The Basic Study of Influence of Energy Storage Systems on Wind Power Generation Systems

Makoto Goto Student Member (Tohokugakuin University, makoto_1981@msn.com)
Guohong Wu Member (Tohokugakuin University, wugh@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp)
Yasuyuki Tada Senior Member (Tokyo Electric Power Company)
Tamotsu Minakawa Member (Tohokugakuin University, minakawa@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp)

Keywords: wind power generation, EDLC, power leveling, voltage fluctuation control, transient stability

Wind power, a renewable and environmentally friendly energy source, is becoming increasingly important and is now considered to be a viable source of alternative energy. In recent years, many large-scale wind farms have been incorporated into power grids. However, one of the biggest problems of wind power is that output cannot be fully controlled due to the output fluctuations of the wind caused by wind gusts. With large-scale integration of wind power into a power grid, the variation of wind power may cause some problems, e.g., voltage instability and frequency control problems, which should be resolved adequately to avoid negative effects on the existing power grid. In this work, the improving effects of power storage system such as EDLC (Electric Double Layer Capacitor) on the properties of wind power generation systems is investigated, and frequency characteristics and transient stability in these cases are verified.

Digital simulation study is conducted in this work and wind power generation system model given in Fig. 1 are used. Block diagram of control system of EDLC is shown in Fig. 2.

The following cases of wind power generation system with EDLC are studied in this work.

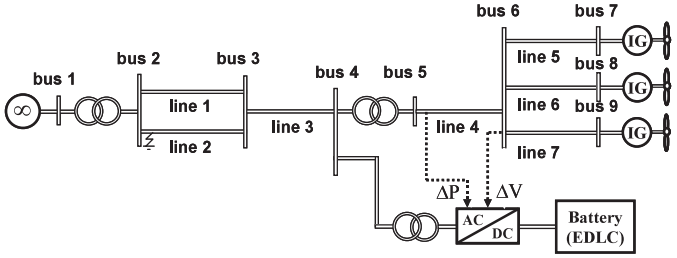
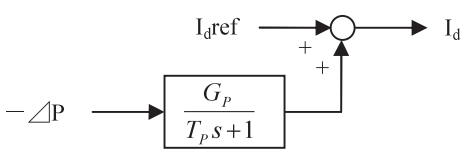
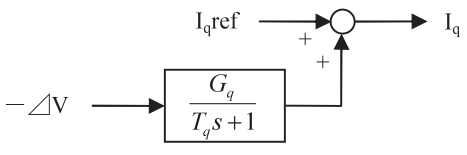


Fig. 1. Wind power generation system model



(a) Control system of d-axis current



(b) Control system of q-axis current

Fig. 2. Block diagram of control systems of EDLC

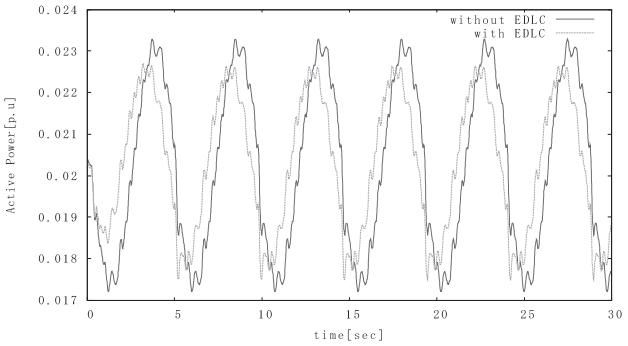


Fig. 3. Active power of transmission line 3

(1) In normal operating condition, while wind power includes sinusoid waves with various frequencies (0.2–0.5 Hz) and vibrates with an amplitude of 0.1 p.u., frequency characteristics of fluctuation of active power through the tie transmission line 3 and voltage deviation of bus 6 are investigated, in case of EDLC with different amounts of capacities and time constants in its control systems. The power flowing through the tie transmission line 3 in cases of power grid with and without EDLC is plotted in Fig. 3

(2) In order to confirm the transient stability of wind power generator, CCTs (Critical Clear Time) are checked, with a 3LG-O occuring in transmission line 2. And, CCTs are compared among cases with different EDLC capacities and time constants of EDLC control systems as well.

The results in this work reveal the following effects:

(1) EDLC controlled by d-aix and q-axis current regulating system can lead to not only power leveling effect but also voltage fluctuation supppressing effect.

(2) EDLC with large amount of capacity may have better effects, however, there exists an optimal value. Furthermore, while EDLC have enough capacity, a smaller time constant of EDLC control system will bring about better effects.

(3) Transient stability can be improved by introducing EDLC to a suitable location. Under the study conditions in this work, a smaller time constant of EDLC control system is found to lead to better transient stability improving effect, however, no change is observed while EDLC capacity is varied.

(4) In these study conditions, it seems that EDLC may have fewer power leveling effects on the sinusoid waves with wind frequency over 3.0 Hz.

(5) EDLC may possibly leads to a negtive impact on power and voltage waves with some special frequency.

論　文

風力発電と電力貯蔵装置併用時における電力システムへの導入効果に関する基礎検討

学生員　後藤　信*　正員　呉　国紅*
上級会員　多田　泰之**　正員　皆川　保*

The Basic Study of Influence of Energy Storage Systems on Wind Power Generation Systems

Makoto Goto*, Student Member, Guohong Wu*, Member, Yasuyuki Tada**, Senior Member, Tamotsu Minakawa*, Member

Wind power, a renewable and environmentally friendly energy source, is becoming increasingly important and is now considered to be a viable source of alternative energy. In recent years, many large-scale wind farms have been incorporated into power grids. However, one of the biggest problems of wind power is that output cannot be fully controlled due to the output fluctuations of the wind caused by wind gusts. With large-scale integration of wind power into a power grid, the variation of wind power may cause some problems, e.g., voltage instability and frequency control problems, which should be resolved adequately to avoid negative effects on the existing power grid. In this work, the improving-effects such as power leveling and voltage fluctuation control by one of the energy storage systems—EDLC (Electric Double Layer Capacitor) on the properties of wind power generation systems is investigated, and frequency characteristics and transient stability in these cases are verified. The results illustrate the fact that a properly controlled EDLC may bring about good features to wind power generation systems.

キーワード：風力発電，EDLC システム，出力平準化，電圧変動抑制，過渡安定性
Keywords: wind power generation, EDLC, power leveling, voltage fluctuation control, transient stability

1. はじめに

近年，中国，インド，ブラジルや東南アジア諸国の急速な工業化と経済成長は深刻なエネルギーの不足と価格の高騰を引き起こしている。さらにエネルギー需要の一層の増大と CO_2 や公害物質の激増で，人類の生存に深刻な危機をもたらす危険性が大きい。この危険を回避し，エネルギー資源をめぐる国際紛争を回避するための方策を考え出すことが重要である[(1)(2)]。

COP-3 京都議定書の発効および国連による再生可能エネルギー開発実績管理の強化に伴い，自然エネルギー電源として有力な風力発電・太陽光発電等の開発を我国もこれまで以上，真剣に取組まなければならない。

このような問題に対して，電圧変動などに関しては，経済産業省により制定されている系統連系技術要件ガイドラインによって規定されているが，周波数変動に関しては記載されていない。この周波数・出力変動の問題に関しては現在 NEDO プロジェクトの一環として蓄電池による変動抑制効果が検証されている。また，経済産業省・資源エネルギー庁，電力会社，風力発電事業者の 3 者間でも，電力貯蔵や蓄電池の活用という具体的な対策を検討している。

本研究では，電力貯蔵装置を風力発電近傍に導入することによって，定常時または過渡時における電力貯蔵装置の有効性を検討することを目指している。その第一歩として電力貯蔵装置の一つである電気二重層キャパシタ（EDLC：Electric Double Layer Capacitor）を用いてシミュレーション検討を行った。また EDLC システムで有効電力のみ制御した場合と有効電力と無効電力を同時に制御した場合の導入効果を考察した。

2. EDLC モデルの構築

〈2･1〉 EDLC の等価モデル　電力貯蔵装置にはナトリウム–硫黄電池やレドックス電池，電気二重層キャパシタなどが研究されている。この中でもサイクル寿命が長いこと，また応答が非常に速いことなどの特徴を有する EDLC を最初の検討対象として本研究では用いる。

EDLC の等価回路は図 1 に示すように，コンデンサと抵

* 東北学院大学 工学部
〒985-8537　多賀城市中央一丁目 13
Tohoku Gakuin University, Faculty of Engineering
13, Chuo-Ichome, Tagajyo 985-8537
** 東京電力（株）技術開発研究所
〒230-8510　横浜市鶴見区江ヶ崎町 4-1
Tokyo Electric Power Company, R&D
4-1, Egasaki-machi, Tsurumi-ku, Yokohama 280-8510

抗の直列接続で構成される。図 1 の等価回路において，コンデンサからの直流電流 I_{dc}，端子間の直流電圧を V_{dc} とすると，直流電圧と直流電流の関係は次式のように算出される。

$$V_{dc} = \frac{Q_0}{C} - \left(RI_{dc} + \frac{1}{C} \int I_{dc} dt \right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

この各要素は以下のことを示す。

Q_0：初期充電量，C：EDLC 容量，R：内部抵抗

また，本論文で使用した EDLC のパラメータを表 1 に示す。

〈2･2〉 放電深度を考慮したモデル EDLC が通常のバッテリーと異なり，完全に放電しても劣化は発生しないが，放電に伴い端子電圧が低下し，放電を持続するとチョッパやインバータが動作できなくなるため，本研究では，放電深度（DOD：Depth of Discharge）を設定し，EDLC の直流電圧が DOD に達した場合，放電を停止させる。まだ，充電時に関しては直流電圧が 1.0 p.u に達すると満充電になったと考えて，充電を停止させる。このときのフローチャートを図 2 に示す。

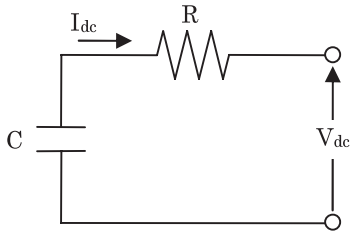


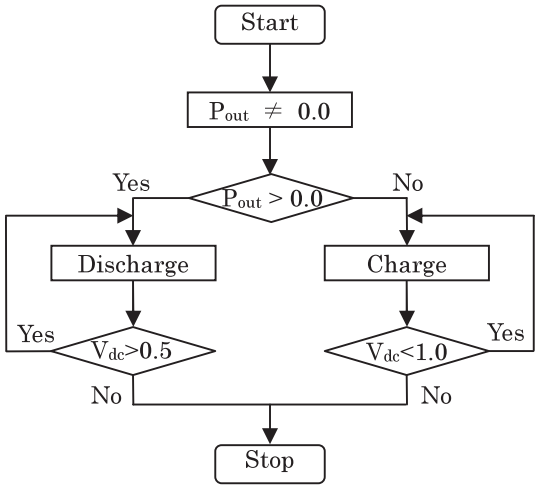
図 1 EDLC の等価回路

Fig. 1. Equivalent circuit of EDLC.

表 1 EDLC のパラメータ

Table 1. Parameter of EDLC.

Capacity [10^3F] (p.u.)	1.0	10	100
Internal Resistance (p.u.)	0.5	0.05	0.005



V_{dc}：直流電圧 ， P_{out}：EDLC 出力

図 2 放電深度を考慮した EDLC 制御

Fig. 2. EDLC control considering depth of discharge.

3. 系統構成とインバータ制御系

〈3･1〉 系統構成 系統構成を図 3 に示す。モデルは 2.5 MW の発電機 4 台をまとめ 1 台の等価な誘導発電機に表現している。それぞれの運用状態は以下の通りである。系統定数を表 2 に示す。

① 風力発電機：容量 10 (MVA) を 3 台，各々 7 (MW) 出力で運転。

② 変圧器：一次系統連系を想定し，154 (kV) に昇圧。

③ 送電線：亘長 100 (km)。線種は ACSR，200 (mm^2)，1 導体で，1 回線当たりの熱的容量限界は 140 (MW)。

本研究では，MidFielder 系統解析総合環境システムを用いてシミュレーションを行なう。EDLC の容量は 1.0 p.u. の場合が 1000 F（蓄電容量 5 MJ）であり，変換器の容量が 5 MVA と設定される。変換器モデルは MidFielder の中に用意されたもの（PLL モデル，ACR モデル，変換器及び変圧器モデルなどを含む）を使用する。

〈3･2〉 インバータ制御系 EDLC システムは風力発電機連系母線（bus 4）に変圧器を介して設置する。このように風力発電所付近に設置することで無効電力補償制御を同時に行い，電圧変動に関しても抑制することも可能であ

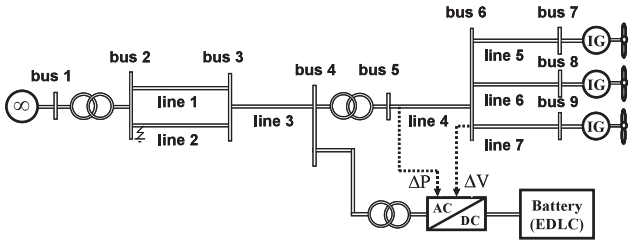


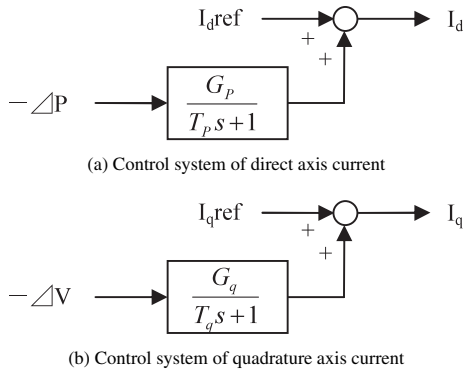
図 3 電力系統モデル

Fig. 3. Power system model.

表 2 系統定数

Table 2. Parameter of power system.

【System Constants】 System Base 1000(MVA)
【Transmission System】 (1000(MVA) Base) Z=0.0073+j0.01875(p.u/km) jY/2=0.000056(p.u/km)
【Transformer】 Rated output=30.0(MVA) X=0.11(p.u)
【Induction Generator Constants】 Pole Number : 4 pole Stator resistance : 0.01(p.u) Stator leakage reactance : 0.15(p.u) Rotor resistance : 0.005(p.u) Rotor leakage reactance : 0.15(p.u) Excitation reactance : 3.0(p.u) Inertia : 2.0(sec)



(a) Control system of direct axis current

(b) Control system of quadrature axis current

図 4　インバータ制御系

Fig. 4.　Block diagram of control systems of EDLC.

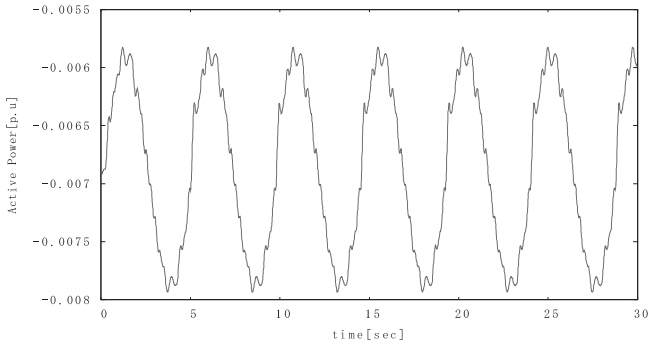


図 5　風力発電機の有効電力出力

Fig. 5.　Active power from wind power generator.

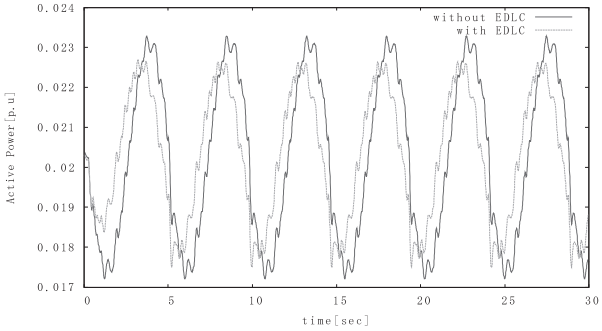


図 6　有効電力のみ制御したときの連系線 line 3 の潮流

Fig. 6.　Power flow of line 3 with P control.

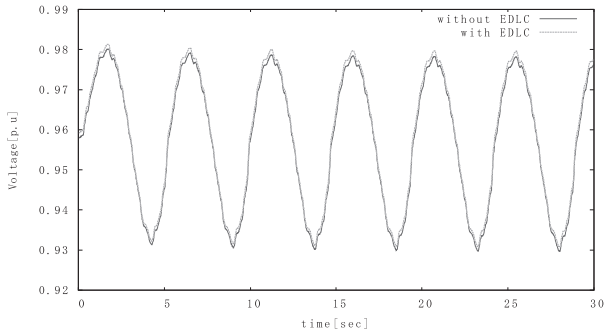


図 7　有効電力のみ制御したときの母線 bus 6 の電圧

Fig. 7.　Voltage of bus 6 with P control.

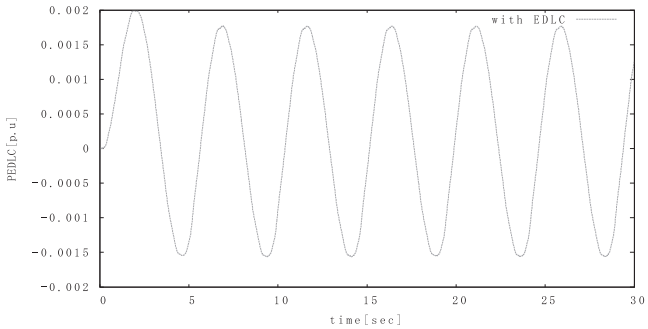


図 8　有効電力のみ制御したときの EDLC の有効電力出力

Fig. 8.　Active power of EDLC with P control.

ると考えられる。インバータの制御系は図 4 に示すような単純な一次遅れ要素とした。

インバータでは d 軸上の電流成分（I_d）と q 軸上の電流成分（I_q）を独立に制御している。電圧が平衡していれば，有効電力は I_d に比例し，無効電力は I_q に比例する。そのため I_d 制御系に line 4 の有効電力偏差の逆位相を入力し，I_q 制御系には bus 6 の電圧偏差の逆位相を入力する。

4.　風況変動時の EDLC システム導入効果

〈4･1〉　EDLC システム導入効果と制御系の影響　風力発電の出力には様ざまな周波数成分が含まれているが，検討のため，まず風況の変動を周波数 0.2 Hz，大きさ 0.1 p.u の正弦波状に変動させる条件として考察した。この場合の風力発電機の有効電力出力（実効値）変動の様子を図 5 に示す（系統から電力を吸収する方向を正とする），図 5 から風力発電機の過渡特性により風力発電機の出力に細かい振動が発生することがわかる。また EDLC では，容量を 10 p.u.（10×10^3 F），インバータの制御時定数を $T_p = T_q = 1.0$ sec と設定した。

（1）　有効電力補償制御　　インバータ制御ゲインを Gp = 95，Gq = 0 と設定したときの連系線 line 3 の潮流を図 6，風力発電機接続母線 bus 6 の電圧を図 7 に示す。そのときの EDLC の有効電力出力，直流電圧と直流電流の波形を図 8〜図 10 に示す。図 6 と図 7 から，EDLC システムを導入することにより出力変動を抑制していることが確認できる。しかしながら，電圧変動に関してはほとんど影響がないことも見られる。また，風力発電機の出力に含まれる細かい振動は EDLC の出力で補償できず連系線 line 3 の潮流にも現れた。これは，今回の検討で用いられる EDLC の制御系また変換器の応答がこれらの速い振動に追従できないからと考えられる。

（2）　有効電力･無効電力補償制御　　ここではインバータ制御ゲインを Gp = 95，Gq = 30 と設定することで，電圧変動抑制効果を検討した。そのとき line 3 における線路潮流と bus 6 の電圧を図 11，図 12 に示す。無効電力を同時に制御した場合，出力に関しては図 6 と大差はないこと

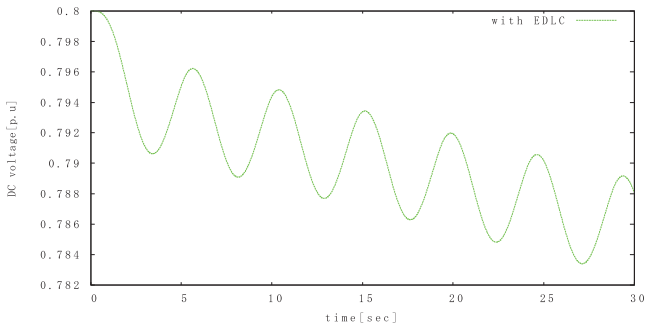


図 9　有効電力のみ制御したときの EDLC の直流電圧

Fig. 9.　DC voltage of EDLC with P control.

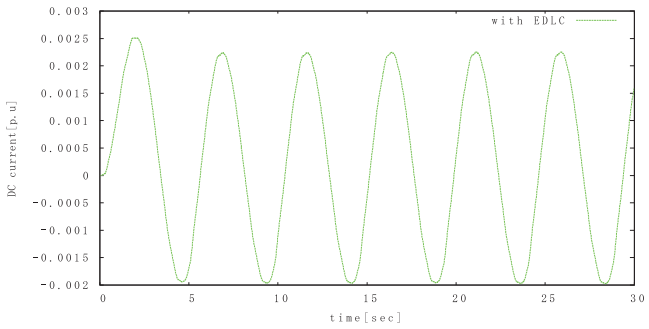


図 10　有効電力のみ制御したときの EDLC の直流電流

Fig. 10.　DC current of EDLC with P control.

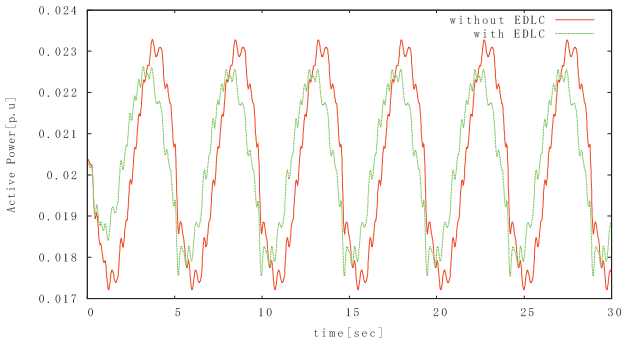


図 11　有効・無効電力同時制御時の連系線 line 3 の潮流

Fig. 11.　Power flow of line 3 with P & Q control.

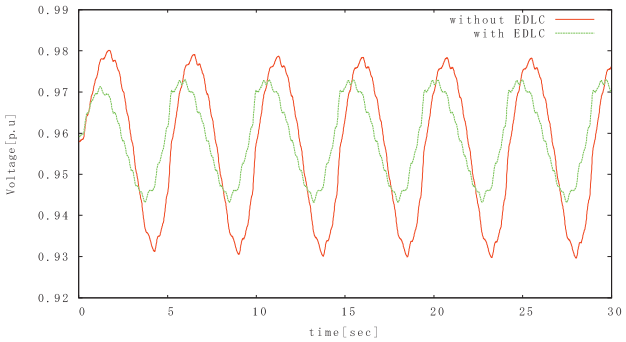


図 12　有効・無効電力同時制御時の母線 bus 6 の電圧

Fig. 12.　Voltage of bus 6 with P & Q control.

が確認できる。しかしながら，図 12 の母線 bus 6 の電圧波形を見ると，図 7 に比べ電圧変動がかなり良く抑制されていることは確認できる。

〈4･2〉 EDLC システムの整定定数に関する一考察

EDLC 導入により出力・電圧変動抑制効果を向上するための EDLC システムの整定定数について概略検討を行う。

（1） EDLC 容量に関する一考察　　インバータの制御時定数を 0.5 sec と設定し，EDLC 容量を 1，10，100 p.u. と変化させた場合の変動抑制効果について検討を行う。また，放電深度を 50%とし，EDLC には予め 80%充電されているものとする。このときの連系線 line 3 の潮流を図 13，

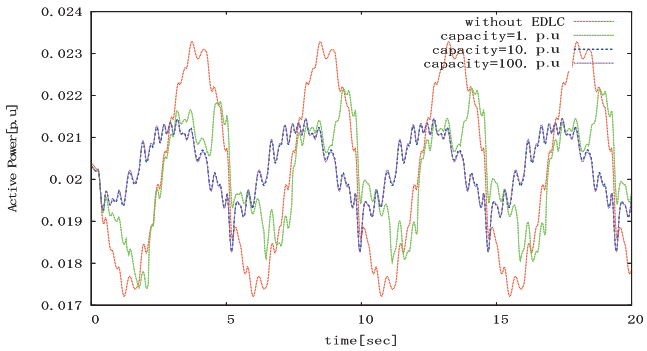


図 13　EDLC 容量と連系線 line 3 の潮流変動抑制効果

Fig. 13.　Power leveling effect on line 3 in cases of different EDLC capacity.

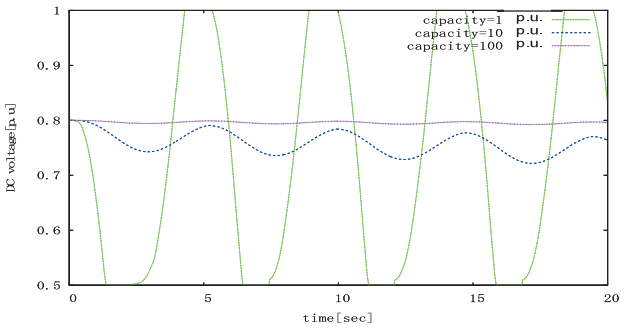


図 14　EDLC 容量と直流電圧

Fig. 14.　DC voltage in cases of different EDLC capacity.

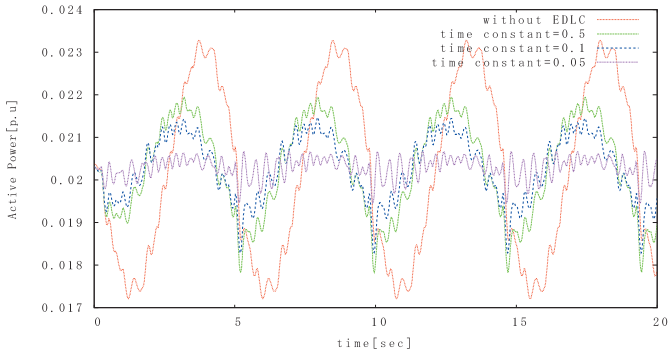


図 15　制御時定数と連系線 line 3 の潮流変動抑制効果

Fig. 15.　Power leveling effect on line 3 in cases of different time constant with EDLC control system.

EDLC の直流電圧を図 14 に示す。図 13，図 14 に示すように，EDLC の容量が小さい場合，直流電圧が放電深度や満充電に達するため繰り返し動作し，出力補償効果が良くないことがわかる。しかしながら，容量の大きな EDLC を設置すればよいというわけではない。図 13 により，容量が 10 と 100 p.u. の場合では出力変動に大差を見出すことができない。これより，EDLC の設置容量には最適値が存在していることがわかる。本研究では，EDLC の妥当な容量は 10 p.u. と考えている。電圧変動に関しても同様な結果は確認できた。

（2） インバータ制御時定数に関する一考察　EDLC の容量を 10 p.u. 一定とし，インバータ制御時定数を 0.5，0.1，0.05 sec と変化させたときの line 3 の線路潮流を図 15 に示す。図 15 により EDLC の制御時定数を小さく設定することで変動抑制効果が非常に高くなることが分かる。このことより変動抑制効果に関しては，EDLC が風力発電機の出力変動を吸収するのに十分な容量である場合には，インバータの動作速度を速めるほうが効果的であることがわかる。電圧変動に関しても同様にインバータの制御時定数が小さいほど変動抑制効果は向上することが確認できた。

〈4･3〉 様ざまな風況周波数に対する EDLC システム導入効果の評価　今までの検討では風況の変動を周波数 0.2 Hz，大きさ 0.1 p.u の正弦波としたが，風力発電の出力変動には様ざまな周波数成分が含まれているため，ここでは風況の変動を大きさ一定（0.1 p.u）の正弦波とし，周波数を 0.2～5.0 Hz に変動させた場合において検討を行い，どのような変動周波数の成分を抑制可能であるかを考察する。また，有効電力のみ制御した場合（Gp = 95, Gq = 0）と，有効電力と無効電力を同時に制御した場合（Gp = 95, Gq = 30）について比較する。

（1） 有効電力制御のみ　EDLC の容量を 10 p.u.，インバータの制御時定数を 0.5 sec と設定したとき，それぞれの変動周波数に対する出力変動補償効果をまとめた結果を図 16 に示す。このように風況の変動周波数に一定の割合で影響を受けるのではないことが確認できる。また，この出力変動のピークは 2.2 Hz 付近である。このときの系統固有値を計算すると，−2.06 + j14.58 の固有値が存在することがわかる。このモードの周波数は約 2.3 Hz であり，図 16 の出力変動のピーク値とほぼ一致した。そこで，この場合の EDLC システムの周波数応答 $\Delta V_4(j\omega)/\Delta P_{EDLC}(j\omega)$ を計算してその結果を図 17 に示す。系統の固有周波数（約 2.3 Hz）において，図 17 に示すように EDLC システムのマグニチュードは −130 から −20 に大きくなっている。これより，今回の検討では，EDLC システムの周波数応答ゲインのピークとモデル系統の固有値モードがほぼ一致する条件であったため，EDLC の応答と電力ネットワークに存在する固有モードと相互作用を引き起こして，EDLC を導入することによりこの周波数付近で変動が大きくなったと考えられる。この結果により，EDLC システムの制御系の設計に当たっては，適用系統の固有周波数を考慮に入れる必要があると思われる。

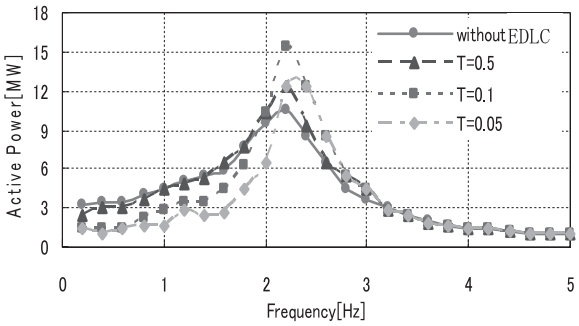


図 16　風況の周波数による連系線 line 3 の潮流変動
Fig. 16.　Response of active power through transmission line 3 to frequency of wind.

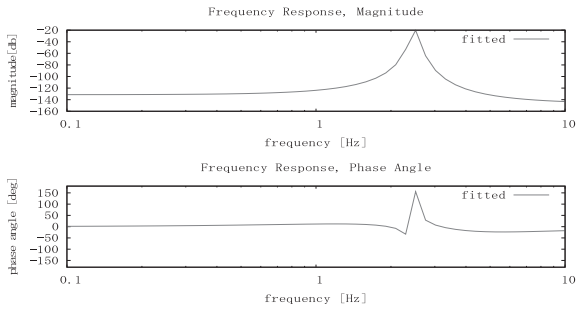


図 17　EDLC システムの周波数応答計算結果
Fig. 17.　Frequency response of EDLC system.

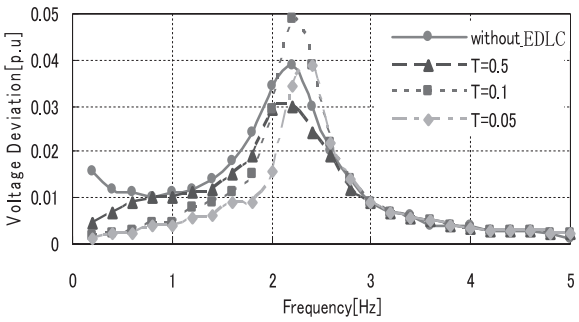


図 18　風況の周波数による母線 bus 6 の電圧変動
Fig. 18.　Voltage response of bus 6 to frequency of wind.

また，図 16 から制御時定数を小さく設定することで出力変動が非常に小さくなっていることが確認できる。しかしながら，変動周波数が 3.0 Hz 以上になると EDLC の制御系やインバータの応答などは風力発電機の出力変動を追従できなくなり，出力変動抑制効果を見出すことができなかった。また，上述と同様な理由で，電力ネットワークとの相互作用を引き起こしている 2.2 Hz 付近で出力変動が大きくなっていることが考察できる。

（2） 有効電力と無効電力制御　EDLC の容量を 10 p.u. 一定とし，有効電力と無効電力を同時に制御した場合のインバータ制御時定数による設置母線電圧の変動抑制効果を図 18 に示す。図 18 のように，2.0 Hz 以下の変動

成分に対して，時定数を小さく設定することで変動抑制効果を向上することが確認できる。ただし，1.0 Hz 以下に関しては時定数 0.1 sec と 0.05 sec の場合では大差を見出すことができない。これより，時定数を小さく設定することでいくらでも変動を抑制できるわけではないことがわかる。また，この場合も 3.0 Hz 以上の変動成分を抑制する効果は見られず，2.2 Hz 付近で変動が大きくなる場合もある。

5. EDLC 導入時の風力発電機の過渡安定性

〈5･1〉 故障条件 故障条件は初期状態として 1 回線の三相地絡事故に対して主保護遮断 5 サイクル（0.1 sec）で故障回線が両端で除去する。また故障点は図 3 に示すように line 2 の無限大母線高圧側出口至近端とした。

ここでは風力発電機の過渡安定性を定量的に検討するため故障臨界故障除去時間（CCT：Critical Clear Time）を使用し，評価を行った。初期状態において CCT は 94 ms となる。

このとき EDLC システムを導入しなければ，地絡故障が発生することにより接続点の電圧が低下し，風力発電機の安定運転が阻害されて，適当な時間で故障が除去されないと風力発電機が停止してしまう。そこで，EDLC システムを導入することにより，接続母線 bus 6 の電圧を維持する検討を行う。

〈5･2〉 EDLC システム導入時の風力発電機の安定性

初期状態において，風力発電機を安定に運転するためには風力発電機接続母線の電圧を維持する必要がある。Id 制御のみ（Gp = 95，Gq = 0）の場合には図 7 に示したように風力発電機接続母線の電圧変動を抑制することができないため，風力発電機の過渡安定性を確保できないと考えられる。そこで，Id，Iq を独立に制御（Gp = 95，Gq = 30）を行い，無効電力を制御することで風力発電機接続母線の電圧を維持することが可能と考えられるため，本項では Id と Iq を同時に制御した場合について検討を行う。

まず，EDLC の容量を 10 p.u. と設定し，インバータ制御時定数を 1.0，0.5，0.2 (sec) と変化させた場合を検討する。このときの連系線 line 3 の潮流と風力発電機接続母線 bus 6 の電圧をそれぞれ図 19 と図 20 に示す。これらの図により，EDLC を導入し無効電力を同時に制御することで，事故後に風力発電機は安定に運転することができ，過渡安定性を向上することがわかる。また，インバータ制御時定数を小さくすることによって，事故回復後の電圧の立ち上がりが非常に速くなり，これにより CCT も向上できたことがわかる。

次に，EDLC の容量の影響について考察する。EDLC のインバータ制御時定数を 0.5 sec に固定し，容量を変化させたときの風力発電機接続母線 bus 6 の電圧を図 21 に示す。図 21 により，小容量（1.0 p.u.）の EDLC を導入しても過渡安定性向上効果が得られることがわかる。また，今回検討した条件では，容量を大きく設定しても母線電圧に変化を見出すことができなかった。これは今回の故障条件においては，用いられた最小容量（1.0 p.u.）でも出力変動を吸収するのは十分な容量であるからと考えられる。

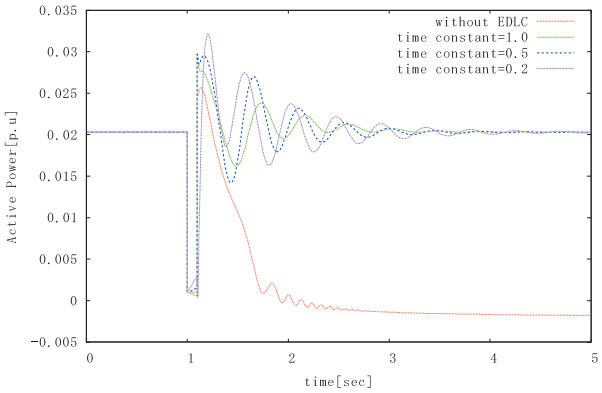


図 19 インバータ制御時定数変化時の連系線 line 3 の潮流

Fig. 19. Active power of line 3 in cases of different time constant with EDLC control system.

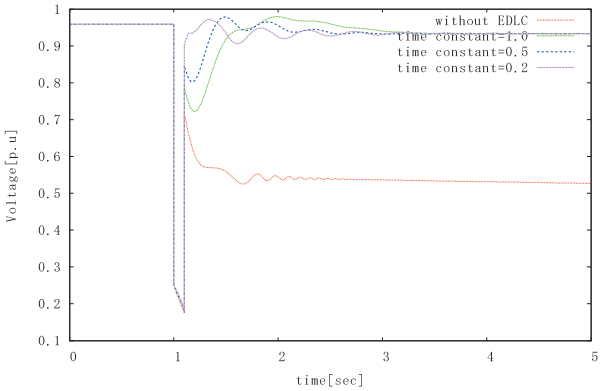


図 20 インバータ制御時定数変化時の母線 bus 6 の電圧

Fig. 20. Voltage of bus 6 in cases of different time constant with EDLC control system.

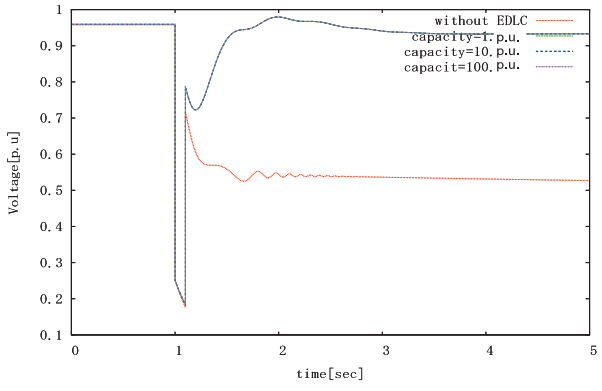


図 21 EDLC 容量変化時の母線 bus 6 の電圧

Fig. 21. Voltage of bus 6 in cases of different EDLC capacity.

EDLC の容量とインバータ制御時定数が変化した場合の CCT の結果を表 3 にまとめる。

表 3 より，今回のシミュレーション検討条件においては，

表3　EDLC システム導入時における CCT の関係
Table 3.　Relationship between CCT and EDLC capacity & time constant of EDLC control system.

Time Const. / Capacity(p.u.)	1.0 (sec)	0.5 (sec)	0.2 (sec)
1	120 (ms)	136 (ms)	148 (ms)
10	120 (ms)	136 (ms)	148 (ms)
100	120 (ms)	136 (ms)	148 (ms)

EDLC のインバータ制御時定数を小さく設定すると過渡安定度を向上できること，また EDLC の容量を変化させても CCT に大きく影響を与えないことがかわる。

6. ま と め

本論文では EDLC システムを導入し，風力発電による連系線潮流・風力発電機の接続母線電圧変動の抑制効果と系統事故時の風力発電機の安定性について検討を行った。その結果を以下にまとめる。

（1） EDLC の電力変動抑制制御によって連系線潮流の平準化効果が得られ，無効電力を同時に制御することにより電圧変動も抑制可能である。

（2） EDLC が風力発電機の出力変動を吸収するのは十分な容量である場合には，制御時定数を小さく設定することが変動抑制効果の向上に効果的である。

（3） EDLC 導入により風力発電機の過渡安定性が向上できる。今回検討した条件では，制御時定数を小さく設定することにより更に過渡安定性を向上できるが，EDLC の容量を変化させた場合は影響が見られなかった。

（4） 今回検討した条件では，風況の変動周波数が 3.0 Hz 以上になると EDLC による変動抑制効果が見られなかった。このことにより，EDLC の制御系や応答特性などの影響で，抑制できる変動周波数には限界があると思われる。

（5） EDLC システムの制御系と系統の固有周波数が一致する場合には出力・電圧変動に悪影響を及ぼす可能性があるため，適用系統の固有周波数を考慮に入れて制御系の設計を行う必要がある。

今後の課題として，様ざまな電力貯蔵装置を用いた検討として，EDLC のほかに NaS 電池やレドックスフロー電池等の導入効果や，風力発電に電力貯蔵装置を導入する際の最適なバッテリー容量の検討などが上げられる。

なお，本研究では，株式会社テプコシステムズが開発した系統解析総合環境システム MidFielder をベースにし，必要なモデルを開発して検討を行った。

（平成 18 年 3 月 27 日受付，平成 18 年 10 月 4 日再受付）

文　献

（1） Japan Society for the Promotion of Science Research for the Future Program: Highly Efficient Use of Energy and Reduction of its Environmental Impact (2002-1)

（2） Japan Society for the Promotion of Science Research for the Future Program: 2nd International Symposium Report of on Synthesis of Ecological High Quality Transportation Fuel (2002-1)

（3） J. Sveca and L. Söder: “Wind Power Integration in Power Systems with Bottleneck Problems”, 2003 IEEE Bologna Power Tech., IEEE Catalog 0-7803-7967-5/03/, Italy (2003-10)

（4） O. Sakamoto and T. Nitta: “Basic Consideration on effects of Superconducting Generator on Mitigation of Voltage fluctuation in power Systems with Wind power generation”, 2005 National Convention Record IEE Japan, No.6-081 (2005-3) (in Japanese)
坂本織江・仁田旦三：「風力発電導入時の超電導発電機の電圧変動抑制効果に関する基礎検討」, 平成 17 年電気学会全国大会, No.6-081 (2005-3)

（5） T. Ishida, A. Nakamaru, Y. Shirai, T. Nitta, and K. Shibata: “Study on Online monitoring of eigen-frequency of Power-system by use of Superconducting Magnetic energy Storage”, 2005 National Convention Record IEE Japan, No.5-026 (2005-3) (in Japanese)
石田智信・白井康之・中丸成人・仁田旦三・柴田勝彦：「SMES を用いた電力系統のオンラインでの固有周波数の追従」, 平成 17 年電気学会全国大会, No.5-026 (2005-3)

（6） H. Chikaraishi, T. Mito, F. Kawagoe, M. Iwakuma, K. Okumura, R. Abe, and K. Hayashi: “Development of SMES designed to protect from momentary voltage drop”, 2005 National Convention Record IEE Japan, No.5-027 (2005-3) (in Japanese)
力石浩孝・三戸利行・住吉文夫・川越明史・岩熊成卓・奥村嘉賀男・阿部　亮・林　一夫：「瞬時電圧低下対策 SMES の開発」, 平成 17 年電気学会全国大会, No.5-027 (2005-3)

（7） http://www.ihi.co.jp/ihi/ihitopics/topics/2005/0414-1.html

（8） H. Sugimoto, Y. Hondou, Y. Akita, T. Nishikawa, T. Tsuda, T. Takeda, T. Okazaki, S. Ohashi, and S. Yoshida: “Manufacture of High Temperature Superconducting motor”, 2005 National Convention Record IEE Japan, No.5-005 (2005-3) (in Japanese)
杉本英彦・本堂義記・秋田義文・西川友啓・津田鉄平・竹田敏雄・岡崎　徹・大橋紳悟・吉田　茂：「高温超電導電動機の試作」, 平成 17 年電気学会全国大会, No.5-005 (2005-3)

（9） G. Wu, M. Goto, T. Minakawa, and Y. Tada: “Technological Assessment for Developing New Wind Power Generation Systems”, 2005 IEEE Power Tech., No.252, St. Petersburg, Russia (2005-6)

（10） M. Goto, T. Minakawa, and Y. Tada: “Assessment on Development of New Wind Power Generation Systems”, 2005 National Convention Record IEE Japan, No.6-082 (2005-3) (in Japanese)
後藤　信・皆川　保・多田泰之：「新型風力発電システムに関する事前評価（No.1）」, 平成 17 年電気学会全国大会, No.6-082 (2005-3)

後　藤　　信

（学生員） 1981 年 12 月 30 日生。2004 年 3 月東北学院大学工学部電気工学科卒業。2004 年 4 月東北学院大学大学院工学研究科博士課程前期に進学，現在に至る。主に電力系統安定度および新型風力発電システムに関する研究に従事。

呉　　国　紅

（正員） 1969 年 9 月 26 日生まれ。1989 年 9 月天津大学電気工学科（中国）卒業（B.S.）。1994 年同大学大学院修士課程修了（M.S.）。1997 年東京大学および天津大学共同連繋協定に基づき大学院博士課程修了（Ph.D.）。1998 年 4 月～2001 年 3 月東京大学大学院で JSPS 助手と協力研究員。2001 年 4 月～2005 年 3 月東北大学工学部寄附講座教員。2005 年 4 月より東北学院大学工学部電気情報工学科講師，2006 年 4 月より同大学助教授。電力系統安定度，FACTS および超電導応用，HVDC，新エネルギーシステム等研究に従事。工学博士。IEEE 会員。

多 田 泰 之（上級会員） 1963 年 3 月 20 日生まれ。1981 年 3 月川越工業高校卒業。同年 4 月東京電力（株）入社。1988 年東電学園大学部卒業後，1989 年 4 月より技術開発研究所系統技術グループ勤務。1989～1990 年東京大学客員研究員。電力系統解析，特に統合解析システムの開発研究に従事。東京大学博士（工学）。1996 年電気学会論文賞，1998 年同優秀論文発表賞受賞。IEEE 会員。

皆 川 保（正員） 1959 年 3 月早稲田大学第一理工学部電気工学科卒業。同年 4 月東北電力（株）入社。発変電，系統計画・運用，研究等の部門に従事。1968～1969 年米国 GE 社の PSEC に派遣され，系統運用自動化・系統計画手法の調査開発研究に従事。1994 年 7 月東北コンピュータサービス（株）出向。1995 年 4 月東北学院大学非常勤講師を兼務，1997 年 4 月東北学院大学教授。京都大学博士（工学）。石川賞，オーム技術賞，電気学会進歩賞等を受賞。IEEE，CIGRE 会員。