

XTAP 例題集		番 号	HVDC-01
例題名	他励 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>現在, 他励変換器は直流送電, 周波数変換, BTB など様々な用途に用いられている。本例題では周波数変換所を例に変換器の起動, 交流三相地絡事故を行った場合のシミュレーション波形を示す。なお, 本例題に直流線路を追加すると直流送電目的としても使用できる。</p> <p>変換器の回路は 6 相グレッツ結線を 2 段直列に接続したものであり, 11, 13 次及びその倍数の高調波が発生するため, 高調波を除去するための交流フィルタが変換器と系統の間に接続されている。また, 他励変換器は運転時に無効電力を消費するため無効電力を補償するための調相設備が接続されている。</p>		

はじめに・モデルの使い方

他励 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、他励式 HVDC の起動時間を変更する場合”HVDC1/MASTER”内の”MASTER_Start”を、有効電力出力を変更する場合、”HVDC1/MASTER”内の”Pdorder”を変更すること。

解析回路・解析条件

図 1 に XTAP で作成した解析回路を、図 2 に他励 HVDC モデルの概略図を示す。

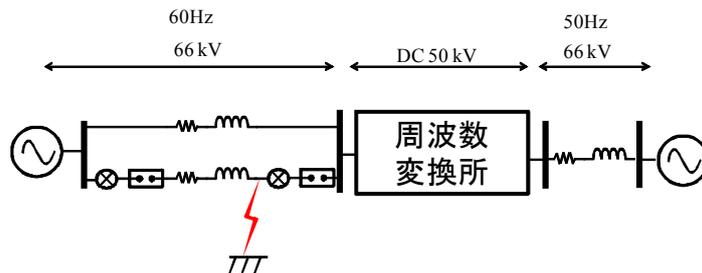


図 1 解析回路

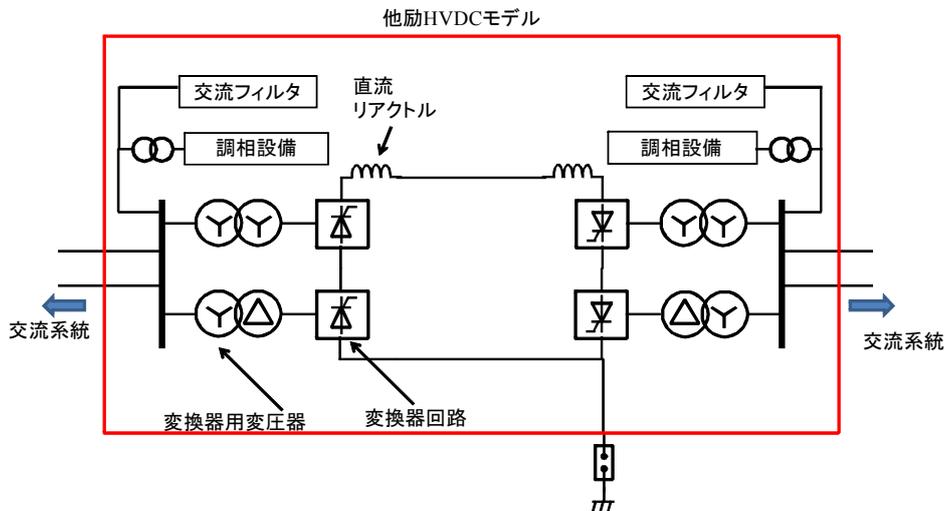


図 2 モデル概略図

また変換器の主な回路条件は、

定格容量: 50 MW, 定格直流電圧: 50 kV, 定格直流電流: 1000 A

変換器用変圧器定格電圧: 66 kV/22kV

である。

解析結果

図 3 に電圧, 電流計測点を示す。

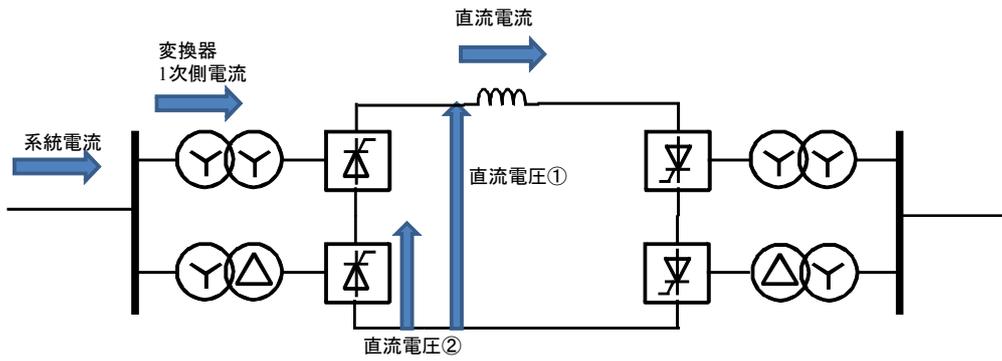


図3 電圧，電流計測点

図4，図5に変換器の起動波形時の直流電流，直流電圧波形を示す。起動完了後電流，電圧ともに定格値になっており起動が正常に行われていることが分かる。

Case 1

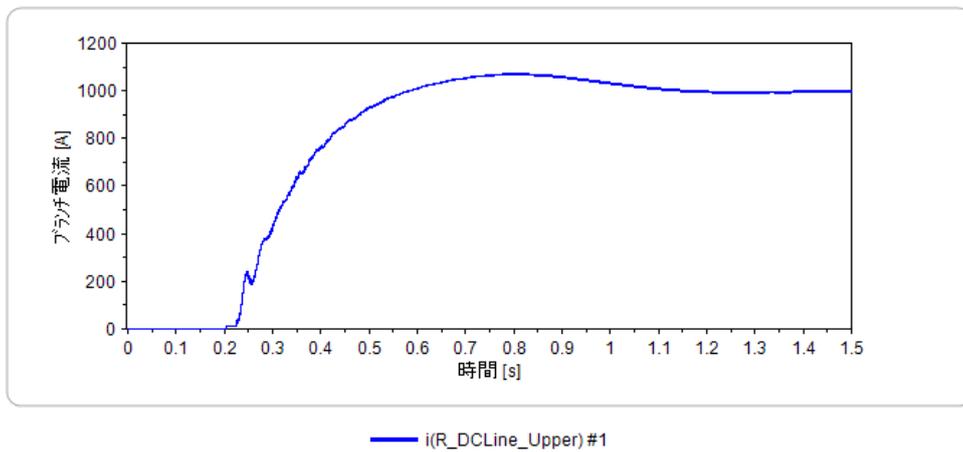


図4 起動時の直流電流波形

Case 1

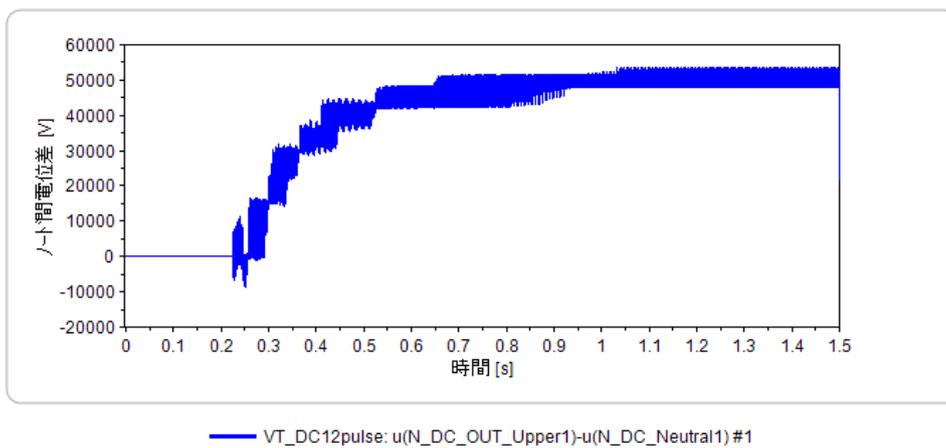


図5 起動時の直流電圧波形（直流電圧①）

また，図6に変圧器1次側に流れる電流を，図7に系統を流れる電流を示す。変圧器に流れる

電流は方形波に近い電流であり、直流電流が切り刻まれた波形となっている。この高調波を多量に含んだ電流は交流フィルタを通過することで高調波が除去され正弦波となる。

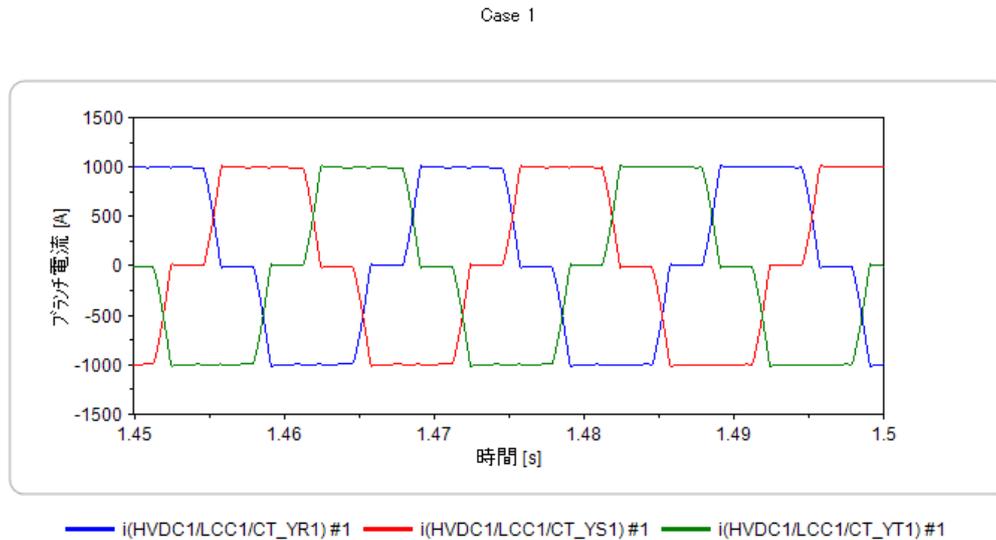


図 6 変換器用変圧器 1 次側電流

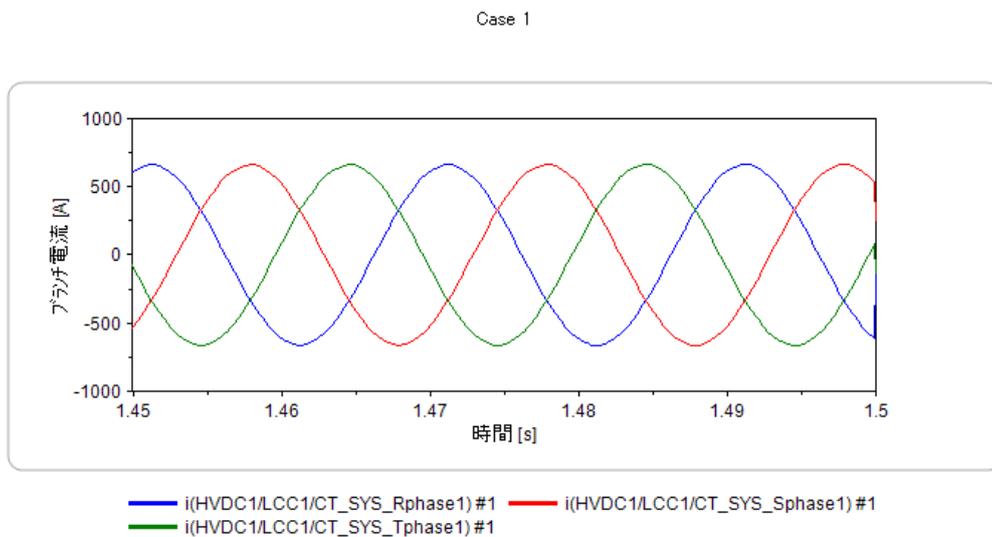


図 7 系統を流れる電流

変換器起動時の制御角 α の波形を図 8 に示す。図より 60Hz 側の制御角は定常状態において約 20 度であり 90 度以下であるため、順変換器として動作していることが分かる。一方 50 Hz 側の変換器は 137 度であり 90 度以上であるため、逆変換器として動作していることが分かる。

Case 1

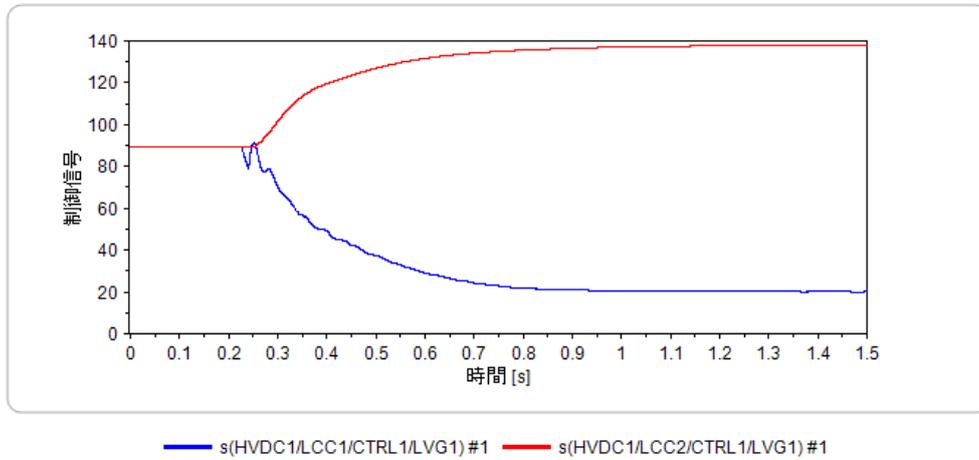


図 8 制御角 α 赤線：50 Hz 側，青線 60Hz 側

交流側 3 相地絡時の直流電流波形を図 9 に，直流電圧波形を図 10 に，制御角を図 11 に示す。システムが交流電圧低下を検出すると，ゲートシフト (GS) →ゲートブロック (GB) →再起動 (RST) の保護操作が実施される。本シミュレーションでは GS 角は 100 度に設定しているため，ゲートシフト期間中，変換器の制御角は 100 度より大きくなる（ここでは 100 度）。GS の働きにより直流電流は 0 となり，変換器は一旦停止するが，交流事故が除去され交流電圧が回復した後は再起動が行われ，変換器は電圧，電流ともに指令値に従い再び運転される。

Case 1

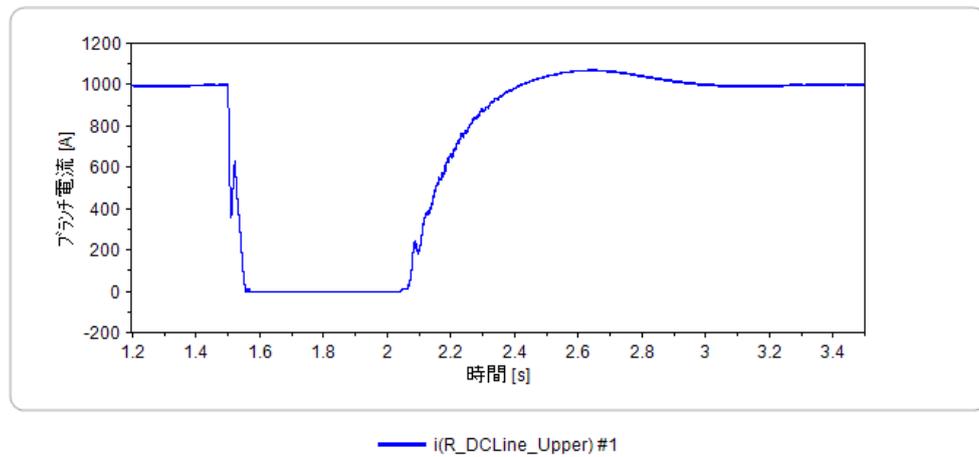
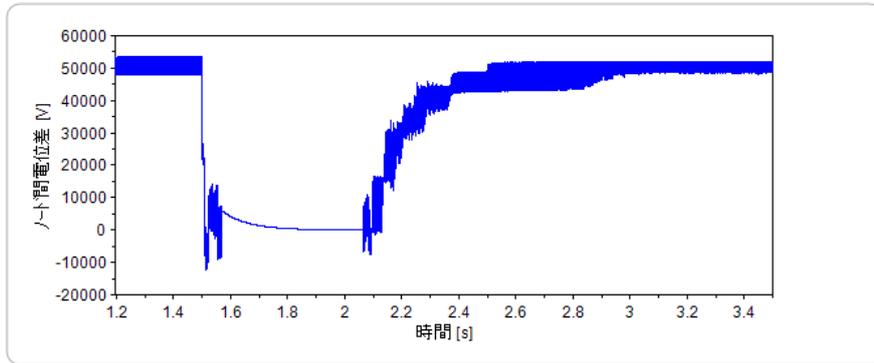


図 9 直流電流波形

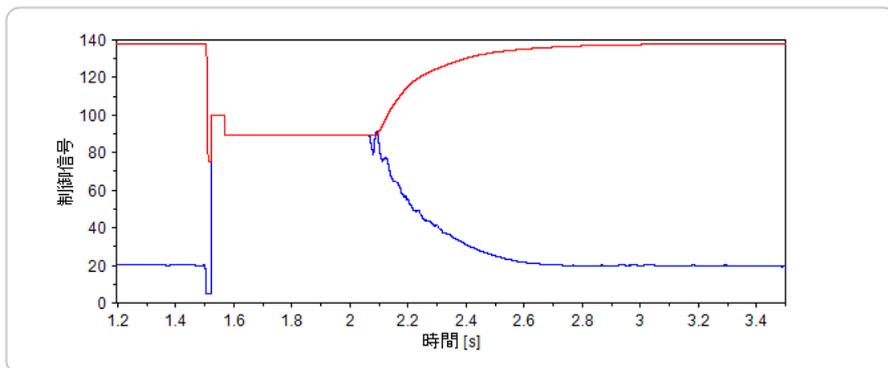
Case 1



— VT_DC12pulse: u(N_DC_OUT_Upper1)-u(N_DC_Neutral1) #1

図 10 直流電圧波形

Case 1



— s(HVDC1/LCC1/CTRL1/LVG1) #1 — s(HVDC1/LCC2/CTRL1/LVG1) #1

図 11 制御角 α 赤線 : 50 Hz 側, 青線 60Hz 側

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
Rate_P	W	定格電力
Rate_Vdc	V	定格直流電圧
IdcMin	p.u.	最小直流電流値
CurrentLimit	p.u.	電流絞り(CurrentLimit)時の最大電流指令値
ReverseTime	s	潮流反転速度
ReversePeriod	s	潮流反転のため制御角リミタを広げる期間
LimitOpenDelay	s	起動用 BPP 解除から制御角リミタを開くまでの時間
PulseWidth	deg	点弧パルス幅
SSRelayOffTime	s	シミュレーション開始時のリレー不動作時間
APR_K	-	APR ゲイン
APR_T1	s	APR 一次遅れ時定数
APR_T2	s	APR 一次進み時定数
Limit_APR	-	APR のリミタ(上限リミタ, 下限リミタ)
SystemFrequency1	Hz	系統周波数
Rate_S_Trans1	VA	変換器用変圧器の容量(Y-Y と Y-D 変圧器の合計)
L_DCKpu1	H	直流リアクトルインダクタンスの規格値(カソード側)
L_DCpu1	H	直流リアクトルインダクタンスの規格値(アノード側)
R_DCKpu1	Ω	直流リアクトルの抵抗の規格値(カソード側)
R_DCpu1	Ω	直流リアクトルの抵抗の規格値(アノード側)
Rate_V1_ltol1	Vrms	変圧器 1 次側線間電圧実効値
Rate_V2_ltol1	Vrms	変圧器 2 次側線間電圧実効値
Trans_Rpu1	p.u.	変換器用変圧器の抵抗
Trans_Lpu1	p.u.	変換器用変圧器のインダクタンス
IdcBiasDeg1	deg	電流バイアス(REC 運転時の制御角概算値)
VdcBiasDeg1	deg	電圧バイアス(INV 運転時の制御角概算値)
Vdc_Order_Lag1	s	直流電圧指令変更時の一次遅れ時定数
Idc_Order_Lag1	s	直流電流指令変更時の一次遅れ時定数
IdcMesLag1	s	直流電流測定の一次遅れ時定数
VdcMesLag1	s	直流電圧測定の一次遅れ時定数
ACR_K1	-	ACR ゲイン
ACR_T11	s	ACR 一次遅れ時定数
ACR_T21	s	ACR 一次進み時定数
AVR_K1	-	AVR ゲイン
AVR_T11	s	AVR 一次遅れ時定数
AVR_T21	s	AVR 一次進み時定数
GammaZeroDeg1	deg	余裕角設定
StartDegree1	deg	起動角
Start_TConst1	s	起動時の電流立ち上がりの一次遅れ時定数
AlimitInvU1	deg	制御角上限(INV 運転時)
AlimitRecU1	deg	制御角上限(REC 運転時)
AlimitInvL1	deg	制御角下限(INV 運転時)
AlimitRecL1	deg	制御角下限(REC 運転時)
LimitOpenTimeU1	s	制御角上限変化時の一次遅れ時定数
LimitOpenTimeL1	s	制御角下限変化時の一次遅れ時定数
VAMP_LAG1	s	交流電圧測定の一次遅れ時定数

FREQ_LAG1	s	周波数検出の一次遅れ時定数
K_CF1	-	転流失敗検出リレーのゲイン(値が小さいほど敏感)
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_UV1	p.u.	交流不足電圧リレー閾値
Threshold_OV2	p.u.	交流過電圧リレー閾値
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
RecoveryTime1	s	故障リレー解除から実際の保護操作解除までの遅れ
GSTime1	s	GS 実施時間(GS 開始から GB までの時間)
BPPTime1	s	BPP 実施時間(BPP 開始から GB までの時間)
GBTime1	s	GB 実施時間(GB 開始から CBT までの時間)
GSDegree1	deg	GS 角
BFDegree1	deg	ベータ進め角
BF_IncLag1	s	ベータ進め解除時の一次遅れ時定数
BF_DecLag1	s	事前ベータ進めを実施する際の一次遅れ時定数
BFTime1	s	ベータ進め期間
Rate_V_PM1	Vrms	調相用変圧器の定格電圧
R_Trans_GND1	Ω	変換器用変圧器の接地抵抗(1 つあたり)
Threshold_PM11	p.u.	シャントリアクトル 1 入切の閾値
Threshold_PM21	p.u.	シャントリアクトル 2 入切の閾値
Threshold_PM31	p.u.	スタコン 1 入切の閾値
Threshold_PM41	p.u.	スタコン 2 入切の閾値
Threshold_PM51	p.u.	スタコン 3 入切の閾値
Threshold_PM61	p.u.	スタコン 4 入切の閾値
Hysteresis_PM1	p.u.	調相入切のヒステリシス量
Spu_Tr_PM1	p.u.	調相用変圧器の定格容量(分母は変換器の定格有効電力)
Lpu_Tr_PM1	p.u.	調相用変圧器のインダクタンス(分母は調相用変圧器の定格容量)
S_Shant_pu1	p.u.	シャントリアクトル 1 つ当たりの容量(分母は変換器の定格有効電力)
S_SC_pu1	p.u.	スタコン一つ当たりの容量(分母は変換器の定格有効電力)
R_Filter_GND1	Ω	交流フィルタの接地抵抗(1 つあたり)
F_5_pu1	p.u.	5 次フィルタの共振次数
Q_51	-	5 次フィルタの先鋭度
S_5_pu1	p.u.	5 次フィルタの基本波容量(分母は変換器の定格有効電力)
F_11_pu1	p.u.	11 次フィルタの共振次数
Q_111	-	11 次フィルタの先鋭度
S_11_pu1	p.u.	11 次フィルタの基本波容量(分母は変換器の定格有効電力)
F_13_pu1	p.u.	13 次フィルタの共振次数
Q_131	-	13 次フィルタの先鋭度
S_13_pu1	p.u.	13 次フィルタの基本波容量(分母は変換器の定格有効電力)
F_HP_pu1	p.u.	高次フィルタの共振次数
Q_HP1	-	高次フィルタの先鋭度
S_HP_pu1	p.u.	高次フィルタの基本波容量(分母は変換器の定格有効電力)
Rsnubber_pu1	-	RC スナバの R 設定
Csnubber_pu1	-	RC スナバの C 設定
Rpressure_pu1	-	分圧抵抗の設定
Lanode_pu1	-	アノードリアクトルの設定
DeionTime1	s	サイリスタの Deionization Time(マニュアルの Thy の Tdeion の項参照)

以上

新 履 歴

日 付	例題ファイル バージョン	変 更 内 容
2019/12/3	2.2	部品名所（HVDC（他励式変換器）→HVDC 用他励式変換器）に変更
2018/6/29	2.1	部品のアイコンを変更
2014/11/19	2.0	XTAP Version 2.00 用に修正 三相電圧源モデルを修正（無限大母線発電機部品を COS 波電圧源に変更）
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。初期化機能の追加。
2012/08/29	1.2	他励 HVDC のモデル修正に伴う更新 交流側 3 相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 Version1.11 用）

