

高速道路におけるトンネル換気ファンのサイリスタモータ駆動システム

Thyristor Motor Driving System for Speedway Tunnel Ventilating Fans

サイリスタを応用した駆動装置は、省エネルギー化、メンテナンスの省力化が可能であること、あるいは電子計算機を組み合わせれば自動化による無人運転ができるなどの利点があるため、気体機械あるいは流体機械を中心にその適用が盛んになり、特に、トンネル換気設備でその傾向が大である。それに伴いサイリスタ応用設備の信頼性を向上させるため、瞬時停電対策及び他の電気設備への高調波の影響を極力少なくするよう、発生源となるサイリスタ変換装置に関するシステムの高調波防止対策などの技術的な検討が必要になった。これらの問題につき、種々の検討を行ない、適切な対策方法を明確にし、所定の目標を達成できた。

清水煌策* Shimizu Kōsaku
廣 豊* Hiro Yutaka
沢地末明** Sawachi Sueaki
梓沢 昇*** Azusawa Noboru
横山忠夫* Yokoyama Tadao

1 緒 言

従来、トンネル換気設備用駆動システムとしては、かご形誘導電動機を用いた台数制御及び極数切換により風量調整を行っていたが、これらの駆動システムでは、開閉器のメンテナンス、寿命、誘導電動機の起動頻度の制約及び風量調整について難点があった。このため、オイルショックを契機として省エネルギー化が強く要求されるようになってともに、最適な風量制御が行なえるサイリスタモータが広く使われるようになってきた¹⁾。

サイリスタモータを使用する大きな目的は、省エネルギー化、メンテナンスの省力化、電子計算機との組合せによる無人運転化などの利点のほかに、ソフトスタートが可能なので始動時の電流を定格電流並みに抑え込めるため、電源設備の受電容量を小さくできること、あるいは機械系への衝撃が緩和できることなど大きな利点がある。一般に、トンネル換気設備のように管理場所から遠く離れた所で運転される装置では、無人化、無故障の運転が要求されるので、サイリスタモータ駆動システムは、トンネル換気システムの目的にかなった最適な駆動システムの一つと言える。この目的のサイリスタモータ駆動装置は、一般に電流形サイリスタ変換器を使用するので、電流波形が方形波となるため高調波が発生し、そのままでは電源側へ影響を与える可能性があるため、その防止に関し十分な検討が必要である。この論文では、これらの問題についても述べる。

2 トンネル換気システム用サイリスタモータ装置の概要

電流形サイリスタモータの基本的な電源方式としては、表1に示すように交流方式と直流方式の二つの方式があるが、その選択に当たっては用途、使用条件によって十分な検討を要する。一般に直流方式のほうがサイリスタ変換器アーム数が少なく、価格的に有利であるが、始動は断続始動で行なうため始動時のトルク脈動が大となるので、起動頻度が多くかつ負荷慣性が高いトンネル換気システムには、滑らかな始動ができる交流方式を用いるほうがよい。

この電源方式を適用したトンネル換気システムが、順調に

稼動するためには、各機器単独の信頼性が高いものを使うことは言うまでもない。更に、システム全体の故障を未然に防ぐことができるよう、特に制御装置について、内部じょう乱あるいは瞬時停電などの外部じょう乱に対しても十分対処できるように、異常検出回路、保護回路などを設けてシステム全体の信頼性を高めておく必要がある。

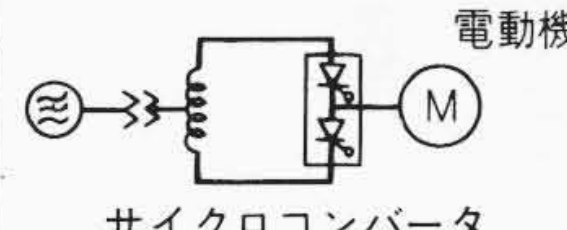
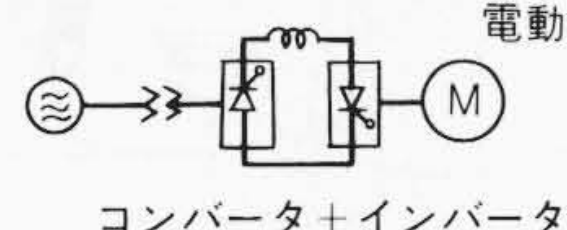
3 サイリスタモータ装置

3.1 回路構成

図1は、トンネル換気用サイリスタモータ装置の一例として、日本道路公団笹子トンネルに納入したサイリスタモータ装置の回路構成を示すものである。

この回路の特長は、主回路はサイクロコンバータを用いた交流方式とし、電動機にはブラシレス励磁機付サイリスタモータを適用して、滑らかな始動を可能としている。また、制御装

表1 交流、直流方式サイリスタモータの特徴 交流方式、直流方式の採用は負荷の特性を考慮して行なう。

項 目	交 流 方 式	直 流 方 式
主 回 路 構 成	 サイクロコンバータ	 コンバータ+インバータ
適 用 容 量	出力上限は一般電動機と同様	同 左
電 動 機 タ イ プ	同期電動機タイプ	同 左
変換器アーム数(標準)	18アーム	12アーム
付 属 機 器	分配器、速度検出機	同 左
電 動 機 構 造	完全ブラシレス可能	同 左
瞬時停電への対応	瞬時停電対策が容易に可能	同 左
速度 制 御 範 囲	1:10	同 左
速 度 精 度	1%	同 左
始動時出し得るトルク	約150%以下	100%以下
始動時トルク脈動	小	大
制 御 機 能	定トルク制御、回生、逆転可能	同 左

* 日立製作所日立工場 ** 日立製作所機電事業本部 *** 日立製作所大みか工場

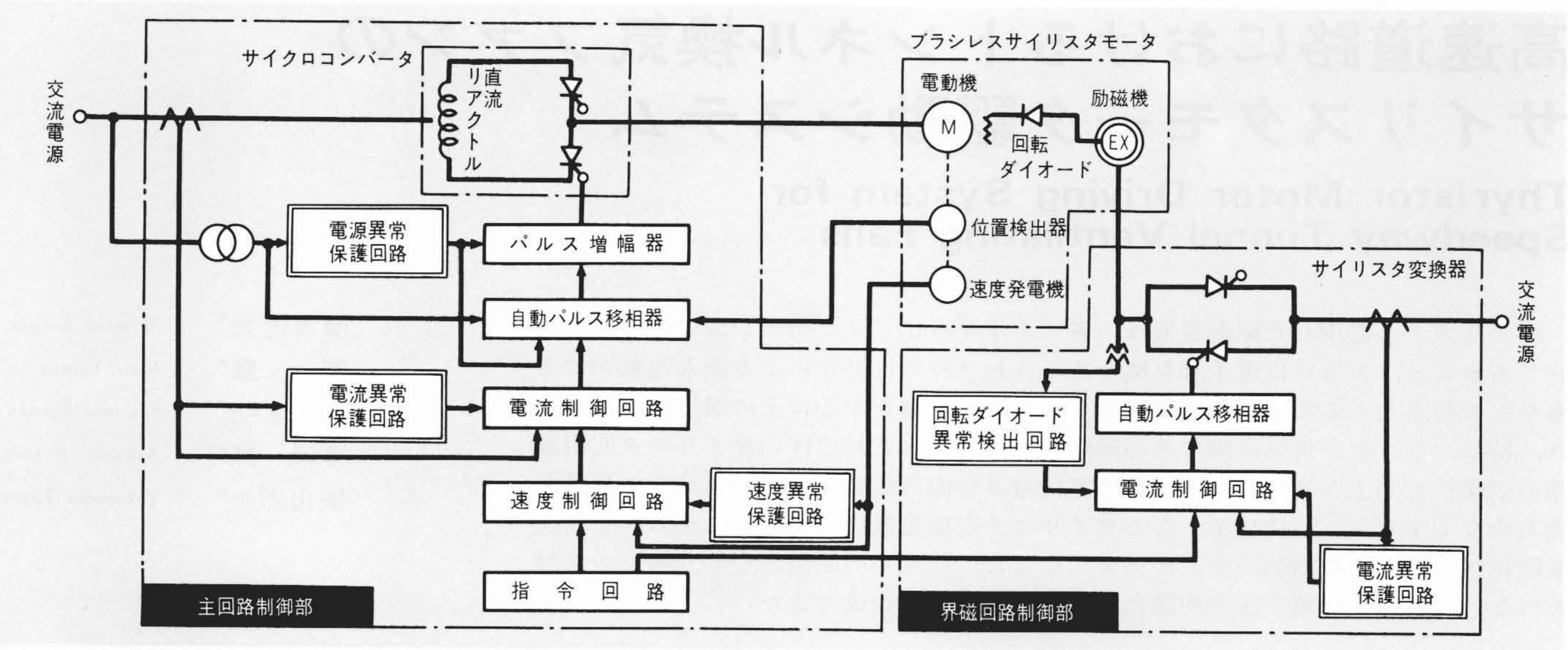


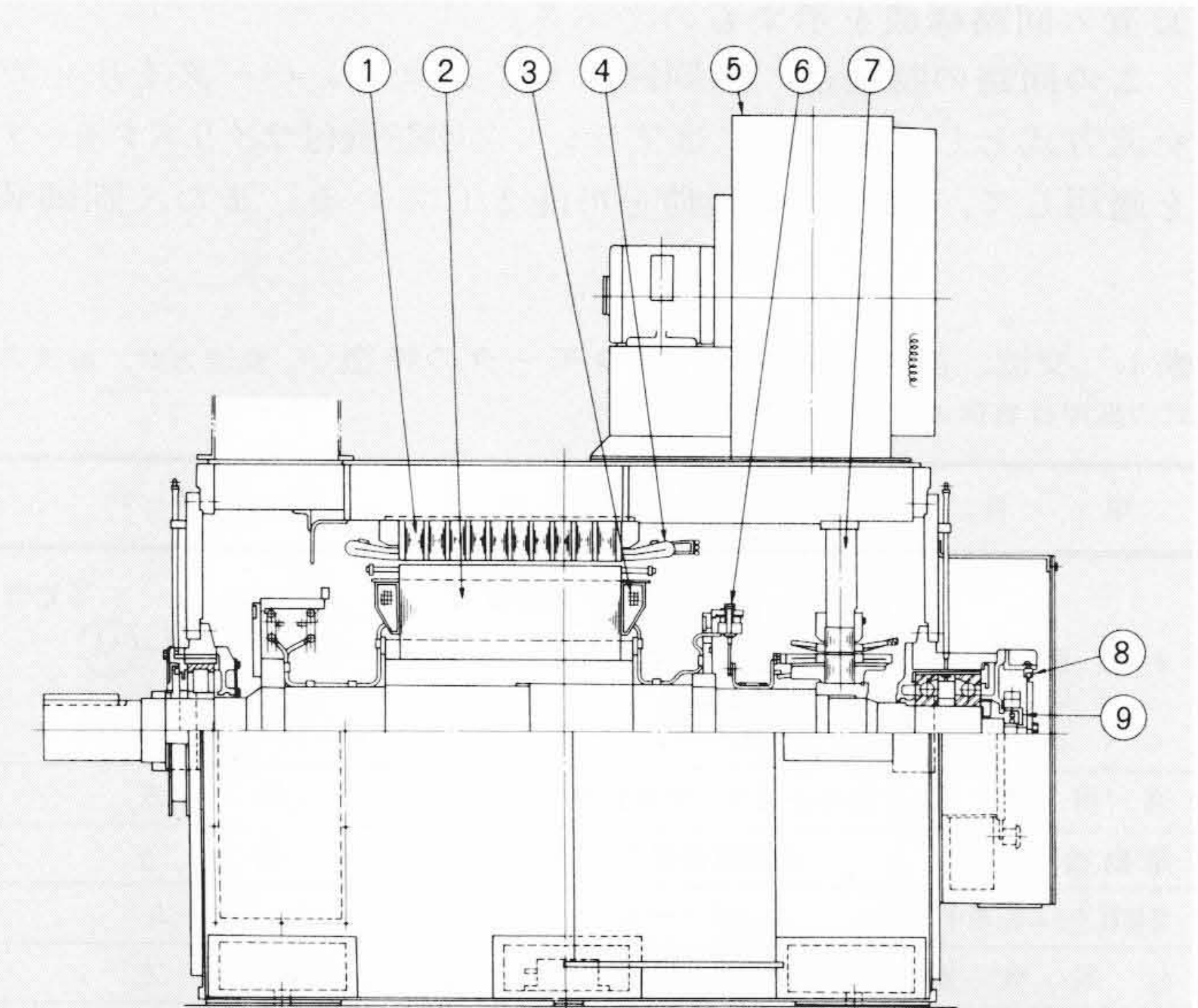
図1 サイリスタモータ装置の回路構成 サイリスタモータ装置は、ブラシレスサイリスタモータと主回路制御部、界磁回路制御部から成る制御装置とで構成されている。

置の信頼性を高めるため、各種の保護回路あるいは異常検出回路が設けてある。

3.2 構成機器

(1) 電動機

駆動装置の心臓部となる電動機は、図2に示すように、一般の同期電動機と同様信頼性の高い突極形、回転界磁形構造を採用している。完全なブラシレス化による保守の省力化を図るため、ブラシレス励磁機を設置するとともに、速度発電機は交流式とし、磁極位置検出器も非接触形としている。表2にこの構造を採用したブラシレスサイリスタモータの各換



項番	名 称	項番	名 称
①	ステータコイル	⑥	回転ダイオード
②	ポールコイル	⑦	励磁機
③	界磁コイル	⑧	位置検出器
④	ステータコイル	⑨	速度発電機
⑤	ユニットクールファン	—	—

図2 サイリスタモータ構造図 保守の省力化を図るため、励磁機、回転ダイオードから成るブラシレス励磁装置が設置されている。

気所へ適用時の仕様を、図3に設置されたサイリスタモータの外観を示す。

(2) 制御装置

ブラシレスサイリスタモータの制御装置は、図1に示すように主回路制御部と界磁回路制御部から構成されている。図4に制御装置の外観を示す。

(a) 主回路制御部

主回路制御部はサイクロコンバータ、パルス増幅器、自動パルス移相器、電流制御回路及び速度制御回路並びに電圧、電流、速度などの異常を検出し、保護を行なう保護回路から構成される。パルス増幅器と自動パルス移相器は、商用周波の交流電源から電動機の回転速度に応じた周波数、電圧の交流に変換するサイクロコンバータの点弧パルスを作成する。速度制御回路は、指令回路から発生される指令速度に追従するような電流指令を発生する。電流制御回路では、速度制御回路の出力として得られた電流指令に応じてサイクロコンバータ、電動機に流れる電流を制御するとともに、これが定格値以上にならないような演算制御を行なう。電流及び速度保護回路は、サイクロコンバータ、電動機に流れる電流が過電流、あるいは電動機速度が過速度となった場合、上記制御回路に異常検知の信号を与え、機器の保護を行なう。電源異常保護回路は、落雷などの電源系統に起こる異常により発生する瞬時停電時に、電源の異常を5ms程度で検出し、サイクロコンバータの動作を停止させ異常電

表2 サイリスタモータの仕様 送風機用、排風機用ブラシレスサイリスタモータをセットとして設置してある。

換気所名	西側換気所				東側換気所			
	上り線		下り線		上り線		下り線	
車線名	送風機	排風機	送風機	排風機	送風機	排風機	送風機	排風機
機種区分	送風機	排風機	送風機	排風機	送風機	排風機	送風機	排風機
台数	2	2	2	2	2	2	2	2
サイリスタモータ	定格出力 (kW)	465	565	565	705	570	720	690
	定格回転数 (rpm)	578	606	618	650	500	570	500
	定格電圧 (V)	510	510	510	510	510	510	510
	定格周波数 (Hz)	38.5	40.4	41.2	43.3	33.3	38.0	33.3
	極数	8	8	8	8	8	8	8



図3 サイリスタモータの外観 ブラシレス励磁機，交流速度発電機及び非接触形位置検出器により完全なブラシレス構造としてある。

流とならないように制御するとともに，復電時には，電源変圧器の偏磁現象による波形ひずみが回復する数十サイクル後に電源正常を検出して運転を再開するという，運転の連続性を確保する制御を行なう²⁾。図5は瞬時停電時の動作オシログラムである。今まで述べてきた瞬時停電時の各種動作が確実にこなわれていることが分かる。

(b) 界磁回路制御部

界磁回路制御部は，界磁用サイリスタ変換器，自動パルス移相器，電流制御回路及び界磁電流が所定値の範囲外になったことを検出して，停止などの保護を行なう保護回路から構成される。サイリスタ変換器は，励磁機(EX)の二次側の界磁電流が電動機の回転速度にかかわらず一定となるように，励磁機の一次電圧を制御する。自動パルス移相器及び電流制御回路は，サイリスタ変換器の電源側の電流を検出し，界磁電流の指令値に界磁電流が追従するように演算制御を行なう。また，電流異常保護回路は，電動機の回転子に設置された回転ダイオードが正常時，界磁電流が所定値の範囲外になったことを検出し，界磁回路，主回路を停止させる制御を行なう。回転ダイオード異常検出回路は，回転子に設置される回転ダイオードの短絡あるいは開放となる故障を検出し，界磁電流が異常となった場合に発生する主回路サイクロコンバータの転流失敗，過電流などを防止する信号を発生する。このように，ブラシレス励磁機の心臓部となる回転ダイオードについて異常検出を確実にこなうようにして，主回路の異常を未然に防ぐよう信頼性を高めてある。

4 高調波対策

4.1 高調波の影響

電流形サイクロコンバータを用いた変換器では，高調波電流が電源側に流出する。高調波電圧ひずみ，電流ひずみの影響は，その系統構成，負荷の状況により大幅に変わる。電圧の高調波ひずみによっては鉄損，誘電損失，騒音の増大などの障害，また電圧，電流のひずみでは電子機器への障害の原因となる。

電気設備に及ぼす影響を列記すると，

- (1) 電力用コンデンサの過熱
- (2) サイリスタ位相制御装置の誤制御，サイリスタ変換器の転流失敗
- (3) 電動機，変圧器の容量の減少
- (4) 通信線への誘導障害

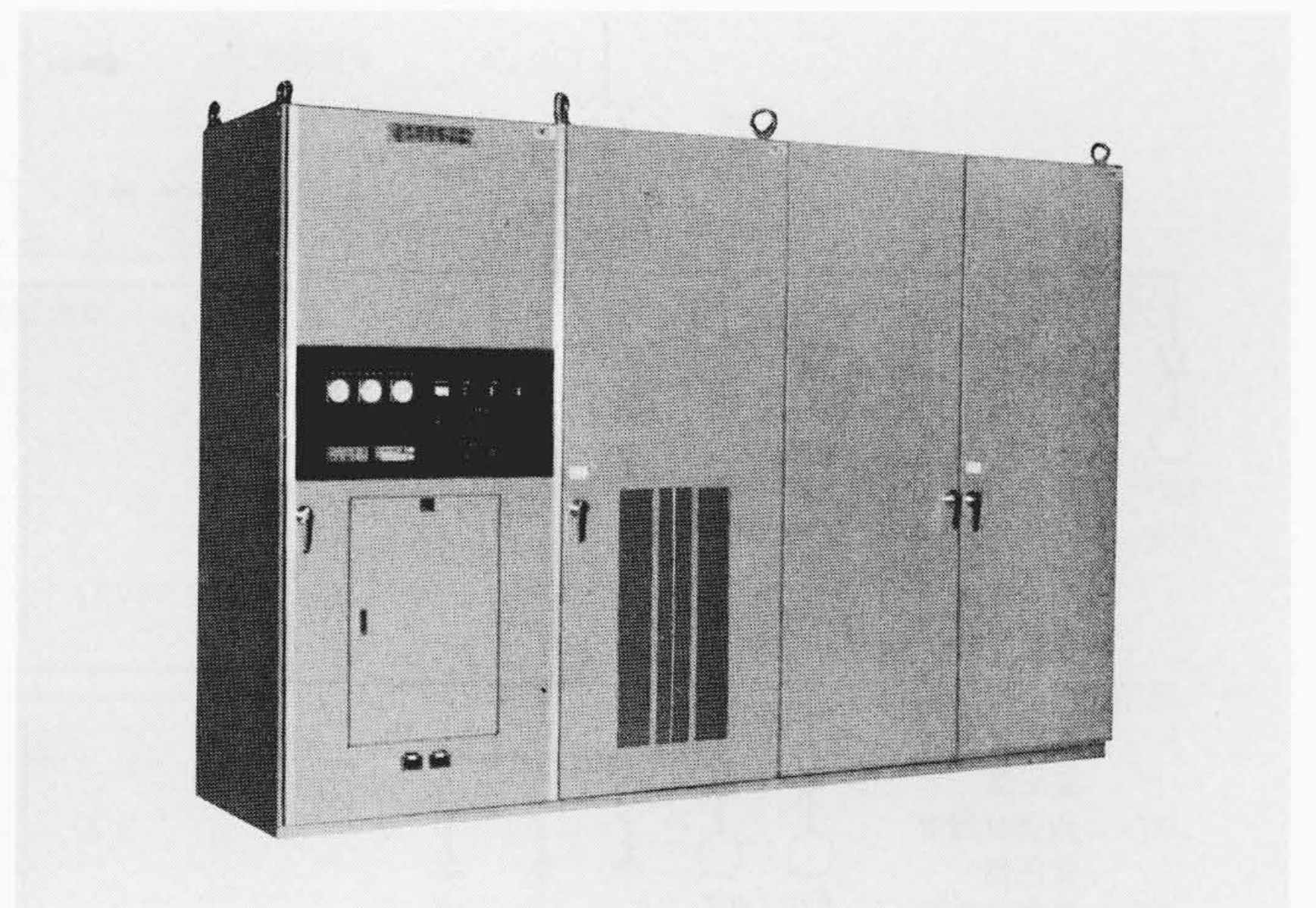


図4 制御装置 主回路制御部及び界磁回路制御部から構成されている。

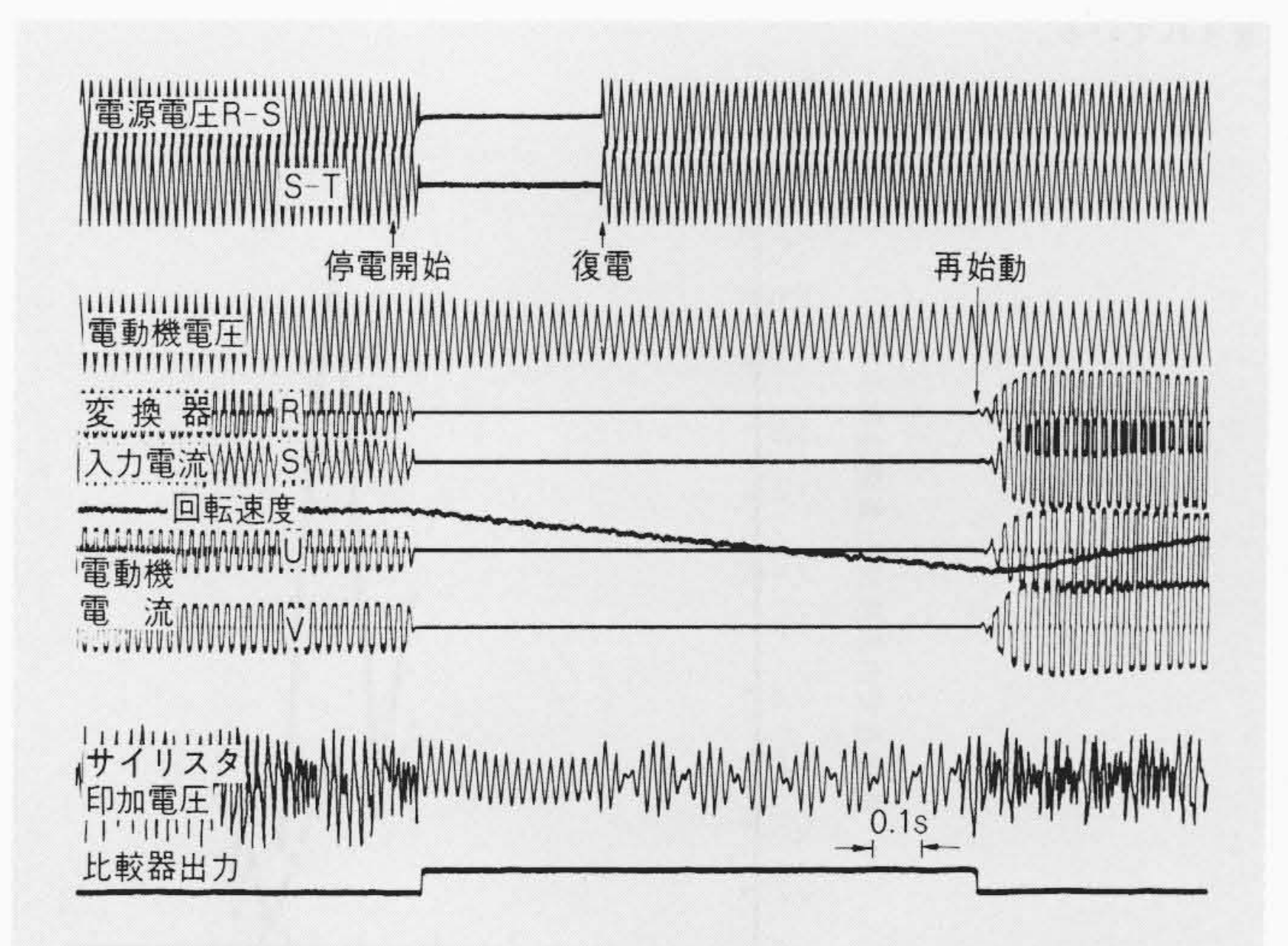


図5 瞬時停電時のオシログラム 瞬時停電開始から再始動の間，サイリスタに異常な高電圧が印加されることもなく安全に運転が継続している。

(5) けい光灯の雑音防止用コンデンサ，安定器の過熱など多種多様である。

4.2 高調波の軽減の例

高調波の軽減目標は電気設備の計画上，多角的な検討が必要である。ここでは，前記日本道路公団笹子トンネル納め換気設備を例にとり述べる。

高調波電流，電圧の作用も電源系統条件，サイリスタ負荷群の運転状況により変わるため，規制点(例えば，受電点)での高調波電流，電圧の許容値，系統条件及び負荷の運転状況を決めた後に，変換装置の接続方式，高調波フィルタなどの手段を用い，高調波ひずみが許容値に入るかどうかを検討された。

この検討には，サイリスタ変換器群を高調波発生源とした電気設備系統図を用いた(図6参照)。ここでは計画検討の詳細について述べることはできないが，高調波フィルタ設備は将来電動機増設を考慮し決定された³⁾。基本的には，サイリスタ変換器用変圧器結線の組合せで等価12相で5，7，17，19次調波を軽減させているが，電動機容量に相違があるため，前述の5～19次調波が残っている。

東側換気所受電点でのフィルタ設備効果の実測例を図7に示す。フィルタ設備を系統へ投入した場合の効果は，フィルタ設備なしのときに比較し，系統への流出高調波電流では $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ 以下に軽減し，高調波電圧ひずみは5，7，11次調波につ

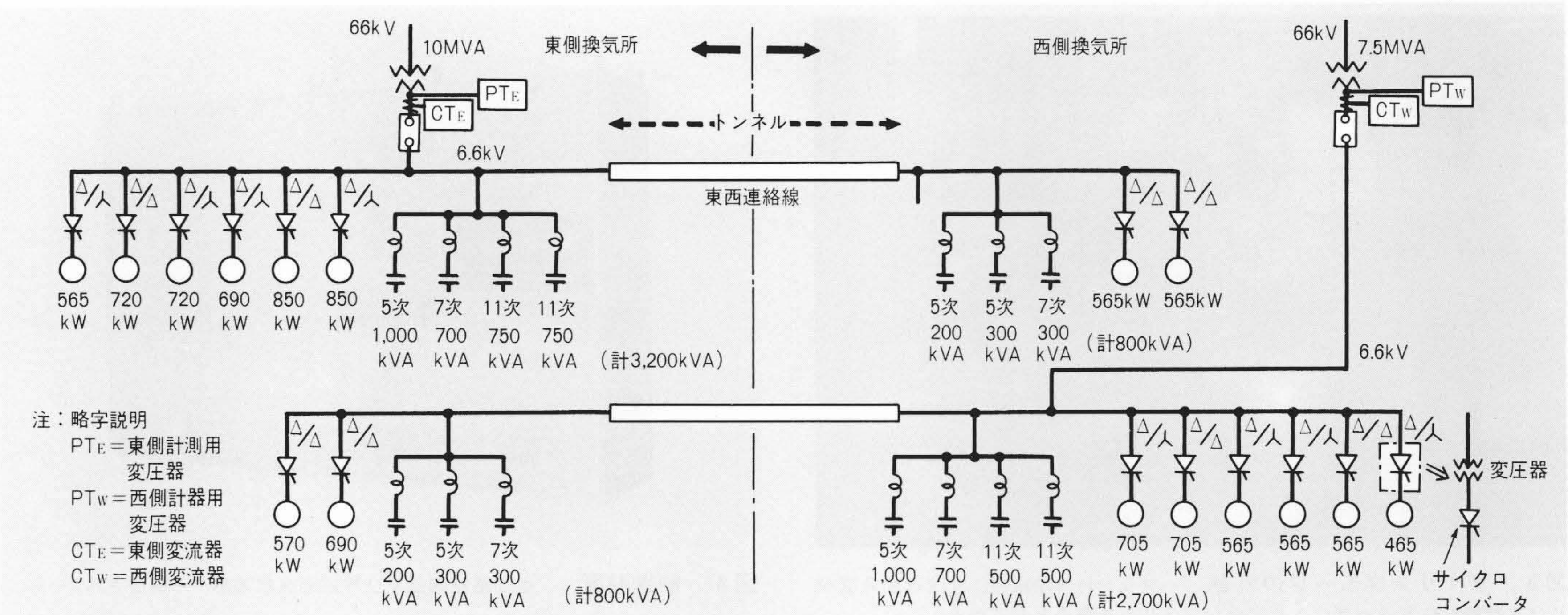


図6 電気設備系統図 高調波を低減するため、変圧器を等価12相にするとともに、高調波フィルタが設置されている。

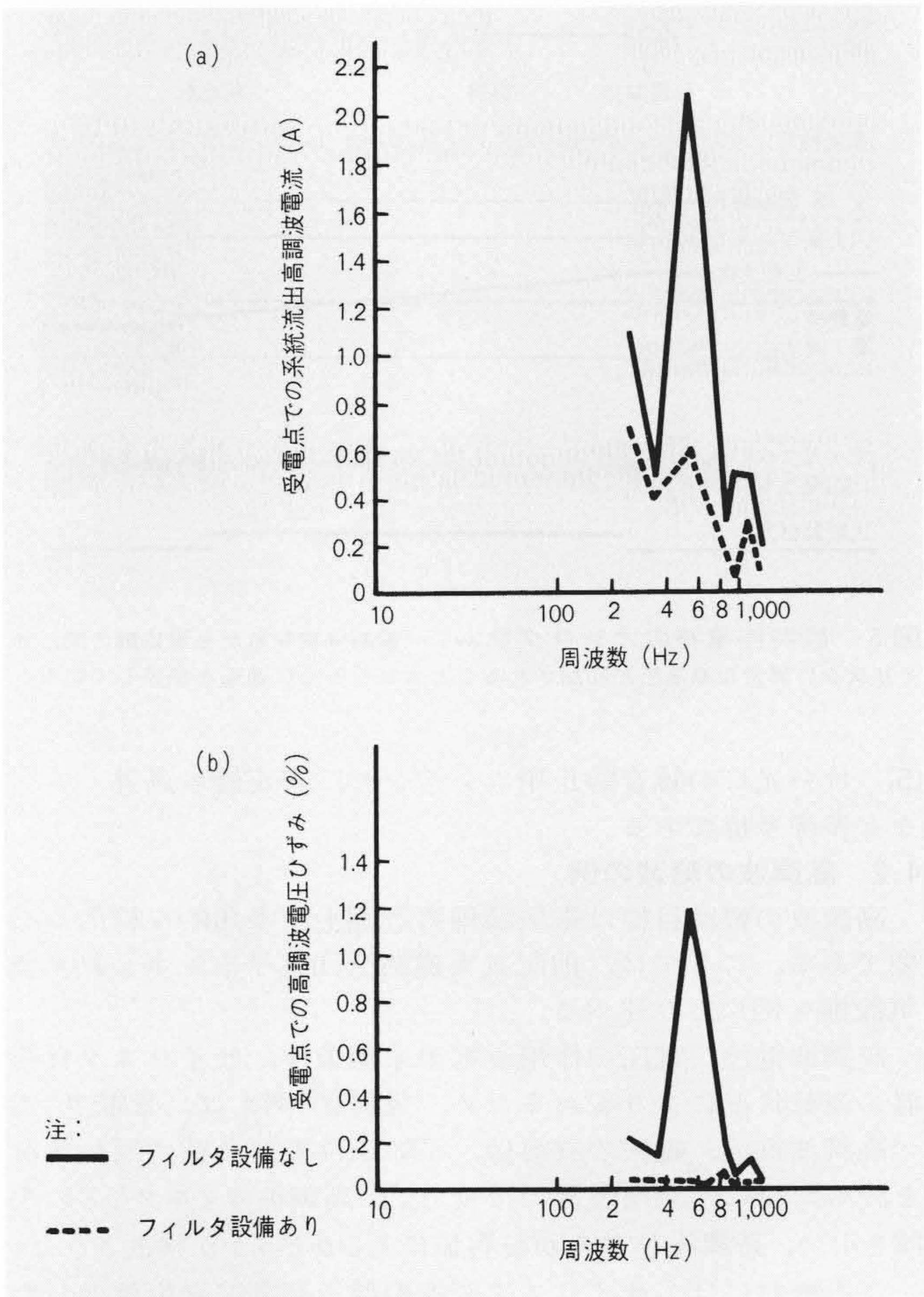


図7 高調波ひずみの低減例 受電点での、系統流出高調波電流及び電圧に対するフィルタ効果を示す。

き₆以下に、また13～25次調波については $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{5}$ に抑制されている。図8に7次調波用6.6kV 50Hz 700kVA屋内用フィルタ設備のコンデンサと直列リアクトルの外観を示す。

5 結 言

今まで述べたこの種のトンネル換気システム用サイリスタモータ装置は、その装置の保守性、高信頼性、高効率運転及

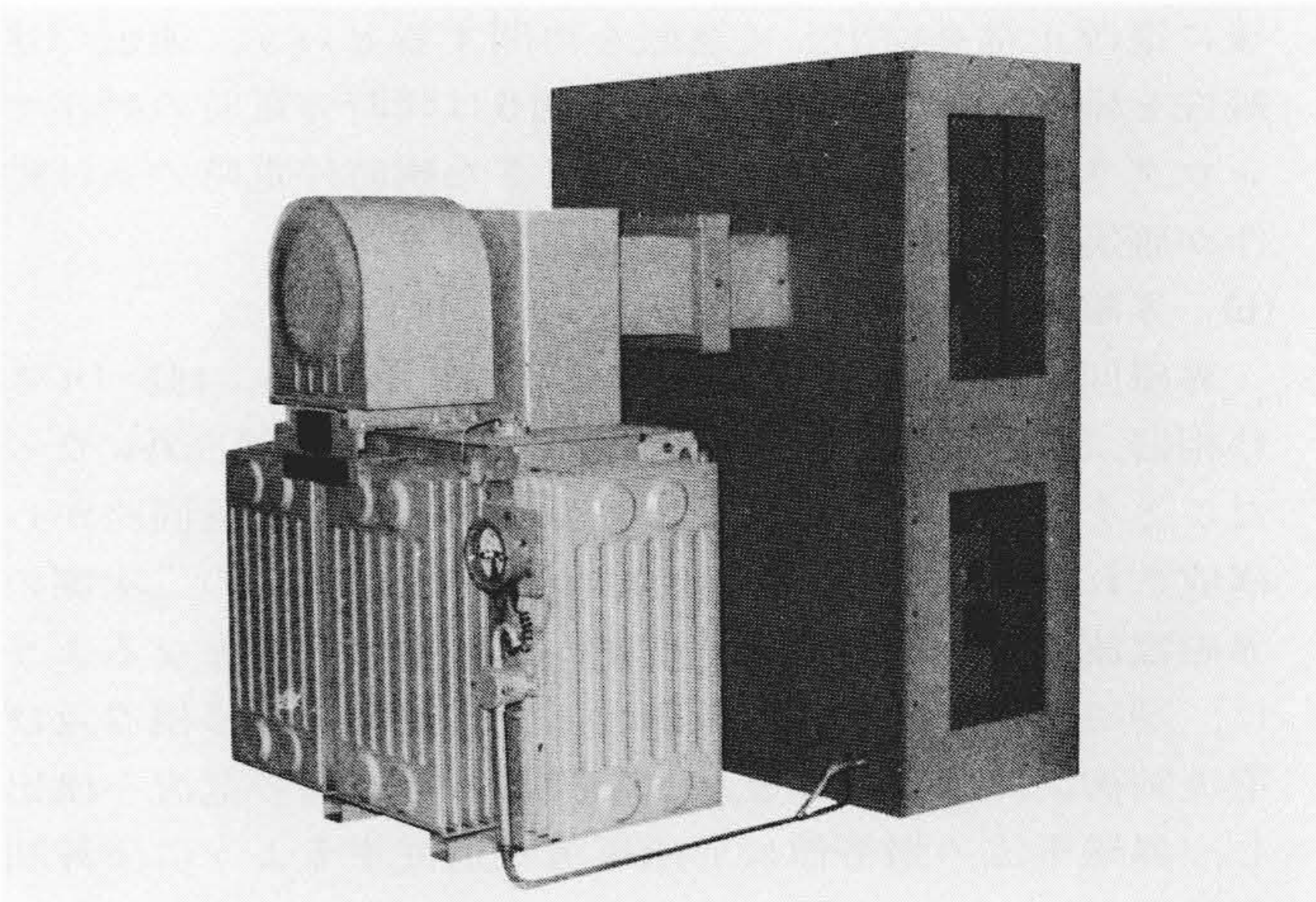


図8 高調波フィルタ設備の外観 7次調波用6.6kV 50Hz 700kVA 屋内用フィルタ設備の外観を示す。

び無人運転で市場ニーズにマッチしているため、今後ますます適用されると考えられる。

この場合最も問題となるのは、高調波の外部への影響であろう。したがって、電源側の電流あるいは電圧への影響については、事前に設置場所での各系統のインピーダンスをチェックして、高調波発生予測とその抑制対策を行なわねばならない。このためには、きめ細かな検討により高調波の発生を電源部分で極力抑制するとともに、高調波フィルタを設けるなどの工夫が必要である。この論文が、今後のトンネル換気システムあるいはその他のサイリスタ応用製品の適用に当たり参考になれば幸いである。なお、今回のトンネル換気ファンのサイリスタモータ駆動システムについて検討の機会を与えていただいた、日本道路公団の関係各位に対し深謝する次第である。

参考文献

1) 小西, ほか6名: 産業用サイリスタモータ, 日立評論, 55, 618～625(昭48-6)
2) 奥山, ほか4名: サイリスタモータ装置の瞬時停電対策, 昭和53年電気学会全国大会, p.750
3) 大森, 大島: 電力用コンデンサ, 電気書院(昭40-5)