

# 系統擾乱時の応動を高速に解析可能な瞬時値変換器モデルの開発

## —整流回路付平均値モデル—

キーワード：瞬時値解析，変換器，高速化，平均値モデル

報告書番号：R15022

### 背景

交直変換器の電力系統への導入に際しては、瞬時値解析が欠かせないものとなっている。瞬時値解析においては変換器のスイッチングを正確に模擬するモデル（詳細モデル、図 1 (a)）が主に用いられてきたが、このモデルは計算時間刻みを大きくとることができず計算時間がかかるという課題があった。この課題に対し、通常運転時<sup>1)</sup>については変換器を電圧源として模擬するモデル（平均値モデル<sup>2)</sup>、図 1 (b)）により高速に解析が行えるが、平均値モデルでは系統擾乱時の解析に必要なゲートブロック<sup>3)</sup> (GB) 動作を模擬できず、より適用範囲の広いモデルの開発が望まれている。

### 目的

GB を含めた変換器の応動を高速に解析可能な変換器モデルを開発する。

### 主な成果

#### 1. GB 動作を模擬可能なモデルの開発

平均値モデルに整流回路を付加することで GB を模擬可能な変換器モデル（以下、整流回路付平均値モデル）を開発した（図 2）。整流回路付平均値モデルは通常運転時には PWM 変調波<sup>4)</sup>を直接出力する電圧源として変換器を模擬し（図 2 (a)）、整流回路を付加することで従来は不可能であった系統擾乱時の GB 動作を模擬できる（図 2 (b)）。また、従来の平均値モデルと同じく計算時間刻みを大きくとることが可能なため、高速な解析が可能となる。整流回路付平均値モデルの特徴を表 1 に示す。

#### 2. 開発したモデルの検証

変換器の一種である STATCOM と電力用コンデンサが接続されている系統にて 1 回線開放が発生し交流電圧が上昇する条件を例に詳細モデルと整流回路付平均値モデルの XTAP<sup>5)</sup>シミュレーション解析結果を比較し、検証を行った。STATCOM の各部波形を図 3 に示す<sup>6)</sup>。交流電圧が 1.3 pu を超えると過電圧リレーにより変換器が GB 動作するが、GB 後も両者の解析波形はよく一致している。また、計算時間は約 1/36 となった。

注 1) 機器保護が動作しない、通常の運転状態を表す。

2) 平均値モデルでは、変換器の PWM スwitching 動作（例えば一周期 50  $\mu$ s）を平均的に模擬するため、計算時間刻みが大きくとれる。

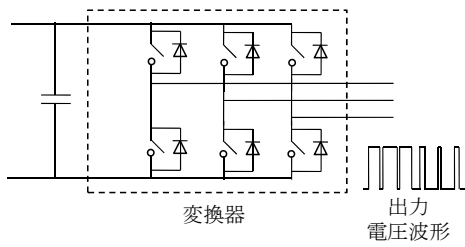
3) 半導体素子のゲート信号をオフにすることで変換器を停止させる保護動作。系統解析時に特に重要な機器保護動作である。

4) PWM (Pulse Width Modulation) 制御では、出力したい正弦波と三角波（搬送波）を比較することで変換器のスイッチング制御信号を生成している。ここで、出力したい正弦波のことを変調波と呼ぶ。

5) 当所開発の瞬時値解析ソフト XTAP (eXpandable Transient Analysis Program)。

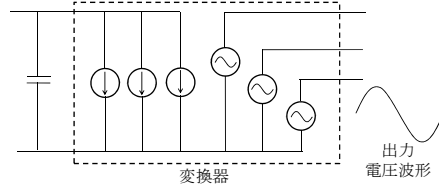
6) 波形の比較のため、交流電圧波形には 1 ms の一次遅れフィルタを適用している。

実機のスイッチング動作を再現しており、  
実機と同じ矩形波が出力される。  
GB時は整流器として動作する。



(a) 詳細モデル

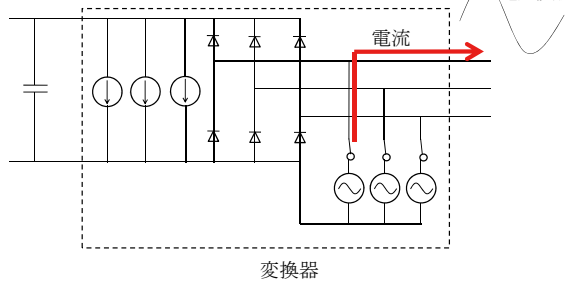
変換器は高速なPWM(Pulse Width Modulation)制御を行っているため、変換器は電圧源とほぼ等価の挙動を示す。このため、平均値モデルでは変換器を電圧源で模擬する。



(b) 平均値モデル

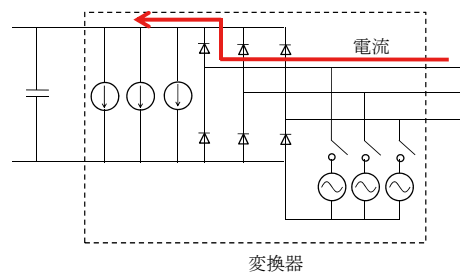
図1 従来モデル

整流回路には電流が流れず、  
通常運転時、整流回路付平均値モデルでは変換器は  
平均値モデルと同等の動作となる。



(a) 通常運転時

GB時、変換器は整流器となる。整流回路付平均値モデルでは、  
電圧源をスイッチ操作でOFFすることで、  
実際の変換器がGBした際の整流動作を模擬している。



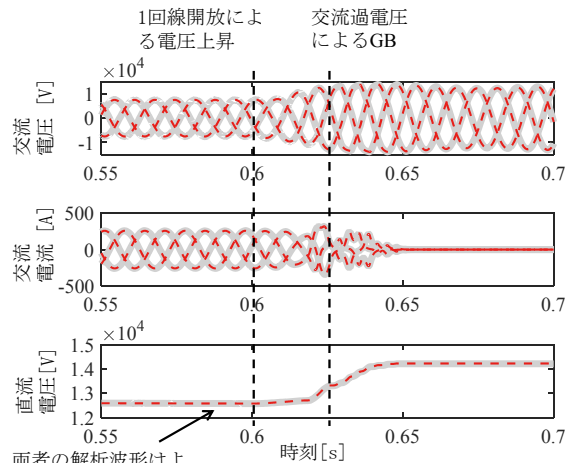
(b) GB時(システム擾乱時)

図2 開発した整流回路付平均値モデル

表1 開発した整流回路付平均値モデルの特徴

	整流回路付 平均値モデル (開発モデル)	詳細モデル (従来モデル)	平均値モデル (従来モデル)
計算 速度	○	△	○
解析 可能 な 現象	○	△	○
計算 速度	平均値モデルと同等の高速な解析が可能となる (例えば計算時間刻み 50 μs)	計算時間刻みを短くする必要があり計算時間がかかる (例えば計算時間刻み 1 μs)	計算時間刻みを大きくとれるため高速な解析が可能となる (例えば計算時間刻み 50 μs)
解析 可能 な 現象	通常運転時解析 系統擾乱時解析 PWM 高調波解析 PWM に由来する高調波は模擬できない* GB時は整流器として動作する	通常運転時解析 系統擾乱時解析 PWM 高調波解析 PWM のスイッチング動作まで再現可能である GB時は整流器として動作する	通常運転時解析 PWM に由来する高調波は模擬できない 系統擾乱時に必要とされるGB動作が模擬できない

\*系統擾乱時の解析においては、PWM 由来の高調波は解析結果にほとんど影響を与えないため無視できる。



両者の解析波形はよく一致している。  
詳細モデル：計算時間刻み 1 μs  
整流回路付平均値モデル：計算時間刻み 50 μs

図3 詳細モデルと整流回路付平均値モデルの比較

(薄線：詳細モデル、点線：整流回路付平均値モデル)

研究担当者	菊間 俊明 (システム技術研究所 電力システム領域)
問い合わせ先	電力中央研究所 システム技術研究所 研究管理担当スタッフ Tel. 03-3480-2111 (代) E-mail : serl-rr-ml@criepi.denken.or.jp

報告書の本冊(PDF版)は電中研ホームページ <http://criepi.denken.or.jp/> よりダウンロード可能です。

[非売品・無断転載を禁じる] ©2016 CRIEPI 平成28年7月発行