

## 瞬時電圧低下におけるガスエンジン発電機保護装置の開発

### Development of the GE generator protection device about Instantaneous Voltage Drop

雪田 和人<sup>†</sup>, 長谷川 直紀<sup>†</sup>, 後藤 泰之<sup>†</sup>, 一柳 勝宏<sup>†</sup>

三上 陽介<sup>††</sup>, 木川 陽太郎<sup>††</sup>, 仙波 研三<sup>††</sup>, 戸井田 裕俊<sup>††</sup>

K. Yukita<sup>†</sup>, N. Hasegawa<sup>†</sup>, Y. Goto<sup>†</sup>, K. Ichianagi<sup>†</sup>

Y. Mikami<sup>††</sup>, Y. Kikawa<sup>††</sup>, K. Senba<sup>††</sup>, H. Toita<sup>††</sup>

**Abstract** In recent years, the electric power system becomes more and more complicated. Therefore, the supply of electric power with stability and high reliability is required. Transmission line fault gives the distributed influence by instantaneous Voltage Drop and the over-current. Therefore, this paper is describes on the instantaneous voltage drop phenomenon in the power system that distributed generator was introduced. Equipment such as DVR and FCL is developed in order to cope with this problem. The examination was carried out by computer simulation in respect of the instantaneous voltage drop phenomenon.

#### 1. はじめに

現在, 太陽光発電や風力発電といった分散型電源の系統への導入が進んでいる. このような分散型電源は, 送電線故障などによる瞬時電圧低下や過電流の影響を受けやすい. また, 高度情報化に欠かせない計算機などの電子機器, 半導体製造などの高精度加工を行う生産ラインは, 瞬時的な電圧低下に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非常に大きい. この対策として, 低下した電圧分を補償する瞬時電圧低下対策装置 (Dynamic Voltage Restorer: DVR と略す) や電力系統や配電系統の短絡容量を軽減する限流器 (Fault Current Limiter: FCL と略す) などにより電圧低下発生時において分散型電源の出力変動を抑制し連続運転を可能にする必要があると考えられる<sup>(1), (2)</sup>.

本研究では, 計算機シミュレーションを用いて愛知工業大学の配電システムにおいて分散型電源を導入した場合を想定し, DVR と FCL のそれぞれの有効性についてシミュレーションを行った. DVR と FCL のそれぞれの効果に関して分散型電源側において二線短絡故障が発生した場合について, 直列補償型 DVR と FCL をそれぞれ導入する事により検討を行った.

#### 2. 系統モデル

##### 2.1 系統モデル

図1に本論文で用いた系統モデルを示す. 同図 (a) は DVR を導入した場合であり, (b) は FCL を導入した場合である.

大学構内における抵抗負荷の模擬として重要負荷 Load1 (200kW) とした. また, 大学構内における図書館と12号館は常時 100kW の消費をしている. そのため図書館と12号館の模擬として負荷 Load2 (100kW) とした. 無限大母線は一般需要の模擬として負荷 Load3 (500kW) に電力を供給している. GE 型発電機の定格は, 550kVA であり, 定常状態にて Load1 と Load2 に電力供給している.

この系統モデルにおいて, 重要負荷の Load1 と GE 型発電機を保護するため DVR と FCL をそれぞれ導入する. FCL の限流インピーダンスの構成を図2に示す. FCL は直列 Z 型限流器とし R と  $X_L$  の合成インピーダンスを, 30Ω一定とし, 角度を変えて検討をした (表1参照). 本論文に表示した FCL の解析波形は最も効率の良い角度  $\theta = 75\text{deg}$ ,  $R = 25\Omega$ ,  $X_L = 5\Omega$  の時とした.

##### 2.2 タイムシーケンス

図3(a), (b)に, それぞれ DVR 導入時と FCL 導入時のタイムシーケンスを示す. シミュレーションを開始してから 0.5秒後に二線短絡故障を, 図1に示す SW を閉じること

<sup>†</sup> 愛知工業大学 工学部 電気工学科 (豊田市)

<sup>††</sup> (株)日立エンジニアリング・アンド・サービス (日立市)

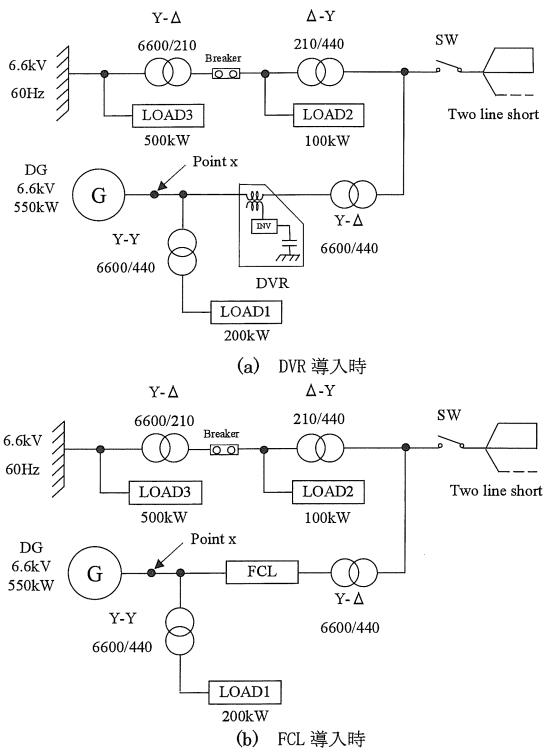


図 1 システムモデル

Fig1. System model

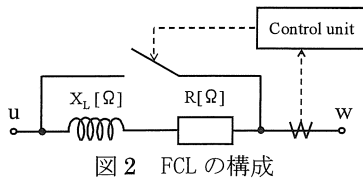


図 2 FCL の構成

Fig2. Composition of FCL

表 1 限流器の数値

Table1. Value of the FCL

Angle[deg]	90	75	60	45	30	15	0
R[Ω]	0	5	10	15	20	25	30
X <sub>L</sub> [Ω]	30	25	20	15	10	5	0

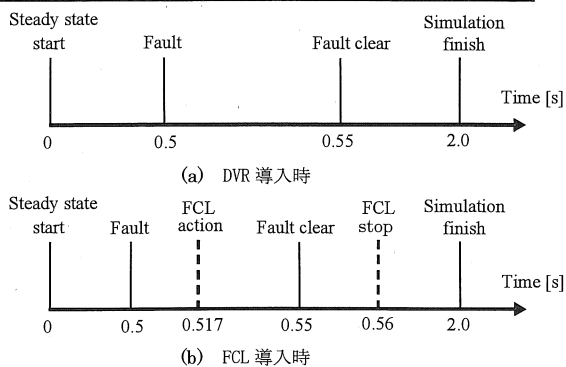


図 3 タイムシーケンス

Fig3. Time Sequence

により模擬した。二線短絡故障時間は 0.05 秒間とした。

FCL 導入時に関しては、故障発生時点から一周期後の 0.517 秒に FCL を動作させ、0.560 秒に停止した。

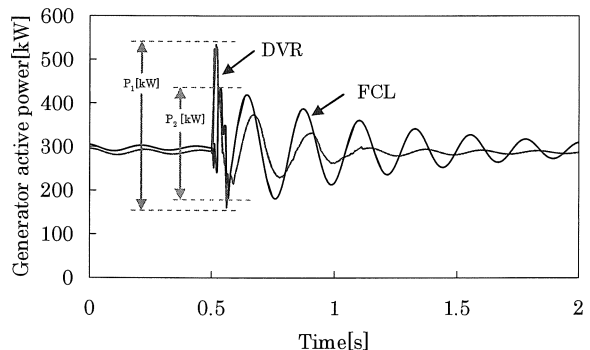
### 3. シミュレーション結果

図 4 に GE 型発電機の出力電力と発電機内部相差角を、図 5 に Load1 の消費電力と瞬時電圧低下対策装置のエネルギーを DVR 導入時と FCL 導入時の特性比較を各々示す。

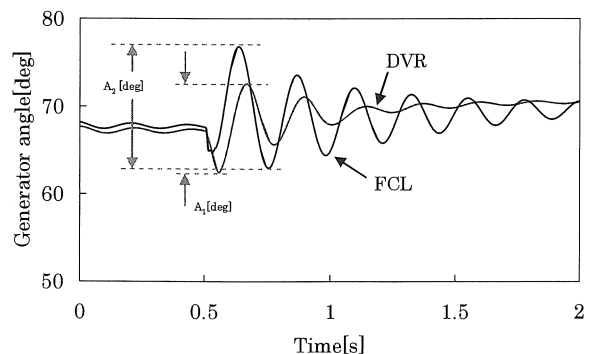
図 4 (a) において DVR 導入時の GE 型発電機の有効電力は、FCL 導入時に比べて故障している間は振幅が大きく最大振幅 P1 は 385kW であるが故障回復後の定常状態への収束は速くなった。また、FCL 導入時の有効電力の最大振幅 P2 は 252kW となり DVR 導入時に比べ 0.65 倍であった。

図 4 (b) に発電機内部相差角を示す。DVR 導入時の内部相差角の最大振幅 A1 は 7.53deg であるのに対し FCL 導入時の内部相差角の最大振幅 A2 は 13.53deg となり 2 倍の振幅の差となった。図 5 (a) に示す Load1 の消費電力について比較してみると、DVR 導入時は 20kW の低下度に対して、FCL 導入時は 80kW となり 4 倍の差となった。

図 5 (b) に示す故障中における DVR の蓄電エネルギーのピーク値は 544kW、平均値は 312kW となったのに対して FCL の処理エネルギーのピーク値は 352kW、平均値は 242kW となった。このことから FCL の処理エネルギーは、DVR の



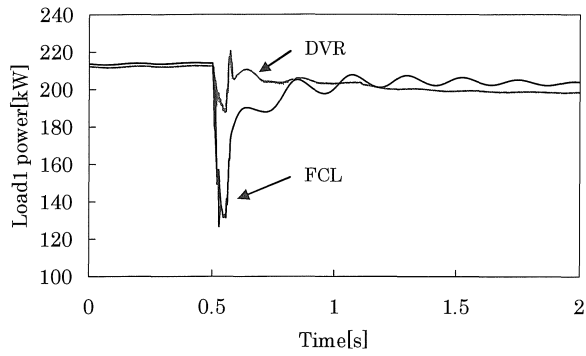
(a) GE 型発電機の出力電力



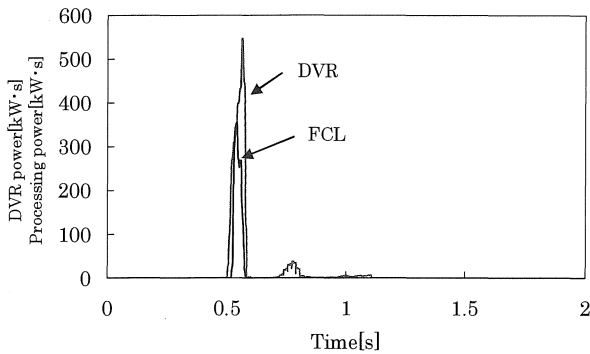
(b) 発電機内部相差角

図 4 DVR 導入時と FCL 導入時の特性

Fig4. Characteristic of DVR and FCL



(a) 重要負荷 Load1 の消費電力



(b) 瞬時電圧低下対策装置のエネルギー

図5 DVR 導入時と FCL 導入時の比較

Fig5. Characteristic of DVR and FCL

蓄電エネルギーに比べ、ピーク値では 0.65 倍、平均値では 0.78 倍となり瞬時電圧低下の対策装置として必要なエネルギー量に関して大きい差となった。

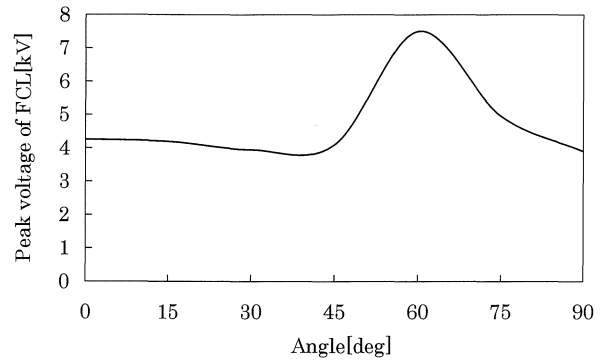
#### 4. FCL の構成比較

##### 4.1 FCL の構成値特性

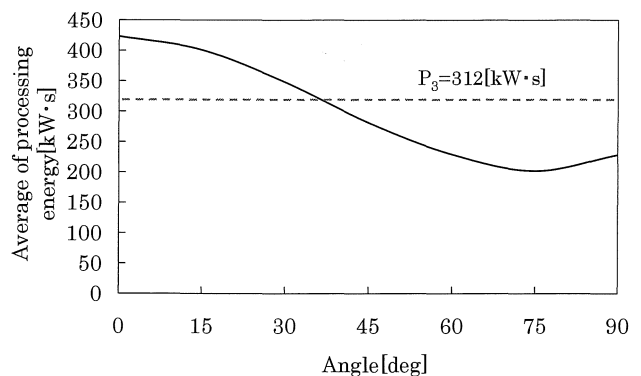
図 2 に示す FCL は直列 Z 型 FCL の構成において R と XL との割合比較について検討をした結果を図 6, 図 7 に示す。

図 6 (a) は FCL の図 2 中における U 点と W 点の端子間の三相における最大相の電圧値でありこの値が低いほど FCL に与える負担が軽減される。FCL の端子間の最大電圧値は、角度 60deg の FCL を切り離す時最大値となった。また FCL の限流動作中における発熱量、冷却能力などの把握のため図 6 (b) に FCL の処理エネルギーの平均値を求めた。同図に記載している P<sub>3</sub> とは DVR の蓄電エネルギーの平均値 312kW・s である。一方 FCL の処理エネルギーが最も低くなるのは角度 75deg の時 241kW・s であることから FCL の角度 75deg の時、DVR のエネルギー量に比べて低くなった。図 6 (c) は FCL に流れ込む最大電流値であり角度が低いほど R の値が大きくなり最大電流は低くなっている事が確認できる。図 6 (d) は GE 型発電機の有効電力の最大振幅であり、

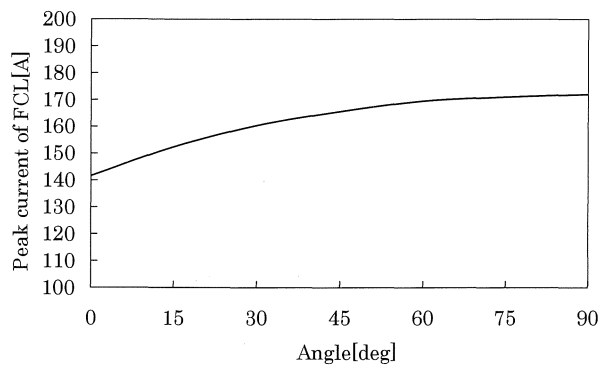
処理エネルギーの波形と同様な波形が得られた。このことから、処理エネルギー量が低い時は GE 型発電機に与える



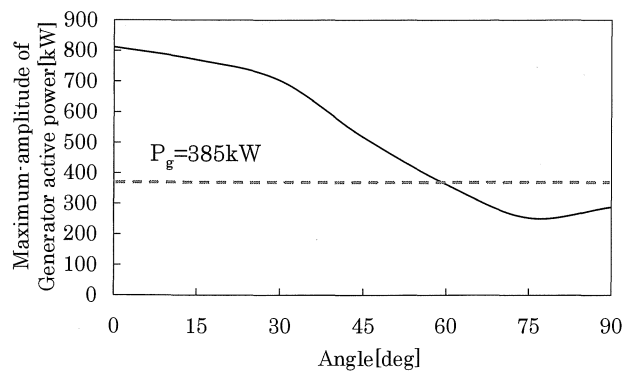
(a) FCL 端子間の最大電圧値



(b) FCL の処理エネルギー



(c) FCL に流れ込む最大瞬時電流



(d) GE 型発電機の有効電力の最大振幅

図 6 FCL の角度の特性 1

Fig6. Characteristic of angle with FCL

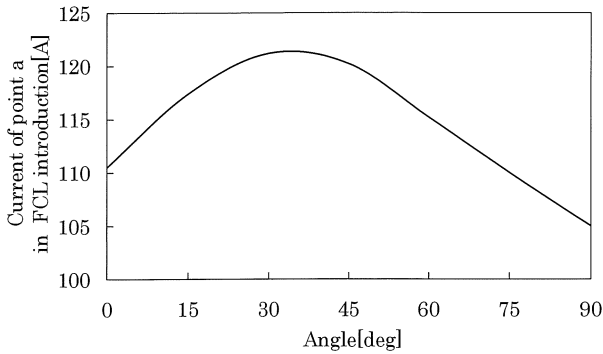


図7 故障時の Point x に流れ込む電流  
Fig7. Current of point x in case of fault

負担が低くなることが確認できた. 同図の  $P_g$  は DVR 導入時の GE 型発電機の有効電力の最大振幅 385kW である. 図7は二線短絡故障時の Point x に流れ込む電流の実効値である. 角度 30deg 地点を最大として左右対称に減少しており, 角度 75deg の時 110A となった.

4.2 故障発生時点による特性

図8に故障発生時点の波形を示す. a 時点基準とした時 60Hz の四分の一周期後を b 時点, 半周期後を c 時点, 四分の三周期後を d 時点とする. それぞれの故障発生時点における FCL 内の処理エネルギーを図9に, 図1中に示す point x に流れる最大瞬時電流を図10に示す. 図9および図10より, a 時点と c 時点の処理エネルギーと point x に流れる最大瞬時電流は同等の結果となり, b 時点と d 時点の処理エネルギーと point x に流れる最大瞬時電流も

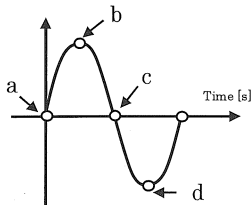


図8 故障発生時点

Fig8. Point of fault occurrence

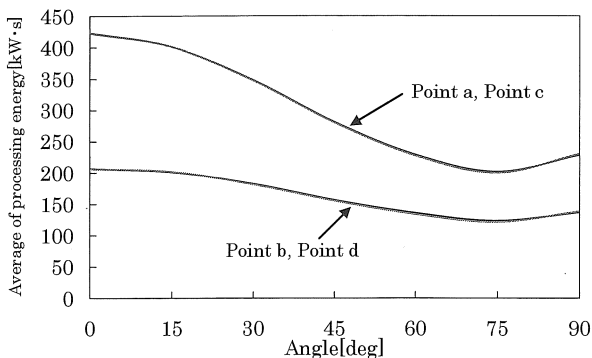


図9 FCL の処理エネルギー  
Fig9. Processing energy of FCL

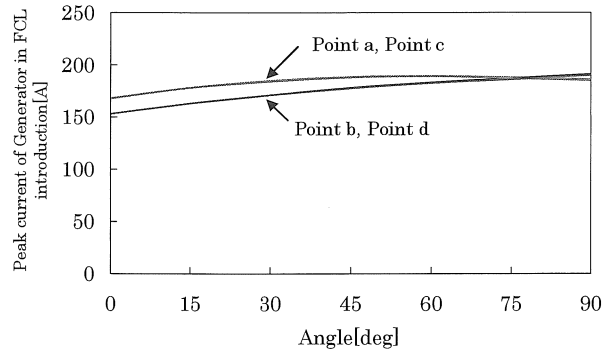


図9 故障時に point x に流れる最大電流  
Fig9. Maximum current through point x in case of fault

同等の結果となった. このことから a 時点と c 時点の処理エネルギー波形は, b 時点と d 時点の処理エネルギーの 2 倍となる事が確認できた.

5. まとめ

本研究では, 瞬低対策装置として FCL 導入時の場合と DVR 導入時場合とで安定性と瞬低対策に必要なエネルギーの比較を一例として愛知工業大学のシステム構成を用いて行った.

その結果, DVR 導入時は FCL 導入時に比べて重要負荷である Load1 に 4 倍もの安定した電力を供給できるほか, DVR 導入時の故障発生直後の GE 型発電機の有効電力は, FCL 導入時に比べて大きく振動するものの安定状態に収束するのは速く良好な結果となった. 瞬低対策に必要なエネルギー量に関しては, 愛知工業大学のシステム構成においては DVR の平均蓄電エネルギーは 312kW・s であるのに対して, FCL (Angle=75deg) の処理エネルギーは 242kW・s となり, そのことから FCL (Angle=75deg) の処理エネルギーは DVR の平均蓄電エネルギーに比べ 0.78 倍に抑えられる事が確認できた.

文 献

[1] N.Hasegawa, H.Nakano, K. Yukita, Y. Goto, K.Itiyanagi, H. Toit a, 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 導入システムにおける瞬時電圧低下現象の基礎的検討」, 平成 20 年電気学会 B No. 20, 211 (2008, 9)

[2] 配電システム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: 「配電システム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)