

(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2010-246366

(P2010-246366A)

(43) 公開日 平成22年10月28日(2010.10.28)

(51) Int.Cl.
H02J 3/12 (2006.01)F I
H02J 3/12テーマコード (参考)
5G066

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L 外国語出願 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2010-53919(P2010-53919)
 (22) 出願日 平成22年3月11日(2010.3.11)
 (31) 優先権主張番号 12/418,003
 (32) 優先日 平成21年4月3日(2009.4.3)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
 GENERAL ELECTRIC COMPANY
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタデイ、リバーロード、1番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久
 (72) 発明者 アイナー・ヴィー・ラーセン
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、チャールトン、チャールトン・ロード、814番
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 送電のための補償システム

(57) 【要約】

【課題】 送電網(220)を補償するためのシステムを提供する。

【解決手段】 本システムは、送電網(220)に接続された1つ又はそれ以上の非従来型発電源(210)を含む。少なくとも1つの直列補償回路(230)が、送電網の少なくとも一部分に接続されて該送電網を補償する。少なくとも1つの減衰回路(510)が、送電網の少なくとも一部分に接続され、少なくとも1つの減衰回路は、直列補償回路によって送電網上に起こされた分数調波直列共振を軽減する。

【選択図】 図6

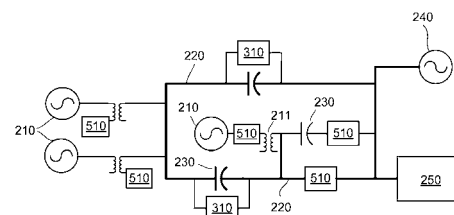


FIG. 6

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

送電網（２２０）を補償するためのシステムであって、
前記送電網（２２０）に接続された１つ又はそれ以上の非従来型発電源（２１０）と、
前記送電網（２２０）の少なくとも一部分に接続されかつ該送電網を補償する少なくとも
１つの直列補償回路（２３０）と、
前記送電網（２２０）の少なくとも一部分に接続された少なくとも１つの減衰回路（５
１０）と、を含み、
前記少なくとも１つの減衰回路（５１０）が、前記少なくとも１つの直列補償回路（２
３０）によって前記送電網（２２０）上に引起こされた分数調波直列共振を軽減する、
システム。

10

【請求項 2】

前記少なくとも１つの減衰回路（５１０）が、前記送電網の作動周波数において分数調
波共振又は低インピーダンスに対して広帯域応答するように調整される、請求項 1 記載の
システム。

【請求項 3】

前記少なくとも１つの減衰回路（５１０）が、前記送電網の直列共振周波数において大
きな抵抗インピーダンスを有するように調整される、請求項 1 及び請求項 2 のいずれか 1
項記載のシステム。

【請求項 4】

前記少なくとも１つの減衰回路（５１０）が、前記少なくとも１つの直列補償回路と直列
に接続されるか又は前記送電網の少なくとも一部分と直列に接続される、請求項 1 から請
求項 3 のいずれか 1 項記載のシステム。

20

【請求項 5】

前記１つ又はそれ以上の非従来型発電源（２１０）の少なくとも１つに接続された１つ
又はそれ以上の電力変圧器（２１１）をさらに含み、
前記少なくとも１つの減衰回路が、前記１つ又はそれ以上の電力変圧器に接続される、
請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項記載のシステム。

【請求項 6】

前記少なくとも１つの減衰回路が、
前記１つ又はそれ以上の電力変圧器の少なくとも１つと前記１つ又はそれ以上の非従来
型発電源の１つとの間に、或いは
前記１つ又はそれ以上の電力変圧器の少なくとも１つとより高い及びより低い電圧バス
の少なくとも一方との間に、或いは
前記１つ又はそれ以上の電力変圧器の少なくとも１つの中性点とより低い又はより高い
電圧側との間に、接続される、
請求項 5 記載のシステム。

30

【請求項 7】

前記送電網に接続された少なくとも１つの従来型発電源をさらに含み、
前記１つ又はそれ以上の非従来型発電源が、風力タービン発電機、風力発電ファーム、
太陽光発電所を含む群の１つ又はそれ以上から選ばれる、
請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項記載のシステム。

40

【請求項 8】

前記少なくとも１つの補償回路が、少なくとも１つの直列コンデンサを含み、
前記少なくとも１つの減衰回路が、直列接続のコンデンサ（５１４）及びコイル（５１
６）と並列に接続された少なくとも１つの抵抗器（５１２）を含む、
請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項記載のシステム。

【請求項 9】

前記少なくとも１つの減衰回路に接続された少なくとも１つのスイッチ（５２０）をさ
らに含み、

50

前記少なくとも1つのスイッチの作動が、前記少なくとも1つの減衰回路と前記送電網を接続又は切断することができる、

請求項1から請求項8のいずれか1項記載のシステム。

【請求項10】

前記送電網が、1つ又はそれ以上の相を含み、

前記少なくとも1つの補償回路が、前記1つ又はそれ以上の相の少なくとも1つに接続され、

前記少なくとも1つの減衰回路が、前記送電網の少なくとも1つの相に接続される、
請求項1から請求項9のいずれか1項記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、送電に関する。より具体的には、本発明は、送電線の補償のためのシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

現代の配電システムを通して配電される電力の質は、大システムの運用者にとって引き続き優先課題である。そのような電力の質に関する1つの問題は、電圧フリッカとして知られている。電圧フリッカは、同一の回路に接続されたその他の負荷に対して望ましくない作用を生じるのに十分な大きさのものである電圧ディップ（瞬時電圧低下）である。この外乱は、単なる光のちらつきとして経験されるに過ぎないであろうが、その発生の大きさ及び頻度は、配電システムユーザに対するフリッカの影響を決定付ける。

20

【0003】

図1は、一般的電圧フリッカのシナリオを示している。配電システム100上におけるフリッカ発生負荷110は一般的に、大型の電動機、溶接機又はアーク炉で生じる。これらの負荷には、電動機の始動時に経験されるような比較的短期間の高い突入電流に特徴がある。電動機の突入電流は一般的に、低力率のものであり、負荷の接続点まで給電線に沿って大きさが増大する電圧ディップを引起す。これは、負荷110及び電力源120間で、十分に激しい時にはしばしばユーザの苦情130を招く電圧フリッカ問題を引起す。

【0004】

30

配電直列コンデンサ140は、これらのタイプのフリッカ問題に対するコスト効果がある解決策として長い間認められてきた。不都合なことに、配電直列コンデンサを備えた配電クラスの電力線は、2つの全く異なる有害な現象つまり変圧器に関わる鉄共振と始動時における電動機の自己励磁を免れない。鉄共振というのは、電力変圧器の鉄心が飽和している時に現れる可能性がある配電システムの非直線性によって引起こされる、しばしば激しくかつ急速に形成される振動性過電圧状態である。これらの非直線性は、しばしばブレーカ作動後の大きな突入電流に応答して直列コンデンサと相互作用して、低周波共振状態を形成する。誘導電動機の自己励磁は、その配電システム上に生じることがある損傷発生可能性の状態である。「自己励磁」という用語は、直列コンデンサを含む電源回路内で発生する可能性がある分数調波振動を意味している。分数調波振動は、誘導電動機が始動過程にある時に直列コンデンサと該誘導電動機との間の相互作用により生じる。これらの振動は一般的に、電動機始動問題及び持続過電流状態に特徴がある。

40

【0005】

鉄共振が発生した時には、その他の装置に対する損傷を防止するために迅速な措置を取らなくてはならない。鉄共振は、短い期間の間正常レベルよりも100～200%高い電力システム電圧レベルに達する可能性がある、急速に発生する高い大振幅かつ低周波の振動である。自己励磁が発生した時には、電動機始動シーケンスが失敗すると低周波振動が発生する。電動機は、適正な作動周波数を探索することになるが、このことは、シャフト加速度が変化した時に大きな電流サージを引起こすことになる。

【0006】

50

発電現場（例えば、熱原動機、誘導発電機、風力タービン発電機、等々）は、多くの場合に負荷中心拠点から非常に離れた位置にある。長距離にわたる送電を可能にするために、多くの場合に直列コンデンサの使用を行なって、得られた長い送電線の限界電力を上昇させている。直列コンデンサは、直列共振振動を引起す可能性があり、この直列共振振動により、発電機シャフトに対する損傷が生じることが知られている。損傷はまた、風力タービン発電機の送電及び制御構成要素にも及ぶおそれがある。

【0007】

直列共振振動は、給電周波数（一般的に、北米では60Hz）の分数調波で発生する。この作用は、分数調波共振（SSR）として知られるようになってきた。SSRに関係した最も有名な出来事は、米国ネバダ州南部にあるMohave Generating Stationで1970年に発生した1971年に再び発生した。発電機に次第に増大する振動が生じ、この振動により、最終的には発電機と回転励磁機との間のシャフトセクションの破壊が生じた。調査により、30.5Hzでの電気共振が、タービン発電機の第2の捻れ振動モードの30.1Hzの周波数とほぼ一致した29.5Hz（60Hzコンプリメント周波数）でトルクを発生したことが判明した。直列コンデンサ及びねじれ配電系統間のこの相互作用は、分数調波共振の一例である。

【0008】

風力タービン発電機及び風力発電ファームは、徐々に一般化してきており、世界中で多くの数が設置されつつある。風力発電ファームにとっての最良の立地は、多くの場合に負荷中心拠点から離れた位置にある。加えて、多数の風力発電ファームは、既存の送電網に接続する必要があり、この既存の送電網はまた、熱発電所（例えば、1つ又はそれ以上の発電機を駆動するガス又は蒸気タービン）にも接続される可能性がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】米国特許第7,298,059号公報

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の1つの態様によると、送電網を補償するためのシステムを提供する。本システムは、送電網に接続された1つ又はそれ以上の非従来型発電源を含む。少なくとも1つの直列補償回路が、送電網の少なくとも一部分に接続されて該送電網を補償する。少なくとも1つの減衰回路が、送電網の少なくとも一部分に接続され、少なくとも1つの減衰回路は、直列補償回路によって送電網上に引起こされた分数調波直列共振を軽減する。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】配電系統における従来型の電圧フリッカ問題を示す図。

【図2】1つの公知の送電網の簡略化した概略図。

【図3】本発明の1つの態様による補償回路の簡略化した概略回路図。

【図4】本発明の1つの態様による減衰回路の簡略化した概略回路図。

【図5】本発明の別の態様による減衰回路の簡略化した概略回路図。

【図6】本発明のさらに別の態様による補償回路及び減衰回路を組み込んだ送電網の簡略化した概略回路図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

現代の公共送電網は、負荷中心拠点から離れた位置に設置された異種の発電源を含むネットワークへと進化してきている。多数の風力発電ファーム、太陽光発電所及びその他の非従来型の電力源が、既存の送電線に接続されてきている。異なる供給業者が風力発電機を製造しており、また各供給業者は、異なる作動特性を有する独自の風力発電機を製造することができる。太陽光発電も、同じ問題を有する。作動特性におけるこの広範な相違は

10

20

30

40

50

、これらの非従来型発電源を既存の送電線に接続することを困難にしている。

【0013】

図2は、1つの一般的な公共送電網200の簡略化した一例を示している。1つ又はそれ以上の非従来型発電源210は、電力変圧器211を通して送電網の様々な部分に接続することができる。非従来型発電源210は、様々なタイプの原動機（例えば、風力タービン発電機、風力発電ファーム、太陽光発電所、等々）を含むことができ、また送電網に対する非従来型電氣的インタフェースを特徴とすることができる。

【0014】

非従来型電氣的インタフェースは、誘導発電機又はパワーエレクトロニクスシステムを含むことができ、これら誘導発電機又はパワーエレクトロニクスシステムは、送電網内の軽度減衰直列共振と有害な状態で相互作用する可能性がある。非従来型発電源210は、個々の電力源（例えば、単一の風力タービン発電機）又は1群の電力源（例えば、多くの風力タービン発電機を含む風力発電ファーム）を含むことができる。個々の風力タービン発電機は、約1.5～約3.0MW又はそれ以上の電力定格を有することができる、また風力発電ファームは、約100～約500MW又はそれ以上の集合電力定格を有することができる。これらの範囲は、説明のためだけのものであって、上記の範囲以上又は以下に拡大することができる。

【0015】

送電網200はまた、1つ又はそれ以上の従来型発電源240並びに1つ又はそれ以上の負荷250を含むことができる。従来型発電源は一般的に、同期機械を含み、かつ機械当たり約100MW～1300MW又はそれ以上の電力定格を有することができる。従来型発電源の一例は、発電機を駆動するガス又は蒸気タービンである。

【0016】

固有の誘導性リアクタンスを補償するために、長い送電線220においては直列コンデンサ230が必要とされる。直列補償の欠点は、該直列補償が同期周波数よりも低い（つまり、分数調波周波数の）周波数を有する軽度減衰直列共振を生じさせることである。非従来型発電機210は、該非従来型発電源210に損傷を引起すおそれがある多くの方法で送電線220内における軽度減衰直列共振と相互作用する可能性がある。

【0017】

非従来型発電源の最も単純な形態は、単純な誘導発電機を使用している風力タービン発電機である。直列補償電線を通しての大量の誘導発電電力の放射状送電は、風力発電の台頭により現代の送電システムにとって新規なものである。これらの問題の中で、この新規な電力源の場合に発生可能性がある問題は、誘導発電機作用（IGE）として知られている特殊な分数調波現象である。この作用の根源は、誘導機械がロータ速度によって誘導されるよりも小さい周波数を有する電気振動に対する負性抵抗と見なせることである。ネットワークに直列コンデンサが付加された場合には、生じたネットワークの固有インダクタンスとの分数調波直列共振は、誘導発電機の負性抵抗作用によって不安定な状態になり、電氣的不安定性に至る可能性がある。

【0018】

その他のタイプの非従来型発電源は、原動機からの動力を送電網が必要とする電氣特性に変換するパワーエレクトロニクスに大きく依存している。パワーエレクトロニクスは本質的に、それらの機能を果たすために高速度で動作する幾つかの複雑な制御アルゴリズムを必要とする。そのアルゴリズムの高速性により、直列補償によって形成された送電網の分数調波直列共振との大きな相互作用が存在することになる。これらの制御アルゴリズムは、送電網特性の単純仮定に基づいて設計される。いずれか任意の送電網特性に適応するようにそのようなアルゴリズムを設計することは実用的ではない。さらに、相互作用現象を左右するこれらのアルゴリズムの詳細事項は、製造業者によって異なりかつ一般的には高度に独自仕様のものと考えられる。

【0019】

送電線の所有者／運用者は、その送電線を各異なる電力源に合わせて個々に適合させる

10

20

30

40

50

ために多大の労力及び費用を費やしている。それに代えて、各非従来型発電所の開発者は、自らの発電装置の販売者及びその他の非従来型発電装置の販売者と極めて詳細に打合せを行なって、それらの作動特性を調整して送電網に適応させなくてはならない。そのような調整は、達成するのに極めて煩わしくかつ費用が嵩むだけでなく、競争の激しい発電市場を管理する現行の法規により禁じられている。

【0020】

本発明の態様は、発電所間の膨大な調整を必要とすることなく又は送電系統運用者による費用がかかりかつ困難な努力を必要とすることなく、多数の異種の発電源を共通送電網に結合することができる送電補償システムを提供する。本発明のシステムのさらに別の態様は、直列コンデンサ設置における分数調波直列共振の減衰を提供する。

10

【0021】

図3は、本発明の1つの態様による改良型の直列補償回路を示している。送電線220は、直列コンデンサ230によって直列補償される。しかしながら、並列減衰回路310がコンデンサ230と並列に配置される。この減衰回路は、コンデンサ230によって引起こされる分数調波共振を減少又は排除するように広く調整することができる。加えて、スイッチ320もまた、減衰回路310と直列に配置することができる。スイッチ320は、故障の場合に又は送電系統メンテナンスのために減衰回路を切離すことができる。スイッチ320は、必要に応じて減衰回路310の両側に配置することができることを理解されたい。

【0022】

図4は、本発明の態様による減衰回路310の1つの実施形態の概略回路図を示している。この減衰回路は、抵抗器412、コンデンサ414及びコイル416で構成される。減衰回路は、直列補償コンデンサ230又は送電線220と並列に配置することができる。スイッチ320は、その採用が任意選択的であり、この実施形態では図示していない。

20

【0023】

抵抗器412は、コンデンサ230によって引起こされた分数調波直列共振を減衰させる。コンデンサ414とコイル416とは、並列に接続され、かつ抵抗器412と直列に接続される。コンデンサ414及びコイル416は、同期周波数において抵抗器412内の電流を阻止し、該抵抗器412に起因していると考えられる損失を減少させる。減衰回路の受動構成要素は、広帯域応答が得られるように調整されて、送電線220に接続することができる全てのタイプの非従来型発電源210を補償する。

30

【0024】

図5は、本発明の別の態様による減衰回路510の概略回路図を示している。減衰回路510は、抵抗器512、コンデンサ514及びコイル516で構成される。この減衰回路は、直列補償コンデンサ230と、並びに／或いは直列補償又は非補償送電線220と、並びに／或いは非従来型発電源210の電力変圧器211とバス（この変圧器のより高い及び／又はより低い電圧側の）との間に、並びに／或いは電力変圧器211の中性点と接地（この変圧器のより高い及び／又はより低い電圧側の）との間に直列に配置することができる。

【0025】

抵抗器512は、コンデンサ230によって引起こされた分数調波直列共振を減衰させる。コンデンサ514及びコイル516は、同期周波数において電流を抵抗器512の周りにバイパスさせ、該抵抗器412に起因していると考えられる損失を減少させる。減衰回路の受動構成要素は、広帯域応答が得られるように調整されて、送電線220に接続することができる全てのタイプの非従来型発電源210を補償する。

40

【0026】

バイパススイッチ520は、故障の場合に又は送電系統メンテナンスのために送電系統電流から減衰回路を保護することができる。スイッチ520は、減衰回路510をバイパスさせるだけでなく、1組の遮断部、バイパス結線部及び／又は接地ブレードを介して該減衰回路を送電系統から電氣的に切離す一連のスイッチとすることができることを理解

50

されたい。

【0027】

図6は、本発明の態様を組込んだ公共送電網の簡略化した概略図を示している。減衰回路310は、直列コンデンサ230の幾つかに対して並列に接続された状態で示している。減衰回路510は、直列コンデンサ230の幾つかに対して、非補償送電線220に対して、電力変圧器211とより高い又はより低い電圧バスとの間に、並びに変圧器211の中性点とそれら変圧器のより高い又はより低い電圧側の接地との間に直列に接続された状態で示している。減衰回路310及び／又は510は、該減衰回路310及び／又は510の単相又は多相（例えば、2相又は3相）バージョンとすることができる。スイッチ320及び／又は520（図6には図示せず）もまた、減衰回路310及び／又は510内に含まれるようにすることができる。1つ又は複数の減衰回路310及び／又は510は、分数調波共振による損傷から非従来型発電源210を保護する。

10

【0028】

多くの送電線は、3相線として構成され、また本発明の減衰回路は、1相、2相又は全て3相上に配置することができる。減衰回路の受動構成要素もまた、多様な方式で構成することができる。図では、抵抗器は、並列に接続されたコンデンサ及びコイルと直列に接続された状態で示している。しかしながら、抵抗器412は、コイルと直列に接続された抵抗器、コイル及びコンデンサと直列に接続された抵抗器、直列接続のコイル及びコンデンサと並列に接続された抵抗器、並びにその他の適当な構成で置換えることができる。減衰回路もまた、並列接続の抵抗器、コイル及びコンデンサとして構成することができる。その他の適当な又は同等な回路構成もまた、採用することができる。

20

【0029】

スイッチ320はまた、主減衰回路310が故障した場合には予備減衰回路に切り替わるように構成することができる。この実施形態では、2つ又はそれ以上の減衰回路を並列に接続しているが、これら減衰回路は、1つ又はそれ以上のスイッチを介して切離すことができる。主減衰回路が故障した場合には、局所又は遠隔制御信号を起動させて、故障した主減衰回路を切断しかつ二次つまり予備減衰回路に切り替えるように1つ又はそれ以上のスイッチを作動させることができる。スイッチの制御はまた、局所的に行うこともできる。

【0030】

現時点で最も実用的かつ好ましい実施形態であると考えられるものに関して本発明を説明してきたが、本発明が開示した実施形態に限定されるべきものではなく、逆に、特許請求の範囲の技術思想及び技術的範囲内に含まれる様々な変更及び均等な構成を保護しようとするものであることを理解されたい。

30

【符号の説明】

【0031】

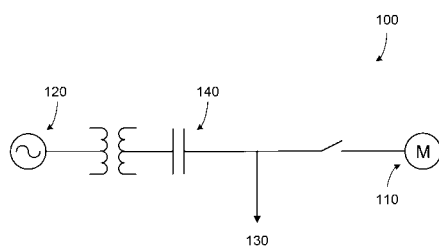
- 100 送電系統
- 110 負荷
- 120 電源
- 130 ユーザの苦情
- 140 直列コンデンサ
- 200 電力／公共送電網
- 210 非従来型発電源（例えば、風力タービン発電機）
- 211 電力変圧器
- 220 送電線
- 230 直列コンデンサ
- 240 従来型発電源
- 250 負荷
- 310 減衰回路
- 320 スイッチ
- 412 抵抗器

40

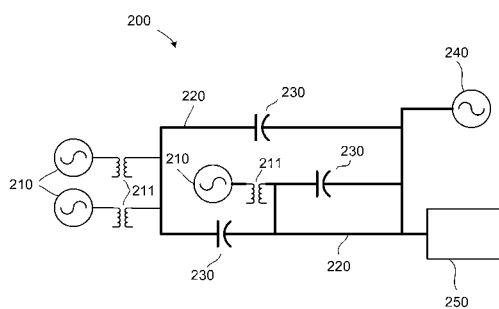
50

- 4 1 4 コンデンサ
- 4 1 6 コイル
- 5 1 0 減衰回路
- 5 1 2 抵抗器
- 5 1 4 コンデンサ
- 5 1 6 コイル
- 5 2 0 スイッチ

【図 1】

FIG. 1
(従来技術)

【図 2】

FIG. 2
(従来技術)

【図 3】

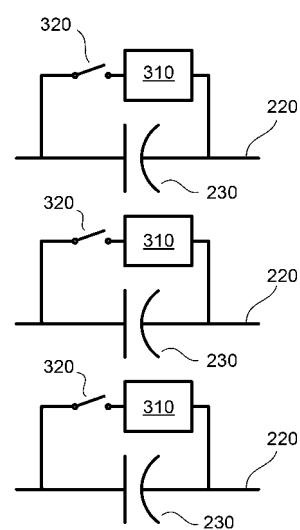


FIG. 3

【 図 4 】

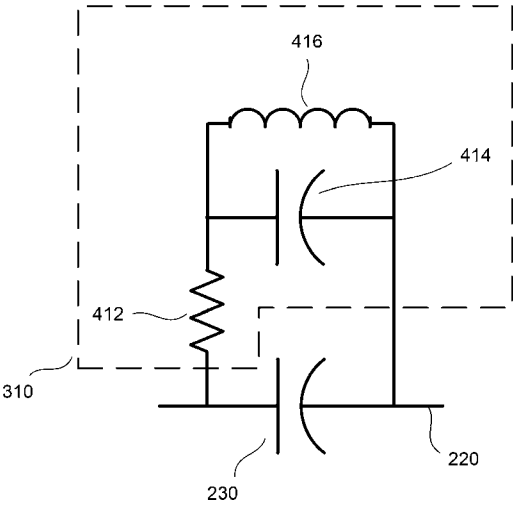


FIG. 4

【 図 5 】

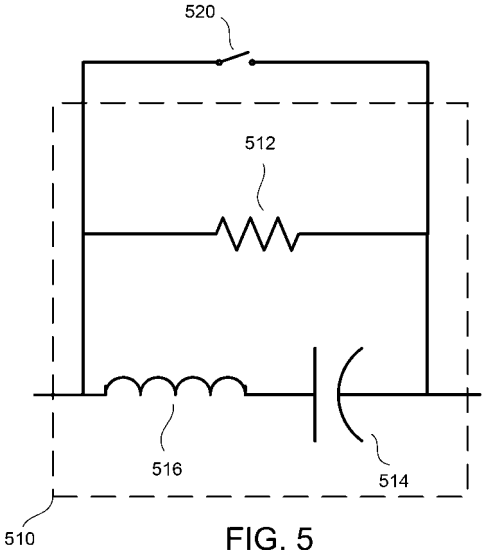


FIG. 5

【 図 6 】

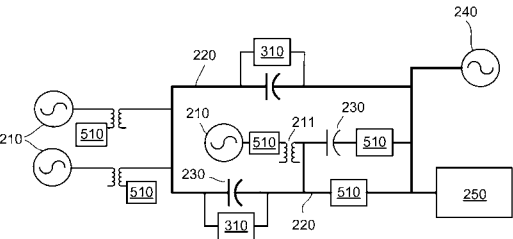


FIG. 6

フロントページの続き

(72)発明者 ブルース・イー・イングリッシュ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、サラトガ・スプリングス、ネイティブ・ダンサー・レーン、2
2 番

Fターム(参考) 5G066 AD02 AD11

【外国語明細書】
2010246366000001.pdf