

XTAP 例題集		番 号	PV-02-A
例題名	メガソーラ用 PCS の基礎的な瞬時値解析モデルを用いた 系統事故発生時のシミュレーション（スイッチングモデル）		
分 野	電力系統解析，系統連系，パワーエレクトロニクス		
文 献	<p>主な文献として，</p> <p>[1] 分散電源の大量連系解析モデル調査専門委員会，「分散電源の大量連系解析モデル」，電気学会技術報告 第 1487 号，2020.</p> <p>[2] 米澤，福島，野田，関場，伊藤，三澤，千田，山口，中島，宇都宮，竹内，「系統事故発生時の解析を目的とした大規模太陽光発電システムの瞬時値解析モデルの開発」，電気学会 電力技術/電力系統技術合同研究会，PE-15-151, PSE-15-173, pp.99-104, 2015-09.</p> <p>そのほかの参考文献については本票末に記す。</p>		
概 要	<p>本例題は，メガソーラが連系された高圧配電系統において，系統事故が発生した際のメガソーラの過渡応答をシミュレーションしたものである。メガソーラのモデルには，メガソーラ用 PCS の基礎的な瞬時値解析モデルを用い，系統事故としては上位系統の 3LGO と高圧配電線の 3LS を想定した擾乱を発生させる。系統電圧が健全な状態では一定の有効電力を出力する定常運転となるが，系統事故により電圧が低下すると，その低下の度合いや時間に応じて，運転を継続したり，スイッチング素子の動作を停止するゲートブロックや系統からの解列などの動作が行われる。また，電圧低下時には出力電流を制限する制御が働く。</p> <p>メガソーラ等の分散電源においては，通常，系統連系規程により定められた各種要件が具備されるが，この例題では事故発生時の過渡的な応答特性をシミュレーションすることを目的としており，PCS モデルは基礎的なモデルをそのまま利用し，各種系統保護機能は含まれない。また，FRT 要件も簡易的な LVRT（電圧低下耐量）のみを考慮している。</p>		

解析回路・解析条件

図 1 に、XTAP 上に模擬した高圧配電系統と、そこに接続されるメガソーラの回路図を示す。系統周波数は 50 Hz である。

配電用変電所は、その配電用変圧器および背後系統をまとめて $0.0001 + j0.08$ p.u. のインピーダンスおよび電圧源の直列接続として模擬し、中性点は GPT の制限抵抗を一次側から見込んだ値として $30 \text{ k}\Omega$ の抵抗で接地した [1]。配電用変電所からは二つのフィーダが出ており、片方のフィーダの末端 (4 km 先) には 500 kW のメガソーラが連系している。もう片方のフィーダには末端に 3 MW の抵抗負荷が接続される。

例題名：メガソーラ用 PCS の基本的な瞬時値解析モデル (スイッチングモデル)

番号：PV-02-A (Ver. 3.3)

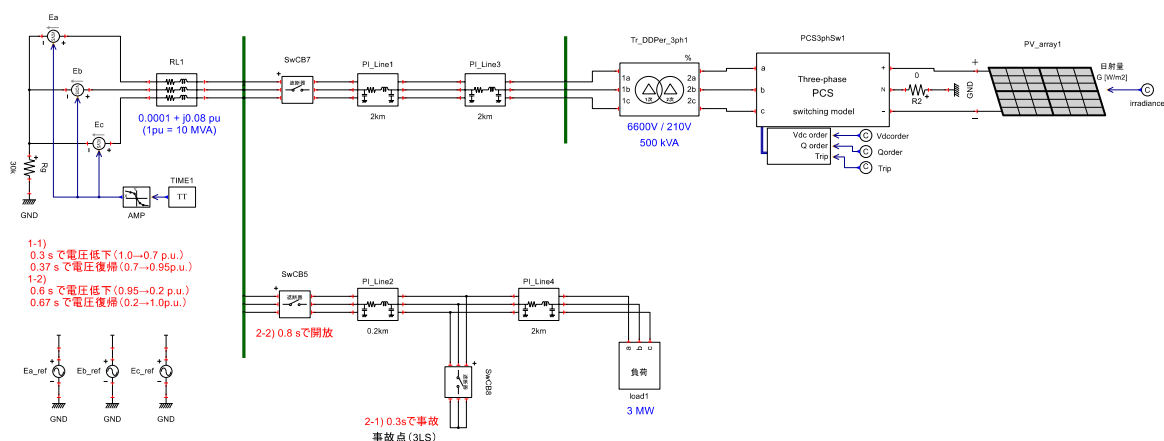


図 1 XTAP 上に模擬した高圧配電系統と、そこに接続されるメガソーラの回路図

メガソーラは、直流出力電圧が約 350 V、出力が約 500 kW の PV パネルと、基礎的な瞬時値解析用の PCS モデル、高圧に昇圧する 500 VA の昇圧用変圧器により構成される。PCS 内部の変換器には 3 レベルの NPC ブリッジを用い、PWM 制御のスイッチング周波数は 4.5 kHz とした。PCS は d 軸電流制御に DCAVR、q 軸電流制御に AQR が採用され、直流電圧指令値として 1.0、無効電力指令値として 0.0 が指定される。なお、PCS モデルには MPPT 制御が含まれないため、日射量等が変化して PV パネルの最大電力出力点が変わっても直流電圧指令値は変化しない (日射量の変化のシミュレーションを行う場合は、MPPT 制御を PCS に追加する必要がある)。系統電圧低下時の運転継続やゲートブロックの実施有無等を制御する LVRT については、0.3 p.u. でゲートブロック開始 (ゲートブロック時間 0.1 s) とし、ゲートブロックを 0.3 s 継続した場合に PCS を系統から解列する設定とした。また、電流制限は系統電圧が 0.9 p.u. 以下で動作することとした。

系統事故として、次の2種類を想定する。

- (1) 上位系統の3LGOを想定し、配電用変電所の電源電圧の振幅値を次の通り変化させる。
 - (ア) 0.3 ~ 0.37 s … 0.7 p.u.に低下
 - (イ) 0.6 ~ 0.67 s … 0.2 p.u.に低下
- (2) 高圧配電線の3LSを想定し、メガソーラが連系されていないフィーダの配電用変電所から0.2 kmの地点で三相短絡が0.3 sに生じ、0.5 s後(0.8 s)に同フィーダを遮断。

本例題で用いるPCSモデルは実際にスイッチングを行うモデルであり、計算時間刻みは半導体素子のスイッチングを十分に模擬可能な時間として2 μ sを設定した。

解析結果

I. 上位系統の 3LGO を想定した瞬時電圧低下

図 2 に、PCS 交流側各相の系統電圧、出力電流、直流側の電圧、PCS が出力する有効電力、無効電力、d 軸電流指令値 (DCAVR 出力)、電圧低下を判定する電圧実効値およびゲートブロック信号を示す。以下、時間帯ごとに考察する。

(1) 0～0.3 s : 運転開始～定常状態

PCS は $t = 0$ の時点で (直流コンデンサを除き) 初期化されていないため、初期化される。PV パネルから電力が供給されるため直流電圧が上昇するが、有効電力を交流側に出力するようになると直流電圧は徐々に低下し、指令値である 1.0 p.u. (350 V) に収束する。

(2) 0.3～0.6 s : 事故発生 (系統電圧が 0.7 p.u.まで低下) ～復帰

事故の発生 (を模擬した系統電圧振幅値の低下) により、PCS 交流側電圧が低下する。これにより交流側に送電可能な有効電力が低下し、直流電力は上昇する。また、電圧が 0.9 p.u.を下回ったため、過電流を防止するための電流制限が働き、d 軸電流指令値を制限している。また、電圧は 0.3 p.u. 以上であるため、PCS は運転を継続する。

電圧は事故から 0.07 s で復帰するが、ゲートブロック時間を 0.1 s としているため、事故から 0.1 s はゲートブロックを継続し、その後復帰する。復帰後は有効電力出力が回復し、定常状態に戻っている。ただし、復帰後の系統電圧は 0.95 p.u. となっているため、d 軸電流指令値は事故前に比べて大きな値に制御されている。

(3) 0.6～1.0 s : 事故発生 (系統電圧が 0.2 p.u.まで低下) ～復帰

事故の発生 (を模擬した系統電圧振幅値の低下) により、PCS 交流側電圧が低下する。出力電流は瞬間的にヒゲ状の過電流が系統に流れるが、高速な ACR によってすぐに抑えられる。系統電圧が 0.3 p.u. を下回ったため、ゲートブロック信号が出力され、交流側への有効電力出力は零となる。なおゲートブロック中は、遮断器は投入されたままの状態であり、系統連系リアクトルとフィルタコンデンサの相互作用による過渡的な電圧、電流が生じている。系統に対して有効電力を出力しないため、PV パネルからの電力供給により直流電圧は高くなり、PV パネルの最大開放電圧である約 427 V まで上昇する。

電圧は事故から 0.07 s で回復するため、(2) 同様にゲートブロック時間経過後に復帰し、定常状態に戻る。

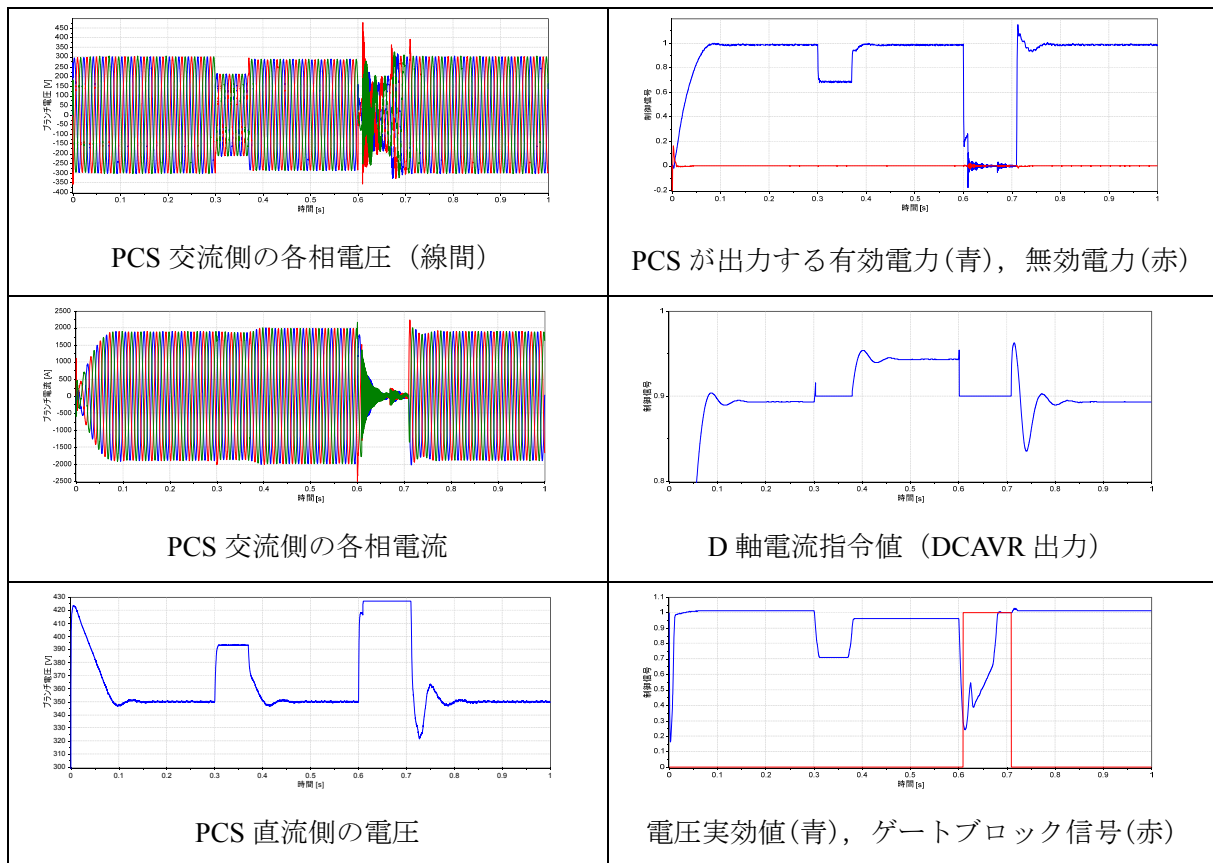


図2 上位系統の3LGOを想定した瞬時電圧低下発生時のPCSの応答

II. 高圧配電線の3LSを想定を想定した瞬時電圧低下

図3に、PCS交流側各相の系統電圧、出力電流、直流側の電圧、PCSが出力する有効電力、無効電力、d軸電流指令値(DCAVR出力)、電圧低下を判定する電圧実効値およびゲートブロック信号を示す。以下、時間帯ごとに考察する(0~0.3sはIと同様であるため省略する)。

(1) 0.3~0.8s: 事故発生(系統電圧が0.3 p.u.以下に低下)

配電用変圧器から出ているフィーダでの3LS事故の発生により、同バンクの別フィーダに接続されているPCSの交流側電圧が低下する。このケースでは、電圧が0.3 p.u.を下回るため、PCSはゲートブロックされる。

ゲートブロックから0.3s経過した約0.61s時点においても電圧が低下しているため、PCSは交流側の遮断器を解列する。これにより、PCSは系統から切り離される。

(2) 0.8~1.0s : 事故フィーダ遮断後

事故が発生したフィーダが切り離され、メガソーラが接続されたフィーダの電圧が回復する。ただし、本モデルではいったん解列した後の PCS について、復帰の動作は組み込まれていないため、停止したままとなる。解列後の復帰動作をシミュレーションする場合は、この制御系を追加する必要がある。

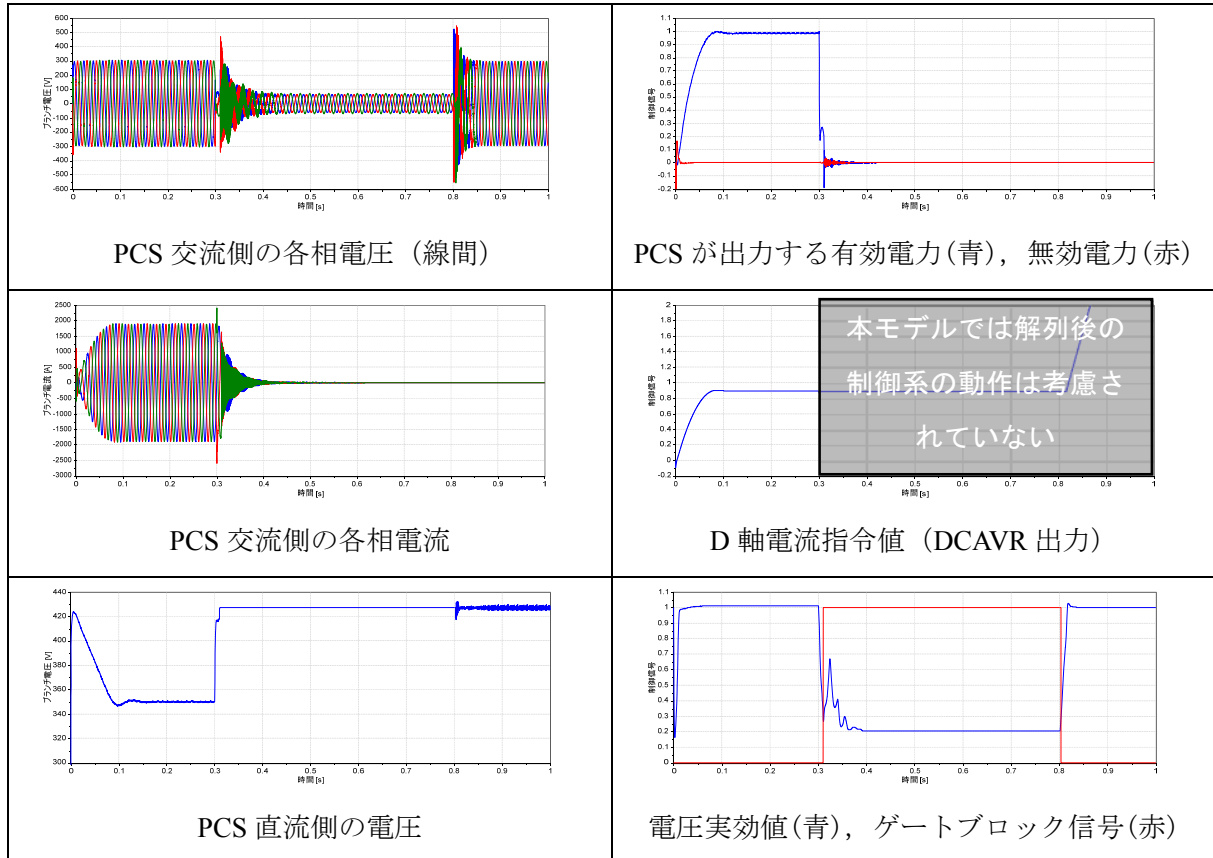


図3 高圧配電線の3LSを想定した瞬時電圧低下時のPCSの応答

参考文献

- [1] 分散電源の大量連系解析モデル調査専門委員会, 「分散電源の大量連系解析モデル」, 電気学会技術報告 第 1487 号, 2020 年.
- [2] 米澤, 福島, 野田, 関場, 伊藤, 三澤, 千田, 山口, 中島, 宇都宮, 竹内, 「系統事故発生時の解析を目的とした大規模太陽光発電システムの瞬時値解析モデルの開発」, 電気学会 電力技術/電力系統技術合同研究会, PE-15-151, PSE-15-173, pp.99-104, 2015-09.
- [3] 長嶋, 野田, 「瞬時値解析による配電系統の動的電圧解析手法 (その 1) -配電用変電所および SVR のモデル化-」, 電力中央研究所 研究報告 H13007, 2013 年.
- [4] パワーエレクトロニクス機器の制御技術調査専門委員会, 「パワーエレクトロニクス機器の制御技術」, 電気学会技術報告 第 1084 号, 2007 年.

更 新 履 歴

日 付	例題ファイル バージョン	変 更 内 容
2021/06/22	1.0	初版作成 (XTAP Version 3.3 用)

