

XTAP 例題集		番 号	MAC-01-A
例題名	同期発電機 (1 機無限大母線系統における片回線 3LG-O 事故, 一定励磁)		
分 野	電力系統応用		
文 献	<p>本研修コースのために作成した例題であるため, 文献なし。</p> <p>※同期発電機のモデリングと系統特性については, 電気機器や電力系統工学の教科書等を参照のこと。たとえば,</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 電気学会技術報告 第 798 号「同期機諸定数の適用技術」 ・ 新田目倅造:「電力系統技術計算の応用」, 電気書院 ・ C. Concordia, “SYNCHRONOUS MACHINES Theory and Performance”, JOHN WILEY & SONS, INC. など。 		
概 要	<p>解析する系統は, 同期発電機 1 機と無限大母線が並行 2 回線送電線で接続された 1 機無限大母線系統である。</p> <p>本例題では, 並行 2 回線送電線の片回線に 3 相地絡事故が生じ, その回線の両端の遮断器が動作して事故が除去される現象を模擬し, 同期発電機の動特性の解析を行う。同期発電機の界磁電圧は一定値とする。</p>		

解析回路・解析条件

解析する系統の単線結線図を図 1 に示す。図中の文字は、ゴシック体はインピーダンスの値、イタリック体は指定する潮流条件の値である。

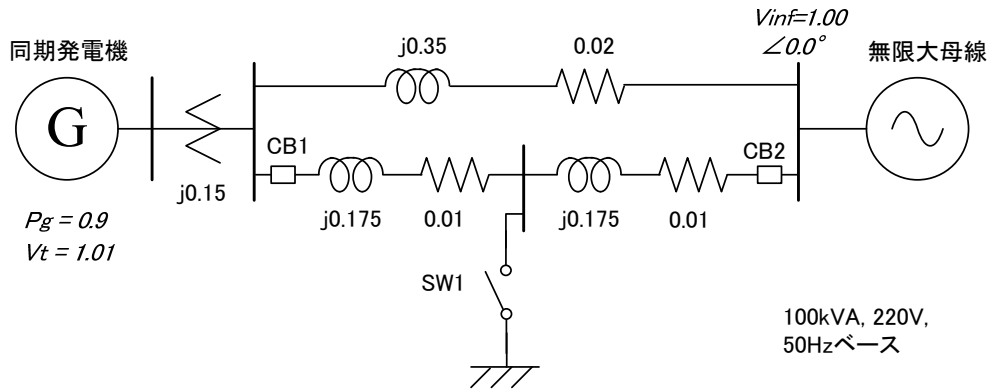


図 1 解析対象とする系統

【解析する現象】

図 1 のモデル系統において、時刻 0.5 秒で SW1 を閉じて 3 相地絡事故を発生させ、時刻 0.57 秒で CB1, CB2 を開放することにより事故を除去する。これにより、3LG-O 事故に対する同期発電機の応動をシミュレーションする。

同期発電機の界磁電圧は一定値とする (AVR ブロックのゲイン G2 を零とする)。

機械入力 T_m は、初期値を T_{m0} 、角速度を ω として、 $T_m = T_{m0} / \omega$ で与えられるものとする。

【同期発電機モデル】

同期発電機モデルは Park の式に基づく構成とした。回転子回路は d 軸, q 軸の 2 軸から成る。ダンパは d 軸, q 軸に各 1 本である。空隙磁束の飽和は考慮していない。

本例題で用いる発電機定数を表 1 に示す。解析の際には、発電機定数から、発電機モデルの回路定数 (抵抗とリアクタンスの値) が自動的に算出され、回路素子に代入される。

定常初期化は、本例題では同期発電機が接続するノードを PV 指定とし、最初に系統側の初期潮流計算を行う。次に、潮流計算結果を受けて、発電機母線の諸量を満たすよう、発電機の内部変数の初期値が自動的に算出され、回路素子に設定される。

表 1 発電機定数

項目	値
単位慣性定数 [s]	$M = 8.05$
同期リアクタンス [p.u.]	$X_d = 1.86, X_q = 1.35$
過渡リアクタンス [p.u.]	$X_d' = 0.44$
初期過渡リアクタンス [p.u.]	$X_d'' = X_q'' = 0.37$
短絡過渡時定数 [s]	$T_d' = 0.733$
短絡初期過渡時定数 [s]	$T_d'' = T_q'' = 0.048$
電機子時定数 [s]	$T_a = 0.29$
電機子漏れリアクタンス [p.u.]	$X_L = 0.25$

【同期発電機モデル以外の回路要素】

無限大母線電圧模擬には正弦波電源を用いる。簡単のため、送電線は線形抵抗と線形インダクタンスの直列接続により模擬し、変圧器は線形インダクタンスとした。

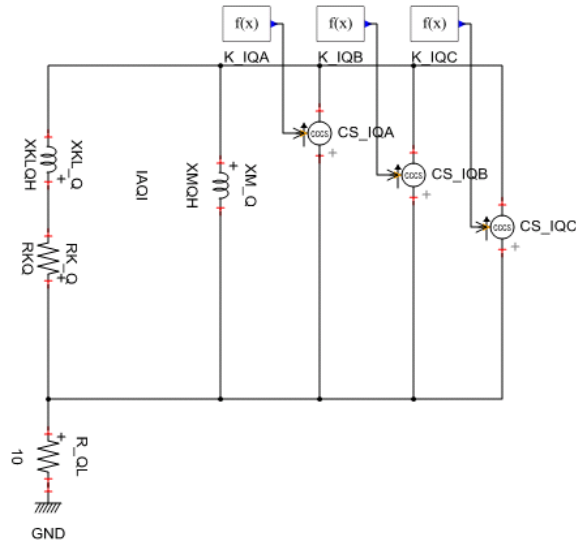
【解析条件】

解析条件は以下の通りとする。

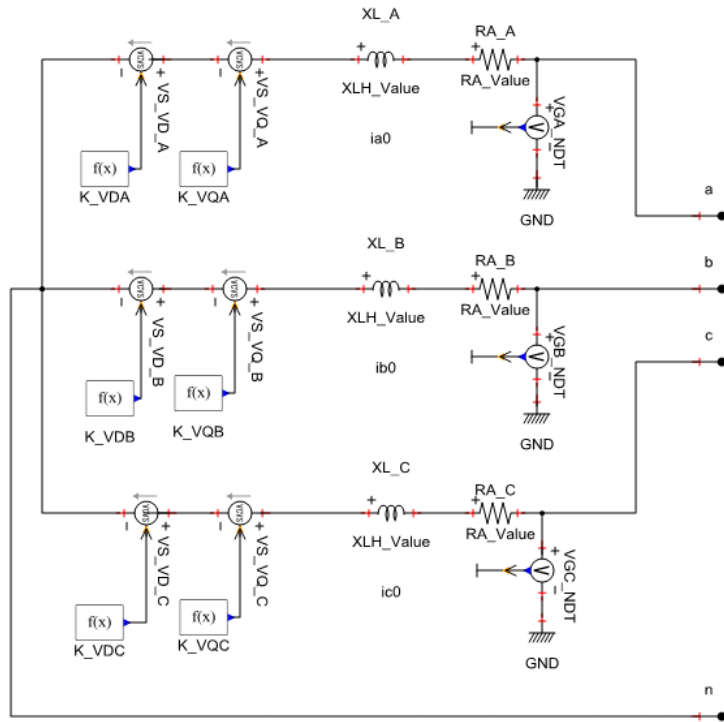
	全体	瞬時値の拡大図用
・ 計算時間刻み	100 μ s	同左
・ 計算開始時間	0s	同左
・ 計算終了時間	10s	同左
・ 表示開始時間	0s	0.45s
・ 表示終了時間	10s	0.70s
・ 出力頻度	10	同左

【XTAP 入力例】

図 1 のモデルシステムを XTAP 上で作成した例を図 2, 図 3 に示す。



(b) q 軸回路



(c) 電機子回路

図3 同期発電機モデル

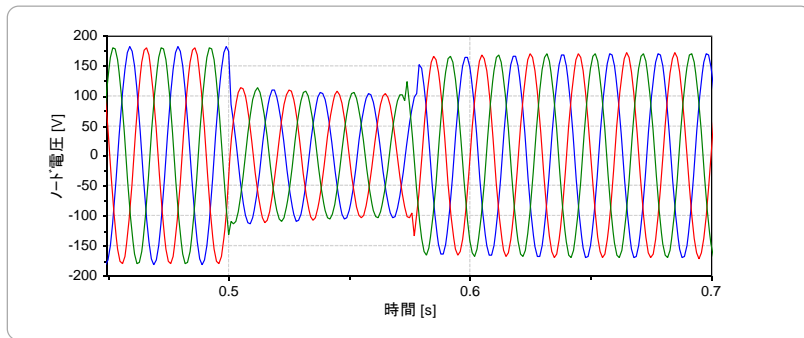
解析結果

本例題を XTAP により実行した結果を図 4 に示す。

図 4(a)は事故発生時の発電機端子電圧の 3 相瞬時波形である。3LG 事故により、事故中は端子電圧が低下する。同図(b)は発電機電機子電流の 3 相瞬時波形である。基本波交流分に過渡直流分が重畳している。同図(c), (d)は α - β 変換を用いて算出した瞬時有効電力と瞬時無効電力である。電機子電流の過渡直流分の影響により、3LG-O 事故直後に振動が重畳している。本ケースでは、過渡直流分は数百 ms で減衰する。図 4(e)は端子電圧の実効値、(f)は界磁電圧である。本例題では界磁電圧を一定としているため、1 回線開放により系統条件が変わると端子電圧が 1.0pu に保たれず、低下している。図 4(g)は内部相差角である。1 回線開放により系統のインピーダンスが増加したことに伴い、内部相差角が大きくなっている。

また、発電機の回転子の速度偏差には逆動揺現象（バックスウィング）が見られる（図 4(h)）。このときの機械トルク入力と電磁トルク出力の関係を図 4(i)に示す。過渡直流分により電磁トルク出力が変動し、これが機械トルク入力を上回っている間、発電機回転子が減速する。

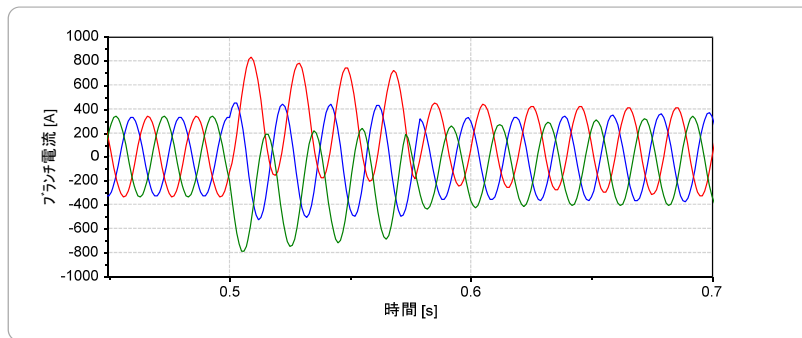
MAC-01-A



— u(NDT_A) #1 — u(NDT_B) #1 — u(NDT_C) #1

(a) 端子電圧[V]

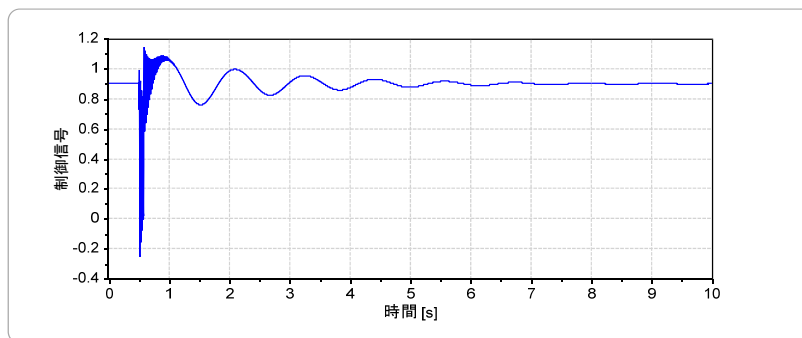
MAC-01-A



— i(SyncGen1/XL_A) #1 — i(SyncGen1/XL_B) #1 — i(SyncGen1/XL_C) #1

(b) 電機子電流[A]

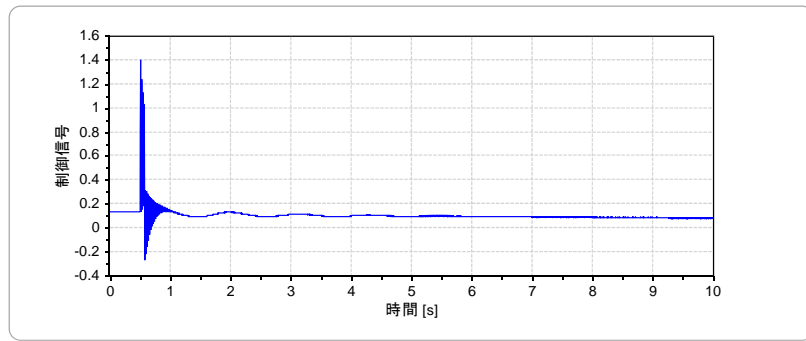
MAC-01-A



— s(SyncGen1/PG_PU) #1

(c) 有効電力[p.u.]

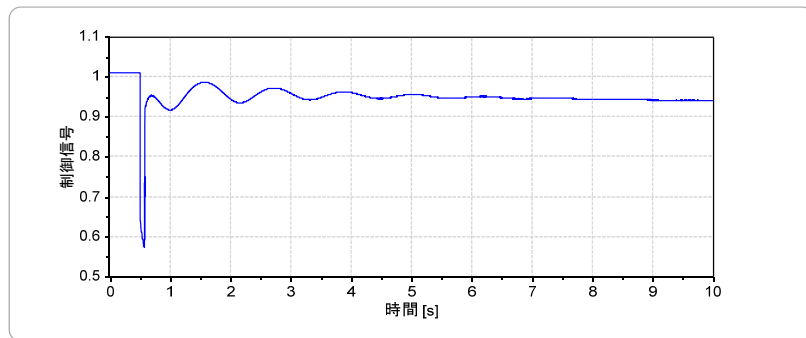
MAC-01-A



s(SyncGen1/QG_PU) #1

(d) 無効電力[p.u.]

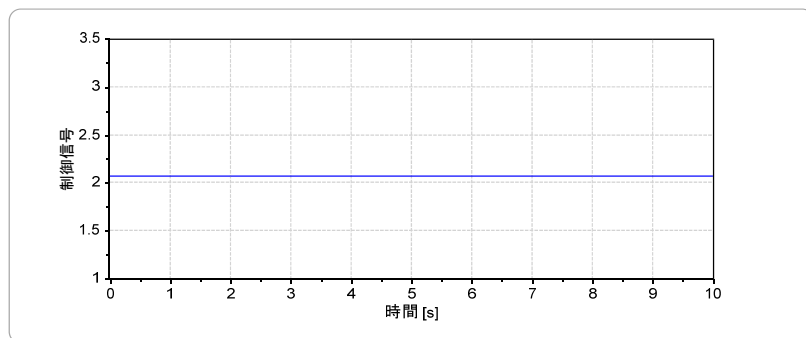
MAC-01-A



s(SyncGen1/EA_PU) #1

(e) 端子電圧実効値[p.u.]

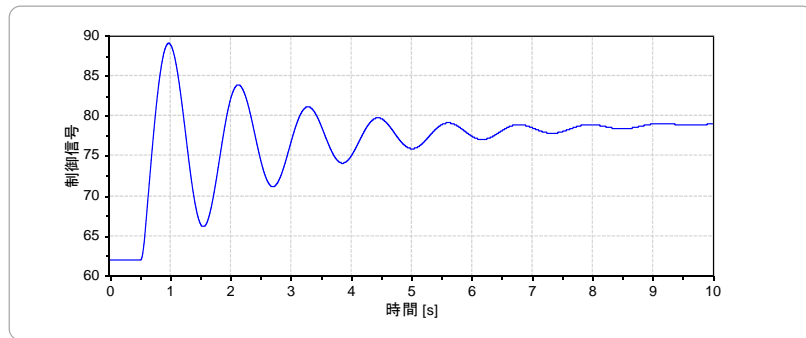
MAC-01-A



s(SyncGen1/EFD_S) #1

(f) 界磁電圧[p.u.]

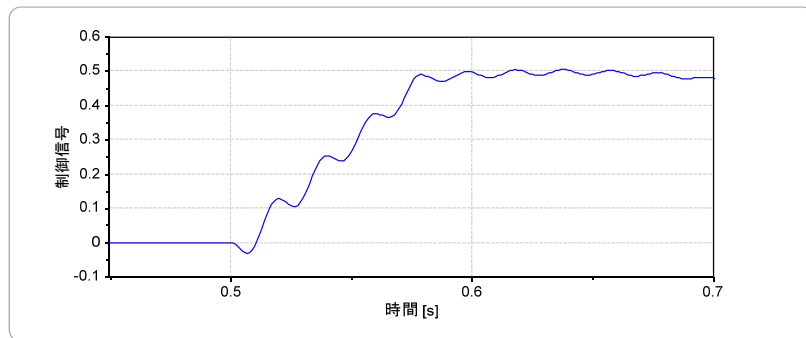
MAC-01-A



s(SyncGen1/AG_DEG) #1

(g) 内部相差角[deg.]

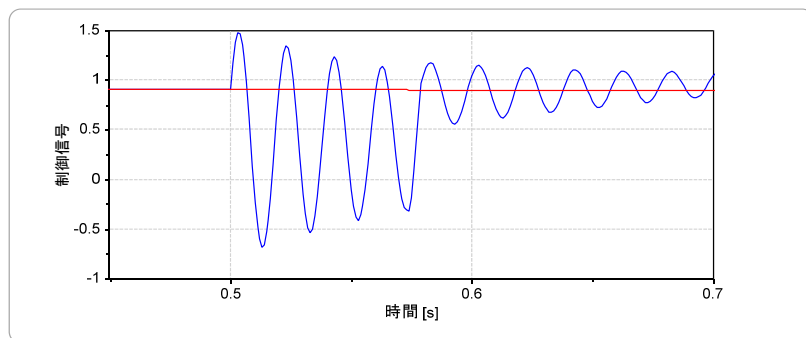
MAC-01-A



s(SyncGen1/SG_PER) #1

(h) 速度偏差[%]

MAC-01-A



s(SyncGen1/TG) #1 s(SyncGen1/TM) #1

(i) 電磁トルクと機械トルク[p.u.]

図4 XTAPによる解析結果

【出力変数】

グラフを作成する際の参考として、本例題の同期機モデルで設定されている出力変数を以下にまとめる。

- ◆ ノード電圧
 - ・ v(Sync_Gen1/VGA_NDT) 端子電圧[V]
- ◆ ブランチ電流
 - ・ i(Sync_Gen1/XFL_D) 界磁電流[p.u.A]
 - ・ i(Sync_Gen1/XL_A) 電機子電流[A]
- ◆ ブランチ電圧
 - ・ v(Sync_Gen1/EFD) 界磁電圧[p.u.V]
- ◆ 制御系
 - ・ s(AVR1/EF_out) AVR ブロック出力[p.u.V]
 - ・ s(AVR1/EFS_in) 界磁電圧初期値[p.u.V]
 - ・ s(GOV1/TM_GOV) GOV ブロック出力[p.u.V]
 - ・ s(Sync_Gen1/AG_DEG) 内部相差角[deg]
 - ・ s(Sync_Gen1/CA_PU) 電機子電流（実効値）[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/CK_PU) 制動電流[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/EA_PU) 端子電圧（実効値）[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/EFD_S) 界磁電圧[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/IMD_S) D 軸相互リアクタンス電流[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/IMQ_S) D 軸相互リアクタンス電流[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/IG_D) D 軸電流[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/IFD_S) 界磁電流[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/IKD_S) D 軸ダンパ電流[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/IKQ_S) Q 軸ダンパ電流[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/IG_Q) Q 軸電流[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/PG) 電気出力有効分[W]
 - ・ s(Sync_Gen1/PG_PU) 電気出力有効分[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/QG) 電気出力無効分[Var]
 - ・ s(Sync_Gen1/QG_PU) 電気出力無効分[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/SG_PER) 速度偏差[%]
 - ・ s(Sync_Gen1/TG) 電磁トルク[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/TM) 機械トルク[p.u.]
 - ・ s(Sync_Gen1/V_NDT) 端子電圧（実効値）[V]

以上

更 新 履 歴

日 付	例題ファイル バージョン	変 更 内 容
2014/11/19	2.0	XTAP Version 2.00 用に修正 部品の変更に伴い、PV 指定発電機母線 部品を再接続
2013/04/19	1.3	初期値計算改良による事故発生時刻の変更
2012/07/19	1.2	XTAP Version 1.20 用に修正
2011/10/18	1.1	XTAP Version 1.11 用に修正
2010/07/16	1.0	初版作成 (XTAP Version 1.10 用)

