

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6057094号  
(P6057094)

(45) 発行日 平成29年1月11日(2017.1.11)

(24) 登録日 平成28年12月16日(2016.12.16)

(51) Int.Cl.

F 1

HO2M 7/48 (2007.01)  
GO1R 27/16 (2006.01)HO2M 7/48  
HO2M 7/48  
HO2M 7/48  
GO1R 27/16M  
E  
R

請求項の数 13 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2014-511863 (P2014-511863)  
 (86) (22) 出願日 平成24年5月24日 (2012.5.24)  
 (65) 公表番号 特表2014-517667 (P2014-517667A)  
 (43) 公表日 平成26年7月17日 (2014.7.17)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2012/059650  
 (87) 国際公開番号 WO2012/160118  
 (87) 国際公開日 平成24年11月29日 (2012.11.29)  
 審査請求日 平成27年2月18日 (2015.2.18)  
 (31) 優先権主張番号 102011050590.3  
 (32) 優先日 平成23年5月24日 (2011.5.24)  
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(73) 特許権者 504109698  
 エスエムエー ソーラー テクノロジー  
 アーゲー  
 ドイツ国 34266 ニーステタル, ゾ  
 ンネナレー 1  
 (74) 代理人 100091683  
 弁理士 ▲吉▼川 俊雄  
 (74) 代理人 100179316  
 弁理士 市川 寛奈  
 (72) 発明者 ヘーメルリング ダーク  
 ドイツ国 32469 ペーターシャーゲ  
 ン, アウフ テー ハイデ 41  
 (72) 発明者 リーマン, ラインハルド  
 ドイツ国 34123 カッセル, アホ  
 ーンウェグ 19

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】可変周波数の試験信号を使用する絶縁モニタリング

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

接地されていない電力グリッドの絶縁をモニタする方法であつて：

- 少なくとも1つの試験抵抗器( $R_k$ )を介して交流電圧源(12)を前記電力グリッドに接続するステップ、- 前記交流電圧源(12)によって、接地に対して周期的な連続電圧コース、および周波数を備える試験信号( $u_p$ )を前記電力グリッドに適用するステップ、- 前記試験信号( $u_p$ )のために流れる漏れ電流( $i_{Ab}$ )を計測するステップ、および- 前記漏れ電流( $i_{Ab}$ )からオーミック絶縁抵抗( $R_{iss}$ )を決定するステップ 10  
 を備え、前記漏れ電流( $i_{Ab}$ )の有効電流部分が、前記電力グリッドの変化する漏れ静電容量( $C_{Ab7}$ 、 $C_{Ab8}$ )で所定の推奨される値を維持するように、前記試験信号( $u_p$ )の前記周波数が変更され、前記漏れ電流全体に関して前記漏れ電流の有効電流部分の相対的な有効値として決定される前記推奨される値が、0.1%から50%の範囲であり、前記漏れ電流( $i_{Ab}$ )の前記有効電流部分がしきい値を超えた場合、ならびに/または前記漏れ電流( $i_{Ab}$ )および/もしくは前記漏れ電流( $i_{Ab}$ )の前記有効電流部分がステップ状の変化を表示する場合、絶縁障害が示される、方法。

## 【請求項 2】

前記試験信号( $u_p$ )の前記周波数( $f$ )は、

- 追従方法に従って変更される、または
- 拡張された周波数範囲にわたって繰り返し増大させられる、および／または低減される、または
- 連続的に調節される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記試験信号 ( $u_p$ ) の前記振幅は、

- 前記交流電圧源 (12) により中に結合された電力、または
- 前記漏れ電流 ( $i_{A_b}$ ) の有効電流部分の絶対的な実効値、または
- 前記交流電圧源 (12) により中に結合された前記電力の絶対的な有効電力値、または

は 10

- 前記交流電圧源 (12) により中に結合された前記電力の、前記交流電圧源 (12) により中に結合された全電気値と関係がある相対的な有効電力値

が一定に維持されるように調節される、請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記試験信号 ( $u_p$ ) の前記周波数 ( $f$ ) または前記振幅が調節され、前記試験信号 ( $u_p$ ) および前記漏れ電流 ( $i_{A_b}$ ) の間の相互相関が決定される、請求項 1 ~ 3 のうちいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記漏れ電流 ( $i_{A_b}$ ) の前記有効電流部分を決定するために、前記漏れ電流 ( $i_{A_b}$ ) は、前記試験信号 ( $u_p$ ) と同相の基準関数を乗じられ、前記積は前記基準関数の整数周期にわたり平均される、および／または前記漏れ電流 ( $i_{A_b}$ ) の無効電流部分を決定するために、前記漏れ電流 ( $i_{A_b}$ ) は、前記試験信号 ( $u_p$ ) に対して位相オフセット / 2 を有する他の基準関数を乗じられ、前記積は前記他の基準関数の整数周期にわたり平均される、請求項 1 ~ 4 のうちいずれか一項に記載に記載の方法。 20

【請求項 6】

互いにに対して絶縁された、前記電力グリッドの個々のラインからの部分的漏れ電流が、検出された絶縁障害の場所に対して計測され、評価される、請求項 1 ~ 5 のうちいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記交流電圧源 (12) は、インバータ (3) の直流電流側で前記電力グリッドに接続され、前記漏れ電流 ( $i_{A_b}$ )、および／または前記電力グリッドの個々のライン (7、8) からの前記部分的漏れ電流は、 30

- インバータ (3) の前記直流電圧側で、
- 前記インバータが動作中の間、および
- 前記インバータが動作中ではなく、任意選択で、前記ライン (7、8) 内に配置された、いくつかのスイッチのうち 1 つのスイッチが開かれている間、

計測され、

- 検出された絶縁障害の前記場所に対して評価される、請求項 1 ~ 6 のうちいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

接地されていない電力グリッドの絶縁をモニタする装置 (11) であって：

- 少なくとも 1 つの試験抵抗器  $R_k$  を介して前記電力グリッドに接続されるように構成され、接地 (5) に対して周期的な連続電圧コース、および周波数を有する試験信号 ( $u_p$ ) を生成する交流電圧源 (12)、
- 前記試験信号 ( $u_p$ ) のために流れる漏れ電流 ( $i_{A_b}$ ) を計測する計測デバイス (14)、および
- 前記漏れ電流 ( $i_{A_b}$ ) からオーミック絶縁抵抗 ( $R_{i_s}$ ) を決定する評価デバイス

を備え、前記漏れ電流 ( $i_{A_b}$ ) の有効電流部分が、前記電力グリッドの変化する漏れ静電容量 ( $C_{A_b_7}$ 、 $C_{A_b_8}$ ) で所定の推奨される値を維持するような方法で、前記交 40

50

流電圧源（12）は、前記試験信号（ $u_p$ ）の前記周波数を変更し、前記漏れ電流全体に関する前記漏れ電流の有効電流部分の相対的な有効値として決定される前記推奨される値が、0.1%から50%の範囲であり、

前記漏れ電流（ $i_{Ab}$ ）の前記有効電流部分がしきい値を超えたとき、ならびに／または前記漏れ電流（ $i_{Ab}$ ）および／もしくは前記漏れ電流（ $i_{Ab}$ ）の前記有効電流部分がステップ状の変化を表示するとき、前記評価デバイスは絶縁障害を示す、装置（11）。

#### 【請求項9】

前記交流電圧源（12）は、

- 追従方法に従って前記試験信号（ $u_p$ ）の前記周波数を変更する、または 10
- 一定の周波数範囲にわたり前記試験信号（ $u_p$ ）の前記周波数を繰り返し増大させる
- 、または低減する、または
- 前記試験信号（ $u_p$ ）の前記周波数を連続的に調節する、請求項8に記載の装置（11）。

#### 【請求項10】

前記交流電圧源（12）は、前記試験信号（ $u_p$ ）の前記振幅を調節する、請求項8または9に記載の装置（11）。

#### 【請求項11】

前記試験信号（ $u_p$ ）は正弦信号である、請求項8または9に記載の装置（11）。

#### 【請求項12】

前記計測デバイス（15～18）は、互いに対し切り離された前記電力グリッドの個々のライン（7、8）から流れる部分電流を計測し、前記評価デバイスは、検出された接地障害の場所に対して前記部分電流を評価する、請求項8～12のうちいずれか一項に記載の装置（11）。

#### 【請求項13】

前記計測デバイス（15～18）は、前記交流電圧源（12）および前記電力グリッドの前記個々のライン（7、8）の間で直接、または接地に対する前記個々のラインの電圧によって間接的に、前記部分電流を計測する、請求項12に記載の装置（11）。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

30

##### 【0001】

（関連出願の相互参照）

本国際出願は、2011年5月24日に出願された、「Isolationsüberwachung mit einem Prüfsignal variabler Frequenz」と題する独国特許出願公開第102011050590.3号明細書の優先権を主張する。

##### 【0002】

本発明は、接地されていない電力グリッドの絶縁をモニタする方法に関する。より詳細には、本発明は、接地されていない電力グリッドの絶縁をモニタする方法であって、少なくとも1つの試験抵抗器を介して交流電圧源を電力グリッドに接続するステップ；交流電圧源によって、接地に対して周期的な連続電圧コース、および周波数を備える試験信号を電力グリッドに印加するステップ；試験信号のために流れる漏れ電流を計測するステップ；およびオーミック絶縁抵抗を漏れ電流から決定するステップを備える方法に関する。 40

##### 【0003】

さらに、本発明は、接地されていない電力グリッドの絶縁をモニタする装置に関する。より詳細には、本発明は、接地されていない電力グリッドをモニタする装置であって：少なくとも1つの試験抵抗器を介して電力グリッドに接続されるように構成され、接地に対して周期的な連続電圧コース、および周波数を有する試験信号を生成する交流電圧源；試験信号のために流れる漏れ電流を計測する計測デバイス；およびオーミック絶縁抵抗を漏れ電流から決定する評価デバイスを備える装置に関する。

50

## 【0004】

接地されていない電力グリッドは、直流電力グリッドでも、交流電力グリッドでもよい；接地されていない電力グリッドはまた、たとえばインバータの入力側のように直流領域、およびたとえばインバータの出力側のように交流領域の両方を有してもよい。

## 【0005】

接地されていない電力グリッドは、詳細には太陽光発電システムまたは任意の他の接地されていない電力グリッドにおける、いわゆるIT（フランス語：isolee terre）グリッドであってもよい。

## 【背景技術】

## 【0006】

10

接地されていない電力グリッドのラインのうち任意の電気接地と固定した関係がない接地されていない電力グリッドが、さらにIT（フランス語：isolee terre）グリッドと呼ばれることがある。このような電力グリッドでは、ラインの1本および接地の間の絶縁障害が、このラインが接地されることになるだけであり、電力グリッドは依然として動作させられたままであることがある。しかしながら、このような絶縁障害をできるだけ早く検出して、電力グリッドの停止を余儀なくさせる他のどんな絶縁障害で発生する前に、このような絶縁障害を修理することができるべきである。

## 【0007】

ITグリッドでは、接地に対する絶縁障害が、接地に対するインピーダンスを計測し、評価することにより検出される場合がある。接地に対するインピーダンスは、接地に対するインピーダンスの実部としての、対象となるオーミック絶縁抵抗、および接地に対するインピーダンスの虚部としての、接地に対する容量性リアクタンスからなる複素数値である。接地に対する容量性リアクタンスは、接地に対して実効的な電力グリッドの漏れ静電容量の結果である。

20

## 【0008】

ITグリッドは、太陽光発電システムでしばしば使用される。太陽光発電システムの太陽光モジュールだけの表面積のために、太陽光発電システムは、接地に対して高い漏れ静電容量を示す。これらの漏れ静電容量の値は、たとえば、雨が太陽光発電システムの上に降ったとき、かなり変化する。高いと同時に変化する漏れ静電容量のために、接地に対してITグリッドとして動作させられる太陽光発電システムの絶縁をモニタすることが、かなり複雑になる。さらに、最大電力点追従制御（MPP tracking）のためにそれぞれの太陽光発電機にわたり発生する電圧変動が、同じく太陽光発電システムの絶縁モニタリングで問題を引き起こす。

30

## 【0009】

接地されていない電力グリッドの絶縁をモニタするための方法および装置が、独国特許出願公告第2542811（B1）号明細書により公知である。この特許では、好ましい範囲25Hz～500Hzの周波数を有する正弦形状の試験信号が、交流電圧源によって計測対象に印加される。交流電圧源と直列に接続された抵抗器の両端の電圧降下が、試験信号により引き起こされた漏れ電流の尺度として使用される。漏れ電流は、試験信号と同相の漏れ電流の有効電流部分を決定するために、試験信号と同相で動作している整流器回路に供給される。漏れ電流の有効電流部分が比較的小さく、したがって、比較的高い誤差でしか決定されないので、公知の方法および公知の装置は、ITグリッドとして動作させられた太陽光発電システムの絶縁モニタリングでは非常に限られた範囲だけに適していることになる。

40

## 【0010】

接地されていない電力グリッドの絶縁をモニタするための他の方法および他の装置が、独国特許第3882833（D2）号明細書により公知である。この特許では、交流電流グリッドがモニタされている場合、ITグリッドに印加される試験信号が、交流電流の周波数より低い周波数を有すること、およびモニタされる電力グリッドの漏れ静電容量の両端を流れる電流が最小になるほど周波数を低くすべきであることが示されてい

50

る。たとえば、10 Hzの周波数がモニタされる。このとき、漏れ電流のこの無効電流部分が、絶縁抵抗を決定するために補償される。

#### 【0011】

欧洲特許出願公開第0654673(A1)号明細書により公知の、接地されていない直流および交流の電力グリッドの絶縁をモニタする方法および装置では、電圧源によってモニタされるように、方形波電圧コースを有する試験信号が電力グリッド印加される。その結果得られる漏れ電流に基づき、計測対象および接地の間の絶縁抵抗の絶対値が決定される。方形波電圧コースを使用するために、遷移効果、詳細には、モニタすべき電力グリッド内の接地に対するどんな静電容量のローディングも、漏れ電流を計測するまで待たされなければならない。このため、高い静電容量が存在するとき、絶縁抵抗の計測には非常に時間がかかる。これを、前の遷移効果が終わり、漏れ電流が計測されるとすぐに、次の電圧ステップを試験信号に印加することにより補償しようと試みられた。しかしながら、それにもかかわらず、高い漏れ静電容量があれば、絶縁抵抗の1回の計測に、約数分間を要することがある。これは、絶縁障害を迅速に検出するには十分ではない。

10

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0012】

【特許文献1】独国特許出願公告第2542811(B1)号明細書

【特許文献2】独国特許第3882833(D2)号明細書

【特許文献3】欧洲特許出願公開第0654673(A1)号明細書

20

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0013】

したがって、高い漏れ電流が存在するときでさえ、詳細には変化する漏れ電流が存在するときでさえ、絶縁障害の発生を確実に検出する、接地されていない電力グリッドの絶縁をモニタするための強固で迅速に応答する方法および装置が依然として必要である。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0014】

本発明は、接地されていない電力グリッドの絶縁をモニタする方法に関する。この方法では、少なくとも1つの試験抵抗器を介して交流電圧源が電力グリッドに接続される。接地に対して周期的な連続電圧コース、および周波数を備える試験信号が、交流電圧源によって電力グリッドに印加される。試験信号のために流れる漏れ電流が計測され、オーミック絶縁抵抗が漏れ電流から決定される。漏れ電流の有効電流部分が、電力グリッドの変化する漏れ静電容量で所定の推奨される値を維持するように、試験信号の周波数が変えられる。

30

#### 【0015】

本発明はまた、接地されていない電力グリッドの絶縁をモニタする装置に関する。この装置は、(i)少なくとも1つの試験抵抗器を介して電力グリッドに接続されるように構成され、接地に対して周期的な連続電圧コース、および周波数を有する試験信号を生成する交流電圧源、(ii)試験信号のために流れる漏れ電流を計測する計測デバイス、および(iii)漏れ電流からオーミック絶縁抵抗を決定する評価デバイスを備える。交流電圧源は、漏れ電流の有効電流部分が、電力グリッドの変化する漏れ静電容量で所定の推奨される値を維持するような方法で、試験信号の周波数を変更する。

40

#### 【0016】

漏れ電流の有効電流部分が所定の推奨される値を維持することは、漏れ電流の有効電流部分が、限られた値の範囲内に留まり、最高速度で絶縁または接地の障害を検出し所望のレベルの精度を提供することを意味する。

#### 【0017】

本発明の他の特徴および利点が、以下の図面および詳細な説明を検討すると、当業者には明確になるであろう。このような追加の特徴および利点がすべて、本明細書において、

50

特許請求の範囲により規定されるように、本発明の範囲に含まれることが意図される。

【0018】

本発明は、以下の図面を参照して、よりよく理解することができる。図面中の構成要素は必ずしも縮尺どおりではなく、むしろ、本発明の原理を明確に示すことに重きが置かれている。図面では、同様の参照番号は、さまざまな図全体にわたって対応する部分を指す。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】インバータを備え、ITグリッドとして動作させられる太陽光発電システムを、交流電圧源、およびITグリッドの絶縁をモニタする装置の計測デバイスと共に概略的に示す。

【図2】図1によりITグリッドおよび電気接地の間に存在する電圧を決定するための、簡略化した等化回路図を示す。

【図3】複素漏れ電流  $I_{A_b}$  の実部としての有効電流部分  $I_w$  および複素漏洩電流  $I_{A_b}$  の虚部としての無効電流部分  $I_b$  からなる複素漏れ電流  $I_{A_b}$  のベクトル図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

本明細書で開示する、接地されていない電力グリッドの絶縁をモニタする方法では、試験信号の周波数が固定されるのではなく、現在実効的な、電力グリッドの漏れ静電容量に適合される。この適合は、いくつかの異なる方法で、たとえば、繰り返しまたは連続的に試験信号の周波数を調節することにより達成されてもよい。いずれの場合も、試験信号の周波数を変更する目的は、所定の推奨される値が達成されるように、漏れ電流の有効電流部分を高いレベルで保持することである。この方法では、モニタされる電力グリッドの絶縁抵抗を十分な精度および信頼度で決定することができる保証される。同時に、この決定はまた、十分な精度および信頼度を達成するために必要な程度だけ試験信号の周波数を下方に変更することにより最小量の時間内で行われる。換言すれば、推奨される値を超えた場合、変化する絶縁抵抗に、詳細には絶縁障害に反応するために必要な時間は不要に長くなり、このことは、十分な精度および信頼度を達成するためにいずれにしても必要ない。したがって、本明細書で開示する方法では、変化する絶縁抵抗に、詳細には絶縁障害に反応するために必要な時間は、推奨される値を維持することにより、できるだけ短く維持される。一方では、推奨される値は、本明細書で開示する方法では、有効電流部分が到達する最小値である；しかしながら、他方では、推奨される値は、必要に超えない目標値である。

【0021】

詳細には、漏れ電流の有効電流部分の所定の推奨される値は、所定の相対的な窓、すなわち、詳細にはパーセンテージ窓または制限された範囲のパーセンテージ値の範囲内に維持される全漏れ電流に対する漏れ電流の有効電流部分の相対的な実効値であってもよい。漏れ電流の有効電流部分の相対的な実効値および全漏れ電流の関係は、原因となる試験信号に対する漏れ電流の位相角に直接対応する。一方では精度および信頼度のレベルに応じて、同時に他方では実現すべき反応時間に応じて、漏れ電流の有効電流部分に対する推奨される値は、全漏れ電流に対する漏れ電流の有効電流部分の相対的な実効値として決定されてもよく、典型的なパーセンテージ範囲 0.1% ~ 50% 内であってもよい。好ましくは、この推奨される値は約 10% であり、約 80° の位相角に対応する。特定の状況下では、推奨される値はまた、0.1% 未満、または 50% を超えて設定されてもよい。低いオームック絶縁障害がすでに検出された場合、有効電流部分に対して推奨される値に従って、試験信号の周波数をさらに増大させる必要がないことが認識されよう。代わりに、試験信号の周波数は、最大値に制限されてもよい。この最大値に到達すればかならず、低いオームック絶縁抵抗がすでに検出されているように、この最大値を設定してもよい。

【0022】

本明細書で開示する方法では、試験信号の周波数は、漏れ電流の有効電流部分の推奨さ

10

20

30

40

50

れる値が常にできるだけ近くに維持されるように、追従方法に従って連続的に変更されてもよい。推奨される値を維持するために必要な周波数を見つけ出すために、試験信号の周波数はまた、拡張された周波数範囲全体を繰り返しスイープされてもよい。試験信号の周波数を連続的に調節することも可能である。しかしながら、低すぎる周波数では、方法は絶縁障害に対して、望まれるより遅く反応する、または高すぎる周波数では、方法は望まれる精度未満で動作するので、周波数をスイープまたは調節する間、推奨される値を満たさない試験信号の全周波数で、最適な計測条件が達成されないことが考慮されなければならない。

【0023】

本明細書で開示する方法の特定の一実施形態では、試験信号の振幅が、同じく調節される。周波数の調節に伴い電力が基本的に変動するにもかかわらず、交流電圧源により供給される電力が一定に保持されるような方法で、振幅の調節を行うことができる。あるいは、振幅調節を使用して、(i)漏れ電流の有効電流部分の絶対的な実効値、または(ii)交流電圧源の電力の絶対的な有効電力値、または(iii)交流電圧源の全電力に対する交流電圧源の相対的な有効電力値を一定に保つことができる。

10

【0024】

さらに、有利な方法では、試験信号の周波数および/または振幅の調節を使用して、試験信号および試験信号により引き起こされる漏れ電流の間の相互相関を決定してもよい。相互相関によって決定される類似度が、複素漏れインピーダンスの絶対値に対応し、一方では、試験信号および漏れ電流の間の時間シフトが、複素漏れインピーダンスの位相角に対応する。

20

【0025】

あるいはまたはさらに、漏れ電流は、試験信号  $u_p$  と同相の基準関数を乗じられてもよい。このとき、この乗算の積は、基準関数の整数周期にわたり平均されてもよい。試験信号が正弦信号であり、かつ基準関数がたとえばピーク値

【数1】

$$\sqrt{2}$$

30

を有する正弦関数である場合、その結果得られる平均値は、漏れ電流の有効電流部分の実効値に直接対応する。同様な方法で、漏れ電流の無効電流部分が、同じく、試験信号に対して  $/2$  の位相オフセットを有する他の基準関数を漏れ電流に乗じることにより、および乗算の積を他の基準関数の整数周期にわたり平均することにより、決定されてもよい。試験信号としての正弦信号の場合、この場合も好ましくはピーク値

【数2】

$$\sqrt{2}$$

40

を有する他の基準関数として、余弦関数が使用されてもよい。実際には、それぞれの積の平均化はまた、低域フィルタリングにより実現されてもよい。

【0026】

試験信号に対して連続的に変化するので、漏れ電流のステップ、詳細には、漏れ電流の有効電流部分のステップは、試験信号により引き起こされるのではなく、絶縁障害の指示である。このような絶縁障害はまた、当然のことながら、漏れ電流の有効電流部分がしきい値を超えたとき、または漏れ電流に基づき決定された絶縁抵抗がしきい値以下に下がったときに、常に存在する。

【0027】

本明細書で開示する方法を、変圧器までの交流電流側が接地されていないインバータを

50

含む太陽光発電システムに適用するとき、交流電圧源は、好ましくは、インバータの直流電流側で電力グリッドに接続される。しかしながら、一般に、交流電圧源はまた、インバータの交流電流側で電力グリッドの個々のラインに接続されてもよい。この場合、電力グリッドの絶縁状態に関する追加情報、および詳細には、現在の絶縁障害の場所に関する追加情報が、他の計測値によって得られることがある。本明細書で説明する方法をインバータの直流電流側だけで実行するときでさえ、動作しているインバータがインバータの直流電流側のラインをインバータの交流電流側のラインと（交互に）直流電気的に接続する限り、インバータの交流電流側で絶縁障害が同じく検出される。このとき、絶縁障害をインバータの直流電流側または交流電流側に局在化するためには、インバータの交流電流側がインバータの直流電流側から直流電気的に分離されるように、インバータの動作を停止することで十分である。このとき、絶縁障害がインバータの直流電流側からもはや検出されない場合、絶縁障害は交流電流側にある。しかしながら、絶縁障害が直流電流側から依然として検出される場合、絶縁障害は直流電流側にある。

#### 【0028】

互いに対して絶縁された電力グリッドの個々のラインからの部分電流を決定することにより、同じく電力グリッドの絶縁状態に関する追加情報が得られることがある。部分電流は、電圧源および電力グリッドの個々のラインの間で直接決定されても、接地に対する個々のラインの電圧に基づき間接的に決定されてもよい。部分電流を評価することにより、検出された絶縁障害を電力グリッドの個々のラインに割り振ることができるようになる。これは、少なくとも、絶縁された、すなわち直流電気的に絶縁された、電力グリッドのラインに適用される。太陽光発電機を備える電力グリッドでは、この絶縁は動作状態で存在しない。しかしながら、太陽光発電機が夜間のように非活動状態であり、かつ非導電状態になるとすぐに、この絶縁は存在し、少なくともこのとき、説明した方法で絶縁障害が局在化されてもよい。このような局在化はまた、太陽光発電機およびインバータの間の個々のライン内に配置されたスイッチによって日中に達成されてもよい。これらのスイッチが1つずつ開かれ、かつ電力グリッドの個々のラインからの部分電流が直流電流側で同時に計測された場合、それぞれ開かれたスイッチのどちら側に絶縁障害が位置するかを決定することができる。

#### 【0029】

次に、図面をより詳細に参照すると、図1は、ITグリッドとして、すなわち電気接地5に対して絶縁された電力グリッドとして設定され、太陽光発電機2から、インバータ3を越えて変圧器4まで伸びる太陽光発電システム1を概略的に示す。太陽光発電機2からインバータ3までは、ITグリッドは直流電力グリッドであり、インバータ3から変圧器4までは、ITグリッドは交流電力グリッドである。変圧器4を介して、太陽光発電システム1は、太陽光発電機2から、接地5に対して固定された基準を有する公衆交流電力グリッド6の中に電気エネルギーを供給する。接地5に対する、インバータ3の入力ライン7および8の絶縁抵抗 $R_{i_s_7}$ および $R_{i_s_8}$ は、図1ではオーム抵抗器9により表される。これらのオーム抵抗器9は、接地に対する入力ライン7および8の漏れ静電容量 $C_{a_b_7}$ および $C_{a_b_8}$ を表すコンデンサ10に平行に接続される。これらの漏れ静電容量 $C_{a_b_7}$ および $C_{a_b_8}$ は、本質的に、太陽光発電機2の太陽光モジュールの広い表面積に起因する。

#### 【0030】

入力ライン7または8の一方に絶縁障害が存在する場合、すなわち、絶縁抵抗器 $R_{i_s_7}$ または $R_{i_s_8}$ の一方が、アース障害が発生するようにあまりにも小さくなったり、太陽光発電システム1は、必ずしも完全に停止されなければならないわけではない。しばしば、インバータ3のスイッチをオフにすることが、高い漏れ電流が第2の入力ラインとして流れるのを防ぐのに十分であり、したがって、太陽光発電機2の第2の極は、接地5に対して依然として絶縁される。しかしながら、インバータ3のスイッチをオフにするために、およびいずれにせよ接地障害を修理するために、この接地障害はできるだけ早く検出されなければならない。このために、装置11が提供される。この装置11は、2

10

20

30

40

50

つの試験抵抗器  $R_{K7}$  および  $R_{K8}$  を備える結合ネットワーク 13 を介して接地 5 に対して周期的な連続電圧コースを備える試験信号が、太陽光発電システム 1 のインバータ 3 の直流電流側で電力グリッドに印加される交流電圧源 12 を備える。試験信号  $u_p$  のために結合ネットワーク内を流れる漏れ電流  $i_{Ab}$  が、この場合、電流計である計測デバイス 14 によって計測される。さらに、試験抵抗器  $R_{K7}$  および  $R_{K8}$  を通って流れる部分電流  $i_{Ab7}$  および  $i_{Ab8}$  が、同じく電流計である計測デバイス 15 および 16 により計測される。あるいは、入力ライン 7 および 8 それぞれと、接地 5 との間の電圧  $u_{Ab7}$  および  $u_{Ab8}$  が、電圧計である計測デバイス 17 および 18 によって計測される。試験信号  $u_p$  は、振幅が調節されてもよい、接地に対して正弦形状の交流電圧から構成されてもよい。いずれの場合も、試験信号は、接地に対して周期的な連続電圧コースを備え、試験信号の周波数に関して変更することができる。この変更は、チャーブとして、またはウェーブレットとして行われてもよい；しかしながら、好ましくは、この変更は連続的な変更である、または周波数は、次のチャーブまたはウェーブレットまでチャーブによって、またはウェーブレットによって、周波数の最適値が決定された後に一定に維持される。

### 【0031】

計測デバイス 14 ~ 18 により計測された電流または電圧は、絶縁抵抗  $R_{iso7}$  および  $R_{iso8}$  だけではなく、漏れ静電容量  $C_{Ab7}$  および  $C_{Ab8}$ 、ならびに試験信号  $u_p$  の周波数にも依存する。詳細には、交流電流抵抗および漏れリアクタンス  $X_c$  は、 $X_c = 1 / (2\pi f * C_{Ab})$  に従って漏れ静電容量  $C_{Ab7}$  および  $C_{Ab8}$  に依存し、式中、 $f$  は試験信号  $u_p$  の周波数である。漏れ静電容量  $C_{Ab}$  が非常に高ければ、容量性漏れリアクタンス  $X_c$  は小さくなり、それに対応して、試験信号  $u_p$  は、比較的高い絶縁抵抗  $R_{iso7}$  および  $R_{iso8}$  と比較して、漏れ静電容量  $C_{Ab7}$  および  $C_{Ab8}$  にわたり高い漏れ電流を引き起こす。このことが、漏れ電流  $i_{Ab}$  という尺度に基づく絶縁抵抗  $R_{iso7}$  および  $R_{iso8}$  の決定が十分高い精度になるのを妨げる。試験信号  $u_p$  の周波数  $f$  が低減されたとき、漏れリアクタンス  $X_c$  は増大し、このことは、漏れ静電容量  $C_{Ab7}$  および  $C_{Ab8}$  にわたる漏れ電流がより小さくなること、および絶縁抵抗  $R_{iso7}$  および  $R_{iso8}$  を通る漏れ電流が、相対的観点からより高くなることを意味する。試験信号  $u_p$  の全電力が、この場合、試験信号の周波数の増大と共に試験信号  $u_p$  の振幅を増大させることさえ可能になる定数に維持されると、絶縁抵抗  $R_{iso7}$  および  $R_{iso8}$  を流れる漏れ電流もまた、絶対的観点から増大する。しかしながら、試験信号  $u_p$  の周波数  $f$  の低減により、絶縁抵抗  $R_{iso7}$  および  $R_{iso8}$  の決定がより遅くなり、したがって、絶縁抵抗  $R_{iso7}$  および  $R_{iso8}$  の変化が迅速に検出されなくなる。この理由のために、一方では、漏れ電流が絶縁抵抗  $R_{iso7}$  および  $R_{iso8}$  を決定するのに十分高いことを保証し、他方では、絶縁抵抗短絡の変化に反応するために試験により必要とされる時間を維持するために、試験信号  $u_p$  の周波数  $f$  の最適化が行われる。

### 【0032】

図 2 による簡略化された等価回路図は、結合ネットワーク 13 の両端の電圧降下  $u_{Rk}$  が、計測された漏れ電流  $i_{Ab}$ 、および結合ネットワーク 13 の試験抵抗器  $R_k$  の値からどのように演繹できるかを示す。メッシュ規則によれば、このとき、並列に接続された絶縁抵抗  $R_{iso}$  および漏れ静電容量  $C_{Ab}$  の両端の電圧降下  $u_{Ab}$  が決定されてもよい。この方法では、 $R_{iso}$  および  $C_{Ab}$  の値を決定するために、電流  $i_{Ab}$  および電圧  $u_{Ab}$  が利用できる。あるいは、電圧  $u_{Ab}$  はまた直接計測されてもよい。しかしながら、直接計測するには、図 1 による太陽光発電機 2 の高い出力電圧のために何らかの努力が必要であり、低い精度しか提供されない。しかしながら、結合ネットワーク 13 の両端の電圧  $u_{Rk}$  降下はまた、少ない努力で直接計測される場合がある。

### 【0033】

同じ方法で、 $u_{Ab}$  および  $i_{Ab}$  に起因する絶縁インピーダンス  $Z$  が、絶縁インピーダンス  $Z$  の実部としての絶縁抵抗  $R$ 、および絶縁インピーダンス  $Z$  の虚部としての漏れリアクタンス  $X_c$  から構成される複素数値であるので、漏れ電流  $I_{Ab}$  もまた、漏れ電流  $I_{Ab}$  の実部としての有効電流部分  $I_w$ 、および漏れ電流  $I_{Ab}$  の虚部としての無効電流部分

10

20

30

40

50

$I_b$ 、すなわち容量性漏れ電流から構成される複素数である(図3参照)。実部  $I_b$  の実効値は、時間に依存する計測値  $i_{A_b}$  に試験信号  $u_p$  と同相の正弦関数を乗することにより決定されてもよい。それに対応して、虚部  $I_b$  の実効値は、時間に依存する計測値  $i_{A_b}$  に、試験信号  $u_p$  に対して位相オフセット  $/2$  を含む基準信号を乗ることにより得られてもよい。しかしながら、この方法では、 $I_w$  が容量性漏れ電流に対して、すなわち  $I_{A_b}$  の無効電流部分  $I_b$  に対して十分高い場合だけ、 $I_w$  について、十分正確な値が得られる。これは、本明細書で開示する方法に従って試験信号  $u_p$  の周波数を調整することにより保証される。換言すれば、たとえば太陽光発電システムへの降雨のための漏れ静電容量の変化により引き起こされた、漏れ電流  $I_{A_b}$  の有効電力部分  $I_w$  および無効電力部分  $I_b$  の間の位相角  $\phi$  の小さな変動が、別 の方法ですでに、無効電力部分  $I_b$ 、および絶縁インピーダンス  $Z$  の対象となる実部  $R$  を決定する際の精度に大きな影響を及ぼすので、無効電流部分  $I_b$  は、 $R_{iss}$  および  $C_{A_b}$  の並列回路内の漏れ電流  $I_{A_b}$  の有効電流部分  $I_w$  を大きく越えすぎることはないことが、十分小さい周波数によって保証される。  
10

#### 【0034】

絶縁障害の迅速な検出に関して同じく最適化された試験信号  $u_p$  の周波数  $f$  では、漏れ電流の有効電流部分および無効電流部分の間の位相角  $\phi$  は、太陽光発電システム内の比較的高い絶縁抵抗  $R$  および比較的低い漏れリアクタンス  $X_c$  の間の典型的な関係のために、対象となる絶縁抵抗  $R$  の値に少ししか依存性を示さない。詳細には、本明細書で説明する方法は、デジタル化された信号  $u_{A_b}$  および  $i_{A_b}$  それに、試験信号  $u_p$  と同相であり、かつその後低域通過フィルタで処理される正弦信号または余弦信号をそれぞれ乗じることにより、位相角  $\phi$  を決定することなく、行われる。この方法で得られる直流値は、試験信号によって中で結合された電力の仮想的な有効部分(基準正弦との乗算による  $U_w$  および  $I_w$ )および無効部分(基準余弦との乗算による  $U_b$  および  $I_b$ )を表す。これらの値から、仮想電力が計算されてもよい:  
20

$$P = U_w * I_w + U_b * I_b$$

$$Q = U_w * I_b - U_b * I_w$$

#### 【0035】

仮想電力から、抵抗部分  $R_{iss}$  および無効部分  $X_c$  を有する複素インピーダンス  $Z$  が、以下のように、太陽光発電機および接地の間の電圧の実効値から決定されてもよい:

$$R_{iss} = U_{実効値}^2 / P$$

$$X_c = U_{実効値}^2 / Q$$

#### 【0036】

本明細書で開示する方法では、デジタル化された後の計測値  $i_{A_b}$  はまた、周波数および/または振幅に関して調節された試験信号  $u_p$  に対する相互関係を計算することにより評価されてもよく、有効電流部分および無効電流部分の間の位相角  $\phi$  に対応する、 $u_p$  に対する  $i_{A_b}$  の時間シフト、ならびに複素絶縁インピーダンス  $Z$  に対応する、試験信号  $u_p$  および計測された信号  $i_{A_b}$  の間の類似度が決定される。試験信号  $u_p$  の電圧コースに関しては、この場合、詳細には、たとえば、正弦形状の搬送波、および振幅 0 ボルト ~ 30  
30 0 ボルトを有し周波数範囲 0.1 Hz ~ 1 Hz の調節を有するウェーブレットのような、調整されたウェーブレットが適している。一般に、試験信号  $u_p$  の振幅を安全な、特別に低い電圧 50 ボルト以下に維持するのが適している。  
40

#### 【0037】

試験信号  $u_p$  の周波数  $f$  を調節することにより保証される、本明細書で開示する方法の感度は、複素絶縁インピーダンス  $Z$  を完全に決定するためだけでなく、複素絶縁インピーダンス  $Z$  の実部  $R_{iss}$  だけを定量的に決定するために利用可能である。試験信号  $u_p$  は連続電圧コースを備え、かつ高い周波数を備えないので、試験信号により、詳細には、決定された漏れ電流の有効電流部分により引き起こされるような計測値  $i_{A_b}$ 、 $i_{A_b 7}$ 、 $i_{A_b 8}$ 、 $u_{A_b 7}$ 、 $u_{A_b 8}$  は、ステップ状の変化をまったく含まない。計測値にこのようなステップが発生した場合、これは、入力ライン 7 および 8 の突然の絶縁破壊を示す。さらに、 $i_{A_b 7}$  および  $i_{A_b 8}$  の間の、または  $u_{A_b 7}$  および  $u_{A_b 8}$  の間の差異を  
50

認めることにより、少なくとも、任意の絶縁障害のおおよその場所を突き止めることが可能になる。このとき、少なくとも太陽光発電機 2 が入力ライン 7 および 8 をショートカットしない間、図 1 に従って、または図 2 による太陽光発電機 2 の対応する極に従って、インバータ 3 の入力ライン 7 および 8 の両方にメッシュ規則が別個に適用されてもよい。このことは、絶縁がまったくない夜間に特にあてはまる。インバータ 3 の交流電流側に絶縁障害を局在化することは、インバータの動作を停止させ、したがって、インバータ 3 の出力ライン 20 ~ 22 および入力ライン 7 および 8 の間の（交替する）直流電気接続を中断することにより可能である。インバータの交流電流側に絶縁障害があれば、漏れ電流  $I_A$  は低減する。このとき、交流電流側での絶縁障害をさらに局在化するために、結果として生じる漏れ電流が計測される間、試験信号がインバータ 3 の個々の出力ライン 20 ~ 22 に印加されてもよい。 10

#### 【0038】

本発明の精神および原理から実質的に逸脱することなく、本発明の好ましい実施形態に多くの変更および修正が行われてもよい。このような修正および変更はすべて、本明細書において、特許請求の範囲により規定されるように、本発明の範囲に含まれることが意図される。

#### 【符号の説明】

#### 【0039】

1	太陽光発電システム	20
2	太陽光発電機	
3	インバータ	
4	変圧器	
5	接地	
6	交流電力グリッド	
7	入力ライン	
8	入力ライン	
9	オーミック抵抗	
10	コンデンサ	
11	装置	
12	交流電圧源	30
13	結合ネットワーク	
14	計測デバイス	
15	計測デバイス	
16	計測デバイス	
17	計測デバイス	
18	計測デバイス	
20	出力ライン	
21	出力ライン	
22	出力ライン	

【図1】

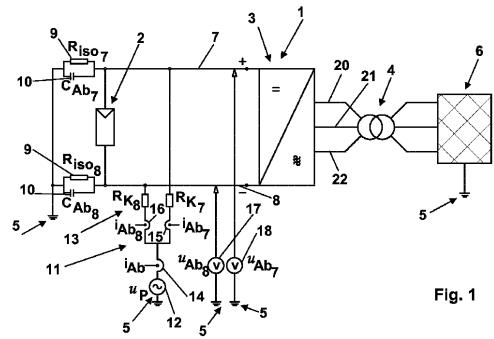


Fig. 1

【図2】

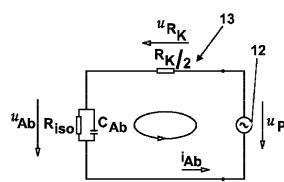


Fig. 2

【図3】

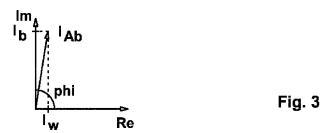


Fig. 3

---

フロントページの続き

審査官 仲村 靖

(56)参考文献 特開2008-020322(JP,A)  
特開2003-090859(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 02 M 7 / 48  
G 01 R 27 / 16