

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(10) 国際公開番号

WO 2010/103741 A1

PCT

(43) 国際公開日

2010 年 9 月 16 日(16.09.2010)

(51) 国際特許分類:

H01H 33/59 (2006.01) H01H 9/56 (2006.01)
H01H 9/54 (2006.01) H01H 33/44 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/001371

(22) 国際出願日: 2010 年 3 月 1 日(01.03.2010)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2009-060925 2009 年 3 月 13 日(13.03.2009) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA)
[JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 腰塚正 (KOSHIZUKA, Tadashi). 齋藤実 (SAITO, Minoru). 楠山宏 (KUSUYAMA, Hiroshi). 前原宏之 (MAE-HARA, Hiroyuki). 佐藤純正 (SATO, Yoshimasa).

(74) 代理人: 黒田雄一 (KURODA, Yuuichi); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号東芝テクノセンター株式会社内 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

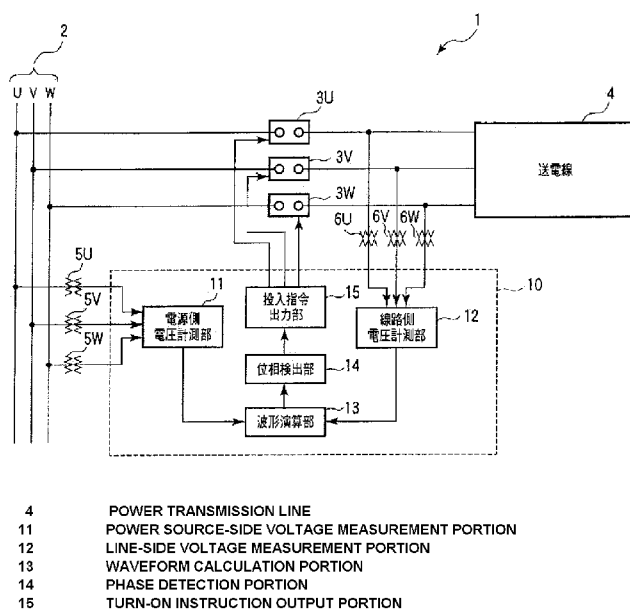
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: OVERVOLTAGE SUPPRESSION DEVICE

(54) 発明の名称: 過電圧抑制装置

[図1]



(57) Abstract: Disclosed is an overvoltage suppression device (10) which suppresses overvoltage that occurs when breakers (3U), (3V), (3W) which turn on/off the connection between a power source bus (2) and a power transmission line (4), are turned on after the breakers (3U), (3V), (3W) are turned off. The overvoltage suppression device (10) measures the waveform of voltage on the side of the power source and the voltage on the side of the power transmission line, and extracts the waveform of a component in a predetermined frequency band on the basis of the waveform obtained by multiplying the wave shape of the voltage on the side of the power source by the waveform of the voltage on the side of the power transmission line. The breakers (3U), (3V), (3W) are turned on the basis of a cycle wherein the waveform is peaked.

(57) 要約: 電源母線(2)と送電線(4)との接続を開閉する遮断器(3U), (3V), (3W)を開放後、遮断器(3U), (3V), (3W)を投入する際に発生する過電圧を抑制する過電圧抑制装置(10)であって、電源側電圧の波形を計測し、送電線側電圧の波形を計測し、電源側電圧の波形と送電線側電圧の波形とを乗算した波形から所定の周波数

帯の成分の波形を抽出し、この波形が最大となる周期に基づいて遮断器(3U), (3V), (3W)を投入する。

WO 2010/103741 A1

明 細 書

発明の名称 : 過電圧抑制装置

技術分野

[0001] 本発明は、遮断器を投入する際に生じる過電圧を抑制する過電圧抑制装置に関する。

背景技術

[0002] 一般に、リアクトルで補償されていない無負荷送電線では、遮断器が遮断した後、送電線には直流電圧が残留する。この直流電圧が残留している状態で、遮断器が再投入されると、過電圧（投入サージ）が発生することが知られている。この過電圧の大きさは、系統の電圧の数倍になる。このように大きな過電圧が発生すると、系統に設置される機器の絶縁に影響することが懸念される。

[0003] このため、無負荷送電線投入時の過電圧を抑制する方法としては、抵抗体付き遮断器を設けることが知られている。例えば、日本の500kV系統では、このような過電圧を抑制するため、抵抗投入方式の遮断器が採用されている。抵抗体付き遮断器は、投入抵抗と接点とを直列に接続した構成である。抵抗体付き遮断器は、遮断器主接点と並列接続される。抵抗体付き遮断器は、遮断器主接点よりも先行して投入される。これにより、過電圧を抑制する（例えば、日本国の非特許文献1参照）。

[0004] 一方、リアクトルで補償された無負荷送電線では、遮断器が遮断した後、送電線にはその静電容量とリアクトルとによる振動電圧が発生する。このような場合でも、遮断器の極間電圧が大きい時点で遮断器が再投入されると、過電圧が発生することになる。リアクトルで補償された送電線を再投入するときの過電圧抑制方法として、遮断器の投入位相を制御する方法が知られている。これは極間電圧が小さな時点で遮断器を再投入させるものである。極間電圧が小さくなる時点を予測する方法として、以下が知られる。

[0005] 一つ目の方法としては、遮断器の極間電圧を関数近似し、最適タイミング

で遮断器投入する方法が、次のように開示されている。まず、電源(側)電圧を、商用周波の正弦波とする。また、線路側の振動電圧も単一周波数であれば、正弦波と見做すことができる。これらの両電圧を正弦波で関数近似して、極間電圧を予測する。この極間電圧に基づいて、遮断器の投入時刻を決定する(例えば、日本国の特許文献1参照)。

- [0006] 二つ目の方法としては、遮断器の極間電圧零点間の時間を計測することにより、将来の極間電圧零点で遮断器を投入する方法が次のように開示されている。遮断後の極間電圧1周期の電圧零点間の時間と次の極間電圧1周期の電圧零点間の時間を計測する。これらの2つの極間電圧零点間の時間が同じであれば、極間電圧の周波数が分かる。これにより、極間電圧の波形に係らず、将来の極間電圧零点が推測できる(例えば、非特許文献2参照)。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：特開2003-168335号公報

非特許文献

- [0008] 非特許文献1：長谷良秀，“電力系統技術の実用理論ハンドブック”，丸善株式会社，2004年3月30日，p307-308

非特許文献2：K.Froehlich，“Controlled Closing on Shunt Reactor Compensated Transmission Lines Part I: Closing Control Device Development”，IEEE Transactions on Power Delivery, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1997年4月, Vol. 12, No. 2, p734-740

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] しかしながら、上述のような過電圧抑制方法には、それぞれ以下のような問題がある。
- [0010] 抵抗体付き遮断器を用いて過電圧抑制する場合、通常の遮断器に対して抵

抗体付き遮断器を特別に付加する必要がある。このため、遮断器全体としてみた場合、遮断器が大型化してしまう。

[0011] 送電線には、その無効電力を補償するために、リアクトルが設置されることがある。リアクトルが設置された送電線を遮断器が開放すると、送電線の静電容量とリアクトルのインダクタンスで決まる周波数の電圧振動が送電線に発生する。線路の電圧振動周波数は一般に電源電圧の周波数とは異なる。この場合、遮断器の極間電圧は、複周波の様相となる。

[0012] このとき遮断器の極間電圧を関数近似し、最適タイミングで遮断器投入する場合、次のような問題がある。

[0013] 線路の電圧振動の周波数を決定する送電線の静電容量には、自相の対地成分、他相との間の相互成分、及び他相の対地成分がある。これらの静電容量は、送電線の幾何学的配置によって、各相で異なる値になる。このため、線路側電圧の振動波形が単一周波の正弦波となることは、極めて稀である。一般には、その振動波形自体が既に複周波となることが多い。この場合、線路の電圧振動を関数近似させること自体が困難である。よって、極間電圧を関数近似から求めるのは、現実的には極めて困難である。

[0014] さらに、遮断器の極間電圧零点間の時間を計測して、遮断器を投入する場合、次のような問題がある。

[0015] 遮断器極間に電圧が印加された状態で投入する場合、接点間の絶縁耐力を接点間の電圧が上回ると、接点間で放電が発生する。この放電が発生すると、接点が機械的に接触する前に、遮断器は電氣的な接触状態となる。この放電は、プレアークと呼ばれる。

[0016] ここで、遮断器の極間電圧が複周波となっている場合、その電圧は電源電圧以上の波高値となる場合もある。このような場合、極間電圧が零点のときに、遮断器を投入させようとする、極間電圧が大きな時点で、前述のプレアークによる放電によって投入状態となることもあり得る。この場合、大きな過電圧が発生することになる。よって、極間電圧が複周波の場合、極間電圧零点のみを計測するだけでは、過電圧の抑制はできない。

[0017] 本発明の目的は、遮断器の極間電圧が複周波となっている場合でも、遮断器を投入する際に発生する過電圧を抑制することのできる過電圧抑制装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0018] 本発明の観点に従った過電圧抑制装置は、次の構成から成る。即ち、
電源を備えた電力系統と送電線との接続を開閉する遮断器を開放後、前述の遮断器を投入する際に発生する過電圧を抑制する過電圧抑制装置であって、
前述の遮断器の前述の電力系統側の対地電圧である電源側電圧の波形を計測する電源側電圧計測手段と、
前述の遮断器の前述の送電線側の対地電圧である送電線側電圧の波形を計測する送電線側電圧計測手段と、
前述の電源側電圧計測手段により計測された前述の電源側電圧の波形と送電線側電圧計測手段により計測された前述の送電線側電圧の波形とを乗算した波形を演算する乗算手段と、
前述の乗算手段により演算された前述の波形から前述の電源の周波数よりも低く直流成分の周波数よりも高い周波数帯の成分の波形を抽出する抽出手段と、
前述の抽出手段により抽出された前述の波形が最大となる周期を検出する周期検出手段と、
前述の周期検出手段により検出された前述の周期に基づいて、前述の遮断器を投入する投入手段とを備えている。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、遮断器の極間電圧が複周波となっている場合でも、遮断器を投入する際に発生する過電圧を抑制することのできる過電圧抑制装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1] 本発明の第1の実施例に係る過電圧抑制装置の適用された電力系統の構

成を示す構成図。

[図2] 第 1 の実施例に係る過電圧抑制装置の構成を示す構成図。

[図3] 第 1 の実施例に係る電源側電圧計測部により計測された遮断器の電源側電圧の電圧波形を示す波形図。

[図4] 第 1 の実施例に係る線路側電圧計測部により計測された遮断器の線路側電圧の電圧波形を示す波形図。

[図5] 第 1 の実施例に係る遮断器の極間電圧の電圧波形を示す波形図。

[図6] 第 1 の実施例に係る乗算器により演算処理された電圧波形を示す波形図。
。

[図7] 第 1 の実施例に係るローパスフィルタにより演算処理された電圧波形を示す波形図。

[図8] 第 1 の実施例に係るハイパスフィルタにより演算処理された電圧波形を示す波形図。

[図9] 本発明の第 2 の実施例に係る過電圧抑制装置の適用された電力システムシステムの構成を示す構成図。

[図10] 第 2 の実施例に係る過電圧抑制装置の構成を示す構成図。

[図11] 第 2 の実施例に係る電源側電圧計測部により計測された遮断器の電源側電圧の電圧波形を示す波形図。

[図12] 第 2 の実施例に係る線路側電圧計測部により計測された遮断器の線路側電圧の電圧波形を示す波形図。

[図13] 第 2 の実施例に係る減算器により演算処理された遮断器の極間電圧の電圧波形を示す波形図。

[図14] 第 2 の実施例に係る乗算器により演算処理された電圧波形を示す波形図。

[図15] 第 2 の実施例に係るローパスフィルタにより演算処理された電圧波形を示す波形図。

[図16] 第 2 の実施例に係るハイパスフィルタにより演算処理された電圧波形を示す波形図。

[図17] 本発明の第3の実施例に係る過電圧抑制装置の適用された電力システムシステムの構成を示す構成図。

[図18] 第3の実施例に係る過電圧抑制装置の構成を示す構成図。

[図19] 第3の実施例に係る電源側電圧計測部により計測された遮断器の電源側電圧の電圧波形を示す波形図。

[図20] 第3の実施例に係る線路側電圧計測部により計測された遮断器の線路側電圧の電圧波形Wを示す波形図。

[図21] 第3の実施例に係る減算器により演算処理された遮断器の極間電圧の電圧波形を示す波形図。

[図22] 第3の実施例に係る遮断器が無負荷送電線を投入する際に発生する投入サージを模式的に描いた波形図。

[図23] 第3の実施例に係る遮断器の投入時におけるプリアーク発生電圧特性を示す特性図。

[図24] 本発明の第4の実施例に係る過電圧抑制装置の適用された電力システムシステムの構成を示す構成図。

[図25] 本発明の第4の実施例に係る過電圧抑制装置の構成を示す構成図。

発明を実施するための形態

[0021] 以下図面を参照して、本発明の一実施例を説明する。

[0022] (第1の実施例)

図1は、本発明の第1の実施例に係る過電圧抑制装置10の適用された電力システムシステム1の構成を示す構成図である。なお、以降の図における同一部分には同一符号を付してその詳しい説明を省略し、異なる部分について主に述べる。以降の実施例も同様にして重複する説明を省略する。

[0023] 電力システムシステム1は、電源母線2と、三相分の遮断器3U, 3V, 3Wと、送電線4と、三相分の電源側電圧検出器5U, 5V, 5Wと、三相分の線路側電圧検出器6U, 6V, 6Wと、過電圧抑制装置10とを備えている。

[0024] 電源母線2は、U相、V相、及びW相からなる三相交流の電源を備えた電

力系統の母線である。

- [0025] 送電線 4 は、遮断器 3 U, 3 V, 3 W を介して、電源母線 2 に電氣的に接続される。なお、図示していないが、送電線 4 の各相の対地間にリアクトルが設置されている。これらのリアクトルは、送電線 4 の両端に設置される場合又は片端のみに設置される場合等がある。
- [0026] 遮断器 3 U, 3 V, 3 W は、送電線 4 と電源母線 2 との各相を互いに接続する。遮断器 3 U, 3 V, 3 W は、相毎に個別に操作する各相操作型の遮断器である。遮断器 3 U, 3 V, 3 W は、U 相、V 相、W 相に、それぞれ設けられている。
- [0027] 各電源側電圧検出器 5 U, 5 V, 5 W は、電源母線 2 のそれぞれの対応する相に設けられている。電源側電圧検出器 5 U, 5 V, 5 W は、例えば計器用変圧器である。各電源側電圧検出器 5 U, 5 V, 5 W は、電源母線 2 のそれぞれの対応する相電圧（対地電圧）を検出する。即ち、各電源側電圧検出器 5 U, 5 V, 5 W は、それぞれの対応する遮断器 3 U, 3 V, 3 W の電源側の電圧を検出する。各電源側電圧検出器 5 U, 5 V, 5 W は、それぞれの検出した電源母線 2 の各相電圧を過電圧抑制装置 10 に出力する。
- [0028] 各線路側電圧検出器 6 U, 6 V, 6 W は、送電線 4 のそれぞれの対応する相に設けられている。線路側電圧検出器 6 U, 6 V, 6 W は、例えば計器用変圧器である。各線路側電圧検出器 6 U, 6 V, 6 W は、送電線 4 のそれぞれの対応する相電圧（対地電圧）を検出する。即ち、各線路側電圧検出器 6 U, 6 V, 6 W は、それぞれの対応する相の遮断器 3 U, 3 V, 3 W の線路側の電圧を検出する。各線路側電圧検出器 6 U, 6 V, 6 W は、それぞれの検出した送電線 4 の各相電圧を過電圧抑制装置 10 に出力する。
- [0029] 過電圧抑制装置 10 には、電源側電圧検出器 5 U, 5 V, 5 W により検出された電源母線 2 の各相電圧及び線路側電圧検出器 6 U, 6 V, 6 W により検出された送電線 4 の各相電圧が入力される。過電圧抑制装置 10 は、遮断器 3 U, 3 V, 3 W が開放された場合、電源母線 2 の各相電圧及び送電線 4 の各相電圧に基づいて、遮断器 3 U, 3 V, 3 W を投入する。

- [0030] 過電圧抑制装置 10 は、電源側電圧計測部 11 と、線路側電圧計測部 12 と、波形演算部 13 と、位相検出部 14 と、投入指令出力部 15 とを備えている。
- [0031] 電源側電圧計測部 11 は、電源側電圧検出器 5U, 5V, 5W により検出された遮断器 3U, 3V, 3W の電源側の電圧を計測する。電源側電圧計測部 11 は、計測した遮断器 3U, 3V, 3W の電源側の電圧波形データを波形演算部 13 に出力する。
- [0032] 線路側電圧計測部 12 は、線路側電圧検出器 6U, 6V, 6W により検出された送電線 4 の電圧を計測する。線路側電圧計測部 12 は、計測した送電線 4 の電圧波形データを波形演算部 13 に出力する。
- [0033] 波形演算部 13 は、電源側電圧計測部 11 により計測された電源母線 2 の電圧波形データ及び線路側電圧計測部 12 により計測された送電線 4 の電圧波形データに対して、遮断器 3U, 3V, 3W を投入する位相（タイミング）を検出するための波形演算処理をする。波形演算部 13 は、波形演算処理がされた電圧波形データを位相検出部 14 に出力する。
- [0034] 位相検出部 14 は、波形演算部 13 により波形演算処理された電圧波形データに基づいて、遮断器 3U, 3V, 3W をそれぞれ投入する位相を検出する。位相検出部 14 は、検出した各相の投入する位相を、投入指令出力部 15 に出力する。
- [0035] 投入指令出力部 15 は、位相検出部 14 により検出された各相の位相で、遮断器 3U, 3V, 3W をそれぞれ投入するための投入指令を出力する。
- [0036] 図 2 は、本発明の第 1 の実施例に係る過電圧抑制装置 10 の構成を示す構成図である。なお、図 2 においては、遮断器 3U, 3V, 3W のうちの一相分のみの構成を図示しているが、他の二相も同様に構成されているものとする。
- [0037] なお、ここでは、一相（U 相）分の構成について主に説明し、他の二相（V 相及び W 相）については、同様に構成されているものとして、説明を適宜省略する。以降の実施例も同様にして、説明を適宜省略する。

- [0038] 波形演算部 13 は、乗算器 131 と、ローパスフィルタ 132 と、ハイパスフィルタ 133 とを備えている。
- [0039] 乗算器 131 には、電源側電圧計測部 11 により計測された遮断器 3U の電源側の電圧波形データ及び線路側電圧計測部 12 により計測された遮断器 3U の線路側の電圧波形データが入力される。乗算器 131 は、遮断器 3U の電源側の電圧波形データと遮断器 3U の線路側の電圧波形データを乗算する。乗算器 131 は、乗算して算出した電圧波形データを、ローパスフィルタ 132 に出力する。
- [0040] ローパスフィルタ 132 には、乗算器 131 により演算された電圧波形データが入力される。ローパスフィルタ 132 のカットオフ周波数は、商用周波数をカットできる周波数に設定されている。ローパスフィルタ 132 は、入力された電圧波形データに対して、カットオフ周波数よりも低い周波成分のみを通過させる。これにより、ローパスフィルタ 132 は、入力された電圧波形データに対して、高周波成分である商用周波数成分を取り除く。ローパスフィルタ 132 は、通過した電圧波形データを、ハイパスフィルタ 133 に出力する。
- [0041] ここで、ローパスフィルタ 132 のカットオフ周波数について説明する。
- [0042] 遮断器 3U, 3V, 3W を遮断後の送電線 4 の電圧振動の周波数は、設置されているリアクトルの補償率によっても変わるが、電源側電圧の周波数である商用周波数に近くなる。このため、遮断器 3U, 3V, 3W の極間電圧には、商用周波数よりも低周波の成分が現れる。そこで、ローパスフィルタ 133 のカットオフ周波数は、商用周波をカットできる周波数に設定される。
- [0043] ハイパスフィルタ 133 には、ローパスフィルタ 132 を通過した電圧波形データが入力される。ハイパスフィルタ 133 のカットオフ周波数は、直流成分に近い極低周波の周波数成分をカットできる周波数に設定されている。ハイパスフィルタ 133 は、入力された電圧波形データに対して、カットオフ周波数よりも高い周波成分のみを通過させる。これにより、ハイパスフ

フィルタ 133 は、入力された電圧波形データに対して、極低周波成分を取り除く。ハイパスフィルタ 133 は、通過した電圧波形データを、位相検出部 14 の周期検出部 141 に出力する。

[0044] 位相検出部 14 は、周期検出部 141 と、投入位相演算部 142 とを備えている。

[0045] 周期検出部 141 には、ハイパスフィルタ 133 を通過した電圧波形データが入力される。周期検出部 141 は、入力された電圧波形データに基づいて、遮断器 3 U の極間電圧が最小となる周期を演算する。周期検出部 141 は、演算した周期を投入位相演算部 142 に出力する。

[0046] 投入位相演算部 142 には、周期検出部 141 により演算された周期が入力される。投入位相演算部 142 は、入力された周期に基づいて、遮断器 3 U を投入するのに最適な時刻（位相）を演算する。ここで、最適な投入時刻とは、このあとに、遮断器 3 U の極間電圧の電圧波形が最小になると推定される時刻である。投入位相演算部 142 は、演算した時刻を投入指令出力部 15 に出力する。

[0047] 図 3～図 8 は、本実施例に係る過電圧抑制装置 10 における演算処理を説明するための電圧波形 W3～W8 を示す波形図である。図 3～図 8 は、遮断器 3 U が送電線 4 を遮断した時刻 t_0 付近からのそれぞれの電圧波形 W3～W8 の状態を示している。図 3～図 8 に示す座標は、縦軸を電圧（p. u. : per unit）、横軸を時間（秒）としている。

[0048] 図 3 は、電源側電圧計測部 11 により計測された遮断器 3 U の電源側電圧（電源母線 2 の電圧）の電圧波形 W3 を示す波形図である。図 4 は、線路側電圧計測部 12 により計測された遮断器 3 U の線路側電圧（送電線 4 の電圧）の電圧波形 W4 を示す波形図である。図 5 は、遮断器 3 U の極間電圧の電圧波形 W5 を示す波形図である。図 6 は、乗算器 131 により演算処理された電圧波形 W6 を示す波形図である。図 7 は、ローパスフィルタ 132 により演算処理された電圧波形 W7 を示す波形図である。図 8 は、ハイパスフィルタ 133 により演算処理された電圧波形 W8 を示す波形図である。

- [0049] 遮断器 3 U の電源側には、図 3 に示された電圧波形 W 3 で表される電圧が印加されている。遮断器 3 U の線路側には、図 4 に示された電圧波形 W 4 で表される電圧が印加されている。
- [0050] このとき、遮断器 3 U の極間電圧は、図 5 に示された電圧波形 W 5 で表される。電圧波形 W 5 は、遮断器 3 U の電源側の電圧波形 W 3 から遮断器 3 U の線路側の電圧波形 W 4 を減算することで求まる。電圧波形 W 5 は、時刻 t_0 よりも前では、遮断器 3 U の電源側の電圧と遮断器 3 U の線路側の電圧とは同一であるため、零である。
- [0051] 乗算器 1 3 1 には、電圧波形 W 3 を示す遮断器 3 U の電源側の電圧波形データと電圧波形 W 4 を示す遮断器 3 U の線路側の電圧波形データが入力される。乗算器 1 3 1 は、入力された 2 つの電圧波形データを乗算する。これにより、乗算器 1 3 1 は、図 6 に示された電圧波形 W 6 を示す電圧波形データを算出する。電圧波形 W 6 には、高調波成分である商用周波数成分と、低周波成分 F L 1 と、極低周波成分 F L 2 とが重畳されている。
- [0052] ローパスフィルタ 1 3 2 には、乗算器 1 3 1 により算出された電圧波形 W 6 を示す電圧波形データが入力される。これにより、ローパスフィルタ 1 3 2 は、図 7 に示された電圧波形 W 7 を示す電圧波形データを算出する。電圧波形 W 7 は、電圧波形 W 6 に対して、商用周波数成分が抑制され、低周波成分 F L 1 及び極低周波成分 F L 2 が抽出された波形になっている。
- [0053] ハイパスフィルタ 1 3 3 には、ローパスフィルタ 1 3 2 により算出された電圧波形 W 7 を表す電圧波形データが入力される。これにより、ハイパスフィルタ 1 3 3 は、図 8 に示された電圧波形 W 8 を示す電圧波形データを算出する。電圧波形 W 8 は、電圧波形 W 7 に対して、極低周波成分 F L 2 が抑制され、電源母線 2 の周波数よりも低く直流成分の周波数よりも高い周波数帯の低周波成分 F L 1 が抽出された波形になっている。
- [0054] 周期検出部 1 4 1 は、波形演算部 1 3 により波形演算された電圧波形 W 8 を示す電圧波形データが入力される。周期検出部 1 4 1 は、遮断器 3 U が送電線 4 を遮断してから予め設定された時間が経過するまで、電圧波形 W 8 を

示す電圧波形データを監視する。周期検出部 141 は、監視した電圧波形 W8 において、正極性で最大となる時刻 t_c を検出する。この検出により、周期検出部 141 は、時刻 t_c が現れる間隔を測定する。周期検出部 141 は、この測定した間隔に基づいて、周期 T_M を演算する。周期検出部 141 は、演算した周期 T_M を投入位相演算部 142 に出力する。

[0055] 図 5 及び図 8 に示すように、電圧波形 W8 における正極性で最大となる時刻 t_c と電圧波形 W5 の複周波の電圧が最小となる時刻 t_c とは、一致する。よって、周期検出部 141 により演算された周期 T_M は、極間電圧の電圧波形 W5 の複周波の電圧が最小となる周期 T_M と同じである。

[0056] 投入位相演算部 142 は、周期検出部 141 により演算された周期 T_M に基づいて、遮断器 3U を投入するのに最適な投入位相（投入時刻）を演算する。この投入位相は、このあとに、電圧波形 W8 が正極性で最大になると推定される位相の 1 つである。

[0057] 投入指令出力部 15 は、投入位相演算部 142 により演算された投入位相で、遮断器 3U が投入されるように、遮断器 3U に投入指令を出力する。

[0058] 本実施例によれば、以下の作用効果を得ることができる。

[0059] 遮断器 3U の電源側の電圧と遮断器 3U の線路側の電圧とを乗算することによって、電源母線 2 の周波数よりも低く直流成分の周波数よりも高い周波数帯の低周波成分 F_L1 が顕著に現れる。 F_L1 は遮断器極間電圧 W5 の複周波の周波数成分である。ローパスフィルタ 132 及びハイパスフィルタ 133 により、低周波成分 F_L1 を抽出する。低周波成分 F_L1 が抽出された電圧波形 W8 において、正極性の最大となる周期 T_M を求めることで、遮断器 3U, 3V, 3W の極間電圧が小さくなる時点を推定することができる。

[0060] これらの処理により、過電圧抑制装置 10 は、遮断器 3U, 3V, 3W の極間電圧が小さくなる最適な投入時点で遮断器 3U, 3V, 3W を投入することで、極間電圧が複周波となっている場合でも、遮断器 3U, 3V, 3W を投入する際に発生する過電圧を抑制することができる。

[0061] （第 2 の実施例）

図 9 は、本発明の第 2 の実施例に係る過電圧抑制装置 10A の適用された電力システムシステム 1A の構成を示す構成図である。

[0062] 電力システムシステム 1A は、図 1 に示す第 1 の実施例に係る電力システムシステム 1 において、過電圧抑制装置 10 の代わりに過電圧抑制装置 10A を設けた構成である。その他の点については、電力システムシステム 1A は、第 1 の実施例に係る電力システムシステム 1 と同様である。

[0063] 図 10 は、本実施例に係る過電圧抑制装置 10A の構成を示す構成図である。

[0064] 過電圧抑制装置 10A は、図 2 に示す第 1 の実施例に係る過電圧抑制装置 10 において、波形演算部 13 の代わりに波形演算部 13A を設けた構成である。その他の点については、過電圧抑制装置 10A は、第 1 の実施例に係る過電圧抑制装置 10 と同様である。

[0065] 波形演算部 13A は、減算器 13A1 と、乗算器 13A2 と、ローパスフィルタ 13A3 と、ハイパスフィルタ 13A4 とを備えている。

[0066] 減算器 13A1 には、電源側電圧計測部 11 により計測された遮断器 3U の電源側の電圧波形データ及び線路側電圧計測部 12 により計測された遮断器 3U の線路側の電圧波形データが入力される。減算器 13A1 は、遮断器 3U の電源側の電圧波形データから遮断器 3U の線路側の電圧波形データを減算する。この演算により、遮断器 3U の極間電圧の電圧波形データが算出される。減算器 13A1 は、算出した極間電圧の電圧波形データを、乗算器 13A2 に出力する。

[0067] 乗算器 13A2 には、減算器 13A1 により演算された極間電圧の電圧波形データが入力される。乗算器 13A2 は、入力された電圧波形データを 2 乗する。乗算器 13A2 は、2 乗して演算された電圧波形データを、ローパスフィルタ 13A3 に出力する。

[0068] ローパスフィルタ 13A3 には、乗算器 13A2 により 2 乗された電圧波形データが入力される。ローパスフィルタ 13A3 のカットオフ周波数は、商用周波数をカットできる周波数に設定されている。ローパスフィルタ 13

A 3は、入力された電圧波形データに対して、カットオフ周波数よりも低い周波成分のみを通過させる。これにより、ローパスフィルタ 1 3 A 3は、入力された電圧波形データに対して、高周波成分である商用周波数成分を取り除く。ローパスフィルタ 1 3 A 3は、通過した電圧波形データを、ハイパスフィルタ 1 3 A 4に出力する。

[0069] ハイパスフィルタ 1 3 A 4には、ローパスフィルタ 1 3 A 3を通過した電圧波形データが入力される。ハイパスフィルタ 1 3 A 4のカットオフ周波数は、直流成分に近い極低周波の周波数成分をカットできる周波数に設定されている。ハイパスフィルタ 1 3 A 4は、入力された電圧波形データに対して、カットオフ周波数よりも高い周波成分のみを通過させる。これにより、ハイパスフィルタ 1 3 A 4は、入力された電圧波形データに対して、極低周波成分を取り除く。ハイパスフィルタ 1 3 A 4は、通過した電圧波形データを、位相検出部 1 4 の周期検出部 1 4 1に出力する。

[0070] 図 1 1～図 1 6は、本実施例に係る過電圧抑制装置 1 0 Aにおける演算処理を説明するための電圧波形を示す波形図である。図 1 1～図 1 6は、遮断器 3 Uが送電線 4を遮断した時刻 t 1付近からのそれぞれの電圧波形W 1 1～W 1 6の状態を示している。図 1 1～図 1 6に示す座標は、縦軸を電圧（p.u.）、横軸を時間（秒）としている。

[0071] 図 1 1は、電源側電圧計測部 1 1により計測された遮断器 3 Uの電源側電圧（電源母線 2の電圧）の電圧波形W 1 1を示す波形図である。図 1 2は、線路側電圧計測部 1 2により計測された遮断器 3 Uの線路側電圧（送電線 4の電圧）の電圧波形W 1 2を示す波形図である。図 1 3は、減算器 1 3 A 1により演算処理された遮断器 3 Uの極間電圧の電圧波形W 1 3を示す波形図である。図 1 4は、乗算器 1 3 A 2により演算処理された電圧波形W 1 4を示す波形図である。図 1 5は、ローパスフィルタ 1 3 A 3により演算処理された電圧波形W 1 5を示す波形図である。図 1 6は、ハイパスフィルタ 1 3 A 4により演算処理された電圧波形W 1 6を示す波形図である。

[0072] 遮断器 3 Uの電源側には、図 1 1に示された電圧波形W 1 1で表される電

圧が印加されている。遮断器 3 U の線路側には、図 1 2 に示された電圧波形 W 1 2 で表される電圧が印加されている。

[0073] 減算器 1 3 A 1 には、電圧波形 W 1 1 を示す遮断器 3 U の電源側の電圧波形データと電圧波形 W 1 2 を示す遮断器 3 U の線路側の電圧波形データが入力される。減算器 1 3 A 1 は、遮断器 3 U の電源側の電圧波形データから遮断器 3 U の線路側の電圧波形データを減算する。これにより、減算器 1 3 A 1 は、図 1 3 に示された電圧波形 W 1 3 を示す遮断器 3 U の極間電圧の電圧波形データを算出する。電圧波形 W 1 3 は、時刻 t_1 よりも前では、遮断器 3 U の電源側の電圧と遮断器 3 U の線路側の電圧とは同一であるため、零である。

[0074] 乗算器 1 3 A 2 には、減算器 1 3 A 1 により算出された電圧波形 W 1 3 を示す遮断器 3 U の極間電圧の電圧波形データが入力される。乗算器 1 3 A 2 は、入力された電圧波形データを 2 乗する。これにより、乗算器 1 3 A 2 は、図 1 4 に示された電圧波形 W 1 4 を示す電圧波形データを算出する。電圧波形 W 1 4 には、高調波成分である商用周波数成分と、低周波成分 F_L3 と、図 1 5 に示す極低周波成分 F_L4 とが重畳されている。

[0075] ローパスフィルタ 1 3 A 3 には、減算器 1 3 A 2 により算出された電圧波形 W 1 4 を示す電圧波形データが入力される。これにより、ローパスフィルタ 1 3 A 3 は、図 1 5 に示された電圧波形 W 1 5 を示す電圧波形データを算出する。電圧波形 W 1 5 は、電圧波形 W 1 4 に対して、商用周波数成分が抑制され、低周波成分 F_L3 及び極低周波成分 F_L4 が抽出された波形になっている。

[0076] ハイパスフィルタ 1 3 A 4 には、ローパスフィルタ 1 3 A 3 により算出された電圧波形 W 1 5 を表す電圧波形データが入力される。これにより、ハイパスフィルタ 1 3 A 4 は、図 1 6 に示された電圧波形 W 1 6 を示す電圧波形データを算出する。電圧波形 W 1 6 は、電圧波形 W 1 5 に対して、極低周波成分 F_L4 が抑制され、電源母線 2 の周波数よりも低く直流成分の周波数よりも高い周波数帯の低周波成分 F_L3 が抽出された波形になっている。

- [0077] 周期検出部 141 は、波形演算部 13A により波形演算された電圧波形 W16 を示す電圧波形データが入力される。周期検出部 141 は、遮断器 3U が送電線 4 を遮断してから予め設定された時間が経過するまで、電圧波形 W16 を示す電圧波形データを監視する。周期検出部 141 は、監視した電圧波形 W16 において、負極性で最大となる時刻 t_{c1} を検出する。この検出により、周期検出部 141 は、時刻 t_{c1} が現れる間隔を測定する。周期検出部 141 は、この測定した間隔に基づいて、周期 T_{M1} を演算する。周期検出部 141 は、演算した周期 T_{M1} を投入位相演算部 142 に出力する。
- [0078] 図 13 及び図 16 に示すように、電圧波形 W16 における負極性で最大となる時刻 t_{c1} と電圧波形 W13 の複周波電圧の小さくなる時刻 t_{c1} とは、一致する。よって、周期検出部 141 により演算された周期 T_{M1} は、極間電圧の電圧波形 W13 の複周波電圧の小さくなる周期 T_{M1} と同じである。
- [0079] 投入位相演算部 142 は、周期検出部 141 により演算された周期 T_{M1} に基づいて、遮断器 3U を投入するのに最適な投入位相（投入時刻）を演算する。この投入位相は、将来において、電圧波形 W16 が負極性で最大になると推定される位相の 1 つである。
- [0080] 投入指令出力部 15 は、投入位相演算部 142 により演算された投入位相で、遮断器 3U が投入されるように、遮断器 3U に投入指令を出力する。
- [0081] 本実施例によれば、以下の作用効果を得ることができる。
- [0082] 遮断器 3U の極間電圧を 2 乗することによって、電源母線 2 の周波数よりも低く直流成分の周波数よりも高い周波数帯の低周波成分 F_{L3} が顕著に現れる。ローパスフィルタ 13A3 及びハイパスフィルタ 14A4 により、低周波成分 F_{L3} を抽出する。低周波成分 F_{L3} が抽出された電圧波形 W16 において、負極性の最大となる周期 T_{M1} を求めることで、極間電圧が小さくなる時点を推定することができる。これらの処理により、過電圧抑制装置 10A は、遮断器 3U, 3V, 3W の極間電圧が小さくなる最適な投入時点で遮断器 3U, 3V, 3W を投入することで、極間電圧が複周波となってい

る場合でも、遮断器 3 U, 3 V, 3 W を投入する際に発生する過電圧を抑制することができる。

[0083] また、過電圧抑制装置 10 A では、極間電圧を直接求め、この極間電圧を 2 乗しているため、第 1 の実施例に係る過電圧抑制装置 10 よりも、極間電圧の高低差を明確にすることができる。これにより、過電圧抑制装置 10 A は、第 1 の実施例に係る過電圧抑制装置 10 よりも精度の高い制御をすることができる。

[0084] 一方、過電圧抑制装置 10 A では、第 1 の実施例に係る過電圧抑制装置 10 での乗算器 131 での演算の代わりに、減算器 A1 及び乗算器 13A2 による演算が必要である。このため、第 1 の実施例に係る過電圧抑制装置 10 は、過電圧抑制装置 10 A よりも演算速度が速い。

[0085] (第 3 の実施例)

図 17 は、本発明の第 3 の実施例に係る過電圧抑制装置 10 B の適用された電力システムシステム 1 B の構成を示す構成図である。

[0086] 電力システムシステム 1 B は、図 1 に示す第 1 の実施例に係る電力システムシステム 1 において、過電圧抑制装置 10 の代わりに過電圧抑制装置 10 B を設けた構成である。その他の点については、電力システムシステム 1 B は、第 1 の実施例に係る電力システムシステム 1 と同様である。

[0087] 図 18 は、本実施例に係る過電圧抑制装置 10 B の構成を示す構成図である。

[0088] 過電圧抑制装置 10 B は、図 2 に示す第 1 の実施例に係る過電圧抑制装置 10 において、波形演算部 13 の代わりに波形演算部 13 B を設け、投入指令出力部 15 の代わりに投入指令出力部 15 B を設けた構成である。その他の点については、過電圧抑制装置 10 B は、第 1 の実施例に係る過電圧抑制装置 10 と同様である。

[0089] 波形演算部 13 B は、第 1 の実施例に係る波形演算部 13 に、減算器 13 B1 及び波形監視部 13 B2 を追加した構成である。

[0090] 減算器 13 B1 には、電源側電圧計測部 11 により計測された遮断器 3 U

の電源側の電圧波形データ及び線路側電圧計測部 12 により計測された遮断器 3 U の線路側の電圧波形データが入力される。減算器 13 B 1 は、遮断器 3 U の電源側の電圧波形データから遮断器 3 U の線路側の電圧波形データを減算する。この演算により、遮断器 3 U の極間電圧の電圧波形データが算出される。減算器 13 B 1 は、算出した極間電圧の電圧波形データを、波形監視部 13 B 2 に出力する。

[0091] 波形監視部 13 B 2 には、減算器 13 B 1 により演算された極間電圧の電圧波形データが入力される。波形監視部 13 B 2 は、遮断器 3 U による送電線 4 の遮断後、極間電圧の電圧波形データに基づいて、遮断器 3 U の線路側（送電線 4）に流れる 2 次アーク電流が予め設定された設定時間（例えば、100 ミリ秒）以内に消弧したか否かを監視する。

[0092] 波形監視部 13 B 2 による 2 次アーク電流の消弧の判断方法は、極間電圧の波形が変化したことを検出することにより行う。例えば、極間電圧の波形の変化を検出する方法としては、極間電圧の周波数により判断する方法がある。2 次アーク電流が消弧していない間は、遮断器 3 U の線路側の電圧は零である。このため、極間電圧は、遮断器 3 U の電源側の電圧（例えば商用周波数）と同じになる。また、送電線側にリアクトルが設置されている場合、2 次アーク電流が消弧すると、極間電圧は、遮断器 3 U の電源側の周波数よりも低い低周波となる。よって、波形監視部 13 B 2 は、極間電圧の周波数が低くなったことを検出して、2 次アーク電流が消弧したことを判断することができる。

[0093] 波形監視部 13 B 2 は、設定時間内に 2 次アーク電流が消弧した場合、演算処理を終了する。波形監視部 13 B 2 は、設定時間内に 2 次アーク電流が消弧しなかった場合、極間電圧の電圧波形データに基づいて、乗算器 13 1 などの演算による波形処理を行わずに、投入サージ（過電圧）を抑制させて、遮断器 3 U を投入するための演算処理を行う。波形監視部 13 B 2 は、演算結果に基づいて、投入指令出力部 15 B に出力する。

[0094] ここで、2 次アーク電流について説明する。

- [0095] 一般に、送電線に故障が発生し、遮断器が送電線を遮断した後、健全相若しくは健全回線からの誘導によって故障点に小さな電流が流れることが知られている。この電流は、２次アーク電流と呼ばれる。２次アーク電流は、遮断器が送電線を遮断した後、数十ミリ秒から数百ミリ秒程度で、自然消弧するといわれている。この２次アーク電流が流れている間は、故障が継続している。その間、２次アークによるアーク電圧が存在するが、その大きさは電源電圧に比べて小さいため、遮断器が送電線を遮断しても、送電線の電圧は、ほぼ零である。２次アーク電流が消弧すると、送電線の電圧振動が始まる。そこで、波形監視部１３Ｂ２では、遮断器３Ｕの線路側の電圧が零でなくなったことを検知して、２次アーク電流が消弧したと判断する。
- [0096] 次に、波形監視部１３Ｂ２に設定される設定時間について説明する。
- [0097] 財団法人電気学会（IEEJ: The Institute of Electrical Engineers of Japan）における電気規格調査会（JEC: Japanese Electrotechnical Committee）標準規格ＪＥＣ－２３００－１９９８「交流遮断器」では、遮断器の動作責務が決められている。この規格では、遮断器は、高速度再閉路の場合、遮断－ θ －投入・遮断－（１分）－投入・遮断という責務が決められている。ここで、 θ は、０．３５秒が標準とされている。
- [0098] 一方、遮断器３Ｕが開放されてから２次アーク電流が消弧するまでの時間は、気象条件によっても左右されるため、一定ではない。よって、２次アーク電流の消弧時点が遅れると、上述の高速度再閉路の θ の時間内に、極間電圧が小さくなる時点を波形処理によって推定することが困難となる場合がある。
- [0099] そこで、波形監視部１３Ｂ２には、極間電圧が小さくなる時点を波形処理により推定をしても、 θ の時間内に遮断器３Ｕを投入することができる時間内で、遮断器３Ｕが開放されてから２次アーク電流が消弧するまでに費やすことのできる最大時間が、設定時間として設定されている。即ち、この設定時間よりも長く２次アーク電流が消弧するまでに時間が掛かった場合には、過電圧抑制装置１０Ｂは、波形処理をして、極間電圧が小さくなる時点を推

定すると、遮断器 3 U の再投入を上述の動作責務に必要な θ の時間内に出来なくなることである。

[0100] 設定時間内に 2 次アーク電流が消弧すれば、過電圧抑制装置 10 B は、波形処理をして、極間電圧が小さくなる時点を推定する。設定時間内に 2 次アーク電流が消弧しない場合、過電圧抑制装置 10 B は、波形監視部 13 B 2 により演算された投入時点で、遮断器 3 U の投入を行う。

[0101] 図 19～図 21 は、本実施例に係る過電圧抑制装置 10 B における演算処理を説明するための電圧波形を示す波形図である。図 19～図 21 は、遮断器 3 U が送電線 4 を遮断した時刻 t_2 付近からのそれぞれの電圧波形 W19～W21 の状態を示している。図 19～図 21 に示す座標は、縦軸を電圧（p.u.）、横軸を時間（秒）としている。

[0102] 図 19 は、電源側電圧計測部 11 により計測された遮断器 3 U の電源側電圧（電源母線 2 の電圧）の電圧波形 W19 を示す波形図である。図 20 は、線路側電圧計測部 12 により計測された遮断器 3 U の線路側電圧（送電線 4 の電圧）の電圧波形 W20 を示す波形図である。図 21 は、減算器 13 B 1 により演算処理された遮断器 3 U の極間電圧の電圧波形 W21 を示す波形図である。

[0103] 遮断器 3 U の電源側には、図 19 に示された電圧波形 W19 で表される電圧が印加されている。遮断器 3 U の線路側には、図 20 に示された電圧波形 W20 で表される電圧が印加されている。

[0104] 図 19 及び図 20 では、送電線 U 相が 1 線地絡故障状態としている。このため、図 19 及び図 20 の時刻 t_2 以前において、電圧側電圧 W19 及び線路側電圧 W20 が零となっている。時刻 t_2 で遮断器 3 U が遮断するため、その後、電源側電圧 W19 は電源電圧が現れている。一方、送電線 4 の故障は時刻 t_{21} まで継続している。即ち、時刻 t_{21} まで 2 次アーク電圧が継続している。時刻 t_{21} は、2 次アーク電流が消弧した時点を示している。従って、送電線 4 の電圧を表している電圧波形 W20 は、時刻 t_{21} までは、零である。

- [0105] 減算器 13B1 には、電圧波形 W19 を示す遮断器 3U の電源側の電圧波形データ及び電圧波形 W20 を示す遮断器 3U の線路側の電圧波形データが入力される。減算器 13B1 は、遮断器 3U の電源側の電圧波形データから遮断器 3U の線路側の電圧波形データを減算する。これにより、減算器 13B1 は、図 21 に示された電圧波形 W21 を示す遮断器 3U の極間電圧の電圧波形データを算出する。電圧波形 W21 は、時刻 t_2 よりも前では、遮断器 3U の電源側の電圧と遮断器 3U の線路側の電圧とは同一であるため、零である。
- [0106] 波形監視部 13B2 には、減算器 13B1 により算出された電圧波形 W21 を示す遮断器 3U の極間電圧の電圧波形データ及び電圧波形 W20 を示す遮断器 3U の線路側の電圧波形データが入力される。波形監視部 13B2 は、遮断器 3U が開放された時刻 t_2 から 2 次アーク電流が消弧した時刻 t_{21} までの時間を計測する。
- [0107] 波形監視部 13B2 は、遮断器 3U が開放された時刻 t_2 から 2 次アーク電流が消弧した時刻 t_{21} までの時間が設定時間よりも短い場合、演算処理を終了する。
- [0108] 波形監視部 13B2 は、遮断器 3U が開放された時刻 t_2 から 2 次アーク電流が消弧した時刻 t_{21} までの時間が設定時間よりも長い場合、電圧波形 W21 を示す遮断器 3U の極間電圧の電圧波形データが予め設定された瞬時値の電圧閾値 THP , THN (ここでは、 $\pm 1.5 p.u.$ とする。) よりも低い電圧値の時点を検出する。この検出結果に基づいて、波形監視部 13B2 は、遮断器 3U の極間電圧が定常時の電源電圧の波高値の $1.5 p.u.$ 以下で、遮断器 3U が投入されるように、投入指令出力部 15B に投入指令を出力する。
- [0109] ここで、投入サージ VS について説明する。
- [0110] 図 22 は、遮断器が無負荷送電線を投入する際に発生する投入サージ VS を模式的に描いた波形図である。図 22 は、時刻 t_3 で遮断器を投入し、対地で $3 p.u.$ の投入サージ (過電圧) VS が発生した状態を示している。

- [0111] 電源電圧 V_P は、波高値が 1 p.u. の正弦波である。遮断器が再投入される前に送電線に残留していた直流電圧 V_L は、 1 p.u. である。対地で 3 p.u. の投入サージ V_S が発生した時刻 t_3 での極間電圧（電源電圧 V_P の瞬時値と直流電圧 V_L と差）は、 2 p.u. である。即ち、投入サージ V_S は、極間電圧の約 1.5 倍の電圧となる。
- [0112] そこで、波形監視部 $13B2$ は、極間電圧が 2 p.u. よりも低い電圧の時点で、遮断器 $3U$ を投入することで、投入サージによる過電圧を 3 p.u. よりも低く抑制する。
- [0113] 次に、波形監視部 $13B2$ による遮断器 $3U$ を投入するタイミングについて説明する。
- [0114] 図 23 は、本実施例に係る遮断器 $3U$ の投入時におけるプレアーク発生電圧特性 V_{T0} 、 V_{T1} 、 V_{T2} を示す特性図である。図 23 において、極間電圧 V_D は、絶対値で示している。極間電圧 V_D の波高値は、 1.5 p.u. としている。
- [0115] プレアーク発生電圧特性 V_{T0} は、遮断器 $3U$ の標準となるプレアーク発生電圧特性を示している。また、遮断器には、一般的に、動作ばらつき及び放電ばらつきがある。プレアーク発生電圧特性 V_{T1} 、 V_{T2} は、プレアーク発生電圧特性 V_{T0} を基準として、遮断器 $3U$ の動作ばらつき及び放電ばらつきを考慮したプレアーク発生電圧特性を示している。
- [0116] ばらつきを考慮したプレアーク発生電圧特性 V_{T2} が極間電圧 V_D と接触しないように遮断器 $3U$ を投入させようとする、もう一方のばらつきを考慮したプレアーク発生電圧特性 V_{T1} と極間電圧 V_D との交点が約 1 p.u. である。よって、遮断器 $3U$ のばらつきを考慮しても、図 23 においては、極間電圧 V_D を 1 p.u. 以内に遮断器 $3U$ を投入できる。
- [0117] プレアーク発生電圧特性、動作ばらつき、及び放電ばらつきは、遮断器によって異なる。即ち、図 23 に示すようなプレアーク発生電圧特性 V_{T0} 、 V_{T1} 、 V_{T2} の傾きは、遮断器によって異なる。
- [0118] 但し、プレアーク発生電圧特性は、遮断器の個体差に関係なく、時間に対

して右下がりの直線になる。即ち、どの遮断器であっても、遮断器の極間の絶縁が破壊する電圧は、時間の経過に伴い、即ち、接点間距離の低下に伴い、比例して低下する。よって、遮断器の極間電圧が波高値で 1.5 p.u. であれば、遮断器 3U は必ず 1.5 p.u. 以下の極間電圧のときに遮断器 3U を投入できる。

[0119] また、波形監視部 13B2 は、波形処理をしなくとも、極間電圧が瞬時値で 1.5 p.u. 以下となるような遮断器 3U を投入する位相を、演算処理により推定することができる。従って、波形監視部 13B2 は、設定時間よりも長く 2 次アーク電流が消弧するまでに時間が掛かった場合、遮断器 3U のプレアーク発生電圧特性 V_{T0} , V_{T1} , V_{T2} を考慮して、極間電圧が 1.5 p.u. 以下のタイミングで遮断器 3U を投入する。これにより、遮断器 3U は、投入される際の投入サージによる過電圧が最大の 3 p.u. よりも小さく抑制される。

[0120] 本実施例によれば、第 1 の実施例による作用効果に加え、以下の作用効果を得ることができる。

[0121] 過電圧抑制装置 10B は、波形監視部 13B2 を設け、各遮断器 3U, 3V, 3W のそれぞれに対して、遮断されてから 2 次アーク電流が消弧するまで時間を監視する。過電圧抑制装置 10B は、設定時間以内に 2 次アーク電流が消弧しない場合、乗算器 131 などによる波形処理を行わずに、過電圧をある程度抑制する時点で、遮断器 3U, 3V, 3W を投入する。このとき、過電圧抑制装置 10B は、波形処理を行わずに、遮断器 3U, 3V, 3W を投入する位相を演算するため、波形処理を行う場合よりも短時間で遮断器 3U, 3V, 3W を投入できる。

[0122] これにより、過電圧抑制装置 10B は、2 次アーク電流が消弧する時間が遅くなり、乗算器 131 などによる波形処理をして投入位相を演算すると、動作責務を果せない場合であっても、波形監視部 13B2 により、動作責務を果せる時間内に、投入サージによる過電圧を抑制させて、各遮断器 3U, 3V, 3W を投入することができる。

[0123] (第4の実施例)

図24は、本発明の第4の実施例に係る過電圧抑制装置10Cの適用された電力システムシステム1Cの構成を示す構成図である。

[0124] 電力システムシステム1Cは、図1に示す第1の実施例に係る電力システムシステム1において、過電圧抑制装置10の代わりに過電圧抑制装置10Cを設けた構成である。その他の点については、電力システムシステム1Cは、第1の実施例に係る電力システムシステム1と同様である。

[0125] 図25は、本実施例に係る過電圧抑制装置10Cの構成を示す構成図である。

[0126] 過電圧抑制装置10Cは、図18に示す第3の実施例に係る過電圧抑制装置10Bにおいて、波形演算部13Bの代わりに波形演算部13Cを設けた構成である。その他の点については、過電圧抑制装置10Cは、第3の実施例に係る過電圧抑制装置10Bと同様である。

[0127] 波形演算部13Cは、図10に示す第2の実施例に係る波形演算部13Aに、図18に示す第3の実施例に係る波形監視部13B2を追加した構成である。波形監視部13B2には、減算器13A1により演算された極間電圧の電圧波形データが入力される。その他の点については、波形演算部13Cは、第2の実施例に係る波形演算部13Aと同様である。

[0128] 本実施例によれば、第2の実施例による作用効果に加え、以下の作用効果を得ることができる。

[0129] 過電圧抑制装置10Cは、波形監視部13B2を設け、各遮断器3U, 3V, 3Wのそれぞれに対して、遮断されてから2次アーク電流が消弧するまで時間を監視する。過電圧抑制装置10Cは、設定時間以内に2次アーク電流が消弧しない場合、乗算器13A2などによる波形処理を行わずに、過電圧をある程度抑制する時点で、遮断器3U, 3V, 3Wを投入する。このとき、過電圧抑制装置10Cは、波形処理を行わずに、遮断器3U, 3V, 3Wを投入する位相を演算するため、波形処理を行う場合よりも短時間で遮断器3U, 3V, 3Wを投入できる。

- [0130] これにより、過電圧抑制装置 10C は、2 次アーク電流が消弧する時間が遅くなり、乗算器 13A2 などによる波形処理をして投入位相を演算すると、動作責務を果せない場合であっても、波形監視部 13B2 により、動作責務を果せる時間内に、投入サージによる過電圧を抑制させて、各遮断器 3U, 3V, 3W を投入することができる。
- [0131] なお、各実施例において、ローパスフィルタとハイパスフィルタとを用いる構成としたが、これらのフィルタの代わりに、バンドパスフィルタを用いる構成としてもよい。バンドパスフィルタは、特定の周波数帯のみを透過させることができる。このため、バンドパスフィルタには、ローパスフィルタ及びハイパスフィルタのそれぞれのカットオフ周波数によりカットされない周波数帯を透過させる設定することができる。即ち、バンドパスフィルタを、商用周波数（電源周波数）よりも低く直流成分相当の低周波数よりも高い所定の周波数帯のみを透過させる設定をすることができる。このようにすることにより、バンドパスフィルタを用いて構成することにより、各実施例と同様の作用効果を得ることができる。
- [0132] また、各実施例で用いる構成要素は、ソフトウェアでもよいし、ハードウェアでもよいし、これらを組み合わせたものでもよい。例えば、各種フィルタは、アナログフィルタでもよいし、ディジタルフィルタでもよい。また、減算器などの各種演算器は、ハードウェアの構成（電圧を取り込む配線の結線による演算なども含む。）でもよいし、ディジタルデータをコンピュータで計算させる構成でもよい。
- [0133] さらに、各実施例において、ハイパスフィルタを設けずに、波形の最大値や最小値を算出するアルゴリズムで対処してもよい。例えば、電源母線 2 の周波数よりも低く直流成分の周波数よりも高い周波数帯の低周波成分 FL1, FL3 がある程度明確に現れていれば、直流成分を取り除かずに、アルゴリズムにより、低周波成分 FL1, FL3 の最大値や最小値を求めてもよい。即ち、実質的に低周波成分 FL1, FL3 の最大値や最小値を求められるのであれば、低周波成分 FL1, FL3 を抽出したと同じであるため、

どのような構成としてもよい。過電圧抑制装置に用いるコンピュータの計算速度の性能や、遮断器の動作責務との兼ね合いなどにより、適宜構成を変更することができる。

[0134] また、第2の実施例及び第4の実施例において、極間電圧の電圧波形データを2乗する構成としているが、2以上の偶数であれば、何乗してもよい。即ち、 $2 \times n$ （ n は自然数）乗であれば、 n 乗した値を2乗することになるため、結果として、2乗していることに変わりはないからである。

[0135] さらに、第3の実施例及び第4の実施例において、遮断器3Uの線路側（送電線4）に流れる2次アーク電流の消弧の判断は、実施例に限らない。例えば、2次アーク電流の消弧の判断は、極間電圧の周波数ではなく、他の要素（位相又は電圧値など）によるものでもよいし、極間電圧に基づいて判断しなくてもよい。送電線4に直流電流検出器や直流電圧検出器を設けて、2次アーク電流を検出する構成としてもよい。

[0136] なお、本発明は上記実施例そのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。また、上記実施例に開示されている複数の構成要素の適宜な組合せにより、種々の発明を形成できる。例えば、実施例に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施例にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。

産業上の利用可能性

[0137] 本発明は、遮断器を用いる電力システムシステム、配電システムシステムにおいて利用される。

符号の説明

[0138] 1…電力システムシステム、2…電源母線、3U, 3V, 3W…三相分の遮断器、4…送電線、5U, 5V, 5W…三相分の電源側電圧検出器、6U, 6V, 6W…三相分の線路側電圧検出器、10…過電圧抑制装置、11…電源側電圧計測部、12…線路側電圧計測部、13…波形演算部、14…位相検出部、15…投入指令出力部。

請求の範囲

[請求項1]

電源を備えた電力系統と送電線との接続を開閉する遮断器を開放後、前記遮断器を投入する際に発生する過電圧を抑制する過電圧抑制装置であって、

前記遮断器の前記電力系統側の対地電圧である電源側電圧の波形を計測する電源側電圧計測手段と、

前記遮断器の前記送電線側の対地電圧である送電線側電圧の波形を計測する送電線側電圧計測手段と、

前記電源側電圧計測手段により計測された前記電源側電圧の波形と送電線側電圧計測手段により計測された前記送電線側電圧の波形とを乗算した波形を演算する乗算手段と、

前記乗算手段により演算された前記波形から前記電源の周波数よりも低く直流成分の周波数よりも高い周波数帯の成分の波形を抽出する抽出手段と、

前記抽出手段により抽出された前記波形が最大となる周期を検出する周期検出手段と、

前記周期検出手段により検出された前記周期に基づいて、前記遮断器を投入する投入手段と
を備えたことを特徴とする過電圧抑制装置。

[請求項2]

前記送電線に流れる2次アーク電流が所定時間内に消弧したか否かを判断する消弧判断手段と、

前記電源側電圧計測手段により計測された前記電源側電圧の波形と送電線側電圧計測手段により計測された前記送電線側電圧の波形との差分である前記遮断器の極間電圧の波形を演算する極間電圧演算手段と、

前記消弧判断手段により前記所定時間内に前記2次アーク電流が消弧しなかったと判断された場合、前記極間電圧演算手段により演算された前記極間電圧の波形に基づいて、前記極間電圧の瞬時値の絶対値

が閾値より低い電圧値となる前記遮断器を投入するための時点を推定する遮断器投入時点推定手段と、

前記遮断器投入時点推定手段により推定された前記時点で、前記遮断器を投入する短時間投入手段と
を備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の過電圧抑制装置。

[請求項3]

電源を備えた電力系統と送電線との接続を開閉する遮断器を開放後、前記遮断器を投入する際に発生する過電圧を抑制する過電圧抑制装置であって、

前記遮断器の前記電力系統側の対地電圧である電源側電圧の波形を計測する電源側電圧計測手段と、

前記遮断器の前記送電線側の対地電圧である送電線側電圧の波形を計測する送電線側電圧計測手段と、

前記電源側電圧計測手段により計測された前記電源側電圧の波形と送電線側電圧計測手段により計測された前記送電線側電圧の波形との差分である前記遮断器の極間電圧の波形を演算する極間電圧演算手段と、

前記極間電圧演算手段により演算された前記極間電圧の波形を 2 乗した波形を演算する 2 乗演算手段と、

前記 2 乗演算手段により演算された前記波形から前記電源の周波数よりも低く直流成分の周波数よりも高い周波数帯の成分の波形を抽出する抽出手段と、

前記抽出手段により抽出された前記波形が最小となる周期を検出する周期検出手段と、

前記周期検出手段により検出された前記周期に基づいて、前記遮断器を投入する投入手段と
を備えたことを特徴とする過電圧抑制装置。

[請求項4]

前記送電線に流れる 2 次アーク電流が所定時間内に消弧したか否かを判断する消弧判断手段と、

前記消弧判断手段により前記所定時間内に前記２次アーク電流が消弧しなかったと判断された場合、前記極間電圧演算手段により演算された前記極間電圧の波形に基づいて、前記極間電圧の瞬時値の絶対値が閾値値より低い電圧値となる前記遮断器を投入するための時点を推定する遮断器投入時点推定手段と、

前記遮断器投入時点推定手段により推定された前記時点で、前記遮断器を投入する短時間投入手段と
を備えたことを特徴とする請求項３に記載の過電圧抑制装置。

[請求項5]

前記抽出手段は、

低周波成分を抽出するローパスフィルタと、

高周波成分を抽出するハイパスフィルタとを備えたこと

を特徴とする請求項１から請求項４のいずれか１項に記載の過電圧抑制装置。

[請求項6]

前記抽出手段は、所定の周波数帯を抽出するバンドパスフィルタであること

を特徴とする請求項１から請求項４のいずれか１項に記載の過電圧抑制装置。

[請求項7]

電源を備えた電力系統と送電線との接続を開閉する遮断器を開放後、前記遮断器を投入する際に発生する過電圧を抑制する過電圧抑制方法であって、

前記遮断器の前記電力系統側の対地電圧である電源側電圧の波形を計測するステップと、

前記遮断器の前記送電線側の対地電圧である送電線側電圧の波形を計測するステップと、

前記電源側電圧の波形と前記送電線側電圧の波形とを乗算した波形を演算するステップと、

前記乗算した波形から前記電源の周波数よりも低く直流成分の周波数よりも高い周波数帯の成分の波形を抽出するステップと、

抽出された前記波形が最大となる周期を検出するステップと、
前記周期に基づいて、前記遮断器を投入するステップと
を含むことを特徴とする過電圧抑制方法。

[請求項8] 前記送電線に流れる２次アーク電流が所定時間内に消弧したか否かを判断するステップと、

前記電源側電圧の波形と前記送電線側電圧の波形との差分である前記遮断器の極間電圧の波形を演算するステップと、

前記所定時間内に前記２次アーク電流が消弧しなかったと判断された場合、前記極間電圧の波形に基づいて、前記極間電圧の瞬時値の絶対値が閾値より低い電圧値となる前記遮断器を投入するための時点を推定するステップと、

前記時点で、前記遮断器を投入するステップと
を含むことを特徴とする請求項７に記載の過電圧抑制方法。

[請求項9] 電源を備えた電力系統と送電線との接続を開閉する遮断器を開放後、前記遮断器を投入する際に発生する過電圧を抑制する過電圧抑制方法であって、

前記遮断器の前記電力系統側の対地電圧である電源側電圧の波形を計測するステップと、

前記遮断器の前記送電線側の対地電圧である送電線側電圧の波形を計測するステップと、

前記電源側電圧の波形と前記送電線側電圧の波形との差分である前記遮断器の極間電圧の波形を演算するステップと、

前記極間電圧の波形を２乗した波形を演算するステップと、

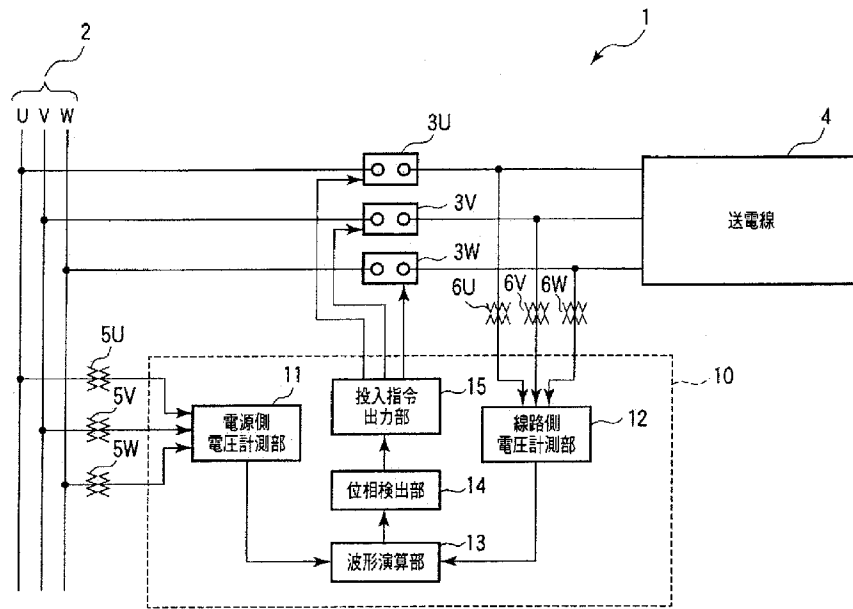
前記２乗した波形から前記電源の周波数よりも低く直流成分の周波数よりも高い周波数帯の成分の波形を抽出するステップと、

抽出された前記波形が最小となる周期を検出するステップと、

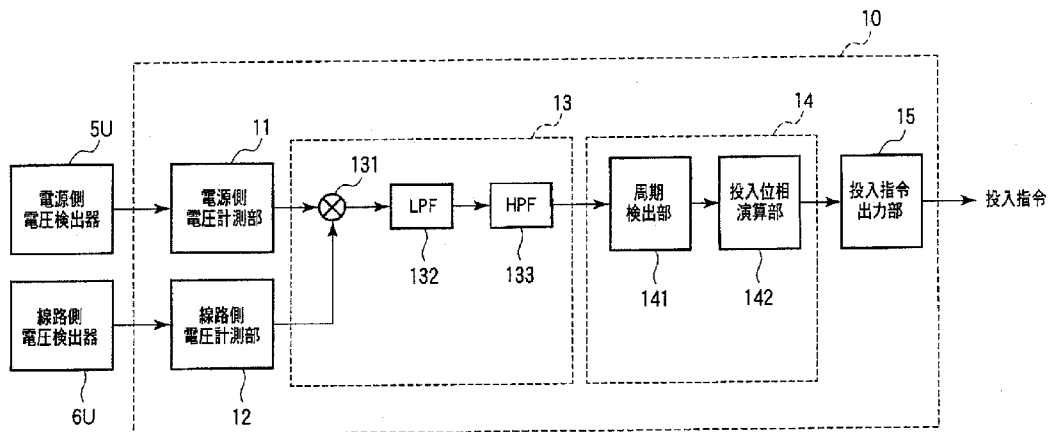
前記周期に基づいて、前記遮断器を投入するステップと
を含むことを特徴とする過電圧抑制方法。

- [請求項10] 前記送電線に流れる２次アーク電流が所定時間内に消弧したか否かを判断するステップと、
- 前記所定時間内に前記２次アーク電流が消弧しなかったと判断された場合、前記極間電圧の波形に基づいて、前記極間電圧の瞬時値の絶対値が閾値より低い電圧値となる前記遮断器を投入するための時点を推定するステップと、
- 前記時点で、前記遮断器を投入するステップと
- を含むことを特徴とする請求項９に記載の過電圧抑制方法。
- [請求項11] 前記抽出するステップは、低周波成分を抽出するローパスフィルタ及び高周波成分を抽出するハイパスフィルタを用いて抽出することを特徴とする請求項７から請求項１０のいずれか１項に記載の過電圧抑制方法。
- [請求項12] 前記抽出するステップは、所定の周波数帯を抽出するバンドパスフィルタを用いて抽出することを特徴とする請求項７から請求項１０のいずれか１項に記載の過電圧抑制方法。

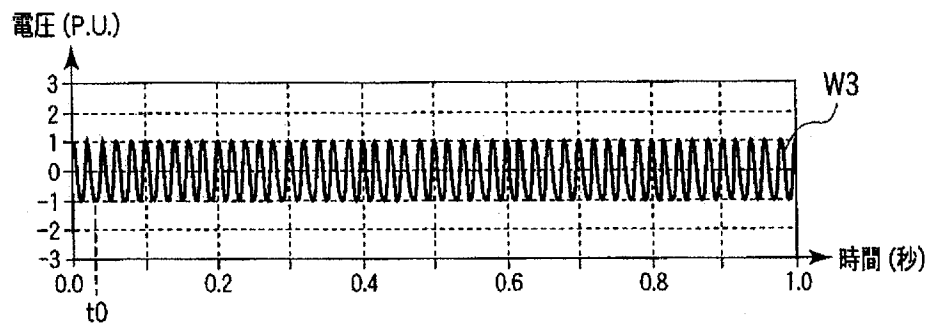
[図1]



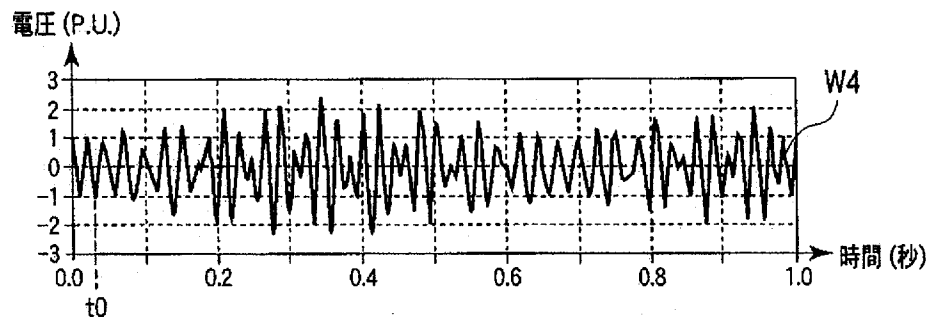
[図2]



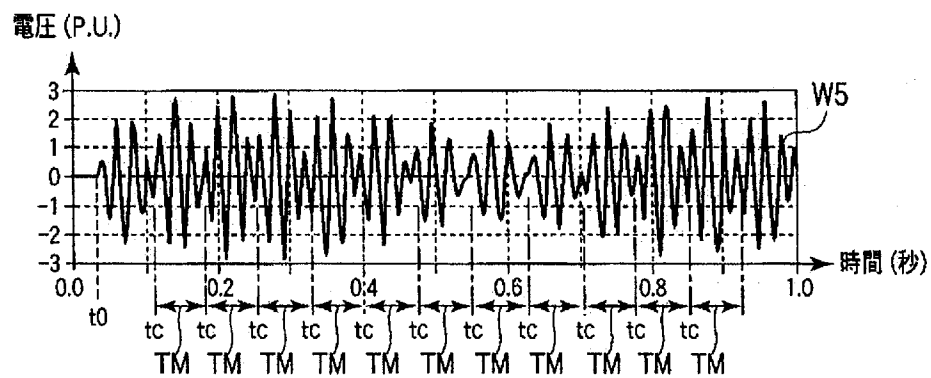
[図3]



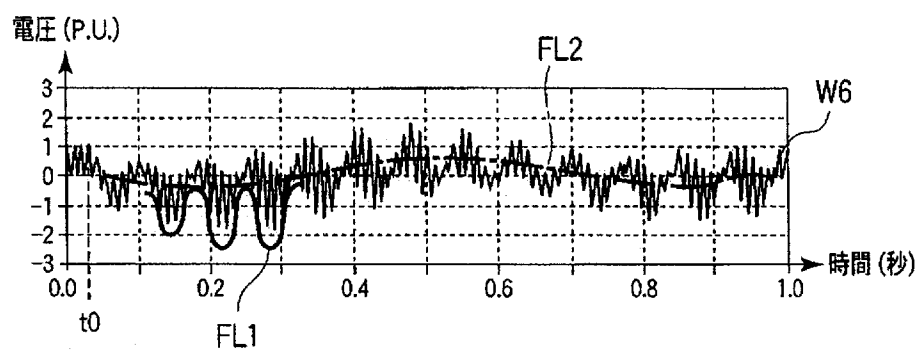
[図4]



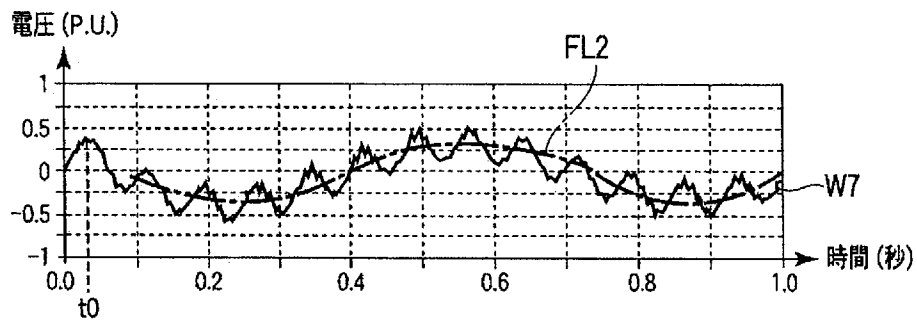
[図5]



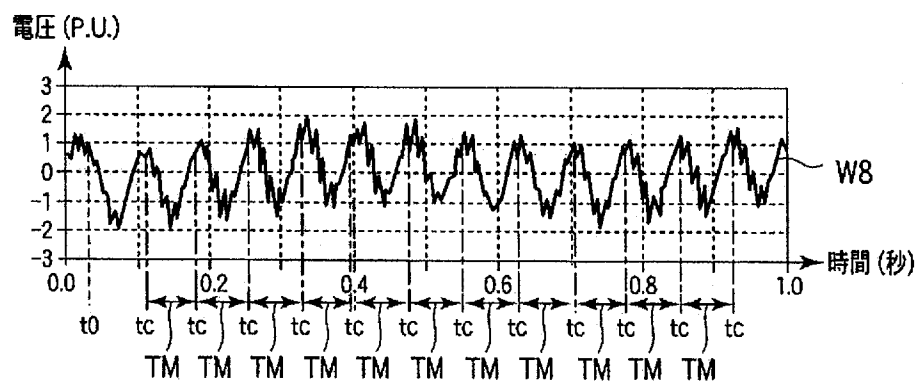
[図6]



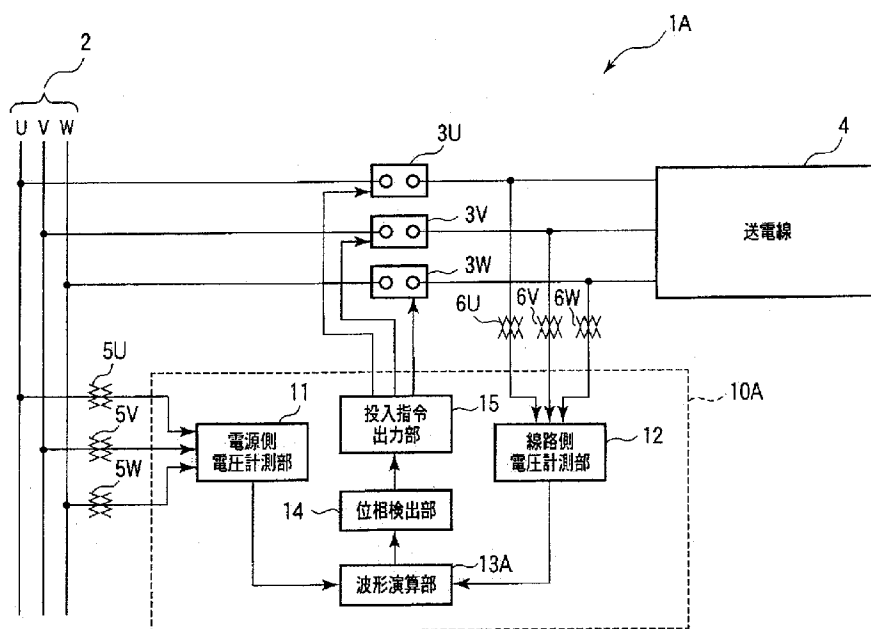
[図7]



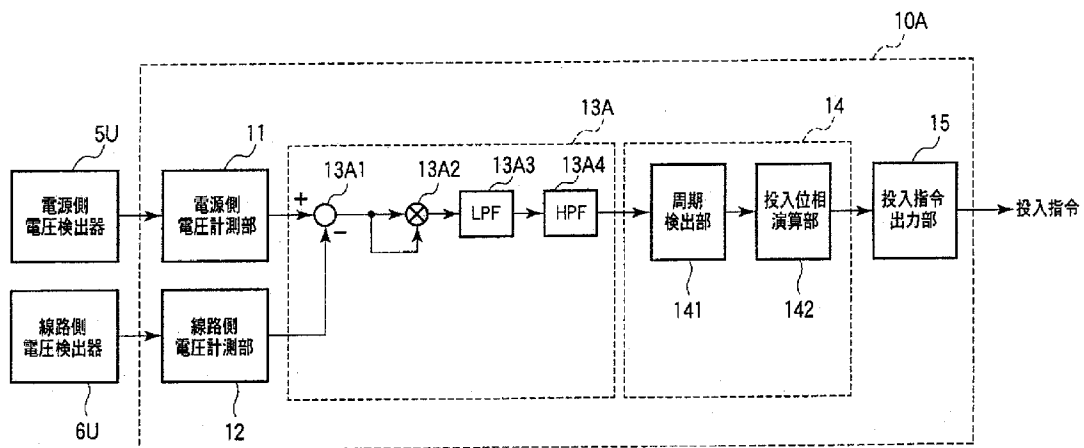
[図8]



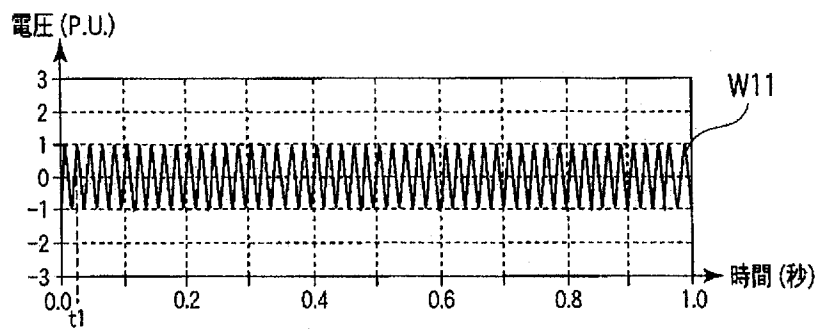
[図9]



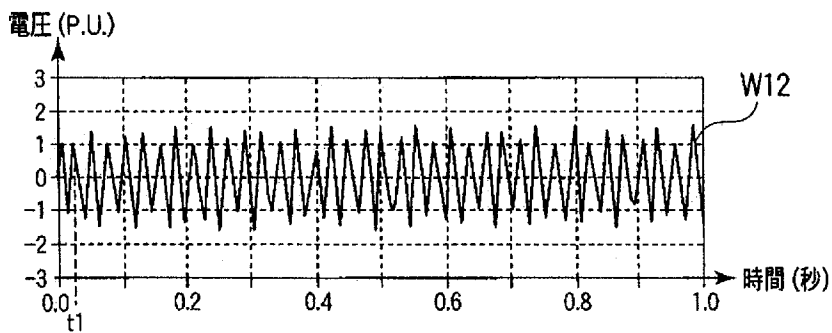
[図10]



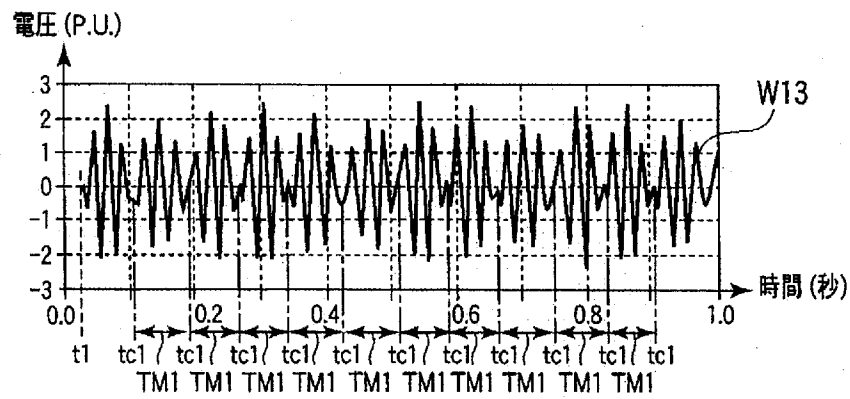
[図11]



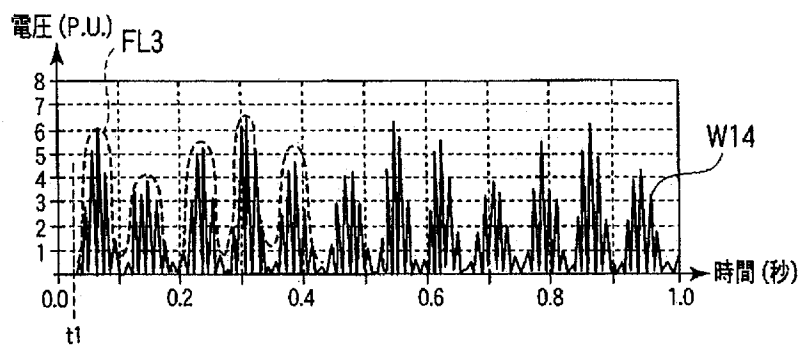
[図12]



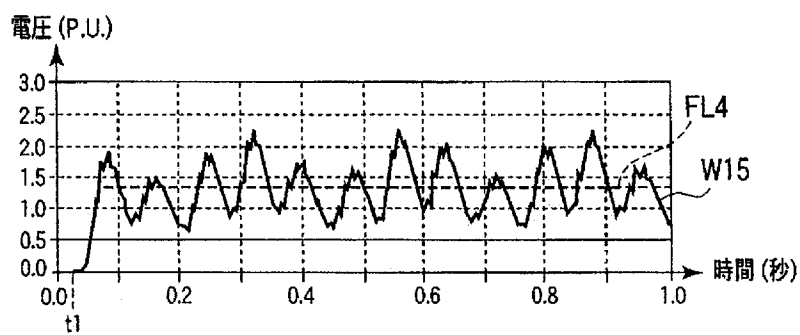
[図13]



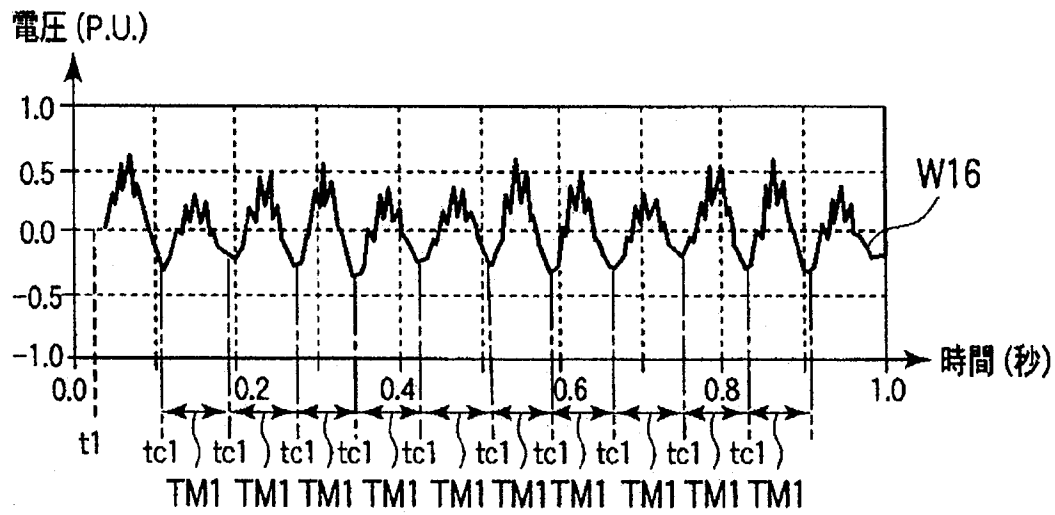
[図14]



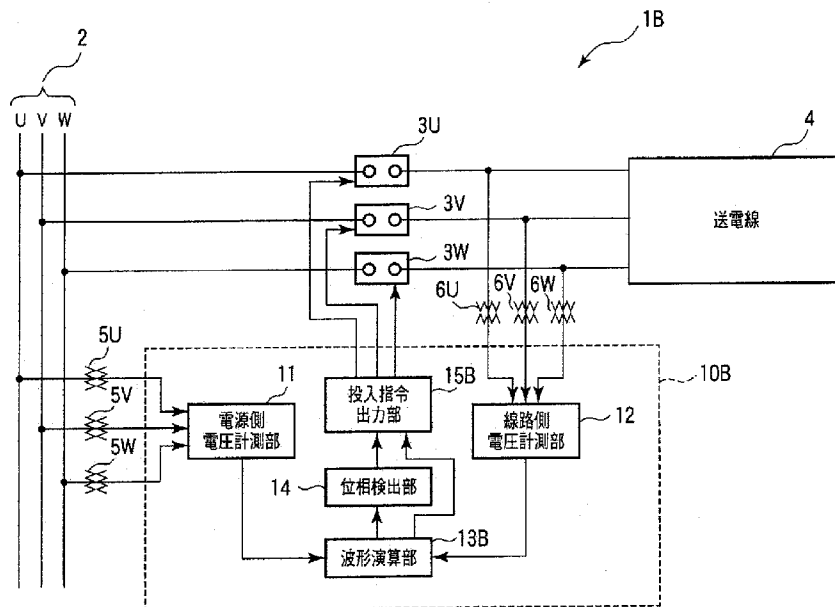
[図15]



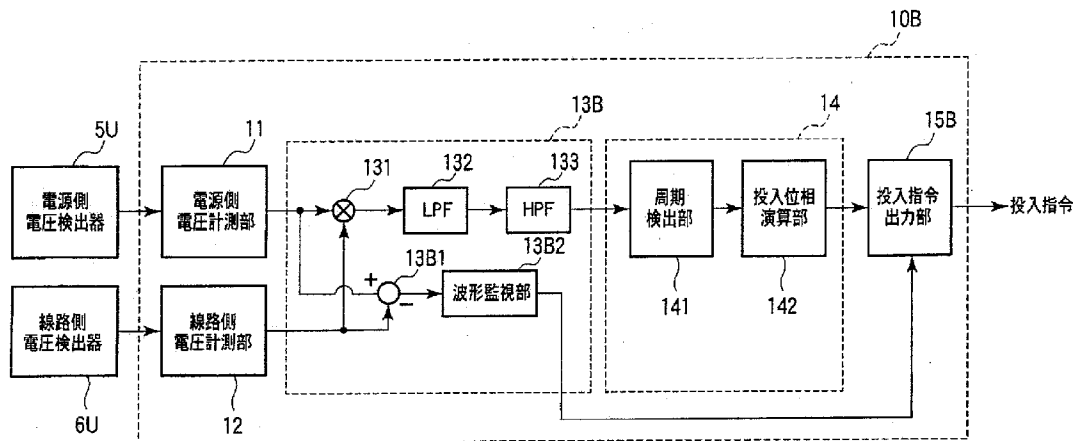
[図16]



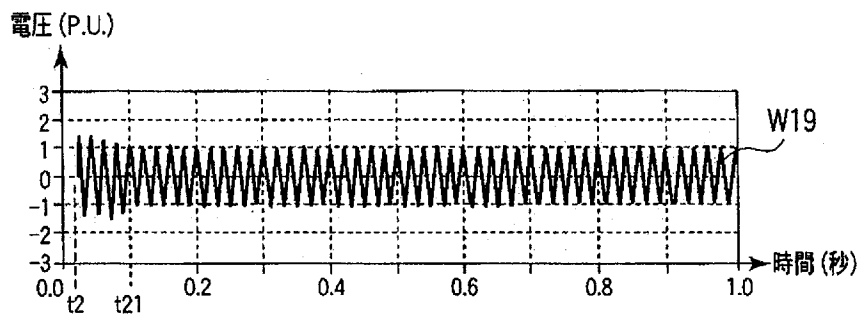
[図17]



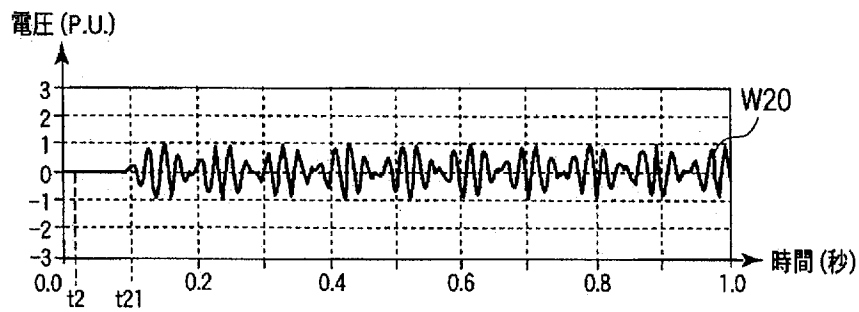
[図18]



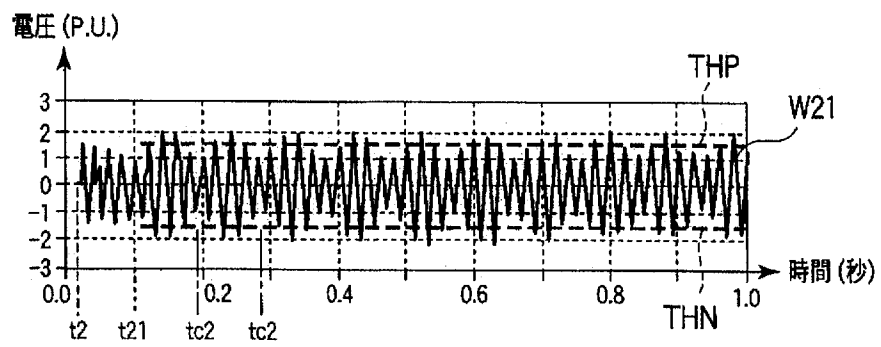
[図19]



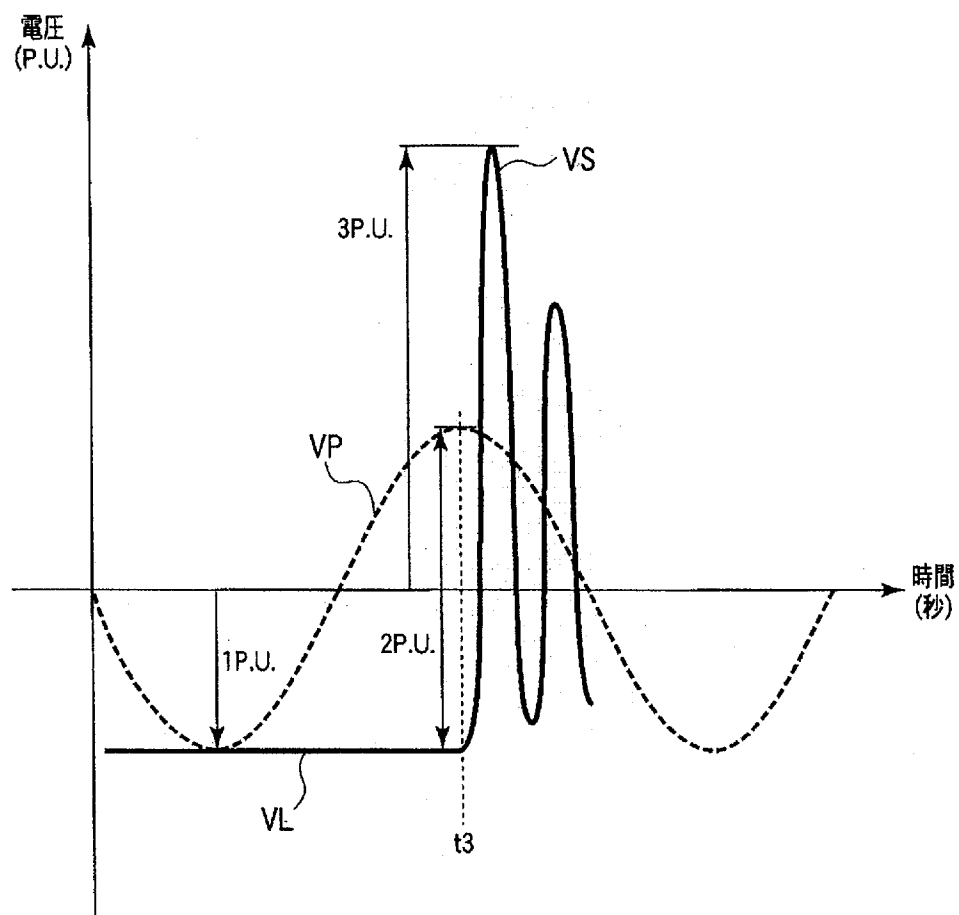
[図20]



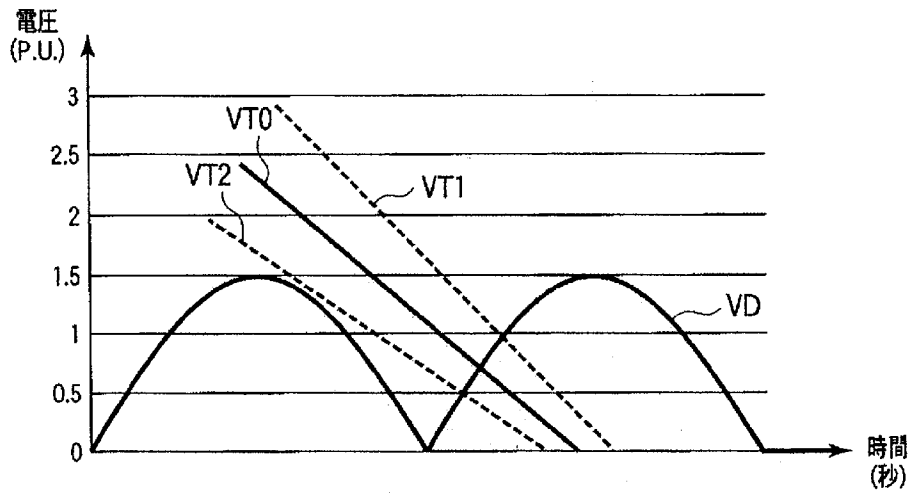
[図21]



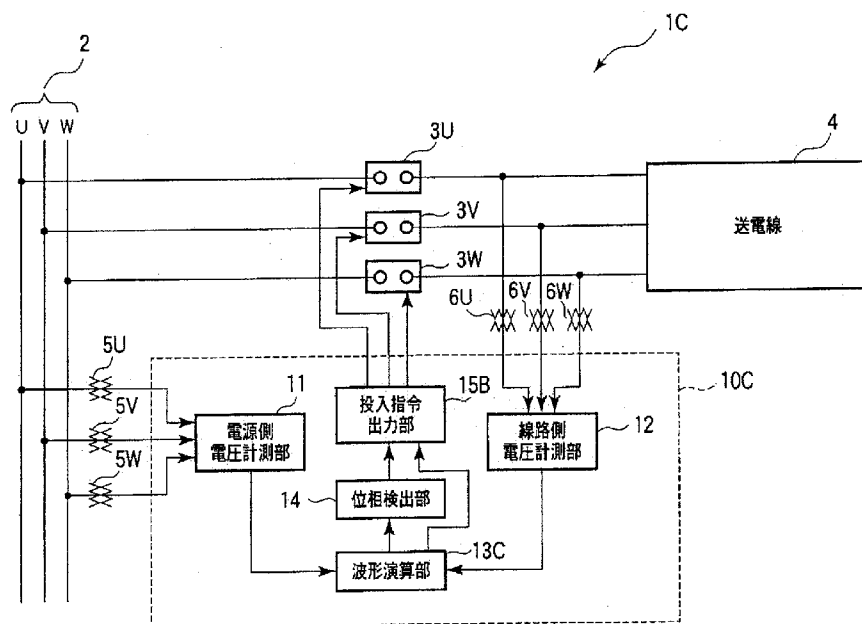
[図22]



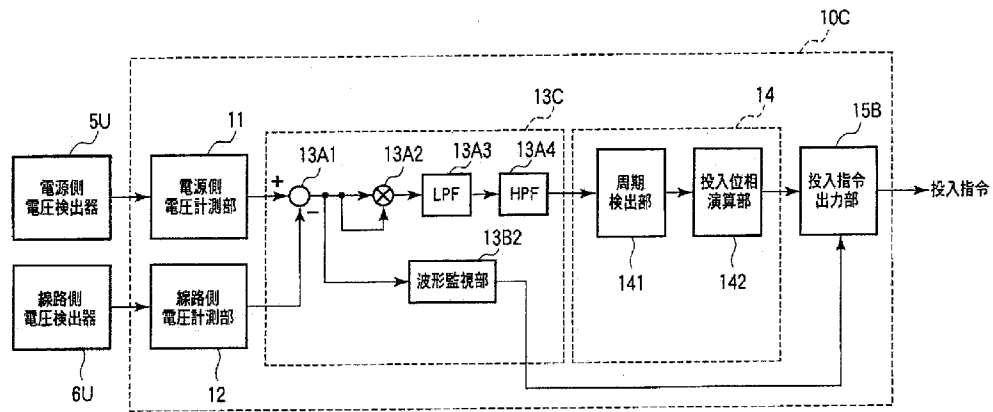
[図23]



[図24]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/001371

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01H33/59(2006.01)i, H01H9/54(2006.01)i, H01H9/56(2006.01)i, H01H33/44(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01H33/59, H01H9/54, H01H9/56, H01H33/44

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2000/04564 A (Mitsubishi Electric Corp.), 27 January 2000 (27.01.2000), entire text; fig. 1 to 12 & BR 9812210 A & CA 2298583 A1 & CN 1269909 A	1-12
A	WO 2008/065757 A (Toshiba Corp.), 05 June 2008 (05.06.2008), entire text; fig. 1 to 24 & JP 2008-160100 A & EP 2091058 A1 & CA 2670907 A1 & CN 101563744 A	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 April, 2010 (01.04.10)

Date of mailing of the international search report
13 April, 2010 (13.04.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01H33/59(2006.01)i, H01H9/54(2006.01)i, H01H9/56(2006.01)i, H01H33/44(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01H33/59, H01H9/54, H01H9/56, H01H33/44

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2 0 0 0 / 0 4 5 6 4 A（三菱電機株式会社） 2 0 0 0 . 0 1 . 2 7, 全文, 図 1 - 1 2 & BR 9 8 1 2 2 1 0 A & CA 2 2 9 8 5 8 3 A 1 & CN 1 2 6 9 9 0 9 A	1 - 1 2

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 1 . 0 4 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

1 3 . 0 4 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

関 信 之

3 X

9 2 4 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 7 2

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2008/065757 A (株式会社東芝) 2008.06.05, 全文, 図1-24 & JP 2008-160100 A & EP 2091058 A1 & CA 2670907 A1 & CN 101563744 A	1-12