

(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2016-5334

(P2016-5334A)

(43) 公開日 平成28年1月12日(2016.1.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02H 3/34 (2006.01)	H02H 3/34 A	2G014
G01R 31/02 (2006.01)	G01R 31/02	5G042
H02H 3/00 (2006.01)	H02H 3/00 L	5G058

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2014-123544 (P2014-123544)	(71) 出願人	000156938 関西電力株式会社 大阪府大阪市北区中之島三丁目6番16号
(22) 出願日	平成26年6月16日(2014.6.16)	(71) 出願人	000000262 株式会社ダイヘン 大阪府大阪市淀川区田川2丁目1番11号
		(74) 代理人	100086380 弁理士 吉田 稔
		(74) 代理人	100115369 弁理士 仙波 司
		(74) 代理人	100168044 弁理士 小淵 景太
		(72) 発明者	神社 昭次 大阪市北区中之島三丁目6番16号 関西電力株式会社内

最終頁に続く

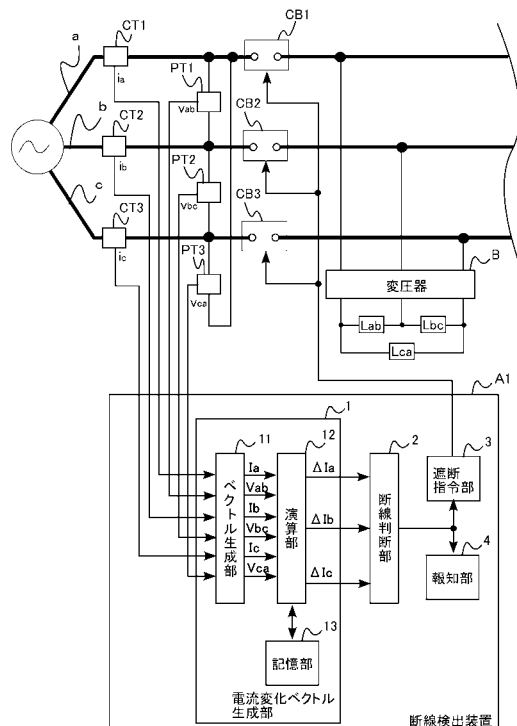
(54) 【発明の名称】 断線検出装置、および、断線検出方法

(57) 【要約】

【課題】 負荷変動による誤検出を抑制することができる断線検出装置を提供する。

【解決手段】 断線検出装置A1において、三相の配電線a, b, cにそれぞれ配置された計器用変流器CT1～CT3によってそれぞれ検出された電流信号 $i_a \sim i_c$ と、計器用変圧器PT1～PT3によってそれぞれ検出された電圧信号 $v_{ab} \sim v_{ca}$ とに基づいて、各相の線電流ベクトルを各相電圧基準のベクトルに変換し、変化ベクトルを生成して出力する電流変化ベクトル生成部1と、電流変化ベクトル生成部1によって出力された各ベクトルに基づいて、配電線で断線が発生したか否かを判断する断線判断部2とを備えた。負荷変動と断線とを線電流ベクトルに基づいて区別することは難しいが、各相電圧基準の電流変化ベクトルの違いで区別することができる。したがって、断線検出において、負荷変動による誤検出を抑制することができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

配電線の断線を検出する断線検出装置であって、

前記配電線に配置された電気信号検出器が検出した電気信号に基づいて、相毎の基準電圧を基準とした線電流ベクトルの変化ベクトルである電流変化ベクトルを生成する電流変化ベクトル生成手段と、

前記電流変化ベクトル生成手段によって生成された各電流変化ベクトルに基づいて、前記配電線で断線が発生したか否かを判断する断線判断手段と、
を備えていることを特徴とする断線検出装置。

【請求項 2】

10

前記電流変化ベクトル生成手段は、

前記電気信号検出器が検出した電流信号に基づいて各相の線電流ベクトルを生成し、前記電気信号検出器が検出した電圧信号に基づいて各相の電圧ベクトルを生成するベクトル生成手段と、

前記各相の電圧ベクトルを用いて、前記各相の線電流ベクトルを相毎の基準電圧を基準としたベクトルに変換し、当該変換後の各相の線電流ベクトルの変化ベクトルを演算する演算手段と、

を備えている、

請求項 1 に記載の断線検出装置。

【請求項 3】

20

前記電流変化ベクトル生成手段は、

前記電気信号検出器が検出した電流信号に基づいて各相の線電流ベクトルを生成し、前記電気信号検出器が検出した電圧信号に基づいて各相の電圧ベクトルを生成するベクトル生成手段と、

前記ベクトル生成手段が生成した各相の線電流ベクトルの変化ベクトルを演算し、前記ベクトル生成手段が生成した各相の電圧ベクトルを用いて、前記変化ベクトルを相毎の基準電圧を基準としたベクトルに変換する演算手段と、

を備えている、

請求項 1 に記載の断線検出装置。

【請求項 4】

30

前記相毎の基準電圧は、各相の相電圧である、

請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の断線検出装置。

【請求項 5】

前記相毎の基準電圧は、各相の線間電圧である、

請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の断線検出装置。

【請求項 6】

前記断線判断手段は、前記電流変化ベクトル生成手段によって生成された各電流変化ベクトルが、

(1) ある相の電流変化ベクトルに対する、前記ある相より位相が進む相の電流変化ベクトルの位相差、および、前記ある相より位相が遅れる相の電流変化ベクトルに対する、前記ある相の電流変化ベクトルの位相差が、それぞれ、第 1 閾値 θ_1 以上、第 2 閾値 θ_2 以下である、

40

(2) すべての電流変化ベクトルの大きさが所定の閾値 I_0 以上である、

(3) 以下の (3-1) ~ (3-2) をすべて満たす場合に該当しない、

(3-1) 前記各電流変化ベクトルの中で大きさが最大の電流変化ベクトルと、それ以外の電流変化ベクトルとの位相差が、それぞれ、約 60° である、

(3-2) 前記最大の電流変化ベクトルの大きさが、前記それ以外の電流変化ベクトルの大きさの約 2 倍である、

との条件をすべて満たす場合に、断線が発生したと判断する、

請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の断線検出装置。

50

【請求項 7】

前記第 1 閾値 θ_1 が $5^\circ \sim 30^\circ$ である、
請求項 6 に記載の断線検出装置。

【請求項 8】

前記第 2 閾値 θ_2 が $150^\circ \sim 180^\circ$ である、
請求項 6 または 7 に記載の断線検出装置。

【請求項 9】

前記所定の閾値 I_0 が数アンペアである、
請求項 6 ないし 8 のいずれかに記載の断線検出装置。

【請求項 10】

零相電圧を検出する零相電圧検出手段をさらに備え、
前記断線判断手段は、前記 (1) ~ (3) の条件に加えて、
(4) 零相電圧が所定の閾値 V_0 以上である、
との条件をすべて満たす場合に、断線が発生したと判断する、
請求項 6 ないし 9 のいずれかに記載の断線検出装置。

【請求項 11】

配電線の断線を検出する断線検出方法であって、
前記配電線に配置された電気信号検出器が電気信号を検出する第 1 の工程と、
前記第 1 の工程において検出された電気信号に基づいて、各相の線電流ベクトルおよび
各相の電圧ベクトルを生成する第 2 の工程と、
前記各相の電圧ベクトルを用いて、前記各相の線電流ベクトルを相毎の基準電圧を基準
としたベクトルに変換する第 3 の工程と、
当該変換後の各相の線電流ベクトルの変化ベクトルを演算して、電流変化ベクトルとし
て出力する第 4 の工程と、
前記第 4 の工程において出力された各電流変化ベクトルに基づいて、前記配電線で断線
が発生したか否かを判断する第 5 の工程と、
を備えていることを特徴とする断線検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、配電線の断線を検出する断線検出装置、および、断線検出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

配電網における配電線の断線を検出する断線検出装置が開発されている。例えば、配電線の各相の線電流を検出し、線電流ベクトルの大きさや位相に基づいて、下流側（負荷側）の断線の発生を検出する断線検出装置が開示されている（例えば、特許文献 1 および 2 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2013-118755 号公報

【特許文献 2】特開 2009-81905 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、配電線には多数の負荷が接続されており、各負荷が変動するので、様々な系統状態が生じる。この負荷変動による系統状態と、断線による系統状態とを、線電流ベクトルの大きさや位相に基づいて判別するのは難しく、負荷変動を断線発生として誤検出してしまう場合がある。

【0005】

本発明は上記した事情のもとで考え出されたものであって、負荷変動による誤検出を抑制することができる配電線の断線検出装置を提供することをその目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するため、本発明では、次の技術的手段を講じている。

【0007】

本発明の第1の側面によって提供される断線検出装置は、配電線の断線を検出する断線検出装置であって、前記配電線に配置された電気信号検出器が検出した電気信号に基づいて、相毎の基準電圧を基準とした線電流ベクトルの変化ベクトルである電流変化ベクトルを生成する電流変化ベクトル生成手段と、前記電流変化ベクトル生成手段によって生成された各電流変化ベクトルに基づいて、前記配電線で断線が発生したか否かを判断する断線判断手段とを備えていることを特徴とする。

10

【0008】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記電流変化ベクトル生成手段は、前記電気信号検出器が検出した電流信号に基づいて各相の線電流ベクトルを生成し、前記電気信号検出器が検出した電圧信号に基づいて各相の電圧ベクトルを生成するベクトル生成手段と、前記各相の電圧ベクトルを用いて、前記各相の線電流ベクトルを相毎の基準電圧を基準としたベクトルに変換し、当該変換後の各相の線電流ベクトルの変化ベクトルを演算する演算手段とを備えている。

20

【0009】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記電流変化ベクトル生成手段は、前記電気信号検出器が検出した電流信号に基づいて各相の線電流ベクトルを生成し、前記電気信号検出器が検出した電圧信号に基づいて各相の電圧ベクトルを生成するベクトル生成手段と、前記ベクトル生成手段が生成した各相の線電流ベクトルの変化ベクトルを演算し、前記ベクトル生成手段が生成した各相の電圧ベクトルを用いて、前記変化ベクトルを相毎の基準電圧を基準としたベクトルに変換する演算手段とを備えている。

【0010】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記相毎の基準電圧は、各相の相電圧である。

【0011】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記相毎の基準電圧は、各相の線間電圧である。

30

【0012】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記断線判断手段は、前記電流変化ベクトル生成手段によって生成された各電流変化ベクトルが、

(1) ある相の電流変化ベクトルに対する、前記ある相より位相が進む相の電流変化ベクトルの位相差、および、前記ある相より位相が遅れる相の電流変化ベクトルに対する、前記ある相の電流変化ベクトルの位相差が、それぞれ、第1閾値 θ_1 以上、第2閾値 θ_2 以下である、

(2) すべての電流変化ベクトルの大きさが所定の閾値 I_0 以上である、

40

(3) 以下の(3-1)～(3-2)をすべて満たす場合に該当しない、

(3-1) 前記各電流変化ベクトルの中で大きさが最大の電流変化ベクトルと、それ以外の電流変化ベクトルとの位相差が、それぞれ、約 60° である、

(3-2) 前記最大の電流変化ベクトルの大きさが、前記それ以外の電流変化ベクトルの大きさの約2倍である、

との条件をすべて満たす場合に、断線が発生したと判断する。

【0013】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記第1閾値 θ_1 が $5^\circ \sim 30^\circ$ である。

【0014】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記第2閾値 θ_2 が $150^\circ \sim 180^\circ$ であ

50

る。

【0015】

本発明の好ましい実施の形態においては、前記所定の閾値 I_0 が数アンペアである。

【0016】

本発明の好ましい実施の形態においては、零相電圧を検出する零相電圧検出手段をさらに備え、前記断線判断手段は、前記(1)～(3)の条件に加えて、

(4) 零相電圧が所定の閾値 V_0 以上である、
との条件をすべて満たす場合に、断線が発生したと判断する。

【0017】

本発明の第2の側面によって提供される断線検出方法は、配電線の断線を検出する断線検出方法であって、前記配電線に配置された電気信号検出器が電気信号を検出する第1の工程と、前記第1の工程において検出された電気信号に基づいて、各相の線電流ベクトルおよび各相の電圧ベクトルを生成する第2の工程と、前記各相の電圧ベクトルを用いて、前記各相の線電流ベクトルを相毎の基準電圧を基準としたベクトルに変換する第3の工程と、当該変換後の各相の線電流ベクトルの変化ベクトルを演算して、電流変化ベクトルとして出力する第4の工程と、前記第4の工程において出力された各電流変化ベクトルに基づいて、前記配電線で断線が発生したか否かを判断する第5の工程とを備えていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0018】

本発明によると、断線判断手段は、相毎の基準電圧を基準とした線電流ベクトルの変化ベクトル(電流変化ベクトル)に基づいて、断線したか否かを判断する。負荷変動と断線とを線電流ベクトルに基づいて区別することは難しいが、電流変化ベクトルの違いで区別することができる。したがって、断線検出において、負荷変動による誤検出を抑制することができる。

【0019】

本発明のその他の特徴および利点は、添付図面を参照して以下に行う詳細な説明によって、より明らかとなる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】第1実施形態に係る断線検出装置を説明するための図である。

【図2】変圧器の結線が $\Delta\Delta$ 結線である場合を説明するための図である。

【図3】断線が発生した状態を説明するための図である。

【図4】単相負荷変動が発生した状態を説明するための図である。

【図5】三相負荷変動が発生した状態を説明するための図である。

【図6】変圧器の結線が ΔY 結線である場合を説明するための図である。

【図7】負荷変動時のベクトルを示す図である。

【図8】変圧器の結線が $Y\Delta$ 結線である場合を説明するための図である。

【図9】負荷変動時のベクトルを示す図である。

【図10】二相負荷変動が発生した状態を説明するための図である。

【図11】二相負荷変動時のベクトルを示す図である。

【図12】第2実施形態に係る断線検出装置を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照して具体的に説明する。

【0022】

図1は、第1実施形態に係る断線検出装置A1を説明するための図であり、三相の配電線に配置した状態を示している。三相はa相、b相、c相からなり、b相の電流はa相の電流より位相が遅れており、c相の電流はa相の電流より位相が進んでいる。

【0023】

断線検出装置 A 1 は、配電線の下流側の断線を検出するものである。本実施形態では、断線検出装置 A 1 が、a 相の配電線 a、b 相の配電線 b および c 相の配電線 c からなる三相の配電線の断線を検出する場合について説明する。

【0024】

配電線 a、b、c の間には、変圧器 B を介して、それぞれ負荷が接続されている。配電線 a と配電線 b との間には負荷 L_{ab} が接続され、配電線 b と配電線 c との間には負荷 L_{bc} が接続され、配電線 c と配電線 a との間には負荷 L_{ca} が接続されている。配電線 a には計器用変流器 CT 1 が配置されており、配電線 b には計器用変流器 CT 2 が配置されており、配電線 c には計器用変流器 CT 3 が配置されている。計器用変流器 CT 1、CT 2、CT 3 は、それぞれ配置された配電線を通る電流を検出するものである。計器用変流器 CT 1、CT 2、CT 3 によってそれぞれ検出された電流信号 i_a 、 i_b 、 i_c は、断線検出装置 A 1 に入力される。なお、計器用変流器 CT 1、CT 2、CT 3 に代えて、他の電流検出装置（例えば、光電流測定など）を用いてもよい。また、配電線 a と配電線 b との間には計器用変圧器 PT 1 が配置されており、配電線 b と配電線 c との間には計器用変圧器 PT 2 が配置されており、配電線 c と配電線 a との間には計器用変圧器 PT 3 が配置されている。計器用変圧器 PT 1、PT 2、PT 3 は、それぞれ配電線間の線間電圧を検出するものである。計器用変圧器 PT 1、PT 2、PT 3 によってそれぞれ検出された電圧信号 v_{ab} 、 v_{bc} 、 v_{ca} は、断線検出装置 A 1 に入力される。なお、計器用変圧器 PT 1、PT 2、PT 3 に代えて、他の電圧検出装置（例えば、コンデンサ分圧など）を用いてもよい。

【0025】

なお、計器用変流器 CT 3 で電流信号 i_c を検出する代わりに、電流信号 i_a および i_b を合成することで電流信号 i_c を生成するようにしてもよい。また、計器用変圧器 PT 2 および PT 3 で電圧信号 v_{bc} 、 v_{ca} を検出する代わりに、電圧信号 v_{ab} の位相を 120° 遅らせた信号を電圧信号 v_{bc} とし、電圧信号 v_{ab} の位相を 120° 進めた信号を電圧信号 v_{ca} として用いるようにしてもよい。つまり、少なくとも 2 つの相の電流と 1 つの線間電圧を検出することができればよい。

【0026】

計器用変流器 CT 1、CT 2、CT 3 および計器用変圧器 PT 1、PT 2、PT 3 の下流側には、遮断器 CB 1、CB 2、CB 3 が設けられている。遮断器 CB 1、CB 2、CB 3 は、断線検出装置 A 1 から入力される遮断指令に応じて、それぞれ配電線 a、b、c を通る電流を遮断する。なお、遮断器 CB 1、CB 2、CB 3 を、計器用変流器 CT 1、CT 2、CT 3 および計器用変圧器 PT 1、PT 2、PT 3 の上流側に設けるようにしてもよい。

【0027】

断線検出装置 A 1 は、計器用変流器 CT 1、CT 2、CT 3 からそれぞれ入力される電流信号 i_a 、 i_b 、 i_c 、および計器用変圧器 PT 1、PT 2、PT 3 からそれぞれ入力される電圧信号 v_{ab} 、 v_{bc} 、 v_{ca} に基づいて断線を検出し、通常時は閉路されている遮断器 CB 1、CB 2、CB 3 を開放させるための遮断指令を出力する。断線検出装置 A 1 は、電流変化ベクトル生成部 1、断線判断部 2、遮断指令部 3、および報知部 4 を備えている。

【0028】

電流変化ベクトル生成部 1 は、入力される電圧信号 v_{ab} 、 v_{bc} 、 v_{ca} および電流信号 i_a 、 i_b 、 i_c に基づいて、各相電圧基準の線電流ベクトルの変化ベクトルを生成して出力するものである。電流変化ベクトル生成部 1 は、ベクトル生成部 11、演算部 12、および記憶部 13 を備えている。

【0029】

ベクトル生成部 11 は、各相の線電流ベクトルおよび線間電圧ベクトルを生成するものである。a 相の線電流ベクトルを I_a 、b 相の線電流ベクトルを I_b 、c 相の線電流ベクトルを I_c と表し、b 相に対する a 相の線間電圧ベクトルを V_{ab} 、c 相に対する b 相の

線間電圧ベクトルを V_{bc} 、 a 相に対する c 相の線間電圧ベクトルを V_{ca} と表す。ベクトル生成部 11 は、計器用変流器 $CT1$ 、 $CT2$ 、 $CT3$ からそれぞれ入力される電流信号 i_a 、 i_b 、 i_c をデジタル信号に変換し、ローパスフィルタで高調波成分を除去し、それぞれ振幅および位相を検出し、これらに基づいて線電流ベクトル I_a 、 I_b 、 I_c を生成する。また、ベクトル生成部 11 は、計器用変圧器 $PT1$ 、 $PT2$ 、 $PT3$ からそれぞれ入力される電圧信号 v_{ab} 、 v_{bc} 、 v_{ca} をデジタル信号に変換し、ローパスフィルタで高調波成分を除去し、それぞれ振幅および位相を検出し、これらに基づいて線間電圧ベクトル V_{ab} 、 V_{bc} 、 V_{ca} を生成する。ベクトル生成部 11 は、生成した線電流ベクトル I_a 、 I_b 、 I_c および線間電圧ベクトル V_{ab} 、 V_{bc} 、 V_{ca} を演算部 12 に出力する。

10

【0030】

演算部 12 は、ベクトル生成部 11 より入力される線電流ベクトル I_a 、 I_b 、 I_c を各相電圧基準のベクトルに変換し、変化ベクトルを生成して出力するものである。演算部 12 は、ベクトル生成部 11 より入力される線電流ベクトル I_a 、 I_b 、 I_c を、線間電圧ベクトル V_{ab} 、 V_{bc} 、 V_{ca} を用いて、各線間電圧基準のベクトルに変換し、位相を 30° 遅らせることで各相電圧基準のベクトルに変換する。そして、各相電圧基準のベクトルに変換された線電流ベクトル I_a 、 I_b 、 I_c を記憶部 13 に記憶させつつ、所定時間（例えば、数十ミリ秒）前の線電流ベクトルを記憶部 13 から読み出す。演算部 12 は、ベクトル生成部 11 より入力されて各相電圧基準のベクトルに変換された線電流ベクトル I_a 、 I_b 、 I_c を、記憶部 13 から読み出された線電流ベクトル I_a' 、 I_b' 、 I_c' からそれぞれ減算して、電流変化ベクトル $\Delta I_a (= I_a' - I_a)$ 、 $\Delta I_b (= I_b' - I_b)$ 、 $\Delta I_c (= I_c' - I_c)$ を算出し、断線判断部 2 に出力する。

20

【0031】

なお、線電流ベクトル I_a 、 I_b 、 I_c を各線間電圧基準のベクトルに変換する際に、例えば線間電圧ベクトル V_{ab} を基準として変換し、その後、線電流ベクトル I_b については位相を 120° 進め、線電流ベクトル I_c については位相を 120° 遅らせるようにしてもよい。また、先に、線電流ベクトル I_a 、 I_b 、 I_c の変化ベクトルを生成し、各相電圧基準のベクトルに変換して出力するようにしてもよい。

【0032】

なお、電流変化ベクトル生成部 1 の構成は、上述したものに限定されず、各相電圧基準の電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c を生成するものであればよい。また、ベクトル生成部 11 の前段にアナログフィルタを設けるようにしてもよい。また、ベクトル生成部 11 が所定時間ごとに線電流ベクトル I_a 、 I_b 、 I_c および線間電圧ベクトル V_{ab} 、 V_{bc} 、 V_{ca} を生成し、演算部 12 が前回入力された線電流ベクトル I_a' 、 I_b' 、 I_c' と今回入力された線電流ベクトル I_a 、 I_b 、 I_c とから電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c を算出するようにしてもよい。

30

【0033】

断線判断部 2 は、断線の発生を判断し、断線した配電線の特定を行うものであり、例えばマイクロコンピュータなどによって実現されている。断線判断部 2 は、電流変化ベクトル生成部 1 より入力される各相電圧基準の電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c に基づいて判断を行う。断線判断部 2 は、各相電圧基準の電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c が所定の条件を満たす場合に、断線が発生したと判断する。断線判断部 2 は、断線が発生したと判断した場合、断線が発生したこと、および、断線が発生した配電線の情報を、遮断指令部 3 および報知部 4 に出力する。

40

【0034】

以下に、断線判断部 2 が断線を判断するための条件について説明する。

【0035】

断線が発生せず、配電線に接続されている負荷に変動がない場合、各線電流ベクトル I_a 、 I_b 、 I_c が変化しないので、各相電圧基準の電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c （以下では、単に「ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c 」と記載する）は、いずれもゼ

50

ロベクトルである。断線が発生した場合、線電流ベクトル I_a , I_b , I_c が変化するの
で、ベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c も変化する。しかし、各相の配電線間に接続された
負荷が変動した場合にも、ベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c が変化する。断線判断部 2 は
、ベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c の特徴から、断線が発生したことを判断する。具体的
には、断線判断部 2 は、断線が発生したときのベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c の特徴を
条件化して記憶しており、ベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c が当該条件に一致するか否か
を判別することで、断線の発生を判断する。

【0036】

配電線と負荷との間に介在する変圧器 B (図 1 参照) の結線には、 $\Delta\Delta$ 結線、 YY 結線
、 ΔY 結線、 $Y\Delta$ 結線などがある。本実施形態では、変圧器 B がいずれの結線であるかに
関係なく、断線を判断できるようにしている。

【0037】

図 2 は、変圧器 B の結線が $\Delta\Delta$ 結線である場合を示すものであり、図 2 (a) は図 1 に
示す配電線 a、b、c に接続された変圧器 B および負荷を示している。図 2 (a) におい
て、負荷 L_{ab} に流れる電流のベクトルを I_{ab} 、負荷 L_{bc} に流れる電流のベクトルを
 I_{bc} 、負荷 L_{ca} に流れる電流のベクトルを I_{ca} としている。図 2 (a) に示すよう
に、a 相の配電線 a の線電流ベクトル I_a 、b 相の配電線 b の線電流ベクトル I_b 、c 相
の配電線 c の線電流ベクトル I_c は、それぞれ、

$$I_a = I_{ab} - I_{ca}$$

$$I_b = I_{bc} - I_{ab}$$

$$I_c = I_{ca} - I_{bc}$$

となる。なお、計算の便宜上、変圧器 B の変圧比を「1」としている。変圧比が「1」で
ない場合は、ベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c は、大きさがそれぞれ変圧比で除算したも
のになるが、断線時でも負荷変動時でも条件は同じで、いずれの場合もベクトル ΔI_a ,
 ΔI_b , ΔI_c の大きさがそれぞれ変圧比で除算したものになる。したがって、変圧比を
「1」として計算しても問題ない。

【0038】

図 2 (b) は、三相平衡状態の各電流および電圧のベクトルを示している。a 相の相電
圧ベクトル V_a 、b 相の相電圧ベクトル V_b 、c 相の相電圧ベクトル V_c は、それぞれ互
いに位相が 120° ずつ離れている (図 2 (b) において、太線矢印で示している)。b
相に対する a 相の線間電圧ベクトル V_{ab} 、c 相に対する b 相の線間電圧ベクトル V_{bc}
、a 相に対する c 相の線間電圧ベクトル V_{ca} は、それぞれ、

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

$$V_{bc} = V_b - V_c$$

$$V_{ca} = V_c - V_a$$

となる (図 2 (b) において、破線矢印で示している)。電流が電圧より位相 θ 進んでい
るとすると、電流ベクトル I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} は、図 2 (b) における細線矢印で示
される。

【0039】

a 相の相電圧ベクトル V_a を基準にして、電流ベクトル I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} を表す
と、

【数 1】

$$I_{ab} = \beta V_a e^{j(\theta+30)}$$

$$I_{bc} = \beta V_a e^{j(\theta+270)}$$

$$I_{ca} = \beta V_a e^{j(\theta+150)}$$

となり、b 相の相電圧ベクトル V_b を基準にして、電流ベクトル I_{ab} , I_{bc} , I_{ca}
を表すと、

10

20

30

40

【数 2】

$$I_{ab} = \beta V_b e^{j(\theta+150)}$$

$$I_{bc} = \beta V_b e^{j(\theta+30)}$$

$$I_{ca} = \beta V_b e^{j(\theta+270)}$$

となり、c 相の相電圧ベクトル V_c を基準にして、電流ベクトル I_{ab} 、 I_{bc} 、 I_{ca} を表すと、

【数 3】

$$I_{ab} = \beta V_c e^{j(\theta+270)}$$

$$I_{bc} = \beta V_c e^{j(\theta+150)}$$

$$I_{ca} = \beta V_c e^{j(\theta+30)}$$

となる。

【0040】

図 3 (a) は、a 相の配電線 a において断線が発生した状態を示している。配電線 a で断線が発生すると、配電線 a に電流が流れなくなるので、線電流ベクトル I_a はゼロベクトルになる。負荷 L_{ab} および L_{ca} には同じ電流が流れ、この電流ベクトルは、電流ベクトル I_{bc} と位相が同じで大きさが異なるベクトルになるので、 αI_{bc} と表すことができる。したがって、

$$I_a = 0$$

$$I_b = I_{bc} + \alpha I_{bc}$$

$$I_c = -I_{bc} - \alpha I_{bc}$$

となる。

【0041】

よって、断線前後の電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c は、

$$\Delta I_a = (I_{ab} - I_{ca}) - (0) = I_{ab} - I_{ca}$$

$$\Delta I_b = (I_{bc} - I_{ab}) - (I_{bc} + \alpha I_{bc}) = -I_{ab} - \alpha I_{bc}$$

$$\Delta I_c = (I_{ca} - I_{bc}) - (-I_{bc} - \alpha I_{bc}) = I_{ca} + \alpha I_{bc}$$

となり、各相の相電圧ベクトルを基準にして表すと、

【数 4】

$$\Delta I_a = I_{ab} - I_{ca} = \beta V_a e^{j(\theta+30)} - \beta V_a e^{j(\theta+150)} = \sqrt{3} \beta V_a e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = -I_{ab} - \alpha I_{bc} = -\beta V_b e^{j(\theta+150)} - \alpha \beta V_b e^{j(\theta+30)} = \beta V_b e^{j(\theta-30)} + \alpha \beta V_b e^{j(\theta-150)}$$

$$\Delta I_c = I_{ca} + \alpha I_{bc} = \beta V_c e^{j(\theta+30)} + \alpha \beta V_c e^{j(\theta+150)}$$

となる。

【0042】

各相電圧を基準とした線電流ベクトルを I とし、ベクトル βV_a 、 βV_b 、 βV_c をそれぞれベクトル I に置き換えると、

【数 5】

$$\Delta I_a = \sqrt{3} I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = I e^{j(\theta-30)} + \alpha I e^{j(\theta-150)}$$

$$\Delta I_c = I e^{j(\theta+30)} + \alpha I e^{j(\theta+150)}$$

となる。実際の電力系統では、断線時に電圧不足による停電のため、 α は「0」に近い値になる。図 3 (b) は、断線時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c を示したものである。

【0043】

次に、単相負荷変動時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c について説明する。

【0044】

図 4 (a) は、単相負荷変動を表すものであり、負荷 L_{ab} が切り離された状態を示している。この場合、図 4 (a) から明らかなように、

10

20

30

40

50

$$I_a = -I_{ca}$$

$$I_b = I_{bc}$$

$$I_c = I_{ca} - I_{bc}$$

となる。

【0045】

よって、負荷変動前後の電流変化ベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c は、

$$\Delta I_a = (I_{ab} - I_{ca}) - (-I_{ca}) = I_{ab}$$

$$\Delta I_b = (I_{bc} - I_{ab}) - (I_{bc}) = -I_{ab}$$

$$\Delta I_c = (I_{ca} - I_{bc}) - (I_{ca} - I_{bc}) = 0$$

となり、各相の相電圧ベクトルを基準にして表すと、

10

【数6】

$$\Delta I_a = I_{ab} = \beta V_a e^{j(\theta+30)}$$

$$\Delta I_b = -I_{ab} = -\beta V_b e^{j(\theta+150)} = \beta V_b e^{j(\theta-30)}$$

$$\Delta I_c = 0$$

となる。

【0046】

各相電圧を基準とした線電流ベクトルを I とし、ベクトル βV_a , βV_b , βV_c をそれぞれベクトル I に置き換えると、

【数7】

20

$$\Delta I_a = I e^{j(\theta+30)}$$

$$\Delta I_b = I e^{j(\theta-30)}$$

$$\Delta I_c = 0$$

となる。図4(b)は、単相負荷変動時のベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c を示したものである。

【0047】

次に、三相負荷変動時のベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c について説明する。

【0048】

図5(a)は、三相負荷変動を表すものであり、負荷 L_{ab} , L_{bc} , L_{ca} が切り離された状態を示している。この場合、図5(a)から明らかなように、

30

$$I_a = 0$$

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

となる。

【0049】

よって、負荷変動前後の電流変化ベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c は、

$$\Delta I_a = (I_{ab} - I_{ca}) - (0) = I_{ab} - I_{ca}$$

$$\Delta I_b = (I_{bc} - I_{ab}) - (0) = I_{bc} - I_{ab}$$

$$\Delta I_c = (I_{ca} - I_{bc}) - (0) = I_{ca} - I_{bc}$$

40

となり、各相の相電圧ベクトルを基準にして表すと、

【数8】

$$\Delta I_a = I_{ab} - I_{ca} = \beta V_a e^{j(\theta+30)} - \beta V_a e^{j(\theta+150)} = \sqrt{3} \beta V_a e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = I_{bc} - I_{ab} = \beta V_b e^{j(\theta+30)} - \beta V_b e^{j(\theta+150)} = \sqrt{3} \beta V_b e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = I_{ca} - I_{bc} = \beta V_c e^{j(\theta+30)} - \beta V_c e^{j(\theta+150)} = \sqrt{3} \beta V_c e^{j\theta}$$

となる。

【0050】

各相電圧を基準とした線電流ベクトルを I とし、ベクトル βV_a , βV_b , βV_c をそれぞれベクトル I に置き換えると、

50

【数 9】

$$\Delta I_a = \sqrt{3} I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = \sqrt{3} I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = \sqrt{3} I e^{j\theta}$$

となる。図 5 (b) は、三相負荷変動時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c を示したものである。

【0051】

次に、変圧器 B の結線が ΔY 結線である場合について説明する。

【0052】

10

図 6 は、変圧器 B の結線が ΔY 結線である場合を示すものであり、図 6 (a) は図 1 に示す配電線 a、b、c に接続された変圧器 B および負荷を示している。図 2 (a) と同様に、図 6 (a) において、負荷 L_{ab} に流れる電流のベクトルを I_{ab} 、負荷 L_{bc} に流れる電流のベクトルを I_{bc} 、負荷 L_{ca} に流れる電流のベクトルを I_{ca} としている。図 6 (a) に示すように、a 相の配電線 a の線電流ベクトル I_a 、b 相の配電線 b の線電流ベクトル I_b 、c 相の配電線 c の線電流ベクトル I_c は、それぞれ、

$$I_a = I_{ab} + I_{bc} - 2 I_{ca}$$

$$I_b = I_{bc} + I_{ca} - 2 I_{ab}$$

$$I_c = I_{ca} + I_{ab} - 2 I_{bc}$$

となる。

20

【0053】

図 6 (b) は、三相平衡状態の各電流および電圧のベクトルを示している。a 相の相電圧ベクトル V_a 、b 相の相電圧ベクトル V_b 、c 相の相電圧ベクトル V_c は、それぞれ互いに位相が 120° ずつ離れている (図 6 (b) において、太線矢印で示している)。b 相に対する a 相の線間電圧ベクトル V_{ab} 、c 相に対する b 相の線間電圧ベクトル V_{bc} 、a 相に対する c 相の線間電圧ベクトル V_{ca} は、それぞれ、

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

$$V_{bc} = V_b - V_c$$

$$V_{ca} = V_c - V_a$$

となる (図 6 (b) において、破線太線矢印で示している)。負荷 L_{ab} にかかる電圧のベクトルを V_{ab}' 、負荷 L_{bc} にかかる電圧のベクトルを V_{bc}' 、負荷 L_{ca} にかかる電圧のベクトルを V_{ca}' は、それぞれ線間電圧ベクトル V_{ab} 、 V_{bc} 、 V_{ca} に対して位相が 30° 進む。電流が電圧より位相 θ 進んでいるとすると、電流ベクトル I_{ab} 、 I_{bc} 、 I_{ca} は、図 6 (b) における細線矢印で示される。

30

【0054】

a 相の相電圧ベクトル V_a を基準にして、電流ベクトル I_{ab} 、 I_{bc} 、 I_{ca} を表すと、

【数 10】

$$I_{ab} = \gamma V_a e^{j(\theta+60)}$$

$$I_{bc} = \gamma V_a e^{j(\theta+300)}$$

$$I_{ca} = \gamma V_a e^{j(\theta+180)}$$

となり、b 相の相電圧ベクトル V_b を基準にして、電流ベクトル I_{ab} 、 I_{bc} 、 I_{ca} を表すと、

40

【数 11】

$$I_{ab} = \gamma V_b e^{j(\theta+180)}$$

$$I_{bc} = \gamma V_b e^{j(\theta+60)}$$

$$I_{ca} = \gamma V_b e^{j(\theta+300)}$$

となり、c 相の相電圧ベクトル V_c を基準にして、電流ベクトル I_{ab} 、 I_{bc} 、 I_{ca}

50

を表すと、

【数 1 2】

$$I_{ab} = \gamma V_c e^{j(\theta+300)}$$

$$I_{bc} = \gamma V_c e^{j(\theta+180)}$$

$$I_{ca} = \gamma V_c e^{j(\theta+60)}$$

となる。

【0 0 5 5】

変圧器 B の結線が ΔY 結線の場合も、断線時のベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c は、図 3 (b) と同様になる。

10

【0 0 5 6】

次に、単相負荷変動時のベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c について説明する。

【0 0 5 7】

負荷 L_{ab} が切り離されて、 $I_{ab} = 0$ になると、

$$I_a = I_{bc} - 2 I_{ca}$$

$$I_b = I_{bc} + I_{ca}$$

$$I_c = I_{ca} - 2 I_{bc}$$

となる。

【0 0 5 8】

よって、負荷変動前後の電流変化ベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c は、

20

$$\Delta I_a = (I_{ab} + I_{bc} - 2 I_{ca}) - (I_{bc} - 2 I_{ca}) = I_{ab}$$

$$\Delta I_b = (I_{bc} + I_{ca} - 2 I_{ab}) - (I_{bc} + I_{ca}) = -2 I_{ab}$$

$$\Delta I_c = (I_{ca} + I_{ab} - 2 I_{bc}) - (I_{ca} - 2 I_{bc}) = I_{ab}$$

となり、各相の相電圧ベクトルを基準にして表すと、

【数 1 3】

$$\Delta I_a = I_{ab} = \gamma V_a e^{j(\theta+60)}$$

$$\Delta I_b = -2 I_{ab} = -2 \gamma V_b e^{j(\theta+180)} = 2 \gamma V_b e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = I_{ab} = \gamma V_c e^{j(\theta+300)} = \gamma V_c e^{j(\theta-60)}$$

となる。

30

【0 0 5 9】

各相電圧を基準とした線電流ベクトルを I とし、ベクトル γV_a , γV_b , γV_c をそれぞれベクトル I に置き換えると、

【数 1 4】

$$\Delta I_a = I e^{j(\theta+60)}$$

$$\Delta I_b = 2 I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = I e^{j(\theta-60)}$$

となる。図 7 (a) は、単相負荷変動時のベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c を示したものである。

40

【0 0 6 0】

次に、三相負荷変動時のベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c について説明する。

【0 0 6 1】

負荷 L_{ab} , L_{bc} , L_{ca} が切り離されると、

$$I_a = 0$$

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

となる。

【0 0 6 2】

よって、負荷変動前後の電流変化ベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c は、

50

$$\Delta I_a = (I_{ab} + I_{bc} - 2I_{ca}) - (0) = -3I_{ca}$$

$$\Delta I_b = (I_{bc} + I_{ca} - 2I_{ab}) - (0) = -3I_{ab}$$

$$\Delta I_c = (I_{ca} + I_{ab} - 2I_{bc}) - (0) = -3I_{bc}$$

となり、各相の相電圧ベクトルを基準にして表すと、

【数 1 5】

$$\Delta I_a = -3I_{ca} = -3\gamma V_a e^{j(\theta+180)} = 3\gamma V_a e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = -3I_{ab} = -3\gamma V_b e^{j(\theta+180)} = 3\gamma V_b e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = -3I_{bc} = -3\gamma V_c e^{j(\theta+180)} = 3\gamma V_c e^{j\theta}$$

となる。

10

【0 0 6 3】

各相電圧を基準とした線電流ベクトルを I とし、ベクトル γV_a 、 γV_b 、 γV_c をそれぞれベクトル I に置き換えると、

【数 1 6】

$$\Delta I_a = 3I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = 3I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = 3I e^{j\theta}$$

となる。図 7 (b) は、三相負荷変動時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c を示したものである。

20

【0 0 6 4】

次に、変圧器 B の結線が Y Δ 結線である場合について説明する。

【0 0 6 5】

図 8 は、変圧器 B の結線が Y Δ 結線である場合を示すものであり、図 8 (a) は図 1 に示す配電線 a、b、c に接続された変圧器 B および負荷を示している。図 2 (a) と同様に、図 8 (a) において、負荷 L_{ab} に流れる電流のベクトルを I_{ab} 、負荷 L_{bc} に流れる電流のベクトルを I_{bc} 、負荷 L_{ca} に流れる電流のベクトルを I_{ca} としている。図 8 (a) に示すように、a 相の配電線 a の線電流ベクトル I_a 、b 相の配電線 b の線電流ベクトル I_b 、c 相の配電線 c の線電流ベクトル I_c は、それぞれ、

$$I_a = (2/3) I_{ab} - (1/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca}$$

$$I_b = (2/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca} - (1/3) I_{ab}$$

$$I_c = (2/3) I_{ca} - (1/3) I_{ab} - (1/3) I_{bc}$$

30

となる。

【0 0 6 6】

図 8 (b) は、三相平衡状態の各電流および電圧のベクトルを示している。a 相の相電圧ベクトル V_a 、b 相の相電圧ベクトル V_b 、c 相の相電圧ベクトル V_c は、それぞれ互いに位相が 120° ずつ離れている (図 8 (b) において、太線矢印で示している)。b 相に対する a 相の線間電圧ベクトル V_{ab} 、c 相に対する b 相の線間電圧ベクトル V_{bc} 、a 相に対する c 相の線間電圧ベクトル V_{ca} は、それぞれ、相電圧ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c と等しくなる。電流が電圧より位相 θ 進んでいるとすると、電流ベクトル I_{ab} 、 I_{bc} 、 I_{ca} は、図 8 (b) における細線矢印で示される。

40

【0 0 6 7】

a 相の相電圧ベクトル V_a を基準にして、電流ベクトル I_{ab} 、 I_{bc} 、 I_{ca} を表すと、

【数 1 7】

$$I_{ab} = \varepsilon V_a e^{j\theta}$$

$$I_{bc} = \varepsilon V_a e^{j(\theta+240)}$$

$$I_{ca} = \varepsilon V_a e^{j(\theta+120)}$$

となり、b 相の相電圧ベクトル V_b を基準にして、電流ベクトル I_{ab} 、 I_{bc} 、 I_{ca}

50

を表すと、

【数 1 8】

$$I_{ab} = \varepsilon V_b e^{j(\theta+120)}$$

$$I_{bc} = \varepsilon V_b e^{j\theta}$$

$$I_{ca} = \varepsilon V_b e^{j(\theta+240)}$$

となり、c 相の相電圧ベクトル V_c を基準にして、電流ベクトル I_{ab} 、 I_{bc} 、 I_{ca} を表すと、

【数 1 9】

$$I_{ab} = \varepsilon V_c e^{j(\theta+240)}$$

$$I_{bc} = \varepsilon V_c e^{j(\theta+120)}$$

$$I_{ca} = \varepsilon V_c e^{j\theta}$$

となる。

【0 0 6 8】

変圧器 B の結線が Y Δ 結線の場合も、断線時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c は、図 3 (b) と同様になる。

【0 0 6 9】

次に、単相負荷変動時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c について説明する。

【0 0 7 0】

負荷 L_{ab} が切り離されて、 $I_{ab} = 0$ になると、

$$I_a = - (1/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca}$$

$$I_b = (2/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca}$$

$$I_c = (2/3) I_{ca} - (1/3) I_{bc}$$

となる。

【0 0 7 1】

よって、負荷変動前後の電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c は、

$$\Delta I_a = (2/3) I_{ab} - (1/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca} - (- (1/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca}) = (2/3) I_{ab}$$

$$\Delta I_b = ((2/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca} - (1/3) I_{ab}) - ((2/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca}) = - (1/3) I_{ab}$$

$$\Delta I_c = ((2/3) I_{ca} - (1/3) I_{ab} - (1/3) I_{bc}) - ((2/3) I_{ca} - (1/3) I_{bc}) = - (1/3) I_{ab}$$

となり、各相の相電圧ベクトルを基準にして表すと、

【数 2 0】

$$\Delta I_a = \left(\frac{2}{3}\right) I_{ab} = \left(\frac{2}{3}\right) \varepsilon V_a e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = -\left(\frac{1}{3}\right) I_{ab} = -\left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_b e^{j(\theta+120)} = \left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_b e^{j(\theta-60)}$$

$$\Delta I_c = -\left(\frac{1}{3}\right) I_{ab} = -\left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_c e^{j(\theta+240)} = \left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_c e^{j(\theta+60)}$$

となる。

【0 0 7 2】

各相電圧を基準とした線電流ベクトルを I とし、ベクトル εV_a 、 εV_b 、 εV_c をそれぞれベクトル I に置き換えると、

10

20

30

40

【数 2 1】

$$\Delta I_a = \left(\frac{2}{3}\right) I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = \left(\frac{1}{3}\right) I e^{j(\theta-60)}$$

$$\Delta I_c = \left(\frac{1}{3}\right) I e^{j(\theta+60)}$$

となる。図 9 (a) は、単相負荷変動時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c を示したものである。 10

【0 0 7 3】

次に、三相負荷変動時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c について説明する。

【0 0 7 4】

負荷 L_{ab} 、 L_{bc} 、 L_{ca} が切り離されると、

$$I_a = 0$$

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

となる。

【0 0 7 5】

よって、負荷変動前後の電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c は、

$$\Delta I_a = ((2/3) I_{ab} - (1/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca}) - (0) = I_{ab}$$

$$\Delta I_b = ((2/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca} - (1/3) I_{ab}) - (0) = I_{bc}$$

$$\Delta I_c = ((2/3) I_{ca} - (1/3) I_{ab} - (1/3) I_{bc}) - (0) = I_{ca}$$

となり、各相の相電圧ベクトルを基準にして表すと、

【数 2 2】

$$\Delta I_a = I_{ab} = \varepsilon V_a e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = I_{bc} = \varepsilon V_b e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = I_{ca} = \varepsilon V_c e^{j\theta}$$

となる。

【0 0 7 6】

各相電圧を基準とした線電流ベクトルを I とし、ベクトル εV_a 、 εV_b 、 εV_c をそれぞれベクトル I に置き換えると、

【数 2 3】

$$\Delta I_a = I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = I e^{j\theta}$$

となる。図 9 (b) は、三相負荷変動時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c を示したものである。 40

【0 0 7 7】

変圧器 B の結線が Y Y 結線の場合は、 $\Delta \Delta$ 結線の場合と同様になる。なお、二相負荷変動は、きわめて特殊な状態でしか発生せず、実際に発生することはほとんどないので、本実施形態では、二相負荷変動が生じる場合を想定していない。

【0 0 7 8】

以上のように、ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c は、断線が発生した場合 (図 3 (b) 参照) と、負荷変動が発生した場合 (図 4 (b)、図 5 (b)、図 7 (a)、(b)、図 9 (a)、(b)) とで異なるベクトルになる。ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c が、図 3 (b) に示すベクトルになった場合に、断線が発生したと判断することができる。しか 50

し、負荷変動時はおおよそ負荷が平衡していると考えて問題ないが、断線時は断線点より負荷側の負荷が平衡しているとは限らず、図3(b)に示すベクトル図からずれが生じる場合がある。また、計器用変流器CT1、CT2、CT3または計器用変圧器PT1、PT2、PT3に測定誤差が生じることも考慮に入れる必要がある。つまり、これらの誤差が含まれていても、ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c が、図3(b)に示すベクトルであって、図4(b)、図5(b)、図7(a)、(b)、図9(a)、(b)に示すベクトルでないと判断できる条件を設定する必要がある。

【0079】

本実施形態では、断線発生を判断するための条件として、以下の条件を設定している。

(1) ある相の相電圧基準の電流変化ベクトルに対する、ある相より位相が進む相の相電圧基準の電流変化ベクトルの位相差、および、ある相より位相が遅れる相の相電圧基準の電流変化ベクトルに対する、ある相の相電圧基準の電流変化ベクトルの位相差が、それぞれ、第1閾値 θ_1 以上、第2閾値 θ_2 以下である。

(2) すべての相の相電圧基準の電流変化ベクトルの大きさが所定の閾値 I_0 以上である。

(3) 以下の条件をすべて満たす場合に該当しない。

(3-1) 各相の相電圧基準の電流変化ベクトルの中で大きさが最大のベクトルと、それ以外のベクトルとの位相差が、それぞれ、約 60° である。

(3-2) 前記最大のベクトルの大きさが、前記それ以外のベクトルの大きさの約2倍である。

【0080】

本実施形態では、第1閾値 θ_1 として $5^\circ \sim 30^\circ$ の値が設定され、第2閾値 θ_2 として $150^\circ \sim 180^\circ$ の値が設定され、所定の閾値 I_0 として数アンペアの値が設定されている。

【0081】

上記(1)の条件は、例えば「ある相」がa相の場合、a相の相電圧基準の電流変化ベクトルに対する、c相の相電圧基準の電流変化ベクトルの位相差が $\theta_1 \sim \theta_2$ の範囲にあり、かつ、b相の相電圧基準の電流変化ベクトルに対する、a相の相電圧基準の電流変化ベクトルの位相差が $\theta_1 \sim \theta_2$ の範囲にあることを意味している。

【0082】

上記(3)の条件は、図7(a)および図9(a)に示すベクトルに該当しないことを条件としている。断線により一切停電が発生しない場合、すなわち、 α が $(1/2)$ の場合、図3(b)に示すベクトルと図7(a)および図9(a)に示すベクトルとを判別することが難しい。しかし、実際の系統で一切停電が発生しないことは考えられない。したがって、ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c が図7(a)または図9(a)に示すベクトルに該当する場合は、断線ではなく負荷変動であると判断しても問題ない。なお、本実施形態では、(3-1)の条件を、各位相差が $60^\circ \pm 5^\circ$ の範囲内であるかどうかで判断している。また、(3-2)の条件を、1.9～2倍の範囲内であるかどうかで判断している。

【0083】

なお、上述した条件(1)～(3)は、断線の発生を判断するための条件の一例であって、断線判断部2に設定される条件はこれに限定されない。断線の発生を判断するための条件は、ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c に基づいて、断線が発生した場合(図3(b)参照)と、負荷変動が発生した場合(図4(b)、図5(b)、図7(a)、(b)、図9(a)、(b))とを区別できるものであればよい。

【0084】

断線判断部2は、電流変化ベクトル生成部1より入力されるベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c が上記条件(1)～(3)をすべて満たす場合に、配電線で断線が発生したと判断する。

【0085】

なお、上記では、負荷変動が発生した場合として、各負荷が切り離された場合のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c のベクトル図（図 4（b）、図 5（b）、図 7（a）、（b）、図 9（a）、（b）参照）を示している。負荷が減少した場合は、各図のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c の長さが異なるだけであり、負荷が増加した場合は、各図のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c の向きが 180° 反転するだけである。したがって、これらの場合も、上記条件（1）～（3）を用いて、断線発生時のものと区別することができる。

【0086】

図 1 に戻って、遮断指令部 3 は、断線判断部 2 より入力される情報に基づいて、遮断器 CB1、CB2、CB3 に遮断指令を出力するものである。遮断指令部 3 は、断線が発生したことを示す情報が入力された場合、遮断器 CB1～CB3 に遮断指令を出力し、遮断器 CB1～CB3 を開放させる。

10

【0087】

報知部 4 は、断線判断部 2 より入力される情報に基づいて、断線が発生したことを報知するものである。本実施形態では、報知部 4 はモニタおよびブザーであり、断線が発生したことをブザーで警告し、モニタ画面に表示する。なお、音声で断線が発生したことを知らせるようにしてもよい。

【0088】

なお、断線検出装置 A1 の各部が行う処理をプログラムで設計し、当該プログラムを実行させることでコンピュータを断線検出装置 A1 として機能させてもよい。また、当該プログラムを記録媒体に記録しておき、コンピュータに読み取らせるようにしてもよい。

20

【0089】

本実施形態において、断線判断部 2 は、電流変化ベクトル生成部 1 より入力される各相電圧基準の電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c が上記条件（1）～（3）を満たすか否かを判別し、すべての条件が満たされる場合に断線が発生したと判断する。負荷変動と断線とを線電流ベクトルに基づいて区別することは難しいが、各相電圧基準の電流変化ベクトルの違いで区別することができる。したがって、断線検出において、負荷変動による誤検出を抑制することができる。

【0090】

本実施形態では、計器用変圧器 PT1、PT2、PT3 がそれぞれ配電線間の線間電圧を検出する場合について説明したが、計器用変圧器 PT1、PT2、PT3 がそれぞれ配電線の相電圧を検出するようにしてもよい。

30

【0091】

本実施形態では、断線の発生を判断するために、各相電圧基準の電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c を用いたが、これに限られない。例えば、各線間電圧基準の電流変化ベクトルを用いるようにしてもよい。また、各相電圧に所定の位相を加算した電圧（例えば、各相電圧をそれぞれ 10° ずつずらした電圧）を基準とした場合の電流変化ベクトルを用いてもよい。つまり、相毎の基準電圧を基準とした電流変化ベクトルを用いればよい。

【0092】

上記第 1 実施形態では、二相負荷変動が生じる場合を想定しない場合について説明した。以下では、二相負荷変動が生じる場合も想定した場合について、第 2 実施形態として説明する。

40

【0093】

まず、変圧器 B の結線が $\Delta\Delta$ 結線である場合の二相負荷変動時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c について説明する。

【0094】

図 10（a）は、二相負荷変動を表すものであり、負荷 Lab および負荷 Lca が切り離された状態を示している。この場合、図 10（a）から明らかなように、

$$I_a = 0$$

$$I_b = I_{bc}$$

50

$$I_c = -I_{bc}$$

となる。

【0095】

よって、負荷変動前後の電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c は、

$$\Delta I_a = (I_{ab} - I_{ca}) - (0) = I_{ab} - I_{ca}$$

$$\Delta I_b = (I_{bc} - I_{ab}) - (I_{bc}) = -I_{ab}$$

$$\Delta I_c = (I_{ca} - I_{bc}) - (-I_{bc}) = I_{ca}$$

となり、各相の相電圧ベクトルを基準にして表すと、

【数24】

$$\Delta I_a = I_{ab} - I_{ca} = \beta V_a e^{j(\theta+30)} - \beta V_a e^{j(\theta+150)} = \beta V_a e^{j(\theta+30)} + \beta V_a e^{j(\theta-30)} = \sqrt{3} \beta V_a e^{j\theta} \quad 10$$

$$\Delta I_b = -I_{ab} = -\beta V_b e^{j(\theta+150)} = \beta V_b e^{j(\theta-30)}$$

$$\Delta I_c = I_{ca} = \beta V_c e^{j(\theta+30)}$$

となる。

【0096】

各相電圧を基準とした線電流ベクトルを I とし、ベクトル βV_a 、 βV_b 、 βV_c をそれぞれベクトル I に置き換えると、

【数25】

$$\Delta I_a = \sqrt{3} I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = I e^{j(\theta-30)} \quad 20$$

$$\Delta I_c = I e^{j(\theta+30)}$$

となる。図10(b)は、二相負荷変動時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c を示したものである。図3(b)に示す断線時のベクトル図において、 α が「0」の場合、図10(b)と同じベクトル図になってしまう。

【0097】

次に、変圧器Bの結線が ΔY 結線である場合の二相負荷変動時のベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c について説明する。

【0098】

負荷 L_{ab} および負荷 L_{ca} が切り離されて、 $I_{ab} = I_{ca} = 0$ になると、

30

$$I_a = I_{bc}$$

$$I_b = I_{bc}$$

$$I_c = -2 I_{bc}$$

となる。

【0099】

よって、負荷変動前後の電流変化ベクトル ΔI_a 、 ΔI_b 、 ΔI_c は、

$$\Delta I_a = (I_{ab} + I_{bc} - 2 I_{ca}) - (I_{bc}) = I_{ab} - 2 I_{ca}$$

$$\Delta I_b = (I_{bc} + I_{ca} - 2 I_{ab}) - (I_{bc}) = I_{ca} - 2 I_{ab}$$

$$\Delta I_c = (I_{ca} + I_{ab} - 2 I_{bc}) - (-2 I_{bc}) = I_{ca} + I_{ab}$$

となり、各相の相電圧ベクトルを基準にして表すと、

40

【数26】

$$\Delta I_a = I_{ab} - 2 I_{ca} = \gamma V_a e^{j(\theta+60)} - 2 \gamma V_a e^{j(\theta+180)} = \gamma V_a e^{j(\theta+60)} + 2 \gamma V_a e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = I_{ca} - 2 I_{ab} = \gamma V_b e^{j(\theta+300)} - 2 \gamma V_b e^{j(\theta+180)} = \gamma V_b e^{j(\theta-60)} + 2 \gamma V_b e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = I_{ca} + I_{ab} = \gamma V_c e^{j(\theta+60)} + \gamma V_c e^{j(\theta+300)} = \gamma V_c e^{j(\theta+60)} + \gamma V_c e^{j(\theta-60)} = \gamma V_c e^{j\theta}$$

となる。

【0100】

各相電圧を基準とした線電流ベクトルを I とし、ベクトル γV_a 、 γV_b 、 γV_c をそれぞれベクトル I に置き換えると、

【数 2 7】

$$\Delta I_a = I e^{j(\theta+60)} + 2I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_b = I e^{j(\theta-60)} + 2I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = I e^{j\theta}$$

となる。図 1 1 (a) は、二相負荷変動時のベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c を示したものである。図 1 1 (a) に示すベクトルであっても、上記条件 (1) ~ (3) をすべて満たしてしまう場合がある。

【0 1 0 1】

次に、変圧器 B の結線が Y Δ 結線である場合の二相負荷変動時のベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c について説明する。 10

【0 1 0 2】

負荷 L_{ab} および負荷 L_{ca} が切り離されて、 $I_{ab} = I_{ca} = 0$ になると、

$$I_a = - (1/3) I_{bc}$$

$$I_b = (2/3) I_{bc}$$

$$I_c = - (1/3) I_{bc}$$

となる。

【0 1 0 3】

よって、負荷変動前後の電流変化ベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c は、

$$\Delta I_a = ((2/3) I_{ab} - (1/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca}) - (- (1/3) I_{bc}) \quad 20$$

$$= (2/3) I_{ab} - (1/3) I_{ca}$$

$$\Delta I_b = ((2/3) I_{bc} - (1/3) I_{ca} - (1/3) I_{ab}) - (2/3) I_{bc}$$

$$= - (1/3) I_{ca} - (1/3) I_{ab}$$

$$\Delta I_c = ((2/3) I_{ca} - (1/3) I_{ab} - (1/3) I_{bc}) - (- (1/3) I_{bc})$$

$$= (2/3) I_{ca} - (1/3) I_{ab}$$

となり、各相の相電圧ベクトルを基準にして表すと、

【数 2 8】

$$\Delta I_a = \left(\frac{2}{3}\right) I_{ab} - \left(\frac{1}{3}\right) I_{ca} = \left(\frac{2}{3}\right) \varepsilon V_a e^{j\theta} - \left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_b e^{j(\theta+120)} = \left(\frac{2}{3}\right) \varepsilon V_a e^{j\theta} + \left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_b e^{j(\theta-60)} \quad 30$$

$$\Delta I_b = -\left(\frac{1}{3}\right) I_{ca} - \left(\frac{1}{3}\right) I_{ab} = -\left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_b e^{j(\theta+240)} - \left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_b e^{j(\theta+120)}$$

$$= \left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_b e^{j(\theta+60)} + \left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_b e^{j(\theta-60)} = \left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_b e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = \left(\frac{2}{3}\right) I_{ca} - \left(\frac{1}{3}\right) I_{ab} = \left(\frac{2}{3}\right) \varepsilon V_a e^{j\theta} - \left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_c e^{j(\theta+240)} = \left(\frac{2}{3}\right) \varepsilon V_a e^{j\theta} + \left(\frac{1}{3}\right) \varepsilon V_c e^{j(\theta+60)}$$

となる。 40

【0 1 0 4】

各相電圧を基準とした線電流ベクトルを I とし、ベクトル εV_a , εV_b , εV_c をそれぞれベクトル I に置き換えると、

【数 2 9】

$$\Delta I_a = \left(\frac{2}{3}\right) I e^{j\theta} + \left(\frac{1}{3}\right) I e^{j(\theta-60)}$$

$$\Delta I_b = \left(\frac{1}{3}\right) I e^{j\theta}$$

$$\Delta I_c = \left(\frac{2}{3}\right) I e^{j\theta} + \left(\frac{1}{3}\right) I e^{j(\theta+60)}$$

となる。図 1 1 (b) は、二相負荷変動時のベクトル ΔI_a , ΔI_b , ΔI_c を示したものである。図 1 1 (b) に示すベクトルであっても、上記条件 (1) ~ (3) をすべて満たしてしまう場合がある。 10

【0 1 0 5】

以上のように、上記条件 (1) ~ (3) で断線の発生を判断すると、二相負荷変動時に断線と誤判定してしまう。第 2 実施形態は、二相負荷変動の場合に誤判定しないようにしたものである。

【0 1 0 6】

図 1 2 は、第 2 実施形態に係る断線検出装置 A 2 を説明するための図である。同図において、第 1 実施形態に係る断線検出装置 A 1 (図 1 参照) と同一または類似の要素には、同一の符号を付している。 20

【0 1 0 7】

図 1 2 に示す断線検出装置 A 2 は、零相電圧センサ 5 からの入力も用いて、断線判断部 2' が断線発生の判断を行っている点で、第 1 実施形態に係る断線検出装置 A 1 と異なる。

【0 1 0 8】

零相電圧センサ 5 は、配電線 a , b , c に配置されており、零相電圧を検出するものである。零相電圧センサ 5 は、検出した零相電圧を断線判断部 2' に出力する。

【0 1 0 9】

断線判断部 2' は、零相電圧センサ 5 から入力される零相電圧も用いて、断線発生の判断を行う。具体的には、断線判断部 2' は、上記条件 (1) ~ (3) に加えて、以下の条件 (4) を設定している。 30

(4) 零相電圧が所定の閾値 V_0 以上である。

【0 1 1 0】

零相電圧は、三相平衡状態であれば「0」であり、負荷変動によっては影響されない。しかし、断線が発生した場合、不平衡状態になって、零相電圧は「0」でなくなる。零相電圧が検出誤差を踏まえた所定の閾値 V_0 以上になった場合、断線が発生した可能性がある。本実施形態では、所定の閾値 V_0 として、例えば数ボルトの値が設定されている。なお、電力系統の変動によって不平衡になって、零相電圧が「0」でなくなる場合があるので、条件 (4) だけで断線発生を判断せず、上記条件 (1) ~ (3) も併せて判断している。断線判断部 2' は、上記条件 (1) ~ (4) をすべて満たす場合に、配電線で断線が発生したと判断する。 40

【0 1 1 1】

二相負荷変動時には、上記条件 (1) ~ (3) を満たす場合があるが、上記条件 (4) を満たさない。したがって、第 2 実施形態においては、二相負荷変動時に断線発生と誤判定することを抑制することができる。

【0 1 1 2】

本発明に係る断線検出装置および断線検出方法は、上述した実施形態に限定されるものではない。本発明に係る断線検出装置および断線検出方法の各部の具体的な構成は、種々に設計変更自在である。

【符号の説明】

【0113】

A 1, A 2 断線検出装置

1 電流変化ベクトル生成部

1 1 ベクトル生成部

1 2 演算部

1 3 記憶部

2, 2' 断線判断部 (断線判断手段)

3 遮断指令部

4 報知部

5 零相電圧センサ

a, b, c 配電線

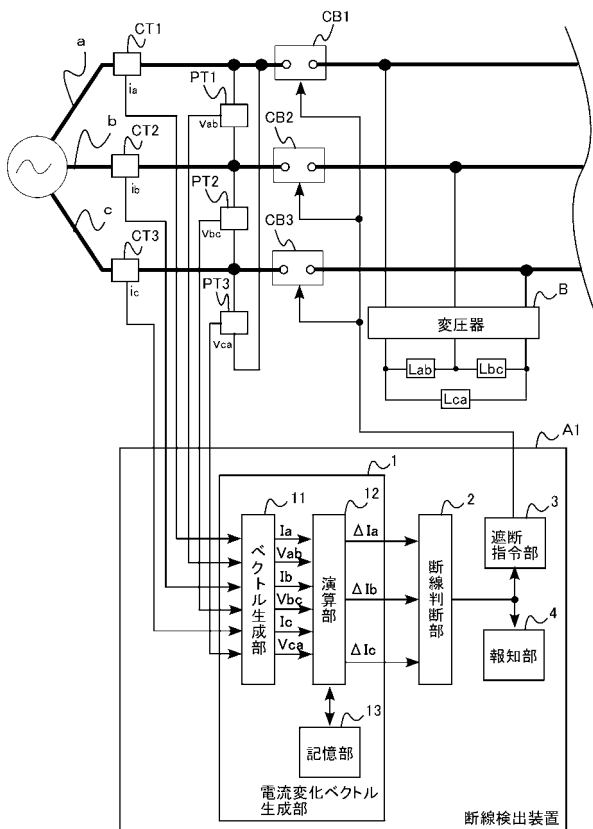
CT 1、CT 2, CT 3 計器用変流器 (電気信号検出器)

PT 1、PT 2, PT 3 計器用変圧器 (電気信号検出器)

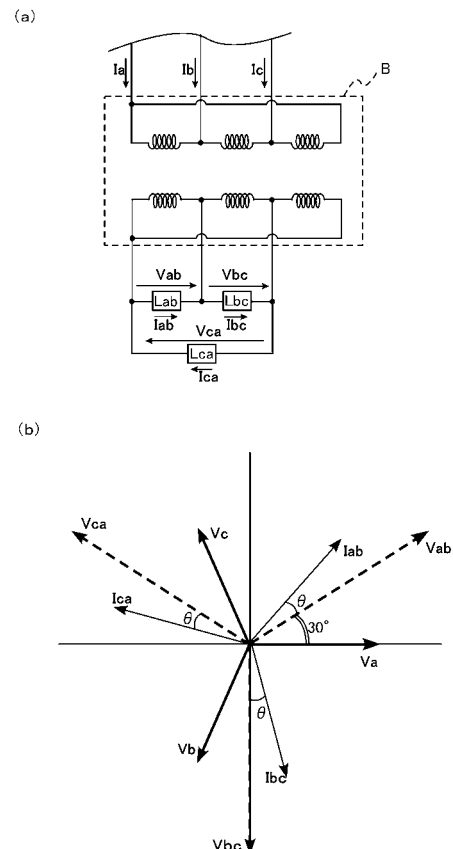
B 変圧器

10

【図 1】

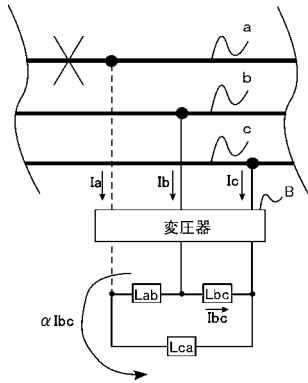


【図 2】

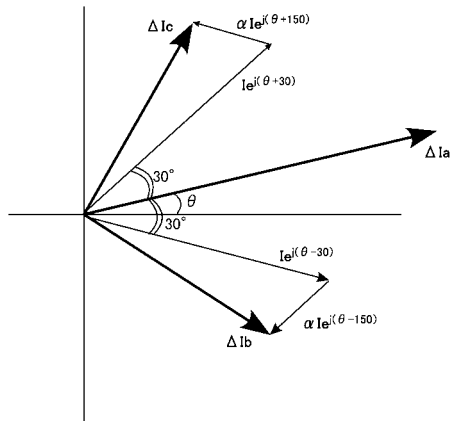


【図 3】

(a)

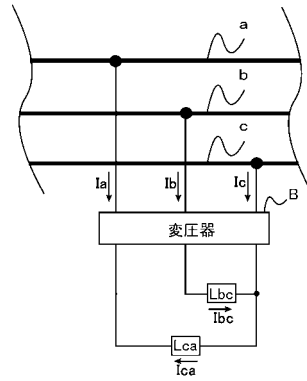


(b)

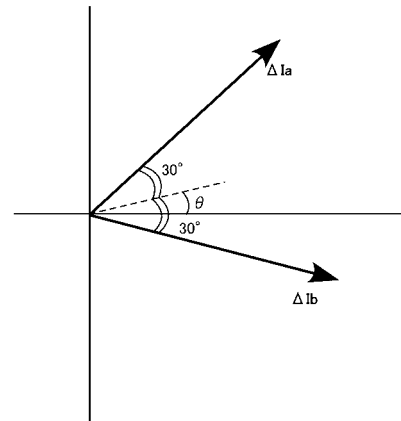


【図 4】

(a)

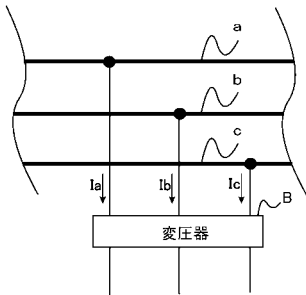


(b)

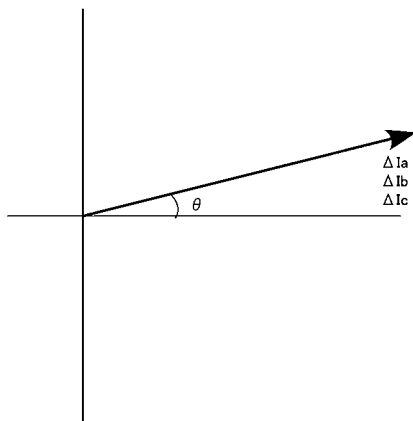


【図 5】

(a)

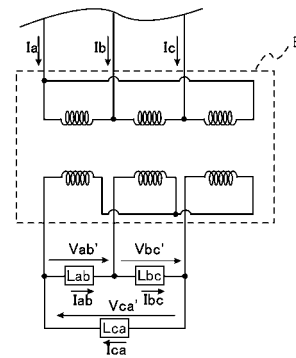


(b)

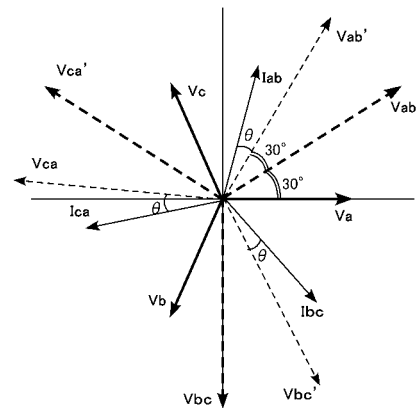


【図 6】

(a)

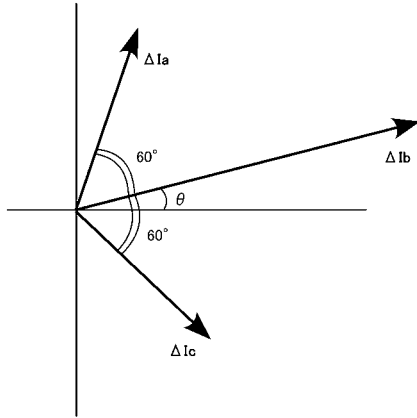


(b)

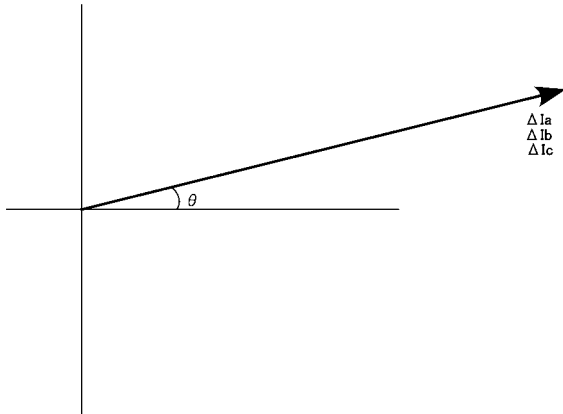


【図 7】

(a)

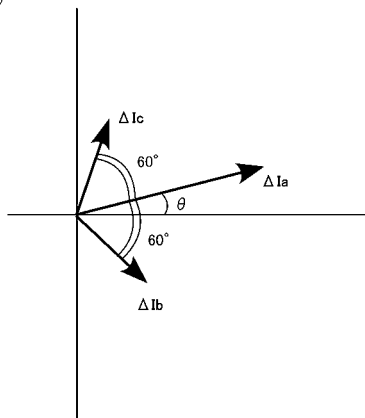


(b)

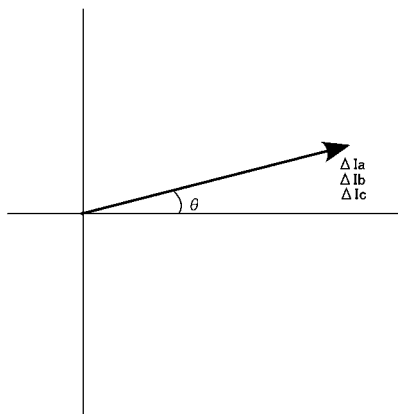


【図 9】

(a)

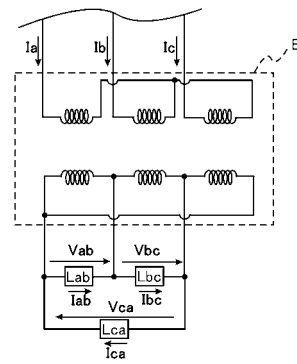


(b)

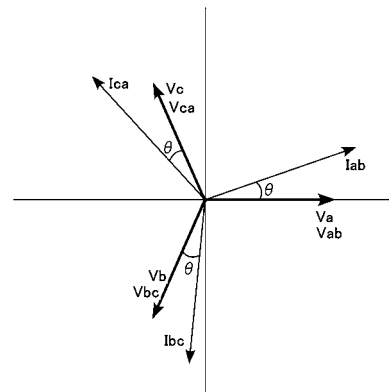


【図 8】

(a)

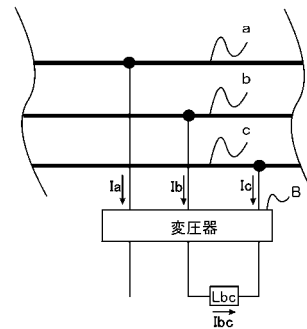


(b)

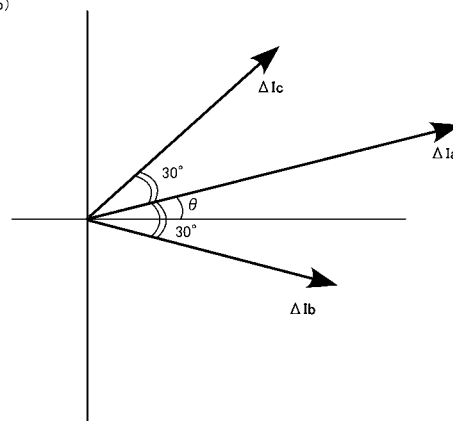


【図 10】

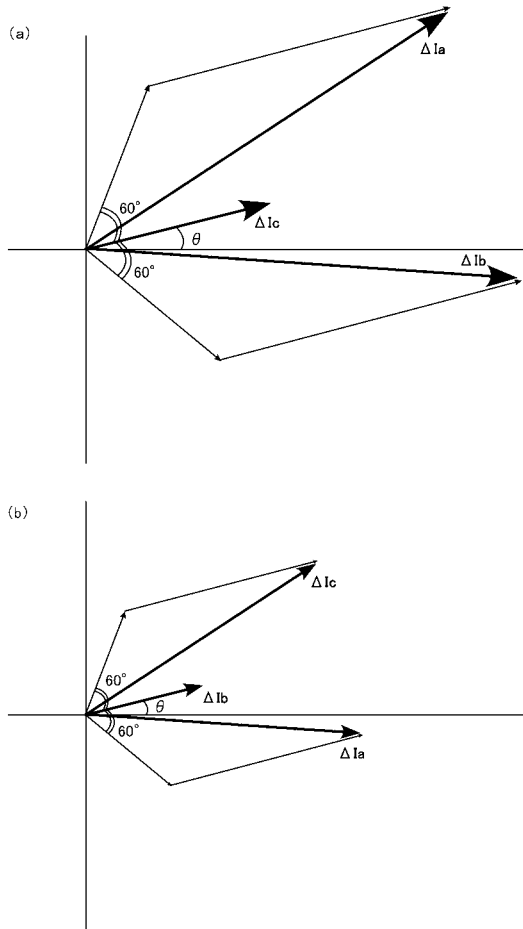
(a)



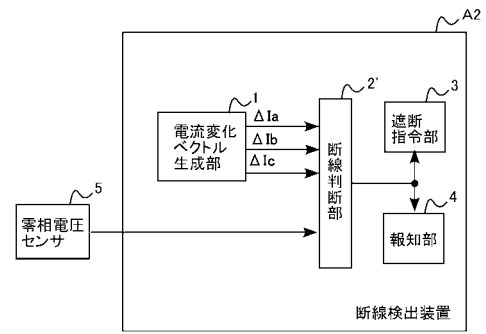
(b)



【図 1 1】



【図 1 2】



フロントページの続き

(72)発明者 古川 直樹

大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 号 株式会社ダイヘン内

Fターム(参考) 2G014 AA02 AB33 AC19

5G042 AA02 AA16

5G058 BB01 BC16 BD14 CC04 CC09