

# GB12668.3-2003 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

《GB12668.3-2003 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》规定了电气传动系统(PDS)的电磁兼容性(EMC)要求。这里的电气传动系统包括调速的交流电动机传动和直流电动机传动。这些 EMC 要求是针对变流器输入和/或输出电压(线电压)有效值在交流 35kV 以下的 PDS 而规定的。

本部分所涉及的 PDS 是指那些安装在居住、商业和工业场所的 PDS,但牵引应用和机动车辆不包括在内。PDS 可连接到工业或公共配电网。工业电网由一专用的配电变压器供电,该变压器通常就在工业区内或其附近,并且只给工业用户供电。工业电网也可由其自身的发电设备供电。另外,PDS 可直接连接到低压公共电网,该电网也向民用供电,这时中线通常是接地的。

本部分与 EMC 有关,所涉及的范围包括不同类型的功率从几百瓦到数百兆瓦的 PDS。PDS 往往 包含在一个较大的系统之中。有关系统方面的内容本部分没有涉及,但在资料性附录中提供了指导。

选择这些要求,是为了确保居住、商业和工业场所的 PDS 有充分的电磁兼容性(EMC)。然而,这些要求不可能包括极少可能发生的极端情况。对于因故障状况而引起的 PDS 电磁兼容性性能的变化未予考虑。

本部分的目的是根据 PDS 的预期用途确定其限值 and 试验方法。本部分包括对抗扰度的要求和防电磁发射的要求。



**DH2000 便携式变频电量分析仪**

以便携为目的,经过化整为零、重新组合而成的一种虚拟仪器



**WP4000 变频功率分析仪**

WP4000 变频功率分析仪\_全局精度功率分析仪



**DP800 数字功率计**

5~400Hz 范围内实现 0.2% 的全局精度的低成本宽频高精度功率计



中国变频电量测量与计量的领军企业  
国家变频电量测量仪器计量站创建单位  
国家变频电量计量标准器的研制单位

咨询电话: 400-673-1028 / 0731-88392611  
产品网站: [www.vfe.cc](http://www.vfe.cc)  
E-mail: [AnyWay@vfe.cc](mailto:AnyWay@vfe.cc)



# 中华人民共和国国家标准

GB 12668.3—2003/IEC 61800-3:1996

---

## 调速电气传动系统 第3部分:产品的电磁兼容性标准 及其特定的试验方法

Adjustable speed electrical power drive systems—  
Part 3: EMC product standard including specific test methods

(IEC 61800-3:1996, IDT)

2003-10-09 发布

2004-05-01 实施

---

中华人民共和国  
国家质量监督检验检疫总局 发布

## 前 言

本部分的第 5 章抗扰度要求及第 7 章安全性的最低要求是强制性的,其余是推荐性的。

本部分等同采用 IEC 61800-3:1996《调速电气传动系统 第 3 部分:产品的电磁兼容性标准及其特定的试验方法》(英文版)。

本部分是 GB 12668《调速电气传动系统》的第 3 部分。目前 GB 12668《调速电气传动系统》总标题下包括如下几个部分:

——GB/T 12668.1 调速电气传动系统 第 1 部分:一般要求——低压直流调速电气传动系统额定值的规定;

——GB/T 12668.2 调速电气传动系统 第 2 部分:一般要求——低压交流变频电气传动系统额定值的规定;

——GB 12668.3 调速电气传动系统 第 3 部分:产品的电磁兼容性标准及其特定的试验方法;

——GB/T 12668.4 调速电气传动系统 第 4 部分:一般要求——大于 1 kV 但不超过 35 kV 的交流电气传动系统额定值的规定;

——GB 12668.5 调速电气传动系统 第 5 部分:与电气、热量及其他功能相关的安全要求;

——GB/T 12668.6 调速电气传动系统 第 6 部分:带负荷运行和对应额定电流形式测量导则;

本部分的附录 A、B、C、D 和 E 是资料性附录。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电力电子学标准化技术委员会调速电气传动系统半导体电力变流器标准化分技术委员会归口。

本部分起草单位:天津电气传动设计研究所、西门子电气传动有限公司、北京 ABB 电气传动系统有限公司、艾默生网络能源有限公司、菱电自动化(上海)有限公司、成都佳灵电气制造有限公司。

本部分主要起草人:刘国林、伍丰林、师新利、赵相宾、董桂敏、温湘宁、邱文渊、居理。

# 调速电气传动系统

## 第3部分:产品的电磁兼容性标准 及其特定的试验方法

### 1 范围和目的

本部分规定了电气传动系统(以下简称 PDS)的电磁兼容性(EMC)要求。这里的电气传动系统包括调速的交流电动机传动和直流电动机传动。所述要求是指 PDS 连接于供电电源额定电压为交流 1 000 V 以下有效值的情况,供电电压有效值高于交流 1 000 V 的电磁兼容性正在制定中。在未有新的出版物发表之前,其对电磁兼容性的要求将由制造厂/供货者和用户之间协议产生。

本部分所涉及的 PDS 是指那些安装在工业环境和民用环境的 PDS,但牵引应用和电动车辆不包括在内。PDS 可以连接到工业或公共配电网。工业电网由一专用的配电变压器供电,该变压器通常就在工业区内或其附近,并且只给工业用户供电。另外,PDS 可直接连接到低压公共电网,该电网也向民用供电,这时,中线通常是接地的。

本部分所涉及的 PDS 往往包含在一个较大的系统之中,有关系统方面的内容本部分没有涉及,但在参考附录中提供了指导。

在工业和公共场合中要求确保 PDS 有充分的电磁兼容性(EMC)等级。然而要求的等级不可能包括极少可能发生的极端情况,没有考虑到因故障状况而引起的 PDS 电磁兼容性性能的变化。

本部分的目的是确定 PDS 的限值和试验方法。本部分包括对抗扰度的要求和防电磁发射的要求。电磁发射可能引起对其他电子设备(如无线电接收机、测量和计算设备)的干扰。要求抗扰度是为了保护设备免受连续的和瞬时的传导性和辐射性(包括静电放电)骚扰。考虑到经济原因,在发射要求和抗扰度要求之间,应根据 PDS 的实际环境进行折中。

本部分确定了对 PDS 电磁兼容性的最低要求。

本部分未对设备的所有安全要求作出规定,如防电击、绝缘的配合和相关的绝缘试验、不安全操作或者故障的不安全影响。

在某些特殊情况下,当附近有极灵敏的设备在使用时,就必须采取另外的减缓措施:减少电磁发射,使其低于规定值或提高灵敏设备的抗扰度。

这个 PDS 产品的 EMC 标准优先于其他通用标准,并且不要求或者不需要另外的 EMC 试验。若 PDS 作为设备的一部分,该设备又包括在另外的产品 EMC 标准中,则采用整套设备的 EMC 标准。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB 12668 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版本均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议各方研究是否使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 3859.1—1993 半导体变流器 基本要求的规定(eqv IEC 60146-1-1:1991)

GB 4365—1995 电磁兼容术语(idt IEC 60050(161):1990)

GB/T 16935.1—1997 低压系统内设备的绝缘配合 第一部分:原理、要求和试验(idt IEC 60664-1:1992)

GB 17625.2—1999 电磁兼容 限值 对额定电流不大于 16 A 的设备在低压供电系统中产生的

## GB 12668.3—2003/IEC 61800-3:1996

电压波动和闪烁的限制(idt IEC 61000-3-3:1994)

GB/Z 17625.3—2000 电磁兼容 限值 对额定电流大于 16 A 的设备在低压供电系统中产生的电压波动和闪烁的限制(idt IEC 61000-3-5:1994)

GB/T 17626.2—1998 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验(idt IEC 61000-4-2:1995)

GB/T 17626.3—1998 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验(idt IEC 61000-4-3:1995)

GB/T 17626.4—1998 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验(idt IEC 61000-4-4:1995)

GB/T 17626.5—1998 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验(idt IEC 61000-4-5:1995)

GB/T 17626.6—1998 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度(idt IEC 61000-4-6:1998)

GB/T 17626.8—1998 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验(idt IEC 61000-4-8:1993)

GB/T 17626.9—1998 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验(idt IEC 61000-4-9:1993)

GB/T 17626.10—1998 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验(idt IEC 61000-4-10:1993)

GB/Z 18039.2—2000 电磁兼容 环境 工业设备电源低频传导骚扰发射强度的评估(idt IEC 61000-2-6:1996)

IEC 60050(131):1978 国际电工词典(IEV) 第 131 章:电路和磁路

IEC 60050(151):1978 国际电工词典(IEV) 第 151 章:电气器件和磁性器件

IEC 60364-3:1993 建筑物的电气安装 第 3 部分:一般特性的评估

IEC 61000-2-1:1990 电磁兼容性(EMC) 第 2 部分:环境 第 1 章:环境介绍—公共供电系统中的低频传导性骚扰和信号传输的电磁环境

IEC 61000-2-2:1990 电磁兼容性(EMC) 第 2 部分:环境 第 2 章:公共低压供电系统中的低频传导性骚扰和信号传输的兼容性等级

IEC 61000-2-4:1994 电磁兼容性(EMC) 第 2 部分:环境 第 4 章:工业设备中对低频传导性骚扰的兼容性等级

IEC 61000-3-2:1995 电磁兼容性(EMC) 第 3 部分:极限 第 2 章:谐波电流发射的限值(装置的输入电流 $\leq 16$  A/每相)

IEC CISPR 11:1990 工业、科学和医学(ISM)用的射频设备的电磁骚扰特性的极限和测量方法

IEC CISPR 16-1:1993 射频骚扰的技术规范和抗扰度测量设备和方法 第 1 部分:射频骚扰和抗扰度测量装置

### 3 定义

关于 EMC 和相关现象的定义,可在 GB 4365、CISPR 和其他 IEC 出版物中(见第 2 章)找到。就本部分而言,增加了下面一些定义。

电气传动系统(PDS)由电动机和成套传动模块(CDM)组成,不包括由电动机驱动的设备。CDM 由基本传动模块(BDM)和其可能有的附属部分,如馈电部分或某些辅助设备(如通风设备)组成。BDM 包括变频器、控制和自保护功能。图 1 示出 PDS 与装备和/或制造过程其他部分之间的边界。

若电气传动系统(PDS)有其自己的专用变压器,则该变压器就作为成套传动模块(CDM)的一部分。

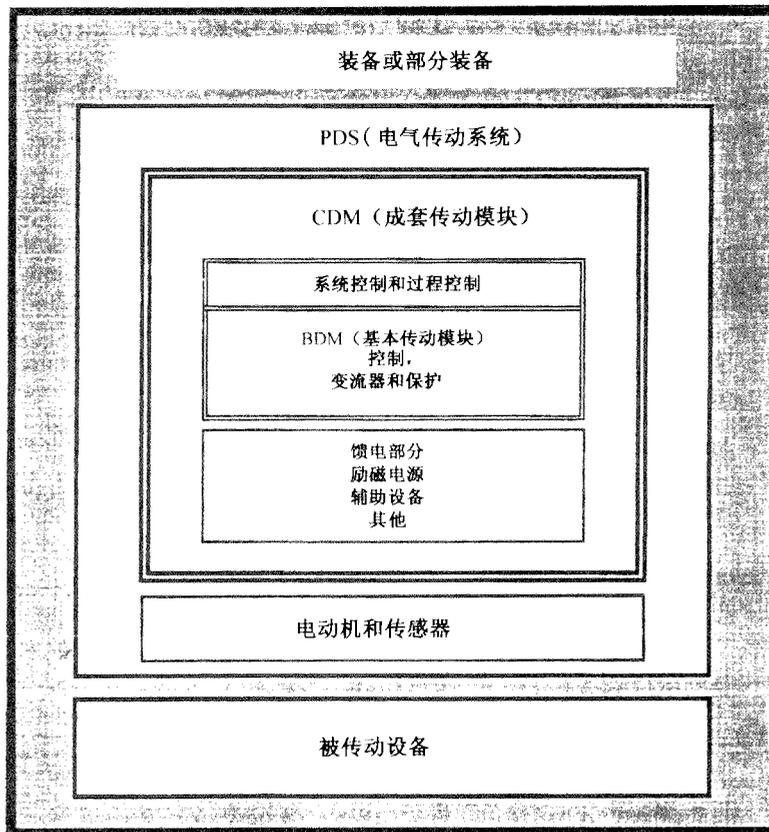


图 1 装备的定义及其所包含的内容

## 3.1

**不受限销售 unrestricted distribution**

一种销售方式,在这种方式下,设备的供应与买主或用户对传动应用所具备的 EMC 技术能力无关。

注:这种方式按照基本的 EMC 保护要求实现特定的发射限值。

## 3.2

**受限销售 restricted distribution**

一种销售方式,在这种销售方式下,制造厂将设备只限制供应给单独或联合起来能满足电动机传动应用所具备 EMC 技术能力的供应商、买主或用户。

注:出于经济上的考虑,通过选择适当的发射等级,按实际边界情况进行现场测量,以及互换技术规范,来确保对特定成套装备的基本 EMC 保护要求。

## 3.3

**第一类环境 first environment**

民用环境,同时还包括那些不经过中间变压器而直接连接到向民用供电的低压供电电网的应用环境。

## 3.4

**第二类环境 second environment**

除了直接连接到向民用供电的低压供电电网的应用环境之外的所有环境。

3.5

**制造商测试场所(用于测试) manufacturers premises(for test)**

在制造厂的车间或实验室内,专门测试其所造设备的场所,设备可能是 PDS、CDM 或 BDM。

3.6

**现场(用于试验) in situ(for test)**

最终用户安装且正常使用设备的场所,在这里可以对设备进行测试。

3.7

**试验场地(辐射) test site(radiation)**

必须满足在规定的条件下正确测量被试装置发射的电磁场要求的场所[GB 4365]。

3.8

**端口 port**

规定的 PDS 与生产过程的电磁环境之间的特定边界(见图 2)[IEV 131-02-21 修订本]。

3.9

**机壳端口 enclosure port**

PDS 的物理边界,电磁场可通过这个边界辐射或侵入(见图 2)。

3.10

**生产过程测量和控制端口 port for process measurement and control**

将生产过程与第 3 章定义的 PDS 连接一起的导体或电缆的输入/输出(I/O)端口(见图 2)。

3.11

**电源端口 power port**

连接 PDS 与供电电源(同时也向其他设备供电)的端口。

3.12

**机械连接 mechanical link**

PDS 中电动机的轴与第 3 章所定义的被传动的生产设备之间的机械连接。

3.13

**信号接口 signal interface**

连接基本传动模块或成套传动模块(BDM/CDM)与 PDS 中另一部分的线路的输入/输出(I/O)连接(见图 2)。

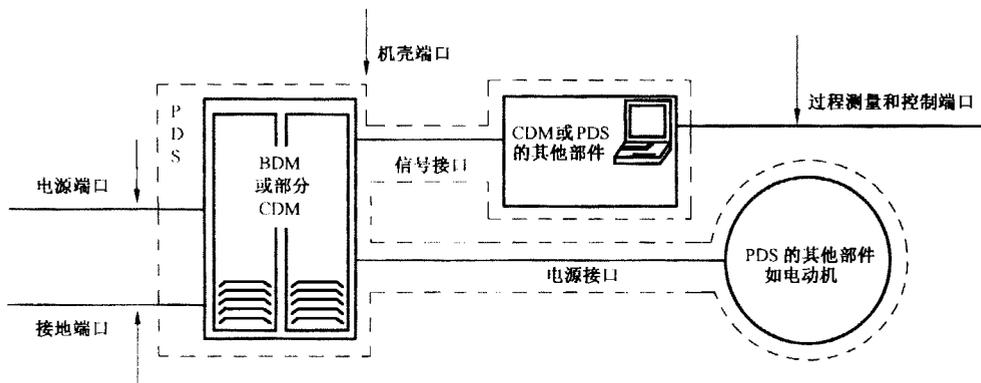


图 2 PDS 内部接口和端口的举例

3. 14

**PCC, IPC, PC**

其定义见 IEC 61000-2-4。

注：——PCC 是公共网络上的公共耦合点；

——IPC 是厂内的耦合点；

——PC 是耦合点(两种状况中的任何一种)。

3. 15

**电源接口 power interface**

PDS 内部电源配电所需的连接(见图 3,说明见附录 A. 2)。

注：PDS 的电源接口可能具有不同的形式和范围：

——在 CDM/BDM 内

电源接口可以是将电源由 BDM/CDM 的一部分配送到另一部分而作的连接,一个电源接口可以为不同的 PDS 所共用。根据第 4 章,不考虑多重供电的影响。例子见图 3 和图 4。

图 3 所示为输入变流器向输出逆变器配电的电源接口。这里,变流器是将通过电源的电能转换成另一种形式的电能(此处转换成直流电);而逆变器则是将中间形式的电能(此处为直流)转换成另一种形式的电能(此处转换成交流电),并可以直接施加于交流电动机。

图 4 示出的是从变压器(CDM 的一部分)次级向各个 BDM 配电的电源接口。

——在 PDS 内

注意,逆变器和电动机之间或各个电动机组之间的连接也是一个电源接口,这是转换为机械能之前的最后一个电源接口。

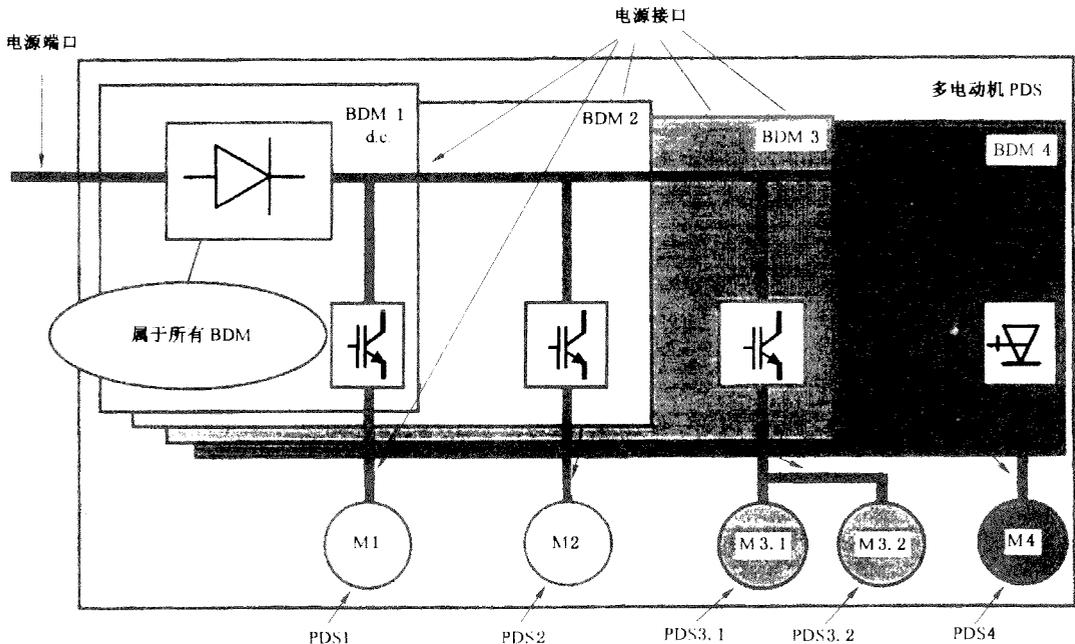


图 3 PDS 与公共直流母线间的电源接口

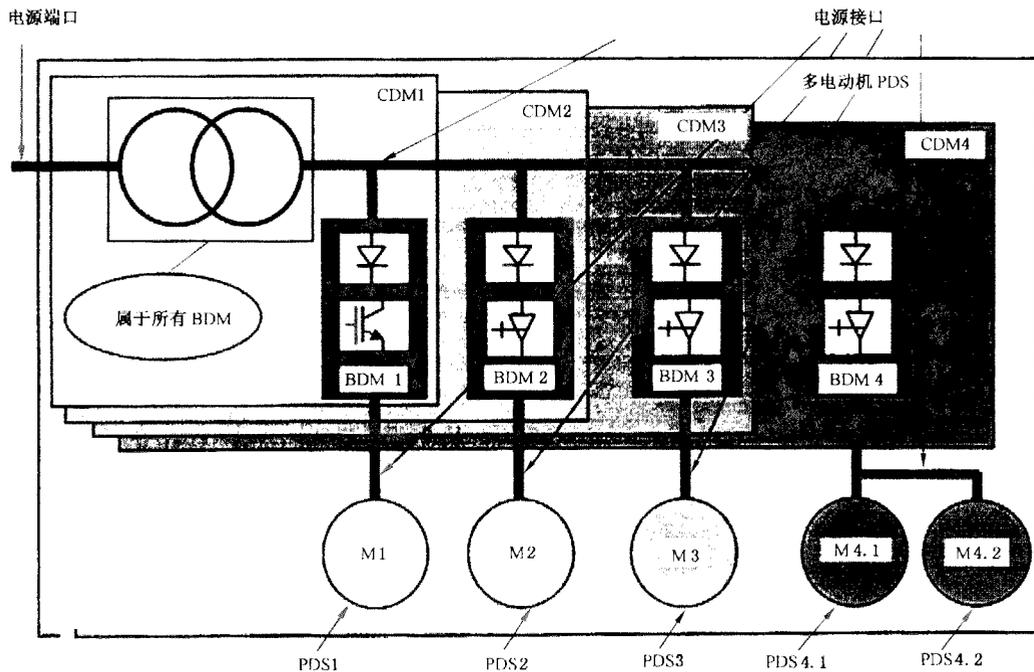


图 4 与公共输入变压器间的电源接口

3.16

**成套传动模块(CDM)的变流器 converter(of the complete drive module(CDM))**

CDM 的变流器将供电电网的电压、电流和/或频率转换为向电动机馈电的电压和/或电流和/或频率(详见附录 A.2)。

注 1: 变流器由换相电子器件及其相关的换相电路组成,它由晶体管或晶闸管或任何其他电力电子半导体器件来实现控制。

注 2: 变流器可以是电网换相、负载换相或自换相,例如,可以由一个或多个变流器或逆变器组成。

3.17

**电动机 (electric) motor**

一种将电能转换为机械能的电动机。[IEV 151-01-53]

3.18

**PDS 的电动机 motor(of the PDS)**

就本部分来说,该电动机包括在其上安装的与 CDM 相互配合并支持其运行方式的所有传感器。

4 公共要求

从发射和抗扰度的观点来看,所有的现象都应分别给予考虑,对于那些没有考虑到多重供电的影响的条件,都要给出限值。

4.1 系统方面

可以用许多种配置方式设计 PDS。譬如,尽管输出功率额定值相同,但由于用户的要求和经济状况不同,电能转换为机械能所采用的方式可能不同。图 1 说明在传动系统中可以采用不同的馈电部分或辅助设备以及不同的电动机和变压器组合形式。对于这些条件,不需要对每一种可能的方案都加以试验。为了逼真地模拟 EMC 的状况,应选择一种典型的结构进行 GB/T 3859.1 中 6.1 条所规定的型

式试验。

评估抗扰度所用的试验应视 PDS 特定的配置、端口、工艺和运行条件而定(见附录)。

## 4.2 试验

### 4.2.1 一般条件

本部分中规定的所有试验确保与基本的 EMC 要求一致,并且只是型式试验。试验应采用制造厂家推荐的布线方法来进行。

根据经济和实际情况,设备应在现场、生产厂厂房或试验现场进行试验,但要视设备的用途而定。用规定的试验方法测量时,设备应满足要求。

除了本部分中指明的试验外,不要求也没有必要进行别的 EMC 试验。

要采取防护措施,以防进行 EMC 试验时因出现设备故障可能造成的对整个生产过程未预料到的影响。

试验时,除非厂家另有说明,CDM 应采用制造厂规定的电缆和接地规则连接到适当额定值的标准电动机上。在某些情况下(例如对低频辐射进行评估时),可能要另加无源负载条件(电阻性或电感性)。然而,在此情况下,无源负载配置应有与电机金属外壳一样的屏蔽层。应注意,评估其高频发射时从负载到地之间的寄生电容不是标准值,但可以与电机寄生电容(约 1 nF~20 nF 或更大)不同。

在引用的一些标准中对试验说明、试验方法、试验特性和试验装置都已作了介绍,在此不在赘述。然而,若在试验实际执行过程和应用期间需要作一些修改,或者另外有别的要求和附加资料,或者需要特定的试验方法,则在本部分中给出。

### 4.2.2 试验报告

试验结果应以试验报告的形式确认。试验报告应清晰而明确地阐明与试验相关的所有信息(如负载条件、电缆敷设等等)。制造厂应提供功能说明以及验收准则中技术规范限值的定义,并在试验报告中记录下来。

在试验报告中,选定的试验方案应是合理的。应选择足够数目的端子,以便模拟实际的工作条件,并保证包含所有相关的端子类型。试验应在额定电源电压下进行并且是可复现的。

## 4.3 用户文件

制造厂应向 BDM、CDM 的安装者或 PDS 的使用者提供正确安装到所应用的环境中的典型系统或生产过程中所必需的文件。如果需要外部器件或设备或特殊连接的要求才能通过试验,则应在用户文件中明确地阐明。例如,电网阻抗的大小,是否需采用屏蔽的或专用的电缆,电缆的最大长度,是否要采用滤波器,以及正确连接到有效的接地点。

为满足不同环境下抗扰度和/或发射要求,应列表给出 PDS 需增设的可选器件或设备;PDS 可能增设的辅助设备(如选件或增强作用的那些)也应列表给出。根据交货产品(无论是 BDM、CDM 还是 PDS)的完整性和特点及其环境的 EMC 灵敏性,制造厂应负责提供正确进行典型安装所必须的附加资料。

这方面的资料也可在试验报告中的某一部分加以叙述,阐明最终推荐的方案。例如,若 BDM 是安装于民用环境中,则需要附加资料。应用指南的内容也应与用户典型的技术能力相适应。

## 5 抗扰度要求

### 5.1 一般条件

PDS 的子部件,如电力电子电路、驱动电路、保护电路、控制电路及显示和控制面板,对电磁骚扰的抗扰度可通过各自的试验来验证,若必要,可使用适当的负载来代替缺少的部件。通过这些试验验证各个子部件的性能,在这些子部件中所包含的 PDS 的各个端口或接口的试验可从表 2 和表 3 中选取有关的试验方法和试验等级来进行。推荐采用这种方法来保证质量,结果可写入试验报告中。

另一方面,也可通过试验 BDM、CDM 或 PDS 的特定性能来替代试验其子部件的性能。

5.1.1 验收准则(性能准则)

应使用验收准则来检验 PDS 抗外部骚扰的性能。从 EMC 的观点来看,根据图 1,任何装备都应能正常运行。由于 PDS 是较大型生产过程中功能序列中的一部分,所以因 PDS 的性能变化而引起对这一生产过程的影响是很难预料的。

PDS 的主要功能是将电能转化为机械能,以及进行这一变换所需的信息处理。对于其中的每一项功能,子部件的性能应分为三个部分:

- 电力电子电路和驱动电路的运行;
- 信息处理和检测功能;
- 显示和控制面板的运行。

表 1 中按给定的骚扰的影响分 A,B,C 三种验收(性能)准则,其中每个准则都定义了一个特定的性能等级。

注 1: 验收准则 C

在操作人员的干预下(人工复位)可使功能恢复。对于以逆变方式工作的电网换相逆变器,允许保险丝熔断。

注 2: 验收准则 A,B,C

不允许误起动。误起动是指脱离逻辑状态“STOPPED(停止)”的一种未预料到的变化,它可能使电动机运转。

表 1 检验 PDS 抗电磁骚扰的验收准则

项 目	验收(性能)准则		
	A	B	C
特定性能: 一般的	工作特性未有明显的变化 在规定的允差之内正常地 工作	工作特性有明显的(可见的 或可听到的)变化 能自行恢复	关机,工作特性变化 保护器件触发(见 5.1.1 注 1) 不能自行恢复
特定性能: 特殊的转矩特性	转矩偏差在规定的允差内	动态转矩偏差超出规定的 允差 能自行恢复	转矩失控 不能自行恢复
子部件性能: 电力电子电路和驱动电路 的运行	电力半导体器件不击穿	暂时性击穿,不会引起驱动 系统关机	关机,保护器件触发(见 5.1.1 注 1) 不能自行恢复
子部件性能: 信息处理和检测功能	与外部器件的通讯和数据交 换不受骚扰	暂时通信骚扰,不会发出可 能引起内部或外部器件关机 的错误报告	通讯错误,数据和信息丢失 不能自行恢复
子部件性能: 显示和控制面板的运行	LED 显示信息无变化,只是 光亮度略有衰减,或者字符 稍有变动	信息有可见的暂时性变化 LED 的亮度不理想	关机 信息永久性丢失或者不允许 的工作方式 显示出的信息明显错误

5.1.2 子部件性能或特定性能的选择

表 1 中一般的特定性能项目应根据 PDS 的特定用途和典型的配置来确定。选择这些项目是制造厂的责任。

若由于 PDS 尺寸的限制,或由于电流或额定供电能力的限制,或负载条件的限制,PDS 不能在试验场地投入使用时,应采用子部件验收准则来试验子部件。在任何情况下,试验装置都应能抗住施加于被试 PDS 或被试子部件的最高强度的骚扰。

根据表 1,在下列两种情况时特定性能项目应采用子部件性能试验:

- 不是非常适用;

——由于技术和经济上的原因而不适用(如,对于大型的和/或带有各自功能单元的复杂的 PDS)。

只有在 PDS 中存在相关的端口或接口时,才应对信息处理和检测功能(也包括所选的一些辅助设备,若有的话)进行试验。根据表 1,在这些功能存在的情况下,进行子部件性能试验就足以确定与本部分是否一致。

转矩特性这个特殊的系统性能只有在用户明确要求下才进行试验。在这种情况下,转矩特性可用直接或间接两种方式试验。直接试验方式采用抗 EMC 转矩测量仪来测量转矩的变化。间接试验涉及到电流性能。在确定全部转动惯量时,可以利用电流和速度特性进行间接试验。转矩性能可以通过加上骚扰后保持电流或速度恒定在规定的允差内的能力来确定(参见 5.1.3)。

### 5.1.3 试验条件

可以采用轻载试验。例如,在内部有门极驱动电路的情况下,尽管输出电流很小,外部骚扰仍有可能引起故障(如不应出现的同一相两臂间短路或放电电路触发)。这同样适用于 PDS 中任何电子或微机控制的设备。

若要求满负载试验(作为合同的一个规定项目),则应采用特定性能试验,并且试验应在 BDM 上作为一个成套的单元来进行,见附录 A.3。

试验转矩特性以及信息处理和检测功能要求特殊的试验设备,该设备对试验骚扰的寄生耦合要有适当的抗扰度。只有在试验设备的抗扰度可用标准的测量来验证的情况下,才可进行这种试验。转矩骚扰的评估可通过转矩传感器来进行,或者通过对转矩生成电流的测量或计算,或采用其他间接的技术。在试验场地应提供适用的抗扰负载。

为了试验信息处理或检测功能,应设有适当的设备来模拟数据通讯或数据计算。该设备应具有足够强的抗扰度,以便在试验期间能正常工作。

由于电动机已由其厂家按照相关的标准进行了试验,除了检测元件外,PDS 的电动机部分就不需要再进行任何附加的 EMC 抗扰度试验。所以尽管电动机在试验期间连接到 BDM/CDM 上,但不需要对电动机本身进行 EMC 抗扰度试验。

对那些存在的相关端口,包括所选辅助设备(若有的话)的那些端口进行试验,要依定义明确且可复现的方式逐个端口进行。然而,若有几个过程的测量和控制端口或信号接口具有相同的物理配置(布局),则试验该类型的一个端口或接口就可以了。

在下列条款中叙述了最低要求、试验和验收准则。验收准则请参见 5.1.1。

## 5.2 基本抗扰度要求——低频骚扰

在设计 PDS 对低频骚扰的抗扰度时应采用以下这些条款中给出的要求。每个制造厂可以用试验、计算或模拟方式来验证其是否符合要求。结果应作为其产品的技术说明给出。

根据下列条款,依给定的功能等级来设计基本传动模块(BDM)时,所采用抗扰度等级应高于或至少等于对应其系统正常运行的兼容性等级。连接到同一连接点(PC)的两个系统间的兼容性等级,根据电压来确定。对于接于公共连接点(PCC)的公用低压系统,其兼容性等级见 IEC 61000-2-2;对于接于连接点(PC)的工业用低压供电系统,请见 IEC 61000-2-4。附录表 A.4 从实用的观点作了综述。

### 5.2.1 谐波和换相缺口/电压畸变

稳态条件下,与总谐波畸变和各个谐波次数相关的、设计所用的抗扰度等级应至少等于 IEC 61000-2-4(等级 3;  $THD=10\%$ )或 IEC 61000-2-2( $THD=8\%$ )规定的永久兼容性等级,验收准则为 A。

瞬态条件下(少于 15 s),设计所用抗扰度等级应至少为永久兼容性等级的 1.5 倍,这时要求的验收准则为 B。

根据 IEC 61000-2-4 或 IEC 61000-2-2 所规定的兼容性等级产生的谐波和谐间波的算法而计算出的峰值电压没有什么物理意义,不能作为一个抗扰度准则。

对于专用于电力变流器的电网,所遇到的谐波畸变因子的值可能远大于 IEC 61000-2-4(为计算总谐波畸变)规定的最大兼容性等级,例如 GB/T 3859.1 的 5.2.2.4 条中所列的抗扰度等级 A。若要求

这样更高等级的抗扰度,则应由用户提出。

许多变流器产生换相缺口。换相缺口对 PDS 的有害影响可能远大于用频域分析法所得其对总谐波畸变的影响。所以,对换相缺口需采用时域分析法。换相缺口的分类见 GB/T 3859.1 的 5.2.2.4 条。并规定换相缺口采用深度( $d$ ,占  $U_{LWM}$  的百分数)和面积( $\% \times$ 度)来测量。

针对第二类环境中采用的 PDS 的换相缺口,设计所用的抗扰度等级应等于 GB/T 3859.1 的抗扰度等级 B(深度 40%,面积 250% $\times$ 度),除非用户规定采用更高的抗扰度等级。验收准则为 A。

注意,由于谐波和换相缺口而产生的应力影响电子控制部分以及某些功率部件(如吸收电路)。因为电子控制部分误动作是瞬间发生的,并且吸收电路有一短的热时间常数,所以,即使有这种情况,对于永久条件的试验周期也不需要超过 1 h。进一步说明见附录 B.1。

## 5.2.2 电压变化,波动,电压跌落和短时中断

### 5.2.2.1 电压波动

电压波动的典型形状见 IEC 61000-2-1 中的图 3~图 6。相对于 PDS 的额定电压,电压波动的幅值列于 IEC 61000-2-4 的表 1 中(2 级: $\pm 10\%$ ;3 级: $+10\%$ , $-15\%$ ;持续时间: $<1$  min)。设计所用抗扰度等级应达到验收准则 A。当输入电压低于额定电压时,最大机械输出(速度和/或转矩)额定值可能减小(见附录 A.1.2 中表 A.4)。

### 5.2.2.2 电压跌落——短时中断

电压跌落和短时中断指供电电压减少超出波动范围。其幅值可能为 10%~100%(剩下的电压为 90%~0%),并且规定其持续时间小于 1 min(见 IEC 61000-2-1)。即使是电压跌落的幅值为 30%~50%,持续时间为 0.3 s~1.0 s,这样的跌落也可能导致 PDS 转换能量的损失。

对一个生产过程没有详细的了解,则很难确定电压跌落(能量减少)对这一生产过程的影响。这种影响表现在系统和额定值方面,并且当对 PDS 的功率要求(包括损耗)高于有用功率时,这一影响通常最大。

为防止电压跌落和短时中断,设计所用的抗扰度等级应达到验收准则 C,其定义见表 1。在这些情况下,PDS 的制造厂应使用户能够获得有关 PDS 性能的资料。

就目前的技术水平,根据其工作方式和额定值,通过简单且可靠的计算就可估计 PDS 的性能。所以,不需要进行防电压跌落的试验(是不经济的)。尽管如此,在有可能和不危险的情况下(见第 7 章),短时中断期间 PDS 的性能可通过在 PDS 的标准工作条件下通、断供电电网来验证(见附录 B.4.1)。

下面举例说明这一复杂的问题。降低输入电压,即使只有几毫秒,也可能导致用于以再生方式工作的电网换相晶闸管变流器的熔断器熔断。使转速和转矩的允差与生产过程的性能相适应就可简单而又较好地确定出抗扰度(例如,风机和卷扬机应有所不同)。

如果要求更高的抗扰度等级,则应由用户提出。抗扰度的提高(如用 UPS,备用发电机,降额等等)可能会使 PDS 的尺寸和成本显著增加,并可能降低效率和功率因数。如自动再起动这样的工作方式可能具有安全的作用,这是安装者或用户的责任,不属于本部分的范围(见第 7 章)。

## 5.2.3 电压不平衡和频率变化

### 5.2.3.1 电压不平衡

电压不平衡可能是由于三相系统中某个单相负载引起的。实际上,电压不平衡等于不平衡的单相负载的功率与三相电网短路功率之比。设计所用的抗扰度等级应等于所考虑的连接点(PC)兼容性等级,见 IEC 61000-2-4 中表 1(等级 3:3%)或 IEC 61000-2-2 第 6 条(2%)。说明见附录 B.3。

### 5.2.3.2 频率变化

在兼容性等级限值之内频率变化可通过电子控制补偿。控制的关键可能是频率变化的变化率。

IEC 61000-2-4 给出了兼容性等级(等级 3: $\pm 2\%$ 或对于独立的供电电网为 $\pm 4\%$ ),相应的变化率分别为 1%/s 和 2%/s,或见 IEC 61000-2-2 的第 8 条( $\pm 1$  Hz)。

5.2.4 电源的影响

5.2.4.1 磁场

本条款涉及到工频磁场(见 GB/T 17626.8)和脉冲磁场(机壳端口)。经验表明对于 PDS 的信息处理和检测功能是不需要进行这样一些试验,因为他们靠近 CDM 的强磁场(例如 CDM 自身的箱体内部)。

注:以下环境可能要求附加试验:

- 用于发电厂和遥控中心时,按照 GB/T 17626.9 进行脉冲磁场试验;
- 用于中压或高压变电站时,应按照 GB/T 17626.10 进行阻尼振荡磁场试验。

5.2.4.2 工频共模(过程测量和控制)

共模信号传输在受骚扰的环境中和电线超过 2 m 时易遇到干扰问题(更详细的介绍见附录 A.4.1)。注意:即使差模信号传输口也可能误为共模传输(若一个端子接地的话)。

在差模信号传输下对工业应用的试验条件和限值正在考虑中。

5.3 基本的抗扰度要求——高频骚扰

在下列表 2 和表 3 中叙述了高频骚扰试验的最低抗扰度要求和验收准则。验收准则参见 5.1.1,说明见附录 A.4。

5.3.1 第一类环境

这些抗扰度等级应适用于预期只连接到民用供电的公共低压电网上的 PDS。

假若 CDM/BDM 是根据表 2 的抗扰度而设计的,则在产品目录中和设备上应有一个文字写成的警告,指明不应在工业环境中使用。

表 2 对预期用于公共环境而不是工业电网的电气传动系统最低的抗扰度要求

端 口	现 象	参 考 文 件	抗 扰 度 等 级	验 收 准 则
机壳端口	ESD <sup>1)</sup>	GB/T 17626.2	6 kVCD 或 8 kVAD	B
	EMF <sup>7)</sup>	见 5.3.3	若 CD 不可能	A
电源端口	快速突变 浪涌 <sup>3)</sup> 1.2/50 μs, 8/20 μs	GB/T 17626.4	1 kV/5 kHz <sup>2)</sup>	B
		GB/T 17626.5	1 kV <sup>4)</sup> 2 kV <sup>5)</sup>	B
电源接口	快速突变	GB/T 17626.4	1 kV/5 kHz <sup>6)</sup> 电容箝位	B
生产过程测量和控制线 端口及信号接口	快速突变	GB/T 17626.4	0.5 kV/5 kHz <sup>6)</sup> 电容箝位	B
CD=接触放电 AD=空气放电				
1) 若 CDM 用开启式机壳或机架式结构或防护等级为 IP00 时,出于安全上的考虑,试验不可能进行或被禁止进行。对此,制造厂应在装置上附一个合适的固定警告标志。 2) 电流额定值 < 100 A 的电源端口:使用耦合和去耦网络直接连接。 电流额定值 ≥ 100 A 的电源端口:直接连接或电容箝位,不用去耦网络。 若采用电容箝位,试验电平应为 2 kV/5 kHz。 3) 仅适用于输入为交流的电源端口,并且只用于备有合适的试验设备的情况下。不应超过基本绝缘的额定脉冲电压(见 GB/T 16935.1)。 4) 线对线耦合。 5) 线对地耦合。 6) 仅适用于电缆总长度按照制造厂的实用规范可能超过 2 m 的端口或接口。 7) EMF:电磁场。				

5.3.2 第二类环境

也可不考虑上述的要求,对产品提出更高的抗扰度要求。表3中的抗扰度等级应适用于预期用于第二类环境中的PDS。

表3 预期用于工业环境的电气传动系统(PDS)的最低抗扰度要求

端 口	现 象	参 考 文 件	抗 扰 度 等 级	验 收 准 则
机壳端口	ESD <sup>1)</sup>	GB/T 17626.2	6 kVCD 或 8 kVAD	B
	EMF <sup>7)</sup>	见 5.3.3	若 CD 不可能	A
电源端口	快速突变	GB/T 17626.4	2 kV/5 kHz <sup>2)</sup>	B
	浪涌 <sup>3)</sup> 1.2/50 μs, 8/20 μs	GB/T 17626.5	1 kV <sup>4)</sup> 2 kV <sup>5)</sup>	B
电源接口	快速突变	GB/T 17626.4	2 kV/5 kHz <sup>6)</sup> 电容箱位	B
信号接口	快速突变	GB/T 17626.4	1 kV/5 kHz <sup>6)</sup> 电容箱位	B
生产过程测量和控制线端口	快速突变	GB/T 17626.4	2 kV/5 kHz <sup>6)</sup> 电容箱位	B
CD=接触放电 AD=空气放电				
1) 若 CDM 用开启式机壳或机架式结构或防护值为 IP00 时,出于安全上的考虑,试验不可能进行或被禁止进行。对此,制造厂应在装置上附一个合适的固定警告标志。 2) 电流额定值 < 100 A 的电源端口:使用耦合和去耦网络直接连接。 电流额定值 ≥ 100 A 的电源端口:直接连接或电容箱位,不用去耦网络。 若采用电容箱位,试验电平应为 4 kV/2.5 kHz。 3) 仅适用于输入为交流的电源端口,并且只用于备有合适的试验设备的情况下。不应超过基本绝缘的额定脉冲电压(见 GB/T 16935.1)。 4) 线对线耦合。 5) 线对地耦合。 6) 仅适用于电缆总长度按照制造厂的实用规范可能超过 2 m 的端口或接口。 7) EMF:电磁场。				

要注意:根据电力线路的特点,对其他要求要进行这些验收试验。这些要求已在 GB/T 12668.1 和 GB/T 12668.2 中介绍。

5.3.3 对电磁场的抗扰度

5.3.3.1 一般要求

本条款所列试验用来验证如下环境中所用 PDS 的兼容性:ISM(工业、科研和医用设备)或如步话机或无绳电话那样的无线电发射系统。

应进行 GB/T 17626.3 中规定的试验。然而,考虑到可能附近有无无线电通讯系统,试验的频带应拓宽到 26 MHz~1 000 MHz,幅值应为 10 V/m。但在第一类环境下,幅值应为 3 V/m。由于拓宽到 26 MHz,并且经验也已表明 PDS 不大可能会受到 26 MHz 以下射频信号的干扰,故不需要进行 GB/T 17626.6 中所说的射频共模抗扰度试验。详细说明见附录 A.4.2。

当 PDS 或其子部件因为尺寸、电流额定值、或试验场地的额定供电容量,或其他的经济上的或/和实际原因不能在试验场地投入使用时,其试验和限值正在考虑中。

当步话机、无绳电话或采用射频通讯的其他传输设备可能在 PDS 附近工作时,上述的试验可由通

常所说的“步话机试验”来代替。“步话机试验”是一种为了获得大于 3 V/m 或 10 V/m 的场强值而沿 PDS 的机壳端口进行扫描的技术。

注：对于不能按照 GB/T 17626.3 进行试验的 PDS，推荐了一个界限：额定电压 $\geq 500$  V；和/或额定电流 $\geq 200$  A；和/或 CDM 的总重量或子单元的重量 $\geq 200$  kg；和/或子单元高度 $\geq 1.9$  m；和/或 CDM 或子单元的宽度 $\geq 1.2$  m；和/或电动机重量 $\geq 500$  kg。

### 5.3.3.2 “步话机试验”的实施

试验期间，应按照 5.1.3 条的规定对 PDS 进行操作和监控。PDS 应在正常的工作条件下运行，即应关上它的门。

试验所用的发射机应从表 4 来选择。在不受限销售的情况下，至少应采用三台不同类型的发射机，其中任何两台发射机不得运行于同一频率下。由于该试验不必在屏蔽的室内进行，所以，只有法律上批准可在该试验场地上使用的发射机才能使用。天线输入功率应与常用的或批准使用的设备相符合。

表 4 针对 PDS 的销售方式，进行电磁抗扰度“步话机试验”适用的发射机选择

	不受限销售	受限销售
发射机的选择	无绳电话 可移动电话 步话机 27 MHz 波段的民用发射机* 波段为 144 MHz 的业余无线电发射机*	应采用用户场所中靠近 PDS 的常用设备
* 由于这些设备的用户已意识到 EMC 骚扰和干扰问题，这些设备按惯例不能用于步话机试验。		

应手持发射机使其紧挨 CDM/BDM 的垂直表面。天线到 PDS 的最近点的距离应为 0.5 m 到 1.0 m 之间。应将发射机从“接收”切换到“发射”，再从“发射”切换到“接收”。发射机停止的时间不应小于 PDS 可作出响应所需的时间。对于电话之类的设备，用户不可能在“发射”和“接收”间进行切换，这时应以发射电话号码取而代之。

对于天线的每个方位，应至少有三次发射：垂直发射、平行于 PDS 表面的水平发射以及垂直于 PDS（指向 PDS）的发射。

这一过程应在如下几处进行：

- 在 CDM/BDM 的每个垂直面至少五处；
- 这些表面的所有开口处，通风窗也应被认为是个开口；
- 电动机的表面（假定电动机带有传感器）。

然后，每个发射机应依次重复进行上述整个过程。

应该注意，发射机的蓄电池组或电源应是满负载，并且要对发射机的实际输出功率或场强频繁地进行检查和记录。制造厂应在用户的资料中列出试验所用发射机的类型（步话机、模拟/数字可移动电话等）、功率和频率。

注：可在天线和放大器间插入一个功率计，检测实际辐射的功率。另一种方法是，可采用场强计来检测场强。

不需要（在 GB/T 17626.6 中描述的）射频共模试验。进一步解释见附录 A.4.2。

### 5.4 抗扰度要求的应用——统计方面

当选择 PDS 的某一特定的试验验收等级时，应该了解这一试验的结果只是某一性能的可能性。根据验收准则的等级和 PDS 的应用，在规定试验脉冲数或试验持续时间时应考虑这种可能性。

通过在具有代表性的单元上进行试验来验证抗扰度要求。制造厂或供应商应通过其质量体系在生产过程中保证该产品的 EMC 性能。

对安装在使用场地（而不是试验场地）的 PDS 所得测量结果应只与该装备相关。

## 6 发射要求

PDS 的配置应尽可能地与其实际的工作环境条件相适应。为了确保基本的 EMC 保护要求,本部分规定的用于不受限销售的设备发射的要求,比规定只用于受限销售的设备承受的更严格。

出于经济上的考虑,对于通过受限销售的 PDS,合伙的双方应通过选择适当发射类别、现场测量实际的边界条件以及相互交换技术规范来保证对装备基本的 EMC 保护要求。

符合正常应用时,应在频带产生最大发射的工作方式下进行测量。

### 6.1 低频领域中基本的发射限值

对于这些要求,试验 PDS 是很困难的,也是不经济的。然而,除非用户和制造厂之间合同协议上有其他的要求,可按经验通过计算或仿真(数字或模拟)来验证是否符合要求。

#### 6.1.1 换相缺口

换相缺口的分类见 GB/T 3859.1 中 5.2.2.4。缺口的测量用深度( $d$ ,占  $U_{LWM}$ 的%)和面积( $\% \times$ 度)来表示。缺口开始和结束的瞬间不包括在内(见附录 B.1)。电源连接处 PC 的换相缺口与变流器特性和供电电网的内部阻抗有关。

换相缺口可简单地通过时域分析法来观察。在某些简单的情况下,会得出一个确保 EMC 的实用规则。这个实用规则自然作了一些近似。若采用这个规则,仍然需要验证与有谐波时 EMC 规则的一致性。在这一规则适用的某些简单情况下,假定电网的阻抗可用一纯阻抗来模型化: $Z=L \cdot \omega$ 。

(特别是,这个规则不能用于因电容或电缆太长而预计有谐振的情况)。

在单个 PDS 情况下,这个规则是根据表 5 限制电源连接 PC(PCC 和 IPC)处换相缺口的深度。然而,有多个 PDS 连接到同一电源连接处 PC 的情况下,缺口的限制应从系统角度去考虑,就不能得出一个简单的规则。

表 5 换相缺口最大允许深度

缺口最大深度	公共电网	工业用电网
	遵守地方供电管理局的要求	若没有地方上的同意和若超过 40%,应征得用户的同意

制造厂应向用户提供下列资料:

- 正确使用 BDM/CDM 时电网的最大和最小阻抗;
- 若有,应给出 BDM/CDM 中所包含的去耦电抗  $Z_d$  的详细情况。

在不受限销售的情况下,用户的文件中也应包括为确保与换相缺口限值一致可能需要的任何附加电抗的资料。

在受限销售的情况下,用户应说明电源连接(PC)处最小短路功率  $S_{sc}$ 。假定阻抗为一纯电抗:

$$Z_{sc} = U_{1N}^2 / S_{sc}$$

所以,这时可确定为达到一致所需的附加措施(可能加上去耦电抗)。附录 B.1.2 中给出了计算这种换相缺口所需的附加资料。

对于某些配电网(如医院中的内部配电网),可能需作专门的研究。在这些情况下,条件应由用户来规定。

#### 6.1.2 谐波和谐间波

制造厂应在 PDS 的资料中或有要求时,以该电源端口上额定基波电流的百分比形式,提供额定负载条件下电流谐波的值。对于每个谐波次数,至少到第 25 次,应计算出其参考值。也应估算电流的 THD(40 次以下,包括 40 次)及其高频分量的 PHD(14 次~40 次,包括 40 次)。进行这些标准计算时,应假定 PDS 与 PC 相接, $R_{sc} = 250$ ( $R_{sc} = I_{sc} / I_{1N}$  为 PC 处短路电流和 PDS 网侧额定基波电流的比值),初始电压畸变  $< 1\%$ 。假定电网内阻抗应是纯电抗。

计算谐波的指南见 GB/Z 18039.2—2000 附录 A 的第 1、2 部分,在该标准的 6.4 条中给出了不同

源的谐波求和指南。

在 6.1.2.3 中给出了谐间波的影响,计算方法见 GB/Z 18039.2—2000 的附录 A.3。

附录 B.2 提供了对在系统或工业电网中的 PDS 的使用指导。

#### 6.1.2.1 低压公共供电电网

IEC 61000-3-2 中所列限值和要求适用于额定电流不大于 16 A 包含 PDS 的设备。对于额定电流 >16 A 包含 PDS 的设备建议采用未来的 IEC 61000-3-4(见参考书目)。

对于上述两种情况,均给出了适用于可能由一个或几个 PDS 和其他负载组成的整套装置的规则。设备中不同电气部件的谐波应采用适合于 PDS 特性和其他部件特性的更为精确的解析式物理定律来求和(见 B.2.3.3)。

#### 6.1.2.2 工业电网

若欲将 PDS 用于与上述标准不相关的工业装备中,则应将整个装备都考虑进去,这是合理实用的方法(见 B.2.3)。

用户在连接 PDS 之前应该了解其供电系统所产生的谐波电流和谐波电压的值及其供电系统的内部阻抗。PDS 的供应商应在 PDS 的文件中或有要求时提供出谐波电流发射值。由于 PDS 的谐波电流的发射可能与连接点处电网的谐波阻抗有关,所以应规定一个制造厂和用户采用的常规情况(若与 6.1.2 中所推荐的标准情况有出入)。

#### 6.1.2.3 2 kHz~9 kHz 频率范围的谐波和谐间波

该频率范围的要求正在考虑中。

#### 6.1.3 电压波动

GB 17625.2 中所列限值和要求适用于额定电流 ≤16 A 包含 PDS 的、预期连接到低压公共供电系统的设备。对于额定电流 >16 A 包含 PDS 的、预期连接到低压公共供电系统的设备,建议采用 GB/T 17625.3。

电压波动可能是由于诸如 PDS 负载的频繁变化,或者是异步电动机转差能量回收时的次谐波、或者是交流变流器或电流源逆变器而引起的。

大多数电压波动取决于安装条件。因此,系统方面的电压波动应该属于用户或安装者的责任范畴。考虑到所有设备的累积效应,电压变化不应超过在 IEC 61000-2-4 中给出的兼容性等级。

#### 6.1.4 共模谐波发射(低频共模电压)

PDS 变流器的开关频率通常在音频范围内,尤其在电话系统常用的频率范围内(300 Hz~3 400 Hz)。这一点在安装 PDS 时应该考虑。为避免对电话机、通讯系统和类似设备所用的敏感信号电缆干扰,应将电源接口电缆和敏感的信号电缆分隔开来,除非系统供应商另有说明。

### 6.2 高频试验条件

电压或电流的变化率是高频发射的主要原因。对于这种类型的发射,几乎都与 PDS 的  $dv/dt$  值相关,可通过使 PDS 的输出电流低于额定电流来获得。所以,这些试验都是轻载试验。要以定义明确且可复现的方式,对存在的相关端口逐个进行这些试验。试验方法应遵循 7.2 和 7.4 以及 CISRP 11 的第 8 章进行,并要特别注意对地连接。

#### 6.2.1 一般测量要求

##### 6.2.1.1 传导

用以评估电网终端电源端口的高频骚扰电压发射的测量设备,可采用模拟电网网络(若适用)(50 Ω/50 μH,见 CISPR 16-1);或在模拟电网不适用时,也可根据 CISPR 16-1 采用电压探针。

现场测量电网骚扰电压时,在没有模拟电源电网的情况下,应采用电压探针(见 CISPR 11 的第 7.2.3 条)。若 PDS 的输入电流 >100 A,或者输入电压 ≥500 V,或者 PDS 中包含电网换相变流器,也可采用电压探针(见 A.5.1.2)。

6.2.1.2 辐射

根据 CISPR 11 的第 10 章,进行测量时要与 PDS 安装建筑物的外墙壁保持一定的距离。

——若 PDS 安装于多个建筑物中,还应与电源接口保持一定的距离;

——对于连接到向民用供电的公共低压供电电网的设备,应在试验场地对其进行测试。到天线的距离应为 10 m。若相对试验场地来说设备的电流额定值过高,则应以另一种方式进行测试,如同在制造厂的露天试验场地一样。在这种情况下,文件中应验证所用方法的可重复性。

——对于连接到工业低压供电电网或者不向民用供电的公共电网的设备,可以在试验场地或现场对其进行测试,由制造厂择优选取。到天线的距离应可以是 30 m 或 10 m。若采用 10 m 测量,则 30 m 距离的发射限值应增加 10 dB。

注:若由于高的环境噪声电平或其他原因不能在 10 m 处进行测试,则可在较近距离处如 3 m 处进行 PDS 的测试。为了确定兼容性,对于特定距离测量数据的归一化,应每 10 m 距离修正 20 dB。在那种情况下,特别是 PDS 的尺寸相对较大和频率接近 30 MHz 时,应注意避免近场效应。

6.2.2 连接要求

当设备在现场测试,或者试验是在具有专门用途的、电缆配置为已知的设备上进行时,电缆和接地的配置应与此用途一致。

当设备在某一试验场地测试,并且电缆的最终配置为未知时,则选择电动机电缆的长度应对于某一典型的目标用途具有一定的代表性,至少应为 5 m。然而,在进行传导性测试时,应采用制造厂规定的最大长度。电动机安装时其外壳距 BDM/CDM 最近边界的距离不少于 0.5 m。多余的电缆应绕成盘状放于 BDM/CDM 和电动机之间的一个放在地面上的薄的绝缘支架上。

6.3 基本高频发射限值

许多 PDS 在工业环境下无滤波器都能正常工作,没有对其他的装置和设备产生干扰,所以,它们是兼容的。对于传导性和辐射性的发射,原则是干扰的可能性越高,其发射限值越要严格。

6.3.1 第一类环境

连接到向民用供电的公共低压供电电网的设备,应符合表 6 和表 7 中的限值。

假定标称的供电电压低于 500 V,同时假定供电系统的一个和多个点直接连接到地(根据 IEC 60364-3, TN 或 TT 系统)。

高频共模滤波会产生对地的容性连接路径。在中线与地绝缘或通过一高阻抗接地的供电系统的情况下(如 IEC 60364-3 所定义的 IT 供电系统),这些容性的连接路径可能是有害的(见附录 D.2.1)。

6.3.1.1 电网端子骚扰电压(电源端口)限值

频带 9 kHz~150 kHz 的限值正在制定中;

频带 150 kHz~30 MHz 的限值列于表 6;

频带 30 MHz 以上还没有规定出任何限值。

表 6 频带 150 kHz~30 MHz 中电网端骚扰电压的极限值——连接到民用电网的设备

PDS 的大小	频带 MHz	不 受 限 销 售		受 限 销 售	
		准 峰 值 dB $\mu$ V	平 均 值 dB $\mu$ V	准 峰 值 dB $\mu$ V	平 均 值 dB $\mu$ V
小功率传动系统 ( $I < 25$ A)	$0.15 \leq f < 0.5$	66	56	79	66
	$0.5 \leq f \leq 5.0$	56	46	73	60
	$5.0 < f < 30.0$	60	50	73	60
中等功率传动系统 ( $I \geq 25$ A)	$0.15 \leq f < 0.5$	79	66	79	66
	$0.5 \leq f \leq 5.0$	73	60	73	60
	$5.0 < f < 30.0$	73	60	73	60

### 6.3.1.2 电磁辐射性骚扰(机壳端口)限值

频带 9 kHz~30 MHz 的限值正在考虑中；

频带 30 MHz~1 GHz 的限值列于表 7；

频带 1 GHz 以上还没有建议作什么试验。

表 7 频带 30 MHz~1 000 MHz 中电磁辐射骚扰的极限值——连接到民用电网的设备

PDS 的大小	频 带 MHz	不 受 限 销 售		受 限 销 售	
		电场强度分量 dB( $\mu$ V/m)	测量距离 m	电场强度分量 dB( $\mu$ V/m)	测量距离 m
低功率传动系统 ( $I < 25$ A)	$30 \leq f \leq 230$	30		30	
	$230 < f \leq 1\ 000$	37	10	37	30
中等功率传动系统 ( $I \geq 25$ A)	$30 \leq f \leq 230$	30		30	
	$230 < f \leq 1\ 000$	37	30	37	30

有关测量距离的附加说明,见 6.2.1。

### 6.3.1.3 电源接口的发射

对于在第一类环境中运行的不受限销售类 PDS,不应采用长度大于 2 m 而无屏蔽的连接电缆(BDM/CDM 和电动机间的电缆)。屏蔽应是高频特性的、整个长度上连续的并且至少通过 360°的端接法连接到 CDM 和电动机的金属外壳。

### 6.3.2 第二类环境

对于连接到不向民用供电的工业低压电源电网或公共电网的设备,其极限值正在制定中。

许多 PDS 在工业环境下无滤波器都能正常工作,没有对其他的装置和设备产生骚扰。用于减少来自 PDS 发射的滤波器同时也降低了 PDS 的效率并增大了其尺寸和成本。对此需作仔细地考虑,以便在不使 PDS 效率、尺寸和成本受损的情况下,限值能确定。例如,如果在 EMC 得到正确地考虑的那些环境下,则采用 PDS 可使整个生产过程的效率比以前采用固定速度电动机的效率高。

对于骚扰电压,重要的是要注意:为减小来自 PDS 的发射而需要的高频共模滤波会破坏配电网与地绝缘这一设计原则,对这样一些系统的安全造成危害。所以,还不能确定用于绝缘或高阻抗接地的工业配电网 PDS 的发射限值(见附录 D.2.1)。至于中线接地或单相接地的配电网,见附录 D.2.2。

进一步的说明见附录 D.2,在实践中得知的发射值的指南见附录 D.1。

在 BDM/CDM 的各个部件上进行发射测试是毫无意义的,除非这些部件彼此互连并且连接到电动机。因此,在试验场地不需要对各个部件分别试验。

现场测试只适用于装备边界以外受扰设备有投诉或对设备有争议的情况。在那种情况下,应根据 6.3.2.3 的要求进行测试。

在任何情况下,用户都应负责确保 PDS 与其环境的兼容性。

本条中所作的叙述对电压骚扰和辐射电磁骚扰都适用。

#### 6.3.2.1 不受限销售类 PDS

制造厂应在产品目录中和设备上加上如下警告:“不适用于向民用供电的低压电网,否则可能会引起射频干扰。”

制造厂应提供安装和使用指南,包括推荐使用的缓冲部件。采用制造厂的建议时,用户对 EMC 负有主要责任。

#### 6.3.2.2 受限销售类 PDS

用户确定 EMC 的环境特性,包括整个装备及其周围环境(见图 5)。制造厂应提供要安装的 PDS 典型发射值的有关资料。若用户要求另外的缓解措施,用户和制造厂应根据确定的环境达成某种解决方法的一致意见。

6.3.2.3 对于第二类环境中装备边界以外的限值——骚扰传播的举例

对于第二类环境中的 PDS,即使传播是通过中压电网进行的,用户也应确保过大的骚扰不会引入邻近的低压电网中。

PDS 的用户(例如在装备 2 内,见图 5)与另一电网上的受扰设备(例如装备 1 内)之间有争议时,首先应该明确受扰设备(在装备 1 内)是被正在发射的 PDS(装备 2 内)工作时受扰的。被传播的骚扰电压的测试应在受扰者座落的设备(装备 1 内)的中压变压器的低压侧进行测量(测量点见图 5)。

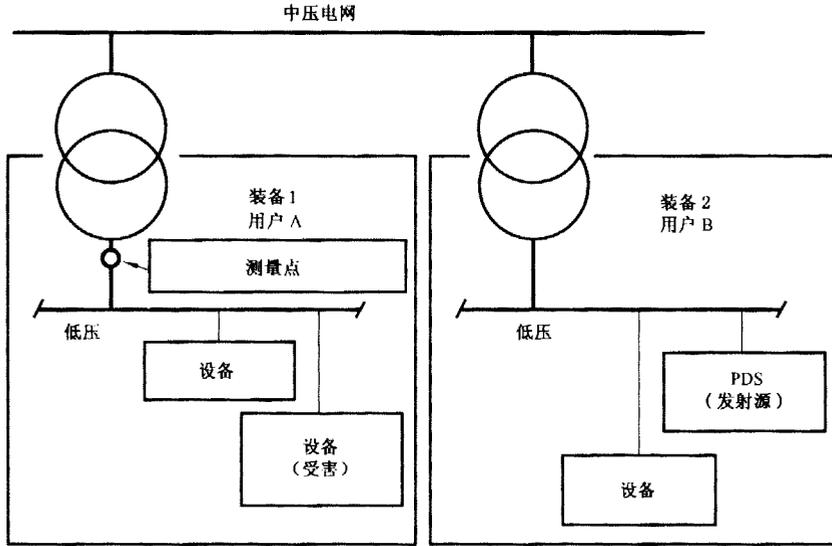


图 5 骚扰的传播

如果装备 1 属于第一类环境,骚扰电压应遵守表 8 的极限值。

表 8 传播的骚扰电压的极限值(在第一类环境以外)

频带 MHz	准峰值 dB μV	平均值 dB μV
$0.15 \leq f < 0.50$	66 随频率的对数而减小到 56	56 随频率的对数而减小到 46
$0.5 \leq f \leq 5.0$	56	46
$5.0 < f < 30.0$	60	50

如果装备 1 属于第二类环境,骚扰电压应遵守表 9 中的极限值。

表 9 传播的骚扰电压的极限值(在第二类环境以外)

频带 MHz	准峰值 dB μV	平均值 dB μV
$0.15 \leq f < 0.50$	79	66
$0.5 \leq f \leq 5.0$	73	60
$5.0 < f < 30.0$	73	60

在现场测试的所有条件下,针对发射设备测得的辐射骚扰应遵守表 10 中的极限值,测量距离根据 6.2.1 而定。

表 10 传播的电磁骚扰的极限值

频 带 MHz	电 场 强 度 分 量 dB( $\mu$ V/m)
$30 \leq f \leq 230$	30
$230 < f \leq 1\ 000$	37

若环境噪声(假定发射的 PDS 没有工作)超出(表 8、9 和 10)极限值,且能识别出一个特征组的发射频率至少超过被测环境噪声 10 dB,则只能认为假定发射的 PDS 出了故障。

应对 PDS 的发射进行抑制,直到低于极限值或环境噪声(以高的为准)。参见附录 A. 5. 3。

#### 6.4 发射要求的应用——统计方面

下列条款仅适用于不受限销售类型。

为了简单起见,应仅在一个设备上适应性验证试验。不受限销售类 PDS 的适应性应通过在具有代表性的模型上进行型式试验来验证。制造厂或供应商应通过其质量体系确保产品的 EMC 性能。

在有争议的情况下,若产品不能达到 CISPR 11 中 6.3 条规定的统计评估要求,则只能认为不受限销售类 PDS 不能满足本部分的要求。所以,应在定义明确的试验场地上进行评估。

### 7 安全性的最低要求

#### 7.1 抗扰度试验期间的安全性

在进行抗扰度试验时,若不小心,就可能危及到安全。抗扰度试验应在将安全放在首位的措施下进行。

按验收准则 C 和 PDS 特定的工作性能进行抗扰度试验测定时,应向用户说明是采用自动复位还是人工复位进行评估。

在浪涌抗扰度试验期间,不得危及基本的绝缘(根据 GB/T 16935.1)。

#### 7.2 工作期间的安全性

PDS 在非兼容性环境中运行时,或由于抗扰度不足,或由于发射过量,可能危及到安全。这方面由用户负责。

若有必要,用户应明确地说明特定的任何限值,如 CISPR 11 中对电磁辐射骚扰所给出的附加限值。若国家机构为了保护特殊区域的安全使用,则应采用这些限值。

滤波,特别是高频骚扰的滤波往往与安全预防措施是不相容的,见附录 D. 2。无论何时发生此类问题,安全性居首要地位。

#### 7.3 与本部分相关的安全性

与本部分相符合并不保证与所有的安全要求相符合。在其他的标准中仍要规定安全性要求。

附录 A  
(资料性附录)  
电磁兼容性(EMC)技术

A.1 EMC 现象综述

A.1.1 现象

IEC 61000-2-5 中介绍了许多 EMC 现象。IEC 61000-2-1 中给出了低频现象的一些定义。

电气传动系统(PDS)的运行包括基波和高频现象。由于变流器和/或逆变器的非线性,基波上叠加有谐波。高频现象是由于变流器和/或逆变器的电力电子器件的快速开关引起的。所以 PDS 可以既发射低频又发射高频骚扰。

相应地,PDS 附近的其他设备或系统也能产生低频和高频骚扰,从而影响到 PDS 的工作。

在实施和使用电力电子电路组成的 PDS 时要考虑到电磁骚扰可以分为若干种类型,其中每一种类型都可被认为是低频骚扰或高频骚扰。在某些标准中,边界频率是 9 kHz,而另一些标准中,边界频率为 10 kHz。

对于 PDS,两种频率都与其相关:

- 小于 9 kHz 的基波频率,专为电动机供电;
- 作为一种二次现象,高于 9 kHz 的频率可以被控制部分所采用,例如,逆变器控制的 PWM,微处理器时钟。

在每一种类型中,应区别出是传导性骚扰还是辐射性骚扰。

对于传导,应考虑到下述几点:

- 差模电压:涉及到机器或设备的输入端子(或输出端子)间出现的骚扰;
- 共模电压:涉及到输入或输出与接地或者基准接地连接间出现的骚扰。

上文只是个说明,精确的定义见 GB 4365。

对于辐射,应考虑到下述几点:

- 近场:到(寄生的)发射机的距离小于  $\lambda/2\pi$ ;
- 远场:到(寄生的)发射机的距离大于  $\lambda/2\pi$ 。

$\lambda$  = 所考虑的信号波长。

在研究系统的电磁兼容性时,从发射和抗扰度两个方面出发,对上述每一种情况应给予考虑。由于经济原因,只限于考虑主要现象。

表 A.1 总结了分类方法。

表 A.1 EMC 概述

频率	传播	耦合		发射	抗扰度
低 频 $0 \leq f < 9 \text{ kHz}$	传导性	共模		3 的倍数谐波(零序)残余电流	工频电压
		差模		谐波, 谐间波和换相缺口  对电网信号传输的影响	换相缺口 电压波动 跌落和短时中断 瞬时过电压 相位波动 不平衡电压 频率波动 直流分量
	辐射性	近场	磁性耦合	磁 场	磁 场
			容性耦合	电 场	电 场
远场					
高 频 $9 \text{ kHz} \leq f$	传导性	共模		感应的 RF <sup>1)</sup> 电压和电流	感应的 RF <sup>1)</sup> 电压和电流 单向瞬变
		差模			感应的 RF <sup>1)</sup> 电压和电流 单向瞬变
	辐射性	近场		电场(高阻抗) 磁场(低阻抗)	脉冲磁场 (便携式发射机) 便携式发射机
		远场		电磁场	RF <sup>1)</sup> 电磁场
大的频谱		空气放电 接触放电			
1) RF=射频。					
注: 在本部分中, 根据 IEC 通常作法, 低频和高频之间的界限为 9 kHz, 这个术语指的不是广播波段。					

本部分采用表 A.3 的分类方法。对每一种情况, 都从发射和抗扰度两个方面进行研究。

工业实践表明, 引起不兼容的主要原因在于传导性骚扰, 或许步话机之类的便携式发射机是例外。本部分涉及到专与 PDS 相关的一些骚扰。

表 A.2 按特性分类

	抗 扰 度	发 射
低 频	传导性 辐射性	传导性 辐射性
高 频	传导性 辐射性	传导性 辐射性

表 A.3 按现象分类

	传 导	辐 射
低 频	发射 抗扰度	发射 抗扰度
高 频	发射 抗扰度	发射 抗扰度

A.1.2 兼容性等级

若要确保电磁兼容性, 就应对来自设备的发射以及该设备所接收到的骚扰进行测量和表征。摘自 IEC 61000-4-1(图 2)的图 A.1 综述了应知道的不同强度。

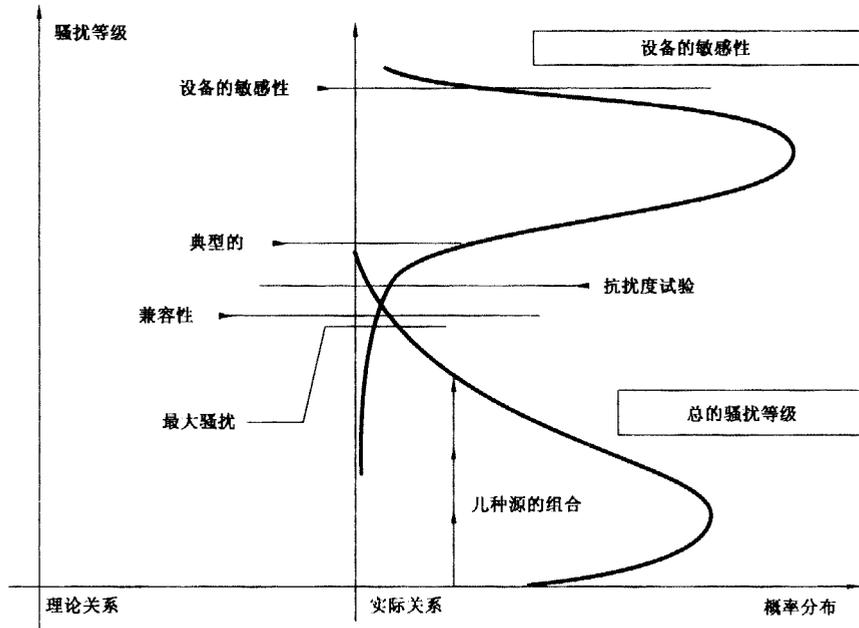


图 A.1 骚扰和抗扰度间的协调

表 A.4 从简化和实用的角度给出了典型的兼容性等级。这些等级对于预期以不受限销售的 PDS 是至关重要的。有关更详细的资料,请参见参考标准和本部分正文部分。

表 A.4 兼容性等级的典型值(从实用角度)

现象	兼容性等级	参考标准
1 额定电压	230/400,500,400/690 V(50 Hz) 240,277/480,480,347/600 V(60 Hz)	IEC 60038
1.1 电压波动	±10% 低压期间功率会减小	IEC 61000-2-4,2 级
1.2 电压变化<60 s	+10%/-15% 低压期间功率会减小	IEC 61000-2-4 应考虑逆变器方式
1.3 电压跌落和短时中断	取决于电力变流器的类型和应用负载	
1.4 换相缺口	实际的例子为 20%×U 在幅值最大值为 90%×U 时,瞬变幅值增加,振荡 频率高于 5 kHz	GB/T 3859.1 中抗扰度
1.5 电压不平衡	2%	IEC 61000-2-4
1.6 谐波电压	10%(8%)	IEC 61000-2-4 3 级或
1.6.1 总谐波畸变	见 IEC 61000-2-4 中表 3,4 和 5	IEC 61000-2-2 2 级
1.6.2 兼容性等级		
2 频率	50 Hz 或 60 Hz	IEC 60038
2.1 工差频率	±1%	IEC 61000-2-4 表 1

### A.1.3 PDS 的应用和电磁兼容性(EMC)

PDS 的应用非常广泛,要想列出一个详尽的表格是不可能的。然而这里所列举的例子说明了环境是极其不同的。由于 EMC 更多地是与环境而不是与产品本身相关,所以任何一个实用的规章都应考虑这一事实。例如,供民用建筑中发射的限值应与工厂里轧机所用的限值完全不同。

这里举例说明 PDS 的应用:

- 机床、机器人、生产用的试验设备、试验台;
- 造纸机、织布机、橡胶工业用的压延机;
- 塑料工业和金属工业生产线、轧机;
- 水泥碾碎机、水泥窖、搅拌机、离心机、挤压机;
- 钻机;
- 传送机、材料处理机、提升设备(起重机、起重机架等);
- 电缆车、船舶发动机等;
- 泵、风机等。

以上例子都采用本部分所涉及的 PDS。然而,电气车辆,特别是牵引传动不在本部分范围以内(第 1 条)。

## A.2 适用于电气传动系统的电磁兼容性(EMC)分析

### A.2.1 电磁环境

#### A.2.1.1 概况

可以采用各种各样的方式对电磁环境进行描述,但应对基于环境的一般特性的兼容性等级进行定义。若要使系统实现电磁兼容性,就应将设备的抗扰特性和安装惯例、设计、结构分离、滤波、屏蔽一起考虑。

根据 PDS 的类型,能确定出特定的环境类型。

#### A.2.1.2 通用模型

系统是由若干个子系统组成的。现有的装置(子系统)可能有两项功能:发射功能和/或感应功能(图 A.2)。

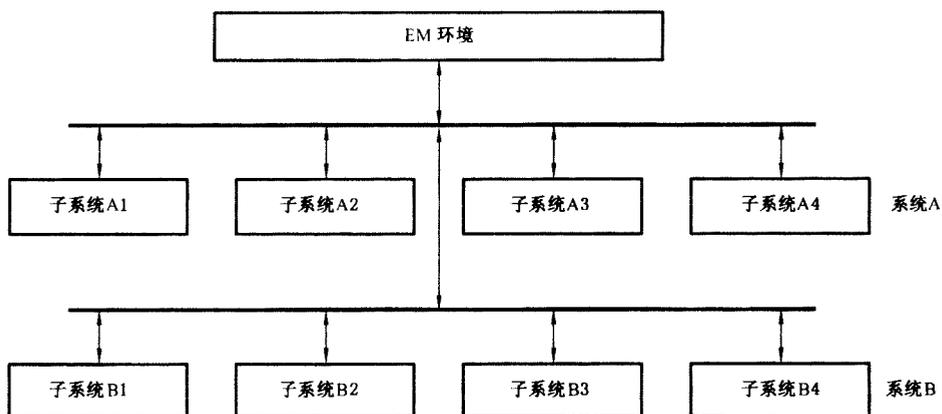


图 A.2 系统和电磁环境间的相互作用

发射装置决定电磁环境。发射可能会通过各种类型的耦合方式达到受感应装置。定义了子系统之

间,以及子系统和环境之间的一般相互作用。通过各种类型的耦合方式[公共阻抗耦合,电感耦合和辐射耦合(见表 A. 5)]的一个耦合模型,确定这些相互作用。

这种模型有助于确定各种 EMC 问题和特定的限值。

图 A. 4 和表 A. 5 给出了一些例子。

### A. 2. 2 系统 EMC 分析技术

应了解并利用每个子系统的信号特性、临界电路的抗噪声度、工程评估试验以及工作的电磁环境条件完成系统 EMC 分析这一任务。必要时,应开发用于发射机、接收机、天线、传播媒介和耦合路径的模型。系统 EMC 分析的目的是帮助改进设备设计和规程,以确保传动系统满足 EMC 的要求。

#### A. 2. 2. 1 “区”的概念

基于工作的电磁环境以及子系统和设备的敏感度对传动系统的“区”的概念进行定义。在每次 EMC 试验之前,对于每个区应建立一个特定的验收准则。这些验收准则应能对在抗扰度试验期间用于传动系统性能的规程进行定义,并能检测出误动作或与规范要求的偏离。在适用的 EMC 试验规程中,应包括用于特定的子系统(或设备)的验收准则。“区”的概念示于图 A. 3 中。

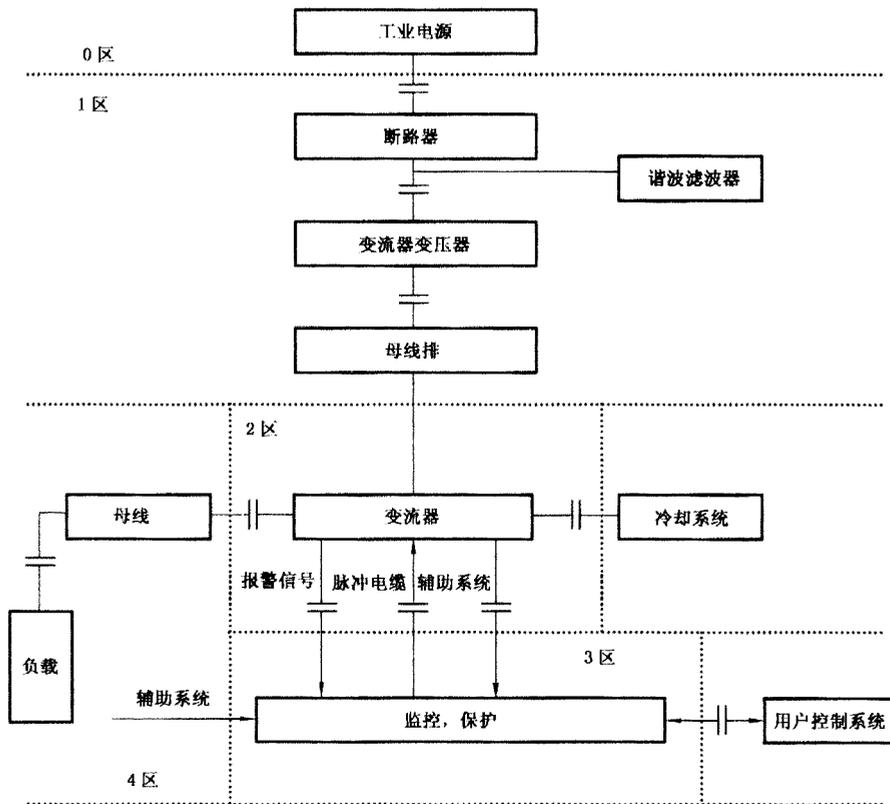


图 A. 3 “区”的概念

#### A. 2. 2. 2 接口

表 A. 5 列举了 PDS 的子系统之间的电源接口(见图 A. 4)和各种类型的干扰(传导性的、辐射性的)。

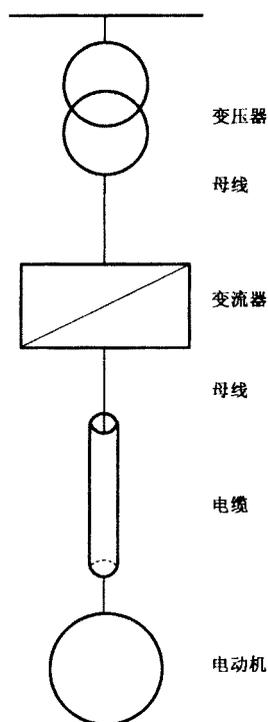


图 A.4 传动举例

表 A.5 子系统和环境之间的电磁(EM)相互作用

子系统(电磁源)	子系统(感应装置)				
	环境	变压器	变流器	电缆	电动机
环境		CI	CI Rad.	CI	CI
变压器	CI E, H, Rad.		CI		
变流器	CI Rad.	CI		CI	
电缆	CI Rad.	Rad.	CI Rad.		CI
电动机	Rad.		CI	CI	
注: 耦合模型: ——公共阻抗耦合 电阻和电抗耦合: CI		电感耦合 电场耦合: E 磁场耦合: H 辐射耦合 Rad.			

A.2.2.3 设备

应确定每个设备(发射设备、抗骚扰设备)的电磁特性及其所属的区。

A.3 与高频现象相关的负载条件

PDS 的 EMC 特性一般不受电动机上的负载量的影响。所以,不需要在所有负载条件下对 PDS 的

EMC 特性都进行试验,而只是在代表工作期间的所有发射和所有敏感度的负载下进行试验。制造厂应用书面形式证明他所选择用于试验的负载条件能满足这一准则。

**A. 3.1 发射试验期间的负载条件**

PDS 的辐射性发射和传导性发射主要是由于产生低频或直流输出功率的输出电压的突变引起的。电压波形频谱的高段可以有足够的能量,使 PDS 从其输入电力线、柜体、电动机引线和电动机外壳辐射出电能来。由于辐射的能量是电压突变引起的,所以试验应在电压突变具有最大高频分量的条件下进行,不必在其他条件下进行试验。

电压突变的陡度受 PDS 中所用电力器件开关速度的影响。IGBT(晶体管)是一种极快速器件,加之在某些逆变器中所用的二极管的恢复特性,可以产生大于  $1\ 000\ \text{V}/\mu\text{s}$  的  $dv/dt$ 。要注意的是,二极管恢复的陡度是该  $dv/dt$  的一个重要分量。尽管恢复电流的值与负载有关,但是二极管恢复的陡度与负载值的关系不是那么密切。注意衰减措施应包括滤波元件的饱和效应(例如干扰抑制电感器的饱和)。

另一方面,重要的是要考虑到主电路中无源电容、电阻或电感元件(如用于控制上述电压上升率的吸收元件)的影响。这些器件存在时,输出波形的  $dv/dt$  特性可能与负载有关。在此情况下,重要的是要在最恶劣情况下的  $dv/dt$  工作点试验 PDS。

**A. 3.2 抗扰度试验期间的负载条件**

通常,负载条件不影响 PDS 对低频或高频骚扰的抗扰度。主电路和控制电路出故障的原因通常与电压值而不是电流值相关。轻载下的试验不检测保护电路设定值的轻微变化,即过电流、过电压。若这些值对于 PDS 的正常运行是很关键的,则应该用试验验证在这些工作点的抗扰度。

若采用转矩特性准则,则负载应处于这样一个值,即有可能测量出与低频或高频试验相关的转矩骚扰。这将需要一个电动机和一个转矩测量部件。电动机应具有一个可用于电磁试验环境的负载。若采用间接的转矩测量方法,则 PDS 应工作于足以测量任何转矩骚扰的负载值。

**A. 3.3 负载试验**

若上述条件得到满足,可使用轻载试验(即电动机空载运行试验)检验 PDS 的电磁兼容性特性。试验时,甚至可以采用无源电力电阻和电感来模拟电动机的负载条件。特别要注意的是,电动机的外壳可充当天线。若采用无源负载,则也应模拟该天线的影

响。PDS 的制造厂应提供合格证书,证明在任何试验期间 PDS 上的负载都会对其某一特定的产品产生最恶劣情况或最敏感条件。这个证书可以通过对代表性产品的试验或通过计算或模拟得出。

**A. 4 抗扰度方面**

**A. 4.1 工频共模**

本条款对生产过程、测量和控制中工频范围内电线产生的不应有的、连续的骚扰作一说明。

当电线的长度超过 2 m 时,就可能由电源线和电源配置网络产生感性的、容性的或电气的耦合,包括接地系统中返回的漏电流。这可能对信息信号或有用的电压或电流产生不应有的干扰,从而使 PDS 产生不应有的反应。

为了解 EMC 试验的必要性,有必要说明一下信息传输的类型和端口处框架结构的基本差异。信号传输和端口结构(共模和差模)可以分为两种不同的模式。

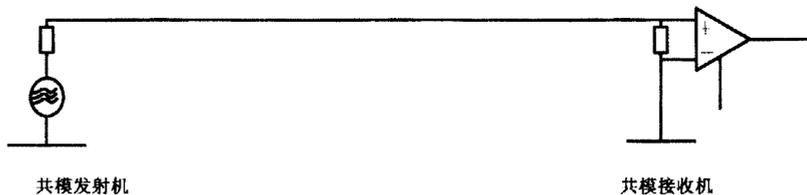


图 A.5 采用共模方式的信号传输



图 A.6 采用差模方式的信号传输

由于不同的阶段可能兼而有之,所以应该研究信号传输的特点。在这种情况下,重要的是要确定出是否与地绝缘。

表 A.6 信号传输方式

		共模接收机	差模接收机
发射机	共模	!	1 (双绞线)
	差模	2 (双绞线)	1 (双绞线)
! 1 和 2	注意! 共模信号传输可能受连续的传导性骚扰的干扰较大。 推荐抗连续传导性骚扰的差模信号传输:1=最好的性能,2=良好的性能		

若采用差模信号传输方式(表 A.6 的 1 和 2 种情况),只有在超过接收机的共模抗扰能力时才能发生干扰。若发射机和接收机之间的电位差不太大,则可忽略不计,否则,应采用绝缘式信号传输方式(如光耦合器或信号耦合器)。

在采用屏蔽式电缆时,作为信号回线不应采用屏蔽。安装指南见 IEC 61000-5-2(见参考书目)。

#### A.4.2 高频骚扰

IEC 61000-2-3 中介绍了有关环境的许多情况。

瞬态骚扰源包括来自电路断路器、接触器等快速瞬变。连续的高频骚扰源包括各种类型的无线电发射机。

广播发射机用于极广的频率范围,在世界各地,特别是欧洲,低至 150 kHz。另一方面,便携式发射机,如步话机、民用波段的收音机和便携式电话的工作频率达 27 MHz 以上。

经验表明广播发射机不大可能会干扰 PDS。步话机和类似的设备极有可能引起一些问题。步话机具有较低的发射功率,但由于其就在 PDS 的附近,所以有可能将较强的信号引入到传动系统中。

可以通过机壳或通过连接线,或通过两者的组合来耦合。

为了确保对来自接触器等骚扰的抗扰度,应进行快速突变电脉冲试验。由此得出一些对其他高频骚扰的抗扰度措施。然而,对于辐射骚扰,如来自步话机的骚扰,也应进行辐射性电磁场的抗扰度试验。

辐射性电磁场的抗扰度试验可在 26 MHz~1 GHz 的频率范围内进行。

在频率低于 26 MHz 时,极有可能的一条连接路径是通过连接到 BDM/CDM 的各种电缆。端口数量大,试验传导性射频信号的抗扰度是耗时的,对于大功率设备所需要的耦合网络也难于获得。然而,由于经验表明 PDS 不大可能受到 26 MHz 以下射频信号的骚扰,所以不需要进行这种试验。应记住:根据 GB/T 17626.4(见本部分的 5.3.1 和 5.3.2 条),这种类型的连接路径(连接电缆)也要经过试验。

#### A.4.3 电磁场抗扰度试验

本条款涉及到 PDS 特定的一些试验方法,通过这些试验可以显示出 PDS 能满足与电磁场(EM 场)的抗扰度要求。由于 EM 场源的日益增多,特别是内部的小信号电子子系统,这可能是一个重要的特性。

应该做出某种区分,以确定出哪些高频电源通常可以使电子设备,尤其是 PDS 运行时出现问题,并

且确定采用哪些特定的试验方法。下列子条款给予说明和介绍。

#### A.4.3.1 低电平电磁场

ISM(工业用、科研用和医用)设备,如电焊机、烘箱等可能是低电平电磁场源。这些设备均存在于民用和工业环境中。大多数情况下,所产生的场强在 PDS 的机壳端口处应小于 3 V/m。

PDS 经验表明,只要可以实现 PDS 固有的操作性能,则来自其他 PDS 的辐射性电磁场和来自商用广播站的其他低电平电磁场就不会构成问题。根据 GB/T 17626.3 以 3 V/m 的场强进行试验证明,对低电平电磁场才存在抗扰度问题。

#### A.4.3.2 高电平电磁场

场强和发射天线与可能的受害设备之间的距离成反比而减小,仅随天线输入功率的平方根而增加。所以应注意能在离 PDS 约 1 m 附近工作的发射机。这些通讯设备是影响电子设备的主要辐射干扰源。常见局部性连续的高频骚扰源的例子有移动式通讯设备,如步话机或无绳电话。

大型 PDS 不能安装且不能正常工作于进行 GB/T 17626.3 试验的试验场地(屏蔽的房间)中。所以,为了验证抗扰度,可以采用另一种通常称为“步话机试验”的方法。多年来,这种形式的试验方法已为许多 PDS 制造厂所采用。一些 PDS 的用户作这样的试验也作为合同上的一个要求。举例见附录 E.1 中[1]。

下面的分析表明 PDS 能够承受因这些设备的工作而产生的场强。

电气研究协会 ERA 和法国的电气研究部(EdF)在由六家不同的制造厂制造的步话机上(在甚高频和超高频下功率为 0.5 W~12 W)进行了测量分析(见附录 E.1 中[3]和[4])。

便携式无线电收发机可看作是二个极。根据附录 E.1 中[2]、[3]和[4],天线增益、供给天线的功率和远场强间统计的平均关系近似为:

$$E = (5.5/d)(G \cdot P_i/P_o)^{1/2}$$

$$d \geq d_i, \text{ 式中, } d_i = \lambda/2\pi = c/2\pi \cdot f_i$$

式中:

$E$ —— $d$  处场强(V/m);

$P_i$ ——天线输入功率;

$P_o$ ——基准功率( $P_o = 1$  W);

$f_i$ ——输入频率;

$d$ ——远场条件下距天线的距离(m);

$c$ ——光速( $3 \times 10^8$  m/s);

$G$ ——天线增益的无向增益值[antilog( $G_{dB}/10$ )]。

系数从  $5.5 \times \sqrt{G} = 0.45$  拓宽到 3.35,主要取决于天线的长度(步话机天线典型的长度相当于  $\lambda/4$ )。由于实验(电气研究协会 ERA 进行的除外)是在屏蔽的机壳中进行的,可以假定存在一个相当大的地平面。在实际情况下,便携式收发机是由某人手持发报的。由于这样的附加损耗是可以预计的,所以下面以系数  $5.5 \times \sqrt{G} = 3.00$  作为最恶劣情况条件下的基准。

假定天线额定输入功率  $P_i = 10$  W 的发射机是在远场条件下距离  $d$  处手持发报的,粗略的近似得  $E \cdot d = 9.5$  V。所以,若将 10 W 的发射机移近 PDS,在  $d = 0.1$  m 处场强增加到 95 V/m,而在  $d = 0.05$  m 处,增加到 190 V/m(假定频率足够高, $d > d_i$ 这一条件得到满足)。随着频率的降低,边界距离就会增加(见图 A.7)。在近场内,上述公式不适用。

PDS 向固定的大功率雷达站发射是很少见的,在这种情况下,要求根据局部边界条件进行专门的分析并采取现场减缓措施。

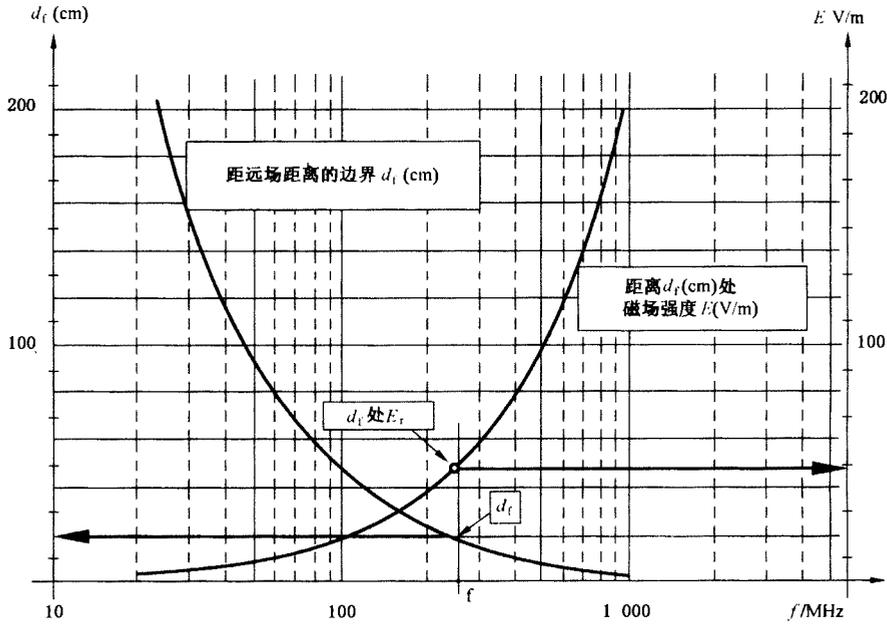


图 A.7 输入功率  $P_i = 10 \text{ W}$ , 远场条件的边界处距离  $d_f$  和预计的场强与频率的关系曲线

A.5 高频发射测量技术

A.5.1 阻抗/模拟电网 (AMN)

由于传动系统中的高频骚扰源有一个源阻抗, 所以骚扰电压的测量受电网阻抗的影响。

特别在低频时, 电网的阻抗可能是电感性的。然而, 系统的各种电容可能存在共振。详细的资料见 IEC 61000-2-3 中 6.6 条。

A.5.1.1 模拟电网 (AMN) 的电路

若有可能, 在型式试验期间应采用模拟电网的电源阻抗标准值, 这有助于改善不同试验场地间的复现性。

CISPR 16-1 的第 11 章规定了各种电网的特性。在本部分所规定的骚扰电压测量频率范围内, 可采用  $50 \Omega // 50 \mu\text{H}$  的电网或  $50 \Omega // 50 \mu\text{H} + 5 \Omega$  的电网。在频率 150 kHz 和 30 MHz 之间时, 被试设备 (电气传动系统) 可视为一个由  $50 \mu\text{H}$  电感与  $50 \Omega$  电阻并联的接地阻抗, 与进线供电电网的阻抗无关。

AMN 含有复现每相的电路。中性点 (若采用) 通过相同电路与所用的每相连接。

A.5.1.2 不能采用模拟电网 (AMN) 的 PDS

在较低频率下, 内阻  $50 \Omega // 50 \mu\text{H}$  AMN 的电感器将  $50 \mu\text{H}$  的阻抗加到供电电网的阻抗上。 $50 \Omega // 50 \mu\text{H} + 5 \Omega$  AMN 内的电感器将  $300 \mu\text{H}$  的阻抗加到供电电网的阻抗上。这个附加的阻抗可能妨碍某些 PDS 的正常运行 (如, 若电源的电感太高, 在大电流和小触发角的情况下换相缺口变得很宽)。在这些情况下, 不能采用 AMN。

上述 AMN 额定仅适用于 100 A 以下, 所以, 它们不能用于定额高于此额定值的 PDS。对于极大型的 PDS, 电源的阻抗将低于 AMN 的阻抗。在这种情况下, 采用 AMN 会给出极高的读数。

在电源电压大于 415 V 标称值时, 要在市场上买到 AMN 是很困难的。

在这些情况下, PDS 应直接接到供电电网上, 骚扰电压可采用高阻抗探针来测量。

A.5.1.2.1 高阻抗探针

正如 CISPR 16-1 中 12.2 条所介绍的, 当不采用 AMN 时, 骚扰电压可采用高阻抗探针来测量。由

于工频电流不通过探针,所以它甚至可与最大电流额定值的 PDS 连用。

通过调节电容器的电容量和电压额定值,这种探针可与 1 000 V 以下的电源一起使用。正如 CISPR 16-1 中所述的,若将电容器的电容量减小,在校准时应考虑其对测量精度的影响。

探针连接在电源线和基准接地之间。若 CDM/BDM 采用接地的金属机架,则机架可被看作是参考基准接地,探针应接于进入 CDM/BDM 的电源引线上。到探针的连线应尽可能地短,最好小于 0.5 m。

CISPR 16-1 给出如下警告,有必要使探针连线、被试导体和基准接地之间形成的回路区减至最小。该回路会减弱对磁场的灵敏度。

#### A. 5. 1. 2. 2 适用于大电流 PDS 的另一种方法

在某些情况下,出于对换相期间安全的考虑,采用高阻抗探针是困难的,并且读数可能比用 AMN 测试法所得的高几十分贝(由于阻抗的失配)。

数年来,在某些国家采用的另一种方法是利用小电流 AMN(例如 25 A)作为电压探针,即使对大电流 PDS(数百安以上)也是如此。PDS 不得与其供电电网断开。

AMN 的负载侧应通过 1 m 长的电缆连接到 PDS 的电源端口处的供电线上。在 PC 和 AMN 接线间应有些电感(如连接电缆)。AMN 的电网侧应无其他连线(如电网侧不接其他辅助设备)。接收机应象往常一样连接到 AMN。

用这种方法获得的测量结果与用几百安虚拟 AMN 所模拟的结果极其相似。注意,CISPR 对这一方法尚未作充分研究。

### A. 5. 2 进行高频发射试验

#### A. 5. 2. 1 测量装置

至于权威性的资料,应参考本部分、CISPR 11 和 CISPR 16-1 的正文部分。本条款对那些不熟悉射频骚扰测量方法的本部分用户,提供一些附加的说明。

##### A. 5. 2. 1. 1 频谱分析仪

频谱分析仪常常用来评估高频骚扰。然而,许多频谱分析仪如不完全符合 CISPR 16-1 的要求,就可能发生问题。

若前端灵敏性欠佳,就可能出现交叉调制,使得读数不正确。某些频谱分析仪不具有正确的带宽,这也会产生误差。

频谱分析仪可采用峰值检测器进行常规的扫描。然而,CISPR 标准要求采用一种带专用检测器的接收机,这种检测器称之为准峰值检测器和平均值检测器。有时,准峰值检测器被称为“CISPR 检测器”。某些频谱分析仪以这种现成的检测器作为选件。CISPR 16-1 要求准峰值检测器和平均值检测器具有较大的过载能力,对许多频谱分析仪来说,这可能是个问题。

若有完全符合 CISPR 16-1 要求的频谱分析仪,分析仪制造厂对此应加以说明。

##### A. 5. 2. 1. 2 试验用接收机的适用性

要确定某一仪器(频谱分析仪或试验接收机)是否适用,应向仪器的供应商询问这一仪器是否完全符合 CISPR 16-1 的要求。但是,为了有助于了解要求,这里将某些主要特性加以概括。

为了对电网端口的骚扰进行测量,接收机覆盖的频率范围应为 150 kHz~30 MHz。准峰值和平均值检测器都可采用,带宽应为 9 kHz。

某些接收机的频率范围可达 9 kHz~150 kHz。在这种频率范围内,应采用准峰值检测器,带宽应为 200 Hz。

电磁辐射骚扰(辐射性发射)测量所用的接收机覆盖的频率范围应为 30 MHz~1 000 MHz。这时,应采用准峰值检测器,带宽为 120 kHz。

#### A. 5. 2. 2 测量技术

##### A. 5. 2. 2. 1 假象

接收机应能够在一段时间内逐渐调谐至给定的频率,调谐时间要足够长,以便检测器的输出得到稳

定。若试验接收机(或频谱分析仪)扫描太快,则检测器将不能得到适当的稳定,就会发生所谓的假象,造成读数不准。对于包括 PDS 的电力电子电路来说,由于低的脉冲重复频率(50/60 Hz~数 kHz),这一点特别重要。若在整个屏幕上波形中的峰或谷出现抖动,则存在假象,应增加扫描时间。

在通常用于评估高频骚扰的频谱分析仪的类型中,本机振荡器要扫过该频率的范围。不要将这个分析仪与采用时域采样的快速傅里叶变换的分析仪相混淆。

在读数接近于限值的那些频率时,测量时不用接收机扫描。这就避免了由于这些频率时的假象而引起的不准确性。

#### A. 5. 2. 2. 2 峰值、准峰值和平均值

在连续正弦波信号的情况下,若带宽是一样的,则峰值、准峰值和平均值检测器会给出相同的读数。在脉冲信号存在的情况下,如 PWM,峰值检测器给出最大的读数,而平均值检测器给出最小的读数。当脉冲重复频率低于接收机带宽时,不同的检测器产生的读数间差别非常大。

#### A. 5. 2. 2. 3 环境噪声

对环境噪声限制的要求见 CISPR 11 的 7.1 条。

应注意确保环境噪声不引起错误读数。当检测来自供电电网进线的环境噪声电平时,应注意断开的接触器或开关会造成噪声衰减,这种情况在 PDS 运行期间是不存在的。

#### A. 5. 2. 2. 4 试验期间 PDS 的配置

试验的目的是模拟实际的工作条件,所以设备应在正常使用的状态下工作。例如,盖和门在正常工作期间是闭合的,在试验期间也应是闭合的。在本部分的正文部分还给出了一些其他的要求。

#### A. 5. 2. 2. 5 辐射性发射的测量

CISPR 16-1 中 15 章和 16 章详细地介绍了辐射性发射所用的天线和试验场所。

为了测量标准化辐射性发射,需采用专用的露天试验场地。试验场地要有金属地平面,具有足够大的传导率,以便给出一致的反射率。

被试设备安装于一个转台上,这样各个方向的辐射性发射都可测量到。

为了确保最低频率(30 MHz)时在远场可进行测量,天线安装于离被试设备 10 m 或 30 m 处。

升或降天线,可找出给定频率下垂直和水平极化的最大发射。

#### A. 5. 2. 2. 6 现场试验

当设备不能在试验场地上进行试验时,可在现场进行试验。在这种情况下,如上所述,应格外小心,以避免环境噪声引起的问题。

现场试验不可能象试验场地试验那样反复地进行。当将某一场地上现场试验的结果用来估计某一批量生产的产品兼容性时,应特别小心。

当没有在试验场地上进行试验时,美国所采用的一种方法是在设备安装的最初三个位置处进行现场试验。若发现设备在所有三个位置均符合限值,则认为该设备在常用情况也符合限值。

### A. 5. 3 使用大功率 PDS 确立的经验

几十年来,不同国家的经验表明,已经建立的无线电通讯设备抗高频骚扰的立法程序和保护程序经实践证明结果良好。下面介绍德国多年来所用的程序。

由于用于第二类环境的大功率设备,是某个装备的一部分,并且是单独售出的,所以将不在试验场地进行试验,见附录 E.1 中[5]。这实际上意味着,在出售这些部件时,无任何限值要求。同样的规则也适用于由用户自己建造、自己负责的设备,见附录 E.1 中[6]。即使安装于预期环境的测量和控制设备的情况,这种大功率装备的各项发射限值也与装备场地的实际边界相关。对于装备边界,已采用了各种发射限值(传导性骚扰电压的测量点是下一个中压变压器的低压次级,对于辐射性发射,到边界的测量距离为 30 m)。见附录 E.1 中[5]和[6]。

本方法可追溯到 20 世纪初(见附录 E.1 中[7])。

总之,经验表明,对于单独出售并组合于一个系统或大型装备中的部件,不要求任何发射限值,所以

不需要在试验场地进行任何测量。

因此,6.3.2 中阐述的方法遵从这个经验。这样使用不受限或受限销售类 PDS 均要求有 EMC 能力。这样的 EMC 能力应该用到设备的设计上,否则制造厂和用户应确定出某一特殊的和具体的环境中最经济的兼容性等级。

**附录 B**  
(资料性附录)  
**低频现象**

**B.1 换相缺口****B.1.1 换相缺口的发生——介绍**

电压换相缺口是在电力变流器换相期间发生的。电压换相缺口是指交流电网电压偏离基波瞬时值。有必要对 6.1.1 所述的时域分析法和为确保 EMC 可能采用的实用规则加以说明。

首先应该记住：

——在上述规则适用的简单情况下，假定电网阻抗可用一个纯电抗来模拟： $Z = L \cdot \omega$ ；

(在有电容器或长的电缆线情况下，上述假设不成立。在此情况，可能发生谐振)；

——在 GB/T 3859.1 中的 5.2.2.4 条中对换相缺口的抗扰度进行了分类，其中所用测量单位是深度 (“ $d$ ”，占  $U_{LWM}$  的%) 和面积(深度×宽度=“ $a$ ”%×度)(在 GB/T 3859.1 中也对  $U_{LWM}$  作了定义)。

若变流器不包含任何电感，在变流器本身端子处(不是 BDM/CDM 端子处)线电压中的换相缺口深度给出如下：

$$d = 100 \sin \alpha (\%)$$

——式中， $\alpha$  代表相控变流器的触发角(相对于二极管的自然换相点)；

——主要换相缺口用 0 V 这一值(变流器端子处线电压)来表示；

——这种近似使  $\alpha < 90^\circ$  时的  $d$  值估计偏低，而  $\alpha > 90^\circ$  时的  $d$  值偏高。

缺口面积可用一个简单的关系式(例如三相桥的)来近似：

$$a = 8\,000(Z_t \cdot I_{L1}/U_L) (\% \times \text{度})$$

式中  $Z_t$  是每相总的电源阻抗(这里假定是纯电抗性的)，包括 CDM 中所有的阻抗。可以看到，PDS 处于电流限值条件时发生的最恶劣情况。

注：在换相角  $\mu$  从  $\alpha$  变化到  $(\alpha + \mu)$  期间，换相电压为：

$$\sqrt{2}U_L \cdot \sin \omega t$$

$$\text{和 } \sqrt{2}U_L \cdot \sin \omega t = 2L_t \cdot di/dt$$

换相缺口的面积为：

$$A = \int_{\alpha}^{\alpha+\mu} U(\theta) \cdot d\theta = 2L_t \int_{\alpha}^{\alpha+\mu} (di/dt) \cdot (dt/d\theta) \cdot d\theta$$

$$A = 2L_t \cdot I_a \cdot \omega$$

$$A = 2Z_t \cdot I_a (\text{V} \times \text{弧度})$$

式中：

$I_a$ ——换相电流

假定  $I_a = 0.75I_d$ ，将三相桥中  $I_d$  的波动考虑在内，

$$A = 1.5Z_t \cdot I_d$$

$a$  以(%×度)为单位，则

$$a = 100A(360/2\pi)(1/\sqrt{2}U_L) = 6077(Z_t \cdot I_d/U_L)$$

$$a = 7\,794(Z_t \cdot I_{L1}/U_L)$$

$$a \approx 8\,000(Z_t \cdot I_{L1}/U_L)$$

**B.1.2 计算**

当上述假定成立时，电源连接点 PC 处的换相缺口深度为：

$$d_{PC}(\%) = 100 \sin \alpha (Z_c / (Z_c + Z_d)) = 100 \sin \alpha (Z_c / Z_t)$$

式中， $Z_t$  为总的电源阻抗：

$$Z_i = Z_c + Z_d$$

$Z_d$  = PC 和变流器端子间的去耦电抗(无论 CDM 中是否包含)

$Z_c$  = PC 处供电电网的阻抗

变流器的控制能力大小(以三相可控桥为例)常常用  $\sin\alpha$  来表示。换相缺口的深度在变流器的端子处为 100%，到零阻抗源处变为 0%。

在 PC 和 BDM 间增加一去耦电抗  $Z_d$ ，则 PC 处换相缺口深度减小，而换相缺口宽度增加，但换相缺口面积保持不变。

$$a_{PC} = 8\,000(Z_c \cdot I_{1L}/U_L)(\% \times \text{度})$$

在上述假定成立的简单情况下，可采用这些方程确定需要的去耦电抗。已知换相缺口的深度限值(见表 5)和变流器的控制能力大小，则 PC 处换相缺口的深度用  $Z_c/(Z_c + Z_d)$  之比给出。

这里， $Z_c$  由用户确定， $Z_d$  由安装者根据  $Z_c$  计算出，从中减去内部去耦电抗(若有，由制造厂给出)，余下的值就是正确去耦要加的电抗。

注：上述计算没有将换相缺口开始和结束时的瞬态考虑进去。

### B.1.3 实用规则

上述计算确定出了利用电抗  $Z_d$  使发射去耦的实用规则。现总结如下，假定电网阻抗为纯电抗，则基本关系式为：

$$Z_c = L_c \cdot \omega$$

$$Z_i = Z_c + Z_d$$

$$d_{PC}(\%) = 100 \sin\alpha(Z_c/Z_i)$$

$$a_{PC}(\% \times \text{度}) = 8\,000(Z_c \cdot I_{1L}/U_L)$$

在多台变流器连接到同一电网的情况下，应考虑 IEC 60146-1-2 的 3.5 条。

然而应记住，符合换相缺口发射准则并非就保证符合谐波发射准则。同样，符合谐波发射准则并非就保证符合缺口发射准则。

谐波畸变准则并没有完全包括抗扰特性。的确，由于谐波准则并未包含不同谐波分量之间的相位关系，所以它不能阻止特殊的电压加到 PDS 上。由于换相缺口这一特殊的波形( $dv/dt$ ，可能过零)影响吸收电路的工作，或者也可能影响到电子控制电路的工作，因此在 IEC 61800-1 和 IEC 61800-2 中对特殊的抗扰度准则作了规定，在这些标准的第 4.1.1.1 条中甚至将其作为“电气使用条件”加以规定。

## B.2 谐波和谐间波

如 B.1.3 所述，谐波分析没有完全包括 PDS 对电压畸变的抗扰度。而且 PDS 可以是一个产生畸变的负载，所以与发射有极大的关系。下文将对谐波发射做更详细的讨论。

### B.2.1 定义

#### B.2.1.1 谐波畸变

根据惯例，谐波畸变系数与所研究量的基波分量有关。畸变因子与所研究量的有效值有关(见 IEC 551-07)。

下面的定义与 IEC 目前的版本并不完全一致，这些定义经过了修改，给出了更多的信息。这些定义与平常的实践是一致的。在 IEC 60050-551 的附件 1 中，对这些定义作了介绍(见参考书目)。和注入的电流相比，电网电压波形的畸变要小得多。所以，将总谐波畸变系数 THD 或总畸变因子 THF 这两个定义用于电压时所得结果是一样的，而当考虑电流时，则差别相当显著。

THD 和 THF 的定义如下：

$$THD = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1} \quad \text{和} \quad THF = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}$$

式中：

$Q_1$ ——基波分量的有效值；

$Q$ ——总有效值。

就本部分而言,为了清楚起见,限值关系到相应的额定值。

$THD$  和  $THF$  限值的定义如下:

$$THD = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_{1N}} \quad \text{和} \quad THF = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_N}$$

特别注意,这个定义包括谐间波。当谐间波存在时,波形不再是周期性的,可产生比一般谐波更复杂的影响。如果谐间波可以忽略,这些等式可以简化为:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} Q_h^2}}{Q_{1N}} \quad \text{和} \quad THF = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} Q_h^2}}{Q_N}$$

式中:

$h$ ——谐波次数;

$Q_h$ ——次数  $h$  的谐波分量的有效值;

$Q$ ——电流或电压;

$Q_{1N}$ ——基波分量的有效额定值;

$Q_N$ ——总有效额定值;

根据 IEC 的通常作法,这种求和次数一直计到包括 40 次谐波。应注意:IEEE 519 将求和次数计到包括 50 次谐波。

应在最大畸变含量( $\sqrt{Q^2 - Q_1^2}$ )的运行条件下,根据额定值来评估发射。

对于特殊的应用, $THD$  的高频含量(次数  $h$  为 14~40,包括 40 次)被命名为局部谐波畸变系数  $PHD$ ,偶次含量(这里,次数  $h$  仅为偶数)被命名为偶次谐波畸变系数  $EHD$ 。代入电流,上式为:

$$PHD = \frac{\sqrt{\sum_{h=14}^{h=40} I_h^2}}{I_{1N}} \quad \text{和} \quad EHD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2, \text{even}}^{h=40} I_h^2}}{I_{1N}}$$

不过,谐间波应单独加以考虑。

### B.2.1.2 系统和装备

PDS 通常为某一大型系统中的一个组成部分,这个系统可能大如造纸工业或金属工业中一条成套的生产线。为了避免混淆,在本条款中,“装备”这个词仅用来指与公共电网上的公共耦合点(PCC)相连接的整套装备。

### B.2.1.3 负载条件

就系统来说,稳态条件表示最恶劣情况的条件。在此条件下,假定 24 h 内,过载状态(加速或其他)不超过总的持续时间 5%,在 7 天之内不超过总的持续时间 1%。若系统的负载是按周期定义的,则最大负载期间谐波发射的评估应根据 IEC 61000-4-7 所规定的测量方法通过平方值来进行。

### B.2.1.4 商定的内部功率

商定的内部功率  $S_{IT}$  限定了等效基准电流  $I_{1N}$ :

$$S_{IT} = U_{1N} \cdot I_{1N} \cdot \sqrt{3}$$

式中, $U_{1N}$  为 PCC 处线电压额定值, $I_{1N}$  为基准电流。下标 1 表示这些值关系到基波频率。注意, $I_{1N}$  接近于整套装备主电路断路器跳闸的电流值。 $S_{IT}$  表示在任何时间供电网向整套装备传送的电力。可以假定,对于每个商定的内部功率,都存在一个合理的短路功率(故障等级)  $S_{SC}$  (在 PCC 处确定)。这由配电管理部门负责。

注 1:“商定功率”由用户(装备的主人)和电管部门之间协商。符号  $S_{IT}$  和其计算如上所述。

注 2:同样的定义可用于装备的某一特殊的部分(下标为“eq”):

$$S_{eq} = U_{1N} \cdot I_{eq1N} \cdot \sqrt{3}$$

### B.2.1.5 短路比

$R_{SC}$  是电源的短路功率与设备的额定基波视在功率之比(参见 GB/T 3859.1):

$$R_{sc} = I_{sc} / I_{LLN}$$

**B.2.1.6 无污染 PDS**

无污染 PDS 根据其额定值,遵守 IEC 61000-3-2 的限值或 IEC 61000-3-4 第一级的限值(见参考书目)。这类 PDS 可以加上如下标签:“无畸变 PDS”。应用这样的 PDS 不受任何限制。

**B.2.2 兼容性评估**

对电力变流器及其应用的理论研究中,变流器被模型化为谐波电流源。某些新的电压型变流器(采用强迫换相和 PWM 控制)最好被看作谐波电压源,它们可通过一个阻抗(电抗器)将其转变为谐波电流源,再接到 PC(也是个电压源)上。

做为结论,一个 PDS 可以做为一个谐波电流源模型。

对于不同类型的变流器,已经采用了不同的模型来确定不同谐波分量的次数和幅值。在 IEC 61000-2-6 的附录 A.1 中和 IEC 61800-1 的附录 B 或 IEC 61800-2 的附录 B 中给出了一览表,其中一些资料摘自 IEC 60146-1-2。

这样的分析在此不再赘述。

PDS 通常是谐波电流源,但起到谐波电压的作用。谐波电压必须与 IEC 61000-2-2 或 IEC 61000-2-4 规定的兼容性等级相比较,还应考虑工作和安装条件的影响。这一点在 IEC 61000-2-6 中已表明并给出了谐波求和的方法。自然,这影响到所用的抑制方法(见附录 C)和 PDS 常用的连接规则(见 B.2.3)。

对于受限销售类的 PDS,通过工业实践,已从技术和经济的角度确立了一些最佳的方法,其中包括合适的抑制方法,如不同的 PDS 采用规定的相移变压器。

对每个 PDS 分别进行滤波可能产生严重的危害:产生多个谐振频率。另外,由于谐波阻抗和存在的电压畸变通常是未知的和不稳定的,所以滤波器的额定值难以确定。因此,应采用对整个装备进行滤波的综合方法。在 IEEE 519 中对这种方法进行了研究。

**B.2.2.1 常规的电圧法**

- a) 由公用事业和安装者规定系统在工业电源频率下电连接点(PC)的短路阻抗  $Z_{sc}$ 。
- b) 常规的谐波阻抗规定为(到  $h$  次):

$$Z_h = k \cdot h \cdot Z_{sc}$$

式中:

$Z_{sc}$ ——如上;

$h$ ——谐波或谐间波次数;

$k$ ——考虑了系统谐振危险的经验系数。其值根据 PC 处的电压值表示如下:

**表 B.1 谐振系数**

		$k$		
		公共电网	私人电网	
工业的	LV(低压)	1.0	1.0	$50\text{ V} < LV \leq 1\ 000\text{ V}$
工业的	HV(中压)	2.5	1.5	$1\ 000\text{ V} < MV \leq 35\text{ kV}$
工业的	MV(高压)	1.8	1.2	$35\text{ kV} < HV$

- c) 谐波电流  $I_h$ :对于给定的 PDS,可以计算出或测量出,它只与 PDS 本身相关。
- d) 某一给定的 PDS(或一组 PDS)所产生的常规谐波电压:对于正在考虑中的 PC,计算公式为:

$$U_h = Z_h \cdot I_h$$

这个电压应小于确定的值。

- e) 讨论:若有谐振存在,则这个方法所得结果是不精确的。在其他环境下,结果会是不利的。通过辨别以下两个系统的类型,这一点可得到改善:

——不含有长的电缆和无功率因数校正电容器的；

——有长电缆和/或电容器的。

这时可采用下列的  $k$  值：

$$k = 4 \text{ pour } 0.5(S_{sc}/Q)^{1/2} < h < 2(S_{sc}/Q)^{1/2}$$

$k = 1$  为其他频率。

式中：

$Q$ ——总的无功功率(电缆和电容器的)；

$S_{sc}$ ——PC 处的短路功率。

### B.2.2.2 整套装备的电流畸变法

$IHD$  定义为由给定谐波次数所产生的电流畸变(注意  $IHD$  等于这一次数相关的幅值)。基准值为整套装备交流电源所需要的额定负载电流。

$THD$  定义为总的电流畸变系数。

整套装备的  $IHD$  和  $THD$  值列于表中进行比较。美国就采用这种方法(IEEE 519)计算  $THD$ , 求和次数计到 50 次(包括 50 次)。

### B.2.2.3 逐个情况分析法

若采用上述的一个方法出现了问题,则应对系统进行全面分析。然后用分析结果正确地确定出总滤波方法。

应采用如下步骤：

——评估出 PCC 处谐波电压畸变的当前值(这由公共电网或私人电网的配电者负责)；

——计算或测量出 PC 处电源的谐波阻抗(若是 PCC 处,则由公共电网或私人电网的配电者负责；若是 IPC 内部连接点,则由用户负责)。IEC 61000-2-6 的附录 A.2 给出了系统中所遇到的谐波阻抗的有关资料；

——计算或测量所连接 PDS 将要注入系统的谐波电流(由制造厂负责)；

——计算出由此可能产生的谐波电压(由用户负责)。

IEC 61000-2-2 中规定了低压公共系统谐波电压的兼容性等级；IEC/FDIS 61000-2-12 中规定了中压公共系统谐波电压的兼容性等级；IEC 61000-2-4 中规定了专用工业系统谐波电压的兼容性等级。

在 PC 处可以规定适用的额定功率(称为商定的内部功率)。可以给要连接的 PDS 留有骚扰裕度。合理的方法是规定骚扰裕度与 PDS 的额定功率和 PC 处商定的内部功率之比成正比,并与上述引用的标准中规定的兼容性等级成正比。

### B.2.2.4 电话干扰

在北美和芬兰,配电线和电话线呈并行结构,导致了电话干扰因子( $TIF$ )的引入。IEEE 519 中第 6.8 条给出了各种谐波加权后的结果。

等效噪声电流定义为： $I_p = I \cdot TIF$

局部的、推荐的实际作法要求为： $I_p < I_p A$

在装备中,如果电动机电缆与电话线是并行走向的,则电动机电缆的共模谐波发射可能引起对电话线的干扰,这应该避免(见 6.1.4)。

### B.2.3 连接指南

本条款的目的是将 PDS 如何接于产品、装置或更广泛的系统提供指南。

不同类型设备产生的谐波发射已成为许多研究和出版物的对象(见附录 E.2)。

#### B.2.3.1 大型工业系统

可直接应用 IEC 61000-3-6。

通常根据自然去耦设备(变压器等)将系统分隔为几个不同部分。这种分隔应是在对整个电网进行分析的基础上进行,并考虑到可能产生的谐振。

应细心地确定所需的滤波器的位置。但是,对每个 PDS 都进行滤波显然是不现实的。

**B.2.3.2 小功率工业三相系统**

正如 6.1.2.1 所述,IEC 61000-3-2 和 IEC 61000-3-4(见参考书目)适用于直接连接到公共低压电网 PCC 处的 PDS 组成的装备。对于这些出版物未包括的 PDS,可以将下列步骤作为指南。

评估谐波发射的程序汇总于图 B.1 流程图中,在 B.2.3.3 中给出了计算方法。

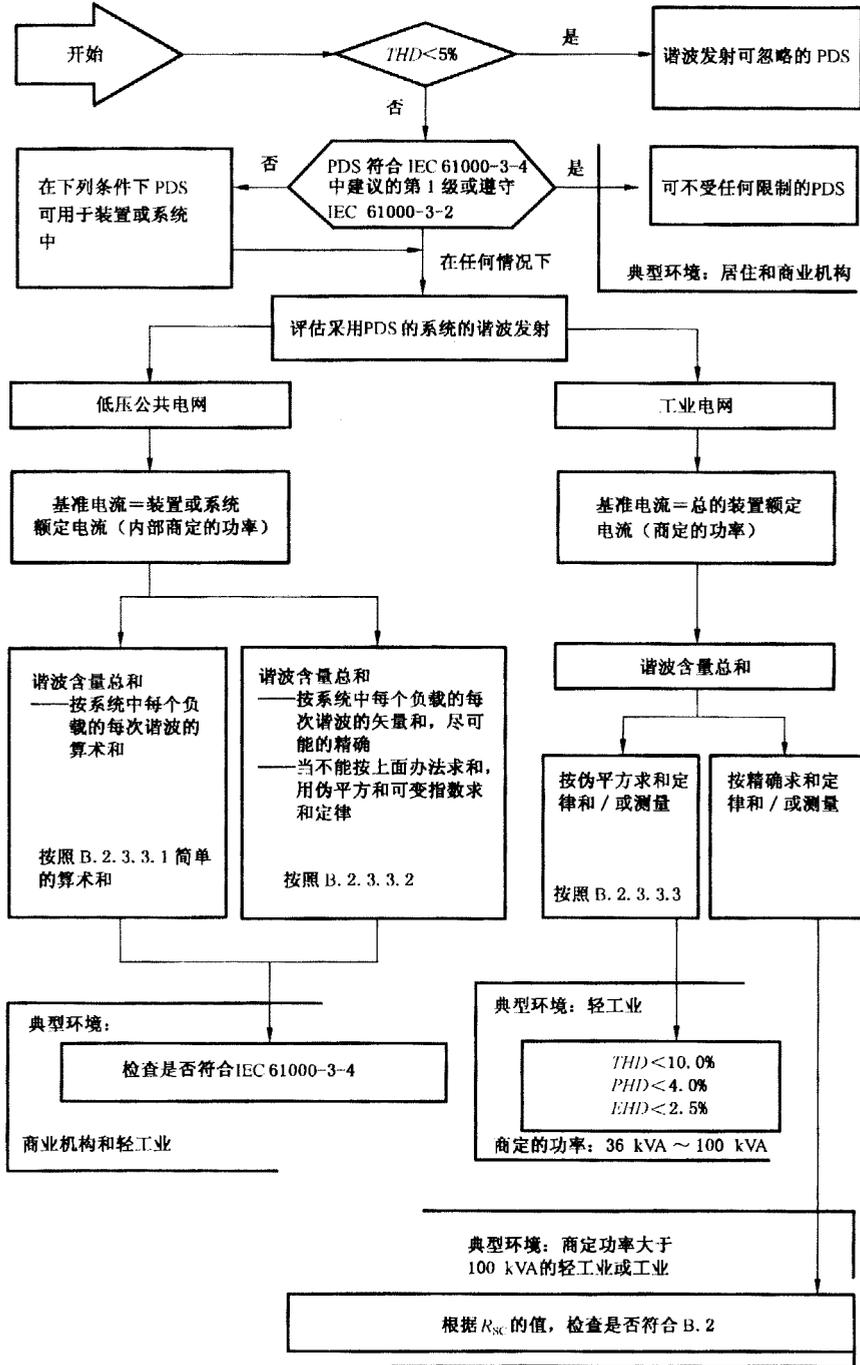


图 B.1 对采用 PDS(装置、系统或装备)的谐波发射评估

将系统或装置上所产生的各次谐波畸变( $IHD$ )(对于各次谐波而言)以及总的和局部的谐波畸变( $THD$ 和 $PHD$ )等级与相应参考标准中的表格相比较,来检验一致性。

### B.2.3.3 计算方法——举例和基本值

用最适当的方式对不同元件发射的谐波求和,其结果是与设备或系统的额定基波电流(商定的内部功率)有关。若系统直接连接到公共低压配电网,其结果与 IEC 61000-3-2 中规定的或 IEC 61000-3-4 的极限值作比较(见参考书目)。这种求和法的速度可以很快,但却是近似值。当要求精确值时,可以按照 PDS 的变流器的性能和结构选用适当的求和定律。

#### B.2.3.3.1 谐波电流简单的算术和

此方法是求谐波电流算术和(这种方法简单,但往往极其保守)。采用下列对所有产生畸变的部件(这些部件属于设备的某一部分)都适用的方程,计算三相部件的各个谐波畸变因数  $IHD$ (对每次谐波而言),或总谐波畸变  $THD$ ,或最高频率范围的总谐波畸变  $PHD$ 。

$HD$  是  $IDF$ 、 $THD$  或  $PHD$  的通用符号。下标  $eq$  表示这个值附属于系统中某个特殊的设备。

$$HD = \sum_{eq} HD_{eq} \cdot \frac{S_{eq}}{S_{IT}}$$

在该方程中,  $HD_{eq}$  表示该部件(某个设备)的额定基波电流,  $HD$  表示装置或系统的额定基波电流(商定的内部功率)。

利用不平衡补偿系数,将单相部件也考虑进去:

——对相-相的单相负载,不平衡补偿系数为  $\sqrt{3}$

$$\sqrt{3} \left( HD_{eq} \cdot \frac{S_{eq}}{S_{IT}} \right)$$

——对于相-中性点的单相负载,不平衡补偿系数为 3

$$3 \left( HD_{eq} \cdot \frac{S_{eq}}{S_{IT}} \right)$$

产生不平衡状况的有关负载项应使用补偿系数。

示例:

$S_{IT} = 150 \text{ kVA}$

产生畸变的设备 No. 1:  $S_{eq} = 25 \text{ kVA}$ ,  $HD = 65\%$ , 相对于其额定电流,即:

$$HD = 65 \times (25/150)\% = 10.8\%, \text{ 相对于 } I_{IN} \text{ (或 } S_{IT}) \text{。}$$

产生畸变的设备 No. 2:  $S_{eq} = 10 \text{ kVA}$ ,  $HD = 10\%$ , 相对于其额定电流,即:

$$HD = 10 \times (10/150)\% = 0.7\%, \text{ 相对于 } I_{IN} \text{ (或 } S_{IT}) \text{。}$$

产生畸变的设备 No. 3:  $S_{eq} = 1 \text{ kVA}$ ,  $HD = 85\%$ , 相对于其额定电流,但是单相(相-相)负载视为平衡负载,等效于  $1.73 \times$  额定值,谐波次数为 3 的倍数(要考虑的),即

$$HD = 85 \times (1.0/150) \times 1.73\% = 1.0\%, \text{ 相对于 } I_{IN} \text{ (或 } S_{IT}) \text{。}$$

对于该系统,

$$HD = (10.8 + 0.7 + 1.0)\% = 12.5\%, \sum S_{eq} / S_{IT} = (25 + 10 + 1)/150 = 0.240$$

对于每个谐波次数和  $THD$  均应进行上述计算。

#### B.2.3.3.2 伪平方(可变指数)求和定律

若可能,应使用更加精确的定律(计入相位关系)求和谐波电流:若这个定律不能使用,求和遵从如下规则:

——已知电流同相位(例如二极管整流器),各次数的算术和为:

$$I_h = \sum_i I_{hi}$$

——电流间相位关系是随机的,各次数的指数和为:

$$I_h = \left[ \sum_i I_{hi}^\alpha \right]^{1/\alpha}$$

$h < 5$  时,  $\alpha = 1$ ;  $5 \leq h < 10$  时,  $\alpha = 1.4$ ;  $h \geq 10$  时,  $\alpha = 2$ 。

用这种方法对来自系统谐波电流的发射进行评估。其结果是与系统的额定基波电流(商定的内部功率)有关,并可依照系统的额定值,用来说明与 IEC 61000-3-2 或 IEC 61000-3-4(第一级或第二级)是一致的。

**B.2.3.3.3 基于额定值的、用于工业电网的方法**

在不同的出版物中,提出了两种主要的方法:

- 伪平方和;
- 加权算术和。

推荐下列公式用于伪平方和的计算:

$$I_h = \left[ \sum I_h^{\alpha} \right]^{1/\alpha}$$

式中:

$$\alpha = 1,4。$$

这个公式与 THD 或 PHD 或 EHD 的总限值准则有关。

这种方法适用的典型环境是“商定功率”在 36 kVA 和 100 kVA 之间的轻工业设备。

**B.2.3.3.4 基于计算和/或测量的、用于工业电网的方法**

若用上述近似方法不能证明与各次谐波发射限值相符合,则应采用更精确的谐波发射评估方法。这与装备所需的总电流有关。

应确定由装备及其安装的负载所产生的总谐波电流,并与限值表进行比较。根据已知负载选择求和定律,或者在矢量已知时采用正确的矢量合成法。

例如,摘自 IEEE 519 的表 B.2 给出了各谐波次数的限值以及总的电流谐波畸变因数,这些值与装备的  $R_{sc} = I_{sc}/I_N$  有关。(THD 计算用的求和次数计到 50 次,包括 50 次)。

偶次谐波应限值到表 B.2 所给值的 25%。

**表 B.2 奇次电流谐波的限值(占  $I_N$  的百分比)**

h	$R_{sc}$				
	$0 \leq R_{sc} < 20$	$20 \leq R_{sc} < 50$	$50 \leq R_{sc} < 100$	$100 \leq R_{sc} < 1\ 000$	$1\ 000 \leq R_{sc}$
$h < 11$	4.0	7.0	10.0	12.0	15.0
$11 \leq h < 17$	2.0	3.5	4.5	5.5	7.0
$17 \leq h < 23$	1.5	2.5	4.0	5.0	6.0
$23 \leq h < 35$	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5
$35 \leq h$	0.3	0.5	0.7	1.0	1.4
THD	5.0	8.0	12.0	15.0	20.0

这种方法适用的典型环境是“商定功率”大于 100 kVA 的轻工业或重工业环境。

假若装备中的谐波与这些准则不符,则应采取一些缓解的措施。

**B.3 电压不平衡**

三相系统中的电压不平衡通常是由于单相负载加到三相的其中两相,使其负载不等引起的。电压不平衡直接与单相负载的量(占额定值的百分比)和供电电网的阻抗相关。例如,若有一个三相变压器具有规定的调节功能,并且只有一个单相负载接于两相之间。若负载占变压器 kVA 额定值的百分比相当大的话,则连接到负载两相的输出电压(相电压)将减小,而没有接任何负载的第 3 个绕组仍保持不变。

变压器上电压的过份不平衡会产生过热。应向制造厂咨询,以确定该变压器能否为变压器额定 kVA 容量百分比大的单相负载供电。

连接到不平衡三相电源的其他的三相负载常常会受到不利影响。例如,电压的不平衡将引起负序

电流流过三相感应电动机,使额定电流下的转矩输出减小,或者在电动机额定输出下产生过热。在某些电动机中,3%的不平衡都可能使其出力降额10%。若向三相电动机供电的电网存在不平衡状况,则一定要向制造厂咨询,以确定出对安全运行合适的降额量。

### B.3.1 定义

通常采用三种不同的方法来说明三相系统中电压不平衡的量。第一种方法是采用与三相电压平均值的最大电压偏差来定义不平衡度。最后一种方法是理论定义法,这时,电压可能是线电压值。

$$\begin{aligned} \text{电压不平衡度}(\%) &= 100(\text{与平均值的最大偏差}/\text{三相平均值}) \\ &= 100 |U_X - U_{AVE}| / U_{AVE} \end{aligned}$$

式中:

$U_X$ ——与平均值偏差最大时的线电压;

$$U_{AVE} = (U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}) / 3;$$

$U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ ——三相线电压的幅值。

示例:

$$U_{AN} = 231, U_{BN} = 220, U_{CN} = 220$$

$$U_{AB} = 391, U_{BC} = 381, U_{CA} = 391$$

$$U_{AVE} = (391 + 381 + 391) / 3 = 388$$

$$|U_X - U_{AVE}| = |381 - 388| = 7$$

$$\text{平均不平衡度} = 7 / 388 = 1.8\%$$

另一种方法以最大偏差的2/3来替代最大值与平均值间的偏差,这在代数上是等效的。

$$\text{电压不平衡度}(\%) = [67(U_{\max} - U_{\min}) / U_{\text{average}}]$$

对于同样的例子,相电压为:

$$U_A = 231, U_B = 220, U_C = 220$$

相位角平衡时,对应的线电压为:

$$U_{BC} = 381, U_{CA} = 391, U_{AB} = 391$$

$$\text{产生的电压不平衡度}(\%) = 1.73\%$$

最精确的定义涉及到对三相系统对称分量的分析。

这种类型的分析基于如下概念,与理想的三相系统的任何相电压偏差都可看作是3个矢量的叠加,即:零序矢量、正序矢量和负序矢量。其定义如下:

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= \underline{U}_{A0} + \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} && \text{A相电压} \\ \underline{U}_{A0} &= (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C) / 3 && \text{零序分量} \\ \underline{U}_{A1} &= (\underline{U}_A + a \underline{U}_B + a^2 \underline{U}_C) / 3 && \text{正序分量} \\ \underline{U}_{A2} &= (\underline{U}_A + a^2 \underline{U}_B + a \underline{U}_C) / 3 && \text{负序分量} \end{aligned}$$

式中, $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$ 是相电压向量," $a$ "是算子, $a = -(1/2) + j(\frac{\sqrt{3}}{2})$ 。

负序电压与正序电压之比就是电压不平衡度,如下:

$$\text{电压不平衡度}(\%) = 100 U_{A2} / U_{A1}$$

对于上面所给出的例子,假定电压不平衡不会使正常的三相系统产生任何相移:

$$\underline{U}_{A1} = (\underline{U}_{AN} + a \underline{U}_{BN} + a^2 \underline{U}_{CN}) / 3$$

$$\underline{U}_{A1} = [\underline{U}_{AN} + (-0.5 - j0.866) \underline{U}_{BN} + (-0.5 - j0.866) \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$\underline{U}_{A1} = [\underline{U}_{AN} + (-0.5 + j0.866)(-0.5 - j0.866) \underline{U}_{BN} + (-0.5 - j0.866)(-0.5 + j0.866) \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$U_{A1} = [231 + 220 + 220] / 3 = 224$$

$$\underline{U}_{A2} = (\underline{U}_{AN} + a^2 \underline{U}_{BN} + a \underline{U}_{CN}) / 3$$

$$U_{A2} = [\underline{U}_{AN} + (-0.5 - j0.866)(-0.5 - j0.866) \underline{U}_{BN} + (-0.5 + j0.866)(-0.5 + j0.866) \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$U_{A2} = [U_{AN} - 0.5(U_{BN} + U_{CN}) + j0.866(U_{BN} - U_{CN})] / 3$$

$$U_{A2} = [231 - 220] / 3$$

$$U_{A2} = 3.7$$

$$\text{电压不平衡度}(\%) = 100(3.7/224) = 1.7\%$$

在任何情况下,重要的是:基于幅值测量的各种方法没有正确地将相电压的相位移考虑进去,而采用矢量和的对称分量法将此考虑了进去。若三相系统是由大小相同且同相的三个相电压组成的,则幅值法就会失效。这是个极端的情况,说明对称分量法是一种更常用的方法,应该用于不平衡度中包含大量相移的场合。

### B.3.2 对 PDS 的影响

对 PDS 的影响视所用的电力电路和控制方法而定。对每一种控制和电路都应进行详细地分析。通常,对阻性负载供电的可控和不可控变流器的影响要小一些。采用以相移的线电压为参考的相控变流器受到的影响比采用以线电压过零点同步的锯齿波电压为参考的可控变流器要小。为电容器组供电的、可控或不可控变流器的电流不平衡度要比电压不平衡度大得多,并且比为感性负载(如直流电动机)供电的变流器的大。

在为电容器组供电的变流器中,峰值电流因电压的不平衡显著增加,所以设计这种变流器时应特别细心。对于纹波电压小的极大电容器组,每相的峰值电流仅受电源阻抗、PDS 中任何附加的阻抗以及电容器组的电压与电网电压之差的限制。在电源阻抗为 1%、电压不平衡度为 3% 时,两相之间峰值电流之比可能高达 20%。幸运的是,这只是极端的情况,因为单相负载在电源阻抗为 1% 的情况下,几乎不可能引起这样大的不平衡度。

## B.4 电压跌落——电压波动

### B.4.1 电压跌落

#### B.4.1.1 定义

或许,低频骚扰最常见的形式是三相中一相或所有三相上的电压跌落或者电压下降。电压跌落是指电气系统中某一电压突然减小,随后经过半周至几秒短时间之后电压恢复。电压跌落通常是由于公共供电电网故障排除,或者是由于在用户所在处或附近有大型电动机启动引起的。美国 EPRI 的研究表明,电压跌落可能的范围为一个周波到 10 个周波或更长些,下降的量为额定电压的 30%,超出电网电压 10% 的允差范围。

#### B.4.1.2 对 PDS 的影响

电压跌落可能对 PDS 产生不利的影晌。通常,当电源电压减小时,从电网传送到电动机的功率也就减小。对于将机械能从电动机返回到供电电网的再生变流器来说,这种影响至关重要。

##### B.4.1.2.1 可控变流器

由晶闸管、GTO 或晶体管组成的可控变流器,一般用于将电网的交流电压转换成可变的直流电压。用于电力半导体同步控制的逻辑电路,在电网电压下降到低于规定值时禁止整流。在某些情况下,控制被切断,直至用户使逻辑电路复位,或者在另一些情况下,只有在规定的时间内电压恢复后,才能重新工作。通常,PDS 在电压跌落期间电动机无法控制,并可能失控,直至逻辑电路复位。若 PDS 所控制的生产过程很关键,则应与 PDS 制造厂商讨,使逻辑电路对电压跌落的反应与生产过程需要兼容。在某些重要场合下,有必要采取附加的措施(例如另加一路电源)使生产过程在严重电压跌落时仍然工作。

在电压跌落期间,从 BDM/CDM 到电动机的有用功率减小。这将影响到与电动机工作点有关的运行情况。假如有 6 个晶闸管组成的可控桥向一台直流电动机供电,且电动机以高速运转,线电压峰值可能跌落到低于电枢电压,晶闸管将被电枢电压关断,电枢电流也将减小。另一方面,若在电动机低速运转时电压跌落,则控制电路可使控制点前移,以补偿跌落的电压,这时电动机的运行不受影响。对于一些重要的负载,应与 PDS 制造厂商讨电压跌落的影响,以确定控制电路将如何反应。

采用线电压使本桥晶闸管换相的再生变流器对电压的跌落特别灵敏。若线电压在此功率逆向流动期间跌落得太低,由于晶闸管不能关断,从电动机到电网的功率流就会失控。若控制电路无反应,或跌落得特别急,或跌落发生在晶闸管开通之后,则晶闸管就不能关断,过量的失控电流就可能从电动机中产生。这些电流对整个生产过程可能产生潜在的有害影响,甚至损坏电动机。对于一些重要负载,应与 PDS 制造厂商讨电压跌落对再生变流器的影响,以确定在这个区间控制电路和电力电路将如何反应。对于一些重要的负载,也可增加另外一条电路,强迫晶闸管换相,或者采用另一路电源,使 PDS 在电压跌落期间仍然工作。

采用某些方式强迫换相的再生变流器也会受到电压跌落的影响。这是因为跌落期间电压减小可能使从负载传输到电动机再到电网的功率量减小。若存在这种情况,则在此区间电动机可能失控。

#### B.4.1.2.2 不可控变流器

如二极管桥那样的不可控变流器受电压跌落的影响不大,但有大的冲击电流时的情况例外。在电压恢复之后,较大的冲击电流会注入电压源变流器的电容器组。然而,在电压跌落期间其输出功率和电压均减小,这可能对 PDS 的其他部件产生不利的影晌。例如,若变流器将电力送往逆变器时,逆变器的输出电压将受到限制,交流电动机将失控。某些制造厂的做法是,当馈送给逆变器的电压下降到低于某一规定值时,禁止工作。某些设计也要求在能继续工作之前,先将逻辑复位。另外一些设计是在电压恢复后重新工作,但电动机在逻辑电路被禁止工作区间失控。这个区间可根据逆变器控制逻辑与电动机失控后的实际速度同步所需的时间而延长。

要使逆变器的输出频率与电动机的实际速度相匹配,则需要同步。使电动机从惯性运转平滑地过渡到控制状态的同步过程,决定了应施加给电动机的合适的频率和电压。

具有大型电容器组的 PDS,由于电容器组中储有能量,在短时间的电压跌落期间可持续运行。通常,为在电压跌落期间仍能工作而将电容器组做得非常大是不经济的。对于一些重要负载,在电压跌落期间可以采用蓄电池向电容器组供电。对于带有自适应控制的 PDS,若输出功率接近于零,则在电压中断期间仍能继续工作。在所有情况下,应与制造厂进行商讨电压跌落对 PDS 工作的影响,以确定 PDS 是否与生产过程的要求兼容。

#### B.4.1.2.3 一般性保护

经验表明,电压跌落的抗扰度主要取决于变流器的性能和负载的特性。绝对性的保护可能是极其昂贵的。应根据生产过程的要求,仔细比较后做出保护的选择。

绝对性的保护要求备用电源。例如,给 PDS 外接一台 UPS,或者用直流电源(蓄电池)向电压源变流器的直流回路供电。

短时断电持续运行程序是一种利用避免瞬时过电流指令而不用后备能量的一种技术。所以,无源负载的速度必然以负载转矩与惯量之比所近似给定的速度减慢。出于安全性的考虑,这种保护方法不能用于有源负载(如再生期间提升,这时需要机械制动)。

跟踪再起动是短时断电持续运行程序的继续,可用于电压下跌时间长或极长的无源负载,这也是一种防电压跌落或短时中断的一种保护措施。

自动再起启动始终意味着安全状态,由其用户负责。

### B.4.2 作为引起电压波动的谐间波

供电电网中谐间波频率不是电网频率的整数倍,若是低频,则可能引起电压波动。谐间波可分为低于或高于电网频率两个区段。较高频率的谐间波包含在本部分的总谐波畸变中;较低频率的谐间波包含于基本的电压值规范中,有时将其称为闪变。

#### B.4.2.1 高频谐间波

高频谐间波可能是由于 PDS 中变流器的负载高频开关产生的。例如,由直流电动机中换相器波动引起的、或者是由逆变器直流母线上的电压纹波引起的、或者是由低谐波自换相变流器基本的 PWM 频率引起的高频电流。幸运的是,不是其幅值很小,就是被 PDS 的制造者大量地滤波掉。应该注意,这些

频率可能是存在的,并且可能影响功率因数校正用的电容器组和谐波滤波器。

#### B.4.2.2 低频谐波

低频谐波是指电网电压在低于电网频率的低频下发生周期性变化。与上面所讨论的电压跌落是相似的,但是随机发生而不是周期性的。由于其严重性和随机性,电弧炉或其他脉冲式负载所引起的电压闪变属于同一类。

驱动大型负载,如冲床、飞锯和机床的 PDS,要求周期性地从电网中吸取大的电流。这就可能引起电网电压波动。这些 PDS 供电的电源阻抗的大小应使电压波动不超过 10% 的允差。在确定这一阻抗的大小时,应考虑到各个负载峰值的平均值不超过供电系统的额定值,但会使供电电压的偏差超过允差。在公共电网上,由单个设备产生的电压波动不应超过 3%。若波动经常发生,则必须对公共电网和向照明负载(见 6.1.3)供电的任何电网规定闪变限值。

附 录 C  
(资料性附录)  
无功功率补偿——滤波

### C.1 装备

由配电网供电的用户往往有若干个或多个装置,这些装置最终连接于同一 PCC 处。术语“装备”用来描述连接在该 PCC 处的装置、设备或系统的组合及其馈电系统。

同样,许多工业装置中含有一个以上的 PDS。

只讨论单个 PDS 的功率因数、无功功率和谐波发射是不够的,可能引起不必要的技术难题。实际上,所需解决方法是针对装备的。装备中含有许多不同的负载。

#### C.1.1 常规运行

稳态条件下,在三相交流电网上任何一点的相电压和线电流都是周期性的量,其周期用  $T$  来表示,频率  $f = 1/T$ 。电压和电流很少没有相移,且都含有谐波,会使其纯正弦波发生畸变。然而,电能是利用电压源分配的,在电源(变压器的电源或工业装备的电源)的任何一点,电流波形都比电压波形畸变得厉害。因此,为了计算有功功率和无功功率,合理的作法是,假定在电网的任何一点,电压是纯正弦波,其有效值(相电压)等于  $V$ 。对单相有功功率  $P$  的计算公式为:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) \cdot i(t) \cdot dt$$

可简化为:

$$P = V \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$$

式中:

$I_1$ ——线电流基波分量的有效值;

$\varphi_1$ ——电流的基波分量与相电压间的相移。

当电流  $I$  相对于电压的相位移小于  $\pi/2$  时,  $P$  通常为正值(电压的单位是 V,电流的单位是 A,给出的功率为 W)。在同样的假设下,用无功伏安[var]表示的无功功率  $Q$  为:

$$Q = V \cdot I_1 \cdot \sin\varphi_1$$

该量表明在工业装备内存在诸如电抗器和电容器这样一些无功元件。当  $Q$  量为正时(电抗器),这些元件消耗无功功率;而当  $Q$  量为负时(电容器),则产生无功功率。

同样地,电网某一点的视在功率  $S$ (单位为 VA)定义为相电压的有效值与线电流的乘积。

$$S = V \cdot I$$

在三相电网上,有功功率、无功功率和视在功率均是每相应功率的总和,对于平衡系统:

$$P = 3V \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 = \sqrt{3}U \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$$

$$Q = 3V \cdot I_1 \cdot \sin\varphi_1 = \sqrt{3}U \cdot I_1 \cdot \sin\varphi_1$$

$$S = 3V \cdot I = \sqrt{3}U \cdot I$$

其中  $U$  为线电压的有效值。

功率因数  $\lambda$  定义为有功功率与视在功率之比,在单相以及三相中用下列公式表示:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{I_1}{I} \cdot \cos\varphi_1$$

该基波公式表示,功率因数取决于位移系数和电流的谐波含量。

综上所述,在上述假定基波中,将电压考虑为纯正弦波,并且电流是畸变的。该假设用于计算功率及所有结果,例如功率因数。对于其他计算,例如负载的谐波电压畸变作用,应考虑到电网的内部阻抗。可以根据在该点上流动的畸变电流和在该点上内部阻抗来计算出该负载的电压畸变作用。

众所周知,要避免装备超过额定值及配电网中增加不必要的电流,必须采用合适的功率因数。但是在实际运用中,只从无功功率的角度考虑该功率因数,此处可以看出,实际上也考虑到了谐波含量。

#### 通常作法

通常情况是工业装备消耗无功功率。因此,通常安装一个全局补偿装置以便减小位移系数,从而减小装备对无功功率的消耗。为了做到这一点,要在无功功率的用户附近或者在整个 PCC 处附近安装电容器。在某些国家,公用事业部门要对这种位移系数征收税,尤其是当配电网的负荷很大时。

#### 通常作法的评估

因为考虑到功率因数以及畸变负载的增加,需要考虑谐波补偿。可采用对整套装备进行全面滤波的方式,或在畸变负载附近安装滤波器的方式来实现谐波补偿。更好的方法也可以采用无污染负载。

从上述介绍中可以看出,需要两种类型的补偿,即位移系数和电流谐波含量。每一种补偿可以采用两种方法,全局法用于整套装备,局部法用于每个畸变负载。可以出现四种情况,但是每一种情况都不是独立的。因此必须要更详细地讨论该问题。

### C.1.2 无功功率补偿

#### C.1.2.1 通用补偿准则

要安装的电容器组的尺寸是系统所需的有功功率和无功功率补偿的函数,也是其一天期间变化的函数(负载——时间特性曲线),同时也是公用事业部门的价格实施函数。

通常用一个月內一天重负荷期间能量补偿(有功和无功)的平均值来确定补偿方案。

注:用无功功率的时间整数来定义本条款中无功能量概念。

需要知道应用的定额指标:

- 一天內重负荷时间;
- 免费的无功功率的限值(例如  $\tan \varphi$ );
- 用户数据,例如负载——时间特性曲线。

可以看出,无功功率补偿不能是恒定的,也不能是永久的。实际上,永久性修正会导致在某些时间在供电电网中注入无功功率。其结果会增加用户装备中的电压(幅值)。这并不是一个优点。

这种研究涉及到整套装备,很少涉及到每个 PDS。

另一点是,电容器可以安装在低压侧,也可安装在中压侧。通用作法示出,在无功功率修正达到 600 kvar 时,在中压侧上的装备具有一定的经济优点。较低容量时,应优先考虑低压侧。

如果要将功率因数补偿电容器安装在具有谐波电流源的电网中,建议在电容器上串联电抗器。这样,谐振频率会移到特征谐波的最低频率以下,通常为 5 次(见附录 C.1.2.4)。

#### C.1.2.2 低压补偿的应用

按照当地条件,可以确定四种补偿方式:

- 个别设备补偿;
- 分段补偿;
- 全局补偿或组合式补偿;
- 组合式补偿。

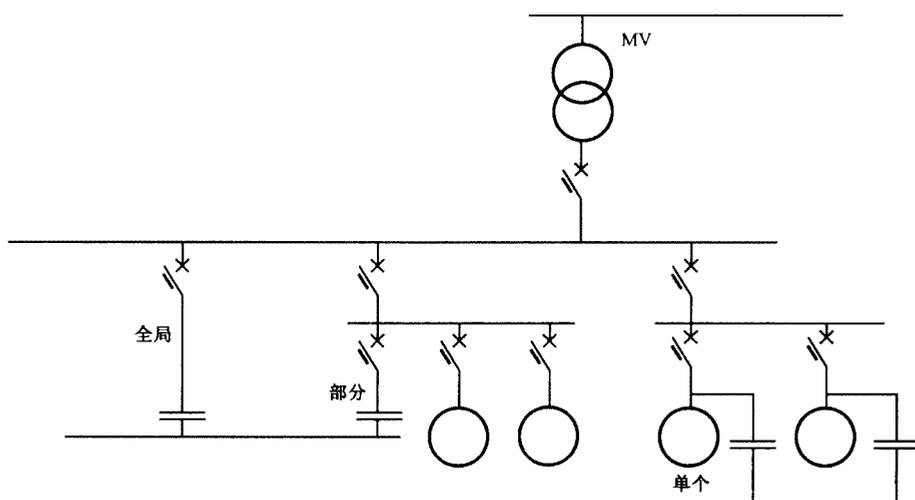


图 C.1 无功功率补偿

#### C.1.2.2.1 个别补偿——用于直接连到电网的电动机

个别补偿特别适合于额定值高于 25 kW,且大部分工作时间都处于固定转速运行状况的电动机。这尤其适用于驱动高惯性机器(如风机)的电动机。电动机的操作开关自动地接通或分断电容器。合理的做法是还应验证无谐振危险。

##### a) 优点

无功能量就产生在它被消耗的地方,沿整个供电电缆减小无功电流负载。所以个别补偿对减小视在功率和导线中的电压损耗起着极其重要的作用。

##### b) 缺点

因为几个小的电容器比单个大的电容器组要贵一些,所以个别补偿的费用相对要高一些。当电容器接上时,装置所处的局部电网的电压升高。即为了降低电压,在公共电网(高压)处于负载低谷时,应能将电容器断开。的确,高电压必然存在将极大的应力加到设备上的危险,使设备过早老化。因而,如果可能的话,必须通过开关装置将电容器与电网连接。但更为重要的是,工业电网中电容器的放大会增加谐振的危险性。所有这些因素使个别补偿的潜在优势大大削减。

#### C.1.2.2.2 分段补偿

在按区域补偿的情况下,由其开关装置控制的单个电容器组对位于某一车间或区域中的一组无功能量消耗设备进行补偿。

##### a) 优点

和个别补偿相比较,按区域补偿需要的投资少。然而,应事先知道负载曲线,以便能正确地确定电容器组的容量,避免过补偿的危险(当供给的无功功率大于所需要时)。过补偿会产生永久性的过电压,导致设备过早老化。电容器组有其自己的开关装置,这样,在公共电网处于负载低谷时,即使相应的功率消耗设备仍然与电网连接,也可容易地将电容器断开。

##### b) 缺点

各种功率消耗设备的供电电缆的尺寸必须能承载无功电流和有功电流。另外,应采取一定的措施(例如,熔断器、断路器等)保护电容器。为了安全,在维修期间要使电容器放电(放电电阻),并定期检查熔断器。

#### C.1.2.2.3 全局性补偿

在全局性补偿的情况下,无功能量设备集中在某单个点(最常见的是在变电所内)或某一个相当大

且通风条件良好的区域。同样在只有小型功率消耗设备的装备内,为了避免过补偿,采用自动控制的中央补偿是可行的。在负载曲线几乎无起伏的场所,只需在装备运行期间将整个电容器组连接上就行了。

a) 优点

电容器具有良好的利用系数,装备也容易监视。另外,采用电容器组进行自动控制,可有效地跟踪装置的负载曲线,从而避免了人工的介入(即人工连接和断开)。若负载的变化不是归因于特定的功率消耗设备,从经济的观点来看,这个方案具有潜在的优势。

b) 缺点

全局性补偿连接的装备下游要承受所有的无功功率。

C.1.2.2.4 组合式补偿

采用组合式补偿时,对在装备内工作时间长的那些大型功率消耗设备采用个别补偿;而对其他功率消耗设备则采用按区域补偿或全局补偿。在涉及到小型和大型功率消耗设备的运行过程中,由于每一个部件都能得到最佳的补偿,故此补偿原理是有利的。

C.1.2.3 中压补偿的应用

通常是在集中的基础上进行补偿。在中压变电所内,电容器分成几组。电容器组通过断路器连接到中压母线上。电容器组的功率可能高达几兆乏(Mvar),并且,为了随着日负载曲线的变化获得最佳的补偿,可将电容器组分成依次投入运行的若干个较小的部分。每个部分由为此而装的开关来控制。

a) 优点

当电容器组的功率容量大于 600 kvar 时,中压补偿的成本要比低压补偿的低。

b) 缺点

这种补偿方法并未能使位于电容器下游的那部分电网减压。电容器组接上时引起电压浪涌,工作起来要比低压部分的电容器更棘手些。

C.1.2.4 谐振危险

谐振危险是由于补偿无功功率用的电容器和组成静态变流器的谐波电流源同时存在于一个电网中造成的。

下面示出电网的简单线图,其中包括无源负载 R-L 和进行全局性负载补偿用的电容器组。

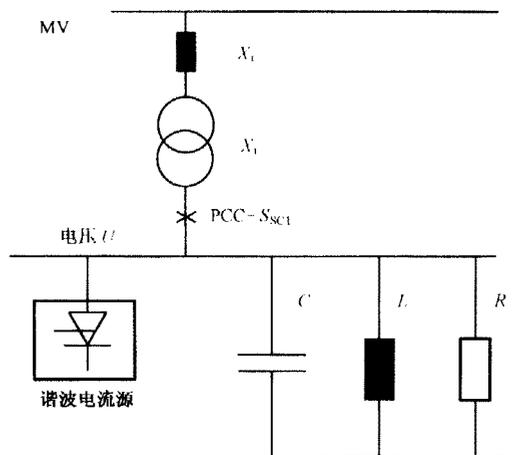


图 C.2 工业电网简图

P——无源负载有功功率和损耗;

Q——无源负载的无功功率;

$X_1$ ——短路功率为  $S_{sc0}$  的供电电网阻抗;

$X_2$ ——视在功率为  $S_N$ (电抗为  $X_{sc}$ ) 的变压器阻抗;

PCC——短路功率为  $S_{sc1}$  的二次母线上公共耦合点；

R, L——对应于负载的有功功率  $P$  和无功功率  $Q$  的电阻和电抗；

C——补偿无功功率能量  $Q_{cond}$  的电容器。

图 C.2 表示在 PCC 处电网谐波阻抗的变化及由于谐波电流源的存在而产生的谐振危险性。上游阻抗  $X_r$  和  $X_l$ ，有助于将 PCC 处得到的短路功率从  $S_{sc0}$  值减小到  $S_{sc1}$  值：

$$S_{sc1} = (1/S_{sc0} + X_{sc}/S_N)^{-1}$$

所以，对于  $h$  次谐波，PCC 处电网的等效谐波阻抗 ( $Z_b$ ) 具有如下的值：

$$Z_b = (h \cdot U)^2 [(h^2 \cdot Q_{cond} - S_{sc1} - Q)^2 + h^2 \cdot P^2]^{-1/2}$$

谐振频率为：

$$f_r = f_1 \cdot [(S_{sc1} + Q)/Q_{cond}]^{1/2}$$

式中：

$f_1$ ——基波频率。

图 C.3 表示由于  $X_r$  和  $X_l$  而引起的作为频率函数的阻抗  $Z_b$  和电网阻抗的变化。注意，在谐振频率  $f_r$  时，只与电网的阻抗比较， $Z_b$  有所增大。在 IEC 61000-3-6 中给出了电网阻抗的示例和对阻尼的研究（见引用文件）。

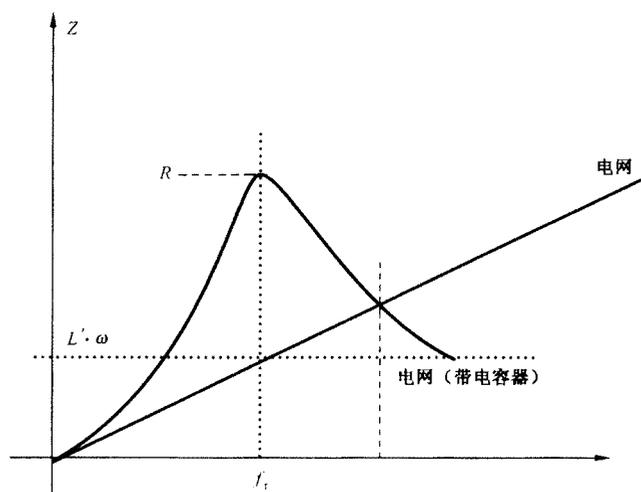


图 C.3 简化电网的阻抗与频率的关系曲线

应用欧姆定律就可以发现，某些谐波频率下当电网阻抗高且在相应的频率下出现谐波电流注入时，就会产生相当大的谐波电压。所以，感性电抗器和电网电容器之间存在谐振。这会产生各种各样的结果。

- 由于过电流流过电容器，特别是由于谐波的高频率，电容器有超载的危险；
- 由于相当大的谐波电压，电容器的端子有击穿的危险；
- 工业装备的终端处谐波电压较高可能使具有灵敏电子器件的设备不能正常工作，并可能使电动机的绕组过热；
- 谐波电压的存在会在配电网中和其他用户的装备中产生谐波电流。

无论是在减少谐波电流源的发射还是在安装滤波器时都应细心。电容器在工业电网中的位置是引起谐振的一个重要因素。

在解决谐振问题之前，常常有必要对电网进行仔细地分析。这些问题从性质上来说，不是属于系统方面的问题，但当这些问题确实存在时，其后果往往意味着设备的损坏，且不说加速老化这些影响。

这里所给出的分析仅限于一个无功功率补偿电路。要指出的，随着电网中这样一些电路的倍增，谐振危险也就增加。

### C.1.3 滤波方法

#### C.1.3.1 准则

装备的滤波与本部分是不相关的,但 PDS 的滤波如同装备的滤波一样地困难。此外,所用方法与 C.1.2.2、C.1.2.3 和 C.1.2.4 中所述的关于无功功率补偿的分析方法相同,并且结论也是一样。只有初始准则是专用的。

当估计到可能存在有非常高的电压畸变时,应进行滤波。电压畸变的值是按照附录 B.2.2 和附录 B.2.3 估计的。对特定的 PDS 进行滤波时,要知道其常规的谐波发射特性,即谐波电流的值是已知的。但是,只根据这个特性就确定滤波是不够的。

滤波器通常是接在电网上的设备,对于必须滤除的特定频率呈现极低的阻抗。所以,滤波器可以吸收掉这些特定频率的谐波电流。但是无法鉴别谐波电流是来自 PDS 的还是由电网中的谐波电压产生的。PDS 的谐波电流的低阻抗途径通常是滤波器(而不是高阻抗的电网)。由电网谐波电压产生的谐波电流只受电网谐波阻抗和滤波器阻抗之和的限制(见图 C.4)。由此可知,滤波器的设计是一项相当复杂的工作,它要求知道三个基本参数:

- 要滤除的电流,其起源是 PDS(由 PDS 制造厂负责);
- 存在的谐波电压(兼容性等级可以选择,但往往会导致滤波器过载);
- PC 处的谐波阻抗(配电者的责任;假若是 IPC,则由工厂内的用户负责;若是 PCC,则由公用事业部门负责)。

重要的是应注意,若谐波阻抗未知,则已知谐波电压也无用处。通常,为了正确确定滤波器容量,需要预先测量电压和阻抗。

最后还要指出,由于 C.1.2.4 中同样原因,有谐波放大的危险。

#### C.1.3.2 无源滤波器

最传统的滤波器是由谐振电路(串联电感和电容器),或加上电阻的阻尼电路,或是增加滤波器阻抗零点和极点的更复杂的电路结构组成。

滤波器在工频倍数的特定频率时呈现极低的阻抗。由不同谐振电路并联组成的滤波器组对若干次谐波进行滤波,如 5、7、11、13 次(见图 C.4)。滤波器组是为某一固定的工频设计的,特别当它们只受到轻微阻尼时,其效率取决于工频的稳定性。

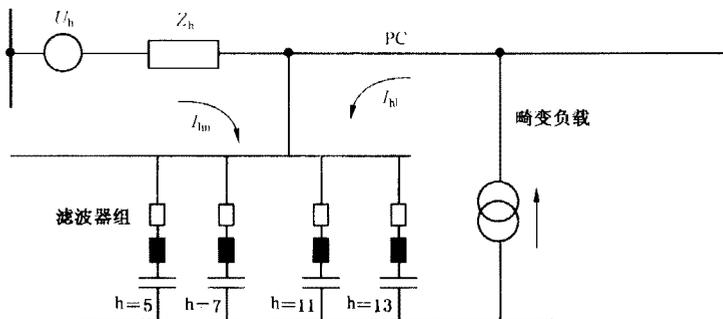


图 C.4 无源滤波器组的举例

注意,谐间波的滤除要求是阻尼式滤波器,并且仅适用于窄的频段。

关于谐振的危险性,有两个主要的现象要指明:

- 频率稍低于调谐频率时通常发生谐振。有必要验证一下这是否会影响电网上用到的纹波控制和信号传输。用户的责任是在公用事业部门的协助下,将可能存在的载频的特性告知有这种信号传输的工厂;
- 对每个 PDS 进行滤波会使谐振的危险性增加,并且其结果可能影响到大部分装备。通常,只有对逐个情况进行分析才可能消除这些困难。所以,全局性补偿应是更可取的。

### C.1.3.3 滤波器的定位

在采用单个滤波器时,滤波设备必须尽可能地靠近产生畸变的 PDS。

但是,采用推荐的全局性补偿方法时,滤波器的定位和结构应根据装备的参数进行选择:

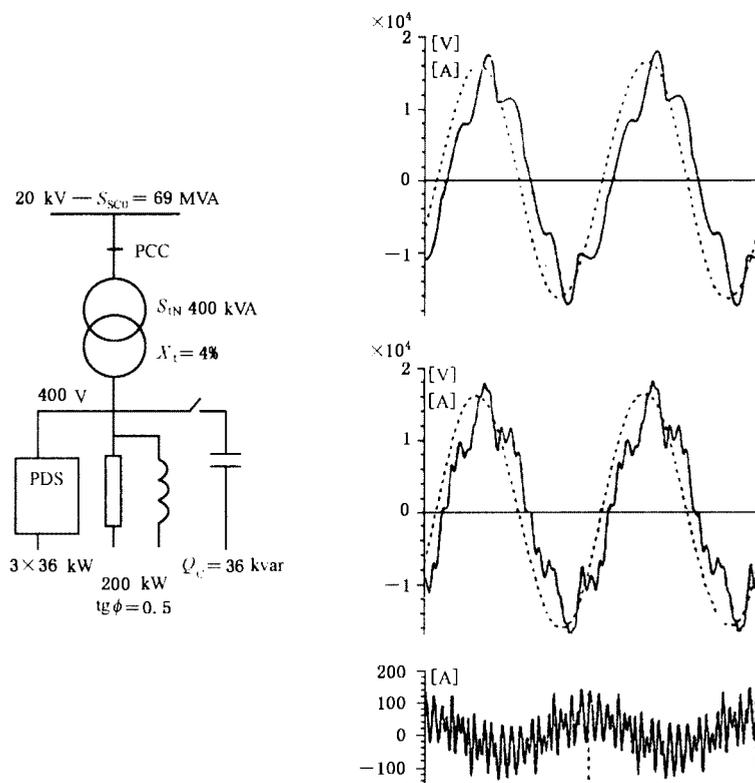
- 电网中的自然去耦段;
- 其他产生畸变的 PDS 或负载的畸变特性,即常规的谐波电流发射;
- 特别是采用长电缆时,配电网的阻抗或无功功率补偿电路的阻抗(见 C.2)。

## C.2 无功功率和谐波

如在 C.1.1 中所指明的,无功功率补偿和谐波电流的滤波技术是相互关联的,所以它们不能单独使用。

### C.2.1 常用的装备减缓方法

参照 C.1.2.4,一旦电容器接到感性的电网上时,就存在谐振的危险性。电缆也会将电容引入电网。下面的例子说明,采用电容器来补偿无功功率时,PCC 处谐波电流会增大,相当大的谐波电流也会流入电容器。



上图:无  $Q_c$  时 PCC 处的电流

中图:有  $Q_c$  时 PCC 处的电流

下图: $Q_c$  的电流

图 C.5 无功功率补偿低劣方法示例

由图 C.5 可知,只用一个电容器时问题是复杂的,增加电容器补偿无功功率时,其问题更为复杂。电网中无源滤波和无功功率补偿用电容器的放大作用,也可能增加了谐波频率的数量。所以,将整个系统考虑进去的全局性补偿将显示出最好的结果。

况且,分别进行无功功率补偿和滤波增加了产生过多无功功率的危险性。实际上,有效的无源滤波也会产生大量的无功功率。所以,将上述两种现象一起加以考虑,有可能为整套装备设计出最佳的设

备,从而确定一个较好的解决方法。

### C.2.2 其他方法

#### C.2.2.1 简介

无源滤波器的主要缺点是不能适应电网的变化和滤波器元件的变化(老化,温度等)。若无源滤波器在某一给定频率下的阻抗远低于电源的阻抗,则滤波器是有效的。然而,在某些情况下,若电源(电网)阻抗是低的,或者滤波器的频率特性对由负载所产生的谐波不能精确地调谐,则补偿就变得困难了。但是,最严重的问题是在电网中可能发生串联或并联谐振。

因此,对于公用事业部门和/或用户这两方面来说,可能要求其他的补偿方法,以便使从电网吸取的能量得到最佳的利用。能提供较好性能的新方法正在考虑中,其中一些已经达到生产的阶段。这些方法适用于有源滤波器和无污染 PDS,包括功率因数校正的控制网络。

#### C.2.2.2 有源滤波器

有源滤波器的原理就是在负载和电网电源之间连接一个逆变器式电力变流器,该变流器能够补偿电流和电压的谐波。当有源滤波器采用并联连接的形式,并注入谐波电流来阻止负载产生的谐波电流时,这种滤波器称为并联滤波器或分流滤波器。若有源滤波器与电网是串联的,则它是用来补偿负载连接点的谐波电压的。与无源滤波器相比较,有源滤波器的基本优点是它能够适应电网或负载的变化。

采用并联或串联连接方式,可形成各种各样结构的滤波器。将有源滤波器和无源元器件一起使用可改善性能,并且由于额定值减小和允许连到中压的电平上等等原因而拓宽了有源滤波器的潜在应用。而且,有源滤波器的成本将有降低的趋势。

#### C.2.2.3 无污染 PDS

新的电网变流器结构是有源滤波器的另一个可供选择的方法。用这些单相或三相的结构替代二极管式或晶闸管式电网换相变流器。它们对 PDS 的功率因数进行补偿所采用的方法有两个,使从电网吸取的电流与电网电压同相或者将电流谐波减至最小。这些变流器中所采用的元器件由于其开通和关断都是可控制的,故价格更贵一些。这些电网变流器的典型结构是由六个晶体管或六个 GTO 组成的逆变器式电力变流器。包含这种功率因数补偿电网桥类型的电气传动系统被命名为清洁的或无污染的 PDS。

#### C.2.2.4 应用

这样一些系统的成本在其所补偿的、产生畸变的负载(PDS 或其他)成本中可能占据重要的一部分。就投资、操作和维修来说,这一点是可以理解的。注意,随着损耗的增加,操作的成本亦增加,同时,随着无功功率消耗的减少,也就赢得了成本。成本和技术目标(即与兼容性等级相兼容)之间要相互权衡,该技术目标不允许任何东西代替“确保 EMC”。

另一点是,对减少了谐振的危险性,无论是采用全局、局部或组合式的补偿,都比无源方法更容易。

最后,但不是最不重要的一点是,这些有源滤波器方法增加了换相用电力电子器件的数目,同时也导致高频发射的增加。

理想的补偿方法并不存在,这些因素都应给予考虑。然而,在为特殊的问题确定方法时,应考虑该问题的特定环境。特定环境属于一般类型,但特定的环境要通过每种情况熟悉的工业条件来确定。

**附录 D**  
(资料性附录)  
关于高频发射的论述

## D.1 用户指南

### D.1.1 PDS 的预期发射

在工业环境或不向民用供电的电网中,使用 PDS 的用户都应具有一定的技术能力,并了解 EMC 现象。

在销售 PDS 的部件时,制造厂不可能内建一些防无线电干扰的减缓方法,这是因为他们不了解最终装备的 EMC 边界条件。另外,应该允许这些部件的用户根据经济观点自由地作出决定,是采用全局的还是局部的滤波或屏蔽方法,或者通过距离自然减缓方法,或者采用现有装备的分布式寄生电容,以便逐个地实现电磁兼容性。

#### D.1.1.1 传导性电压骚扰

本部分的正文部分介绍了达到 EMC 的定量评估的方法和极限值。在未经滤波的 PDS 的用户用减缓方法的评估时,最重要的一项是在 150 kHz~30 MHz 频率范围内,PDS 的电源端口上预计的传导性电压骚扰值。

1990 年至 1994 年期间,在对几种类型的 PDS(电压型和电流型)进行测量的基础上得出下面的结果。通常,为了评估可能预计的发射范围,将频率分为三个常用的频段(CISPR11: 0.15 MHz~0.50 MHz; 0.50 MHz~5.0 MHz; 5.0 MHz~30 MHz)。将各个频段中从每个 PDS 得到的最大值记录下来作为该部分的典型值。多数情况下,采用峰值检测器进行测量。考虑到因不同的负载条件(轻载和满载)、不同额定的输入电压(220 V, 400 V, 460 V, 660 V)和不同的额定功率(0.75 kVA~740 kVA)引起的约 91% 的离散性(见图 D.1),假定偏离  $V_{\text{dist}}$  平均值的范围宽度为  $\pm 20$  dB。

考虑到发射的物理情况,峰值读数的平均值可用斜率分别为 20 dB/10 倍频和 40 dB/10 倍频的两条直线人为近似表示出来。这两条线在过渡频率  $f_{\text{trans}} \approx 2$  MHz 时相交,根据附录 G.1 中参考文件[8],可用解析的方法表示为:

若  $100 \text{ kHz} \leq f \leq f_{\text{trans}}$ , 则

$$\bar{U}_{\text{dist}}/\text{dB}(\mu\text{V}) = 20 \log \frac{80 \text{ V} \cdot 10 \text{ kHz}}{\pi \cdot f \cdot 1 \mu\text{V}}$$

若  $f_{\text{trans}} \leq f \leq 30 \text{ MHz}$ , 则

$$\bar{U}_{\text{dist}}/\text{dB}(\mu\text{V}) = 20 \log \frac{80 \text{ V} \cdot 10 \text{ kHz} \cdot f_{\text{trans}}}{\pi \cdot f^2 \cdot 1 \mu\text{V}}$$

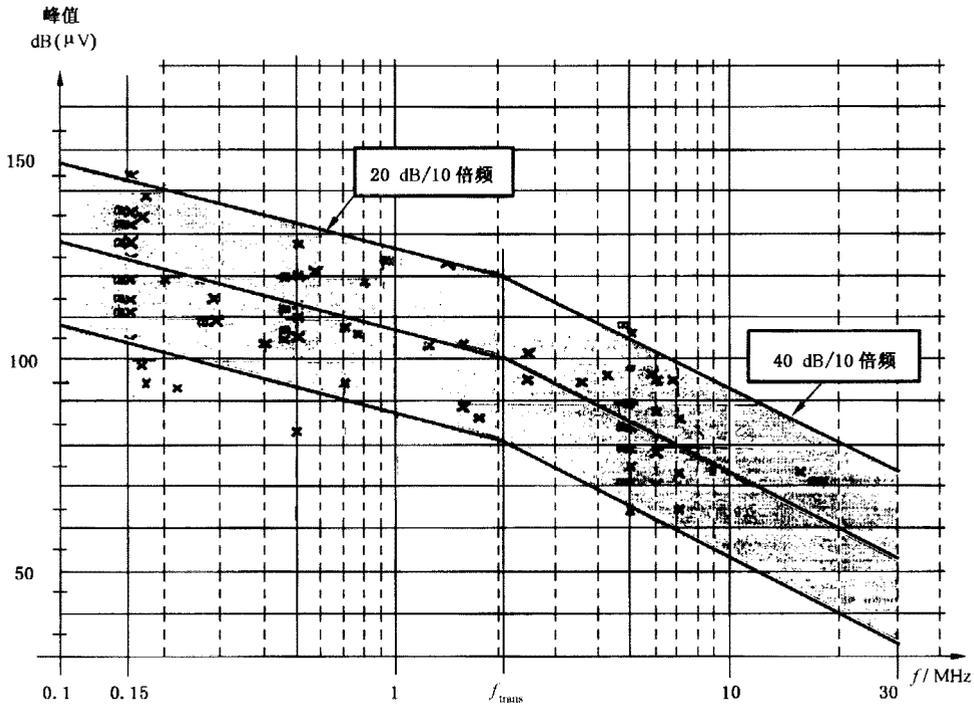


图 D.1 根据目前的技术水平示出各种未经滤波的 PDS 传导性发射的预计范围

结果以峰值形式给出。根据附录 G.1 中参考文件[2],准峰值低于峰值,并且随着器件开关频率的降低而逐渐变低。对于开关频率为 200 Hz~10 kHz 的 PDS,准峰值一般比峰值低 5 dB~2 dB。在测量结果只用准峰值读数给出的情况下,图 D.1 的评估采用这种修正方法。

在大多数情况下,使用该设备不会受到干扰。但在靠近无线电接收机或敏感的设备时,如极低电压测量用设备,则必须采用某些减缓方法(如高频滤波)。

#### D.1.1.2 辐射性骚扰

由于在这个范围内未接到投诉,所以极少进行验证辐射性发射的测量。然而,图 D.2 表示了设备上可能预计的辐射性发射。评估结果给出采用或不采用减缓措施时,在 10 m 的测量距离处测得的按峰值校正的结果。

在图 D.1 中将预计的骚扰电压的范围向 30 MHz 以上拓宽,只是采用极少数几个代表值获得粗略的近似,但是却提供了足够的数据来说明为什么没有投诉原因。正如该图所示,即使没有采用减缓方法,100 MHz 以上辐射性发射的平均值也在 CISPR11 的限值以下。

建议在这个范围内不用解析的方法。其理由是,大多数情况下,辐射性发射的主要源是微处理器或设备内某些有源驱动电源,而不是变流器的电力电子主电路。

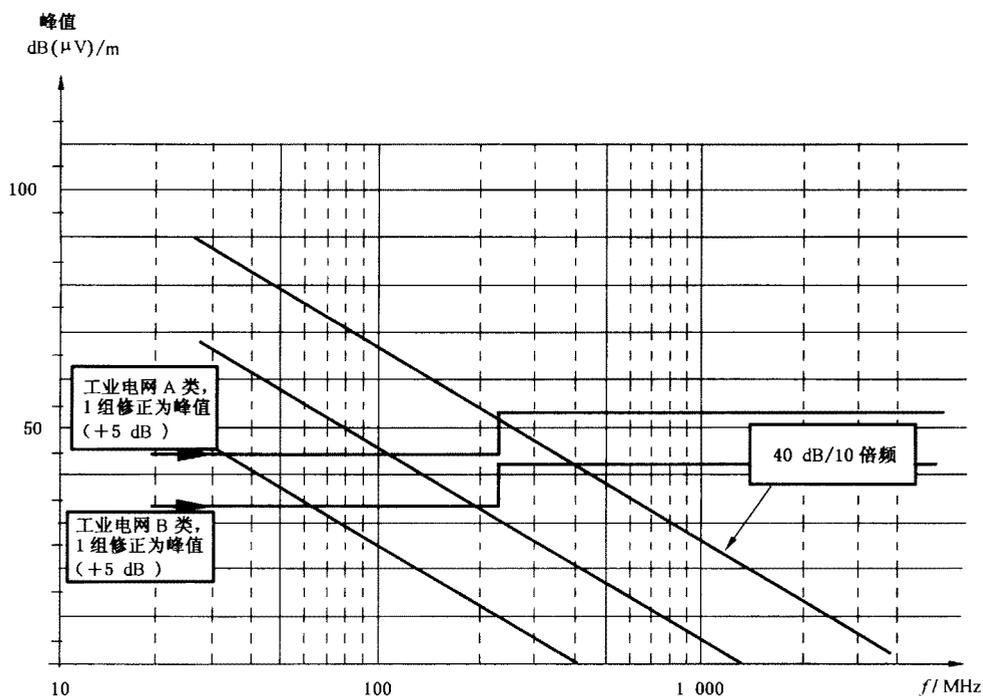


图 D.2 额定电压 400 V PDS 的预计辐射性发射,峰值

### D.1.2 指南

由 PDS 产生骚扰的潜在影响取决于 PDS 使用的环境。

#### D.1.2.1 公共低压电网

在某些国家,小型商用或轻工业用的建筑也可由向民用供电的低压电源来供电。该系统中,商用或轻工业用的建筑中 PDS 的三相输入端与民用建筑的供电电网的插座间无电隔离。

将未经抑制的 PDS 直接连接到向民用供电的公共低压电源上时,就极有可能造成对无线电设备和电视机接收的干扰。在这种环境下,建议一定要对 PDS 的电网输入端进行滤波,用户应选择符合本部分 6.3 条所给出的适当的限值的 PDS。

#### D.1.2.2 工业电网

在工业环境中,而不是在公共的低压电源上,许多年来常用的作法是采用未经滤波的 PDS。一般,这些 PDS 都工作得很正常,并且不会干扰其他的设备。工业界几乎没有对无线电干扰的投诉就表明了这一点,所以它们可以兼容。

若确实有问题发生,很可能是由来自 BDM/CDM 的传导性骚扰引起的。这些骚扰沿电源和电动机的电缆传播,可能通过传导、感性或容性耦合,或者辐射耦合到其他的设备中。

若在特别敏感的设备附近采用未经滤波的 PDS,则可能出现问题。然而,PDS 可能不是唯一的干扰源,而且敏感的设备通常比 PDS 具有较低的功率额定值。所以,与滤除 PDS 发射的方法比较起来,改善敏感设备的抗扰度可能是更经济的方案。

按照常规的安装指南,包括信号电缆与电力电缆的隔离,通常可避免问题的发生。若还不行,则增强受害设备的抗扰度,或者减少来自 PDS 的发射,这要根据哪一种方法最经济而定。

将市售的 EMC 滤波器用于 BDM/CDM 与电动机的电源接口上可能会出现这个问题。这个滤波器中的电容器可能会因快速开关瞬间损坏。

若采用屏蔽或铠装的电缆作为 BDM/CDM 与电动机间的连线、BDM/CDM 的输入端未经滤波时,由于铠装电缆的电容,来自电动机电缆的耦合将减弱,而供电电网中的传导性骚扰将增加。所以,若在 BDM/CDM 和电动机之间采用屏蔽的或铠装的电缆来解决 EMC 问题,则应给 BDM/CDM 的电网输入

端接一滤波器。然而,将电动机电缆的长度减至最短一般有助于减少该电缆的辐射性发射。

由于滤波会威胁到与地绝缘的系统安全,所以唯一的方法是确保其他的设备对这一环境具有足够的抗扰度。

在系统中将一根火线连接到地(单相接地)的情况下,Y型(线-地)电容器应按额定线电压来确定。

#### D.1.2.3 不受限销售

制造厂应向用户提供正确的选择发射类别和正确安装设备所必需的资料。这些资料中应包括各种滤波器安装的详细说明并作为非约束条款。若要求特殊的电缆,也应给予说明。

机壳的制造者通常采用耐绝缘试验检查其布线的质量。然而,EMC滤波器承受绝缘试验能力往往低于电力变流器。所以,制造厂应就该问题对用户详细的说明。

若PDS未经抑制或具有高的发射类别,制造厂应在用户的资料中清楚地指明这一点。在这种情况下,制造厂应给出如下警告,该PDS不能用于向民用供电的公共低压电网中。

若PDS在输入端产生换相缺口,在用户的资料中也应给予说明。

发生问题时,制造厂应提供(费用由用户负责)使PDS与较低的发射类别相符合所需的方法。

#### D.1.2.4 受限销售

在这种情况下,用户有能力将正确的EMC技术用于装备上,制造厂应提供有关PDS发射类别的资料。

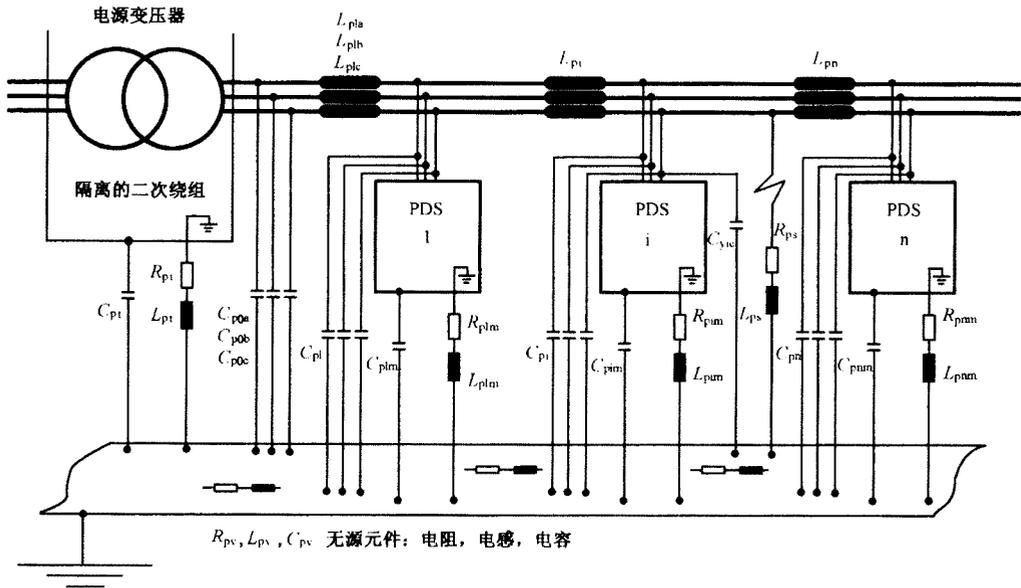
用户有能力选择发射类别和减缓措施的最佳组合,给装备提供最经济的方案。

### D.2 滤波的安全性和漏电流

#### D.2.1 在与地绝缘的供电系统中的安全性和射频干扰的滤除

在一些复杂的生产过程中,诸如轧钢机、棒轧机、造纸机、制糖工业中的离心机和一些辅助设备、起重设备和化学工业等等,采用分布式绝缘的供电系统是很有用的,这也是目前的技术水平。譬如,即使电动机安装于民用建筑的外面,并暴露于高湿度下,对地是短路的,也必须将生产过程继续下去。该短路使用“接地故障检测系统”来检测,并在下次维修前使整个生产过程安全地运行。

在工业装备中,这个“生产过程安全原理”可能会受到图D.3中所示的大量寄生元件,如供电电网和地之间电容 $C_{pv}$ 的干扰。产生的电容为所有Y型电容和寄生电容之和。所有 $C_{pv}$ 的和可能高达几个微法。由于采用大量的Y型电容,任何射频干扰滤波系统均会使这种对地的电容增加到极高的值(电容 $C_y$ 的 $n$ 倍)。随着电容量的增加,正确地检测接地故障变得越来越困难,甚至变得不可能。



采用分布式隔离供电,在一个复杂的生产过程中,几个 PDS 在一起工作

图 D.3 安全性和滤波

采用射频干扰滤波器件( $C_y$ )的任何对地短路,都会引起电气传动系统内的半导体开关流过极大的电流。这等效于任何输出故障期间接地电网中的短路条件。这将导致功能失败和备用电子紧急保护器件断开,最终导致不应有的生产过程停机和难以预料的经济损失。

在这种停机的情况下,操作和维修人员的安全将受到威胁。因为尽管电源变压器断开,但电容  $C_y$  仍充有危险的电压和危险的能量。

这就是射频干扰滤波不适用于分布式生产过程绝缘电网的原因,所以在此不再赘述。另一方面,可以预料到,射频干扰滤波在这些电网中不是非常有效的。这是因为与地绝缘系统中的干扰源的骚扰电流的回路只能是电容性的。由于与寄生的电网电感  $L_{pv}$  谐振,要定义和计算也是困难的。最终,随着通过这个不太明确的路径流过某些  $C_y$  的骚扰电流的增加,会对采用同一供电系统的其他设备产生干扰问题。

**D.2.2 在与地连接的供电系统中安全性和射频干扰的滤波**

众所周知,就目前的技术状况,射频干扰滤波足以满足这些发射限值的要求。重要的是要考虑下面的情况,即在接入装置时,滤波器所用 Y 型电容器的电容量、所含能量以及效率都会受到安全性标准 (IEC 60065) 法定要求的限制。应考虑另外一个事实是,通过这个射频干扰滤波电容接地的骚扰电流,会破坏这些供电系统内差动保护(接地故障保护)的安全性。

附录 E  
(资料性附录)  
参 考 书 目

E.1 专用的参考文献

- [1] ENEL (Italian Electricity Supply Industry) Specification GLI(EMC)07, Appendix A 意大利电源工业)技术规范 GLI(EMC)07,附录 A
- [2] T. Williams;EMC for Product Designers—Butterworth—Heinemann Ltd,Oxford 1992 产品设计师用 EMC —Butterworth—Heinemann Ltd ,Oxford 1992
- [3] IEC 60801-3:1984 Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment—Part 3;Radiated electromagnetic field requirements—Appendix A 工业过程测量和控制设备的电磁兼容性 第 3 部分:辐射性电磁场的要求 附录 A
- [4] IEC 61000-4-3:1995 Electromagnetic compatibility(EMC)—Part 4; Testing and measurement techniques—Section 3;Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test 电磁兼容 第 4 部分:试验和测量技术 第 3 节 射频电磁场辐射抗扰度试验
- [5] Post Verfügung . Amtsbl Vfg 1045 - Dec 1984 Anlage 1 - § 2,Nr4  
“...for installations,or for components which are parts of an installation,no mark of built-in radio-interference suppression is required,but that the customer attention shall be drawn to the aspect,that for the final installation mitigation measures could be necessary...”  
“就装备或者作为装备某些部分的零件来说,不要求标志出内建有射频抑制措施,但如果用户在乎这一方面,则最终的装备上,可能需要某些减缓措施...”
- [6] Post Verfügung . Amtsbl Vfg 1046—1984 Anlage 1 , § 6& § 7
- [7] Regulations of documents mentioned in the references [5] and [6]are harmonized with the electrotechnical standard VDE 0875 参考文件[5]和[6]中的规定与电工标准 VDE 0875 相符合
- [8] W. Graupner;S. Rolle;“Funkstörspannungen Ieistungselektronischer Antriebe”Symposium der Gesellschaft für Mikroelektronik GME des VDI, Frankfurt 1993

E.2 关于谐波发射特别推荐标准

China Provisional regulation for harmonics in electricity distribution systems SD 126-84

中国 配电系统中有关谐波的暂行条例 SD 126-84

Germany Grundsätze für die Beurteilung von Netzrückwirkungen. VDEW 1992

Switzerland Limitation des perturbations électriques dans les réseaux publics de distribution. ASE 3600-1—1987 and ASE 3600—1987/SNV4 3600-1avd-2

United Kingdom Limits for harmonics in the United Kingdom electricity supply system G5/3 from Electricity Association 1976 英国 英国供电系统中谐波的限值 G 5/3,电气协会,1976

USA IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electric power systems. IEEE 519—1992 美国 IEEE 推荐的供电系统中谐波控制的实际作法和要求。IEEE 519;1992

## E.3 IEC 出版物或草案

- IEC 60038:1983 IEC 标准电压
- IEC 60050(551):1998 国际电工词汇(IEV) 第 551 章:电力电子学
- IEC 60146-1-2:1991 半导体变流器 应用导则
- IEC 60146-1-3:1991 半导体变流器 一般要求和电网换相变流器 第 1-3 部分:变压器和电抗器
- IEC 60364-1:1992 建筑物的电气安装 第 1 部分:范围、目的和基本原理
- IEC 60364-2-21:1992 建筑物的电气安装 第 2 部分:定义 第 21 章:常用术语指南
- IEC 61000-2-3:1992 电磁兼容性(EMC) 第 2 部分:环境 第 3 章:环境介绍 - 辐射性和与非电网频率相关的传导性现象
- IEC 61000-2-5:1995 电磁兼容性(EMC) 第 2 部分:环境 第 5 章:电磁环境的分类 基本的 EMC 出版物
- IEC 61000-3-4:1998 电磁兼容性(EMC) 第 3 部分:限值 第 4 章:谐波电流发射的限值(设备的输入电流大于 16 A/相)
- IEC 61000-3-6:1996 电磁兼容性(EMC) 第 3 部分:限值 第 6 章:供电系统上所连接设备的谐波电流发射的限值
- IEC 61000-4-1:1992 电磁兼容性(EMC) 第 4 部分:试验和测量技术 第 1 章:EMC 抗扰度试验综述 基本的 EMC 出版物
- IEC 61000-4-7:1991 电磁兼容性(EMC) 第 4 部分:试验和测量技术 第 7 章:有关供电系统和其所连设备的谐波和谐间波测量和仪器的通用指南
- IEC 61000-5-2:1997 电磁兼容性(EMC) 第 5 部分:安装和减缓指南 第 2 章:接地和布缆
- IEC 61800-1:1997 调速电气传动系统 第 1 部分:一般要求-低压直流调速电气传动系统额定值的规定
- IEC 61800-2:1998 调速电气传动系统 第 2 部分:一般要求-低压交流变频电气传动系统额定值的规定
- IEC/FDIS 61000-2-12 电兼容性(EMC) 第 2 部分:环境 第 12 章:公共的中压供电系统中低频传导性骚扰的兼容性等级和信号的传输 基本的 EMC 出版物<sup>1)</sup>
- IEC CISPR-B(中央办公室)28 CISPR11 修正草案
- IEC CISPR-B(秘书处)115 电弧焊设备的发射要求 CISPR11-5 的修正草案
- IEC CISPR-B(秘书处)128 电弧焊设备
- IEC CISPR(秘书处)1050 控制委员会 统一的 CISPR 发射要求 1991 年 1 月

## E.4 其他的标准(无等效的 IEC 出版物)

- CENELEC EN 50081-1:1992 电磁兼容性 常用的发射标准 第 1 部分:民用、商用和轻工业的
- CENELEC EN 50082-1:1992 电磁兼容性 常用的抗扰度标准 第 1 部分:民用、商用和轻工业的
- CENELEC EN 50081-2:1993 电磁兼容性 常用的发射标准 第 2 部分:工业环境
- CENELEC EN 50082-2:1995 电磁兼容性 常用的抗扰度标准 第 2 部分:工业环境
- CENELEC pr EN 50178(1995 年 9 月) 电力装备中用的电子设备

1) 目前正处于国际标准草案阶段(77/128/FDIS)。