

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-70603  
(P2013-70603A)

(43) 公開日 平成25年4月18日(2013.4.18)

(51) Int.Cl.

HO2J	3/28	(2006.01)
FO3D	11/00	(2006.01)
HO2J	7/00	(2006.01)
HO2J	3/38	(2006.01)

F 1

HO2J	3/28
FO3D	11/00
HO2J	7/00
HO2J	3/38

テーマコード(参考)

3H078

5G066

5G503

E

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L 外国語出願 (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2012-206878 (P2012-206878)  
 (22) 出願日 平成24年9月20日 (2012.9.20)  
 (31) 優先権主張番号 11182016.3  
 (32) 優先日 平成23年9月20日 (2011.9.20)  
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(特許庁注:以下のものは登録商標)

1. JAVA

(71) 出願人 390039413  
 シーメンス アクチエンゲゼルシヤフト  
 S i e m e n s A k t i e n g e s e l l  
 I s c h a f t  
 ドイツ連邦共和国 D-80333 ミュ  
 ンヘン ヴィッテルスバッハ-プラツ  
 2  
 W i t t e l s b a c h e r p l a t z  
 2, D-80333 M u e n c h e n  
 , G e r m a n y  
 (74) 代理人 100114890  
 弁理士 アインゼル・フェリックス=ライ  
 ンハルト  
 (74) 代理人 100099483  
 弁理士 久野 琢也

最終頁に続く

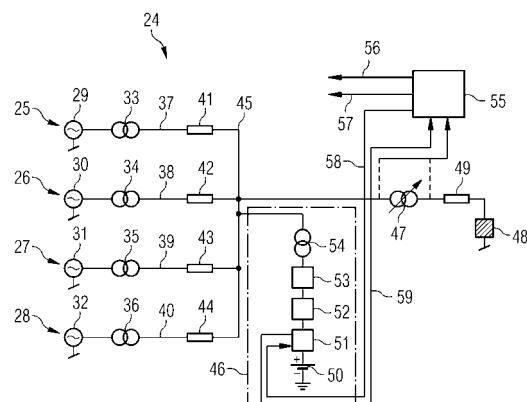
(54) 【発明の名称】 ウインドファームの作動方法、ウインドファームコントローラおよびウインドファーム

## (57) 【要約】

【課題】 改善されたウインドファームの作動方法およびウインドファームを提供する。

【解決手段】 ウインドファームの作動方法が提供され、該ウインドファームは、風車と、エネルギー貯蔵装置とを有しており、該ウインドファームは外部送電系統に接続されており、該方法は、要求有効電力を決定するステップと、要求無効電力を決定するステップと、風車の生産電力を決定するステップと、生産電力が要求有効電力、要求無効電力、または、要求有効電力と要求無効電力とのベクトル和を上回るときに、エネルギー貯蔵装置を充電するステップと、を含む。

【選択図】 図2



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

ウインドファームの作動方法であって、  
 該ウインドファームは、風車と、エネルギー貯蔵装置とを有しており、  
 該ウインドファームは外部送電系統に接続されており、  
 該方法は、  
 要求有効電力を決定するステップと、  
 要求無効電力を決定するステップと、  
 前記風車の生産電力を決定するステップと、  
 生産電力が要求有効電力、要求無効電力、または、要求有効電力と要求無効電力とのベクトル和を上回るときに、前記エネルギー貯蔵装置を充電するステップと、  
 を含む、  
 ことを特徴とする方法。  
 10

**【請求項 2】**

生産電力が要求有効電力、要求無効電力、または、要求有効電力と要求無効電力とのベクトル和を下回るときに、前記エネルギー貯蔵装置を放電するステップをさらに含む、請求項 1 記載のウインドファームの作動方法。

**【請求項 3】**

生産電力が風車の定格生産電力を上回るときに、生産電力を低下させるステップをさらに含む、請求項 1 または 2 記載のウインドファームの作動方法。  
 20

**【請求項 4】**

生産電力が、要求有効電力、要求無効電力、要求有効電力と要求無効電力とのベクトル和、および、前記エネルギー貯蔵装置の定格充電電力のいずれか一つの要素に関する和を上回るときに、生産電力を低下させるステップをさらに含む、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項記載のウインドファームの作動方法。

**【請求項 5】**

生産電力が、要求有効電力、要求無効電力、または、要求有効電力と要求無効電力とのベクトル和のいずれか一つの要素に関する和を上回り、かつ、前記エネルギー貯蔵装置が完全に充電されているときに、生産電力を低下させるステップをさらに含む、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項記載のウインドファームの作動方法。  
 30

**【請求項 6】**

前記外部送電系統の電圧を求めるステップと、  
 前記求められた外部送電系統の電圧が予め定めた外部送電系統の電圧と異なるときに、前記エネルギー貯蔵装置により補償電圧を供給するステップと、  
 をさらに含む、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項記載のウインドファームの作動方法。

**【請求項 7】**

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項記載の方法に従ってウインドファームを作動させるために適合されている、ことを特徴とするウインドファームコントローラ。

**【請求項 8】**

前記エネルギー貯蔵要素に貯蔵されたエネルギー量を示すデータを記憶するメモリをさらに有する、請求項 7 記載のウインドファームコントローラ。  
 40

**【請求項 9】**

風車と、エネルギー貯蔵要素と、請求項 7 または 8 記載のウインドファームコントローラとを有する、ことを特徴とするウインドファーム。

**【請求項 10】**

前記エネルギー貯蔵要素は、電池および / またはフライホイールおよび / または超電導磁気のエネルギー貯蔵装置を有する、請求項 9 記載のウインドファーム。

**【請求項 11】**

前記エネルギー貯蔵要素は瞬時電圧制御回路を有する、請求項 9 または 10 記載のウインドファーム。  
 50

**【請求項 1 2】**

前記エネルギー貯蔵要素はバイパススイッチを有する、請求項1から11のいずれか1項記載のウインドファーム。

**【請求項 1 3】**

前記エネルギー貯蔵要素はインジェクショントランスを有する、請求項1から12のいずれか1項記載のウインドファーム。

**【請求項 1 4】**

ウインドファームを作動するためのプログラム要素であって、データプロセッサにより実行されるときに、請求項1から6のいずれか1項記載の方法を制御および／実行するために適合されている、ことを特徴とするプログラム要素。

**【請求項 1 5】**

対象物を処理するためのコンピュータプログラムが保存されているコンピュータ読み取り可能媒体であって、該コンピュータプログラムは、データプロセッサにより実行されるときに、請求項1から6のいずれか1項記載の方法を制御および／実行するために適合されている、ことを特徴とするコンピュータ読み取り可能媒体。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、風車による発電の分野に関する。

**【背景技術】****【0 0 0 2】**

原子力または火力で作動する一般的な電力プラントは、再生可能エネルギー源、たとえば、ウインドファーム、太陽光発電所、ウェーブファームなどに置き換えられるであろう。特に、風車はエコな発電としてより一層一般的なものとなってきている。風の運動エネルギーが、風車の回転翼によって風車のロータの回転エネルギーに変換され、発電機によって電気エネルギーに変換される。

**【0 0 0 3】**

従来の電力プラントの再生可能エネルギー源への置き換えに関する主な取り組みの1つは、消費者が実際に要求する時点に電力を供給することである。従来の電力プラントは、たとえば、需要が増加（減少）するときに、より多くの（少ない）燃料を燃焼させるのみである。

**【0 0 0 4】**

しかし、電力の再生可能源は、そのような簡単なやり方で制御することはできない。たとえば、風量は一日中同じではないことがある。しかし、電力需要は一日を通じて偏りがあり、特に、正午には調理のためにより高いことがある。さらに、全く風が無いことさえありうる。太陽光発電所は一方で日中のみ電力を供給し、照明に必要とされるときには供給しない。

**【0 0 0 5】**

U S 7 9 0 8 0 3 6 B 2 および U S 2 0 1 0 / 0 1 3 8 0 5 8 A 1 には、1つの場所に設けられたいくつかの風車からなるグループが、「ランプレート」、すなわち風車が通常の作動時に供給可能な生産電力の変化レートに基づいて制御されている。

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0 0 0 6】****【特許文献 1】 U S 7 9 0 8 0 3 6 B 2****【特許文献 2】 U S 2 0 1 0 / 0 1 3 8 0 5 8 A 1****【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0 0 0 7】**

しかし、外部送電系統のための付加的なサポート、特に、無効電力のサポートおよび電圧のサポートに関する付加的なサポートを提供するウインドファームの作動方法およびウインドファームに対するニーズが存在する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

このニーズは、独立請求項に記載の発明により満たされる。本発明の有利な実施形態は従属請求項に記載されている。

【0009】

本発明の第1の態様では、ウインドファームの作動方法が提供され、該ウインドファームは、風車と、エネルギー貯蔵装置とを有しており、該ウインドファームは外部送電系統に接続されており、該方法は、要求有効電力を決定するステップと、要求無効電力を決定するステップと、風車の生産電力を決定するステップと、生産電力が要求有効電力、要求無効電力、または、要求有効電力と要求無効電力とのベクトル和を上回るときに、エネルギー貯蔵装置を充電するステップと、を含む。10

【0010】

ウインドファームの作動方法の第1の実施形態では、該方法は生産電力が要求有効電力、要求無効電力、または、要求有効電力と要求無効電力とのベクトル和を下回るときに、エネルギー貯蔵装置を放電するステップをさらに含む。

【0011】

したがって、エネルギー貯蔵装置を放電するステップにより、ウインドファームは外部要件をより満たすことができる。風量の少ない状態で付加的な電力がエネルギー貯蔵装置により供給可能であるため、従来の予備発電所の数を減らすことができる。20

【0012】

ウインドファームの作動方法の別の実施形態では、該方法は、生産電力が風車の定格生産電力を上回るときに、生産電力を低下させるステップをさらに含む。

【0013】

生産電力が風車の定格生産電力を上回るときに生産電力を低下させることにより、風車に係る負荷を低減させることができ、したがって、風車の寿命も延ばすことができる。

【0014】

ウインドファームの作動方法のまた別の実施形態では、該方法は、生産電力が、要求有効電力、要求無効電力、要求有効電力と要求無効電力とのベクトル和、および、エネルギー貯蔵装置の定格充電電力のいずれか一つの要素に関する和を上回るときに、生産電力を低下させるステップをさらに含む。30

【0015】

生産電力が要求有効電力、要求無効電力、要求有効電力と要求無効電力とのベクトル和、および、エネルギー貯蔵装置の定格充電電力のいずれか一つの要素に関する和を上回るときに、生産電力を低下させることにより、エネルギー貯蔵装置の寿命を延ばすことができる。

【0016】

ウインドファームの作動方法の他の実施形態では、該方法は、生産電力が、要求有効電力、要求無効電力、または、要求有効電力と要求無効電力とのベクトル和のいずれか一つの要素に関する和を上回り、かつ、エネルギー貯蔵装置が完全に充電されているときに、生産電力を低下させるステップをさらに含む。40

【0017】

エネルギー貯蔵装置の過充電はエネルギー貯蔵装置の過熱につながる場合がある。したがって、生産電力が、要求有効電力、要求無効電力、または、要求有効電力と要求無効電力とのベクトル和のいずれか一つの要素に関する和を上回り、かつ、エネルギー貯蔵装置が完全に充電されているときに、生産電力を低下させることにより、エネルギー貯蔵装置の損傷を避けることができる。

【0018】

10

20

30

40

50

ウインドファームの作動方法の他の実施形態では、該方法は、外部送電系統の電圧を決定するステップと、外部送電系統の電圧が予め定めた外部送電系統の電圧と異なるときに、エネルギー貯蔵装置により補正電圧を供給するステップと、をさらに含む。

【0019】

外部送電系統の電圧を求めるステップと、求められた外部送電系統の電圧が予め定めた外部送電系統の電圧と異なるときに、エネルギー貯蔵装置により補償電圧を供給することにより、外部送電系統の電圧を介して接続される消費者が受ける電圧変動を低減することができる。

【0020】

本発明の第2の態様では、上記方法に従ってウインドファームを作動させるために適合されているウインドファームコントローラが提供される。 10

【0021】

上述の方法は、保守要員の人手による介入が最少にまたは無くなるように、ウインドファームコントローラによって行うことができる。

【0022】

ウインドファームコントローラの一実施形態では、ウインドファームコントローラは、エネルギー貯蔵要素に貯蔵されたエネルギー量を示すデータを記憶するメモリをさらに有する。

【0023】

エネルギー貯蔵要素に貯蔵されたエネルギー量に関する情報は、たとえば、エネルギー貯蔵要素の過充電を避けるために生産電力を低減すべき時点を決めるために役立つ。さらに、そのような情報は、たとえば、電力価格が特に高い場合に、付加的な電力がウインドファームによって供給可能であるか、そして、供給されるべきなのか否かを決めるために役立つ。 20

【0024】

本発明の第3の態様では、風車と、エネルギー貯蔵要素と、上記ウインドファームコントローラとを有するウインドファームが提供される。このようなウインドファームは、エネルギー貯蔵装置を有しないウインドファームよりも多くのエネルギーを風から集めることができるために、より有益である。 30

【0025】

ウインドファームの第1の実施形態では、エネルギー貯蔵要素は、電池および／またはフライホイールおよび／または超電導磁気のエネルギー貯蔵装置を有する。

【0026】

エネルギー貯蔵のためのいくつかの方法が従来技術の説明において記載されている。電池には非常に研究されてきたという利点があり、作動状態の寿命への影響がよく知られている。フライホイールは寿命を含まない短期間に特に高い電力を供給しうる。超電導磁気エネルギー貯蔵は、たとえば自己放電が少ない。

【0027】

ウインドファームの他の実施形態では、エネルギー貯蔵要素は瞬時電圧制御回路を有する。瞬時電圧制御回路は外部送電系統の電圧低下の場合に、ウインドファーム内の電圧を実質的に一定に維持するために用いることができる。 40

【0028】

ウインドファームの他の実施形態では、エネルギー貯蔵要素はバイパススイッチを有する。バイパススイッチはエネルギー貯蔵要素をウインドファームの送電系統から切り離すために用いることができる。これは、たとえば、送電系統の障害（たとえば電圧スパイク）によるエネルギー貯蔵要素、特にその電池または超電導磁気エネルギー貯蔵装置の損傷を避けるために用いることができる。

【0029】

ウインドファームの他の実施形態では、エネルギー貯蔵要素はインジェクショントランスを有する。インジェクショントランスはエネルギー貯蔵要素をウインドファームの送電 50

系統から絶縁するために用いることができる。さらに、インジェクショントランスによって、エネルギー貯蔵要素をより低い電圧で作動させることができる。より低い電圧について定格化された電力成分はより安価な場合がある。

#### 【0030】

第4の態様では、ウインドファームを作動するためのプログラム要素であって、データプロセッサにより実行されるときに、上記方法を制御および／実行するために適合されているプログラム要素が提供される。

#### 【0031】

コンピュータ要素はあらゆる適切なプログラミング言語、例えばJ A V A、C++などを使用することによって、コンピュータ読み取り可能な命令コードとして実施できるものであり、また、コンピュータプログラムをコンピュータ読み取り可能媒体（リムーバルディスク、揮発性メモリまたは不揮発性メモリ、組み込みメモリ、組み込みプロセッサなど）に記憶することができる。命令コードは、意図された機能を実行するために、コンピュータまたは他のあらゆるプログラミング可能な装置をプログラミングするために使用される。コンピュータプログラムはWorld Wide Webのようなネットワークからダウンロードすることによって入手することができる。

10

#### 【0032】

第5の態様では、対象物を処理するためのコンピュータプログラムが保存されているコンピュータ読み取り可能媒体であって、該コンピュータプログラムは、データプロセッサにより実行されるときに、上記方法を制御および／実行するために適合されているコンピュータ読み取り可能媒体が提供される。

20

#### 【0033】

コンピュータ読み取り可能媒体はたとえばコンピュータまたはプロセッサにより読み取り可能なものである。コンピュータ読み取り可能媒体は、たとえば、電気的、磁気的、光学的、赤外線を用いたまたは半導体のシステム、装置または伝送媒体であるが、これらのものに限定されない。コンピュータ読み取り可能媒体としては、たとえば、コンピュータが頒布可能な媒体、プログラム記憶媒体、記録媒体、コンピュータ読み取り可能なメモリ、ランダムアクセスメモリ、消去可能プログラム可能読み取り専用メモリ、コンピュータ読み取り可能なソフトウェア頒布パッケージ、コンピュータ読み取り可能信号、コンピュータ読み取り可能遠隔通信信号、コンピュータ読み取り可能な印刷物およびコンピュータ読み取り可能な圧縮ソフトウェアパッケージの少なくともいずれか1つが挙げられる。

30

#### 【0034】

本発明の実施形態は、異なる対象に関連して記載したことに留意されたい。とりわけいくつかの実施形態では、方法カテゴリーの請求項に関連して説明しているものと、装置カテゴリーの請求項に関連して説明しているものとがある。しかし当業者であれば、上記および下記の記載から、それ以上特記しなくても、別のカテゴリーの対象に属する特徴のすべての任意の組み合わせの他に付加的に、異なる対象に関する特徴のすべての任意の組み合わせも本願の開示内容と見なされ、とりわけ方法カテゴリーの請求項の特徴と装置カテゴリーの請求項の特徴との組み合わせも本願の開示内容と見なされることを理解することができるであろう。

40

#### 【0035】

本発明の上述したおよび他の実施形態は以下に記載した実施形態から明らかになり、実施形態の例に関連して説明される。本発明について実施形態の例を参照してより詳細に説明するが、本発明はこれらに制限されるものではない。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0036】

【図1】従来技術におけるウインドファームの例示的実施形態の概略図を示す。

【図2】本発明に係るウインドファームの例示的実施形態の概略図を示す。

【図3】本発明に係るウインドファームの作動方法の例示的実施形態を示す。

【図4】本発明に係る例示的ウインドファームの例示的制御手段を示す。

50

【図5】制御回路の例示的実施形態を示す。

【図6】例示的な充電停止手段を示す。

【図7】本発明に係るウインドファームの例示的実施形態の概略図を示す。

【図8】例示的な電圧変化を示す。

【図9】電位の可視化を示す図である。

【図10】例示的な電圧変化を示す。

【図11】本発明に係るウインドファームの例示的実施形態の概略図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0037】

図中の記載は概略的なものである。

10

【0038】

図1は従来技術におけるウインドファーム1の例示的実施形態の概略図を示す。ウインドファーム1は第1～第3の風車2、3、4を有する。各風車2、3、4の風車発電機5、6、7は対応する風車トランス8、9、10の低電圧側に接続されている。変換された電力は各風力タービントラns8、9、10の中間電圧側から、それぞれインピーダンス15、16、17を有するケーブル12、13、14を介して、共通結合点11に導かれている。共通結合点の後で、電力はウインドファームトランs18によってより高い電圧に変換される。さらに電力は無効電力補償器20を介して外部送電系統19に供給される。ウインドファームコントローラ21は、ウインドファームトランs18の前および/または後における電圧、周波数、有効電力および無効電力を監視し、風車2、3、4に制御信号22、23を供給する。制御信号22、23は、各風車2、3、4が生産する電力、および、各風車2、3、4の風車ロータの回転速度を制御するために用いられる。

20

【0039】

図2は、第1～4の風車25、26、27、28を有する本発明に係るウインドファーム24の例示的実施形態の概略図を示す。風車25、26、27、28の風車発電機29、30、31、32はそれぞれ定格2.3MWの電力を生成する。風車トランsは電力を690Vから33kVに変換する。インピーダンス41、42、43、44を有するケーブル37、38、39、40を介して、電力は共通結合点45に導かれる。共通結合点45から、電力はウインドファームトランs47の中間電圧側に導かれ、電力は通常33kVから132kVに変圧される。しかし、変圧率は可変であっても良い。この場合、インドファームの適応を異なる外部送電系統48に広げることができる。さらに、可変の変圧率を有するウインドファームトランsによって、外部送電系統における障害発生時の外部送電系統のサポートが向上される。電力はウインドファームトランs47の高電圧側から無効電力補償器49を介して外部送電系統48に導かれる。この例示的実施形態における無効電力補償器49は、リアクタンスの抵抗に対する比が10である。エネルギー貯蔵装置46は共通結合点45に接続されている。しかし、代替的な実施形態では、エネルギー貯蔵装置46はウインドファームトランs47の高電圧側にも同様に接続されていてよい。エネルギー貯蔵装置46は、電池50、制御回路51、変換器52、フィルタユニット53およびインジェクショントランs54を有する。制御回路51は直流電流でもって電池50の充放電を制御する。変換器52は、直流電流を、共通結合点45において供給される交流電流に変換する。変換器52の出力はフィルタユニット53に接続され、フィルタユニットは、インジェクショントランs54に電流が供給される前に電流を平滑化する。インジェクショントランs54はたとえば有利には3相トランsである。インジェクショントランs54は共通結合点45において交流電流を供給するために用いられるだけでなく、共通結合点45における電圧をフィルタ52側におけるより低い値に変換するためにも用いられる。これによって、エネルギー貯蔵要素46のための低電圧装置を用いることができる。ウインドファームコントローラ55は、ウインドファームトランs47の前および/または後における電圧、周波数、有効電力および無効電力を測定する。これらのパラメタに基づいて、ウインドファームコントローラ55は、風車25、26、27、28およびエネルギー貯蔵要素46、有利には制御回路51を、制御信号56、57、58

30

40

50

、59により制御する。制御回路51は、ウインドファームコントローラ55が周波数制御から回避されるように、ウインドファームコントローラ55と双方的に通信する。ウインドファームコントローラ55はたとえば制御信号58によりエネルギー貯蔵要素46から取り出すべき電力量を決定し、同時に、電池50の残存エネルギーレベルに関する制御回路51からのフィードバックを受信する。

#### 【0040】

図3は本発明に係るウインドファームの作動方法の例示的実施形態を示す。図には、現在吹いている風から利用可能な電力 $P_{AV}$ 、風車が実際に生産する有効電力 $P_{WT}$ 、ウインドファームが外部送電系統に供給する有効電力 $P_{GG}$ 、および、エネルギー貯蔵要素が貯蔵する、放出する有効電力 $P_{ES}$ の時間経過が示されている。

10

#### 【0041】

$t_0$ で風が吹き始めると、風車は基本的に利用可能な電力 $P_{AV}$ の全てを用いて有効電力 $P_{WT}$ を生産してよい。エネルギーはエネルギー貯蔵要素には未だ貯蔵されていない。したがって、ウインドファームが外部送電系統に供給する有効電力 $P_{GG}$ は $P_{WT}$ および $P_{AV}$ に等しい。利用可能な電力 $P_{AV}$ が $t_1$ において消費者が要求する有効電力 $P_{DP}$ を上回るとき、風車は、有効電力 $P_{WT}$ を生成するために、全ての利用可能な有効電力 $P_{AV}$ を依然として使い続ける。外部送電系統に供給される有効電力 $P_{GG}$ は、エネルギー貯蔵要素を充電するために用いられる有効電力 $P_{ES}$ の分だけ減少する。このようにして、余分なエネルギー $E_{SU}$ が貯蔵エネルギー $E_{ST}$ としてエネルギー貯蔵要素に貯蔵される。エネルギー貯蔵要素の充電電力は、たとえば、所定の閾値 $P_{TH}$ に制限される。 $t_2$ において、利用可能電力 $P_{AV}$ が要求有効電力を、 $P_{TH}$ を超える量上回る場合、たとえば、風車により生産される有効電力 $P_{WT}$ はエネルギー貯蔵要素の損傷を避けるために低減される。風が弱まり、利用可能電力 $P_{AV}$ が要求電力 $P_{DP}$ を下回る場合、エネルギー $E_{RL}$ がエネルギー貯蔵要素から放出され、その結果、より多くの有効電力 $P_{GG}$ が外部送電系統に供給可能である。このようにして、低風速状態においても消費者の要求はより良く満たされうる。

20

#### 【0042】

図4は、本発明に係る例示的なウインドファームのための例示的な制御手段を示す。比較器60はウインドファームにより提供される電力 $P_{WF}$ を、風車とウインドファームのエネルギー貯蔵要素との共通結合点において利用可能な電力 $P_{PPC}$ と比較する。その差はウインドファームコントローラ61に送られ、ウインドファームコントローラは風車により供給されるべき新たな好ましい電力 $P_{TO}$ を決定する。除算器62はこの好ましい電力 $P_{TO}$ を関係する風車の数で割り、個々の設定値 $P_{ISP}$ がこれらの風車に送られる。

30

#### 【0043】

要素63は、ウインドファームにより提供される電力 $P_{WF}$ 、および、現在の風の状況により利用可能な利用可能電力 $P_{AV}$ を監視する。 $P_{AV}$ が $P_{WF}$ を上回る場合、要素63は $P_{AV}$ の値を比較器64に送り、比較器において $P_{TO}$ から $P_{AV}$ が減ぜられる。得られる差 $P_{EB}$ は負であり、すなわち、制御回路65は電池を正の電力 $P_B$ で充電し始める。制御回路には、電池を充電および/または放電するための、かつ、上限電力リミッタ $P_{UL}$ および下限電力リミッタ $P_{LL}$ を設定するための入力が供給される。

40

#### 【0044】

図5は、図4を参照して説明されたような実施のために用いることができる、制御回路65の例示的実施形態を示す。 $P_{EB}$ がたとえば制御回路によって供給され、制御回路はたとえばアンチワインドアップ(anti-windup)を有するPIコントローラである。制御回路はたとえば、増幅回路71、69、除算器66、比較器67、積分器68および加算器72、70を有する。さらに、レートリミッタ73および飽和瞬時制御回路74が含まれても良い。飽和瞬時制御回路74は、上限電力リミッタ $P_{UL}$ および下限電力リミッタ $P_{LL}$ に関する入力により影響されうる。制御回路65は最終的に電池に関する充電電力 $P_B$ を決定する。上限電力 $P_{UL}$ および下限電力 $P_{LL}$ は事象依存的、たとえば、伝送システムオペレータからの電力需要、市価、周波数に関する事象などに依存していても良い

50

。これらの限度の最高値は最大の充電電力閾値であってよく、この閾値はたとえば電池が充電 / 放電の間にどれだけの量のパワーフローに耐えうるかを示す。

#### 【 0 0 4 5 】

図 6 は、電池の過充電を避けるための手段を示す。充電電力  $P_B$  は監視され、貯蔵されたエネルギーの量を知るために積分器 75 で積分される。積分器は監視し、さらに、信号  $S_D$  を受信する。この信号はエネルギー貯蔵装置からの電力が外部送電系統に供給されるときに電池が放電するときの信号である。貯蔵されたエネルギー量が最大エネルギーレベル 76 を上回るとき、電池は貯蔵し、比較器 77 は、充電が止められるべきであるという信号  $S_{SC}$  を発する。

#### 【 0 0 4 6 】

図 7 は、本発明に係るウインドファーム 78 の例示的実施形態の概略図を示す。図 2 に示す実施形態と異なり、風車 79、80、81 はそれぞれ風車発電機 82、83、84、風車トランス 85、86、87 を有し、インピーダンス 92、93、94 を有するケーブル 89、90、91 を介して共通結合点 88 に接続されている。エネルギー貯蔵要素 95 もまた共通結合点 88 に接続されている。共通結合点の後で、ウインドファームトランス 96 が電圧を外部送電系統 97 の電圧に適合させるために設けられている。ウインドファーム 78 は無効電力補償器 98 を介して外部送電系統 97 に接続されている。エネルギー貯蔵要素 95 は電池 99、瞬時電圧制御回路 100、交流電流と直流電流との変換のための変換器 101、フィルタ 102、バイパススイッチ 107、インジェクショントランス 106 を有する。フィルタ 102 のインダクタンス (inductivity) およびキャパシタンス (capacity) は、変換器 101 により提供される交流電流により平滑化される。これは変換器 101 により生成される不要な高次高調波成分を除くことにより行うことができる。バイパススイッチ 107 によりエネルギー貯蔵要素 95 は共通結合点 88 から切り離すことができる。バイパススイッチは、送電系統の障害発生時にエネルギー貯蔵要素 95 を保護することができる。キャパシタンス 105 により、電池 99 には交流電流が印加されない。ウインドファームコントローラ 108 はたとえば信号 111 により瞬時電圧制御回路 100 を制御する。ウインドファームコントローラ 108 は、たとえば、ウインドファームトランス 96 の前および / または後の電圧、周波数、有効電力および / または無効電力を測定する。これらのパラメタに基づいて、ウインドファームコントローラ 108 はたとえば、制御信号 109、110、111 により、風車 79、80、81 およびエネルギー貯蔵要素 95、具体的には瞬時電圧制御回路 100 を制御する。瞬時電圧制御回路 100 は変換器 101 および電池 99 に対して働き、これにより、エネルギー貯蔵要素 95 は共通結合点 88 において電力をインジェクションし、これは予め定めた周波数および電圧ならびに予め定めた有効成分および無効成分を有するものである。瞬時電圧低下補償回路 100 の最大補償能力は、たとえば、電池により供給される有効電力量に依存する。変換器 101 はたとえばパルス幅変調電圧型インバータである。パルス幅変調電圧型インバータはたとえば風車に用いられたものと同じである。インジェクショントランス 106 の高電圧側は共通結合点 88 とウインドファームトランス 96 とを接続する配電ラインに直列に接続されており、一方で、インジェクショントランス 106 の低電圧側はエネルギー貯蔵装置 95 の残りの装置に接続されている。たとえば、3 相用の瞬時電圧制御回路 100 の場合は、3 つの単相電圧インジェクショントランス 106 または 1 つの 3 相電圧インジェクショントランス 106 が配電ラインに接続されている。1 つの単相電圧インジェクショントランス 106 には単相用の瞬時電圧制御回路 100 で十分である。3 相電圧インジェクショントランス 106 について、デルタ / オープンまたはスター / オープン構成のいずれかの 3 相電圧インジェクショントランス 106 を用いることができる。インジェクショントランス 106 は、たとえば、変換器 101 のフィルタされた出力により供給された電圧を所望のレベルに増大させ、同時にエネルギー貯蔵装置 95 をウインドファーム 78 の他の部分から絶縁する。

#### 【 0 0 4 7 】

ウインドファームコントローラは、たとえば、電圧低下を検出し、エネルギー貯蔵要素

10

20

30

40

50

95に制御信号111を送る。典型的な電圧変化が図8に示されている。図8の上側の図のプロットは、外部送電系統、たとえば図7に示す外部送電系統の電圧を示す。洋上ウインドパークの場合、電圧114はたとえば陸側の接続点において測定される。電圧が低下する場合、瞬時電圧制御回路100はたとえばウインドファームコントローラ108から信号111を受信し、その結果、エネルギー貯蔵装置95は、図8の中程の図のプロットに示されるような必要な電圧113を確立する。図8の下側の図のプロットに示される共通結合点88における電圧は、したがって、これらの電圧の合計である。図9は、これらの電位を可視化したものを見せる。

#### 【0048】

図10は、2相の電圧が定格電圧よりも高い場合の例示的な電圧変化を示す（上側の図参照）。瞬時電圧低下補償回路100により、たとえばこれらの2相の電圧は中程の図に示される量の分だけ減ぜられ、最終的に全ての3相が下側の図に示されるように定格電圧を有する。

#### 【0049】

本発明のいくつかの実施形態では、たとえば、1つのエネルギー貯蔵装置が共通結合点に接続されている。しかし、他の実施形態では、複数のエネルギー貯蔵要素が設けられていても良い。これらのエネルギー貯蔵要素は、さらに個々の風車に設けられていても良い。

#### 【0050】

図11は、2つのエネルギー貯蔵要素138、137を有するウインドファーム115の例示的実施形態を示す。エネルギー貯蔵要素は、4つの風車116、117、118、119のうちの2つの風車118、119に設けられている。各ウインドファームは発電機120、121、122、123およびウインドファームトランス124、125、126、127を有し、インピーダンス133、134、135、136を有するケーブル128、129、130、131を介して共通結合点132に接続されている。エネルギー貯蔵要素138、137は、それぞれ電池142、制御回路143、変換器144、フィルタ145およびインジェクショントランス146を有する。制御回路143はウインドファームコントローラ151からの信号150、149により制御され、これはさらに風車116、117、118、119をウインドファームトランス139の前および/または後で測定された値に基づいて制御信号147、148により制御する。ウインドファーム115は無効電力補償器141を介して外部送電系統140に接続されている。

#### 【0051】

「含む」、「有する」の語は他の要素またはステップを除くものではなく、「1つ」と記載されていない限り複数を除くものでない。また、異なる実施形態に関連して記載された要素が組み合わされても良い。請求項における参照番号は請求項に記載の発明の範囲を限定するものと理解されるべきではない。

#### 【符号の説明】

#### 【0052】

1 ウインドファーム、 2、 3、 4 風車、 8、 9、 10 風車トランス、 21  
ウインドファームコントローラ

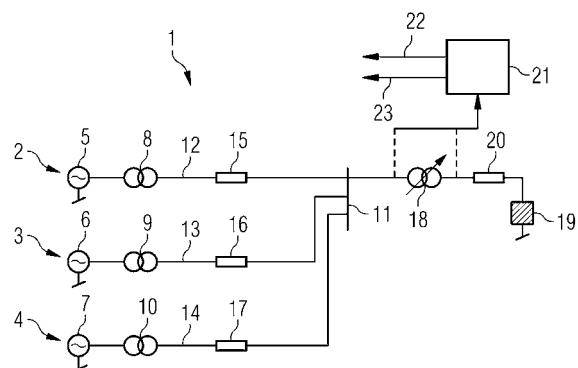
10

20

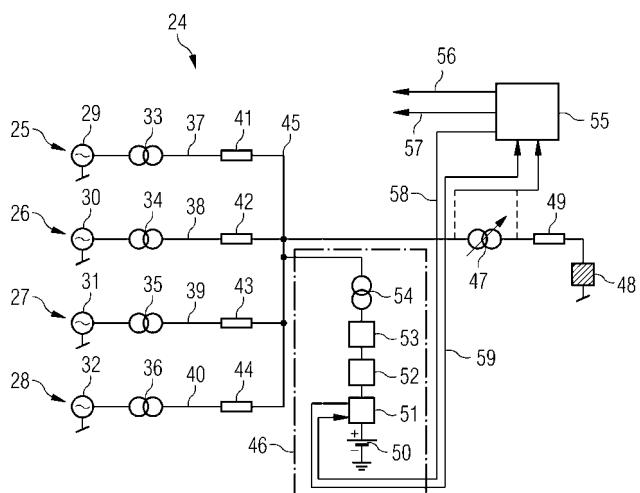
30

40

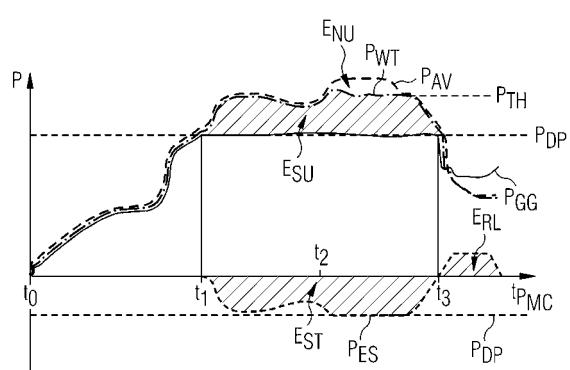
【図1】



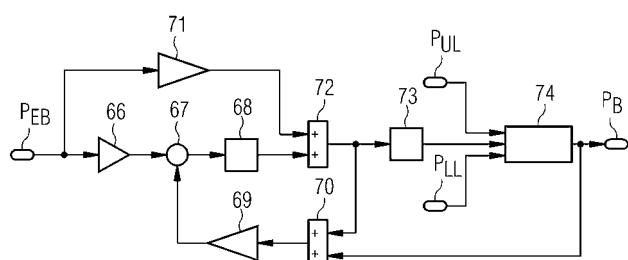
【図2】



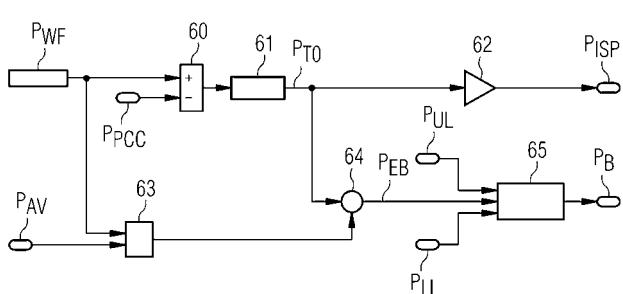
【図3】



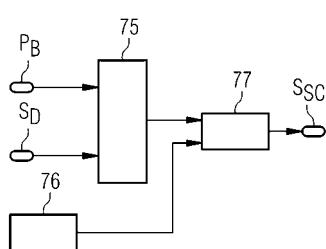
【図5】



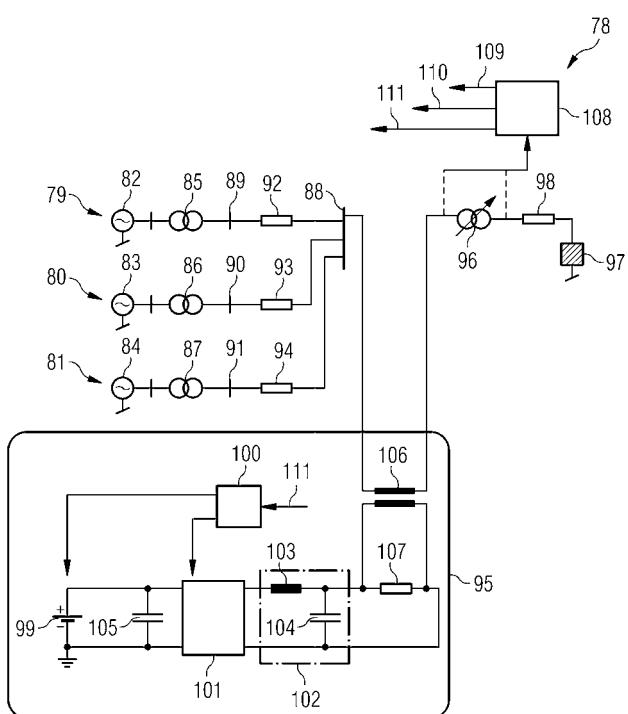
【図4】



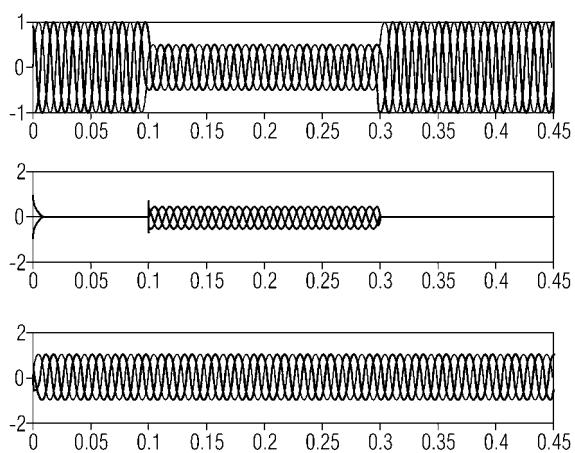
【図6】



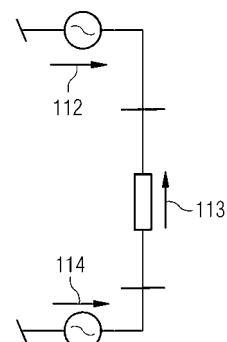
【図7】



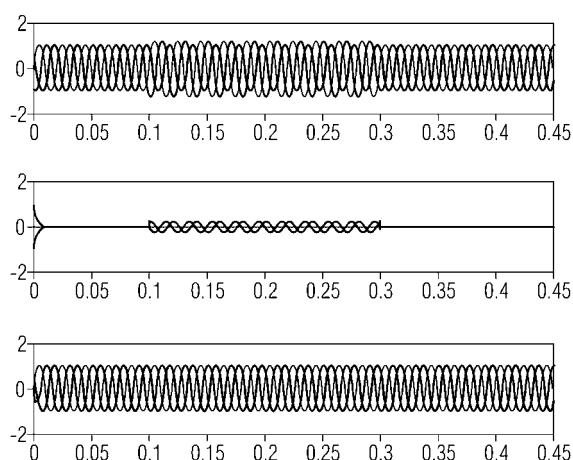
【 図 8 】



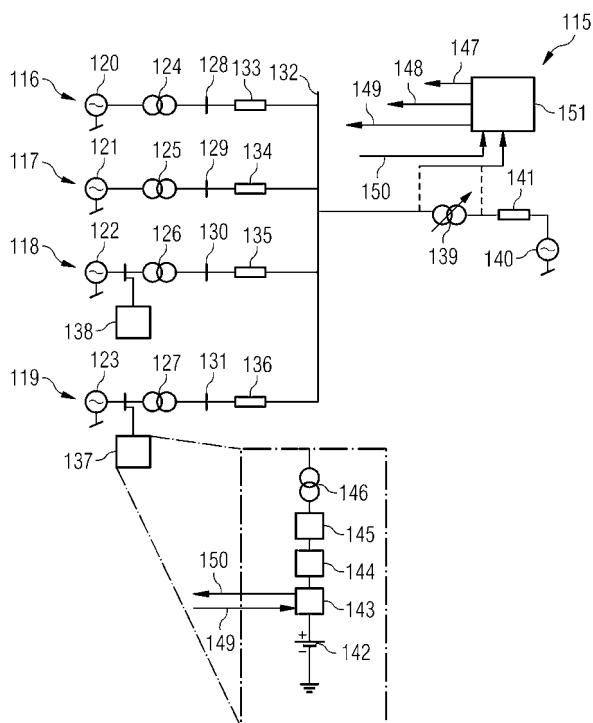
【 図 9 】



【図10】



【 四 1 1 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ペア イーイデール  
デンマーク国 ヘアニング クローウヴァイン 37

(72)発明者 サティース クマー  
デンマーク国 ヘアニング リーセロンヴェイ 14  
F ターム(参考) 3H078 AA26 BB01 BB30 CC32 CC56 CC72  
5G066 HB02 JA01 JB01 JB02 JB03  
5G503 AA07 BA01 BB01 CA10 GD03

**【外国語明細書】****Title of Invention**

Method for operating a wind farm, wind farm controller and wind farm

**Detailed Explanation of the Invention**Field of invention

The present invention relates to the field of power generation by wind turbines.

Art Background

Ordinary power plants operated with nuclear power or combustion are to be substituted with renewable energy sources such as wind farms, solar power stations and wave farms for example. In particular, wind turbines are becoming more and more popular for ecological power generation. The kinetic energy of the wind is converted to rotational energy of a wind turbine rotor by the wind turbine rotor blades and therefrom to electric energy by a generator.

One of the main challenges associated with the substitution of conventional power plants with renewable energy sources is delivering the power at the time when it is actually demanded by the consumers. Conventional power plants may simple burn more (less) fuel when the demand augments (decreases).

However, the power renewable energy sources deliver cannot be regulated in such an easy way. The amount of wind, for example, may be the same over a whole day. However, power demand may deviate during the day, in particular may be higher at noon for cooking. Moreover, there may be even no wind at all. Solar power stations on the other hand may provide power only during daytime and not when it is needed for illumination.

US 7 908 036 B2 and US 2010/0138058 A1 describe wind farms, groups of several wind turbines at one location, being oper-

ated based on "ramp rates", i.e. the rate of change in power production a wind turbine can provide at normal operation.

However, there may a need for a method for operating a wind farm and a wind farm, which provide additional support, in particular concerning reactive power support and voltage support, for an external grid.

### Summary of the Invention

This need may be met by the subject matter according to the independent claims. Advantageous embodiments of the present invention are described by the dependent claims.

According to a first aspect of the invention there is provided a method for operating a wind farm, the wind farm comprising a wind turbine, and an energy storage device, the wind farm being connected to an external grid, the method comprising determining a demanded active power, determining a demanded reactive power, determining power production of the wind turbine, and charging the energy storage device, when the power production is above the demanded active power, the demanded reactive power, or the vector sum of demanded active power and demanded reactive power.

According to a first embodiment of the method for operating a wind farm, the method further comprises discharging the energy storage device, when the power production is below the demanded active power, the demanded reactive power, or the sum of demanded active power and demanded reactive power.

Discharging the energy storage device thus may allow the wind farm to better comply with external requirements. The amount of stand-by conventional power stations may be reduced as in low wind situations additional power may be provided by the energy storage device.

According to another embodiment of the method for operating a wind farm, the method further comprises reducing the power production, when the power production is above a rated power production of the wind turbine.

Reducing the power production when the power production is above a rated power production of the wind turbine may reduce the loads experienced by the wind turbine and may accordingly extend the lifetime of the wind turbine.

According to yet another embodiment of the method for operating a wind farm, the method further comprises reducing the power production, when the power production is above the sum of either the demanded active power, the demanded reactive power, the vector sum of demanded active power and demanded reactive power and a rated charging power of the energy storage device.

Reducing the power production, when the power production is above the sum of either the demanded active power, the demanded reactive power, the vector sum of demanded active power and demanded reactive power and the rated charging power of the energy storage device may enhance the lifetime of the energy storage device.

According to a further embodiment of the method for operating a wind farm, the method further comprises reducing the power production, when the power production is above the sum of either the demanded active power, the demanded reactive power, or the vector sum of demanded active power and demanded reactive power and when furthermore the energy storage device is full.

Overcharging of the energy storage device may result in overheating of the energy storage device. Reducing the power production, when the power production is above the sum of either the demanded active power, the demanded reactive

power, or the vector sum of demanded active power and demanded reactive power and when furthermore the energy storage device is full may thus avoid damaging the energy storage device.

According to a still further embodiment of the method for operating a wind farm, the method further comprises determining the external grid voltage and providing correctional voltage via the energy storage device, when the external grid voltage differs from a predetermined external grid voltage.

Determining the external grid voltage and providing correctional voltage via the energy storage device, when the external grid voltage differs from a predetermined external grid voltage may reduce voltage fluctuations experienced by the consumers connected through the external grid voltage.

According to a second aspect of the invention there is provided a wind farm controller, the wind farm controller being adapted for operating a wind farm according to a method as set forth above.

The method as set forth hereinbefore may be implemented with a wind farm controller such that manual interference of operating personal may be reduced to a minimum or dispensed with.

According to an embodiment of the wind farm controller, the wind farm controller comprises a memory for storing data indicative of the amount of energy stored within the energy storage element.

Information about the amount of energy stored within the energy storage element may help to decide when power production should be reduced to avoid overcharging of the energy storage element. Furthermore, such information may be useful to decide if additional power can and should be provided by

the wind farm, when market prices for power are particularly high.

According to a third aspect of the invention there is provided a wind farm comprising a wind turbine, an energy storage element, and a wind farm controller as set forth above. Such a wind farm may be more profitable as it may harvest more energy from the wind than a wind farm without an energy storage element.

According to a first embodiment of the wind farm, the energy storage element comprises a battery and/or a flywheel and/or a superconducting magnetic energy storage.

Several methods for storing energy have been described in the state of the art. Batteries have the advantage of having been researched intensively and the influence of operating conditions on the lifetime is well known. Flywheels may provide particularly high power for a short amount of time without comprising lifetime. Superconducting magnetic energy storages may have a low self-discharge.

According to another embodiment of the wind farm, the energy storage element comprises a dynamic voltage restorer. A dynamic voltage restorer may be used to maintain the voltage within the wind farm essentially constant in case of a voltage drop of the external grid.

According to yet another embodiment of the wind farm, the energy storage element comprises a bypass switch. A bypass switch may be used to decouple the energy storage element from a wind farm grid. This may be useful to avoid that grid failures, e.g. voltage spikes, may damage the energy storage element, in particular a battery or a superconducting magnetic energy storage thereof.

According to a further embodiment of the wind farm, the energy storage element comprises an injection transformer. An injection transformer may provide galvanic insulation of the energy storage element from a wind farm grid. Furthermore, an injection transformer may allow operating the energy storage element with a lower voltage. Power components rated for a lower voltage may be cheaper.

According to a forth aspect there is provided a program element for operating a wind turbine, the program element, when being executed by a data processor, is adapted for controlling and/or for carrying out a method as set forth above.

The program element may be implemented as computer readable instruction code in any suitable programming language, such as, for example, JAVA, C++, and may be stored on a computer-readable medium (removable disk, volatile or non-volatile memory, embedded memory/processor, etc.). The instruction code is operable to program a computer or any other programmable device to carry out the intended functions. The program element may be available from a network, such as the World Wide Web, from which it may be downloaded.

According to a fifth aspect there is provided a computer readable medium on which there is stored a computer program for processing a physical object, the computer program, when being executed by a data processor, is adapted for controlling and/or for carrying out a method as set forth above.

The computer-readable medium may be readable by a computer or a processor. The computer-readable medium may be, for example but not limited to, an electric, magnetic, optical, infrared or semiconductor system, device or transmission medium. The computer-readable medium may include at least one of the following media: a computer-distributable medium, a program storage medium, a record medium, a computer-readable memory,

a random access memory, an erasable programmable read-only memory, a computer-readable software distribution package, a computer-readable signal, a computer-readable telecommunications signal, computer-readable printed matter, and a computer-readable compressed software package.

It has to be noted that embodiments of the invention have been described with reference to different subject matters. In particular, some embodiments have been described with reference to method type claims whereas other embodiments have been described with reference to apparatus type claims. However, a person skilled in the art will gather from the above and the following description that, unless other notified, in addition to any combination of features belonging to one type of subject matter also any combination between features relating to different subject matters, in particular between features of the method type claims and features of the apparatus type claims is considered as to be disclosed with this document.

The aspects defined above and further aspects of the present invention are apparent from the examples of embodiment to be described hereinafter and are explained with reference to the examples of embodiment. The invention will be described in more detail hereinafter with reference to examples of embodiment but to which the invention is not limited.

### **Brief Explanation of the Drawings**

Figure 1 shows a schematic overview of an exemplary embodiment of a wind farm according to the state of the art.

Figure 2 shows a schematic overview of an exemplary embodiment of a wind farm according to the invention.

Figure 3 illustrates an exemplary embodiment of a method for operating a wind farm according to the invention.

Figure 4 illustrates an exemplary control strategy for an exemplary wind farm according to the invention.

Figure 5 shows an exemplary embodiment of a control circuit.

Figure 6 shows an exemplary stop charging strategy.

Figure 7 shows a schematic overview of an exemplary embodiment of a wind farm according to the invention.

Figure 8 shows an exemplary voltage scenario.

Figure 9 shows a visualization of potentials.

Figure 10 shows an exemplary voltage scenario.

Figure 11 shows a schematic overview of an exemplary embodiment of a wind farm according to the invention.

#### Detailed Description

The illustration in the drawing is schematically.

Figure 1 shows schematic overview of an exemplary embodiment of a wind farm 1 according to the state of the art. The wind farm 1 comprises a first wind turbine 2, a second wind turbine 3, and a third wind turbine 4. The wind turbine generators 5, 6, 7 of the respective wind turbines 2, 3, 4 are connected to the low voltage side of corresponding wind turbine transformers 8, 9, 10. The transformed power is guided from the medium voltage side of the respective wind turbine transformer 8, 9, 10 to a point of common coupling 11 via cables 12, 13, 14 with impedances 15, 16, 17 respectively. After the point of common coupling the power is

further transformed to an even higher voltage via the wind farm transformer 18. The power is then fed into an external grid 19 via a reactive power compensator 20. A wind farm controller 21 monitors the voltage, frequency, active power, and reactive power before and/or after the wind farm transformer 18 and provides the wind turbines 2, 3, 4 with control signals 22, 23. The control signals 22, 23 are used to control the power each wind turbine 2, 3, 4 produces and the rotational speed of the wind turbine rotor of each wind turbine 2, 3, 4.

Figure 2 shows a schematic overview of an exemplary embodiment of a wind farm 24 according to the invention with a first wind turbine 25, a second wind turbine 26, a third wind turbine 27, and a forth wind turbine 28. The wind turbine generators 29, 30, 31, 32 of the wind turbines 25, 26, 27, 28 respectively are rated for a power production of 2.3 MW. The wind turbine transformers transform the power from 690 V to 33 kV. Via cables 37, 38, 39, 40 with impedances 41, 42, 43, 44 the power is guided to a point of common coupling 45. From the point of common coupling 45 the power is guided to the medium voltage side of the wind farm transformer 47 where the power is typically transformed from 33 kV to 132 kV. However, the transformation ratio may be changeable. This may enhance the adaptability of the wind farm to different external grids 48. Furthermore, a wind farm transformer with a changeable transformation ratio may provide enhanced external grid support in case of external grid failures. From the high voltage side of the wind farm transformer 47 the power is provided to the external grid 48 via a reactive power compensator 49. The reactive power compensator 49 in this exemplary embodiment has a ratio reactance to resistance of 10. An energy storage device 46 is coupled to the point of common coupling 45. However, in an alternative embodiment the energy storage device 46 could as well be coupled to the high voltage side of the wind farm transformer 47. The energy storage device 46 comprises a battery 50, a control circuit 51, a

converter 52, a filter unit 53, and an injection transformer 54. The control circuit 51 controls the charging and discharging of the battery 50 with direct current. The converter 52 converts the direct current to the alternating current to be provided at the point of common coupling 45. The output of the converter 52 is connected to the filter unit 53, which smoothens the current before it is fed into the injection transformer 45. The injection transformer 54 may in particular be a three-phase transformer. The injection transformer 54 may not only be used to inject the alternating current at the point of common coupling 45, but may also transform the voltage at the point of common coupling 45 side to a lower value at the filter 52 side. This may allow using low voltage devices for the energy storage element 46. A wind farm controller 55 measures the voltage, frequency, active power, and reactive power before and/or after the wind farm transformer 47. Based on these parameters the wind farm controller 55 controls the wind turbines 25, 26, 27, 28 and the energy storage element 46, in particular the control circuit 51, via control signals 56, 57, 58, 59. The control circuit 51 may communicate with the wind farm controller 55 bidirectional to prevent the wind farm controller from performing frequency control. The wind farm controller 55 may for example determine how much power is to be extracted from the energy storage element 46 via the control signal 58 and at the same time receive feedback from the control circuit 51 about the remaining energy level of the battery 50.

Figure 3 illustrates an exemplary embodiment of a method for operating a wind farm according to the invention. The diagram shows the development of the power available in view of the wind currently blowing  $P_{AV}$ , active power the wind turbines actually produce  $P_{WT}$ , the active power the wind farm provides to a external grid  $P_{GG}$ , and active power the energy storage element stores and releases  $P_{ES}$  versus time.

When the wind starts at  $t_0$  to blow the wind turbine may use essentially all of the power available  $P_{AV}$  to produce active power  $P_{WT}$ . No energy has been stored in the energy storage element yet. Accordingly the active power the wind farm provides to the external grid  $P_{GG}$  is equal to  $P_{WT}$  and  $P_{AV}$ . When the power available  $P_{AV}$  surpasses at time  $t_1$  the active power demanded by consumers  $P_{DP}$  the wind turbines may still use all the active power available  $P_{AV}$  to generate active power  $P_{WT}$ . The active power provided to the external grid  $P_{GG}$  is reduced by active power  $P_{ES}$  used to charge the energy storage element. In this way the supplemental energy  $E_{SU}$  may be retained in the energy storage element as stored energy  $E_{ST}$ . The charging power of the energy storage element may be limited by a certain threshold power  $P_{TH}$ . If the power available  $P_{AV}$  exceeds the demanded active power  $P_{DP}$  by an amount of more than  $P_{TH}$  at  $t_2$  the active power produced by the wind turbines  $P_{WT}$  may be reduced to avoid damaging the energy storage element. When the wind reduces and the power available  $P_{AV}$  becomes lower than the demanded power  $P_{DP}$  energy  $E_{RL}$  may be released from the energy storage element, such that more active power  $P_{GG}$  may be provided to the external grid. In this way even in low wind conditions consumer demands may be better fulfilled.

Figure 4 illustrates an exemplary control strategy for an exemplary wind farm according to the invention. A comparator 60 compares the power to be provided by the wind farm PWF with the power  $P_{PPC}$  available at a point of common coupling of wind turbines and an energy storage element of the wind farm. The difference thereof is provided to a wind farm controller 61, which determines a new preferred power  $P_{TO}$  to be provided by the wind turbines. A divisor 62 divides the value of this preferred power  $P_{TO}$  with the number of wind turbines concerned and the individual set points  $P_{ISP}$  are distributed to the wind turbines.

Element 63 monitors the power to be provided by the wind farm  $P_{WF}$  and the power  $P_{AV}$ , which is available due to current wind condition. If  $P_{AV}$  is greater than  $P_{WF}$  element 63 transmits the value of  $P_{AV}$  to comparator 64, where it will be subtracted from  $P_{TO}$ . The resulting difference  $P_{EB}$  will be negative and hence the control circuit 65 will start charging the battery with a positive power  $P_B$ . The control circuit may be provided with an input for setting an upper power limit  $P_{UL}$  and a lower power limit  $P_{LL}$  for charging and/or discharging the battery.

Figure 5 shows an exemplary embodiment of a control circuit 65, which may be used for the implementation as has been described with reference to Figure 4.  $P_{EB}$  may be fed through the control circuit, which may be a PI controller with anti-windup. The control circuit may comprise amplifier circuits 71, 69, a divisor 66, a comparator 67, an integrator 68, adders 72, 70. Furthermore, a rate limiter 73 and a saturation dynamic control circuit 74 may be included. The saturation dynamic control circuit 74 may be influenced through an input for an upper power limit  $P_{UL}$  and a lower power limit  $P_{LL}$ . The control circuit 65 finally determines the charging power  $P_B$  for the battery. The upper power limit  $P_{UL}$  and the lower power limit  $P_{LL}$  may be event dependent, e.g. depending on power demand from a transmission system operator, market price, frequency events, etc. The highest value of these limits may be the max charging power threshold, which dictates how much power flow the battery can tolerate during charging/discharging.

Figure 6 shows a strategy to avoid over-charging the battery. The charging power  $P_B$  is monitored and integrated with an integrator 75 to obtain the amount of stored energy. The integrator monitors furthermore receives a signal  $S_D$ , when power from the energy storage element is fed into the external grid, the battery is discharged. If the amount of stored energy surpasses the maximum energy level 76 the battery may

store, the comparator 77 emits a signal  $S_{SC}$  that charging should be stopped.

Figure 7 shows a schematic overview of an exemplary embodiment of a wind farm 78 according to the invention. Comparable to the embodiment depicted in Figure 2 the wind turbines 79, 80, 81 each comprise a wind turbine generator 82, 83, 84, a wind turbine transformer 85, 86, 87, and are connected to a point of common coupling 88 via cables 89, 90, 91 with impedances 92, 93, 94. An energy storage element 95 is connected to the point of common coupling 88, too. After the point of common coupling a wind farm transformer 96 is provided for adapting the voltage to the voltage of the external grid 97. The wind farm 78 is connected to the external grid 97 via a reactive power compensator 98. The energy storage element 95 comprises a battery 99, a dynamic voltage restorer 100, a converter 101 for converting alternative current to direct current a filter 102, a bypass switch 107 and an injection transformer 106. The inductivity 103 and the capacity 104 of the filter 102 smoothen the alternative current provided by the converter 101. This may be achieved by removing the unnecessary higher order harmonic components generated by the converter 101. The bypass switch 107 allows decoupling of the energy storage element 95 from the point of common coupling 88. This may protect the energy storage element 95 in case of grid failures. A capacity 105 may prevent that the battery 99 is subjected to alternating current. The wind farm controller 108 via signal 111 may control the dynamic voltage restorer 100. The wind farm controller 108 may measure the voltage, frequency, active power and/or reactive power before and/or after the wind farm transformer 96. Based on the parameters the wind farm controller 108 may control the wind turbines 79, 80, 81 and the energy storage element 95, in particular the dynamic voltage restorer 100, via control signals 109, 110, 111. The dynamic voltage restorer 100 influences the converter 101 and the battery 99 such that the energy storage element 95 injects power at the point of common coupling 88,

which has a predetermined frequency and voltage as well as predetermined reactive and active parts. The maximum compensation ability of the dynamic voltage restorer 100 may be dependent on the amount of active power, which may be provided by the battery. The converter 101 may be a pulse-width modulated voltage source inverter. The pulse-width modulated voltage source inverter may be the same used in wind turbines. The high voltage side of the injection transformer 106 may be connected in series with the distribution line connecting the point of common coupling 88 with the wind farm transformer 96, while the low voltage side of the injection transformer 106 may be connected to the other components of the energy storage device 95. For a three-phase dynamic voltage restorer 100, three single-phase voltage injection transformers 106 or one three-phase voltage injection transformer 106 may be connected to the distribution line. For a single-phase dynamic voltage restorer 100 one single-phase voltage injection transformer 106 may be sufficient. For a three-phase dynamic voltage restorer 100 a three-phase voltage injection transformer 106 in either delta/open or star/open configuration may be used. The injection transformer 106 may increase the voltage supplied by the filtered output of the converter 101 to a desired level and may at the same time isolate the energy storage device 95 from the other components of the wind farm 78.

The wind farm controller may detect drops in voltage and distribute control signals 111 to the energy storage element 95. A typical voltage scenario is shown in Figure 8. The upper plot of Figure 8 shows the voltage at the external grid, for example the external grid 97 shown in Figure 7. In case of an offshore park the voltage 114 may be measured, for example, at the connection point at the mainland. In case the voltage drops the dynamic voltage restorer 100 may receive signals 111 from the wind farm controller 108 such that the energy storage device 95 establishes the required voltage 113 as shown in the intermediate plot of Figure 8. The voltage at

the point of common coupling 88 shown in the lower plot of Figure 8 would therefore amount to the sum 112 of these voltages. Figure 9 shows a visualization of these potentials.

Figure 10 shows an exemplary voltage scenario where the voltage of two phases is higher than rated (see upper diagram). With the dynamic voltage restorer 100 the voltage of these two phases may be reduced by an amount shown in the intermediate diagram such that finally all three phases have the rated voltage as shown in the diagram below.

According to some embodiments of the invention a single energy storage element may be connected to the point of common coupling. However, according to other embodiments a plurality of energy storage elements may be provided. These energy storage elements may furthermore be included in the individual wind turbines.

Figure 11 shows an exemplary embodiment of a wind farm 115 with two energy storage elements 138, 137. The energy storage elements are included in the wind turbines 118, 119 of the four wind turbines 116, 117, 118, 119. Each wind farm comprises a generator 120, 121, 122, 123, a wind farm transformer 124, 125, 126, 127 and is connected via cables 128, 129, 130, 131 having an impedance 133, 134, 135, 136 to a point of common coupling 132. The energy storage elements 138, 137 each comprise a battery 142, a control circuit 143, a converter 144, a filter 145 and an injection transformer 146. The control circuits 143 are controlled via signal 150, 149 from the wind farm controller 151, which furthermore controls the wind turbines 116, 117, 118, 119 via control signals 147, 148 based on values measures before and/or after the wind farm transformer 139. The wind farm 115 is connected to an external grid 140 via a reactive power compensator 141.

It should be noted that the term "comprising" does not exclude other elements or steps and the use of articles "a" or

"an" does not exclude a plurality. Also elements described in association with different embodiments may be combined. It should also be noted that reference signs in the claims should not be construed as limiting the scope of the claims.

## Claims

1. Method for operating a wind farm, the wind farm comprising a wind turbine, and an energy storage device, the wind farm being connected to an external grid, the method comprising determining a demanded active power, determining a demanded reactive power, determining power production of the wind turbine, and charging the energy storage device, when the power production is above the demanded active power, the demanded reactive power, or the vector sum of demanded active power and demanded reactive power.
2. Method for operating a wind farm according to preceding claim 1, the method further comprising discharging the energy storage device, when the power production is below the demanded active power, the demanded reactive power, or the vector sum of demanded active power and demanded reactive power.
3. Method for operating a wind farm according to any one of the preceding claims, the method further comprising reducing the power production, when the power production is above a rated power production of the wind turbine.
4. Method for operating a wind farm according to any one of the preceding claims, the method further comprising reducing the power production, when the power production is above the sum of either the demanded active power, the demanded reactive power, the vector sum of demanded active power and demanded reactive power and a rated charging power of the energy storage device.

5. Method for operating a wind farm according to any one of the preceding claims, the method further comprising

reducing the power production, when the power production is above the sum of either the demanded active power, the demanded reactive power, or the vector sum of demanded active power and demanded reactive power and when furthermore the energy storage device is full.

6. Method for operating a wind farm according to any one of the preceding claims, the method further comprising

determining the external grid voltage, and

providing correctional voltage via the energy storage device, when the external grid voltage differs from a predetermined external grid voltage.

7. Wind farm controller being adapted for operating a wind farm according to a method as set forth in any one of the claims 1 to 6.

8. Wind farm controller according to preceding claim 7, the wind farm controller further comprising

a memory for storing data indicative of the amount of energy stored within the energy storage element.

9. Wind farm comprising

a wind turbine,

an energy storage element, and

a wind farm controller according to claim 7 or 8.

10. Wind farm according to claim 13, the energy storage element comprising

a battery and/or a flywheel and/or a superconducting magnetic energy storage.

11. Wind farm according to any one of the preceding claims, the energy storage element comprising

a dynamic voltage restorer.

12. Wind farm according to any one of the preceding claims, the energy storage element comprising  
a bypass switch.

13. Wind farm according to any one of the preceding claims, the energy storage element comprising  
an injection transformer.

14. Program element for operating a wind farm, the program element, when being executed by a data processor, is adapted for controlling and/or for carrying out the method as set forth in any one of the claims 1 to 6.

15. Computer readable medium on which there is stored a computer program for processing a physical object, the computer program, when being executed by a data processor, is adapted for controlling and/or for carrying out the method as set forth in any one of the claims 1 to 6.

## **Abstract**

To provide an improved method for operating a wind farm and a wind farm.

There is provided a method for operating a wind farm, the method comprising determining a demand active power, determining a demanded reactive power, determining power production of the wind turbine, and charging the energy storage device, when the power production is above the demanded active power, the demanded reactive power, or the vector sum of demanded active power and demanded reactive power.

(Figure 2)

FIG 1

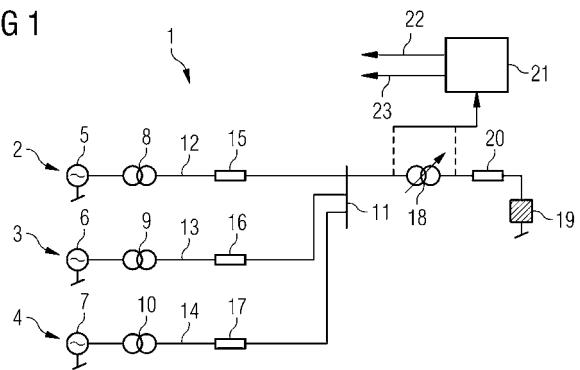


FIG 2

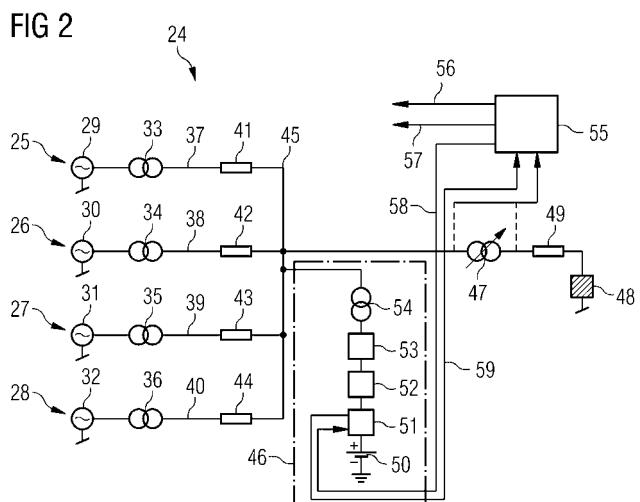


FIG 3

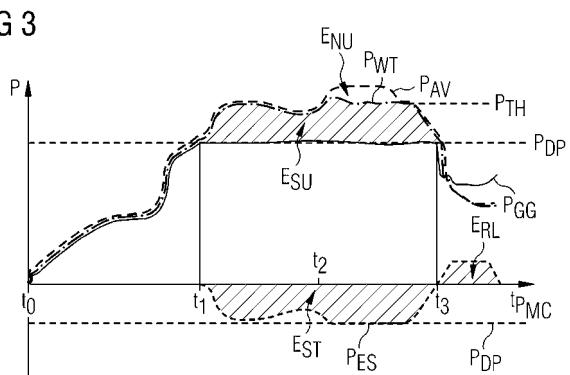


FIG 4

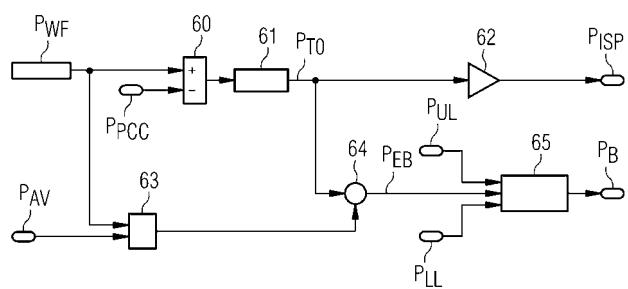


FIG 5

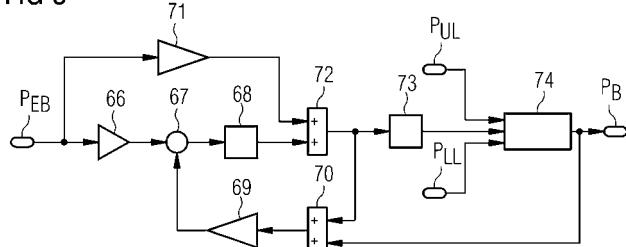


FIG 6

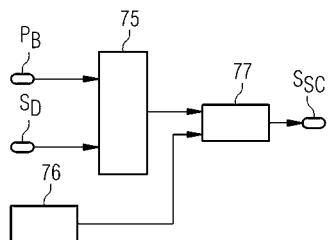


FIG 7

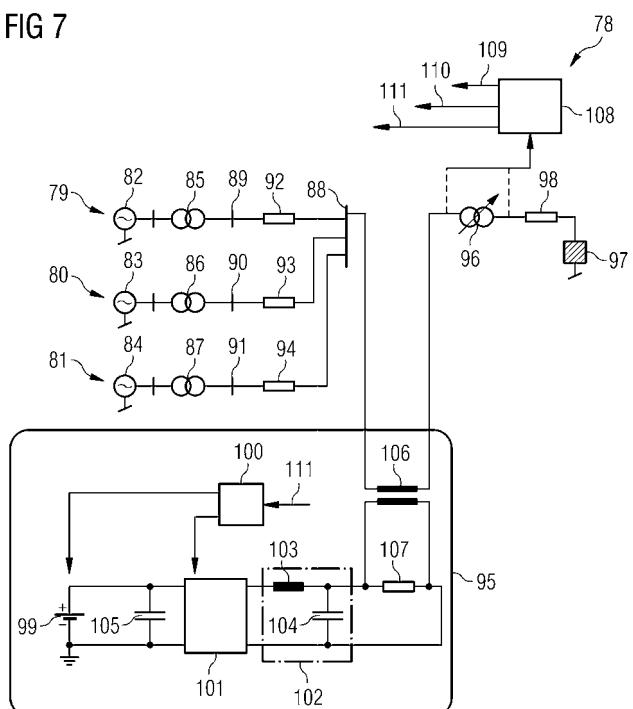


FIG 8

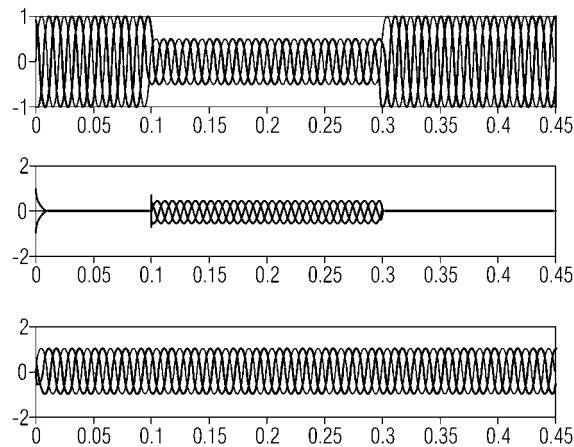


FIG 10

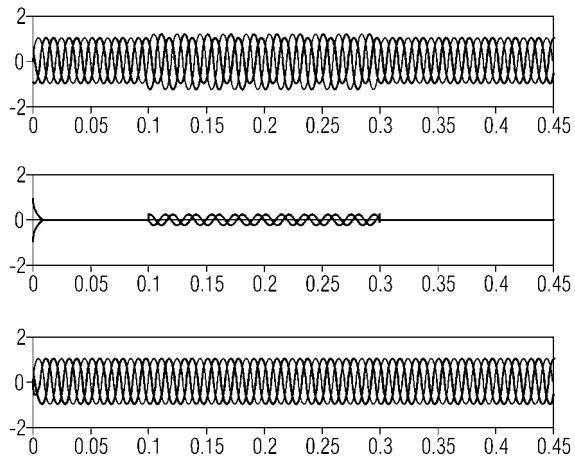


FIG 9

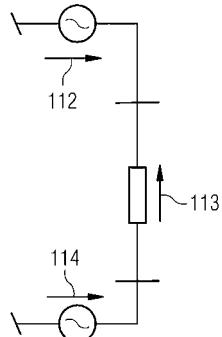


FIG 11

