

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-229463
(P2004-229463A)

(43) 公開日 平成16年8月12日(2004.8.12)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H02J 3/12	H02J 3/12	5G066
// G05F 1/24	G05F 1/24	5H420
	A	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2003-17338 (P2003-17338)	(71) 出願人	000156938 関西電力株式会社
(22) 出願日	平成15年1月27日 (2003.1.27)		大阪府大阪市北区中之島3丁目3番22号
特許法第30条第1項適用申請有り	平成14年8月21日 社団法人電気学会産業応用部門大会委員会」発行の「平成14年電気学会産業応用部門大会 講演論文集 [1] J I A S C 2002」に発表	(71) 出願人	503036276 伊瀬 敏史
			大阪府吹田市山田丘2番1号 大阪大学大学院 工学研究科電気工学専攻内
		(74) 代理人	100064746 弁理士 深見 久郎
		(74) 代理人	100085132 弁理士 森田 俊雄
		(74) 代理人	100083703 弁理士 仲村 義平
		(74) 代理人	100096781 弁理士 堀井 豊

最終頁に続く

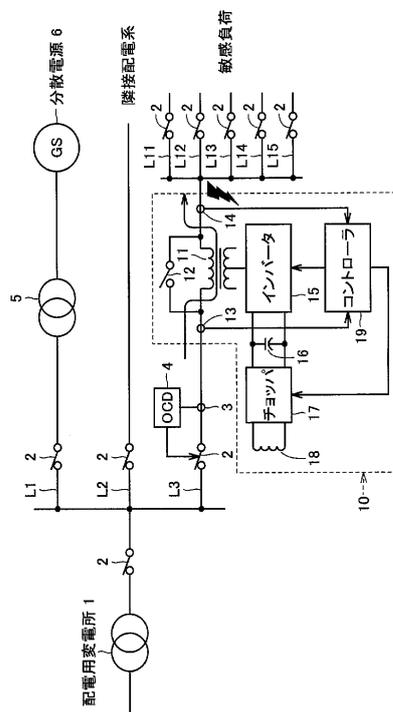
(54) 【発明の名称】 電力系統保護装置

(57) 【要約】

【課題】 限流動作を安定に行なうことが可能で低価格の電力系統保護装置を提供する。

【解決手段】 この瞬時電圧低下対策装置10は、電源側の事故によって供給電力が低下した場合は供給電圧と同位相の補償交流電圧を注入して負荷電圧を一定に保ち、負荷側の事故によって故障電流が流れた場合は供給電圧に對向する交流電圧を注入して故障電流を抑制する。したがって、限流器を別途設ける必要がないので、装置コストの低減化を図ることができる。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

電力系統を保護する電力系統保護装置であって、
その 1 次巻線が電力供給源と負荷の間に接続された変圧器、
前記電力供給源と負荷の間に流れる電流を検出する電流センサ、
直流電力の充放電を行なう直流電源、
前記変圧器の 2 次巻線と前記直流電源の電源端子との間に設けられたインバータ、および
前記電流センサの検出結果に基づいて前記インバータを制御するコントローラを備え、
前記コントローラは、前記電流センサを介して検出された電流値が予め定められた電流値
を超えたことに応じて、前記電力供給源からの交流電圧に対向する交流電圧を前記変圧器
の 1 次巻線に発生させ、前記電力供給源と前記負荷の間に流れる電流を減少させる、電力
系統保護装置。

10

【請求項 2】

前記コントローラは、前記変圧器の 1 次巻線の電圧と電流の位相差が所定の位相差になる
ように前記インバータを制御する、請求項 1 に記載の電力系統保護装置。

【請求項 3】

前記コントローラは、
前記変圧器の 1 次巻線の電圧と電流の位相差を 0 にする第 1 のステップ、および
前記位相差を 0 から $\pi/2$ に変化させる第 2 のステップを含む、請求項 2 に記載の電力系
統保護装置。

20

【請求項 4】

前記コントローラは、さらに、前記位相差を $\pi/2$ よりも進ませる第 3 のステップを含む
、請求項 3 に記載の電力系統保護装置。

【請求項 5】

さらに、前記電力供給源から供給される交流電圧を検出する電圧センサを備え、
前記コントローラは、前記電流センサを介して検出された電流値が前記予め定められた電
流値を超えず、かつ前記電圧センサを介して検出された交流電圧値が予め定められた交流
電圧値よりも低下したことに応じて、前記電力供給源からの交流電圧と同位相の補償交流
電圧を前記変圧器の 1 次巻線に発生させ、前記負荷に印加される交流電圧を一定に保つ、
請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の電力系統保護装置。

30

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

この発明は電力系統保護装置に関し、特に、電力系統を保護する電力系統保護装置に関す
る。

【0002】**【従来の技術】**

従来より、電力系統には、負荷側で短絡事故が発生した場合に、短絡電流を遮断して電力
系統に付随する機器などを保護するための開閉装置が設けられているが、近年短絡電流が
増大し、保護用の開閉装置の定格を超過する事態が想定され、短絡電流を抑制する限流装
置の設置が検討されている。限流装置としては、リアクトルを備えたものや、超伝導体を
備えたものがある（たとえば特許文献 1，2 参照）。

40

【0003】

また、電力系統には、交流電源電圧の瞬時電圧低下が発生した場合に、低下分に相当する
補償交流電圧を交流電源電圧に直列注入して負荷に供給し、負荷電圧の安定化を図るた
めの瞬時電圧低下補償装置が設けられている（たとえば特許文献 3 参照）。

【0004】**【特許文献 1】**

特開平 11 - 4542 号公報

【0005】

50

【特許文献2】

特開平1-117623号公報

【0006】

【特許文献3】

特開平2-266838号公報

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、従来の限流装置では、リアクトルを備えたものでは、交流電源電圧に直流成分が発生して電力系統が不安定になるという問題があり、超伝導体を備えたものでは装置が高価格になるという問題があった。

10

【0008】

また、従来は限流装置と瞬時電圧低下補償装置を別々に設けていたので、設備費が高くなるという問題があった。

【0009】

それゆえに、この発明の主たる目的は、限流動作を安定に行なうことが可能で低価格の電力系統保護装置を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】

この発明に係る電力系統保護装置は、電力系統を保護する電力系統保護装置であって、その1次巻線が電力供給源と負荷の間に接続された変圧器と、電力供給源と負荷の間に流れる電流を検出する電流センサと、直流電力の充放電を行なう直流電源と、変圧器の2次巻線と直流電源の電源端子との間に設けられたインバータと、電流センサの検出結果に基づいてインバータを制御するコントローラとを備えたものである。ここで、コントローラは、電流センサを介して検出された電流値が予め定められた電流値を超えたことに応じて、電力供給源からの交流電圧に対向する交流電圧を変圧器の1次巻線に発生させ、電力供給源と負荷の間に流れる電流を減少させる。

20

【0011】

好ましくは、コントローラは、変圧器の1次巻線の電圧と電流の位相差が所定の位相差になるようにインバータを制御する。

【0012】

また好ましくは、コントローラは、変圧器の1次巻線の電圧と電流の位相差を0にする第1のステップと、位相差を0から $\pi/2$ に変化させる第2のステップとを含む。

30

【0013】

また好ましくは、コントローラは、さらに、位相差を $\pi/2$ よりも進ませる第3のステップを含む。

【0014】

また好ましくは、さらに、電力供給源から供給される交流電圧を検出する電圧センサが設けられる。コントローラは、電流センサを介して検出された電流値が予め定められた電流値を超えず、かつ電圧センサを介して検出された交流電圧値が予め定められた交流電圧値よりも低下したことに応じて、電力供給源からの交流電圧と同位相の補償交流電圧を変圧器の1次巻線に発生させ、負荷に印加される交流電圧を一定に保つ。

40

【0015】

【発明の実施の形態】

図1は、この発明の一実施の形態による電力系統を示す回路ブロック図である。図1において、この電力系統では、発電所で生成された電力は、配電用変電所1で所定電圧に降圧されて複数の母線L1~L3, ... に分配される。ある母線L1は、系統連係装置5を介して分散電源6に接続される。また、ある母線L3は、複数の配電線L11~L15, ... に接続される。配電線L11~L15の各々は、コンピュータのような敏感負荷に接続される。

【0016】

50

変電所 1、母線 L 1 ~ L 3 , ... および配電線 L 1 1 ~ L 1 5 , ... の各々には、ブレーカ 2 が設けられている。各ブレーカ 2 に対応して電流センサ 3 および過電流検出器 4 が設けられており、対応のブレーカ 2 ごとに予め定められた電流値よりも大きな電流が流れたことに応じてそのブレーカ 2 が非導通状態にされる。

【 0 0 1 7 】

また、母線 L 3 には、限流機能付瞬時電圧低下対策装置（以下、瞬低対策装置と称す）10 が設けられている。この瞬低対策装置 10 は、変圧器 1 1、スイッチ 1 2、電圧センサ 1 3、電流センサ 1 4、インバータ 1 5、コンデンサ 1 6、チョッパ 1 7、超伝導コイル、およびコントローラ 1 9 を含む。

【 0 0 1 8 】

変圧器 1 1 の高圧側巻線は、母線 L 3 に直列接続される。スイッチ 1 2 は、変圧器 1 1 の高圧側巻線に並列接続され、コントローラ 1 9 によってオン/オフ制御される。スイッチ 1 2 は、正常時にオンされ、瞬低対策時および限流動作時にオフされる。電圧センサ 1 3 は、変圧器 1 1 の上流側において母線 L 3 の交流電圧を検出する。電流センサ 1 4 は、変圧器 1 1 の下流側において母線 L 3 の交流電流を検出する。

【 0 0 1 9 】

コントローラ 1 9 は、電圧センサ 1 3 および電流センサ 1 4 の検出結果に基づいて、スイッチ 1 2、インバータ 1 5 およびチョッパ 1 7 の各々を制御する。インバータ 1 5 は、コンデンサ 1 6 の端子間直流電圧を交流電圧に変換して変圧器 1 1 の低圧側巻線の端子間を与えたり、変圧器 1 1 の低圧側巻線からの交流電圧を直流電圧に変換してコンデンサ 1 6 を充電する。インバータ 1 5 は、瞬低対策時には交流電圧を直列注入して電源電圧の低下分を補償し、限流動作時には電源電圧に対向する交流電圧を発生させて事故電流を抑制する。

【 0 0 2 0 】

チョッパ 1 7 は、コンデンサ 1 6 の端子間電圧が所定値よりも低い場合は超伝導コイル 1 8 に蓄えられた電力をコンデンサ 1 6 に与え、コンデンサ 1 6 の端子間電圧が所定値よりも高い場合はコンデンサ 1 6 の電力を超伝導コイル 1 8 に貯える。これにより、コンデンサ 1 6 の端子間電圧は一定に保持される。

【 0 0 2 1 】

なお、図 1 では、1 相分の配線などのみが示されているが、実際には 3 相分設けられていることはいうまでもない。

【 0 0 2 2 】

次に、瞬低対策装置 10 の動作について説明する。正常動作時は、図 1 に示すように、スイッチ 1 2 がオンされ、各敏感負荷に電力が供給される。図 2 に示すように、変電所 1 や隣接配電系で事故が発生して電源側電圧が所定電圧よりも低下した場合、すなわち瞬低時は、電源側電圧の低下が電圧センサ 1 3 を介して検出される。コントローラ 1 9 は、スイッチ 1 2 をオフさせるとともに、インバータ 1 5 を制御して電源側電圧の低下分を変圧器 1 1 の高圧側巻線の端子間に発生させる。

【 0 0 2 3 】

図 3 (a) (b) (c) は、瞬低対策時の動作を示す波形図である。変電所 1 など事故が発生すると電源側電圧が低下する。変圧器 1 1 の高圧側巻線の端子間には、電源側電圧の低下分を補償するための注入電圧が発生する。敏感負荷には、電源電圧に注入電圧を加算した負荷電圧が印加される。負荷電圧の振幅は一定に保持され、敏感負荷が安定に動作する。

【 0 0 2 4 】

また図 4 に示すように、瞬低対策装置 10 よりも下流側で事故が発生して所定値よりも大きな電流が母線 L 3 に流れた場合は、図 5 (a) (b) に示すように、電源側電圧が低下して故障電流が流れる。電源側電圧の低下および故障電流は、電圧センサ 1 3 および電流センサ 1 4 を介して検出される。コントローラ 1 9 は、図 4 に示すように、スイッチ 1 2 をオフさせるとともに、インバータ 1 5 を制御して電源側電圧に対向する電圧を変圧器 1

10

20

30

40

50

1の高圧側巻線の端子間に発生させ、故障電流を抑制する。

【0025】

図6(a)は限流動作の原理を示す図、図6(b)はそのフェザー図である。図6(a)において、系統電圧 V_T 、負荷電圧 V_L および注入電圧 V_C の関係は次式(1)で表わされる。

【0026】

【数1】

$$\bar{V}_T = \bar{V}_C + \bar{V}_L \quad \dots(1)$$

【0027】

また、注入電圧 V_C は、負荷電流 I_L の位相を基準とした場合、次式(2)で表わされる。

【0028】

【数2】

$$\bar{V}_C = k e^{i\theta} (\bar{I}_L) \quad \dots(2)$$

【0029】

注入電圧 V_C と負荷電流 I_L の位相差が0の場合は、変圧器11の高圧側巻線は等価的に限流抵抗とみなされる。このとき、変圧器11およびインバータ15が交流側から有効電力を吸収するので、コンデンサ16、チョッパ17および超伝導コイル18において有効電力を処理する必要がある。

【0030】

一方、 $\theta = \pi/2$ すなわち注入電圧 V_C の位相が負荷電流 I_L の位相よりも $\pi/2$ だけ進んだ場合は、変圧器11の高圧側巻線は等価的に限流リアクトルとみなされる。この場合は、交流側から有効電力を吸収しないので、コンデンサ16、チョッパ17および超伝導コイル18において有効電力を処理する必要がない。

しかし、限流リアクトルを急に母線L3に挿入すると、交流側に直流成分が発生し、電力系統が不安定になる。

【0031】

そこで、本願発明では、故障電流 I_L が発生したときは、最初は $\theta = 0$ として電力系統を安定に保ちながら故障電流 I_L を抑制し、次に θ を増大させて $\theta = \pi/2$ にすることにより有効電力の吸収量を小さく抑える。さらに、 θ を増大させて $\theta = \pi/2 + \theta_0$ とすることにより、不平衡故障時の逆相有効電力を電力系統に放出し、有効電力の吸収量を抑える。

【0032】

図7は、上式(2)の実行方法を示すブロック図である。図7において、まず対称成分フィルタによって負荷電流 $i_{La}(t)$ 、 $i_{Lb}(t)$ 、 $i_{Lc}(t)$ から正相成分を検出する。すなわち、電流センサ14から負荷電流 $i_{La}(t)$ 、 $i_{Lb}(t)$ 、 $i_{Lc}(t)$ が与えられると、対称成分フィルタの出力正相電流は次式(3)のように分解することができる。

【0033】

【数3】

$$\begin{bmatrix} I_{La1}'(s) \\ I_{Lb1}'(s) \\ I_{Lc1}'(s) \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & G_1(s) & G_2(s) \\ G_2(s) & 1 & G_1(s) \\ G_1(s) & G_2(s) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{La}(s) \\ I_{Lb}(s) \\ I_{Lc}(s) \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

ここで、

$I_{La1}'(s), I_{Lb1}'(s), I_{Lc1}'(s)$: 電源側正相電流,

$$G_1(s) = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}1-sT}{21+sT} \quad \dots (4)$$

: 120 度位相進みフィルタの伝達関数,

$$G_2(s) = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}1-sT}{21+sT} \quad \dots (5)$$

: 120 度位相遅れフィルタの伝達関数

10

20

【 0 0 3 4 】

(4) 式および (5) 式を (3) 式に代入し、逆ラプラス変換を行なうと、次式 (6) が得られる。

【 0 0 3 5 】

【 数 4 】

$$\begin{bmatrix} i_{La1}'(t) \\ i_{Lb1}'(t) \\ i_{Lc1}'(t) \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \left\{ \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sqrt{3}-1}{2} & -\frac{\sqrt{3}+1}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}+1}{2} & 1 & \frac{\sqrt{3}-1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}-1}{2} & -\frac{\sqrt{3}+1}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La}(t) \\ i_{Lb}(t) \\ i_{Lc}(t) \end{bmatrix} \right. \\ \left. + \sqrt{3} \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}} \int_0^t \begin{bmatrix} 0 & -i_{Lb}(\tau) e^{\frac{\tau}{T}} & i_{Lc}(\tau) e^{\frac{\tau}{T}} \\ i_{La}(\tau) e^{\frac{\tau}{T}} & 0 & -i_{Lc}(\tau) e^{\frac{\tau}{T}} \\ -i_{La}(\tau) e^{\frac{\tau}{T}} & i_{Lb}(\tau) e^{\frac{\tau}{T}} & 0 \end{bmatrix} d\tau \right\} \quad \dots (6)$$

30

40

【 0 0 3 6 】

ここで、正相成分負荷電流は次式 (7) で表わされる。

【 0 0 3 7 】

【 数 5 】

$$\left. \begin{aligned} i_{La}(t) &= \sqrt{2} I_P \sin(\omega t + \phi_P), \\ i_{Lb}(t) &= \sqrt{2} I_P \sin(\omega t - 2\pi/3 + \phi_P), \\ i_{Lc}(t) &= \sqrt{2} I_P \sin(\omega t + 2\pi/3 + \phi_P) \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

【 0 0 3 8 】

この(7)式を(6)式に代入し、 $T = t$ として積分の解を求めると、次式(8)が得られる。

【 0 0 3 9 】

【 数 6 】

$$\begin{bmatrix} i_{Lal}'(t) \\ i_{Lbl}'(t) \\ i_{Lcl}'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{2} I_P \sin(\omega t + \phi_P) \\ \sqrt{2} I_P \sin(\omega t - 2\pi/3 + \phi_P) \\ \sqrt{2} I_P \sin(\omega t + 2\pi/3 + \phi_P) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} I_{la} e^{-\omega t} \\ I_{lb} e^{-\omega t} \\ I_{lc} e^{-\omega t} \end{bmatrix} \dots (8)$$

ただし、

$$I_{la} = \frac{1}{2} \sqrt{2} I_P \{ \cos \phi_P + \sin \phi_P \},$$

$$I_{lb} = \frac{1}{4} \sqrt{2} I_P \{ (1 + \sqrt{3}) \cos \phi_P + (1 - \sqrt{3}) \sin \phi_P \},$$

$$I_{lc} = \frac{1}{4} \sqrt{2} I_P \{ (1 - \sqrt{3}) \cos \phi_P + (1 + \sqrt{3}) \sin \phi_P \}$$

【 0 0 4 0 】

(8)式の右辺の第1項は対称成分フィルタの定常応答を表わす。第2項は、過渡応答を表わし、時間経過に伴って減少し、1サイクル以内になくなる。また、逆相成分負荷電流は次式(9)で表わされる。

【 0 0 4 1 】

【 数 7 】

$$\left. \begin{aligned} i_{La}(t) &= \sqrt{2} I_N \sin(\omega t + \phi_N), \\ i_{Lb}(t) &= \sqrt{2} I_N \sin(\omega t + 2\pi/3 + \phi_N), \\ i_{Lc}(t) &= \sqrt{2} I_N \sin(\omega t - 2\pi/3 + \phi_N) \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

【 0 0 4 2 】

この(9)式を(6)式に代入し、 $T = t$ として積分の解を求めると、次式(10)が得られる。

【 0 0 4 3 】

【 数 8 】

10

20

30

40

$$\begin{bmatrix} i_{Lal}'(t) \\ i_{Lbl}'(t) \\ i_{Lcl}'(t) \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 2\sqrt{2} I_N \{ \cos \phi_N + \sin \phi_N \} e^{-\omega t} \\ \sqrt{2} I_N \{ (1-\sqrt{3}) \cos \phi_N + (1+\sqrt{3}) \sin \phi_N \} e^{-\omega t} \\ \sqrt{2} I_N \{ (1+\sqrt{3}) \cos \phi_N + (1-\sqrt{3}) \sin \phi_N \} e^{-\omega t} \end{bmatrix} \quad \dots(10)$$

【0044】

この(10)式の右辺は、過渡応答成分のみを含む。したがって、この対称成分フィルタによれば、負荷電流から逆相成分を除去して正相成分のみを通過させることができる。

10

【0045】

図7に戻って、負荷電流 i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc} から対称成分フィルタの出力電流を減算することにより、負荷電流 i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc} の逆相成分を求め、瞬時値正相電流および瞬時値逆相電流の各々を dq 変換する。

【0046】

このようにして得られた正相 d 軸電流 i_{pd} , および正相 q 軸電流 i_{pq} の各々を K 倍し、さらに θ だけ位相を進めて正相 d 軸電圧 v_{dq} および正相 q 軸電圧 v_{pq} を生成する。また、逆相 d 軸電流 i_{nd} および逆相 q 軸電流 i_{nq} の各々を K 倍して逆相 d 軸電圧 v_{nd} および逆相 q 軸電圧 v_{nq} を生成する。逆相成分については、電力系統が不安定になるのを避けるため、常に限流抵抗方式を用いる。

20

【0047】

次いで、正相 d 軸電圧 v_{pd} および正相 q 軸電圧 v_{pq} を dq 軸から3相へ逆変換して瞬時値正相電圧を求めるとともに、逆相 d 軸電圧 v_{nd} および逆相 q 軸電圧 v_{nq} を dq 軸から3相へ逆変換して瞬時値逆相電圧を求める。最後に、瞬時値正相電圧と瞬時値逆相電圧を加算して瞬時値注入電圧 v_{ca} , v_{cb} , v_{cc} を求める。コントローラ19は、瞬時値注入電圧 v_{ca} , v_{cb} , v_{cc} が変圧器11の2次巻線の端子間に発生するようにインバータ15を制御する。

【0048】

図8は、 θ の変化を例示するタイムチャートである。正常時は、負荷側事故発生の有無を示す信号 F は非活性化レベルの「L」レベルにされ、 θ がともに0にされている。時刻 t_0 において事故発生が検知され、事故検知信号 F が活性化レベルの「H」レベルに立上げられると、所定周波数(たとえば12回/1サイクル)で負荷電流 i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc} がサンプリングされて、図7で示したアルゴリズムで注入電圧 v_{ca} , v_{cb} , v_{cc} が求められる。事故発生から所定時間(たとえば3/4サイクル)は、 θ がともに0にされ、限流抵抗方式で限流される。次いで時刻 $t_1 \sim t_2$ (たとえば1サイクル)において θ が0から $\pi/2$ に進められ、限流抵抗・リアクトル方式で限流が行なわれる。次に時刻 $t_2 \sim t_3$ において θ が0から所定値(たとえば $\pi/10$)に進められ、コンデンサ16および超伝導コイル18に蓄えられたエネルギーがインバータ15および変圧器11を介して交流側に回生される。

30

【0049】

以下、この限流方式のシミュレーション結果について説明する。図9は、シミュレーション条件を示す図である。交流電源電圧は3相460Vとし、交流電源と変圧器11a, 11b, 11cの高圧側巻線の一方端子との間は標準的な送電線で接続した。変圧器11a, 11b, 11cの高圧側巻線の他方端子には標準負荷を接続した。変圧器11a, 11b, 11cの各々は、460V; 115V, 6kVA, $X = 3\%$ のものを使用した。インバータ15a, 15b, 15cは、PWM方式の7.2kHzのものを用いた。インバータ15a, 15b, 15cには、90Vの直流電圧を与えた。

40

【0050】

図10は、ゲイン K と故障電流の関係を示す図である。3相短絡事故が発生した場合および2相短絡事故が発生した場合のそれぞれについて、限流抵抗方式($\theta = 0$)と限流リア

50

クトル方式 ($\alpha = \pi / 2$) で限流した場合のゲイン K と故障電流の関係を求めた。図 10 から、ゲイン K を増大させると故障電流が減少し、限流が行なわれていることがわかる。たとえば 3 相短絡事故においては、ゲイン K が 0 の場合は故障電流が 76 A 流れるが、ゲイン K を 10 にすると故障電流は 31 A になる。以下のシミュレーションでは、ゲイン K を 10 に固定した。なお、実際は、永久事故が発生した場合にはブレーカ 2 が遮断される必要があるので、ゲイン K は故障電流が過電流検出器 4 のしきい値電流よりも大きくなるように設定される。

【0051】

図 11 は、3 相短絡事故が発生した場合において限流しないときのシミュレーション結果を示す波形図である。図 11 において、3 相短絡事故が発生すると、負荷電圧 v_L が 0 V になり、負荷電流 i_L が大幅に増大する。変圧器 11a ~ 11c の高圧側巻線には、負荷電流 i_L による電圧降下が発生する。負荷電圧 v_L が 0 V であるので、変圧器 11a ~ 11c の端子間電圧 v_c と供給電圧 v_T は等しくなる。

10

【0052】

図 12 は、2 相短絡事故が発生した場合において限流しないときのシミュレーション結果を示す波形図である。図 12 において、2 相短絡事故が発生すると、短絡した 2 相の負荷電圧 v_L が減少し、2 相の負荷電流 i_L が増大する。変圧器 11a ~ 11c の高圧側巻線には、負荷電流 i_L による電圧降下が発生する。供給電圧 v_T は、 $v_L + v_c$ となる。

【0053】

図 13 は、3 相短絡事故が発生した場合において限流抵抗方式 ($\alpha = \pi / 2, R = 0$) で限流を行なったときのシミュレーション結果を示す波形図である。図 13 において、3 相短絡事故が発生すると、負荷電圧 v_L は 0 V になる。事故前の供給電圧 v_T と同じ位相、電圧の注入電圧 v_c が変圧器 11a ~ 11c の高圧側巻線に発生し、負荷電流 i_L は図 11 の場合に比べて $1/2$ 以下に抑制される。限流を行なうと、正相有効電力 P_+ が直流側に吸収される。

20

【0054】

図 14 は、3 相短絡事故が発生した場合において限流リアクトル方式 ($\alpha = \pi / 2, R = 0$) で限流を行なったときのシミュレーション結果を示す波形図である。図 14 において、限流開始時に直流成分が発生し、電圧 v_T, v_L および電流 i_L が不安定になる。正相無効電力 Q_+ が発生するが、正相有効電力 P_+ は吸収されない。

30

【0055】

図 15 は、2 相短絡事故が発生した場合において限流抵抗方式 ($\alpha = \pi / 2, R = 0$) で限流を行なったときのシミュレーション結果を示す波形図である。図 15 において、2 相短絡事故が発生しても、負荷電圧 v_L の低下分が注入され、供給電圧 v_T は一定に保持される。負荷電流 i_L は図 12 の場合に比べて $1/2$ 以下に抑制される。限流を行なうと、正相有効電力 P_+ が直流側に吸収される。

【0056】

図 16 は、2 相短絡事故が発生した場合において限流リアクトル方式 ($\alpha = \pi / 2, R = 0$) で限流したときのシミュレーション結果を示す波形図である。

図 16 において、限流開始時に直流成分が発生し、電圧 v_T, v_L および電流が不安定になる。正相無効電力 q_+ が発生するが、正相有効電力 P_+ は吸収されない。

40

【0057】

図 17 は、3 相短絡事故が発生した場合において限流抵抗・リアクトル方式 ($\alpha = 0 \sim \pi / 2, R = 0$) で限流したときのシミュレーション結果を示す波形図である。図 17 において、過渡成分電流を抑制するために、限流開始から $3/4$ サイクル間だけ限流抵抗方式 ($\alpha = 0$) で限流を行なう。その後、1 サイクル間をかけて順次的に限流抵抗方式から限流リアクトル方式 ($\alpha = \pi / 2$) に変化させ、有効電力の吸収を最小化する。

【0058】

図 18 は、2 相短絡事故が発生した場合において限流抵抗・リアクトル方式 ($\alpha = 0 \sim \pi / 2, R = 0 \sim \pi / 10$) で限流したときのシミュレーション結果を示す波形図である

50

。図18において、図17の場合と同様にして θ を0から $\pi/2$ に変化させた後、 ϕ を0から $\pi/10$ に変化させる。 $\theta + \phi = \pi/2 + \pi/10$ になると、逆相有効電力 $P -$ が交流側に回生され、コンデンサ16および超伝導コイル18の貯蔵エネルギーが過大になることが防止される。

【0059】

図19は、3相短絡事故および2相短絡事故のそれぞれにおいて、限流抵抗方式(R)と限流リアクトル方式(L)と限流抵抗・リアクトル方式(R-L)の吸収エネルギーを比較した図である。限流抵抗・リアクトル方式における吸収エネルギーは、限流抵抗方式における吸収エネルギーの1/3程度になることがわかった。

【0060】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【0061】

【発明の効果】

以上のように、この発明に係る電力系統保護装置では、その1次巻線が電力供給源と負荷の間に接続された変圧器と、電力供給源と負荷の間に流れる電流を検出する電流センサと、直流電力の充放電を行なう直流電源と、変圧器の2次巻線と直流電源の電源端子との間に設けられたインバータと、電流センサの検出結果に基づいてインバータを制御するコントローラとが設けられ、コントローラは、電流センサを介して検出された電流値が予め定められた電流値を超えたことに応じて、電力供給源からの交流電圧に対向する交流電圧を変圧器の1次巻線に発生させ、電力供給源と負荷の間に流れる電流を減少させる。したがって、負荷側で事故が発生した場合に、電力供給源からの交流電圧に対向する交流電圧が変圧器の1次巻線に発生するようにインバータを制御するので、リアクトルや超伝導体を備えた従来の限流器に比べ、限流動作を安定に行なうことができ、装置の低価格化を図ることができる。

【0062】

好ましくは、コントローラは、変圧器の1次巻線の電圧と電流の位相差が所定の位相差になるようにインバータを制御する。この場合は、電力供給源と負荷の間に所望のインピーダンスを挿入することができる。

【0063】

また好ましくは、コントローラは、変圧器の1次巻線の電圧と電流の位相差を0にする第1のステップと、位相差を0から $\pi/2$ に変化させる第2のステップとを含む。この場合は、事故発生当初は電力供給源と負荷の間に抵抗を挿入して限流動作を安定に行ない、次いで電力供給源と負荷の間にリアクタンスを挿入して吸収エネルギーの低減化を図ることができる。

【0064】

また好ましくは、コントローラは、さらに、位相差を $\pi/2$ よりも進ませる第3のステップを含む。この場合は、限流動作時に吸収した電力を電力系統に回生させることができる。

【0065】

また好ましくは、さらに、電力供給源から供給される交流電圧を検出する電圧センサが設けられる。コントローラは、電流センサを介して検出された電流値が予め定められた電流値を超えず、かつ電圧センサを介して検出された交流電圧値が予め定められた交流電圧値よりも低下したことに応じて、電力供給源からの交流電圧と同位相の補償交流電圧を変圧器の1次巻線に発生させ、負荷に印加される交流電圧を一定に保つ。この場合は、電力供給源側の事故により瞬時電圧低下が生じた場合でも、負荷電圧を一定に保つことができる。

【図面の簡単な説明】

10

20

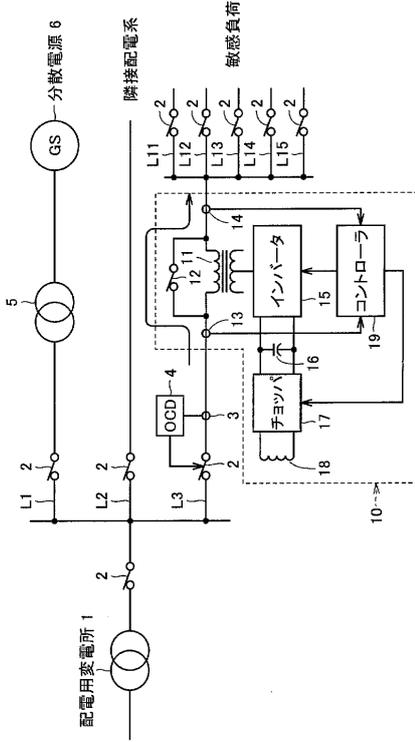
30

40

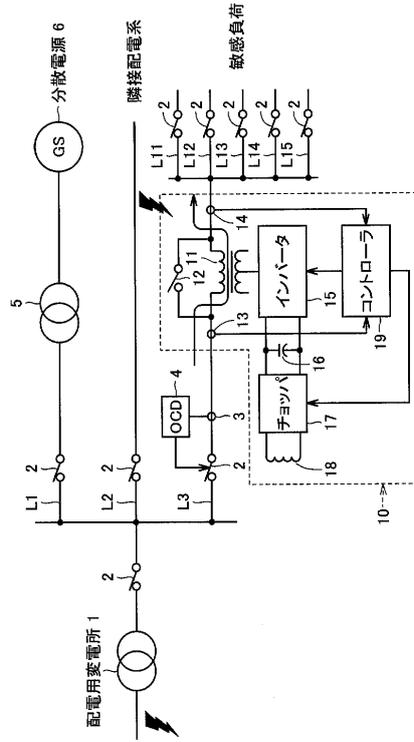
50

- 【図 1】この発明の一実施の形態による電力系統の構成を示す回路ブロック図である。
- 【図 2】図 1 に示した瞬低対策装置の瞬低時の動作を説明するための回路ブロック図である。
- 【図 3】図 2 に示した瞬低対策装置の瞬低時の動作を示す波形図である。
- 【図 4】図 1 に示した瞬低対策装置の限流動作を説明するための回路ブロック図である。
- 【図 5】図 4 に示した負荷側の事故を説明するための波形図である。
- 【図 6】図 4 に示した瞬低対策装置の限流動作の原理を説明するための図である。
- 【図 7】図 4 に示したコントローラの限流動作を示すブロック図である。
- 【図 8】図 7 に示した および を例示するタイムチャートである。
- 【図 9】図 4 ~ 図 8 で説明した限流動作のシミュレーション条件を示す回路ブロック図である。 10
- 【図 10】ゲイン K と故障電流の関係を示す図である。
- 【図 11】3 相短絡事故が発生した場合において限流しないときのシミュレーション結果を示す波形図である。
- 【図 12】2 相短絡事故が発生した場合において限流しないときのシミュレーション結果を示す波形図である。
- 【図 13】3 相短絡事故が発生した場合において限流抵抗方式で限流を行なったときのシミュレーション結果を示す波形図である。
- 【図 14】3 相短絡事故が発生した場合において限流リアクトル方式で限流を行なったときのシミュレーション結果を示す波形図である。 20
- 【図 15】2 相短絡事故が発生した場合において限流抵抗方式で限流を行なったときのシミュレーション結果を示す波形図である。
- 【図 16】2 相短絡事故が発生した場合において限流リアクトル方式で限流を行なったときのシミュレーション結果を示す波形図である。
- 【図 17】3 相短絡事故が発生した場合において限流抵抗・リアクトル方式で限流を行なったときのシミュレーション結果を示す波形図である。
- 【図 18】2 相短絡事故が発生した場合において限流抵抗・リアクトル方式で限流を行なったときのシミュレーション結果を示す波形図である。
- 【図 19】限流抵抗方式、限流リアクトル方式、限流抵抗・リアクトル方式の吸収エネルギーを比較する図である。 30
- 【符号の説明】
- 1 配電用変電所、2 ブレーカ、3 , 14 電流センサ、4 過電流検出器、5 系統
 連係装置、6 分散電源、10 限流機能付瞬時電圧低下対策装置、11 変圧器、12
 スイッチ、13 電圧センサ、15 インバータ、16 コンデンサ、17 チョップ
 、18 超伝導コイル、19 コントローラ、L1 ~ L3 母線、L11 ~ L15 配電
 線。

【図 1】



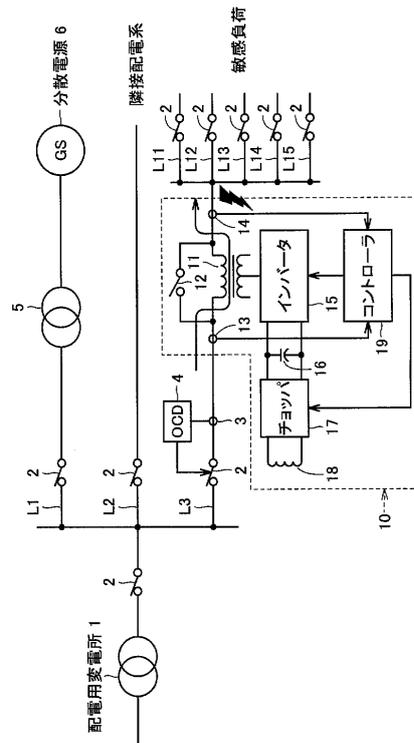
【図 2】



【図 3】

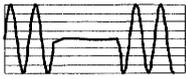


【図 4】

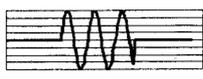


【図5】

(a)電源側電圧

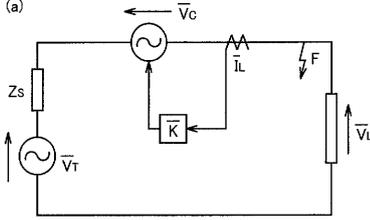


(b)故障電流

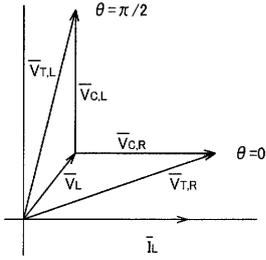


【図6】

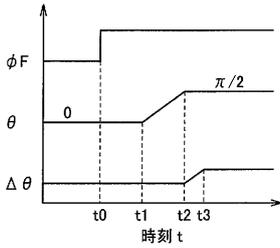
(a)



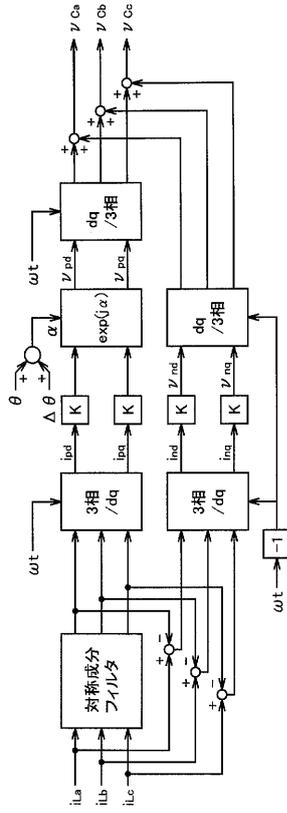
(b)



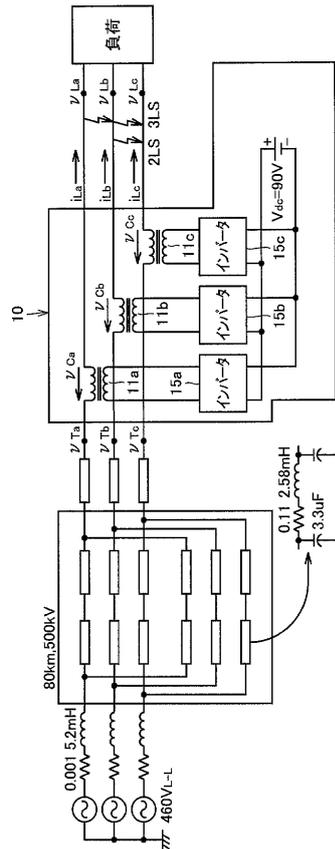
【図8】



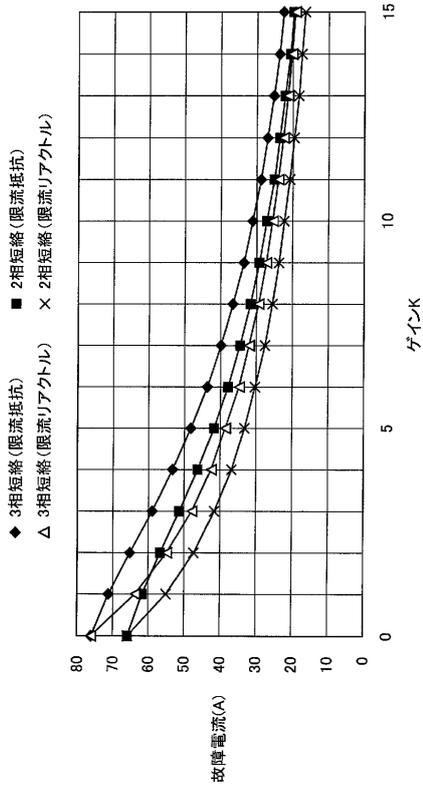
【図7】



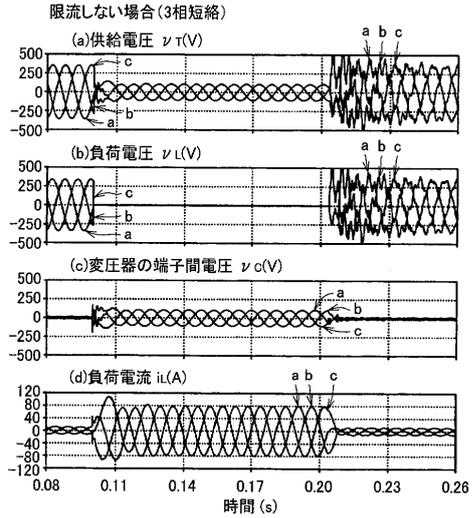
【図9】



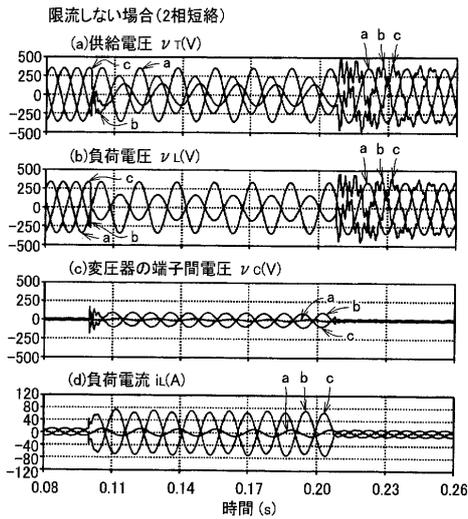
【 図 1 0 】



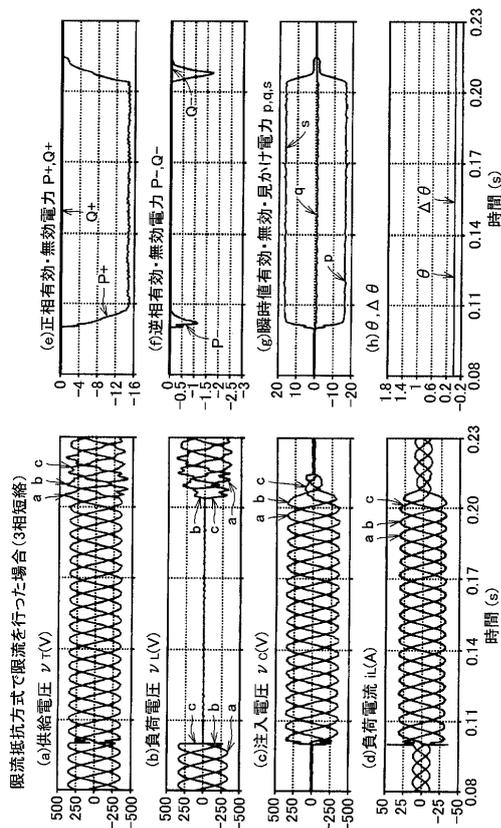
【 図 1 1 】



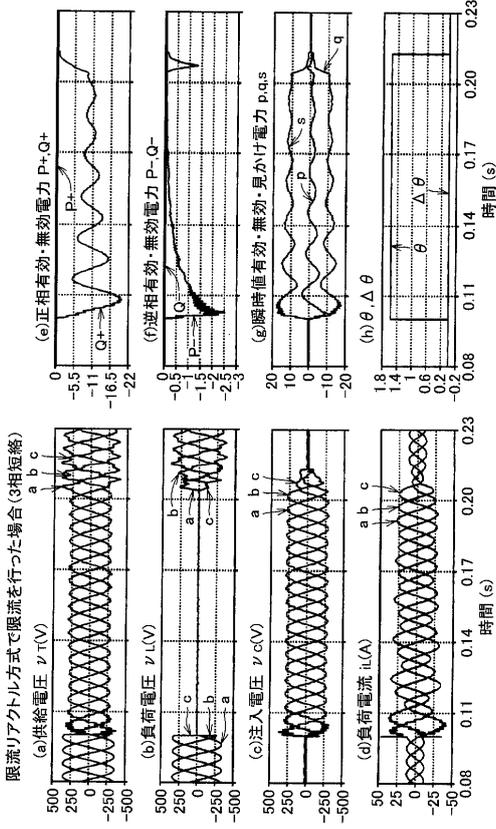
【 図 1 2 】



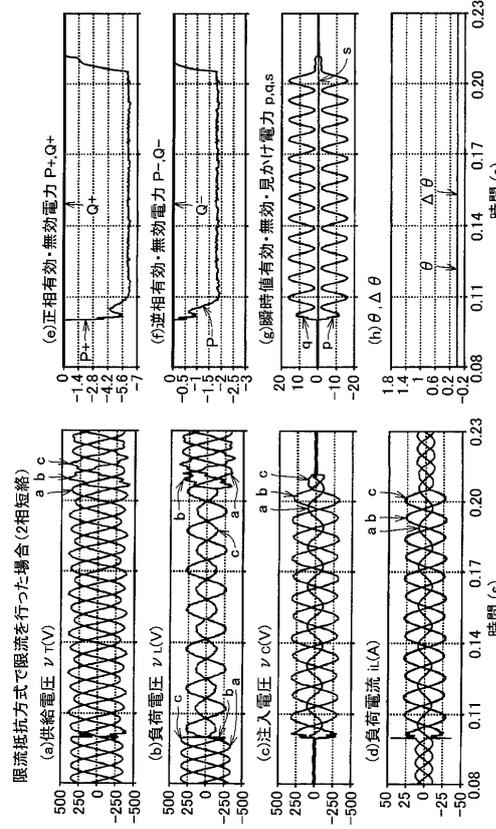
【 図 1 3 】



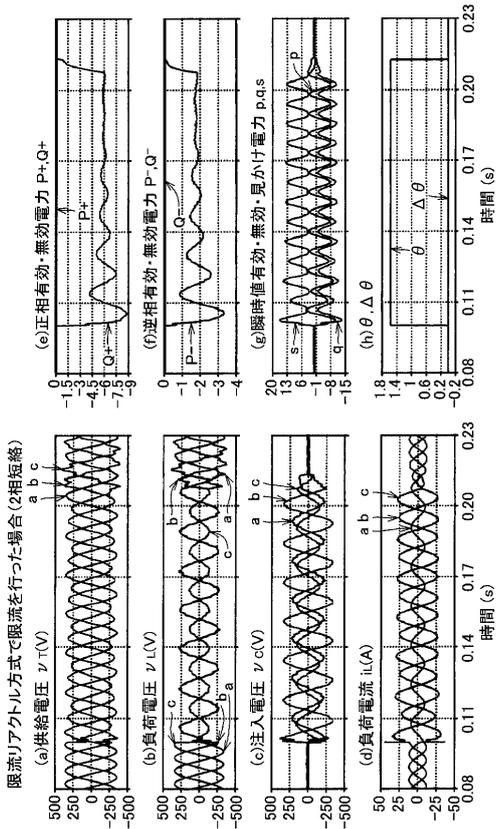
【 図 1 4 】



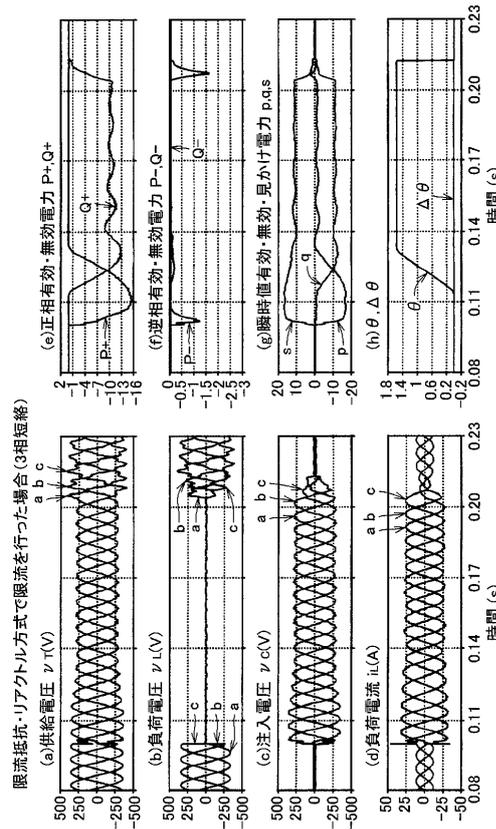
【 図 1 5 】



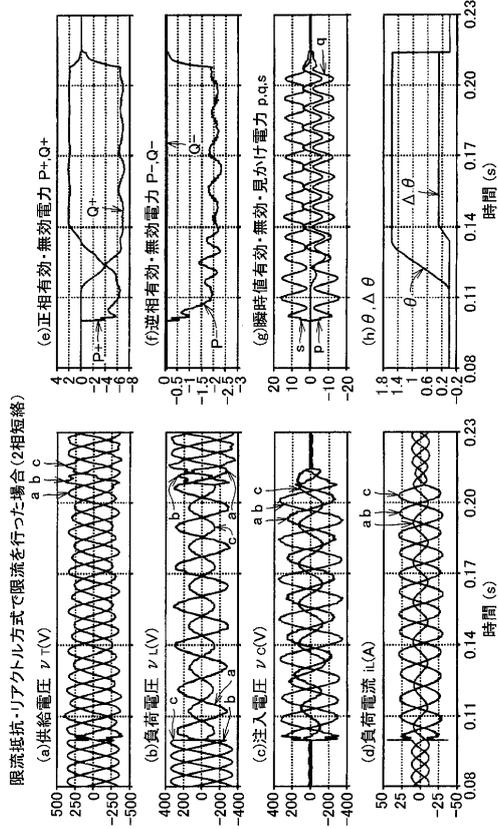
【 図 1 6 】



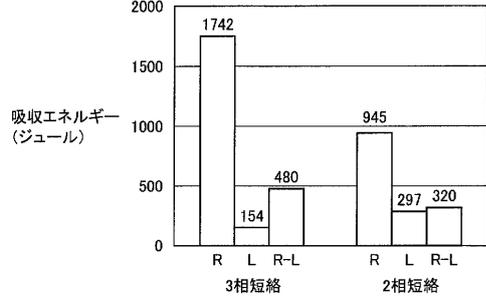
【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



フロントページの続き

(74)代理人 100098316

弁理士 野田 久登

(74)代理人 100109162

弁理士 酒井 將行

(72)発明者 山田 正人

大阪府大阪市北区中之島3丁目3番2号 関西電力株式会社内

(72)発明者 伊瀬 敏史

大阪府吹田市山田丘2番1号 大阪大学大学院 工学研究科電気工学専攻内

(72)発明者 熊谷 貞俊

大阪府吹田市山田丘2番1号 大阪大学大学院 工学研究科電気工学専攻内

(72)発明者 ポルマイ, ソンポップ

大阪府吹田市山田丘2番1号 大阪大学大学院 工学研究科電気工学専攻内

Fターム(参考) 5G066 DA07 DA10

5H420 BB02 BB03 BB13 BB16 CC04 CC05 DD03 DD04 EA29 EA39

EB38 FF03 FF04 FF11 LL02 LL03 LL04 LL10