

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 10 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560284

研究課題名（和文） インバータ電源のエネルギー関数モデル表現による信頼度評価手法の研究

研究課題名（英文） Security Assessment Method by Energy Function Model of Inverter Power Supply

研究代表者

田岡 久雄 (HISAO TAOKA)

福井大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30367502

研究成果の概要（和文）：再生可能電源の多くはインバータにより電力系統と連系されている。これらのインバータ電源が電力系統の信頼度にもたらす様々な影響を検討するため、インバータ電源のエネルギー関数モデルを作成し、位相面軌跡を用いたエネルギー関数法によって信頼度評価を行い、分散型電源大量導入時の信頼性評価に有効であることを確認することができた。合わせて、インバータ負荷である LED 照明機器の負荷モデルと需要家の負荷モデルについて、福井大学キャンパス配電系統を例に作成・評価を行い、配電系統の信頼性評価の可能性を確かめた。

研究成果の概要（英文）：Most of renewable energy system uses DC/AC inverter to connect power system. In order to evaluate the influence of inverter for renewable energy resources to power system, we proposed a security assessment method which is one of means of stability assessment using energy function. The advantage of the energy function is that its calculation speed is faster than the simulation methods which are used similarly for a stability analysis. Load model of LED lighting equipments and consumers network models are also proposed for the security assessment.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電力系統工学

1. 研究開始当初の背景

(1) 分散電源の大量導入が進むにつれ、電力品質・信頼度を維持することが従来に比べて難しくなっており、電力系統の信頼度の評価手法とその対策を確立することは喫緊の課題である。

(2) 分散型電源の多くはインバータにより

電力系統と連系されており、パワエレ機器ではあるが、一般に電流制御型電圧源として稼働しており、電圧の関数と置き換えるのが難しい。また、角速度の関数での表現も難しく、エネルギー関数モデル表現を用いて信頼度評価を行った例がない。

2. 研究の目的

再生エネルギーを利用した分散電源の多くはインバータにより電力系統と連系されている。これらのインバータによる電源が電力系統の信頼度にもたらす様々な影響を検討するため、インバータ電源のエネルギー関数モデルと、分散型電源が接続される需要家系統の負荷モデルを検討し、エネルギー関数モデル表現を用いた安定度指標による位相角安定度・電圧安定度などの電力系統の信頼度を評価する手法を研究する。

3. 研究の方法

本研究において取り組んだ課題は以下の通りである。

- (1) インバータ電源は、電圧源として系統に接続され、その制御は電流の値あるいは位相を変化させることで行っている。インバータ電源は、定電圧制御を行っており、インバータ電源の電圧値を用いた安定度指標では、信頼度評価は行いにくい。そこでインバータ電源が、電力系統の信頼度にもたらす影響を検討するため、インバータ電源のエネルギー関数モデルを検討し、エネルギー関数モデル表現による信頼度を評価する手法を研究する。
- (2) 急速に普及が進むインバータ負荷であるLED照明機器が大量に導入された場合の影響を評価するため、測定結果を基に、LED照明の負荷モデルを作成する。
- (3) 需要家の負荷モデルを実測データと理論的アプローチから作成するため、福井大学キャンパス配電系統に電力監視システムを構築し、需要家の負荷特性を監視・解析し、需要家負荷モデルの作成・評価を行う。

4. 研究成果

- (1) インバータ電源のエネルギー関数モデル表現による信頼度評価

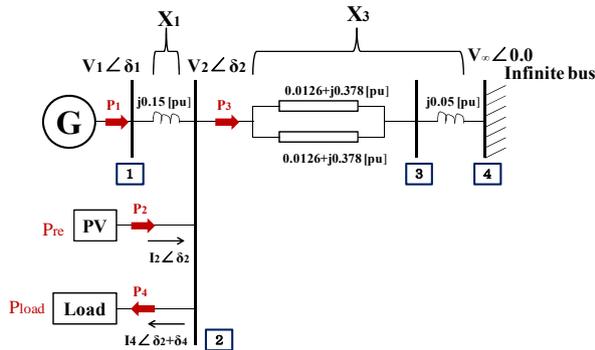


図1 太陽光発電を含むモデル系統

図1の太陽光発電を導入した一機無限大母線系統を、位相面軌跡を用いたエネルギー関数法によって信頼度評価を行うことを検討

し、評価を行った。

電力潮流を算出し、エネルギー関数の定式化をまず行う。その際、発電機と太陽光発電の位相差を一定と仮定する。位相差($\delta_1 - \delta_2$)はリアクタンス X_1 の値で決まるため、無限大母線系統の位相角を基準として、 δ_2 が決定すれば、 δ_1 の位相差も決まる。よって、相対的な差は常に一定として考えられる。

次に、電氣的出力 P_e を時間積分することで、図1の電力系統全体にたくわえられる全エネルギーの関係を表すエネルギー関数を求める。

今回の検討において事故は、図2のようにX3で1回線の地絡事故が送電端より10%のところで発生した場合を想定する。

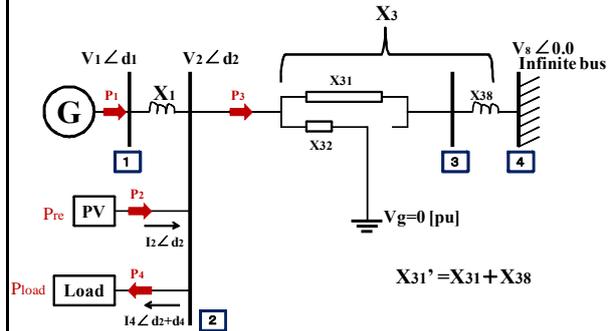


図2 事故中のモデル系統

信頼度評価の精度を高めるため、エネルギー関数を、事故前、事故中、事故後に分けて、別々に求めた。事故中のエネルギー関数の導出によって最初に導出したエネルギー関数を修正することで、事故中の軌跡についてもより誤差の少ない解析が可能となった。

位相面解析は、 W が一定の時に (ω , δ) の位相面軌跡 (phase plane trajectory) を描き、臨界故障除去時間 (以下 CCT) を算出する解析方法である。位相面軌跡を図3に示す。

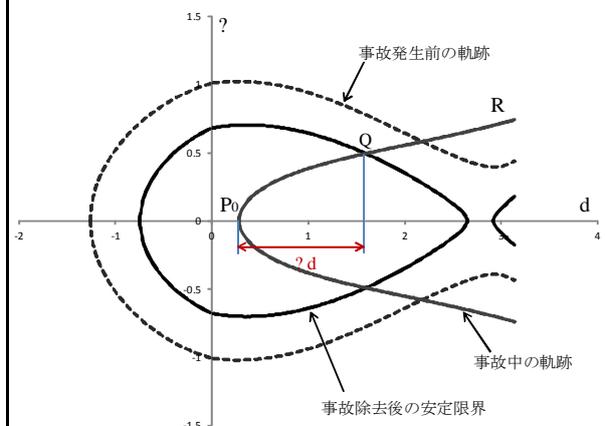


図3 位相面軌跡

図3の位相面軌跡は、事故発生前、事故中、事故除去後の3つの系統状態を示す。事故発生前の安定平衡点P0を出発地点として、事故の発生とともに動作点は、P0→Q→Rというように事故中の軌跡に沿って変化する。安定度判定としては、事故除去後の安定限界軌跡より内側であれば安定、外側であれば不安定という判定が可能となる。

分散電源に用いられているインバータ電源の特性を分析評価する解析ツールと、電力系統の安定度を計算するシミュレーションソフトウェアを組み合わせ、モデル化、解析、評価を行う。

評価には、電気学会の基幹系統モデル「一機無限大系統モデル」と、このモデルをベースに作成した「PVを含む一機無限大母線系統」と「負荷とPVを含む一機無限大母線系統」の計3つの系統モデルを用いた。

CCTの算出方法としては、臨界事故除去位相角を用いて算出する。

3つの系統モデルを用いて、PVが解列する場合と解列しない場合の2パターン、提案するエネルギー関数法とY法シミュレーションによりCCTを求めたので結果を表1にまとめる。結果より、シミュレーションとエネルギー関数法を比較すると有効性が確認できる。また、1機無限大系統より、PVを導入した場合(解列なし)の方が、CCTが短くなっている。これは、PVの導入によってλ項が入るため、擬似的に発電機の機械的入力Pmが増加したのと同様になり、CCTが短くなったと考えられる。解列有無を比べると解列ありの方が、CCTが長くなっている。こちら上記に示した理由で解列した方が、λ項がなくなりCCTが延びる結果となった。

表1 臨界故障除去時間解析結果

	シミュレーションによる 臨界事故除去時間[s]			エネルギー関数法による 臨界事故除去時間[s]		
	1機無限大系	PV 1機無限大系	負荷+PV 1機無限大系	1機無限大系	PV 1機無限大系	負荷+PV 1機無限大系
PVなし	0.124			0.157		
解列なし		0.097	0.151		0.127	0.210
解列あり		0.125	0.151		0.158	0.221

以上、①電源間の位相差を一定にすること、②事故前、事故中、事故後でエネルギー関数を分け、それぞれに位相面軌跡を求めることにより、より精度のよい信頼度評価が可能となった。この成果をベースに、この系統に入っている負荷のモデルの精度を高め、より、高精度の信頼度評価を目指した。

(2) LED 照明の負荷モデルの作成

インバータ負荷であるLED照明機器が大量に導入された場合の影響を評価するため、測定結果を基に、LED照明の負荷モデルを作成する。

LED照明機器は、環境問題・省エネルギー問題の観点から、従来の白熱電球・蛍光灯照明からのシフトが進められている。LED照明には、長寿命、高発光効率、低発熱量、低消費電力、小型などの長所があり、電力系統に関しても、大量に導入されることが予想されている。

一方、LED照明機器にはパワーエレクトロニクス機器が内蔵されているために、高調波による電圧歪みなどの影響を及ぼし、電力品質を低下させる可能性がある。

そこで、電球型のLED照明機器に着目し、電力系統に及ぼすLED照明機器の影響を評価する

まず、系統に複数の会社のLED電球を接続し、電圧・電流特性の比較と、負荷(有効電力P、無効電力Q)の電圧静特性及び周波数特性の測定を行った。また、LED照明機器が大量に導入された場合の測定が必要となってくるため、測定結果を基に、LED照明機器における簡易モデルを作成し、評価を行った。図4に、作成したシミュレーションモデルを示す。

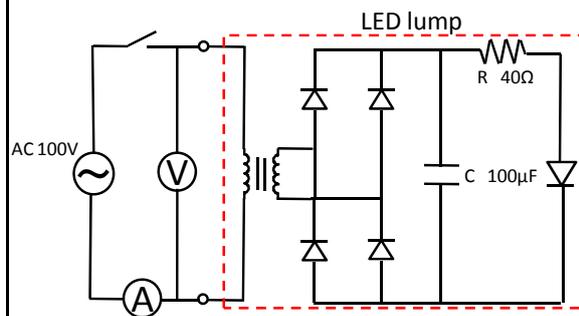


図4 LED照明機器の解析モデル

商用電源に4社のLED電球を接続し、それぞれの定常状態と過渡状態における電圧・電流特性を測定した。測定結果より、電流の位相が電圧の位相に比べ進んでいることが確認できた。さらに、LED照明機器の簡易モデルを作成し、シミュレーションを行った結果、測定結果に近い波形となり、提案したモデルは、系統に及ぼすLED照明機器の影響を評価するために有効であると言える。

(3) 需要家系統の負荷モデルの作成

需要家の負荷モデルを実測データと理論的アプローチから作成するため、福井大学キャンパス配電系統に電力監視システムを構築し、需要家の負荷特性を監視・解析し、需要家負荷モデルの作成・評価を行った。

図5に福井大学キャンパス配電系統の構成図を示す。上位系統から電力を一括受電している受電室受電端、受電した電力を各棟へ分電している小規模配電系統フィーダー1~7、

およびこれらのフィーダーと並列接続されている6%L付き進相コンデンサ100kVar×3台で構成されている。そこにネットワーク情報端末NCT(Network Computing Terminal)を設置する。NCTは電圧・電流の瞬時値を計測できる装置であり、GPS(Global Positioning System)を用いた時刻同期計測が可能である。

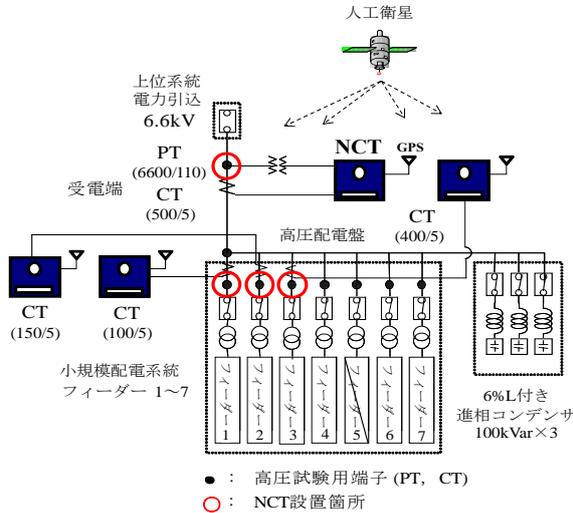


図5 キャンパス系統

NCTの計測データを用いて需要家負荷モデルを作成する。各フィーダーの負荷を単純なΔ結線負荷とみなして、その容量や特性を求め、モデルの構成要素を決めるという方法で需要家負荷モデルの作成を行ってきた。

電力品質制御の内容を検討するために、構築した需要家負荷モデルに上位系統まで含めた解析モデルを構築し、電力品質の影響把握を行った。図6に電力品質の影響把握に用いたシステムモデルを示す。

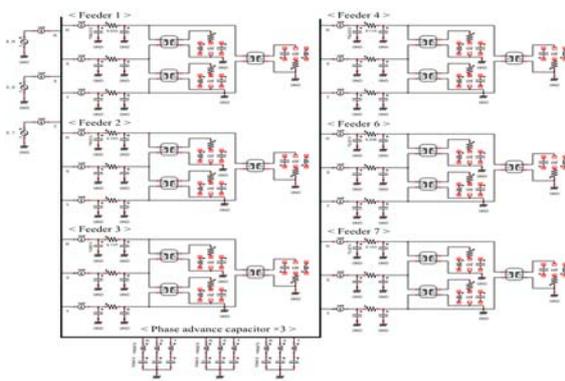


図6 キャンパス系統解析用負荷モデル

以上、インバータ電源が電力系統の信頼度にもたらす様々な影響を検討するため、インバータ電源のエネルギー関数モデルを作成し、位相面軌跡を用いたエネルギー関数法によって信頼度評価を行い、分散型電源大量導

入時の信頼性評価に有効であることを確認することができた。合わせて、インバータ負荷であるLED照明機器の負荷モデルと需要家の負荷モデルについて、福井大学キャンパス配電系統を例に作成・評価を行い、配電系統の信頼性評価の可能性を確かめた。

本研究により、一般的にインバータを介して行われる分散電源の電力系統への連系の際の信頼度評価を定式化された手法として確立することにより、分散電源大量導入時の信頼性評価を容易し、導入促進に大きく貢献する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① Hironori Kashihara, Hisao Taoka, Junya Matsuki, Shoji Kawasaki, Kousuke Matsuura, Toshihisa Funabashi, “Building Mathematical Model of Campus through Measurement Data”, Journal of International Council on Electrical Engineering, 査読有, Vol.2, No.2, pp.131-138, Apr. 2012.

〔学会発表〕(計18件)

- ① Mansaku Kobayashi, Ryota Niwa, Kazuaki Yoshimura, Hisao Taoka, Shoji Kawasaki, Junya Matsuki, “Stability Analysis by Energy Function Method for Power System with Photovoltaic Generators”, Proc. of the International Conference on Electrical Engineering, No. P-PS1-16, July 8-12, 2012
- ② Kousuke Matsuura, Hironori Kashihara, Hisao Taoka, Shoji Kawasaki, Junya Matsuki, Toshihisa Funabashi, “Evaluation of the Load Model for Realizing Smart Grid”, Proc. of International Conference on Electrical Engineering, No. P-PS1-28, July 8-12, 2012
- ③ Yusuke Nakaya, Yusuke Hino, Hisao Taoka, Shoji Kawasaki, Junya Matsuki, “Load Modeling of LED Lighting Equipment for Harmonic Analysis in Power System”, Proc. of 18th International Conference on Electrical Engineering, No. P-PS1-24, July 8-12, 2012.
- ④ 丹羽良太, 小林万作, 田岡久雄, 川崎章司, 松木純也「エネルギー関数法による太陽光発電導入時の電力系統の過渡安定度評価」平成24年電気学会全国大会, Mar. 21-23, 2012
- ⑤ 樋野佑輔, 中屋友佑, 田岡久雄, 本堂

- 義記, 川崎章司, 松木純也「LED照明の負荷特性と負荷モデルの評価」平成24年電気学会全国大会, Mar. 21-23, 2012
- ⑥ 松浦晃祐, 柏原弘典, 田岡久雄, 川崎章司, 松木純也, 舟橋俊久「スマートグリッド実現のための需要家負荷モデルの作成評価」平成24年電気学会全国大会, Mar. 21-23, 2012
- ⑦ Kazuaki Yoshimura, Hisao Taoka, Shoji Kawasaki, Junya Matsuki, “Cell Grid Model: Minimum Size Power System with Renewable Energy”, Proc. of 2011 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Asia, No. 168, Nov. 13-16, 2011
- ⑧ Kazuaki Yoshimura, Hisao Taoka, Yoshinori Hondou, Shoji Kawasaki, Junya Matsuki, “Evaluation of Cell Grid with PV System and LED Lighting”, Proc. of 17th International Conference on Electrical Engineering, No. ICEE-A148, July 10-14, 2011
- ⑨ Hironori Kashihara, Hisao Taoka, Junya Matsuki, Shoji Kawasaki, Kousuke Matsuura, Toshihisa Funabashi, “Building Mathematical Model of Campus through Measurement Data”, Proc. of the International Conference on Electrical Engineering, July 10-14, 2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田岡 久雄 (TAOKA HISAO)
福井大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 30367502

(2) 研究分担者

松木 純也 (MATSUKI JUNYA)
福井大学・大学院工学研究科・特命教授
研究者番号: 90089110