



中华人民共和国国家标准

GB/T 22720.2—2019/IEC 60034-18-42:2017
代替 GB/Z 22720.2—2013

旋转电机 电压型变频器供电的 旋转电机耐局部放电电气绝缘结构 (Ⅱ型)的鉴定试验

**Rotating electrical machines—Qualification tests for the partial discharge
resistant electrical insulation systems(Type Ⅱ)used in rotating electrical
machines fed from voltage converters**

[IEC 60034-18-42:2017, Rotating electrical machines—Part 18-42: Partial
discharge resistant electrical insulation systems(Type Ⅱ)used in rotating
electrical machines fed from voltage converters—Qualification tests, IDT]

2019-06-04 发布

2020-01-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 变频器运行时产生的电机端电压	4
5 电机绕组绝缘结构的电应力	7
6 II型绝缘结构的电压等级	10
7 变频器供电的II型绝缘结构的应力因子	10
8 鉴定试验	11
9 主绝缘结构的鉴定	12
10 匝间绝缘的鉴定	14
11 防晕结构的鉴定	16
12 试验样品的准备	16
13 鉴定试验规程	17
14 鉴定试验合格准则	18
15 检查试验	19
16 可选的筛选试验	19
17 分析、报告和分级	19
附录 A (资料性附录) 对主绝缘老化的贡献	20
附录 B (资料性附录) 冲击测试电路示例	23
附录 C (资料性附录) 短时耐久性试验电压的推导	26
附录 D (资料性附录) 电机绝缘冲击电压绝缘等级的推导	27
附录 E (规范性附录) 缺少制造商的基准寿命曲线时 IVIC 的推导	29
附录 F (资料性附录) 可选的筛选试验	31
参考文献	32
图 1 冲击电压的波形参数	5
图 2 3 电平变频器供电电机端一个完整周期下的相间电压波形	6
图 3 变频器驱动的电机端出现的突变电压(U_j)	6
图 4 不同冲击上升时间下电机端在无穷大阻抗下的最大电压增量与电缆长度的函数关系	7
图 5 散嵌绕组设计示例	8
图 6 成型绕组设计示例	8

图 7	以冲击上升时间为函数的不同散嵌绕组定子匝间绝缘承受的最严酷电压	9
图 8	Ⅱ型主绝缘结构寿命曲线示例	14
图 9	匝间绝缘寿命曲线示例	15
图 A.1	3 电平变频器供电电机端的相对地电压示意图	20
图 A.2	多个冲击频率和基频频率之比与冲击电压($U_{pk/pk}$)和基频电压($U'_{pk/pk}$)之比的寿命 消耗百分比(Y轴)($n=10$)	22
图 B.1	简单变频器输出电压模拟电路示例	23
图 B.2	冲击发生器产生的典型波形	24
图 B.3	简单变频器输出电压模拟电路的示例	25
图 B.4	冲击发生器产生的典型波形	25
图 E.1	主绝缘基准寿命曲线	29
表 1	两种变频器供电电机端电压测量特征值示例	5
表 2	变频器供电电压特性对Ⅱ型绝缘结构不同组分加速老化的影响	10
表 A.1	3 电平变频器 1 kHz 冲击对电老化的贡献占 50 Hz 基频电压老化的百分比(耐久性系数 为 10)	21
表 D.1	Ⅱ型绝缘结构的 IVIC 和试验电压因数的定义	27
表 D.2	冲击电压绝缘等级(IVIC)	28

前 言

GB/T 22720 分为 2 个部分:

- GB/T 22720.1 旋转电机 电压型变频器供电的旋转电机无局部放电(Ⅰ型)电气绝缘结构的鉴别和质量控制试验;
- GB/T 22720.2 旋转电机 电压型变频器供电的旋转电机耐局部放电电气绝缘结构(Ⅱ型)的鉴定试验。

本部分为 GB/T 22720 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/Z 22720.2—2013《旋转电机 电压型变频器供电的旋转电机耐局部放电电气绝缘结构(Ⅱ型)的鉴别和认可试验》。本部分与 GB/Z 22720.2—2013 相比,主要技术变化如下:

- 修改了范围(见第 1 章,2013 年版的第 1 章);
- 修改了主绝缘样品(见 12.2,2013 年版的 11.3);
- 修改了匝间样品(见 12.3,2013 年版的 11.2);
- 修改了主绝缘鉴定程序(见 13.2,2013 年版的 12.3);
- 修改了匝间绝缘鉴定程序(见 13.3,2013 年版的 12.2);
- 修改了防晕结构鉴定程序(见 13.4,2013 年版的 12.4);
- 修改了鉴定试验合格准则(见第 14 章,2013 年版的第 13 章);
- 修改了附录“冲击测试电路的示例”(见附录 B,2013 年版的附录 A);
- 增加了附录 D“电机绝缘冲击电压绝缘等级的推导”(见附录 D);
- 增加了附录 E“在缺少制造商基准寿命曲线情况下 IVIC 的推导”(见附录 E)。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60034-18-42:2017《旋转电机 第 18-42 部分:电压型变频器供电的旋转电机耐局部放电电气绝缘结构(Ⅱ型) 鉴定试验》。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB/T 17948.3—2017 旋转电机 绝缘结构功能性评定 成型绕组试验规程 旋转电机绝缘结构热评定和分级(IEC 60034-18-31:2012,IDT)
- GB/T 17948.4—2016 旋转电机 绝缘结构功能性评定 成型绕组试验规程 电压耐久性评定(IEC 60034-18-32:2010,IDT)
- GB/T 20833.1—2016 旋转电机 旋转电机定子绕组绝缘 第 1 部分:离线局部放电测量(IEC TS 60034-27:2006,IDT)
- GB/T 23642—2017 电气绝缘材料和系统 瞬时上升和重复冲击电压条件下的局部放电(PD)电气测量(IEC TS 61934:2011,IDT)
- GB/T 29310—2012 电气绝缘击穿数据统计分析导则(IEC 62539:2007,IDT)

为便于使用,本部分做了下列编辑性修改:

- 纳入国际标准修正案的内容;
- 为与现有系列标准一致,本部分名称改为《旋转电机 电压型变频器供电的旋转电机耐局部放电电气绝缘结构(Ⅱ型)的鉴定试验》。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国旋转电机标准化技术委员会(SAC/TC 26)归口。

本部分起草单位:上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司、山东华力电机集团股份有限公

司、卧龙电气南阳防爆集团股份有限公司、西安泰富西玛电机有限公司、江苏锡安达防爆股份有限公司、安徽省电机产品及零部件质量监督检验中心、中车株洲电机有限公司、中车永济电机有限公司、上海德驱电气有限公司、哈尔滨电气动力装备有限公司、北京百正创源科技有限公司、杭州江潮电机有限公司、浙江沪龙科技股份有限公司、上海电气集团上海电机厂有限公司、上海电器设备检测所有限公司、哈尔滨大电机研究所。

本部分主要起草人：张生德、汪双灿、王庆东、王建乔、蒲天庆、陆进生、赵云峰、梁西川、刘冠芳、陈仙根、黄慧洁。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/Z 22720.2—2013。

引 言

《电压型变频器供电的旋转电机绝缘结构》包含两部分,且将绝缘结构分成两类:I型和II型。I型,在其运行寿命期间和规定的条件下不承受局部放电;II型,在整个运行寿命期间绝缘结构的任一部分经受局部放电。对于I型和II型绝缘结构,供电系统集成商(负责协调整套电力传动系统电气性能者)应告知电机制造商电机在运行期间出现的端电压,这时电机制造商会根据严酷程度决定适用于鉴定绝缘结构的试验。已经通过IEC 60034-18-41或IEC 60034-18-42鉴定且采用变频器供电的绝缘结构可推导出冲击电压绝缘等级。这表明绝缘可承受变频器运行时产生的电应力。I型结构的严酷等级基于冲击上升时间和峰-峰电压。在此基础上,II型结构的严酷等级还受冲击电压重复率和基波电压特性的影响。建议系统集成商在变频器/电机系统安装完成后测量终端和地之间的相间和相对地电压以检查是否符合要求。

0.1 IEC 60034-18-41

IEC 60034-18-41论述I型绝缘结构,I型绝缘结构通常用于额定电压700 V以下、具有散嵌绕组定子的旋转电机。IEC 60034-18-41给出了必要的规范性引用文件、术语以及变频器运行所产生的影响。确定评定程序的技术基础后,描述了概念方法和试验项目。

0.2 IEC 60034-18-42

IEC 60034-18-42描述了II型旋转电机电气绝缘结构的鉴定试验。II型绝缘结构通常用于额定电压700 V及以上且具有成型绕组的旋转电机。鉴定规程完全不同于I型绝缘结构,规程包括在加速条件下试品破坏性老化。制造商需要用合适的计算和/或试验规程阐明绝缘结构的寿命曲线(如IEC 60034-18-32中所描述)以提供其在变频器供电运行条件下的评估寿命。鉴别任何已应用的防晕结构是非常重要的,本试验应分别在正弦和重复冲击条件下进行。如果证明绝缘结构在规定的老化条件下具有可靠的寿命,那么绝缘结构准予使用。

旋转电机 电压型变频器供电的 旋转电机耐局部放电电气绝缘结构 (Ⅱ型)的鉴定试验

1 范围

GB/T 22720 的本部分规定了由产生重复冲击电压的脉宽调制(PWM)变频器供电并在运行期间预期经受局部放电的单相或多相交流电机定子/转子绕组绝缘结构的评估准则。本部分规定了典型试样的电气鉴定试验,以验证其与电压型变频器的匹配程度。本部分还描述了新增的分级体系,该分级体系规定了绝缘结构在变频器供电条件下具有可靠性能的限值。

虽然本部分适用于电压型变频器,但也存在会产生重复冲击电压的其他类型变频器。对于这类变频器,可用类似方法进行试验。

仅在启动时使用电压型变频器的旋转电机不需要鉴定其绝缘结构,因此不在本部分的范围内。

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 17948.7—2016 旋转电机 绝缘结构功能性评定 总则(IEC 60034-18-1:2010,IDT)

GB/T 22720.1—2017 旋转电机 电压型变频器供电的旋转电机无局部放电(Ⅰ型)电气绝缘结构的鉴别和质量控制试验(IEC 60034-18-41:2014,IDT)

IEC 60034-1:2010 旋转电机 第1部分:定额与性能(Rotating electrical machines—Part 1: Rating and performance)

IEC 60034-18-31 旋转电机 第18-31部分:绝缘结构功能性评定 成型绕组试验规程 旋转电机绝缘结构热评定和分级(Rotating electrical machines—Part 18-31: Functional evaluation of insulation systems—Test procedures for form-wound windings—Thermal evaluation and classification of insulation systems used in rotating machines)

IEC 60034-18-32 旋转电机 第18-32部分:绝缘结构功能性评定 成型绕组试验规程 电评定(Rotating electrical machines—Part 18-32: Functional evaluation of insulation systems —Test procedures for form-wound windings—Evaluation by electrical endurance)

IEC TS 60034-27 旋转电机 第27部分:旋转电机定子绕组绝缘离线局部放电测量(Rotating electrical machines—Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines)

IEC TS 61934 电气绝缘材料和系统 瞬时上升和重复冲击电压条件下的局部放电(PD)电气测量 [Electrical insulating materials and systems—Electrical measurement of partial discharges (PD) under short rise time and repetitive voltage impulses]

IEC 62539 电气绝缘击穿数据统计分析导则(Guide for the statistical analysis of electrical insulation breakdown data)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

局部放电 **partial discharge; PD**

导体间绝缘仅被部分桥接的电气放电。

注：可以发生在绝缘内部或外部，也可以发生在导体附近。

3.2

局部放电起始电压 **partial discharge inception voltage; PDIV**

当施加于试品上的电压从某一观测不到局部放电的较低值逐渐增加至试验回路中初次探测到局部放电时的最低电压。

注：对于正弦电压，PDIV 定义为电压的有效值。对于冲击电压，PDIV 定义为峰-峰电压。

3.3

重复局部放电起始电压 **repetitive partial discharge inception voltage; RPDIV**

十次极性相同的冲击电压中至少出现五次 PD 脉冲的最小峰-峰冲击电压。

注：对于规定的试验时间和试验回路，该值为平均值，其施加于试品上的电压是从探测不到局部放电的电压值逐渐增加的。

3.4

峰值(冲击)电压 **peak (impulse) voltage**

U_p

一个单极冲击能达到的最高电压值(例如图 1 中的 U_p)。

注：对于双极式冲击电压，峰值电压为峰-峰电压的一半；

3.5

稳态冲击电压值 **steady state impulse voltage magnitude**

U_a

冲击电压的最终幅值(见图 1)。

3.6

尖峰电压 **voltage overshoot**

U_b

超过稳态冲击电压部分的峰值电压值(见图 1)。

3.7

峰-峰冲击电压 **peak to peak impulse voltage**

$U'_{pk/pk}$

在冲击重复率下的峰-峰电压(见图 2)。

3.8

峰-峰电压 **peak to peak voltage**

$U_{pk/pk}$

在基频下的峰-峰相间电压(见图 2)。

注：峰-峰电压的定义在第 4 章中有所叙述。

3.9

单极电压冲击 **unipolar voltage impulse**

极性为正极或负极的电压冲击。

注：术语冲击(impulse)用来描述施加到试品的瞬时电压，术语脉冲(pulse)用来描述局部放电信号。

3.10

双极电压冲击 bipolar voltage impulse

极性从正极至负极交替变化的电压冲击，反之亦然。

3.11

冲击电压重复率 impulse voltage repetition rate

f

无论单极式或双极式冲击，两次极性一致的连续冲击之间平均时间的倒数。

3.12

冲击上升时间 impulse rise time

t_r

峰值电压从 10% 上升至 90% 所需的时间(见图 1)。

3.13

电气绝缘结构 electrical insulation system

用于电气设备的与导电部分结合在一起的含有一种或多种电气绝缘材料(EIM)的绝缘组合。

3.14

散嵌模型线圈 motorette

用于散嵌绕组电气绝缘结构评定的特殊试验模型。

3.15

成型模型线圈 formette

用于成型绕组电气绝缘结构评定的特殊试验模型。

3.16

电应力 electric stress

电场强度，以 V/mm 表示。

3.17

额定电压 rated voltage

U_N

电机在工频运行条件下的电压值，由制造商规定且在铭牌上标出。

3.18

Ⅱ型绝缘结构的冲击电压绝缘等级 impulse voltage insulation class for Type II insulation systems; IVIC

可靠运行的峰-峰电压等级 1、2、3、4、5、6、7、S，包含某些时间参数。对于特定的变频电机，它由电机制造商指定且与额定电压有关，如适用，在电机文件和电机铭牌中标明。

3.19

基频 fundamental frequency

从周期性时间函数的傅立叶转换得到的频谱中的频率，频谱中的所有频率均与其有关。

注 1：对于本部分，电机端电压的基频决定变频电机的转速。

注 2：基频为施加电压一个完整周期时间的倒数(见图 2)。

3.20

冲击持续时间 impulse duration

冲击瞬时值达到其冲击幅值的规定值或规定阈值的第一瞬时和最后瞬时的时间间隔。

3.21

突变电压 jump voltage

U_j

当变频器供电时,每次冲击开始时电机端电压的变化(见图 3)。

3.22

直流总线电压 dc bus voltage

U_{dc}

电压型变频器的中间电路电压(直流连接电路)。

注 1: 对于 2 电平变频器, U_{dc} 等于图 1 中 U_a 。

注 2: 对于多电平变频器, U_{dc} 等于图 2 中 $1/2U_{pk/pk}$ 减去尖峰。

3.23

电力传动系统 power drive system; PDS

含有完整的驱动模块和旋转电机,必要时也包含连接电缆。

3.24

电压耐久性系数 voltage endurance coefficient

n

反幂模型或指数模型中的指数,取决于特定绝缘结构寿命和施加电压值之间的关系。

3.25

寿命 life

失效时间。

3.26

槽部防晕层 conductive slot coating

与线圈槽内部分主绝缘紧密接触的导电漆或带。通常称作半导体涂层。

注: 该涂层是为了防止槽部放电。

3.27

端部防晕层 stress control coating

在高压定子线棒和线圈中,从槽部防晕层延伸出的主绝缘外表面上的漆或带。

注: 该涂层是为了改变表面电应力。

3.28

防晕结构 stress control system

在高压定子线棒和线圈中,槽部防晕层和端部防晕层的总称。

3.29

最大允许峰-峰相对地电压 maximum allowable peak to peak phase to ground voltage

U_{IVIC}

根据 IVIC 的定义,在运行期间允许的最大峰-峰相对地电压。

3.30

试验电压因数 test voltage factor; TVF

最大允许的峰-峰运行电压除以 $2\sqrt{2}$, 单位为 U_N 。

4 变频器运行时产生的电机端电压

可以通过 IEC TS 61800-8 估算变频器供电的电机端电压,其取决于电力传动系统(PDS)的若干特

性。为了运用本部分对绕组绝缘结构进行鉴定和测试,有必要规定所需的电机端电压参数(见第 7 章)。

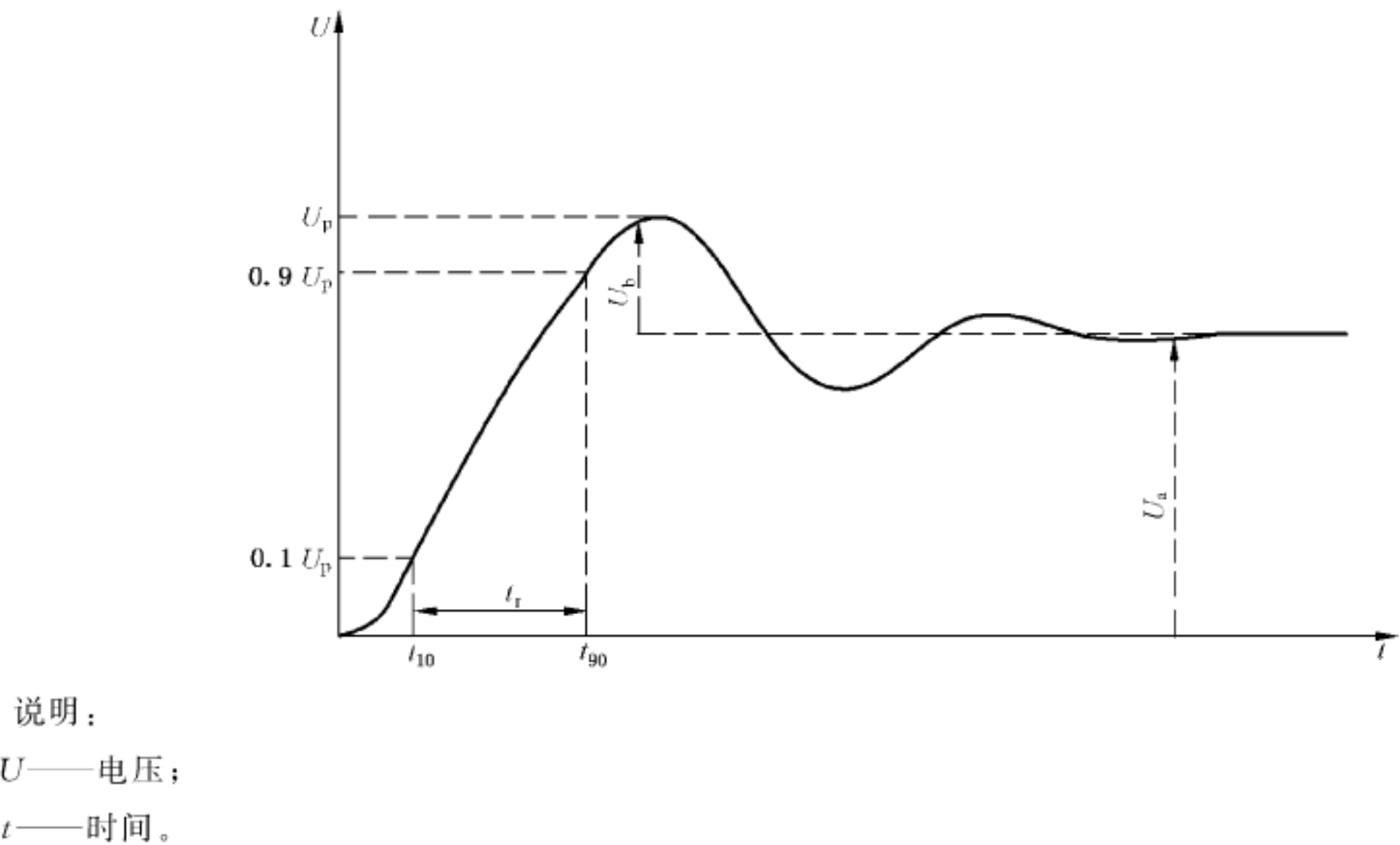


图 1 冲击电压的波形参数

电机端电压的幅值和上升时间取决于接地系统、电缆的各方面设计、电机的波阻抗以及使用的任何提升冲击上升时间的滤波器。表 1 给出了两台电机端部变频器冲击特征值的示例。

表 1 两种变频器供电电机端电压测量特征值示例

电机额定电压	3.3 kV	6.6 kV
测得的相对地绝缘峰-峰电压	7.9 kV	13.9 kV
基频	50/60 Hz	50/60 Hz
电机端冲击上升时间	1 μ s	3 μ s
冲击重复率	1 kHz	900 Hz
该运行条件下鉴定绝缘结构要求的 IVIC(参见表 D.2,第 2 列)	3	2

在 2 电平或其他电压型变频器的情况下,电机端部冲击产生的尖峰电压取决于变频器输出电压的冲击上升时间、电缆长度和电机阻抗。由于阻抗不匹配,在电缆和电机或变频器的接头处形成的反射波导致电压过冲。在基频的一个周期下,3 电平变频器供电时电机端出现的电压见图 2。

在冲击重复率下电压或突变电压 (U_j) 的最大变化如图 3 所示,该参数对确定绕组第一个或最后一个线圈的电压增量很重要。可出现双倍突变(图 3),但驱动系统集成商有责任确保使用软件控制电力传动系统将其发生的次数减至最少。当在多电平变频器输出的电压中出现双倍突变时,其影响不显著。

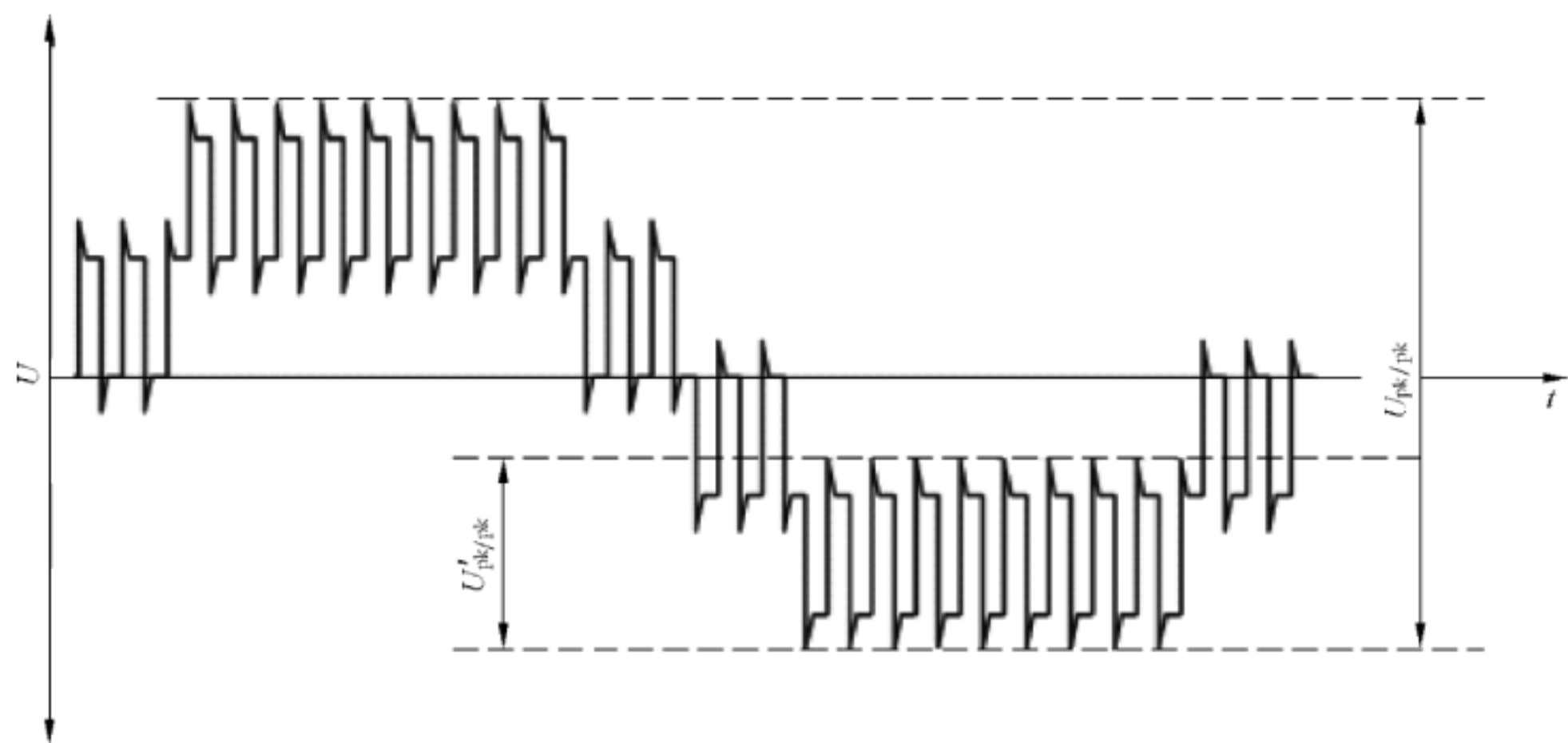


图 2 3 电平变频器供电电机端一个完整周期下的相间电压波形

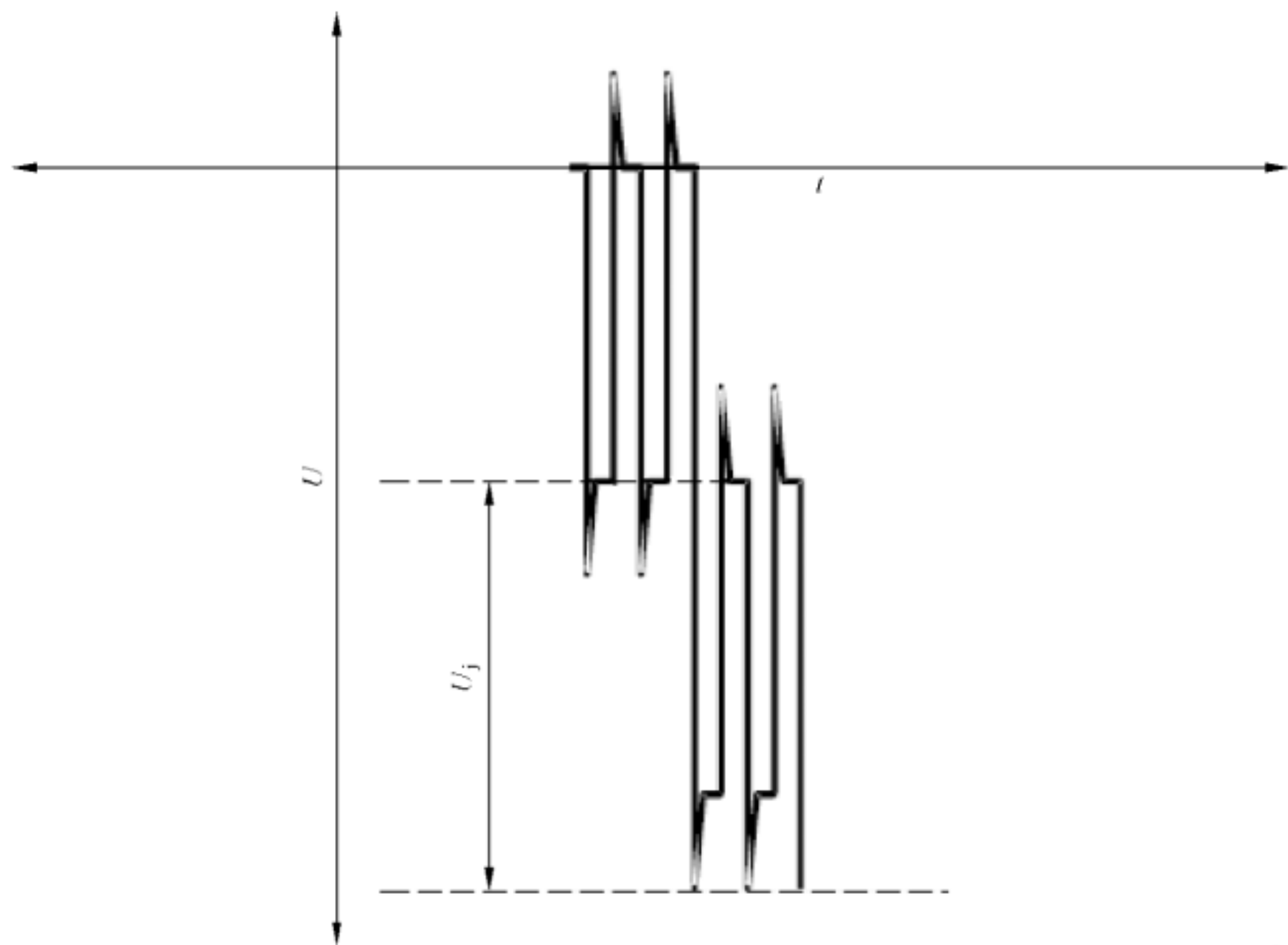


图 3 变频器驱动的电机端出现的突变电压(U_j)

图 4 给出了由无限大阻抗负载导致的最坏情况下,不同的上升时间和电缆长度造成的电压增量示例。这种情况下,冲击上升时间在 $1.0\ \mu\text{s}$ 时,电缆长度约 15 m 以下的电压增量可忽略不计,当电缆长度大于 50 m 左右时电压增量刚超过 1.2 倍。

由于变频器发生双极转变和变频器供电的驱动算法不允许在连续冲击之间存在一段最小时间,在电机端会产生大于 $2U_{\text{dc}}$ 的电压。例如,当一相从负极转换成正极直流总线电压的同时,另一相从正极向负极转换,就发生了双极转变。这种情况将产生 $2U_{\text{dc}}$ 的电压并传导至电机,并且在电机端反射时会增加幅值。若在变频器驱动中不控制最小冲击时间,且两次冲击间隔时间同变频器、电机间电缆的时间常数相匹配,则电机端会产生一个大于 $2U_{\text{dc}}$ 的过电压。通过在变频器内、电机端或者两者同时使用滤波器能减弱或阻止反射。

在某相发生接地故障的情况下,通过变频器内的保护系统关闭变频器可避免进一步损害。

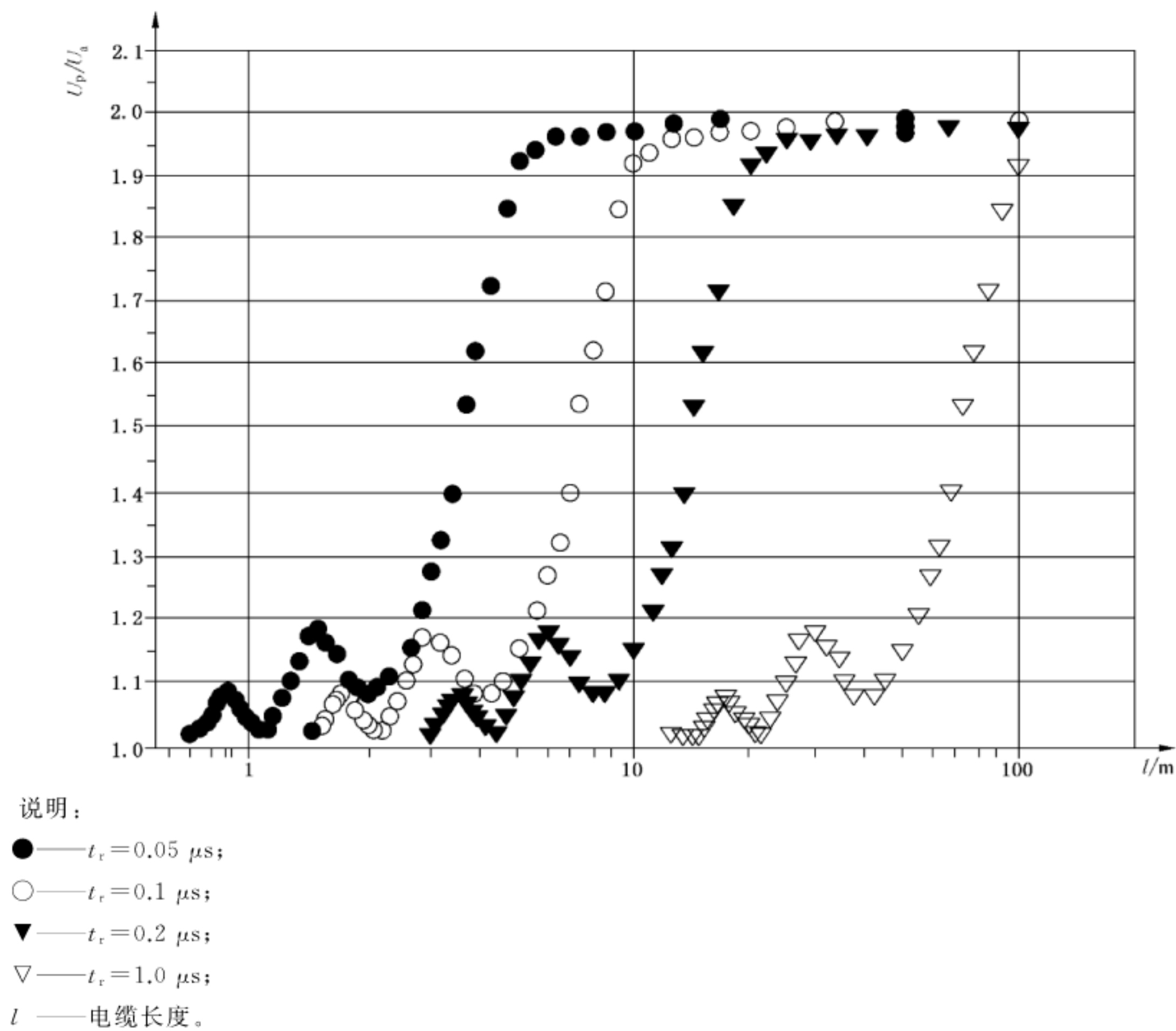


图 4 不同冲击上升时间下电机端在无穷大阻抗下的最大电压增量与电缆长度的函数关系

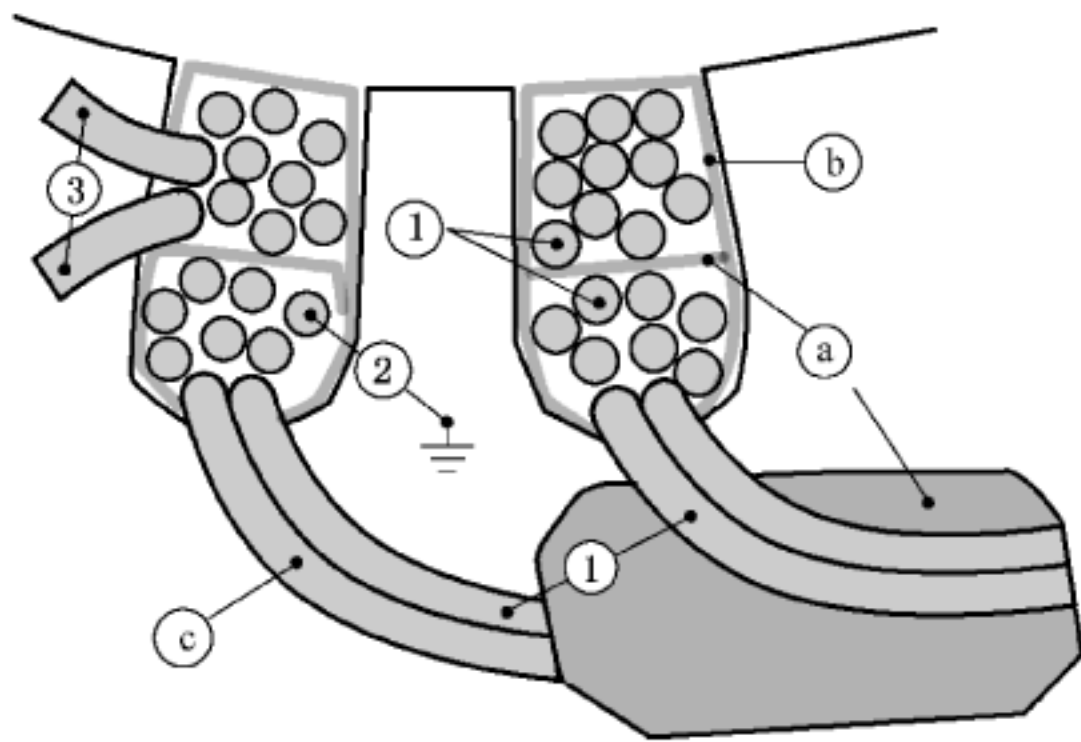
5 电机绕组绝缘结构的电应力

5.1 概述

若绕组承受幅值很大的短时上升冲击电压,则下列位置将产生高电压应力(图 5 和图 6):

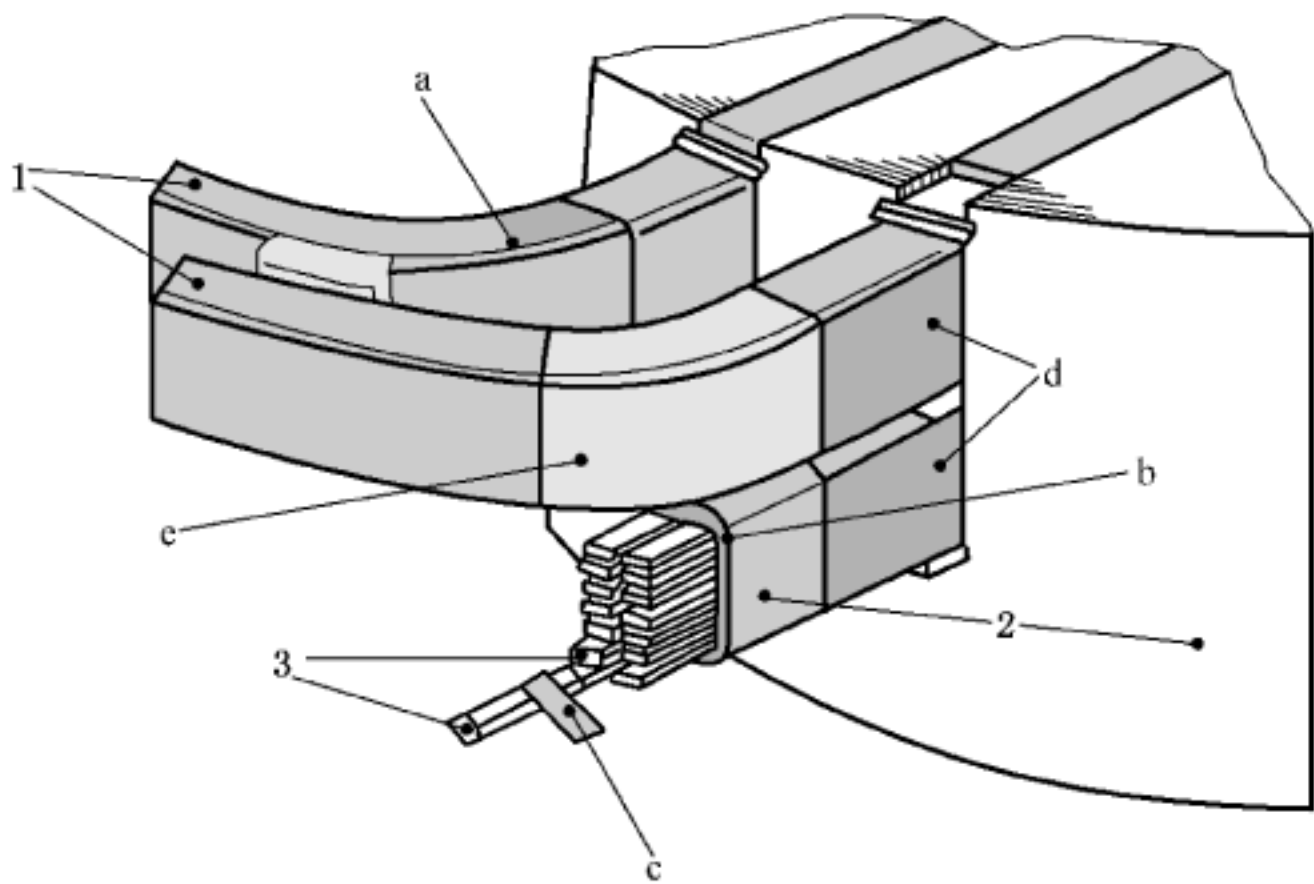
- 不同相的导体之间;
- 导体和地之间;
- 引线端处线圈的相邻匝间;
- 端部防晕层区域。

由于绝缘组件内产生的空间和表面放电,电应力不仅取决于瞬时电压自身,也取决于先前绝缘承受的电压。经验表明,对变频供电系统,在一定的有效范围内,最重要的应力参数是峰-峰电压,这也是不论单极冲击和双极冲击在具有相同的峰-峰电压值时产生的应力也相同的原因。



- 说明：
- a —— 相绝缘/绕组端部绝缘；
 - b —— 对地绝缘；
 - c —— 匝间绝缘；
 - 1 —— 相间；
 - 2 —— 相对地；
 - 3 —— 匝间。

图 5 散嵌绕组设计示例



- 说明：
- a —— 相绝缘/绕组端部绝缘；
 - b —— 对地绝缘；
 - c —— 匝间绝缘；
 - d —— 槽部防晕层；
 - e —— 端部防晕层；
 - 1 —— 相间；
 - 2 —— 相对地；
 - 3 —— 匝间。

图 6 成型绕组设计示例

5.2 相间绝缘电压应力

相间绝缘的最大电压应力是由绕组设计和相间电压的特性所决定。

5.3 相对地绝缘电压应力

相对地绝缘的最大电压应力是由绕组设计和相对地电压的特性所决定。

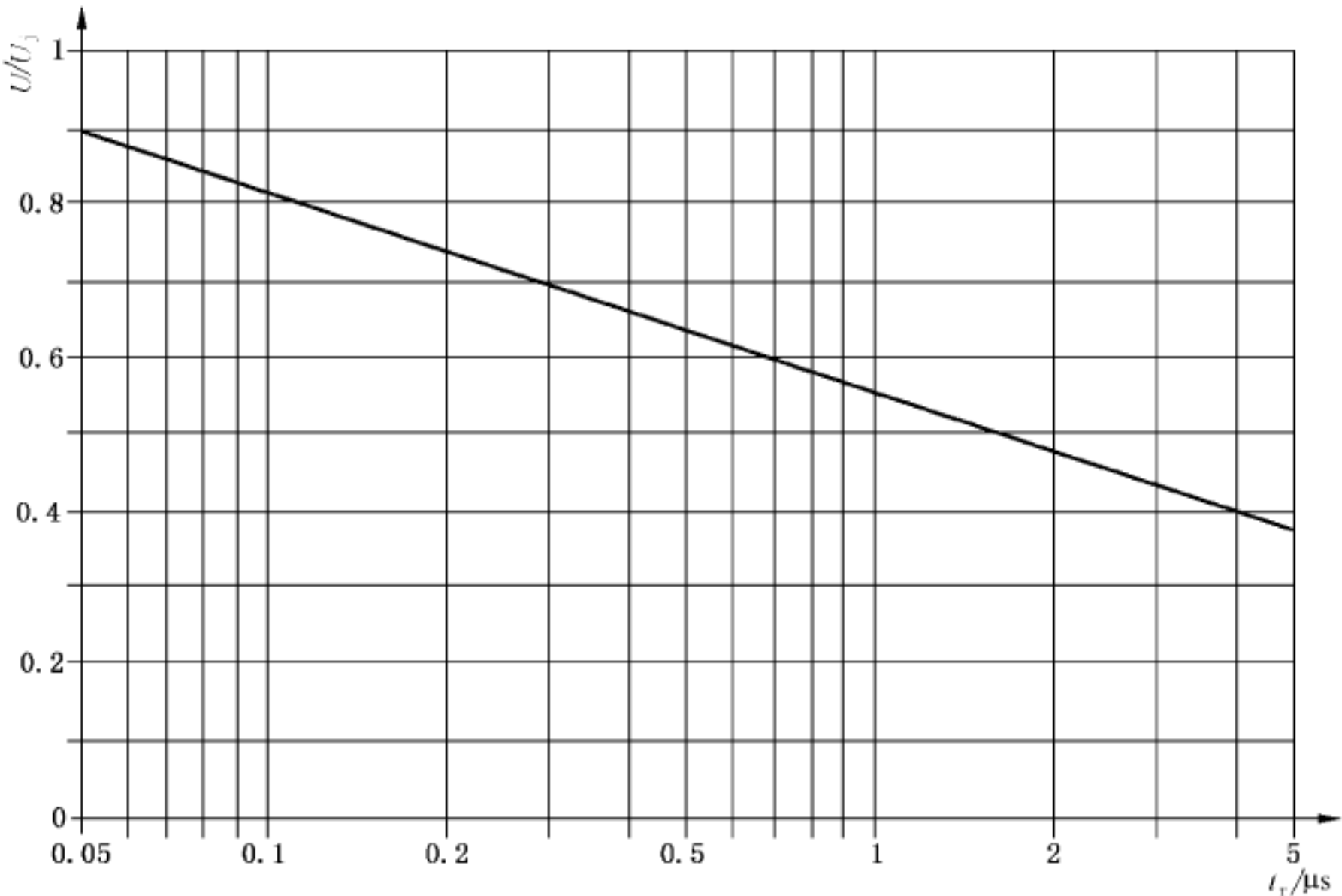
5.4 匝间绝缘电压应力

5.4.1 概述

匝间绝缘电压应力取决于相对地突变电压（幅值和上升时间）和绕组类型、线圈数、匝数和线匝长度。瞬时电压分布取决于各匝在槽中的相对位置。短时上升时间的冲击造成整个线圈内的电压分布不均，高水平应力存在于前两匝或后两匝，这取决于绕组设计。突变电压出现在相对地电压的上升沿和下降沿。匝间电压在上升沿和下降沿具有相同的作用。对于特殊设计的旋转电机，若已知施加于其匝间绝缘的电压分布，制造商可用该信息计算最严酷情况下施加在匝间绝缘的突变电压。否则，根据 5.4.2 和 5.4.3 进行估算。

5.4.2 散嵌绕组

实际上，第一匝和最后一匝可彼此相邻，这种情况下匝间电压几乎等于线圈的电压降。图 7 显示了不同定子匝间绝缘承受的最严酷电压与冲击上升时间的函数关系。所示电压为相对地突变电压的占比，这些数据是综合参考文献[2]、[3]和[4]提供的图形得到的。当制造商没有其他可用数据时可用此作为导则。



说明：
 U/U_j ——施加于匝间绝缘的突变电压倍数；
 t_r ——冲击上升时间。
注：1.0 是电机端相对地突变电压的峰值。

图 7 以冲击上升时间为函数的不同散嵌绕组定子匝间绝缘承受的最严酷电压

5.4.3 成型绕组

目前没有足够的可用数据来建立类似图 7 的成型绕组的图形。如果电压分布未知，制造商应通过设计线圈为客户提供保证，以便在单层线圈的情况下，匝间绝缘能承受突变电压除以该线圈匝数的电

压。对于多层线圈,完整的突变电压可施加于匝间绝缘,这取决于线匝的排列。

6 II 型绝缘结构的电压等级

如果绝缘结构中的任意部位在运行期间可承受局部放电,则定义为 II 型绝缘结构,因此该结构应包含耐局部放电的材料。通常,额定电压 $\geq 700\text{ V}$ 的电机采用 II 型绝缘结构,但也有大量的额定电压 $< 700\text{ V}$ 的电机采用 II 型绝缘结构。制造商为每台电机标明工频下的额定电压,这是假定工频电源是 50 Hz 或 60 Hz 的正弦电压,而在变频器供电的情况下,尽管制造商标明 50 Hz/60 Hz 的额定电压并将其打在电机的铭牌上,但这传统的额定电压定义已不适用。宜使用应力因子确定变频电机绝缘结构的性能,在该应力因子下绝缘结构鉴定合格。为了帮助旋转电机的使用者,在 3.18 中规定了变频器供电电机的冲击电压绝缘等级(IVIC)。附录 D 规定了 IVIC 的严酷等级代码。对于端部绕组无防晕层的电机,IVIC 主要取决于 $U_{pk/pk}$ 的最大容许值。对于定子端部绕组有防晕层的电机,防晕结构的性能也取决于冲击电压重复率及冲击上升时间。

7 变频器供电的 II 型绝缘结构的应力因子

电力传动系统集成商应告知电机设计者电机端会出现的电压,因此在其采购规范中除了传统参数例如额定电压、耐热等级、湿度等,还应对电机端电压的以下参数规定限值:

- a) 电机端基频和冲击电压重复率;
- b) 基频和冲击电压重复率下的峰-峰电压以及预期出现在电机端的突变电压;
- c) 冲击上升时间。

表 2 给出了电机端电压特性对 II 型绝缘结构组分老化的重要性指标。在使用 II 型绝缘结构的电机中,主绝缘、相绝缘和匝间绝缘材料通常是有机和无机材料的组合。对于运行电压高于 700 V 的定子,可能需要槽部防晕,以使绝缘的定子绕组和槽壁之间良好接地。导体绝缘的表面要承受槽部产生的应力集中。对于高压电机,可使用端部防晕以防止表面放电的发生。典型的 II 型绝缘结构由五部分构成(匝间、对地、相间、槽部防晕、端部防晕)。同一个槽内互相接触的两个线圈之间存在相间电压。然而,若存在槽部防晕,表面就是零电位,因为其通过铁心接地。类似地,若存在通常由绝缘垫片隔开的两层主绝缘,则对相间绝缘进行幅值很大的电压应力试验是没有必要的,因此不推荐对相间绝缘进行特定的试验。端部绕组可出现放电及击穿,但这不是本部分规定的鉴定规程。在鉴定试验中评定的各绝缘组分如表 2 所示。

表 2 变频器供电电压特性对 II 型绝缘结构不同组分加速老化的影响

绝缘组分	基频	冲击电压重复率 f	基频峰-峰电压 $U_{pk/pk}$	突变电压 U_j	冲击电压重 复率下的 峰-峰冲 击电压 $U'_{pk/pk}$	冲击上升时间 t_r
匝间绝缘	○	●	○	●	○	●
主绝缘	●	○ ^a	●	○	○ ^a	○ ^a
防晕结构	○	●	●	●	●	●
注 1: “○”表示较不重要。 注 2: “●”表示较重要。 注 3: 相间绝缘测试不重要。						
^a 如果使用 2 电平变频器,参数变得重要。						

对于设计在工频条件下使用的绝缘结构,首先要考虑的是施加于主绝缘及沿着端部防晕的额定对地电压的长期影响。匝间绝缘通常是以满足设计要求的最大陡波浪涌来规定。与冲击电压重复率相比,该浪涌通常持续时间非常短且相对罕见。因此,通常主绝缘能耐受工频耐压试验且匝间绝缘具备经受浪涌试验的能力则满足认可条件。结构达到设计寿命要求的能力通常应满足正弦电压长期电压耐久性试验。设计者根据耐久性试验可确定主绝缘结构的长期性能。

在变频器供电系统中,变频器驱动产生的更复杂的电压波形会在绕组中导致不同的应力分布。主绝缘会受到基频下尖峰电压幅值的影响。防晕结构会受到基频下尖峰电压(U_b)幅值和冲击电压重复率(f)的影响,后者可增加防晕结构的电介质发热。因此在防晕结构鉴定中需要考虑这两部分电压(见 13.4)。冲击重复率(f)下的突变电压(U_j)可使匝间绝缘承受很大的应力,基频电压下则不然。随着冲击上升时间的减小,在多匝线圈中的末端线圈的相邻线匝之间,电压应力通常会增加,因此会产生显著的过应力。极短的冲击上升时间会影响匝间绝缘和主绝缘的寿命。如果变频器具有较少的电平数(例如 2 电平),那么主绝缘寿命尤其受影响。然而,一般情况下,对于长期老化,上升时间对主绝缘寿命减少的影响是可以忽略的。这些因素的综合以及它们对绝缘结构总的影响很难量化。表 2 强调了促使加速老化的最重要因子,因此该假设决定了下述绝缘结构鉴定的试验规程。

8 鉴定试验

8.1 概述

通过对主绝缘、匝间绝缘、包含接地的防晕结构进行试验,可以鉴定变频器供电的旋转电机绝缘结构并给出 IVIC 分级。对整个绝缘结构的这三个部分分别进行评估。通过制造商特有的设计原则调整各参数,例如,绝缘材料、可接受的应力、防晕结构、使用的技术、工艺路线和尺寸规范,以确定各组分。该设计原则是要被鉴定的。对于 II 型绝缘结构主绝缘的鉴定,成型绕组线圈或线棒需承受加速电老化以确定电寿命曲线。对于散嵌绕组电机,可以使用散嵌模型线圈或完整绕组。对于匝间绝缘,使用具有平行导体的线棒或线圈试品以获得寿命曲线。局部放电主要引起电老化并导致过早失效是鉴定试验的前提,因此所有的试验应在 PDIV 之上进行。通常,允许使用正弦电压进行试验。对防晕结构分别进行冲击电压和正弦电压试验。

8.2 鉴定试验

鉴定试验以 GB/T 17948.7—2016 规定的绝缘结构功能性评定通用规程为基础,取决于预期应用于变频器供电条件下的绝缘结构(待评结构)与具有满意运行经验的绝缘结构(基准结构)的对比。

对于 II 型绝缘结构,主绝缘和匝间绝缘结构的鉴定试验是按 IEC 60034-18-32 的规定在室温或升高温度下的电压耐久性试验进行。为简单起见,可使用正弦电压对匝间和主绝缘进行电压耐久性试验。这种简化忽略了局部放电发生及冲击上升时间影响老化速率的事实。当可行时,推荐在合适的频率下使用冲击电压波形进行寿命试验。

通过使用不同的正弦过电压或频率,可以确定寿命曲线。注意本部分忽略了匝间绝缘和主绝缘之间老化的相互作用。在下述假设基础上,冲击条件下绝缘结构寿命可以从其正弦电压试验的寿命曲线预估出来:

- a) 若峰-峰电压值及电压周期数相同,冲击电压和正弦电压下的老化速率相同;
- b) 电压耐久性系数 n ,在 1 kHz 以下与频率无关。

通常主绝缘寿命由基频电压峰-峰值及重复率决定。对于 2 电平变频器,主绝缘主要承受冲击电压重复率下的峰-峰电压($U'_{pk/pk}$)。峰-峰值和重复率这两者之间对老化平衡的贡献可使用附录 A 详细描述的公式进行计算。

通过老化试验对防晕结构进行鉴定,是将绝缘绕组的典型试样放入模拟槽中,分别施加近似于运行

时预计的冲击电压和正弦电压,确定是否出现明显的损坏,比如明显的掉色或燃烧。

根据变频器供电下满意的运行经验,可以获得 IVIC 等级,附录 E 解释了这种推导方法。

9 主绝缘结构的鉴定

9.1 概述

所采用的理想试验方法是加速老化过程导致电气失效。应注意避免引入实际运行中不存在的失效机理,例如试验电压应高于 PDIV。通过提高电压范围(峰-峰)产生加速老化,该方法可改变每次冲击时出现的局部放电水平。或者,提高试验电压的重复频率使其高于电力传动系统运行时的基频。这种方法旨在保持局部放电水平并通过增加重复率实现加速。在该方法中,材料和端部防晕层中与频率相关的损耗会增加绝缘发热。可通过强制空冷降温。应对端部防晕区域进行局部热点温度测量以保证绝缘材料不超过其耐热等级温度。

任何合适的方法都可用于温度监测。温敏漆或贴片虽简单但不太精确,而热电偶可有电磁干扰和高压绝缘方面的困难。一种非接触式的测量技术,例如红外热成像法,能简便地识别和量化表面热点。热点能限制电机的运行条件。通过测量电气参数以在适当的时间间隔监控老化进程,例如局部放电、介电损耗角正切、介电常数等。作为诊断试验这些测试可在 50 Hz 或 60 Hz 频率下进行。

9.2 试验方法

应按 IEC 60034-18-32 的规定进行加速电老化。更多的背景信息可在其他地方找到。鉴定方法是以待评结构和基准结构寿命试验对比为基础,而基准结构已评估过使用寿命。常用的电寿命模型见式(1):

$$L = k \cdot U^{-n} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

n ——电压耐久性系数;

L ——试品的试验寿命,单位为小时(h);

U ——施加周期性峰值电压,单位为伏(V);

k ——常数。

该鉴定方法需要在 3 个或 3 个以上的过电压下试验,以确保能够绘制出标准主绝缘电应力与平均失效时间的对数曲线。如果使用工频电压(50 Hz 或 60 Hz),在最高电压下的平均失效时间宜为 50 h 左右且最低电压下的平均失效时间应大于 5 000 h。待评结构和基准结构宜在同一条件下试验,包括所有规定的试验电压波形。为了确定在各试验条件下的平均寿命,宜按 IEC 62539 的规定进行统计分析。电压耐久性系数为回归线的斜率。待评绝缘结构在基频下或者修正至基频下的寿命曲线宜至少与基准绝缘结构的寿命曲线相同,基准绝缘结构已被证明具有客户接受的运行寿命。IEC 60034-18-32 及 GB/T 17948.7—2016 说明了合格准则。如果在双对数坐标系中数据点不能拟合为直线,通常表明在试验应力范围内老化机理发生了改变。通过 R^2 (平方)线性检验检查曲线的线性度,通过准则建议大于 95%。若曲线的线性度未达到该要求,建议增加额外的老化点。

对于主绝缘和匝间绝缘,许多公开资料表明导致绝缘失效的电压周期总数与施加的电压频率基本无关。因此在多数情况下,在指定的峰值电压下,式(2)可用于计算预期寿命:

$$L_2 = L_1 \cdot f_1 / f_2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

L_2 ——频率 f_2 对应的寿命,单位为小时(h);

L_1 ——频率 f_1 对应的寿命,单位为小时(h)。

结合频率和电压有关的老化方程可导出一般表达式,见式(3):

$$L_{f_2, U_2} = L_{f_1, U_1} \times (U_1/U_2)^n \times (f_1/f_2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

L_{f_2, U_2} ——频率 f_2 和电压 U_2 对应的寿命,单位为小时(h);

L_{f_1, U_1} ——频率 f_1 和电压 U_1 对应的寿命,单位为小时(h)。

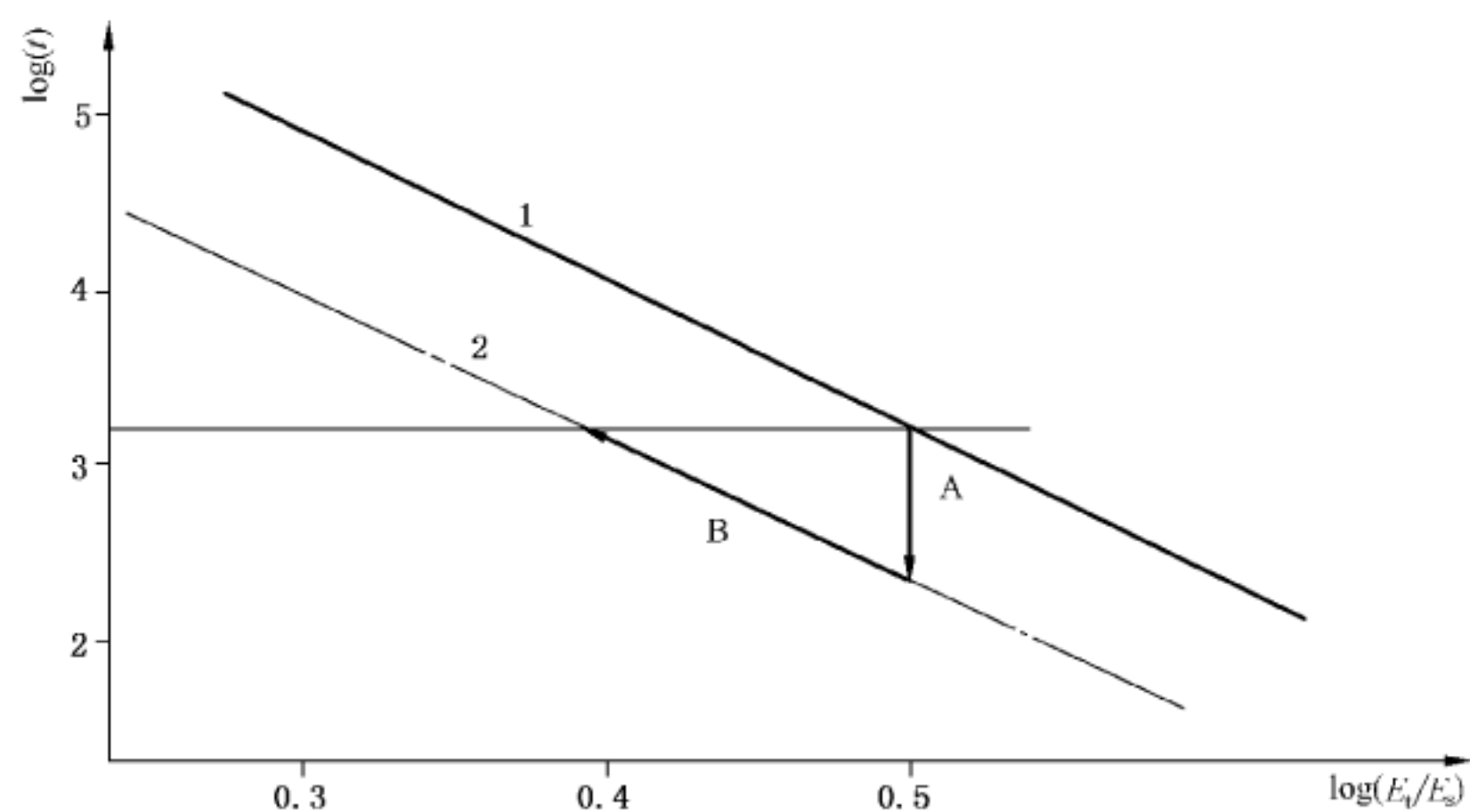
通常可使用式(3)在不同频率和电压下对主绝缘试验。试验证明,在不大于 1 kHz 的正弦和冲击电压下使用该方法计算寿命是有效的。对于多电平的情况,电老化的主要因子是基频峰-峰电压($U_{pk/pk}$)。频率的作用是增加或减少寿命,它与基频具有比例关系。对于通常具有较大的电压耐久性系数及用于多电平变频器供电的云母基绝缘,冲击电压(U_i)对主绝缘电老化的影响相比于 $U_{pk/pk}$ 是微不足道的。

9.3 使用 50 Hz/60 Hz 的寿命数据预测变频器供电绝缘结构的使用寿命

Ⅱ型绝缘结构在 50 Hz/60 Hz 下电压耐久性试验的典型寿命曲线如图 8 所示。对于定子线棒或线圈的主绝缘,平均失效时间对数是标准主绝缘电应力对数的函数。寿命曲线通常是一条直线,制造商应从运行经验中了解该曲线代表的设计,该设计在运行条件下能提供被客户接受的运行寿命。对于变频器供电电机,电应力是以运行期间主绝缘出现的峰-峰电压为基础进行计算的。电机仅能有一个 IVIC 且要求在电机文件中声明电机已通过鉴定的应用环境。例如,与工业应用相比,某些应用环境仅需要较短的寿命。

电压频率会增加或者减少寿命,如式(2)所示。若预期相同的绝缘结构经受基频,例如该基频比已知曲线的频率高 10 倍,通过将曲线沿时间轴向下平移 10 倍可以得到该运行条件下的曲线,如图 8 中的箭头 A。然后制造商可通过减小主绝缘承受的应力以上移该曲线进行校正,从而对初始寿命值进行补偿(箭头 B)。或者,如果运行频率是已知曲线频率的十分之一,寿命曲线将在时间坐标上向上平移 10 倍,通过增加应力对初始寿命值进行补偿。

制造商应评定绝缘并可决定不需要补偿。在这种情况下,应在电机文件中给出支持该决定的技术理由。若需要对寿命的改变进行补偿,则应修改绝缘设计。如果预期寿命的变化是适当的,那么制造商可移动图 8 中的基准寿命曲线。例如,预期寿命减少 10 倍,寿命曲线将在时间坐标上向下平移 10 倍,如箭头 A 所示。



说明：
 E_t ——峰-峰试验电压下的电应力；
 E_s ——峰-峰电压运行下的电应力；
 t ——失效时间，单位为小时(h)；
1 ——工频耐久性试验得到的寿命曲线；
2 ——相同绝缘在 10 倍频率下预测的寿命曲线。

图 8 II 型主绝缘结构寿命曲线示例

在基准寿命曲线更改后确定鉴定试验的通过准则。该规程应记录在文件中。

10 匝间绝缘的鉴定

10.1 概述

正弦电源供电电机绕组线圈中的匝间绝缘通常根据其耐受的短时高幅值离散电压来确定。匝间绝缘设计的关注点不同于主绝缘，其采用的材料、尺寸规格和工艺与主绝缘可有差异。

对于匝间绝缘老化，施加电压的主要参数为冲击电压重复率、突变电压的幅值及冲击上升时间（冲击上升时间决定突变电压在绕组中的分布）。在本部分中，忽略了冲击上升时间对匝间绝缘老化的直接影响。当作为绕组整体线圈设计的一部分时，匝间绝缘也是主绝缘的构成部分并且有助于得出第 9 章中的老化曲线。

在大多数正弦电压供电下，匝间绝缘在运行期间不会受到明显的电应力。其最主要的作用是耐受偶然性的电压浪涌或类似情况。然而，随着冲击上升时间减小，与突变电压相关的电应力开始转移至匝间区域，特别是在匝间绝缘小的弯角处，可引起匝间绝缘在运行期间的热电老化。匝间的电应力随着上升时间的减小而加剧，这增加了匝间局部放电的可能性。预期相对地电压对匝间绝缘的影响也取决于线圈匝数及每相中的线圈数。在电网供电运行下，断路器开关才会产生高电压冲击，这时匝间绝缘不太会发生电老化；但在变频器供电运行下，由于高冲击电压重复率，匝间绝缘会发生电老化。通常，经验表明在末端线圈前两匝或后两匝的电应力是最大的，但由于波反射有可能在绕组内更远的位置开始老化。

10.2 试验方法

本试验的目的是证明匝间绝缘在运行期间具有客户接受的电寿命。预期制造商知道在特定工况下匝间出现的最大峰-峰电压，应选择最严酷情况下的匝间电应力（取决于绕组及线圈设计）。如果运行期间匝间最大峰-峰电压(U_{turn})未知，应假设整个突变电压落在第一个线圈，因此 U_{turn} 等于突变电压除以匝数（对于单层线圈）或根据线匝排列计算的值（对于多层线圈）。

首先按 IEC TS 60034-27 的规定使用正弦电压或按 IEC TS 61934 的规定使用冲击电压进行局部放电试验,冲击电压的冲击上升时间与运行期间预期的冲击上升时间一致。该试验是在两个平行的相邻导体间进行。相比于正弦电压下的 PDIV,线圈尺寸会影响冲击试验电压从而得出更高或更低的 RPDIV。如果匝间绝缘在 $1.5U_{\text{turn}}$ 及高于规定的背景噪声水平下无局部放电,不必进一步的试验且认为匝间绝缘鉴定合格。IEC TS 61934、IEC TS 60034-27 及 GB/T 22720.1—2017 中详细说明了背景噪声水平的控制、限值及记录。

1.5 安全系数来自以下两方面的贡献。第一,按 GB/T 22720.1—2017 的规定,需考虑温度、热老化以及 PDIV 与 PDEV 间滞后效应的影响,该影响因子至少为 1.25。第二,考虑了长期热机械老化的影响,该影响因子为 1.2。因此综合的安全系数为 1.5。即使研究表明寿命没有降低,热机械老化会影响 PDIV。然而,该试验不考虑对寿命的影响,但考虑通过 PD 试验及对 PDIV 的影响。如果不确定系数是 1.2,宜按 IEC 60034-18-31 规定的试验确认或取消该因子。

通常要求探测的 PD 水平超过噪声水平,因此在试验电压下要求背景噪声足够低以探测 PD。需要特别注意有平行匝的线圈,确保此处不会出现电晕放电。如果在 $1.5U_{\text{turn}}$ 以下探测到 PD,按 13.3 的规定进行电压耐久性试验。以上参考的标准详细描述了起始局部放电的判断准则。可绘制曲线图表示匝间绝缘平均失效时间的对数与标准电应力对数的函数关系,如图 9 所示,标准值为试验值除以预估运行值。

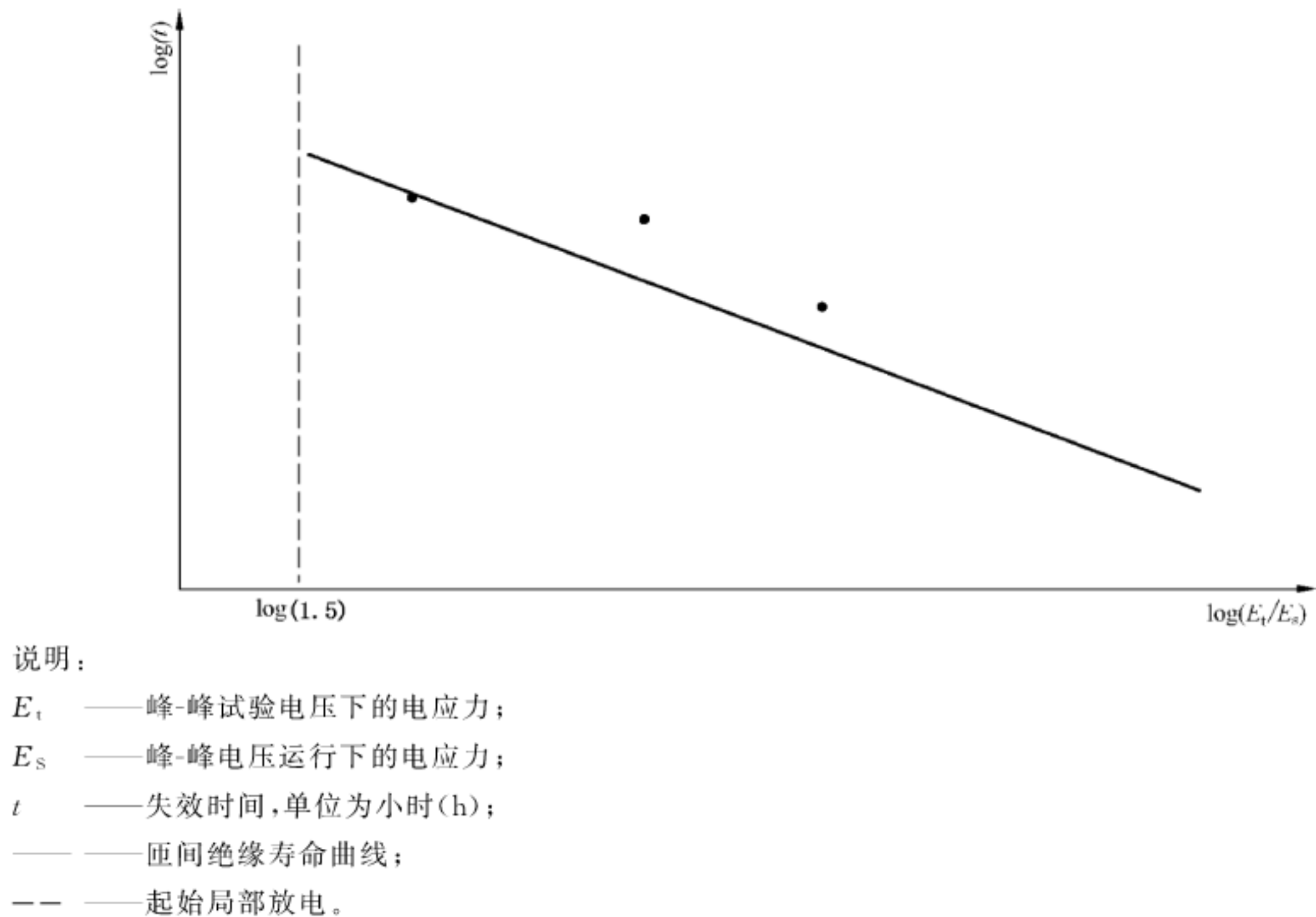


图 9 匝间绝缘寿命曲线示例

如果寿命曲线不是在冲击电压重复率下获得的,按 9.3 的规定对寿命曲线进行修正。例如,通过平行于时间轴向下移动寿命曲线将 50 Hz 对应的寿命曲线修正为冲击电压重复率为 1 kHz 的寿命曲线,系数为 20 倍。这时,将修正后的匝间绝缘寿命曲线与制造商已知的基准寿命曲线进行对比。因为电机在变频器供电下的运行应力远大于在工频运行下的最大电压,因此变频器运行条件下匝间绝缘的寿命曲线可显示较短的寿命。为了恢复预期设计寿命,制造商应降低匝间绝缘的电应力,或客户同意降低寿命。在没有基准寿命曲线的情况下,制造商宜参考 E.1.2。

11 防晕结构的鉴定

11.1 概述

如果绕组端部有端部防晕层,有必要对其进行鉴定。为此,需要采用与运行期间相似的电压、频率和重复率。含有半导体组分的材料具有非线性电阻率,例如碳化硅,其电场调节能力受频率、电应力、温度和时间的影响。其他情况下,可通过电容方法实现端部防晕。制造商选择的峰-峰电压、重复率和冲击上升时间要确保符合或超过预期运行条件。

频率增加会缩短绕组端部表面电应力梯度的间距,从而导致电应力增加。当该应力超过 600 V/mm 时,会发生电弧放电,造成表面腐蚀或电痕化(导电的碳化通道)。

电应力增加会降低端部防晕层的电阻率,从而达到防晕的主要目的。电应力的增加也增加了发热量。对于变频器供电的电机,在允许的范围内足够低的电阻率可使电压应力减小,而足够高的电阻率会导致持续发热,二者互相矛盾。对没有强制冷却的变频器供电电机,其绕组端部区域表面温升可低至 10 K 或高至 40 K。铜损耗是绝缘温度升高的主要影响因素,但端部防晕层自身发热也起重要作用。当评估电机运行的极限温度时,有必要考虑这些因素,因为它可以有效地降低电机额定温度。

对非线性的端部防晕层,温度有两个主要影响。第一个影响是在特定的电压应力下材料电导率迅速增大。第二个具有相似的影响,含有碳化硅端部防晕层的性能与电导率/电场强度曲线斜率减小有关。在某些情况下电导率的非线性特性可完全丧失。

第二个影响是由温度激增造成电导率的永久降低。在 155 °C 下仅仅几个小时后,温度降到 20 °C,电导率会显著降低。而在 155 °C 较长时间后,例如 500 h 后,端部防晕层的性能可恢复一部分。这是由于在端部防晕层中树脂的后固化将碳化硅粒子收缩和约束得更紧密。

槽部防晕层用于防止槽部放电,通常是含有碳的带或漆。在绕组端部起始区域与端部防晕电气接触的部分可产生问题。设计要求此处电气接触良好,接触电阻过高可导致过热和放电,这将导致材料和绕组端部防晕结构的性能退化。在使用电容耦合的情况下,槽部防晕层和端部防晕层之间不必直接连接。

防晕结构设计是满足 13.4 和 14.3 中鉴定试验合格准则的关键。影响设计的主要因素是材料和工艺的选择。

11.2 试验方法

防晕结构的鉴定试验目的是保障电机在要求的运行寿命内良好地运行。令人满意的运行性能是指无表面放电且绕组端部表面的温升不使主绝缘的温升超过限定值。

影响防晕结构寿命的三个主要因素是施加电压的幅值、频率和温度。试验要求按照产品标准制作被试线圈或线棒,放置在模拟槽中且经受至少 1.3 倍运行时耐受的电压值。事实上,可能没有恰当的变频器可供使用,因此替代的方法是分别进行冲击电压和工频电压耐久性试验。为了减少冲击发生器的容性负载,样品和槽可比实际运行电机的更短。然而,试样宜涵盖所有重要的设计特征。

为了提供所需的高压冲击,实验室设备的成本会很高。建议使用两个简单的试验回路。经验表明这两个简单的试验回路可快速暴露防晕结构的缺陷。它们的基础是使用半导体开关的冲击重复回路,不必使用商业变频器。两个回路示例及典型的相关波形参见附录 B。

12 试验样品的准备

12.1 概述

本章中的试样样品是为了鉴定表 2 中所述绝缘组分的性能,应根据生产电机的整个制造规范制造

样品。

12.2 主绝缘

为了鉴定用于定子的主绝缘,按照产品标准制作被试线圈或线棒并装入典型槽内。

12.3 匝间样品

按照使用的材料和制造规程,匝间试样应重现电机中使用的绝缘结构,每个试样包含一对或多对平行导体。根据产品标准制作试样。对于成型绕组,试样由线圈或者线棒组成;对于散嵌绕组,试样由散嵌模型或完整绕组组成。在匝间分叉处嵌入可吸收浸渍漆的毛毡可以减少或避免线圈或者线棒出口位置平行匝间的局部放电现象。

12.4 防晕试样

为了鉴定使用的防晕结构,按照产品标准制作被试线圈或线棒并装入典型槽内。槽部应安装加热器以使直线部分加热至运行温度。或者通过导体电流加热。为了降低试验电源的容性负载,可减小样品和槽部的长度,但样品的制作方法应与实际运行的线圈或线棒一致。

13 鉴定试验规程

13.1 概述

设计一个简单的试验方法来模拟表 2 所示所有绝缘组分之间的相互作用是不可行的。例如,通过升高电压的方法来获得主绝缘的寿命曲线,会使端部防晕层承受过高的应力。因此,鉴定试验被分为几个独立的试验规程。无论在什么情况下,选择的电源应能提供样品端所要求的电压、重复率和上升时间。

首先,建立主绝缘和匝间绝缘的寿命曲线,采用变频器驱动的电机运行时的预期寿命可通过寿命曲线计算。普遍认为局部放电发生在匝间和主绝缘之间,由于相对地绝缘包含匝间绝缘,因此鉴定程序包含其相互作用。当提高电压、频率或两者同时提高时,电应力会产生老化。施加在匝间试样或者主绝缘试样的老化电压波形为正弦波或冲击波,绝缘电击穿为试验终点。应有足够数量的样品以得到统计学有效的试验结果。其次,分别使用冲击和正弦电压对防晕结构进行试验,以确定其满足运行要求。

13.2 主绝缘

本试验的目的是鉴定待评绝缘结构的主绝缘。使用提高电压的方法确定主绝缘寿命曲线。按 IEC 60034-18-32 的规定进行该试验,横坐标为峰-峰试验电压电应力除以峰-峰运行电压电应力的对数,如图 8 所示。在图 8 中,横坐标中 U_0 为电机额定电压乘以表 D.2 第一列中的增强系数,该增强系数是需要鉴定的。通过 U_0 除以主绝缘厚度得到运行电压下的电应力 E_0 。对于 2 电平变频器供电的主绝缘, U 及 U' 的峰-峰值之间可有微小差别或没有差别。在这种情况下,可使用 U' 及其冲击电压重复率代替表 D.2 第一列中的 U 。

应至少选择三个电压且以绝缘电击穿作为终点。若使用合格准则 a) 或 b) (见 14.1),在每个电压下应至少对 7 个试样线棒或线圈边进行试验。如果要应用合格准则 c),则应在每个电压下至少对 4 个单独的线棒或线圈边进行试验。待评绝缘结构的寿命曲线要与基准寿命曲线对比,例如被获取寿命曲线的绝缘结构已经证明在基频下具有满意的运行寿命(GB/T 17948.7—2016)。基准寿命曲线可从在变频器供电下具有满意的运行寿命中得到。

在升高电压对完整线圈结构寿命测试期间,绕组端部绝缘上的防晕结构可能难以承受。故为了保证失效只发生在主绝缘上,可用任何消除应力的措施对线圈进行试验,例如应力锥或绝缘附加层。在试

验期间可修复防晕结构。

13.3 匝间绝缘

首先,按 IEC TS 60034-27 的规定使用正弦电压或按 IEC TS 61934 的规定使用冲击电压对至少 5 个试样进行局部放电试验,冲击电压的冲击上升时间与运行期间预期的冲击上升时间一样短,如 GB/T 22720.1—2017 中 9.2 所述。试验设备应能够在试验值下探测到局部放电,使用信号处理将背景噪声大幅度衰减的试验设备可满足该要求。如果所有试样的匝间绝缘在 $1.5U_{\text{turn}}$ 下无局部放电,不必进一步的试验且认为匝间绝缘鉴定合格。如果在该试验电压下探测到局部放电,则应在室温下进行电压耐久性试验。对每对平行导体试样施加正弦电压直至绝缘电击穿。试验电压点应至少 3 个且最好峰-峰电压值为 $4.5U_{\text{turn}}$ 、 $4.0U_{\text{turn}}$ 、 $3.5U_{\text{turn}}$ 。在每个电压下对 5 个试样进行试验。使用任何常规的统计方法计算失效时间(见 IEC 62539),包括 Weibull 统计分布。然后绘制表示匝间绝缘失效时间与标准试验电应力函数关系的曲线图,如图 9 所示。如果耐久性试验是在工频下进行的,由于冲击电压重复率对匝间绝缘的老化,其在变频器供电下的寿命更短。用本部分的表 D.2 第 4 列中报告的冲击电压重复率与老化试验频率的比值修正待评寿命曲线。按式(2)进行修正后再与基准寿命曲线进行对比。标准值为试验值除以预估运行值(如 U_{turn})。

13.4 防晕结构

样品应根据 12.4 的要求进行制作,并全部装入典型槽或模拟接地槽内,绕组端部区域使用防晕层。然后样品在预期的运行温度下按顺序经受三部分试验。第一部分是 100 h 的冲击电压耐久性试验,峰-峰电压等于运行期间经受的最大突变电压乘以安全系数 1.3,冲击上升时间不高于预期运行值,重复率不低于预期运行值。如果运行的冲击电压参数未知,应默认采用 1 kHz~1.5 kHz 的重复率和 $0.5\ \mu\text{s}$ ~ $1\ \mu\text{s}$ 的冲击上升时间。第二部分是在预期运行的基频下进行 1 000 h 的正弦电压耐久性试验。电压水平应为运行期间最大峰-峰对地电压乘以安全系数 1.3,等效的电压有效值为峰-峰值除以 $2\sqrt{2}$ 。第三部分的试验应重复第一部分。应至少试验 3 个样品。

14 鉴定试验合格准则

14.1 主绝缘

应在同一频率下对比待评和基准寿命曲线。对比前应按 9.3 的规定对试验中所用的不同频率进行修正。按 IEC 60034-18-32 的规定,如果满足下述条件则主绝缘鉴定合格:

- 在相同的试验电压下,待评结构寿命曲线的 90% 置信上限超过基准主绝缘寿命曲线的 90% 置信上限。或
- 在最低试验电压下,待评结构寿命曲线的 90% 置信下限大于或等于基准主绝缘寿命曲线的 90% 置信下限。且待评结构均值回归线的斜率比基准绝缘结构寿命曲线的斜率陡(如待评结构的 n 值大于基准结构)。
- 若基准结构无可用的置信区间,例如附录 E 中的基准曲线,待评结构的合格准则应是每个电压下所有试样的寿命都不小于基准线所示的寿命(见 E.1.1)。如果四个样品中的有一个样品失效,则要再测试至少两个以上样品并通过(引自 IEEE 1553)。

注:若单个测试结果之间存在较大的分散性(例如超过一个数量级),则使用较大的样本数以防止使用准则 a) 和 b) 时曲线的置信限过大,或者仅使用准则 c)。

14.2 匝间绝缘

如果在五个被试样品的导体间施加 $1.5U_{\text{turn}}$ 都未发生局部放电,则认为匝间绝缘鉴定合格。如果试

验中发现其中一个或多个出现局部放电,则通过对比 IEC 60034-18-32 规定的基准匝间绝缘结构寿命曲线鉴定待评绝缘。通过对频率进行修正,在标准运行电应力及相同的频率下进行对比。如果满足下述条件则匝间绝缘鉴定合格:

- a) 在相同的试验电压下,匝间寿命曲线的 90%置信上限超过基准匝间绝缘寿命曲线的 90%置信上限。或
- b) 在最低试验电压下,待评匝间寿命曲线的 90%置信下限超过或等于基准匝间绝缘寿命曲线的 90%置信下限。且待评结构均值回归线的斜率比基准绝缘结构寿命曲线的斜率陡(例如待评匝间绝缘的 n 值大于基准绝缘结构)。

14.3 防晕结构

在最后阶段的冲击电压试验中,在暗室中或通过 UV 探测器没有肉眼(例如不借助显微镜或放大镜)可见的明显局部放电。试验结束后,在端部绕组外表面,端部防晕层或槽部防晕层没有肉眼可见的明显损坏。

15 检查试验

按 IEC 60034-1:2010 的规定,应进行强制性的耐电压试验。如 D.1 所述,根据规定的 IVIC 提高电压水平对变频器供电电机进行耐电压试验。进行检查试验的结果应在电机文件中报告。

16 可选的筛选试验

可选的筛选试验参见附录 F,进行筛选试验的结果应在电机文件中报告。

17 分析、报告和分级

应采用 GB/T 17948.7—2016 中 6.2 所给出方法进行分析、报告、分级。以便相关数据被正确地分析并可溯源。

附 录 A
(资料性附录)
对主绝缘老化的贡献

A.1 主绝缘寿命消耗

在变频器运行下,绝缘结构承受复杂的电压(图 2),该电压由冲击重复率下的峰-峰冲击电压($U'_{pk/pk}$)和基频下峰-峰电压($U_{pk/pk}$)构成。对于多电平变频器,具有相对高的电压耐久性系数(例如 10)的 II 型主绝缘寿命消耗主要由与基频有关的峰-峰电压确定。这是因为,在该示例中,电压对寿命消耗的影响比频率的影响大 10 倍。

假定采用 9.2 中的寿命一般表达式且耐久性系数“ n ”在考虑的范围内不随电压或频率改变,则基频及冲击重复率下的相应峰-峰电压对寿命的消耗可被计算。根据式(3),电压及频率对寿命消耗的影响主要取决于绝缘的电压耐久性系数。虽然未被科学地证明,假定对老化的叠加效应是有效的。意味着顺序施加和同时施加冲击及基频电压是等效的。

A.2 3 电平变频器供电对老化贡献的计算

此处给出了 3 电平变频器供电电机对定子主绝缘加速老化的贡献示例,其仅表明电老化的影响而忽略热老化的影响。示例中的变频器选择的是冲击重复率为 1 kHz 的 3 电平系统,这是常规值。对于不同的尖峰系数 U_b/U_a 值,以占总老化的百分比给出变频器冲击对老化的贡献。

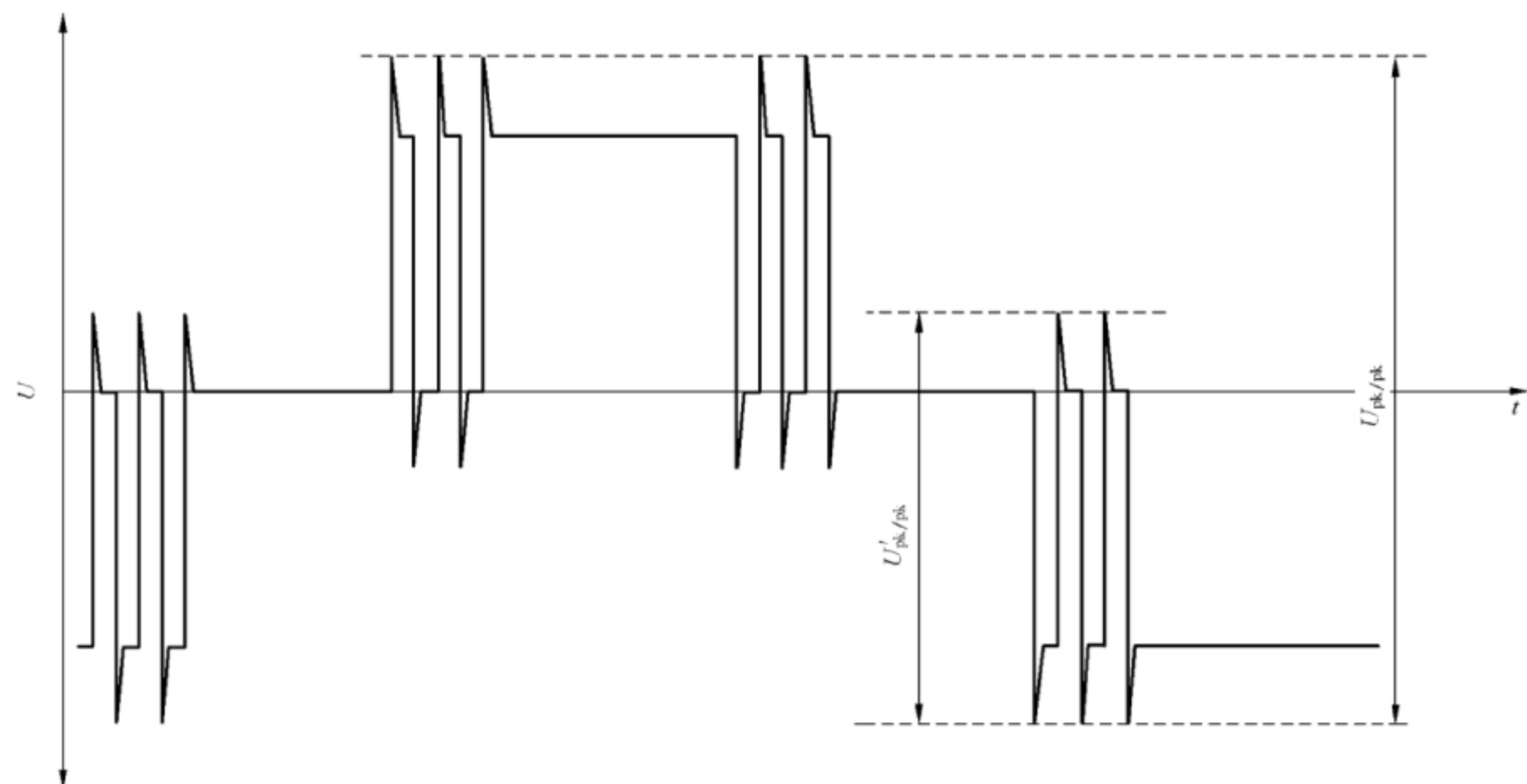


图 A.1 3 电平变频器供电电机端的相对地电压示意图

每个对老化的贡献计算都是基于 9.2 给出的公式。每次冲击的老化率与 $1/L$ 成比例,因此作为示例,对于 50 Hz 的基频冲击和基频峰-峰电压 $U_{pk/pk}$,在 20 ms 的时间内对老化的贡献通过式(A.1)给出:

$$\text{老化率}(50\text{Hz}) = (U_{pk/pk})^n / k \quad \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

式中：

k 是常数。

对于一个没有尖峰电压的 3 电平变频器, 1 kHz 的冲击在 20 ms 的时间内对老化的贡献通过式(A.2)给出：

$$\text{老化率(1 kHz)} = \frac{(U'_{\text{pk/pk}})^n \times 20}{k} \quad \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

根据累积老化率理论以及在没有协同作用的情况下, 总的老化率是这两类贡献之和。

用适当的值替换式(A.1)和式(A.2)可得到表 A.1。例如, 用图 1 所示的 20% 的尖峰系数可得式(A.3)和式(A.4)：

$$U'_{\text{pk/pk}} = 1.4U_a \quad \dots\dots\dots (\text{A.3})$$

$$U_{\text{pk/pk}} = 2.4U_a \quad \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

对于 $n=10$, 变频器冲击对老化贡献的百分比通过式(A.5)给出：

$$\frac{(1.4)^{10} \times 20 \times 100}{(2.4)^{10}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

表 A.1 3 电平变频器 1 kHz 冲击对电老化的贡献占 50Hz 基频电压老化的百分比(耐久性系数为 10)

尖峰系数(U_b/U_a) %	冲击重复率 kHz	冲击电压老化与基频电压老化之比 %
0	1	2
10	1	4
20	1	9
50	1	35

A.3 等效电压幅值和频率的计算

另一可选的方法综合了基频电压和冲击电压的加速电老化。这表示等效的峰-峰电压 U_{eq} 和频率 f_{eq} 与两个频率分别为 f_1 、 f_2 的峰-峰电压 U_1 、 U_2 产生的寿命消耗相同, 见式(A.6)：

$$U_{\text{eq}}^n \times f_{\text{eq}} = U_1^n \times f_1 + U_2^n \times f_2 \quad \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

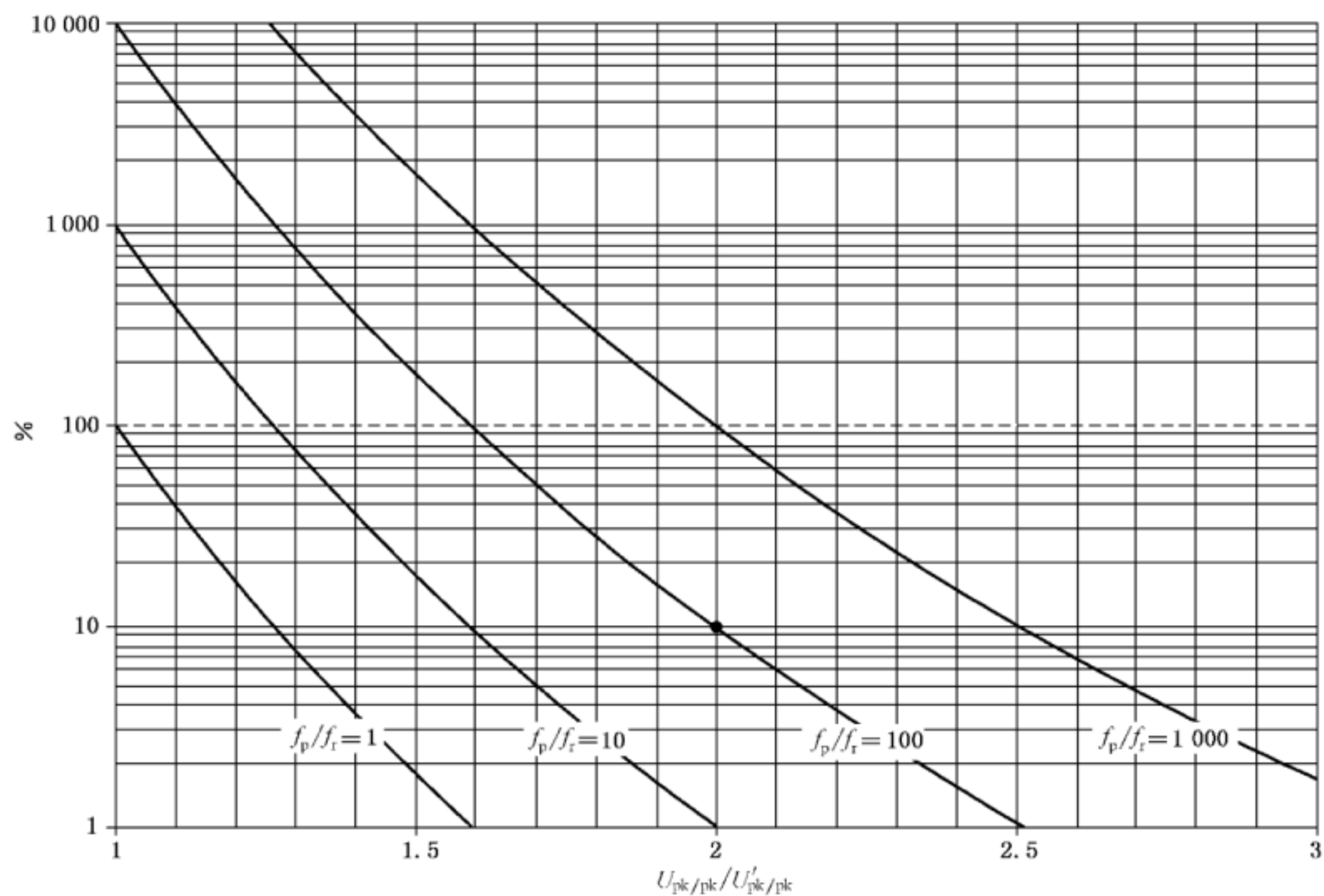
式中：

f_1 ——基频；

f_2 ——冲击重复率；

f_{eq} ——可能是 50 Hz 或 60 Hz, 但宜与应用相匹配。

按式(A.6), 冲击电压和基频电压对寿命消耗的计算结果如图 A.2 所示, 当电压耐久性系数为 10、基频电压与冲击电压之比为 2、冲击频率与基频频率之比为 100 时, 基频电压与冲击电压对寿命的消耗分别为 90% 和 10%。



说明：
 f_p/f_i ——冲击重复率与基频重复率之比。

图 A.2 多个冲击频率和基频频率之比与冲击电压($U_{pk/pk}$)和基频电压($U'_{pk/pk}$)之比的寿命消耗百分比(Y轴)($n = 10$)

因此，Ⅱ型主绝缘鉴定规程通常使用运行期间预期的基频峰-峰电压($U_{pk/pk}$)和基频重复率(或由IVIC确定)，忽略了冲击重复率下的峰-峰电压($U'_{pk/pk}$)对寿命的消耗。

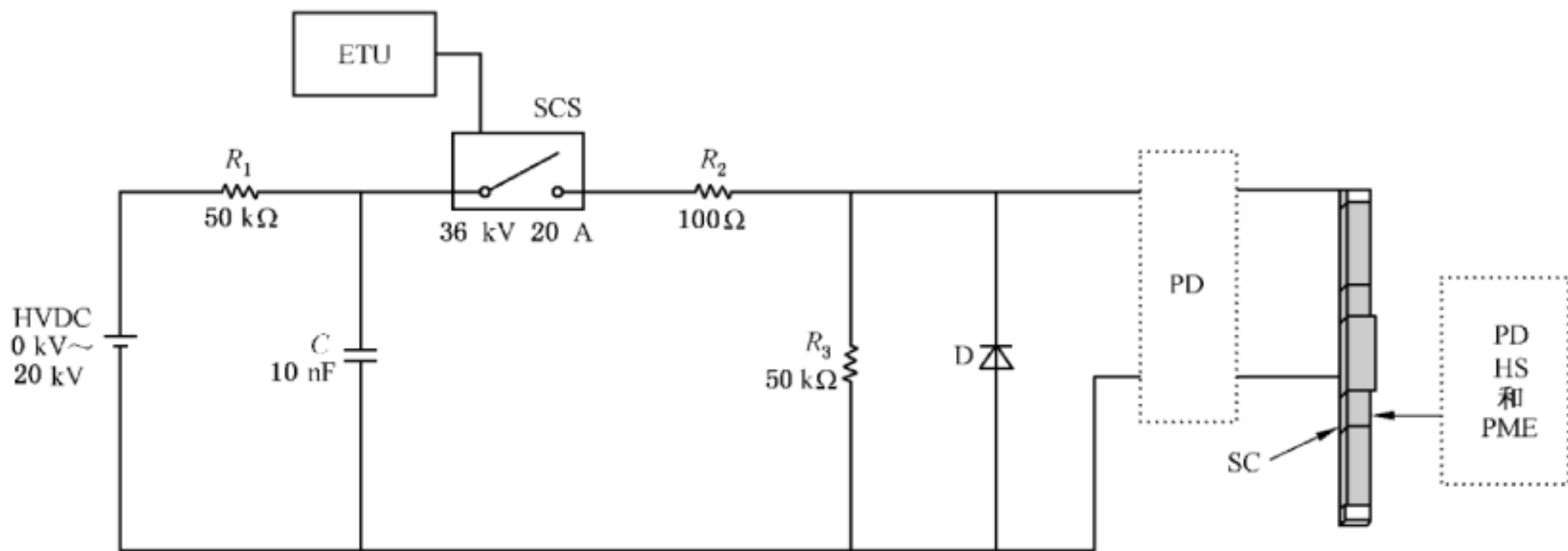
如果与上述示例相比，频率比变大及电压比或者电压耐久性系数变小，冲击电压对寿命消耗的贡献也会非常大。在这种情况下，能计算等效电压和频率，与两个频率下更复杂电压对寿命的消耗一致。对于2电平变频器， U 和 U' 峰峰值几乎没有差别。在这种情况下使用 U' 替代表D.2第一列中的 U ，Ⅱ型主绝缘鉴定规程使用冲击重复率下的冲击峰-峰电压。

附录 B
(资料性附录)
冲击测试电路示例

B.1 使用半导体开关的冲击测试电路

实验室冲击试验装置的电路图如图 B.1 所示,其产生的冲击在幅值、重复率和上升时间上与使用的商业变频器/设备装置相似。实践证明,该装置适合用于 12.4 描述的线圈或者线棒试样的匝间绝缘和防晕结构试验。通过高压直流电源输出的电压控制峰-峰冲击电压。在该示例中,最大可用的输出电压为 20 kV。通过电子触发单元(ETU)控制半导体开关(SCS)调整冲击电压重复率,半导体开关的等级为 36 kV、20 A。如果需要完美的单极重复冲击电压,可使用功率二极管。通过电路参数 R_1 、 R_2 及 C 可调整冲击电压的峰-峰电压、最大重复率及上升时间。冲击下降时间可通过 R_3 调整。

可在电路中接入 PD 探测传感器以在所要求的冲击电压参数下测量 RPDIV。根据试验要求,也可安装热点温度和表面电位测量系统。



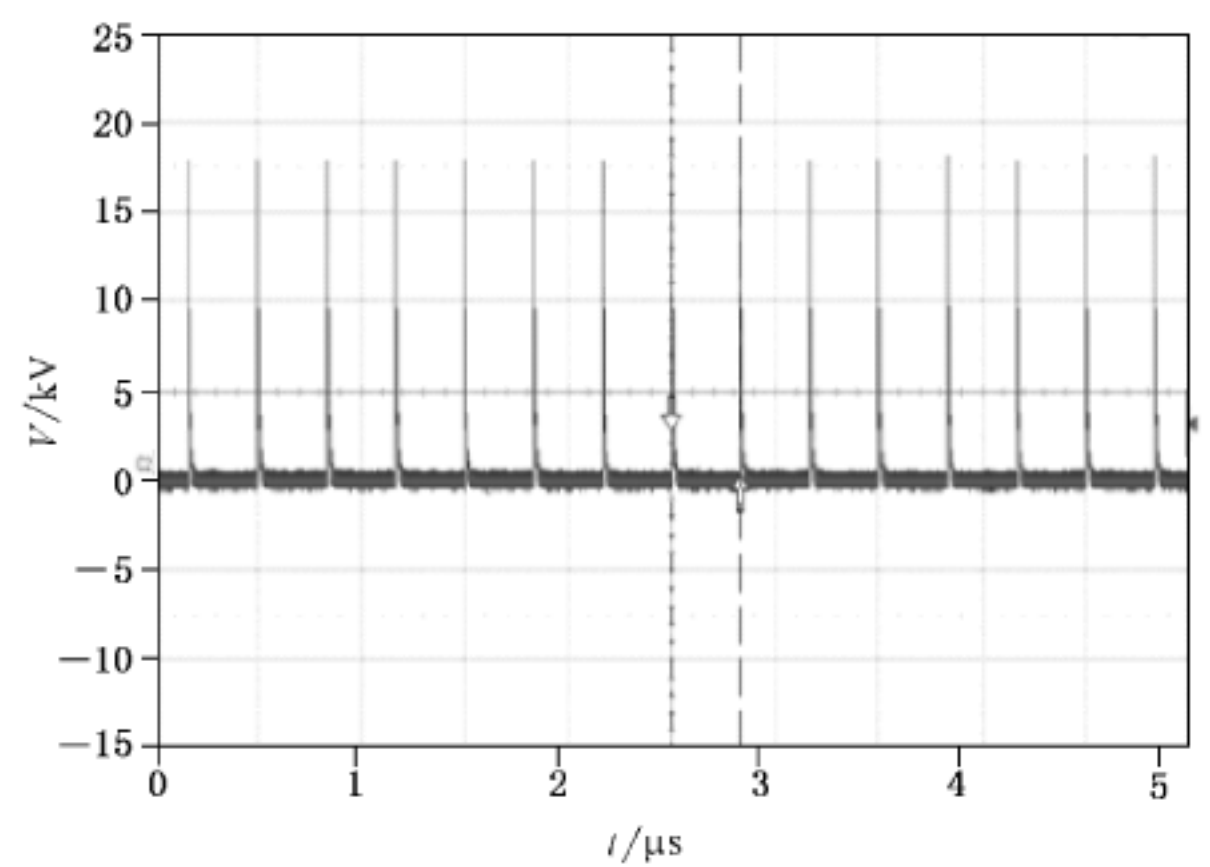
说明:

- | | |
|-----------------|------------------|
| C —— 电容; | PME —— 表面电位测量装置; |
| D —— 功率二极管; | SC —— 应力控制区域; |
| R —— 电阻; | SCS —— 半导体开关; |
| HS —— 热点探测器; | ETU —— 电子触发单元。 |
| PD —— 局部放电测量装置; | |

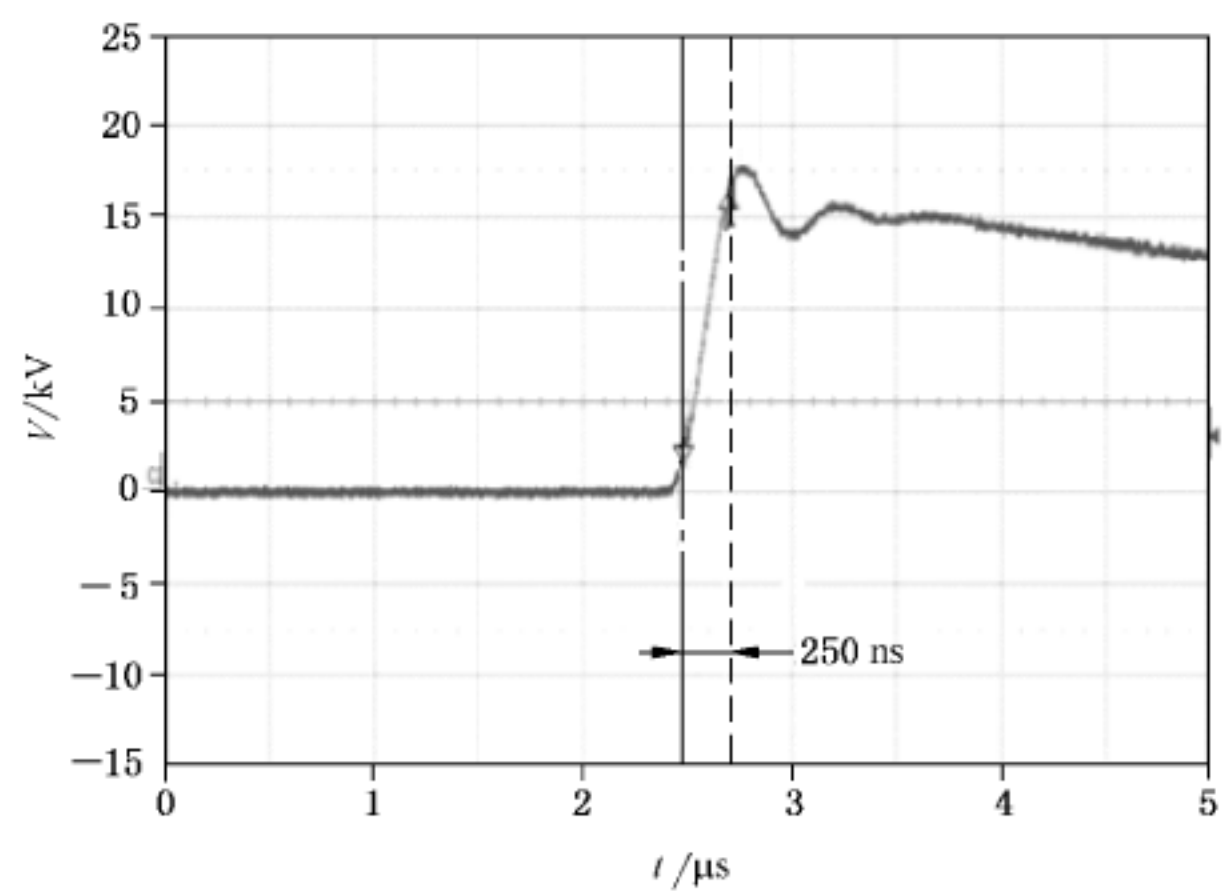
图 B.1 简单变频器输出电压模拟电路示例

B.2 冲击发生器产生的典型波形

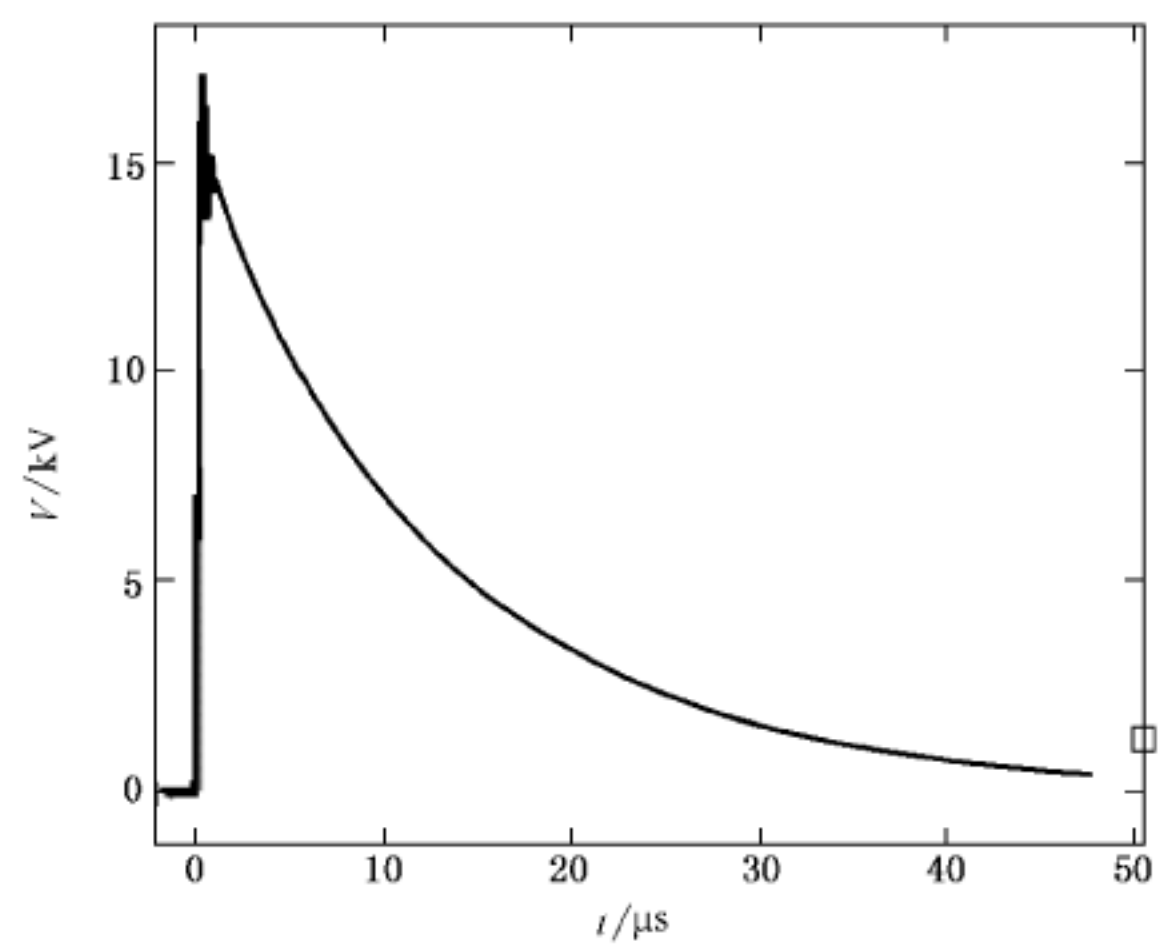
使用图 B.1 所示的简单变频器输出电压模拟电路产生的一连串电压冲击示例如图 B.2a), 峰-峰冲击电压和冲击电压重复率分别为 17 kV 和 1.5 kHz, 冲击上升时间和下降时间分别为 250 ns 和 50 μ s。图 B.2b) 和图 B.2c) 更详细的显示了这些参数。



a) 电压和重复率



b) 冲击上升时间



c) 冲击下降时间

说明：
V —— 电压；
t —— 时间。

图 B.2 冲击发生器产生的典型波形

B.3 使用半导体开关的其他冲击试验电路

另一个实验室冲击试验装置的电路图如图 B.3 所示,其产生的冲击在幅值、重复率和上升时间上与使用的商业变频器/设备装置相似。实践证明,该装置适合用于匝间绝缘和防晕结构试验。

在这个电路中,试样线棒为 C_s ,其典型值为 2 nF。如果 C_s 电容较大,宜增加并联电容以达到这个值。半导体开关(SCS)设置为可产生恰当的击穿电压以提供一连串的冲击,该冲击重复率为 1.5 kHz。冲击电压峰-峰值由半导体开关决定,在 $1.5\mu\text{s}$ 内升高电压直至发生击穿后再降低电压是典型的冲击波形。波前的最大 $\text{d}V/\text{d}t$ 可达 $15\text{ kV}/\mu\text{s}$ 。通过电路参数可改变重复率、上升时间和峰-峰电压。球隙开关代替半导体开关输出的电压如图 B.4 所示。运行损耗导致更高的维护费用抵消了球隙开关的优点。

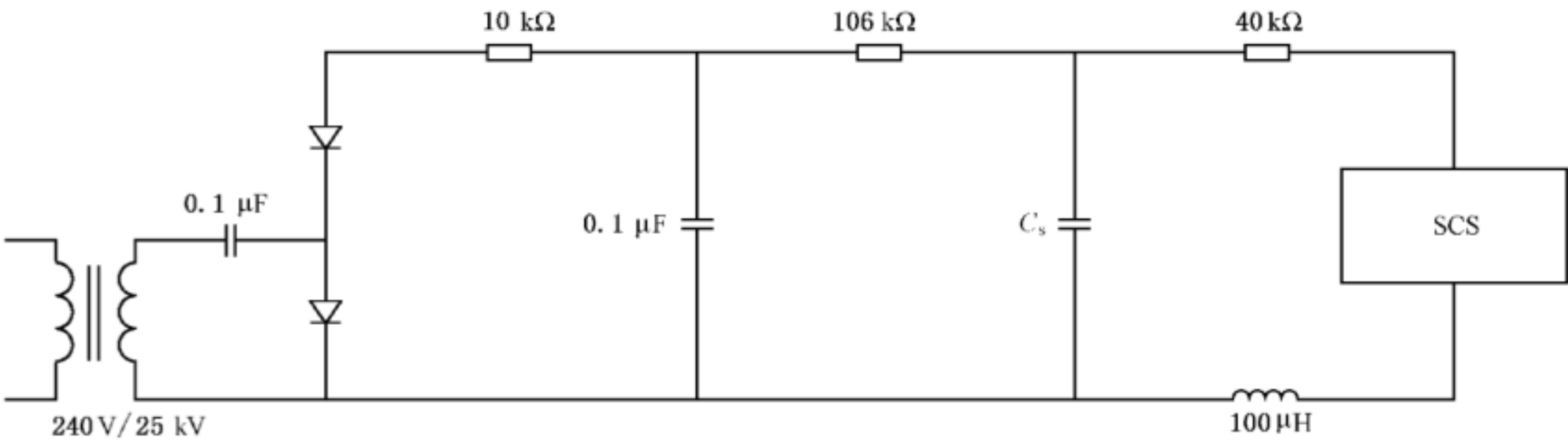
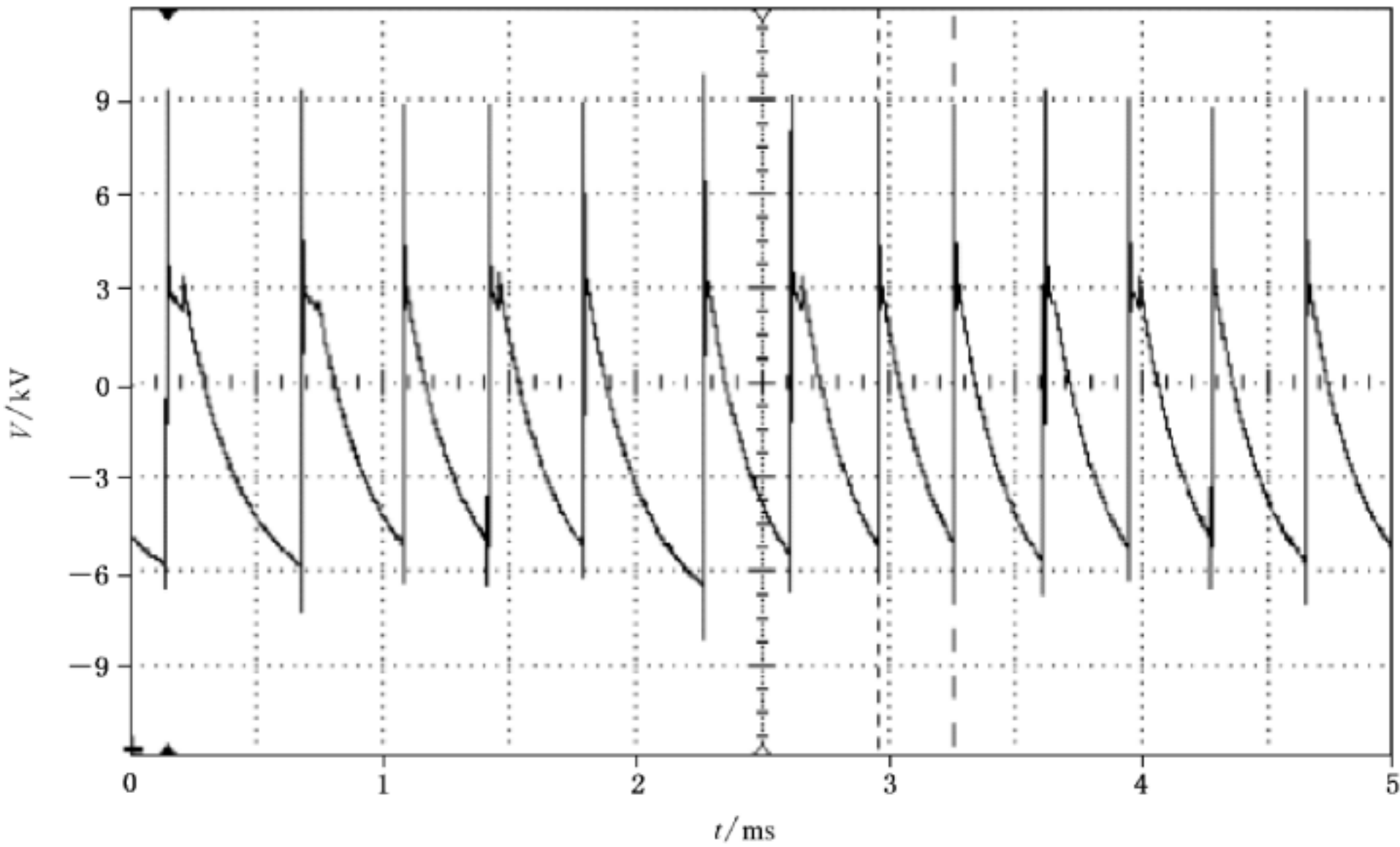


图 B.3 简单变频器输出电压模拟电路的示例



说明:
 V —— 电压;
 t —— 时间。

图 B.4 冲击发生器产生的典型波形

附录 C

(资料性附录)

短时耐久性试验电压的推导

多年以来,公认电网供电(正弦)的旋转电机主绝缘宜在工频 $2.5U_N$ 的电压耐久性试验中耐受至少 250 h,等同于 4.3 倍的相对地电压。在变频器供电电机的情况下,额定电压的意义不明确。尽管如此,多电平供电的主绝缘老化机理仍被认为跟电网供电电机一样,取决于峰-峰电压偏移和周期数。对于 3 电平供电,附录 A 描述了被使用的电压偏移和频率。假定所有试验参考相同的工频,按式(C.1)计算变频器供电电机的等效试验电压:

$$\begin{aligned} \text{电网供电线圈的试验电压} &= 2.5U_N(\text{r.m.s.}) \\ &= 2.5 \times \sqrt{3} \times U_0 (U_0 \text{ 为相对地电压 r.m.s.}) \\ &= \frac{2.5 \times \sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \times (\text{相对地峰-峰电压}) \\ &= 1.53 \times (\text{相对地峰-峰电压}) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

因此,
变频器供电线圈短时耐久性试验电压 = $1.53 \times (\text{最大相对地峰-峰电压})$ 。
例如,如果变频器供电电机线圈上的最大峰-峰相对地电压为 8 kV
则正弦试验电压的有效值 = $1.53 \times 8 \text{ kV} = 12.25 \text{ kV}$ 。

注意,对于变频器供电电机,用于预估主绝缘寿命曲线的等效额定电压为 U_N 乘以表 D.2 第一列中的增强系数。

附录 D
(资料性附录)

电机绝缘冲击电压绝缘等级的推导

旋转电机在变频器供电的场合,可给电机绝缘结构进行其他分级(IVIC X),该等级确定了变频器供电条件下相对地基频电压最大容许增强系数。该增强系数为变频器输出的峰-峰电压除以电网供电的峰-峰电压。表 D.2 给出了该参数的任意范围,由制造商选择一个参数以表明运行期间的最大允许值。该值由鉴定试验的结果决定。如果制造上希望在不同的增强系数下鉴定主绝缘,应使用特殊的 IVIC S 分级,在电机文件中给出精确值。宜在电机铭牌上打上 IVIC 分级。表 D.2 第 2 列至第 5 列给出了在变频器运行下影响绝缘性能的其他四个参数,如下:

- 相对地基频的最大容许值;
- 突变电压(U_j)与相对地峰-峰电压的最大容许比值;
- 相对地冲击电压重复率的最大容许值;
- 相对地电压上升时间的最大容许值。

应在电机文件中给出鉴定后已获得的这些参数值。表 D.1 中的最大允许峰-峰相对地电压以 U_N 为单位。表 D.1 中所示的试验电压系数(TVF)用于推导与 IVIC 有关的出厂试验电压。TVF 是指由最大容许运行的峰-峰相对地电压除以 $2\sqrt{2}$,以 U_N 为单位。与无 IVIC 鉴定的电机相比,具有试验电压系数大于 1 的 IVIC 电机需要更高的试验电压。

表 D.1 II 型绝缘结构的 IVIC 和试验电压因数的定义

IVIC	以 U_N 为单位的 最大允许运行 峰-峰相对地电压 U_{IVIC}	TVF	相对地峰-峰电压的 最大允许增强系数	50/60 Hz 下的出厂试验电压(r.m.s)示例 $U_N=6.6\text{ kV}$	
				变频器供电 ^a	电网供电
无(电网供电)	1.6	—	1.0	$U_N=6.6\text{ kV}$	
1	1.8	0.6	1.1	14.2	14.2
2	2.1	0.8	1.3	14.2	14.2
3	2.4	0.9	1.5	14.2	14.2
4	2.8	1.0	1.7	14.2	14.2
5	3.3	1.2	2.0	16.4	14.2
6	3.8	1.3	2.3	18.5	14.2
7	4.2	1.5	2.6	20.8	14.2
S(制造商规定)	B	$B/2\sqrt{2}$	$B\sqrt{3}/2\sqrt{2}$	$B \cdot U_N/\sqrt{2} + 1\text{ kV}$	14.2
<p>注 1: 增强比是变频器运行时的相对地峰-峰电机端电压除以电网供电运行时的相对地峰-峰电机端电压。后者按照 $U_N/\sqrt{3} \cdot 2\sqrt{2}$ 计算。</p> <p>注 2: $B=U_{IVIC}/U_N$, 其在 IEC 60034-18-41 中使用, 由制造商选择, 除第二列中给出的值外可指定不同的 U_{IVIC} 值。</p> <p>注 3: 试验电压仅由运行中电机端的最大允许峰-峰电压决定, 不考虑运行中电压波形的其他差异。</p> <p>注 4: IVIC“S”对应行的等式也适用于其他 1 到 7 的 IVIC。</p>					
^a 对于 $U_N=6.6\text{ kV}$, 14.2 kV 为 IEC 60034-1:2010 规定的试验电压。					

表 D.2 冲击电压绝缘等级(IVIC)

Ⅱ型绝缘结构冲击电压绝缘等级-严酷代码及限值						
IVIC		IVIC 的独立参数				
		相对地电机端电压		相对地冲击电压		
		电压的最大容许增强系数 (第 1 列)	基频最大容许值 (第 2 列)	最大允许突变电压与最大允许相对地峰-峰电压比 (第 3 列)	冲击电压重复率(<i>f</i>)最大容许值 (第 4 列)	相对地冲击电压上升时间(<i>t_r</i>)的最大容许值 (第 5 列)
		$U_{pk/pk}$ (变频器供电)/ $U_{pk/pk}$ (电网供电)	Hz	$U_i/U_{pk/pk}$	kHz	μs
严酷代码	1	1.1	在文件中报告	在文件中报告	在文件中报告	在文件中报告
	2	1.3				
	3	1.5				
	4	1.7				
	5	2.0				
	6	2.3				
	7	2.6				
	S	制造商选择				

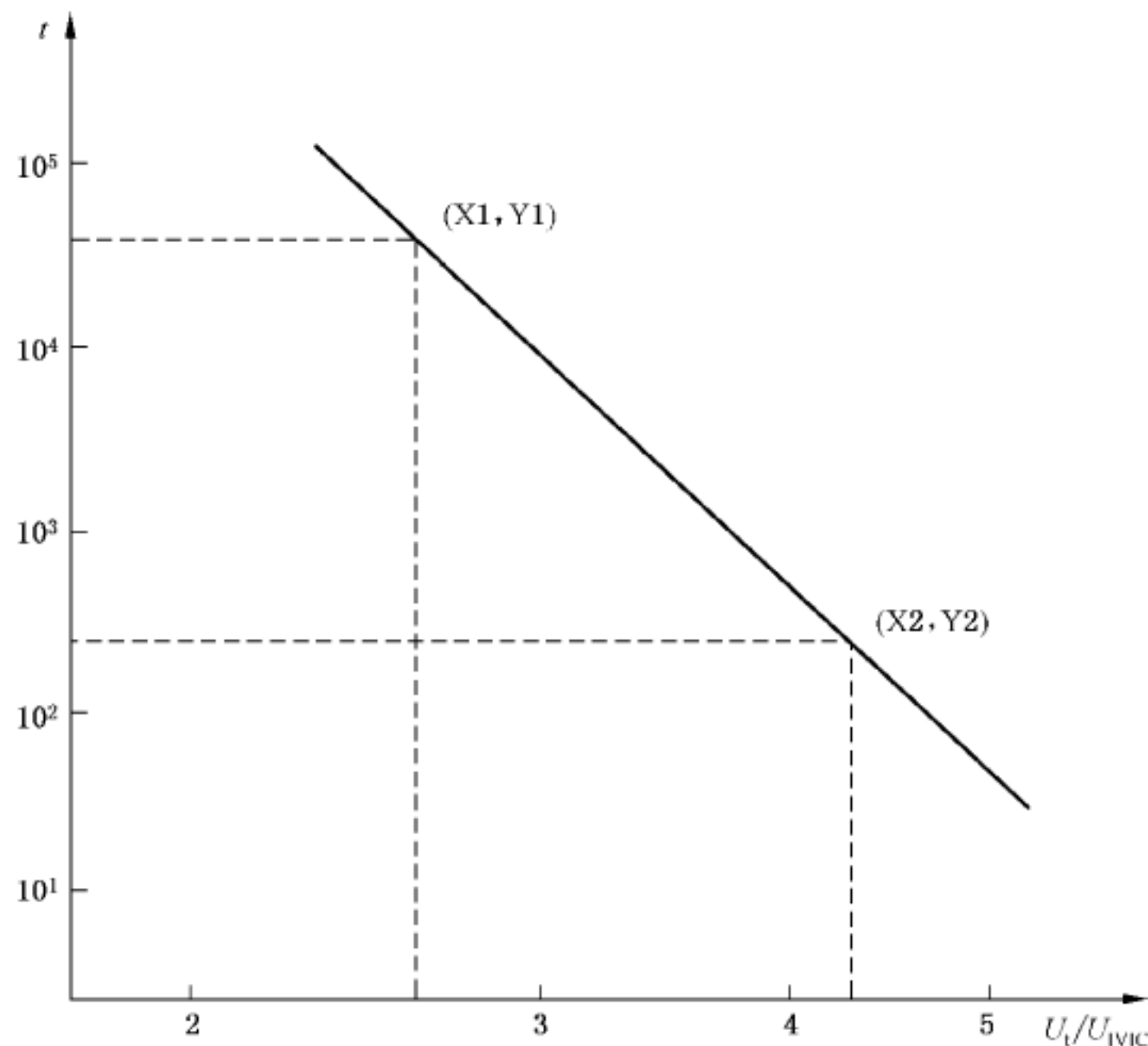
附录 E
(规范性附录)

缺少制造商的基准寿命曲线时 IVIC 的推导

E.1 耐久性试验中 IVIC 的推导

E.1.1 主绝缘

当没有用于对比的主绝缘基准寿命曲线时,制造商应按照鉴定规程采用正弦电压得到主绝缘的待评寿命曲线。三个电压点中每个电压点应至少试验 4 个试样。在使用式(3)将曲线修正至 50 Hz 或 60 Hz 后,应将这些点绘制成对数平均寿命和对数标准电压的函数关系曲线。标准电压为峰-峰试验电压除以 U_{IVIC} , U_{IVIC} 为计算得到的最大相对地峰-峰值电压,且要求鉴定的。



说明:

X1 —— 2.6;

Y1 —— 41 000;

X2 —— 4.33;

Y2 —— 250;

t —— 绝缘失效时间,单位为小时(h);

U_t —— 峰-峰试验电压,单位为伏特(V);

U_{IVIC} —— 相对地允许最大峰-峰值电压,单位为伏特(V)。

图 E.1 主绝缘基准寿命曲线

试验得到的寿命应与图 E.1 所示的基准寿命曲线对比,该寿命曲线与云母/环氧结构在 50 Hz 或者 60 Hz 下测试得到的寿命曲线一致,且已证明该云母/环氧结构在运行期间具有可靠的寿命。曲线斜率是基于耐久性系数 10,且通过了参考文献[15]规定的试验点(4.33,250)。待评结构的通过准则应为:在

每个电压下没有一个试样的寿命小于基准曲线寿命。

如果试验通过准则,将得到电机的 IVIC X,其中 X 为表 D.2 第 1 列中所选择的严酷代码。鉴定试验的严酷代码应在电机文件中给出详细说明,且应说明严酷代码是根据本附录给出的基准寿命曲线得到的。如果绝缘鉴定的 U_{IVIC} 不同于表 D.2 所列的值,可用 IVIC S。

E.1.2 匝间绝缘

如果没有匝间绝缘基准曲线,有必要证明匝间绝缘在所选的鉴定突变电压下不发生 PD。13.3 已阐明不发生 PD 的含义。根据 12.3 制作样品且按 13.3 的规定进行试验。如果在 $1.5U_{turn}$ 以下有 PD,应鉴定试样不发生 PD 的最高 U_{turn} 值。如果要求在更高的 U_{turn} 下鉴定,只有根据 13.3 得到寿命曲线与基准曲线进行对比才能实现。图 E.1 为云母基主绝缘的寿命曲线,而不是匝间绝缘,所以不适用。如果使用基准寿命曲线,以运行期间施加于匝间绝缘的最大允许峰-峰电压(U_{turn})代替 U_{IVIC} 。或者,电机中使用的 U_{turn} 已证明在变频器供电的电力传动系统下具有满意的运行经验,这是可接受的。在电机文件中以 IVIC S 表示电机的 IVIC 且应给出 U_{turn} 的详细限值。

E.1.3 防晕结构

对于运行期间使用的防晕结构,分别采用 12.4 和 13.4 所述的试样和规程进行鉴定。试验条件为 E.1.1 中主绝缘通过鉴定的峰-峰相对地电压和 E.1.2 中匝间绝缘通过鉴定的 U_{turn} 。

E.2 基于满意的运行经验推导 IVIC X

如果变频器供电的绝缘结构具有满意的运行经验,可从运行参数中得到 IVIC。该值应符合表 D.2 第 1 列所示的严酷代码。如何根据运行经验得到 IVIC 的示例如表 1 所示,其中 IVIC 取表 D.2 第 1 列就近的最低严酷水平。对于具有满意运行经验的绝缘结构,应在文件中报告表 D.2 第 2 列至第 5 列中的参数值。

E.3 基于满意的运行经验推导 IVIC S

E.2 所述的规程不能反映绝缘结构要求的性能,在这种情况下,使用 IVIC S 代码。对于具有满意运行经验的表 D.2 中的 5 个参数,应在文件中报告精确值,包括与运行经验有关的其他信息,如运行时间和应用情况。

附 录 F
(资料性附录)
可选的筛选试验

F.1 概述

该试验描述了主绝缘结构的短时筛选试验。该筛选试验不视为型式试验和供货合同的要求。

F.2 主绝缘短时耐久性试验

按照产品标准制作线圈或线棒安装于模拟槽中,经受 50 Hz 或 60 Hz 1.53 倍 U_{IVIC} (有效值)的正弦电压, U_{IVIC} 是变频器供电运行期间线圈显示的最大峰-峰相对地电压(参见附录 C)。模拟槽宜接地。试前线圈应包括任何采用的防晕结构。该试验为主绝缘的鉴定试验,类似于参考文献[15]中所描述且主要是主绝缘的试验。对于端部防晕层而言,要度过完整的试验周期,该试验条件可能太严酷,因此,允许对端部防晕层进行修复。

建议的试验样品为 4 个,合格准则为所有试样宜耐受该试验条件 250 h 不击穿。该试验不能保证主绝缘在变频器供电下具有可接受的运行寿命。该试验为破坏性试验,因此试样不可用于生产电机。

参 考 文 献

- [1] IEC TS 61800-8:2010, Adjustable speed electrical power drive systems—Part 8: Specification of voltage on the power interface
- [2] F.Schemmel, K.Bauer and M.Kaufhold, “Reliability and statistical lifetime prognosis of Motor Winding Insulation in Low Voltage Power Drive Systems”, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.25, No.4, pp.6-13, 2009
- [3] M.Kaufhold, H.Aunger, M.Berth, J.Speck and M.Eberhardt, “Electrical stress and failure mechanism of the winding insulation in PWM-Inverter-fed low voltage induction motors”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.2, No.2, pp.396-402, 2000
- [4] G.C.Stone, S.Campbell and S.Tetreault, “Converter Duty Motors: Which Motors are at Risk”, IEEE Industry Applications Magazine, pp.17-22, 2000
- [5] J.C.G.Wheeler, A.M.Gully, A.E.Baker and F.A.Perrot, “Novel stress grading systems for converter-fed machines”, Electrical Insulation Magazine, Vol.23, pp.27-33, Jan/Feb 2007
- [6] P.Wang, A.Cavallini and G.C.Montanari “Endurance testing of rotating machines insulation systems: do sinusoidal and square voltage wavefor.m.s.provide comparable results?”, IEEE International Conference on Solid Dielectrics, Bologna, pp.310-313, June 2013
- [7] M. Kaufhold, K. Schäfer, K. Bauer and M. Rossmann “Medium and high power drive systems; Requirements and suitability proof for winding insulation systems”, 10thInsucon International Electrical Insulation Conference, pp 86-89, Birmingham, May 2006
- [8] A.Cavallini, D.Fabiani and G.C.Montanari, “Power electronics and electrical insulation systems—Part 2: Life modelling for insulation design”, IEEE Electrical Insulation Magazine, vol.26, no. 4, pp.33-39, 2010
- [9] F.Sahlen, L.Ming, K.Johansson, E.Martensson and O.Koponen, “Investigation of mica-based insulation for high voltage machines subjected to repetitive pulsed voltage” ISEI Conference, pp.409-413, San Diego, USA, 2010
- [10] IEC TS 61251, Electrical insulating materials—AC voltage endurance evaluation
- [11] A.Wichmann and P.Grunewald “Statistical evaluation of accelerated voltage endurance tests on mica insulation for rotating electrical machines”, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.25, No.2, pp.319-323, April 1990
- [12] J.C.G.Wheeler “Effects of converter pulses on the electrical insulation in low and medium voltage motors”, Electrical Insulation Magazine, Vol 21, No 2, pp.22-29, 2005
- [13] J.C.G.Wheeler, A.M.Gully, A.E.Baker and F.A.Perrot, “Thermal performance of stress grading systems for converter-fed motors”, IEEE Insulation Magazine, Vol 23, No.2, pp.5-11, March/April 2007
- [14] A.Kumada, T.Nakamura, H.Ikeda, K.Hidaka, Y.Tsuboi, T.Kisakibaru, and T.Yoshimitsu, “Transient potential distribution on stress grading system of rotating machines under repetitive impulse voltages”, Electrical Insulation Conference, Philadelphia, USA, pp.368-372, June 2014
- [15] IEEE 1553, Standard for voltage endurance testing of form-wound coils and bars for hydrogenerators
- [16] B.E.Ward, G.C.Stone and M.Kurtz, “A quality control test for high voltage insulation”, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.3, No 5, pp.12-17, Sept.1987

- [17] H.Meyer and A.Wichmann “Experience and practice with standardized acceptance test procedures for windings of rotating machinery” Proc.Electrical/Electronic Insulation Conference, pp.146-151, Chicago, 1983
- [18] R.H.Schuler and G.Liptak “Long term functional tests on insulation systems for HV rotating machines”, CIGRE International Conference on Large Electric Systems, Paper 15.05, August 1976
- [19] A.Wichmann “Two decades of experience and progress in epoxy mica insulation systems for large rotating machines”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-102, Issue1, pp.74-82, 1983
- [20] IEC 60034-15:2009, Rotating electrical machines—Part 15: Impulse voltage withstand levels of form-wound stator coils for rotating a.c.machines
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

旋转电机 电压型变频器供电的
旋转电机耐局部放电电气绝缘结构
(Ⅱ型)的鉴定试验

GB/T 22720.2—2019/IEC 60034-18-42:2017

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.org.cn

服务热线:400-168-0010

2019年6月第一版

*

书号:155066·1-62965

版权专有 侵权必究



GB/T 22720.2-2019