

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6390359号
(P6390359)

(45) 発行日 平成30年9月19日(2018.9.19)

(24) 登録日 平成30年8月31日(2018.8.31)

(51) Int.Cl.		F I	
HO2S 50/00	(2014.01)	HO2S 50/00	
GO1R 31/02	(2006.01)	GO1R 31/02	
GO1R 31/26	(2014.01)	GO1R 31/26	F

請求項の数 17 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2014-227477 (P2014-227477)	(73) 特許権者	000002945
(22) 出願日	平成26年11月7日(2014.11.7)		オムロン株式会社
(65) 公開番号	特開2016-93039 (P2016-93039A)		京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不
(43) 公開日	平成28年5月23日(2016.5.23)		動堂町801番地
審査請求日	平成29年8月4日(2017.8.4)	(74) 代理人	100155712
			弁理士 村上 尚
		(72) 発明者	竹内 豪
			熊本県阿蘇市一の宮町宮地4429 オム
			ロン阿蘇株式会社内
		(72) 発明者	三角 修一
			京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不
			動堂町801番地 オムロン株式会社内
		(72) 発明者	佐野 彰彦
			京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不
			動堂町801番地 オムロン株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 太陽光発電システムの検査方法および検査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

交流の検査信号を生成する検査信号生成部と、

直列接続された複数の太陽電池モジュールを有する太陽電池ストリングの正極に前記検査信号が印加される検査信号正極印加、および前記太陽電池ストリングの負極に前記検査信号が印加される検査信号負極印加が順次行われるように、前記検査信号生成部の接続を切り替える接続切替部と、

前記検査信号正極印加の場合と前記検査信号負極印加の場合とについて、前記検査信号が印加された極から故障位置までの前記太陽電池モジュールの数により変化する指標値を計測する指標値計測部と、

前記検査信号正極印加の場合に得られた前記指標値と前記検査信号負極印加の場合に得られた前記指標値との比から、前記故障位置を求める故障位置判定部とを備えていることを特徴とする太陽光発電システムの検査装置。

【請求項2】

前記太陽電池ストリングが発電状態であるかどうかを検出する状態検出部と、

前記状態検出部にて太陽電池ストリングが発電状態であることが検出されたときに、前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を含む各部の動作による前記太陽電池ストリングの故障検査が行われるように、これら各部を制御する第1制御部とを備えていることを特徴とする請求項1に記載の太陽光発電システムの検査装置。

【請求項 3】

前記太陽電池モジュールは、バイパスダイオードが並列に接続され、
前記検査信号の電圧は、前記バイパスダイオードの順方向電圧以下の電圧に設定されていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の太陽光発電システムの検査装置。

【請求項 4】

前記太陽電池ストリングにおける地絡の有無を検査する地絡検査部を備え、
前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を含む各部の動作による前記太陽電池ストリングの故障検査に先立って、前記地絡検査部による検査が行われ、前記地絡検査部にて前記地絡が検出された場合に、前記故障検査を中止させる第 2 制御部とを備えていることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

10

【請求項 5】

前記太陽電池ストリングの出力電流を計測する電流計測部と、
前記太陽電池ストリングの出力経路を、電力供給経路と前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を含む各部の動作による前記太陽電池ストリングの故障検査が行われる検査経路との間に切替える経路切替部と、
前記太陽電池ストリングに対して前記故障検査が行われる場合、かつ前記電流計測部にて計測される前記出力電流が所定の閾値以下の場合に、前記太陽電池ストリングの出力経路が前記電力供給経路から前記検査装置に切り替えられるように経路切替部を制御する第 3 制御部とを備えていることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

20

【請求項 6】

太陽電池ストリングの正極と負極との間の極間電圧、または前記正極と前記負極との間の極間電流を計測する極間計測部と、
前記極間電流または前記極間電圧が前記太陽電池ストリングのケーブル断線を示すものであった場合に、前記太陽電池ストリングを断線有りと判定する断線判定部とを備えていることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

【請求項 7】

前記指標値計測部は、前記検査信号を前記太陽電池ストリングの正極に印加した場合と負極とに印加した場合との各々の場合に計測される電流、または電流および電圧から前記指標値を取得し、前記電流、または前記電流および前記電圧に対してノイズ成分を除去するフィルタ処理を行うフィルタ処理部を含んでいることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

30

【請求項 8】

前記指標値計測部は、終端インピーダンスを備え、前記太陽電池ストリングの正極と負極とに前記検査信号を順次印加する場合、前記検査信号を印加する極と反対側の極を前記終端インピーダンスを介してグランドに接続することを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

【請求項 9】

前記太陽電池ストリングを複数の小ストリングに分断された状態と分断されていない状態とに切り替えるストリング分断切替部を備え、
前記接続切替部は、前記の各小ストリングに対して、前記検査信号正極印加および前記検査信号負極印加が順次行われるように、前記検査信号生成部の接続を切り替え、
前記第 1 制御部は、前記の各小ストリングに対して、前記ストリング分断切替部、前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を含む各部の動作による故障検査が行われるように、これら各部を制御することを特徴とする請求項 2 に記載の太陽光発電システムの検査装置。

40

【請求項 10】

太陽電池ストリングの太陽電池モジュールに含まれる、隣り合う太陽電池モジュール同

50

士にて直列接続の状態に存在する直列抵抗の抵抗値を測定する抵抗値測定部と、

前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を含む各部の動作による前記太陽電池ストリングの故障検査が、前記直列抵抗の抵抗値が所定の閾値よりも小さい状態にて行われる場合に、前記直列抵抗の抵抗値が所定の閾値よりも大きい状態にて前記故障検査が行われる場合よりも、前記検査信号の周波数を高くする周波数調整部とを備えていることを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

【請求項 1 1】

前記検査信号生成部は、一端側がグラウンドに接続され、他端側が前記正極と前記負極とに順次接続される線路に設けられたスイッチング素子と、

前記スイッチング素子にオンオフ動作を繰り返し行わせるオンオフ駆動部とを備えていることを特徴とする請求項 1 から 1 0 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

【請求項 1 2】

前記指標値計測部は付加インピーダンスを備え、

前記故障位置判定部による前記故障位置を求める第 1 の判定動作にて故障位置無しと判定された場合に、前記太陽電池ストリングの正極または負極のみが前記付加インピーダンスを介してグラウンドに接続され、この状態にて前記検査信号正極印加および前記検査信号負極印加が順次行われた後、前記故障位置判定部による第 2 の判定動作が行われるように、前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を制御する第 4 制御部を備え、

前記故障位置判定部は、前記第 2 の判定動作にて、前記検査信号正極印加の場合の前記指標値と前記検査信号負極印加の場合の前記指標値とを比較し、これら両指標値が異なる場合に、前記太陽電池ストリングの故障位置を太陽電池ストリングの中央の位置と判定することを特徴とする請求項 1 から 1 1 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

【請求項 1 3】

前記太陽電池ストリングの正極と負極とを短絡した両極短絡状態と正極と負極とが短絡していない両極非短絡状態とを切り替える短絡非短絡切替部と、

前記指標値は、インピーダンス、または前記検査信号を印加することにより前記太陽電池ストリングを流れる電流であり、

前記指標値計測部による、前記検査信号正極印加の場合および前記検査信号負極印加の場合に前記指標値を計測する第 1 の指標値計測動作が行われ、前記故障位置判定部による前記故障位置を求める第 1 の判定動作にて故障位置無しと判定された場合に、前記太陽電池ストリングが前記両極短絡状態となり、この状態にて前記検査信号正極印加または前記検査信号負極印加により前記指標値が計測され、その後、前記故障位置判定部による第 2 の判定動作が行われるように、前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部、前記故障位置判定部および前記短絡非短絡切替部を制御する第 5 制御部を備え、

前記故障位置判定部は、前記第 2 の判定動作にて、前記第 1 の指標値計測動作による前記検査信号正極印加の場合または前記検査信号負極印加の場合の前記指標値と前記両極非短絡状態の場合の前記指標値とを比較し、これら両指標値が異なる場合に、前記太陽電池ストリングの故障位置を太陽電池ストリングの中央の位置と判定することを特徴とする請求項 1 から 1 1 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

【請求項 1 4】

前記指標値はインピーダンスであることを特徴とする請求項 1 から 1 2 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

【請求項 1 5】

前記指標値は前記検査信号を印加することにより前記太陽電池ストリングを流れる電流であることを特徴とする請求項 1 から 1 2 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

10

20

30

40

50

【請求項 16】

前記指標値は定在波比であることを特徴とする請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の太陽光発電システムの検査装置。

【請求項 17】

直列接続された複数の太陽電池モジュールを有する太陽電池ストリングの正極と負極とに交流の検査信号を順次印加し、各々の場合について、前記検査信号を印加した極から故障位置までの前記太陽電池モジュールの数により変化する指標値を計測する指標値計測工程と、

前記検査信号を正極に印加した場合に得た前記指標値と負極に印加した場合に得た前記指標値との比から、前記故障位置を求める判定工程とを備えていることを特徴とする太陽光発電システムの検査方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、太陽光発電システムの故障の有無を検査する太陽光発電システムの検査方法および検査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、太陽光発電システムは、複数の太陽電池モジュールが直列接続された太陽電池ストリングを備えている。このような太陽電池ストリングでは、太陽電池モジュールの故障や太陽電池モジュール同士を接続するケーブルの断線などの故障を生じることがある。このため、太陽光発電システムでは、安定した電力供給を行うため、太陽電池ストリングの故障の有無を適宜調べる必要がある。太陽電池ストリングの故障の有無を調べる技術としては、例えば特許文献 1、2 に開示されたものが知られている。

20

【0003】

特許文献 1 に開示された構成では、 n 個の太陽電池モジュールを直列接続し、第 1 番目の太陽電池モジュールの開放端に LCRメータを接続し、第 n 番目の太陽電池モジュールの開放端を開放状態のままとし、第 1 番目から第 n 番目までの太陽電池モジュールの金属製フレーム間を電氣的に接続した状態を第 1 の接続形態とする。また、第 1 の接続形態において、いずれかの隣接する太陽電池モジュール間が断線した状態を第 2 の接続形態とする。さらに、これら第 1 および第 2 の接続形態のものを屋内に配置し、LCRメータによって、第 1 の接続形態で測定された静電容量と、第 2 の接続形態で測定された静電容量とから、断線箇所までの太陽電池モジュール枚数を求める。

30

【0004】

あるいは、直列接続された上記 n 個の太陽電池モジュールを一つの金属製架台に設置し、この金属製架台をアースに接地し、LCRメータの他方の入力端をアースに接地した状態を第 1 の接続形態とする。さらに、この第 1 の接続形態および上記第 2 の接続形態のものを屋外に配置し、同様にして、断線箇所までの太陽電池モジュール枚数を求める。

【0005】

特許文献 2 に開示された構成は、 n 個の太陽電池モジュールを直列接続し、第 1 番目の太陽電池モジュールの開放端に信号発生器の一方の出力端および波形観測装置の一方の入力端を接続し、第 n 番目の太陽電池モジュールの開放端を開放状態のままとし、第 1 番目から第 n 番目までの太陽電池モジュールの金属製フレーム間を電氣的に接続し、信号発生器の他方の出力端および波形観測装置の他方の入力端を金属製フレームに接続した状態を第 1 の接続形態とする。また、第 1 の接続形態において信号発生器から開放端までのいずれかの箇所において故障ないし劣化状態にある状態を第 2 の接続形態とする。さらに、第 1 および第 2 の接続形態を屋内に配置し、第 1 および第 2 の接続形態において、信号発生器から出力された計測信号に対する波形観測装置で観測された観測信号から、信号発生器から故障ないし劣化状態にある箇所までの距離 Lx を求める。

40

【0006】

50

あるいは、直列接続された上記 n 個の太陽電池モジュールを一つの金属製架台に設置し、この金属製架台をアースに接地し、信号発生器の他方の出力端および波形観測装置の他方の入力端をアースに接地した状態を第 1 の接続形態とする。さらに、この第 1 の接続形態および上記第 2 の接続形態のものを屋外に配置し、同様にして信号発生器から故障ないし劣化状態にある箇所までの距離 L_x を求める。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献 1】特許第 4604250 号（2010 年 10 月 15 日登録）

【特許文献 2】特開 2009 - 021341 号公報（2009 年 1 月 29 日公開）

【特許文献 3】特開 2012 - 119382 号公報（2012 年 6 月 21 日公開）

【特許文献 4】特表 2013 - 527613 号公報（2013 年 6 月 27 日公開）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、上記従来の構成では、 n 個の太陽電池モジュールが直列接続されている太陽電池ストリングに故障がない状態（第 1 の状態）の静電容量 C_d あるいは観測信号を予め測定しておく構成となっている。このため、予め静電容量 C_d あるいは観測信号を測定していなければ、太陽電池ストリングが故障した場合に対応することができず、太陽電池ストリングの故障の有無を容易に検出できない。

【0009】

また、特許文献 1 にて測定している対地間静電容量は、天候などにより日々変化するものであるため、予め測定した対地間静電容量を使用した場合には、太陽電池ストリングの故障（故障位置）を高精度に検出することができない。

【0010】

したがって、本発明は、太陽電池ストリングの故障検査を高精度かつ容易に行うことができる太陽光発電システムの検査方法および検査装置の提供を目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記の課題を解決するために、本発明の太陽光発電システムの検査装置は、交流の検査信号を生成する検査信号生成部と、直列接続された複数の太陽電池モジュールを有する太陽電池ストリングの正極に前記検査信号が印加される検査信号正極印加、および前記太陽電池ストリングの負極に前記検査信号が印加される検査信号負極印加が順次行われるように、前記検査信号生成部の接続を切り替える接続切替部と、前記検査信号正極印加の場合と前記検査信号負極印加の場合とについて、前記検査信号が印加された極から故障位置までの前記太陽電池モジュールの数により変化する指標値を計測する指標値計測部と、前記検査信号正極印加の場合に得られた前記指標値と前記検査信号負極印加の場合に得られた前記指標値との比から、前記故障位置を求める故障位置判定部とを備えていることを特徴としている。

【0012】

上記の構成によれば、検査信号生成部は交流の検査信号を生成する。接続切替部は、直列接続された複数の太陽電池モジュールを有する太陽電池ストリングの正極に検査信号が印加される検査信号正極印加、および太陽電池ストリングの負極に検査信号が印加される検査信号負極印加が順次行われるように、検査信号生成部の接続を切り替える。指標値計測部は、検査信号正極印加の場合と検査信号負極印加の場合とについて、検査信号が印加された極から故障位置までの太陽電池モジュールの数により変化する指標値、例えばインピーダンス、検査信号を印加することにより太陽電池ストリングを流れる電流、あるいは定在波比等を計測する。故障位置判定部は、検査信号正極印加の場合に得られた指標値と検査信号負極印加の場合に得られた指標値との比から、故障位置を求める。

【0013】

10

20

30

40

50

これにより、検査対象の太陽電池ストリングについて、故障が発生していない状態の指標値（例えばインピーダンス）を予め計測しておく必要がなく、また、天候などにより日々変化する、予め計測した指標値（例えばインピーダンス）を使用することなく、太陽電池ストリングの故障位置を求めることができる。これにより、太陽電池ストリングの故障検査を高精度かつ容易に行うことができる。

【0014】

上記の太陽光発電システムの検査装置は、前記太陽電池ストリングが発電状態であるかどうかを検出する状態検出部と、前記状態検出部にて太陽電池ストリングが発電状態であることが検出されたときに、前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を含む各部の動作による前記太陽電池ストリングの故障検査が行われるように、これら各部を制御する第1制御部とを備えている構成としてもよい。

10

【0015】

上記の構成において、太陽電池ストリングが発電状態であるときには、太陽電池モジュールに含まれる抵抗や静電容量等のインピーダンスは、小さくなり、検査信号を正極に印加した場合に得た指標値と負極に印加した場合に得た指標値とに及ぼす影響が小さくなる。この結果、インピーダンス（指標値）から見た太陽電池ストリングの回路は、主として例えば対地間静電容量のみの回路となり、単純化される。したがって、上記の構成によれば、検査信号を正極に印加した場合に得た指標値と負極に印加した場合に得た指標値との比から、太陽電池ストリングの故障検査をさらに高精度に行うことができる。

【0016】

20

上記の太陽光発電システムの検査装置において、前記太陽電池モジュールは、バイパスダイオードが並列に接続され、前記検査信号の電圧は、前記バイパスダイオードの順方向電圧以下の電圧に設定されている構成としてもよい。

【0017】

上記の構成によれば、検査信号の電圧は、太陽電池モジュールのバイパスダイオードの順方向電圧以下の電圧に設定されているので、バイパスダイオードにはほとんど電流が流れない。これにより、太陽電池ストリングの正極および負極に検査信号を印加したそれぞれの場合において、太陽電池ストリングの故障位置に対応した適正な指標値を得ることができ、太陽電池ストリングの故障検査を高精度に行うことができる。

【0018】

30

上記の太陽光発電システムの検査装置は、前記太陽電池ストリングにおける地絡の有無を検査する地絡検査部を備え、前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を含む各部の動作による前記太陽電池ストリングの故障検査に先立って、前記地絡検査部による検査が行われ、前記地絡検査部にて前記地絡が検出された場合に、前記故障検査を中止させる第2制御部とを備えている構成としてもよい。

【0019】

太陽電池ストリングに地絡が発生している場合には、太陽電池ストリングの故障検査において、太陽電池ストリングの正極および負極に検査信号を印加したそれぞれの場合に得られる指標値が不正確なものとなる。このため、太陽電池ストリングの故障検査を高精度に行うことができない。

40

【0020】

したがって、太陽電池ストリングの故障検査においては、まず、太陽電池ストリングにおける地絡の有無を検査し、地絡が発生している場合には、故障検査を中止することが好ましい。これにより、太陽電池ストリングが無駄に行われる事態を防止することができる。

【0021】

上記の太陽光発電システムの検査装置は、前記太陽電池ストリングの出力電流を計測する電流計測部と、前記太陽電池ストリングの出力経路を、電力供給経路と前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を含む各部の動作による前記太陽電池ストリングの故障検査が行われる検査経路との間にて切替える経路切替

50

部と、前記太陽電池ストリングに対して前記故障検査が行われる場合、かつ前記電流計測部にて計測される前記出力電流が所定の閾値以下の場合に、前記太陽電池ストリングの出力経路が前記電力供給経路から前記検査装置に切り替えられるように経路切替部を制御する第3制御部とを備えている構成としてもよい。

【0022】

上記の構成によれば、電流計測部は太陽電池ストリングの出力電流を計測し、第3制御部は、太陽電池ストリングに対して故障検査が行われる場合、かつ電流計測部にて計測される前記出力電流が所定の閾値以下の場合に、太陽電池ストリングの出力経路が電力供給経路から検査装置に切り替えられるように経路切替部を制御する。

【0023】

これにより、太陽電池ストリングの出力経路を切り替える場合に、アーク発生による悪影響を受けることがなく、また、例えば切替えリレーとして廉価な低耐圧のものを使用可能であり、容易かつ安全に切り替え動作を行うことができる。

【0024】

上記の太陽光発電システムの検査装置は、太陽電池ストリングの正極と負極との間の極間電圧、または前記正極と前記負極との間の極間電流を計測する極間計測部と、

前記極間電流または前記極間電圧が前記太陽電池ストリングのケーブル断線を示すものであった場合に、前記太陽電池ストリングを断線有りと判定する断線判定部とを備えている構成としてもよい。

【0025】

上記の構成によれば、極間計測部は、太陽電池ストリングの正極と負極との間の極間電圧、または正極と負極との間の極間電流を計測する。断線判定部は、極間電流または極間電圧が太陽電池ストリングのケーブル断線を示すものであった場合に、太陽電池ストリングを断線有りと判定する。これにより、太陽電池ストリングのケーブル断線を容易かつ高精度に検出することができる。

【0026】

上記の太陽光発電システムの検査装置において、前記指標値計測部は、前記検査信号を前記太陽電池ストリングの正極に印加した場合と負極とに印加した場合との各々の場合に計測される電流、または電流および電圧から前記指標値を取得し、前記電流、または前記電流および前記電圧に対してノイズ成分を除去するフィルタ処理を行うフィルタ処理部を含んでいる構成としてもよい。

【0027】

上記の構成によれば、フィルタ処理部は、指標値計測部において指標値を求めるのに使用する、検査信号を太陽電池ストリングの正極に印加した場合と負極とに印加した場合との各々の場合に計測される電流、または電流および電圧に対して、ノイズ成分を除去するフィルタ処理を行う。

【0028】

これにより、前記指標値計測部は正確な指標値を取得することができ、この結果、太陽電池ストリングの故障検査を高精度に行うことができる。

【0029】

上記の太陽光発電システムの検査装置において、前記指標値計測部は、終端インピーダンスを備え、前記太陽電池ストリングの正極と負極とに前記検査信号を順次印加する場合、前記検査信号を印加する極と反対側の極を前記終端インピーダンスを介してグラウンドに接続する構成としてもよい。

【0030】

上記の構成によれば、太陽電池ストリングの検査信号を印加する極とは反対側の極をインピーダンスを介してグラウンドに接続することにより、検査信号、すなわち検査信号を印加して得られる指標値はノイズの影響を受け難いものとなる。これにより、正確な指標値を得ることができ、太陽電池ストリングの故障検査を高精度に行うことができる。

【0031】

10

20

30

40

50

上記の太陽光発電システムの検査装置は、前記太陽電池ストリングを複数の小ストリングに分断された状態と分断されていない状態とに切り替えるストリング分断切替部を備え、前記接続切替部は、前記の各小ストリングに対して、前記検査信号正極印加および前記検査信号負極印加が順次行われるように、前記検査信号生成部の接続を切り替え、前記第1制御部は、前記の各小ストリングに対して、前記ストリング分断切替部、前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を含む各部の動作による故障検査が行われるように、これら各部を制御する構成としてもよい。

【0032】

上記の構成によれば、ストリング分断部により太陽電池ストリングが複数の小ストリングに分断され、各小ストリングに対してそれぞれ故障検査が行われる。これにより、各小ストリングにそれぞれ故障位置が存在し、太陽電池ストリング全体として複数の故障位置が存在する場合であっても、そこら故障位置を適切に検出することができる。

10

【0033】

上記の太陽光発電システムの検査装置は、太陽電池ストリングの太陽電池モジュールに含まれる、隣り合う太陽電池モジュール同士にて直列接続の状態に存在する直列抵抗の抵抗値を測定する抵抗値測定部と、前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を含む各部の動作による前記太陽電池ストリングの故障検査が、前記直列抵抗の抵抗値が所定の閾値よりも小さい状態にて行われる場合に、前記直列抵抗の抵抗値が所定の閾値よりも大きい状態にて前記故障検査が行われる場合よりも、前記検査信号の周波数を高くする周波数調整部とを備えている構成としてもよい。

20

【0034】

上記の構成によれば、抵抗値測定部は、太陽電池ストリングの太陽電池モジュールに含まれる、隣り合う太陽電池モジュール同士にて直列接続の状態に存在する直列抵抗の抵抗値を測定する。周波数調整部は、太陽電池モジュールの故障検査において、太陽電池モジュールの直列抵抗の抵抗値が所定の閾値よりも小さい場合には、太陽電池モジュールの直列抵抗の抵抗値が所定の閾値よりも大きい場合よりも検査信号の周波数を高くする。

【0035】

太陽電池モジュールに含まれる直列抵抗は、劣化することにより抵抗値が徐々に大きくなる。したがって、太陽電池モジュールの劣化が初期の場合には、正常な太陽電池モジュールと故障した太陽電池モジュールでの直列抵抗の抵抗値の差は小さい。このため、故障した太陽電池モジュールの検出が困難である。そこで、太陽電池ストリングの故障検査を直列抵抗の抵抗値が小さい状態において行う場合には、検査信号の周波数を高くする。これにより、太陽電池ストリングのインピーダンスにおいて、相対的に、静電容量のインピーダンスの影響が小さくなり、直列抵抗のインピーダンスの影響が大きくなる。この結果、太陽電池モジュールの直列抵抗の抵抗値が小さい場合であっても、太陽電池ストリングの故障位置を高精度に検出することができる。

30

【0036】

上記の太陽光発電システムの検査装置において、前記検査信号生成部は、一端側がグラウンドに接続され、他端側が前記正極と前記負極とに順次接続される線路に設けられたスイッチング素子と、前記スイッチング素子にオンオフ動作を繰り返し行わせるオンオフ駆動部とを備えている構成としてもよい。

40

【0037】

上記の構成によれば、検査信号は太陽電池ストリングの電力を利用して生成される。したがって、検査信号を生成するための別途電源が不要となっている。これにより、検査信号を印加する検査信号生成部の構成の小型化および低コスト化が可能となる。

【0038】

上記の太陽光発電システムの検査装置において、前記指標値計測部は付加インピーダンスを備え、前記故障位置判定部による前記故障位置を求める第1の判定動作にて故障位置無しと判定された場合に、前記太陽電池ストリングの正極または負極のみが前記付加インピーダンスを介してグラウンドに接続され、この状態にて前記検査信号正極印加および前記

50

検査信号負極印加が順次行われた後、前記故障位置判定部による第2の判定動作が行われるように、前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部および前記故障位置判定部を制御する第4制御部を備え、前記故障位置判定部は、前記第2の判定動作にて、前記検査信号正極印加の場合の前記指標値と前記検査信号負極印加の場合の前記指標値とを比較し、これら両指標値が異なる値である場合に、前記太陽電池ストリングの故障位置を太陽電池ストリングの中央の位置と判定する構成としてもよい。

【0039】

上記の構成によれば、故障位置判定部による故障位置を求める第1の判定動作にて故障位置無しと判定された場合には、太陽電池ストリングの正極または負極のみが付加インピーダンスを介してグラウンドに接続され、この状態にて検査信号正極印加および検査信号負極印加が順次行われ、その後、故障位置判定部による第2の判定動作が行われる。故障位置判定部は、第2の判定動作にて、検査信号正極印加の場合の指標値と検査信号負極印加の場合の指標値とを比較し、これら両指標値が異なる場合に、太陽電池ストリングの故障位置を太陽電池ストリングの中央の位置と判定する。

10

【0040】

これにより、太陽電池ストリングの故障位置が太陽電池ストリングの中央位置であっても、故障位置を高精度に検出することができる。

【0041】

上記の太陽光発電システムの検査装置において、前記指標値は、インピーダンス、または前記検査信号を印加することにより前記太陽電池ストリングを流れる電流であり、前記太陽電池ストリングの正極と負極とを短絡した両極短絡状態と正極と負極とが短絡していない両極非短絡状態とを切り替える短絡非短絡切替部と、前記指標値計測部による、前記検査信号正極印加の場合および前記検査信号負極印加の場合に前記指標値を計測する第1の指標値計測動作が行われ、前記故障位置判定部による前記故障位置を求める第1の判定動作にて故障位置無しと判定された場合に、前記太陽電池ストリングが前記両極短絡状態となり、この状態にて前記検査信号正極印加または前記検査信号負極印加により前記指標値が計測され、その後、前記故障位置判定部による第2の判定動作が行われるように、前記検査信号生成部、前記接続切替部、前記指標値計測部、前記故障位置判定部および前記短絡非短絡切替部を制御する第5制御部とを備え、前記故障位置判定部は、前記第2の判定動作にて、前記第1の指標値計測動作による前記検査信号正極印加の場合または前記検査信号負極印加の場合の前記指標値と前記両極非短絡状態の場合の前記指標値とを比較し、これら両指標値が異なる場合に、前記太陽電池ストリングの故障位置を太陽電池ストリングの中央の位置と判定する構成としてもよい。

20

30

【0042】

上記の構成によれば、指標値は、インピーダンス、または前記検査信号を印加することにより前記太陽電池ストリングを流れる電流である。第5制御部は、指標値計測部による、検査信号正極印加の場合および検査信号負極印加の場合に指標値を計測する第1の指標値計測動作が行われ、故障位置判定部による故障位置を求める第1の判定動作にて故障位置無しと判定された場合に、太陽電池ストリングが両極短絡状態となり、この状態にて検査信号正極印加または検査信号負極印加により指標値が計測され、その後、故障位置判定部による第2の判定動作が行われるように、検査信号生成部、接続切替部、指標値計測部、故障位置判定部および短絡非短絡切替部を制御する。故障位置判定部は、第2の判定動作にて、第1の指標値計測動作による検査信号正極印加の場合または検査信号負極印加の場合の指標値と両極非短絡状態の場合の指標値とを比較し、これら両指標値が異なる場合に、太陽電池ストリングの故障位置を太陽電池ストリングの中央の位置と判定する。

40

【0043】

これにより、太陽電池ストリングの故障位置が太陽電池ストリングの中央位置であっても、故障位置を高精度かつ容易に検出することができる。

【0044】

上記の太陽光発電システムの検査装置において、前記指標値はインピーダンスであって

50

もよい。

【0045】

上記の構成によれば、太陽電池ストリングの正極と負極とに交流の検査信号を順次印加した場合の検査信号の電圧および電流からインピーダンスを求め、このインピーダンスにより、太陽電池ストリングの故障検査を高精度かつ容易に行うことができる。

【0046】

上記の太陽光発電システムの検査装置において、前記指標値は前記検査信号を印加することにより前記太陽電池ストリングを流れる電流であってもよい。

【0047】

太陽電池ストリングの正極および負極に検査信号を印加した場合、検査信号の電圧は一定であり電流のみが変化する。そこで、指標値を電流のみとすることができる。

10

【0048】

上記の構成によれば、太陽電池ストリングの正極と負極とに交流の検査信号を順次印加した場合の検査信号の電流により、太陽電池ストリングの故障検査を高精度かつ容易に行うことができる。また、太陽電池ストリングの故障検査に検査信号の電流のみを使用するので、太陽電池ストリングの故障検査を簡素化することができる。

【0049】

上記の太陽光発電システムの検査装置において、前記指標値は定在波比であってもよい。

【0050】

20

上記の構成によれば、太陽電池ストリングの正極と負極とに交流の検査信号を順次印加した場合の定在波比を求め、この定在波比により、太陽電池ストリングの故障検査を高精度かつ容易に行うことができる。

【0051】

本発明の太陽光発電システムの検査方法は、直列接続された複数の太陽電池モジュールを有する太陽電池ストリングの正極と負極とに交流の検査信号を順次印加し、各々の場合について、前記検査信号を印加した極から故障位置までの前記太陽電池モジュールの数により変化する指標値を計測する指標値計測工程と、前記検査信号を正極に印加した場合に得た前記指標値と負極に印加した場合に得た前記指標値との比から、前記故障位置を求める判定工程とを備えていることを特徴としている。

30

【0052】

上記の構成によれば、前記太陽光発電システムの検査装置と同様の作用効果を奏する。

【発明の効果】

【0053】

本発明の構成によれば、検査対象の太陽電池ストリングについて、故障が発生していない状態の指標値（例えばインピーダンス）を予め計測しておく必要がなく、また、天候などにより日々変化する、予め計測した指標値（例えばインピーダンス）を使用することなく、太陽電池ストリングの故障位置を求めることができる。これにより、太陽電池ストリングの故障検査を高精度かつ容易に行うことができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

40

【0054】

【図1】本発明の実施の形態の太陽光発電システムの検査装置を備えた太陽光発電システムの構成を示すブロック図である。

【図2】図2の(a)は、図1に示した太陽電池ストリングに設けられた地絡検査回路の構成を示す回路図である。図2の(b)は、図2の(a)に示した回路図を簡略化して示す回路図である。

【図3】図3の(a)は、図2の(a)に示した回路において地絡が発生している状態を示す回路図である。図3の(b)は、図3の(a)に示した回路図を簡略化して示す回路図である。

【図4】図1に示した太陽電池ストリングが非発電状態である場合の、太陽電池ストリン

50

グを R, L, C にて表した等価回路を示す回路図である。

【図 5】図 4 に対応した、図 1 に示した太陽電池ストリングが発電状態である場合の太陽電池ストリングの等価回路の回路図である。

【図 6】図 1 に示した検査装置の動作を示すフローチャートである。

【図 7】図 6 の S 1 7 での太陽電池ストリングの故障の有無の検査の流れを示すフローチャートである。

【図 8】図 1 に示した太陽電池ストリングの検査装置による故障検査の状態の一例を示す概略の回路図である。

【図 9】図 9 の (a) は、図 1 に示した太陽電池ストリングに故障が発生していない場合の図 5 の等価回路を簡略化した回路図である。図 9 の (b) は、検査信号 P 端子印加の場合の図 8 の等価回路を示す回路図である。図 9 の (c) は、検査信号 N 端子印加の場合の図 8 の等価回路を示す回路図である。

【図 10】図 1 に示した太陽電池ストリングの内部において、太陽電池モジュール同士を接続するケーブルが断線している状態の一例を示す説明図である。

【図 11】図 1 に示した検査装置による検査信号 P 端子印加の場合において、印加点にて測定した検査信号電圧 (上段)、および終点にて検出した検査信号電圧 (下段) の波形図である。

【図 12】図 1 に示した検査装置による検査信号 N 端子印加の場合において、印加点にて測定した検査信号電圧 (上段)、および終点にて検出した検査信号電圧 (下段) の波形図である。

【図 13】本発明の他の実施の形態の検査装置における太陽電池ストリングの故障検査の状態を示す概略の回路図である。

【図 14】本発明のさらに他の実施の形態の検査装置における太陽電池ストリングの故障検出の状態を示す概略の回路図である。

【図 15】本発明のさらに他の実施の形態の検査装置における太陽電池ストリングの故障位置の検出状態を示す概略の回路図である。

【図 16】図 16 の (a) は、図 1 に示した太陽電池モジュールを太陽電池セルおよびバイパスダイオードによって示した回路図である。図 16 の (b) は、図 4 にバイパスダイオードを追加して示した回路図である。図 16 の (c) は、図 5 にバイパスダイオードを追加して示した回路図である。

【図 17】図 16 に示したバイパスダイオードの順方向電圧を示すグラフである。

【図 18】本発明のさらに他の実施の形態の検査装置における、太陽電池ストリングへ検査信号を印加する構成を示す回路図である。

【図 19】本発明のさらに他の実施の形態の検査装置の要部の構成を示す回路図である。

【図 20】本発明のさらに他の実施の形態の検査装置の要部の構成を示す回路図である。

【発明を実施するための形態】

【0055】

[実施の形態 1]

本発明の実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。図 1 は、本発明の実施の形態の検査装置 11 を備えた太陽光発電システム 1 の構成を示すブロック図である。

【0056】

[太陽光発電システム 1 の構成]

図 1 に示すように、太陽光発電システム 1 は、複数の太陽電池モジュール 2 が直列接続されて構成された太陽電池ストリング 3 を備えている。太陽電池モジュール 2 は、直列接続された複数の太陽電池セルを備え、パネル状に形成されている。太陽電池ストリング 3 にて発電された電力は、電力線路である電力通電路 4 a, 4 b を通じて PCS (パワーコンディショニングシステム) 5 に供給される。例えば、通電路 4 a には、逆流防止用のダイオード 6 が設けられている。なお、図 1 では、太陽電池ストリング 3 は、10 個の太陽電池モジュール 2 が直列接続されている場合を示している。各太陽電池モジュール 2 とグラウンドとの間には対地間静電容量 C g が生じている。

【 0 0 5 7 】

〔 検査装置 1 1 の構成 〕

検査装置 1 1 は、例えば、毎日あるいは数日毎といった所定の周期にて、または所定の条件が満たされたときに、太陽電池ストリング 3 の故障の有無を検査する。このために、検査装置 1 1 は、P V 電圧計測回路（状態検出部、極間計測部）2 1、P V 電流計測回路（状態検出部、極間計測部）2 2、切替えリレー（経路切替部）2 3 P、2 3 N、検査通電路 2 4、切替えリレー（接続切替部）2 5、信号電流計測回路（指標値計測部）2 6、信号注入回路（検査信号生成部、周波数調整部）2 7、発振回路（検査信号生成部）2 8、フィルタ回路（フィルタ処理部）2 9、信号電圧計測回路（指標値計測部）3 0、フィルタ回路（フィルタ処理部）3 1、演算制御装置 3 2 および地絡検査回路 3 3 を備えている。

10

【 0 0 5 8 】

（ P V 電圧計測回路 2 1、P V 電流計測回路 2 2 ）

P V 電圧計測回路 2 1 は、太陽電池ストリング 3 の P 端子と N 端子との間の電圧、すなわち太陽電池ストリング 3 の出力電圧を計測する。この計測結果は演算制御装置 3 2 へ入力される。P V 電流計測回路 2 2 は、電力通電路 4 a、4 b に設けられ、電力通電路 4 a、4 b を流れる電流、すなわち太陽電池ストリング 3 の出力電流を計測する。この計測結果は演算制御装置 3 2 へ入力される。

【 0 0 5 9 】

（ 切替えリレー 2 3 P、2 3 N ）

切替えリレー 2 3 P、2 3 N は、電力通電路 4 a、4 b に設けられ、太陽電池ストリング 3 から出力される電力の供給経路を、P C S 5 側と検査通電路 2 4 側との間で切り替える。具体的には、切替えリレー 2 3 P の可動接点 2 3 P a は太陽電池ストリング 3 の P 端子と接続され、固定接点 2 3 P b は P V 電流計測回路 2 2 を介して P C S 5 と接続され、固定接点 2 3 P c は検査通電路 2 4 と接続されている。同様に、切替えリレー 2 3 N の可動接点 2 3 N a は太陽電池ストリング 3 の N 端子と接続され、固定接点 2 3 N b は P V 電流計測回路 2 2 を介して P C S 5 と接続され、固定接点 2 3 N c は検査通電路 2 4 と接続されている。

20

【 0 0 6 0 】

（ 切替えリレー 2 5 ）

切替えリレー 2 5 は、検査通電路 2 4 に設けられ、信号電流計測回路 2 6 の入力端子の接続を太陽電池ストリング 3 の P 端子側と N 端子側との間で切り替える。具体的には、切替えリレー 2 5 の可動接点 2 5 a は信号電流計測回路 2 6 の入力端子と接続され、固定接点 2 5 b は検査通電路 2 4 を介して切替えリレー 2 3 P の固定接点 2 3 P c と接続され、固定接点 2 5 c は検査通電路 2 4 を介して切替えリレー 2 3 N の固定接点 2 3 N c と接続されている。

30

【 0 0 6 1 】

（ 発振回路 2 8、信号注入回路 2 7 ）

発振回路 2 8 は、信号注入回路 2 7 にて使用される信号を発振して信号注入回路 2 7 へ供給する。信号注入回路 2 7 は、発振回路 2 8 から供給された信号に基づいて、太陽電池ストリング 3 へ注入する交流の検査信号を生成し、生成した検査信号を、切替えリレー 2 5 および切替えリレー 2 3 P を介して、太陽電池ストリング 3 の P 端子へ供給する。また、上記検査信号を、切替えリレー 2 5 および切替えリレー 2 3 N を介して、太陽電池ストリング 3 の N 端子へ供給する。

40

【 0 0 6 2 】

（ 検査信号 ）

なお、検査信号は、正弦波の交流信号であることが好ましいものの、これに限定されることなく、どのような交流信号であってもよい。また、検査信号 5 1 の周波数は、1 k H z ~ 1 M H z とすることができる。検査信号 5 1 は、上記範囲から適当な周波数のものを選択して使用すればよい。

50

【 0 0 6 3 】

(信号電流計測回路 2 6、フィルタ回路 2 9, 3 1、信号電圧計測回路 3 0)

信号電流計測回路 2 6 は、信号注入回路 2 7 から太陽電池ストリング 3 の P 端子へ上記検査信号が供給されている状態 (以下、検査信号 P 端子印加と称する) において、太陽電池ストリング 3 を流れる検査信号電流を計測する。また、信号注入回路 2 7 から太陽電池ストリング 3 の N 端子へ上記検査信号が供給されている状態 (以下、検査信号 N 端子印加と称する) において、太陽電池ストリング 3 を流れる検査信号電流を計測する。

【 0 0 6 4 】

フィルタ回路 2 9 は、ローパスフィルタあるいはバンドパスフィルタであり、信号電流計測回路 2 6 にて計測された検査信号電流からノイズ成分を除去する。フィルタ回路 2 9 にて処理された検査信号電流は、演算制御装置 3 2 へ入力される。

10

【 0 0 6 5 】

信号電圧計測回路 3 0 は、検査信号 P 端子印加の場合において、上記検査信号の電圧を計測する。また、検査信号 N 端子印加の場合において、上記検査信号 (検査信号電圧) の電圧を計測する。

【 0 0 6 6 】

フィルタ回路 3 1 は、ローパスフィルタあるいはバンドパスフィルタであり、信号電圧計測回路 3 0 にて計測された検査信号電圧からノイズ成分を除去する。フィルタ回路 3 1 にて処理された検査信号電圧は、演算制御装置 3 2 へ入力される。

【 0 0 6 7 】

なお、検査装置 1 1 は、フィルタ回路 2 9, 3 1 を備えずに、フィルタ回路 2 9, 3 1 が行う処理を演算制御装置 3 2 がデジタル信号処理 (フィルタ処理) により行う構成としてもよい。また、P V 電圧計測回路 2 1、P V 電流計測回路 2 2、フィルタ回路 2 9 およびフィルタ回路 3 1 から演算制御装置 3 2 へ入力される電流および電圧等は、A D コンバータ (図示せず) にて A D 変換した後、演算制御装置 3 2 へ入力するようにしてもよい。あるいは、上記 A D を演算制御装置 3 2 の内部にて行ってもよい。

20

【 0 0 6 8 】

(演算制御装置 3 2)

演算制御装置 3 2 は、C P U を有するマイクロコンピュータにて構成され、P V 電圧演算部 4 1、P V 電流演算部 4 2、P W M 可変部 (検査信号生成部、周波数調整部) 4 3、信号電流演算部 4 4、信号電圧演算部 4 5、インピーダンス演算部 (故障位置判定部) 4 6 および制御部 (接続切替部、故障位置判定部、第 1 ~ 第 5 制御部、断線判定部、抵抗値測定部) 4 7 を備えている。

30

【 0 0 6 9 】

P V 電圧演算部 4 1 は、P V 電圧計測回路 2 1 にて計測された太陽電池ストリング 3 の出力電圧を制御部 4 7 での処理に適したデータに変換する。P V 電流演算部 4 2 は、P V 電流計測回路 2 2 にて計測された太陽電池ストリング 3 の出力電流を制御部 4 7 での処理に適したデータに変換する。

【 0 0 7 0 】

P W M 可変部 4 3 は、発振回路 2 8 を制御し、発振回路 2 8 が発振する信号の周波数を検査信号として好適な周波数に調整する。

40

【 0 0 7 1 】

信号電流演算部 4 4 は、信号電流計測回路 2 6 にて計測され、フィルタ回路 2 9 にて処理された検査信号電流をインピーダンス演算部 4 6 での処理に適したデータに変換する。信号電圧演算部 4 5 は、信号電圧計測回路 3 0 にて計測され、フィルタ回路 3 1 にて処理された検査信号電圧をインピーダンス演算部 4 6 での処理に適したデータに変換する。

【 0 0 7 2 】

インピーダンス演算部 4 6 は、信号電流演算部 4 4 および信号電圧演算部 4 5 から提供されるデータに基づいて、太陽電池ストリング 3 における、検査信号 P 端子印加の場合のインピーダンス、および検査信号 N 端子印加の場合のインピーダンスと求める。

50

【 0 0 7 3 】

制御部 4 7 は、P V 電圧演算部 4 1 から供給される太陽電池ストリング 3 の出力電圧を示すデータ、および P V 電流演算部 4 2 から供給される太陽電池ストリング 3 の出力電流を示すデータから、太陽電池ストリング 3 が後述の検査可能状態かどうかを判定する。また、この判定の結果、太陽電池ストリング 3 が検査可能状態であると判定した場合に、切替えリレー 2 3 P , 2 3 N の切り替えを制御し、太陽電池ストリング 3 を検査通電路 2 4 に接続させる。

【 0 0 7 4 】

また、制御部 4 7 は、インピーダンス演算部 4 6 から得た、太陽電池ストリング 3 における検査信号 P 端子印加の場合のインピーダンス、および検査信号 N 端子印加の場合のインピーダンスから、太陽電池ストリング 3 の故障（ケーブル断線および太陽電池モジュール 2 の故障）の有無、および故障がある場合の故障の位置を検出する。

10

【 0 0 7 5 】

（地絡検査回路 3 3）

地絡検査回路 3 3 は、太陽電池ストリング 3 における地絡の有無を検査するものであり、例えば検査通電路 2 4 において、切替えリレー 2 5 と並列に設けられている。太陽電池ストリング 3 に地絡が発生している場合には、太陽電池ストリング 3 の故障検査において、インピーダンス Z_p , Z_n （指標値）を正確に得ることができない。このため、太陽電池ストリング 3 の故障検査を高精度に行うことができない。したがって、太陽電池ストリング 3 の故障検査においては、まず、太陽電池ストリング 3 における地絡の有無を検査し、地絡が発生している場合には、故障検査を中止することが好ましい。

20

【 0 0 7 6 】

地絡検査回路 3 3 には、従来周知の方法によるもの、例えば特許文献 3 に記載のものの使用することができる。あるいは、地絡検査回路 3 3 は、図 2 の (a) に示す構成のものであってもよい。

【 0 0 7 7 】

図 2 の (a) は、太陽電池ストリング 3 に設けられた地絡検査回路（地絡検査部）3 3 の構成を示す回路図である。図 2 の (b) は、図 2 の (a) に示した回路図を簡略化して示す回路図である。図 3 の (a) は、図 2 の (a) に示した回路図において地絡が発生している状態を示す回路図である。図 3 の (b) は、図 3 の (a) に示した回路図を簡略化して示す回路図である。

30

【 0 0 7 8 】

図 2 の (a) および図 2 の (b) に示すように、地絡検査回路 3 3 は、抵抗 R_{11} 、抵抗 R_{12} および電流センサ 6 1 を備えている。抵抗 R_{11} の一端は太陽電池ストリング 3 の P 端子に接続されている。抵抗 R_{12} の一端は太陽電池ストリング 3 の N 端子に接続されている。抵抗 R_{11} の他端と抵抗 R_{12} の他端とは互いに接続され、接地されている。電流センサ 6 1 は、抵抗 R_{11} および抵抗 R_{12} の接地経路に設けられている。

【 0 0 7 9 】

なお、図 2 の (a) および (b) の回路において、抵抗 R_{11} , R_{12} を太陽電池ストリング 3 の地絡検査および故障検査を通してグランドに接続しておく場合には、故障検査に影響のない大きいインピーダンスに設定する。あるいは、故障検査の場合に、抵抗 R_{11} , R_{12} を太陽電池ストリング 3 から切り離すことができるように、抵抗 R_{11} , R_{12} はスイッチを介して太陽電池ストリング 3 に接続しておく構成としてもよい。

40

【 0 0 8 0 】

電流センサ 6 1 により検出された電流は演算制御装置 3 2 へ入力される。演算制御装置 3 2 の制御部 4 7 は、電流センサ 6 1 の検出結果、すなわち電流センサ 6 1 にて検出される電流に基づいて、太陽電池ストリング 3 の地絡の発生の有無を監視する。

【 0 0 8 1 】

図 2 の (a) および図 2 の (b) に示すように、太陽電池ストリング 3 に地絡が発生していない正常時には、地絡検査回路 3 3 に地絡電流が流れず、電流センサ 6 1 は電流を検出し

50

ない。一方、図3の(a)および図3の(b)に示すように、太陽電池ストリング3に地絡が発生すると、地絡検査回路33に地絡電流 I_{11} が流れ、電流センサ61は地絡電流 I_{11} を検出する。したがって、演算制御装置32の制御部47は、電流センサ61の検出結果を受けて、地絡が発生と判定する。

【0082】

〔太陽光発電システム1の動作〕

上記の構成において、太陽光発電システム1では、太陽電池ストリング3の発電した電力をPCS5へ供給している場合、切替りレー23Pは可動接点23Paが固定接点23Pb側に切り替えられ、切替りレー23Nは可動接点23Naが固定接点23Nb側に切り替えられている。

10

【0083】

〔検査装置11の動作〕

(検査装置11の動作の概要)

検査装置11は、太陽電池ストリング3の状態が太陽電池ストリング3の検査が可能な所定の条件下にある状態(以下、検査可能状態と称する)において、太陽電池ストリング3の検査を行う。この場合、制御部47は太陽電池ストリング3が検査可能状態であるかどうかを判断するため、太陽電池ストリング3を監視する。具体的には、制御部47は、PV電圧計測回路21にて計測され、PV電圧演算部41から提供される太陽電池ストリング3の出力電圧、およびPV電流計測回路22にて計測され、PV電流演算部42から提供される太陽電池ストリング3の出力電流を監視する。

20

【0084】

検査装置11は、太陽電池ストリング3の地絡発生の有無の検査、並びに太陽電池ストリング3の故障検査を行う。ここで故障検査の対象は、太陽電池ストリング3におけるケーブル断線および太陽電池モジュール2の故障である。検査装置11は、太陽電池ストリング3の故障検査において、検査信号P端子印加の場合の太陽電池ストリング3のインピーダンス Z_p と、検査信号N端子印加の場合の太陽電池ストリング3のインピーダンス Z_n とを求める。そして、これらインピーダンス Z_p 、 Z_n の比から、太陽電池ストリング3のケーブル断線の有無および太陽電池モジュール2の故障の有無、並びにケーブル断線の位置および故障している太陽電池モジュール2の位置を検出する。

30

【0085】

(太陽電池ストリング3の検査可能状態)

本実施の形態において、太陽電池ストリング3の上記検査可能状態は、太陽電池ストリング3が発電しており、かつ発電量(出力電流)が所定の閾値以下である状態としている。そこで、制御部47は、太陽電池ストリング3が検査可能状態になり、かつ規定の検査時期が到来していれば、切替りレー23Pの可動接点23Paが固定接点23Pc側に切り替えられ、切替りレー23Nの可動接点23Naが固定接点23Nc側に切り替えられるように、切替りレー23P、23Nを制御する。これにより、太陽電池ストリング3のP端子およびN端子が検査通電路24と接続される。

【0086】

ここで、検査可能状態を太陽電池ストリング3が発電しており、かつ発電量が所定の閾値以下である状態としているのは次の理由による。図4は、太陽電池ストリング3が非発電状態である場合の、太陽電池ストリング3をR、L、Cにて表した等価回路の回路図である。図5は、図4に対応した、太陽電池ストリング3が発電状態である場合の太陽電池ストリング3の等価回路の回路図である。

40

【0087】

太陽電池ストリング3が非発電状態である場合、図4に示すように、太陽電池モジュール2は、直列抵抗 R_s 、pn接合における接合容量 C_d および並列抵抗 R_p を含んだ状態となる。また、Lは太陽電池モジュール2間の結線のインダクタンス、 C_g は太陽電池モジュール2の対地間静電容量 C_g である。

【0088】

50

一方、太陽電池ストリング3が発電状態である場合、図5に示すように、太陽電池モジュール2は、直列抵抗 R_s のみを含んだ状態となる。この場合の直列抵抗 R_s は、例えば1以下といった非常に小さい値となる。また、インダクタンス L に関しても対地間容量 C_g に対して非常に小さい値となる。したがって、太陽電池ストリング3が発電状態である場合には、検査信号P端子印加の場合の太陽電池ストリング3のインピーダンス Z_p と、検査信号N端子印加の場合の太陽電池ストリング3のインピーダンス Z_n とを正確に求めることができる。

【0089】

また、太陽電池ストリング3の発電量が所定の閾値以下である状態は、太陽電池ストリング3がPCS5に接続されている状態から検査通電路24に接続される状態に、切替えリレー23P, 23Nを切り替える場合に、アーク発生による悪影響を受けない程度に発電量が低い状態である。したがって、検査可能状態の条件としてこのような条件が設定されていることにより、切替えリレー23P, 23Nは、廉価な低耐圧のものを使用可能であり、かつ容易かつ安全に切り替え動作を行うことができる。

【0090】

(検査装置11の動作の流れ)

図6は、検査装置11の動作を示すフローチャートである。検査装置11は、太陽電池ストリング3を検査する場合、太陽電池ストリング3が検査可能状態(太陽電池ストリング3が発電しており、かつ発電量が所定の閾値以下である状態)であるかどうかを判定する(S11)。太陽電池ストリング3が検査可能状態であるかどうかは、演算制御装置32の制御部47が、PV電圧計測回路(状態検出部)21にて検出される太陽電池ストリング3の出力電圧、およびPV電流計測回路(状態検出部)22にて検出される太陽電池ストリング3の出力電流に基づいて判定する。

【0091】

この判定の結果、太陽電池ストリング3が検査可能状態であれば(S12)、制御部47は、切替えリレー23P, 23Nを制御して、太陽電池ストリング3を検査通電路24に接続させる(S13)。

【0092】

次に、検査装置11は、地絡検出回路33により、太陽電池ストリング3における地絡の発生の有無を検査する(S14)。S14での検査の結果、地絡が発生していれば(S15)、検査装置11は、太陽電池ストリング3において地絡が発生していることを、例えば太陽光発電システム1の管理装置(図示せず)に知らせる(S16)。その後、検査装置11は、太陽電池ストリング3の故障検査を行うことなく、動作を終了する。一方、S14での検査の結果、地絡が発生していなければ(S15)、検査装置11は、太陽電池ストリング3の故障検査(故障の有無の検査)を行う(S17)。

【0093】

検査装置11は、S17での故障検査の結果、太陽電池ストリング3に故障がなければその旨を上記管理装置に知らせた後(S19)、処理を終了する。一方、S17での故障検査の結果、太陽電池ストリング3に故障があれば、その旨を上記管理装置に知らせた後(S20)、処理を終了する。

【0094】

(故障検査の流れ)

図7は、検査装置11によるS17での太陽電池ストリング3の故障検査の流れを示すフローチャートである。

【0095】

検査装置11は、太陽電池ストリング3の故障検査において、検査信号P端子印加と検査信号N端子印加とを順次行う(S31, S33)。この処理は順不動である。信号電流計測回路26は、それぞれの場合について、太陽電池ストリング3を流れる検査信号電流を計測する(S32, S34)。同様に、信号電圧計測回路30は、それぞれの場合について、検査信号電圧を計測する(S32, S34)。

【 0 0 9 6 】

次に、演算制御装置 3 2 のインピーダンス演算部 4 6 は、S 3 2 にて得られた検査信号 P 端子印加の場合の検査信号電流および検査信号電圧から、検査信号 P 端子印加の場合の太陽電池ストリング 3 のインピーダンス Z_p を求める。また、インピーダンス演算部 4 6 は、S 3 4 にて得られた検査信号 N 端子印加の場合の検査信号電流および検査信号電圧から、検査信号 N 端子印加の場合の太陽電池ストリング 3 のインピーダンス Z_n を求める (S 3 5)。なお、インピーダンスの計測には、インピーダンスアナライザを使用してもよい。

【 0 0 9 7 】

次に、演算制御装置 3 2 の制御部 4 7 は、S 3 5 にて得られたインピーダンス Z_p とインピーダンス Z_n との比から、太陽電池ストリング 3 における故障の有無 (ケーブル断線の有無、太陽電池モジュール 2 の故障の有無) および故障の位置 (ケーブル断線の位置、故障している太陽電池モジュール 2 の位置) を求める (S 3 6)。

【 0 0 9 8 】

(故障位置の検出動作)

図 8 は、検査装置 1 1 による太陽電池ストリング 3 の故障検査の状態の一例を示す概略の回路図である。図 8 の例では、P 端子側から見て第 7 番目の太陽電池モジュール 2 (P V 7) に故障が発生している。図 8 において、検査信号 P 端子印加の場合には、切替りリレー 2 5 を切り替えて、検査信号 5 1 を太陽電池ストリング 3 の P 端子に印加する。同様に、検査信号 N 端子印加の場合には、切替りリレー 2 5 を切り替えて、検査信号 5 1 を太陽電池ストリング 3 の N 端子に印加する。

【 0 0 9 9 】

図 8 の例に基づいて、演算制御装置 3 2 のインピーダンス演算部 4 6 によるインピーダンスの演算結果、および制御部 4 7 による太陽電池ストリング 3 の故障の判定結果を示すと次のとおりである。

【 0 1 0 0 】

検査信号 P 端子印加の場合の太陽電池ストリング 3 のインピーダンス Z_p 、検査信号 N 端子印加の場合の太陽電池ストリング 3 のインピーダンス Z_n は、

$$Z_p = 949 \quad , \quad Z_n = 1542$$

となる。インピーダンス Z_p 、 Z_n が互いに異なる値となるのは、太陽電池ストリング 3 に故障が発生しているからであり、故障が発生していなければ、インピーダンス Z_p 、 Z_n は同じ値となる。

【 0 1 0 1 】

また、インピーダンス Z_p 、 Z_n は、故障している太陽電池モジュール 2 の位置に対応した数値となる。この場合、太陽電池ストリング 3 の故障位置を示すインピーダンスは、故障している太陽電池モジュール 2 の位置が検査信号 5 1 を印加する端子 (P 端子、N 端子) の位置から遠いほど小さくなる。したがって、故障位置は、 $Z_n / (Z_p + Z_n)$ と $Z_p / (Z_p + Z_n)$ との比を計算することにより求める。すなわち、 $Z_p + Z_n = 2491$ であるから、 $Z_n / (Z_p + Z_n) : Z_p / (Z_p + Z_n)$ は、

$$\begin{aligned} Z_n / (Z_p + Z_n) : Z_p / (Z_p + Z_n) &= 1542 / 2491 : 949 / 2491 \\ &= 0.62 : 0.38 \end{aligned}$$

となる。また、太陽電池モジュール 2 の数は 10 枚であるから、

$$\begin{aligned} Z_n / (Z_p + Z_n) : Z_p / (Z_p + Z_n) &= 0.62 \times 10 : 0.38 \times 10 \\ &= 6.2 : 3.8 \end{aligned}$$

となる。P 端子側から見れば 6.2 なので、太陽電池ストリング 3 の故障位置は、6 枚番目と 7 番目との間となる。一方、N 端子側から見れば 3.8 なので、太陽電池ストリング 3 の故障位置は、8 番目と 7 番目との間となる。よって、故障位置は、P 端子側から 7 番目の太陽電池モジュール 2 と判定する。

【 0 1 0 2 】

10

20

30

40

50

(太陽電池ストリング 3 の発電中に故障検査することの利点)

図 9 の (a) は、太陽電池ストリング 3 に故障が発生していない場合の図 5 の等価回路 (太陽電池ストリング 3 が発電中の等価回路) を簡略化した回路図である。すなわち、図 5 に示した等価回路は、太陽電池ストリング 3 に故障が発生していない場合、抵抗値が低い直列抵抗 R_s 、およびインピーダンスが低いインダクタンス L を無視して、図 9 の (a) のように示すことができる。なお、図 9 の (a) において、太陽電池ストリング 3 の対地間静電容量 C_g は、 $m_0 (m_0 = 10) \times C_g$ である。

【 0 1 0 3 】

一方、図 8 の例のように、太陽電池ストリング 3 において、P 端子側から 7 番目の太陽電池モジュール 2 (P V 7) が故障している場合、図 5 に示した等価回路は、図 9 の (b) および図 9 の (c) のように示すことができる。図 9 の (b) は、検査信号 P 端子印加の場合の図 8 の等価回路を示す回路図である。図 9 の (c) は、検査信号 N 端子印加の場合の図 8 の等価回路を示す回路図である。

【 0 1 0 4 】

なお、図 9 の (b) において、 C_{gP1} は、P 端子側から見た場合の第 1 番目の太陽電池モジュール 2 (P V 7) から故障している太陽電池モジュール 2 (P V 7) の手前の太陽電池モジュール 2 (P V 6) までの対地間静電容量 C_g であり、 $C_{gP1} = m_1 (m_1 = 6) \times C_g$ である。 C_{gP2} は、P 端子側から見た場合の故障している太陽電池モジュール 2 (P V 7) の次の太陽電池モジュール 2 (P V 8) から最後の太陽電池モジュール 2 (P V 10) までの対地間静電容量 C_g であり、 $C_{gP2} = m_2 (m_2 = 3) \times C_g$ である。

【 0 1 0 5 】

また、図 9 の (c) において、 C_{gN1} は、N 端子側から見た場合の第 1 番目の太陽電池モジュール 2 (P V 10) から故障している太陽電池モジュール 2 (P V 7) の手前の太陽電池モジュール 2 (P V 8) までの対地間静電容量 C_g であり、 $C_{gN1} = m_1 (m_1 = 3) \times C_g$ である。 C_{gN2} は、N 端子側から見た場合の故障している太陽電池モジュール 2 (P V 7) の次の太陽電池モジュール 2 (P V 6) から最後の太陽電池モジュール 2 (P V 1) までの対地間静電容量 C_g であり、 $C_{gN2} = m_2 (m_2 = 6) \times C_g$ である。

【 0 1 0 6 】

図 9 の (b) において、太陽電池モジュール 2 が故障している場合、その太陽電池モジュール 2 の直列抵抗 R_s の抵抗値は、例えば数百 ~ 数千 といった大きな値となる。したがって、検査信号 5 1 により太陽電池ストリング 3 を流れる電流は、ほとんど C_{gP1} を流れる電流 I_{p1} となり、 C_{gP2} を流れる電流 I_{p2} は僅かなものとなる。同様に、図 9 の (c) において、検査信号 5 1 により太陽電池ストリング 3 を流れる電流は、ほとんど C_{gN1} を流れる電流 I_{n1} となり、 C_{gN2} を流れる電流 I_{n2} は僅かなものとなる。

【 0 1 0 7 】

したがって、インピーダンス Z_p は C_{gP1} のみによるものと見なすことができ、インピーダンス Z_n は C_{gN1} のみによるものと見なすことができる。これにより、太陽電池ストリング 3 の故障検査を太陽電池ストリング 3 の発電中に行った場合には、太陽電池ストリング 3 の故障の有無、および太陽電池ストリング 3 の故障位置を高精度に検出することができる。

【 0 1 0 8 】

(太陽電池モジュール 2 のケーブル断線の検出動作)

図 10 は、太陽電池ストリング 3 の内部において、太陽電池モジュール 2 同士を接続するケーブルが断線している状態の一例を示す回路図である。

【 0 1 0 9 】

図 10 に示すように、太陽電池ストリング 3 においてケーブル断線が生じている場合、P V 電圧計測回路 2 1 にて計測される太陽電池ストリング 3 の P 端子と N 端子との間の端子間電圧 (太陽電池ストリング 3 の出力電圧) はほぼ 0 V となる。同様に、P V 電流計測

10

20

30

40

50

回路 2 2 にて計測される太陽電池ストリング 3 の出力電流はほぼ 0 A となる。

【 0 1 1 0 】

したがって、太陽電池モジュール 2 のケーブル断線は、太陽電池ストリング 3 の端子間電圧、または太陽電池ストリング 3 の出力電流を計測し、計測値がケーブル断線を示すものであった場合に、演算制御装置 3 2 の制御部 4 7 は、太陽電池ストリング 3 にケーブル断線有りと判定することができる。具体的には、制御部 4 7 は、例えば上記計測値を所定の閾値と比較し、上記計測値が閾値を一定期間下回った場合に、ケーブル断線有りと判定する。

【 0 1 1 1 】

なお、上記閾値としては、例えばケーブル断線ではないと見なし得る上記計測値の下限値を設定することができる。また、閾値を一定期間下回った場合としているのは、計測値がなんらかの事情により瞬間的に閾値を下回った場合を排除し、ケーブル断線の検出を確実にするためである。

【 0 1 1 2 】

また、太陽電池ストリング 3 の出力電流によりケーブル断線を検出する場合には、切替えリレー 2 3 P , 2 3 N を太陽電池ストリング 3 が P C S 5 に接続されている状態から検査通電路 2 4 に接続される状態に切り替える前に、P V 電流計測回路 2 2 による検出を行う。

【 0 1 1 3 】

(太陽電池モジュール 2 のケーブル断線位置の検出動作)

太陽電池モジュール 2 のケーブル断線の検出動作により、太陽電池モジュール 2 のケーブル断線が検出された場合には、太陽電池モジュール 2 のケーブル断線位置の検出動作を行う。

【 0 1 1 4 】

この場合の検出動作は、上述した太陽電池ストリング 3 の故障位置 (故障している太陽電池モジュール 2) の検出動作と同様である。すなわち、太陽電池ストリング 3 に対して、検査信号 P 端子印加および検査信号 N 端子印加を行ってそれぞれの場合のインピーダンス Z_p , Z_n を求め、 $Z_n / (Z_p + Z_n) : Z_p / (Z_p + Z_n)$ を計算することにより、ケーブル断線の位置を検出する。

【 0 1 1 5 】

(検査信号電流および検査信号電圧をフィルタ処理することの利点)

図 1 1 は、検査信号 P 端子印加の場合において、印加点にて測定した検査信号電圧 (上段) 、および終点にて検出した検査信号電圧 (下段) の波形図である。図 1 2 は、検査信号 N 端子印加の場合において、印加点にて測定した検査信号電圧 (上段) 、および終点にて検出した検査信号電圧 (下段) の波形図である。

【 0 1 1 6 】

図 1 1 および図 1 2 に示すように、印加点の検査信号の電圧波形に対して終点の検査信号の電圧波形は、ノイズが付加されたものとなっている。そこで、終点から得られる検査信号電流 (検査信号電流) および電圧 (検査信号電圧) は、フィルタ処理によりノイズ成分を除去した後に、インピーダンス演算部 4 6 でのインピーダンスの演算に使用することが好ましい。これにより、インピーダンス Z_p , Z_n を正確に求めることができる。この結果、検査装置 1 1 での太陽電池ストリング 3 の故障検査を高精度に行うことができる。

【 0 1 1 7 】

なお、例えば図 8 および図 9 では、検査信号 5 1 (検査信号源) と太陽電池モジュール 2 とが同じ対象に接地されているように示している。しかしながら、太陽電池モジュール 2 は、検査信号 5 1 と同じ対象に接地されている必要はない。すなわち、太陽光発電システム 1 には種々の形態 (種々の接地形態) が存在し、本実施の形態の検査装置 1 1 、および以下の実施の形態に示す検査装置 1 1 は、どのような形態の太陽光発電システム 1 の太陽電池ストリング 3 の故障検査にも対応可能である。例えば、太陽電池ストリング 3 の太陽電池モジュール 2 の接地形態は、例えばフレームへの接地、大地への接地、あるいは空

10

20

30

40

50

気中の容量に対する接地であってもよく、検査装置 11 は、太陽光発電システム 1 の接地形態に影響されることなく、太陽電池ストリング 3 の故障検査を行うことができる。

【0118】

[実施の形態 2]

(ノイズ対策の終端インピーダンスを配置した構成)

本発明の他の実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。図 13 は、本実施の形態の検査装置 11 における太陽電池ストリング 3 の故障検査の状態を示す概略の回路図である。

【0119】

図 13 は、検査信号 P 端子印加の場合を示しており、N 端子が終端インピーダンス Z_{t1} を介して接地されている。同様に、検査信号 N 端子印加の場合には、終端の P 端子が終端インピーダンス Z_{t1} を介して接地される(図示せず)。

10

【0120】

上記の構成によれば、太陽電池ストリング 3 の故障検査の場合において、太陽電池ストリング 3 の P 端子と N 端子とのうち、検査信号が印加される端子と反対側の端子が終端インピーダンス Z_{t1} を介して接地されるので、検査信号にノイズが付加され難くなる。これにより、検査信号電流および検査信号電圧を計測して求めるインピーダンス Z_p 、 Z_n は正確なものとなる。

【0121】

なお、終端インピーダンス Z_{t1} には、インピーダンスを生じるコンデンサ、抵抗あるいはインダクタンス等のインピーダンス素子を使用することができる。

20

【0122】

[実施の形態 3]

(真ん中故障対策の終端インピーダンスを配置した構成)

本発明のさらに他の実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。図 14 は、本実施の形態の検査装置 11 における太陽電池ストリング 3 の故障検査の状態(故障している太陽電池モジュール 2 の検出状態)を示す概略の回路図である。なお、図 14 は、検査信号 P 端子印加の場合、および太陽電池ストリング 3 の P 端子側および N 端子側から見て、真ん中位置の太陽電池モジュール 2 が故障している場合を示している。

【0123】

前述のように、太陽電池ストリング 3 にケーブル断線および故障が無い場合、検査信号 P 端子印加の場合のインピーダンス Z_p と検査信号 N 端子印加の場合のインピーダンス Z_n は同じ値となる。

30

【0124】

一方、例えば太陽電池ストリング 3 が直列接続された奇数枚の太陽電池モジュール 2 を備えている場合において、P 端子側および N 端子側から見て真ん中位置の太陽電池モジュール 2 が故障している場合にも、同様に、検査信号 P 端子印加の場合のインピーダンス Z_p と検査信号 N 端子印加の場合のインピーダンス Z_n は同じ値となる。

【0125】

そこで、このような場合には、P 端子と N 端子とのうち、検査信号を印加する端子と反対側の端子に付加インピーダンス Z_{t2} を接続し、その端子を付加インピーダンス Z_{t2} を介して接地する。これにより、インピーダンス Z_p 、 Z_n は、付加インピーダンス Z_{t2} の分だけバランスが崩れ、異なる値となる。すなわち、付加インピーダンス Z_{t2} を接続してインピーダンス Z_p 、 Z_n が互いに異なる値となった場合には、P 端子側および N 端子側から見て真ん中位置の太陽電池モジュール 2 が故障していることを検出することができる。

40

【0126】

なお、終端インピーダンス Z_{t2} には、インピーダンスを生じるコンデンサ、抵抗あるいはインダクタンス等のインピーダンス素子を使用することができる。

【0127】

50

[実施の形態 4]

(複数個所の故障に対応した構成)

本発明のさらに他の実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。図 15 は、本実施の形態の検査装置 11 における太陽電池ストリング 3 の故障検査の状態 (故障している太陽電池モジュール 2 の検出状態) を示す概略の回路図である。

【0128】

本実施の形態の検査装置 11 は、太陽電池ストリング 3 における複数個所の故障を検出できるようになっている。このために、太陽電池ストリング 3 には、図 15 に示すように、太陽電池モジュール 2 同士を接続するケーブルのうち、例えば中間位置のケーブルに、ケーブルの遮断と導通とを切り替える遮断リレー (ストリング分断切替部) 63 が設けら

10

【0129】

なお、遮断リレー 63 を設ける位置は、太陽電池ストリング 3 の中間位置に限定されず、太陽電池ストリング 3 の中途の適当な位置であればよい。

【0130】

また、上記のような太陽電池ストリング 3 の構成に対応し、検査装置 11 は、切替えリレー 25 に代えて、切替えリレー (接続切替部) 64, 65 を備えている。切替えリレー 64 は、検査信号 51 を太陽電池ストリング 3 の本来の P 端子である P1 端子に印加する検査信号 P1 端子印加と、検査信号 51 を本来の N 端子である N2 端子に印加する検査信号 N2 端子印加とに切り替える。切替えリレー 65 は、検査信号 51 を太陽電池ストリング 3 の中間 P 端子である P1 端子に印加する検査信号 P2 端子印加と、検査信号 51 を中間 N 端子である N1 端子に印加する検査信号 N1 端子印加とに切り替える。

20

【0131】

(検査装置 11 の動作)

上記の構成において、図 15 に示した太陽電池ストリング 3 は、P 側から見て第 1 番目の太陽電池モジュール 2 (PV1) から第 5 番目の太陽電池モジュール 2 (PV5) を一つの太陽電池ストリング (第 1 小ストリング) と見なすことができ、第 6 番目の太陽電池モジュール 2 (PV6) から第 10 番目の太陽電池モジュール 2 (PV10) を一つの太陽電池ストリング (第 2 小ストリング) と見なすことができる。これら第 1 および第 2 小ストリングに対しては、太陽電池ストリング 3 に対して行った前述の故障検査を同様に行う。これにより、第 1 および第 2 小ストリングのそれぞれに故障個所が存在していても、それら故障個所を検出することができる。

30

【0132】

なお、第 1 小ストリングを検査する場合において、検査信号 P1 端子印加の場合には、切替えリレー 64 を P1 端子に切り替え、切替えリレー 65 を非接続端子 65a に切り替える。また、検査信号 N1 端子印加の場合には、切替えリレー 65 を N1 端子に切り替え、切替えリレー 64 を非接続端子 65a に切り替える。同様に、第 2 小ストリングを検査する場合において、検査信号 P2 端子印加の場合には、切替えリレー 65 を P2 端子に切り替え、切替えリレー 64 を非接続端子 64a に切り替える。また、検査信号 N2 端子印加の場合には、切替えリレー 64 を N2 端子に切り替え、切替えリレー 65 を非接続端子 65a に切り替える。

40

【0133】

[実施の形態 5]

(検査信号 51 の電圧を故障検査に好適な電圧に設定する構成)

本発明のさらに他の実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。図 16 の (a) は、図 1 に示した太陽電池モジュール 2 を太陽電池セル 71 およびバイパスダイオード 72 によ

50

って示した回路図である。

【0134】

本実施の形態において、検査装置11は、信号注入回路27から太陽電池ストリング3に供給する検査信号として、太陽電池モジュール2が備えるバイパスダイオードの影響を受けない微小な電圧の信号を印加するようになっている。

【0135】

太陽電池モジュール2は、図16の(a)に示すように、複数の太陽電池セル71が直列接続されたものであり、直列接続された複数の太陽電池セル71に対して、バイパスダイオード72が並列に接続されている。バイパスダイオード72は、アノードが太陽電池モジュール2の負極に接続され、カソードが太陽電池モジュール2の正極に接続されている。

10

【0136】

図16の(b)は、図4(太陽電池ストリング3が非発電状態である場合の、太陽電池ストリング3をR, L, Cにて表した等価回路)にバイパスダイオード72を追加して示した回路図である。図16の(c)は、図5(図4に対応した、太陽電池ストリング3が発電状態である場合の太陽電池ストリング3の等価回路)にバイパスダイオード72を追加して示した回路図である。図17は、図16に示したバイパスダイオード72の順方向電圧Vfを示すグラフである。

【0137】

図17に示すように、バイパスダイオード72は、順方向電圧Vfよりも小さい電圧を印加した場合、ほとんど電流が流れない。そこで、検査装置11は、検査信号51として、バイパスダイオード72の順方向電圧Vfよりも小さい電圧のものを使用する。これにより、検査信号P端子印加の場合および検査信号N端子印加の場合のインピーダンスZp, Znを正確に求めることができ、太陽電池ストリング3の故障検査を高精度に行うことができる。

20

【0138】

[実施の形態6]

(太陽電池ストリング3の電力を利用して検査信号51を生成する構成)

本発明のさらに他の実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。本実施の形態の検査装置11は、太陽電池ストリング3が発電する電力を利用して、検査信号51を生成するようになっている。図18は、本実施の形態の検査装置11における、太陽電池ストリング3へ検査信号51を印加する構成を示す回路図である。

30

【0139】

図18に示すように、本実施の形態の検査装置11は、検査信号生成回路81を備えている。検査信号生成回路81は、演算制御装置32のPWM可変部43、発振回路(オンオフ駆動部)28およびSSR(Solid State Relay:ソリッドステートリレー)82により構成されている。

【0140】

PWM可変部43は、前述のように、発振回路28を制御し、発振回路28が発振する信号の周波数を検査信号として好適な周波数に調整する。発振回路28は、SSR82へ供給するPWM信号を発振する。SSR35は、太陽電池ストリング3のP端子(図18の場合)とグラウンドとの間の通電路に設けられ、発振回路28から出力されるPWM信号に基づいて、通電路を開閉する。これにより、太陽電池ストリング3のP端子に交流の検査信号51が印加された状態とすることができる。

40

【0141】

なお、図18は、検査信号P端子印加の場合であり、検査信号N端子印加の場合とす場合には、検査信号生成回路81を太陽電池ストリング3のN端子に接続する。また、SSR82は、スイッチング素子であり、これに代えて他のスイッチング素子を使用してもよい。

【0142】

50

上記の構成によれば、太陽電池ストリング3の電力を利用して、太陽電池ストリング3へ印加する検査信号51を生成するので、検査信号51を生成するための別途電源が不要となっている。これにより、検査装置11の小型化および低コスト化が可能となる。

【0143】

[実施の形態7]

(検査信号51を印加した場合の定在波比により故障検査を行う構成)

本発明のさらに他の実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。本実施の形態の検査装置11は、太陽電池ストリング3に検査信号51を印加した場合の定在波比(SWR: Standing Wave Ratio)を計測し、得られたSWR(指標値)に基づいて、太陽電池ストリング3の故障検査を行うようになっている。図19は、本実施の形態の検査装置11における要部の構成を示す回路図である。

10

【0144】

以上の実施の形態では、検査装置11は、検査信号P端子印加の場合および検査信号N端子印加の場合の太陽電池ストリング3のインピーダンス Z_p 、 Z_n を求め、これらインピーダンス Z_p 、 Z_n に基づいて太陽電池ストリング3の故障検査を行う構成としている。本実施の形態の検査装置11は、これに代えて、検査信号P端子印加の場合および検査信号N端子印加の場合の定在波比(あるいはリターンロス)を求め、求めた定在波比(あるいはリターンロス)に基づいて太陽電池ストリング3の故障検査を行う構成としている。

【0145】

20

すなわち、複数の太陽電池モジュール2を含む太陽電池ストリング3の線路は、モノポールアンテナと見なすことができる。したがって、太陽電池ストリング3に故障がある場合、検査信号P端子印加の場合と検査信号N端子印加の場合とではSWRが異なる。そこで、本実施の形態の検査装置11では、上記のSWRの相違を利用して、太陽電池ストリング3の故障検査を行う。

【0146】

この場合、検査装置11は、図19に示すように、図1に示した構成において、例えば信号電流計測回路26に代えてSWR計測器85を備えていればよい。演算制御装置32は、SWR計測器(例えばWRメータ)85にて計測された、P端子に検査信号51を印加した場合のSWRとN端子に検査信号51を印加した場合のSWRとから、太陽電池ストリング3におけるケーブル断線の有無、および太陽電池ストリング3における故障位置を求める。

30

【0147】

また、検査信号51の周波数は、例えば前述した1kHz~1MHzの範囲において、高い周波数に設定しておくことが好ましい。また、検査信号51の周波数は、モノポールアンテナと見なされる太陽電池ストリング3の線路に共振するように設定しておくことが好ましい。この場合、検査信号51の波長は、太陽電池ストリング3の線路長に対して、例えば1/4波長もしくは1/2波長等とする。このような構成では、太陽電池ストリング3に故障が無い場合、SWRは小さい値(例えば1)となる一方、太陽電池ストリング3に故障が有る場合、SWRは大きい値となるので、故障検査が容易である。

40

【0148】

なお、太陽電池ストリング3において、ケーブル断線が生じている場合、印加した検査信号51は、断線位置から印加位置に戻ってくる。一方、断線せずに太陽電池モジュール2が故障して高抵抗となっている場合、印加した検査信号51は一部が故障位置から戻り、残りの一部は故障位置をすり抜ける。故障検査においては、太陽電池ストリング3の終端(検査信号51を印加する端子とは反対側の端子)をシャント抵抗を介してグランドに接続しておくことが好ましい。これにより、太陽電池ストリング3のケーブル断線を確実に検出することができる。

【0149】

[実施の形態8]

50

(P N 端子の短絡により全体のインピーダンスを計測する構成)

本発明のさらに他の実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。本実施の形態の検査装置 11 は、太陽電池ストリング 3 の P 端子と N 端子とを短絡させて、太陽電池ストリング 3 の全体のインピーダンスを計測するようになっている。図 20 は、本実施の形態の検査装置 11 における、検査装置 11 の要部の構成を示す回路図である。

【 0 1 5 0 】

図 20 に示すように、検査装置 11 は、太陽電池ストリング 3 の P 端子と N 端子とを、抵抗 R 21 および R 22 を介して短絡できるようになっている。このために、抵抗 R 21 と P 端子との間に、これら両者の接続をオンオフするリレー 91 が設けられ、抵抗 R 22 と N 端子との間に、これら両者の接続をオンオフするリレー 92 が設けられている。これらリレー（短絡非短絡切替部）91, 92 のオンオフ動作は、演算制御装置 32 の制御部 47 によって制御される。

10

【 0 1 5 1 】

上記の構成において、太陽電池ストリング 3 の故障検査を行う場合には、前述のように、検査信号 P 端子印加および検査信号 N 端子印加として、インピーダンス Z_p , Z_n を求める。次に、これらインピーダンス Z_p , Z_n に基づいて、太陽電池モジュール 2 の故障位置を求める。

【 0 1 5 2 】

一方、インピーダンス Z_p , Z_n が互いに同じ値であれば、太陽電池ストリング 3 にケーブル断線または太陽電池モジュール 2 の故障が生じていない場合と、太陽電池ストリング 3 の中央位置にて、ケーブル断線または太陽電池モジュール 2 の故障が生じている場合とが考えられる。

20

【 0 1 5 3 】

そこで、インピーダンス Z_p , Z_n が互いに同じ値である場合には、リレー 91, 92 をオンにし、P 端子または N 端子に検査信号 51 を印加することにより、太陽電池ストリング 3 の全体インピーダンス Z_{pn} を求める。全体インピーダンス Z_{pn} は、太陽電池ストリング 3 にケーブル断線が生じている場合、およびいずれかの太陽電池モジュール 2 に故障が生じている場合であっても、インピーダンス Z_p , Z_n を求める場合と同様にして求めることができる。

【 0 1 5 4 】

30

次に、全体インピーダンス Z_{pn} とインピーダンス Z_p または Z_n とを比較し、両者が異なっていれば、制御部 47 は、太陽電池ストリング 3 の中央位置にて、ケーブル断線または太陽電池モジュール 2 の故障が生じていると判定することができる。また、両者が同じ値であれば、制御部 47 は、太陽電池ストリング 3 について故障無し、と判定することができる。

【 0 1 5 5 】

[実施の形態 9]

(検査信号 51 の周波数を直列抵抗 R_s の値に応じて変化させる構成)

本発明のさらに他の実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。本実施の形態の検査装置 11 は、検査信号 51 の周波数を直列抵抗 R_s の値に応じて変化させる構成となっている。

40

【 0 1 5 6 】

太陽電池モジュール 2 の直列抵抗 R_s は、太陽電池モジュール 2 が劣化することにより小さくなる。直列抵抗 R_s の値が小さい故障でも検出しようとする、正常な太陽電池モジュール 2 の直列抵抗 R_s と故障した太陽電池モジュール 2 の直列抵抗 R_s との差が小さくなり、太陽電池ストリング 3 の故障検査において、故障した太陽電池モジュール 2 の検出が困難となる。

【 0 1 5 7 】

そこで、検査装置 11 は、太陽電池モジュール 2 の直列抵抗 R_s の値に応じて検査信号 51 の周波数を変化させ、太陽電池ストリング 3 のインピーダンスにおいて、相対的に、

50

静電容量のインピーダンスの影響を小さくし（0に近づけ）、直列抵抗 R_s のインピーダンスの影響が大きくなるようにする。具体的には、検査信号51の周波数を直列抵抗 R_s の抵抗値が小さくなるほど高くする。

【0158】

この場合には、例えば直列抵抗 R_s に閾値を設定しておき、その閾値を境界として検査信号51の周波数を複数段階に切り替えるようにしてもよい。また、検査信号51の周波数は、図1に示した検査装置11において、PWM可変部43にて発振回路28を制御することにより可変となる。また、太陽電池モジュール2の直列抵抗 R_s の値は、抵抗値測定部となる従来周知の手法、例えば特許文献4に開示されている手法により求めることができる。

10

【0159】

上記の構成によれば、太陽電池モジュール2の直列抵抗 R_s の値が低下した場合であっても、太陽電池モジュール2の故障位置を高精度に検出することができる。

【0160】

[実施の形態10]

（計測電流のみにより故障検査を行う構成）

本発明のさらに他の実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。以上の実施の形態の検査装置11では、太陽電池ストリング3の故障検査において、検査信号P端子印加の場合および検査信号N端子印加の場合にてインピーダンス Z_p 、 Z_n を求め、これらインピーダンス Z_p 、 Z_n に基づいて行う構成となっている。

20

【0161】

これに対し、本実施の形態の検査装置11では、太陽電池ストリング3の故障検査において、検査信号P端子印加の場合および検査信号N端子印加の場合にてそれぞれ検査信号51を印加した場合の計測電流（指標値）を求め、それら計測電流に基づいて行う構成としている。

【0162】

検査信号P端子印加の場合および検査信号N端子印加の場合では、計測される検査信号51の電圧値は同じであり、計測される検査信号51の電流値のみが異なる。したがって、インピーダンス Z_p 、 Z_n に代えて、検査信号P端子印加の場合での計測電流 I_p および検査信号N端子印加の場合での計測電流 I_n を使用することにより、太陽電池ストリング3の故障検査を行うことができる。

30

【0163】

この場合、図1に示した検査装置11において、演算制御装置32のインピーダンス演算部46は、インピーダンス Z_p 、 Z_n の比（ $Z_n / (Z_p + Z_n) : Z_p / (Z_p + Z_n)$ ）に代えて、計測電流 I_p 、 I_n の比（ $I_p / (I_p + I_n) : I_n / (I_p + I_n)$ ）を演算する。制御部47は、計測電流 I_p 、 I_n の比（ $I_p / (I_p + I_n) : I_n / (I_p + I_n)$ ）に基づいて、太陽電池モジュール2の故障位置を求める。

【0164】

上記の構成によれば、前記実施の形態の検査装置11と同様、太陽電池ストリング3の故障の有無、および太陽電池ストリング3の故障位置を高精度に検出することができる。なお、本実施の形態の検査装置11の構成（太陽電池ストリング3の故障検査の手法）は、他の各実施の形態においても適用可能である。

40

【0165】

[実施の形態11]

（太陽電池ストリング3の非発電時に故障検査を行う構成）

本発明のさらに他の実施の形態を図面に基づいて以下に説明する。以上の実施の形態では、検査装置11は、太陽電池ストリング3の発電時に太陽電池ストリング3の故障検査を行う構成となっている。これに対し、本実施の形態では、検査装置11は、太陽電池ストリング3の非発電時に故障検査を行う構成となっている。

【0166】

50

太陽電池ストリング3の非発電時の等価回路は図2に示したものとなる。この場合、静電容量C_dは、検査信号P端子印加および検査信号N端子印加の場合のインピーダンスZ_p、Z_nに大きく影響する。そこで、本実施の形態では、静電容量C_dによるインピーダンスを小さくするため、検査信号51として、1kHz～1MHzの範囲において、発電時の故障検査の場合よりも高い周波数のもの（例えば1MHz）を使用する。

【0167】

なお、静電容量C_dは、太陽電池モジュール2の種類によって異なるものの、同一の太陽電池モジュール2を使用する太陽電池ストリング3内においては、各太陽電池モジュール2についてほぼ同一である。また、各太陽電池モジュール2の静電容量C_dは、太陽電池モジュール2が直列接続された状態では、直列接続された状態となる。したがって、静電容量C_dによる太陽電池ストリング3のインピーダンスは、直列接続された太陽電池モジュール2の数が多くなるほど、大きくなる。

10

【0168】

また、検査装置11では、故障検査をインピーダンスZ_p、Z_nの比（Z_n / (Z_p + Z_n) : Z_p / (Z_p + Z_n））の比を求めることにより行うので、静電容量C_pによるインピーダンスが存在している場合であっても、そのインピーダンスの検査結果に及ぼす影響は小さくすることができる。

【0169】

また、太陽電池ストリング3の故障検査を太陽電池ストリング3の非発電時に行う検査装置11は、太陽電池ストリング3の故障検査を太陽電池ストリング3の発電時に行う検査装置11と比較して、静電容量C_dの存在により、故障位置の検査精度において劣ることになる。しかしながら、ケーブル断線の有無については、インピーダンスZ_p、Z_nを比較することにより判定できるので、太陽電池ストリング3の故障検査を発電時に行う場合と同様に、高い精度にて検出することができる。

20

【0170】

上記の構成によれば、本実施の形態の検査装置11は、前記実施の形態の検査装置11と同様、太陽電池ストリング3の故障の有無、および太陽電池ストリング3の故障位置を高精度に検出することができる。なお、本実施の形態の検査装置11の構成（太陽電池ストリング3の故障検査の手法）は、他の各実施の形態においても適用可能である。

【0171】

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせ得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

30

【産業上の利用可能性】

【0172】

本発明は、太陽光発電システムの太陽電池モジュールを直列接続して構成された太陽電池ストリングの故障検査に利用することができる。

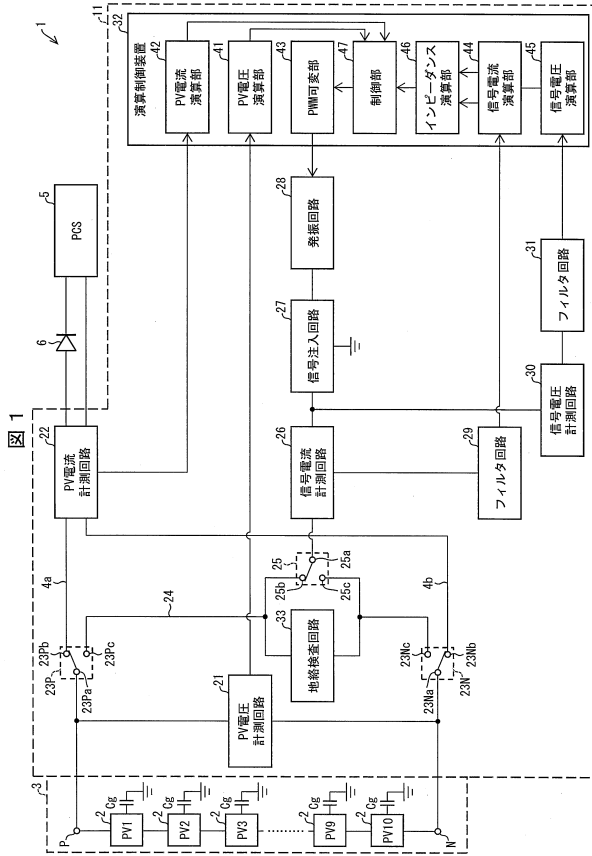
【符号の説明】

【0173】

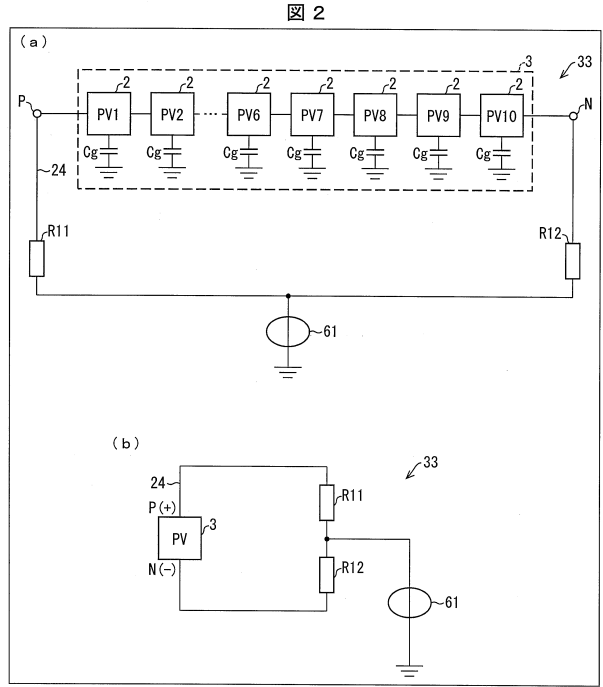
- | | | |
|-----|-----------------------|----|
| 1 | 太陽光発電システム | 40 |
| 2 | 太陽電池モジュール | |
| 3 | 太陽電池ストリング | |
| 11 | 検査装置 | |
| 21 | PV電圧計測回路（状態検出部、極間計測部） | |
| 22 | PV電流計測回路（状態検出部、極間計測部） | |
| 23P | 切替えリレー（経路切替部） | |
| 23N | 切替えリレー（経路切替部） | |
| 24 | 検査通電路 | |
| 25 | 切替えリレー（接続切替部） | |
| 26 | 信号電流計測回路（指標値計測部） | 50 |

2 7	信号注入回路 (検査信号生成部)	
2 8	発振回路 (検査信号生成部、オンオフ駆動部)	
2 9	フィルタ回路 (フィルタ処理部)	
3 1	フィルタ回路 (フィルタ処理部)	
3 0	信号電圧計測回路 (指標値計測部)	
3 2	演算制御装置	
3 3	地絡検査回路 (地絡検査部)	
4 3	P W M 可変部 (検査信号生成部、周波数調整部)	
4 6	インピーダンス演算部 (故障位置判定部)	
4 7	制御部 (接続切替部、故障位置判定部、第 1 ~ 第 5 制御部、断線判定部、抵抗 値測定部)	10
5 1	検査信号	
6 1	電流センサ	
6 3	遮断リレー (ストリング分断切替部)	
6 4	切替えリレー (接続切替部)	
6 5	切替えリレー (接続切替部)	
7 1	太陽電池セル	
7 2	バイパスダイオード	
8 1	検査信号生成回路 (検査信号生成部)	
8 2	ソリッドステートリレー (S S R、スイッチング素子)	20
8 5	S W R 計測器	
9 1	リレー (短絡非短絡切替部)	
9 2	リレー (短絡非短絡切替部)	
R s	直列抵抗	
Z t 1	終端インピーダンス	
Z t 2	付加インピーダンス	

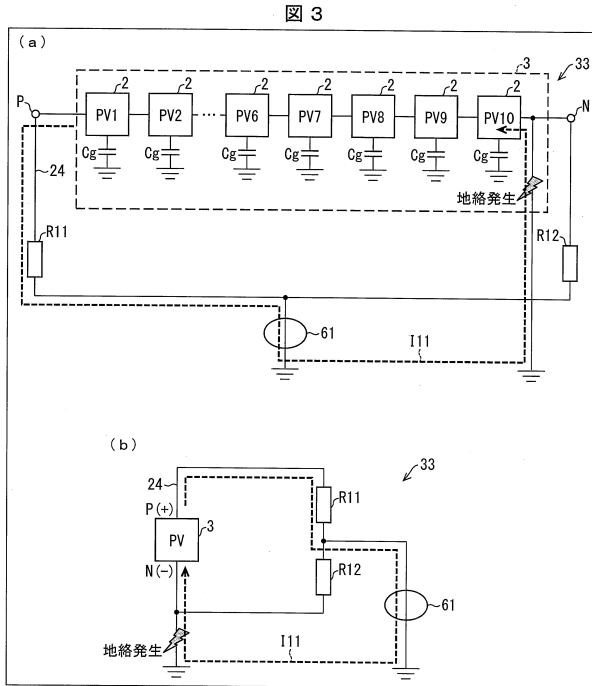
【図1】



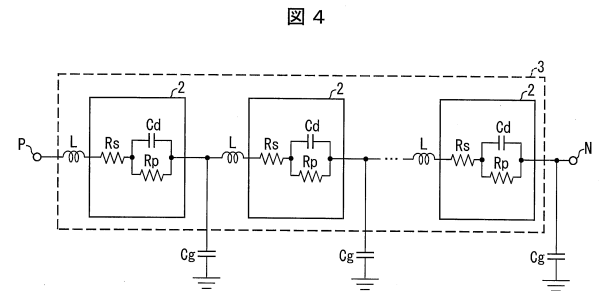
【図2】



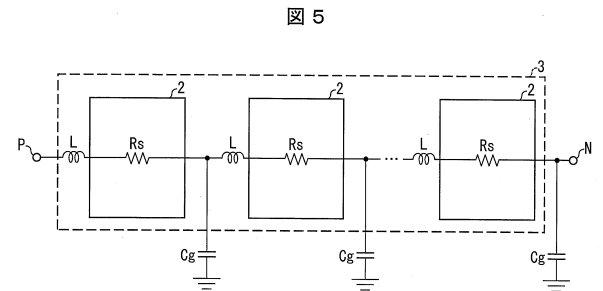
【図3】



【図4】

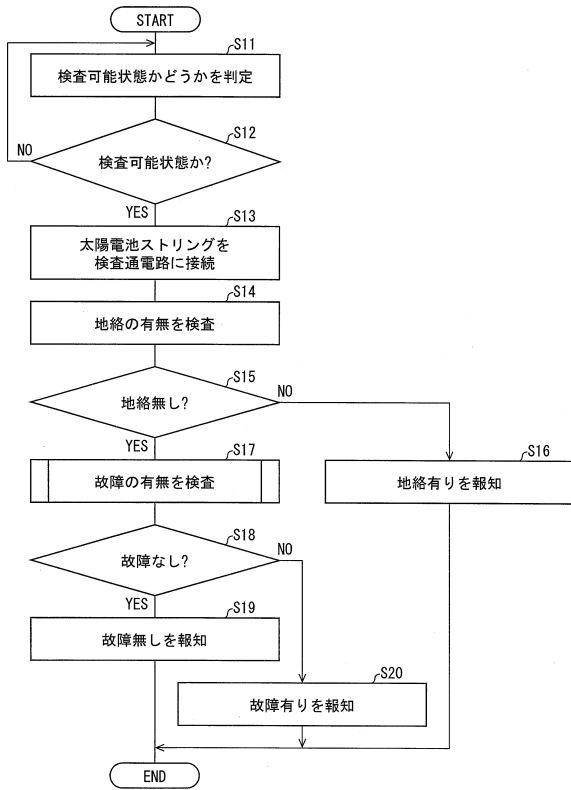


【図5】



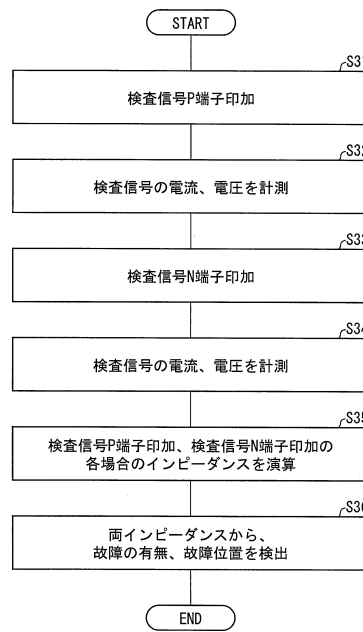
【図6】

図6



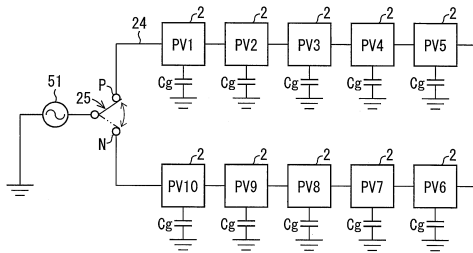
【図7】

図7



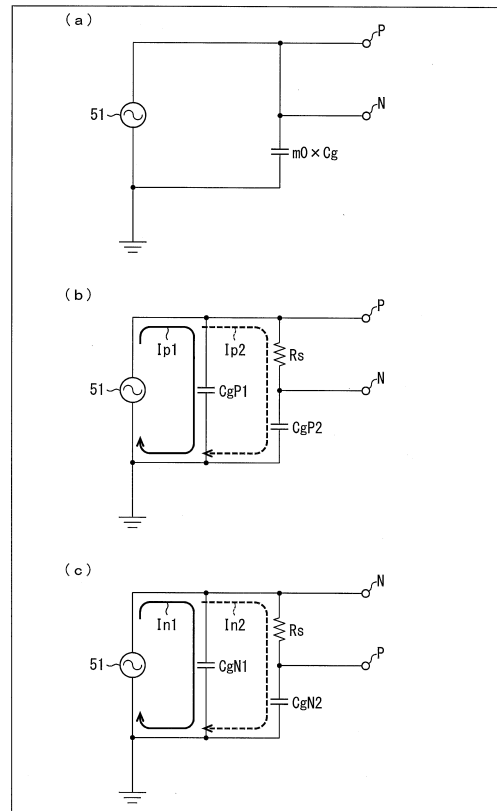
【図8】

図8



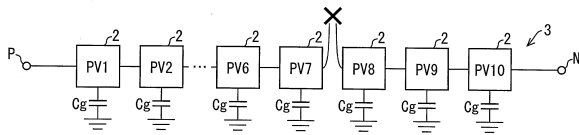
【図9】

図9



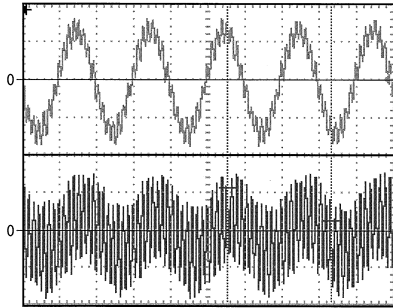
【図10】

図10



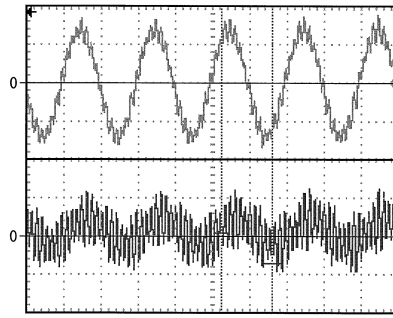
【図11】

図11



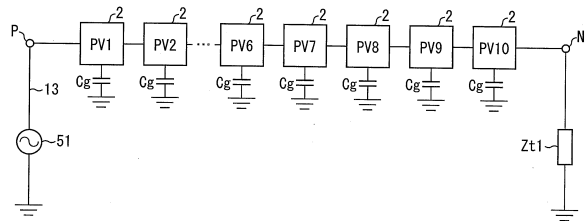
【図12】

図12



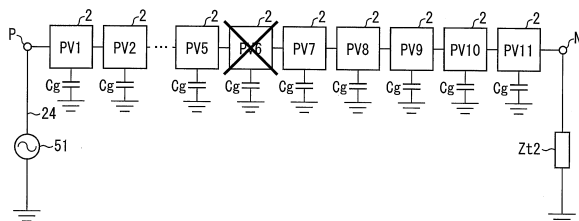
【図13】

図13



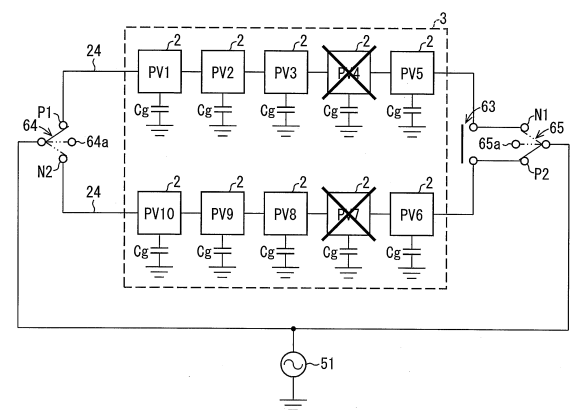
【図14】

図14



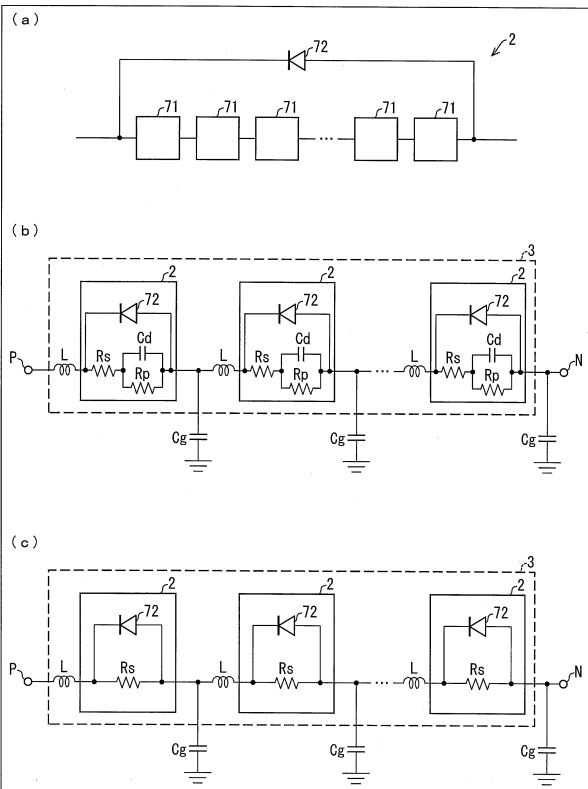
【図15】

図15

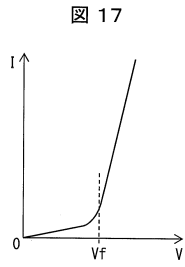


【図16】

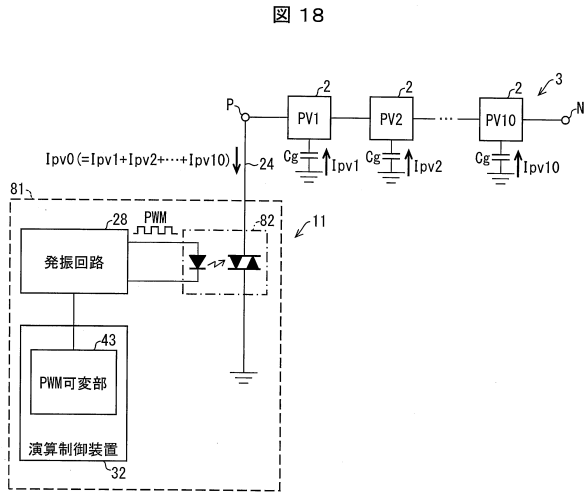
図16



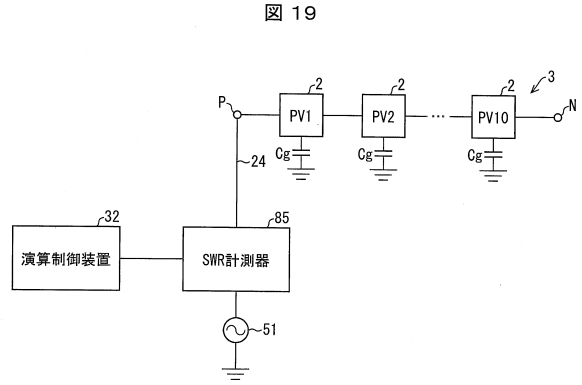
【図17】



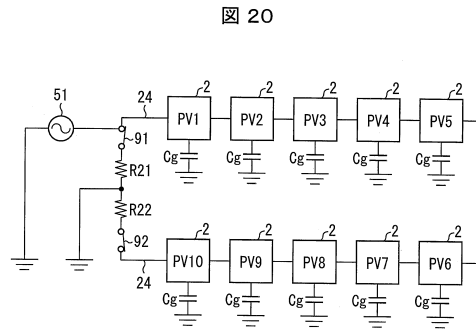
【図18】



【図19】



【図20】



フロントページの続き

(72)発明者 森田 康介

京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内

審査官 嵯峨根 多美

(56)参考文献 特開2012-256771(JP,A)

特開2012-238716(JP,A)

特開2012-084809(JP,A)

特開2013-033826(JP,A)

米国特許出願公開第2014/0062500(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L31/02-31/078

H01L31/18-31/20

H01L51/42-51/48

H02S10/00-10/40

H02S30/00-99/00

G01R31/02-31/11

G01R31/26-31/27