

XTAP 例題集		番 号	HVDC-02
例題名	自励 HVDC モデル		
分 野	パワーエレクトロニクス		
文 献	町田武彦編著, 「直流送電工学」, 東京電機大学出版局		
概 要	<p>本モデルは基本的な制御系, 及び保護系を備えているため, 本モデルをコピーし, 定格値を変更することで, その他のシミュレーションに応用することが可能である。</p> <p>本例題では自励変換器を用いた直流送電システムの回路シミュレーションを行う。本例題では STATCOM の例題でも使用した 2 レベル変換器を, 直流線路を挟んで背中合わせに接続することで直流送電システムとしている。自励変換器には他励変換器と比較した場合, ①変換器自体が無効電力を出力可能なため調相設備が不要である, ②短絡容量の小さい比較的弱い系統にも適用が可能である, などの利点がある。本例題では変換器の起動, 潮流反転, 直流本線地絡事故を行った場合のシミュレーション波形を示す。</p> <p>なお, 本例題の直流線路を省略すると BTB(Back-To-Back)構成となり, 周波数変換目的としても使用できる。</p>		

はじめに・モデルの使い方

自励 HVDC モデルを使用するのに必要な各パラメータは末尾の表を参照のこと。また、自励式 HVDC の有効電力出力を変更する場合、”HVDC/MASTER”内の”Pdorder”を変更すること。

解析回路・解析条件

図 1 に解析回路を示す。また、図 2 にモデル概略図を示す。

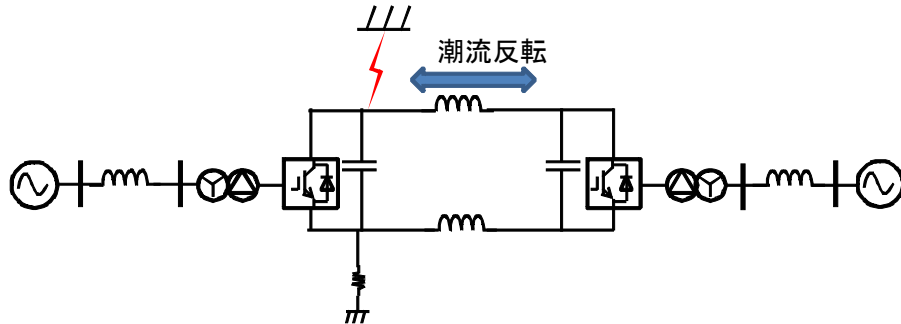


図 1 解析回路

自励HVDCモデル

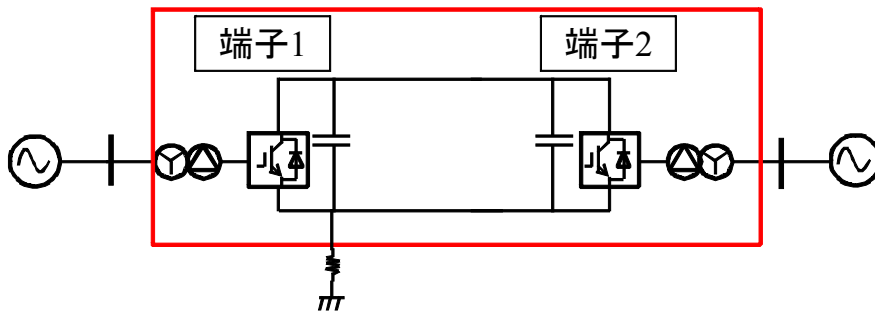


図 2 モデル概略図

- ・ 定格機器容量: 50 MW (55.9 MVA), 1 次側定格電圧: 66 kV, 2 次側定格電圧: 56 kV, 直流電圧: 125 kV である。
- ・ 直流送電システムは系統の短絡容量模擬のインピーダンスを介して系統(66 kV)と連系されている。
- ・ 本シミュレーションでは①起動, ②潮流反転, ③直流本連地絡事故のシミュレーションを行う。シミュレーション時刻 $t = 0.05$ 秒で変換器が起動を開始。 $t = 0.25$ 秒で制御系が起動し端子 1 から端子 2 に送電する。 $t = 0.5$ 秒で電力指令値を変更し潮流反転を開始する。 $t = 0.8$ 秒で地絡事故が遮断器により除去される。

解析結果

起動時の変換器の動作は FACTS-02 の STATCOM モデルの例題を参照のこと。図 3, 図 4 に潮流反転時の直流回路の電圧, 電流を示す。また, 図 5, 図 6 に潮流反転時の端子 1, 端子 2 から

出力される有効電力，無効電力を示す。本シミュレーションでは各端子の無効電力制御は交流側定電圧制御(ACA VR)を行っており，変換器の端子電圧が 1.0 p.u.に近づくように無効電力の制御を行う。

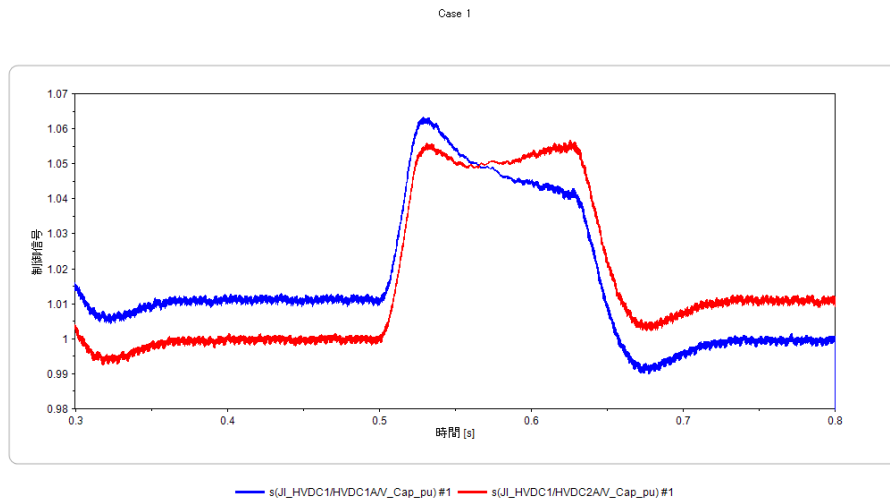


図3 直流電圧 [p.u.] 青線：端子 1，赤線：端子 2（基準電圧は 125 kV）

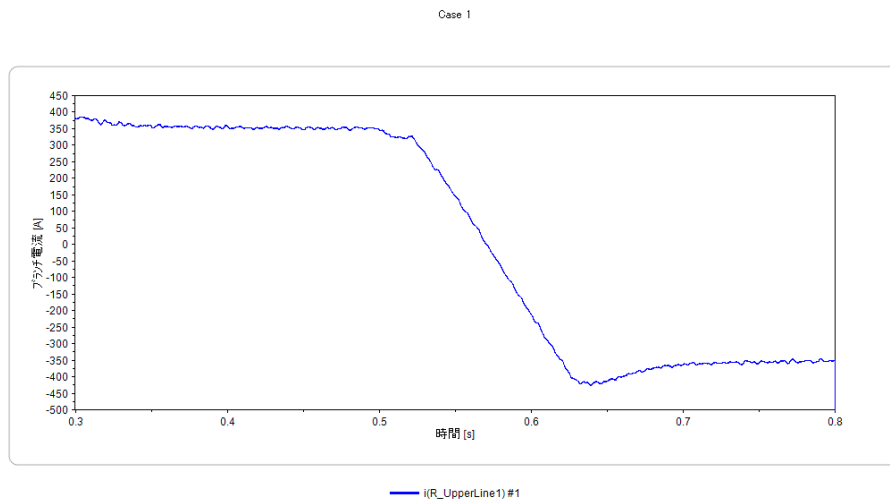


図4 直流電流 [A]

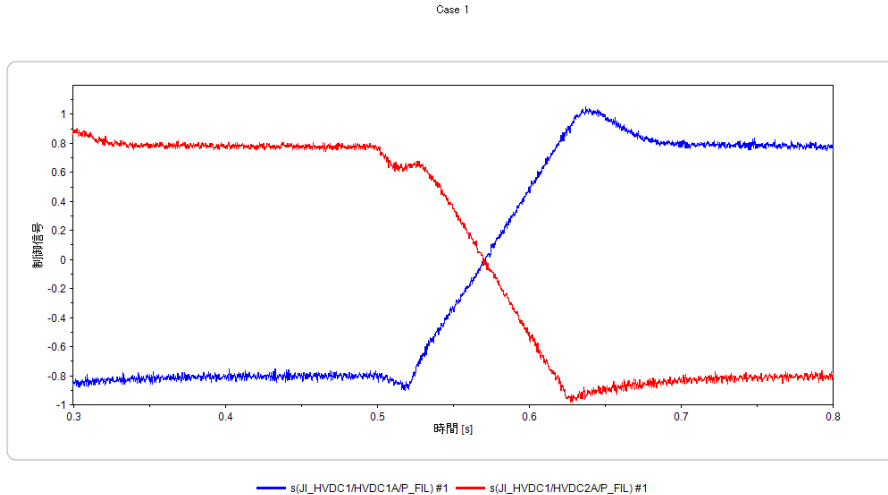


図5 有効電力 [p.u.] 青線：端子1，赤線：端子2（基準容量は55.9 MVA）

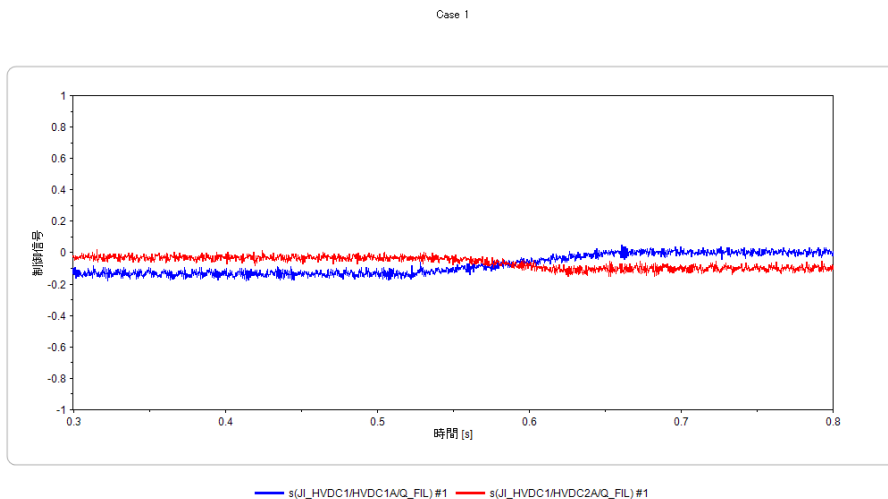


図6 無効電力 [p.u.] 青線：端子1，赤線：端子2（基準容量は55.9 MVA）

t=0.5秒の時点で電力指令値が45 MW(0.8 p.u.)から-45 MW(-0.8 p.u.)に切り替わり潮流反転が開始される。順変換器側(Rectifier)が有効電力制御を行い、もう一方の系統に送る電力を決定し、逆変換器側(Inverter)が直流電圧制御を行い、直流電圧を決定する。端子1から端子2まで電力を送る間に直流線路の抵抗分により電圧降下が生じるため、端子2の直流電圧は指令値(1.0 p.u.)に追従し1.0 p.u.となっているが、端子1の直流電圧は指令値よりも電圧が高くなっている。潮流が反転すると上記とは逆に端子1の直流電圧が指令値に追従し、端子2の電圧は指令値よりも高くなっている。

また、図7に直流事故時の直流電圧、図8に直流事故時の系統側出力電流を示す。t = 0.8秒で直流事故が発生するとエネルギー蓄積用コンデンサが短絡されるのと同じことになるため、直流電圧が0になる。また、システムが直流事故を検出後、変換器はゲートブロック(GB)→遮断器開放の操作を行うため、事故期間中は変換器から大きな電流が出力されるものの、遮断器開放後は系統側出力電流が0になる。

Case 1

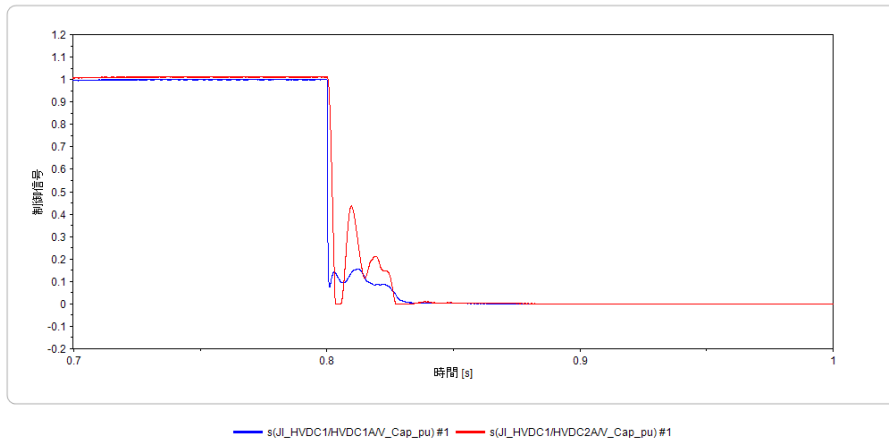


図5 直流電圧 [p.u.] 青線：端子1，赤線：端子2（基準電圧は125kV）

Case 1

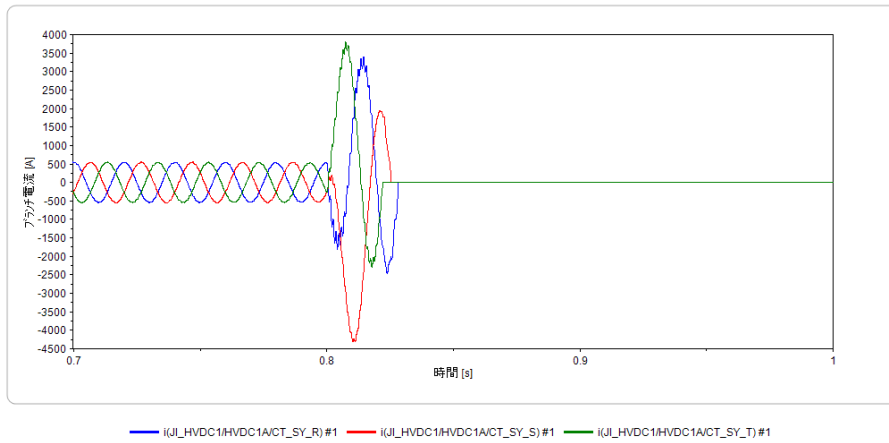


図5 系統側出力電流 [A]

モデルの各パラメータとその内容を示す。なお、端子 2 の設定については、端子 1 と変数名が同じで末尾の 1 が 2 に置き換わっただけであるので、ここでは割愛する。

	Name	Unit	Item
共通定数	Rate_P	W	定格有効電力
	Rate_Vdc	V	定格直流電圧
	SSRelayOffTime	s	シミュレーション開始時のリレー不動作時間
	SystemFrequency1	Hz	系統周波数
	Rate S1	VA	定格容量
	Rate_V1 Itol1	V	変圧器 1 次側線間電圧実効値
	Rate_V2 Itol1	V	変圧器 2 次側線間電圧実効値
	PWMPulseNumber	-	PWM パルス数(一周期あたり)
	R_TransGND1	Ω	変換器用変圧器の接地抵抗
	H1	s	静電定数
	Flag_ACAVR1	-	ACAVR フラグ(1:採用, 0:不採用), Flag_AQR との選択
	Flag_AQR1	-	AQR フラグ(1:採用, 0:不採用), Flag_ACAVR との選択
	Vac_order1	p.u.	交流電圧指令値(ACAVR 指令値)
	Q_order1	p.u.	無効電力指令値(AQR 指令値)
	PWMPhase1	deg	PWM 搬送波の位相角
	R_connect_pu1	p.u.	変換器用変圧器の抵抗
	L_connect_pu1	p.u.	変換器用変圧器のインダクタンス
	Spu_filter11	p.u.	高次フィルタの基本波容量 (分母は変換器の定格容量)
	Q_filter11	-	高次フィルタの先鋭度
	Spu_filter21	p.u.	高次フィルタの基本波容量 (分母は変換器の定格容量)
	Q_filter21	-	高次フィルタの先鋭度
	Gain_ACR1	-	ACR ゲイン
	T_ACR1	s	ACR 時定数
	Gain_APR1	-	APR ゲイン
	T_APR1	s	APR 時定数
	Lag_APR1	s	APR 一次遅れ時定数
	Gain_DCAVR1	-	DCAVR ゲイン
	T_DCAVR1	s	DCAVR 時定数
	Gain_AQR1	-	AQR ゲイン
	T_AQR1	s	AQR 時定数
	Gain_ACAVR1	-	ACAVR ゲイン
	T_ACAVR1	s	ACAVR 時定数
	Vmag1	-	電圧マージン
	Pmag1	-	電力マージン
	Lag_Margin1	s	マージン切り替え時の一次遅れ時定数 (切り替え速度)
	Invlimit1	p.u.	変換器最大電流 (分母は変換器定格)
	K_DCFRD1	-	直流事故検出リレーのゲイン (値が小さいほど敏感)
T_DCFRD1	s	直流事故検出リレーの一次遅れ時定数	
Threshold_OC1	p.u.	過電流リレー閾値	
Threshold_DCOV1	p.u.	直流過電圧リレー閾値	
Threshold_DCUV1	p.u.	直流不足電圧リレー閾値	
Threshold_OV1	p.u.	交流過電圧リレー閾値	
Threshold_UV1	p.u.	交流不足電圧リレー閾値	

Threshold_OF1	p.u.	周波数上昇リレー閾値
Threshold_UF1	p.u.	周波数低下リレー閾値
VAMP_LAG1	s	交流電圧検出の一次遅れ時定数
FREQ_LAG1	s	周波数検出の一次遅れ時定数
RecoveryTime1	-	故障リレー解除から実際の保護操作解除までの遅れ
GBTime1	s	GB 実施時間
NoDetectPeriod1	s	起動時の一部リレー不動作時間
CalculationTime1	s	制御周期
DeadTime1	s	デッドタイム
Flag_DirectSample1	-	電圧, 電流量直接検出フラグ (3 種の中から選択)
Flag_AverageSample1	-	電圧, 電流量の移動平均による検出フラグ (3 種の中から選択)
Flag_PeakTopSample1	-	電圧, 電流量のピークトップ検出のフラグ (3 種の中から選択)
ChargeCircuitCloseTime1	s	充電開始時刻 (過渡状態からスタートなら負の大きい値を代入)
ChargeTime1	s	充電時間
Control_StartDelay1	s	充電終了から, 制御系動作開始までの時間

以上

更 新 履 歴

日 付	例題ファイル バージョン	変 更 内 容
2019/12/3	2.3	部品名称（HVDC（自励式変換器）→HVDC 用自励式変換器）を変更
2018/6/29	2.2	部品のアイコンを変更
2018/1/26	2.1	HOLD 信号の作成ロジックを修正
2014/11/19	2.0	XTAP Version 2.00 用に修正
2014/07/22	1.4	変換器アームのスナバコンデンサの削除と一部数式修正
2013/04/15	1.3	モデル中の図の修正とパラメータ入力フォーマットの変更に伴う更新
2012/08/29	1.2	自励 HVDC のモデル修正に伴う更新 直流本線地絡事故波形の追加
2012/07/19	1.1	XTAP Version 1.20 用に修正
2010/10/18	1.0	初版作成（XTAP Ver. 1.11 用）