

ICS 29.160.30
K 62



中华人民共和国国家标准

GB/T 12668.4—2006/IEC 61800-4:2002

调速由气传动系统

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 定义	3
4 电气传动系统拓扑结构概述	14
4.1 拓扑结构分类	14

11.1 一般要求	53
11.2 单项损耗法	54
11.3 满载系统试验	57
附录 A(资料性附录) 最常用的传动系统拓扑结构	59
附录 B(资料性附录) 转矩控制性能和机械系统	68

前 言

本部分是 GB/T 12668《调速电气传动系统》的第 4 部分。目前 GB/T 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—2002 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 61800-1:1997, IDT)；
 - GB/T 12668.2—2002 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 61800-2:1998, IDT)；
 - GB 12668.3—2003 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(IEC 61800-3:1996, IDT)；
 - GB/T 12668.4 调速电气传动系统 第 4 部分：一般要求 交流电压 1 000 V 以上但不超过 35 kV 的交流调速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。
- 本部分等同采用 IEC 61800-4:2002《调速电气传动系统 第 4 部分 一般要求 交流电压 1 000 V

调速电气传动系统

第4部分：一般要求

交流电压 1 000 V 以上但不超过 35 kV 的 交流调速电气传动系统额定值的规定

1 范围

本部分适用于包括电力变流设备、控制设备和电动机的交流调速电气传动系统。但不包括铁路牵引传动和电动车辆传动。

本部分适用于变流器电压(线电压)范围为交流 1 kV~35 kV、输入侧频率为 50 Hz 或 60 Hz、负载侧频率至 600 Hz 的电气传动系统(见图 1)。对电压 15 kV 以上的系统的要求未包括在内,由制造商和系统供应商商定。

对于电压 1 kV 以上、采用与低压变流器(低于 1 kV)连接的降压输入变压器和/或升压输出变压器的电气传动系统,GB/T 12668.2—2002 适用。

GB 12668.3—2003 给出了电磁兼容性(EMC)方面的要求。

IEC 61800-5 给出了对电压 1 kV 以上的电气传动系统的特定安全要求。

本部分给出了变流器的特性、变流器的拓扑结构及其与整个交流电气传动系统的关系。同时还说明了关于额定值、正常使用条件、过载情况、浪涌承受能力、稳定性、保护、交流电源接地、拓扑结构和试验等性能的要求。此外,本部分还给出了诸如控制方案、扭振分析的应用指南,并给出有关接地和电气传动系统部件集成的推荐方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 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,其随后的所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分。凡是不注日期的引用文件,其最新版本均适用。

GB/T 12668.4—2006/IEC 61800-4:2002

GB 10068—2000 轴中心高为 56 mm 及以上电机的机械振动 振动的测量、评定及限值(idt IEC 60034-14:1996)

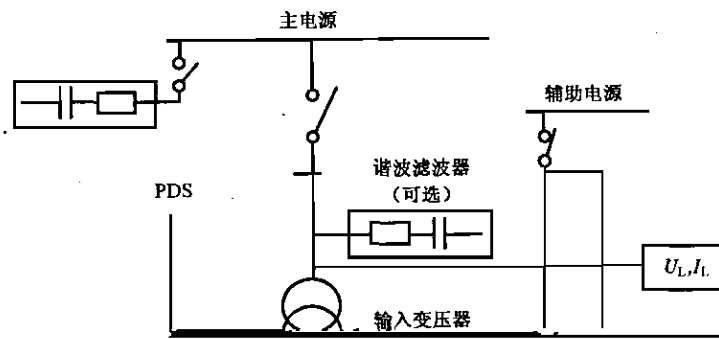
GB/T 12668.2—2002 调速电气传动系统 第 2 部分:一般要求 低压交流变频电气传动系统额定值的规定(idt IEC 61800-2:1998)

GB 12668.3—2003 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(idt IEC 61800-3:1996)

GB/T 13499—2002 电力变压器应用导则(idt IEC 60076-8:1997)

IEC 60417(所有各部分) 设备用图形符号

IEC 60529:1989, 修正案 1(1999) — 外壳防护等级(IP代码)



注1: 在周期函数的情况下,基波频率通常与该函数本身的频率相等(见 IECV 551-20-03 和 IECV 551-20-01)。上述定义分别对应于 IECV 551-20-04 和 IECV 551-20-02 规定的“基准基波频率”的纯粹定义,因此,在不引起概念模糊的情况下可以省略术语“基准”。这个定义已为 IEC 61000-2-2 和 GB/T 18039.4 的修改版所采用。

注2: 如果仍然有任何概念模糊的情况,则电源频率应当与给系统供电的同步发电机的极性和旋转速度相关。

注3: 该定义可以应用于任何工业电网,不用考虑电网的负载(除非在特殊情况下,如电网的负载特性与电网的频率特性有关)。

3.1.14

总谐波畸变 total harmonic distortion

THD

一个交变量的谐波含量均方根值与其基波分量或基准基波分量均方根值之比。

[IEV 551-20-13]

$$THD = \frac{HC}{Q_1} = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1}\right)^2}$$

式中：

Q ——表示电流或电压；

Q_1 ——基波分量的均方根值；

h ——谐波次数(按照 3.1.9)；

Q_h —— h 次谐波分量的均方根值；

H ——对于本部分来说为 40。

3.1.15

总畸变含量 total distortion content

DC

从一个交变量中减去其基波分量或其基准基波分量后所得到的量。

[IEV 551-20-11]

注 1：总畸变含量包括谐波分量和间谐波分量(若有)。

注 2：总畸变含量取决于基波分量的选择。如果不能从上下文中清楚地知道减去哪一个基波分量，则应当加以说明。

注 3：总畸变含量是一个时间函数。

注 4：交变量是一个具有零直流分量的周期量。

注 5：总畸变含量的均方根值为：

$$DC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2}$$

式中，除了 3.1.14 中的符号表示之外：

Q ——该变量的总均方根值；

参见 IEC 101-14-54。

3.1.16

总畸变率 total distortion ratio

[IEV 551-20-16 和 IEV 101-14-55]

$$TDF = \frac{DC}{Q} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}$$

注1: 总畸变率取决于基波分量的选择。如果不能从上下文中清楚地知道所使用的基波分量, 则应当加以说明。

注2: TDF 与 TDR 之比等于基波分量均方根值与总均方根值之比。这就是基波因数[IEV 551-20-17 和 IEV 161-02-22]:

$$FF = \frac{Q_1}{Q} = \frac{TDF}{TDR} \leq 1$$

3.1.18

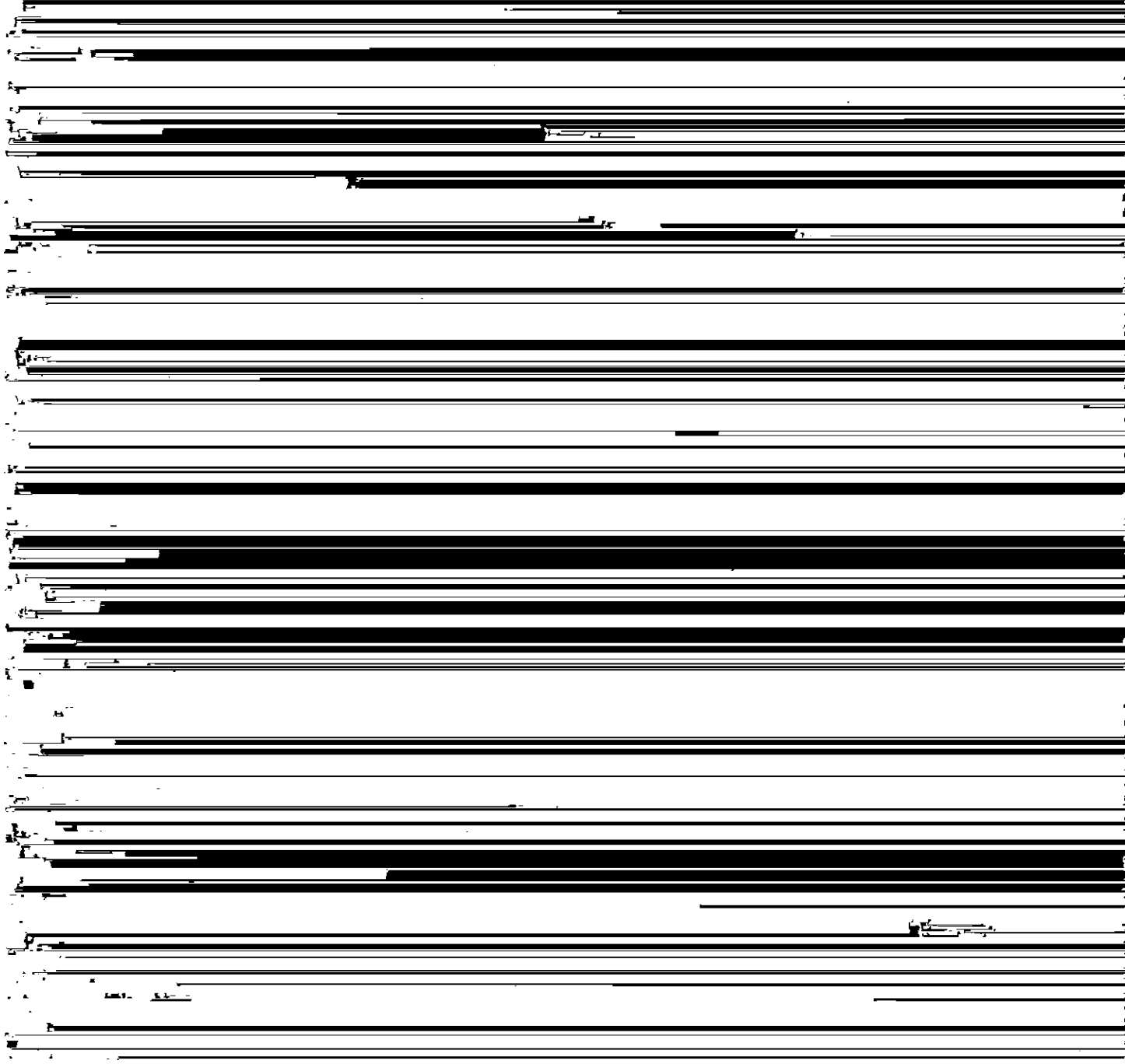
单个谐波畸变 individual harmonic distortion

IDR

任何一个分量与基波分量之比。

3.1.19

特征电流谐波 characteristic current harmonics



电动机额定基波电流: I_{AN1}

3.1.24

过载能力 overload capability

在规定的时间内能够供给的、但不超过规定运行条件下所设定限值的最大电流。

输入变压器一次侧: I_{LM}

变流器输入: I_{VM}

变流器输出: I_{aM}

电动机过载电流: I_{AM}

3.2

PDS 系统输入参数 PDS input parameters

3.2.1

网侧输入功率 line-side input power

P_L

电网输入处的总有功功率。

3.2.2

网侧输入表观功率 line-side input apparent power

S_L

电网输入处的总表观功率。

3.2.3

总输入功率因数 input total power factor

λ_L

在 PDS 系统与电源的连接处测定的总输入功率与表观功率之比。

例如:在电压为正弦电压的三相系统中

$$\lambda_L = \frac{U_L \times I_{L1} \times \sqrt{3} \times \cos\varphi_{L1}}{U_L \times I_L \times \sqrt{3}} = \frac{I_{L1}}{I_L} \times \cos\varphi_{L1}$$

注 1: 功率因数包括位移 $\cos\varphi_1$ 和谐波效应,谐波效应由畸变因数 $v=\lambda/\cos\varphi$ 定义。

注 2: 该定义适用于变流器输入(下标 V)或 CDM 输入电网侧(下标 L)。

3.2.4

电压不平衡 voltage unbalance(imbalance)

在多相系统中所出现的一种状态,即各线电压的基波分量有效值或者相邻相之间的相位角不完全相等。

注 1: 通常,将这种不相等的程度表示为负序和零序分量与正序分量之比[IEV 161-08-09,已修改]。

U_{12} 、 U_{23} 和 U_{31} 是三个线电压,用 $\delta_{ij}=(U_{ij}-U_{average})/(3 \times U_{average})$ 表示这三个线电压中每一个的偏差,用 τ 表示电压不平衡度作为负序电压幅值与正序电压幅值之比,

$$\tau = \sqrt{6 \times \sum_1^3 \delta_{ij}^2}$$

注 2: 注 1 中的上述公式提供了一个极好的近似式(就一个幅值为 $\pm 20\%$ 、从对应的理想电网到中性点平衡系统的相位移为 $+15^\circ$ 的公差带而言,其误差小于 5% ——正序或负序)。简单得多的近似式为:

3.2.6

电源瞬态能量 supply transient energy

电源系统由于瞬变而能够在 PDS 系统端子上提供的能量。

3.3

变流器 converter

3.3.1

变流器部分(电压 1 kV 以上) converter section(voltage above 1 kV)

在 1 kV 以上但不超过 35 kV 的电压运行的电力电子变流器装置 见图 1

3.4

PDS 系统输出参数 PDS output parameters

3.4.1

负载包迹 load envelope

转矩与转速关系曲线(见图 2 实例)中 PDS 系统应在连续负载条件下运行的区域。

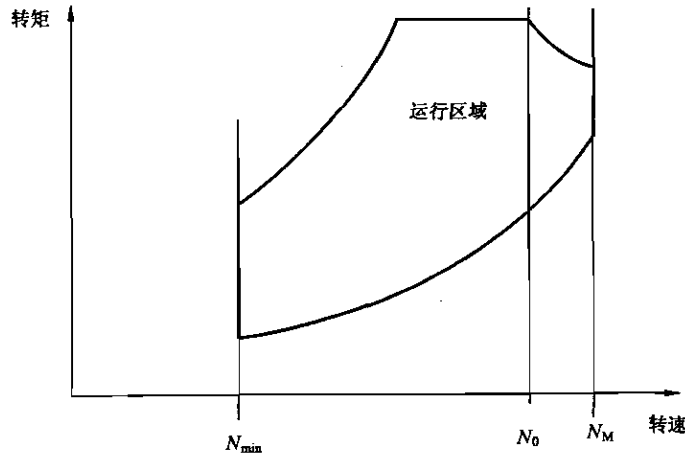


图 2 负载包迹的实例

3.4.2

最小运行转速 minimum operating speed

N_{min}

被传动设备所要求的电动机最小运行转速。

3.4.3

最大运行转速 maximum operating speed

N_M

被传动设备所要求的电动机最大运行转速。

3.4.4

基本转速 base speed

N_0

PDS 系统能够连续提供额定转矩的最高电动机转速。

注：基本转速是恒转矩运行与弱磁运行之间的过渡点。

3.4.5

弱磁运行 field weakening operation

在基本转速(N_0)和最大转速(N_M)之间的一个转速范围内以减弱的磁通运行。

3.4.6

气隙转矩脉动 air-gap torque pulsation

在欠稳态条件下电动机气隙转矩的周期性脉动,定义为峰-峰值。

3.5

控制 control

3.5.1

控制系统 control system

提供电力变流器动作和状态信息作为各种命令和反馈结果的电子系统。

3.5.2

受控变量 controlled variable

PDS系统开环或闭环控制中的系统变量。

注：受控变量有电压、定子电流、频率、转速、转差和转矩等。

3.5.3

使用变量 service variable

通常与环境条件(如温度)相关的规定变量,需校正反馈控制系统,以维持受控变量为期望值。

3.5.4

运行变量 operating variable

除由于使用条件而引起的那些变量之外的规定变量(如调速传动的负载转矩),需校正反馈控制系统,以维持受控变量为期望值。

3.5.5

开环控制 open-loop control

不使用受控变量测量的控制。

3.5.6

反馈控制/闭环控制 feedback control/closed-loop control

控制动作取决于受控变量测量的控制。

3.5.7

激励 stimulus

使一个系统作出响应的任何激发作用。

注：实例在7.2.2中给出。

3.5.8

扰动 disturbance

一个输入变量(不是基准变量)不期望的以及不可预测的最频繁变化。

3.5.9

时间响应 time response

一个系统中由其中一个输入变量的规定变化所产生的一个输出变量随时间的变化。

3.5.10

阶跃响应 step response

一个系统中由其中一个输入变量的一次阶跃式变化所产生的时间响应。

注：当输入变量的变化等于单位1时,称阶跃响应为单位阶跃响应。

3.6

试验 tests

3.6.1

型式试验 type test

型式试验是指对产品的一个或多个样品进行试验,以验证其是否符合规定要求。

[已修改的 IEV 151-16-20]

3.6.4

专门试验 special test

除型式试验和出厂试验之外,按照制造厂之意,或经过制造厂和用户或其代理人协商而进行的试验。

[GB/T 12668.2,7.1.4]

3.6.5

验收试验 acceptance test

合同上规定的、用以向用户证明该部件满足其技术规格中某些条件的试验。

[IEV 151-16-23]

3.6.6

现场调试试验 commissioning test

在现场对某台部件或设备进行的试验,为验证安装和运行的正确性。

[已修改的 IEV 151-16-24]

3.6.7

目击试验 witness test

在客户、用户或其代理人在场的情况下进行的上述任何一种试验(GB/T 12668.2,7.1.8)。

3.6.8

单个部件试验 separate component test

对单个部件或部件的单个部分进行的试验。



表 1(续)

符 号	单 位	定 义	参 数
N_M	r/min	3.4.3	最大运行转速
N_{min}	r/min	3.4.2	最小运行转速
P_{aNI}	W		变流器额定交流输出功率
P_{LN}	W	3.2.1	额定输入功率
P_s	W		输出功率(电动机轴上的)
R_{st}		GB 12668.3 B.2.1.3.6	短路电流比 $R_{st} = (S_{sc}) / S_{N设备}$
S_{aN}	VA		变流器额定输出表观功率
S_{LN}	VA	3.2.2	额定输入表观功率
TDR_s	%	见 3.1.16	变流器输出总畸变率
TDR_L	%	见 3.1.16	网侧总畸变率(含谐间波)
THD_s	%	见 3.1.14	变流器输出总谐波畸变
THD_L	%	见 3.1.14	网侧总谐波畸变(不含谐间波)
U_{aN}/f_{aN}	V/Hz		电压额定值与频率额定值之比
U_{aNI}	V	3.1.21	负载侧基波交流额定电压
U_{LN}	V	3.1.20	额定系统电压
U_{YN}	V	3.1.20	变流器输入交流额定电压

4 电气传动系统拓扑结构概述

4.1 拓扑结构分类

可以按下述主要判据对各种电气传动系统的拓扑结构进行分类：

- 变流器配置；
- 换相模式；
- 电动机类型。

下述情形的任何一种组合形式都可以用来构成一种电气传动系统拓扑结构。在附录 A 中示出了常用电气传动系统拓扑结构的实例。

变流器的分类介于采用间接变流器或直接变流器的电气传动系统之间。第二个分类判据是采用换相模式，可能是外部换相或自换相。

4.2 变流器配置

4.2.1 间接变流器

如图 3 所示那样，从固定频率和电压的交流输入到可变频率和电压的交流输出的电力变换采用中

4.2.3.2 自换相

自换相是指利用变流器内部的元器件实现的换相。

4.3 电动机类型

电动机的主要类型包括多相同步电动机和感应电动机。这两种类型电动机的最常用结构为三相或多个三相定子绕组系统。感应电动机还可以再细分为鼠笼型感应电动机和绕线式转子感应电动机。

图5示出了一种采用多个网侧和电动机侧变流器模块以及一台具有两个单独定子绕组系统的电动机的结构配置的实例。

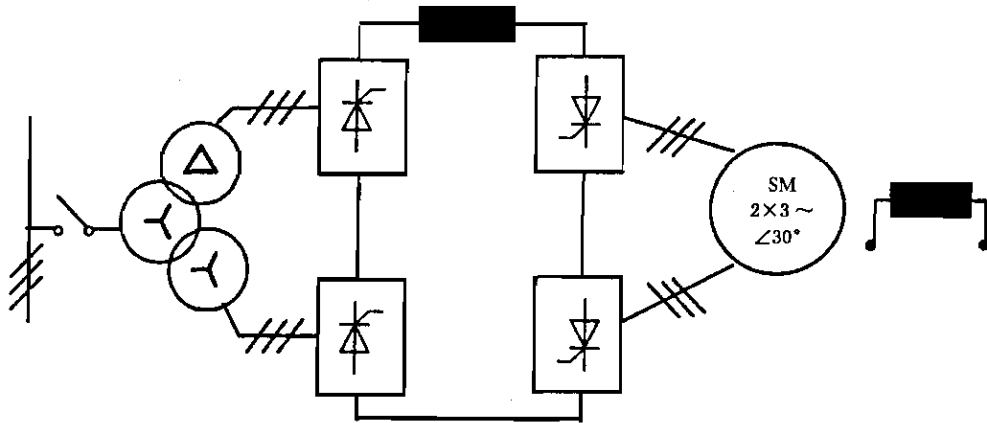


图5 多变流器模块和单独定子绕组系统电动机的实例

4.4 旁路和冗余配置

电气传动系统可以设有旁路和/或冗余结构配置,以满足下列不同的目的。

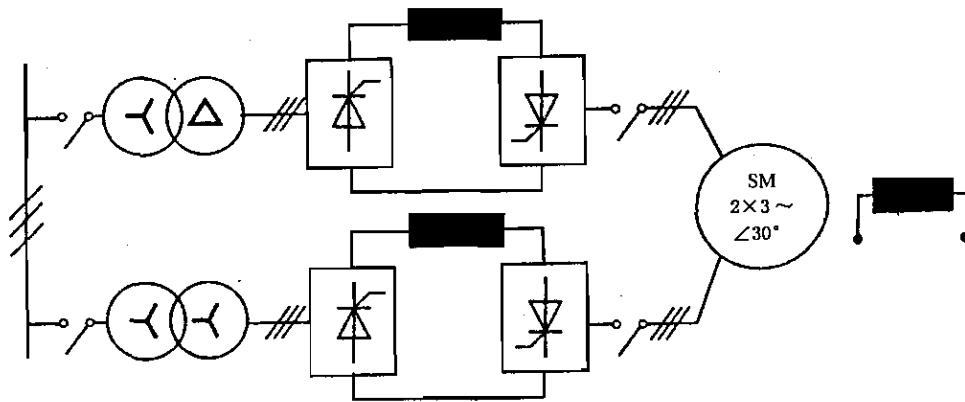


图 7 部分冗余结构配置中的 LCI 同步电动机

4.5 再生制动和能耗制动

4.5.1 再生制动

通常,转矩和转速都具有两个极性,因此有 4 个运行象限。如果转矩和转速具有相同的极性,则电能从电网流向电动机。如果转矩方向与旋转方向相反,则电能从电动机流向电网。

电能从电网流向电动机称为“电动运行”,而电能从电动机流向电网称为“再生运行”

表 2(续)

项 目	等 级	参 考 文 件
频率变化率	$\leq 2\% f_{LN}/s$	GB 12668.3
电压变化	$\pm 10\%$ $+10\%, -15\% \leq 1 \text{ min}$ (见注 1)	GB 12668.3
电压波动	最大跃变幅值: ——公差带内 12%; ——跃变间的最小时间间隔: 2 s; ——上升时间: ≥ 5 个电源周期	GB 12668.3
电压暂降	10%~50% $t \leq 100 \text{ ms}$	GB 12668.3

备的开关操作和电力系统上的扰动所引起的。

PDS系统应当设计成能够在由于PDS系统的变压器(见9.2.1)或给耦合点(PC)供电的其他变压器切换所引起的非重复性瞬变环境下运行。

注:如果在耦合点(PC)有可能出现异常高的过电压,则应当由用户对此作出说明。例如,6 kV电源时用户的说明如下:

- 在远程切换的情况下:15 kV电压浪涌,250/2 500 μ s;
- 在附近切换的情况下:12.3 kV电压浪涌,50/400 μ s。

5.1.1.4 异常电气使用条件

异常电气使用条件须经用户和系统供应商专门协商确定。

5.1.2 环境使用条件

5.1.2.1 气候条件

PDS系统(如果安装在不同位置,电力变压器和电动机可以除外),应当在IEC 60721-3-3中针对3K3等级所规定的以及GB/T 3859.1的第2章针对冷却介质所规定的环境条件下运行。这些环境条件包括:

- a) 冷却介质的温度范围:
 - 空气 $0^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$
 - 进水 $+5^{\circ}\text{C}\sim+30^{\circ}\text{C}$
- b) 环境温度范围:
 - $+5^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$

主变压器(若有)和电动机应当符合其适用的产品标准(分别为 IEC 60076 或 GB 6450 和 IEC 60034)。

5.1.2.3 异常环境使用条件

电力变流器设备、相关的传动控制和传动设备,用于偏离 GB/T 3859.1 中所列正常使用条件时,应认为是异常使用条件。对这些异常使用条件由买方确定。

对于没有在 5.1.2 中规定为正常环境条件的运行条件,买方和设备供应商应当就此进行协商。

已确定的变流器的异常使用条件如下

5.2.1.5 异常气候条件

温度低于-25℃。

在预计运输温度低于-25℃的场合,需要采用加热运输方式或者拆卸下所选用的低温敏感元器件。

5.2.2 机械条件

5.2.2.1 一般要求

设备应能够使用供应商的包装在 IEC 60721-3-2 的等级 2M1 中所规定的限值范围内进行运输。这其中包括下列与振动和冲击相关的要求。

5.2.2.2 振动限值

振动限值见表 4。

表 4 运输的振动限值(见 IEC 60721-3-2 的等级 2M1)

频率 Hz	振幅 mm	加速度 m/s ²
$2 \leq f < 9$	3.5	—
$9 \leq f < 200$	—	10
$200 \leq f < 500$	—	15

5.2.2.3 冲击限值

这些冲击限值对应于 0.1 m 自由落体高度的限值。

注 1: 若预计冲击和振动环境会超过这些极限值,则要求采用特殊的包装和运输。

注 2: 若已知运输环境不严峻,则经过元器件制造商/系统供应商、用户和承运者商定,可以降低包装要求。

注 3: 主变压器(若有)和电动机应当符合其适用的产品标准(分别为 IEC 60076 或 GB 6450 和 IEC 60034)。

5.3 设备存放

5.3.1 一般要求

如果外包装不适用于户外存放或无保护存放,则应当在收到设备后立即将设备放置在能满足存放要求的场所。

5.3.2 气候条件

设备应当能够存放在 IEC 60721-3-1 中所规定的环境条件下。这其中包括下列要求。

a) 环境温度等级 1K4:

-25℃~+55℃

b) 相对湿度等级 1K3:

5%~95%

c) 大气压力:

86 kPa~106 kPa

上述这些限值适用于不带冷却液的情况。

用户和系统供应商应当协商确定存放条件和期限。

对于变流器、变压器和电动机,应当优先采用其适用的产品标准(分别为 IEC 60146, IEC 60076 或 GB 6450 和 IEC 60034)。

5.3.3 特定的存放危险

对下面几点应给予特别注意:

a) 水——除了专为户外安装而设计的设备外,其余设备均应避免雨、雪、冻雨等;

- 长,则可能需要作专门考虑(即缩小环境温度范围,如采用 IEC 60721-3-1 的等级 1K3);
- e) 啮齿动物和霉菌——当存放条件可能受到啮齿动物或霉菌侵蚀时,在设备的技术条件中应当包括保护措施:
- 啮齿动物——应对设备外部材料及冷却孔和连接孔的尺寸加以规定,以防止啮齿动物侵入;
- 霉菌——应规定出适合于存放和工作环境的材料耐霉度等级。

6 额定值

6.1 电气传动系统(PDS)

6.1.1 一般要求

提出 PDS 系统主要功率元器件的技术规格是系统供应商的职责范围(见第 8 章)。

6.1.2 PDS 系统的输入额定值

6.1.2.1 输入电压和频率

PDS 系统的输入电压和频率额定值应当由用户指定。

按照 IEC 60038 的规定,标准电压值为:3 kV、3.3 kV、4.16 kV、6 kV、6.6 kV、10 kV、11 kV、12.47 kV、13.2 kV、13.8 kV、(15 kV)、20 kV、22 kV、24.94 kV、33 kV、34.5kV。为使系统最优化或用于特殊环境,可以规定出不同的非标准电压值。

6.1.2.2 输入电流

在新定线电压和新定 PDS 系统负载的情况下,应当由系统供应商提供下列几个输入电流。

- 变流器 0%+10%;
 - 变压器和电动机 0%+10%,按照其可能的产品标准的规定;
 - 其他部件 按照其产品标准(若有)的规定,或者0%+10%,在其他情况下。
- 图9给出了效率和损耗随转速变化的实例。

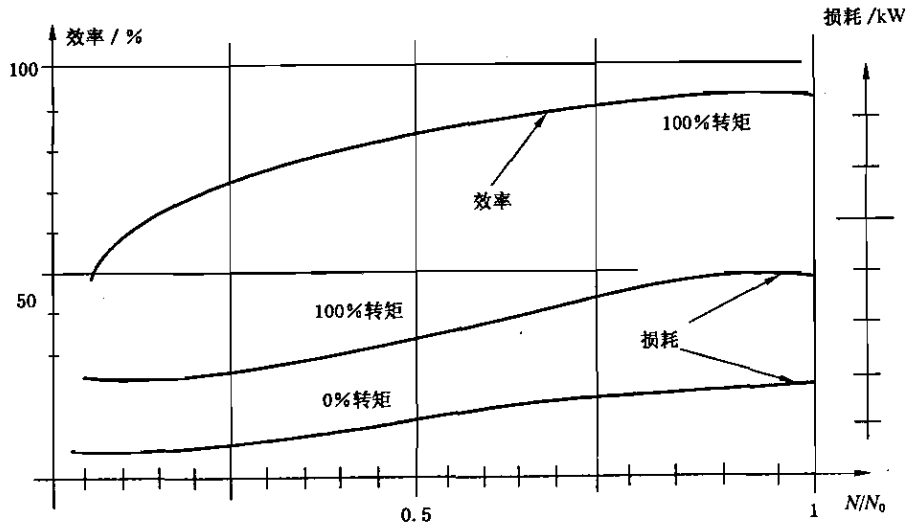


图9 恒磁通运行时 PDS 系统效率和损耗的典型曲线

6.1.5 PDS 系统的过载能力

除了连续负载条件下的额定值以外(见 6.1.2.2),系统供应商还可以规定出每种特定过载条件下的额定电流附加值;也就是说,系统供应商可以根据不同类型的负载给变流器设备规定出不同的额定值。过载能力适用于额定转速范围。

可以将 PDS 系统的过载能力按间歇负载工作制或重复负载工作制规定。可在 GB/T 3886.1 中查到更多的分类和计算方法。关于特定过载条件,用户和系统供应商/部件制造商应当就此进行协商确定。

例如,在 GB/T 3859.1—1993 的表 8 中给出了典型的过载幅值和持续时间。

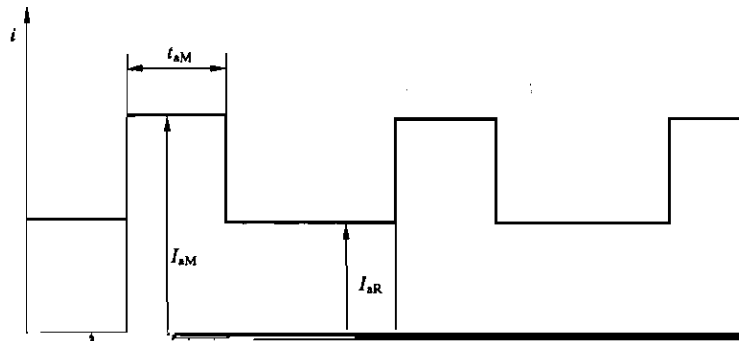
对于任何一种类型的负载工作循环,整个循环内的电流有效值都不能超出电流额定值。表 5 和图 10 示出了在 10 分钟负载工作循环情况下 1 min 过载的 3 种常见的实例。

表 5 最大连续负载随过载减小的实例

过 载		减小的连续负载	
幅值 I_{AM} 额定值的标么值	持续时间 t_{AM} min	I_{LR} 的最大幅值 额定值的标么值	持续时间 $(t_s - t_{AM})$ min
1.5	1	0.928	9
1.25	1	0.968	9
1.1	1	0.988	9

对于重复负载工作制,变流器的基波电流额定值应至少相当于整个电动机负载工作循环期间内电动机电流的有效值,并且变流器的过载能力应当能够满足该负载工作循环。

对于连续负载工作制,变流器的基波电流额定值 I_{LN1} 应至少相当于提供电动机规定的连续转矩所必需的电动机连续电流。在间歇负载工作制情况下,过载不能使变流器电流超过其过载额定值。



应规定出在确定变流器效率时所包括的设备组成部分。如果仅仅只对变流器进行定义,关于其中
具不应当包括此装置或元件性的损耗的指导性原则,应当分别参考 GB/T 3859 1 的 5.5.1 和 5.5.2

一个变量)在稳态条件时的总偏差。偏差带可用下列两种方式表示:

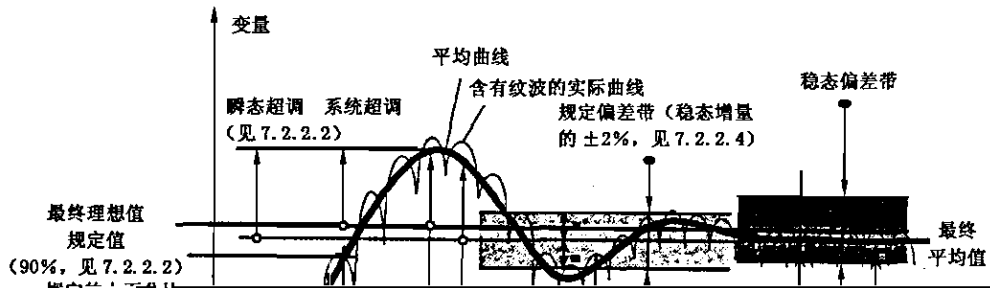
- a) 用直接受控(或规定的其他)变量对理想最大值的一个百分比表示,见 7.1.3 中的实例;

b) 对正和负偏差进行了明确规定并给出了变量,见 7.1.3 中的实例。

如果认为动态性能很重要(见附录 B),用户和系统供应商就应当采用下列定义对技术要求进行协商。

7.2.2 时间响应特性

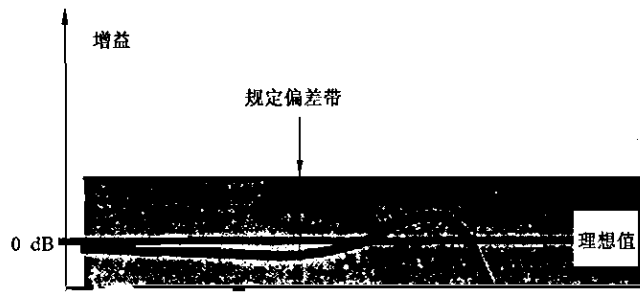
7.2.2.1 概述



7.2.2.5 负载冲击转速偏差区域

负载冲击转速偏差区域(对应于一个位置的漂移)用来确定转速控制系统对负载转矩突然变化的响应特性(见图 13)。其公式为:

响应时间 \leq 最大瞬态偏差



- 与输入类型相关的输入电压或电流范围；
- 输入阻抗；
- 硬件低通滤波器的时间常数或带宽；
- 增益和偏移误差；
- A/D 变换器的分辨率(若有的话)；
- A/D 变换器的采样间隔(若有的话)。

注：更完整的列表见 IEC 61131-2。

7.3.3 模拟输出性能

规定的项目可以包括但不限于下列内容：

- 模拟输出的数量；
- 模拟输出的类型,例如：
 - 单端电压输出；
 - 差动电压输出；

——从输入到输出的传输延时。

注：更完整的列表见 IEC 61131-2。

7.3.6 通信链路的性能

规定的项目可以包括但不局限于下列内容：

- 通信链路的数量；
- 通信链路的类型，例如：
 - 现场调试和维护链路；
 - 自动化系统链路；
- 物理接口的类型(连接器和电缆的类型)；
- 所使用的协议；
- 最大数据传输速率，bits/s(位/秒, bps)；
- 链路上可以连接的电缆的最大长度；
- 同一通信电缆或通信总线系统可连接的链路的最大数量。

8 PDS 系统的主要部件

8.1 职责

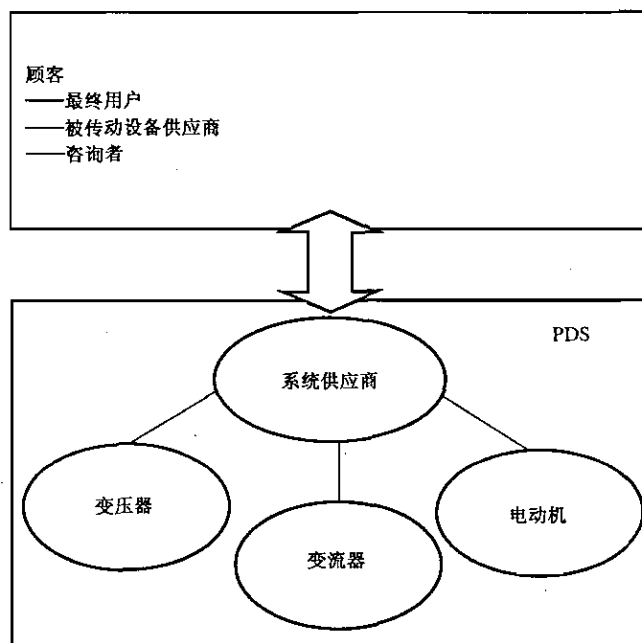


图 16 系统供应商的职责

系统供应商一般负责：

- 与用户就 PDS 系统的外部接口进行澄清和商定(见第 7 章和第 9 章)；
- 与用户就 PDS 系统的性能规格进行澄清和商定(见第 7 章和第 9 章)，并就试验的接收准则进行澄清和商定；
- 与部件制造商就传动系统主要部件(变压器,变流器,电动机,见第 8 章)的技术规格以及试验的接收准则进行澄清和商定。

被传动设备供应商一般负责机械成套设备。在临界状态情况下(见 9.4)，建议在系统供应商与被传动设备供应商之间建立直接联系。

系统供应商负责组织有关变流器、成套设备、被传动设备和电动机方面的专家之间必要的合作。

8.2 变压器

8.2.1 简介

在变频传动系统中，变流器输出的电压含有谐波，这些谐波电压加在变压器和电动机上。变压器可以工作在 DPC 系

应提供下列信息：

- a) 变压器的类型(例如,变流器电源变压器、变流器输出自耦变压器等),作为对 PDS 系统中所用变压器功能的说明;
- b) 输入和输出的相数。或者,变压器输入和输出的三相绕组数量;
- c) 额定频率范围(若有的话);
- d) 额定电压范围(若有的话);
- e) 连接组符号,或以度数列出的移相。

8.2.2.5 环境要求

温度要求按 GB/T 3859.3 的规定:

- 环境温度:40℃
- 日平均温度:30℃
- 年平均温度:25℃

8.2.3 阻抗

8.2.3.1 一般要求

输入变压器阻抗应当按照谐波辐射和故障电流要求进行协调。典型的阻抗范围是 6%~12%(通常按照 IEC 60076 的规定)。

8.2.3.2 换相电抗

对于电网换相变流器来说,换相电抗是一个很重要的参数。在 GB/T 3859.3 的 5.1.1 中给出了换相电抗的测量方法。

8.2.3.3 自换相变流器的阻抗

换相电抗对自换相变流器性能的影响不大。但是,变压器阻抗可能对限制谐波电流或故障电流很重要。对于自换相变流器来说,通常该阻抗被看作是在标准变压器试验中测量的变压器短路阻抗。见 IEC 60076-1 的 10.4。另一种可行的方法可能是测量出所考虑的频率时的短路阻抗。

8.2.4 共模电压和直流电压

8.2.4.1 一般要求

任何可能把异常电压条件施加在变压器绕组上的电力变流器运行条件,都应当由变压器供应商确
定。若此类型的变流器可能会将电压偏移施加到输入或输出变压器上,这些电压偏移会产生下列两个

在采用串联耦合变流器的情况下,应当考虑将每个变流器的直流偏移电压相加。

8.2.5 特殊要求

8.2.5.1 冷却系统

按照 IEC 60076-1 和 GB 6450 中的规定。

8.2.5.2 噪声要求

由于非正弦电流和电压的原因,需预计到噪声发射的等级会增大。

在变压器制造商、系统供应商和用户之间,需要协商并规定出噪音发射等级的极限以及最终所必需的次要噪声降低措施。除非另有规定,变压器噪声发射的测量方法应当符合 IEC 60076-1 中的规定。

8.2.5.3 电压精度

按照 IEC 60076 中的规定。

8.2.5.4 桥路的并联连接

应当特别注意桥路并联连接的情况(空载电压精度、相移、每个二次绕组的短路阻抗)。

8.2.5.5 一次绕组和二次绕组之间的屏蔽

为了防止高压瞬变由于电容性耦合而转移到二次绕组上,建议采用静电屏蔽。这种静电屏蔽也对电源线干扰的共模阻抗具有 EMC 作用。由于这两个原因,屏蔽接地的电应当低。

8.2.5.6 短路要求

变流器在变压器上发生短路的可能性比在正常工作制时的可能性更大。设计人员应当知道变频器

8.3.2.5 电源连接件

所有的电源连接件都应当具有足够的工作面积,而且应当提供机械应力消除支撑点。当采用屏蔽电缆时,应当在电源连接件的四周提供屏蔽接地连接点。

8.3.2.6 保护

变流器保护应当符合 9.3 中所规定的要求。

主电源接线端子应当按照 GB/T 3859.1 中的规定清楚地标识出来。

铭牌应当符合 GB/T 3859.1 和 IEC 60146-2 中规定的要求。

由于变流器的易损性质,其存放和运输应当符合 5.2 和 5.3 中规定的要求。除了所规定的要求以外,变流器制造商还应当提供特殊说明。

8.4 电动机

8.4.1 简介

系统设计人员应当确保在所有实际运行条件下应力等级均不超过电动机的耐受能力,并制定有关验证过程和方法的协议。

在本条款中涉及到用于 PDS 系统中的电压 1 kV 以上的最常用交流电动机。电动机结构可以包括通用型标准设计以及面向特殊用途的设计。除了标准型电动机设计之外,也可以考虑采用新技术,例如永磁电动机和其他特定方案。

在这一应用领域中,还有许多不同类型的电动机可供使用。大多数为感应电动机和同步电动机。其相数一般为 3 相或 6 相。其中大多数电动机的相数为 3 的倍数。

在 IEC 60034 的相关产品标准中覆盖了对常用电动机的要求。本条款所考虑的内容是作为 PDS 系统一个组成部分的电动机的集成和接口。

8.4.2 设计要求

除非另有规定,电动机的外壳应当符合 GB/T 4942.1 中规定的要求。

除非另有规定,电动机的冷却系统应当符合 GB/T 1993 中规定的要求。

除非另有规定,电动机的安装应当符合 IEC 60034-7 中规定的要求。

对于转速与额定转速不同的电动机,其性能以及效率应符合由电动机运行过程中所产生的附加谐波

在由电网(正弦、低频)供电的电动机中,大部分应力都存在于线间绝缘和线与机座间绝缘中。匝间绝缘的电压应力比较低;但是,如果是由变流器供电的电动机,该应力则可能变得非常重要,需要对此更加重视。

在由变流器供电的运行中,电动机电压为非正弦电压,通常具有重复性瞬态电压跃变,例如这些瞬态电压跃变是由 PWM 逆变器以较高脉冲频率快速开关操作所引起的或者是由晶闸管逆变器的负载侧换相缺口所引起的(见 A 2.5)。在电动机由 PWM 电压源逆变器通过较长电缆供电的情况下,每个瞬

8.4.5.3 常规设计电动机的典型电压应力耐受能力

从具有常规电压公差的电网供电运行时的绝缘应力推导,高压电动机的常规设计至少需给出一个如表7的右侧一栏中所述的耐受能力。如果不能从电动机制造商处获得更详细的信息,则这些公式可供参考,而且用来描述最小值。一般建议采用更高的电压限制。

表7 电动机绝缘系统的限制部分和典型的电压应力耐受能力

绝缘系统的限制部分	适合的电压峰值	3相电动机的电压应力耐受能力
① 线间主绝缘	<ul style="list-style-type: none"> • U_{LL} 线间 • 电压差 	$U_{LL} \approx 1.1 U_{ins} \sqrt{2} \approx 1.6 U_{ins}$
	U_{LF} 线与机座间	$U_{LF} \approx 1.1 U_{ins} / \sqrt{3} \approx 0.9 U_{ins}$

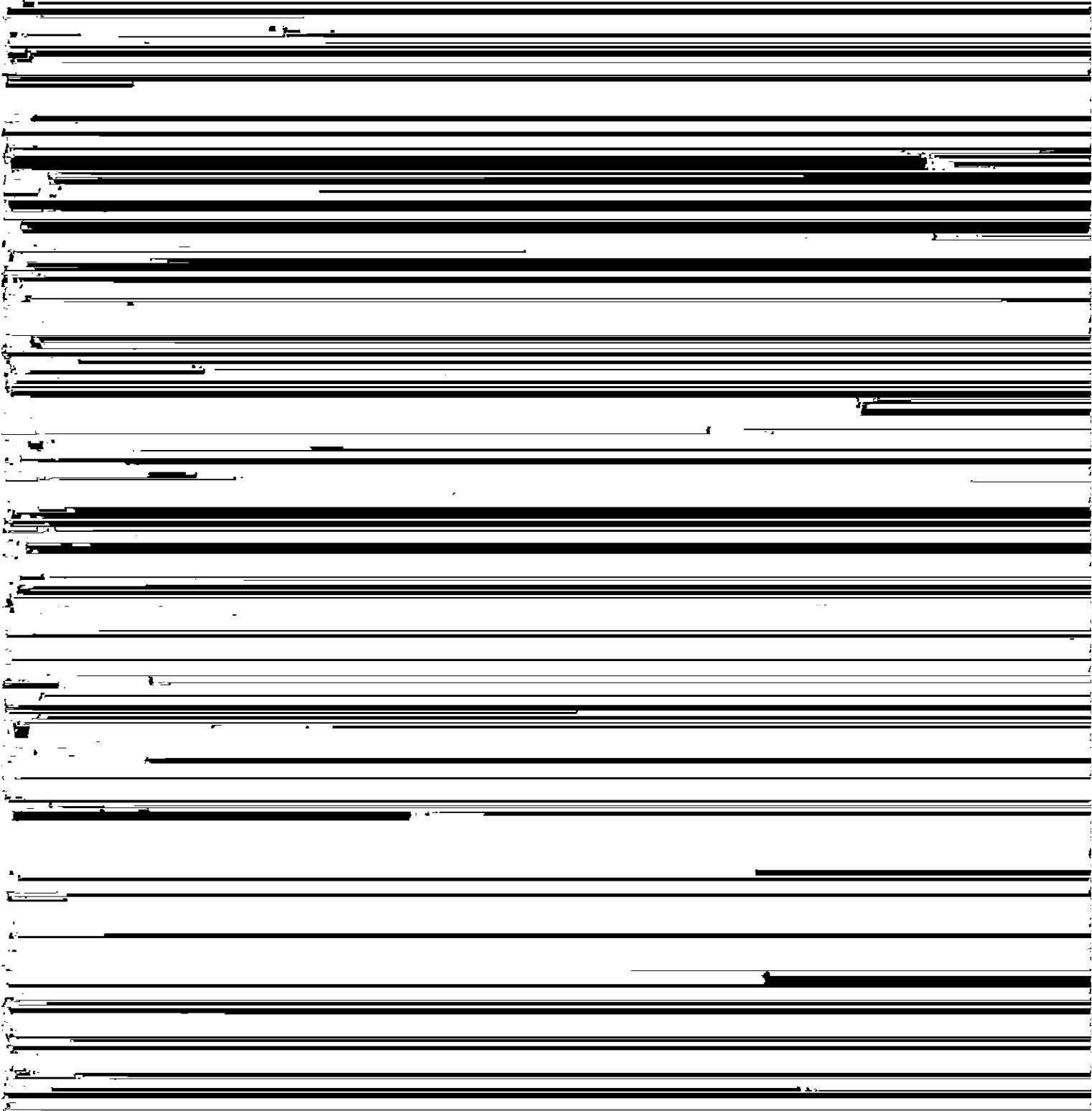
- 电动机阻抗(如果需要的话);
- 相关的安装尺寸;
- 轴、尺寸和平衡应当符合相关标准规定的要求;在没有其他规定的情况下,“半键平衡”(half key balancing)是恰当的;
- 电动机的质量(转子、定子);

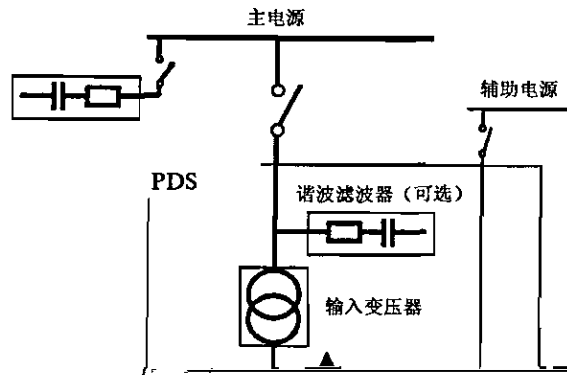
- 变压器；
- 变流器部分；
- 控制和保护；
- 电动机；
- 谐波滤波器(如果需要的话)。

9.1.2 传动系统部件之间的相互作用

在预期使用的场所安装由各主要部件构成的 PDS 系统时,需要一定的专门技能,这些技能不但涉及到 PDS 系统本身的正确操作,而且还涉及到 PDS 系统局部环境范围内的相互作用。对于电压超过

1000V 的 PDS 系统,还应考虑以下所列的相互作用。





- 保护连接的横截面积；
- 等电位连接的方案。

PDS 系统的所有裸露导电部件均应当连接到等电位连接导体(保护连接导体)上。在不能通过其形状、位置或结构容易地识别出保护导体的场合,应当在容易接近的位置上用图形符号 IEC 60417-5019 或者绿-黄(GREEN-YELLOW)双色组合清楚地标识出来。

将每个主要部件连接到由用户安装的已有等电位连接体上。主要部件的等电位连接可以选择通过直接相互连接加以改进。这需要在系统供应商和用户之间进行商定。

电力电缆的情况如图 22 中所示。

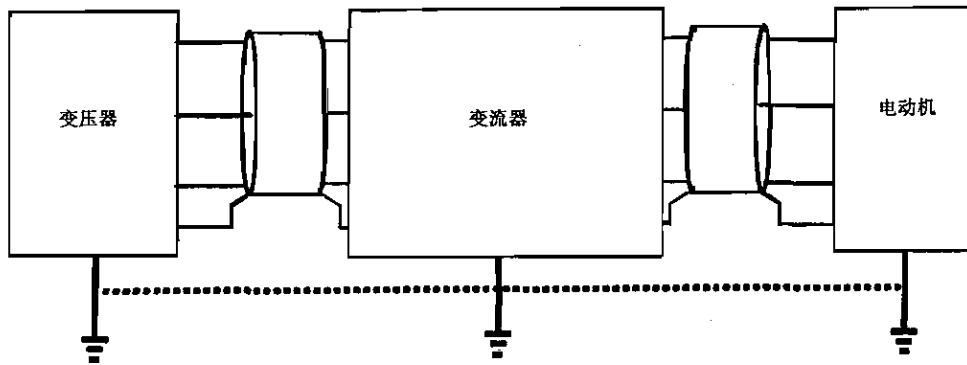


图 22 主要部件保护接地和相互连接的实例

如果将屏蔽的两端均连接到一个保护连接导体上,则应当对屏蔽中的循环电流(大部分为磁感应电流)的热负载进行检查。这方面也与安全性和 EMC(见 GB 12668.3)有关。

9.2.3.2 PDS 系统电功率部分的接地

9.2.3.2.1 接地

作为整套系统,可以在不同的地点进行 PDS 系统的接地。应当根据系统的性质选择接地的位置:可能有的公共变压器的中性点、公共直流母线的中点、任意一个变频器输出滤波器的星形中性点或者电动机的星形中性点。

接地阻抗可以是电阻性、电容性的或者是一种直接连接。应当将接地阻抗连接到一个保护接地导体上。由于 EMC 原因,可以采用一个单独的等电位连接导体来连接 PDS 系统功率部分接地的保护连

在上升时间短和开关频率高的情况下需要特别注意。在这样的情况下,在典型的电力电缆系统中

通常,PDS 保护系统的要求及其范围随传动系统功率的增大而增加。对于大型或重要的传动系统,建议采用诊断系统帮助用户进行故障时的诊断分析。

9.4 被传动设备接口

9.4.1 临界转速

系统供应商、用户和被传动设备供应商,应当就整套机械设备的最终横向临界转速的计算和适用的当地要求达成一致意见(见 8.4.4.3)。应当特别注意:

- 考虑到轴承布置和基础的刚性的影响;
- 避免任何在阻尼作用不足的情况下以接近横向临界转速($\pm 20\%$)连续运行。

应当在订单中对目击试验进行规定。如果没有另外进行商定,系统供应商应当在所有目击试验之前至少 10 个工作日通知用户或其授权代表。在没有得到用户或其代表对试验的认可或者用户的弃权声明的情况下,系统供应商不能越过任何目击试验而继续进行下去。系统供应商还应当及时将合同中

[The body of the page contains multiple lines of text that have been completely obscured by heavy black redaction bars.]

表 11(续)

稳态性能试验	参考标准或条款
保护设备协调性检查	10.3.3.10
异常使用条件下的特性检查	10.3.3.11
轴电流/轴承绝缘	10.3.3.12
音频噪声	10.3.3.13
转矩脉动	10.3.3.14
电动机振动	10.3.3.15
EMC 试验	10.3.3.16 和 GB 12668.3
动态性能试验	10.3.4
电流限制和电流环试验	10.3.4.1
转速环试验	10.3.4.2
自动再启动/再加速	10.3.4.3

10.3.2 试验方案

关于测量电路,见图 23。在该图中,可以直接测量或者通过测量计算出下列物理变量:

- 电压 U ;
- 电流 I ;
- 转速 N ;
- 转矩 M ;
- 温度 θ ;
- 有功功率 P 等;
- 附加测量项目可能是振动测量、声学测量和信号扰动测量。

注:如果需要进行效率测定,则在选择测量仪器时应当特别注意。这些测量仪器应当具有足够包括 40 次以下谐波的带宽和足够将损耗规定在 10% 以内的精度,能够测量出真实有效值。参阅第 11 章。

10.3.3 稳态性能试验

10.3.3.1 轻载试验

电动机的轴与一个负载相耦合,该负载能够为正在试验中的传动系统提供条件,以便能够检验控制系统的功能。如果在系统供应商和用户之间达成协议,则可以采用空载试验。

注:负载为被传动设备;或者为了试验,负载可以是对被传动设备的仿真。

10.3.3.2 负载特性试验

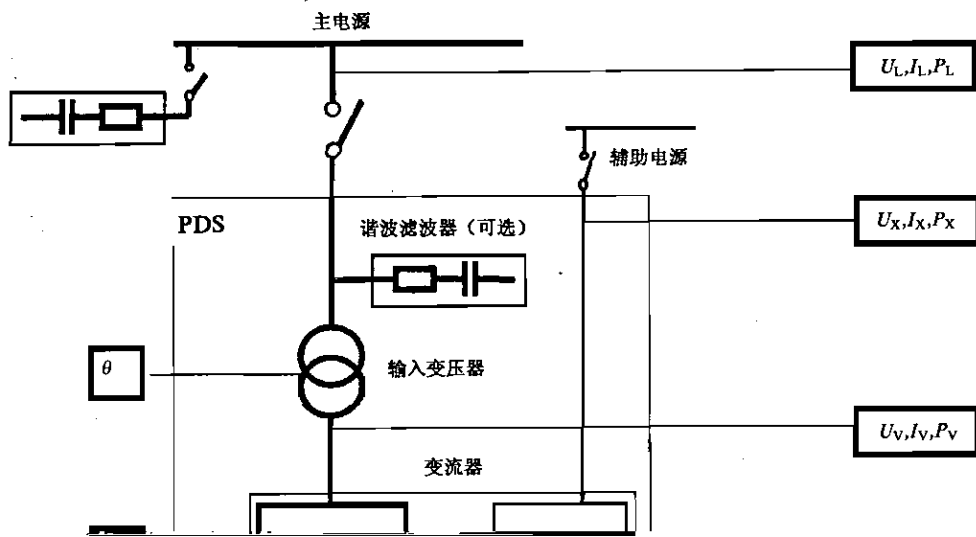
应当至少在最小转速和额定转速时在规定负载范围的转矩特性曲线上部进行测量,而且如果与额定值不相同,则应当在最大转速和最大转矩时进行测量。测量的数据如下:

- 变压器输入端的电压 U_L 、电流 I_L 和功率 P_L ;
- 变流器输入端的电压 U_V 、电流 I_V 和功率 P_V ;
- 电动机输入端的电压 U_s 、电流 I_s 和功率 P_s ;
- 每个主要部件的温升。

注 1:系统供应商和用户需要就进行该项试验的地点进行商定,可以是在车间、在现场调试过程中或者在另一个试验场地。

注 2:如果为进行损耗和效率计算也需要采用该项试验,则可以参考第 11 章中对计算方法和仪器仪表使用的介绍。否则,采用精度满足基波正弦波形要求的仪器就足够了。

注 3:负载可以是被传动设备、一种负载机组,也可以是采用背靠背结构配置的同类传动设备。



应当知道试验过程中 PC 上的短路条件,并在试验记录中标识出来。

如果为传动系统设计有专用的滤波器,则应当在试验过程中连接该滤波器。

10.3.3.8 功率因数

10.3.4 动态性能试验

10.3.4.1 电流限制和电流环

这些试验用来表征变流器或传动系统的动态性能,与被传动设备无关。

要求变流器达到其预定的电流限制点,可通过使负载递增变化或者使转速基准值跃变。可以按需要对电流上升时间、超调量、持续时间以及阻尼特性进行分析。

电流环带宽和谐波分析,可以用来确定电流基准值和电流测量(反馈)值之间的响应。

应当在与负载特性试验相同的转速点上进行这些试验,见 10.3.3.2。

10.3.4.2 转速环

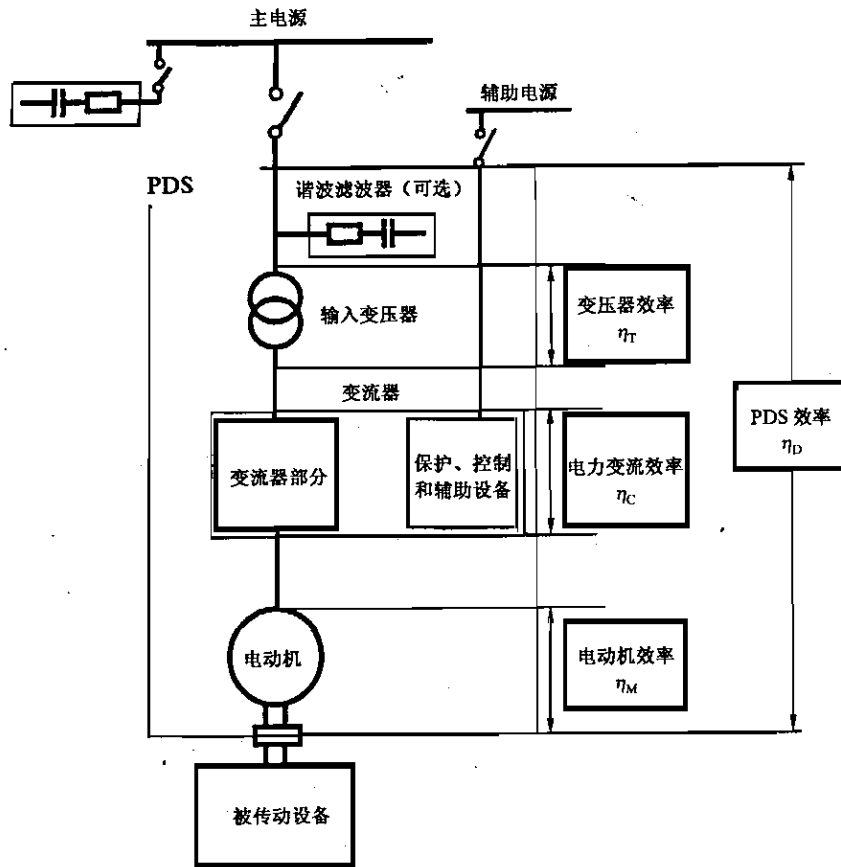


图 25 PDS 系统的硬件配置和单个部件效率

11.2 单项损耗法

11.2.1 一般要求

应当采用与传动系统各单个部件(变压器、电抗器、电动机和变流器)相关国家标准或行业标准标准。此外,制造商应当计算出由于非正弦电压和/或电流波形所造成的附加损耗。这些方法都应当通过对相同设计和额定值的各单个部件进行测量来加以验证。

附录 A 给出了用于计算非正弦电压和/或电流波形所造成的附加损耗的方法可供使用的情况。下列公式给出了

$k_1=0.2$,绕组电流为12脉冲或者多于12脉冲时;

$P_{Cu,1}$ 是变压器绕组铜损的基波分量。

这个系数也包括附加杂散损耗。对于最优化设计的变压器而言,这些值可以低得多。变压器的总损耗 P_{total} 为:

$$P_{total} = P_1 + P_{h,1} + P_x$$

式中:

P_1 ——GB/T 3859.3 所规定的基波损耗;

P_x ——可能有的辅助设备损耗。

11.2.3 电力变流器

11.2.3.1 一般要求

通常,变流器由一个6或12脉冲的电网换相输入整流器、一个由电抗器和/或电容器构成的中间环节滤波器和一个输出逆变器组成。逆变器既可以是电压源型也可以是电流源型。

R_{dc} 是与直流电流的铜损对应的电阻。

这个公式可适用于电流源逆变器(CSI)中的电抗器和电压源逆变器(VSI)中的电抗器。

11.2.3.5 直流环节电容器

用来计算 $P_{h,3}$ 的公式只对额定电流 (I_{N1}) 有效, 因为对于电压源变频器而言电流谐波含量确实与负载无关。

在上式中, $R_{M,1}$ 是在基频时一相的定子电阻 ($R_{S,1}$) 和折算到定子绕组的转子电阻 ($R'_{R,1}$) 之和。

$$R_{M,1} = (R_{S,1} + R'_{R,1})$$

指定的系数 k_3 考虑到了附加谐波和杂散负载损耗。

对于定子侧的转子相电阻, 应当通过测量额定电流和堵转转子时的短路损耗确定出来。对于 m 相感应电动机, 按下列公式计算出定子损耗:

$$R'_R = \frac{(P_{SC} - mI_N^2 R_S)}{mI_N^2}$$

式中:

I_N ——额定定子电流。

——励磁系统电源；

——外部润滑油泵。

注：只需考虑泵和泵用电动机损耗以及外部传输损耗。泵的其余做功包括在主电动机轴承损耗中。

如果采用背靠背方法，则不能通过测量直接得出轴功率 P_s 。应当将两台相同的电机（一台起电动机作用，另一台起发电机作用）调整到尽可能接近于相同的电压、电流和功率因数，通常调整到额定电压、额定电流和额定功率因数。两台电机之间的平均值应当被认为是测量参数。作为电动机输入功率 P_a 和发电机输出功率 P'_a 之间的差值得出的损耗的二分之一，应当被认为是传动电动机主损耗：

$$P_{\text{loss},3} = \frac{1}{2} \cdot (P_a - P'_a)$$

电动机效率为：

$$\eta_M = \frac{P_s}{P_a + P_{\text{Aux},3}} = \frac{P_a - P_{\text{loss},3}}{P_a + P_{\text{Aux},3}}$$

11.3.5 谐波滤波器

如果谐波滤波器是传动系统的一个组成部分，无论是耦合连接到变压器的二次侧还是通过单独的绕组耦合连接，测量出的滤波器损耗将作为变压器损耗的一部分。可以通过单独测量将这些损耗分离出来。

如果滤波器位于变压器一次侧的某个位置上，则要求进行单独测量以验证滤波器损耗。

11.3.6 传动系统总效率

传动系统总效率为：

$$\eta_{\text{drive}} = \frac{P_s}{P_L + \sum P_{\text{Aux}}} = \frac{P_a - P_{\text{loss},3}}{P_L + \sum P_{\text{Aux}}}$$

注1：所介绍的满载直接测量法只是以电气测量为基础。如果用量热法测量取代某些电气测量，则其中有一种测量将需要考虑到微小的热传导，例如从电机机座至周围环境的辐射热和传导热等。

注2：在为上述测量进行计划和编制记录时，要确保将所有辅助设备的损耗包括在内，但只考虑一次。

附录 A

(资料性附录)

最常用的传动系统拓扑结构

A.1 目的

本附录旨在给出最常用的传动系统拓扑结构的简化方框图。关于通用信息,应当参阅本部分第 4 章。可以增加某些设备选件,例如不同的滤波器、变压器、能量回馈单元等。

这些简化方框图采用一个开关器件表示其控制位置并带有能量回馈单元。注意,如果设备

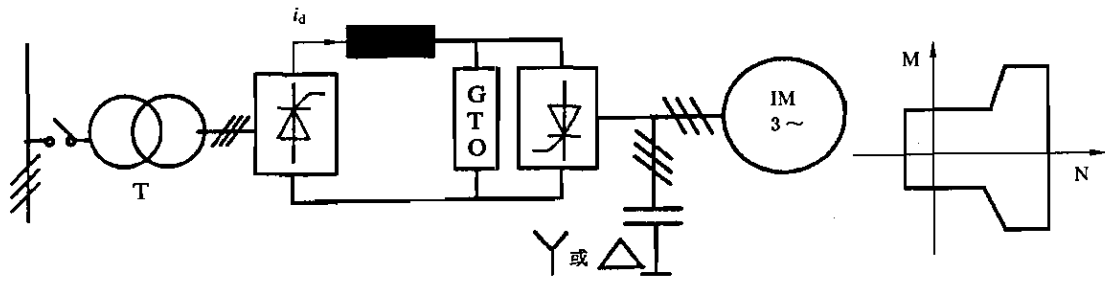


图 A.2 LCI 感应电动机传动系统的基本结构

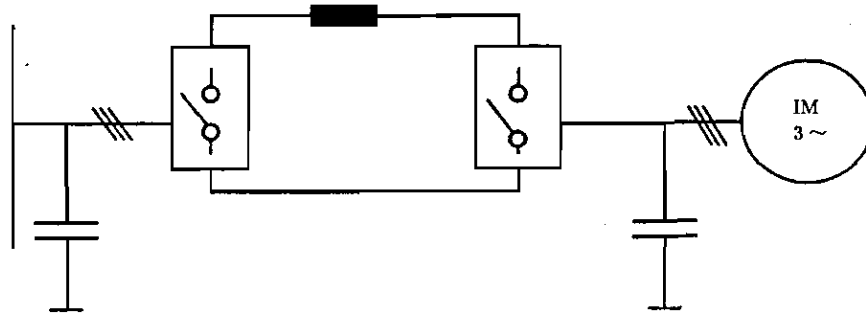
这种传动系统的主要组成部分如下：

- 网侧电网换相变流器；
- 电动机侧外部换相变流器；
- 直流电抗器；
- 公用可关断器件(GTO)；

给电动机供电

- 电动机转矩脉动低(若采用 PWM 技术,则可忽略不计);
- 网侧功率因数低,取决于输入功率。

A.2.4 采用感应电动机的双电流源逆变器(CSI)传动系统
传动系统的基本结构如图 A.4 中所示。



——励磁系统,如果采用同步电动机的话。

该传动系统的一般特性为:

- 双象限运行;
- 电动机转矩脉动低(若采用 PWM 技术,则可忽略不计);
- 网侧位移功率因数高。

A.2.6 采用同步电动机或感应电动机的中性点箝位(NPC)电压源型三电平逆变器传动系统
传动系统的基本结构如图 A.6 中所示,NPC 的结构详图如图 A.7 中所示。

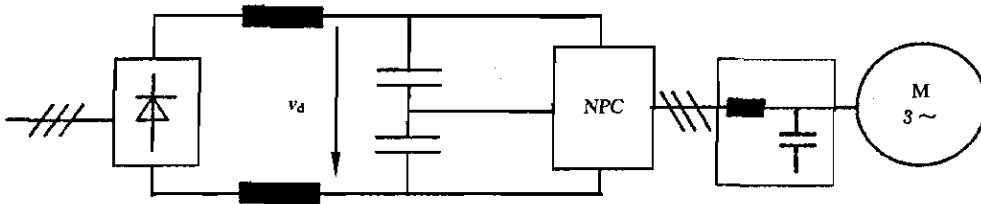


图 A.6 NPC 电压源型逆变器传动系统

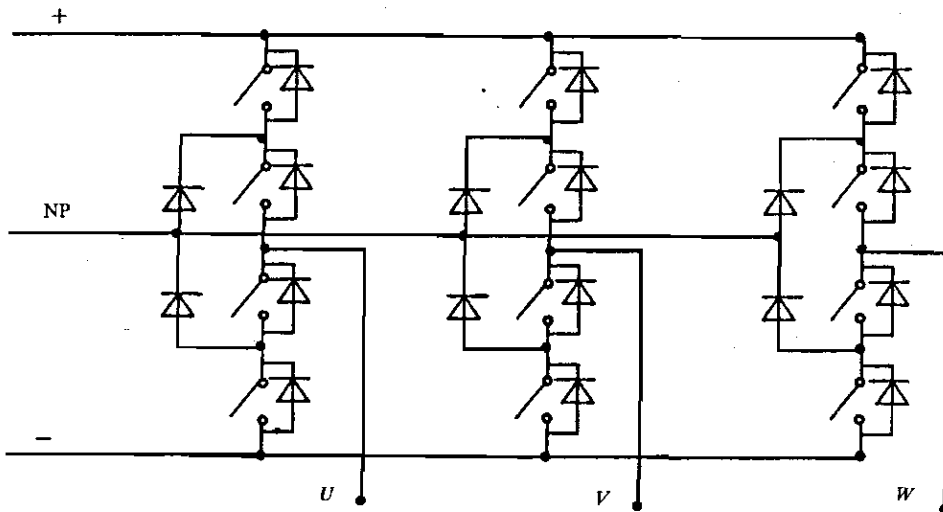


图 A.7 NPC 结构

这种传动系统的主要组成部分如下:

- 网侧二极管整流器(6 脉冲、12 脉冲或更高);
- 电动机侧自换相 NPC 逆变器;
- 直流电抗器(如果需要的话);
- 直流电容器组;
- 同步电动机或感应电动机;
- 励磁系统,如果采用同步电动机的话。

该传动系统的一般特性为:

- 双象限运行;
- 采用 NPC 前端变流器时,四象限运行;
- 采用 PWM 技术,电动机转矩脉动低;
- 三电平 PWM;

- 网侧位移功率因数高；
- 采用高脉冲数二极管整流器，网侧谐波含量低。

A.2.7 采用同步电动机或感应电动机的电压源多电平浮充电平衡电容器(FSC)逆变器传动系统的基本结构如图 A.8 中所示，多电平逆变器的结构详图如图 A.9 中所示。

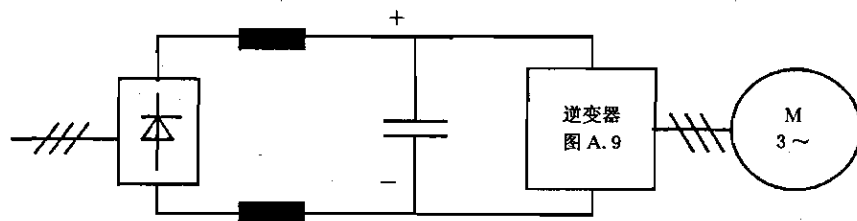


图 A.8 电压源多电平逆变器传动系统

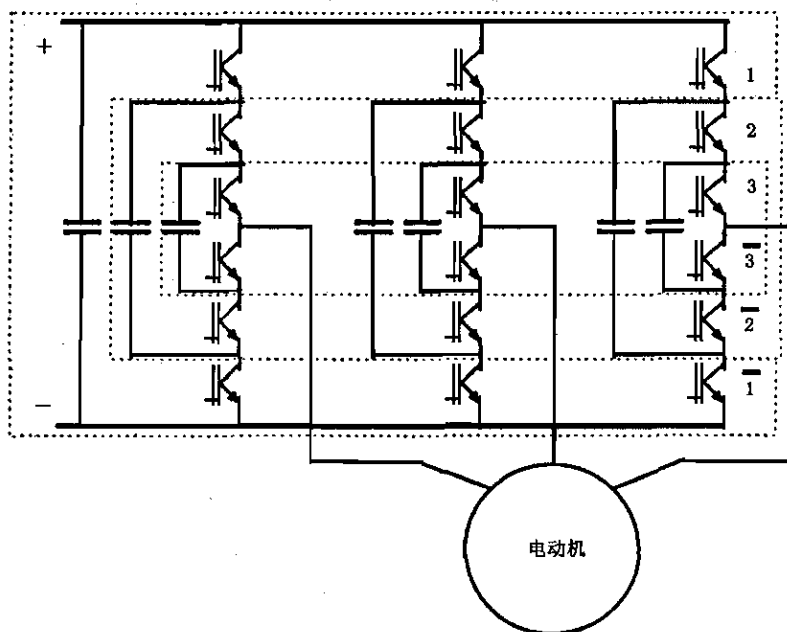


图 A.9 多电平逆变器结构

这种传动系统的主要组成部分如下：

- 网侧二极管整流器，通常为 12 脉冲；
- 直流电抗器（如果需要的话）；
- 直流电容器组；
- 电动机侧自换相多电平变流器，包括浮充电平衡电容器；
- 同步电动机或感应电动机；
- 励磁系统，如果采用同步电动机的话。

该传动系统的一般特性为：

- 双象限运行；
- 采用多电平逆变器结构作为前端变流器时，四象限运行；
- 采用 PWM 技术和多电平结构，电动机转矩脉动低；
- 网侧位移功率因数高；
- 采用高脉冲数二极管整流器，网侧谐波含量低。

A.2.8 采用同步电动机或感应电动机的具有双向网侧变流器的电压源逆变器传动系统

传动系统的结构示意图如图 A.10 所示。该图是以图 A.5 为基础增加了再生能量回馈变流器部分。

- 同步电动机或感应电动机；
- 励磁系统,如果采用同步电动机的话。

该传动系统的一般特性为:

- 四象限运行；
- 电动机转矩脉动低(若采用 PWM 技术,则可忽略不计)；
- 网侧功率因数接近于 1；
- 输入电流谐波含量减少。

A.2.10 采用多个二次绕组变压器的电压源型多电平逆变器传动系统

传动系统的基本结构如图 A.12 中所示。每个功率模块(PM)的详图如图 A.13 中所示。

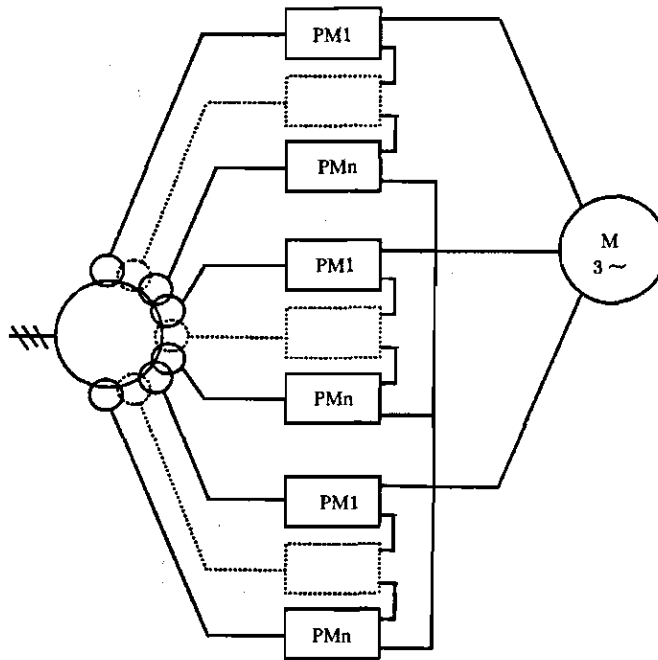


图 A.12 电压源型多电平逆变器传动系统

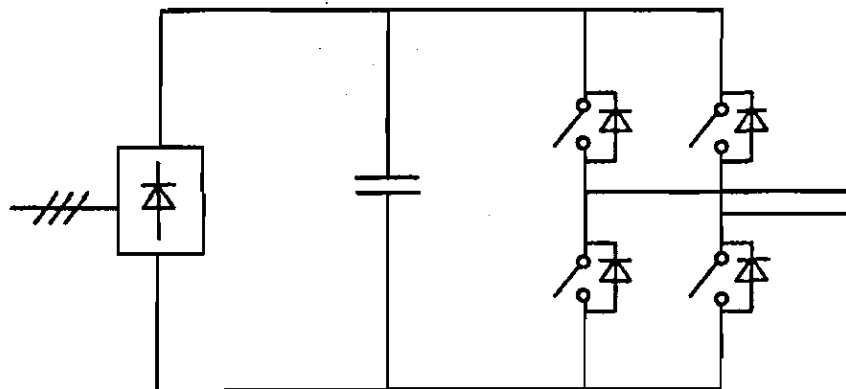


图 A.13 每极用功率模块(PM)

这种传动系统的主要组成部分如下:

- 电动机每相各用 N 个所连接的功率模块(PM)串(每个 PM 以带独立直流环节的单相逆变器

为基础)；

- 以隔离二次电压给所有功率模块供电的变压器；
- 同步电动机或感应电动机；
- 励磁系统,如果采用同步电动机的话。

该传动系统的一般特性为：

- 双象限运行；
- 电动机转矩脉动低(若采用 PWM 技术,则可忽略不计)；
- 网侧功率因数接近于 1；
- 输入电流谐波含量减少。

A.3 采用直接变流器的传动系统拓扑结构

A.3.1 直接变流器与循环变流器

在直接变流器中,不采用直流中间级来进行从一种固定幅值和频率交流电压到另一种可变幅值和频率交流电压的变换。

循环变流器是直接变流器的主要实例。

其基本单元是由两个反并联晶闸管桥路组成的单相变流器装置,能够实现四象限运行。每个桥路的触发角均经适当调制以获得交流输出电压。三相循环变流器由三个单相变流器装置组成,经过控制产生具有相同幅值和频率但相位移为 120° 的交流输出电压。

循环变流器可以采用有环流方式或者无环流方式运行。

A.3.2 采用同步电动机或感应电动机的无环流循环变流器

传动系统的基本结构如图 A.14 中所示。

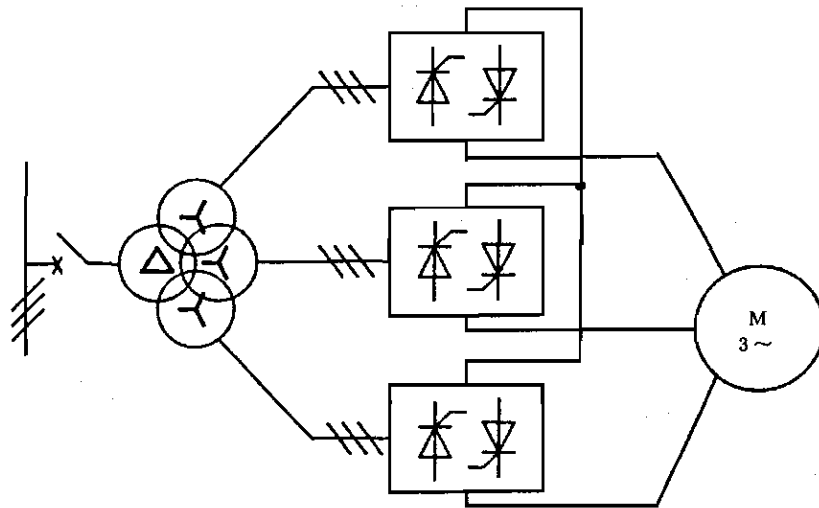


图 A.14 采用四绕组变压器的三相 6 脉冲连接循环变流器

这种传动系统的主要组成部分如下：

- 三个外部换相可逆变流器；
- 同步电动机或感应电动机；
- 励磁系统,如果采用同步电动机的话。

该传动系统的一般特性为：

- 四象限运行；

- 低转速运行(最大输出频率大约为电网频率的 $1/3 \sim 1/2$)；
- 转矩脉动可忽略不计；
- 网侧功率因数低。

A.3.3 采用同步电动机或感应电动机的有环流循环变流器

传动系统的基本结构如图 A.15 中所示。

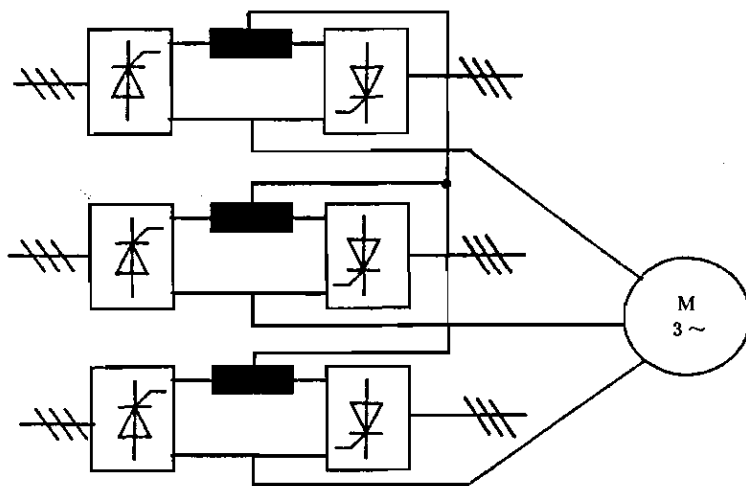


图 A.15 有环流循环变流器

这种传动系统的主要组成部分如下：

- 三个外部可逆变流器,包括用来限制环流的电抗器；
- 同步电动机或感应电动机；
- 励磁系统,如果采用同步电动机的话。

该传动系统的一般特性为：

- 四象限运行；
- 低转速运行(最大输出频率大约为电网频率的 $4/5$)；
- 转矩脉动可忽略不计；
- 网侧功率因数低。

A.3.4 其他结构配置

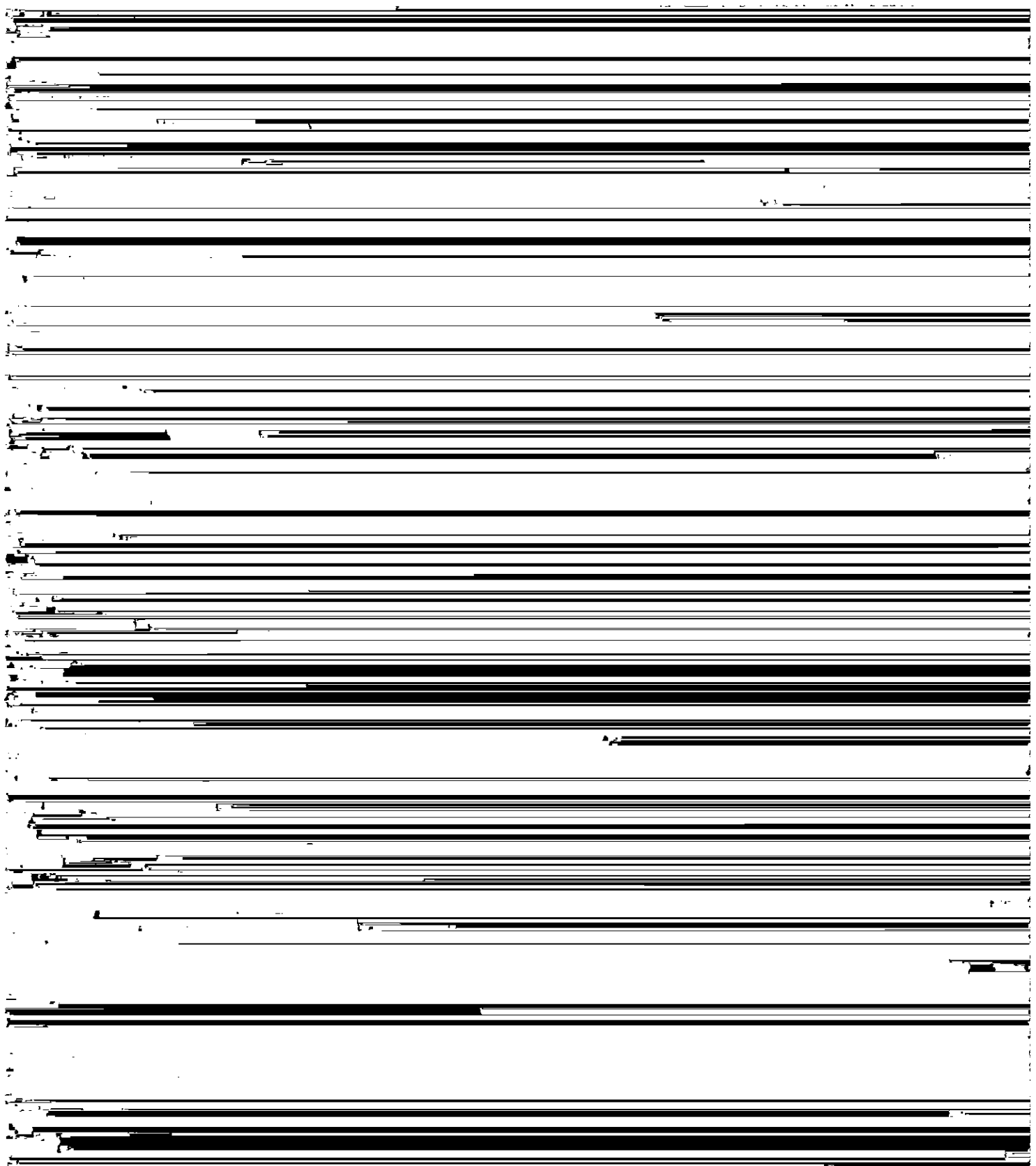
在其他传动系统配置中,如果转速调节范围有限,则使用其中的一些结构配置,例如采用双馈感应电动机的 PDS 系统：

- 将转子转差功率回馈到供电电网的静止 Scherbius 传动系统；

注：Kraemer 传动系统不再或者很少使用,对于该系统而言,转子转差功率通过二极管整流器馈给,用离合器将直流并励电动机连接在相同轴上。

附录 B
(资料性附录)
转速控制性能和机械系统

B.1 概述



后一个变量由于负载反作用而涉及到整个机械系统。因此,除非另有规定,则按常规假定“转矩”是不考虑负载反作用和损耗情况下的电磁转矩。

通过轴和/或齿轮传动机构将电动机连接到被传动设备上,会产生一个 *NTF*(固有扭振频率),根据转动惯量和传动装置的弹性按照下列公式计算出该 *NTF*。

$$NTF = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K(J_M + J_D)}{J_M J_D}}$$

式中:

J_M ——转子的转动惯量,单位为千克二次方米(kgm^2);

式中:

J_D ——被传动设备的转动惯量,单位为千克二次方米(kgm^2);

K ——扭振刚性,单位为牛米每弧度(Nm/rad)($1/K$ =弹性);

ARF ——反谐振频率,单位为赫兹(Hz)。

这个公式适用于双转动惯量系统(具有3个或更多惯量的系统涉及到2个或更多的 ARF 。但实际上只有最低的 ARF 才是有效的)。

将 NTF 与 ARF 的计算公式进行比较,很显然,始终是 $ARF < NTF$ 。负载惯量与电动机惯量之比 J_D/J_M 越大,这两个频率之差将越大。注意: ARF 只由被传动设备的特性所定义。

有3种基本情况:

- a) 在所有的 NTF 和 ARF 中,至少有10个频率太高以致于不能受转速控制阻尼作用影响(见B.3.1中的列表)。

在这种情况下,转速控制的动态性能只由转矩控制器或者转速测量系统的动态性能所决定。注意:采用PDS系统时,由于大功率设备的有效 NTF 和 ARF 通常非常低,在 $20\text{ Hz} \sim 30\text{ Hz}$ 以下,因而很少遇到这种情况。唯一例外是,采用间接转速反馈的转速控制系统由于与转速估算相关联的延时长而使这种情况可能有效。

- b) 有效 NTF 和 ARF 低到足以受转速控制阻尼作用影响。

在PDS系统采用直接速度传感器反馈时这种情况最常遇到。为了保证转速控制的稳定性,需要对速度控制器进行调整以便对谐振产生阻尼作用。因此,转速控制的最大性能受到机械系统特性的限制。最为关键的情况是最低 ARF 。根据经验方法,转速控制器可达到的响应时间为 $1/ARF$ 。例如,如果 $ARF=10\text{ Hz}$,响应时间则大约为 $1/10\text{ Hz}=100\text{ ms}$ 。

- c) 有效谐振频率中至少有一个频率太高以致于不能受阻尼作用影响但没有高到足以被忽略的程度。

为了防止转速控制器放大谐振振动,转速控制器需要配备一个使谐振频率信号衰减的滤波器。但其缺点是这样一个滤波器经常会大大地降低转速控制的动态性能。

总之,在大多数情况下,以使谐振频率变得足够高来适应情况a)的这样一种方式为采用直接转速传感器反馈的PDS系统设计被传动设备,从经济和技术上来讲,往往是不可行的。情况c)的动态性能

系统建设、运行和维护人员应接受培训，且培训应符合下列要求。

能才能令人满意地运行。结果,通常的做法是,为了安全起见只是规定出真正需要的值。

但是,这样的严格规定,由于需要高性能速度传感器,而且在此情况下为了获得更高的 ARF 需

附录 C
(资料性附录)
电力半导体的损耗

C.1 晶闸管

C.1.1 导通损耗(正向电压降损耗)

在晶闸管处于导通时,正向电流和正向电压降 U_F 会在稳定状态中产生导通损耗。

晶闸管导通损耗可以表示为:

$$P_{on} = U_{T0} \times I_{Tav} + r_T \times I_{Trms}^2$$

式中:

极的漏电流会引起正向漏电流损耗。通常,由于GTO正向漏电流很小,因而正向漏电流损耗可以忽略不计。

C.2.3 续流二极管正向电压降损耗

二极管导通损耗:

$$P_{\text{Don}} = U_{\text{F0}} \times I_{\text{Fav}} + r_{\text{F}} \times I_{\text{Frms}}^2$$

式中:

P_{Don} ——正向电压降损耗或者导通损耗,单位为瓦(W);

U_{F0} ——二极管导通电压(正向门槛电压降),单位为伏(V);

r_{F} ——二极管导通电阻,单位为欧(Ω);

I_{Fav} ——二极管阳极电流平均值,单位为安(A);

I_{Frms} ——二极管阳极电流有效值,单位为安(A)。

C.2.4 续流二极管开关损耗

二极管关断损耗:

$$P_{\text{Dturn-off}} = \frac{1}{2} \times U \times I_{\text{rr}} \times t_{\text{rr2}} \times f_{\text{to}}$$

式中:

$P_{\text{Dturn-off}}$ ——二极管关断损耗,单位为瓦(W);

U ——二极管反向电压,单位为伏(V);

I_{rr} ——二极管反向电流(峰值),单位为安(A);

t_{rr2} ——二极管反向恢复衰变时间,单位为秒(s);

f_{to} ——不同于逆变器开关频率的二极管关断频率,单位为每秒(s^{-1})。

注:二极管的关断频率等于或小于逆变器的开关频率,取决于拓扑结构、控制策略和运行方式。

C.2.5 门极功率损耗

GTO/GCT门极功率取决于门极电流和门极-阴极电压。通常,GTO/GCT要求大的门极电流,其

门极-阴极电压和门极-阴极电流的乘积应小于或等于门极-阴极电压和门极-阴极电流的乘积的平均值。

在关断延迟时间($t_{d(off)}$)和电流下降时间(t_f)期间所产生的损耗。

$$E_{off} = \left[\int_0^{t_f} I_T \times U_D \times dt \right] + [I_T \times U_T \times t_{d(off)}] + E_d \quad (\text{每个开关循环})$$

式中:

E_{off} ——每个开关循环的关断能量,单位为焦(J);

E_d ——拖尾电流时的关断能量,单位为焦(J);

I_T ——阳极电流,单位为安(A);

U_D ——阳极-阴极电压,单位为伏(V);

U_T ——GTO 导通电压,单位为伏(V);

t_f ——电流下降时间,单位为秒(s);

$t_{d(off)}$ ——关断延迟时间,单位为秒(s)。

从 IGBT 损耗中分离出来。

$$P_{\text{Don}} = U_{\text{F0}} \times I_{\text{Fav}} + r_{\text{F}} \times I_{\text{Frms}}^2$$

式中：

P_{Don} ——正向电压降损耗或者导通损耗，单位为瓦(W)；

U_{F0} ——二极管导通电压(正向门槛电压降)，单位为伏(V)；

r_{F} ——二极管导通电阻，单位为欧(Ω)；

I_{Fav} ——二极管阳极电流平均值，单位为安(A)；

I_{Frms} ——二极管阳极电流有效值，单位为安(A)。

C.3.4 续流二极管开关损耗(续流二极管关断损耗)

最常见的做法是，将续流二极管组装在 IGBT 模块中。通常，续流二极管损耗不能测量，也不能从 IGBT 损耗中分离出来。

C.3.5 门极功率损耗

由于 IGBT 是一种 MOS 控制的器件且具有高门极阻抗，因而对于 IGBT 器件可以忽略门极功率。

C.3.6 开关损耗

IGBT 的开关波形几乎与 GTO 的相同。见图 C.2

I_C ——集电极电流,单位为安(A);

U_{CE} ——集电极-发射极电压,单位为伏(V);

t_r ——电流上升时间,单位为秒(s)。

关断损耗:

在关断延迟时间($t_{d(off)}$)和电流下降时间(t_f)期间所产生的损耗。

$$E_{off} = \left[\int_0^{t_f} I_C \times U_{CE} \times dt \right] + [I_C \times U_{CE(SAT)} \times t_{d(off)}]$$

式中:

E_{off} ——每个开关循环的关断能量,单位为焦(J);

I_C ——集电极电流,单位为安(A);

U_{CE} ——集电极-发射极电压,单位为伏(V);

$U_{CE(SAT)}$ ——集电极-发射极饱和电压,单位为伏(V)。

- f ——变流器频率(晶闸管变流器-电网侧:电源频率,晶闸管逆变器-电动机侧:逆变器输出频率),单位为每秒(s^{-1});
- α ——触发延迟角,单位为度($^{\circ}$);
- u ——重叠角度,单位为度($^{\circ}$);
- n ——串联的晶闸管个数。

C.4.2 采用公用 RCD 箱位的电压源逆变器

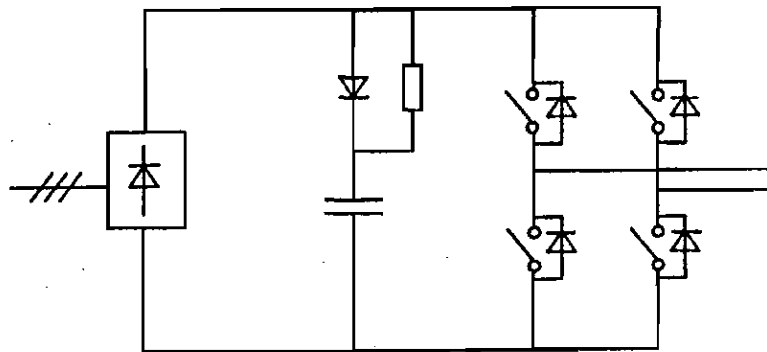


图 C.4 公用 RCD 箱位

箱位电阻器损耗可以表示为:

$$P_{rs} = \frac{L_M \times I_{off}^2 \times f_{sw}}{2}$$

式中:

- P_{rs} ——箱位电阻器损耗,单位为瓦(W);
- L_M ——开关期间起作用的主电路电感,单位为亨(H);
- I_{off} ——关断电流,单位为安(A);
- f_{sw} ——开关频率,单位为每秒(s^{-1})。

箱位二极管损耗:

在采用 RCD 箱位的场合,与电阻器损耗相比,二极管损耗很小,可以忽略不计。

C.4.3 缓冲器再生电路损耗