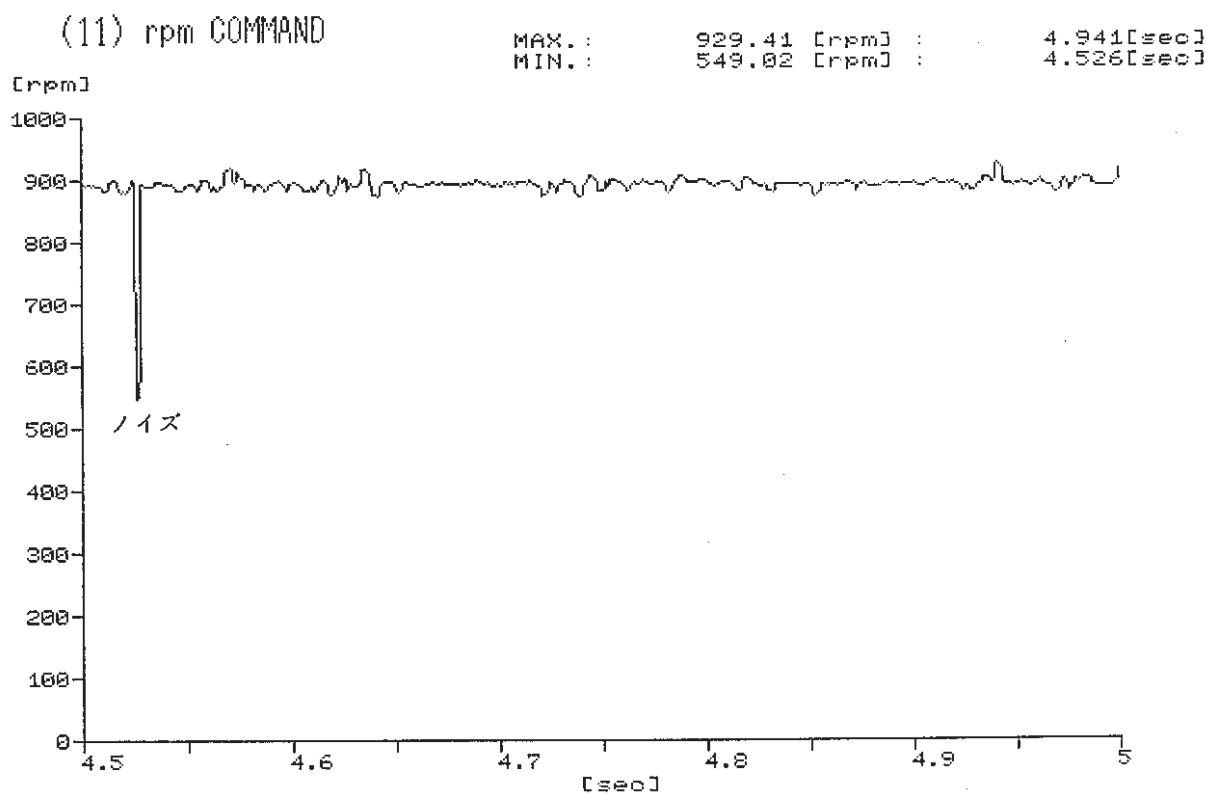


拡大範囲 4[sec] ~ 6[sec] 振巾 480 [A] ~ 580 [A]

Fig.4.16 D.C Current diagram at instantaneous loss of electric power
(瞬停時直流電流線図)



拡大範囲 -2[sec]~8[sec] 振巾 0 [rpm]~1000 [rpm]

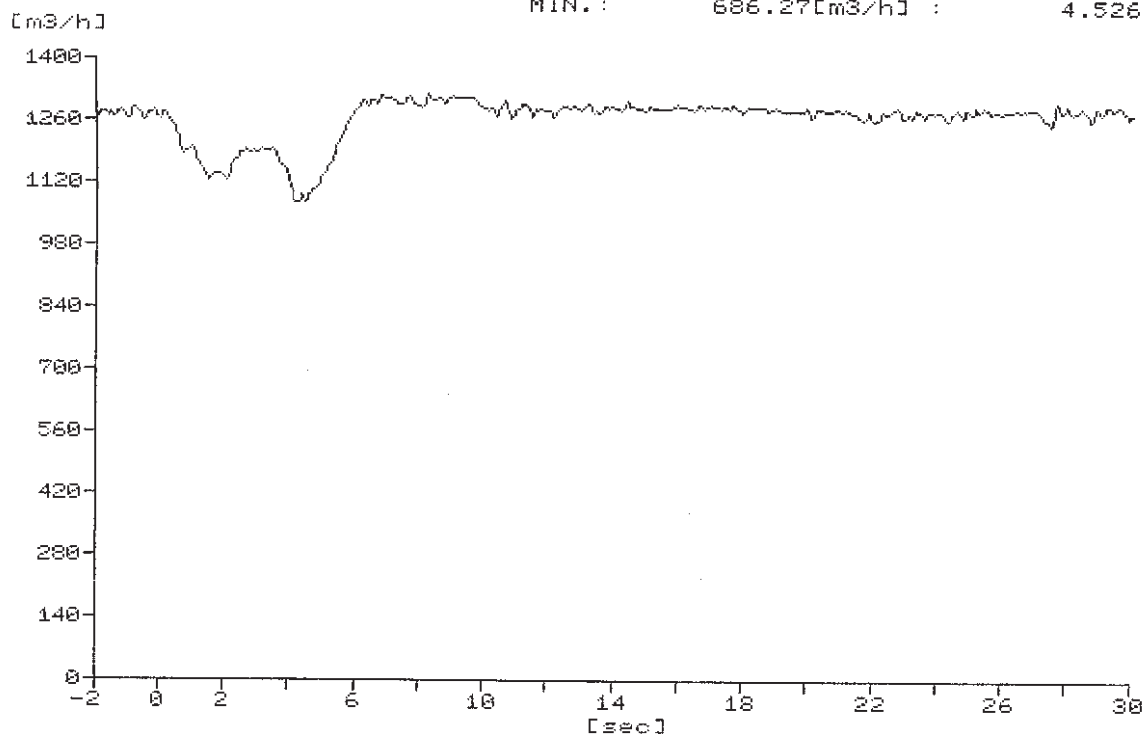


拡大範囲 4.5[sec]~5[sec] 振巾 0 [rpm]~1000 [rpm]

Fig.4.17 Revolution order diagram at instantaneous loss of electric power
(瞬停時回転数指令線図)

(12) Na. FLOW Q.

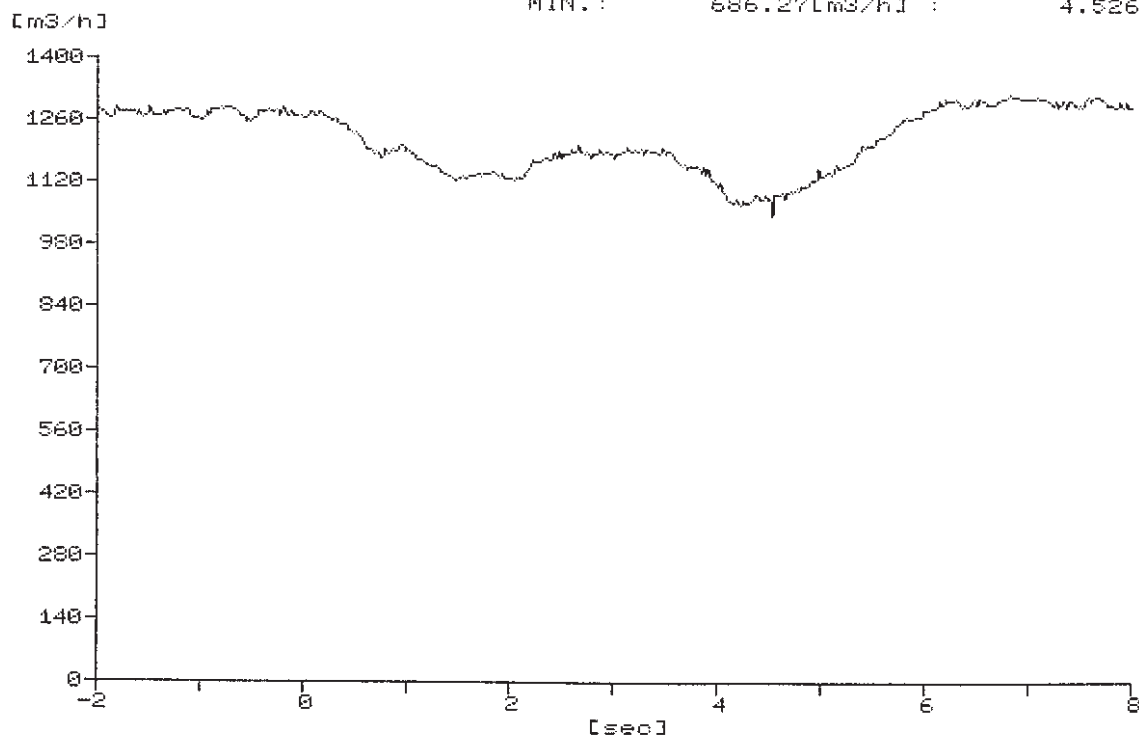
MAX.: 1367.06[m³/h] : 17.634[sec]
MIN.: 686.27[m³/h] : 4.526[sec]



拡大範囲 -2[sec]~30[sec] 振巾 0[m³/h]~1400[m³/h]

(12) Na. FLOW Q.

MAX.: 1345.1[m³/h] : 6.856[sec]
MIN.: 686.27[m³/h] : 4.526[sec]

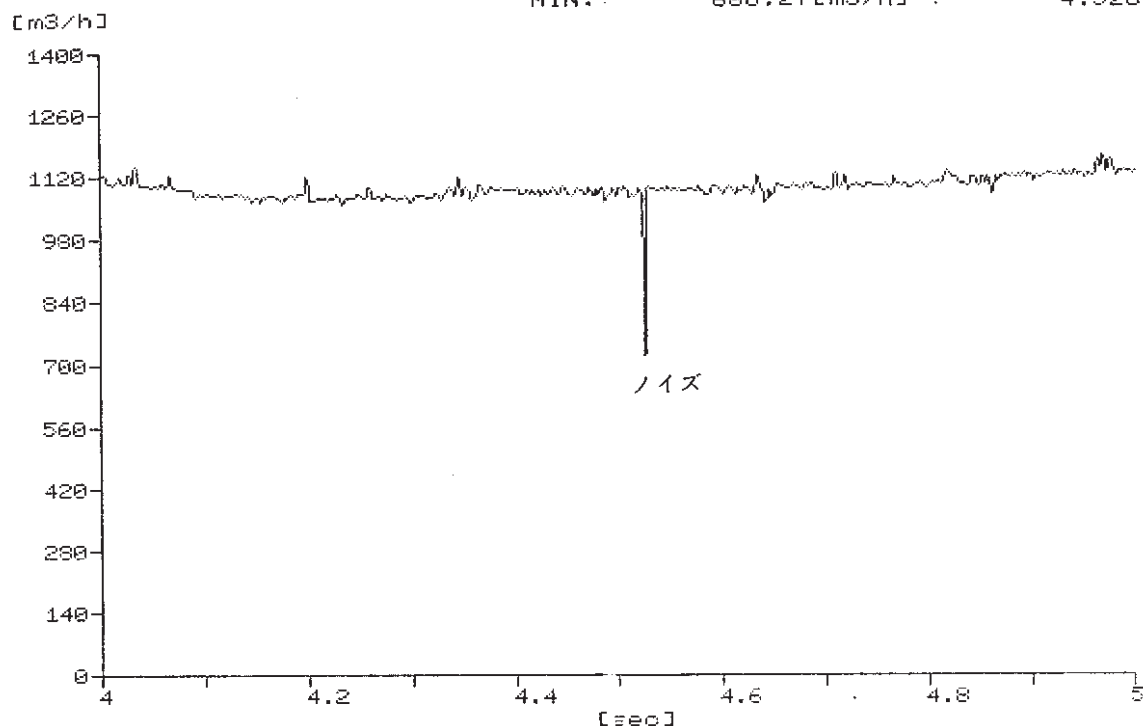


拡大範囲 -2[sec]~8[sec] 振巾 0[m³/h]~1400[m³/h]

Fig.4.18 Sodium flow diagram at instantaneous loss of electric power
(瞬停時 Na 流量線図)

(12) Na. FLOW Q.

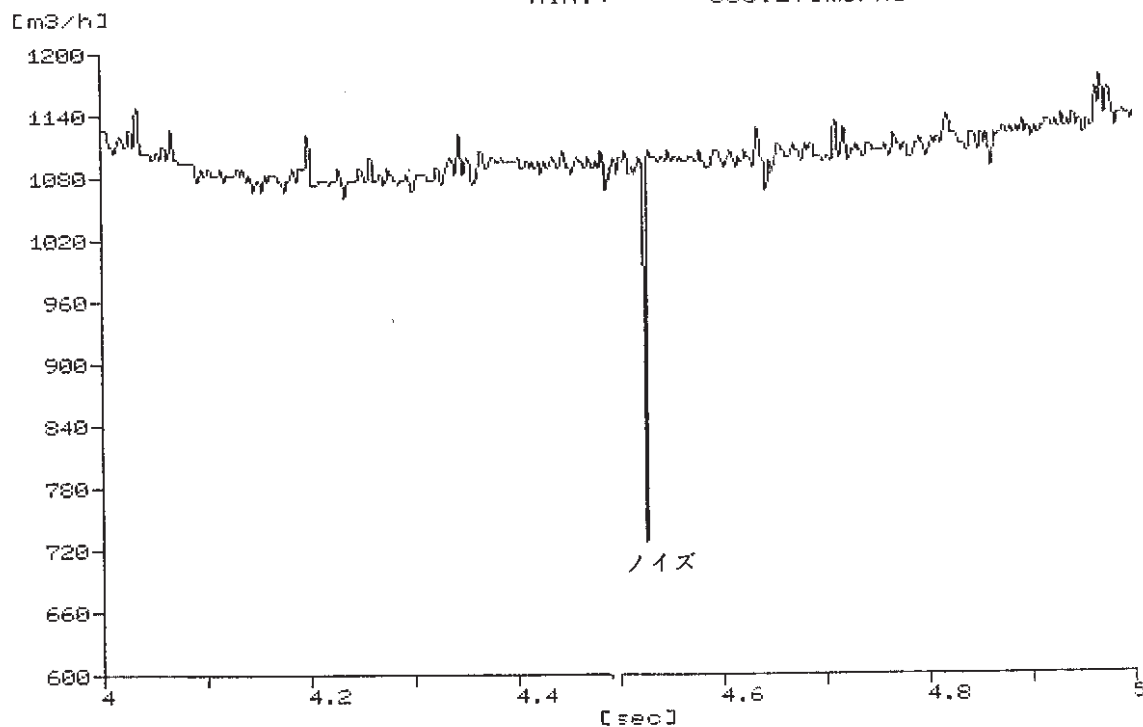
MAX.: 1185.88[m3/h] : 4.968[sec]
MIN.: 686.27[m3/h] : 4.526[sec]



拡大範囲 4[sec] ~ 5[sec] 振巾 [[m3/h] ~ 1400[m3/h]

(12) Na. FLOW Q.

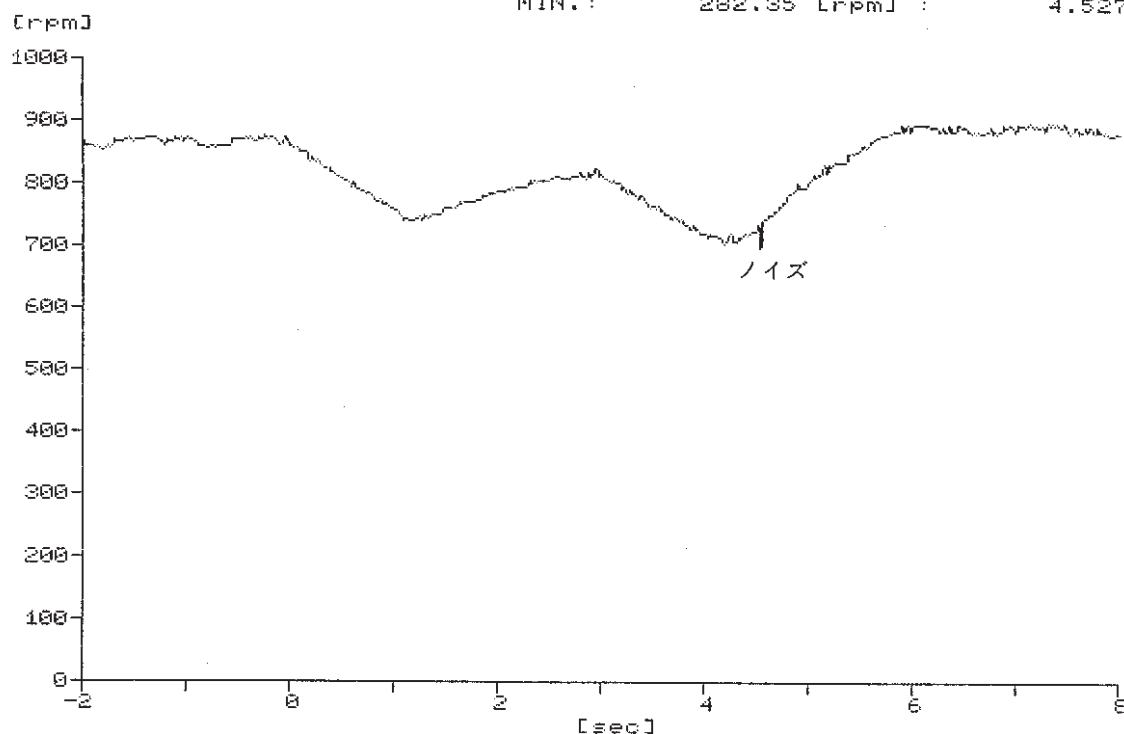
MAX.: 1185.88[m3/h] : 4.968[sec]
MIN.: 686.27[m3/h] : 4.526[sec]



拡大範囲 4[sec] ~ 5[sec] 振巾 600[m3/h] ~ 1200[m3/h]

(13) PUMP rpm

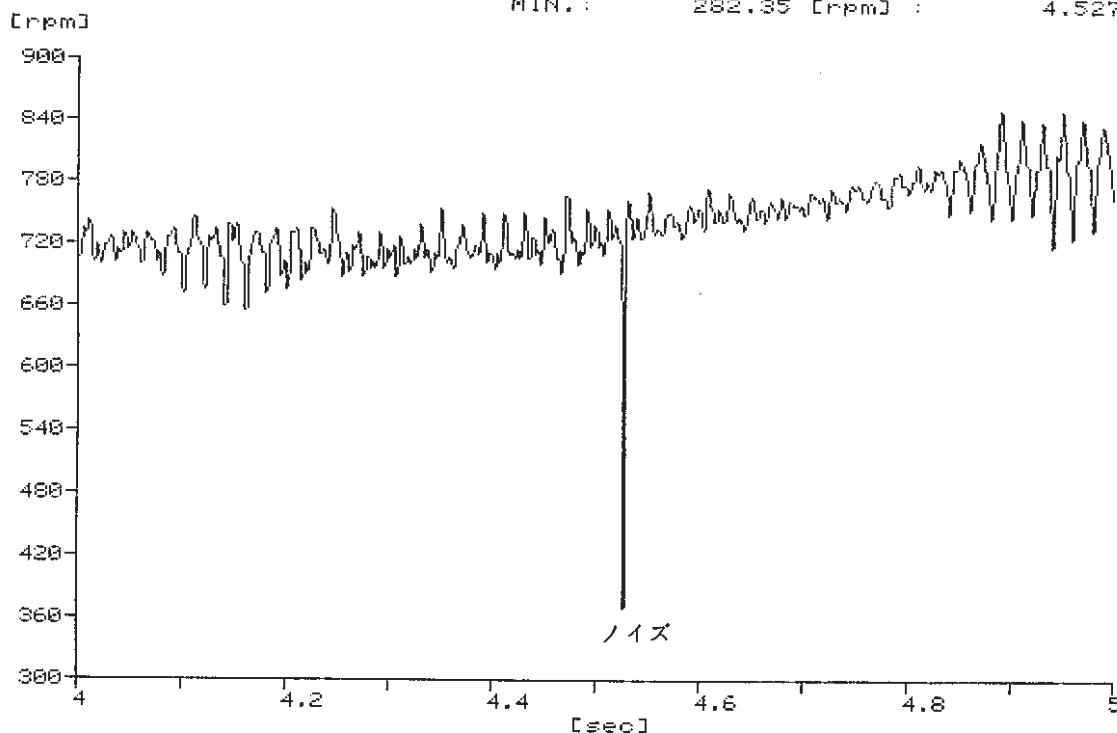
MAX.: 952.94 [rpm] : 7.47[sec]
MIN.: 282.35 [rpm] : 4.527[sec]



拡大範囲 -2[sec]~ 8[sec] 振巾 0 [rpm]~ 1000 [rpm]

(13) PUMP rpm

MAX.: 858.82 [rpm] : 4.889[sec]
MIN.: 282.35 [rpm] : 4.527[sec]

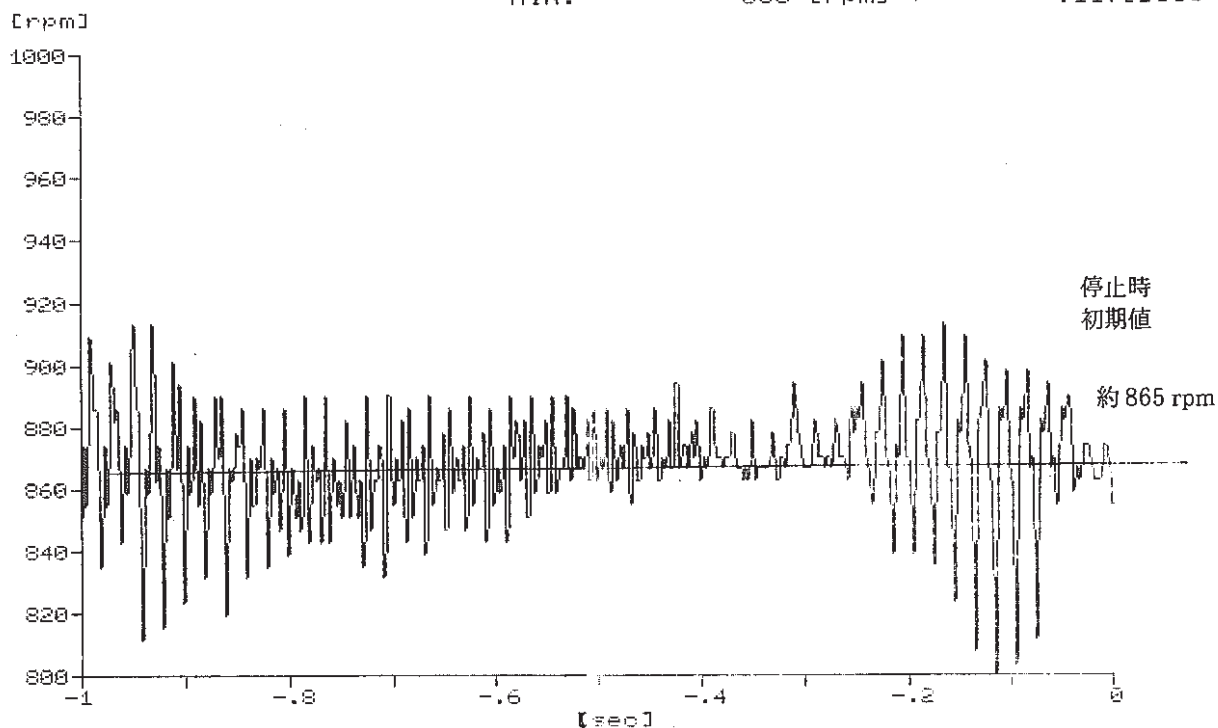


拡大範囲 4[sec]~ 5[sec] 振巾 300 [rpm]~ 900 [rpm]

Fig.4.19 Revolution diagram at instantaneous loss of electric power
(瞬停時回転数線図)

(13) PUMP rpm

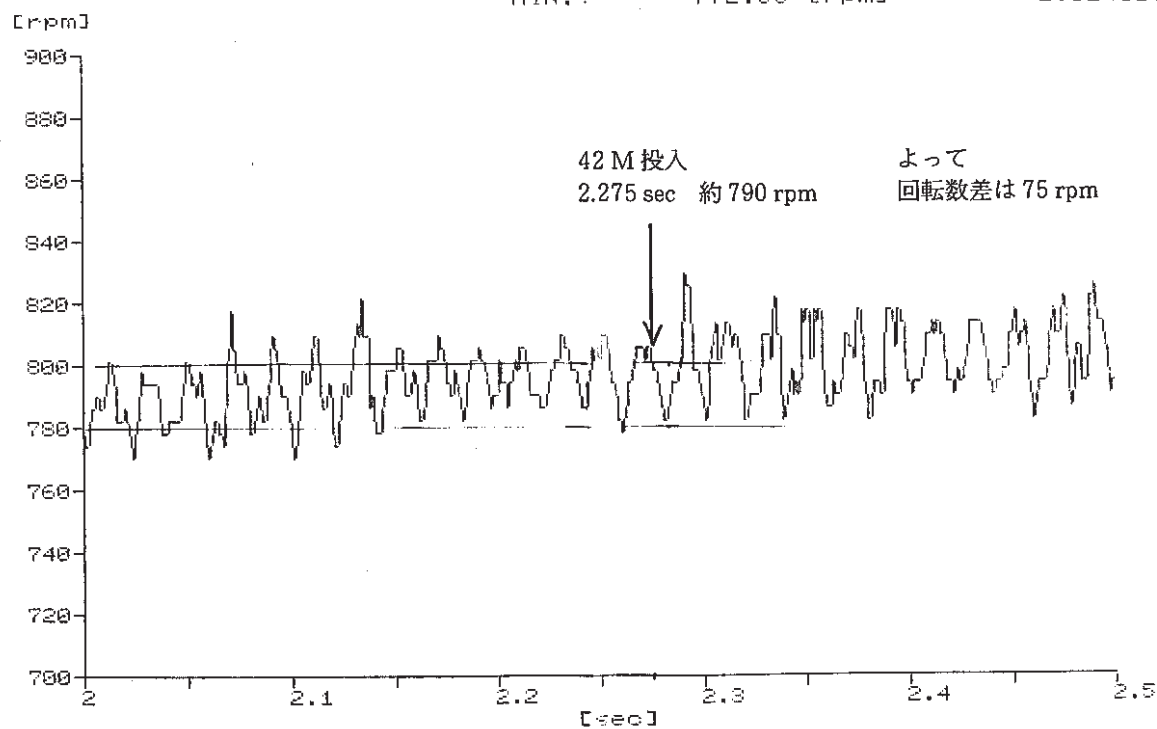
MAX. 921.57 [rpm] : -.95[sec]
MIN. 888 [rpm] : -.117[sec]



拡大範囲 -1[sec] ~ 0[sec] 振巾 800 [rpm] ~ 1000 [rpm]

(13) PUMP rpm

MAX. 831.37 [rpm] : 2.291[sec]
MIN. 772.55 [rpm] : 2.024[sec]



拡大範囲 2[sec] ~ 2.5[sec] 振巾 700 [rpm] ~ 900 [rpm]

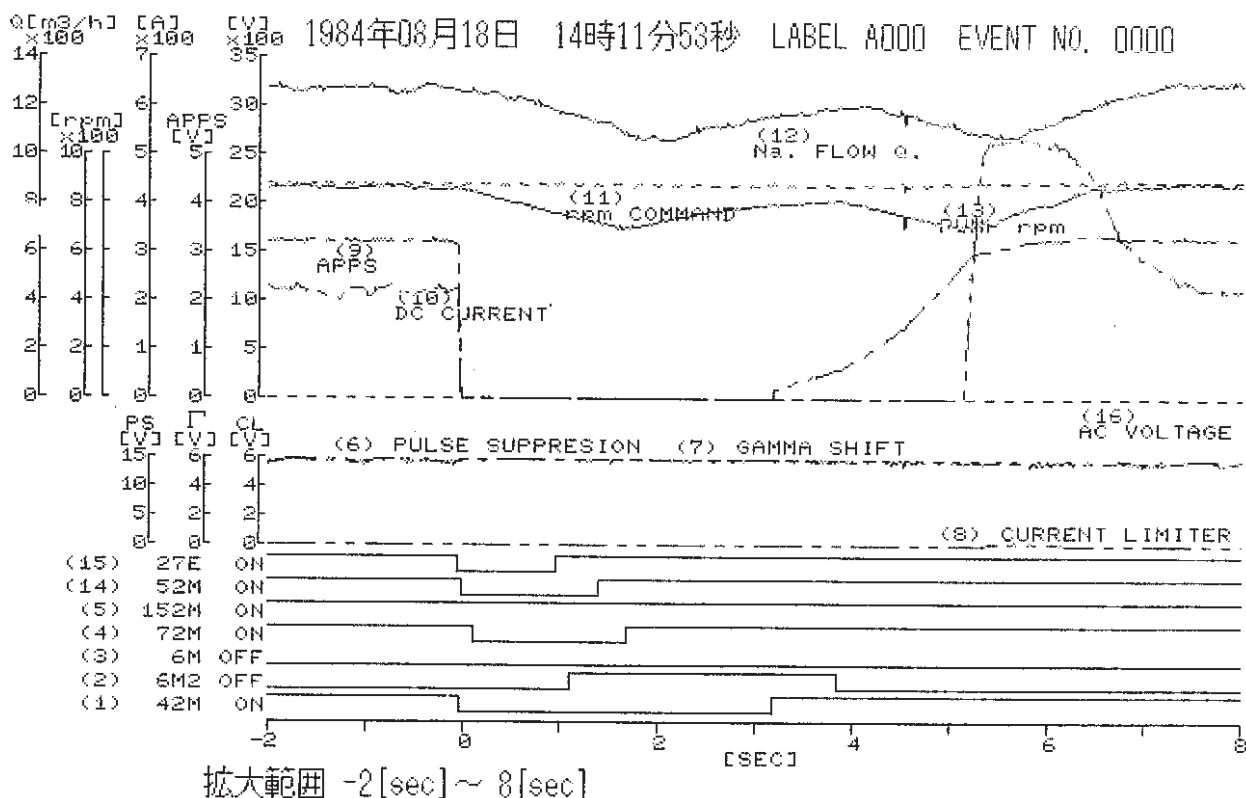
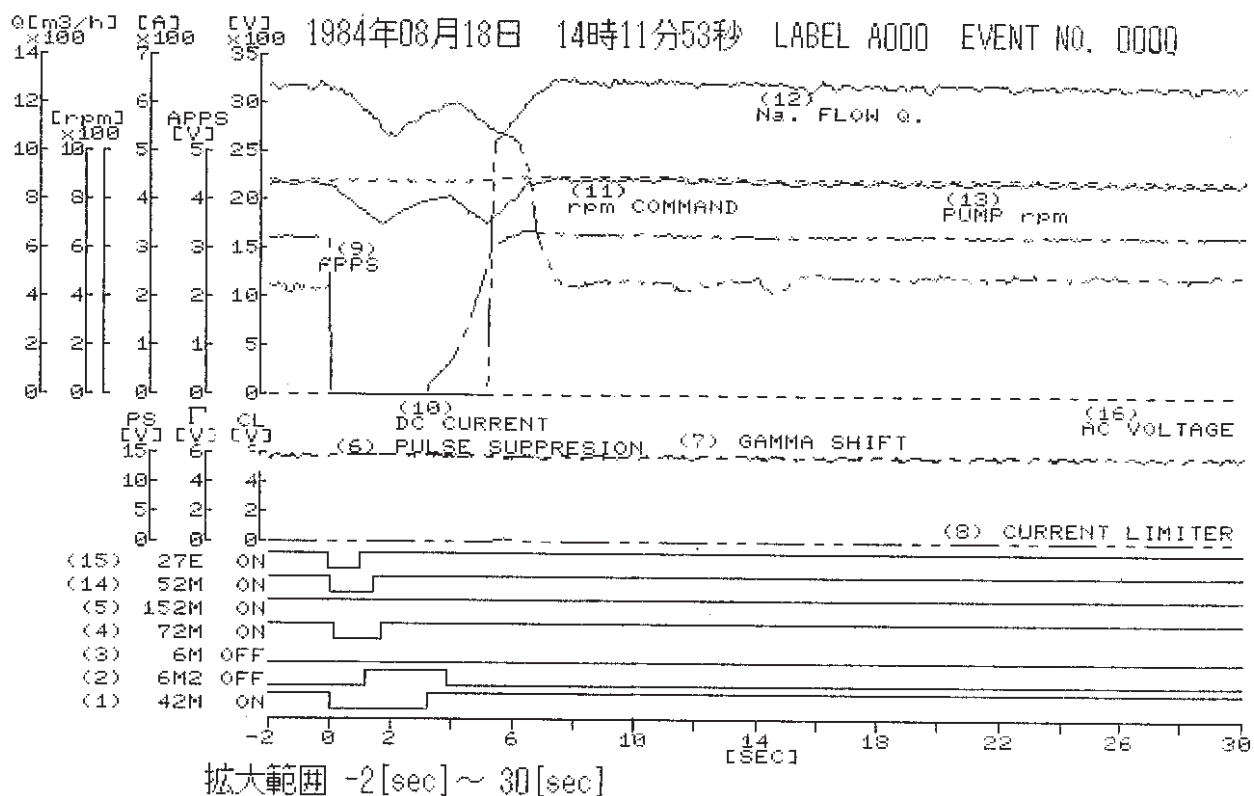


Fig. 4.20 Synthetic motion diagram at instantaneous loss of electric power (at 1 second)
(瞬停時総合動作線図(1.0秒瞬停))

Table 4.6 List of synthetic motion at instantaneous loss of electric power
(at 1 second)

(瞬停時総合動作表 (1.0 秒瞬停時))

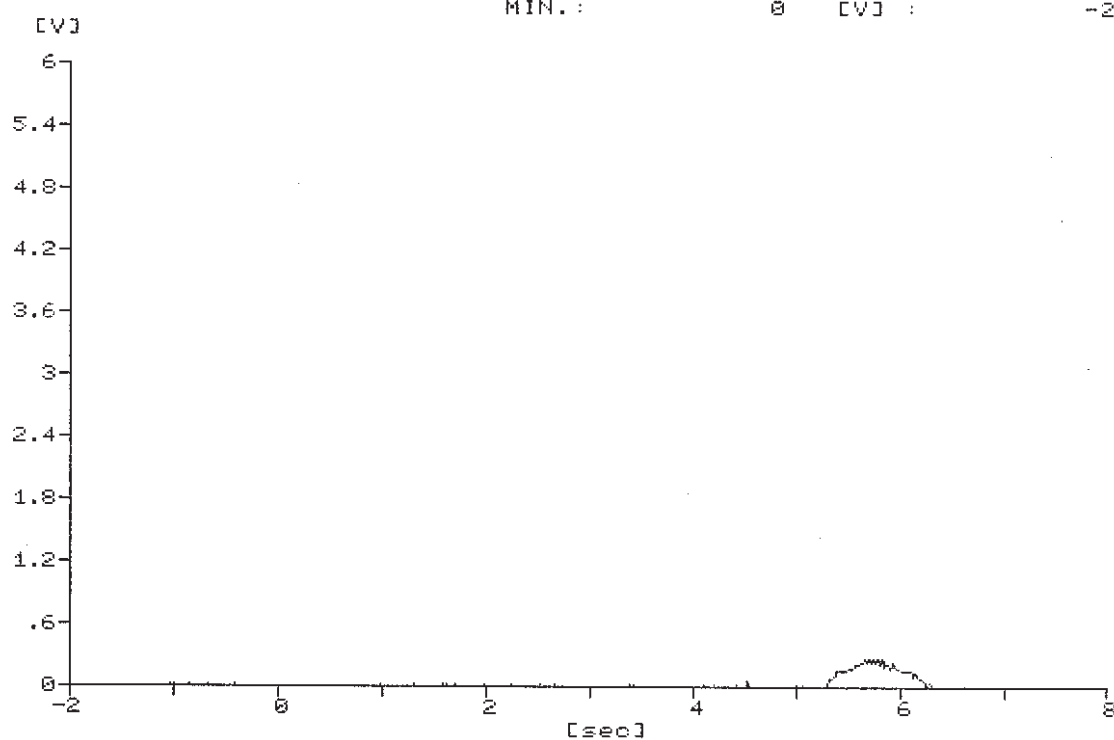
発生時刻：1984 年 08 月 18 日 14 時 17 分 28 秒 LABEL A 000 EVENT NO. 0000

ディジタル信号	初期状態	動作時刻	復帰時刻
(1) 42 M	ON	OFF : -0.037 sec	ON : 3.186 sec
(2) 6 M 2	OFF	ON : 1.106 sec	OFF : 3.849 sec
(3) 6 M	OFF	ON :	OFF :
(4) 72 M	ON	OFF : 0.102 sec	ON : 1.664 sec
(5) 152 M	ON	OFF :	ON :
(14) 52 M	ON	OFF : -0.019 sec	ON : 1.407 sec
(15) 27 E	ON	OFF : -0.054 sec	ON : 0.967 sec

アナログ信号	初期値	最大値	
(6) PULSE SUPPRESION	11.2 V	15.0 V : -1.189 sec	3.7 V : 11.081 sec
(7) GAMMA SHIFT	12.9 V	14.9 V : -1.364 sec	5.3 V : 4.527 sec
(8) CURRENT LIMITER	0.00 V	4.16 V : 17.634 sec	0.0 V : -2.000 sec
(9) APPS	3.25 V	4.29 V : 24.188 sec	0.00 V : -0.026 sec
(10) DC CURRENT	228 A	557 A : 5.675 sec	0 A : -0.018 sec
(11) rpm COMMAND	882 rpm	953 rpm : 17.634 sec	537 rpm : 4.526 sec
(12) Na. FLOW Q.	1268 m ³ /h	1373 m ³ /h : 11.080 sec	730 m ³ /h : 4.526 sec
(13) PUMP rpm	859 rpm	969 rpm : 13.858 sec	286 rpm : 4.527 sec
(16) AC VOLTAGE	0 V	343 V : 4.526 sec	0 V : -2.000 sec

(8) CURRENT LIMITER

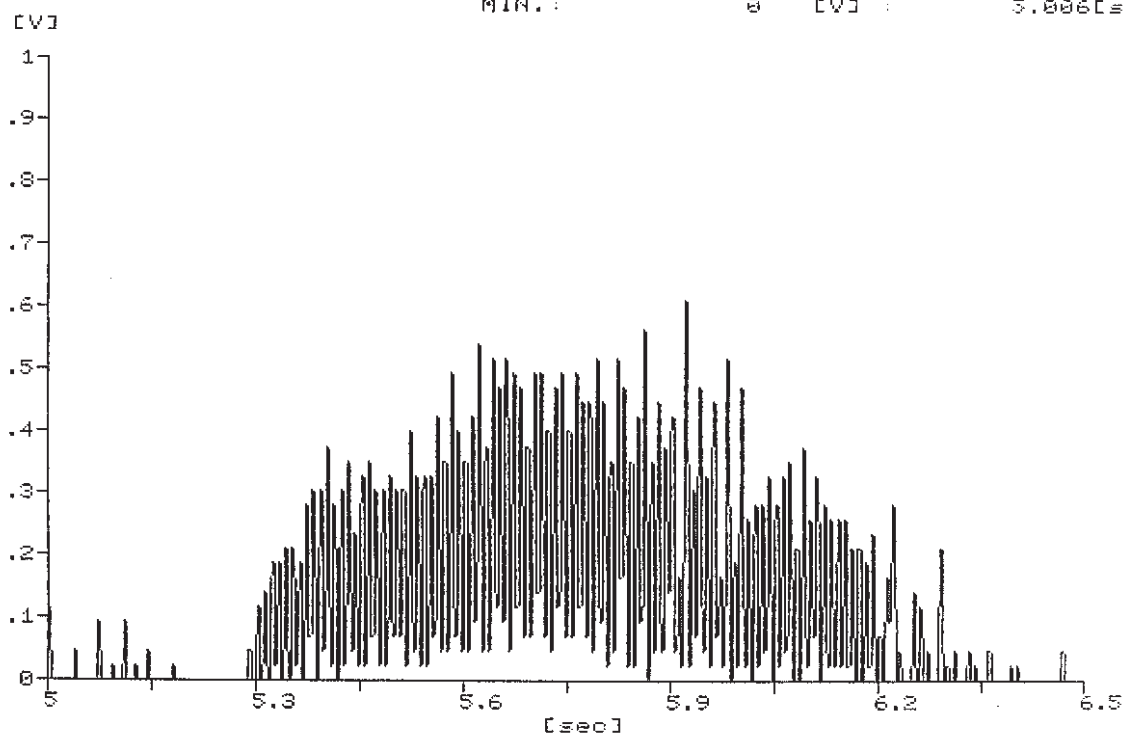
MAX.: .66 [V] : 5.922[sec]
 MIN.: 0 [V] : -2[sec]



拡大範囲 -2[sec]~8[sec] 振巾 0 [V]~6 [V]

(8) CURRENT LIMITER

MAX.: .66 [V] : 5.922[sec]
 MIN.: 0 [V] : 5.006[sec]

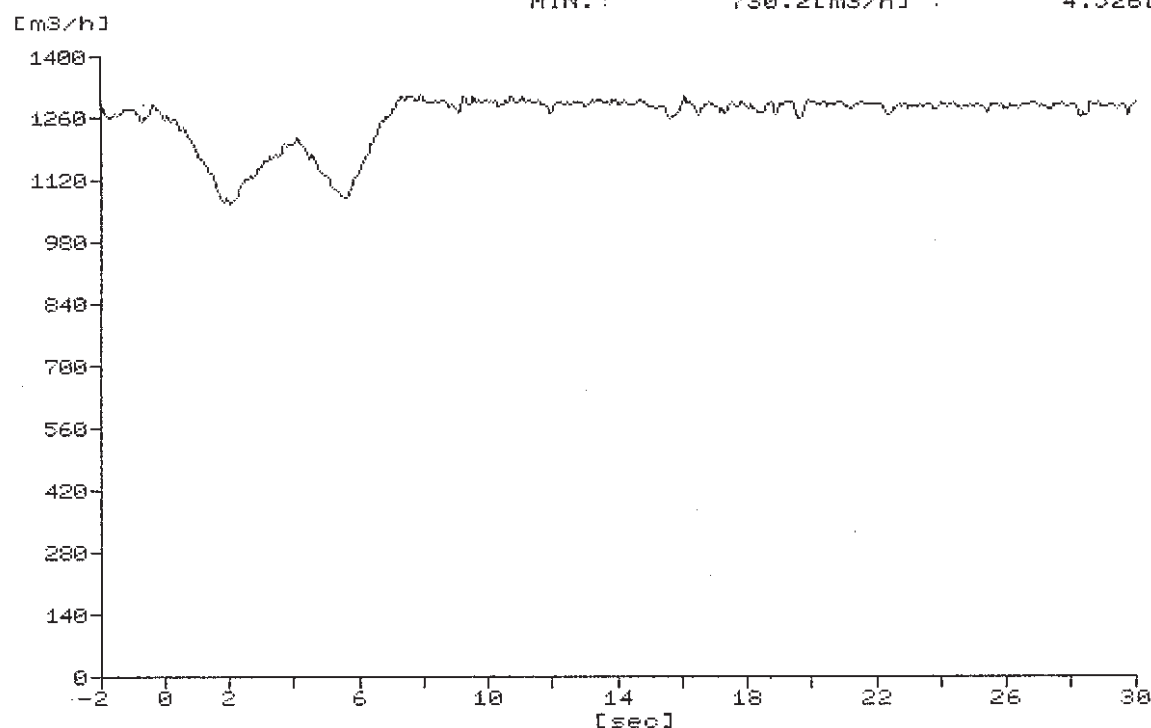


拡大範囲 5[sec]~6.5[sec] 振巾 0 [V]~1 [V]

Fig.4.21 Current limiter diagram at instantaneous loss of electric power (at 1 second)
 (瞬停時カレントリミッター線図(1.0秒瞬停))

(12) Na. FLOW Q.

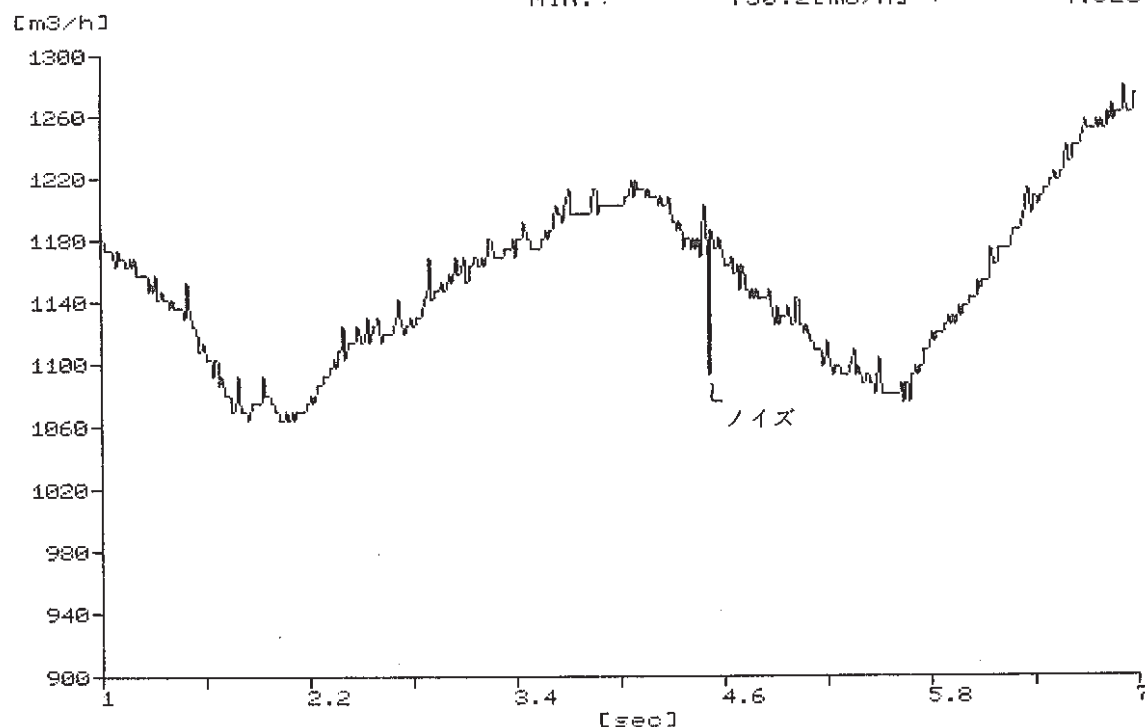
MAX.:	1372.55[m ³ /h]	:	11.08[sec]
MIN.:	730.2[m ³ /h]	:	4.526[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0[m³/h] ~ 1400[m³/h]

(12) Na. FLOW Q.

MAX.:	1301.19[m ³ /h]	:	6.929[sec]
MIN.:	730.2[m ³ /h]	:	4.526[sec]



拡大範囲 1[sec] ~ 7[sec] 振巾 900[m³/h] ~ 1300[m³/h]

Fig.4.22 Sodium flow diagram at instantaneous loss of electric power (at 1 second)
(瞬停時 Na 流量線図 (1.0 秒瞬停))

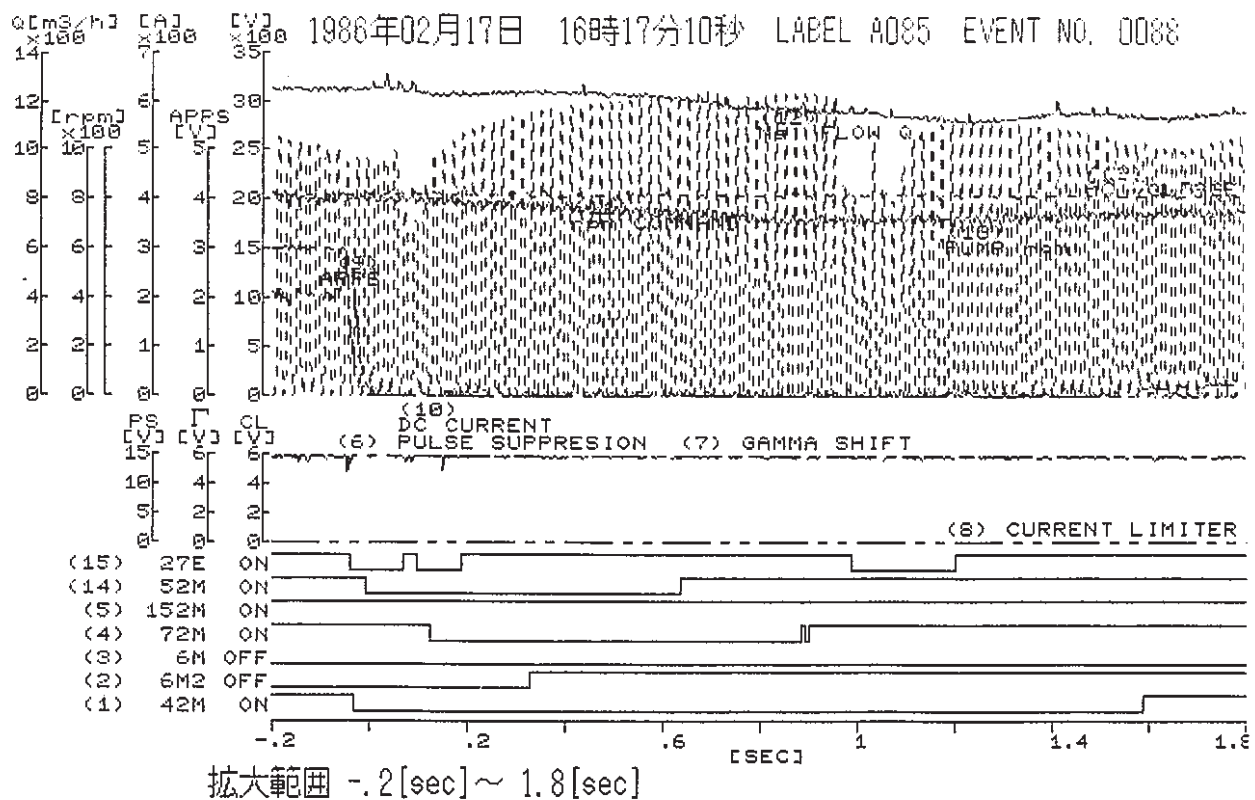
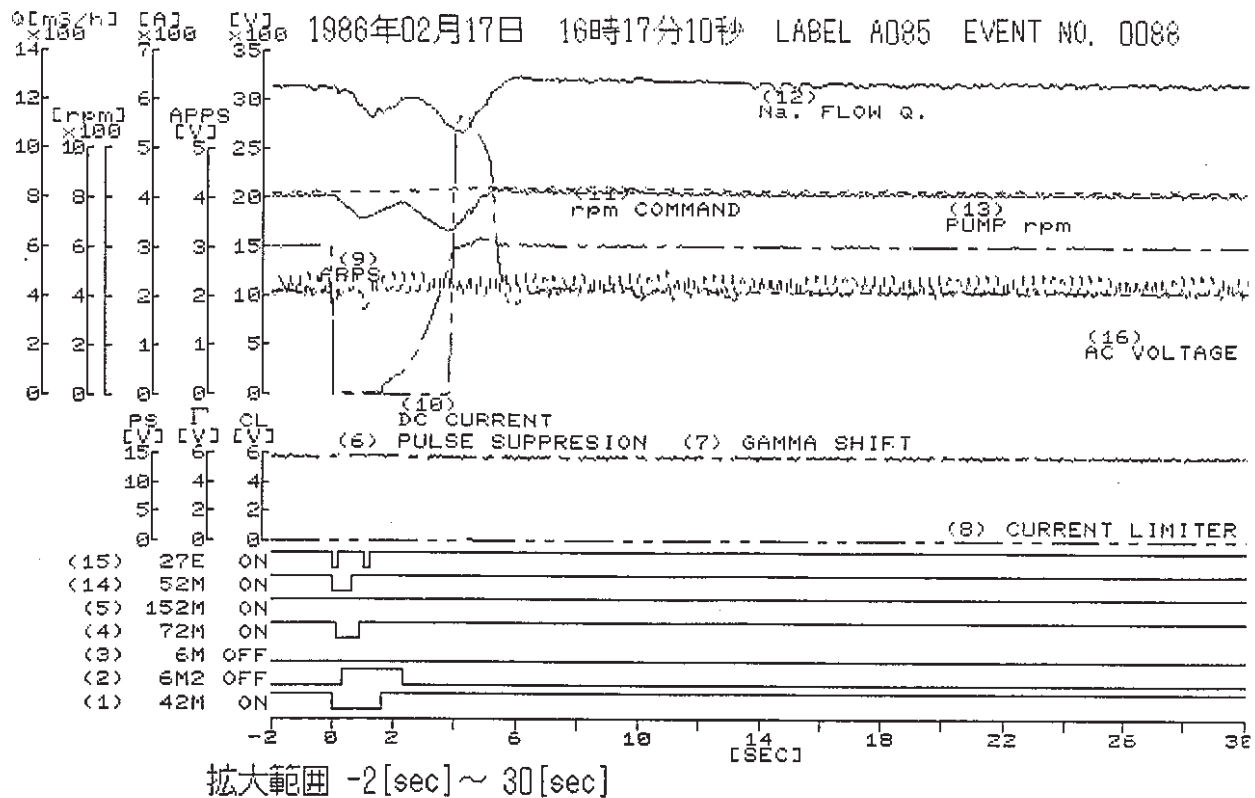


Fig.4.23 Syhthetic motion diagram at instantaneous loss of electric power (FEB.17.1986)
(瞬停時総合動作線図 (昭和 61 年 2 月 17 日))

Table 4.7 List of synthetic motion at instantaneous loss of electric power

(FEB. 17. 1986)

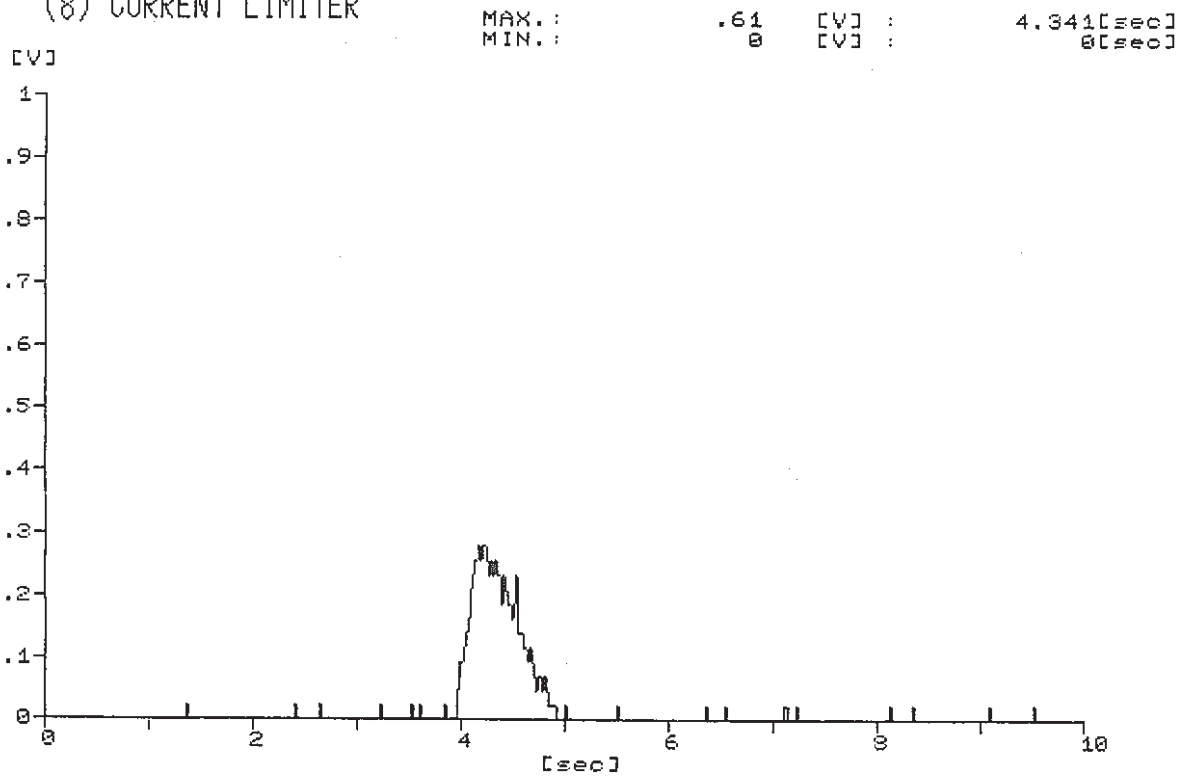
(瞬停時総合動作表(昭和61年2月17日))

発生時刻: 1986年02月17日 16時17分10秒 LABEL A 085 EVENT NO. 0088

デジタル信号	初期状態	動作時刻	復帰時刻
(1) 42 M	ON	OFF : -0.032 sec	ON : 1.588 sec
(2) 6 M 2	OFF	ON : 0.329 sec	OFF : 2.277 sec
(3) 6 M	OFF	ON :	OFF :
(4) 72 M	ON	OFF : 0.122 sec	ON : 0.886 sec
(5) 152 M	ON	OFF :	ON :
(14) 52 M	ON	OFF : -0.009 sec	ON : 0.638 sec
(15) 27 E	ON	OFF : -0.039 sec	ON : 0.068 sec

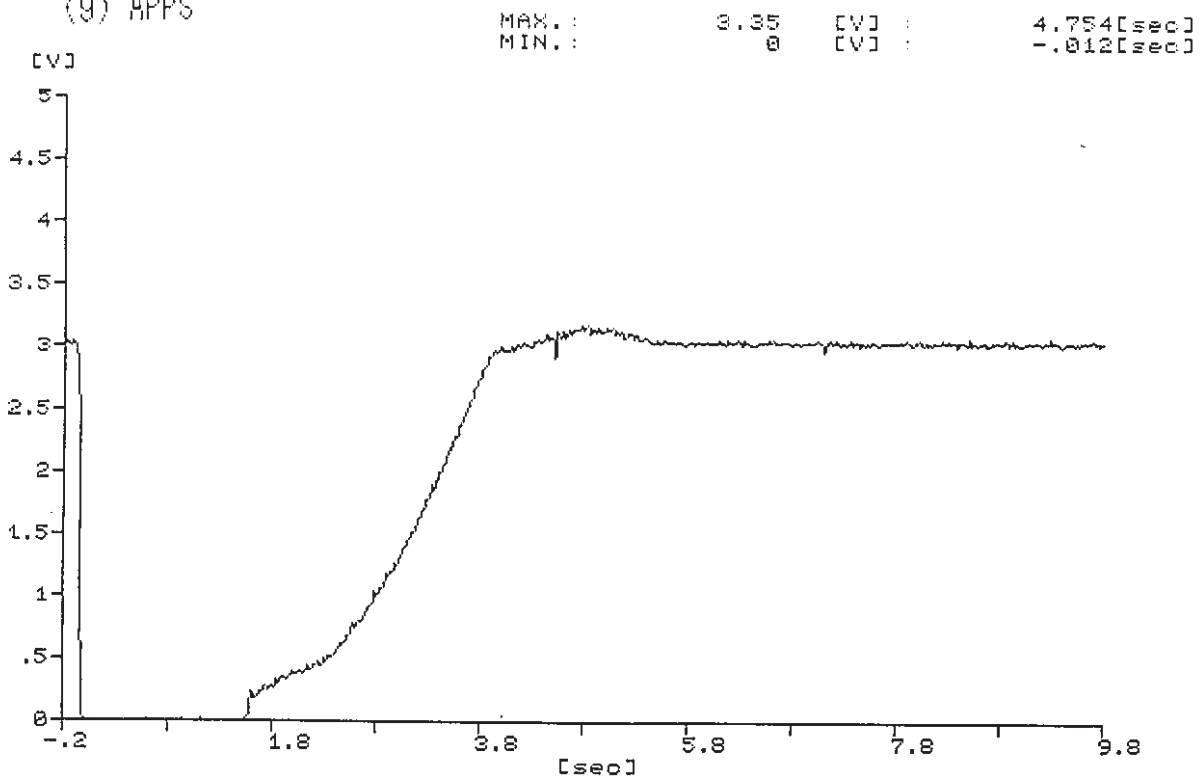
アナログ信号	初期値	最大値	
(6) PULSE SUPPRESSION	14.8 V	15.0 V : 1.869 sec	6.1 V : 4.527 sec
(7) GAMMA SHIFT	14.4 V	15.0 V : 1.521 sec	5.2 V : 4.527 sec
(8) CURRENT LIMITER	0.00 V	4.12 V : 24.188 sec	0.0 V : -2.000 sec
(9) APPS	2.98 V	3.84 V : 24.188 sec	0.00 V : -0.012 sec
(10) DC CURRENT	209 A	590 A : 4.327 sec	0 A : 0.003 sec
(11) rpm COMMAND	804 rpm	941 rpm : 11.080 sec	529 rpm : 4.526 sec
(12) Na. FLOW Q.	1274 m ³ /h	1356 m ³ /h : 17.634 sec	703 m ³ /h : 4.526 sec
(13) PUMP rpm	820 rpm	945 rpm : 17.634 sec	282 rpm : 4.527 sec
(16) AC VOLTAGE	741 V	3363 V : 3.164 sec	0 V : -1.998 sec

(8) CURRENT LIMITER



拡大範囲 0[sec]~10[sec] 振巾 0 [V]~1 [V]

(9) APPS



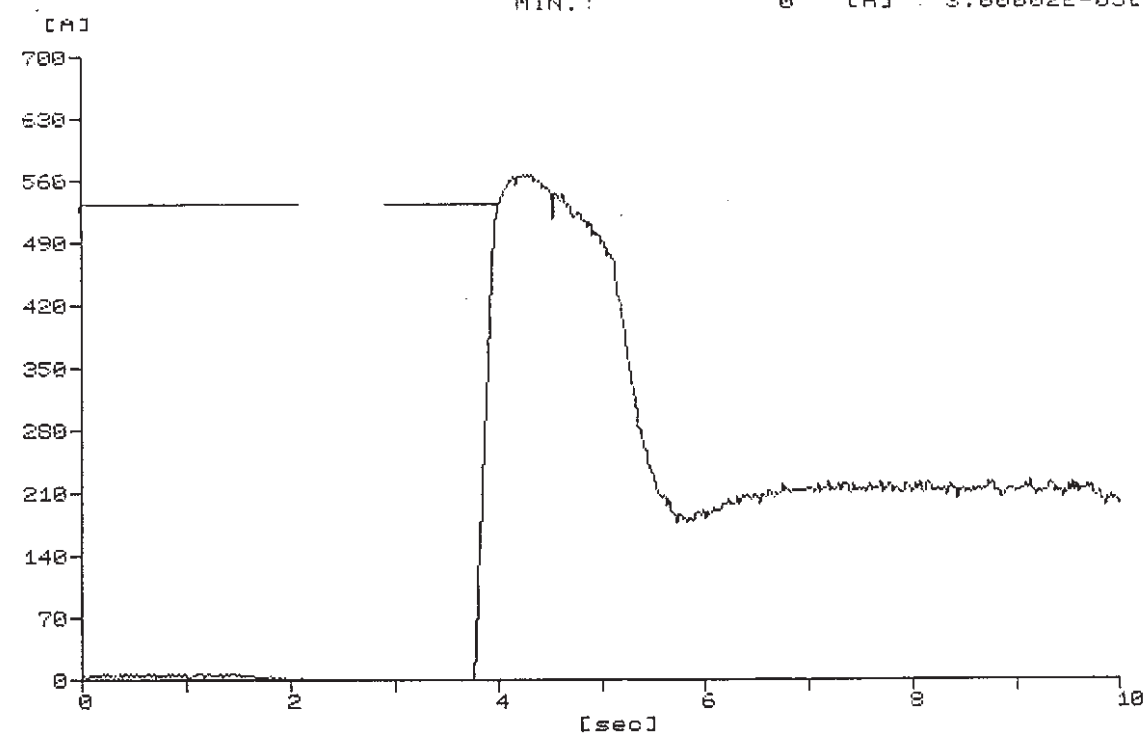
拡大範囲 -0.2[sec]~9.8[sec] 振巾 0 [V]~5 [V]

Fig. 4.24 Current limiter, APPS and DC current diagram at instantaneous loss of electric power (FEB. 17. 1986)

瞬停時カレントリミッタ, APPS, 直流電流線図 (昭和61年2月17日)

(10) DC CURRENT

MAX.: 590.2 [A] : 4.327[sec]
 MIN.: 0 [A] : 3.00002E-03[sec]

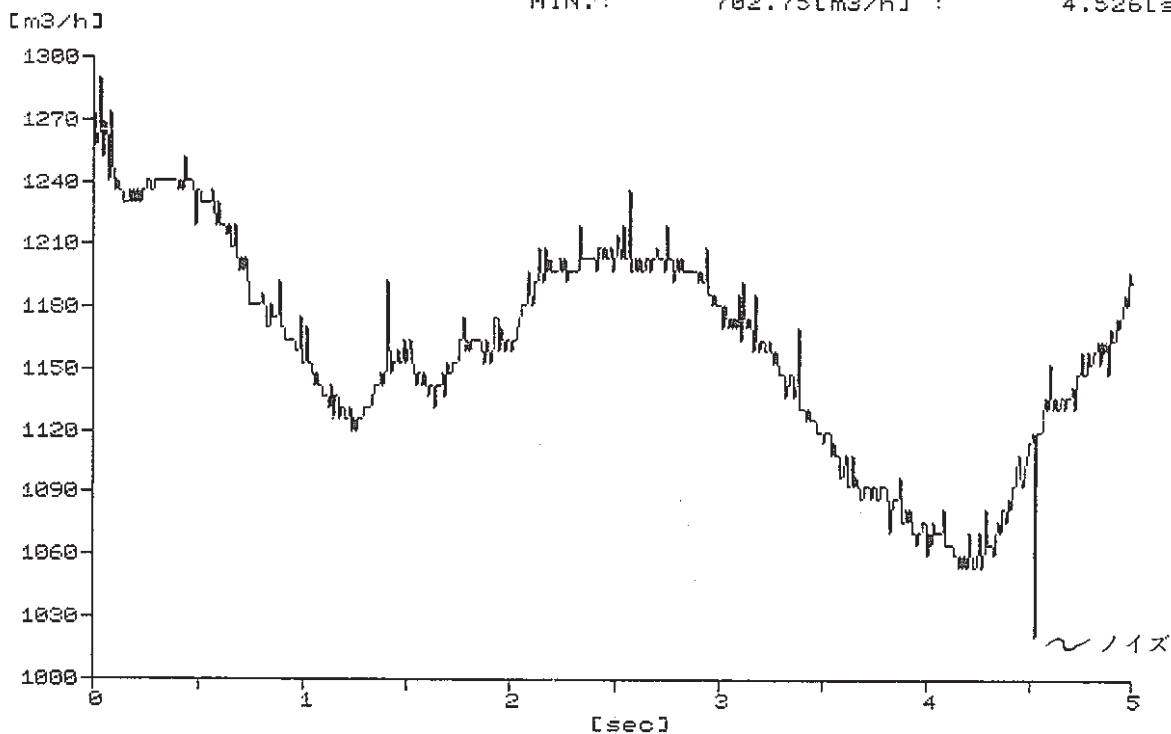


拡大範囲 0[sec] ~ 10[sec] 振巾 0 [A] ~ 700 [A]

Fig. 4.24 (2)

A 号 (12) Na. FLOW Q.

MAX.:	1317.65[m ³ /h]	:	.0320001[sec]
MIN.:	702.75[m ³ /h]	:	4.526[sec]

拡大範囲 0[sec]~5[sec] 振巾 1000[m³/h]~1300[m³/h]

A 号 (12) Na. FLOW Q.

MAX.:	1037.65[m ³ /h]	:	4.441[sec]
MIN.:	1037.65[m ³ /h]	:	4.001[sec]

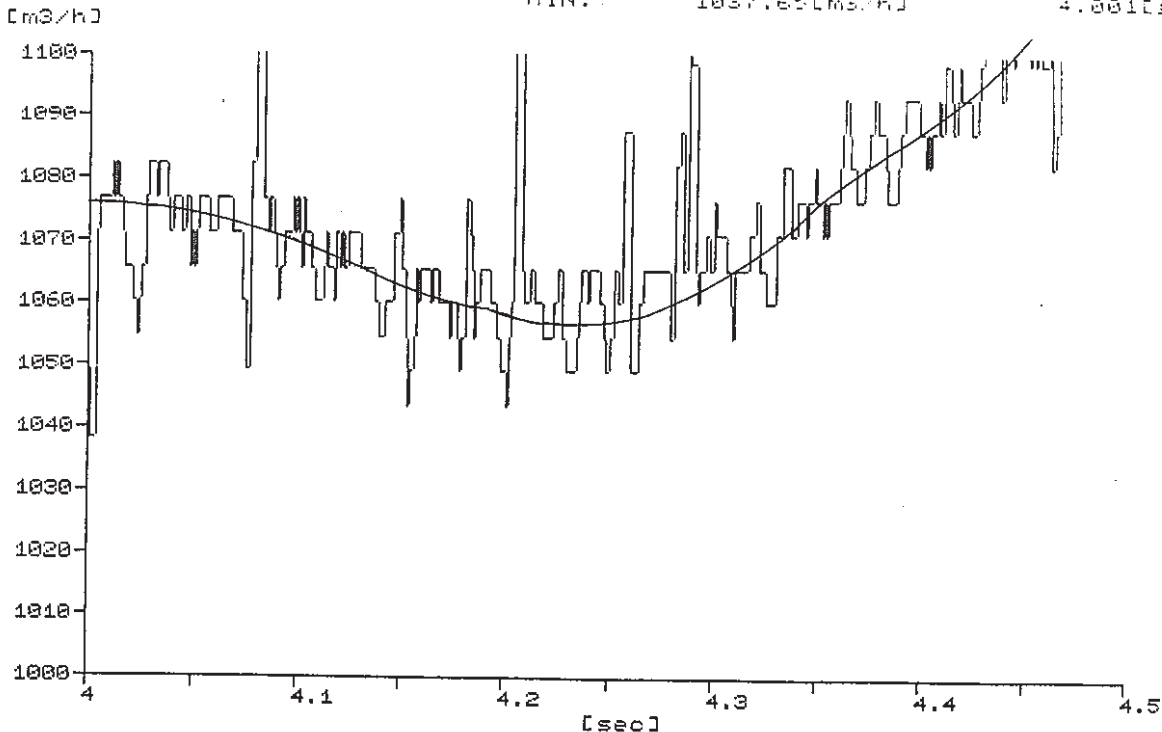
拡大範囲 4[sec]~4.5[sec] 振巾 1000[m³/h]~1100[m³/h]

Fig.4.25 Sodium flow diagram at instantaneous loss of electric power (FEB.17.1986)
(瞬停時 Na 流量線図 (昭和 61 年 2 月 17 日))

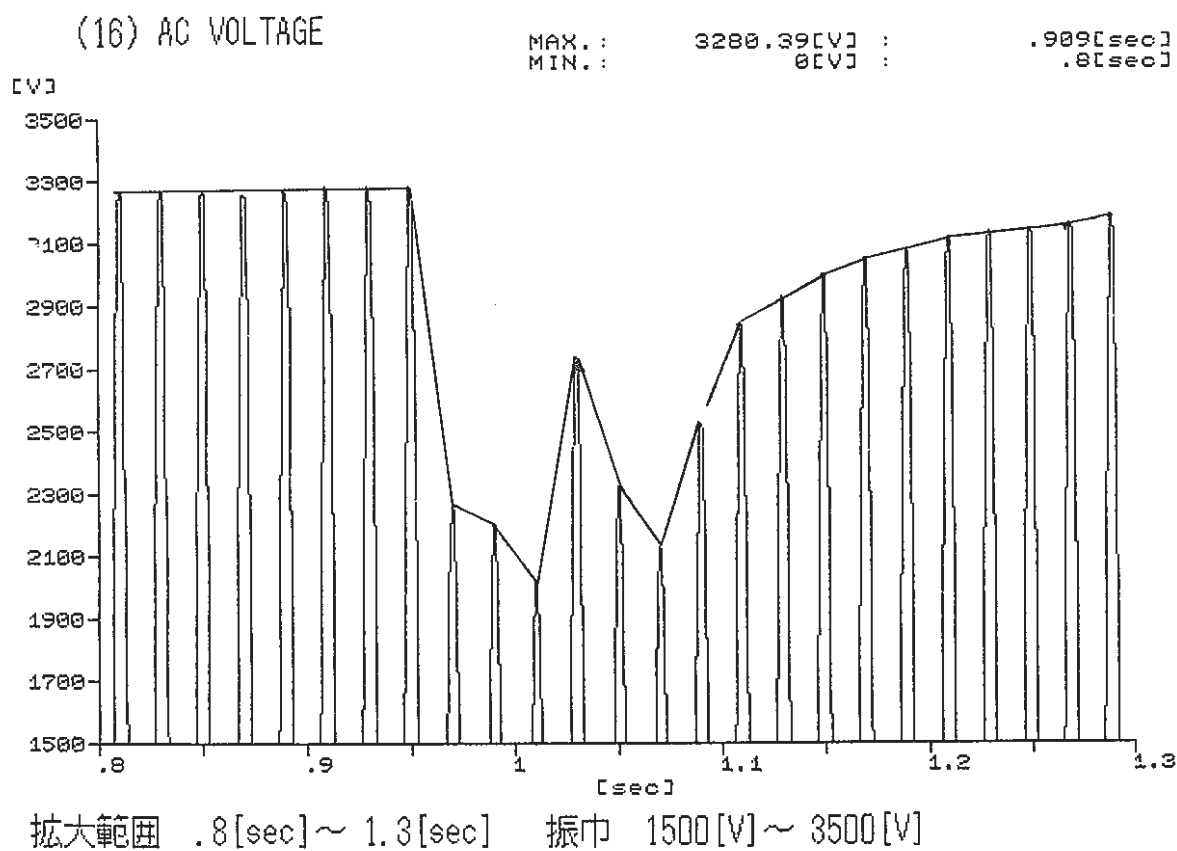
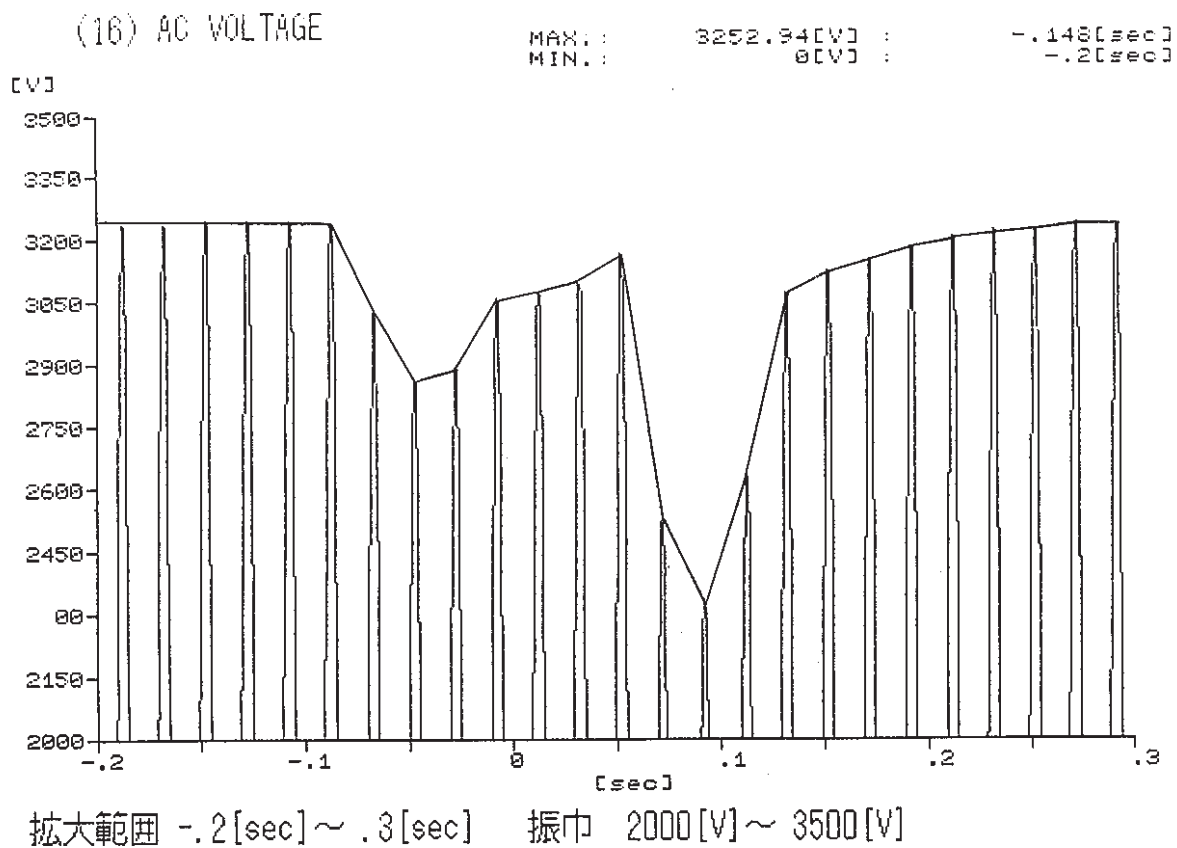


Fig.4.26 A.C voltage diagram at instantaneous loss of electric power (FEB.17.1986)
(瞬停時交流電圧線図 (昭和 61 年 2 月 17 日))

4.4 停電による停止

Fig. 4.27 ~ 4.36 に昭和 60 年 6 月 4 日に実施した電源定検に伴う計画的な外部電源喪失時の記録を示す。この時ポンプは 20 % 流量運転から停止された。

- (1) Fig. 4.36 において、AC 電圧が -0.6 秒より低下を開始したのがわかる。次に Table 4.8 より 85 % 設定の不足電圧継電器 27 E の動作が -0.037 秒であることから継電器の動作遅れは約 20 ms であり、継電器の動作速度定格値を満足している。
- (2) Fig. 4.28 パルスサプレッション、Fig. 4.29 γ シフトの保護信号は停電によって回路の電源を失い、回路内のコンデンサの放電によって徐々に信号が低下していくことがわかる。また 0.07 秒付近に生じている急激な信号の低下は Fig. 4.32 に記録された直流電流に対する保護動作と考えられるが、回路が停電状態にあることから正常な動作とは考えられない。
- (3) Fig. 4.31 の APPS 信号は -0.05 秒より急激に低下しているが、これは停電によるリレー電源の喪失により速度制御のための APPS 要求信号が遮断されるためである。またこの信号が、0.32 秒後から一旦上昇した後徐々に低下しているが、この原因については不明である。
- (4) Fig. 4.32 の直流電流については -0.04 秒付近の電流ピークは停電発生時の外乱による過渡電流と思われるが原因は不明である。次に 0.6 秒 ~ 1.7 秒までに生じている大きな電流は、この時までに電動機と直流回路の間の遮断器 42 M が OFF となりかつ、この電流中に直流回路の 72 M が OFF となっているにもかかわらず発生していることから回路内の DCL やその他に残留するものが放電されたものと考えられる。
- (5) Fig. 4.35 のポンプ回転数は電喪時 205 rpm から低下し 8 秒後にポニーモータ運転に引継がれて、以後 155 rpm で安定運転していることがわかる。

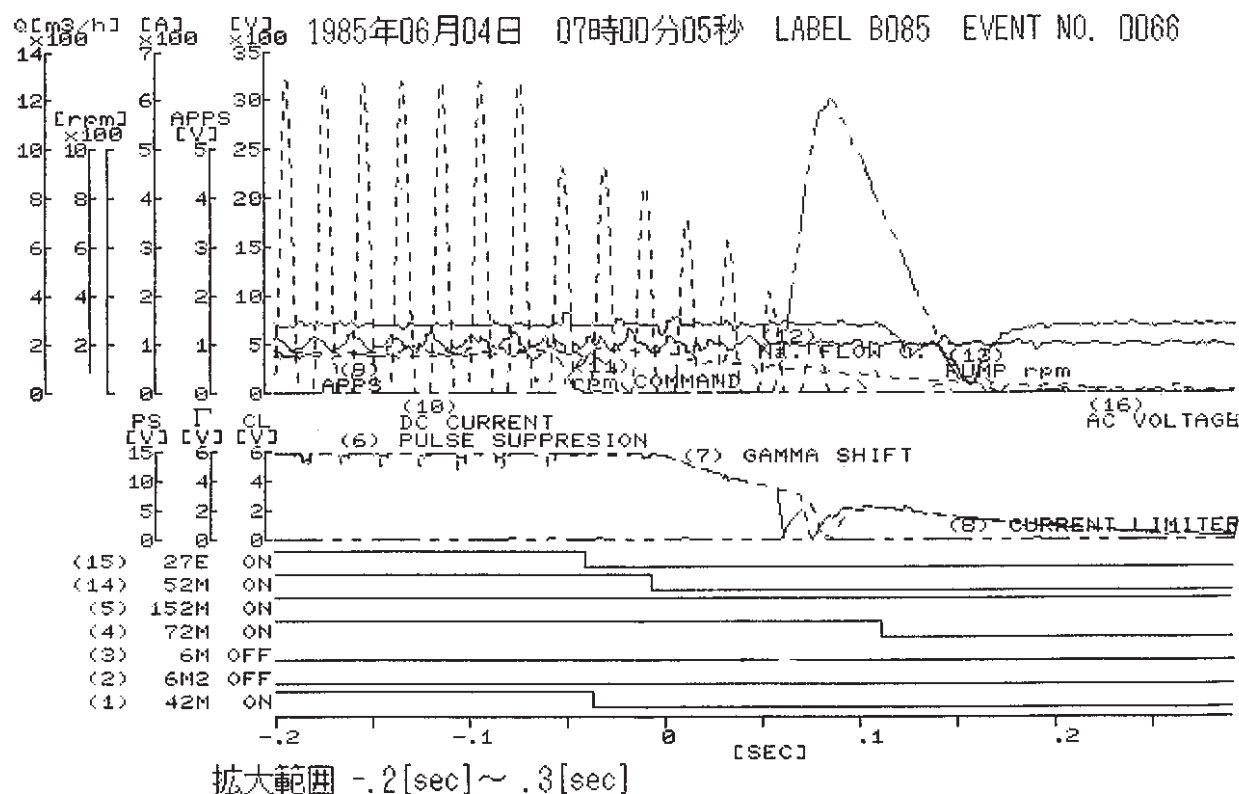
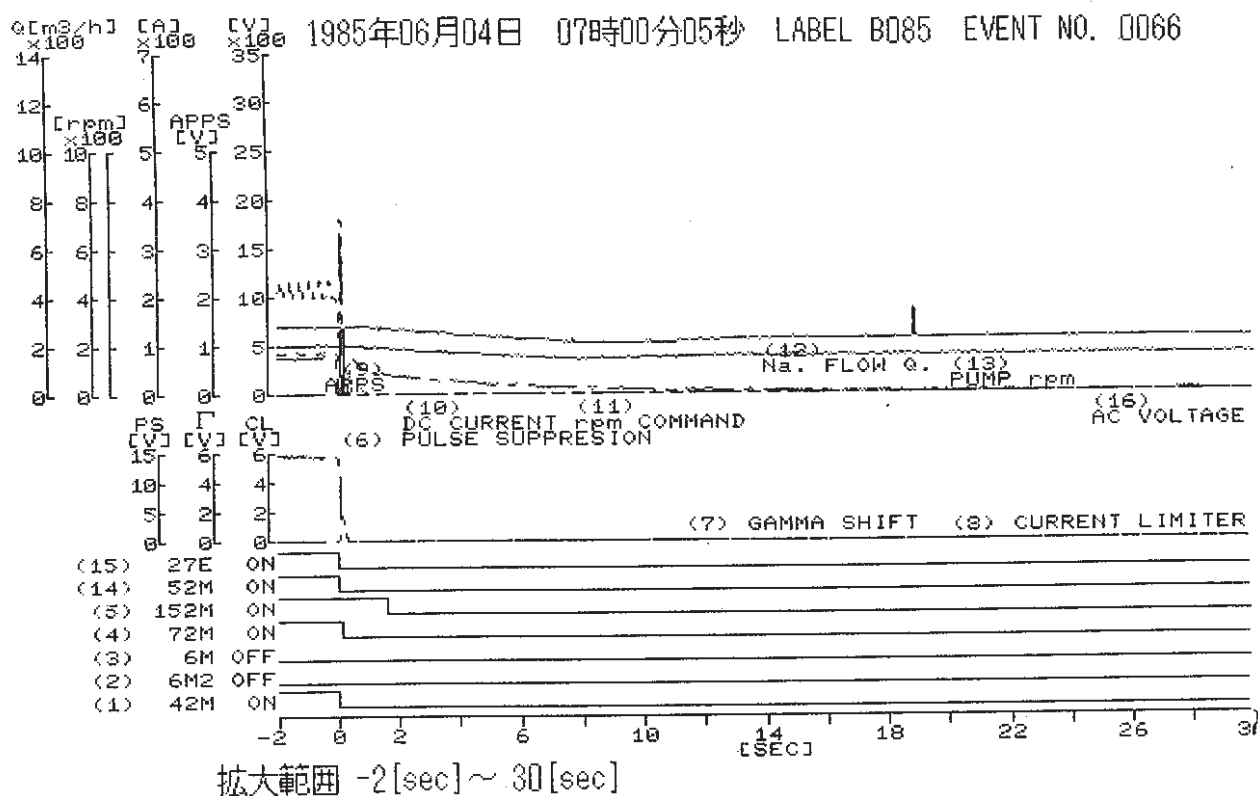


Fig.4.27 Synthetic motion diagram at loss of electric power
(電喪時総合動作線図)

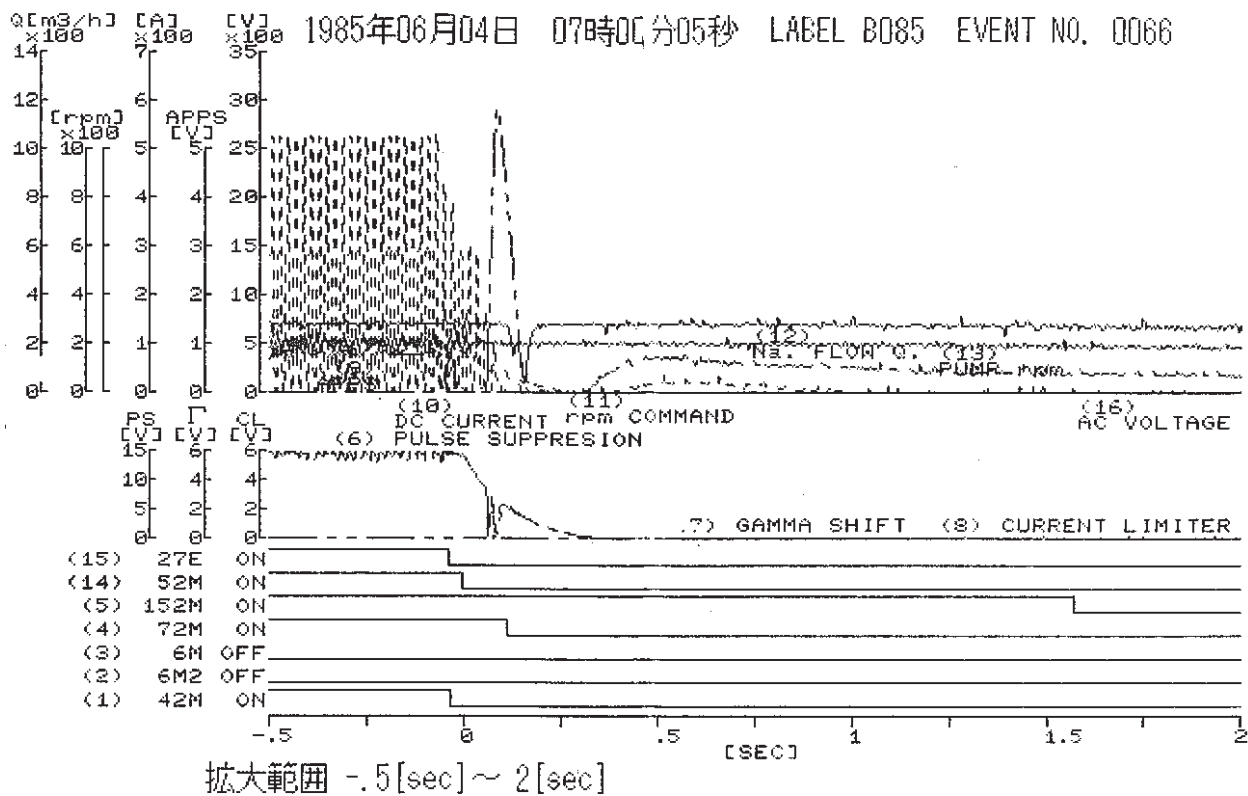


Table 4.8 List of synthetic motion at loss of electric power
(電喪時総合動作表)

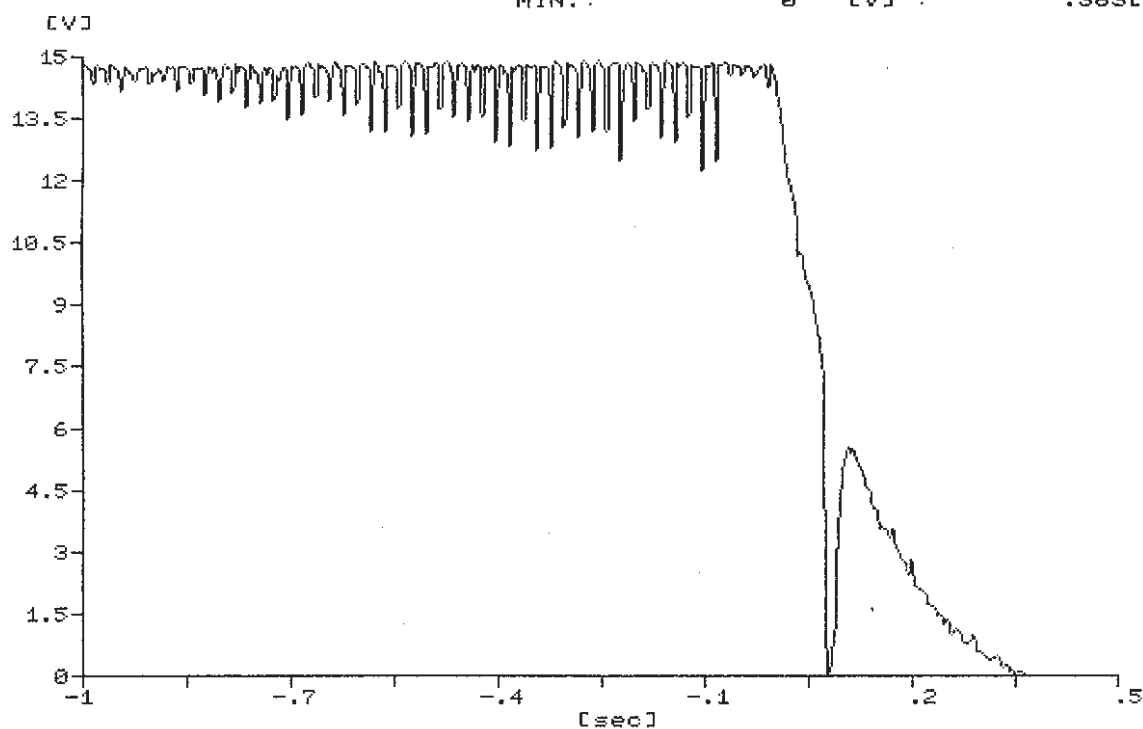
発生時刻：1985年06月04日 07時00分05秒 LABEL B085 EVENT NO. 0066

ディジタル信号	初期状態	動作時刻	復帰時刻
(1) 42 M	ON	OFF : -0.037 sec	ON :
(2) 6 M 2	OFF	ON :	OFF :
(3) 6 M	OFF	ON :	OFF :
(4) 72 M	ON	OFF : 0.111 sec	ON :
(5) 152 M	ON	OFF : 1.567 sec	ON :
(14) 52 M	ON	OFF : -0.007 sec	ON :
(15) 27 E	ON	OFF : -0.041 sec	ON :

アナログ信号	初期値	最大値	最小値
(6) PULSE SUPPRESSION	14.7 V	14.9 V : -1.954 sec	0.0 V : 0.363 sec
(7) GAMMA SHIFT	14.6 V	14.9 V : -1.002 sec	0.0 V : 0.064 sec
(8) CURRENT LIMITER	0.00 V	2.61 V : 0.073 sec	0.0 V : -2.000 sec
(9) APPS	0.80 V	1.20 V : -0.436 sec	0.00 V : -0.038 sec
(10) DC CURRENT	0 A	604 A : 0.085 sec	0 A : -2.000 sec
(11) rpm COMMAND	176 rpm	376 rpm : 11.080 sec	0 rpm : 0.333 sec
(12) Na. FLOW Q.	291 m ³ /h	747 m ³ /h : 18.824 sec	38 m ³ /h : 0.157 sec
(13) PUMP rpm	227 rpm	294 rpm : -1.480 sec	39 rpm : 11.080 sec
(16) AC VOLTAGE	192 V	3212 V : -1.894 sec	0 V : -1.987 sec

(6) PULSE SUPPRESSION

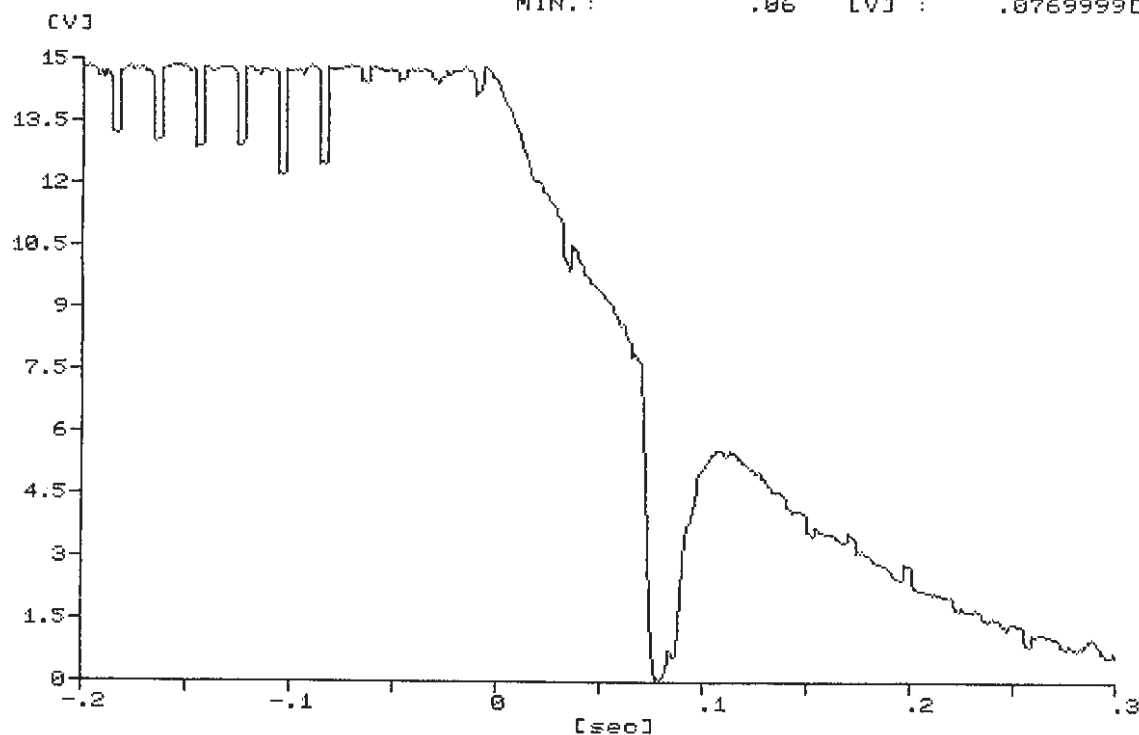
MAX.: 14.94 [V] : -.781[sec]
MIN.: 0 [V] : .363[sec]



拡大範囲 -1[sec]~.5[sec] 振巾 0 [V]~15 [V]

(6) PULSE SUPPRESSION

MAX.: 14.88 [V] : -.2[sec]
MIN.: .06 [V] : .0769999[sec]



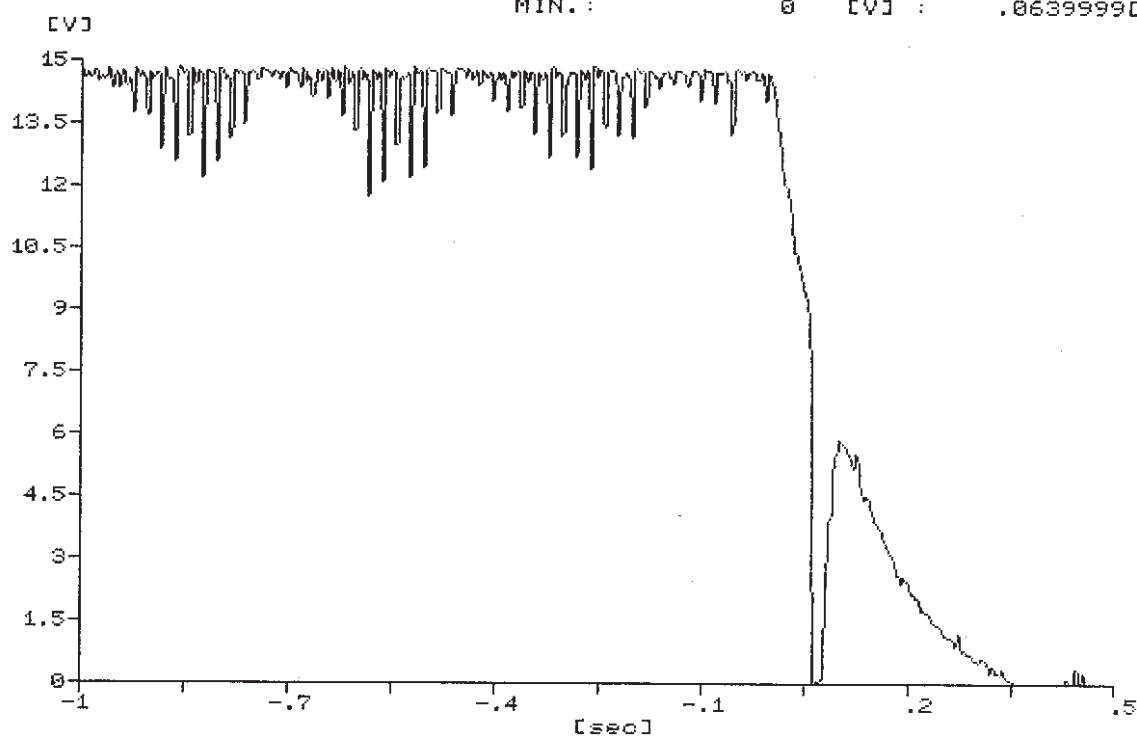
拡大範囲 -.2[sec]~.3[sec] 振巾 0 [V]~15 [V]

Fig.4.28 Pulse suppression diagram at loss of electric power

(電喪時パルスサプレッション線図)

(7) GAMMA SHIFT

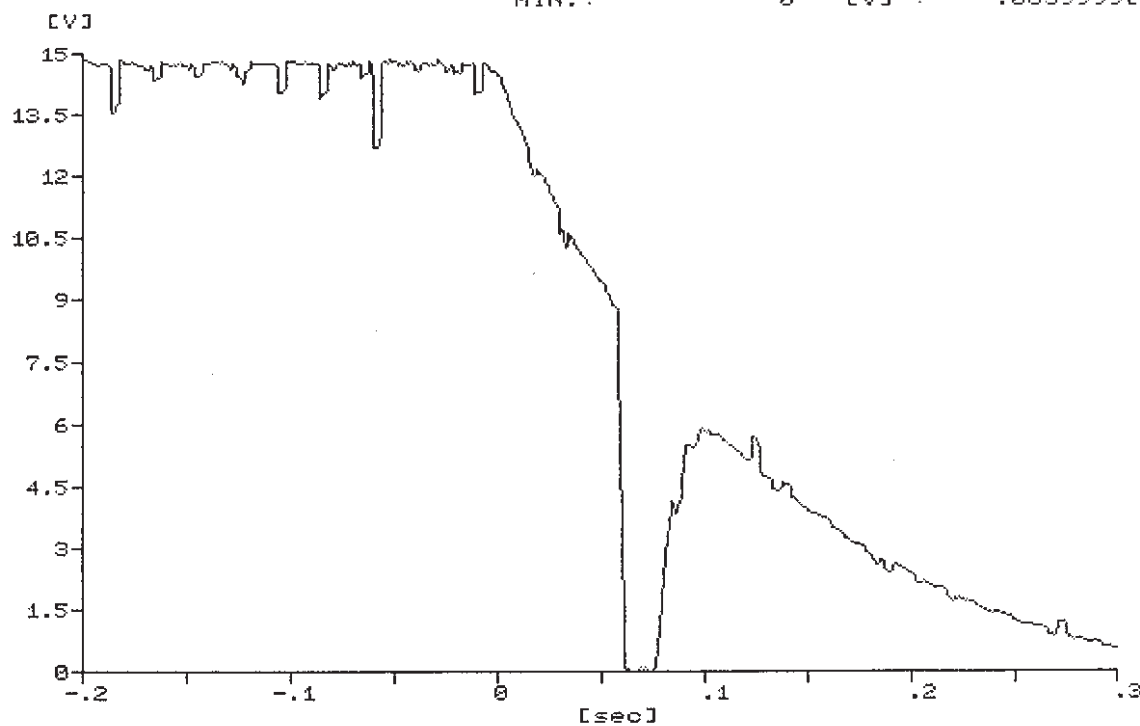
MAX.: 14.94 [V] : -.562[sec]
 MIN.: 0 [V] : .0639999[sec]



拡大範囲 -1[sec]~.5[sec] 振巾 0 [V]~15 [V]

(7) GAMMA SHIFT

MAX.: 14.88 [V] : -.199[sec]
 MIN.: 0 [V] : .0639999[sec]

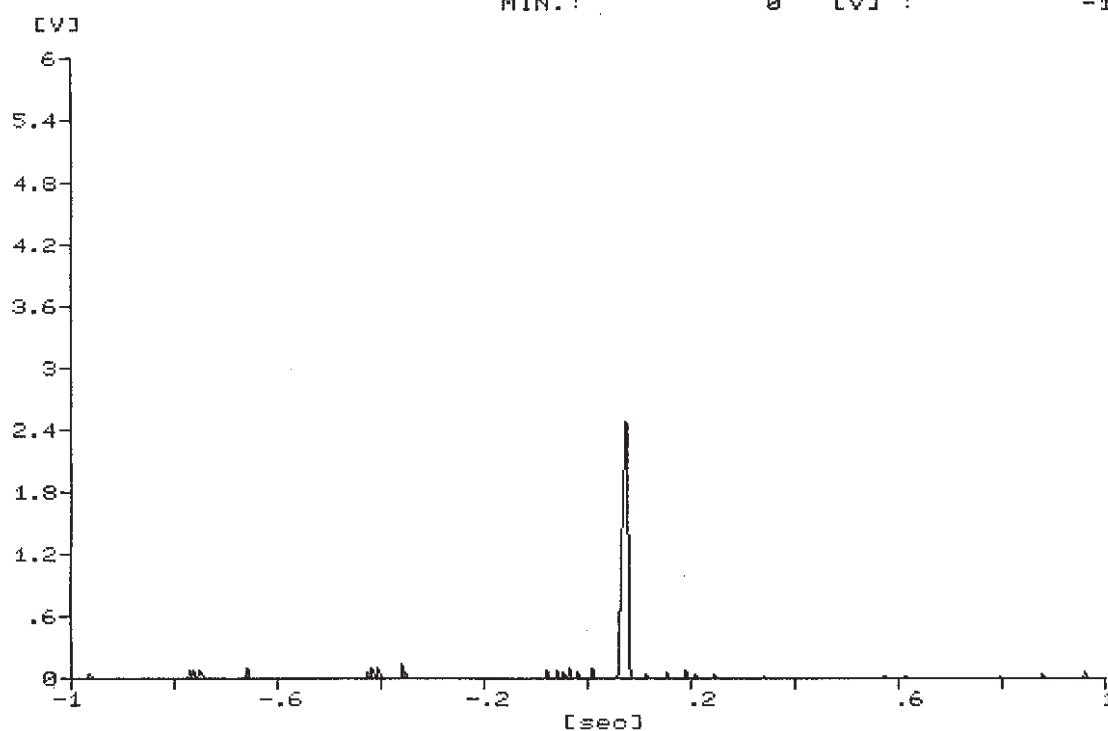


拡大範囲 -.2[sec]~.3[sec] 振巾 0 [V]~15 [V]

Fig.4.29 γ shift diagram at loss of electric power
 (電喪時 γ シフト線図)

(8) CURRENT LIMITER

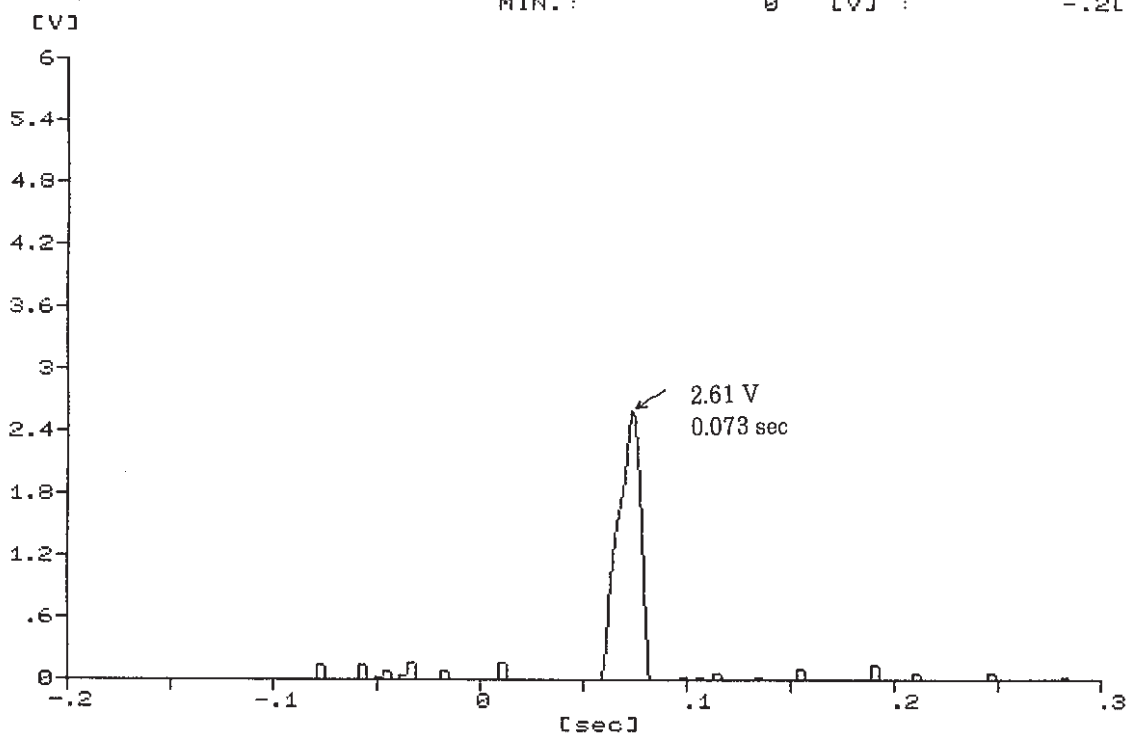
MAX.: 2.61 [V] : .073[sec]
MIN.: 0 [V] : -1[sec]



拡大範囲 -1[sec]~1[sec] 振巾 0 [V]~6 [V]

(8) CURRENT LIMITER

MAX.: 2.61 [V] : .073[sec]
MIN.: 0 [V] : -.2[sec]

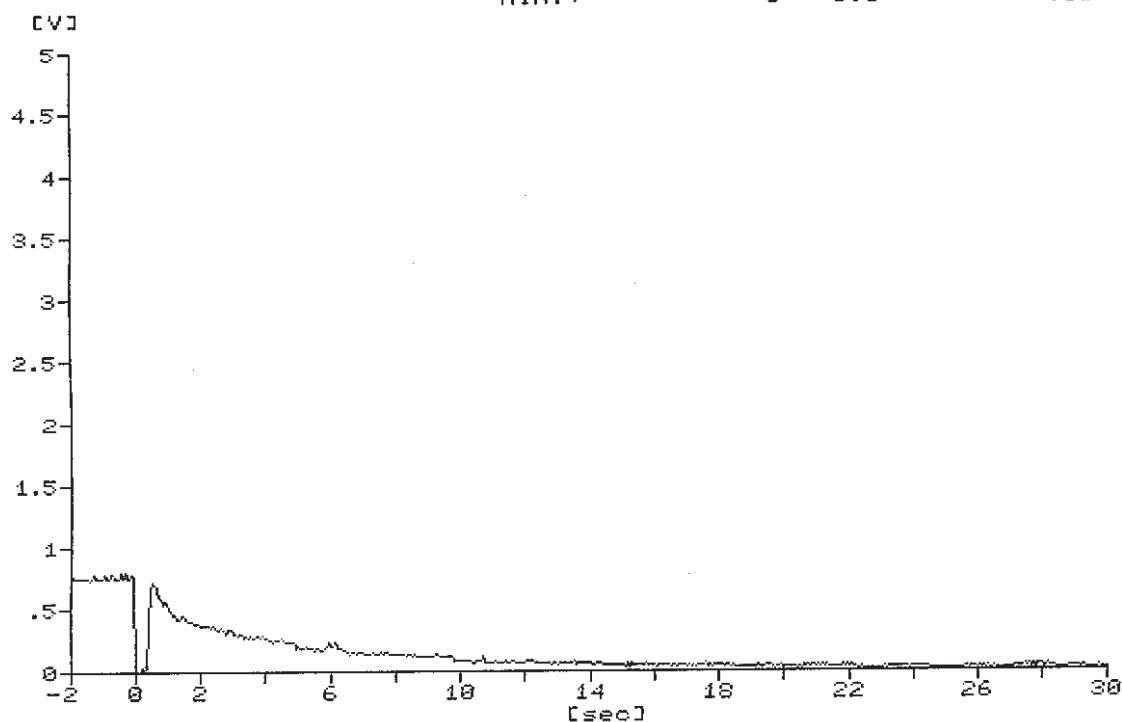


拡大範囲 -.2[sec]~.3[sec] 振巾 0 [V]~6 [V]

Fig.4.30 Current limiter diagram at loss of electric power
(電喪時カレントリミッター線図)

(9) APPS

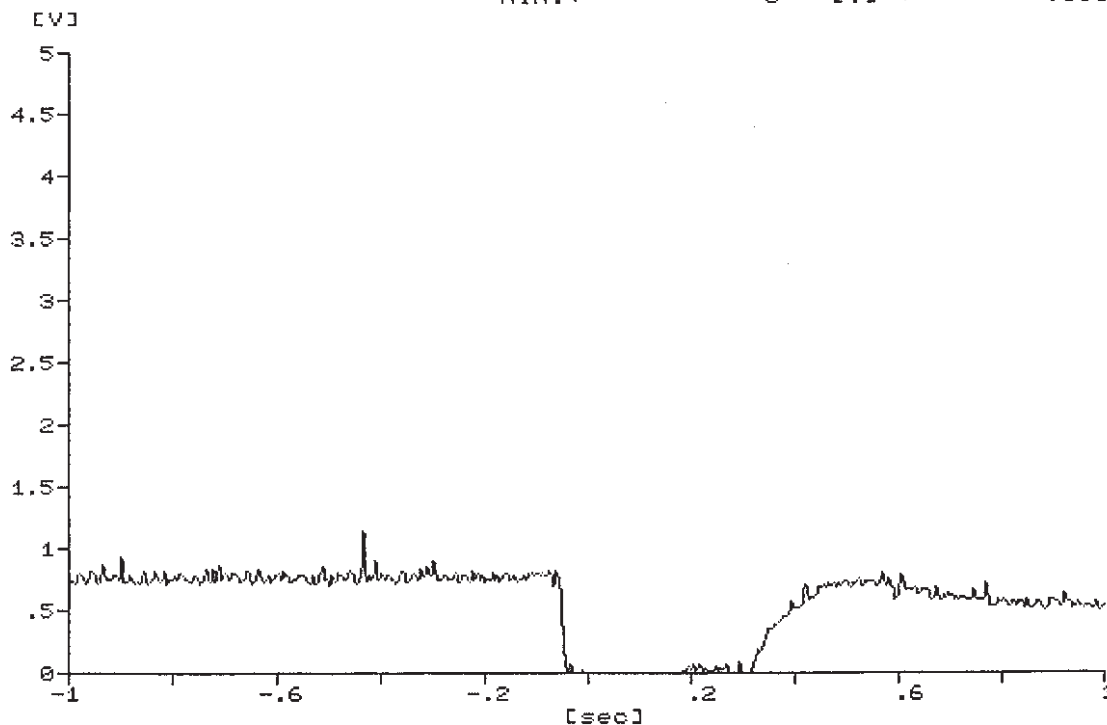
MAX.: 1.2 [V] : -.436[sec]
MIN.: 0 [V] : -.038[sec]



拡大範囲 -2[sec]~ 30[sec] 振巾 0 [V]~ 5 [V]

(9) APPS

MAX.: 1.2 [V] : -.436[sec]
MIN.: 0 [V] : -.038[sec]



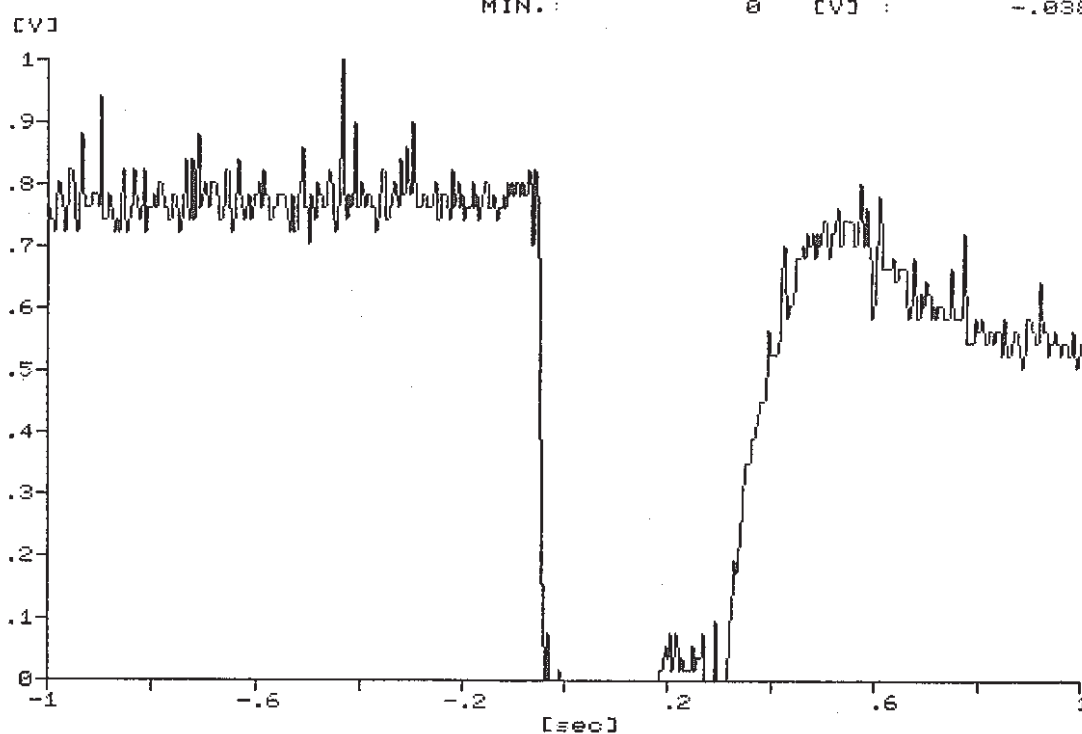
拡大範囲 -1[sec]~ 1[sec] 振巾 0 [V]~ 5 [V]

Fig.4.31 APPS diagram at loss of electric power

(電喪時 APPS 線図)

(9) APPS

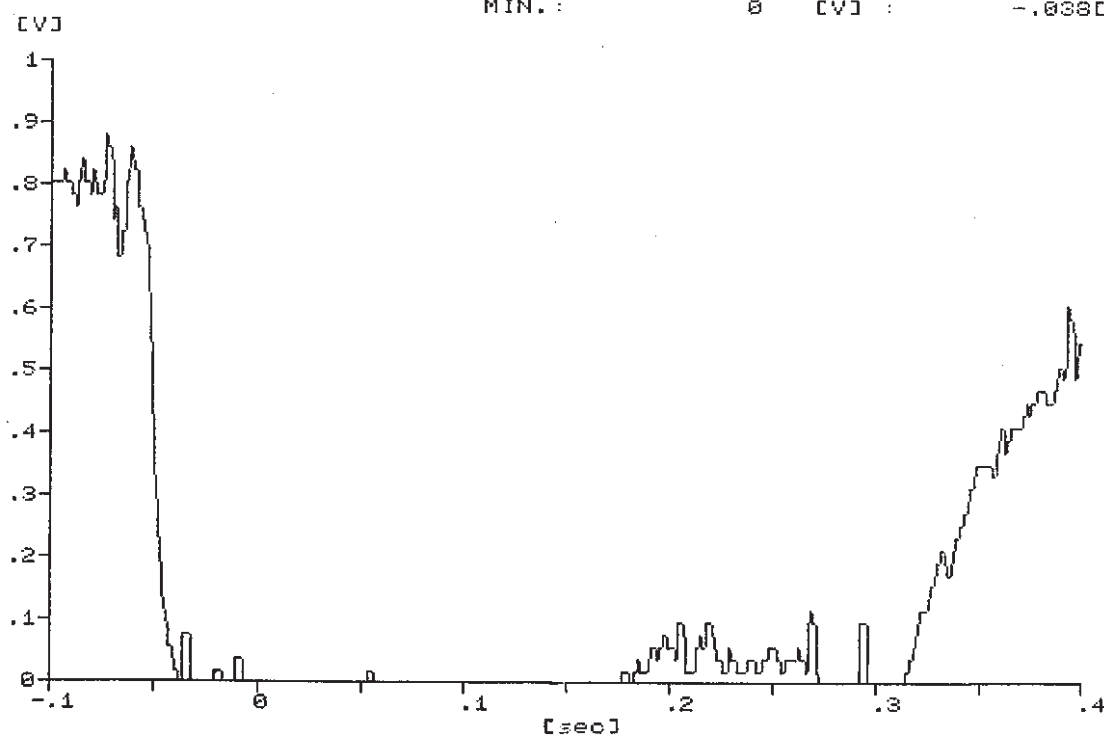
MAX.: 1.2 [V] : -.436[sec]
 MIN.: 0 [V] : -.038[sec]



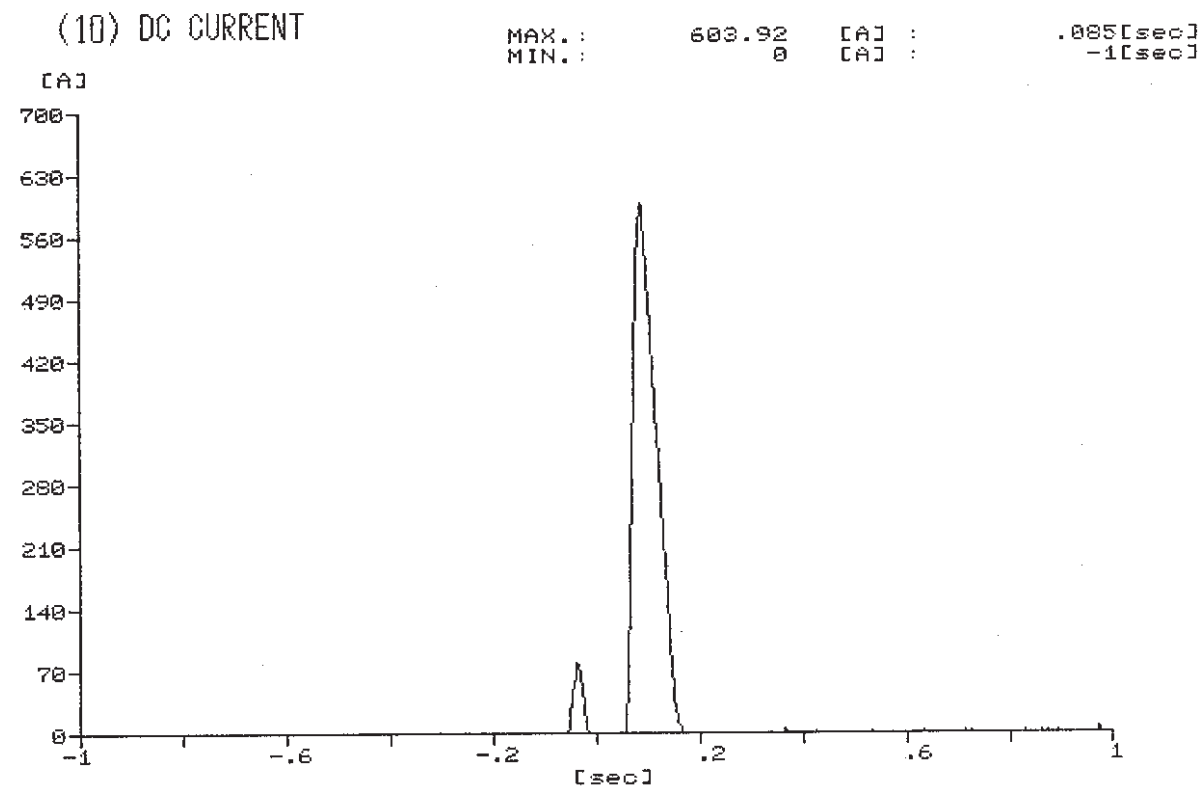
拡大範囲 -1[sec]~1[sec] 振巾 0 [V]~1 [V]

(9) APPS

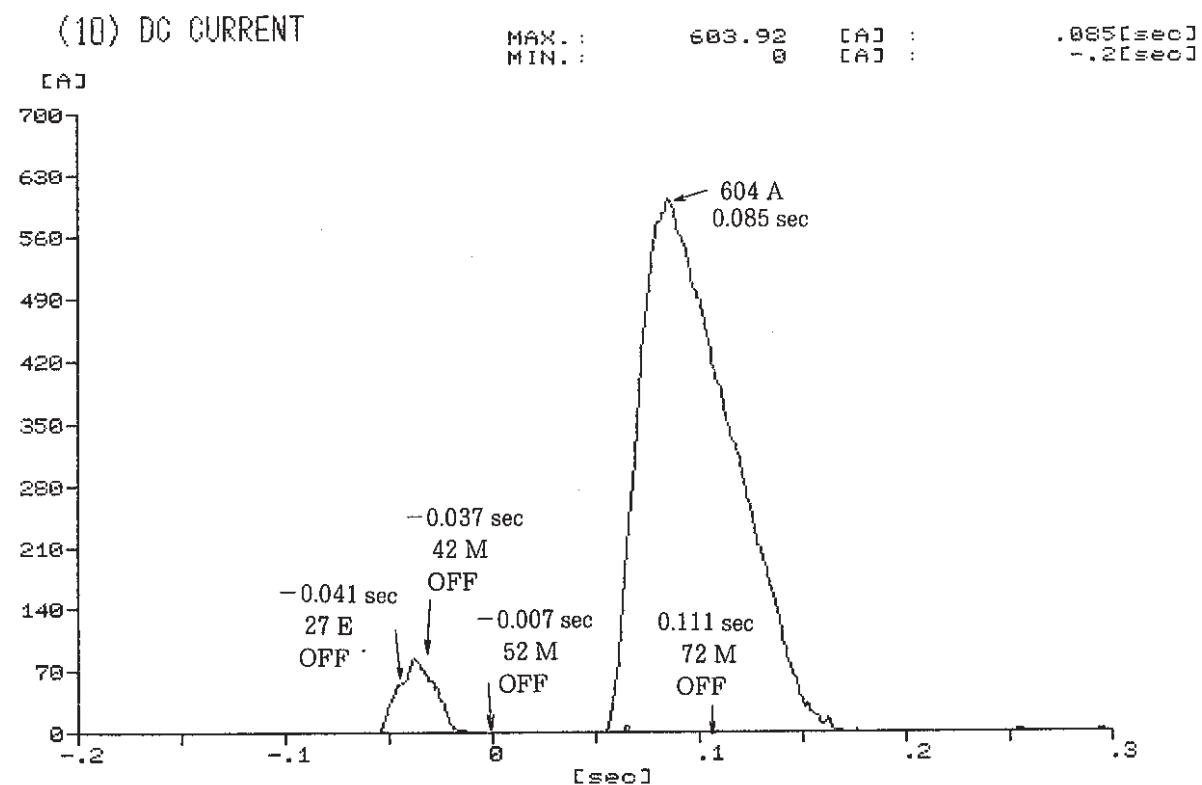
MAX.: .88 [V] : -.074[sec]
 MIN.: 0 [V] : -.038[sec]



拡大範囲 -.1[sec]~.4[sec] 振巾 0 [V]~1 [V]

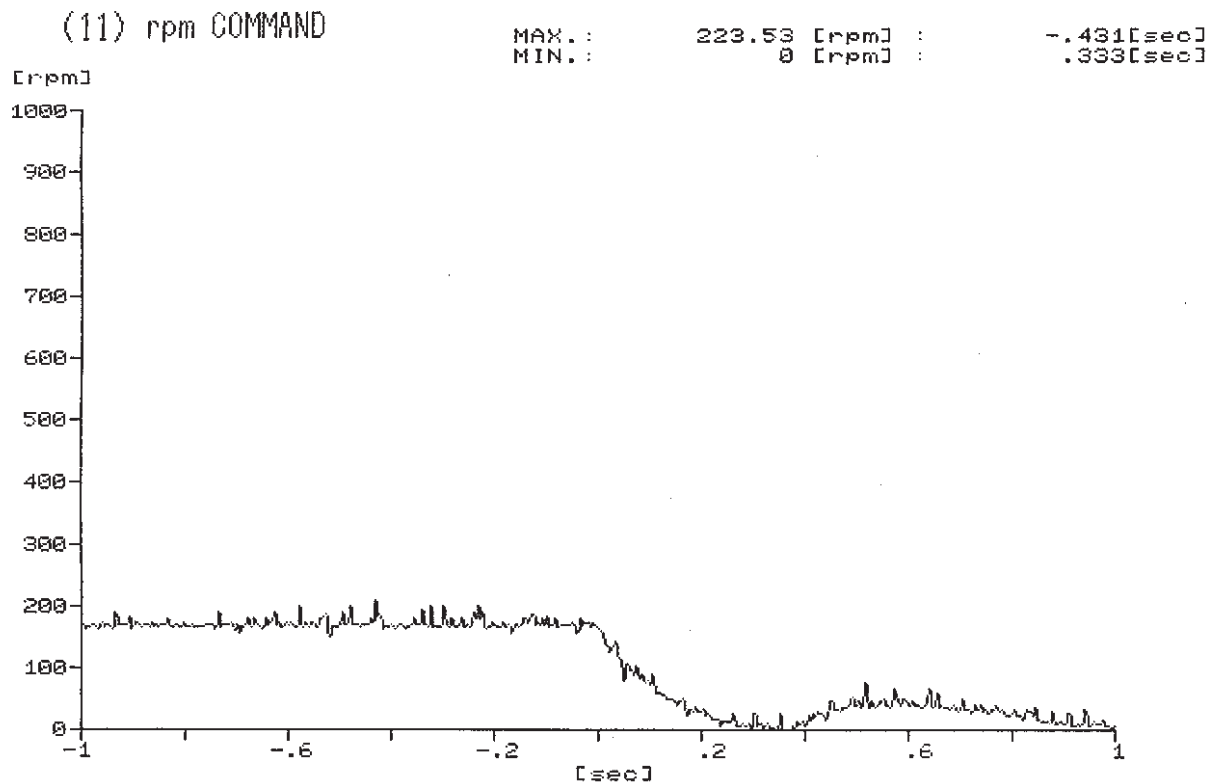


拡大範囲 -1[sec] ~ 1[sec] 振巾 0 [A] ~ 700 [A]

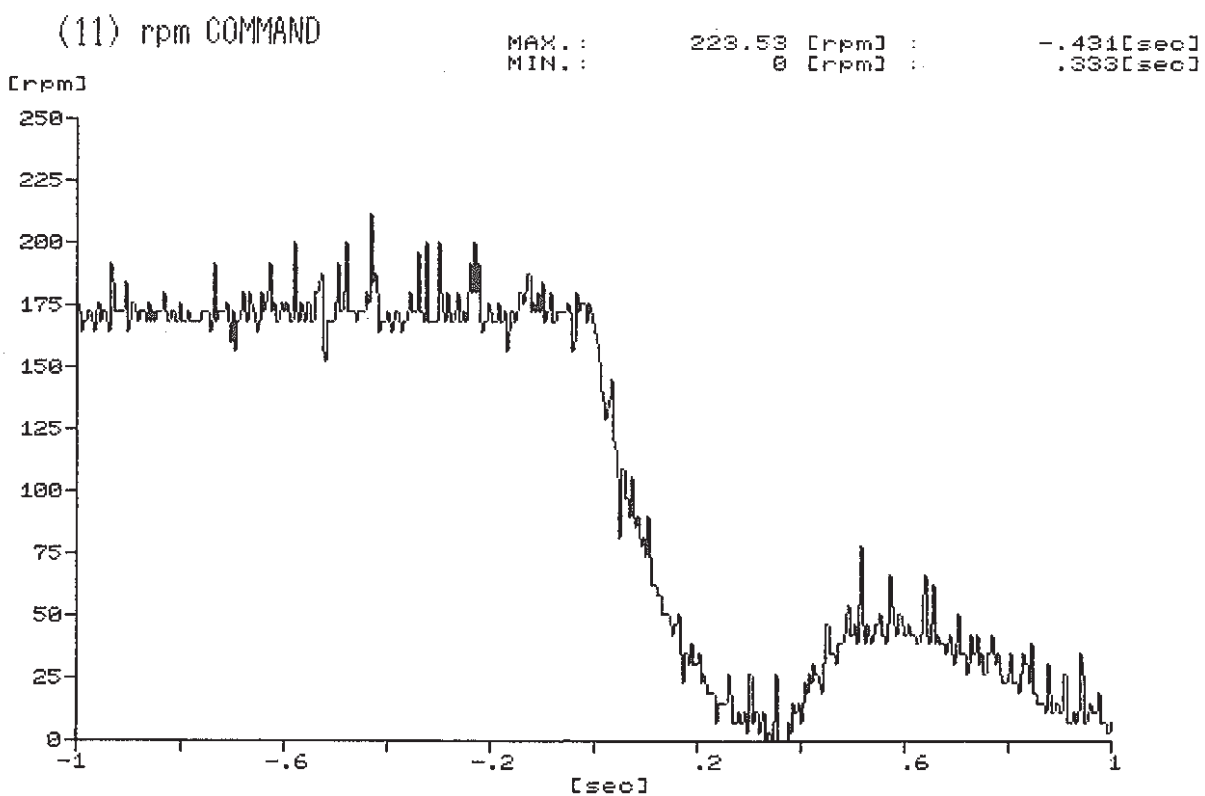


拡大範囲 -.2[sec] ~ .3[sec] 振巾 0 [A] ~ 700 [A]

Fig.4.32 D.C current diagram at loss of electric power
 (電喪時直流電流線図)



拡大範囲 -1[sec] ~ 1[sec] 振巾 0 [rpm] ~ 1000 [rpm]

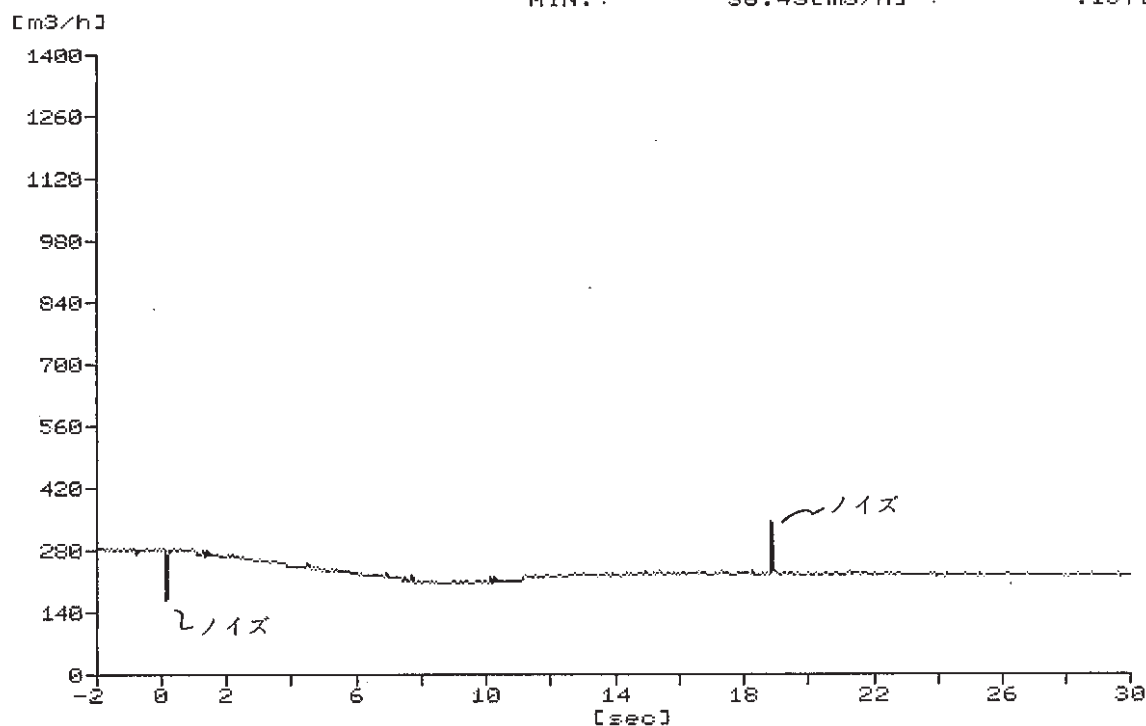


拡大範囲 -1[sec] ~ 1[sec] 振巾 0 [rpm] ~ 250 [rpm]

Fig.4.33 Revolution order diagram at loss of electric power
(電喪時回転数指令線図)

(12) Na. FLOW Q.

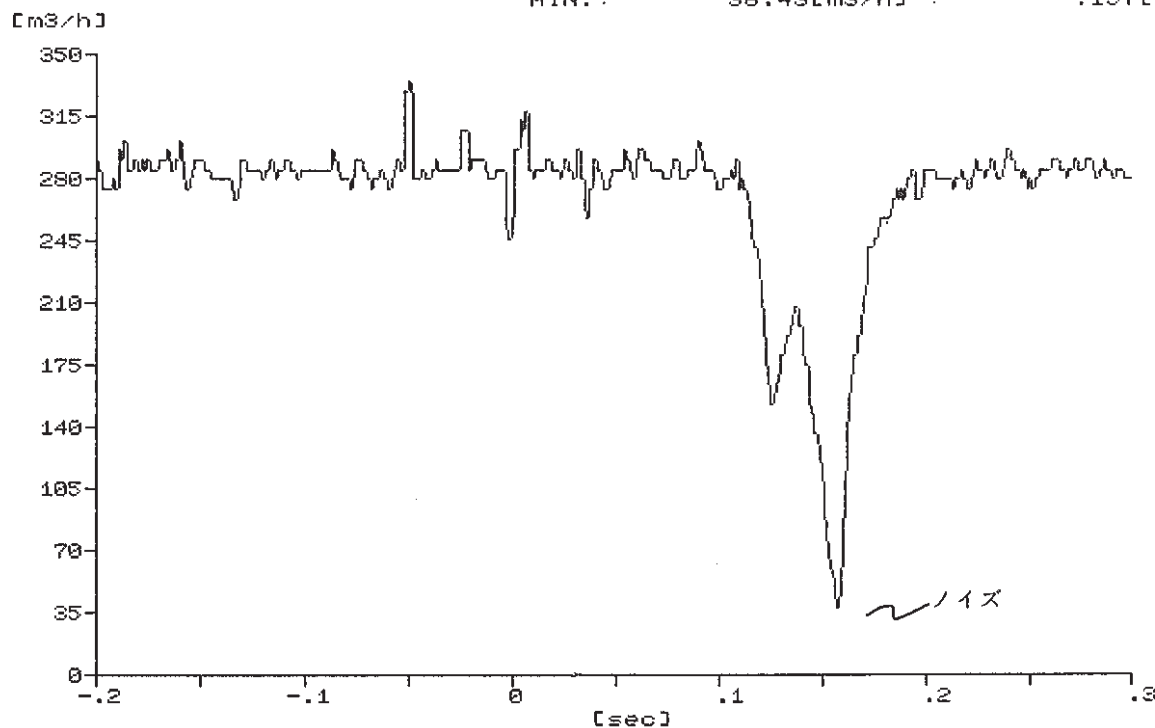
MAX.:	746.67[m ³ /h]	:	18.824[sec]
MIN.:	38.43[m ³ /h]	:	.157[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0[m³/h] ~ 1400[m³/h]

(12) Na. FLOW Q.

MAX.:	334.9[m ³ /h]	:	-.05[sec]
MIN.:	38.43[m ³ /h]	:	.157[sec]

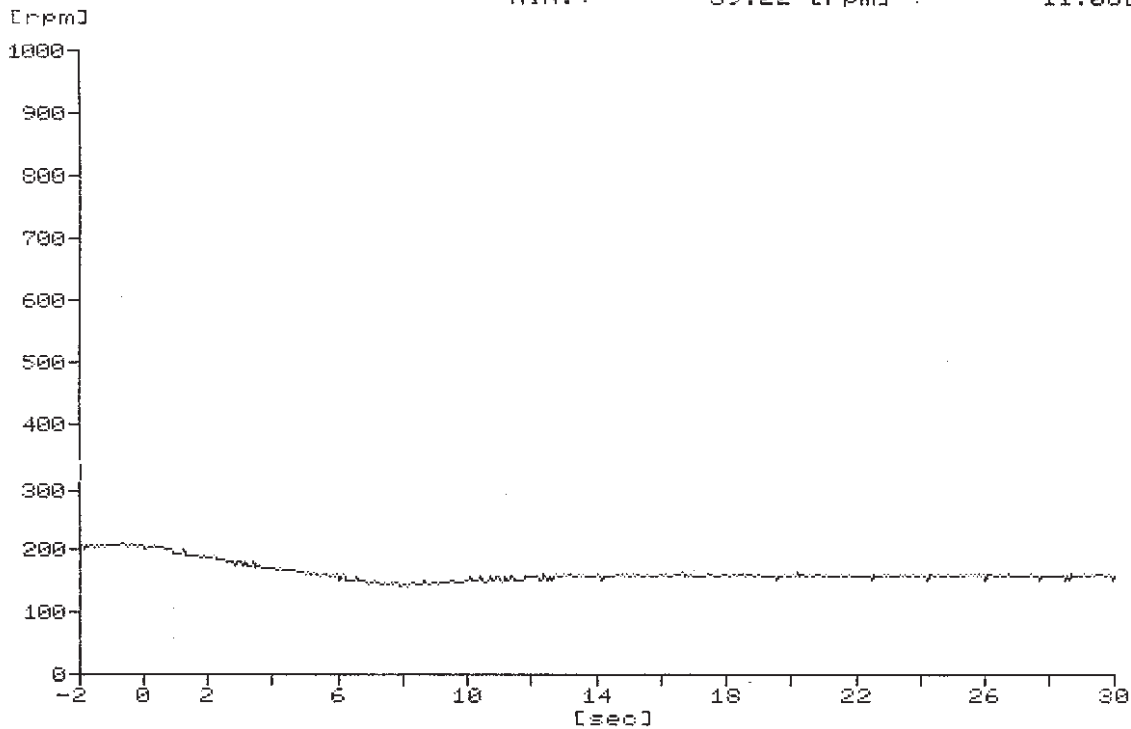


拡大範囲 -.2[sec] ~ .3[sec] 振巾 0[m³/h] ~ 350[m³/h]

Fig.4.34 Sodium flow diagram at loss of electric power
(電喪時 Na 流量線図)

(13) PUMP rpm

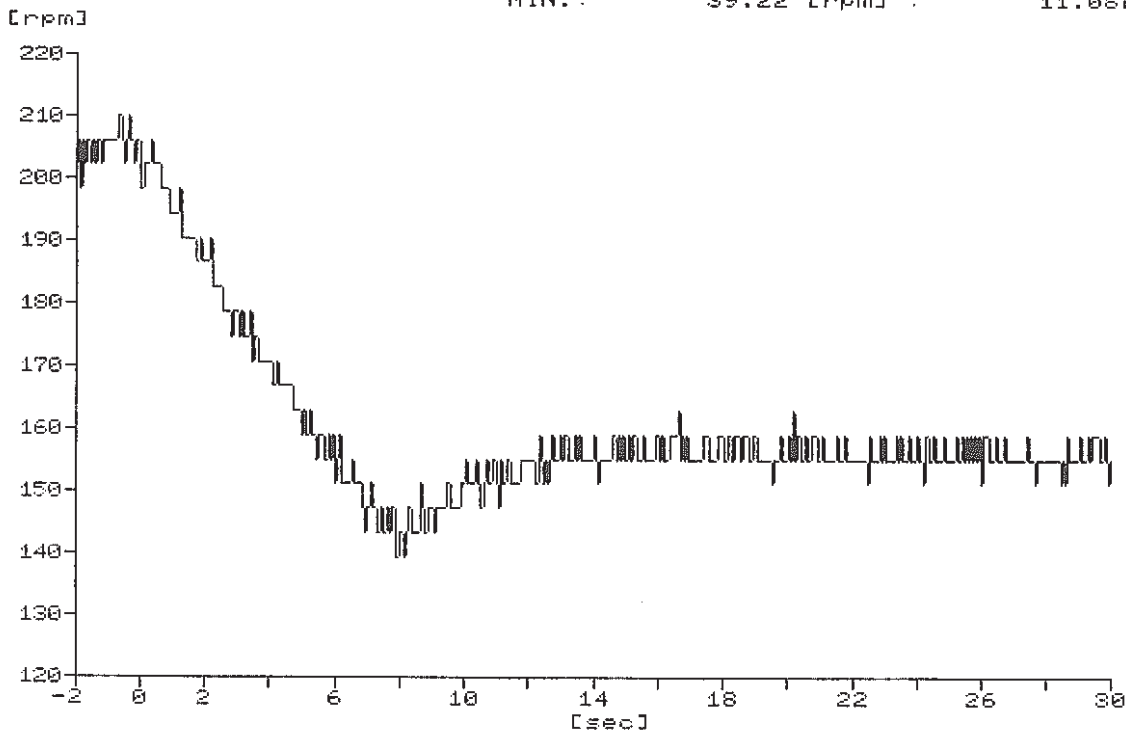
MAX.: 294.12 [rpm] : -1.48[sec]
MIN.: 39.22 [rpm] : 11.08[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [rpm] ~ 1000 [rpm]

(13) PUMP rpm

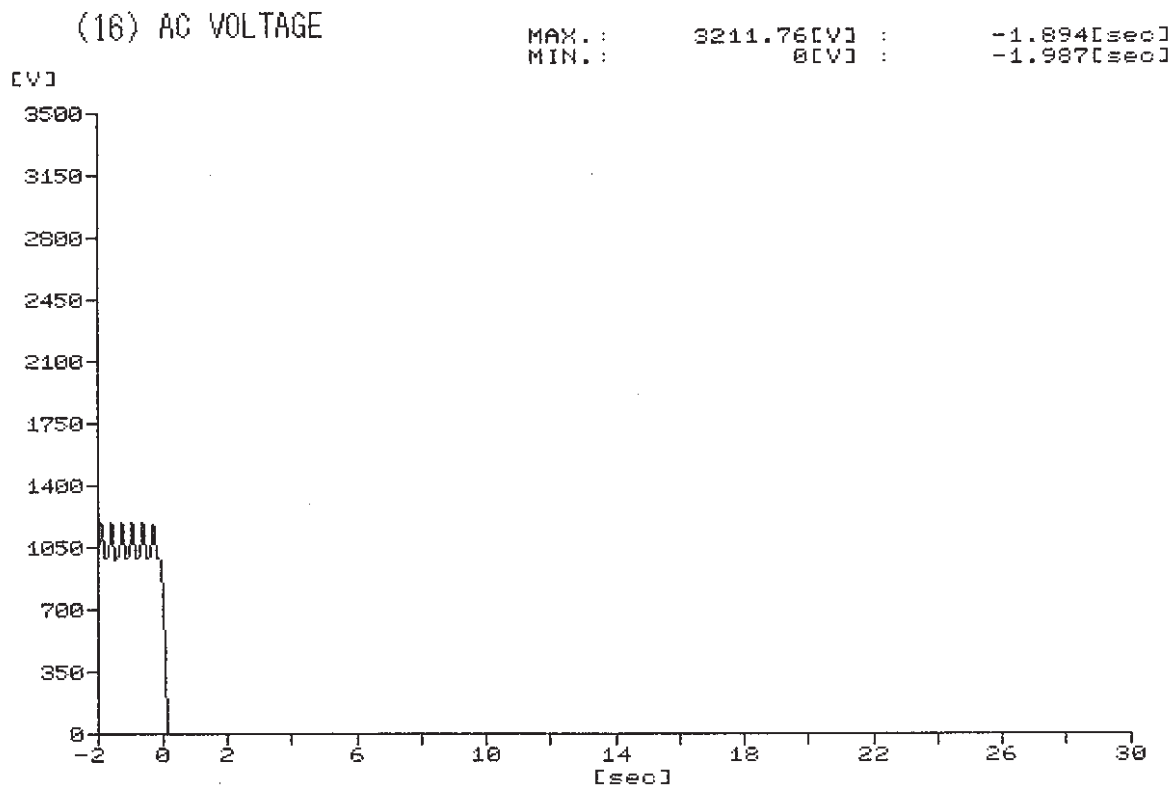
MAX.: 294.12 [rpm] : -1.48[sec]
MIN.: 39.22 [rpm] : 11.08[sec]



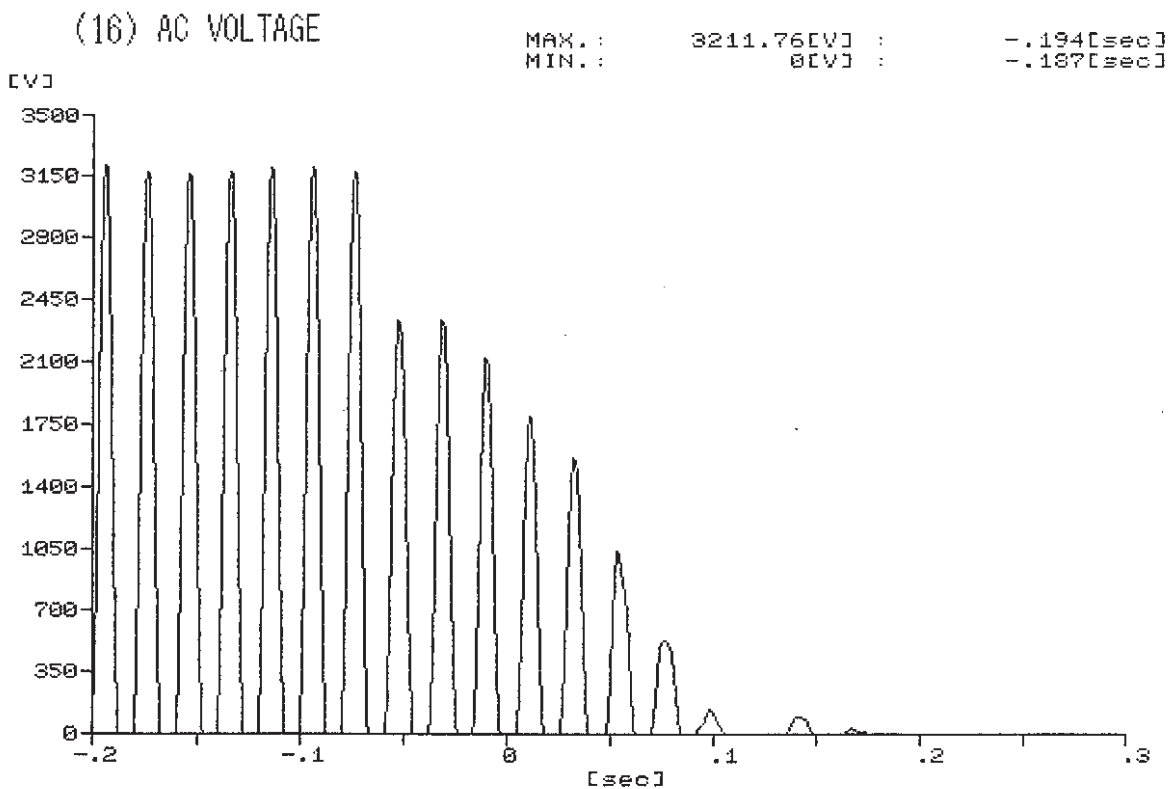
拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 120 [rpm] ~ 220 [rpm]

Fig.4.35 Revolution diagram at loss of electric power

(電喪時回転数線図)



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0[V] ~ 3500[V]



拡大範囲 -.2[sec] ~ .3[sec] 振巾 0[V] ~ 3500[V]

Fig. 4.36 A.C voltage diagram at loss of electric power
(電喪時交流電圧線図)

4.5 重故障停止

Fig. 4.37 ～ 4.51 に昭和 60 年 2 月 8 日に発生したポンプ A 号のセルビウス重故障停止時の記録について示す。

ポンプ A 号の重故障停止は、原子炉停止期間中にセルビウス盤近くで行われた建家工事で盤内に粉塵が入ったため、この清掃を行った後ポンプを起動し昇速中に発生した。この時のトリップは交流主回路の過電流 49 M 口の動作によって主遮断器の 152 A 3 が開路されたものであった。

本トリップの原因については現象記録装置によって記録されたデータを、データ処理し検討した結果 APPS 信号に異常があることが発見された。このことから盤内の点検を実施したところ、APPS からサイリスタに出力するゲートパルス信号線の内 1 相が断線していることが発見された。

(1) トリップ時状態の推定

ポンプトリップに至るまでのポンプ制御回路の状態は以下の通りであったと考えられる。

- 1) サイリスタへのゲートパルス信号の内相は盤内清掃時に断線し、この状態でポンプは起動された。ポンプの起動は 2 次側に起動抵抗を接続して行うものであるため、サイリスタのゲートパルス喪失状態においてもなんら問題はない。
- 2) 次にセルビウス運転状態に切替った場合を考えると、ポンプ低速域においては、サイリスタの 1 相が点弧しない状態にあっても、流れている電流が少ないために、交流主回路の相間電流差は小さく過電流には至らない。

しかしポンプ速度を除々に上げていくと、交流主回路の相間電流差が大きくなりサイリスタが点弧されない相に対して、他の相が過電流となり 49 M 口のサーマルトリップが作動する。

これらの状態は交流電動機の欠相状態と異なり、中間に直流回路がありその後インバータがあるために単純な欠相としないことから説明できる。

- 3) 上記現象を裏付けるものとして Fig. 4.41 に示される APPS 信号がある。APPS はポンプトリップ時の 60 % 流量相当に対応する通常電圧は、Fig. 4.52 に示す APPS 電圧特性から、2.18 V である。これに対して Fig. 4.41 に示される A 号の電圧は 2.5 V でありこれは 70 % 流量相当になる。この電圧差の原因としてはサイリスタに 1 相点弧されない分の電流を他の相が流すことによってポンプ速度を維持していたことによるものである。

- (2) Fig. 4.38 ～ 4.40 の各保護信号の記録は、正常運転されていたポンプ B 号の各保護信号記録 Fig. 4.47 ～ 4.49 と比較するとほぼ同様の状態であることから、ノイズであることがわかる。

- (3) Fig. 4.41 に示す APPS 信号で - 0.48 秒に生じている急激な立上りはポンプトリップによって生じたノイズと思われる。また - 0.24 秒に生じた急激な立下りは前述(2)のノイズに反応したものと思われる。

- (4) Fig. 4.42 に記録された直流電流の急激な上昇は、この時すでにポンプはトリップし主遮断器も開路された後のものであるから、回路内の放電によるものと考えられる。

Table 4.9 List of synthetic motion at trip by heavy accident (A)

(重故障停止時総合動作表(A号))

発生時刻: 1985年02月08日 20時20分32秒 LABEL A085 EVENT NO. 0034

デジタル信号	初期状態	動作時刻	復帰時刻
(1) 42 M	ON	OFF : -0.016 sec	ON :
(2) 6 M 2	OFF	ON :	OFF :
(3) 6 M	OFF	ON :	OFF :
(4) 72 M	ON	OFF : 0.010 sec	ON :
(5) 152 M	ON	OFF : -0.056 sec	ON :
(14) 52 M	ON	OFF : -0.046 sec	ON :
(15) 27 E	ON	OFF : -0.027 sec	ON :

アナログ信号	初期値	最大値			
(6) PULASE SUPPRESION	13.4 V	14.9 V	: -1.812 sec	0.0 V	: 0.084 sec
(7) GAMMA SHIFT	13.4 V	14.9 V	: -1.833 sec	0.0 V	: 0.326 sec
(8) CURRENT LIMITER	0.00 V	1.81 V	: 11.081 sec	0.0 V	: -2.000 sec
(9) APPS	2.45 V	3.08 V	: -0.048 sec	0.00 V	: 0.257 sec
(10) DC CURRENT	38 A	615 A	: -0.003 sec	0 A	: 0.084 sec
(11) rpm COMMAND	514 rpm	541 rpm	: -1.814 sec	0 rpm	: 0.318 sec
(12) Na. FLOW Q.	758 m ³ /h	813 m ³ /h	: -1.839 sec	49 m ³ /h	: 24.188 sec
(13) PUMP rpm	514 rpm	600 rpm	: -1.038 sec	47 rpm	: 17.634 sec
(16) AC VOLTAGE	0 V	3500 V	: -1.950 sec	0 V	: -2.000 sec

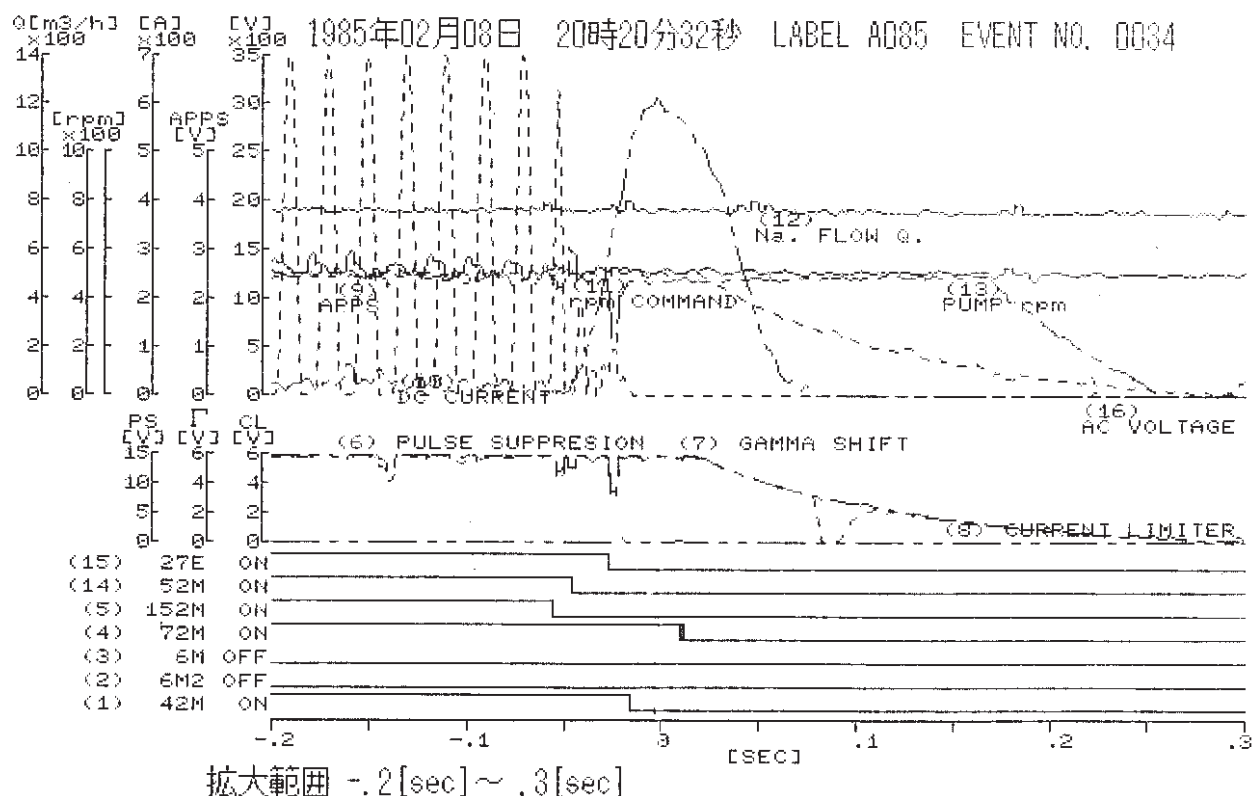
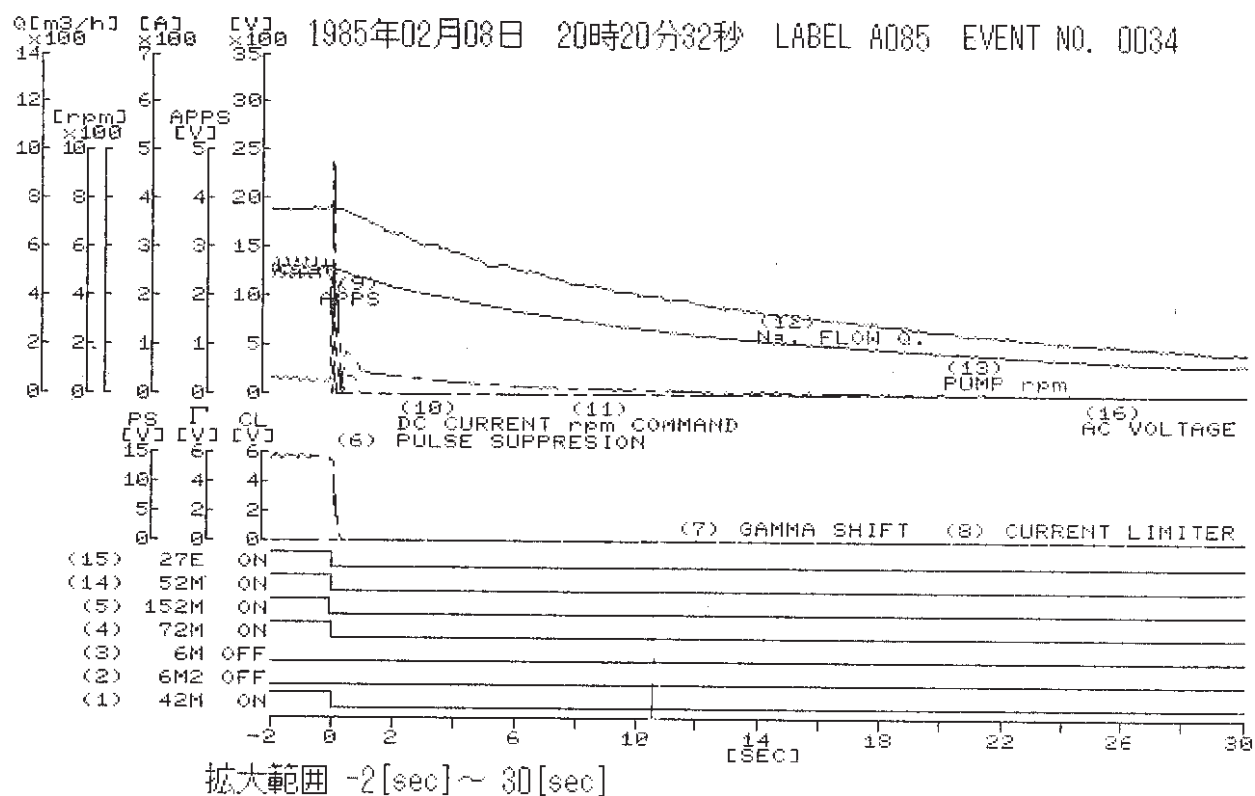
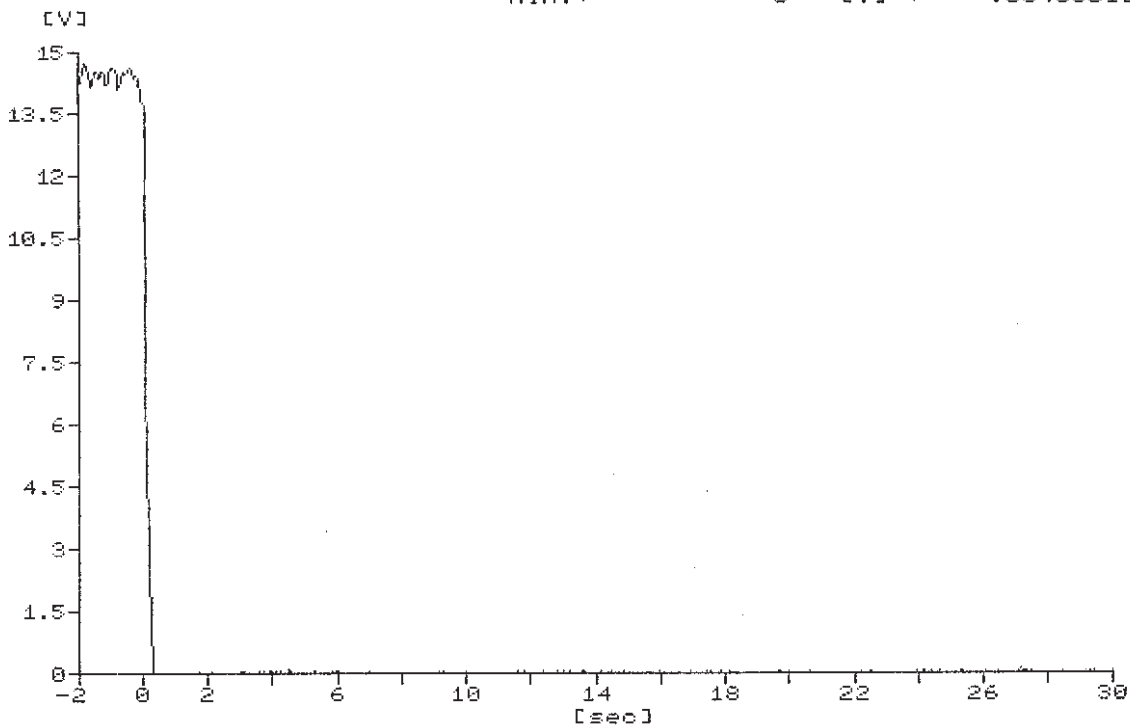


Fig.4.37 Synthetic motion diagram at trip by heavy accident (A)
(重故障停止時総合動作線図(A号))

(6) PULSE SUPPRESSION

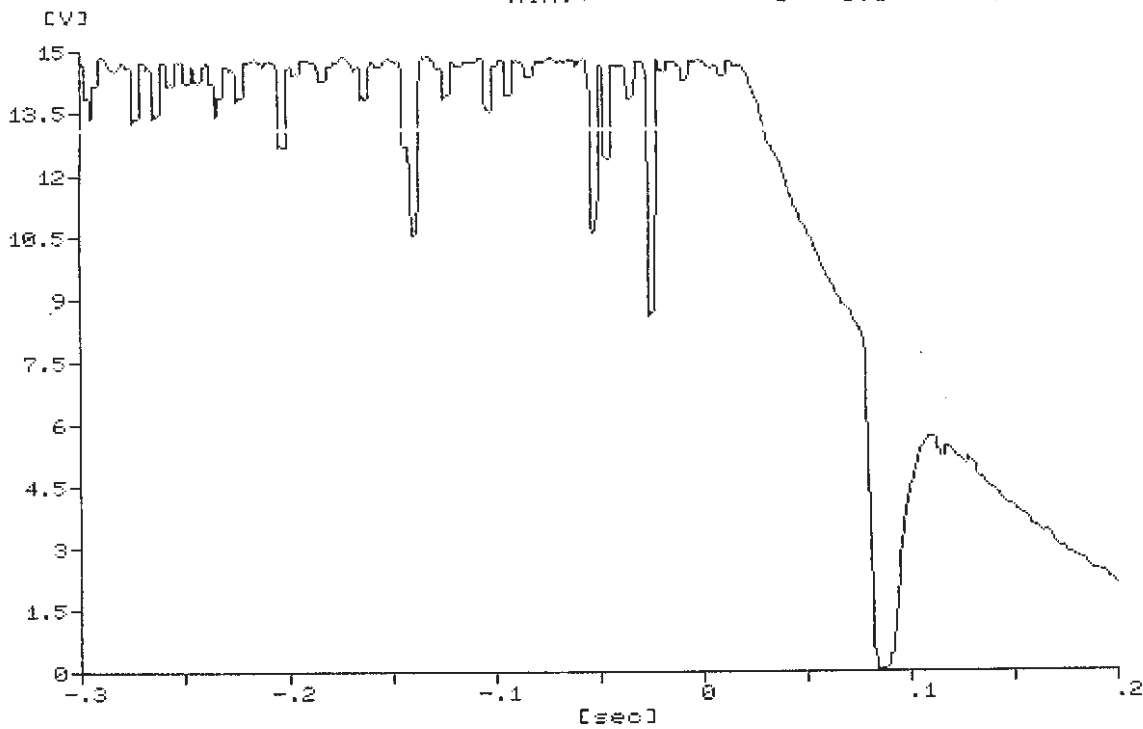
MAX.: 14.94 [V] : -1.812[sec]
MIN.: 0 [V] : .0840001[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

(6) PULSE SUPPRESSION

MAX.: 14.88 [V] : -.29[sec]
MIN.: 0 [V] : .0840001[sec]



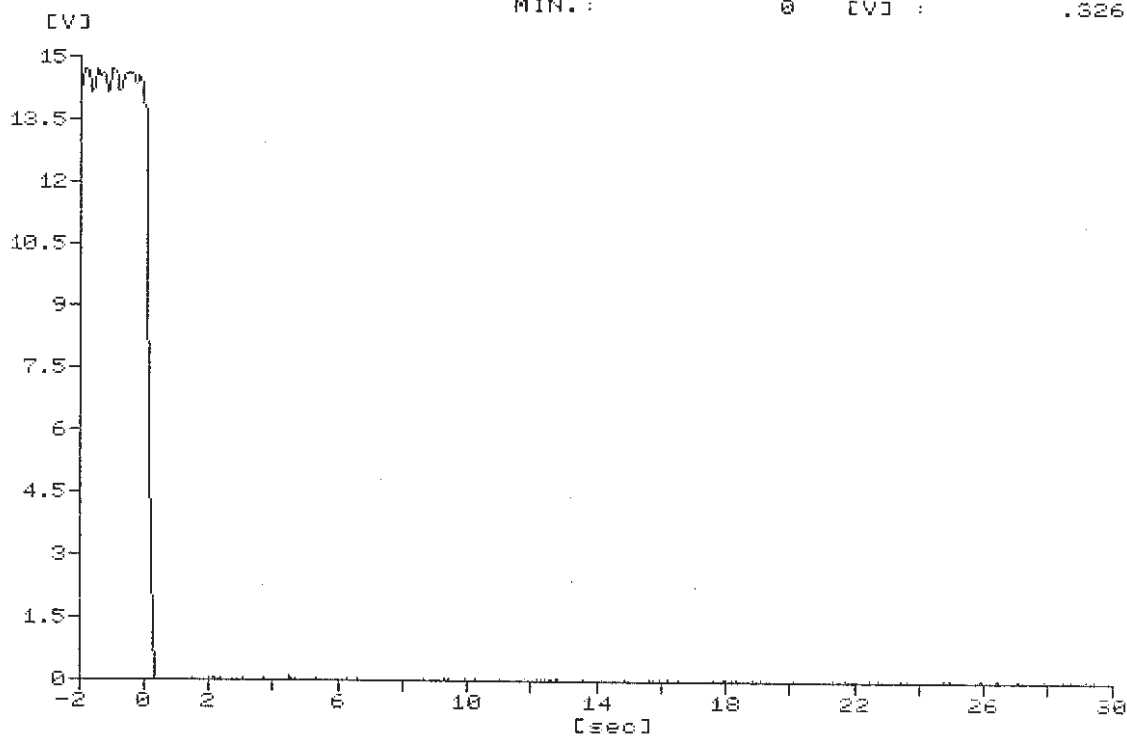
拡大範囲 -.3[sec] ~ .2[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

Fig.4.38 Pulss suppression diagram at trip by heavy accident (A)

(重故障停止時パルスサプレッション線図(A号))

(7) GAMMA SHIFT

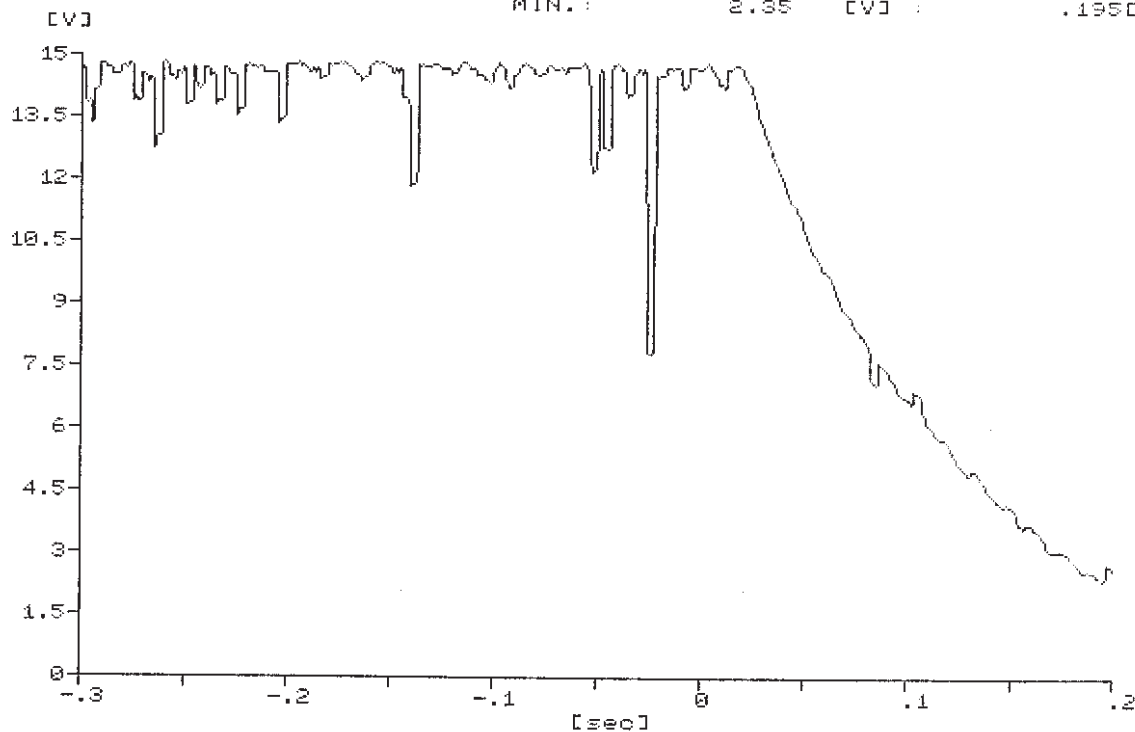
MAX.: 14.94 [V] : -1.833[sec]
MIN.: 0 [V] : .326[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

(7) GAMMA SHIFT

MAX.: 14.88 [V] : -.26[sec]
MIN.: 2.35 [V] : .195[sec]



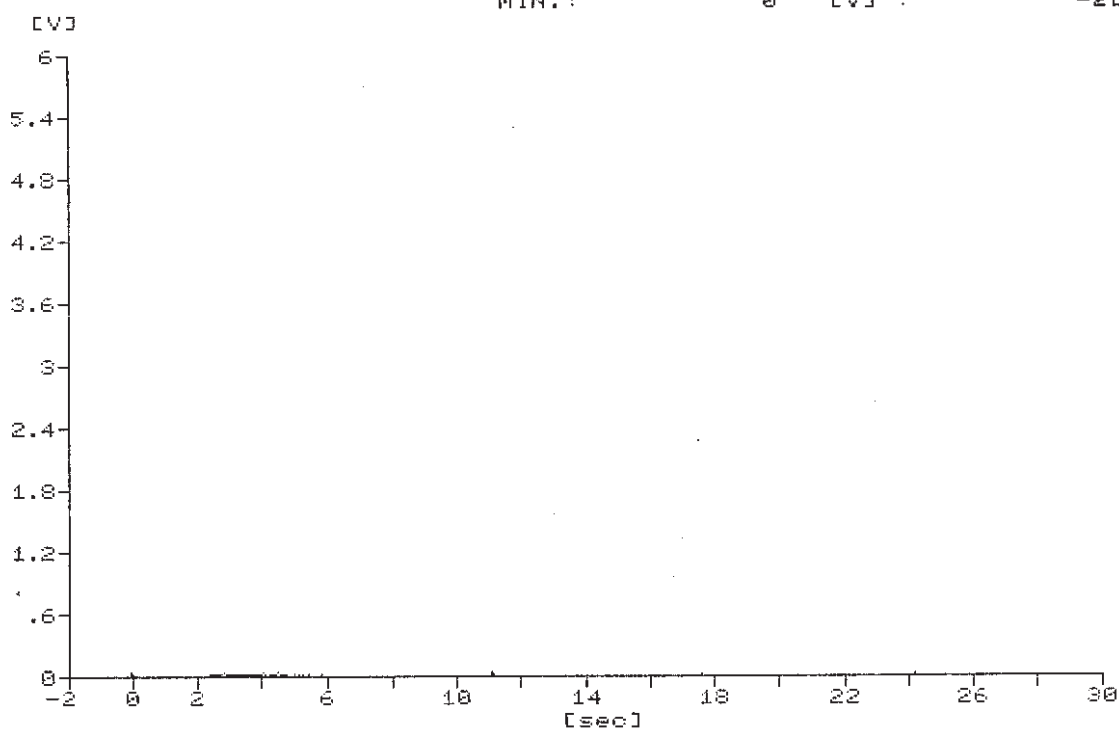
拡大範囲 -.3[sec] ~ .2[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

Fig.4.39 γ shift diagram at trip by heavy accident (A)

(重故障停止時 γ シフト線図(A号))

(8) CURRENT LIMITER

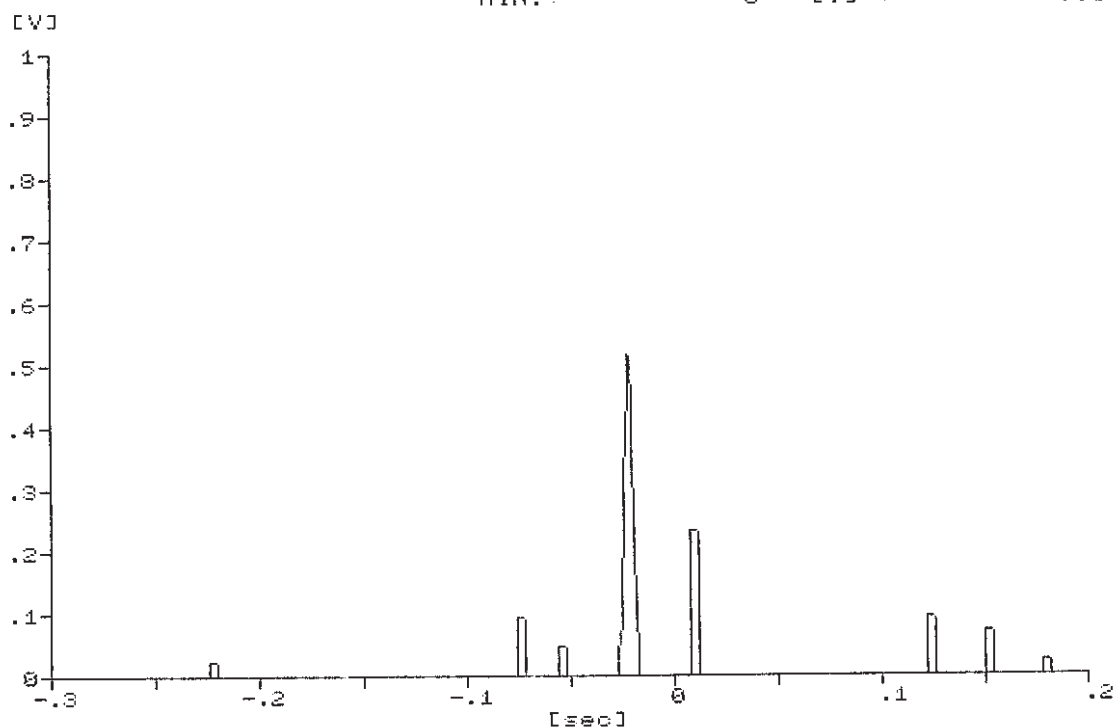
MAX.: 1.81 [V] : 11.881[sec]
 MIN.: 0 [V] : -2[sec]



拡大範囲 -2[sec]~30[sec] 振巾 0 [V]~6 [V]

(8) CURRENT LIMITER

MAX.: .52 [V] : -.022[sec]
 MIN.: 0 [V] : -.3[sec]



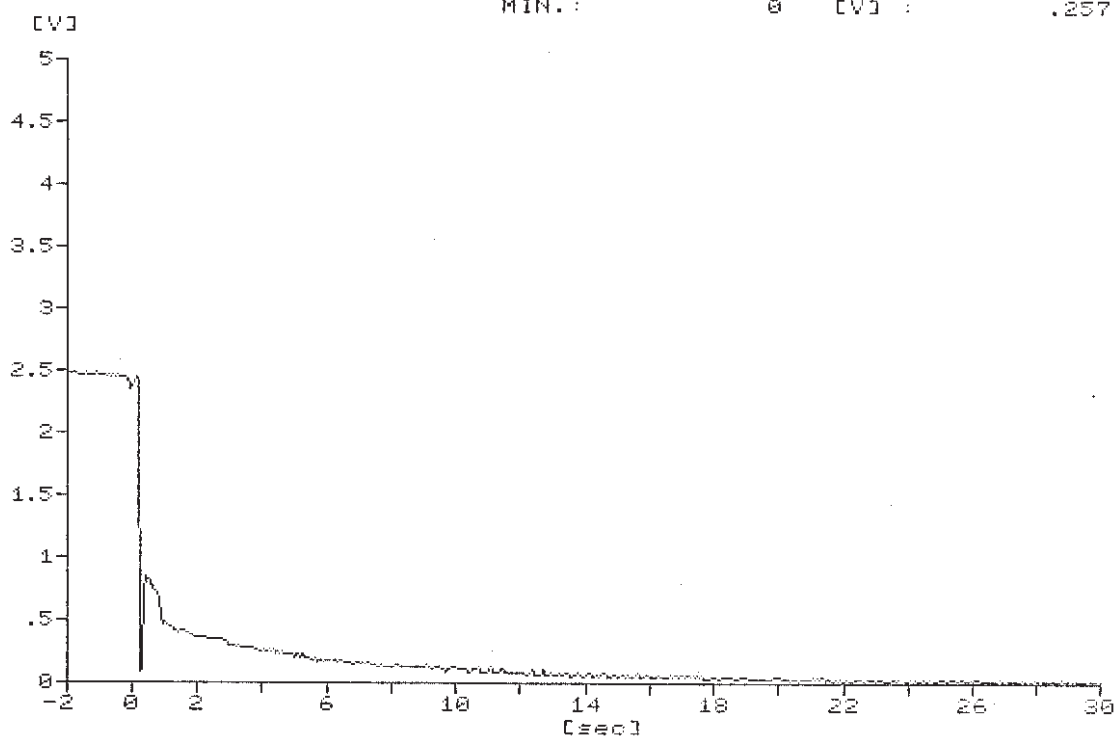
拡大範囲 -.3[sec]~.2[sec] 振巾 0 [V]~1 [V]

Fig. 4.40 Current limiter diagram at trip by heavy accident (A)

(重故障停止時カレントリミッター線図(A号))

(9) APPS

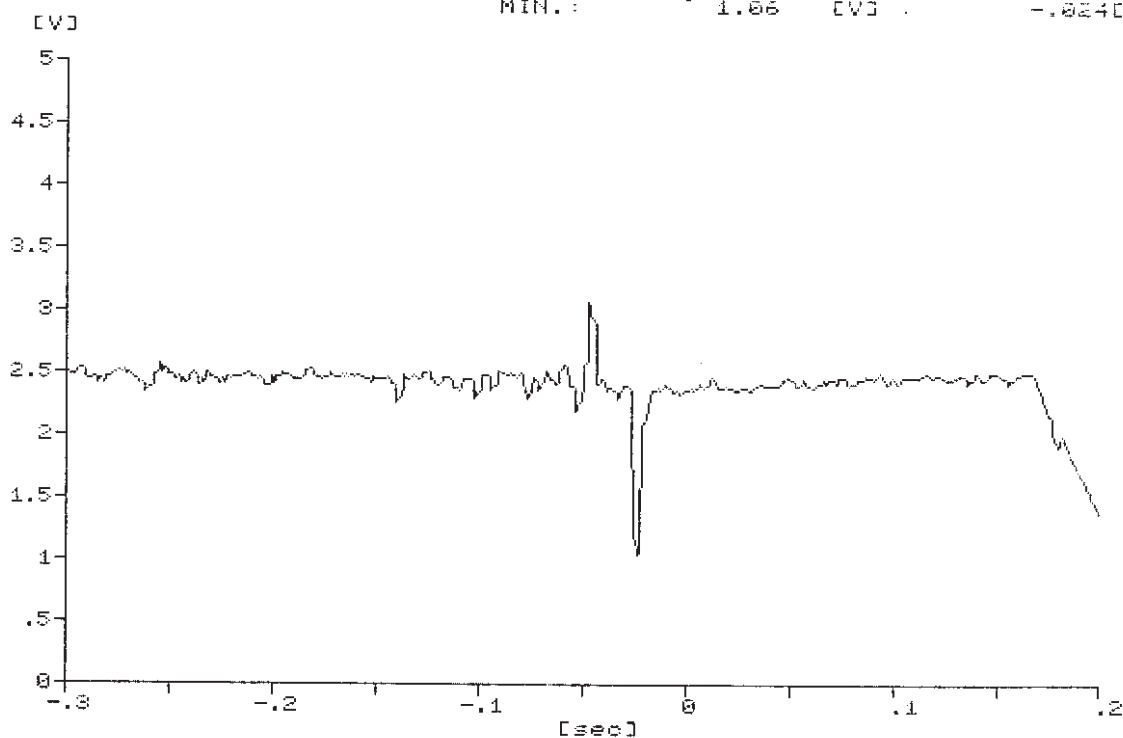
MAX.: 3.08 [V] : -.048[sec]
MIN.: 0 [V] : .257[sec]



拡大範囲 -2[sec]~ 30[sec] 振巾 0 [V]~ 5 [V]

(9) APPS

MAX.: 3.08 [V] : -.048[sec]
MIN.: 1.06 [V] : -.024[sec]



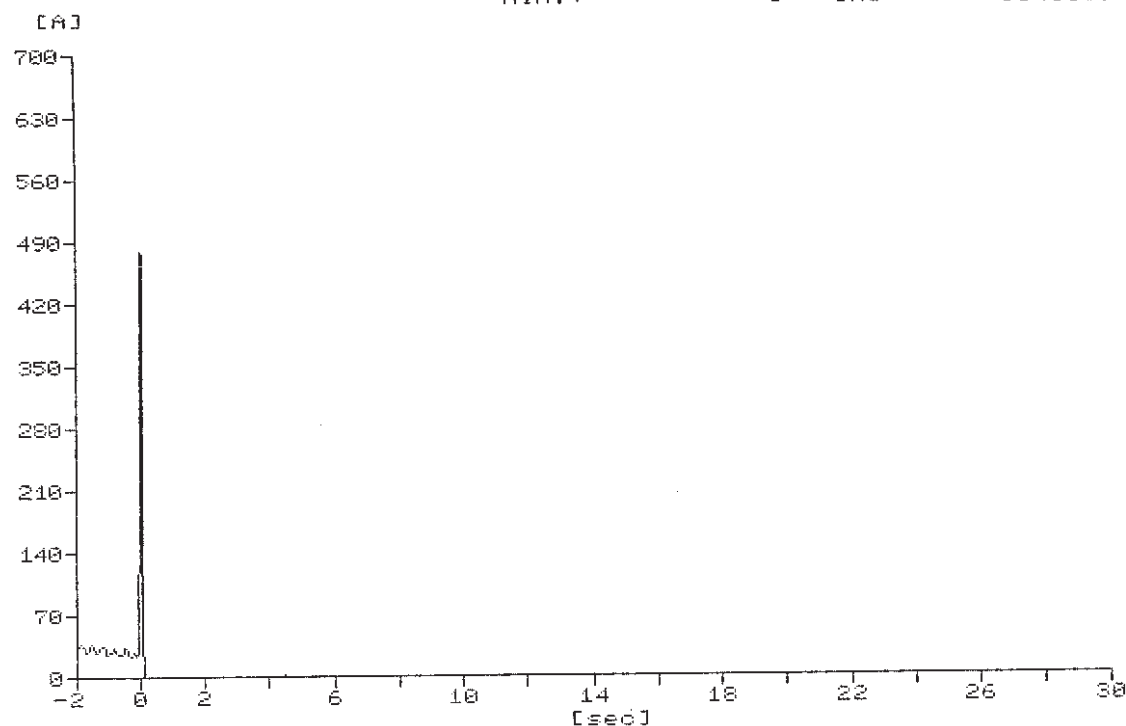
拡大範囲 -.3[sec]~ .2[sec] 振巾 0 [V]~ 5 [V]

Fig.4.41 APPS diagram at trip by heavy accident (A)

(重故障停止時 APPS 線図 (A 号))

(10) DC CURRENT

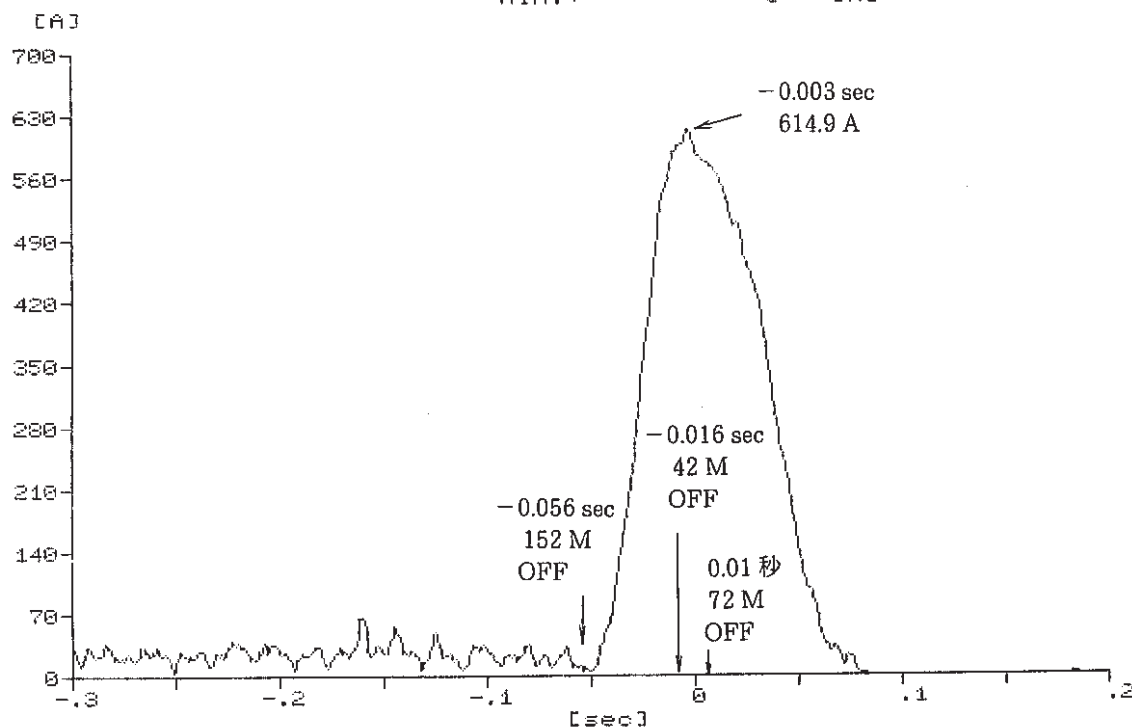
MAX.: 614.9 [A] : -3.00002E-03[sec]
 MIN.: 0 [A] : .0840001[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [A] ~ 700 [A]

(10) DC CURRENT

MAX.: 614.9 [A] : -3.00002E-03[sec]
 MIN.: 0 [A] : .0840001[sec]



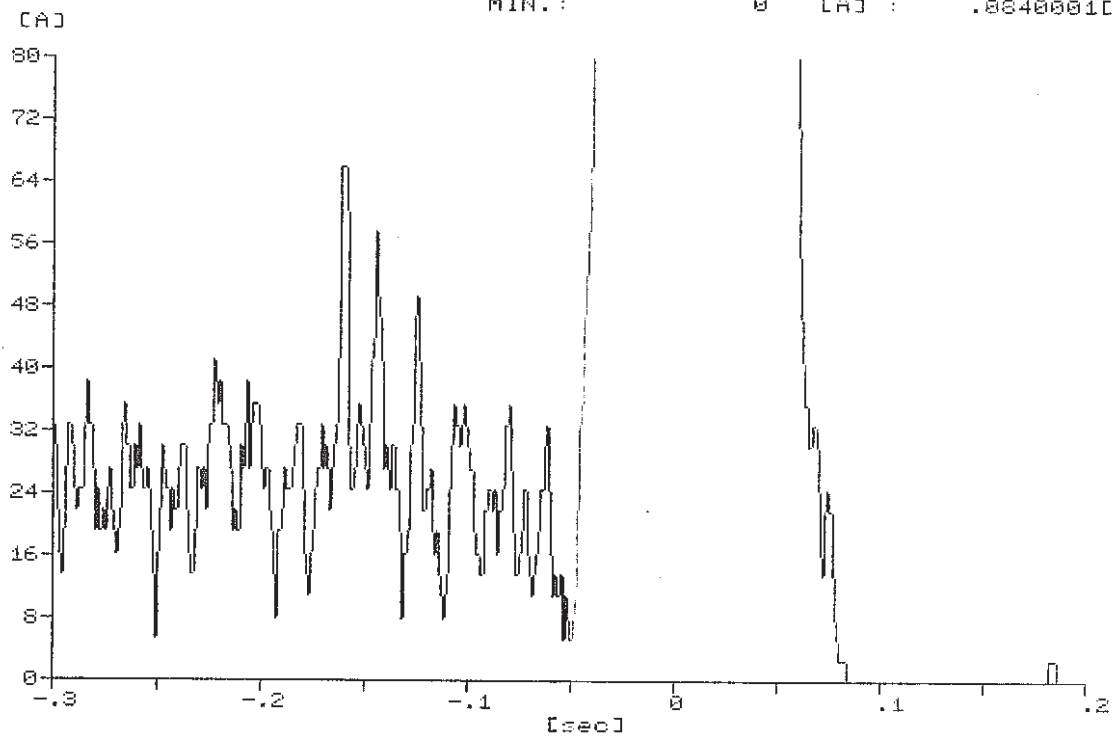
拡大範囲 -0.3[sec] ~ 0.2[sec] 振巾 0 [A] ~ 700 [A]

Fig.4.42 D.C current diagram at trip by heavy accident (A)

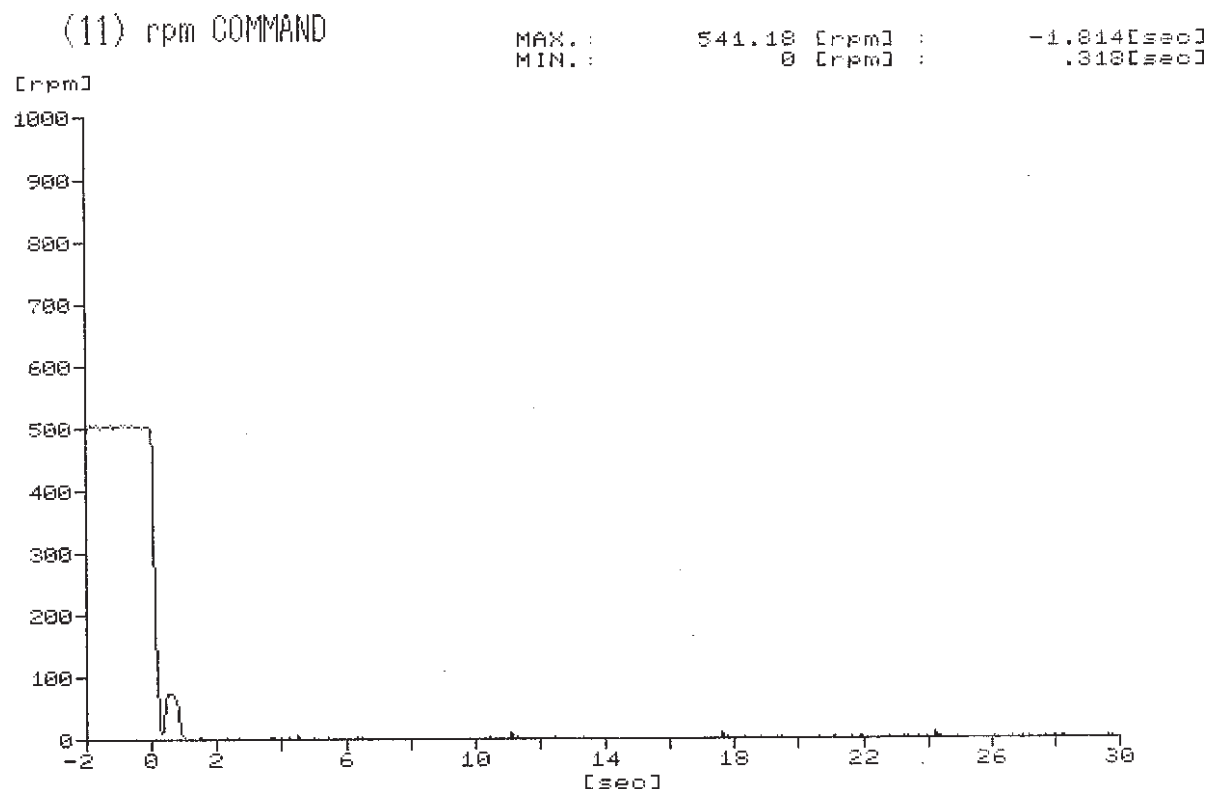
(重故障停止時直流電流線図(A号))

(10) DC CURRENT

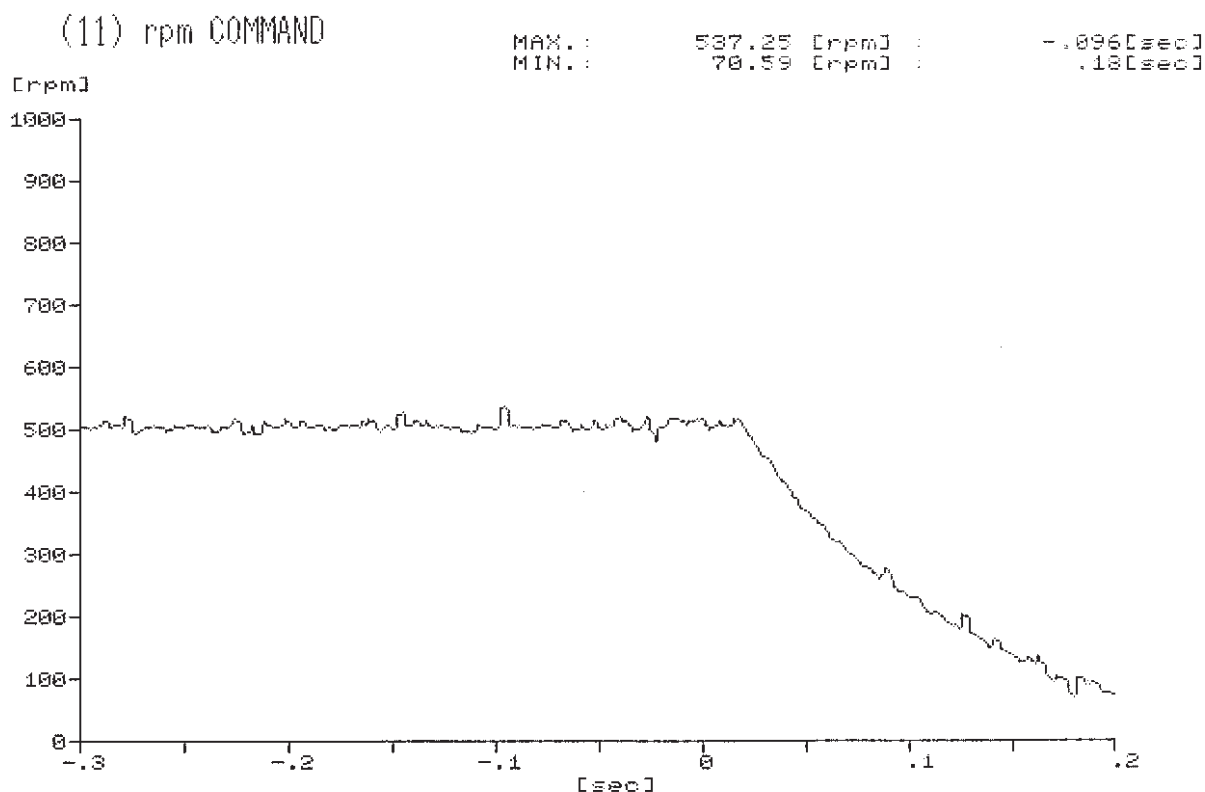
MAX.: 614.9 [A] : -3.00002E-03[sec]
 MIN.: 0 [A] : .8040001[sec]



拡大範囲 -0.3[sec] ~ 0.2[sec] 振巾 0 [A] ~ 80 [A]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0 [rpm] ~ 1000 [rpm]

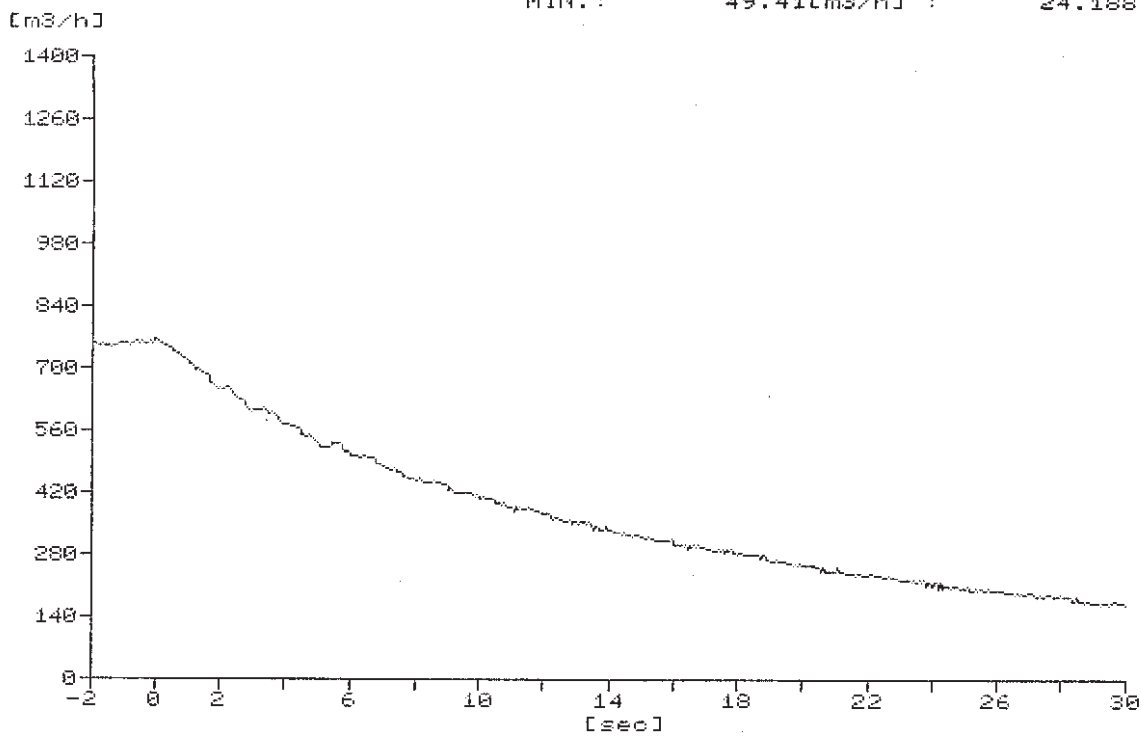


拡大範囲 -0.3[sec] ~ 0.2[sec] 振巾 0 [rpm] ~ 1000 [rpm]

Fig.4.43 Revolution order diagram at trip by heavy accident (A)
(重故障停止時回転数指令線図(A号))

(12) Na. FLOW Q.

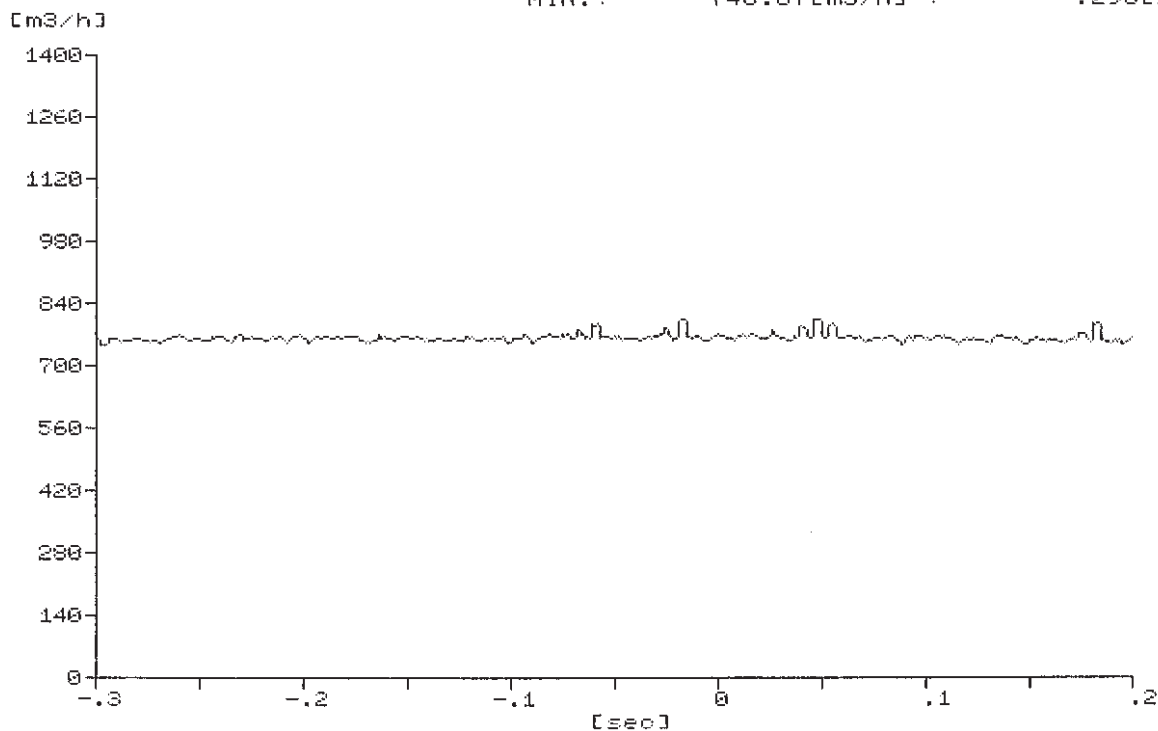
MAX.: 812.55[m³/h] : -1.839[sec]
MIN.: 49.41[m³/h] : 24.188[sec]



拡大範囲 -2[sec] ~ 30[sec] 振巾 0[m³/h] ~ 1400[m³/h]

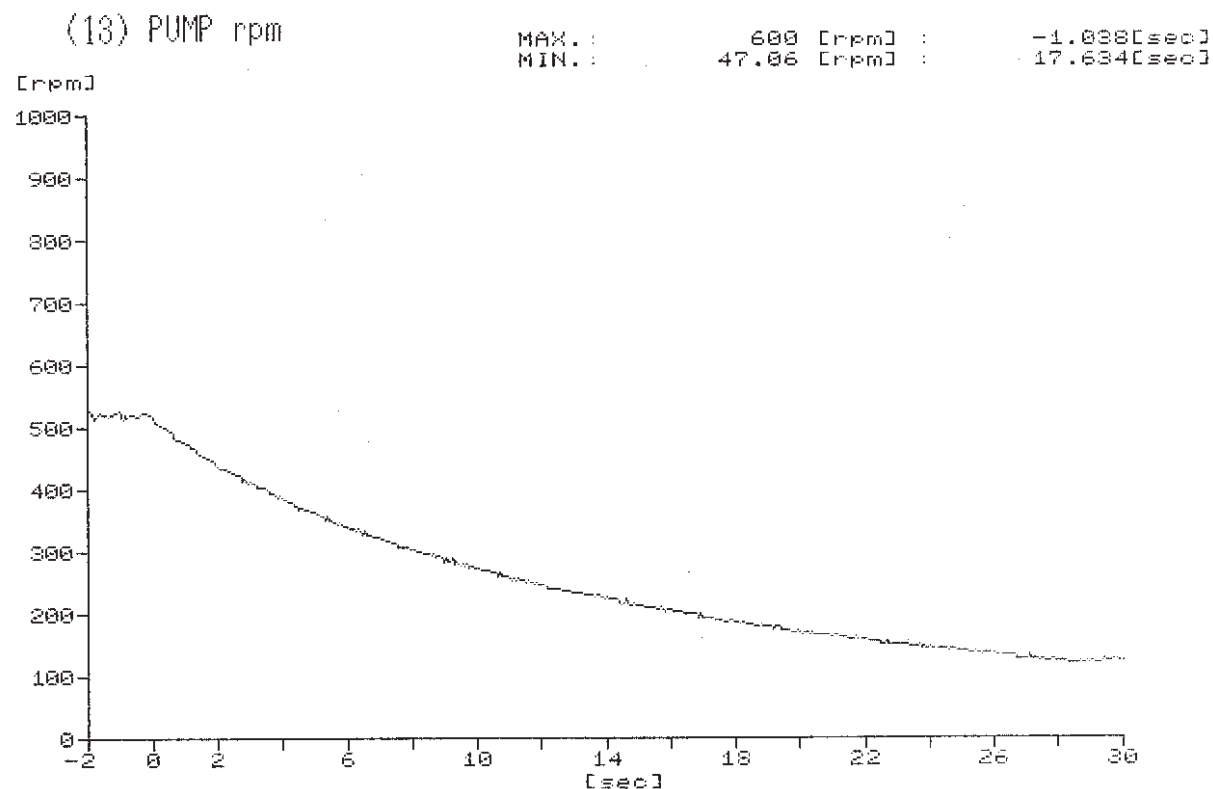
(12) Na. FLOW Q.

MAX.: 887.86[m³/h] : -.018[sec]
MIN.: 746.67[m³/h] : -.298[sec]

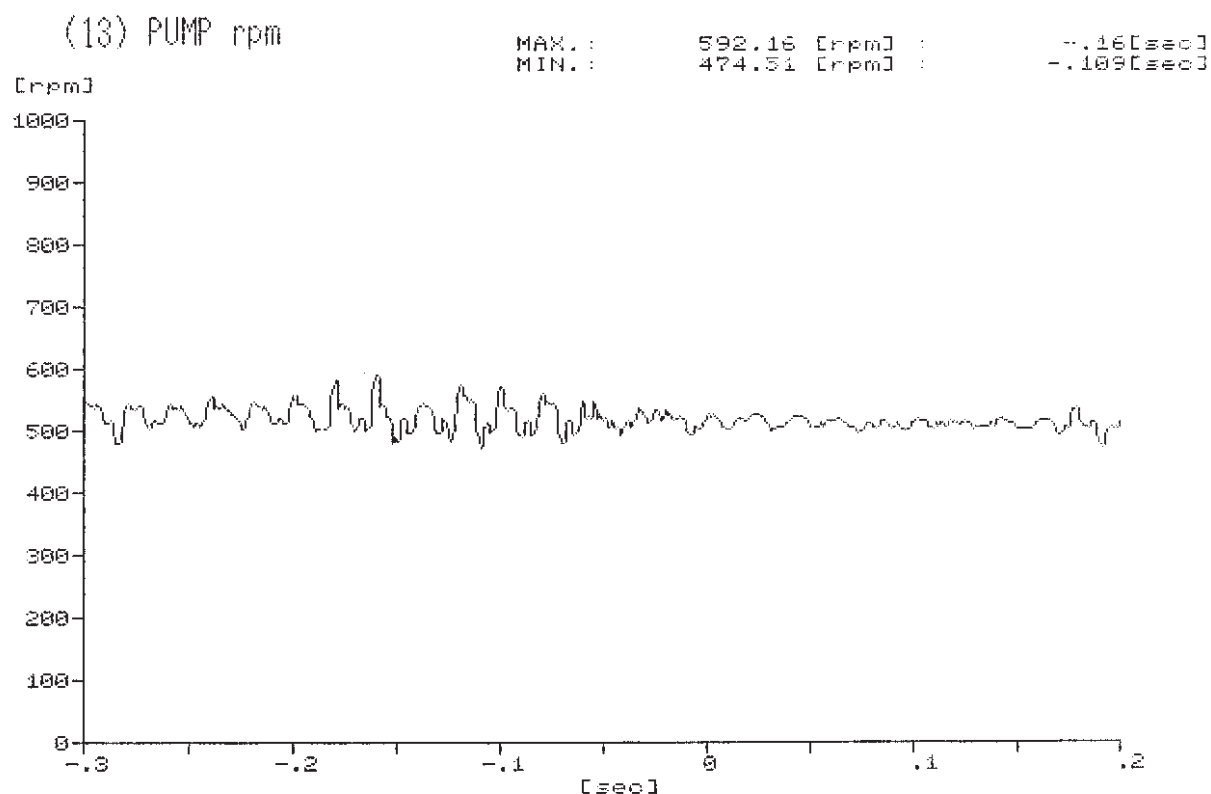


拡大範囲 -.3[sec] ~ .2[sec] 振巾 0[m³/h] ~ 1400[m³/h]

Fig.4.44 Sodium flow diagram at trip by heavy accident (A)
(重故障停止時 Na 流量線図 (A 号))



拡大範囲 -2[sec]~30[sec] 振巾 0 [rpm]~1000 [rpm]



拡大範囲 -.3[sec]~.2[sec] 振巾 0 [rpm]~1000 [rpm]

Fig.4.45 Revolution diagram at trip by heavy accident (A)
(重故障停止時回転数信号(A号))

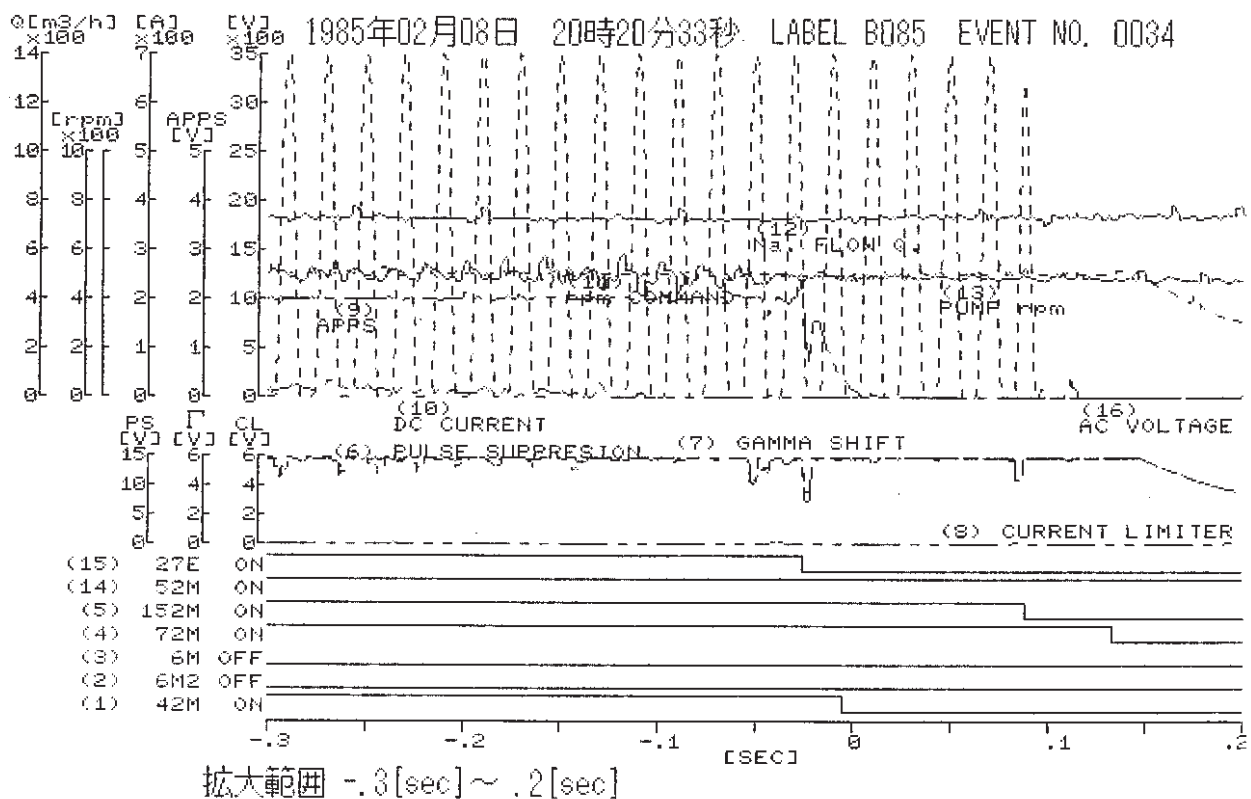
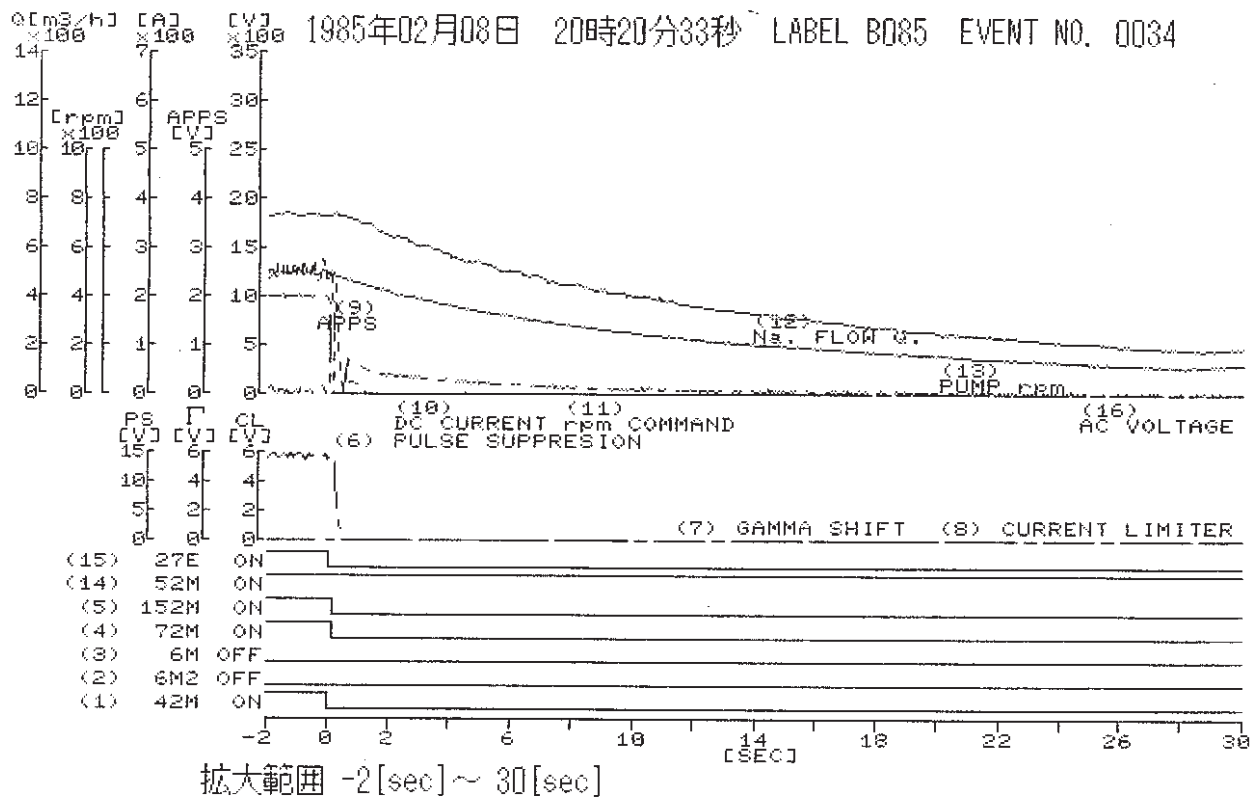


Fig.4.46 Synthetic motion diagram at trip by heavy accident (B)
 (重故障停止時総合動作線図(B号))

Table 4.10 List of synthetic motion of trip by heavy accident (B)

(重故障停止時総合動作表(B))

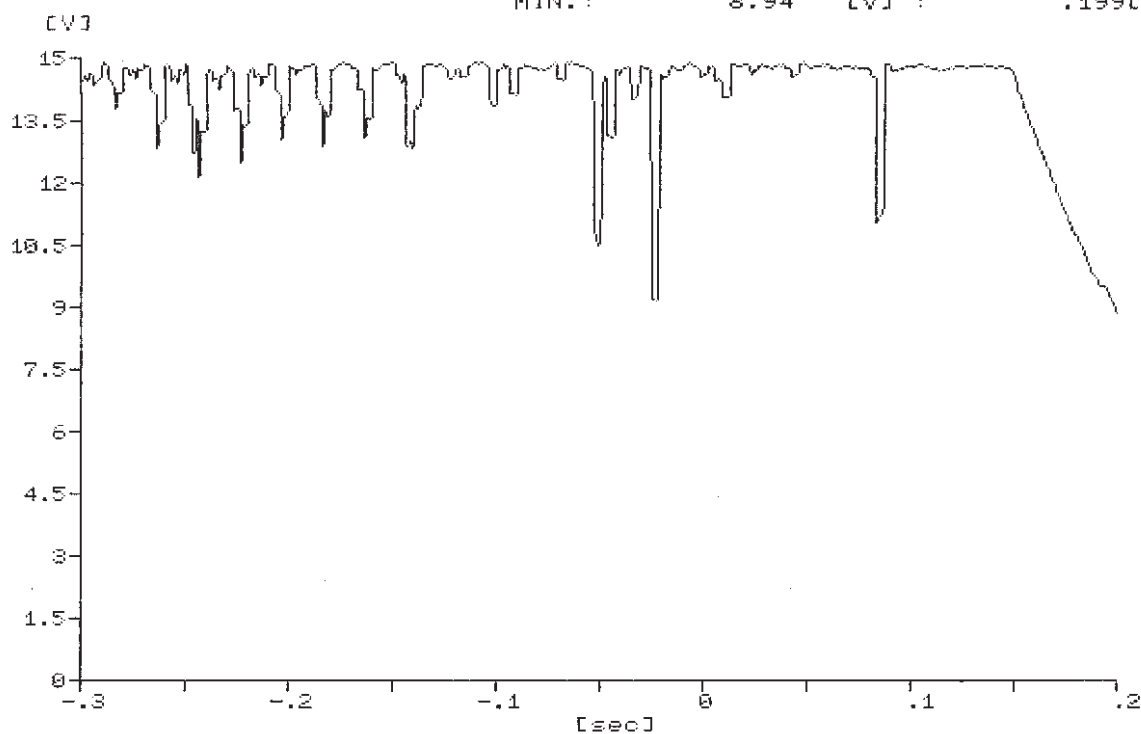
発生時刻：1985年02月08日 20時20分33秒 LABEL B085 EVENT NO. 0034

デジタル信号	初期状態	動作時刻	復帰時刻
(1) 42 M	ON	OFF : -0.005 sec	ON :
(2) 6 M 2	OFF	ON :	OFF :
(3) 6 M	OFF	ON :	OFF :
(4) 72 M	ON	OFF : 0.133 sec	ON :
(5) 152 M	ON	OFF : 0.088 sec	ON :
(14) 52 M	ON	OFF :	ON :
(15) 27 E	ON	OFF : -0.026 sec	ON :

アナログ信号	初期値	最大値	
(6) PULSE SUPPRESION	13.7 V	14.9 V : -1.832 sec	0.0 V : 0.497 sec
(7) GAMMA SHIFT	14.7 V	14.9 V : -1.996 sec	0.0 V : 0.486 sec
(8) CURRENT LIMITER	0.00 V	1.79 V : 11.081 sec	0.0 V : -2.000 sec
(9) APPS	2.06 V	2.41 V : -0.027 sec	0.00 V : 0.013 sec
(10) DC CURRENT	30 A	66 A : 4.526 sec	0 A : -1.959 sec
(11) rpm COMMAND	506 rpm	557 rpm : -0.810 sec	0 rpm : 0.513 sec
(12) Na. FLOW Q.	741 m ³ /h	807 m ³ /h : -1.380 sec	55 m ³ /h : 24.188 sec
(13) PUMP rpm	467 rpm	624 rpm : -0.959 sec	31 rpm : 24.187 sec
(16) AC VOLTAGE	0 V	3500 V : -1.949 sec	0 V : -2.000 sec

(6) PULSE SUPPRESSION

MAX.:	14.94	[V]	:	-.289[sec]
MIN.:	8.94	[V]	:	.199[sec]



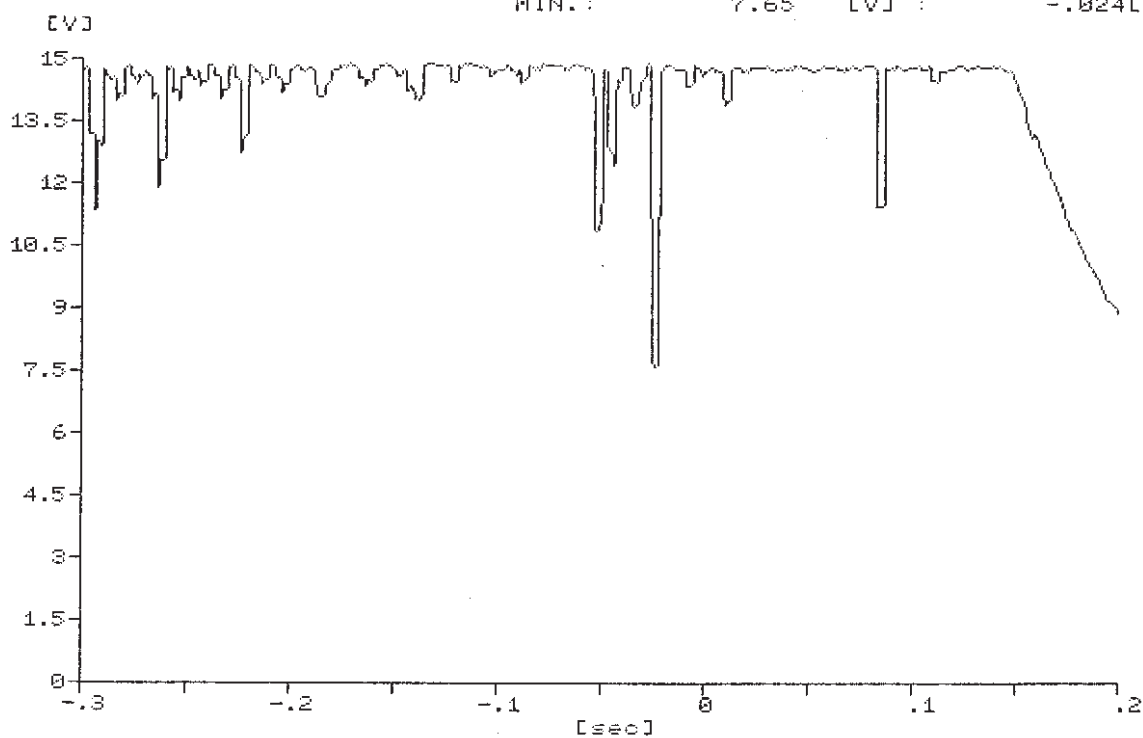
拡大範囲 -0.3[sec] ~ 0.2[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

Fig.4.47 Pulse suppression diagram at trip by heavy accident (B)

(重故障停止時パルスサプレッション線図(B号))

(7) GAMMA SHIFT

MAX.:	14.94	[V]	:	-.171[sec]
MIN.:	7.65	[V]	:	-.024[sec]



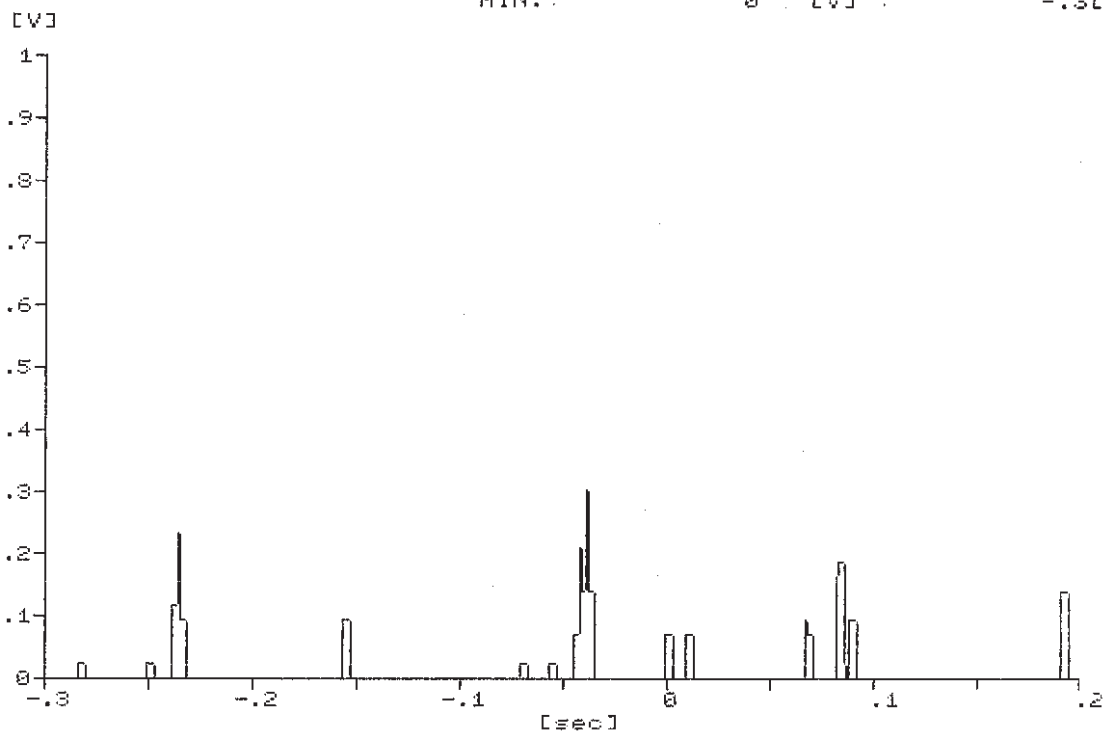
拡大範囲 -0.3[sec] ~ 0.2[sec] 振巾 0 [V] ~ 15 [V]

Fig.4.48 γ shift diagram at trip by heavy accident (B)

(重故障停止時 γ シフト線図(B号))

(8) CURRENT LIMITER

MAX.: .31 [V] : -.039[sec]
 MIN.: 0 [V] : -.3[sec]



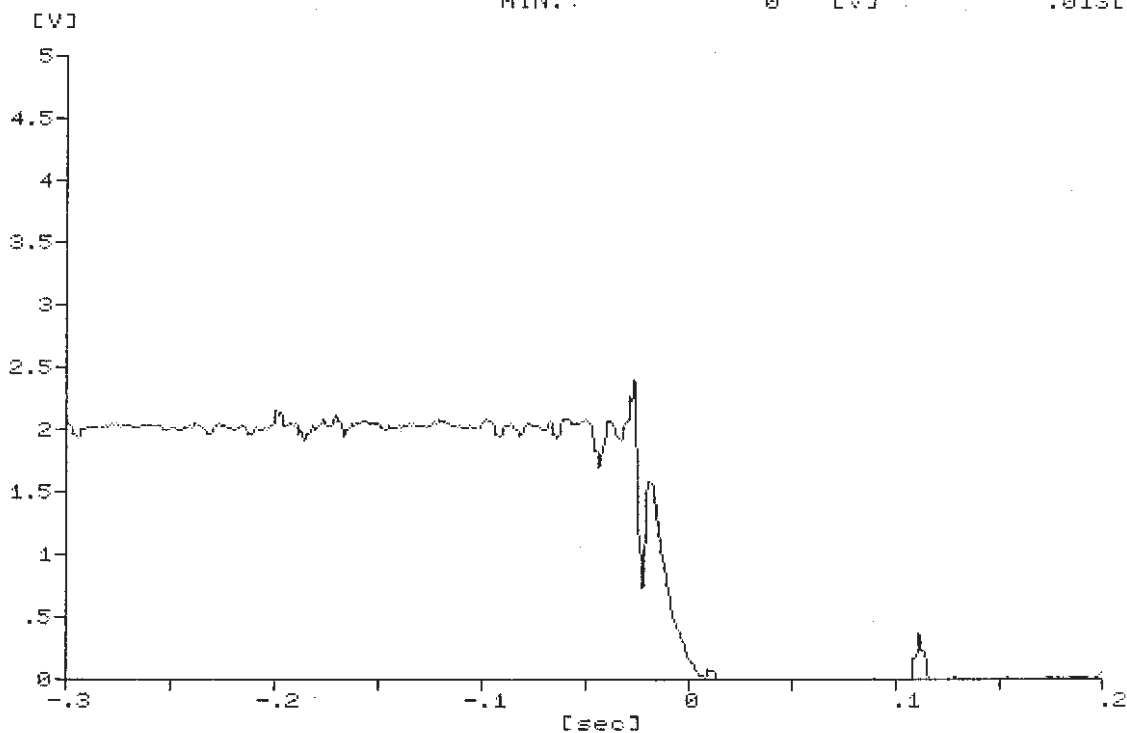
拡大範囲 -0.3[sec] ~ 0.2[sec] 振巾 0 [V] ~ 1 [V]

Fig.4.49 Current limiter diagram at trip by heavy accident (B)

(重故障停止時カレントリミッター線図(B号))

(9) APPS

MAX.: 2.41 [V] : -.027[sec]
 MIN.: 0 [V] : .013[sec]



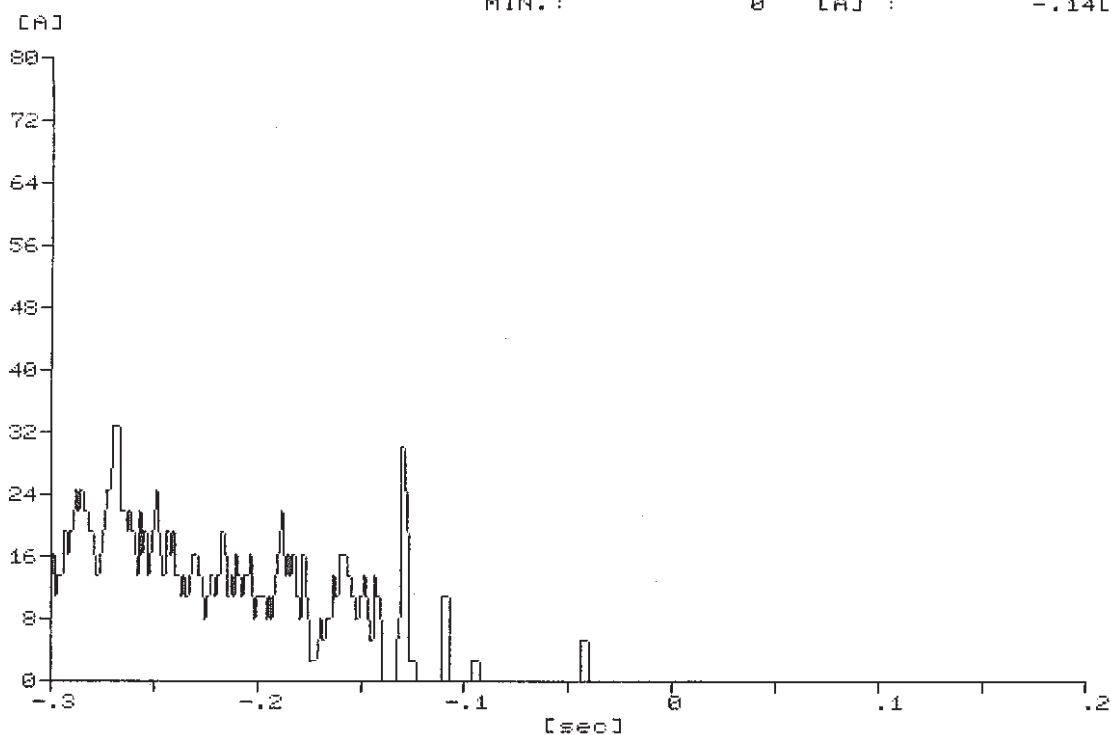
拡大範囲 -0.3[sec] ~ 0.2[sec] 振巾 0 [V] ~ 5 [V]

Fig.4.50 APPS diagram at trip by heavy accident (B)

(重故障停止時APPS線図(B号))

(10) DC CURRENT

MAX.: 32.94 [A] : -.27[sec]
 MIN.: 0 [A] : -.14[sec]



拡大範囲 -.3[sec]~.2[sec] 振巾 0 [A]~80 [A]

Fig.4.51 D.C current diagram at trip by heavy accident (B)
 (重故障停止時直流電流線図(B号))

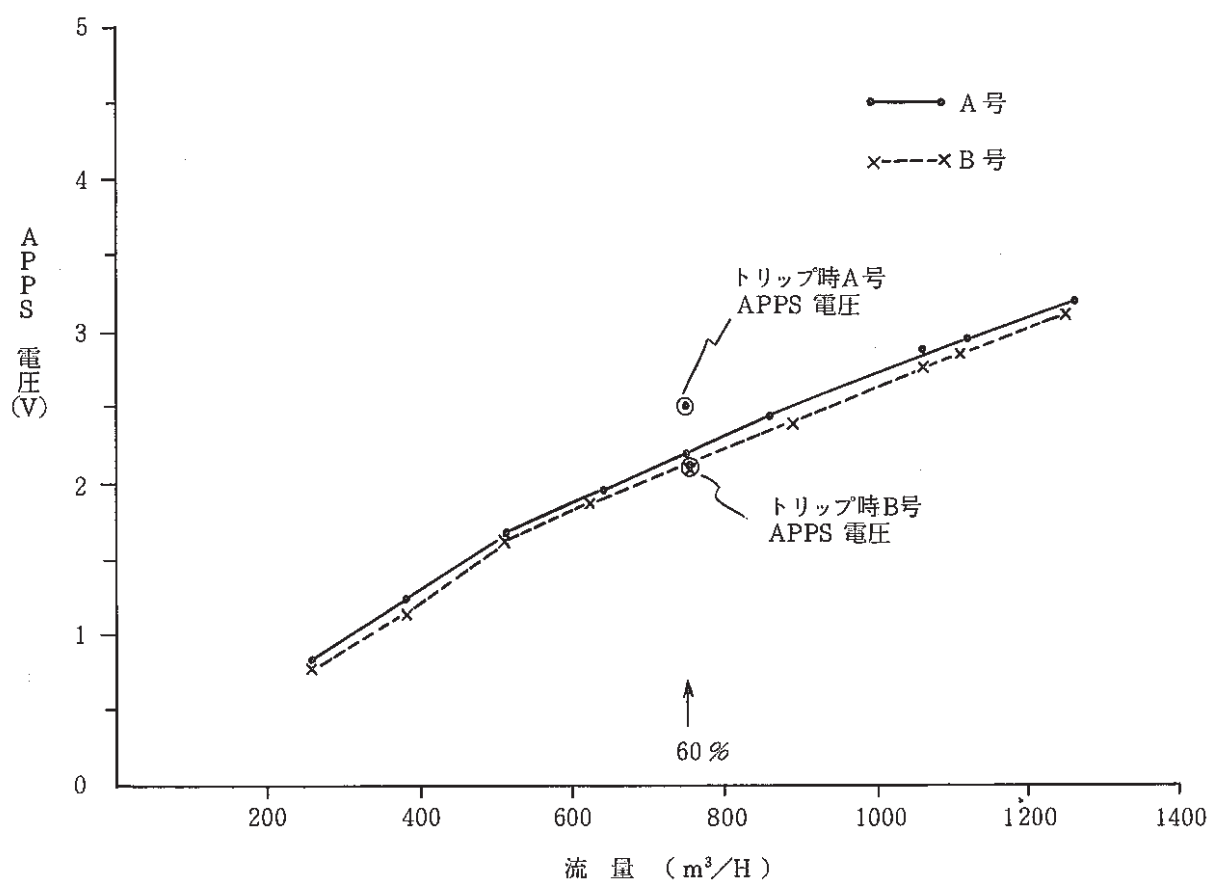


Fig. 4.52 Characteristics of APPS voltage
(APPS 電圧特性)

5. 現象記録装置の評価

昭和 59 年 8 月に新現象記録装置を設置して以来昭和 61 年 2 月までの間に 88 回のデータ記録を行った。これらのデータから新現象記録装置では

- 1) 信号の読み取りが容易かつ正確になり正確な異常原因の解明が可能になった。
- 2) データの保存性に優れ、後から事象を詳細に検討することが可能となった。
- 3) データの蓄積が容易となり、ポンプ制御装置の経年変化の追求や異常監視が可能となった。
- 4) 運転員等に対してポンプ起動、停止時における各信号、遮断器の動作について、その動作を容易に理解しうる状態の情報を与えることが可能となった。

等の改善がなされた。そして昭和 60 年 2 月 6 日に発生した A ポンプトリップ時においてはこれらの情報を元に速やかに原因の究明が進み、短時間の内にプラントの復旧を終えることができた。

しかし新現象記録装置における問題点として信号に入るノイズによって遮断器動作記録の不良や信号の乱れがあり、今後これらのノイズ対策を行う必要がある。

6. ポンプ速度制御装置の監視結果

1 次主循環 ポンプの速度制御装置の監視を通じて現在までに得られた結果をまとめると以下の通りである。

(1) 起動, 停止

ポンプの通常起動, 昇速, 降速, 停止等における, 速度制御装置の作動は非常に安定しており信頼性に問題はない。

(2) 瞬停再起動

セルビウス制御方式を使用する上で一番大きな問題であった瞬時停電時のポンプ保護及びプラントの定常維持は, 現在までに実施した対策により, 完全に解決されたと言える。それは以下の項目に集約される。

1) 基本的問題と対策

瞬時停電がセルビウス制御方式に与える基本的問題は, 瞬停発生時にサイリスタの逆阻止電圧が低下して, 直流回路に短絡現象が発生することである。この問題に対しては, 瞬停発生と同時に直流回路遮断器を開放して短絡を防止し, その後再起動抵抗によってポンプを昇速した後, 再び直流回路遮断器を投入しセルビウス運転に戻す瞬停再起動シーケンスを採用することによって解決された。

2) 流量低下

原子炉が電源喪失スクラムに至らない 1 秒以内の瞬時停電では, ポンプの再起動抵抗昇速によって 1 次系流量は, $1060 \text{ m}^3/\text{H}$ までしか低下しない。また, 再起動抵抗昇速からセルビウス運転に切換る時は, 再起動抵抗運転とセルビウス運転を 0.6 秒オーバーラップさせることにより $1060 \text{ m}^3/\text{H}$ までしか低下せず, いずれも原子炉スクラム設定値である $1008 \text{ m}^3/\text{H}$ に対して十分の余裕を持っている。

3) 過電流保護

ポンプ瞬停再起動中のセルビウス回路の過電流は, 保護回路のカレントリミッタが作動し, 定格の 100 % 程度に制限され, 電気故障には至らない。

(3) 保護機能

速度制御装置の保護機能としてパルスサプレッション, γ シフト, カレントリミッターがあるが, この内カレントリミッターの作動については正常に機能することが確認された。しかしパルスサプレッション, γ シフトについては, 報告書 PNC N 941 83-109 において指摘されたように, その機能について疑問を生じている。本件は現在もその機能について確認ができていないため, 今後とも監視を続けていく必要がある。

7. 結 言

1次主ポンプの速度制御に使用されている静止セルビウス方式は、設置スペースが少ない、保守費用が少ない、速度制御範囲が広く、なめらかである、電力効率が良い等の利点があるが、欠点として外部電圧変動等に対して不安定であることが当初から問題となった。これらの問題に対して、装置の機能改良等を順次実施して行く過程で、速度制御装置の監視が1次主ポンプの健全性確認の上で必要であると判断し、昭和53年4月に制御装置の信号を集めて記録するエンドレステープ方式の現象記録装置を設置した。本装置によって1次主ポンプの健全性監視に必要な多くのデータが得られたが、一方装置自身も、関係者の粘り強い努力によって徐々に改善を重ねその有用性が認識されてきた。

これらの多くの実績を踏まえて昭和59年8月に新現象記録装置を設置し、以来昭和61年2月までの間に88回の貴重なデータを記録することができた。この間の大きな事象としてセルビウス重故障によるポンプトリップを経験し、その事象解析において大きな成果を上げ、新現象記録装置の有用性を立証した。一方従来からのデータ及び新現象記録装置によって得られたデータから、1次主ポンプ速度制御装置の機能は、十分に信頼しうるものとの結論に達した。

これらの一連の成果は、1次主ポンプ運転開始以来の多くのデータ、経験の積み重ねによって可能となったものでありデータ、経験の継続的な蓄積の重要性を改めて認識させるものである。

今後は、現象記録装置等によりデータを蓄積し、制御系の監視や異常時の原因追求等を継続していき、さらに一步進めて異常予知、予防へと進めていきたい。