



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 25388.2—2021  
代替 GB/T 25388.2—2010

---

## 风力发电机组 双馈式变流器 第2部分：试验方法

Wind turbines generator system—Double-fed converter—  
Part 2: Test method

2021-03-09 发布

2021-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 试验条件 .....	1
3.1 试验环境条件 .....	1
3.2 仪器设备 .....	2
4 试验方法 .....	2
4.1 试验平台 .....	2
4.2 试验项目及内容 .....	3
4.2.1 电气安全试验 .....	3
4.2.2 并网控制试验 .....	3
4.2.3 加载试验 .....	3
4.2.4 电网适应能力试验 .....	4
4.2.5 故障电压穿越能力试验 .....	4
4.2.6 效率试验 .....	4
4.2.7 总功率因数试验 .....	5
4.2.8 总谐波畸变率测量试验 .....	5
4.2.9 各次谐波电流测量试验 .....	5
4.2.10 直流电流含量测量试验 .....	5
4.2.11 直流电压纹波系数测量试验 .....	5
4.2.12 电流不平衡度测试 .....	6
4.2.13 过载试验 .....	6
4.2.14 机侧差模电压 $U_{\max}$ 的测量 .....	6
4.2.15 机侧共模电压的测量试验 .....	6
4.2.16 电机侧电压变化率 $dU/dt$ 值的测量 .....	7
4.2.17 稳定性运行试验 .....	7
4.2.18 转矩控制精度试验 .....	7
4.2.19 无功功率精度试验 .....	7
4.2.20 温升试验 .....	7
4.2.21 保护功能试验 .....	8
4.2.22 抗扰性试验 .....	11
4.2.23 电磁发射试验 .....	12
4.2.24 通信试验 .....	12
4.2.25 低温工作试验 .....	12
4.2.26 高温工作试验 .....	12
4.2.27 恒定湿热试验 .....	12
4.2.28 交变湿热试验 .....	12

4.2.29 防护性能试验 ..... 12

4.2.30 振动试验 ..... 12

4.2.31 噪声测试 ..... 12

4.2.32 附加试验 ..... 13

5 试验报告..... 13

附录 A（资料性附录） 电网适应性试验平台拓扑图 ..... 14

附录 B（资料性附录） 故障电压发生装置原理图 ..... 15



## 前 言

GB/T 25388《风力发电机组 双馈式变流器》分为两个部分：

- 第1部分：技术条件；
- 第2部分：试验方法。

本部分为 GB/T 25388 的第2部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 25388.2—2010《风力发电机组 双馈式变流器 第2部分：试验方法》，与 GB/T 25388.2—2010 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 增加了仪器设备的精确度的要求(见 3.2.2)；
- 增加了电容器放电时间测量的试验(见 4.2.1.4)；
- 增加了电网适应能力试验的试验方法(见 4.2.4)；
- 增加了故障电压穿越能力的试验方法(见 4.2.5)；
- 增加了各次谐波电流测量的试验方法(见 4.2.8)；
- 增加了直流电流含量测量的试验方法(见 4.2.10)；
- 增加了直流电压纹波系数测量的试验方法(见 4.2.11)；
- 增加了电流不平衡度测试的试验方法(见 4.2.12)；
- 增加了机侧差模电压  $U_{\max}$  测量的试验方法(见 4.2.14)；
- 增加了机侧共模电压测量的试验方法(见 4.2.15)；
- 增加了电机侧电压变换率  $dU/dt$  值测量的试验方法(见 4.2.16)；
- 增加了测量转矩控制精度的试验方法(见 4.2.18)；
- 增加了无功功率精度测量的试验方法(见 4.2.19)；
- 增加了通信测试的试验方法(见 4.2.24)；
- 增加了交变湿热试验的试验方法(见 4.2.28)；
- 增加了变流器防护性能试验的试验方法(见 4.2.29)；
- 增加了振动试验的试验方法(见 4.2.30)；
- 增加了噪声测试的试验方法(见 4.2.31)；
- 增加了附录 A“电网适应性试验平台拓扑图”(见附录 A)；
- 增加了附录 B“故障电压发生装置原理图”(见附录 B)；
- 修改了变流器效率试验的试验方法(见 4.2.6, 2010 年版的 5.2.6)；
- 修改了保护功能试验的试验方法(见 4.2.21, 2010 年版的 5.2.11)；
- 修改了电磁发射试验的试验方法(见 4.2.23, 2010 年版的 5.2.12)；
- 删除了 2010 年版的第 3 章试验目的的内容(见 2010 年版的第 3 章)。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国风力机械标准化技术委员会(SAC/TC 50)归口。

本部分起草单位：江苏国科智能电气有限公司、阳光电源股份有限公司、中国科学院电工研究所、中国电力科学研究院有限公司、国电联合动力技术有限公司、新疆金风科技股份有限公司、中国船舶重工集团海装风电股份有限公司、上海电气风电集团股份有限公司、东方电气风电有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、远景能源有限公司、维谛技术(西安)有限公司、国电南瑞科技股份有限公司、湘电风能有限公司、华仪风能有限公司、三一重能有限公司、山东中车风电有限公司、许昌许继风电科技有限公



## GB/T 25388.2—2021

司,深圳市禾望电气股份有限公司。

本部分主要起草人:王立鹏、吕佃顺、武鑫、赵栋利、汪令祥、吴玉杨、宋健、陈灿、孟岩峰、张利、褚景春、杨志千、罗元宏、刘嘉明、强喜臣、陈明达、温进、孙礼美、田兴新、童剑雄、陈进建、张国辉、李宝明、王朝东、周党生。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 25388.2—2010。



# 风力发电机组 双馈式变流器

## 第2部分:试验方法

### 1 范围

GB/T 25388 的本部分规定了双馈式风力发电机组(以下简称“机组”)交直交电压型变流器的试验条件和试验方法。

本部分适用于双馈式变速恒频风力发电机组交直交电压型变流器,即双馈式变流器(以下简称“变流器”)。

### 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 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 A:低温
- GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 B:高温
- GB/T 2423.3—2016 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Cab:恒定湿热试验
- GB/T 2423.4—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Db 交变湿热(12 h+12 h 循环)
- GB/T 2423.56—2018 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fh:宽带随机振动和导则
- GB/T 3859.1—2013 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第1-1部分:基本要求规范
- GB/T 4208 外壳防护等级(IP 代码)
- GB/T 12668.3—2012 调速电气传动系统 第3部分:电磁兼容性要求及其特定的试验方法
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验
- GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- GB/T 25388.1 风力发电机组 双馈式变流器 第1部分:技术条件
- GB/T 36994 风力发电机组 电网适应性测试规程
- GB/T 36995 风力发电机组 故障电压穿越能力测试规程

### 3 试验条件

#### 3.1 试验环境条件

变流器的试验环境条件应满足如下要求:

- a) 温度:15℃~35℃;
- b) 相对湿度:45%~75%;
- c) 大气压力:86 kPa~106 kPa;
- d) 海拔:≤2 000 m。

3.2 仪器设备

3.2.1 使用要求

试验中使用的测量仪器、仪表、传感器均应经计量部门检定合格并在有效期内,且在采样频率范围内满足精度要求。

3.2.2 精确度要求

试验时采用的电气测量仪表的准确度应不低于 0.5 级(兆欧表除外),电流互感器的准确度应不低于 0.2 级,电量变送器的准确度应不低于 0.5 级,转速表的精确度应不低于 1.0 级,温度计的误差应不大于  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,其他非电气测量仪表的准确度相当于 1.0 级且应符合相关标准的规定。若产品试验要求更高一级的测试仪表,应在产品技术协议中明确规定。

4 试验方法

4.1 试验平台

双馈式变流器试验应在与实际工作等效的电气条件下进行,尽量模拟风电场条件。例如,试验系统可由变压器、拖动变频器、拖动电动机、转矩测量仪、双馈电机、双馈式变流器以及上位机组成,试验平台如图 1 所示。在试验过程中,由拖动变频器驱动拖动电动机来模拟风力发电机运行,在上位机的控制指令下完成双馈式变流器系列试验。

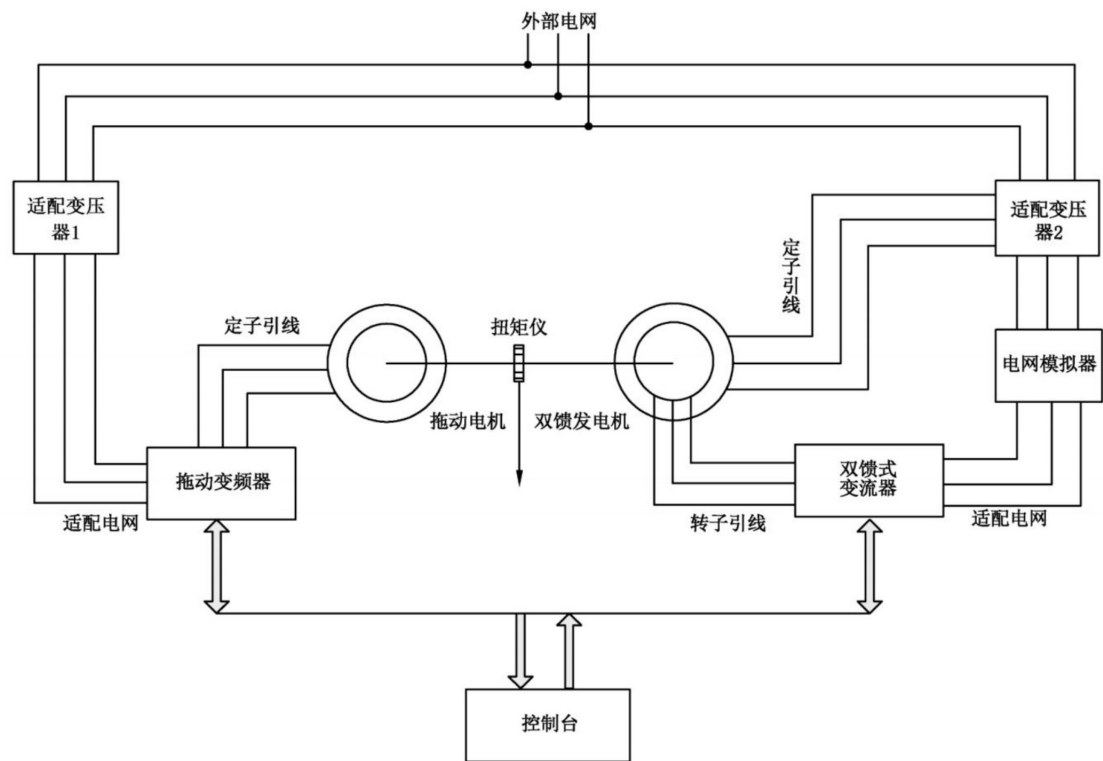


图 1 双馈式变流器试验模拟平台示例

## 4.2 试验项目及内容

### 4.2.1 电气安全试验

#### 4.2.1.1 绝缘强度测定试验

试验内容按照 GB/T 3859.1—2013 中 7.2.2 的规定进行。

#### 4.2.1.2 绝缘电阻测定试验

试验内容按照 GB/T 3859.1—2013 中 7.2.3.1 的规定进行。

#### 4.2.1.3 接地电阻测定试验

用接地电阻仪测试变流器的接地电阻,合格判断依据按照 GB/T 25388.1 的规定进行判定。

#### 4.2.1.4 电容器放电时间测量试验

变流器主断路器断开后,测量变流器内部电容器的电压降低到 60 V 的时间。

### 4.2.2 并网控制试验

在变流器的控制下,将发电机定子三相输出绕组并入电网,记录并网过程中并网切入时定子电流波形和定子电流瞬时值的最大值。

### 4.2.3 加载试验

型式试验需按照下述步骤进行测试,出厂试验可根据实际情况自行调整。试验在 4.1 中的模拟试验平台上进行,表 1 给出了加载试验数据表,试验步骤如下:

- 启动发电机,并调节发电机转速至切入转速点;
- 调节电网模拟器输出电压为额定电压,频率为额定频率,启动变流器,使之并网发电,设置网侧功率因数  $\text{PF}=1$ ,并记录当前转速下变流器输出功率;
- 调节发电机转速,使发电机在不同转速下运行,测试转速点依次从切入转速到切出转速范围内,转速调节需经历亚同步——同步——超同步的过程,变流器输出功率的等分点  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $\dots$ 、 $P_i$  ( $i \geq 10$ ),并记录不同等分输出功率点下,发电机的转速  $n_i$ 、指令转矩  $T_{i*}$ 、网侧变流器电流和功率、机侧变流器电流和功率等,直到切出转速结束。

表 1 加载试验数据表

转速/rpm	$n_1$	$n_2$	$n_3$	.....	$n_i$
指令转矩/(N·m)	$T_1$	$T_{2*}$	$T_{3*}$	.....	$T_{i*}$
电网输出端功率/kW (电网入口处)	$P_1$	$P_2$	$P_3$	.....	$P_i$
网侧变流器功率/kW	$P_{g1}$	$P_{g2}$	$P_{g3}$	.....	$P_{gi}$
网侧电流/A	$I_{g1}$	$I_{g2}$	$I_{g3}$	.....	$I_{gi}$
定子输出端功率/kW	$P_{s1}$	$P_{s2}$	$P_{s3}$	.....	$P_{si}$
定子电压/V	$U_{s1}$	$U_{s2}$	$U_{s3}$	.....	$U_{si}$
定子电流/A	$I_{s1}$	$I_{s2}$	$I_{s3}$	.....	$I_{si}$

表 1 (续)

转子侧变流器功率/kW	$P_{r1}$	$P_{r2}$	$P_{r3}$	.....	$P_{ri}$
转子电流/A	$I_{r1}$	$I_{r2}$	$I_{r3}$	.....	$I_{ri}$
转子电压/V	$U_{r1}$	$U_{r2}$	$U_{r3}$	.....	$U_{ri}$

4.2.4 电网适应能力试验

利用测试装置产生电压偏差、频率偏差、频率变化率、三相电压不平衡、电压波动和闪变、谐波电压，为电网适应性测试提供条件，机组电网适应性测试的测试点位于机组升压变压器的高压侧。测试时应采用如附录 A 所示的测试装置，该装置主要由低频扰动装置和高频扰动装置组成，其中低频扰动装置可产生测试要求的电压偏差、频率偏差、频率变化率、三相电压不平衡、电压波动和闪变，高频扰动装置可产生测试要求的谐波电压。

电网电压偏差、频率偏差、闪变、谐波电压和三相电压不平衡度的适应性试验的试验方法按照 GB/T 36994 的相关规定进行，其中三相电压不平衡度适应性测试的试验数据结果按照表 2 的形式进行汇总。

表 2 三相电压不平衡适应性测试结果汇总表

三相负序电压不平衡度设定值 %	三相负序电压不平衡度测量值 %	实际运行时间 min	要求运行时间 min	三相负序电流不平衡度测量 %	机组是否连续 并网运行
2.0					
4.0					
6.0					
8.0					

4.2.5 故障电压穿越能力试验

4.2.5.1 测试平台条件

测试平台应满足以下条件，测试平台参见附录 B 所示：

- a) 测试点的短路容量至少应为机组额定容量的 3 倍；
- b) 机组故障电压穿越能力测试的测试点位于机组升压变压器的高压侧；
- c) 电压故障造成的风电场中压电网母线电压偏差应在当地电网允许的电压偏差范围内。

4.2.5.2 测试方法

故障电压穿越能力测试方法按照 GB/T 36995 的规定进行。

4.2.6 效率试验

如图 2 所示，在额定电网电压、额定电网频率、功率因数为 1 的条件下，使机组工作在不同负载条件下，以 10% $P_n$  为步长，调整变流器输出功率为 10% $P_n$ ~100% $P_n$ 。用功率分析仪测量网侧变流器和转子侧变流器的功率，按照公式(1)计算变流器的转换效率。



$$\eta = \frac{P_g}{P_r} \times 100\%$$

.....( 1 )

式中：  
 $\eta$  ——变流器效率；  
 $P_r$ ——转子侧变流器功率；  
 $P_g$ ——网侧变流器功率。  
除非有约定变流器损耗范围，否则全部用此式计算变流器效率值。

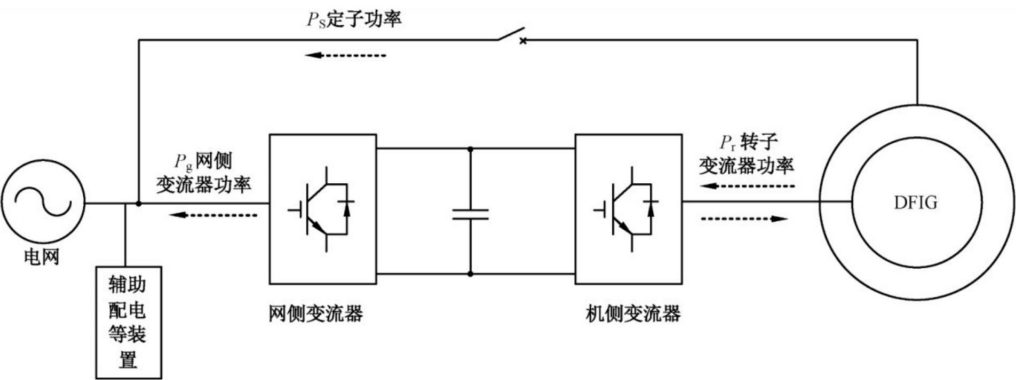


图 2 效率计算示意图

4.2.7 总功率因数试验

变流器在额定运行条件下运行，通过恒电压、恒功率和恒功率因数的调节方式调节功率因数，测量变流器的有功功率和无功功率，见公式(2)：

$$PF = \frac{P}{S}$$

.....( 2 )

式中：  
PF ——总功率因数；  
 $P$  ——有功功率；  
 $S$  ——视在功率。

4.2.8 总谐波畸变率测量试验

在额定电网电压、额定电网频率、网侧变流器额定输出功率、网侧单位功率因数下，采用电能质量分析仪，测量变流器输出三相交流电流的总谐波畸变率。

4.2.9 各次谐波电流测量试验

在额定电网电压、额定电网频率、网侧变流器额定输出功率、网侧单位功率因数下，采用电能质量分析仪，测量变流器输出三相交流电流的各次谐波电流值。

4.2.10 直流电流含量测量试验

在额定电网电压、额定电网频率、网侧变流器额定输出功率、网侧单位功率因数下，采用电能质量分析仪，测量变流器输出三相交流电流的直流电流含量。

4.2.11 直流电压纹波系数测量试验

在额定电网电压、额定电网频率、网侧变流器额定输出功率、网侧单位功率因数下，采用高压探头和示波器，测量直流电压中交流谐波分量的均方根值与直流电压平均值的比值。



4.2.12 电流不平衡度测试

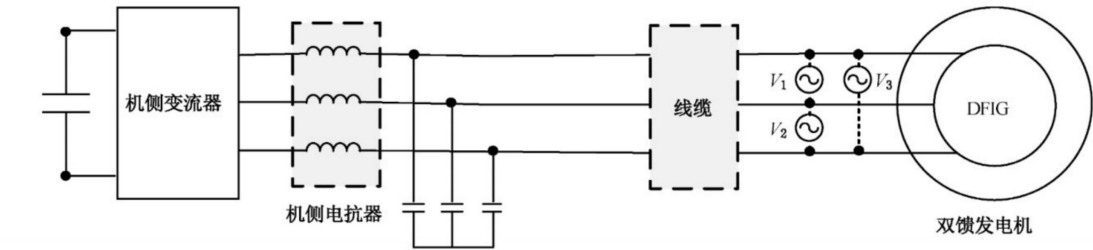
用电能质量分析仪测量网侧三相负序电流不平衡度,合格判断依据按照 GB/T 25388.1 的规定进行判定。

4.2.13 过载试验

变流器逐渐加载到额定电流,待各器件温升稳定后,再次加载直至满足 1.1 倍的额定电流的运行条件,持续运行 1 min,随后电流下降到额定值运行至各器件温升再次达到稳定,在整个运行期间,变流器应正常工作。

4.2.14 机侧差模电压  $U_{\max}$  的测量

如图 3 所示,在不同负载条件下,测量机侧端口差模电压即线电压绝对值的最大值。测量结果不应超过 GB/T 25388.1 的相关规定。

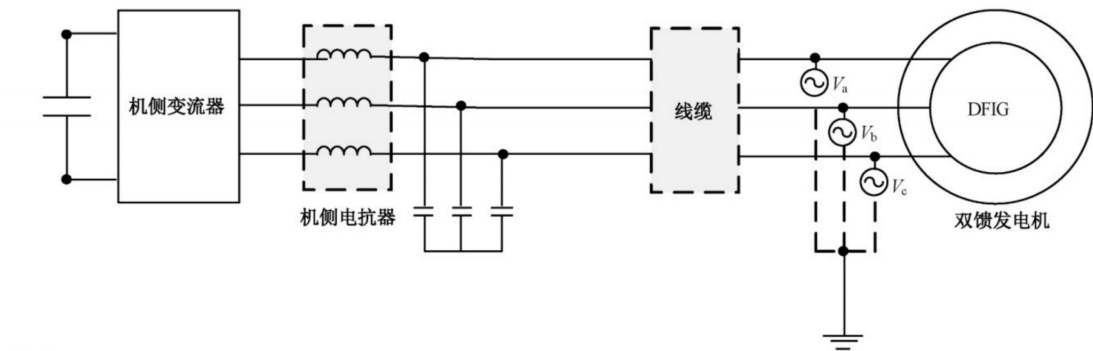


说明:  
 $V_1$ ——机侧端口测试点 1 线电压;  
 $V_2$ ——机侧端口测试点 1 线电压;  
 $V_3$ ——机侧端口测试点 1 线电压。

图 3 差模电压测试示意图

4.2.15 机侧共模电压的测量试验

如图 4 所示,在不同负载条件下,测量发电机定子端口共模电压即三相相电压之和的平均值,测量结果不应超过 GB/T 25388.1 的相关规定。



说明:  
 $V_a$ ——机侧端口测试点 1 相电压;  
 $V_b$ ——机侧端口测试点 1 相电压;  
 $V_c$ ——机侧端口测试点 1 相电压。

图 4 共模电压测试示意图

#### 4.2.16 电机侧电压变化率 $dU/dt$ 值的测量

在不同负载条件下,测量机侧端口差模电压即线电压绝对值的最大值,展开波形如图 5 所示,按公式(3)计算差模电压。测量结果不应超过 GB/T 25388.1 的相关规定。

$$\frac{dU}{dt} = (90\%U - 10\%U) / (t_2 - t_1) \quad \dots\dots\dots (3)$$

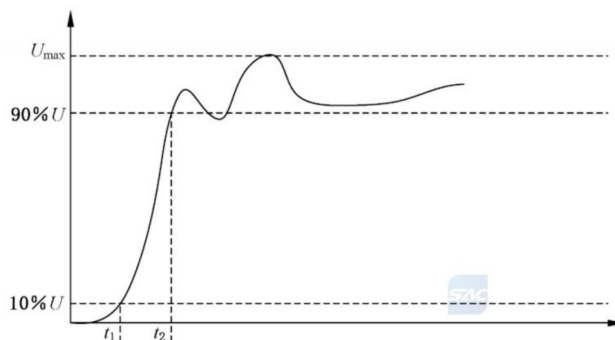


图 5  $dU/dt$  测试示意图

#### 4.2.17 稳定性运行试验

结合 4.2.3 的加载试验,使得变流器在额定电网电压、额定电网频率、变流器额定输出功率、网侧单位功率因数下,稳定、无故障运行 72 h。

#### 4.2.18 转矩控制精度试验

结合 4.2.3 的加载试验,在额定电网电压、额定电网频率、网侧单位功率因数、不同负载条件下,计算变流器反馈转矩与主控给定转矩差值,计算转矩控制精度,见公式(4)。

$$T_{acc} = \frac{|T_1 - T_0|}{T_e} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$T_1$ ——变流器返回主控实际转矩值;

$T_0$ ——主控下发转矩值;

$T_e$ ——电机额定转矩值。

#### 4.2.19 无功功率精度试验

在额定电网电压、额定电网频率、网侧额定输出功率、不同网侧功率因数下,采用电能质量分析仪测试网侧变流器输出无功功率,计算无功功率精度,见公式(5)。

$$Q_{acc} = \frac{|Q_1 - Q_0|}{Q_e} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$Q_1$ ——实测网侧变流器输出无功功率;

$Q_0$ ——主控下发无功指令;

$Q_e$ ——网侧输出最大无功功率值。

#### 4.2.20 温升试验

在变流器额定运行条件下,测定变流器的功率器件及电抗器是否超过规定的极限温升。试验按照

GB/T 3859.1—2013 中 7.4.2 的规定进行。

试验应在规定的额定电流以及最不利的冷却条件下进行。试验时测温元件应采用温度计、热电偶、热敏元件、红外测温仪或其他有效方法。温升应尽可能在规定点测量,应测量主电路部件和冷却系统的热阻抗。

对主电路的半导体器件,测量应包括冷却条件最差的器件,并记录半导体器件规定部位的温升和计算等效结温。半导体器件的温升极限可以是规定点(例如外壳)的最高温升,也可以是等效结温,由制造厂决定。

变流器主要部件和部位的极限温升如表 3 所示,变流器电抗器的极限温升如表 4 所示。

表 3 变流器主要部件和部位的极限温升

部件和部位	极限温升/K
主电路半导体器件	外壳温升和结温由产品技术条件或分类标准规定
主电路半导体器件与导体的连接处	裸铜:45 有锡镀层:55 有银镀层:70
母线(非连接处): 铜 铝	35 25
浪涌吸收器与主电路的电阻元件	距外表面 30 mm 处的空气:25

表 4 变流器电抗器的极限温升

电抗器冷却介质	电抗器温度等级	用电阻法测量的绕组极限温升/K
空气	A	60
	B	80
	H	125
油	A	65
水	H	125

4.2.21 保护功能试验

4.2.21.1 一类故障保护

4.2.21.1.1 防孤岛保护

按 4.1 中的模拟试验平台,系统供电后,启动变流器并网运行。断开模拟电网,变流器应能立即停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

4.2.21.1.2 对地短路保护

按 4.1 中的模拟试验平台,停机断电状态下,通过修改硬件保护门限的方法,调低短路硬件保护阈值门限。

启动变流器完成并网,分别调节网侧变流器、机侧变流器交流端电流,使工作电流触发短路保护阈

值,变流器应能立即停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

或者参照 4.1 中的模拟试验平台,启动变流器完成并网,通过模拟保护器件反馈信号翻转的方法,变流器应能立即停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.1.3 缺相保护

按 4.1 中的模拟试验平台,停机断电状态下,断开网侧、机侧交流端某一相电缆。上系统主电,变流器应能报出正确的故障信息,禁止启机且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.1.4 相序错保护

按 4.1 中的模拟试验平台,停机断电状态下,调换网侧或者机侧两相线缆。上系统主电,变流器应能报出正确的故障信息,禁止启机且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.1.5 瞬时过电流保护试验

按 4.1 中的模拟试验平台,停机断电状态下,通过修改硬件保护门限的方法,调低瞬时过电流硬件保护阈值门限。启动变流器完成并网,分别调节网侧变流器、机侧变流器交流端电流,使工作电流触发瞬时过电流保护阈值,变流器应能立即停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.1.6 直流过压保护

按 4.1 中的模拟试验平台,停机断电状态下,通过修改硬件保护门限的方法,调低直流过压硬件保护阈值门限。启动变流器完成并网,使得直流母线电压高于阈值门限,触发直流过压故障,变流器应能立即停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.1.7 直流欠压保护

按 4.1 中的模拟试验平台,停机断电状态下,通过修改硬件保护门限的方法,调高直流欠压硬件保护阈值门限。启动变流器完成并网,使得直流母线电压低于阈值门限,触发直流欠压故障,变流器应能立即停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

### 4.2.21.2 二类故障保护

#### 4.2.21.2.1 电压不平衡保护

按 4.1 中的模拟试验平台,上系统主电,启动变流器并网运行。调整电网模拟器输出电压,使得电压负序不平衡度超过软件保护阈值,变流器应能按照设定的缓停机策略,减载停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.2.2 电网过频保护

按 4.1 中的模拟试验平台,上系统主电,启动变流器并网运行。调整电网模拟器输出电网频率,使得电网频率超过软件保护阈值,变流器应能按照设定的缓停机策略,减载停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。



#### 4.2.21.2.3 电网欠频保护

按 4.1 中的模拟试验平台,上系统主电,启动变流器并网运行。调整电网模拟器输出电网频率,使得电网频率低于软件保护阈值,变流器应能按照设定的缓停机策略,减载停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.2.4 过电流保护

按 4.1 中的模拟试验平台,停机断电状态下,通过修改软件保护门限的方法,调低过电流软件保护阈值门限。启动变流器完成并网,分别调节网侧变流器、机侧变流器交流端电流,使工作电流触发过电流保护阈值,变流器应能按照设定的缓停机策略,减载停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.2.5 发电机过速保护

按 4.1 中的模拟试验平台,上系统主电,启动变流器并网运行。调节发电机转速超出过速保护阈值时,变流器应能按照设定的缓停机策略,减载停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.2.6 发电机欠速保护

按 4.1 中的模拟试验平台,上系统主电,启动变流器并网运行。调节发电机转速低于欠速保护阈值时,变流器应能按照设定的缓停机策略,减载停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.2.7 通信故障保护

按 4.1 中的模拟试验平台,上系统主电,通过模拟主控启动变流器并网运行。断开变流器与模拟主控的通信,变流器应能按照设定的缓停机策略,减载停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.2.8 冷却系统故障保护

按 4.1 中的模拟试验平台,上系统主电,启动变流器并网运行。停止变流器的冷却系统运行,变流器应能按照设定的缓停机策略,减载停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.2.9 过温保护

按 4.1 中的模拟试验平台,停机断电状态下,通过修改软件保护门限的方法,调低过温保护阈值门限。启动变流器完成并网,使环境温度、冷却液温度、器件温度等超过相应的温度保护阈值,变流器应能按照设定的缓停机策略,减载停机。停机完成后,变流器应能报出正确的故障信息,且无任何异常。故障消除且复位后,能恢复正常并网状态。

#### 4.2.21.2.10 浪涌过电压保护

按 4.1 中的模拟试验平台,拆除变流器浪涌保护装置或吸收装置,变流器应能正确识别并提示告警。

## 4.2.22 抗扰性试验

### 4.2.22.1 静电放电抗扰性试验

变流器可在轻载状态下运行,按照 GB/T 17626.6 的规定并在下述条件下进行试验:

- a) 试验电压:接触放电 6 kV,空气放电 8 kV;
- b) 测试端口:外壳整体;
- c) 每个敏感点试验点放电次数:正负极性各 10 次,每次放电间隔至少为 1 s;
- d) 性能判据:按照 GB/T 25388.1 的相关规定进行判定。

### 4.2.22.2 射频电磁场辐射抗扰性试验



变流器可在轻载状态下运行,按照 GB/T 17626.3 的规定并在下述条件下进行试验:

- a) 频率范围:80 MHz~1 000 MHz;
- b) 试验场强:10 V/m;
- c) 正弦波 1 kHz,80%幅度调制;
- d) 测试端口:外壳整体;
- e) 天线极化方向:水平和垂直方向;
- f) 性能判据:按照 GB/T 25388.1 的相关规定进行判定。

### 4.2.22.3 电快速脉冲群抗扰性试验

变流器可在轻载状态下运行,按照 GB/T 17626.4 的规定并在下述条件下进行试验:

- a) 试验电压:±2 kV(电源线),±1 kV(信号线);
- b) 测试端口:输入、输出电源的端口、信号线;
- c) 重复频率:5 kHz/100 kHz;
- d) 持续时间:1 min;
- e) 性能判据:按照 GB/T 25388.1 的相关规定进行判定。

### 4.2.22.4 浪涌电压抗扰性试验

变流器可在轻载状态下运行,按照 GB/T 17626.5 的规定并在下述条件下进行试验:

- a) 试验电压:±2 kV(共模),±1 kV(差模);
- b) 测试端口:输入、输出电源的端口、信号线;
- c) 极性:正、负;
- d) 试验次数:正负极性各 5 次;
- e) 重复率:每分钟一次;
- f) 性能判据:按照 GB/T 25388.1 的相关规定进行判定。

### 4.2.22.5 传导骚扰抗扰性试验

变流器可在轻载状态下运行,按照 GB/T 17626.6 的规定并在下述条件下进行试验:

- a) 频率范围:0.15 MHz~80 MHz;
- b) 试验场强:10 V(调制);
- c) 正弦波 1 kHz,80%幅度调制;
- d) 测试端口:外部端口;
- e) 注入方式:CDN 或电流钳、电磁钳;



f) 性能判据:按照 GB/T 25388.1 的相关规定进行判定。

#### 4.2.23 电磁发射试验

##### 4.2.23.1 传导发射试验

变流器应在正常满载或轻载状态下运行,按照 GB/T 12668.3—2012 的规定并在下述条件下进行试验:

- a) 测试频段:150 kHz~30 MHz;
- b) 测试端口:输入、输出电源的端口、信号线;
- c) 测试限值:按照 GB/T 12668.3—2012 中 6.5.2 的 C3 类限值要求。

##### 4.2.23.2 辐射发射试验

变流器应在正常满载或轻载并网工作状态下运行,按照 GB/T 12668.3—2012 的规定并在下述条件下进行试验:

- a) 测试频段:30 MHz~1 000 MHz;
- b) 测试端口:外壳端口;
- c) 测试限值:按照 GB/T 12668.3—2012 中 6.5.2 的 C3 类限值要求。

#### 4.2.24 通信试验

按 4.1 中的模拟试验平台,变流器与机组控制系统可以进行通信试验。试验的主要内容应包括开机过程、控制过程(指令下发)、停机过程、保护及复位过程、数据及状态交换等。

#### 4.2.25 低温工作试验

试验方法按照 GB/T 2423.1—2008 中“试验 A”进行。

#### 4.2.26 高温工作试验

试验方法按照 GB/T 2423.2—2008 中“试验 B”进行。

#### 4.2.27 恒定湿热试验

试验方法按照 GB/T 2423.3—2016 中“试验 Cab”进行。

#### 4.2.28 交变湿热试验

试验方法按照 GB/T 2423.4—2008 中“试验 Db”进行。

#### 4.2.29 防护性能试验

试验方法按照 GB/T 4208 的规定进行防护性能试验。



#### 4.2.30 振动试验

试验方法按照 GB/T 2423.56—2018 中“试验 Fh”进行。

#### 4.2.31 噪声测试

变流器应稳定运行在额定电网电压、额定电网频率、变流器额定输出功率、网侧单位功率因数条件下进行噪声测试。变流器内部具备的自动投切的风机应处于运行状态。

将声级计分别放置于距变流器放置地平面高 1 m 处,距其外壳前、后、左、右各 1 m 处,然后进行测量[环境噪声应不高于 60 dB(A)],取最大值。

#### 4.2.32 附加试验

若对变流器有上述试验项目未包括的其他要求时,应在订货时提出,并取得协议。

### 5 试验报告

在试验过程中,应及时整理有关数据和资料,试验结束后应核实观察、测定和计算结果,并整理汇总,编写试验报告。试验报告应包括以下内容:

- 1) 试验概述;
- 2) 样机简介;
- 3) 试验条件及分析;
- 4) 试验结果及分析;
- 5) 结论;
- 6) 附件。



附录 A  
(资料性附录)  
电网适应性试验平台拓扑图

电网适应性试验平台拓扑图见图 A.1。

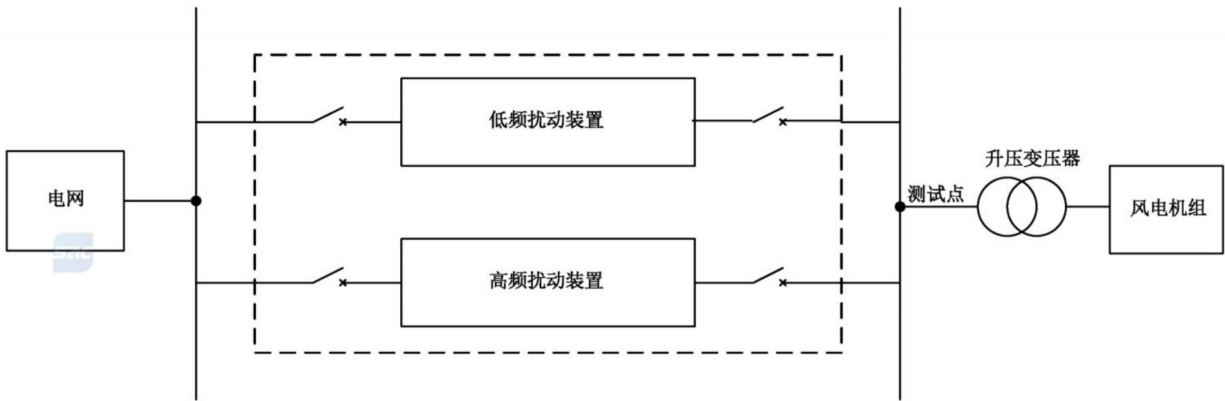


图 A.1 变流器模拟电网适应性试验平台示例图

测试装置运行条件和主要技术指标要求如下：

- a) 测试装置的额定容量推荐不小于被测风电机组的额定容量；
- b) 测试装置接入电网产生的影响应在国家标准允许的范围内；
- c) 测试装置输出的电压偏差、频率偏差、三相电压不平衡、电压波动和闪变及谐波电压等性能指标与负载测试时的最大允许偏差见表 A.1；
- d) 电压偏差调节范围不小于 GB/T 25388.1 中规定的电压偏差范围，电压输出步长小于或等于  $1\%U_n$ ；
- e) 频率偏差及变化率调节范围不小于 GB/T 25388.1 中规定的变化范围，频率输出步长小于或等于 0.1 Hz，频率变化率输出步长小于或等于 0.1 Hz/s；
- f) 三相电压不平衡度不小于 GB/T 25388.1 中规定的三相电压不平衡范围，且幅值或相位可调，三相电压不平衡度输出步长小于或等于 0.1%；
- g) 电压闪变输出能力应覆盖 GB/T 25388.1 中规定的测试内容；
- h) 谐波电压输出能力应覆盖 GB/T 25388.1 中规定的测试内容。

表 A.1 风电机组电网适应性测试装置性能指标与负载测试输出性能指标最大允许偏差

序号	测试内容	性能指标	最大允许偏差
1	电压偏差适应性	线电压有效值	$\pm 1\%U_n$
2	频率偏差适应性	频率	$\pm 0.1\text{ Hz}$
		频率变化率	$\pm 0.1\text{ Hz/s}$
3	三相电压不平衡适应性	三相电压不平衡度	$\pm 0.5\%$
4	闪变适应性	短时间闪变值 $P_{st}$	$\pm 0.5$
5	谐波电压适应性	电压总谐波畸变率	$\pm 0.5\%$

附录 B  
(资料性附录)  
故障电压发生装置原理图

对于通过 35 kV 及以下电压等级变压器与电网相连的机组,电压故障发生装置串联接入机组升压变压器高压侧。

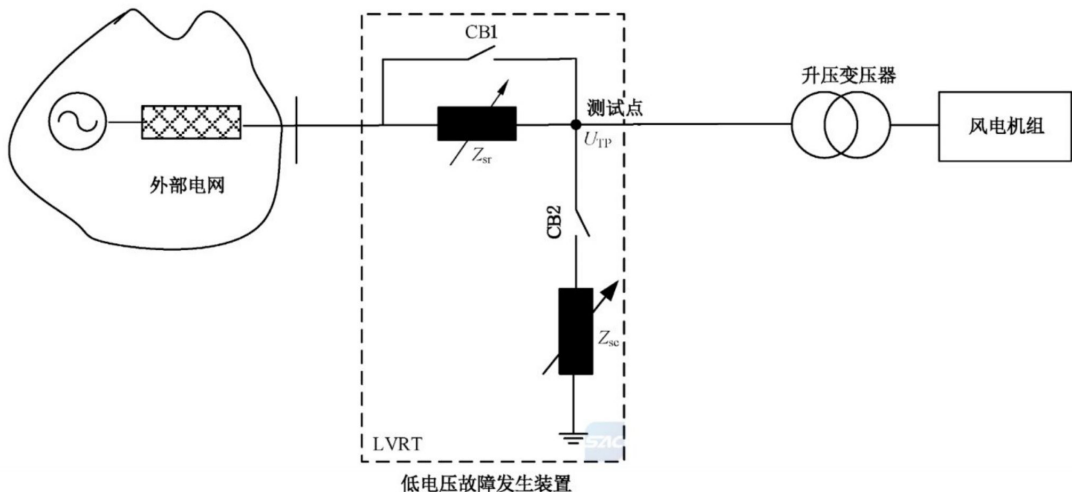


图 B.1 低电压故障发生装置示意图

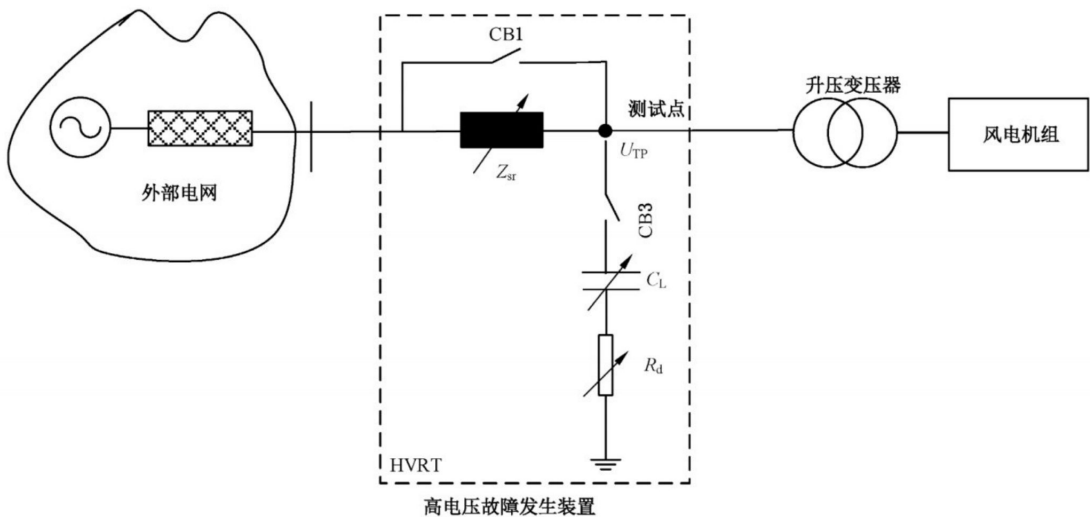


图 B.2 高电压故障发生装置示意图

图 B.1 与图 B.2 中  $Z_{st}$  为限流阻抗,用于限制故障电压对电网及风电场内其他运行机组的影响。在电压故障发生前后,限流阻抗可利用旁路开关 CB1 短接。

图 B.1 与图 B.2 中  $Z_{sc}$  为短路阻抗,闭合短路开关 CB2,将短路阻抗三相或两相连接在一起,可在测试点产生测试要求的电压跌落。

图 B.1 与图 B.2 中  $C_L$  为升压支路电容, $R_d$  为升压支路电阻,闭合短路开关 CB3,将升压阻容三相

或两相连接在一起,可在测试点产生要求的电压升高。

利用电压故障发生装置进行空载测试时,产生的电压跌落、升高的电压容许误差分别见图 B.3 与图 B.4。

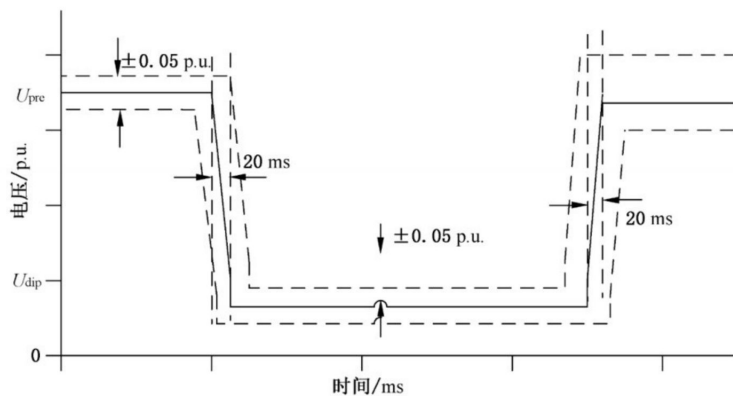


图 B.3 低电压空载测试时电压跌落容许误差

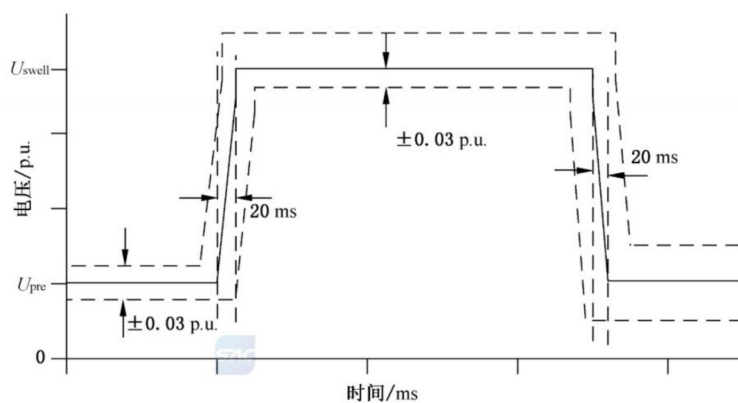


图 B.4 高电压空载测试时电压升高容许误差

短路开关 CB2、CB3 应能精确控制所有三相或两相电路中短路阻抗及升压阻容的投入及退出时间,产生的电压跌落及电压升高应在图 B.3 与图 B.4 所示容许误差范围内。

限流阻抗和短路阻抗的  $X/R$  均应大于 10。