

EV に導入した風力発電システムの突入電流抑制手法の一検討 A Study of inrush current control method of wind power system introduced in EV

中島幸一[†], 荒川貴政[†], 雪田和人^{††}, 後藤泰之^{†††},
一柳勝宏^{††}, 法月邦安^{††††}, 日下部哲朗^{†††††}

Kouichi Nakajima[†], Takamasa Arakawa[†], Kazuto Yukita^{††}, Yasuyuki Goto^{†††},
Katsuhiro Ichiyanagi^{††}, Kuniyasu Norizuki^{††††}, Tetsuro Kusakabe^{†††††}

Abstract: This paper examines the introduction of wind generator system in the electric vehicle (EV). In this system, the wind power system is made to operate in regenerative brake in EV. In this regeneration, large inrush current generates in the control circuit, when wind power generation is operated. Therefore, the equipment for preventing large inrush current is required in the control circuit of EV. In this paper, the method proposes that current limiter is introduced in order to suppress inrush current. The current-limiting element used resistance and reactance. Then, the depression effect of inrush current was compared and was examined.

1. はじめに

近年、地球環境を保全するために様々な社会的活動が行われつつある。例えば、ライフラインの一つである電気エネルギーの供給については、太陽光発電システムや風力発電システムなどが系統内に導入されはじめている。また小規模の燃料電池発電システムあるいはレドックスフロー電池、NAS 電池などが開発されつつある⁽¹⁾。また、われわれの社会生活においても家電リサイクル法などが施行されている。

現代生活面を支えている自動車産業においても例外ではない。特に現行のガソリンエンジンを用いた自動車においては、二酸化炭素の排出を抑えた電気自動車やガソリンエンジンと電気エネルギーとのハイブリット化、燃料電池あるいは太陽電池を用いた駆動方式の開発が盛んに行われつつある。しかし、これらのシステムについては、提案や試作などは行われているものの実用化に至っているものは少ない⁽²⁾。

本プロジェクト研究においては、近年注目されている新エネルギーを電気自動車(EV)に導入したシステムの構築を目指している。本報告においては、新エネルギーのひとつとして、風力発電システムとEVとのハイブリット化を検討した。このとき、風力発電システムとEVとのハイブリット化に関しては、風が吹く風上に風力発電システムを向け風上に向かって走行するウインドカー方式など様々な手法が考えられるが、本研究では

EV がブレーキ動作を実施している回生時に風力発電システムを用いて回生ブレーキの効果向上と、このとき発生するエネルギーを有効に用いることについて注目した。このとき、風力発電システムを EV がブレーキを動作させたときに始動させると、電気的な結合状態にもよるが、EV の制御回路に大きな突入電流が発生し、他の制御回路や機器などを破損する恐れがある。

そこで本研究では、これまで電力系統の送電線故障時に発生する故障電流を抑制する限流器⁽³⁾を、風力発電システムが導入された EV への適用について検討したので報告をする。

2. 電気自動車および風力発電システム

2.1 電気自動車

図1は、本研究で用いた電気自動車の電気回路概念図である⁽⁴⁾。構成としては、駆動モータ、モータ制御回路、蓄電池、車両制御回路、インバータなどから構成されている。

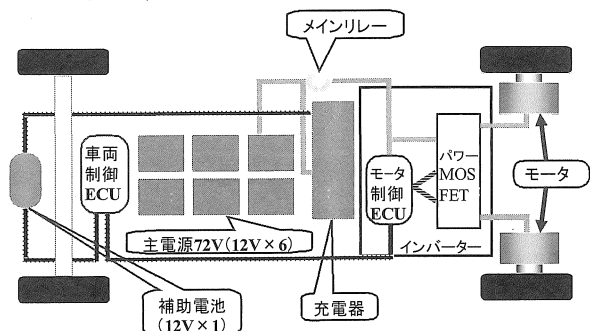


図1. 電気自動車の回路概念図

Fig.1 Electrical diagram of electricvehicle.

[†]愛知工業大学大学院電気電子工学専攻 (豊田市)

^{††}愛知工業大学工学部電気学科 (豊田市)

^{†††} アラコ株式会社 (豊田市)

^{††††} 株式会社ノースパワー (札幌市)

同図に示すように駆動モータにはインバータおよび制御回路が付加されており, この回路にて回生制御も行っている。

2.2 風力発電システム

図2に一般的な独立系の風力発電システムを示す⁽⁵⁾。このシステムにおいては, 系統連系はしていないため風力発電は蓄電池を介して負荷あるいはインバータを伴った負荷が接続されている。

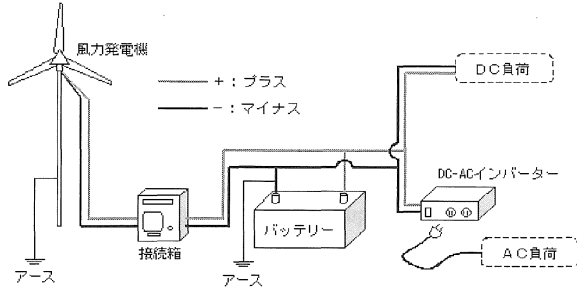


図2. 風力発電システムの概念図

Fig.2 Conceptual scheme of wind generator system.

2.3 電気自動車と風力発電システムとのハイブリット化

図3は電気自動車と風力発電システムとのハイブリット化の接続概念図である。このシステムにおいては, 風力発電システムは電気自動車の回生動作時における効果を期待するために図中に示す部分に接続をした。また, 実際に接続した電気自動車と風力発電システムの実験装置を図4に示す。

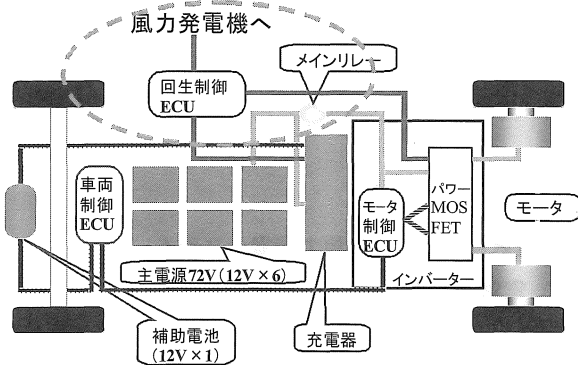


図3. 電気自動車と風力発電システムとのハイブリット化概念図

Fig.3 Characteristics of the wind velocity.

さらに, 実験装置に用いた風力発電システムには回生効果をより引き出すために集風装置が付加している。集風装置により得られる風速は約1.3~1.7倍であり, 発電量は約2倍得られることが期待される。

ここで実験装置にて実際に走行して計測した風速を表1に示す。同表に示すように時速30kmにて風力発電システムを

集風装置

電気自動車 (COMS)

エアロゼン2 (プロペラ型)



図4. 風力発電システムを導入したEV

Fig.4 EV which introduced the wind generator system.

表1. 各時速における風速

Table.1 The wind velocity at each speed per hour.

時速	1回目		2回目		3回目		4回目		5回目		総合平均
	最大値	平均	最大値	平均	最大値	平均	最大値	平均	最大値	平均	
20	4.7	4	6.4	6.3	6.7	5.6	8	7.6	4.5	4	5.78
30	8	7.6	9.6	8.6	8.1	7.9	12.3	11.7	8.4	7.9	9.01
40	12.6	11.8	11.2	10.4	11.4	10.9	10.1	9.1	12.4	10.6	11.05
50	13.3	12	13.7	12.6	18.4	17.2	11.8	10.9	13	12.5	13.54

動作させると風速約9mの状況と同様となることが予測される。また時速約50kmにおいては, 今回用いた風力発電システムのカットアウト風速に近い約14mが得られることがわかる。

したがって, 風力発電システム用の回生制御装置には, 風力発電システムが回生のために動作した場合に大きな突入電流が生じるものと予測される。

3. 突入電流抑制のための限流器の検討

図5は, 文献(6)の太陽光発電システムを導入したEVの回路図を参考にし, EVと風力発電システムをハイブリットした場合の本報告で用いたシミュレーション回路である。ここで図中のMはモータ, Bは蓄電池, RbとRcは装置内の抵抗, Cは

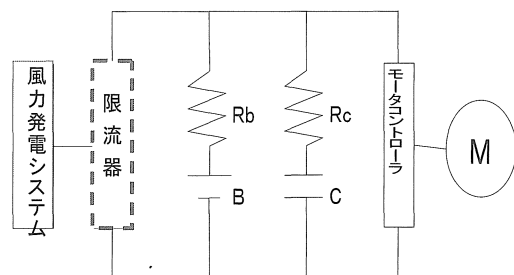


図5. シミュレーション回路図

Fig.5 The simulation circuit diagram.

コンデンサなどである。この回路を用いて、風速10mのときに回路に流れる突入電流を PSCAD/EMTDC を用いてシミュレーションをした。ここで本報告においては風力発電機の出力は整流される前の三相の値を用いて検討をした。また風力発電システムは通常走行にて運用をすると電力消費が大きいいためブレーキをする場合のみの回生時と想定した。

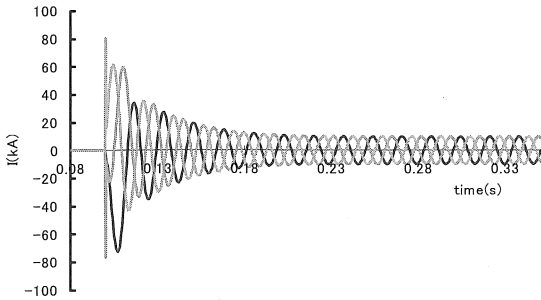


図 6. 限流器が導入されていない場合の突入電流

Fig.6 Rush current in not introducing current limiter.

図6に示すように風力発電システムを回生時に連系をすと接続した瞬時に大きな突入電流が生じていることがわかる。この突入電流を改善するために、本報告では限流器を導入する⁽⁷⁾。この限流器は限流素子に用いる種類から抵抗型(R型)あるいはリアクタンス型(L型)と大別されさらに電流の検出部分の構成から、半導体型、超電導型など様々なものが開発されている。本報告では半導体型限流器を用いて瞬時に動作させる場合を想定した。このとき限流素子の増加特性を図7に示す。ここで限流器は突入電流を検知してから約2msで動作するものとした。そして、限流器が動作開始後約0.1sに限流器は復帰するものと仮定をしている。これは図6の動作特性からもわかるが突入電流は風力発電動作開始時のみに発生しているのと、定常状態で限流素子を導入していると損失が大きくなるからである。

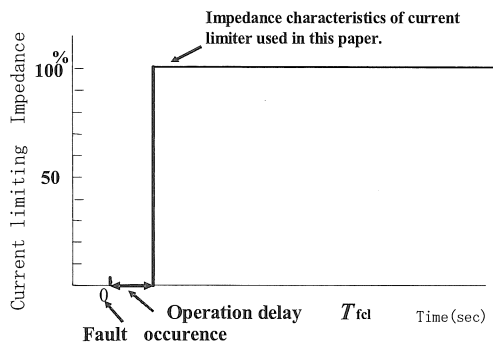


図 7. 限流器の動作

Fig.7 Action of the current limiter.

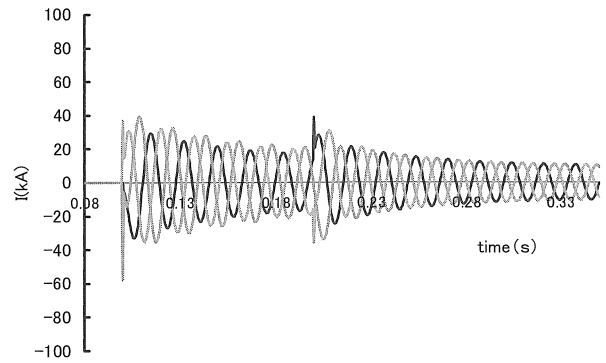


図 8. R型限流器が導入された場合

Fig.8 Characteristic of R-type current limiter.

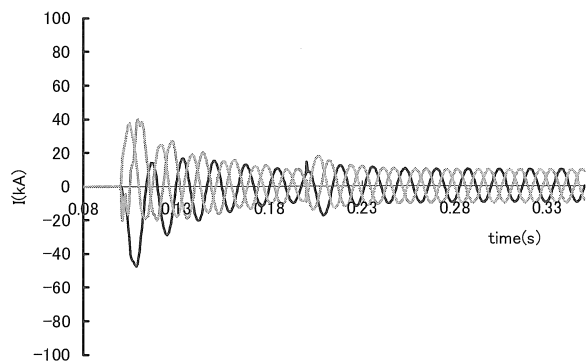


図 9. L型限流器が導入された場合

Fig.9 Characteristic of L-type current limiter.

図8は限流素子に抵抗を用いた場合であり図9はリアクタンスを用いた場合である。図6の限流器が導入されていない場合と比較すると図8および図9においては突入電流を抑制していることがわかる。またR型を用いた場合にはL型よりも突入電流を抑制できていることがわかる。

4. まとめ

本プロジェクト研究においては、近年注目されている新エネルギーを電気自動車(EV)に導入したシステムの構築を目指した。特に本報告においては、新エネルギーのひとつとして風力発電システムを用い、EVとのハイブリット化したときにおける突入電流の抑制に限流器を用いることについて検討をした。具体的には、種々の種類がある限流器の中で、高速に動作が期待できる半導体型限流器を想定し、さらに限流素子として抵抗型であるR型ならびにリアクタンス型であるL型を用いて計算機シミュレーションで比較および検討をした。その結果、R型限流器を用いることにより突入電流を抑制できることを確認できた。

今後は、風力発電システムの回生時における動作手法ならびに電気二重層コンデンサなどの蓄電装置との協調問題などについて検討をしていく予定である。

文 献

- (1) 秩父悟, 西川尚男:「エネルギー変換工学」, 東京電機大学出版(2003)
- (2) 42V電源化調査専門委員会:「自動車電源の42V化技術」, 電気学会(2003)
- (3) 故障電流抑制用限流技術調査専門委員会:「故障電流抑制用限流技術の現状と展望」, 電気学会技術報告, No.709
- (4) 例えば <http://www.araco.co.jp/>
- (5) <http://www.northpower.co.jp/>
- (6) 山本恭平, 高本慶二, 星野博司:「ソーラー自動車模擬回路におけるリアクトル搭載時の自動車特性解析」, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2003, p477-478

(受理 平成16年4月30日)