

過渡直流電流を考慮した風力発電機の 過渡安定度シミュレーション

正員 田村 淳二* 正員 世永 茂** 正員 松村 喜治**
正員 水野 隆裕** 正員 鈴木 伸一**

Transient Stability Simulation of Wind Generators Taking DC-offset Current into Consideration

Junji Tamura*, Member, Shigeru Yonaga**, Member, Yoshiharu Matsumura*, Member,
Takahiro Mizuno**, Member, Shin-ichi Suzuki**, Member

In standard simulations of short circuit faults in power systems, it is common to neglect transients of the transmission networks and armature circuits of generators. Therefore, it is not possible by standard method to evaluate particular phenomenon arised from the armature transient. It is well known that the standard method can not evaluate the backswing phenomenon caused by the armature transient. This paper applies a new method, which can approximate the DC offset currents that arise from the armature transient, to transient stability simulation of power system including wind generators.

キーワード：電力系統，過渡安定度シミュレーション，過渡直流電流，バックスイング，風力発電機

Keywords : power system, transient stability simulation, DC-offset current, backswing, wind generator

1. まえがき

著者らは風力発電機の外部系統で地絡故障等が発生した場合の過渡安定度に関する検討を進めており、これまでに誘導機による風力発電機を対象とした過渡安定度シミュレーション法を報告した^{(1),(2)}。この方法では、Y法⁽³⁾等と同様に系統回路網および発電機電機子(固定子)の過渡現象を無視した定式化を採用しており、電機子過渡現象の影響は考慮できない。一方、文献(4)において同期機の電機子過渡現象を近似的に考慮できる新しいシミュレーション手法も提案した。この新手法では、電機子過渡現象に基づいて発生する過渡直流電流を近似的に求めることが可能であり、その結果としてバックスイング現象⁽⁵⁾を考慮することができ。本稿では、この新しい方法を風力発電機の過渡安定度シミュレーションに適用した結果を報告する。

2. 電機子過渡現象を考慮した計算法の概要⁽⁴⁾

発電機の電機子回路と系統側の過渡現象を無視して得られる発電機電流解において、故障等による過渡現象発生時

の不連続変化分を検出し、これより過渡直流電流の初期値が定まる。一方、発電機外部系統を眺めた等価インピーダンスを用いて減衰時定数を近似的に推定し、これより各発電機ごとに過渡直流分電流の時間変化が得られる。

本手法では系統側の計算はY法等の従来法と同じであり、まず系統側基準 D,Q 座標系でのノード方程式を解いて各発電機の D,Q 軸電機子電流が求まるが、風力発電機としての誘導機モデルも同期回転座標系(D,Q 軸)上で表現されており⁽²⁾、従ってこの D,Q 軸電流の不連続変化分から前述の方法で過渡直流電流を推定し、これを元の電機子電流に重畳して動揺方程式(微分方程式)を数値積分により解けばよい。なお、過渡直流分電流の減衰時定数の推定の際に発電機の内部リアクタンスが必要となるが、普通かご型誘導機の場合⁽¹⁾には過渡リアクタンスを、また特殊かご型誘導機の場合⁽²⁾には初期過渡リアクタンスを用いれば良い

3. シミュレーション結果

図1のモデル系統を用いて3相地絡故障に対する過渡安定度シミュレーションを行った。SGは同期発電機(P/V指定)、IGは風力発電機(P/Q指定)である。風力機に対しては並列コンデンサ有り(総合力率1)とし、特殊かご形誘導機モデルを用いた。誘導機に対して磁気飽和を考慮し、更に同期発電機ではAVRとガバナーモデルを考慮した。各発電

* 北見工業大学電気電子工学科
〒090-8507 北見市公園町 165
Kitami Institute of Technology
165 Koen-cho, Kitami 090-8507

** 北海道電力[株]工務部
〒060-8677 札幌市中央区大通東1
Hokkaido Electric Power Co.Inc.
East-1, Ohdori, Chuo-ku, Sapporo 060-8677

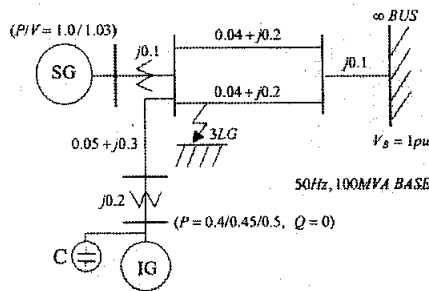


図1 モデルシステム
Fig. 1. Model system.

表1 潮流計算結果

Table 1. Results of power flow calculation.

| | CASE-A | | CASE-B | | CASE-C | |
|---|--------|-------------------------------|--------|-------------------------------|--------|-------------------------------|
| | SG | IG | SG | IG | SG | IG |
| P | 1 | 0.5 | 1 | 0.4 | 1 | 0.45 |
| V | 1.03 | 1 | 1.03 | 1.01 | 1.03 | 1 |
| Q | 0.32 | 0.00 (-0.26) ^{*1} | 0.27 | 0.00 (-0.23) ^{*1} | 0.3 | 0.00 (-0.25) ^{*1} |
| <i>E_{fd}</i> | 1.79 | — | 1.75 | — | 1.77 | — |
| δ | 51.2° | — | 50.6° | — | 50.9° | — |
| slip | 0 | -1.11% | 0 | -0.86% | 0 | -0.979% |
| <i>X_m/X_{m1}</i> ^{*2} | — | 0.85 | — | 0.85 | — | 0.85 |

(notes) P and Q are values on the system base, and bold types denote specified values.
*1: reactive power generated from the induction generator.
*2: saturation ratio of the magnetizing reactance.

機の定数等は文献(2)参照。風車トルク特性として文献(2)に示した簡易特性を用い、更に同文献で検討した風車ピッチ角制御系も考慮した(時定数 $T_w=6s$ とした)。初期条件として3つのケースを考慮し、表1に各ケースに対する潮流計算結果と各発電機の初期値等を示す。

シミュレーションの条件は、2回線送電線の同期発電機至近端において $t=0.1s$ で3相地絡(3LG)発生、 $t=0.2s$ で故障線1回線遮断、 $t=1s$ での再閉路である。計算結果を図2に示す。なお、提案法の妥当性確認のため、汎用プログラム PSCAD による結果も示してある。同図で、METHOD-1は文献(2)における通常法、METHOD-2はこれに過渡直流分の近似考慮法を新たに加えた提案法による結果を表す。これより、CASE-A,Bの場合には、METHOD-2はもちろんのことMETHOD-1の結果も比較的良くPSCAD解に一致している。しかし、CASE-CではMETHOD-1の誤差がかなり大きくなっている。このように場合によってMETHOD-1の誤差が大きくなることが明らかとなった。この原因は誘導発電機のバックスイング現象であると考えている。つまり、故障直後に発電機が加速するが、その際METHOD-1では最大出力点を越えて大きく加速するのに対し、実際はバックスイングの影響で加速が若干小さめとなり、最大出力点の手前で加速が止まり、減速に転じるからである。この詳細なメカニズムに関しては検討中である。図(d)よりMETHOD-2においてバックスイングがほぼ正確に求まっていることが明らかである。

4. あとがき

本稿では過渡直流電流の近似考慮法を誘導発電機の過渡

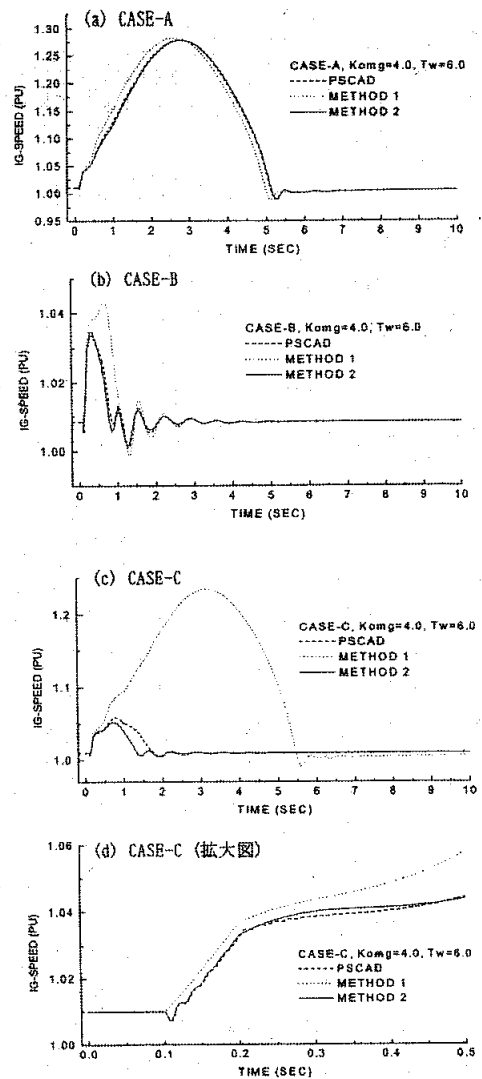


図2 シミュレーション結果
Fig. 2. Simulation results.

安定度シミュレーションに適用し、バックスイング現象がほぼ正確に得られる等非常に有効であることを確認した。本修正法は大規模系統解析への適用が可能である点で意義が大きいと考えられる。

(平成14年8月23日受付)

文 献

- (1) J.Tamura, et al.: "Transient Stability Simulation of Power System Including Wind Generators", *TIEE Japan*, Vol.120-B, No.12, p.1636 (2000-12)
- (2) J.Tamura, et al.: "Transient Stability Simulation of Power System Including Wind Generators (Part 2)", *TIEE Japan*, Vol.121-B, No.12, p.1623 (2001-12)
- (3) 電中研: 「大規模電力系統の安定度総合解析システムの開発」, 電中研総合報告, T14 (1999)
- (4) J.Tamura, et al.: "A Method of Power System Simulation Considering Armature Transients of Synchronous Machines (Part 2)", *TIEE Japan*, Vol.116-B, No.2, p.225 (1996-2)
- (5) M.Takase, et al.: "An Analysis of Backswing Phenomenon of Synchronous Machines", *Proc. of 1996 Annual Conference of Power & Energy Society, IEE of Japan*, No.14, p.85 (1996)