

系統連系を考慮した潮流発電システムの検討 —流速の正弦波変化に対する応答—

Study on Connecting to the Grid for Tidal Current Power Generation System - Responses to the Sinusoidal Variation of Current Speed -

○辻健太郎¹, 直井和久¹, 吉川将洋¹, 塩野光弘¹

*Kentaro Tsuji¹, Kazuhisa Naoi¹, Masahiro Yoshikawa¹, Mitsuhiro Shiono¹

Abstract: We proposed a tidal current power generation system which can be controlled to variable speeds. The generator is a doubly fed induction generator. Tidal current power generation system is operated on control method of maximum power point tracking. This paper investigated responses of connecting to the grid for tidal current power generation system. The results show that controlled value tracked the target value. Also, stator and rotor current varied from their rated ranges.

1. はじめに

現在主流である発電方式の代替として、再生可能エネルギーによる発電方式が注目されている。潮流は再生可能エネルギーの一種であり、流速が一日の中で周期的に変化するため、潮流発電では発電電力を予測可能な点が太陽光発電や風力発電と比べて有利である。

そこで我々は、ダリウス形水車と二重給電誘導発電機 (DFIG) を接続した可変速運転方式の潮流発電システムを提案した。これまでに、この発電システムの発電電力が 0 以上となる流速 (発電開始流速) 一定の条件において、DFIG の一次側、二次側に接続した開閉器を投入する際、電流の peak 値を最小とする電圧の投入位相に対する電流応答についてシミュレーションにより検討を行った^{[1][2]}。また、流速の正弦波変化に対して、開閉器を投入する際、電流の peak 値を最小とする電圧の投入位相に対する電流応答についてシミュレーションにより検討を行った^{[3][4]}。

本稿では、流速の正弦波変化に対して、電流の peak 値を最小とする電圧の投入位相を用いた場合における速度制御システムの応答についてシミュレーションにより検討を行ったので報告する。

2. 潮流発電システム

図 1 に潮流発電システムを示す。ただし、図 1 の P_{T0} は水車出力、 ω_T は水車回転角速度、 a は増速比、 P_{Gi} は発電機入力、 ω_G は発電機回転角速度、 P_1 は一次有効電力、 P_2 は二次有効電力、 P_3 はシステムの発電電力である。また、 P_1 、 P_2 の符号は発電機に入力する方向を正と定義する。

図 1 に示すように、DFIG の一次側および二次側にはそれぞれ開閉器 SW_1 、 SW_2 を設ける。今回検討する開閉器を設けた潮流発電システムでは、 $P_3=0$ となる流速

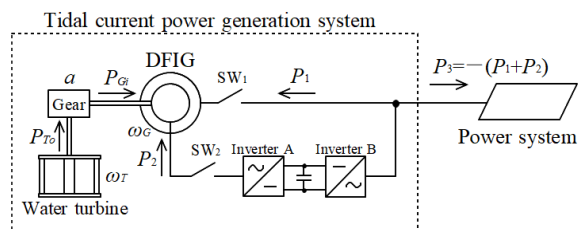


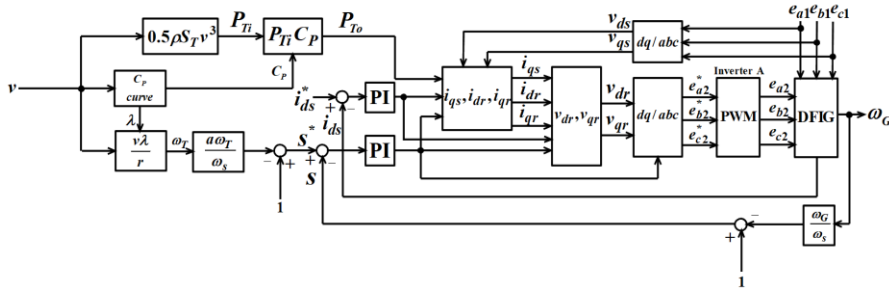
Fig. 1 Tidal current power generation system

(発電開始流速 v_0) 未満では SW_1 、 SW_2 とともに開放し DFIG を無負荷運転とする。その後、流速 v が上昇し v_0 に達したら SW_1 、 SW_2 の順で系統と連系し、潮流発電システムは MPPT 制御方式で運転する。文献[4]より、 SW_1 、 SW_2 を投入する際の一次電圧位相はそれぞれ 88deg、-65deg に設定した。

3. シミュレーション結果

今回のシミュレーションで使用した速度制御システムを図 2 に示し、水車および DFIG のパラメータを表 1 に示す。流速 v の変化は図 3 に示すように、最大流速 3.9m/s、1 周期 4000s の正弦波の半周期分 (2000s) とした。シミュレーション結果は図 4 に示す。

図 4(a)にすべり s の制御量と目標値を示す。図 4(a)に示すように、開閉器を開放している時間 $t=0\sim 133s$ 、 $t=1867\sim 2000s$ の間、発電機は無負荷運転となるため制御量は目標値よりも大きくなった。発電システムを並列、解列直後の $t=133s$ および $1867s$ において、制御量は大きく変化し、目標値に追従することを明らかにした。図 4(b)に一次 d 軸電流 i_{ds} の制御量と目標値、一次 q 軸電流 i_{qs} の制御量を示す。図 4(b)より、 i_{ds} は発電システムを並列、解列直後の $t=133s$ および $1867s$ において、大きく変化するが、定格の範囲内で変化し、目標値に追従することを明らかにした。また、 i_{qs} も i_{ds} と同



ρ : Fluid density, λ : Tip speed ratio
 S_T : Swept area of the turbine
 P_{Ti} : Turbine input, r : Turbine radius
 C_p : Power coefficient
 ω_s : Synchronous angular speed
 v_{ds}, v_{qs} : Stator d, q -axis voltage
 e_{a1}, e_{b1}, e_{c1} : Stator a, b, c -phase voltage
 e_{a2}, e_{b2}, e_{c2} : Rotor a, b, c -phase voltage

Fig. 2 Speed control system

Table 1 Specifications of water turbine and DFIG

Water turbine		DFIG	
Number of blades n	3	Rated capacity of generator S_B [kVA]	10
Height h [m]	1.6	Rated capacity of inverter S_{BI} [kVA]	9
Diameter d [m]	1.6	Rated voltage [V]	200
Chord length c [m]	0.3	Number of pole pairs	3
Solidity σ	0.179	Frequency [Hz]	50
X		Stator resistance r_1 [pu]	0.054
		Rotor resistance r_2 [pu]	0.078
		Stator leakage inductance L_{l1} [pu]	0.100
		Rotor leakage inductance L_{l2} [pu]	0.100
		Excitation inductance M [pu]	1.754
		Gear ratio a	25
		Cut-in current speed v_G [m/s]	0.81

様に, $t=133s$ および $1867s$ において大きく変化するが, 全ての時間において定格の範囲内で変化することを明らかにした. 図 4(c)に二次 d, q 軸電流 i_{dr}, i_{qr} の制御量を示す. 図 4(c)より, i_{dr}, i_{qr} は共に発電システムを並列直後の $t=133s$ において大きく変化するが, 全ての時間において定格の範囲内で変化することを明らかにした.

4. まとめ

今回は, DFIG を用いた潮流発電システムにおいて, 流速の正弦波変化に対して, 電流の peak 値を最小とする電圧の投入位相を用いた場合における速度制御システムの応答についてシミュレーションにより検討を行った.

その結果, すべりは目標値に対して追従することを明らかにした. また, 電流は発電システムを並列, 解列直後において大きく変化するが, 全ての時間において定格の範囲内で変化することを明らかにした.

5. 参考文献

[1] 辻 他:「系統連系時の潮流発電システムの電流応答—二次側から系統連系した場合の検討—」, 平成 29 年電気学会全国大会, vol.6, No.316, pp.550-551 (2017)
 [2] 辻 他:「系統連系時における潮流発電システムの電流応答—一次側から系統連系した場合の検討—」, 平成 29 年電気学会電力・エネルギー部門大会, pp.6-1-3-6-1-4 (2017)
 [3] 辻 他:「系統連系時の潮流発電システムの電流応答—流速変化に対する二次側開閉器の投入時刻—」, 平成 30 年電気学会全国大会, p.82 (2018)

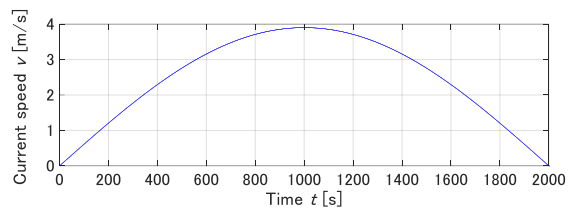
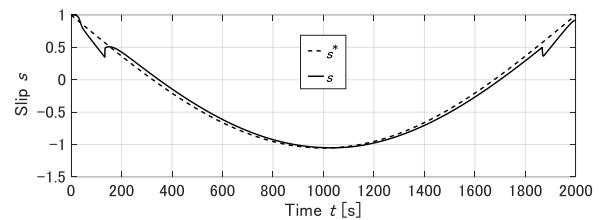
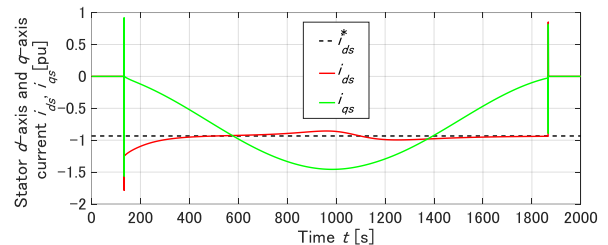


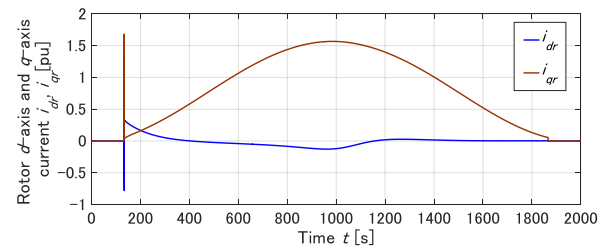
Fig. 3. Change of current speed



(a) Slip s



(b) Stator d -axis and q -axis current i_{ds}, i_{qs}



(c) Rotor d -axis and q -axis current i_{dr}, i_{qr}

Fig. 4 Simulation results

[4] 辻 他:「系統連系時の潮流発電システムの電流応答—二次側開閉器投入時における一次電圧位相の検討—」, 平成 30 年電気学会電力・エネルギー部門大会, pp.4-6-21-4-6-22 (2018)