

ICS 29.160
K 21
备案号: 53946-2016

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL / T 1525 — 2016

隐极同步发电机转子匝间短路故障 诊 断 导 则

Guide for detection of interturn short-circuit fault in
cylindrical rotor of synchronous machines

2016-01-07 发布

2016-06-01 实施

国家能源局 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 2

5 诊断方法 2

6 故障定位 7

附录 A（资料性附录） 正常转子与故障转子的典型探测线圈电压波形 9

附录 B（资料性附录） 重复脉冲法的典型故障波形 10

附录 C（资料性附录） 匝间电压分布法定位 11

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电机标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：华北电力科学研究院有限责任公司、广东电网有限责任公司电力科学研究院、中国大唐集团科学技术研究院有限公司华东分公司、广东省粤电集团有限公司。

本标准主要起草人：王劲松、张征平、龙飞、梅志刚、盛明珺、涂小涛、雷雨、孙士涛、白恺、吴宇辉、叶国华。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京白广路二条一号，100761）。

隐极同步发电机转子匝间短路故障 诊 断 导 则

1 范围

本标准规定了交接、检修及运行中，隐极同步发电机转子匝间短路故障的检测条件、检测方法及判断原则。

本标准适用于隐极同步发电机。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1029 三相同步电机试验方法

GB/T 2900.25—2008 电工术语 旋转电机

GB/T 7064 隐极同步发电机技术要求

GB/Z 29626 汽轮发电机状态在线监测系统应用导则

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

DL/T 596 电力设备预防性试验规程

DL/T 1163 隐极发电机在线监测装置配置导则

3 术语和定义

GB/T 7064、GB/T 2900.25 界定的以及下述术语和定义适用于本文件。

3.1

重复脉冲法 recurrent surge oscillograph; RSO

基于行波传输原理，利用隐极式同步发电机转子绕组对称性，通过注入重复脉冲并对响应信号进行采集和分析，判断转子是否存在匝间短路的检测方法。

3.2

磁场线圈 field coil

圆柱形转子同步电机的磁场绕组中占据一对槽的一组线匝。

[GB/T 2900.25—2008，定义 411-38-19]

3.3

极间电压法 voltage comparison between field windings

在转子绕组上施加工频电压并测量每个磁极绕组的电压，利用转子绕组的对称性来确定是否存在匝间短路的检测方法。

3.4

线圈电压法 voltage comparisons between field coils

在转子绕组上施加工频电压并测量对应磁场线圈上的电压，利用磁场线圈的对称性来确定是否存在匝间短路的检测方法。

3.5

特征波峰 characteristic wave peaks

探测线圈感应电压波形中与转子绕组槽漏磁相对应的一组波峰。

4 总则

4.1 隐极式同步发电机在交接及检修过程中，应依据 GB 50150 和 DL/T 596 的相关要求，进行转子绕组匝间短路故障诊断。发电机励磁电流或振动幅值明显增大且原因不明时，应进行转子绕组匝间短路故障的诊断。不同诊断方法所对应的发电机状态及转子位置见表 1。

表 1 不同诊断方法所对应的发电机状态及转子位置

诊断方法	发电机状态	转子位置
探测线圈波形法	旋转状态，发电机建立稳定的气隙磁通	膛内
转子交流阻抗和功率损耗测试法	静止或旋转状态	膛内或膛外
重复脉冲（RSO）法	静止或旋转状态	膛内或膛外
极间电压法	静止	膛外
线圈电压法	静止	膛外
匝间电压分布法	静止	膛外

4.2 隐极式同步发电机宜根据 GB/Z 29626 及 DL/T 1163 配置转子绕组匝间短路在线监测装置。

4.3 在转子绕组匝间短路诊断结果存在质疑时，应结合多种诊断方法进行综合判断。探测线圈波形法的结果与其他诊断方法的结论出现矛盾时，应以探测线圈波形法的结论为准。

4.4 当需要对匝间短路进行定位时，宜按照极间电压法、线圈电压法、电压分布曲线法的顺序进行。

5 诊断方法

5.1 探测线圈波形法

5.1.1 适用条件

适用于定子膛内安装有探测线圈等磁通传感器的发电机。可在空载、三相稳定短路及并网运行等不同状态下进行检测。

5.1.2 设备仪表

应选用阻抗大于 $10\text{M}\Omega$ ，频域带宽不低于 20MHz ，最大垂直灵敏度不大于 5mV 的测量仪器。

5.1.3 试验条件和方法

5.1.3.1 为充分考虑不同槽楔材料导磁率对测量波形的影响，宜在初次投运时录取初始波形。

5.1.3.2 若发电机处于并网运行状态，可先进行并网运行状态下的探测线圈波形法检测。检测效果不佳时，应改为在发电机空载或三相稳定短路状态下进行检测。

5.1.3.3 对于怀疑存在动态匝间短路故障的发电机，可在不同转速下给转子绕组施加励磁电压进行空载和短路状态下的检测。

5.1.3.4 检测时应将探测线圈的输出信号接至测量仪器，根据测量电压波形的特征波峰，可判定转子哪个线圈存在匝间短路故障。正常转子与故障转子的典型探测线圈电压波形参见附录 A。

5.1.3.5 试验时转子绕组施加的电压不得大于额定励磁电压。

5.1.4 判定限值

5.1.4.1 两极发电机

取一个磁极上的一个线圈电压与另一磁极上相对应的同号线圈电压之差值与两者较大值之比 $U_{\delta 1}$ ，见式 (1)。

$$U_{\delta 1} = \frac{|U_{1j} - U_{2j}|}{\max(U_{1j}, U_{2j})} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

U_{1j} ——第一个磁极的第 j 号线圈的电压，V；

U_{2j} ——第二个磁极的第 j 号线圈电压，V；

$\max(U_{1j}, U_{2j})$ —— U_{1j} 和 U_{2j} 的最大值，V。

$$U_{\delta 2} = \frac{1}{N} \times 45\% \quad (2)$$

式中：

N ——转子被测槽匝数。

若按式 (1) 计算所得的数值 $U_{\delta 1}$ 大于式 (2) 所计算的数值 $U_{\delta 2}$ 时，即判定转子存在匝间短路。

5.1.4.2 四极发电机

将所有磁极上的同号线圈电压进行比较，找出其中最小的同号线圈电压，然后计算其他剩余同号线圈电压的算术平均值 $U_{Ave, j}$ ，见式 (3)。取该算术平均值与最小同号线圈电压之差值，再与计算得到的剩余同号线圈电压的算术平均值之比，并计算其百分数 $U_{\delta 4}$ ，见式 (4)。

$$U_{Ave, j} = \frac{\sum_{i=1}^4 U_{ij} - \min(U_{1j}, U_{2j}, U_{3j}, U_{4j})}{3} \quad (3)$$

式中：

$U_{Ave, j}$ ——所有磁极的第 j 号线圈中去除最小电压的线圈后，其他线圈电压的算术平均值电压，V；

U_{ij} ——第 i 个磁极的第 j 号线圈的电压，V；

$\min(U_{1j}, U_{2j}, U_{3j}, U_{4j})$ —— U_{1j} 、 U_{2j} 、 U_{3j} 、 U_{4j} 的最小电压值，V。

$$U_{\delta 4} = \frac{U_{Ave, j} - \min(U_{1j}, U_{2j}, U_{3j}, U_{4j})}{U_{Ave, j}} \times 100\% \quad (4)$$

当式 (4) 的计算数值 $U_{\delta 4}$ 大于式 (2) 所计算的数值 $U_{\delta 2}$ 时，即判定转子存在匝间短路。

5.2 转子振动与励磁电流正相关性判断法

5.2.1 适用条件

适用已配置可实时监测或记录发电机转子振动曲线与励磁电流曲线装置的发电机。

5.2.2 试验方法

应通过定期监测或从记录波形中调取运行状态下的转子振动曲线和励磁电流曲线，观察两者之间存在的正相关性。

5.2.3 判断原则

当发现转子振动值与励磁电流值存在明显的正相关性，即转子振动随励磁电流增大而增大、随励磁电流减小而减小时，应分析转子存在匝间短路故障的可能性，并应通过其他检测方法进行转子匝间短路故障的进一步诊断。

5.3 励磁电流增幅检测法

5.3.1 适用条件

可在发电机空载、短路试验及正常运行等不同状态下，进行转子绕组励磁电流增幅的检测。发电机空载、三相稳定短路状态下的检测效果应优于正常运行状态下的检测效果。

5.3.2 试验方法

5.3.2.1 定期对相同工况下励磁电流值的运行值和历史值进行比较。

5.3.2.2 对发电机空载或三相稳定短路状态下励磁电流值的运行值和历史值进行比较。

5.3.3 判断原则

在相同工况或试验条件下，励磁电流值明显增大时，应进一步分析转子存在匝间短路故障的可能性。

5.4 转子交流阻抗和功率损耗测试

5.4.1 试验条件

试验应符合下列条件：

- 根据机组检修的不同阶段，可在静止、旋转、膛内、膛外状态下进行测量。
- 试验时，应退出转子接地保护，并断开转子绕组与励磁系统的电气连接。
- 当在膛内进行测量时，应断开转子接地保护的保险，发电机定子绕组三相不应短接。
- 水内冷转子在通水测量时，应采用隔离变压器加压。
- 交流阻抗和功率损耗试验条件及方式应参照表 2。

表 2 交流阻抗和功率损耗试验条件及方式

序号	试验阶段	转速 ^[注1] r/min	电压 ^[注3] V	备注
1	交接机组，定子膛外	0	50、100、150、200、220	升压测量
2	交接机组，定子膛内	0	50、100、150、200、220	升压测量
3	交接机组，定子膛内，超速前	0~ n_N 每间隔 300 ^[注2]	50、100、150、200、220	升速测量
4	交接机组，定子膛内，超速后	n_N ~0 每间隔 300	50、100、150、200、220	降速测量
5	检修机组，定子膛外	0	50、100、150、200、220	升压测量
6	检修机组，定子膛内，定子绕组开路	0~ n_N 每间隔 300	50、100、150、200、220	升压测量，升速测量
注 1：试验转速应避开机组的临界转速，在此前提下进行转速的选择。 注 2： n_N 为发电机额定转速。表中所列转速间隔为推荐值，可根据实际情况进行选择。 注 3：试验中，所加交流电压峰值不得超过转子绕组的额定励磁电压。表中所列电压为推荐值，可根据实际情况进行选择。				

5.4.2 试验仪器

测量设备与仪表应符合 GB/T 1029 的要求，测量仪表的准确度应满足下列要求。

- a) 温度计的测量误差不应大于 1°C ;
- b) 湿度计的测量误差不应大于 5%;
- c) 调压器的容量应根据机组具体试验电流值确定，输出电压不宜低于 220V;
- d) 交流电压表的测量准确度不应低于 0.5 级，量程范围通常宜选 0V~300V;
- e) 电流互感器的测量准确度不应低于 0.5 级，变比通常选 50A:5A;
- f) 交流电流表的测量准确度不应低于 0.5 级，量程通常选 0A~5A;
- g) 单相低功率因数瓦特表的测量准确度不应低于 0.5 级，电压电流量程应与本标准 5.4.2 的表计相匹配;
- h) 隔离变压器的容量应与调压器相匹配。

5.4.3 试验方法

应按图 1 要求进行接线，并应按照下列步骤进行测试：

- a) 静态下转子交流阻抗测量应符合下列要求：
 - 1) 应用导线将集电环或径向导电螺栓与测试电源相连接；
 - 2) 应测量并记录电压、电流、有功功率。
- b) 旋转状态下转子交流阻抗测量应符合下列要求：
 - 1) 可用装在绝缘刷架上的电刷将测试电源接到集电环上；
 - 2) 应测量并记录电压、电流、功率。

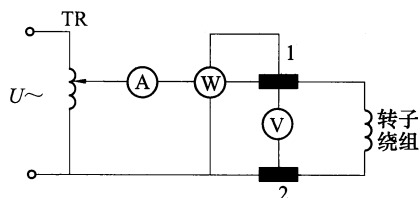


图 1 转子绕组的交流阻抗和功率损耗测量示意图

5.4.4 影响因素

下列内容是影响交流阻抗和功率损耗的主要因素及影响趋势：

- a) 转子附近的铁磁性物质会对测试结果产生影响，一般会使交流阻抗变大，功率损耗增加；
- b) 随着电压的升高，交流阻抗值变大，功率损耗增加；
- c) 当转子处于膛内时，与处于膛外相比，交流阻抗变大，功率损耗增加；
- d) 当转子处于旋转状态时，与静止状态相比，交流阻抗变小，功率损耗增加；
- e) 转子在首次检修时的试验数值，可能与交接时的数值有较大的差异。

5.4.5 判断原则

出现下列状况之一时，应判断为故障：

- a) 交流阻抗值与出厂数据或历史数据比较，减小超过 10%;
- b) 损耗与出厂数据或历史数据比较，增加超过 10%;
- c) 当交流阻抗与出厂数据或历史数据比较减小超过 8%，同时损耗与出厂数据或历史数据比较增

加超过 8%;

- d) 在转子升速与降速过程中, 相邻转速下, 相同电压的交流阻抗或损耗值发生 5%以上的突变时。

5.5 重复脉冲 (RSO) 法

5.5.1 试验条件

试验应符合下列条件:

- 根据交接和检修的不同阶段, 可在转子处于膛外、膛内或不同转速下进行;
- 试验时, 应断开转子接地保护的保险, 并断开转子绕组与励磁系统的电气连接;
- 宜在机组交接时, 留取无匝间短路状态下的初始波形。

5.5.2 试验设备

试验应采用下列设备:

- 重复脉冲发生器;
- 数据采集与示波装置;
- 数据采集与示波装置的采样率不宜小于 20MS/s, 使用更高采样率的采集系统有利于提高转子匝间短路的诊断精度。

5.5.3 测量方法

应通过转子滑环或导电螺栓, 从转子正负极同时或分别注入脉冲信号。对正负极的响应信号进行录波, 并得到两极响应信号的差值。RSO 测试接线图参见图 2。

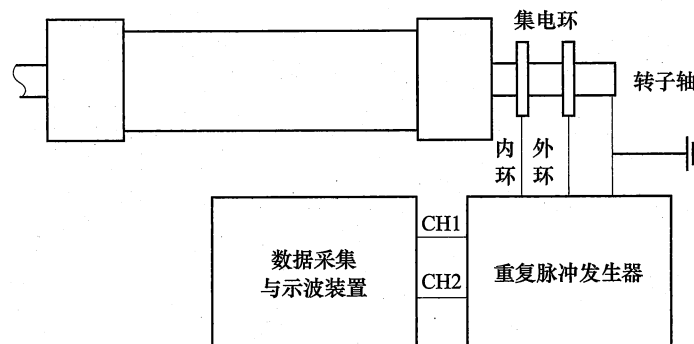


图 2 RSO 测试接线图

5.5.4 判断原则

故障判断应符合下列原则:

- 两极的响应出现明显差值, 则判断转子绕组存在匝间短路, RSO 法的典型故障波形参见图 B.1;
- 在旋转状态下通过碳刷注入脉冲时, 在波形起始段的起伏不应误判为存在匝间短路;
- 诊断灵敏度与绕组距脉冲注入点的距离有关, 距离越近灵敏度越高;
- 不同线圈发生两匝短路的典型故障波形参见图 B.2;
- 重复脉冲法不应用于判别两极中点位置的匝间短路。

6 故障定位

6.1 极间电压法和线圈电压法

6.1.1 试验条件，试验时发电机转子应处于膛外。

6.1.2 试验设备应符合下列要求：

- a) 调压器容量应根据机组具体试验电流值确定，输出电压一般不低于 220V；
- b) 交流电压表测量准确度优于 0.5 级，量程范围通常选 0V~300V；
- c) 试验探针能弯曲成一定形状，便于在护环下探测转子绕组。

6.1.3 测量应采用下列方法：

- a) 使用调压器，通过滑环或导电螺栓在转子绕组上施加工频交流电压。
- b) 在转子护环下，使用探针测量极间电压，并按照表 3 记录数据。
- c) 在转子护环下，分别记录对应线圈的电压差，按照表 4 记录测量数据。

表 3 极间电压测量数据表

序号	测量位置 1	电压 V	测量位置 2	电压 V
1	正极-极中点		负极-极中点	

表 4 线圈电压测量数据表

序号	测量位置 1	电压 V	测量位置 2	电压 V
1	正极-1 号线圈		负极-1' 号线圈	
2	正极-2 号线圈		负极-2' 号线圈	
3	正极-3 号线圈		负极-3' 号线圈	
...	...		...	
注：也可测试并记录 1 号线圈~2 号线圈，2 号线圈~3 号线圈等。				

6.1.4 判断故障应符合下列原则：

- a) 极间电压差超过最大电压值的 3% 时，判定为存在匝间短路。
- b) 对应位置线圈间的电压差超过最大电压值的 3% 时，判定为存在匝间短路。

6.2 匝间电压分布法

6.2.1 试验条件：发电机转子应处于膛外。

6.2.2 试验设备应符合下列要求：

- a) 直流毫伏电压表：准确度不低于 1%，量程 0 mV~1000mV；
- b) 直流电流发生器：能够将被测试转子绕组施加至额定电流的 5%~10%，电压波动率小于 5%；
- c) 由柔软而有弹性的独股铜绝缘导线制成的探针，便于在通风孔及端部绕组处探测转子绕组匝间电压。

6.2.3 测量方法应符合下列要求：

- a) 在转子绕组中，通入转子额定励磁电流 5%~10% 的直流电流，电流波动率应小于 5%。
- b) 对于拔掉护环的发电机，可通过测量探针，在初步确定有匝间短路的线包处，直接测量相邻两匝之间的电压差，分别记为 U_{12} ， U_{23} ， U_{34} ， U_{45} ，…。其中 U_{12} 对应着第 1 个通风孔和第 2 个

通风孔之间的电压, U_{23} 对应着第 2 个通风孔和第 3 个通风孔之间的电压, 依此类推。

- c) 对于没有拔掉护环的发电机, 试验前应掌握其绕组连接及冷却风路的位置。在初步确定有短路匝的线圈上, 使用测量探针, 从汽侧、励侧紧靠护环出风区的风孔探入, 分别测量相邻两个通风孔之间的电压, 同样分别记为 U_{12} , U_{23} , U_{34} , U_{45} , ...。

6.2.4 测试过程中应遵循下列规律:

- a) 若沿电流前进的方向, 电压差呈下降趋势, 则表明短路点在测量位置的前方; 若电压差呈上升趋势, 则表明短路点在测量位置的后方。
- b) 在测量过程中, 宜根据各位置电压降的数值与绕组长度应具有的良好线性关系, 来进行自校, 及时发现错误和不合理的数据, 并进行复测。

6.2.5 作图应按下列要求定位:

- a) 根据所确定的位置参考点和测量的电压值, 参照附录 C 的方法绘制图形进行故障点的定位。
- c) 当测到电压差接近 0 时, 可参见图 C.1 的方法, 只做一条电压分布曲线; 否则应参见图 C.2 的方法作两条电压分布曲线, 求其交点。

附录 A

(资料性附录)

正常转子与故障转子的典型探测线圈电压波形

正常转子的典型探测线圈电压波形见图 A.1，故障转子的典型探测线圈电压波形见图 A.2。

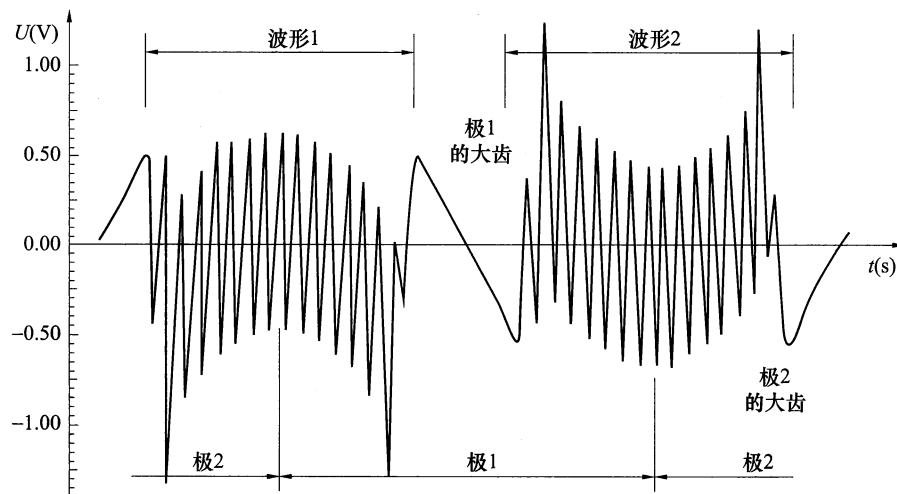
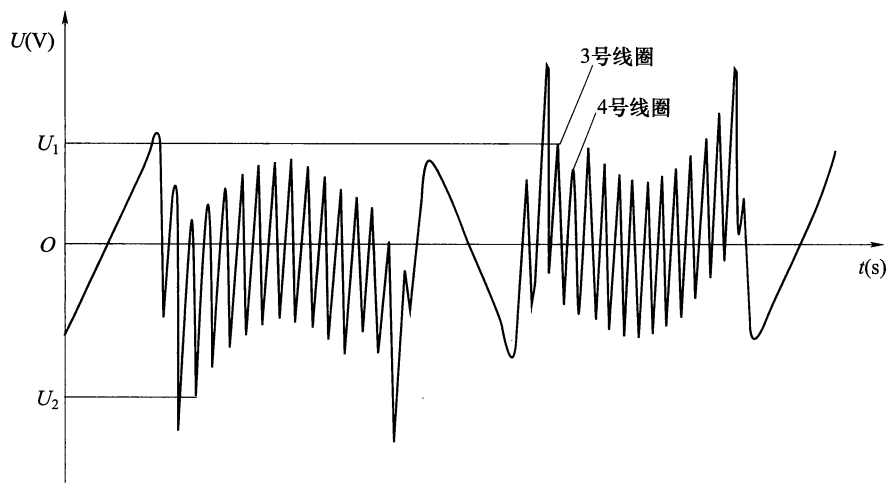


图 A.1 正常转子的典型探测线圈电压波形



注：图示转子 3 号线圈和 4 号线圈发生匝间短路，以 3 号线圈为例，比较 “ $\frac{|U_1 - U_2|}{U_2} \times 100\%$ ” 与 “ $\frac{1}{\text{转子被测槽线圈匝数}} \times 45\%$ ” 大小，若符合 5.1.4 判断限值，则判定为被试转子为匝间短路。

图 A.2 故障转子的典型探测线圈电压波形

附录 B

(资料性附录)

重复脉冲法的典型故障波形

RSO 法的典型故障波形见图 B.1，不同线圈发生两匝短路的典型故障波形见图 B.2。

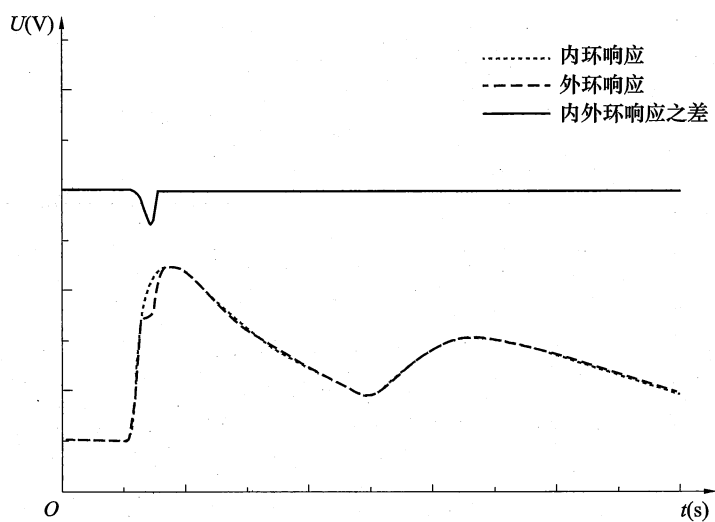


图 B.1 RSO 法的典型故障波形

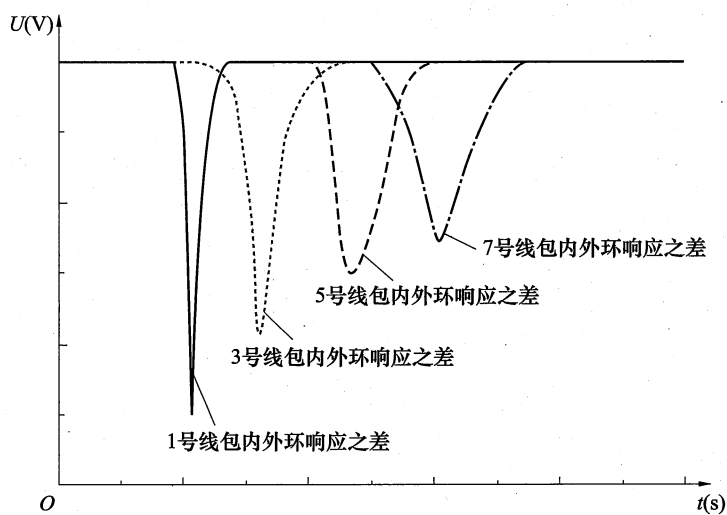


图 B.2 不同线圈发生两匝短路的典型故障波形

附 录 C
(资料性附录)
匝间电压分布法定位

确定单个金属性匝间短路位置的曲线图见图 C.1，确定单个非金属性匝间短路位置的曲线图见图 C.2。

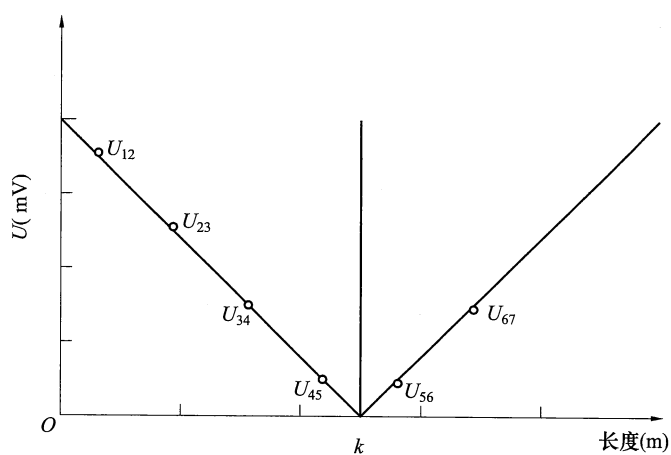


图 C.1 确定单个金属性匝间短路位置的曲线图

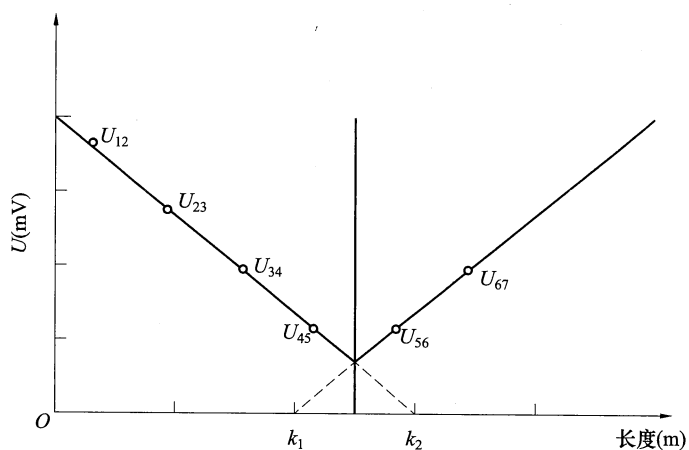


图 C.2 确定单个非金属性匝间短路位置的曲线图

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
隐极同步发电机转子匝间短路故障
诊 断 导 则
DL/T 1525 — 2016

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2016 年 7 月第一版 2016 年 7 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1 印张 24 千字
印数 0001—1000 册

*

统一书号 155123 · 3122 定价 9.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

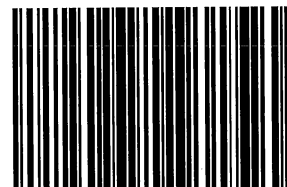
版 权 专 有 翻 印 必 究



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.3122