

東京電力株式会社新信濃変電所周波数変換設備用 制御保護装置

Control and Protection Equipment for Shin-Shinano Frequency Converting Station of The Tokyo Electric Power Co., Inc.

周波数変換での制御保護装置は、主にサイリスタバルブのゲート点弧位相制御、変換用変圧器のタップ制御により変換電力の調整、直流系機器の保護を行なうものである。東京電力株式会社新信濃変電所に納入した周波数変換用制御保護装置は、動作安定度の向上、高調波発生量の軽減を目的として、定力率制御方式、パルス間隔一定制御方式を新たに開発し採用した。また、保護方式については、直流系特有の現象を考え、多重化された保護システムを採用するとともに、交流系保護リレーについても、その高調波特性を検討し適用リレーを決定した。

また装置の試験はシミュレータを有効に活用し、系統連系試験の円滑化を図った。

奥原文悟* Okuhara Bungo
橋本定治** Hashimoto Sadaharu
河合忠雄*** Kawai Tadao
丸山勝也*** Maruyama Katsuya

1 緒 言

直流送電での制御保護装置は、適用システムの使用目的、運用計画連系交流系統及び変換用機器との協調などを考え製作しなくてはならない。その基本的な機能は、サイリスタバルブのゲート点弧位相制御及び変換用変圧器のタップ制御により変換電力量を操作することにある。特に、周波数変換では緊急時の電力応援という目的から、その高速応答性及び安定な運転性能が要求される。

今回、東京電力株式会社新信濃変電所に納入した制御保護装置は、昭和45年から電源開発株式会社佐久間サイリスタ試

験所で行なった実証試験の結果を基礎にし、更に高調波発生量の軽減、系統じょう乱時の安定運転領域の拡大に効果のある制御方式を開発し適用した。

また超高压交流系統と直接連系されるため、直流及び交流系事故に対する保護協調、適用保護リレーの特性などについてもシミュレータを用いて静特性、動特性の両面より検討を行なった。

この論文では、今回納入した60Hz側装置の基本的な制御保護方式を中心に、その特長及び試験結果について述べる。

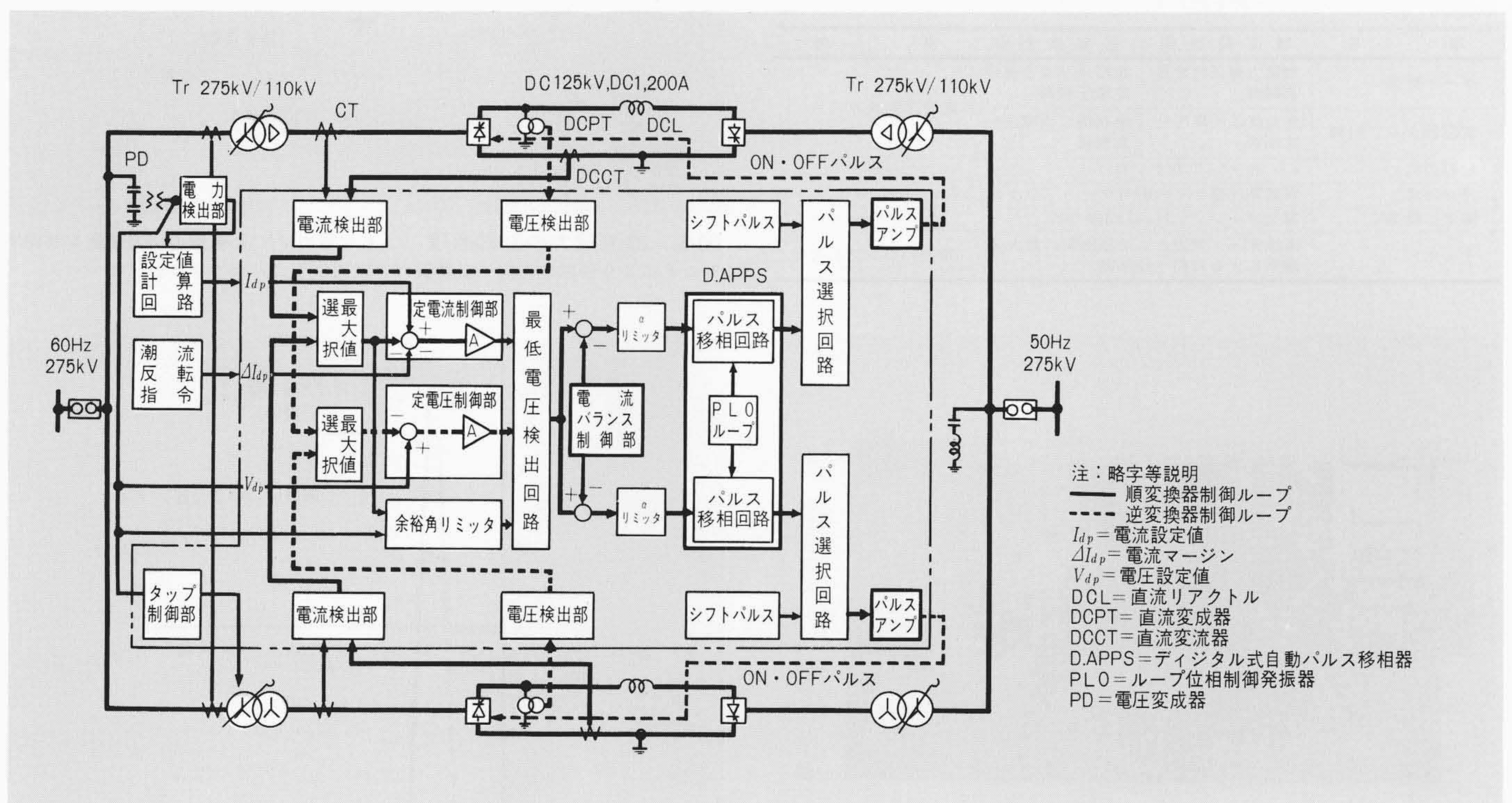


図1 制御回路ブロック図 60Hz側制御装置の回路基本構成を示す。同様機能の制御装置が50Hz側にも設置され、協調制御を行なう。定電流、定電圧制御は、2回路間の最大値による12相一括制御方式を採用した。

* 東京電力株式会社松本電力所 ** 東京電力株式会社信濃工事事務所 *** 日立製作所大みか工場

2 装置の基本構成

制御保護装置は、周波数変換設備の起動・停止、潮流反転などの操作を与えられた電力設定値に応じて行なう。その制御方式としては、種々の方式がこれまでに開発されている。図1に、今回の東京電力株式会社新信濃変電所周波数変換設備用制御保護装置の制御回路ブロック図を示す。同図は60Hz側を示しているが、50Hz側にも同様な機能をもった装置が設置され、その制御協調により電力融通が行なわれる。図2に装置の外観を示す。制御回路は、ほとんどがICなどの半導体素子により構成されているため、耐ノイズ性、更には装置のコンパクト化を目的とし、補助変成、変流器(P.CT)を一箇所に集約するセントラルP.CT方式を採用した。

2.1 周波数変換の基本原則

二つの連系交流系統間の電力融通は、図3に示すように直流電流(I_d)と変換器出力電圧(E_{d1} , E_{d2})の値及び極性により決定される。一般に、サイリスタの極性に対し順方向の電圧を発生している側を順変換器、逆方向の場合を逆変換器と呼び電力は順変換器から逆変換器へと送電される。この直流電流と変換器出力電圧をサイリスタのゲート点弧位相と変圧器のタップ位置を制御することにより所定の電力融通を行なうことができる。

2.2 運転制御方式

東京電力株式会社新信濃変電所周波数変換設備の運転制御方式を表1に示す。特に今回の設備は、二つの並列配置された直流回路を同時に制御する12相一括制御を行なうため、2回路間の電流不平衡に起因する第5、第7次高調波の抑制、1回路だけの転流失敗のような不平衡事故時の不必要な電流

表1 運転制御方式 基本的な運転制御方式を示す。定力率制御方式を基本とし、2回路間の不平衡を防止するため12相一括制御を採用した。

項 目	順 変 換 器 側	逆 変 換 器 側	備 考
ゲート制御	定電力補正付定電流制御	余裕角リミッタ付定電圧制御	定力率制御方式
変圧器タップ制御	無負荷二次電圧一定制御	無負荷二次電圧一定制御	
起動方式	$\alpha \rightleftharpoons 90^\circ$ から同期デブロック		—
停止方式	最低電流値からの瞬時ゲートブロック		—
潮流反転方式	電流マージン(ΔI_{dp})切換方式		—
その他	直流電圧、電流とも2回路間の最大値選択による12相一括制御		電流バランス制御付

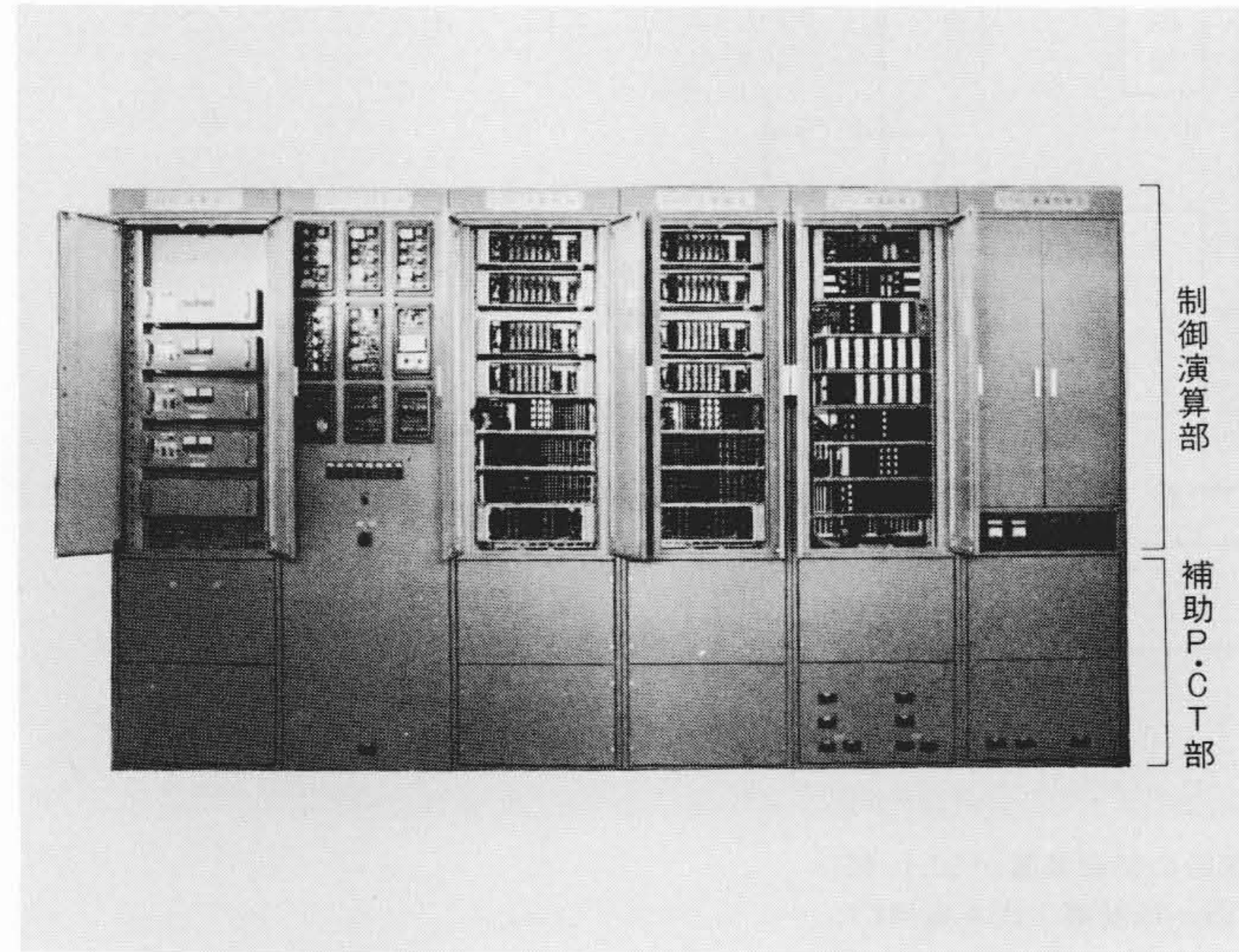


図2 制御保護装置の外観 装置は、セントラルP.CT方式を採用し装置下部に外部とのインタフェース部を集中させ、演算保護部の耐ノイズ性及び装置のコンパクト化を実現した。

断続防止のため、速応性の良い電流バランス制御を設けた。更に、交流系統電圧変動などの過渡動揺に対し逆変換器側の余裕角不足を防止するため、開ループの余裕角リミッタ回路を設けている。

このような制御系の運転特性曲線を図4に示す。順変換器と逆変換器を決定する電流設定値の差(電流マージン)は10%とし、順変換器側の交流電圧が低下して逆変換器側の定電流制御となっても、直流電流の減少を3%程度に抑え、電流の断続を防止した。

3 制御方式上の特長

3.1 定力率制御方式

従来の直流送電系統では、逆変換器側は余裕角が一定となるようゲート制御を行なういわゆる定余裕角制御方式が採用されていた。これに対し今回新しく開発した方式は、直流電圧が一定になるようにゲート制御を行ない、変換電力量に関

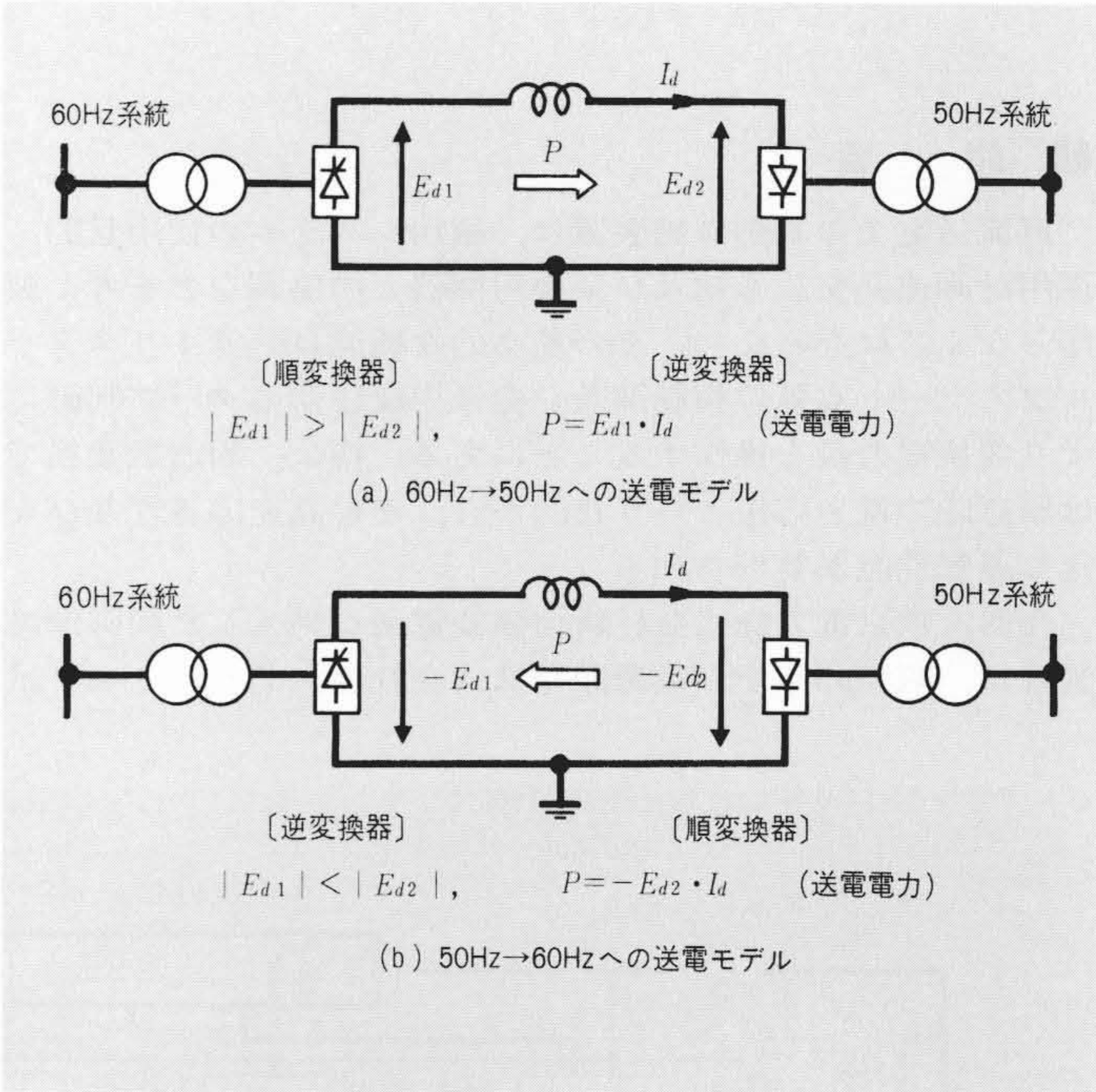


図3 直流電力の制御原理 直流電力は、変換器の出力電圧を制御することにより任意の方向へ必要量だけ融通することができる。

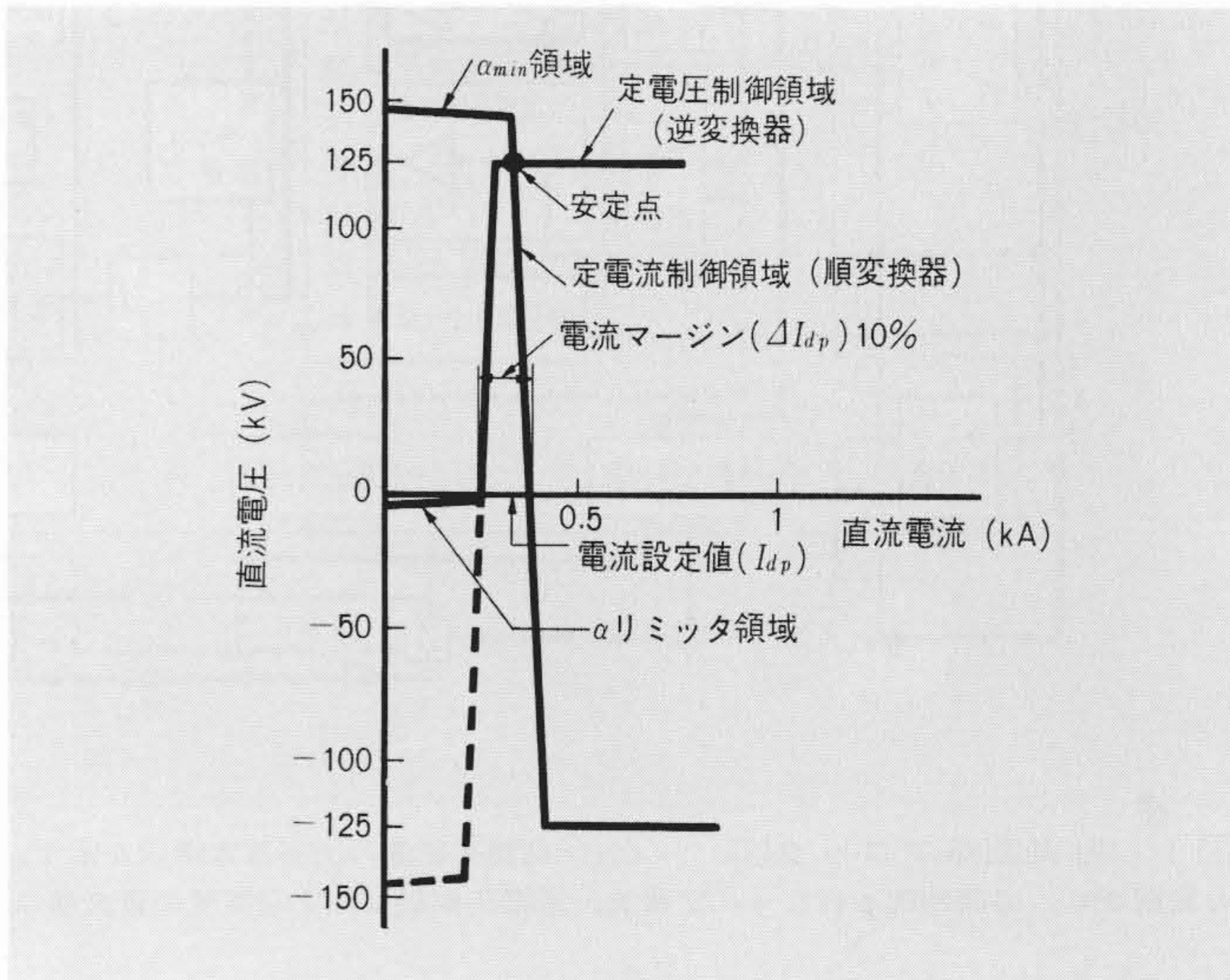


図4 制御特性曲線 50Hz側と60Hz側との制御系は、このレギュレーション特性の交点で安定となり、直流電圧と直流電流が定まる。

係なく力率を一定としている。このような制御方式を定力率制御と呼ぶ。表2に従来の定余裕角制御方式と今回の定力率制御方式の比較を示す。今回の方式は、変圧器の無負荷二次電圧を一定に保ち、ゲートの点弧位相により定格直流電圧を確保するように制御を行なう。その運転特性は図5に示すとおりである。

そのため、

(1) 変圧器のタップ位置は、直流電流値(I_d)に関係なく一定であるので、タップ変動幅としては交流系統の電圧変動をカバーできればよく、定余裕角制御方式に比べてタップ調整幅が狭くて済む。

(2) 軽負荷時の余裕角が大きいため、交流系事故時の転流失敗発生領域が小さく、波形ひずみなどに対しても安定に運転できる

という特長がある。

3.2 デジタル式自動パルス移相器(D.APPS)の採用

一方、サイリスタバルブのゲート点弧位相のばらつきは、高調波電流の増大、変換用変圧器、交流変流器の直流偏磁の原因となる。そのため、位相制御発振器(PLOループ)付のパルス間隔一定制御方式を採用したD.APPSを使用しこれらの問題点の解決を図った。図6に、このD.APPSのブロック図を示す。この方式は電圧制御発振器(VCO)により基準クロックパルスを発生し、P L Oループにより同期電源と出力パルスとの位相差を補正するものである。また出力パルスは、このクロックパルスの分周により発生させている。そのため各相のパルスばらつきは、クロックパルス1周期分の誤差だけとなり、パルス間隔のそろった高精度のパルス発生が可能となった。

表2 制御方式の比較 従来から行なわれている定余裕角制御方式に対し今回の定力率制御方式は、変圧器タップ範囲の減少、安定運転領域の拡大などに特長がある。

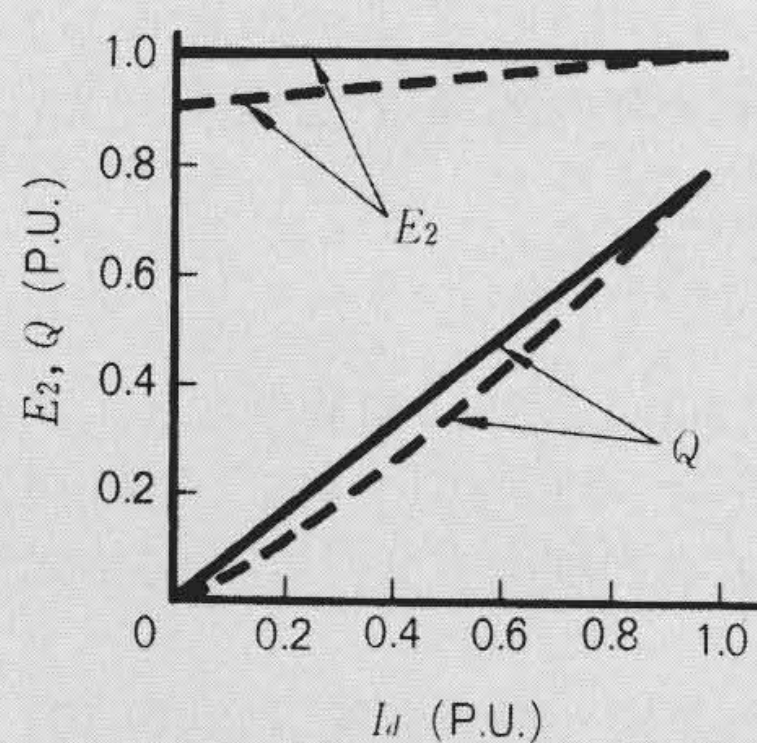
項 目		従 来 の 制 御 方 式 (定 余 裕 角 制 御 方 式)	今 回 の 制 御 方 式 (定 力 率 制 御 方 式)	
制	順変換器側	タップ 制 御	制御角 (α) 一定制御	変圧器二次無負荷電圧一定制御
		ゲート 制 御	定電流制御	定電流制御
御	逆変換器側	タップ 制 御	定電圧制御	変圧器二次無負荷電圧一定制御
		ゲート 制 御	定余裕角 (γ) 制御	定電圧制御 (余裕角リミッタ付)
負荷変動による 直流電圧変動補償		タップ制御	ゲート制御	
受電 A C 電圧変動補償		タップ制御	タップ制御	
特 長		(1) 無効電力最小制御	(1) 軽負荷から定格出力までの 応答時間が瞬時。 (2) 変圧器のタップ範囲が少なく て済む (交流電圧変動分のみ) 。 (3) 定力率制御のため、無効電 力の変動が少ない。 (4) 軽負荷での余裕角 (γ) が大 きいので、転流失敗しにくい。	

4 保護方式

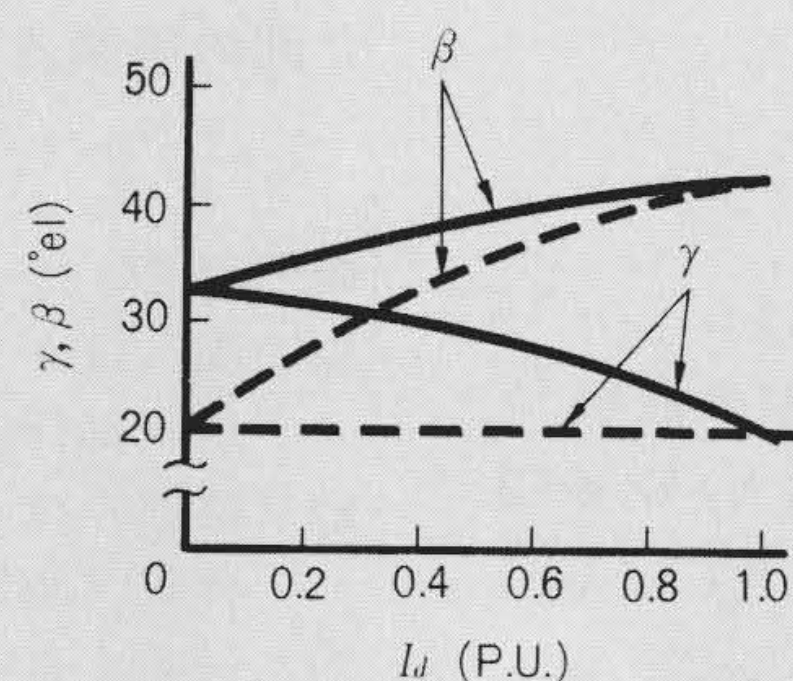
周波数変換設備の保護方式としては、サイリスタバルブを中心とした変換設備機器の保護が中心となる。

4.1 保護協調

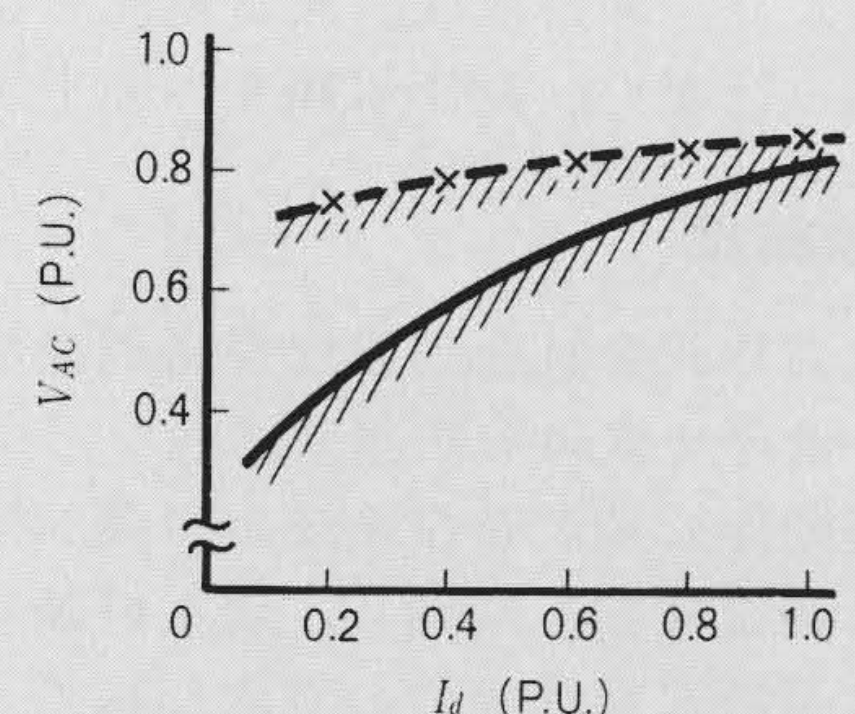
大部分の直流系の事故は、サイリスタバルブのゲート操作により除去することができる。そのため、制御系と十分協調のとれた保護方式としなければならない。すなわち、図7に示すような直流短絡が発生した場合、直流電流は時定数約60～



(a) 変圧器二次電圧(E_2)、無効電力(Q)と直流電流(I_d)の関係



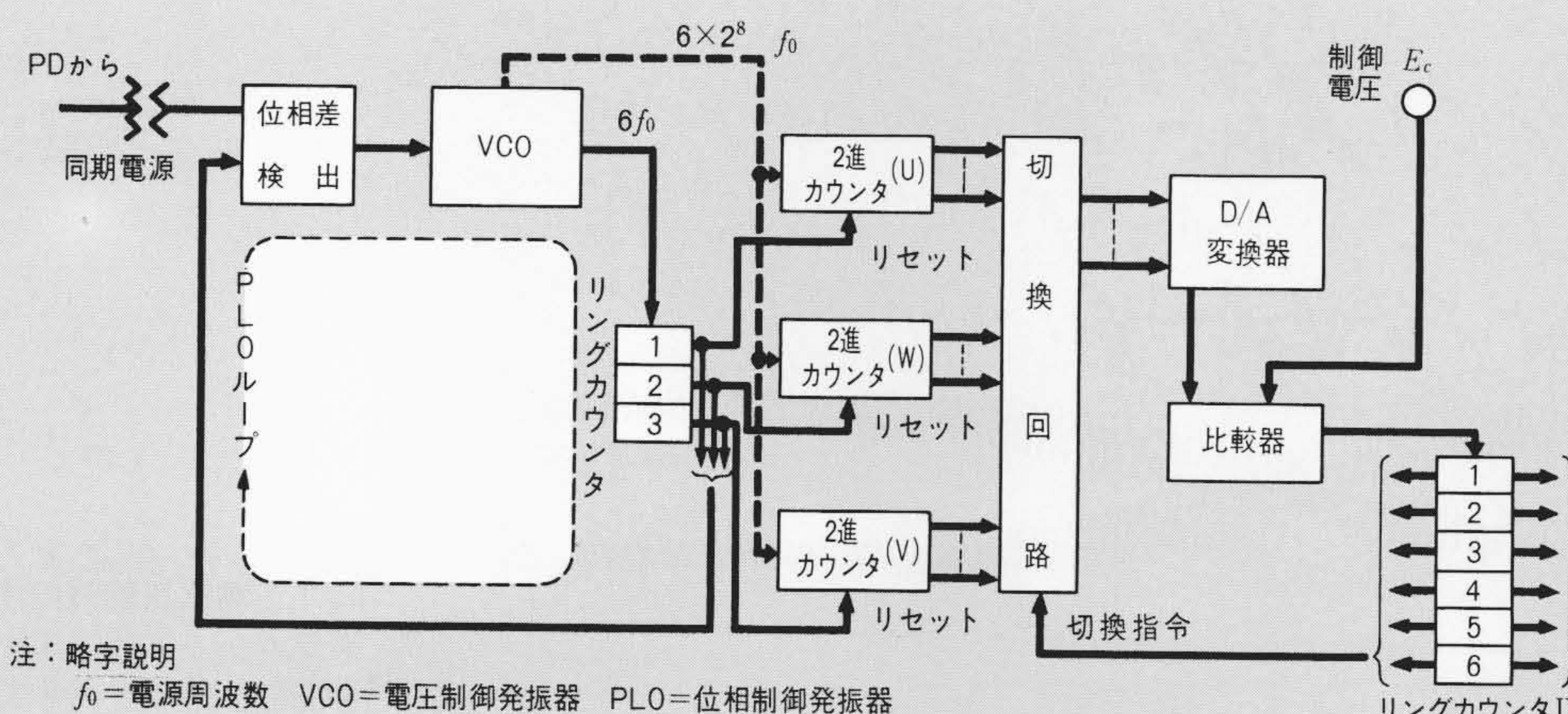
(b) 余裕角(γ)、制御進み角(β)と直流電流の関係



(c) 交流電圧(V_{AC})と転流失敗領域の関係

注：---は定余裕角制御を示す。—は定力率制御を示す。

図5 定力率制御の運転特性 変圧器のタップ範囲の縮減、軽負荷時の安定運転に対し効果が大きい。



注：略字説明

f_0 = 電源周波数 VCO = 電圧制御発振器 PLO = 位相制御発振器

図6 デジタル式自動パルス移相器(D.APPS)の構成パルス間隔一定制御を行なうことにより、高調波の低減、変圧器の直流偏磁防止に効果が大きい。

