

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6186978号  
(P6186978)

(45) 発行日 平成29年8月30日 (2017. 8. 30)

(24) 登録日 平成29年8月10日 (2017. 8. 10)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>HO2H</b>	<b>3/05</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2H	3/05	F
<b>HO2H</b>	<b>3/02</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2H	3/02	D
			HO2H	3/02	F

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2013-152275 (P2013-152275)	(73) 特許権者	000005234
(22) 出願日	平成25年7月23日 (2013. 7. 23)		富士電機株式会社
(65) 公開番号	特開2015-23742 (P2015-23742A)		神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
(43) 公開日	平成27年2月2日 (2015. 2. 2)	(74) 代理人	100091281
審査請求日	平成28年6月14日 (2016. 6. 14)		弁理士 森田 雄一
		(72) 発明者	高橋 竜生
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
			富士電機株式会社内
		審査官	早川 卓哉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 保護監視制御システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

同一の電力系統の電気量を収集するために冗長化されたマスタ端末及びスレーブ端末からなる複数台のMUと、

前記MUにより収集され、かつプロセスバスを介して受信した前記電気量のデジタルデータに基づいて電力系統を監視し、所定の保護制御を行うIEDと、

前記プロセスバスに接続されて前記MUによる前記電気量のサンプリング周期を同期させるタイムマスタと、を備えた保護監視制御システムにおいて、各MUは、

前記電力系統の電圧の零クロス時刻をそれぞれ検出する第1の手段と、

前記第1の手段により検出した零クロス時刻を、前記プロセスバスを介して他のMUに送信する第2の手段と、

前記第1の手段により自己が検出した零クロス時刻、及び、前記第2の手段により他のMUから送信されて自己が受信した零クロス時刻を用いて、自己が健全状態にあるか否か、及び、他のMUが健全状態にあるか否かを認識する第3の手段と、

前記第3の手段により、自己が健全状態にあると認識し、かつ、自己が前記マスタ端末である時または自己が前記スレーブ端末であって他のMUが健全状態ではないと認識した時に、前記プロセスバスを介して前記電気量のデジタルデータを前記IEDに送信する第4の手段と、

を備えたことを特徴とする保護監視制御システム。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載した保護監視制御システムにおいて、

前記第 3 の手段は、自己が検出した零クロス時刻と他の M U から送信されて自己が受信した零クロス時刻との差に基づいて、自己が健全状態にあることを認識することを特徴とする保護監視制御システム。

## 【請求項 3】

請求項 1 に記載した保護監視制御システムにおいて、

前記第 3 の手段は、自己が検出した今回の零クロス時刻と前回の零クロス時刻との差に基づいて、自己が健全状態にあることを認識することを特徴とする保護監視制御システム。

10

## 【請求項 4】

請求項 1 に記載した保護監視制御システムにおいて、

前記第 3 の手段は、自己が検出した今回の零クロスの時刻と前回の零クロス時刻との差と、他の M U から送信されて自己が受信した今回の零クロスの時刻と前回の零クロス時刻との差と、の時間差が所定値未満である場合に、自己が健全状態にあることを認識し、かつ、前記時間差が所定値以上である場合に、自己が収集した電力系統の電圧に擾乱が発生していることを検出して擾乱検出情報を他の M U 及び前記 I E D に送信することを特徴とする保護監視制御システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

20

## 【0001】

本発明は、例えば電力系統の電気量を収集して統合する統合ユニット (Merging Unit : M U ) と、この統合ユニットからプロセスバスを介して受信したデータを監視し、所定の保護制御動作を行わせる I E D ( Intelligent Electric Device ) とによって構成される保護監視制御システムに関し、広域監視システム ( Wide Area Monitoring System : W A M S ) を含む保護監視制御技術に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、この種の保護監視制御システムは、動作信頼性を確保するために M U や I E D を冗長化し、異常発生時でも正常な装置により各種機能を維持するか、予備の待機系に切り替えることで継続運転を可能にしている。

30

例えば、特許文献 1 には、1 台の M U に対して I E D を二重化し、一方の I E D からの同期信号である 1 P P S ( 1 Pulse Per Second ) 信号が異常になった場合に、他方の I E D からの 1 P P S 信号に切り替え、サンプリング周期を他方の I E D からの 1 P P S 信号の周期に同期させることで保護を継続するようにした保護リレーが記載されている。

## 【0003】

また、特許文献 2 には、母線に接続されたフィーダの電流を第 1 , 第 2 の変流器により検出し、これらの電流検出値と、前記フィーダに接続された計器用変圧器による電圧検出値とを 2 台の保護 I E D によりそれぞれ収集する二重保護 I E D が記載されている。この従来技術では、一方の I E D が電圧擾乱を検出して他方の I E D が電圧擾乱を検出していない場合には、他方の I E D に接続された計器用変圧器の二次回路の故障と判定する。

40

更に、W A M S においても、高度な電力品質診断や制御データへの活用等の観点から、リアルタイム性と継続性が必要なシステムでは I E D 等を二重化した冗長化構成が採用されている。

## 【0004】

ここで、図 7 は、M U 及び I E D を冗長化した保護監視制御システムの概略構成図である。

図 7 において、10 は系統電源に接続された受電変圧器、20 は受電変圧器 10 の二次側に接続された母線、21 , 22 , 23 は三相のフィーダ、L D <sub>1</sub> , L D <sub>2</sub> , L D <sub>3</sub> はフィーダ 21 , 22 , 23 にそれぞれ接続された負荷である。

50

フィーダ 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>には計器用 V T 3<sub>1M</sub>, 3<sub>1S</sub>, 3<sub>2M</sub>, 3<sub>2S</sub>, 3<sub>3M</sub>, 3<sub>3S</sub>を介して MU (マスタ端末: M 端末) 4<sub>1M</sub>, 4<sub>2M</sub>, 4<sub>3M</sub>及び MU (スレーブ端末: S 端末) 4<sub>1S</sub>, 4<sub>2S</sub>, 4<sub>3S</sub>がそれぞれ接続されており、フィーダ 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>ごとに、冗長化された各 2 台の MU によってフィーダ 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>の電圧(交流瞬時値または波高値)を収集可能である。ここで、各 MU はフィーダ 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>を流れる電流も収集しているが、便宜上、これらの図示は省略する。

#### 【0005】

MU (M 端末) 4<sub>1M</sub>, 4<sub>2M</sub>, 4<sub>3M</sub>及び MU (S 端末) 4<sub>1S</sub>, 4<sub>2S</sub>, 4<sub>3S</sub>は、光ファイバー等の通信回線であるプロセスバス 50 に接続され、このプロセスバス 50 には、遠方にある変電所の保護制御室等に設置された I E D (マスタ: M) 7<sub>1M</sub>, 7<sub>2M</sub>, 7<sub>3M</sub>及び I E D (スレーブ: S) 7<sub>1S</sub>, 7<sub>2S</sub>, 7<sub>3S</sub>がそれぞれ接続されている。

各 MU は、フィーダからサンプリングした電圧及び電流のアナログデータをデジタルデータに変換し、プロセスバス 50 を介して S V (Sampled Valued) 通信サービス等により所定の I E D に送信する。各 I E D は、受信した電圧及び電流に基づいてリレー演算、系統状態の解析等を行い、所定の保護監視制御を行っている。

なお、図 8 は、図 7 における一相分のフィーダ、例えばフィーダ 2<sub>1</sub>に対応する MU 及び I E D 等を抜き出して示した図である。

#### 【0006】

ここで、プロセスバス 50 を介して送受信されるデータには、全ての MU 及び I E D の時刻同期、サンプリング同期を行うために高精度な時刻情報を付加する必要がある。図 7 のシステムでは、基準時間源としてのタイムマスタ 60 を設け、例えば I E E E 1588 規格に対応した時刻同期機能を全ての MU 及び I E D に実装している。ここで、I E E E 1588 規格は、周知のように、地理的に分散され、かつ通信技術によって相互に接続されたデバイスのための時刻同期化プロトコルである。

#### 【0007】

図 7, 図 8 では、プロセスバス 50 を介してタイムマスタ 60 と MU 及び I E D との間で時刻情報を交換し、各ローカルクロックを同期化する時刻同期化プロトコルとして I E E E 1588 規格が用いられており、この I E E E 1588 規格については、非特許文献 1 や特許文献 3 に説明されている。

これらの文献によれば、I E E E 1588 規格はナノ秒単位での時刻同期が可能なプロトコルであり、基準時間源と端末との間で高精度な時刻情報を交換することで、ローカルクロックと基準時間との間の伝送遅延と相対的な時間差である時刻ずれを検出することが可能である。

#### 【0008】

図 9 は、I E E E 1588 規格による通信動作の概略的な説明図であり、特許文献 3 に記載されているものと実質的に同一である。

図 7, 図 8 のタイムマスタ 60 に対して、同一ネットワーク内に設置された各 I E D (I E D (M) 及び I E D (S)) や各 MU (MU (M 端末) 及び MU (S 端末)) がスレーブ端末(図 9 では、全てをまとめて 60<sub>S</sub>と表記する)となり、タイムマスタ 60 の時刻を基準として各 I E D や各 MU が高精度に時刻同期し、MU 同士については 1 [μs] (マイクロ秒) 以内の精度で時刻同期が可能である。

#### 【0009】

図 9 において、タイムマスタ 60 は、スレーブ端末 60<sub>S</sub>に対して同期制御するためのパケット a<sub>1</sub> (Sync) を送信する。引き続き、タイムマスタ 60 はスレーブ端末 60<sub>S</sub>に対して上記信号 a<sub>1</sub> (Sync) を送出した時刻データ t<sub>1</sub>を、次のパケット a<sub>2</sub> (Follow Up) に含めて送信する。一方、スレーブ端末 60<sub>S</sub>は、最初のパケット a<sub>1</sub> (Sync) を受信した時刻 t<sub>2</sub>を確認し、次のパケット a<sub>2</sub> (Follow Up) 内の送信時刻データ t<sub>1</sub>を取り出す。

次に、スレーブ端末 60<sub>S</sub>はタイムマスタ 60 に対して同期制御するために、パケット

10

20

30

40

50

$a_3$  (Delay Request) を送信する。この際に、スレーブ端末 60<sub>s</sub> は送信した時刻  $t_3$  を取得する。次に、タイムマスタ 60 は、パケット  $a_3$  (Delay Request) を受信した時刻  $t_4$  を、次のパケット  $a_4$  (通常、Delay Request と称する) に乗せてスレーブ端末 60<sub>s</sub> へ送信する。

【0010】

これらの一連の動作により、スレーブ端末 60<sub>s</sub> は時刻データ  $t_1 \sim t_4$  を取得することができ、これらの時刻データを用いて数式 1、数式 2 の演算を行うことにより、タイムマスタ 60 とスレーブ端末 60<sub>s</sub> との間のサンプリング時刻のずれを補正する。

[数式 1]

$$t_{dx} = \{ (t_1 - t_2) + (t_4 - t_3) \} / 2$$

10

[数式 2]

$$t_{off} = (t_3 - t_1) - t_{dx}$$

すなわち、数式 1、数式 2 より、 $t_{off}$  を 0 に近づける制御を行うことにより、全てのスレーブ端末 60<sub>s</sub> はタイムマスタ 60 に対してサンプリング時刻が同一となるように制御することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献 1】特許第 5020421 号公報 (段落 [0043], [0078]、図 5 等)

20

【特許文献 2】特表 2012-503960 号公報 (段落 [0024], [0026]、図 2 等)

【特許文献 3】特開 2012-175846 号公報 (段落 [0077] ~ [0082]、図 4b 等)

【非特許文献】

【0012】

【非特許文献 1】IEEE Std 1588-2008, "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems"

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0013】

図 7, 図 8 に示した保護監視制御システムでは、プロセスバス 50 上に IED 及び MU をそれぞれ完全 2 重化または 2 系列化した構成を採用している。この場合、複数台 (図示例では 2 台) の MU によりサンプリングされたアナログデータをデジタルデータに変換した後、プロセスバス 50 を介して 1 台の IED へ SV 通信サービス等により伝送し、IED が受信データから健全なデータを選択して保護制御を行う方式が一般的である。

【0014】

このため、プロセスバス 50 上には、MU (M 端末) 及び MU (S 端末) のそれぞれによって A/D 変換されたデータが SV 通信される。そして、MU (M 端末) に異常が発生した場合には、待機系のデータとして MU (S 端末) によるデータが MU (M 端末) によるデータに代わって利用されることになる。

40

しかし、これによると、プロセスバス 50 上には常時、待機系のデータも送出されるためトラフィックが 2 倍発生することになり、同一のプロセスバス 50 上に接続される IED や MU の接続数及びデータ量が、用途によっては制限される場合が生じる。

【0015】

また、複数台の MU により A/D 変換されたデータが 1 台の IED に伝送されて IED がこれらのデータを用いるプロセスバス対応の保護監視制御システムの場合、複数台の MU において同期したタイミングで A/D 変換されたデータが必要であり、各 MU または IED に GPS (Global Positioning System) 等の高精度の時刻同期機能が実装されない場合は、IED から各 MU へ同一のサンプリング同期信号 (以下、単に「同期信号」とも

50

いう)を送ることで、複数台のMUによるA/D変換のタイミングを同期させている。

このように、IEDから複数台のMUへ同期信号を分配する場合、IEDを2系列化した構成では、一方のIEDに異常が発生した場合に他方の正常なIEDへ切り替えることにより、異常となったIEDからの同期信号を正常なIEDからの同期信号に切り替えて保護監視制御を継続させることになるが、同期信号の送信元が一方のIEDから他のIEDへ切り替わった場合には、切替前後の同期信号の周期は不連続となる。

【0016】

更に、IEDとMUとの時刻同期及びA/D変換のサンプリングの同期信号には、1PPS信号がよく用いられており、この1PPS信号がない場合は、MUの内部クロックによるサンプリング周期に従ってA/D変換が行われている。

10

IEDからMUに1PPS信号が送信される場合、1台のIEDから1PPS信号を複数台のMUへ分配することにより、各MUが同一のタイミングでA/D変換を行うことができるが、何らかの原因で1PPS信号が一時停止した場合は、A/D変換のサンプリング周期が各MUの内部クロックによって決定されることになり、保護監視制御は継続可能であっても、1PPS信号が復帰した直後のサンプリング周期は一時的に不連続となる可能性がある。

【0017】

つまり、これらの場合、MUは不連続なサンプリング周期に従ってデータをA/D変換することになるので、IEDはこのデジタルデータを保護演算や監視制御に用いることができない。従って、IEDは演算に必要な時間分のデジタルデータを再蓄積することが必要であり、その間、保護監視制御の停止や遅れが発生する。

20

【0018】

そこで、本発明は、プロセスバス上のトラフィックを減少させてIEDやMUの接続数及びデータ量を最大限増加させることを主な解決課題とし、更に、MUによるサンプリング周期の連続性を保って保護機能、監視制御機能の停止や遅れを防止するようにした保護監視制御システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0019】

上記課題を解決するため、請求項1に係る発明は、同一の電力系統の電気量を収集するために冗長化されたマスタ端末及びスレーブ端末からなる複数台のMUと、

30

前記MUにより収集され、かつプロセスバスを介して受信した前記電気量のデジタルデータに基づいて電力系統を監視し、所定の保護制御を行うIEDと、

前記プロセスバスに接続されて前記MUによる前記電気量のサンプリング周期を同期させるタイムマスタと、を備えた保護監視制御システムにおいて、

各MUは、

前記電力系統の電圧の零クロス時刻をそれぞれ検出する第1の手段と、

前記第1の手段により検出した零クロス時刻を、前記プロセスバスを介して他のMUに送信する第2の手段と、

前記第1の手段により自己が検出した零クロス時刻、及び、前記第2の手段により他のMUから送信されて自己が受信した零クロス時刻を用いて、自己が健全状態にあるか否か、及び、他のMUが健全状態にあるか否かを認識する第3の手段と、

40

前記第3の手段により、自己が健全状態にあると認識し、かつ、自己が前記マスタ端末である時または自己が前記スレーブ端末であって他のMUが健全状態ではないと認識した時に、前記プロセスバスを介して前記電気量のデジタルデータを前記IEDに送信する第4の手段と、

を備えたものである。

【0020】

請求項2に係る発明は、請求項1に記載した保護監視制御システムにおいて、前記第3の手段が、自己が検出した零クロス時刻と他のMUから送信されて自己が受信した零クロス時刻との差に基づいて、自己が健全状態にあることを認識するものである。

50

## 【 0 0 2 1 】

請求項 3 に係る発明は、請求項 1 に記載した保護監視制御システムにおいて、前記第 3 の手段が、自己が検出した今回の零クロス時刻と前回の零クロス時刻との差に基づいて、自己が健全状態にあることを認識するものである。

## 【 0 0 2 2 】

請求項 4 に係る発明は、請求項 1 に記載した保護監視制御システムにおいて、前記第 3 の手段は、自己が検出した今回の零クロスの時刻と前回の零クロス時刻との差と、他の M U から送信されて自己が受信した今回の零クロスの時刻と前回の零クロス時刻との差と、の時間差が所定値未満である場合に、自己が健全状態にあることを認識し、かつ、前記時間差が所定値以上である場合に、自己が収集した電力系統の電圧に擾乱が発生していることを検出して擾乱検出情報を他の M U 及び前記 I E D に送信するものである。

10

## 【発明の効果】

## 【 0 0 2 3 】

本発明によれば、各 M U がタイムマスタの時刻同期化機能を利用して検出した系統電圧の零クロス時刻を、G O O S E 等により相互に通信することにより自己が健全状態か否かを判定すると共に、健全状態にあるマスタ端末としての M U のみから、あるいは、マスタ端末から切り替えられたスレーブ端末としての M U のみから、電気量のデジタルデータをプロセスバス経由で I E D へ送信する。

このため、プロセスバス上の通信データを従来よりも少なくしてトラフィックを低減し、同一のプロセスバス上に接続可能な I E D や M U の接続数及びデータ量の制約を少なくしてシステムの適用範囲を拡げることができる。

20

また、各 M U による電気量の A / D 変換動作を、I E E E 1 5 8 8 規格等を用いたタイムマスタによる時刻同期化機能によって高精度に同期させることにより、例えば M U がマスタ端末とスレーブ端末との間で切り替わった際や 1 P P S 信号の一時停止・復帰が発生した場合でもサンプリング周期の連続性を保つことができ、保護監視制御の停止や遅れを防止して信頼性の高いシステムを構築することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 2 4 】

【図 1】本発明の実施形態における M U の機能ブロック図である。

【図 2】M U ( M 端末 ) 及び M U ( S 端末 ) が系統電圧の零クロス時刻を取得するタイミングの説明図である。

30

【図 3】M U ( M 端末 ) の動作を示すフローチャートである。

【図 4】三相系統を対象とした場合の電圧の零クロス時刻及び判定タイミング、G O O S E 送受信のタイミングを示す図である。

【図 5】図 3 におけるステップ S 1 5 の詳細な内容を示すフローチャートである。

【図 6】各相電圧 ( 理論正弦波 ) の瞬時値及び擾乱判定値の概要を示す図である。

【図 7】保護監視制御システムの概略的な構成図である。

【図 8】図 7 の一部を抜き出して示した図である。

【図 9】I E E E 1 5 8 8 規格による通信動作の概略的な説明図である。

## 【発明を実施するための形態】

40

## 【 0 0 2 5 】

以下、図に沿って本発明の実施形態を説明する。

この実施形態は、1 台の I E D に対して 2 台の M U により冗長化した保護監視制御システムを基本構成としており、一方の M U をマスタ端末 ( M 端末 )、他方の M U をスレーブ端末 ( S 端末 ) として運用するものである。

## 【 0 0 2 6 】

図 1 は、この実施形態における M U 4 0 0 の機能ブロック図であり、M 端末、S 端末の何れも構成は同一である。図 1 において、母線 2 0 に接続された三相のフィード 2 1 , 2 2 , 2 3 の系統電圧  $V_1$  ,  $V_2$  ,  $V_3$  は、それぞれ計器用  $V T 3 1$  ,  $3 2$  ,  $3 3$  を介して M U 4 0 0 に入力される。4 1 1 , 4 2 1 , 4 3 1 はアナログデータの系統電圧  $V_1$  ,  $V$

50

$V_2$  ,  $V_3$  をデジタルデータに変換する A / D 変換手段、4 1 2 , 4 2 2 , 4 3 2 はアナログフィルタである。

アナログフィルタ 4 1 2 , 4 2 2 , 4 3 2 の出力は、高調波を除去するデジタルフィルタ 4 1 3 , 4 2 3 , 4 3 3 を介して正弦波抽出手段 4 1 4 , 4 2 4 , 4 3 4 に入力され、系統電圧  $V_1$  ,  $V_2$  ,  $V_3$  の基本波成分としての正弦波が抽出される。

#### 【 0 0 2 7 】

正弦波抽出手段 4 1 4 , 4 2 4 , 4 3 4 により抽出された各正弦波は、零クロス検出及び演算手段 4 1 5 , 4 2 5 , 4 3 5 に入力され、各正弦波の零クロス時刻及び位相角がそれぞれ検出される。検出された各正弦波の零クロス時刻情報 4 1 8 , 4 2 8 , 4 3 8 は、他方の MU ( S 端末または M 端末 ) 及び I E D に送信される。

10

また、零クロス検出及び演算手段 4 1 5 , 4 2 5 , 4 3 5 の出力は理論正弦波演算手段 4 1 6 , 4 2 6 , 4 3 6 に入力され、系統電圧  $V_1$  ,  $V_2$  ,  $V_3$  の理論正弦波がそれぞれ演算される。これらの理論正弦波は、前述の正弦波抽出手段 4 1 4 , 4 2 4 , 4 3 4 により抽出された正弦波と共に擾乱判定手段 4 1 7 , 4 2 7 , 4 3 7 に入力されており、これらの擾乱判定手段 4 1 7 , 4 2 7 , 4 3 7 によって理論正弦波と抽出正弦波とをそれぞれ比較することで系統電圧  $V_1$  ,  $V_2$  ,  $V_3$  の擾乱が判定され、擾乱検出情報 4 6 0 として他方の MU ( S 端末または M 端末 ) 及び I E D に送信されるようになっている。

#### 【 0 0 2 8 】

一方、図 7 と同様に、時刻同期化プロトコルとして I E E E 1 5 8 8 規格を用いたタイムマスタ 6 0 からの時刻情報が、プロセスバス ( 図示せず ) を介して MU 4 0 0 に入力され、時刻同期情報 4 5 0 として記憶される。この時刻同期情報 4 5 0 は 1 [  $\mu$  s ] 以内の精度で管理されており、1 P P S 生成手段 4 5 1 は時刻同期情報 4 5 0 に基づいて 1 P P S 信号を生成し、前記 A / D 変換手段 4 1 1 , 4 2 1 , 4 3 1、零クロス検出及び演算手段 4 1 5 , 4 2 5 , 4 3 5 に送出する。A / D 変換手段 4 1 1 , 4 2 1 , 4 3 1 は、1 P P S 信号を同期信号として系統電圧  $V_1$  ,  $V_2$  ,  $V_3$  をサンプリングし、A / D 変換を行う。

20

このように MU 4 0 0 の内部で生成した 1 P P S 信号を用いてサンプリング同期を行う方法は、前述した特許文献 1 に、GPS を利用した 1 P P S 信号によるサンプリング同期方法として記載されているように一般的であり、A / D 変換手段 4 1 1 , 4 2 1 , 4 3 1 は 1 [  $\mu$  s ] 以内の精度で同期したタイミングにより A / D 変換を実行可能である。

30

#### 【 0 0 2 9 】

次に、図 2 は、図 1 のように構成された一方の MU ( M 端末 ) 4 0 0<sub>M</sub> と他方の MU ( S 端末 ) 4 0 0<sub>S</sub> が三相の系統電圧  $V_n$  (  $n = 1, 2, 3$  ) の瞬時値の零クロス時刻情報を 1 / 2 周期ごとに取得するタイミングの説明図である。MU ( M 端末 ) 4 0 0<sub>M</sub> と MU ( S 端末 ) 4 0 0<sub>S</sub> との間では、それぞれが検出した零クロスの最新時刻  $t_{M1}$  ,  $t_{S1}$  をプロセスバス 5 0 経由で G O O S E ( Generic Object Oriented Substation Event ) 等の通信プロトコルにより交換し、これによって計器用 V T の二次回路の状態や系統電圧の状態を把握する。

#### 【 0 0 3 0 】

ここで、G O O S E は、I E C 6 1 8 5 0 規格 " Communication networks and systems in substations " によって規定された通信プロトコルであり、プロセスバス上の MU 間の通信を少量のトラフィックで高速に実現可能である。なお、G O O S E については、前述した特許文献 2 に 2 台の保護 I E D 間の通信に用いることが記載されているほか、例えば特開 2 0 1 2 - 1 6 5 6 3 6 号公報には、プロセスバス及び変電所母線における通信プロトコルとして利用可能であることが記載されている。

40

#### 【 0 0 3 1 】

図 2 において、MU ( M 端末 ) 4 0 0<sub>M</sub> と MU ( S 端末 ) 4 0 0<sub>S</sub> とが電力系統の同一地点に設置されて冗長化されている場合、計器用 V T と MU ( M 端末 ) 4 0 0<sub>M</sub> 及び MU ( S 端末 ) 4 0 0<sub>S</sub> との間に故障が発生していない条件では、電力系統の基本波周波数の 1 / 2 周期ごとの各相電圧波形の零クロス時刻は、MU ( M 端末 ) 4 0 0<sub>M</sub> と MU ( S 端

50

末)  $400_S$  との差が  $1 [\mu s]$  以内の同一時刻になる。

すなわち、MU (M 端末)  $400_M$  と MU (S 端末)  $400_S$  とが交換する各相電圧波形の零クロス時刻の差を求めると、例えば図 2 の最新の零クロス時刻については数式 3 の

$t_{MS1} [\mu s]$  になると共に、前回の零クロス時刻については数式 4 の  $t_{MS2} [\mu s]$  となり、何れも  $1 [\mu s]$  以下の値になる。

[数式 3]

$$t_{MS1} [\mu s] = t_{M1} [\mu s] - t_{S1} [\mu s]$$

[数式 4]

$$t_{MS2} [\mu s] = t_{M2} [\mu s] - t_{S2} [\mu s]$$

【0032】

また、MU (M 端末)  $400_M$  における各相電圧の今回零クロス時刻と前回零クロス時刻との差は数式 5 となり、MU (S 端末)  $400_S$  における各相電圧の今回零クロス時刻と前回零クロス時刻との差は数式 6 となる。

[数式 5]

$$t_M [\mu s] = t_{M1} [\mu s] - t_{M2} [\mu s]$$

[数式 6]

$$t_S [\mu s] = t_{S1} [\mu s] - t_{S2} [\mu s]$$

【0033】

更に、計器用 VT と MU (M 端末)  $400_M$  及び MU (S 端末)  $400_S$  との間に故障が発生していない場合、または、電力系統側の事故による擾乱が発生していない場合、数式 5 の  $t_M$  及び数式 6 の  $t_S$  は基本波周波数の  $1/2$  周期  $[\mu s]$  に等しく、IEEE 1588 時刻情報の同期精度を勘案すると、数式 7、数式 8 に示すように、基本波周波数の  $1/2$  周期と  $t_M$  及び  $t_S$  との差は、 $1 [\mu s]$  以内となる。

[数式 7]

$$|1/2 \text{ 周期} [\mu s] - t_M [\mu s]| \leq 1 [\mu s]$$

[数式 8]

$$|1/2 \text{ 周期} [\mu s] - t_S [\mu s]| \leq 1 [\mu s]$$

【0034】

後述するように、数式 3 に示した  $t_{M1}$  と  $t_{S1}$  との時刻差  $t_{MS1}$ 、または数式 5、数式 6 に示した  $t_M$  と  $t_S$  との差が設定値未満であれば、サンプリング周期にズレがなく、MU (M 端末)  $400_M$  及び MU (S 端末)  $400_S$  が健全側にある (計器用 VT の二次回路や MU 自体に異常がない) と判断することができる。また、数式 7、数式 8 において  $t_M$  または  $t_S$  のうち  $1/2$  周期に近い方の MU が健全側にあると判断することができる。

このようにして、MU (M 端末)  $400_M$  及び MU (S 端末)  $400_S$  はどちらが健全状態にあるかを判断することができるので、健全状態にある MU のみが稼働系 MU となり、プロセスバス 50 を介して、A/D 変換後のデータを SV 通信にて IED へ送信する。

【0035】

図 3 は、MU (M 端末)  $400_M$  側の処理を示すフローチャートである。

なお、MU (S 端末)  $400_S$  側も同じフローであり、以下の説明における MU (M 端末)  $400_M$  を MU (S 端末)  $400_S$  に読み替えたフローとなる。この実施形態では、MU (M 端末)  $400_M$  及び MU (S 端末)  $400_S$  の双方のフローを実行することで MU の冗長化を実現している。

【0036】

図 3 において、MU (M 端末)  $400_M$  では、系統電圧  $V_1, V_2, V_3$  をサンプリングし、その A/D 変換データより、正弦波の  $1/2$  周期ごとの零クロス検出を行う (ステップ S1, S2)。零クロスが検出されたら (S2 YES)、その最新時刻  $t_{M1}$  を記憶し、同時に高速の G00SE 通信にて、IED と相手方 MU である MU (S 端末)  $400_S$  とに送信する (S3)。また、このとき、前回の零クロス時刻  $t_{M2}$  との時間差 ( $t_M = t_{M1} - t_{M2}$ ) を算出し、記憶する (S4)。なお、ステップ S2 において零ク

10

20

30

40

50

ロスが検出されない場合 ( S 2 N O ) は、ステップ S 5 にジャンプする。

【 0 0 3 7 】

次に、相手方 M U である M U ( S 端末 ) 4 0 0 <sub>S</sub> から送信されてくる零クロスの最新時刻  $t_{s1}$  を受信して記憶し、前回受信して記憶されている零クロス時刻  $t_{s2}$  との時間差 ( $t_s = t_{s1} - t_{s2}$ ) を算出し、記憶する ( S 5 Y E S , S 6 ) 。

ここで、 $t_{M1}$  と  $t_{s1}$  との時刻差または  $t_M$  と  $t_s$  との差が設定値 (例えば 2 [  $\mu s$  ] ~ 20 [  $\mu s$  ] ) 未満であれば ( S 7 N O )、M U ( M 端末 ) 4 0 0 <sub>M</sub> 及び M U ( S 端末 ) 4 0 0 <sub>S</sub> のサンプリング周期にズレがなく、両 M U 共に健全状態であってサンプリング同期確立中と判断する ( S 9 ) 。

【 0 0 3 8 】

なお、サンプリング周期のズレを判断するための設定値については、計器用 V T の二次回路から各 M U の A / D 変換手段までの計測精度及び制御目的や運用に合わせて設定すれば良い。

上述した例で、設定値を 2 [  $\mu s$  ] ~ 20 [  $\mu s$  ] としたのは、以下の理由に基づく。すなわち、各 M U の時刻同期精度が I E E E 1 5 8 8 による  $\pm 1$  [  $\mu s$  ] であることを考慮すると、M U ( M 端末 ) 4 0 0 <sub>M</sub> と M U ( S 端末 ) 4 0 0 <sub>S</sub> との間の相対時刻差は 2 [  $\mu s$  ] となるので、これを設定値の下限値とする。また、設定値の上限値は、制御目的及びサンプリング周波数に応じて設定することになるが、計器用 V T の二次回路の計測誤差や制御上の影響を考慮して、サンプリング周波数が 4 8 0 0 [ H z ] の場合には 1 サンプル周期が 2 0 8 [  $\mu s$  ] であるため、その約 1 0 % ( 2 0 [  $\mu s$  ] ) を上限値とする。

【 0 0 3 9 】

図 3 に戻って、既にサンプリング同期確立中であった場合 ( S 8 Y E S ) は、以前の状態を維持するが、新たにサンプリング同期確立へ移行する場合 ( S 8 N O , S 9 ) は、基本周波数の 1 / 2 周期と  $t_M$  との差の絶対値である  $t_{M0}$  と、同じく 1 / 2 周期と  $t_s$  との差の絶対値である  $t_{s0}$  とを比較する ( S 1 0 , S 1 1 ) 。ここで、 $t_{M0}$  と  $t_{s0}$  とを比較することにより、 $t_M$  と  $t_s$  とのどちらが 1 / 2 周期に近いかを検出できるので、その結果により 1 / 2 周期に近い側の M U の方が健全であって他方の M U よりも安定性が高いと判断し、S V 出力 E n a b l e 設定 ( S 1 2 ) 及び S V 送信処理を実行し ( S 1 6 )、または S V 出力 D i s a b l e ( 停止 ) 設定を行う ( S 1 3 ) 。

なお、 $t_M$  及び  $t_s$  のうち 1 / 2 周期に近い側の M U を安定性が高いと判断して優先させるのは、I E E E 1 5 8 8 の情報を元にサンプリング周期の微調整 ( 補正 ) を繰り返してサンプリング時刻を同期させる過程において、サンプリング同期の確立直後は補正量が大きいことを考慮したものである。

【 0 0 4 0 】

また、単相における系統電圧 (例えば  $V_1$  のみ) の場合は、基本周波数の 1 / 2 周期ごとに、例えば基本周波数 5 0 [ H z ] の系統では、1 0 [ m s ] ごとに零クロス時刻を検出し、判定することになる。これに対し、三相系統では、図 4 に示すように、各相電圧  $V_1$  ,  $V_2$  ,  $V_3$  の零クロス時刻を検出することになるため、基本周波数の 1 周期に対して 1 / 6 周期ごとに判定処理を実行することになる。これにより、基本周波数 5 0 [ H z ] の系統では、3 . 3 [ m s ] という早い周期にて判定することを意味しており、計器用 V T と M U との間に故障が発生した場合に健全側の M U 出力へ高速に切り替えることを可能としている。

【 0 0 4 1 】

次に、各 M U の間にサンプリング時刻の同期ずれがある場合でも M U の冗長化を維持するための処理について説明する。

I E E E 1 5 8 8 規格を用いたサンプリング時刻の同期化処理において、システム起動時やタイムマスタ 6 0 側に起因する時刻同期ずれが生じている状況、あるいは系統電圧に擾乱が発生している場合には、時刻同期 = サンプリング同期を前提にした本実施形態によ

10

20

30

40

50

ると計器用V TとMUとの間の故障判別に対する品質が問題になるため、この時刻同期ずれも考慮しておく必要がある。

すなわち、図3のステップS 7において、 $t_M$ と $t_S$ との差が20[ $\mu$ s]以上になる場合(ステップS 7 YES)は、何れかのMUが同期から外れて時刻同期ずれになっていると判断できるので、ステップS 14以降の処理に移行して信頼性を確保することが必要である。

#### 【0042】

以下、ステップS 14以降の処理について説明する。

図1により説明したように、この実施形態におけるMU(M端末)400<sub>M</sub>及びMU(S端末)400<sub>S</sub>は、電圧擾乱を検出する機能を備えている。そして、例えば一方のMUが電圧擾乱を検出した場合、他方のMUに対して三相のうち何れの相で擾乱が検出されたかをGOOSE通信等により通知することが可能である。

IEDを冗長化したシステムにおける電圧擾乱検出時の処理については、前述した特許文献2に開示されているが、ここでは、MUを冗長化したシステムにおいて電圧擾乱を検出した時の処理について説明する。

#### 【0043】

電力系統の事故により電圧擾乱が発生したときの電圧データは、冗長化された全てのMUによりサンプリングされる。例えば、MU(M端末)400<sub>M</sub>及びMU(S端末)400<sub>S</sub>が電力系統の同一地点に設置されている場合、MU(M端末)400<sub>M</sub>及びMU(S端末)400<sub>S</sub>は系統電圧の擾乱を同時に検出することになる。故障が計器用V Tの二次回路で生じたとき、すなわち、計器用V Tとその二次側に接続されたMUとの間で何らかの機器故障が生じたとき、故障が生じた側のMUのみが電圧擾乱を検出するが、他のMUは検出しない。従って、一方のMUによる擾乱検出の有無に応じて他方のMUによる擾乱検出の有無を判断することにより、どちらのMUに対応する計器用V Tの二次回路で故障が発生したかを検出して健全側のMUを判定し、SV出力のEnable/Disable設定を行なうことができる。

#### 【0044】

図5は、図3におけるステップS 15の内容を詳細に示したフローチャートであり、図3のステップS 7, S 14に続く処理を示している。なお、ステップS 15に先立って、サンプリング同期確立中のフラグをオフしておく(S 14)。

図5において、例えば、MU(M端末)400<sub>M</sub>が電圧の擾乱検出の有無を判断する(ステップS 151)。ここで、MUによる電圧擾乱検出動作は図6に示すとおりである。

すなわち、例えば図1の零クロス検出及び演算手段415が正弦波(基本波成分)から零クロス点を検出し、その零クロス点の基準点からの経過時間より位相角を算出すると共に、理論正弦波演算手段416が、図6の上段に示す理論正弦波を演算する。そして、数式9の擾乱判定式に示すように、正弦波(基本波成分)が、理論正弦波に相当する(定格電圧 $\times \sin$ 「値」)を中心として設定閾値( $\pm 10\%$ )の範囲を逸脱する値になったか否かにより電圧擾乱を判定する。

[数式9]

$$\text{擾乱判定値} = \text{定格電圧} \times \sin \text{「値」} \times \text{設定閾値} (\pm 10\%)$$

#### 【0045】

図5において、MU(M端末)400<sub>M</sub>が擾乱を検出した場合、検出しない場合のそれぞれについて、MU(S端末)400<sub>S</sub>が擾乱を検出したか否かを判断する(S 151, S 152, S 153)。そして、MU(M端末)400<sub>M</sub>及びMU(S端末)400<sub>S</sub>が両方とも擾乱を検出した場合(S 152 YES)、検出しない場合(S 153 NO)の何れについても、各MUに対応する計器用V Tの二次回路は正常である(両MUは健全側にある)と判断し、MUの現在の出力設定状態を切り替えずに維持する(S 154)。なお、両MU端末が未出力の場合には、MU(M端末)400<sub>M</sub>を優先してSV出力させるように設定する。

また、MU(S端末)400<sub>S</sub>のみが擾乱を検出しない場合(S 152 NO)には、

10

20

30

40

50

MU (S 端末) 400<sub>S</sub>の方が健全であると判断してMU (S 端末) 400<sub>S</sub>から優先してSV出力させるように設定し(S155)、MU (S 端末) 400<sub>S</sub>のみが擾乱を検出した場合(S153 YES)には、MU (M 端末) 400<sub>M</sub>の方が健全であると判断してMU (M 端末) 400<sub>M</sub>から優先してSV出力させるように設定する(S156)。

【0046】

このように、各MUは、図1に示した擾乱検出情報460をGOOSE等により他のMUへ送受信するため、この擾乱検出情報460により、相手方のMUにおける電圧擾乱の検出状態を知ることができる。この擾乱検出情報460は三相のうち何れの相で発生したのかを示す情報を含んでいるので、故障部位の詳細な判定(相判定)も可能である。

【符号の説明】

【0047】

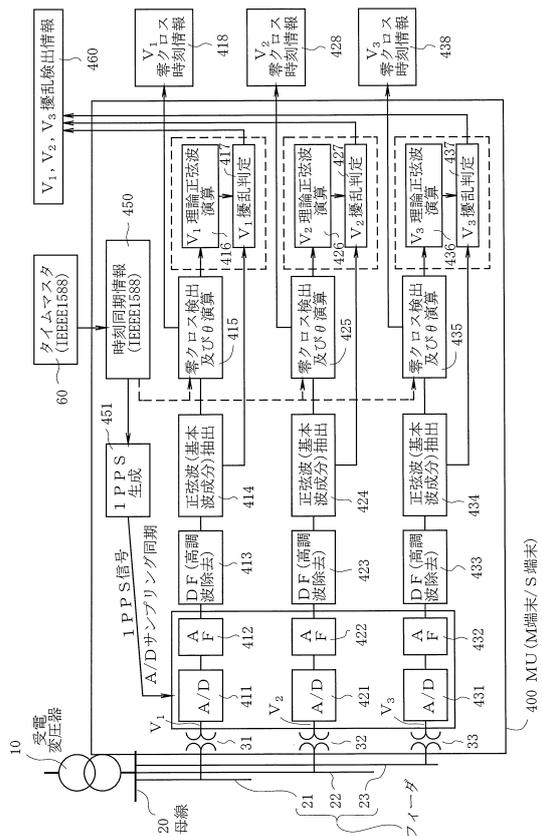
- 10 : 受電変圧器
- 20 : 母線
- 21, 22, 23 : フィーダ
- 31, 32, 33, 31<sub>M</sub>, 31<sub>S</sub>, 32<sub>M</sub>, 32<sub>S</sub>, 33<sub>M</sub>, 33<sub>S</sub> : 計器用VT
- 41<sub>M</sub>, 42<sub>M</sub>, 43<sub>M</sub> : MU (M 端末)
- 41<sub>S</sub>, 42<sub>S</sub>, 43<sub>S</sub> : MU (S 端末)
- 50 : プロセスバス
- 60 : タイムマスタ
- 60<sub>S</sub> : スレーブ端末
- 71<sub>M</sub>, 72<sub>M</sub>, 73<sub>M</sub> : IED (M)
- 71<sub>S</sub>, 72<sub>S</sub>, 73<sub>S</sub> : IED (S)
- 400 : MU (M 端末 / S 端末)
- 400<sub>M</sub> : MU (M 端末)
- 400<sub>S</sub> : MU (S 端末)
- 411, 421, 431 : A/D変換手段
- 412, 422, 432 : アナログフィルタ (AF)
- 413, 423, 433 : デジタルフィルタ (DF)
- 414, 424, 434 : 正弦波抽出手段
- 415, 425, 435 : 零クロス検出及び演算手段
- 416, 426, 436 : 理論正弦波演算手段
- 417, 427, 437 : 擾乱判定手段
- 418, 428, 438 : 零クロス時刻情報
- 450 : 時刻同期情報
- 451 : 1PPS生成手段
- 460 : 擾乱検出情報
- LD<sub>1</sub>, LD<sub>2</sub>, LD<sub>3</sub> : 負荷

10

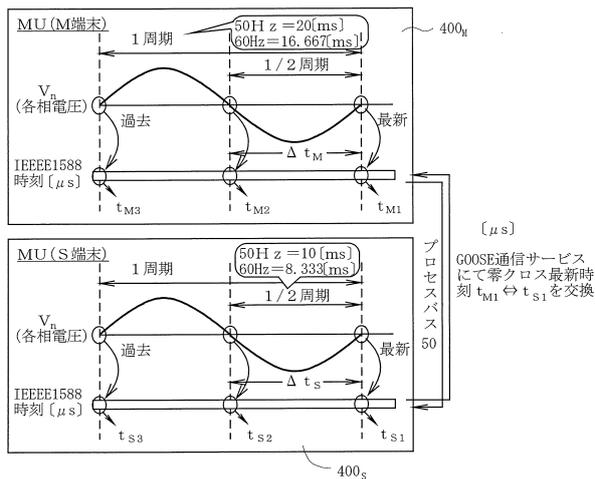
20

30

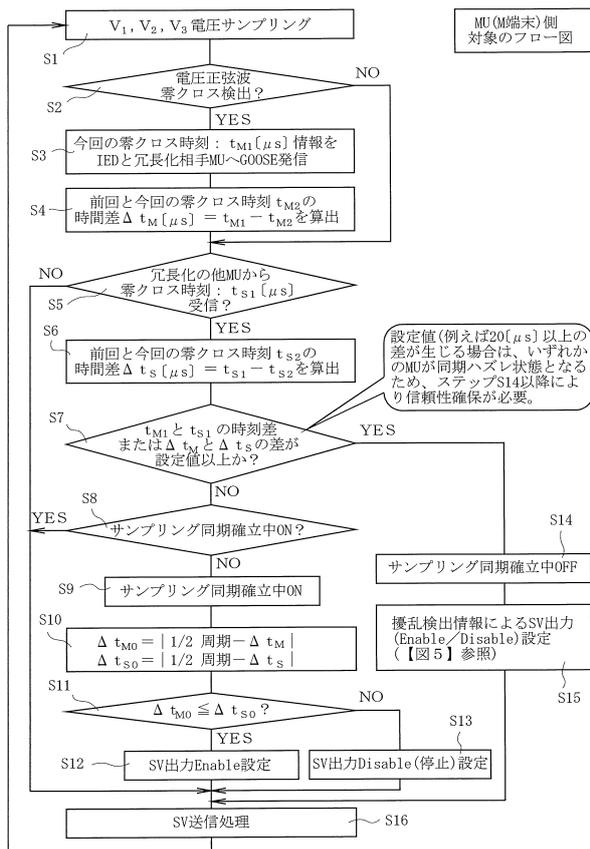
【図1】



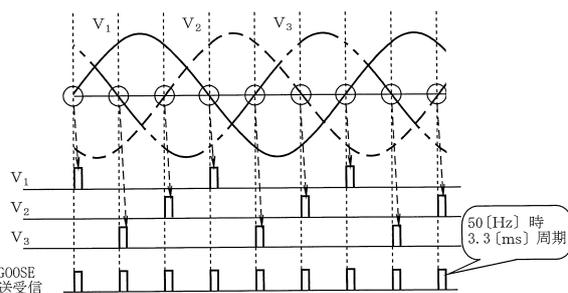
【図2】



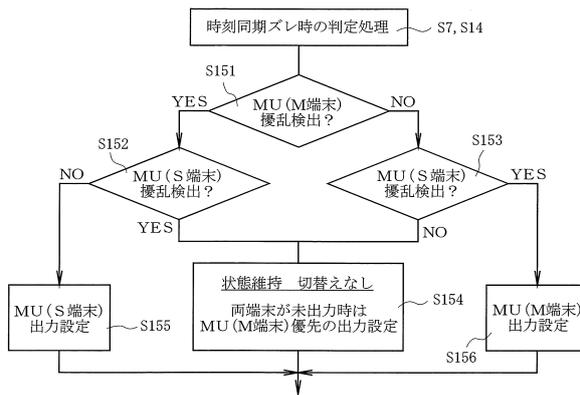
【図3】



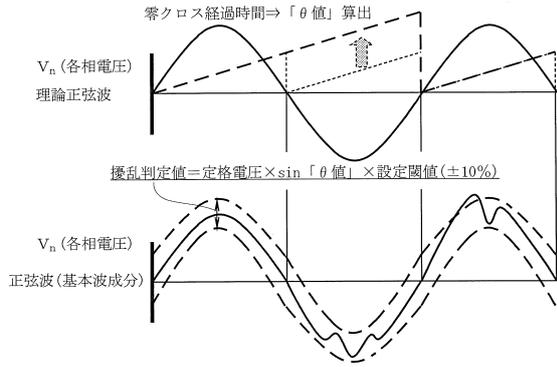
【図4】



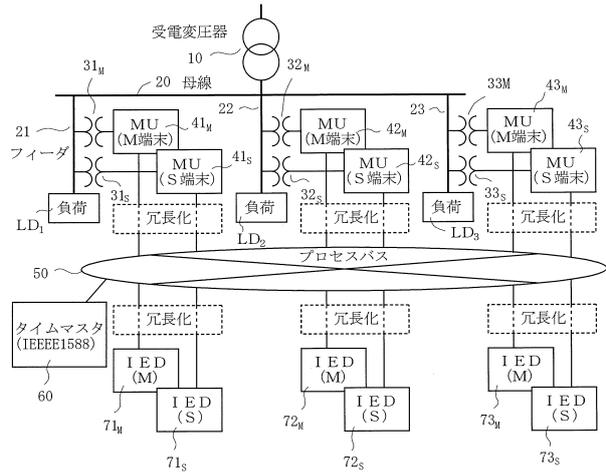
【図5】



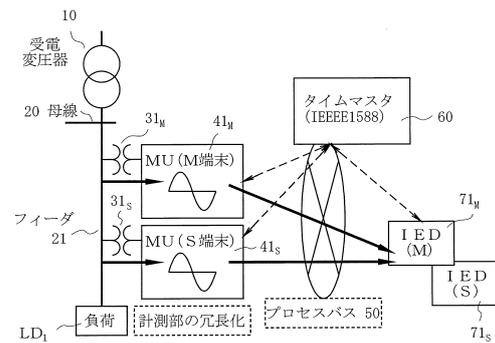
【図6】



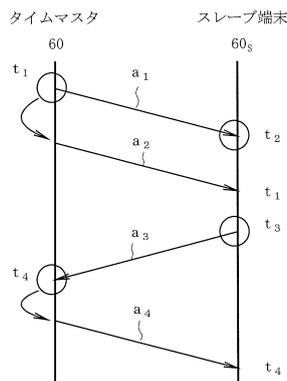
【図7】



【図8】



【図9】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2013-055736(JP,A)  
特開平09-215171(JP,A)  
特開2001-215248(JP,A)  
特開2011-208975(JP,A)  
特表2012-503960(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02H3/05  
H02H3/02  
H02J13/00  
G01R25/00-25/08