# 潮流発電システムにおける最大出力点追従制御 —発電開始時の突入電流抑制に関する基礎検討—

MPPT Control Method for the Tidal Current Power Generation System

- Basic Study about the Inrush Current Suppression at the Start of Power Generation -

○生澤裕行<sup>1</sup>, 辻健太郎<sup>2</sup>, 直井和久<sup>2</sup>, 塩野光弘<sup>2</sup>

\*Hiroyuki Ikusawa<sup>1</sup>, Kentao Tsuji<sup>2</sup>, Kazuhisa Naoi<sup>2</sup>, Mitsuhiro Shiono<sup>2</sup>

Abstract: We examine the control of maximum power point tracking (MPPT) for tidal current power generation system. We suggest the tidal current power generation system which added the switch for the purpose of eliminating the period of non-power generation. This paper shows examination result about the inrush current suppression at the time of the start of power generation.

#### 1. はじめに

現在主流である発電方式の代替エネルギーとして, 再生可能エネルギーが注目されている.潮流は再生可 能エネルギーの一種であり,その流れは周期的で,時 間に対してほぼ正弦波状に変化する.そのため潮流発 電は,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 形水車と巻線形誘導発電機(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<sup>[1]</sup>.最大出力点 追従(MPPT)制御方式で運転する潮流発電システムに おいて流速の正弦波変化に対する速度制御システムの 応答について検討を行ってきた<sup>[2]</sup>.しかし,従来の MPPT 制御方式で運転する潮流発電システムでは,低 流速の場合,システムの発電電力が負となった.つま り系統から電力供給を受けている期間が存在し,発電 しない時間が存在した.

本稿では系統から電力供給を受ける期間をなくすた め、従来の潮流発電システムに開閉器を設けることを 提案し、発電開始時に開閉器を投入した際の突入電流 抑制手法について検討する.

2. 開閉器を備えた DFIG による潮流発電システム 図 1 に開閉器を備えた DFIG による潮流発電システ ム,表1に DFIG,インバータのパラメータを示す.



Figure 1. Tidal current power generation system

ただし、図1のvは流速、 $P_{To}$ は水車出力、 $\omega_T$ は水車回 転角速度、aは増速比、 $P_{Gi}$ は発電機入力、 $\omega_G$ 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。 $P_1$ 、 $P_2$ は発電機に入力 する方向を正とし、発電機の電気的諸量は発電機の定

1:日大理工・院(前)・電気 2:日大理工・教員・電気

<b>Table1.</b> Specifications of DFIG, inverte	Table1.	Specifications	of DFIG,	Inverter
--	---------	----------------	----------	----------

DFIG, Inverter	
Rated capacity $S_B[kVA]$	10
Rated voltage $V_B[V]$	200
Number of poles	6
Frequency f [Hz]	50
Stator resistance $r_1$ [pu]	0.054
Rotor resistance r <sub>2</sub> [pu]	0.078
Stator leakage inductance $L_{l1}$ [pu]	$0.32 \times 10^{-3}$
Rotor leakage inductance $L_{l2}$ [pu]	$0.32 \times 10^{-3}$
Exciting inductance <i>M</i> [pu]	5.6× 10 <sup>-3</sup>
Gear ratio a	25
Rated capacity of inverter[kVA]	9

格容量を基準とする単位法表記とする.

#### 3. 発電開始時の制御

## 3.1.方法

水車出力が最大となる回転速度で運転する MPPT 制 御方式を用いた潮流発電システムにおいて流速の変化 に対する水車出力特性を図2に示す.流速がvoからvm へ増加する場合,本方式では,水車出力Proの最大値を 追従するように制御する.そのシミュレーションによ る流速変化に対するシステムの発電電力P3の応答を図 3に示す<sup>[2]</sup>.



図3に示すように、流速が低流速の期間(約0~1400s) では、 $P_3$ が負となり、系統から電力供給を受けている. そこで、発電開始時の制御方法として、この期間(約0~ 1400s)では、系統から電力供給を受けないようにDFIG の開閉器SW<sub>1</sub>、SW<sub>2</sub>を開き、無負荷運転する.発電開始 流速に至る $P_3 = 0$ (約 1400s)の発電開始時に開閉器SW<sub>1</sub>、 SW<sub>2</sub>を同時に投入し、DFIG に電圧を加える.



Figure 3. Tidal current power generation active power and Current speed

### 3.2.結果

DFIG を無負荷運転し,発電開始流速になった時 (t = 0),潮流発電システムの開閉器SW<sub>1</sub>,SW<sub>2</sub>を同時投 入する場合(casel)の二次電流 $i_r$ のシミュレーション結 果を図 4 に示す.開閉器を投入した際に, $i_r$ の定格値 を大きく超える最大約 4.5pu の突入電流が発生するこ とが分かった.



4. 突入電流の抑制

### 4.1.方法

本章では,前述した*i*<sub>r</sub>の突入電流の抑制法について 述べる.図1に示す DFIG の二次側にはインバータが 接続されており,可変電圧可変周波数の二次供給電圧 を出力可能である.突入電流抑制の方法として,無負 荷状態から発電開始流速になった時,潮流発電システ ムの開閉器SW2のみを投入した場合(case2)を考える.

図 5 に DFIG の一次側からみた等価回路を示す.た だし,  $E_1$ は一次電圧,  $E_2$ は二次電圧,  $r_1$ は一次抵抗,  $r_2$ は 二次抵抗,  $L_{l1}$ は一次漏れインダクタンス,  $L_{l2}$ は二次漏 れインダクタンス, Mは励磁インダクタンス,  $I_s$ は一次 電流の実効値,  $l_r$ は二次電流の実効値である.また, 二次側諸量は,すべて一次換算値とする.

二次側開閉器SW2を先に投入する場合,一次側は解放されているので,回路方程式は(1)式となる.

$$e(t) = \frac{r_2}{s}i(t) + L\frac{di_r(t)}{dt}$$
(1)

ただし、二次電圧は $e(t) = (\sqrt{2}E_2/s)\sin(s\omega t + \theta), i_r(t)$ は二次電流、 $\theta$ はt = 0でSW<sub>2</sub>投入時の位相,  $L = L_{l2} + M$ とする.

(1)式を電流i<sub>r</sub>(t)について解くと,

$$i_r(t) = C e^{\frac{-i\omega}{sL}t} + K \sin(s\omega t + \varphi + \theta)$$
(2)

ただし,  $K = E_2/\sqrt{r_2^2 + (s\omega L)^2}$ ,  $\varphi = \tan^{-1}(-s\omega L/R)$ . 初 期条件として, t = 0の時, i = 0となるので,

$$C = -K\sin(\varphi + \theta) \tag{3}$$

(2)式における過渡項と定常項のうち,過渡項を0に することにより,突入電流が抑えられる.したがって (2)式,(3)式及び表1の諸量から,過渡項が0となる条 件で二次電圧の投入位相を求めると*θ* = 83°となる.



Figure 5. Equivalent circuit of DFIG

## 4.2.結果

図 6 に投入位相 $\theta$  = 83°として, case2 の二次電流 $i_r$ の シミュレーション結果を示す.図 6 より二次側の開閉 器SW<sub>2</sub>を先に投入した場合,二次電流は定格値より小 さい 0.76pu となり, 突入電流を抑制することができた. また, case2 では, DFIG の一次側を開放しているため, 励磁電流は二次側から供給されるため, $i_r$ の波形は正 弦波となる.



### 5. まとめ

本稿ではDFIGを用いた潮流発電システムにおいて, 系統から電力供給を受ける期間をなくすため,発電シ ステムに開閉器を設けることを提案した.また,開閉 器を投入した際の突入電流抑制手法について検討を行 った.その結果,二次電圧の投入位相を考慮し,二次 側の突入電流を抑制することができた.今後は,一次 電圧の投入位相も考慮し,その後 MPPT 制御で運転で きるかについての検討を行う.

#### 参考文献

[1]辻ほか:「潮流発電装置における最大出力点追従制御方式-発電電力量を最大とする増速比の検討-」,2013年電気設備学 会全国大会講演論文集,pp.81-82,2013 [2]勝亦ほか:「潮流発電装置における最大出力点追従制御方 式-流速の正弦波変化に対する応答-」,平成25年電気学会電 力・エネルギー部門大会論文集,pp.12-5-12-6,2013