

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05965

研究課題名(和文)革新的単独運転検出技術の開発とスマートグリッド技術基盤への応用

研究課題名(英文)Development of innovative islanding detection technology and its application to smart grid technology infrastructure

研究代表者

吉田 義昭 (Yoshida, Yoshiaki)

広島工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50726867

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：基本波の周波数や電圧に影響を与えない単独運転検出手法として、5次高調波注入方式の有効性を明らかにした。本手法を搭載した系統連系インバータを開発した。系統連系時は能動信号で高調波抑制を行い、6%の低減効果が認められた。遮断器開放後は、能動信号で高調波を増大させて約0.17秒で単独運転を検出できた。

さらに、低圧三相パワーコンディショナへの適用に向けて、高低圧混触地絡事故を低圧配電線側から直接検出する手法について検討にした。高圧系統の一線地絡電流によって線間電圧に特徴的な変化が発生することを利用する。無負荷のミニ配電線モデルにおいて実験値と理論値が良好に一致することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We clarified the effectiveness of the 5th harmonic injection method as an islanding detection method that does not affect the frequency and voltage of the fundamental wave. We developed a grid interconnection inverter equipped with this method. In the grid interconnection, harmonic suppression was performed by the active signal, and a reduction effect of 6% was confirmed. After opening the circuit breaker, it was possible to detect islanding operation within about 0.17 seconds by increasing the harmonic active signal.

In addition, for the low voltage three-phase power conditioner, we studied a method to directly detect the ground fault accidents caused by contact between high voltage line and low voltage line from the low voltage distribution line side. We utilize the distinctive change in the line voltage due to the one line ground fault current flowing in the high voltage line. Experimental values and theoretical values agreed well in the no-load mini distribution line model.

研究分野：分散型電源、配電システム、電気機器

キーワード：単独運転検出 系統連系インバータ 高調波注入 高調波抑制 高低圧混触 直接検出 地絡事故

1. 研究開始当初の背景

現在、住宅用太陽光発電（低圧単相発電設備）に、新型能動的単独運転方式（ステップ注入付周波数フィードバック方式；以下、NEDO方式）が標準適用されている。しかし、規模の大きな産業用太陽光発電（低圧及び高圧の三相発電設備）に適用されると、以下の課題が考えられる。

一つ目は、発電量と負荷量が完全に平衡すると、基本波の周波数や電圧が変化しないため、単独運転が発生したとき、その検出が遅れる可能性がある。対策として、周波数が変化しないとき、NEDO方式は高調波電圧の急増を検出して、系統へ無効電力をステップ注入し周波数を変化（低下）させる機能がある。この高調波電圧の検出閾値が単相系統では+1%であるが、三相系統では高調波電圧の変化量は低くなるかあるいはマイナスになる可能性があり、ステップ注入機能が正常に動作しないおそれがある。

二つ目は、無効電力を能動信号に使用するため、電力品質や系統安定度への影響が考えられる。前述した無効電力のステップ注入機能が誤って系統連系時に動作すると、小規模の住宅用太陽光発電であれば、その影響は小さいが、産業用の大規模の太陽光発電になると系統に与える影響が大きくなる。

2. 研究の目的

(1) 高調波注入方式の確立

本研究では、基本波の周波数や電圧に影響を与えない単独運転検出手法として、能動信号に5次高調波電流を用いた高調波注入方式を確立する。系統連系時は能動信号で高調波抑制を行い、電力品質維持に寄与する。単独運転時は、能動信号で高調波を増大させて高速に単独運転を検出する。両機能を搭載した系統連系インバータを開発し、性能検証する。

(2) 高低圧混触地絡事故を低圧配電線側から直接検出できる手法（以下、直接検出方式）の確立

一般に単独運転は、高低圧混触地絡事故（以下、高低圧混触事故）が起きて、変電所の遮断器が開放した後に発生する。遮断器が開放する前に高低圧混触事故を低圧配電線側から直接検出できれば、単独運転をより高速に検出できる。高圧線に流れる一線地絡電流によって線間電圧の特徴的な変化が発生する可能性がある。この変化を定量的に明らかにし、低圧三相パワーコンディショナへの適用を想定した基礎検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 高調波注入方式の検証実験

① 系統連系インバータの開発

高調波注入方式を搭載した系統連系インバータを開発し、②～④の機能検証を行う。

② 高調波抑制機能の検証（系統連系時）

能動信号の注入位相を360度回して、系統の高調波電圧を抑制できる位相を求める。こ

の位相で能動信号を注入したときの、高調波電圧抑制効果を検証する。

③ 単独運転検出機能の検証

遮断器開放前後に高調波電圧が変化する。この前駆現象を検出した後、能動信号（高調波電流）の大きさを二段階に変化させて、連系点の高調波電圧も変化させる。その差分量から、任意の高調波発生負荷による高調波電圧の位相を瞬時に推定する。負荷による高調波電圧と強めあう位相に能動信号を注入し増大させる。これに応じた高調波電圧の増大量から単独運転を検出する。

④ 不要動作防止機能の検証

系統擾乱やFRT（事故運転継続）に対して高調波注入方式が不要動作しないことを検証する。

(2) 直接検出方式の検証

① 無負荷高圧線路モデルによる数値解析

簡易な高圧配電線モデル（地絡電流の影響のみを考慮した無負荷線路モデル）を用いて高低圧混触事故の数値解析を行う。高低圧混触事故時、高圧線に流れる一線地絡電流によって発生する線間電圧の特徴的な変化を数値解析で定量的に明らかにする。

② ミニ配電線モデルによる実験検証

200Vの三相三線で高圧系統を模擬したミニ配電線モデルを開発し、高低圧混触事故時に発生する線間電圧の特徴的な変化を実験で定量的に明らかにする。

4. 研究成果

(1) 高調波注入方式

① 系統連系インバータの開発

図1に開発した系統連系インバータの主回路を、表1に仕様を示す。フルブリッジ回路を用いた電圧形電流制御インバータである。単独運転の検出時間は0.2秒程度であるため、直流入力は一定と見なし太陽光パネルとチョップ回路は直流定電圧源で模擬した。

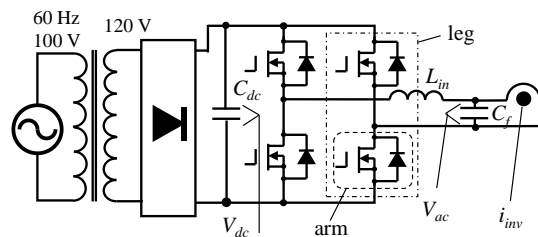


図1 系統連系インバータの主回路

表1 系統連系インバータの仕様

交流電圧, 周波数	V_{ac}	100 V, 60 Hz
出力電流 (基本波)	i_{inv}	1 A
定格出力	P_{out}	100 W
直流電圧	V_{dc}	170 V
直流コンデンサ	C_{dc}	220 μ F
スイッチング周波数	f_{sw}	21600 Hz
連系リアクトル	L_m	3.6 mH
フィルタコンデンサ	C_f	0.33 μ F

図2にインバータに搭載した高調波注入方式を示す。瞬時値電流指令値 I_{ref} は基本波電流指令値 I_{ref1} と高調波能動信号 (5次) の電流指令値 I_{ref5} の和である。インバータ内部にあるスイッチ SW_{inv} は仮想スイッチであり、系統連系時は高調波電圧抑制機能側に接続されている。一方、単独運転直後の前駆現象 (CB開放直後の高調波電圧の急変) を検出すると単独運転検出機能側に切り替わる。

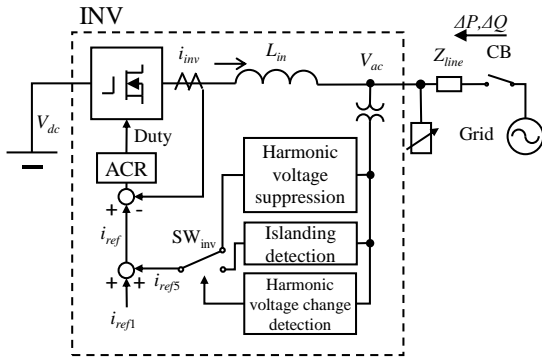


図2 高調波注入方式

② 高調波抑制機能の検証 (系統連系時)

図3は6秒間に高調波能動信号の位相を3回転させて得られた特性である。ほぼ同じ経路を辿っており、再現性がある。連系点の5次高調波電圧が最大となる位相は 120° 付近であり、最小となる位相が -60° 付近である。図3をもとに、図4では 3.0% (0.03 A) $\angle (-60^\circ)$ を5次高調波電流の指令値として与えた。注入前 (1.2秒より前) と比較して、注入後 (2.6秒より後) は、高調波電圧が 6% ($= 0.066\text{ V} \div 1.136\text{ V}$) 低下している。以上から、能動信号による高調波抑制機能が有効であることが明らかになった。

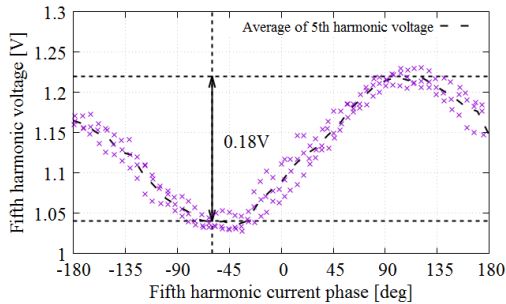


図3 能動信号注入位相に対する高調波電圧変化

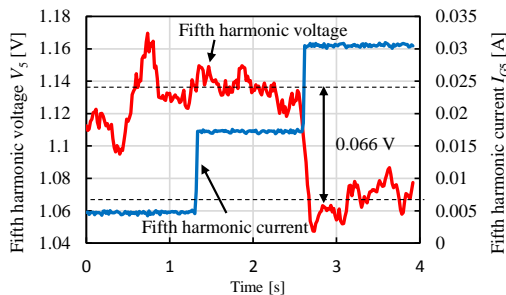


図4 高調波電圧抑制結果

③ 単独運転検出機能の検証

図5は遮断点の潮流 ($\Delta P, \Delta Q$) がともに 0% のときの単独運転試験結果である。

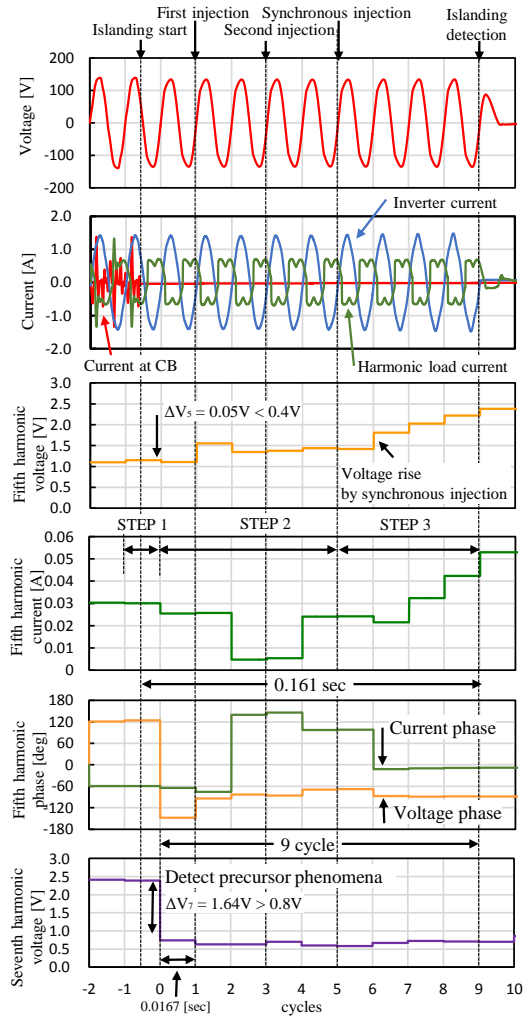


図5 単独運転試験結果 ($\Delta P, \Delta Q$) = (0%, 0%)

遮断器開放後、7次高調波電圧の変化が 1.6% あり、閾値 (0.8%) を超えて前駆現象を検出した (STEP1)。その後、同期位相推定を行った (STEP2)。②で述べた系統連系時の注入条件 3.0% (0.03 A) $\angle (-60^\circ)$ に対して、実測値もほぼその通りである。一方、一段目の高調波能動信号 I_{Gk1} は指令値が 0.5% (0.005 A) $\angle 90^\circ$ であるのに対して、実測結果は、 0.5% (0.005 A) $\angle 143^\circ$ であった。次の二段目の高調波能動信号 I_{Gk2} は指令値が 2.5% (0.025 A) $\angle 90^\circ$ に対し、実測結果は、 2.4% (0.024 A) $\angle 98^\circ$ であり、ほぼ指令値通りとなった。そして、同期注入推定位相の結果は、 -9.8° であった。図5より5サイクルのプロセスを経て STEP2 は終了する。最後に、STEP3 の能動信号の増大が行われる。第5～第9サイクルまでの4サイクルの間に5次高調波電圧は 1.81 V から 2.38 V まで増大した。すなわち、 0.57% 増大した結果、STEP3 の検出閾値である 0.5% を超過したので単独運転の検出を終了した。単独運転開始から、 0.161 秒で単独運転を高速に検出できた。

遮断点潮流を変化させたときの単独運転

検出時間を表2に示す。最短の検出時間は157 msであり、最長の検出時間は170 msであった。13 msのばらつきはあるが、1サイクル(16.7 ms)未満に収まっている。これは、遮断点開放時の位相のばらつきが原因と考えられる。STEP1の前駆現象を検出した後は、単独運転を検出するまでに要した時間はどのケースも全て等しく9サイクル(約0.15秒)であった。すなわち、図5と同様にSTEP2に5サイクル、STEP3に4サイクルを要したことがわかる。

表2 遮断点潮流に対する単独運転検出時間

		ΔP : Active Power		
		-5%	0%	5%
Reactive Power	ΔQ : -5%	170 ms	160 ms	166 ms
	0%	164 ms	161 ms	162 ms
	5%	157 ms	161 ms	159 ms

④ 不要動作防止機能の検証

表3に不要動作試験の条件を示す。試験項目は(i)電圧急変試験、(ii)電圧位相急変試験、(iii)高調波電圧急変試験、(iv)周波数急変試験、(v)周波数ランプ応答試験、(vi)突入電流試験の6種類(合計27ケース)である。

表3 不要動作試験の条件

Sudden change test of line voltage	$\pm 10\%$ (Input phase: $0^\circ, \pm 45^\circ, \pm 90^\circ$)
Voltage phase jump test	$\pm 30^\circ$ (Input phase: $0^\circ, \pm 45^\circ, \pm 90^\circ$)
Sudden change test of total harmonic voltage	1% \rightarrow 3% \rightarrow 1% 3% \rightarrow 5% \rightarrow 3%
Sudden change test of frequency	60 Hz + 1.0 Hz (3 cycle)
Ramp response test of frequency	± 2.0 Hz/s (max 61.8 Hz, min 57 Hz)
Inrush current test	microwave oven or induction motor

いずれの試験ケースにおいても、単独運転検出機能によって不要に解列することはなかった。具体的には、「周波数ランプ応答試験」と「誘導電動機による突入電流試験」では、STEP1の検出条件より小さい高調波電圧の変化しか発生せず、不要動作はなかった。その他のほとんどの試験ケースでは、擾乱発生時に高調波電圧の変化が発生しており、STEP1の検出条件を満たした。そしてSTEP2に移行した後、STEP3の能動信号の増大まで進んだ。しかし、STEP3に進んでも、系統連系時の高調波インピーダンスは十分に低いため(5次の場合、低圧100V換算値で1~2 Ω 以下)、能動信号を増大させても5次高調波電圧変化量は0.2%以下であった。すなわち、5次高調波電圧変化量が0.5%以上となるケースはなく、不要解列を回避できていることが検証された。なお、電圧位相急変試験において、例えば、投入位相角が 45° で位相急変角が -30° のときに、インバータが過電流を検出

して停止する場合があった。同一条件で実験を繰り返したところ、3回に1回の頻度で過電流による停止が確認された。開発したインバータの過電流保護機能は、定格電流の1.4倍で動作するように設定している。ゆえに、上記の電圧位相急変時に2 A(瞬時値)以上の過電流が発生したと考えられる。過電流の抑制対策は、FRT要件(特に位相変化を伴う電圧低下時の運転継続)を満たすために必要となる。今後の課題として取り組んでいく予定である。

(2) 直接検出方式の検証

① 無負荷高圧線路モデルによる数値解析

図6に示す簡易な高圧配電線モデルを用いた場合の高低圧混触事故の数値解析を行った。地絡電流の影響のみを考慮するための無負荷線路モデルである。系統電源は三相平衡したY結線の電圧源とする。中性点抵抗 R_N は、配電用変圧器の母線に設置した接地形計器用変圧器(EVT)の三次巻線に接続された電流制限抵抗器を一次側に換算したものである。

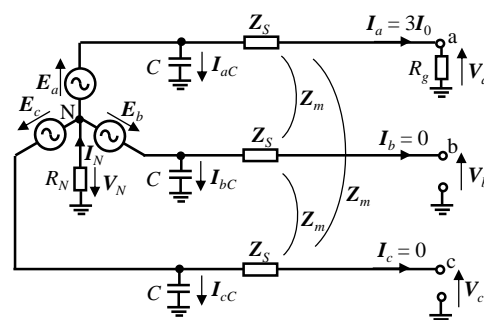


図6 高圧配電線の簡易モデル

表4の条件で高低圧混触事故前後の電圧変化を計算した結果を表5に示す。

表4 簡易モデルの計算条件

Symbols	Conditions	Notes
$E_1 (= E_a)$	3811 $\angle 0^\circ$	[V] $f = 50$ Hz
R_N	10000	[Ω] Current limiting resistor of tertiary side of EVT converted to primary side
C	3.0	[μ F/phase] Ground capacitance
Z_s	5.05 + j 16.45	[Ω]
Z_m	j 9.95	[Ω] AL120 mm ² (20 km)
Z_1	5.05 + j 6.50	[Ω]
R_g	54.2	[Ω] $R_g = 600/I_a$

表5 高低圧混触事故前後の電圧変化の計算結果

Line-Line	Change in line voltages [V]		Line voltages [V]	
	Vector	Scalar	After	Before
a-b	1.38 $\angle (-49.9^\circ)$	0.25	100.25 $\angle 29.2^\circ$	100 $\angle 30^\circ$
b-c	0	0	100 $\angle (-90^\circ)$	100 $\angle (-90^\circ)$
c-a	1.38 $\angle 130^\circ$	1.3	101.3 $\angle 149.7^\circ$	100 $\angle 150^\circ$

線間電圧のベクトル変化分 (ΔV_{ab} , ΔV_{bc} , ΔV_{ca}) とスカラー変化分 (ΔV_{ab} , ΔV_{bc} , ΔV_{ca})

の2種類で示した。電圧は柱上変圧器の低圧側に換算(6600 V/100 V)した。表5からベクトル変化分とスカラー変化分の両方に特徴的な変化が認められる。ベクトル変化分 ΔV_{ab} は $1.38 \angle (-49.9^\circ)$ [V] であるのに対して、スカラー変化分 ΔV_{ab} は 0.25 [V] とわずかに増加する。一方、ベクトル変化分 ΔV_{ca} は $1.38 \angle 130^\circ$ [V] であるのに対して、スカラー変化分 ΔV_{ca} も 1.30 [V] と同程度に増加する。

線間によって電圧変化が異なる理由を説明する。図7に線路末端における事故前後の電圧変化(低圧100 V換算)のベクトル図のイメージを示す。

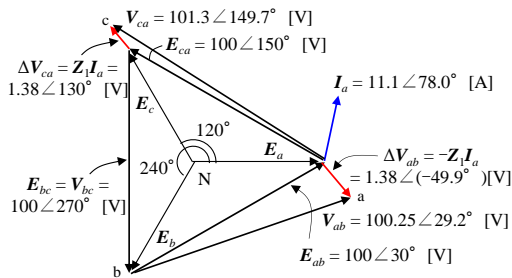


図7 高低圧混触事故前後の電圧ベクトル

実際の ΔV_{ab} や ΔV_{ca} は、 V_{ab} に比べて非常に小さいが、イメージを伝えるために大きさを誇張している。地絡電流は、 $I_a = 11.1 \angle 78.0^\circ$ [A] であり、対地静電容量 C により $E_a (= 100 \angle 0^\circ)$ [V] に対して 78° 進む。 I_a に $Z_1 (= Z_S - Z_m = 8.23 \angle 52.1^\circ)$ [Ω] を掛けて低圧側に換算すると、 $\Delta V_{ab} = -Z_1 I_a = 1.38 \angle (-49.9^\circ)$ [V] となる。つまり、 ΔV_{ab} は $E_{ab} (= 100 \angle 30^\circ)$ [V] に対して概ね直交方向に変化するため、スカラー変化分 ΔV_{ab} はわずかに増える。一方、 $\Delta V_{ca} (= Z_1 I_a)$ は $1.38 \angle 130^\circ$ [V] であり、 $E_{ca} (= 100 \angle 150^\circ)$ [V] とほぼ同じ向きに変化するため、スカラー変化分 ΔV_{ca} も大きく増加する。

② ミニ配電線モデルによる実験検証

図8に開発したミニモデルの実験回路を示す。実験回路の仕様を表6に示す。実規模と等価な電圧変化特性とするために、基準容量を縮小した後も線路末端までの配電線路のパーセントインピーダンス(背後インピーダンスを含む)がほぼ同じになる仕様とした。

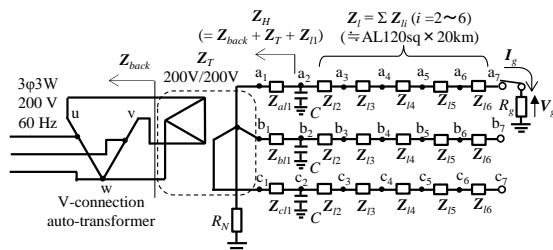


図8 ミニ配電線モデルの実験回路(a相末端地絡の例)

実規模に対して基準電圧 V_B は $1/33 (= 200\text{V}/6600\text{V})$ に縮小し、基準電流 I_B は $1/55 (= 15.9\text{A}/875\text{A})$ に縮小した。事故時の対地

電圧 V_g は実規模が 600V であり、ミニモデルでは $18.2\text{V} (= 600/33)$ である。基準インピーダンスは実規模に対して $1.67 (= 55/33)$ 倍となる。したがって地絡抵抗(B種接地抵抗) R_g 、中性点抵抗 R_N (EVT中性点の一次換算抵抗) もほぼ 1.67 倍となる。バンク全体の対地静電容量 C はノード2に集中させる。例として実規模の C が $3.0\ \mu\text{F}/\text{相}$ のとき、地絡電流 I_g は 11A となる。これはミニモデルの $0.2\text{A} (= 11/55)$ に相当し、 C は $1.5 (= 3 \times 33/55 \times 50\text{Hz}/60\text{Hz})\ \mu\text{F}/\text{相}$ に対応する(表6下線部)。高圧架空線路インピーダンス Z_I は $\text{AL120sq} \times 20\text{km}$ 相当を5分割にして模擬している。

表6 実験回路の仕様

Symbol	Mini scale model	Real scale model
f_B [Hz]	60	50
P_B [kVA]	5.51	10000
V_B [V]	200	6600
I_B [A]	15.9	875
$V_g = I_g R_g$ [V]	18.2	600
I_g [A]	0.1, <u>0.2</u> , 0.3, 0.4	5.5, <u>11</u> , 16.5, 22
R_g [Ω]	182, <u>90.9</u> , 60.6, 45.5	109, <u>54.5</u> , 36.4, 27.3
C [$\mu\text{F}/\text{phase}$]	0.75, <u>1.5</u> , 2.25, 3.0	1.5, <u>3.0</u> , 4.5, 6.0
R_N [Ω]	16800	10000
$Z_H = Z_{back} + Z_T + Z_{al1}$	$17.2 + j4.86\%$	$0.7 + j10.9\%$
Z_{back}	$3.29 + j1.77\%$	$j2.5\%$
Z_T	$10.7 + j3.1\%$	$j7.5\%$
Z_{al1}	3.24%	$0.7 + j0.88\%$
Z_i	$97 + j155\%$	$116 + j149\%$
$= \sum Z_{ii} (i=2\sim6)$	$7.05 + j11.3\ \Omega$	$5.05 + j6.5\ \Omega$

基本動作試験の例として、電圧不平衡率を 0.5% 以下にした上で、地絡電流 0.2A ($C = 1.5\ \mu\text{F}/\text{相}$) に設定し、a相末端 a_7 で地絡事故を起こす。パワーアナライザ(H社製、PW6001)でノード2~7における事故前後の線間電圧(基本波成分)を測定する。a相地絡の場合、bc間の線間電圧 V_{bc} の位相 θ_{vbc} は事故前後でほぼ変化しないため、 V_{bc} を基準電圧にとる。測定間隔は 50ms (3サイクル平均)とする。「現在の 50ms 分」と「過去 $100\sim 150\text{ms}$ 前の 50ms 分」の差分から線間電圧のスカラー変化 (ΔV_{abi} , ΔV_{bci} , ΔV_{cai}) とベクトル変化 (ΔV_{abi} , ΔV_{bci} , ΔV_{cai}) を求める ($i = 2\sim 7$)。 ΔV_{abi} と ΔV_{cai} の電圧位相差 θ ($= |\theta_{vab} - \theta_{vca}|$) も求める。さらに、測定値の妥当性を検証するため、非対称三相交流回路理論を図8に適用し、求めた理論値を測定値と比較した。

図9に配電線等価互長に対する線間電圧のスカラー変化の実験結果を示す。横軸の配電線等価互長 (AL120sq相当) はノード2を原点とし、ノード番号が一つ増えると 4km 延びることを意味する。図9より、互長が 8km 以上である場合は、スカラー変化は、 $\Delta V_{cai} > \Delta V_{abi} > \Delta V_{bci}$ の関係が成り立っている。

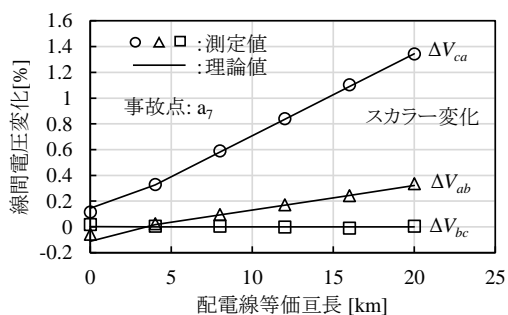


図9 配電線等価巨長に対する線間電圧のスカラー変化

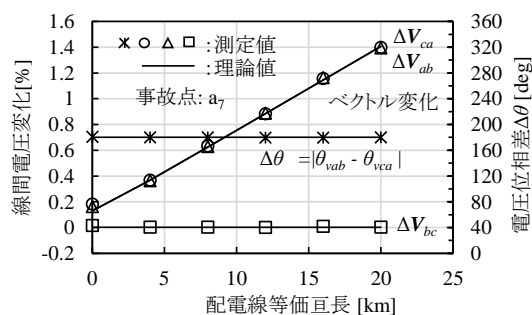


図10 配電線等価巨長に対する線間電圧のベクトル変化

この理由は、ノード4以降であれば線路インピーダンスの X/R の比が1以上(偏角が 45° 以上)を満たしているからである。一方、ノード2と3は X/R の比が1以下となるため ΔV_{abi} がほぼ0かあるいは、負になる。しかし実際の高圧配電線では、配変近傍であっても X/R の比が1以上あるため、 $\Delta V_{cai} > \Delta V_{abi} > \Delta V_{bci}$ の関係が維持されると考えられる。図10に配電線等価巨長に対する線間電圧のベクトル変化の特性を示す。スカラー変化と同様に、 ΔV_{bci} はほぼ0である。 $\Delta V_{bci} \approx 0$ のときは、 $\Delta V_{cai} + \Delta V_{abi} + \Delta V_{bci} = 0$ より、 $\Delta V_{cai} + \Delta V_{abi} \approx 0$ が成り立つ。すなわち、 ΔV_{cai} と ΔV_{abi} の大きさが等しく向きが反対($\Delta\theta$ がほぼ 180°)であることを意味する。図9と図10の測定値と理論値は概ね一致しており、測定結果が妥当であることを示している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① 布村 直人, 吉田 義昭, 鈴木 宏和, 高調波能動信号の同期注入による単独運転検出機能を備えた系統連系インバータの開発, 電気学会論文誌 B, 査読有, 138 巻 8 号, 2018 (掲載決定)
- ② 吉田 義昭, 佐伯 颯太, 布村 直人, 低圧連系用三相パワーコンディショナへの適用を想定した低圧配電線側からの高調波能動信号の同期注入手法, 電気学会論文誌 B, 査読有, 138 巻 2 号, 2018, pp. 69-81
DOI:10.1541/ieejpes.138.69
- ③ Yoshiaki Yoshida, Hirokazu Suzuki, A basic study on novel islanding detection method for photovoltaic

inverters by positive feedback of harmonic voltage, Journal of International Council on Electrical Engineering, Vol. 6, No.1, 2016, pp. 160-165
DOI: 10.1080/22348972.2016.1202397

[学会発表] (計6件)

- ① 吉田 義昭, 塚本 哲大, 鈴木 宏和, 高低圧混触事故を低圧配電線側から直接検出手法の実験検証用ミニ配電線モデルの開発, 平成 30 年 電気学会全国大会, 2018 年
- ② 布村 直人, 佐伯 颯太, 吉田 義昭, 高調波能動信号の同期注入による単独運転検出機能を備えた系統連系インバータの開発, 半導体電力変換/モータドライブ合同研究会, 2017 年
- ③ 吉田 義昭, 佐伯 颯太, 布村 直人, 高低圧混触地絡事故の低圧配電線側からの直接検出手法, 平成 29 年 電気学会 B 部門大会, 2017 年
- ④ 佐伯 颯太, 布村 直人, 吉田 義昭, 高モータ負荷比率時における太陽光発電インバータの高調波能動信号を用いた同期注入手法の検証, 2017 年電気設備学会全国大会, 2017 年
- ⑤ 吉田 義昭, 布村 直人, 佐伯 颯太, 高低圧混触地絡事故の低圧配電線側からの直接検出に関する基礎検討, 平成 29 年 電気学会全国大会, 2017 年
- ⑥ 佐伯 颯太, 布村 直人, 吉田 義昭, 太陽光発電インバータの単独運転検出用高調波能動信号の同期注入手法, 平成 29 年電気学会全国大会, 2017 年

[その他]

ホームページ等

<https://researchmap.jp/yyoshida0817>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 義昭 (Yoshida, Yoshiaki)
広島工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 50726867

(2) 研究協力者

鈴木 宏和 (Suzuki, Hirokazu)
東京大学大学院・特任主幹研究員

布村 直人 (Nunomura, Naoto)
広島工業大学・大学院工学系研究科・院生

佐伯 颯太 (Saiki, Souta)
広島工業大学・大学院工学系研究科・院生

塚本 哲大 (Tsukamoto, Tetsuhiro)
広島工業大学・工学部・学部生