L-55

潮流発電システムにおける水車出力一定制御方式
-明石海峡の流速変化に対する応答-
Constant Turbine Output Control Method for the Tidal Current Power Generation System
-Response to the Current Speed Variation at the Akashi Strait-

○佐藤美波[1]，　辻健太郎[2]，　直井和久[2]，　塩野光弘[2]
*Minami Sato[1], Kentaro Tsuji[2], Kazuhisa Naoi[2], Mitsuhiro Shiono[2]

Abstract: We proposed the tidal current power generation system which can be controlled to variable speeds. This paper examines the response to the speed control model for the variation of the current speed at Akashi Strait, when the system is operated on constant turbine output control method. This paper shows that the tidal current power generation active power is constant when the system is operated on constant turbine output control.

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の予測可能な点が風力発電や太陽光発電に比べて有利である．これまでに我々は，ダリウス形水車とかご形誘導発電機を接続した定速運転方式の潮流発電システムにおいて，発電機が過負荷とならず発電電力量を最大とする増速比と発電機の定格容量について検討した[1]．その結果，潮流発電システムの年間設備利用率は約 10%となり，太陽光発電の 12%，風力発電の 20%[2]と比較し，太陽光発電よりわずかに低いが同程度となることを明らかにした．そこで，年間設備利用率を高めることを目的として，我々はダリウス形水車と巻線形誘導発電機（DFIG）を増速機を介して接続した水車出力一定制御方式の潮流発電システムを提案した．この潮流発電システムの発電電力量が最大となる増速比と発電機容量について検討した[3]．

本稿では，潮流発電システムが水車出力一定制御方式で運転した場合，明石海峡中央付近の流速変化に対する速度制御モデル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. 水車出力一定制御方式

DFIG を用いた潮流発電システムの構成を図 1 に示す．ただし，各記号は P_{To}：水車出力，ω_T：水車回転角速度，a：増速比，P_{Gi}：発電機入力，ω_G：発電機回転角速度，P_1：一次有効電力，P_2：二次有効電力，P_3：システムの発電電力である．また，P_1, P_2 は発電機に入力する方向を正とする．

図 2 に水車出力(P_{To})一定制御方式における運転点を示す．P_{To} 一定制御方式は発電機の一次電流 I_s または二次供給電圧 E_r が定格となる流速 v(定格流速 v_n)以下は MPPT 制御で運転を行う．v_n 以上の流速においては，P_{To} 一定となる運転点に制御する方式である．

図 2 のように P_{To} 一定制御方式は，v_n において最大水車出力を示す回転速度に対して低速側または高速側に

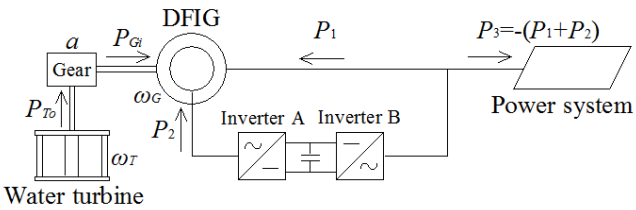


Figure1. Tidal curent power generation system

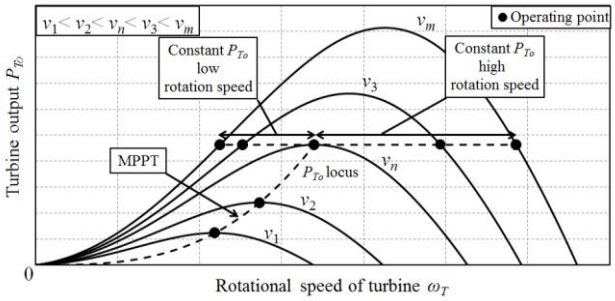


Figure2. Characteristics of turbine output

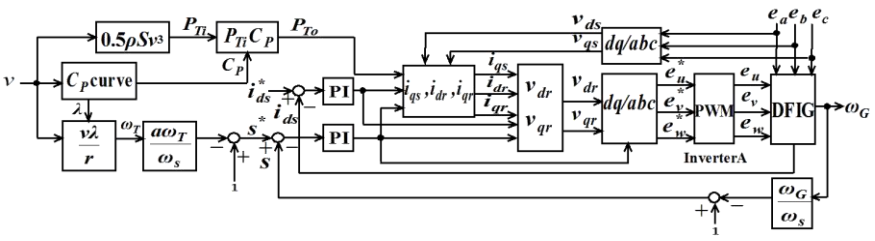
制御する方式が考えられる．しかし，高速側に制御を行うと，発電機二次巻線の誘導起電力が増加するため，二次インバータ容量が大きくなると考えられる．したがって，本検討では低速側 P_{To} 一定制御方式について検討する．

3. シミュレーション結果

今回使用する DFIG を用いた潮流発電システムの速度制御モデルを図 3 に示す．水車，DFIG 及びインバータの諸量を表 1 に示す．流速データは 2003 年 1 月から 12 月までの海上保安庁海洋情報部による明石海峡中央付近の流速の推定値を用いた．その潮流から最大流速 3.9m/s，測定時間 26250s を使用する[4]．これは 1 日のうちに約 4 回おきる転流の間にあたる半周期分の時間を示す．本シミュレーションにおける流速 v は図 4 に示す．また文献 3 より定格流速 v_n は 3.45m/s であり，これ以上の流速において P_{To} 一定制御を行う．

図 4 に対する各諸量のシミュレーション結果を図 5 にそれぞれ示す．図 5(a)にすべり s を示す．制御量 s が目標値 s*に重なっていることから制御量は目標値に対

1：日大理工・学部・電気　2：日大理工・教員・電気



ρ:Fluid density, S:Swept area of the turbine
P_{Ti}:Turbine input, r:Turbine radius
C_P:Power coefficient
ω_s:Synchronous angular speed
λ:Tip speed ratio
v_{ds},v_{qs}:Stator d,q-axis voltage
i_{ds},i_{qs},i_{dr},i_{qr}:Stator, rotor d,q-axis current
e_a,e_b,e_c:Stator a,b,c-phase voltage
e_u,e_v,e_w:Rotor u,v,w-phase voltage

Figure3. Speed control model

Table1. Specifications of DFIG・inverter and water turbine

DFIG・Inverter		Water turbine	
Rated capacity of generator S_B[kVA]	10	Number of blades n	3
Rated capacity of inverter S_{BI}[kVA]	7	Height h[m]	1.6
Rated voltage V_B[V]	200	Diameter d[m]	1.6
Number of poles	6	Chord length c[m]	0.3
Frequency f[Hz]	50	Solidity	0.179
Stator resistance r_1[Ω]	0.233		
Rotor resistance r_2[Ω]	0.336		
Stator leakage inductance L_{l1}[mH]	1.366		
Rotor leakage inductance L_{l2}[mH]	1.366		
Exciting inductance M[H]	0.024		
Gear ratio a	29		

して良好に追従した. 図 5(b)に一次 d 軸電流 i_{ds} を示す. i_{ds} は二次側インバータ容量を低減するため, 励磁電流の値一定となるよう制御する. 制御量 i_{ds} が目標値 i_{ds}^*に重なっているため良好に追従し, 一定に制御されている. 図 5(c)に水車出力 P_{To} を示す. 時間 t が約 9800～16100s の定格流速 v_n 以上となる範囲では P_{To} 一定制御になるため P_{To} は約 12.6kW 一定となっている. 図 5(d)に二次 d 軸電圧 v_{dr}, 二次 q 軸電圧 v_{qr} を示す. v_{dr} は流速変化に対して約5～－30V, v_{qr} は約190～－195V の範囲で変化している. 図 5(e)にシステムの発電電力 P_3 を示す. t が約 9800～16100s の定格流速 v_n 以上となる範囲では P_{To} 一定制御となるため, P_3 も約 11.8kW となりほぼ一定となることが明らかとなった. また P_3 が発電機の定格値(10kVA)を超えたのは, 本稿の潮流発電システムは一次側からだけではなく, 二次側インバータからも出力可能なためである.

4. まとめ

本稿では DFIG を用いた潮流発電システムが水車出力一定制御方式で運転した場合, 明石海峡の流速変化に対する速度制御モデルの応答についてシミュレーションにより検討を行った. その結果すべり及び一次 d 軸電流の制御量は目標値に対して良好に追従した. また, システムの発電電力は定格流速 v_n 以上の水車出力一定制御を行う範囲ではほぼ一定となることを明らかにした.

参考文献

[1]K.Naoi et al.:"Study of Gear Ratio in Tidal Power Generation System",Proceedings of the Twenty-first International Offshore and Polar Engineering Conf.,pp.735-742(2011)
[2]経済産業省,資源エネルギー庁:「日本のエネルギー2010」 http://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2010html/
[3]辻　他:「潮流発電システムにおける水車出力一定制御方式-発電電力量を最大とする増速比および発電機容量の検討-」,平成 26 年度電気学会電力・エネルギー部門大会,pp,39-40(2014)
[4]大阪湾海上交通センター, http://www6.kaiho.mlit.go.jp/osakawan/

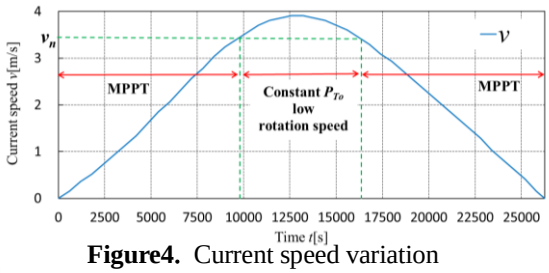
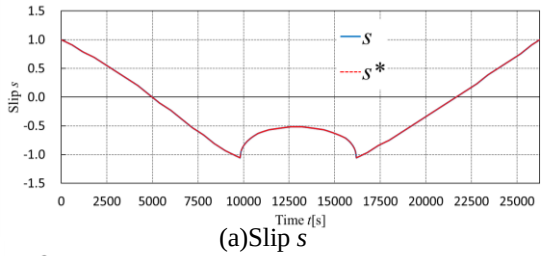
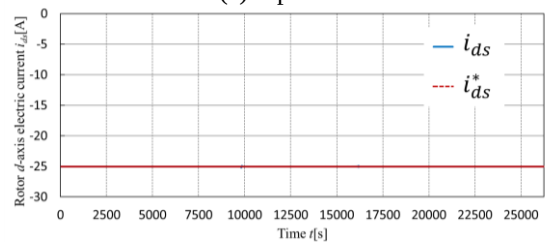


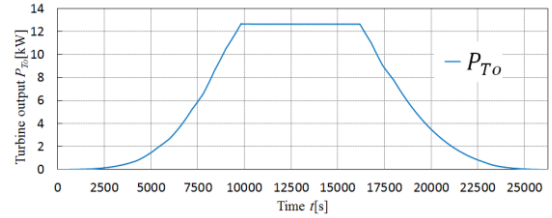
Figure4. Current speed variation



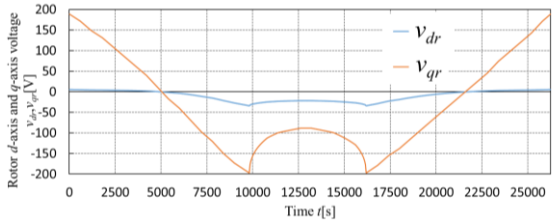
(a)Slip s



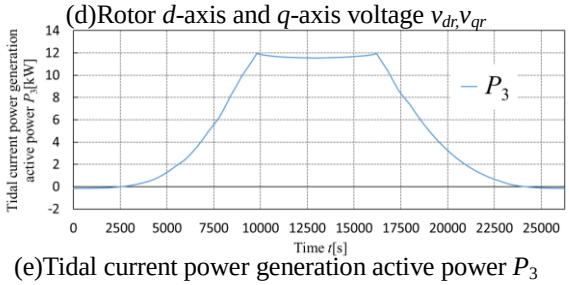
(b) Stator d-axis current i_{ds}



(c)Turbine output P_{To}



(d)Rotor d-axis and q-axis voltage v_{dr},v_{qr}



(e)Tidal current power generation active power P_3

Figure5. Simulation results