

小規模系統における DVR と分散電源の瞬時電圧低下時の 運転継続の検討

Study and Experimental Tests of DVR and Distributed Generator in Voltage Sag in Small-Scaled Power Grid

戸井田 裕俊[†], 三上 陽介[†], 木川 陽太郎[†]
大島 佑紀^{††}, 雪田 和人^{††}, 後藤 泰之^{††}
一柳 勝宏^{††}

Hirotohi Toita[†], Yosuke Mikami[†], Yotarou Kikawa[†]
Yuki Ohshima^{††}, Kazuto Yukita^{††}, Yasuyuki Goto^{††}
Katsuhiro Ichianagi^{††}

Abstract In recent years, the distributed generators have come into wide use in the small-scaled power grid, for example in the semiconductor manufacturing factory. And the customers of the generators request the machine to continue operating, during and after the instantaneous voltage sag. This paper introduces the DVR effect, operating with the distributed generators in voltage sag of the power line. The practical examination and the computer simulation was carried out in the small scaled grid.

1. はじめに

近年、系統のマイクログリッド化により太陽光発電や風力発電、ガスエンジンといった分散型電源 (Distributed Generator: DG) を含む小規模系統内で、電力の需給バランスを高速に制御し、グリッド単位で省エネルギー化を図る動きが各地で進んでいる。一方、グリッド内の需要家側では計算機などの高度情報化機器が普及し、半導体製造ラインをはじめ精密機器メーカーの製品では、高精度加工が要求され、生産ラインは瞬時的な電圧低下にも極めて敏感な機器構成となっており、瞬時電圧低下が発生した場合の影響が大きくなっている。また工場に導入される分散型電源は、送電線故障や大型負荷投入時の極めて短時間の瞬時電圧低下でも発電出力が大きく影響を受け、連続的な運転が阻害される場合があった。

[†] 日立エンジニアリング・アンド・サービス (日立市)

^{††} 愛知工業大学 工学部 電気工学科 (豊田市)

本論文では、ガスエンジンやディーゼル発電機 (Diesel Generator : DEG) といった回転機型の分散型電源と瞬時電圧低下補償装置 (Dynamic Voltage Restorer : DVR と略す) を使用して商用側における故障などによる瞬時電圧低下発生時に負荷側の電圧を維持し電力の品質を確保するとともに、分散型電源の運転継続性を確保する目的で DVR を使用した、各種の実証試験を実施したのでその内容を報告する。

2. DVR の原理

DVR は直列補償型瞬時電圧補償装置と呼ばれ、系統に直列に挿入した直列トランスの両端に蓄電装置から電圧を印加し、瞬時電圧低下発生時において負荷側の電圧を補償するもので、電圧低下相の不足分の電圧のみを補償することから、蓄電設備容量を抑えることにより価格面で有利となる可能性もあり、海外でも注目されている瞬低補償装置である。

図1に DVR システム構成図を示す。DVR は a 点におけ

る商用側電圧 $V1$ と b 点における負荷側電圧 $V2$ を常時観測し, 入力側の電圧に対し, 不足分の電圧 V_{dvr} を補償することで, 出力側の電圧を規定値に制御するもので, 各相制御によりインバータを使用し電圧制御することが可能である。図 2 に瞬低時電圧位相状態図を示す。

解析は汎用の瞬時値解析ツール(EMTP-ATP)を使用し, DVR の変換器モデルを含む各種定数と制御の可能性を検討した。

結果, モデル系統は 60Hz で, 変換器は各相制御が可能な単相インバータ 3 台を使用し, キャリア周波数を約 1200Hz とし PWM 波形を作成した。また, 直列トランスの%インピーダンスを 10%程度とし, 各種定数の最適な設定を行ない, 一般的な瞬時電圧低下(1 相 0.3pu 電圧低下)を想定し変換器の制御, 動作内容を検証した。図 3, 図 4 に商用側において ILG が発生した場合の動作解析の結果例を示す。図 3 の a 点における電圧が系統側の相電圧, b 点における電圧が負荷側の相電圧である。系統側の電圧を 200ms 期間, 0.3pu の電圧低下が継続した場合の解析において DVR は瞬時電圧低下発生時に商用電圧に加算して直列トランスに不足分電圧を印加し負荷側の電圧変動を抑制した運転を実施している。

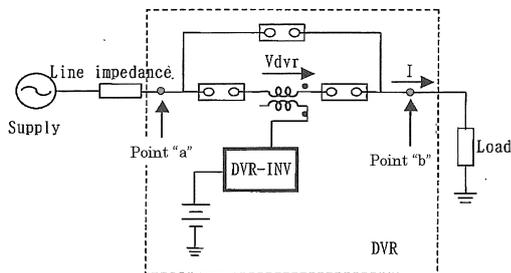


図 1 DVR システム構成図
Fig. 1. typical schematic of DVR power system.

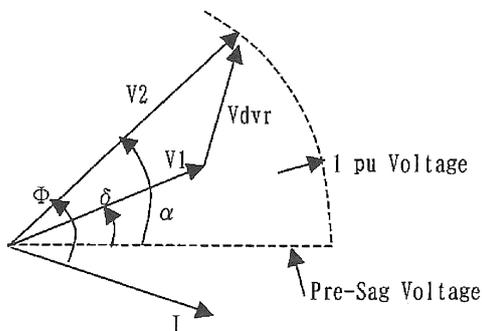


図 2 DVR の瞬時電圧低下発生時位相状態図
Fig. 2. Phasor diagram of power distribution system.

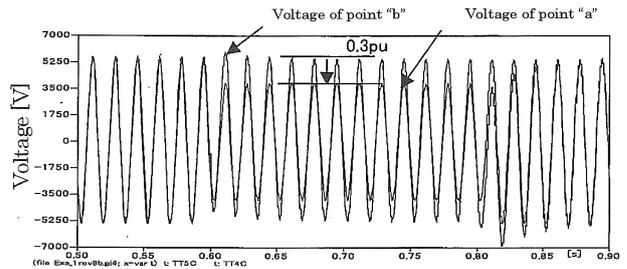


図 3 シミュレーションによる電圧波形
Fig. 3. Voltage of simulation.

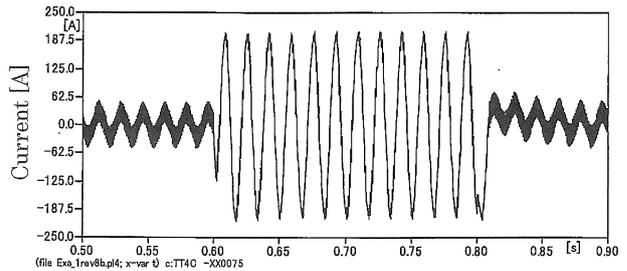


図 4 b 点に流れる電流波形
Fig. 4. Current of point "b".

3. 実証試験モデル

さらに愛工大内にて DVR と DEG の両者を組み合わせた実証試験を実施した。実証試験の系統モデルを図 5 に示す。

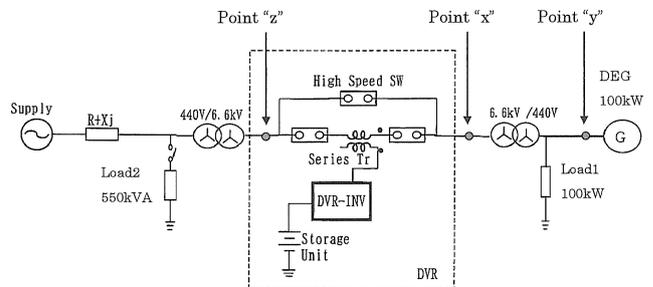


図 5 実証試験に使用した DVR システム全体系統
Fig. 5. DVR Power system for Experimental Tests.

実証試験の瞬時電圧低下は, 三相の大型負荷を瞬時(100ms~300ms)投入することで, 電源側の瞬時電圧低下を模擬し, 変換器, DEG の挙動を確認することとした。

表 1 に実験に使用した機器一覧示す。実証試験は DVR(600kVA)に加え常用自家発電設備(619kVA), 発電機用負荷抵抗(50kW), 瞬低発生用重負荷装置, 位相検出型投入負荷スイッチ等を使用した。

また, 表 2 に今回実証試験したケース一覧表を示す。瞬低時間は 100ms~300ms とし, 三相平衡の重負荷を同一位相で投入し, 瞬時電圧低下を発生させた。系統側に設置の瞬低発生用の大型負荷である Load2 の容量は 550kVA とした。

表 1 実証試験に使用した実機一覧表

Table 1. Device list to have used for demonstration.

No.	Equipment name	Capacity	Number
1	Continuous power generating facility	619kVA	1
2	DVR	600kVA	1
3	Electronic load	100kW	1
4	Zero cross detector to make short		1

表 2 実証試験ケース一覧表

Table 2. Case list of demonstration.

No	Test mode	Period of fault	Power of DEG	Load1 capability	DVR
1	Three-phase short	300ms	100kW	100kW	With DVR
2	"	"	100kW	100kW	Without DVR
3	"	"	50kW	100kW	With DVR
4	"	"	50kW	100kW	Without DVR
5	"	"	100kW	50kW	With DVR
6	"	"	100kW	50kW	Without DVR
7	"	200ms	100kW	100kW	With DVR
8	"	"	100kW	100kW	Without DVR
9	"	"	50kW	100kW	With DVR
10	"	"	50kW	100kW	Without DVR
11	"	"	100kW	50kW	With DVR
12	"	"	100kW	50kW	Without DVR
13	"	100ms	100kW	100kW	With DVR
14	"	"	100kW	100kW	Without DVR
15	"	"	50kW	100kW	With DVR
16	"	"	50kW	100kW	Without DVR
17	"	"	100kW	50kW	With DVR
18	"	"	100kW	50kW	Without DVR

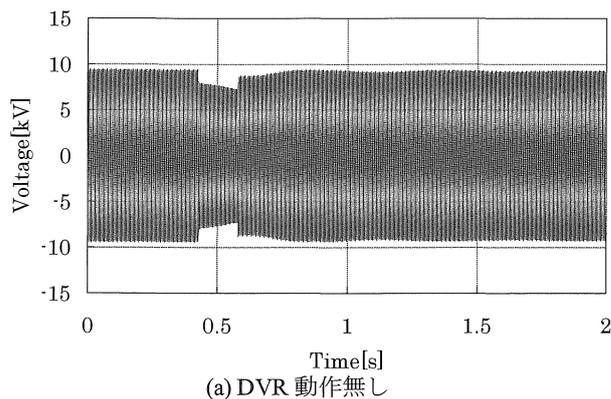
4. 実験結果および検討

実証試験結果の一例として発電機の出力が100kWでありLoad1にのみ電力供給を行っている特性を図6から図10に示す。図6から図9に、瞬時電圧低下の継続期間が300msの例で、DVR動作無しの場合と動作させた場合の電圧波形並びに電流波形を比較したものである。図6、図8はDVRの発電機側(6.6 kV系統)における電圧波形並びに電流波形を示し、図7、図9に発電機出力端(440 V系統)における電圧波形並びに電流波形を示す。図6より、DVR動作無しの場合、DVRの発電機側(6.6 kV系統)における電圧は最大約0.23puの電圧低下を各相で検出している。一方DVRを動作させた場合、DVRの出力により、電圧が約1.0puに改善されていることを確認した。図7より、発電機出力端(440 V系統)の電圧も同様に、DVRを動作させた場合、電圧が約1.0puに改善されていることを確認した。

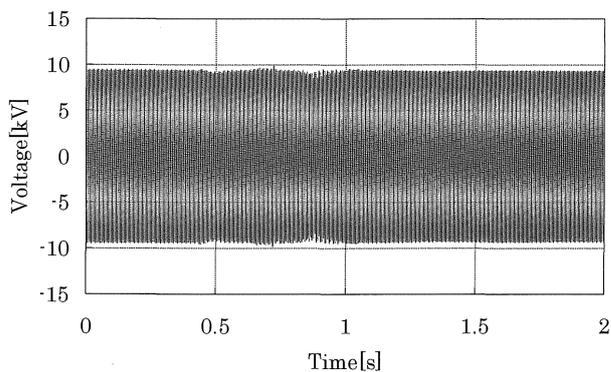
図8、図9より、DVRの発電機側(6.6 kV系統)及び発電機出力端(440 V系統)における電流においても、DVRを動作させた場合、動作無しの場合と比べ最大約5分の1程度まで変動が抑制されている。瞬低期間以降、発電機の周波数が変動し出力電流が変動するが、発電機が運転停止することは無かった。

図10に、DVRの商用電源側(6.6 kV系統)電圧、DVRの発電機側(6.6 kV系統)電圧及びDVR出力電圧を示し、DVR出力電圧の評価を行った。DVRの出力電圧は瞬時電圧低下の期間中はほぼ、商用電源側と発電機側の差分相当の電圧

が出力されており、正常に動作していることを確認した。図11に、DVRの有無における発電機の出力波形を示す。同図より、DVR有りの場合は、DVR無しの場合と比較して、短絡発生期間中の発電機出力変動が最大で約2分の1程度軽減されることを確認した。DVRの有無の場合で発電機側の電圧、電流、電力の変動は抑えられ、負荷・発電機の何れにも系統側の電圧変動の影響は軽減された。



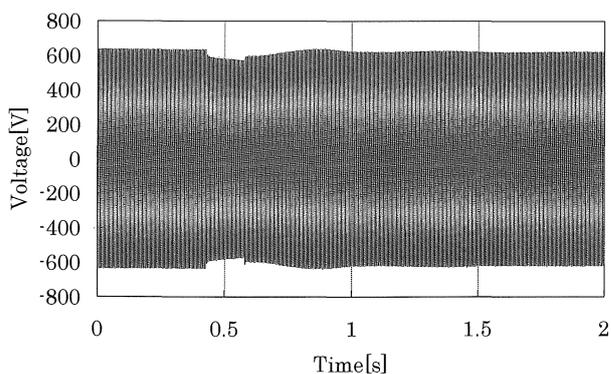
(a) DVR 動作無し



(b) DVR 動作有り

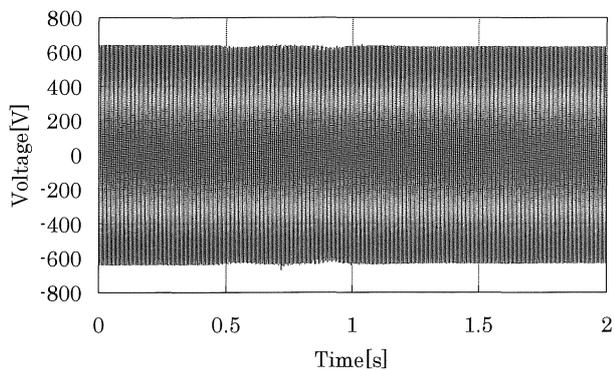
図 6 x点における電圧波形

Fig. 6. Voltage of point "x".



(a) DVR 動作無し

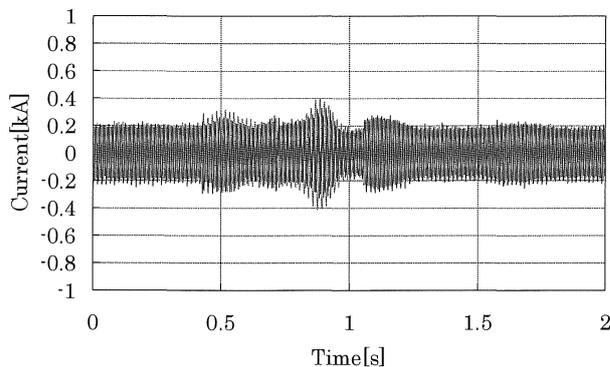
(a) DVR 動作無し



(b) DVR 動作有り

図7 y点における電圧波形

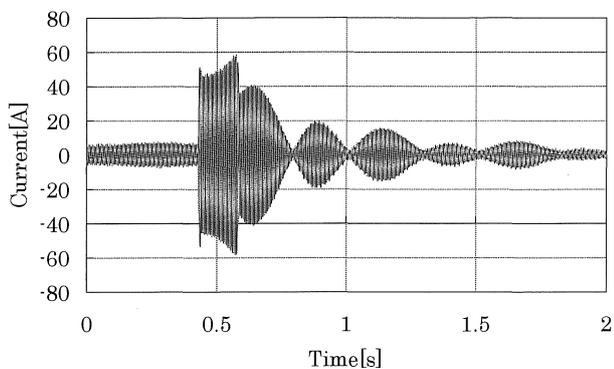
Fig. 7. Voltage of point "y".



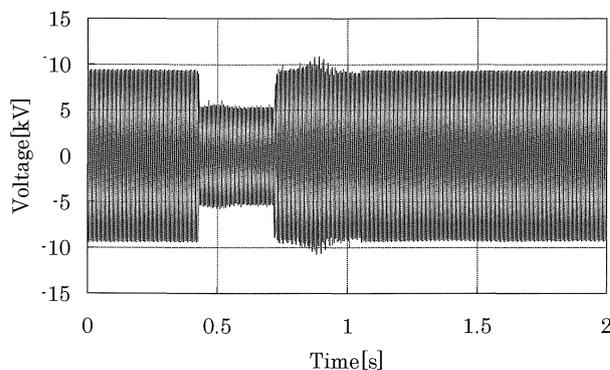
(b) DVR 動作有り

図9 y点における電流波形

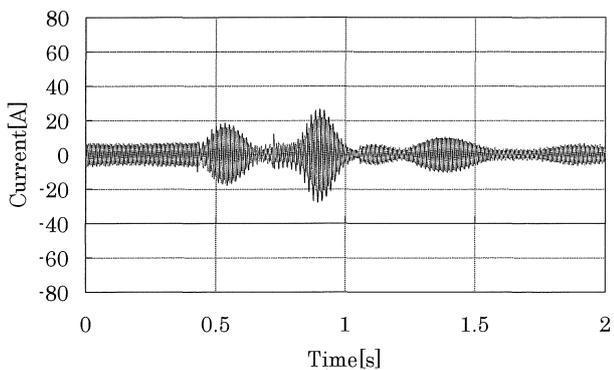
Fig. 9. Current of point "y".



(a) DVR 動作無し



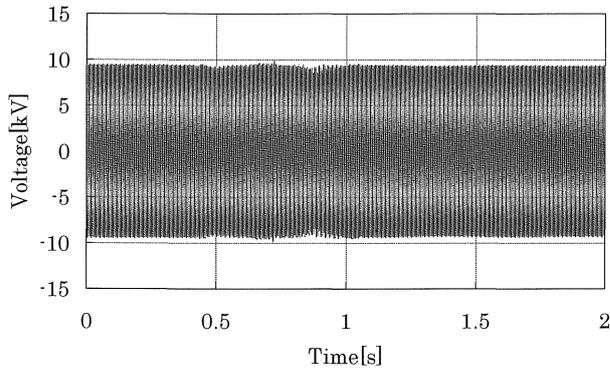
(a) z点における電圧波形



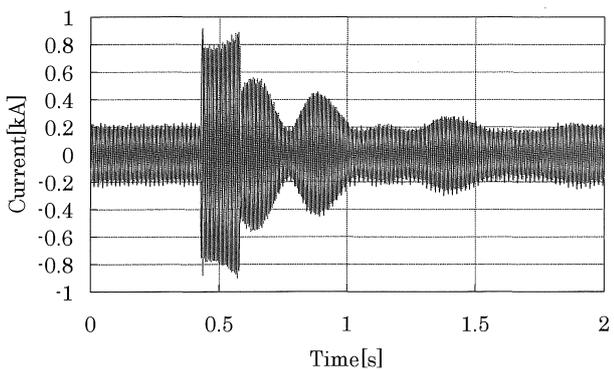
(b) DVR 動作有り

図8 x点における電流波形

Fig. 8. Current of point "x".



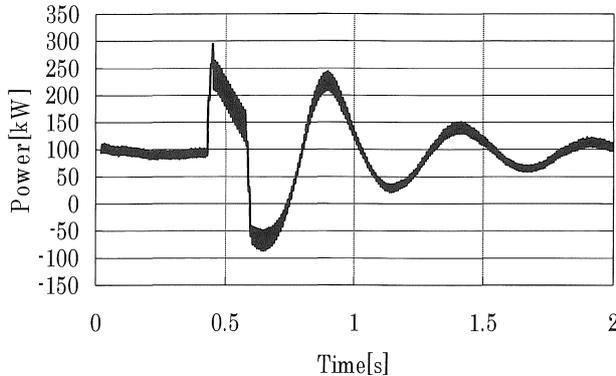
(b) x点における電圧波形



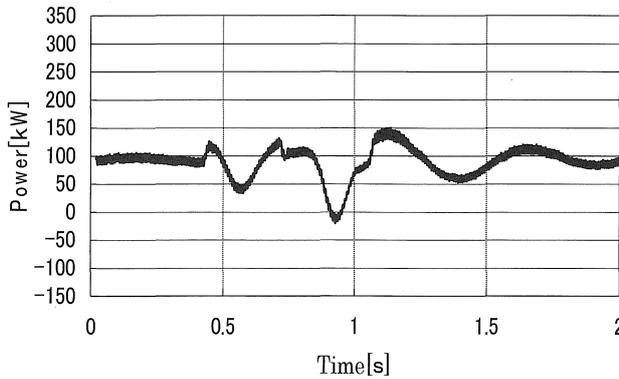
(c) DVR 出力電圧

図 10 DVR の出力電圧の評価

Fig. 10. Evaluation of DVR voltage.



(a) 発電機出力(DVR 無し)



(b) 発電機出力(DVR 有り)

図 11 発電機の出力変動

Fig. 11. Characteristic of Generator.

5. まとめ

直列補償型瞬低対策装置の動作原理を瞬時値解析ツール (EMTP-ATP) を使用して解析しその基本動作を確認した。また直列補償型瞬低対策装置と DEG の組み合わせることにより、瞬時電圧低下の発生時も安定的に、電圧変動を抑制し、かつ分散電源の運転継続を出力抑制が可能なことを実証試験により確認した。今後、クリーンエネルギーとして注目される、ガスエンジン発電機等に応用し、瞬低発生時に継続的に運転可能なシステムの検討に拡大してゆきたい。

文 献

- (1) 雨谷 昭弘: "Personal computer simulation of Power system", 電力システムのパソコンシミュレーション, p.228-237 (1998 年)
- (2) 社団法人電気協同研究会: 「瞬時電圧低下対策」, 電気協同研究, vol.46, No.3 (2001 年)
- (3) 配電系統に適用されるパワーエレクトロニクス技術の最新動向調査
専門委員会: 「配電系統に適用されるパワーエレクトロニクスの最新技術, 技術報告」, 電気技術報告 No.1093 pp.27-69 (2007 年)
- (4) Voltage Sag Compensation with Energy Optimized Dynamic Voltage Restorer: IEEE Transaction on Power Delivery Vol.18, No.3 July 2003
D.Mahinda Vilathgamuwa, Senior Member, IEEE, A.A.D.Ranjith Perera, and S.S.Choi
- (5) N.Hasegawa, H.Nakano, K.Yukita, Y.Goto, K.Ichihyanagi, H.Toita
H.Iwama, T.Fujimura: "Continuance Operation in the Gas Engine Generator with DVR", 2008 National Convention Record IEEJ Vol 6, No 089 (2008, 3)
長谷川直紀・中野寛之・雪田和人・後藤泰之・一柳勝宏・戸井田裕俊・岩間博昭・藤村尚 「ガスエンジン導入系統における DVR による運転継続性」, 平成 20 年電気学会全国大会 Vol 6, No 089 (2008, 3)
- (6) N.Hasegawa, H.Nakano, Y.Goto, K.Yukita, K.Ichihyanagi, H.Toita
Y.Kikawa: "Study on Instantaneous Voltage Drop on Power System with DVR", IEEJ Trans. PE, No.20, 211 (2008, 9)
長谷川直紀・中野寛之・雪田和人・後藤泰之・一柳勝宏・戸井田裕俊・木川陽太郎 「DVR 導入系統における瞬時電圧低下現象の基礎的検討」, 平成 21 年電気学会 B No.20.211 (2009, 9)
- (7) N.Hasegawa, Y.Shimizu, Y.Goto, K.Yukita, K.Ichihyanagi, H.Toita
Y.Kikawa, Y.Mikami: "Study on effect of DVR in micro-grid", IEEJ Trans. PE, No.09-30 (2009, 9)
長谷川直紀・清水康隆・雪田和人・後藤泰之・一柳勝宏・戸井田裕俊・木川陽太郎・三上陽介 「マイクログリッド内における DVR 導入効果の一検討」, 平成 21 年電気学会電力技術研究会 (2009, 9)