

# 大型发电机变压器 内部故障分析与继电保护

主编 王维俭 王祥珩 王赞基

DAXING FADIANJI BIANYAQI  
NEIBUGUZHANG FENXI  
YU JIDIANBAOHU



中国电力出版社  
www.cepp.com.cn

# 大型发电机变压器 内部故障分析与继电保护

---

---

主编 王维俭 王祥珩 王赞基  
参编 王善铭 孙宇光 桂 林  
毕大强 张琦雪 唐起超



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## ● 内 容 提 要 ●

本书是清华大学电机工程与应用电子技术系 20 多年从事大机组继电保护的研究型著作, 内容主要涉及三峡、龙滩电站等的发电机组保护的设计和研究。第 1 章前半部分系统地介绍大机组继电保护的理论基础——“多回路分析法”; 后半部分集中讨论三峡、二滩、龙滩电站等的发电机内部短路主保护, 总结了 20 多个电站的设计经验, 改变了国内外长期应用的定性化设计传统, 首次提出大机组主保护的定量化和优化设计新方法。第 2 章深入研究了大型发电机各种中性点接地方式的优缺点, 以三峡电站发电机为对象, 严谨地进行了全面的科学试验, 最后提出三峡电站发电机中性点的最优接地方式。第 3 章着重研讨提高大型发电机定子单相接地保护的灵敏性和可靠性, 提出了利用单相接地故障分量的定子单相接地保护新方案。第 4 章是变压器内部短路的数字仿真, 对正确建立内部短路的变压器仿真模型提出了严谨、科学的方法, 对 2 台电力变压器进行了内部短路的数字仿真和试验验证。

本书主要供继电保护和电机理论的专业技术人员, 特别是主设备继电保护设计、运行和科研人员阅读, 也可作为高等院校相关专业高年级的教学参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

大型发电机变压器内部故障分析与继电保护/王维俭, 王祥珩, 王赞基主编. —北京: 中国电力出版社, 2006

ISBN 7-5083-4131-7

I. 大... II. ①王... ②王... ③王... III. ①发电机-故障诊断②变压器-故障诊断③发电机-继电保护④变压器-继电保护 IV. ①TM310.7 ②TM403.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 014310 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2006 年 6 月第一版 2006 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22 印张 495 千字

印数 0001—3000 册 定价 35.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

## 序 言

我国电力工业迅猛发展，发电机单机容量已达百万千瓦，为确保大型发电机、变压器安全运行，对其继电保护技术进行科学总结十分必要。本书在指出继电保护尚存在不足的基础上，对用最新技术装备的发电机、变压器继电保护进行了深入的研究和探讨。

继电保护技术的发展有赖于对短路故障特征的认识，而发电机、变压器绕组内部短路的分析计算，迄今尚未为国内外继电保护技术人员普遍掌握，以致发电机、变压器的主保护还停留在仅凭概念和传统经验的定性设计阶段，设计人员对被保护设备内部短路的故障特征心中无数，纵差保护的灵敏度仍沿用机端两相短路条件校验，横差保护则因技术原因无法作灵敏度校核，其结果是不论何种绕组结构的发电机或变压器，配置千篇一律的主保护方案，数十年间一成不变，保护技术长期停滞不前。

清华大学电机专业和继电保护专业科研人员的结合，在高景德教授的指导下，经20多年的跨学科合作努力，在国内外首先提出了“多回路分析法”，奠定了主设备主保护的理论基础，使发电机内部短路主保护技术面目一新，促进了“零序电流型横差保护”的推广和提高，“裂相或不完全裂相横差保护”和“纵差或不完全纵差保护”的完善和普及。

对于变压器内部短路计算的数字仿真，国内普遍采用国外的数学模型。本书指出该模型用于变压器绕组短路计算将严重失实，根据研究成果，开发了适用于继电保护的变压器内部短路计算仿真软件，将在大型电力工程中具体应用。

作者期望此书的问世将能使更多的中青年继电保护和电机专业工作者关注大型发电机、变压器继电保护新技术的研究和推广应用，尽快改变大机组主保护定性设计的现状。我们将一如既往地与国内同行交流合作，共同促进主设备保护技术的发展，并竭诚欢迎广大读者批评指正。

本书由王维俭教授主编继电保护部分，由王祥珩教授主编发电机内部短路分析计算部分，由王赞基教授主编变压器内部短路分析计算部分。其中：

第1章由王祥珩教授和桂林博士执笔；

第2章由张琦雪博士执笔；

第3章由毕大强博士执笔；

第4章由王赞基教授和唐起超博士执笔；

附录一由王善铭副教授执笔；

附录二由孙宇光博士执笔；

附录三～附录八由桂林博士提供。

全书由王维俭教授统一整理定稿。

最后，欢迎读者指出错误，并提出批评和建议。

编著者谨识

· 2005.7.1

# 符号说明

## 一、设备文字符号

C	电容器	TA	电流互感器、自耦变压器
L	电抗器、消弧线圈	TN ( Tn)	中性点接地变压器
R	电阻器	TV	电压互感器
T	变压器		

## 二、主要物理量符号

A	矢量磁位	$u$	交流电压瞬时值
B	磁通密度	$W$	磁场能量
F	磁通势	$w$	绕组匝数
$f$	频率	$X(x)$	电抗
$G (g)$	电导	$Y(y)$	导纳 (模值)
$H$	磁场强度	$Z$	阻抗 (复数)、总槽数
$I$	交流电流有效值或直流电流	$z$	阻抗模值
$i$	交流电流瞬时值	$\delta$	功角, 气隙
$J$	电流密度	$\varphi$	功率因数角、阻抗角
$l$	线路长度	$\Psi(\psi)$	磁链
$L$	电感	$\phi$	磁通
$M$	互感	$\omega$	角频率、角转速
$n$	转速、变比	$\lambda$	气隙导磁系数
$P$	极对数、有功功率	$\gamma$	转子位置角
$Q$	无功功率	$\mu$	磁导率
$R(r)$	电阻	$\nu$	磁阻率
$S$	视在功率	$\sigma$	电导率
$s$	斜率	$\alpha$	绕组接地故障位置
$T$	转矩、周期、时间常数	$\Delta$	增量
$t$	时间	$a$	每相并联分支数
$U$	交流电压有效值或直流电压	$p$	微分算子

## 三、主要角标符号

A、B、C 三相 (原方)

a、b、c 三相 (副方)

d 阻尼绕组量、差动  
f 故障  
k 短路  
fd 励磁绕组量  
e 接地  
el 与端部漏磁场有关的量  
h 高压侧  
kL 短路回路  
l 与漏磁场有关的量  
m 幅值、互感  
max 最大

min 最小  
n, o 中性点  
N 额定  
1、2、0 正、负、零序  
0 空载  
op 动作  
res 制动  
sen 灵敏  
set 整定  
t 机端



# 目 录

序 言  
符号说明

<b>第 1 章 大型发电机内部短路分析与继电保护</b> .....	1
1.1 概述.....	1
1.1.1 大型发电机内部短路分析及其保护研究的必要性.....	1
1.1.2 交流电机内部故障的分析方法.....	2
1.1.3 交流电机定子绕组内部故障的研究历史及发展趋势.....	3
1.2 同步电机定子绕组内部短路分析——多回路理论.....	4
1.2.1 同步电机定子绕组内部短路的数学模型.....	4
1.2.2 同步电机定子绕组内部短路时的回路参数.....	12
1.3 同步电机定子绕组内部短路仿真计算及实验研究.....	15
1.3.1 凸极同步电机内部短路的瞬态实验和仿真.....	15
1.3.2 隐极同步电机内部短路的瞬态实验和仿真.....	18
1.3.3 同步电机内部短路的稳态实验和仿真.....	23
1.4 大型水轮发电机多回路模型的合理简化.....	26
1.4.1 等效纵轴和等效横轴阻尼绕组的处理方法.....	27
1.4.2 阻尼绕组的简化笼型模型.....	30
1.5 同步电机定子绕组内部短路规律的探讨.....	32
1.6 大型发电机内部短路主保护的基本原理及发展.....	33
1.6.1 概述.....	33
1.6.2 发电机定子绕组的同槽和端部交叉故障.....	34
1.6.3 零序电流型横差保护.....	35
1.6.4 裂相横差保护.....	39
1.6.5 不完全纵差保护.....	47
1.6.6 完全纵差保护.....	51
1.7 大型发电机主保护配置方案的定量化设计.....	52
1.7.1 发电机主保护配置方案设计的现状.....	52
1.7.2 三峡左岸电站发电机主保护配置方案的定量化设计.....	53
1.7.3 定量化设计的重要性.....	61
1.7.4 对发电机主保护配置方案定量化及优化设计的认识.....	65



1.7.5	大型发电机主保护配置方案的优化设计 .....	66
1.7.6	大型发电机主保护配置方案量化及优化设计的推广与应用 .....	68
1.7.7	三峡右岸电站发电机(HEC机组)主保护配置方案的量化及优化设计 .....	75
1.7.8	水轮发电机主保护配置方案量化及优化设计规则的总结 .....	88
1.8	大型汽轮发电机主保护配置方案的量化设计 .....	92
1.8.1	大型汽轮发电机定子绕组同槽同相情况的调研 .....	92
1.8.2	大型汽轮发电机主保护配置方案的量化设计 .....	94
1.9	加强主保护,简化后备保护 .....	97
	参考文献 .....	98

## 第2章 大型发电机中性点接地方式的研讨 .....

2.1	概述 .....	101
2.1.1	大型发电机中性点基本的接地方式 .....	101
2.1.2	国内外大型发电机中性点接地方式的基本状况 .....	102
2.1.3	选择大型发电机中性点接地方式的三条基本原则 .....	103
2.2	中性点接地方式的认知和分歧 .....	104
2.2.1	对定子单相接地故障电流允许值的认知 .....	104
2.2.2	对定子单相接地故障暂态过电压的认知 .....	106
2.2.3	消弧线圈接地方式的特殊问题 .....	107
2.2.4	两种接地方式的分歧 .....	110
2.3	几种简单的分析方法 .....	110
2.3.1	零序电压的稳态模型 .....	110
2.3.2	采用叠加原理的分析方法 .....	111
2.3.3	暂态网络分析仪(TNA)方法 .....	111
2.3.4	准分布电容参数的PSpice方法 .....	112
2.4	多回路数学模型及其验证 .....	113
2.4.1	数学模型及推导 .....	113
2.4.2	仿真及试验验证 .....	119
2.5	发电机中性点消弧线圈接地方式的规律 .....	130
2.5.1	消弧线圈串联电阻的影响 .....	131
2.5.2	消弧线圈合谐度的影响 .....	134
2.5.3	发电机频率偏移的影响 .....	134
2.5.4	不同燃弧时刻接地故障电流的规律 .....	137
2.6	发电机中性点经高阻接地方式的规律 .....	138
2.6.1	中性点接地电阻对熄弧电压恢复过程的影响 .....	138
2.6.2	中性点接地电阻对重燃弧过电压的影响 .....	139

2.6.3	中性点接地电阻对故障电流的影响	140
2.6.4	发电机频率偏移的影响	141
2.7	三峡电站大型发电机中性点接地方式的选择	142
2.7.1	三峡电站大型发电机组的特点	142
2.7.2	三峡电站大型发电机中性点现有接地方式及参数	143
2.7.3	接地故障电流不应伤及定子铁心	143
2.7.4	重燃弧过电压不能危及绝缘	144
2.7.5	两种接地方式的参数设置	146
2.8	结论	147
	参考文献	148

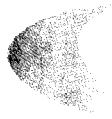
### 第3章 发电机定子单相接地故障分析及其保护

3.1	概述	151
3.1.1	定子单相接地故障及其对保护的要求	151
3.1.2	定子单相接地保护的国内外研究状况	152
3.2	定子单相接地故障零序电压和故障电流的特点	155
3.2.1	机端和中性点零序电压的变化特点	156
3.2.2	接地故障电流的变化特点	159
3.3	现有定子单相接地保护的比较	161
3.3.1	基波零序电压型定子单相接地保护	161
3.3.2	3次谐波电压型定子单相接地保护	163
3.3.3	几种提高定子单相接地保护灵敏度和可靠性的方法	164
3.4	基于故障分量的3次谐波电压型定子单相接地保护	166
3.4.1	保护原理基础	166
3.4.2	保护方案	168
3.4.3	保护装置试验结果	171
3.5	基于小波变换的定子单相接地保护的研究	175
3.5.1	噪声对基于小波变换模极大值接地保护的影响	175
3.5.2	基小波与算法的选择	179
3.5.3	基于变尺度小波变换的定子单相接地保护能量法	179
3.5.4	定子单相接地保护能量法的仿真分析	180
3.5.5	定子单相接地保护能量法的试验验证	183
3.6	外加20Hz电源定子单相接地保护的改进	190
3.6.1	电源内阻和注入频率的影响分析与电流判据的改进	190
3.6.2	中性点接地装置参数的影响分析及导纳判据的改进	194
	参考文献	201

第4章 大型变压器内部故障分析与继电保护 ..... 205

4.1 概述 .....	205
4.1.1 变压器内部短路故障保护的现状 .....	205
4.1.2 现有变压器故障保护的原理 .....	206
4.1.3 变压器内部故障差动保护存在原理性问题 .....	207
4.2 变压器内部短路分析的理论基础 .....	209
4.2.1 变压器绕组的基本结构 .....	209
4.2.2 变压器的漏磁场 .....	211
4.2.3 从磁场能量的角度计算变压器的短路电抗 .....	212
4.2.4 从磁场分布计算变压器漏电感 .....	215
4.2.5 变压器的短路电抗与电感矩阵的关系 .....	224
4.3 电力变压器内部短路分析 .....	225
4.3.1 变压器原边侧内部对地短路对漏磁场分布和短路电抗的影响 .....	225
4.3.2 变压器原边侧内部匝间短路对漏磁场分布和短路电抗的影响 .....	229
4.3.3 变压器副边侧内部发生对地短路对漏磁场分布和短路电抗的影响 .....	232
4.3.4 绕组内部短路对短路电抗的影响 .....	234
4.4 普通双绕组电力变压器内部短路仿真分析和实验验证 .....	234
4.4.1 实验变压器结构及参数 .....	234
4.4.2 线圈内部对地短路的仿真分析 .....	235
4.4.3 线圈内部匝间短路故障分析 .....	238
4.4.4 相间短路故障仿真分析 .....	241
4.4.5 纵差保护和零差保护分析 .....	245
4.4.6 实验验证 .....	248
4.5 自耦电力变压器内部短路故障仿真分析 .....	251
4.5.1 变压器结构及参数 .....	252
4.5.2 高压绕组接地短路故障分析 .....	252
4.5.3 匝间短路故障分析 .....	254
4.5.4 相间短路故障分析 .....	262
4.5.5 纵差保护和零差保护灵敏度分析 .....	263
4.6 双侧供电的自耦变压器内部短路故障仿真分析 .....	267
4.6.1 高压绕组接地短路故障分析 .....	267
4.6.2 匝间短路故障分析 .....	270
4.6.3 相间短路故障分析 .....	276
4.6.4 纵差保护和纵差/零差保护灵敏度分析 .....	279
参考文献 .....	282
附录一 电机的多回路参数计算 .....	283

附录二	发电机内部短路暂态分析 .....	302
附录三	水轮发电机定子绕组内部故障分析计算用原始资料 .....	322
附录四	汽轮发电机定子绕组内部故障分析计算用原始资料 .....	324
附录五	变压器绕组内部故障分析计算用原始资料 .....	326
附录六	12kW 凸极实验电机的主要数据 .....	327
附录七	许继动模实验室 30kVA 凸极同步发电机的主要数据 .....	329
附录八	许继动模实验室 30kVA 隐极同步发电机的主要数据 .....	330



# CONTENTS

<b>Chapter 1</b>	<b>Analysis and Relay Protection of Internal Faults in Large Generators</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>General description</b> .....	<b>1</b>
1.1.1	Necessity of analysis and relay protection of internal faults in large generators .....	1
1.1.2	Analysis methods of internal faults of AC machines .....	2
1.1.3	History and trend of the research on internal faults in AC machines .....	3
<b>1.2</b>	<b>Internal fault analysis of stator windings in synchronous machines—Multi-Loop Theory</b> .....	<b>4</b>
1.2.1	Mathematical model of stator internal short circuits in synchronous machines .....	4
1.2.2	Loop parameters of synchronous machines with stator internal short circuits .....	12
<b>1.3</b>	<b>Simulation and experiment research of stator internal short circuits in synchronous machines</b> .....	<b>15</b>
1.3.1	Transient experiment and simulation of stator internal short circuits in salient-pole synchronous machines .....	15
1.3.2	Transient experiment and simulation of internal short circuits in non-salient-pole synchronous machines .....	18
1.3.3	Steady-state experiment and simulation of stator internal short circuits in synchronous machines .....	23
<b>1.4</b>	<b>Reasonable simplification of Multi-Loop Model of large hydro-generators</b> .....	<b>26</b>
1.4.1	Equivalent direct-axis damper windings and equivalent cross-axis damper windings .....	27
1.4.2	Simplified cage model of damper windings .....	30
<b>1.5</b>	<b>Discussion of rules for stator internal short circuits in synchronous machines</b> .....	<b>32</b>
<b>1.6</b>	<b>Basic principles and development of main protection for internal short circuits in large generators</b> .....	<b>33</b>

1.6.1	General description .....	33
1.6.2	Slot and end cross faults of stator windings of generators .....	34
1.6.3	Zero-sequence current transverse differential protection .....	35
1.6.4	Split-phase transverse differential protection .....	39
1.6.5	Incomplete longitudinal differential protection .....	47
1.6.6	Complete longitudinal differential protection .....	51
1.7	Quantitative design of main protection configuration schemes for large generators .....	52
1.7.1	Current situation of designing main protection configuration schemes for generators .....	52
1.7.2	Quantitative design of main protection configuration schemes for Three Gorges left bank generator .....	53
1.7.3	Importance of quantitative design .....	61
1.7.4	Knowledge of quantitative design and optimized design of main protection configuration schemes for generators .....	65
1.7.5	Optimized design of main protection configuration schemes for large generators .....	66
1.7.6	Popularization and application of quantitative design and optimized design of main protection configuration schemes for large generators .....	68
1.7.7	Quantitative design and optimized design of main protection configuration schemes for Three Gorges right bank generator .....	75
1.7.8	Generalization of the rules of quantitative design and optimized design of main protection configuration schemes for hydro-generators .....	88
1.8	Quantitative design of main protection configuration schemes for large turbo-generators .....	92
1.8.1	Investigation on stator slot faults in the same phase for large turbo-generators .....	92
1.8.2	Quantitative design of main protection configuration schemes for large turbo-generators .....	94
1.9	Strengthen main protection and simplify reserve protection .....	97
	References .....	98

## **Chapter 2** Research and Discussion on the Neutral Grounding

Method of Large Generators .....	101
----------------------------------	-----

2.1	General description .....	101
-----	---------------------------	-----

2.1.1	Common neutral grounding methods of large generators .....	101
2.1.2	General situation of neutral grounding methods of large generators in and out of China .....	102
2.1.3	Three basic principles of selecting proper neutral grounding methods for large generators .....	103
2.2	Knowledge and divergence on the methods of neutral grounding .....	104
2.2.1	Knowledge of the allowable value of stator grounding fault current .....	104
2.2.2	Knowledge of the transient over-voltage during stator grounding .....	106
2.2.3	Special problems of neutral grounding with Peterson Coil .....	107
2.2.4	Divergence between the two methods of neutral grounding .....	110
2.3	Some simple methods of analyzing stator grounding faults .....	110
2.3.1	Steady zero-sequence voltage model .....	110
2.3.2	Analyzing method with superposition .....	111
2.3.3	Transient Network Analysis (TNA) Method .....	111
2.3.4	PSpice Method using quasi-distribution capacitance stator windings to ground .....	112
2.4	Multi-Loop Model and experiment verifications .....	113
2.4.1	Mathematic model and formulas derivation .....	113
2.4.2	Digital simulations and experiment verifications .....	119
2.5	Rules of generator neutral grounding with Peterson Coil .....	130
2.5.1	Effects of the series resistance of Peterson Coil .....	131
2.5.2	Effects of the tuning degree of Peterson Coil .....	134
2.5.3	Effects of generator frequency deviation .....	134
2.5.4	Rules of stator grounding fault current occurring at different times .....	137
2.6	Rules of generator neutral grounding with high resistance .....	138
2.6.1	Effects on recovery voltage while using different neutral grounding resistances .....	138
2.6.2	Effects on re-strike over-voltage while using different neutral grounding resistances .....	139
2.6.3	Effects on grounding fault current while using different neutral grounding resistances .....	140
2.6.4	Effects of generator frequency deviation .....	141
2.7	Proper selection of neutral grounding method for the Three Gorges Generators .....	142
2.7.1	Characteristics of the Three Gorges Generators .....	142
2.7.2	Current neutral grounding method and parameters of the Three	

Gorges Generators .....	143
2.7.3 Limitation of grounding fault current to avoid damage of stator core .....	143
2.7.4 Limitation of re-strike over-voltage to avoid damage of insulation layer .....	144
2.7.5 Parameters setting of two methods of neutral grounding .....	146
2.8 Conclusions .....	147
References .....	148

### **Chapter 3 Analysis and Protection of Stator Grounding Fault for Generators .....**

---

3.1 General description .....	151
3.1.1 Stator grounding fault and its requirements of protection .....	151
3.1.2 Current situation of research on stator grounding fault protection .....	152
3.2 Characteristics of fault current and zero-sequence voltage of stator grounding fault .....	155
3.2.1 Variational characteristics of zero-sequence voltage at terminal and neutral .....	156
3.2.2 Variational characteristics of grounding fault current .....	159
3.3 Comparison of the present stator grounding fault protections .....	161
3.3.1 Zero-sequence fundamental voltage based protection .....	161
3.3.2 Third harmonic voltage based protection .....	163
3.3.3 Methods to improve the sensitivity and reliability of protection .....	164
3.4 Fault component of third harmonic voltage based stator grounding fault protection .....	166
3.4.1 Fundamental principle of protection .....	166
3.4.2 Protection schemes .....	168
3.4.3 Experimental results of protection equipment .....	171
3.5 Studies on wavelet transform based stator grounding fault protection .....	175
3.5.1 Effect of noise on the modulus maximum of wavelet transform based protection .....	175
3.5.2 Choice of base wavelet and calculating algorithm .....	179
3.5.3 multiscale Wavelet transform based energy method to detect the stator grounding fault .....	179
3.5.4 Simulation analysis .....	180
3.5.5 Experiment verifications .....	183
3.6 Analysis and improvement of the protection by injecting 20Hz signal .....	190



3.6.1	Effect analysis of the internal resistance and frequency of power supply and improvement on the current based protection scheme	190
3.6.2	Effect analysis of the parameters of grounding equipment at neutral and improvement on the admittance based protection scheme	194
References		201

## **Chapter 4** Analysis and Relay Protection for Internal Faults in Large Power Transformers ..... 205

---

4.1	General description	205
4.1.1	Existing situation of relay protection for internal faults of power transformers	205
4.1.2	Principles of relay protection for internal faults of power transformers	206
4.1.3	Existing problems of differential relay protection for internal faults of power transformers	207
4.2	Fundamentals of internal short circuit analysis of power transformers	209
4.2.1	Basic structures of power transformer windings	209
4.2.2	Leakage fields of power transformers	211
4.2.3	Calculation of short-circuit reactance of power transformers based on magnetic energy	212
4.2.4	Calculation of leakage inductances of power transformers based on magnetic field distributions	215
4.2.5	Relationship between short-circuit reactance and inductance parameters	224
4.3	Analysis of internal short circuit of power transformers	225
4.3.1	Effects of primary winding internal ground short circuit on leakage field distributions and short-circuit reactance	225
4.3.2	Effects of primary winding internal inter-turn short circuit on leakage field distributions and short-circuit reactance	229
4.3.3	Effects of internal ground short circuit in secondary winding on leakage field distributions and short-circuit reactance	232
4.3.4	Effects of internal short circuits on short-circuit reactance	234
4.4	Simulations and experiment verifications of internal short circuits in a double-winding power transformer	234
4.4.1	Description of the structure and parameters of the transformer	234
4.4.2	Simulations of ground short circuit	235
4.4.3	Simulations of inter-turn short circuit	238