

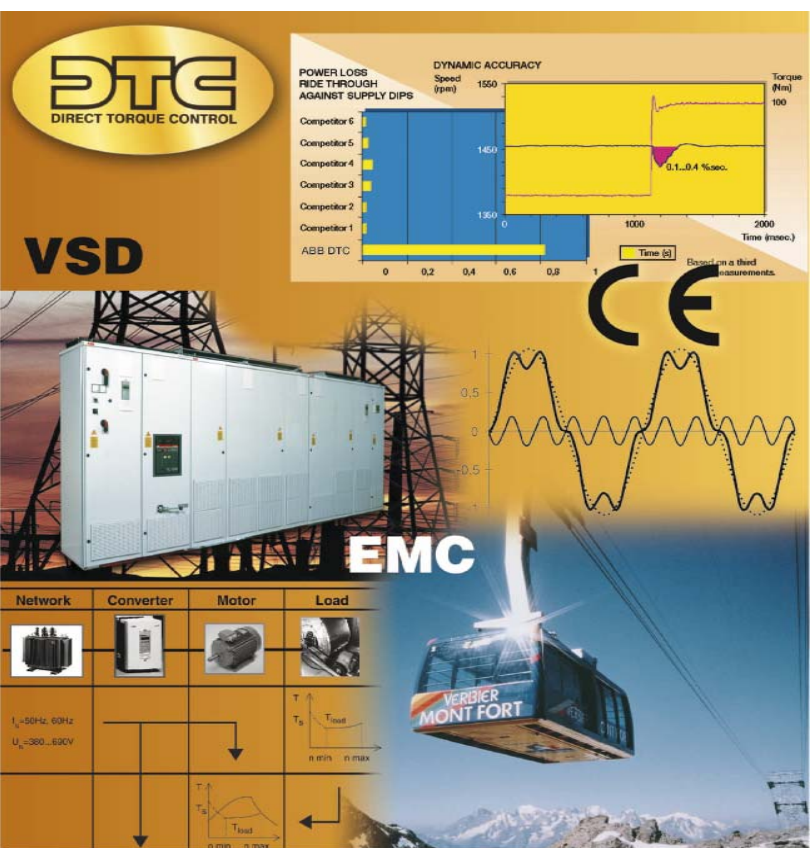


ABB 传动

技术指导手册

3ABD64514482 REV A 中文
基于: 3AFE64514482 REV D 英文
生效日期: 2010-11-17

目录

1. 直接转矩控制

1

2. 欧盟规范与调速电气传动系统

2

3. 传动系统的EMC兼容性安装与配置

3

4. 变速传动指南

4

5. 现代交流传动系统的轴承电流

5

6. 交流传动谐波指南

6

7. 传动系统选型

7

8. 电气制动

8

9. 运动控制指导

9

10. 安全功能

10

ABB 传动

直接转矩控制 -

世界领先的交流传动技术



ABB 传动
直接转矩控制 -
世界领先的交流传动技术

技术指导 1

3ABD58056685 REV A 中文
基于: 3AFE58056685 REV C 英文
生效日期: 2010-10-01

第一章-介绍7

 概述7

 本手册的用途.....7

 使用本指导.....7

 什么是调速器.....8

 概述8

第二章-直接转矩控制的发展8

 直流电机传动.....9

 特点9

 优势.....9

 缺点10

 交流传动-介绍10

 交流传动-使用PWM的频率控制.....11

 特点11

 优势12

 缺点12

 交流传动-使用PWM的矢量控制.....12

 特点12

 优势13

 缺点13

 交流传动-直接转矩控制.....14

 控制变量.....14

 调速器对比.....15

第三章-问与答17

 概述17

 性能18

 应用24

第四章-基本控制理论.....28

 DTC 如何工作28

 转矩控制环.....29

 第一步 电压电流检测29

 第二步 自适应电机模型29

 第三步 转矩比较器和磁通比较器.....30

 第四步 最优脉冲选择器30

 速度控制.....31

 第五步 转矩给定控制器31

 第六步 速度控制器.....31

 第七步 磁通给定控制器31

第一章-介绍

1

概述

直接转矩控制-也称DTC - 是目前世界上已开发的最先进的交流传动技术。

本手册的用途

本技术指导介绍了何谓DTC技术；它发展的过程及起源；它成功背后的理论基础；以及这种新技术的特点和优势。

本指导需要读者对交流电机控制原理具备一定的理论基础，以便更好的理解其内容。

本手册面向的读者包括各个行业如水处理、化工、造纸、发电、物料传送、空调以及其它工业应用中的决策者，如设计人员、采购人员、OEM厂商及最终用户。

事实上，所有使用调速传动（VSD）以及希望受益于VSD技术的人员，都会发现阅读此技术指导的必要性。

使用本指导

本指导旨在对DTC技术的起源和发展过程进行有层次的阐述。

读者如果了解传动技术从简单的直流到交流一直到DTC的发展过程请从第2章开始阅读。

需要关于DTC技术的性能、工作方式以及应用领域的读者，请直接跳至第3章问答。

想了解DTC技术的基本控制原理，请翻至第26页。

第二章-直接转矩控制的发展

什么是调速器？

为了回答这个问题，我们需要了解调速器的基本功能是控制能量从电源流向执行机构。

能量通过电机轴传送到执行机构。
轴的状态由两个物理量来描述：转矩和速度。所以为了控制能量的流动，我们最终需要控制的是这两个变量。

在实际应用中，当二者中的一个被控时，我们称之为“转矩控制”或“速度控制”。
当VSD运行在转矩控制模式下时，速度由负载决定。
同样，当运行在速度控制模式下时，转矩大小由负载决定。

起初，直流电机被用作调速传动，因为直流电机可以在不需要复杂精密的电子装置的情况下，轻易达到要求的速度和转矩。

然而，交流调速器技术的发展，一直是在效仿性能优越的直流电机，从而在使用耐用，价格低廉，维护简单的交流电机的同时，能够得到快速转矩响应及速度的准确性。

概述

在这一节中我们关注DTC的发展，列出了四个调速传动的重要发展阶段，即：

- 直流电机传动 9
- 交流传动， 频率控制， PWM 11
- 交流传动， 矢量控制， PWM 12
- 交流传动， 直接转矩控制 14

我们将对它们逐个进行研究，是用示意图来变现它们之间的关键的区别。

直流电机传动

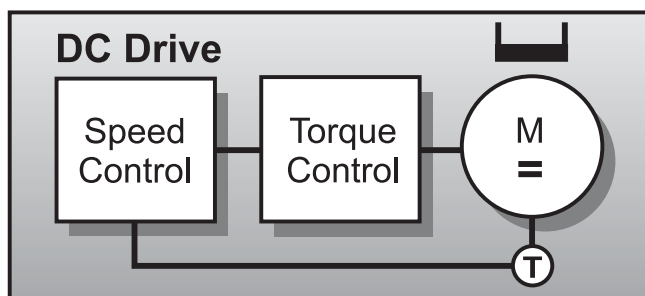


图 1：直流电机控制环

特点

- 磁场方向通过机械换向器来转换
- 控制的变量为电枢电流以及励磁电流，速度反馈直接从电机测量
- 直接控制转矩

在直流电机中，磁场由流经定子上励磁绕组的电流产生。该磁场与电枢绕组产生的磁场总是成直角。这种情况成为磁场定向，是产生最大转矩的条件。无论转子处在什么位置，电刷都会保证这种磁场稳定在这种状态。

一旦磁场定向完成，直流电机的转矩就能很容易通过改变电枢电流和保持磁化电流恒定来实现。

直流传动的优势在于，速度和转矩这两个对用户来说最主要的因素，可以直接通过电枢电流来控制：转矩控制为内环，速度控制为外环（见图1）。

优势

- 精确快速的转矩控制
- 高速的速度动态响应
- 控制简单

最初，直流传动用于调速传动，是因为它可以很轻易的实现良好的转矩和高精度的速度响应。

直流电机可以产生转矩并具有如下特性：

- 直接-电机的转矩与电枢电流成正比，因此可以直接精确的控制转矩。
- 快速-转矩控制十分迅速；传动系统可以得到很高的速度动态响应。如果电机由理想的电流源反馈转矩可以立即改变, 电压反馈的传动同样可以实现快速响应，因为它只和转子电气时间常数有关（例如电枢回路中总的电感与电抗）。
- 简单-磁场方向通过换向器/电刷这一简单的机械结构来实现，所以不需要使用复杂的电子控制电路，从而节约了控制电机的成本。

缺点

- 电机可靠性低
- 需要定期维护
- 电机价格高
- 需要编码器作为速度反馈

直流调速技术最大的缺点是直流电机的可靠性差；电刷和换向器容易磨损；直流电机价格高；而且需要编码器提供速度和位置反馈。

虽然直流传动可以在零速到基速甚至基速以上很好地控制转矩，但是直流电机的机械结果过于复杂，需要的维护成本较高。

交流传动-介绍

- 尺寸小
- 耐用
- 设计简单
- 重量轻、结构紧凑
- 维护费用低
- 成本低

交流调速技术的发展在保留了标准交流电机优点的同时，也结合了直流传动的优点，如快速的转矩响应和较高的速度精度等特性。

交流传动-使用PWM的频率控制

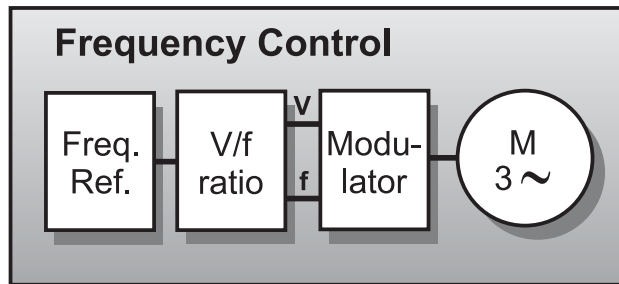


图 2：使用PWM频率控制的交流传动控制环

特点

- 控制变量为电压和频率
- 通过调速器来模拟交流正弦波
- 磁通维持恒压频比
- 开环控制
- 负载决定转矩水平

与直流传动不同，交流传动频率控制技术使用的是电机的外部参数——即电压和频率——作为控制电机的变量。

电压和频率给定发送至调制器，为定子磁通提供近似的交流正弦波。这种技术被称为脉宽调制(PWM)，是利用二极管整流桥为直流母线提供直流电压使之保持恒定的。逆变器通过脉宽调制脉冲序列改变电压和频率，由此来控制电机。

需要注意的是，这种方式不使用反馈设备测量电机转速和电机轴位置将其反馈到控制环。

这种没有反馈设备的控制方式，称为“开环控制”。

优点

- 低成本
- 不需要使用速度反馈装置 - 简单

由于没有反馈设备，该控制方式为交流感应电机提供了一种简单且低成本的解决方案。

这种类型的传动适用于对精度要求不高的场合，例如泵类和风机。

缺点

- 未使用磁场定向
- 忽略电机状态
- 转矩不可控
- 使用了延时调制器

这种技术，有时也称标量控制，没有使用电机的磁场定向。而是使用了频率和电压作为控制的主要变量提供给电机的定子绕组。忽略转子的状态意味着没有速度或位置信号的反馈。

因此转矩的精度是完全不可控的。此外，该技术使用的调制器从根本上减慢了输入的电压和频率信号与电机的实际要求之间的通讯。

交流传动-使用PWM的磁通矢量控制

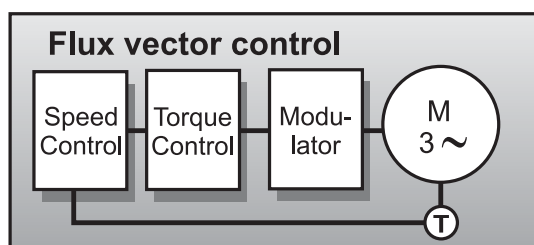


图 3：使用PWM矢量控制的交流传动控制环

特点

- 磁场-定向控制-模仿直流传动
- 电机的电气特性是模拟的-“电机模型”
- 闭环控制传动
- 间接的转矩控制

为了模拟直流电机的磁场工作情况，即磁场定向过程，磁通矢量传动需要知道交流异步电机内部转子磁通的空间角位置。

对于PWM的矢量控制传动，通过电气方式获得磁场定向而不是直流电机式的通过机械换向器/电刷设备。

首先，转子的速度以及相对于定子磁场的角位置等信息通过脉冲编码器被反馈回来。使用编码器的传动称为闭环传动。

另外电机的电气特性被数学模型化，使用微处理器来处理数据。

磁通矢量控制的电子控制器为电压、电流和频率等控制变量建立电气量，并通过调制器将它们给定到交流异步电机。因此转矩被间接控制。

优点

- 良好的转矩响应
- 精确的速度控制
- 可以达到零速满转矩
- 性能接近直流传动

磁通矢量控制可以达到零速满转矩，性能十分接近于直流传动。

缺点

- 需要反馈
- 价格高
- 需要调制器

为了达到快速的转矩响应和较高的速度精度，反馈装置是必需的。这使得成本上升并且增加了传统交流异步电机的复杂性。

同样，调制器的使用降低了输入的电压和频率信号与电机的实际要求之间的通讯速度。

虽然电机的机械结构简单，但是传动装置的电气结构比较复杂。

交流传动-直接转矩控制

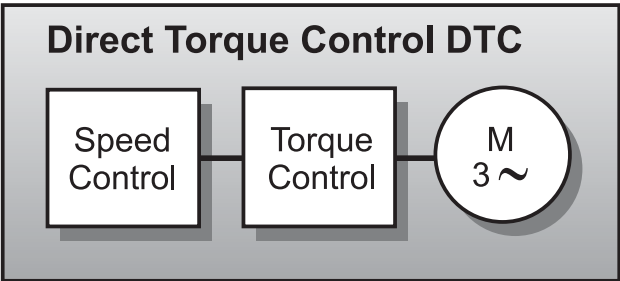


图 3：使用DTC的交流传动的闭环控制

控制变量

ABB所开发的具有革命性的DTC技术，在没有反馈的情况下使用先进的电机原理不使用调制器直接计算电机转矩从而完成磁场定向。控制变量为电机磁通和电机转矩。

DTC控制不需要调制器也不需要转速计或编码器等设备来反馈电机转速或电机轴的位置。

DTC使用最快的数字信号处理硬件，并用更先进的数学模型来描述电机如何工作。

这就使得传动的转矩响应比其他任何直流传动快10倍。
DTC传动的动态速度精度比开环交流传动高8倍，与使用交流或反馈的直流传动精度相当。

DTC技术带来了第一种兼具交流和直流传动优点的“通用”传动。

本指导的其余各章节会重点介绍DTC技术的特点和优势。

调速器的对比

现在我们更仔细看一下每个控制框图并找出其区别。

1

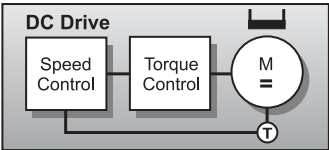


图 1：有反馈的直流电机控制环

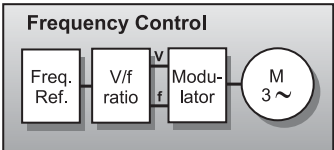


图 2：使用频率控制的交流传动控制环

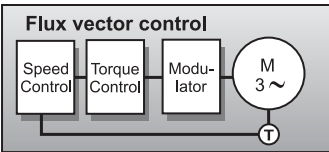


图 3：使用矢量控制的控制环

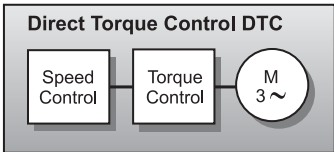


图 4：使用DTC的交流传动的控制环

首先看直流传动控制框图和DTC控制框图之间的相似之处。

都采用电机参数直接控制转矩。

但DTC具有额外的优势，包括不需要使用反馈设备，所有交流电机的优势，而且不需要外部励磁。

DRIVE	CONTROL VARIABLES
DC DRIVES	Armature Current, I_A Magnetising Current, I_M
AC DRIVES (PWM)	Output Voltage, U Output Frequency, f
Direct Torque Control	Motor Torque, T Motor Magnetising Flux, Ψ

表 1：控制变量的比较

从表1中可以看出，直流传动和DTC传动都使用实际的电机参数来控制转矩和速度。因此，动态性能简单而快速，而且DTC控制不需要测速计或编码器来反馈速度和位置信号。

比较DTC和其他两种交流传动控制框图，可以发现几点不同之处，最主要的一点就是DTC控制不使用调制器。

PWM交流传动的控制变量为频率和电压，而这需要经过众多环节才能被电机应用。因此PWM传动的控制是在电子控制器中而不是电机中。

概述

什么是直接转矩控制？

直接转矩控制 - 也称 **DTC** - 是由**ABB**开发的一种最新的交流传动技术，在不久的将来，会取代传统的**PWM**开/闭环控制。

为什么叫做直接转矩控制？

直接转矩控制是直接基于电机电磁状态来控制转矩和速度的一种方式，类似于直流电机。但与**PWM**控制使用输入电压及频率的传统方式不同。**DTC**是第一种控制“真正”电机转矩和磁通变量的技术。

直接转矩控制的优势？

由于转矩和磁通作为电机参数是被直接控制的，所以不需要使用类似于**PWM**控制中的调制器来控制频率和电压。这种控制方式剔除了中间环节并提升了传动改变转矩的响应速度。**DTC**不需要反馈设备也可以提供精确的转矩控制。

为什么需要另一种交流传动技术？

DTC不仅仅是交流传动技术的一种。工业应用对传动控制的要求越来越高，旧的传动技术已经不能满足这些要求。

举例, 工业应用需要：

- 在一定程度上可以通过改善的速度精度和快速的转矩控制，获得更好的产品质量。
- 缩短停机时间，避免无谓的跳闸；传动能省去复杂的反馈设备；传动设备不会受到严重的干扰（如谐波和射频干扰）。
- 更少的产品数量。无论是交流、直流或伺服产品一个传动就可以满足所有应用的需要。可以称之为真正的“通用”传动。
- 低噪音的传动设备能提供更舒适的工作环境。

这仅是工业应用中的部分要求。DTC可以满足全部这些要求，并将为许多标准应用带来更多的好处。

谁发明了DTC技术？

继德国的Blaschke博士和他的同事Depenbrock在1971年和1985年提出了该理论之后，ABB在1988年开始了DTC的研究。DTC技术基于感应电机的磁场定向理论和直接自控制理论。ABB每年投入超过100人进行该技术的研发工作。

性能

与传统的交流传动技术相比，DTC技术有什么主要优势？

DTC技术的优势很多。

但最值得一提的是使用DTC技术的传动可以获得下面这些性能优势，其中大多数是在没有使用编码器或测速机提供速度和电机轴位置反馈的情况下实现的：

- 转矩响应：-当投入一个100%转矩阶跃给定后，传动的输出达到给定值所需要的时间。使用DTC控制，在40HZ以下典型的转矩响应时间在1到2ms，而带编码器的矢量控制和直流传动响应时间在10-20ms之间。开环的PWM传动响应时间超过100ms。事实上，DTC的转矩响应速度已经达到了自然极限，由于电压和电流的限制，响应时间不可能做到更短。即使使用更先进的“无传感器矢量”传动，转矩响应时间也在数百毫秒。
- 低频下的精确转矩控制，如在没有编码器或测速机等速度反馈的情况下实现零速满转矩。DTC控制可以在频率低于0.5Hz的情况下提供100%的转矩。
- 转矩的重复精度：-在相同的转矩给定命令下，传动所重复输出转矩的精度。使用DTC控制，在没有编码器的情况下，可以达到1%到2%额定值的转矩额定精度。相当于交流开环控制的一半，与闭环控制的交/直流传动相当。

- 电机的静态速度精度:- 在恒定负载下速度给定值与实际速度的偏差。对于DTC控制, 速度精度为电机滑差的10%, 对于11kW的电机, 为0.3%的静态速度精度。对于110kW的电机, 不带编码器的速度精度为0.1%。可以满足95%工业场合对传动的精度要求。但是, 如果要达到直流传动的精度, 需要加装编码器。

与之相反的是, 使用频率控制的PWM传动的静态速度精度在1%到3%之间, 所以在标准传动上使用DTC技术能为客户应用带来很大的性能改进。DTC控制的传动如果使用1024p/r的编码器, 速度精度可以达到0.01%。

- 动态速度精度:-当给定一个额定的转矩时速度偏差的时间积分。DTC的开环动态速度精度在0.3%到0.4%之间。这取决于工艺要求的控制器的增益调节。其它开环控制的交流传动, 动态精度要低8倍, 在3%左右。如果我们为DTC控制器加装编码器, 动态精度可以达到0.1%, 与伺服电机的性能相当。

这些优势在实际应用中的好处是什么?

- 快速的转矩响应:-可以大大减小速度在负载瞬变时的跌落时间, 可以大幅改善过程控制以及带来更一致的产品质量。
- 低频下的转矩控制:-这特别适用于提升机和升降机这类负载要平稳起停没有震动的场合。另外在卷取机应用中, 可以完成零速到最大速度的张力控制。与PWM磁通矢量控制传动相比, DTC由于不需要测速设备而使得成本能够降低。
- 转矩的线性度:-应用在卷取机上这点尤为重要, 在造纸行业中, 卷取的准确性和连贯性十分重要。
- 动态速度精度:-在负载突变的情况下, 电机可以快速的回复到稳定状态。

表2:DTC技术的动态性能特点和优势

特点	效果	优势
不使用测速计就可以达到良好的速度精度	速度控制精度控制在0.5%之内。在95%的应用场合不需要使用测速计。	减少投资费用。 增加可靠性。 更优秀的过程控制。 更高的产品质量。 真正的通用传动。
不使用测速计就可以达到良好的转矩控制	在需要的应用中使用。 在任何时间提供必需的转矩。转矩重复性1%。 转矩响应时间低于5ms。	没有测速设备时的性能与直流感应接近。减少设备的机械故障。减少了停机时间。降低了投资。
使用或不使用测速计/编码器都可以实现零速满转矩。	不需要机械抱闸。 驱动和制动间平滑切换。 传动可以应用到传统的直流传动应用的领域。	节约成本。更好的负载控制。可以用交流电机和传动替代直流。使用标准的交流电机意味着较少维护工作量和节约成本。
使用编码器实现低至零的速度和位置控制	伺服传动性能	成本效益，高性能转矩驱动；提供更好的位置控制和静态精度。标准交流电机的高精度控制。

除了优良的动态特性，DTC传动技术是否有其它的优势？

是的，还有很多优势。
例如，为了得到快速的转矩响应，DTC传动不需要测速计和编码器来监控电机轴的速度和位置，从而节省了成本。

特点	效果	优势
快速控制直流电压。	失电跨越	传动不会跳闸。 缩短跌落时间。 避免了连续工作过程中的中断。 减少连续工作中的损耗。
自动启动 (直接重启)	用电机的剩余电感启动， 不要求延时重新启动。	不需要等待磁通消失就可以启动电机。不需要重新启动。不需要在运行中停机。
自动启动 (跟踪启动)	与正在旋转的电机轴瞬时同步	没有进程中断。平滑控制机械。能在任何情况下恢复控制。
磁通制动	两速度点间的受控制动。	节约成本。优秀的过程控制。直流制动无需延时。 可用来减速至大于零速的速度。减少对制动斩波器和制动电阻的使用。
磁通优化	电机损耗降至最低。减小电机噪音。	电机受控。
自辨识/自整定	调整电机来达到最佳性能。	简单准确的设置。不需要调解参数。缩短调试时间。确保启动转矩。适用于所有交流系统的改造。
功率装置没有预制的开关模式	低噪音。因为没有固定载波频率，产生的噪声属于白噪声，属于合理的范围。	节约了设置噪声屏蔽设备的费用。 消除了有害机械共振，降低了齿轮箱、风机、水泵的应力。
最大的加/减速率没有限制。	可以在不受机械制约的情况下以最短的时间加减速。	更优的过程控制。

表3:DTC技术能为客户带来的特性和优势

DTC传动的另一个特点是电机在任何电气或机械状态下，都可以快速启动，电机可以没有延时立即启动。

似乎DTC传动应用在高性能或高要求的传动应用上更加有利。对标准传动, DTC能带来什么好处？

标准应用占到了整个变频器工业应用的70%。

两个最普遍的应用就是风机和水泵应用，如加热、通风和空调、水处理、食品和饮料等行业中。DTC可以为这些行业提供谐波和噪声等解决方案。

例如，DTC技术可以用于控制进线单元，从而使用可控桥代替传统的二极管整流桥。

这意味着使用DTC控制的整流桥可以大幅减少谐波，DTC控制的整流桥电流畸变水平低于6脉波和12脉波的结构，而且功率因数能达到0.99。

在标准应用中，DTC传动可以承受运行中由于快速变化而引起的巨大的负载转矩突变，而不会产生过压或过流跳闸。

此外，如果输入功率有一个短暂的丢失，传动装置必须保持通电。直流母线电压不能跌落到最低控制水平的80%。为了确保这点，DTC采用25微秒的控制周期。

DTC在水泵控制上的效果如何？

DTC对所有类型的泵类都有作用。

因为DTC传动可以是一种通用传动，所以不论是离心泵或恒转矩类型的，都可以像风机和传送带一样使用同样的传动结构。

DTC技术让传动可以自我调节以适应不同的应用要求。

例如，使用DTC技术的传动来控制螺杆泵，为了保证启动可以自我调整得到足够的启动转矩。

改善失电跨越能力将有助于供电瞬间丢失时水泵的持续工作能力。

DTC技术所固有的转矩控制能力允许对转矩进行限幅，以避免作用在水泵和管道上的机械压力。

DTC技术在节能上有什么效果？

DTC有助于提高能源效率的新特性，被称为电机磁通优化。

有了这项功能，泵类和风机应用的总效率（变频器加电机）大大提高了。

例如，25%的负载可以有多达10%的总效率提高，50%的负载可以有2%的总效率提高。

这直接影响了运营成本，这项特性还能大大减小由于传统的PWM传动固定开关频率所引起的电机噪声。

DTC技术已经被用于很多设备了么？

是的，已经有成千上万的设备被使用。例如世界上最大的网络设备制造商之一，测试了DTC技术在胶片整理的卷取机上的应用。

要求：

精确的卷取机转矩控制，以生产高质量的胶片。

解决方案：

开环的DTC传动已经取代了传统的直流传动和后来的磁通矢量控制在卷取应用中的核心地位。

优势：

卷取设备得到了简化并且稳定性得到了提高。一个测速计和线路的成本相当于一台30kW的电机。这大幅度的节省了投资费用。

应用

DTC和传统的PWM方式有什么区别？

- 频率控制的PWM和矢量控制PWM

传统的PWM传动把输出电压和输出频率作为主要控制变量，但二者都需要在提供给电机之前进行脉宽调制。

由于信号处理过程中调制环节的加入，限制了PWM传动的转矩和速度的响应速度。

通常情况下，PWM调制器响应实际变化所需的时间比DTC长10倍。

- DTC控制

DTC把电机转矩和定子磁通作为主要控制变量，二者都从电机本身直接获得。在DTC传动中不需要单独使用PWM调制器控制电压和频率。DTC传动的另外一个优势是在95%的应用场合，可以不使用反馈设备。

为什么DTC控制不需要测速计和位置编码器来随时向它反馈电机轴的实时位置？

主要有四点原因：

- 精确的电机模型
- 控制变量从电机直接获得
- DSP和优化脉冲选择器的硬件速度快
- 不需要调制器

上述这些特点所构成的DTC传动，理想的开关电压每秒钟计算40000次。控制单个脉冲这已经足够快了。
简而言之，这是目前所能达到的最快速度。

每隔25微秒，逆变器的功率器件在优化脉冲选择器的控制下产生需要的转矩。此更新速率远小于电机的任何时间常数。因此，现在制约速度的部分是电机而不是逆变器。

DTC传动和市场上其它无传感器传动的区别是什么？

DTC和无传感器传动之间有很多不同点。
但最主要的区别是DTC传动可以在没有编码器反馈的情况下运行在低速甚至接近零速。
低频下可以在1ms内增加到额定转矩。
这是最大的优势。

DTC传动是如何达到伺服驱动性能的？

很简单，因为性能的制约因素是电机而不是传动本身。
典型的伺服传动动态速度精度为0.1%秒。
DTC传动使用测速计提供速度反馈后，完全可以达到这一精度。

DTC如何完成对传统技术的重大改进？

最大的改进是DTC运行的绝对速度。上面提到过，这是所能达到的最快的转矩响应。

为了实现快速的转矩环，ABB使用了最先进的高速信号处理技术，每年投入上百人来开发先进的电机模型，精确的在控制器内模拟实际电机参数。

为了更好的理解DTC控制理论，请参考17页。

DTC传动是否在其控制环里使用了模糊逻辑？

不，一些传动使用模糊逻辑是为了在有电流限幅的情况下保持加速电流，从而避免不必要的过流跳闸。
而DTC直接控制转矩，在所有工作环境下都可以保持电流在限幅之下。

上面说使用DTC技术的传动可以减少故障跳闸次数，这是如何实现的？

很多厂商花费大量时间来试图解决加减速时的跳闸问题，但发现这十分困难。
DTC减少跳闸次数是通过控制电机的实际转矩来实现的。

如果传动靠计算而不是测量控制参数，是不可能达到好的速度和精度的。如果不着眼于电机轴，就不能了解电机的全部情况。对于DTC来说是这样么？

DTC可以了解电机的全部情况。

上面提到过，得益于精确的电机模型和每秒40000次的处理能力，DTC传动确切的知道电机轴的当前状态。
这在24和25页提到的快速转矩响应和高速度精度中有所反映。

传统的交流传动中，多达30%的功率器件的通断都是多余的（不是必要的），而使用DTC技术的传动与此不同，它精确地知道电机轴的状态，所以不会让功率器件有多余的通断。

DTC传动可以应用到95%的工业生产领域。

此外，当应用于要求极高速度精度的控制场合，可以加入速度反馈设备来实现闭环控制。
这里所使用的速度反馈设备，可以比传统闭环控制传动所需要的传感器更简单。

即使使用最快的半导体死区时间也是不可避免的，那么，DTC传动自动调谐的准确性如何？

自动调谐会在DTC传动初次辨识的时候被使用。
在计算实际磁通时，这个死区时间会被测量并被电机模型记住。
如果和PWM传动来比较，PWM的问题是在20-30 Hz时会引起转矩波动。

DTC传动在轻载低速下运行时的稳定性如何？

低至零速的稳定性都很好，而且为保持转矩和速度精度都可以在速度很低的轻载的情况下。我们对精度的定义如下：

转矩精度：在2-100%的速度范围内，10-100%的负载下，转矩精度为2%。

速度精度：在2-100%的速度范围内，10-100%的负载下，速度精度为10%的电机滑差。37kW电机的滑差约为2%，即速度精度为0.2%。

DTC有什么局限性？

如果多个电机并联到DTC控制的逆变器上，这些电机是被作为一个大的电机来控制的。此时没有任何关于单独一个电机的信息。如果电机数量会发生变化，或者电机功率小于逆变器额定功率的1/8，推荐使用标量控制。

DTC可以应用于所有类型的异步电机么？

是的，适用于各种异步，鼠笼型电机。

第四章-基本控制理论

DTC如何工作

图5（见下）显示直接转矩控制（DTC）的完整控制框图。

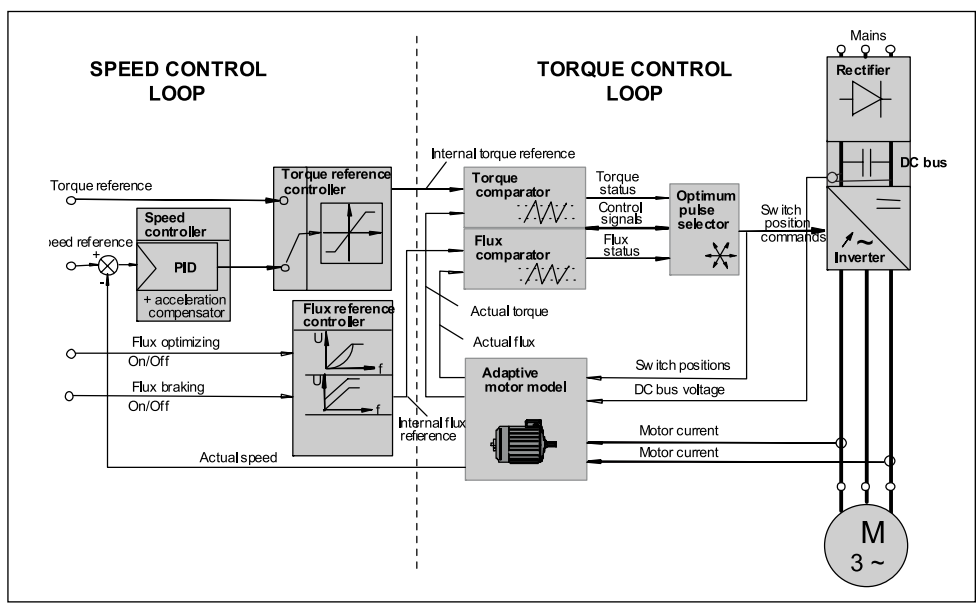
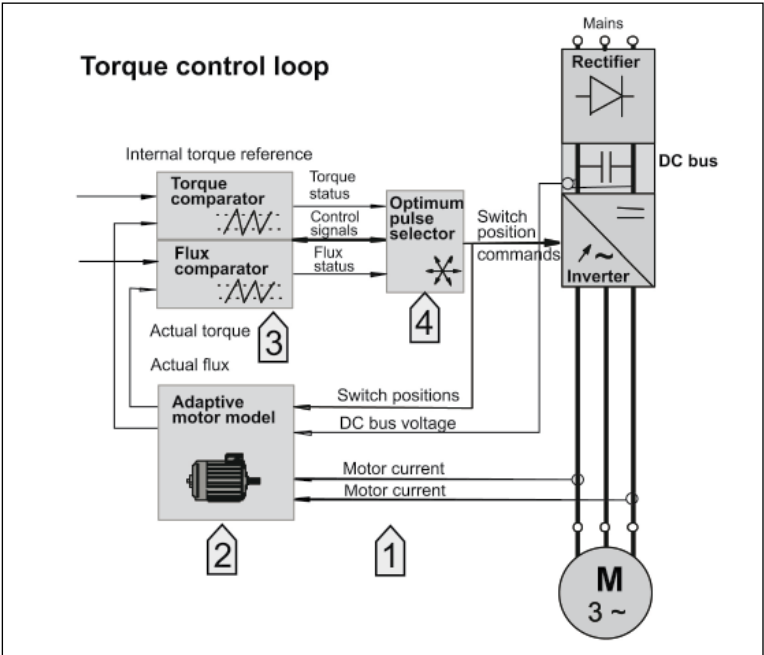


图5： DTC包括两个重要部分，速度控制和转矩控制

在框图中可以看到DTC有两个基本部分：转矩控制环和速度控制环。现在我们按顺序解读各个功能块是如何联系的。

让我们从DTC的转矩控制环开始。

转矩控制环



第一步 电压电流检测

在正常运行时，电机两相的电流和直流母线电压以及逆变器的开关状态可以简单的被测量。

第二步 自适应电机模型

从电机检测到的信息流入自适应电机模型。

精准的电机模型可以计算出精确的电机数据，在DTC传动运行之前，电机模型在电机辨识的过程中收集数据，这个过程被称为自动辨识，电机的定子电阻、电感系数和磁饱和系数与电机的惯量有关。

电机模型参数的辨识可以在电机轴不旋转的情况下进行。这使得电机在锁死状态下也可以使用DTC技术。

在辨识过程中电机轴转动若干秒，会获得更完美的电机模型参数。

如果对静态速度精度的要求和大多数工业应用场合相同，为大于0.5%，就不需要使用测速计或编码器来反馈电机轴的速度或位置。

这是一个超越了所有其它交流传动技术的重大进步。电机模型是DTC技术无与伦比低速性能的关键。

电机模型输出的控制信号直接描述了电机的转矩和磁通状态，轴的速度也是由电机模型计算出的。

第三步 转矩比较器和磁通比较器

控制功率器件开关的信号由转矩、磁通比较器产生。

实际转矩和实际磁通进入比较器，每25微秒与给定值进行一次比较。转矩和磁通状态信号采用两水平置换控制方式计算得出。

这些信号被输送到最优脉冲选择器。

第四步 最优脉冲选择器

最优脉冲选择器的内部使用的是最先进的40 MHz数字信号处理器（DSP）与专用集成电路硬件一起来确定逆变器的开关逻辑。此外，所有控制信号通过高速光纤来传输。

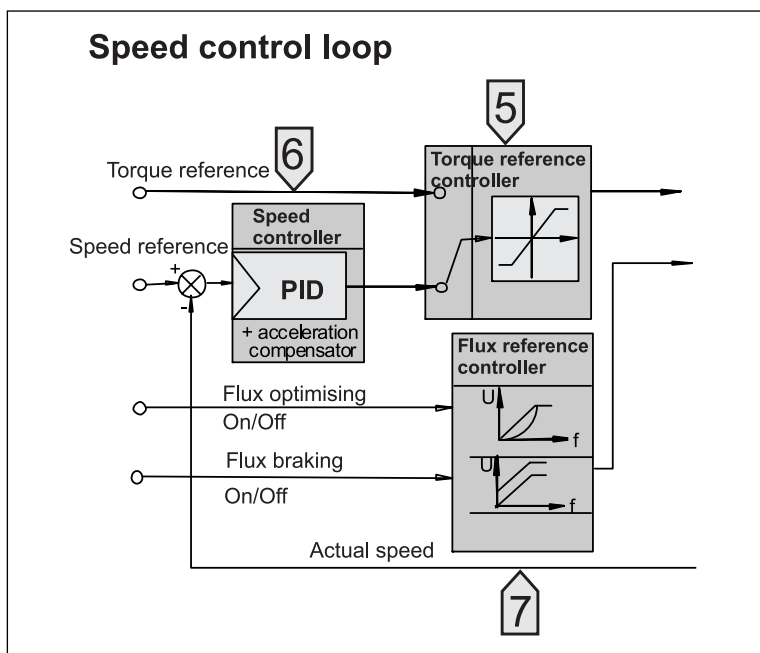
这种结构极大地提高了处理速度，每25微秒逆变器的半导体开关装置收到一个脉冲来控制功率器件的通断或保持，以保证电机转矩的精确。

每个控制周期都确定正确的开关组合。没有预定的开关模式。DTC被控制在“恰当的时间”开关，和传统的PWM传动有30%不必要的开关转换不同的是，DTC的每一次开关都是必要的。

这种高速的开关是DTC成功的基础。主要的电机控制参数每秒更新40,000次。这使得电机轴可以快速响应，所以要求电机模型可以随时更新这些数据。

正是这种处理速度，带来了包括在无编码器时±0.5%的静态速度控制精度以及低于2ms的转矩响应的高性能。

速度控制



第五步 转矩给定控制器

在转矩给定控制器的内部，速度控制输出被转矩限幅和直流母线电压所限制。

它还包括当使用一个外部转矩信号时速度控制的情况。从这个功能块输出的内部转矩给定进入到转矩比较器。

第六步 速度控制器

速度控制块由PID调节器和加速度补偿器两部分组成。外部速度给定信号与在电机模型中产生的实际速度进行比较。偏差信号进入PID调节器和加速度补偿器，控制块的输出为二者输出值之和。

第七步 磁通给定控制器

定子磁通的绝对值从磁通给定控制器发送到磁通比较功能块。控制和修改该绝对值为实现逆变器的很多功能提供了便捷的手段，比如磁通加速和磁通制动。



北京ABB电气传动系统有限公司
中国，北京，100015
北京市朝阳区酒仙桥北路甲10号D区1号
电话：010-58217788
传真：010-58217518/58217618
24小时服务热线：(+86) 400 810 8885
网址：<http://www.abb.com/drives>

3ABD58056685 REV A 中文
基于:3AFE58056685 REV C 英文
生效日期: 2010-10-01

ABB 传动

欧盟规范与调速电气传动系统

技术指导 2



ABB

ABB 传动

欧盟规范与调速电气传动系统

技术指导2

3ABD61253980版本 A
基于: 3AFE61253980 版本 D
生效日期: 2010/10/01

第一章 - 简介.....	9
本书目的.....	9
如何使用本书.....	10
责任与措施.....	10
可选列表.....	10
交叉参考.....	10
第二章 - 一般问题与回答.....	11
什么是欧盟规范?.....	11
EMC对我们有怎样影响?.....	11
什么是EMC?.....	11
什么是电磁环境?.....	12
电磁干扰的主要表现?.....	12
传动产生什么样的辐射?.....	12
怎样观察辐射?.....	13
如何避免电磁干扰?.....	13
传动制造商必须遵守EMC标准吗?.....	13
如果传动有CE标记, 还需要担心吗?.....	13
第三章 - CE标记.....	15
什么是CE标记, 它与传动的关系怎样?.....	15
CE标记代表什么?.....	15
CE标记是质量标志吗?.....	16
对于CE标记, 怎样是合规的?.....	16
对于传动的购买者, CE标记的重要性是什么?.....	16
如果购买了CE标记的传动, 需要满足技术规范的什么要求?.....	16
我是最终用户, 如果我集成一个系统, 必须有CE标记吗?.....	17
传动备件的要求?.....	17
如果我更换了一个元件, 是不是CE无效了呢?.....	17
如果传动作为元件或者配件, 就不用EMC认证或带有CE标记。是这样吗?.....	17
总结.....	18
由用户集成到装置中的元件或者配件.....	18
由制造商或者装配商集成到装置中的元件或者配件.....	18
成品.....	19
给最终用户的成品.....	19
给制造商或者装配商的成品.....	19
系统 (成品的组合).....	19
所有EMC规范的规定, 指定适用于装置的, 也适用于组合.....	20
装置.....	20

固定设备.....	20
设备	20
第四章- 电气传动系统的购买决策	21
应该具备的知识.....	21
如果你是机械制造商，要购买PDS.....	25
你必须采取的措施	26
如果你是系统设计者，要购买PDS.....	28
方法 1.....	29
你必须采取的措施	29
方法 2.....	30
你必须采取的措施	30
方法 3.....	30
你必须采取的措施	31
如果你是最终用户，要购买CDM/BDM或者PDS.....	31
你的责任.....	31
你必须采取的措施	32
如果你是盘柜生产者，要购买CDM/BDM.....	32
附加措施.....	34
如果你是分销商，要购买CDM/BDM.....	35
如果你是安装者，要购买CDM/BDM或者PDS.....	35
第五章 - 术语.....	36
技术文档(TD)	36
什么是技术文档?.....	36
为什么技术文档很重要?	36
客户能够收到一份技术文档么?.....	37
什么是技术文档的有效期?	37
我怎么确保执行过测试?	37
传动制造商还能做什么?	37
如何制作技术文档	38
1. 产品描述	38
2. 产品质量检验的过程.....	38
3. 如果选择认证机构的声明	39
4. 认证机构的行为.....	39
技术文件(机械安全方面).....	40
什么是技术文件?	40
怎么制作技术文件	40
图纸和图表.....	40
健康与安全.....	40
机械设计.....	40
其它认证要求.....	40
合格证明.....	41
如果没有完全满足标准，会怎么样?.....	41
怎么获取合格证明	41
声明	41
什么时候需要声明	41
怎么获取报告	42

符合性声明(EMC与电气安全方面)	43
怎么获取兼容性声明.....	43
什么是兼容性声明?	44
此种声明之外, 还没有其他方法吗?	45
声明都包含什么	45
型式认证.....	46
怎么获取型式认证	46
第六章 - 主管当局与认证机构	47
主管当局.....	47
认证机构.....	47
第七章 - 标准与规范	48
规范或者标准?	48
电气传动系统的统一标准.....	48
怎么识别欧洲标准	49
回答问题.....	50
哪一些标准直接涉及传动?	50
EN 61800-3 与传动的主要问题是什么?	50
怎么解决辐射问题?	51
必须遵守标准吗?	51
不遵守标准会被罚款吗?	51
产品具体标准 EN 61800-3	51
C1 类电气传动系统:	52
C2 类电气传动系统:	52
C3 类电气传动系统:	53
C4 类电气传动系统:	53
不同应用的例子	54
机械规范 98/37/EC	55
机械规范对传动的影响?	55
哪里可以获取机械规范 ?	56
低压规范.....	56
低压规范对传动的影响?	56
符合性声明为什么重要?	57
EMC规范	57
EMC规范对传动的影响?	57
谁负责保证CE标记?	58
责任的总结	59
取得EC安全规范认证	60
索引	61

第一章 - 简介

本书目的

本书的目标是对电气传动系统（PDS）相关的欧盟规范加以简要地解释。术语PDS的解释见21与22页。

在工业领域，电磁兼容性(EMC)是人们最关心的主题之一。EMC规范作为所有欧盟制定的通用安全标准的一部分，已经正式发布。

交直流电气传动系统的用户，包括机械设备制造商，系统设计者，分销商，OEM，终端用户，都可以使用本书作为实践的指导。

* 注意

1 本技术指南是ABB系列指南的一部分。对于相关内容的变更与发展，我们保留相关权力。如有变动，恕不另行通知。

2 本系列的其它技术指南：

技术指导 1 -
直接转矩控制 (3ABD58056685)

技术指导 3 -
传动系统的EMC兼容性安装与配置 (3ABD61348280)

技术指导 4 -
变速传动指南 (3ABD61389211)

技术指导 5 -
现代交流传动系统的轴承电流(3ABD64230247)

技术指导 6 -
交流传动谐波指南 (3ABD64292714)

技术指导 7 -
传动系统选型 (3ABD64362569)

技术指导 8 -
电气制动 (3ABD64362534)

技术指导 9 -
运动控制指导 (3ABD68695201)

如何使用本书

本书分7个部分。

第4部分关于电气传动系统的购买决策，请参看如下章节：

责任与措施

每个购买产品的人都应该尽到相应的责任。提高对产品的认知。

尽责必须采取行动。如果购买者按照步骤采取了行动，那么就可以确认遵守相关的规范。

可选列表

关于措施，有一些可选列表。购买者可以复印这些相关页，然后把它作为检查清单，在满足要求的选项上面打钩。

参考

由于遵循每个规范存在的复杂性，本指南将会有很多的交叉引用作为参考。你可能会看到：

在XX页定义。
意思就是可以在该页码上找到参考。

在文字中也可能看到其它参考。如果资料不清楚，就会用到其它的参考。

关键点:

在文字中，可能看到：

关键点
这些关键点是阅读时必须要注意的。

第二章 - 一般问题与解答

电气传动系统的用户必须理解各种原则与法规，以及这些法规在电气传动系统的应用，这是非常重要的。这也是本书的目的。

什么是欧盟规范？

EMC不能脱离欧盟其它法规单独存在，一定要明白这一点。因此，在了解什么是欧盟规范之前，必须参看一下其它法规，明白法规如何影响传动的购买与安装。

下面是3个简单的规范，主要关于传动的安全性，降低风险与危害。如下：

规范	生效日期	页
机械规范	1995-01-01	55 页
低压规范	1997-01-01	56 页
EMC 规范	1996-01-01	57 页

关于上面的规范，后面会有介绍。这里，首先解释一下EMC，然后了解工业领域的热点。

EMC 的影响

从1996年1月1日开始，欧盟电磁兼容性规范(89/336/EEC以及更新版本2004/108/EC) 就成为强制性规范。这个规范适用于所有欧盟范围内销售的电气电子设备，影响到了所有的这些设备的制造商与进口商。

关键点：

不满足这些法规的电气设备禁止在欧盟经济区销售。

什么是EMC？

EMC表示电磁兼容性，主要是电气/电子设备在电磁环境中的干扰/抗干扰运行问题。同时，这些设备在使用中，不能干扰其它的产品或系统。

什么是电磁环境？

事实上，每个地方都处在电磁环境之中，但是不同的地方又有所区别。原因是干扰源不同，有自然产生的，也有人为制造的。

自然界的干扰源：云层的放电，或其它大气层的干扰。我们不能影响这些自然现象，只能尽力保护我们的产品，使其免受其害。

人为的干扰源：电气连接的通断，半导体的使用，数字系统微处理器，移动发射器，对讲机，汽车电话，电气传动系统。

各种各样的设备都有它自己的辐射特点。在使用它们的时候，如果靠近其它设备足够近，那么它产生的干扰就会影响其它设备。

关键点

电气传动系统的抗干扰能力是非常重要的。传动的制造者也努力使产品具有更强的抗干扰性，法规与规范对这种抗干扰性做出了一个最低的标准，保证所有的制造商有同样的基础。

电磁干扰的主要表现？

电磁干扰有很多的表现形式。常见的典型例子有汽车引擎或发电机，电钻对电视机屏幕的影响，调幅收音机的斯斯啦啦声音。

微处理器与功率电子器件由于开关频率高，如果没有得当措施，会产生高频干扰。

传动产生什么样的辐射？

任何传动的运行会有高电压的快速通断，这会产生射频辐射。这些辐射对周围会产生200MHz以下的干扰。

现代的设备包含很多通讯设备，数字电子设备。这些设备可以产生大量200MHz以上的干扰辐射。

辐射是如何表现出来的？

主要的辐射通过导体进入主回路。

整流器与电缆的辐射是另一种类型的辐射，对要求严格的场合，尤其要加以限制。

如何避免电磁干扰？

满足两点：

- 降低设备对外的干扰
- 提高设备的抗干扰性

关键点

在电气传动系统中，效果的好坏很大程度上取决于安装水平。

电磁干扰必须导入大地，否则将影响系统正常工作。

传动制造商必须遵守EMC标准吗？

处理过程并不简单。实际上，整个过程中的每一个人都有责任保证产品/系统，安装符合必要的EMC规范的要求。

问题的关键是每个人对哪些事情负责。本书的后续部分将会提到不同类型的购买者，每一个检查步骤都应该满足前面第11页列出的标准。

从制造到安装，每个人都应该负起责任，使之满足EMC规则。

如果传动有CE标记，还要担心吗？

这是一个误解。因为传动有了一个CE标记并不意味着它能够满足EMC规范。

关键点

参考21页内容，可以清楚地了解这方面内容。

EMC规范制定CE标记并不适用于一个暴露端子的模块。

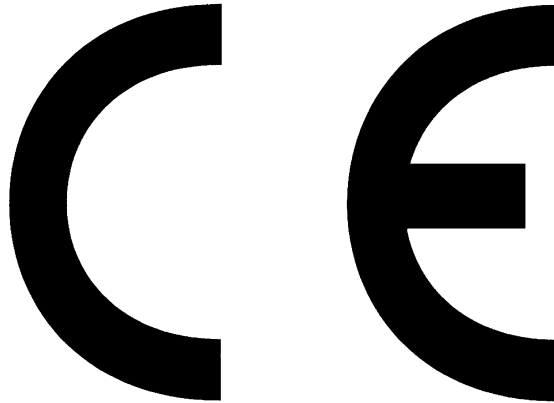
第三章 - CE标记

什么是CE标记，它与传动的关系怎样？

CE标记如下所示。

是欧盟官方对产品颁发的符合规范（见43和44页）的合格标志。
它是一个指定的图形符号，与其它标记区别开来。

CE标记代表一个认证系统，可以辨识设备是否遵从了相关标准。



如果传动涉及到几个规范，例如，自1997年之后，遵从低压规范（56页），就会强制CE认证。而这个标志也会指示传动遵从EMC规范（57页）。CE标记仅仅表明产品的制造符合规范。

关键点

注意：必须能够提供技术文档说明产品符合规范。
关于技术文档，请参看36~41页。

CE标记代表什么？

CE标记好处在于，可以得到在整个欧盟地区货物流通的授权。

CE标记产品遵从相关规范的基本要求，主要是在技术安全，兼容问题，标准评估这些方面。

关于传动，有3个相关规范，但是只要产品遵从规范中的一个，也可以标记CE。

CE 标记是质量标志吗？

基本上不是。

CE 标记是一个自我认证的过程，表示执行过认证评估。

关于CE 标记，怎样是合规的？

任何合法使用CE 标记的人必须能够证明他的行为符合授权。

CE 标记证明产品遵从了上面列出的规范 (43, 44页)。

对于传动购买者，CE标记的重要性是什么？

就传动的购买者而言，任何带有CE标志的产品都必须提供一个功能值。

因此，一个完整的传动必须可以安全的接线/上电，必须带有CE标记。

如果购买了CE标记的传动，需要满足规范的什么技术要求？

实际上，你可以在传动产品上看到CE标记。但是，首先要明白传动为什么有CE标记，也是非常重要的。

传动没有参数化的数值，仅仅是结合带有负载的电机才会有用。

因此，就机械规范而言，传动没有CE标记，只有它作为传动、电机、负载的系统组成部分，才可以有CE标记。

对于EMC规范，设备组成应该包括电缆、传动、电机。只有整个过程都遵从规范，才应该带有CE标记。因此，传动手册里面常常写有安装指导。

然而，低压规范要求传动必须是功能化的。就是说传动的参数可以编程，可以获得输入与输出信号。因此传动遵从低压规范就带有CE标记。

我是最终用户，如果我集成了一个系统，必须有CE 标记吗？

回答是肯定的。
任何系统的集成与调试都应该符合规范。

关键点

31页可以找到最终用户相关责任的更多信息。

传动备件的要求？如果我更换了一个元件，是不是CE 标记无效了呢？

规范应用之前，设备可以维修或者使用备件，修复成原来的样子。
然而，这样并不能提高设备性能使其满足规范。

对于已经按照规范开始使用的设备，用制造商提供的备件不会取消CE 标志。但是，制造商必须保证更新和类似的行为不会影响 CE 标志的标准。

如果传动作为元件或者配件，就不用EMC认证或带有CE 标记，是这样吗？

首先必须明白传动使用的术语。见下面以及21~22页。

一个完整的传动模块(CDM)通常是一个系统的组成部分，
只有在连上电机之后，组成电气传动系统，才具有功能化的数值。

如果只有简单的连接和调整，完整的传动模块(CDM)将被标记CE，并不会要求EMC知识。

如果为了安装一个CDM需要知道EMC兼容性，此时它不会作为一个设备来考虑。这样，依据EMC规范，它将不会带有CE标志。

如果完整的传动模块(CDM)或者基本传动模块(BDM)用于电气传动系统标志(PDM)，这一过程由专业制造商完成(盘柜制造，机械制造)，那么就不会有CE 标记,也不会有由CDM /BDM 制造商提供的一致声明。

为了满足CE 规范，专业制造商就需要规范指导。

总结

EMC定义设备是装置还是固定设备。

对装置或者固定设备，规范有独立的规定。因此设备的正确分类是非常重要的。

在技术与商业的分类中，会频繁的使用如下术语：元件，配件，完整仪器（成品），成品的组合（系统），装置，固定设备（组合或者搭配），设备。

关键是谁使用物品的人，是不是最终用户：

- 如果是最终用户，必须遵从**EMC**规范
- 如果是生产商或者系统集成商，**EMC**规范不必遵从

由用户集成到装置中的元件或者配件

制造商可以在市场销售元件或者配件：

- 最终用户组装装置的材料，
- 可以让最终用户使用的。

如果按照**EMC**应用，这些元件或者配件可以认为是装置。元件或者配件的使用说明包含了所有的信息，可以指导用户进行操作，接线，满足**EMC**。

在这样的事例中，元件作为装置。

某些调速电气传动产品属于此类，例如：带有防护外壳作为完整产品销售的传动，用户把它集成到自己的系统中。要遵从所有的**EMC**规范(CE)。

由制造商或者装配商集成到装置中的元件或者配件

由制造商或者装配商组成装置的元件或者配件，不作为装置，因此，不用遵从**EMC**规范。

比如：电阻，电缆，接线端子等等。

某些调速电气传动产品归入此类，如：基本传动模块（BDM）。这些产品由专业装配商（盘柜厂或者系统集成商）装配到柜体里，装配商不会再把它们作为基本产品发货。根据EMC规范，基本模块供应商应该提供安装与使用指导。

注意：

盘柜/系统的制造商或者集成商应该提供有CE标记的产品，表示该产品遵从CE规范。

成品

成品是这样的装置或者单元，它含有电气电子元件或者配件，作为完成的功能销售，有自己的外壳。

与元件相似，成品也分为两类，一类提供给最终用户，另一类给装配商或者系统集成商。

给最终用户的成品

此时的成品作为装置，必须遵从EMC规范。

给其他制造商或者装配商的成品

如果成品装配进入其他系统，集成装置，那么这样的成品就不必严格遵从EMC规范。

系统(成品的组合)

成品的组合，如果成品的设计、装配由同样的人（系统集成商）进行，最后进入市场销售，作为一个整体功能提供给最终用户，执行制定任务。

所有EMC规范，指定适用于装置的，也适用于组合。

装置

装置是成品或者组合，可以作为一个单独的功能（在市场销售提供给最终用户），产生可以接受的电磁干扰，或者在干扰下可以正常使用。

固定设备

几种类型装置，设备，元器件的特殊组合，装在预先定义好的位置，不会改动。

设备

任何装置或者固定设备。

第四章 - 电气传动系统的购买决策

应该具备的知识

23页开始，将会逐步指导如何购买电气传动系统。

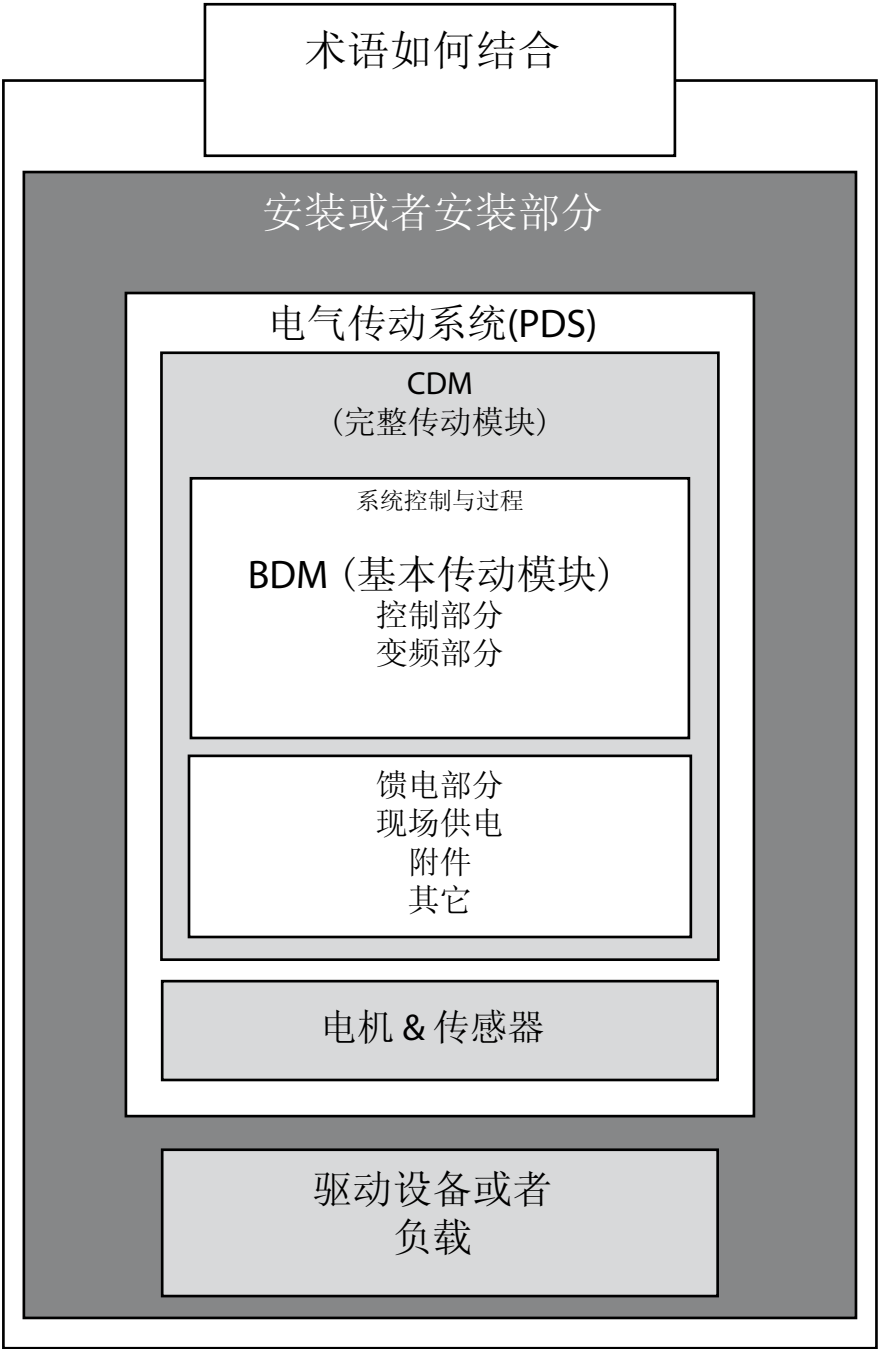
关键点

在23页之前，必须了解如下的术语，这些术语有助于理解电气传动系统以及相关元器件，而这些可能用户并不熟悉。

强烈建议：翻到22页，清楚类型

术语

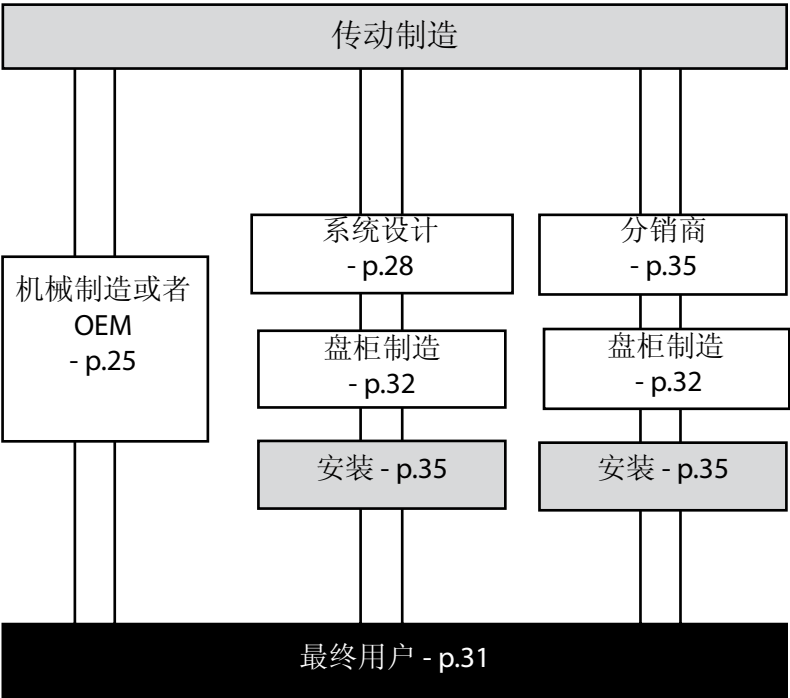
- 1.基本传动模块(BDM) 包括变频器部分和控制部分（速度/转矩）。基本传动模块是电气传动系统的必要组成部分，可以把50Hz的恒频电源变为频率可变的电源，供应电机。
 - 2.完整传动模块（CDM）， 包括传动系统，不含电机和传感器。完整传动模块（CDM）含有基本传动模块（BDM）和回馈部分。比如12脉移相变压器就可以算作CDM的一部分。
 - 3. 电气传动系统（PDS）在整本书中均出现过，包括变频器，电源供应部分(CDM/BDM) 电机，传感器，电缆，滤波器，盘柜，以及需要的其它元件。
- 注意：负载不是PDS的一部分，但是CDM可以含有供电和通风。



为了容易了解使用技术指南，必须清楚传动的购买者属于哪个类别。确认工作的功能类型，找到相关部分。

您是哪种人？		找到类别， 翻到相关 页。
<u>机械制造商</u> 购买PDS, CDM 或者BDM和其它机械或者电器元件，如：泵， 然后把这些装配成一个机械。 注意：一个机器定义为一组相互连接的部分或组件，其中至少一个组件是运动的。执行机构，控制机构，电路结合在一起，组成一个特定的应用，尤其在过程处理，移动，材料包装方面。	25	
<u>系统设计者</u> 执行电气传动系统的电气设计，指定系统需要的元器件。	28	
<u>最终用户</u> 实际使用机械，PDS或者 CDM/BDM者。	31	
<u>盘柜制造商</u> 制造盘柜，集成多个元件，包括CDM/BDM，有时候还会含有电机。空柜体不能算作一个机械。	32	

您是哪种人？	
	找到类别， 翻到相关 页。
<u>分销商</u> 在CDM/BDM制造商，最终用户，机械制造商， OEM，盘柜制造，系统设计者之间建立销售渠道。	35
<u>安装者</u> 执行PDS的电气安装。	35
<u>原始设备制造商（OEM）</u> 从传动的购买角度看，OEM归入机械制造， 系统设计或者盘柜制造。 OEM涉及更多的工作职能。	25
	28
	32



注意：阅读本部分之前，建议熟悉前面 21-24页的术语。

如果你是机械制造商，要购买PDS……

……有如下责任：

1. 因为你正在制造一个完整的机械，包括电机在内的PDS，并提供机械安全措施，那么，你必须对整套的机械和电气安全负责，遵从指定的机械规范。

因此，PDS就是制造商的最终责任。你必须确保整套PDS满足机械规范。这样才能在整套机械上使用CE标志。

2. 按照低压规范，制造商还要对所有PDS的部件的电气安全负责。
3. 制造商要保证电气设备和元件遵从EMC规范。这些元件的制造商对EMC负责。然而，机械制造商必须对机械的EMC负责。可以选择不满足EMC规范的器件，但是必须对成品负责。

注意：标有CE的配件，组合在一起，不一定就满足规范。

4. 必须保证PDS或者它的元件满足低压规范中的电气安全要求。
5. 必须能够让官方和用户确信机械的制造遵从机械规范，低压规范，EMC规范。可以通过技术文件说明遵从了规范。必须牢记只有你才应该对规范的符合负完全的责任。
6. 符合以上规范一定要说明。制造商和CE标记一定要附到机械上或者系统上。

7. 不遵从规范的机械不能销售。

你必须采取的措施

为了满足机械规范(55页)，必须：

- a. 按照如下机械安全清单目标是消除整个机械寿命期间的风险。
这不是完整清单，详细清单参见机械规范。

☐ 尽可能消除风险，如果不能消除风险，采取必要保护措施。

☐ 告诉用户潜在的风险，说明是否需要培训，增加人员保护设备。

☐ 机械设计，结构，指导要考虑非正常情况。

☐ 在使用条件之下，必须降低操作人员的不适，疲劳，压力。

☐ 制造商应该考虑到操作人员对保护措施的诉求。

☐ 机械必须装有保证安全的设备。

- b. 遵从以下安全清单：

保证PDS中低压规范所涉及的部件必须电气上安全(56页)，

必须遵循如下安全清单，下面的清单是不完整的。

☐ 电源必须有断开装置和防误起的急停装置。

☐ 设备必须提供对人员的保护，免受直接或者间接的电击。

设备在如下情况必须有相应保护：

- ☐ 短路过流
- ☐ 过载电流
- ☐ 温度异常
- ☐ 电源电压丢失或下降
- ☐ 超速

电气设备的等电位连接电路包括：

- PE 端
 - 电气设备/机械设备的可导电部分
 - 设备或者机械内部的保护导体
- ☐ 控制电路和控制功能要保证安全运行，包括自锁，急停，自动重起的保护

40页定义

c. 编辑整套机械（包括PDS）的技术文件

关键点

一般来讲，必须有CE标记和兼容性声明。

对于高风险机械设备，需要有特殊机构的特别认证(46页)。这样的设备包括在机械规范Annex IV之内。

这样的认证声明应该包括在机械技术文件或安全组件中。参看41页。

- ☐ 2. 根据所有三个规范，生产PDS的所有供应商提供的产品的认证声明，都应该包含在技术文件之中。
- 如果购买的PDS来自于系统设计者，他就要提供所有认证声明。如果系统设计者或者元件供应商不能提供认证声明，根据EMC规范和低压规范，机械设备制造商应该提供。

- ☐ 3. 把技术文件放置在指定位置，不能直接给最终用户。在技术文件的基础上，获得认证声明。

43, 45 和 46页定义

- ☐ 4. 对整套机械设备提供认证声明。
只有这样，才能使用CE标记。

- ☐ 5. 把三个规范的认证声明，都要提供给最终用户。

- ☐ 6. 使用CE标记。

- ☐ 7. 好了！现在已经达到了目的，遵从了主要的规范。

购买PDS……

……必须尽到的责任：

1. PDS是机械设备的复杂组件。因此，在声明中必须有符合机械规范的兼容性声明。
2. 因为PDS并非机械设备，所以应该遵从低压规范和EMC规范。
3. 使用CE标记和各种认证声明的责任由系统设计者和元器件供应商来负责。

产品是否作为一个单独的功能单元销售，系统设计者必须对此做出决定。

- 如果回答是肯定的。产品将会作为一个系统分类。
- 如果回答是否定的。产品作为安装分类。

A. 如果作为系统销售，系统设计者必须从如下选择其一：

方法1

所有元器件都应该遵从EMC规范

1. EMC 的效果取决于元器件的性能。
2. CE标记的责任由元器件的供应商承担。
3. PDS 是符合EMC 规范的系统
(作为单独功能单元销售)。
4. 符合性声明以及使用说明必须作为系统整体的文件。
系统设计者必须对符合规范负责。

注意 1:系统设计者负责撰写一个特定系统的整体使用说明书。

注意 2:两个以上的带有CE标记的配件，组合在一起，
不会自动满足规范要求。

5. 如果系统的每一部分都有CE，则不要求整体也有CE。

你必须采取的措施

- ☐ 1. 遵守供应商提供的所有安装指导。
- ☐ 2. 有正式的使用说明书。
- ☐ 3. 有系统技术文档。
- ☐ 4. 符合性声明。
- ☐ 5. 不要使用CE标记。

方法2

含有不遵从EMC的元器件

1. EMC 效果由系统水平决定（在使用特定滤波器下不会有累积误差）。
2. 系统设计者负担责任。
（放置位置或者指定滤波器等）
3. PDS 在市场上作为单独功能单元销售时依赖于EMC规范。
（单独功能在市场上销售）
4. 系统要求符合性声明和CE标记

你必须采取的措施

- ☐ 1. 遵循元器件供应商的安装指导
- ☐ 2. 优化结构，保证安装满足
EMC规范，如滤波器的安装

36 - 46 页定义

- ☐ 3. 提供操作系统的使用说明书
- ☐ 4. 提供系统的技术文档
- ☐ 5. 提供符合性声明与CE标记

B. 如果产品是一个装置，系统设计者要遵循：

方法3

所有元器件遵循EMC

1. EMC 效果由元器件性能决定
2. 元器件供应商对CE负责
3. PDS 是一个符合EMC规范的安装

4. 对固定设备，不需要符合性声明或者CE。(例如广播发射塔) DOC和CE是需要的。

你必须采取的措施

- ☐ 1. 遵循元器件供应商提供的安装指导
- ☐ 2. 供应商提供的安装指导与声明，都应该给机械制造商
- ☐ 3. 不要宣称CE声明，因为固定设备不需要。

2

如果你是最终用户，要购买 CDM/BDM或者 PDS

关键点：

最终用户与传动供应商达成一致，以便供应商可以担当机械制造商，然而，最终用户仍就要对机械的安全负责。

担当机械制造商的供应商，当产品完成的时候，必须有相关声明。

如果盘柜制造商把CDM/BDM集成到柜体中，就算成功制造了PDS的一部分。

盘柜制造商和传动制造商有同样的责任。

... 你的责任

1. 尽管传动只是机械的一部分，根据机械规范，也要对整套机械与电气的安全负责。
2. 根据低压规范，还要对电气安全负责。
3. 根据低压规范的电气安全要求，要保证传动符合相关的认证声明。
4. 为了证明这种权限，含有传动的机械，必须按照机械规范和低压规范制造。

5. 传动的制造商必须对传动的EMC效果负责。
6. 最终产品的制造商，要根据传动以及其他元器件制造商的指导与建议生产，并对最终的EMC效果负责。

你必须采取的措施

如下措施必须由最终用户或者机械涉及的第三方完成。

1. 为了满足机械规范(55页)，必须遵守25~28页列出的措施。
2. 为了满足EMC和低压规范，必须遵循制造商的安装指导。
3. 要保证设备(CDM/BDM/PDS)是根据制造商的指导进行的，这样可以确保操作正确。

如果你是盘柜生产商，要购买CDM/BDM

...必须尽到如下责任：

1. 盘柜生产商有两个选项：

选项A – 购买没有CE标记元器件

可以节约盘柜生产者的资金，原因是所购买的元器件没有经过EMC认证和安全性测试。

然而，盘柜生产者的责任重大，盘柜认证的成本会增加。

如果盘柜制造者购买了没有CE标记的元器件，如果元器件已经被测试，传动不需要进一步测试。
然而，已经测试的元器件没有CE标记，但执行了合适的安装指导。虽然这样的指导，是必须满足的。

选项 A – 尽责的措施

- ☐ 1. 遵循每一个元器件供应商的安装指导
- ☐ 2. 优化安装结构，确保符合EMC要求，处理好滤波器的位置
- ☐ 3. 发布关于系统的技术文档
- ☐ 4. 如果自己评估，参考EMC规范

2004/108/EC;

谐波标准:

EN 61800-3

必须参考LVD规范:

2006/95/EC

谐波标准:

EN 61800-5-1或者EN 50178

36-46页定义

- ☐ 5. 一旦完成测试，结果必须放进盘柜的技术文档之中
- ☐ 6. 技术文档由自己评估，以便阐明遵从规范。也可以找机构评估。
- ☐ 7. 必须提供盘柜的符合性声明，CE标记。

选项 B – 购买CE标记的元器件

选项 B – 尽责措施

- ☐ 1. 购买CE标记的元器件制造系统或者装置(17~20页), 取决于盘柜的特点。
- ☐ 2. 尽管盘柜制造者不必做测试, 也必须遵从安装指导, 相关指导来自于元器件制造商。注意: 两个及以上有CE标记的元器件组合在一起, 并不能保证满足规范。
- ☐ 3. 注意! 此处的指导与正式的安装指导有所不同, 原因是元器件与各自的文件相关。
- ☐ 4. 提供使用说明书, 以便操作系统或者装置。
- ☐ 5. 提供技术文档。
- ☐ 6. 提供符合性声明。
- ☐ 7. 如果作为装置, 标记CE。
如果作为系统, 不要求CE标记。

附加措施

公开市场销售的盘柜或者作为机械部件的盘柜, 两者有不同的要求:

- ☐ 1. 如果盘柜作为机械的部件, 那就要求CDM / BDM的制造商提供兼容性声明。
- ☐ 2. 兼容性声明由盘柜制造商提供给机械制造商, 机械规范CE不是必需的。因为CE标记需要兼容性声明。

关键点

声明元器件兼容性不适用于申请CE

- ☐ 3. 机械制造商需要兼容性声明，因为他要编辑技术文档，主要是关于所产机械的技术文档，在文档里面，需要说明这些符合性声明。

如果你是分销商，要购买CDM/BDM……

...必须尽到的责任:

1. 如果分销商销售包装好的产品，比如CDM和BDM，这些都来自制造商，那么，只要把安装指导给最终用户，机械制造商，或者系统设计者就可以了。
除此之外，相关符合性声明也要交给机械制造商或者系统设计者。
2. 来自制造商的安装指导和符合性声明都是有用的。

尽责的措施

1. 把所有的安装指导和符合性声明交给最终用户，机械制造商或者系统设计者。

如果你是安装者，要购买CDM/BDM或者PDS...

...必须尽到的责任:

1. 保证机械制造商或者系统设计者提供了安装指导。

尽责的措施

1. 遵循机械制造商或者系统设计者的安装指导。
2. 参考技术指南3推荐的安装指导。

第五章 - 术语

技术文档(TD)

适用范围：电气设备

责任方：电气设备制造商, 系统设计者, 盘柜制造商, OEM, 安装者

必须遵从：EMC规范, 低压规范

什么是技术文档？

技术文档(TD)：必须提供整套设备或者系统的技术文档，如果要求给出官方证明，必须能够满足EMC规范(57页)和低压规范(56页)。

技术文档包括三个部分：

1. 产品的描述。
 2. 保证符合产品认证的过程。
 3. 如果选择了第三方评估，需要提供认证机构的证明。
- 注意：使用认证机构是自愿的，由用户自己决定。

关键点

技术文档的主要内容在36~39页。

为什么技术文档如此重要？

任何人，只要在欧盟范围内销售产品，必须证明产品满足相关欧盟规范的要求，必须提供官方证明，避免再次测试。

技术文档含有恰当的符合性声明。

客户能够收到一份技术文档吗？

技术文档的主要内容是授权，因此，电气设备制造商不需要给用户技术文档或者其中一部分。

然而，如果客户需要知道产品是否符合规范，它可以从随机发送的文档中得到确认。

对于提供符合规范的声明是没有要求的，但是最终用户可能会向制造商要求。

什么是技术文档的有效期？

技术文档距离上一次相关产品的授权认证可达10年。

我怎么知道已经测试过？

整个系统的基础是自我认证与保证。欧洲的不同地区保证的方法也不同。这些法规的监控可以由主管当局通过市场控制。如果设备不能满足EMC和低压规范的要求，主管当局可以使用安全条款，（采取法律措施，强制该产品退出市场）。

传动制造商还能做什么？

制造商在把变频器安装在机械上时，可以不必与OEM和机械制造者过多的配合。因为可以使用标准装配和设计，所以没必要在TD中有什么新的内容产生。

然而，在电机控制中心安装传动的方法(MCC)必须经过周密考虑。

在电机控制中心同时安装几个传动的方法，必须考虑得更仔细，原因是高频辐射的叠加决定对MCC端的影响，交叉耦合的复杂性就更加复杂。

如何制作技术文档（TD）

1. 产品描述

(注意：你可以复印下面内容，作为选择框列表)

i. 产品类别

- ☐ a. 品牌
- ☐ b. 型号
- ☐ c. 制造商或者代理的名称、地址
- ☐ d. 装置的主要功能描述
- ☐ e. 使用环境的限制

ii. 技术描述

- ☐ a. 方框图展示产品不同功能之间的关系
- ☐ b. 相关技术图纸，包括电路图，装配图，材料清单，安装图
- ☐ c. 与其他产品、装置的连接
- ☐ d. 产品代码的描述

2. 产品质量检验的过程

i. 重要的设计基础

- ☐ a. 涉及EMC和电气安全的设计特点
- ☐ b. 相关元器件的规格
- ☐ c. 过程控制变量的解释，设计结合过程评估的解释，是否有特殊的变化，是否需要重新测试。
- ☐ d. 装置各个方面的细节

☐ e. 整体或者部分的标准列表

☐ f. 方案的解释，以便遵从规范

ii. 适当的测试结果

☐ a. 产品EMC和电气安全测试结果列表，测试报告，测试方法，等

☐ b. 逻辑过程概览可以判定装置进行的测试是不是恰当，确保是否遵从规范

☐ c. 典型配件执行的测试，与之相关的认证或者测试报告

3. 如果选择认证机构的声明

包括：

☐ i. 关于被评估装置的参考资料

☐ ii. 技术文档的注解

☐ iii. 声明中含有核实内容和设计信息的真实性

☐ iv. 在恰当的情况下，关于控制变量的过程，关于环境，安装，维护等的相关因素，应该有所说明

4. 认证机构的行为

认证机构将会研究技术文档，提供证明，该证明也会体现在技术文档中。

注意：当编辑技术文档的时候，你会需要所有来自供应商的符合性声明或兼容性声明，保证符合CE要求。选择符合性声明还是兼容性声明，取决于元器件。

技术文件(机械安全方面)

应用:机械与安全元件

责任方:机械制造商/系统设计者

要求:机械规范

什么是技术文件?

技术文件是内部设计文件,说明哪些方面以及这些方面如何满足标准的,是否按照标准进行了自我检查。

如果兼容性声明包括在一套文件中,并且该声明满足标准的部分内容且有简单的指导,帮助用户满足他的机器的其他部分标准,则该声明可以作为技术文件的一部分。

怎么制作技术文件

图纸与图表

1. 机械的总揽图纸
2. 控制回路图纸

健康与安全

1. 所有的图纸、计算、测试结果都要检查,确保机械符合基本的健康与安全要求。

机械设计

1. 当设计机械的时候,要列出基本的安全与健康要求,统一标准,其他标准和技术规范。
2. 消除机械可能会存在危险的方法。

其它认证要求

1. 如果需要,提供认证机构核发的技术报告或者认证。

2. 一份机械的指导。
3. 对于系列生产的机械，使用的控制措施要保证以后的生产持续保持符合规范。

合格证明

应用：机械/安全元件

责任方：认证机构/机械制造商

要求：机械规范

如果没有完全满足标准，会怎么样？

这种情况下，认证机构提供合格证明，证明技术文件是合适的。

怎么获取合格证明

合格证明是由认证机构颁发的。一旦认证机构创建含有所有信息技术文件，就应该颁发合格证。

关键点：

技术文件中含有合格证明的信息。

声明

应用：电气设备

责任方：认证机构

要求：EMC规范

什么时候需要声明

制造商（或者他的授权代表）的用来说明符合标准的主要方法是使用内部产品控制。如果制造商选择其他方式，他可以使用认证机构评估基础上的其他方法。

怎样获取报告

制造商应该把技术文档交给认证机构，要求认证机构作评估。制造商可以指定认证机构，认证机构提出必须评估的基本要求。

认证机构检查技术文档，评估技术文档是否恰当的说明了规范的要求。如果确认装置符合规范，认证机构就会提供说明，证明装置符合规范。

关键点：

技术文档中应该包含该说明。

报告

应用：电气设备

责任方：认证机构/合格认证机构

要求：低压规范

如果标准不能完全满足，会怎么样？

如果遇到疑问，制造商或者进口商应该可以提供认证机构的报告。这个报告的基础是技术文件。

怎么获取符合性声明

报告是由认证机构颁发的。如果认证机构认为技术文档含有必要的信息，以及设备满足低压规范的要求，就可以提供报告。

关键点：

报告应该含于技术文件之中。

什么是符合性声明 (EMC与电气安全方面)

应用:电气设备和机械的电气部分

责任方:电气设备制造商

要求:低压规范和EMC规范

怎样获取符合性声明

你必须提供如下:

1. 规范的参考文件,
2. 装置的标识(包括名称, 类型, 序列号),
3. 制造商的名称和地址, 在适用的情况下, 授权机构的名称和地址,
4. 在参考规范的日期之内, 发布符合性声明,
5. 声明的日期,
6. 关联制造商或者授权机构的身份标识, 签字

符合性声明(机械安全方面)

应用: 机械

责任方: 机械制造商

要求: 机械规范

怎样获取符合性声明

你必须提供如下:

1. 制造商或者他的授权代表的商业名称, 详细地址

2. 授权编辑技术文件的人员的名字和地址，必须在文件中说明
3. 机械的描述和识别，包括类属，功能，模式，型号，序列号，商业名称
4. 明确宣称，机械满足所有的相关机械规范
5. 在恰当的地方，标出执行EC形式试验和颁发形式试验合格证书的认证机构名称，地址，鉴定代码
6. 在恰当的地方，标出执行质量检验系统的认证机构的名称，地址，鉴定代码
7. 关于一致性标准或者其他技术标准与规范的列表
8. 地点和日期，授权代表制造商或者制造商的授权代表人员的鉴定和签字

兼容性声明

应用:机械或者组装机器的设备

责任方:传动制造商/机械制造商/盘柜生产者

要求:机械规范

什么是兼容性声明？

传动制造商必须满足机械规范的对应部分，提供兼容性声明，说明传动本身的情况，与其他设备结合的情况。

声明会说明，在制造商的范围内标准的适用范围。

这个声明含有一个限制，在机械组合之前，或者作为一个元件，符合规范之前，限制用户对设备的使用。

机械规范和国家的其他法规作为一个整体，设备要满足声明中涉及的所有要求。

声明列出了制造商必须遵守的与机械规范和低压规范相关的要求。

整套设备都必须满足规范的要求。

很简单，制造商把责任交付给机械或者系统的建造者。

有没有可能不按照声明呢？

不行。你必须明白，制造商可能只是提供机械的一部分，例如：变频器，制造商有义务确保不管是谁做的系统集成都必须检查其安全性。

机械或者系统的制造者会在机械的技术文件中，加入相关的兼容性部分。

关键点：

大多数制造商都提供包含兼容性声明的文件，用于制造PDS产品来满足机械规范。

兼容性声明都包含什么

1. 制造商或者授权代表的商业名称和地址；
2. 机械部分的描述和区分，包括通用名称，功能，模式，型号，序列号和商业名称；
3. 一个声明规范的哪些要求是适用的或者遵从的；
4. 对于国家主管机构的合理要求的回应，必须要给出一个承诺，给出机械相关信息；
5. 一个声明，直到机械按照规范最后组合完成之前，不能投入使用。

6. 声明的地点和日期，授权代表制造商或者制造商代表的签署人员的签名

型式认证

应用：机械和安全元件

责任方：机械制造商/认证机构

要求：机械规范

怎么获取型式认证

认证机构执行型式认证，在技术文件中确认提供的单元可以安全使用，执行了合适的标准。

一旦做了成功的认证，会发给型式试验认证。

第六章- 主管当局与认证机构

产品符合规范的责任由生产者承担。如果对此有所怀疑，主管当局会要求TD明示产品符合相关的规范。

当评估产品是否满足规范的时候，制造商应该能够提供第三方的证明。

目前有如下主管当局与认证机构：

主管当局

欧盟或者欧洲经济区内的主管当局，监督市场，确保危险产品不在市场上销售。主管当局有权把危险产品退出市场。

认证机构

认证机构会针对产品的型式认证，他们有自己的指导或者型式测试要求。

为了找到合适的主管当局或者认证机构，你可以联系：

欧盟委员会
欧盟执委会企业与工业总署
信息与文件中心
BREY 5 / 150
B-1049布鲁塞尔
比利时
电话： +32 2 296 45 51

或者登陆网站：

http://ec.europa.eu/enterprise/electr_equipment/

第七章 - 标准与规范

遵守标准是自愿的，但是遵从规范常常与遵守标准是一致的，简单的分开两者是非常困难的。

下列两个方面可以表明，电气传动系统或者系统的部分遵守了标准或者规范：

- 使用统一标准（EN）。
- 如果没有统一标准，或者统一标准不适用，那么使用技术文档。

关键点：

如果主管当局有要求，即使统一的标准表明一致性更容易，也推荐使用技术文档。

规范或者标准？

欧盟是各种规范的合法制定者。

与电气传动系统相关的规范是新的规范，规范中没有包含产品相关的确切数字或者极限值。规范包含的是一些基本要求，主要关于健康与安全，是作为统一标准必须强制执行的。

规范的要求来自于标准。标准给出了产品具体的数字和极限值。

在欧洲，制定标准的责任由三个委员会承担：负责安全领域的欧洲标准化委员会，负责电气设备的欧洲电工标准化委员会，负责通信技术的欧洲电信标准化组织。

电气传动系统的统一标准

为了消除欧盟或者欧洲经济区国家之间贸易的技术壁垒，成员国之间的标准是一致的。

在标准达成一致的过程中，所有成员国都根据自己的标准向委员会提出了建议。欧盟的官方杂志刊登了统一之后的标准。

按照统一标准生产的产品，整个制造过程是合法的，当在某个国家销售该产品的时候，在其他国家也可以销售并且不受任何限制。

怎么识别欧洲标准

统一标准的格式如下：

XX EN 60204-1

上面

XX = 国家代码 (如 BS = UK; SFS = Finland)

EN = 欧盟

60204-1 = 标准规范序列的举例

欧洲标准的数字排列有很好的结构序列：

- EN 50225:1996 (被冒号隔开的四位数字表示EN开始有效的年)
- EN 50157-2-1:1996 (连字符隔开的数字表示其中的某一部分)

前两位数字代表标准的分类：

- 40xxx 到 44xxx 主要是欧洲标准化委员会/欧洲电工标准化委员会的默认分类
- 45xxx 到 49xxx 主要是欧洲标准化委员会/欧洲电工标准化委员会的默认之外的分类
- 50xxx 到 59xxx 欧洲电工标准化委员会制定，其中
 - EN 50xxx 仅由欧洲电工标准化委员会颁布
 - EN 55xxx 主要是国际无线电干扰特别委员会提出
- 60000 到 69999 国际电工委员会的文档，或多或少的改变之后，由欧洲电工标准化委员会执行

欧洲标准由欧洲电工标准化委员会（CENELEC）采纳，成员国在标准前面加上国家代码（如：SFS-EN 60601-1, DIN EN 60601-1, BS EN 60601-1）。

还有一些标准状态的信息：

prEN 50082-2 = 关于标准的提案送到成员国

ENV 50 = 标准正式制定之前，必须获得成员国3年以上的实际经验

回答问题

哪些标准直接涉及传动？

目前，有三个产品指定标准(50页)，都属于欧盟规范。
它们是“EN 61800-3 调速电气传动系统标准第3部分：EMC产品标准，包含指定方法”，属于EMC规范。“EN 61800-5-1 调速电气传动系统。第5-1部分：安全要求。电气，热，能量”，属于低压标准。“EN 61800-5-2调速电气传动系统。第5-2部分：安全要求，功能安全”，属于机械规范。

除此之外，还有其它标准：

- EN 60204-1，机械的电气设备，是设备必须遵守的低压规范之外，可以遵循的以机械规范为基础的电气安全标准。
- EN 50178 依据低压规范。
- EN 61800-1/2/4 国，电气传动系统的额定数据分类(LV DC, LV AC 和MV AC PDS)。
- EN 61000-3-2 和EN 61000-3-12 是设备产生的谐波电流标准。

EN 61800-3与传动的主要问题是什么？

对于辐射，要考虑两个方面：

传导辐射：常见于供电电缆，控制连接部分测量，而辐射是在空气中传播的。

低频下的传导辐射被称为谐波，是很多电气传动系统用户熟悉的一个问题。谐波涉及 EN 61800-3 以及EN61000-3-2，适用于相电流16 A 以下。另外，谐波标准EN 61000-3-12适用于最大相电流75A。

如下分类而定：

- 相电流16 A以下
 - 特定的，1kW以上 =>没有限制。
 - 其它>指定限幅。
- 相电流16A 和75A 之间
 - 公共低压系统的设备 => 指定限幅
 - 其它系统的设备 => 指定限幅

要传导辐射符合规范，可以通过良好的设计很容易的实现，多数情况下，单传动还可以使用滤波器。

辐射发射：这种辐射会产生更多问题。使传动的外壳融入法拉第笼，那么，所有的辐射衰减就有可能接到地上，实际上，这是把辐射引导到外部的连接，可以把与附近电缆的辐射、交叉耦合降低。重要的方法是屏蔽电缆和360度接地。

怎么解决辐射问题？

最重要的方法是良好的安装，紧密防护，屏蔽电缆，360度接地。（见技术指南3）。

必须遵守标准吗？

标准的使用是自愿的，但是在实际上，仅遵从规范，而不应用谐波标准是困难的。

不遵守标准会被罚款吗？

肯定会。不遵守规范是严重的事情。

产品具体标准EN 61800-3

这个标准定义了PDS的干扰性与抗干扰性的标准和测试方法。在欧洲，这个标准高于所有通用的或者以前使用的EMC标准。

标准定义了设备使用的两个环境：

第一环境

- 主要包括民用环境，还包括为民用目的直接连接到低压电网，没有经过中间变压器的建筑。房屋，寓所，商业建筑或者办公室都是此类的例子。

第二环境

- 主要包括那些直接连接到民用低压电网之外的所有设备。工业领域里面，有指定变压器供电的设备是第二环境的例子。

这个标准把PDS和元器件，按照使用目的，分为四大类：

C1类PDS:

PDS的额定电压低于1000V，在第一环境中使用。PDS(或者 CDM)作为“完整产品”销售给最终用户。

描述：

进入市场销售。如果满足EMC规范，可以自由销售。

要求EC符合性声明和CE标记。

PDS制造商对PDS在指定条件下的EMC表现负责。

附加的EMC措施可以用通俗易懂的方式描述，可以由外行执行。

如果PDS/CDM集成到另一个产品中，那么，最终产品的EMC表现由最终产品的装配商负责，在装配过程中，遵守制造商的建议和指导。

C2类PDS:

PDS的额定电压小于1000 V, 既不是插在装置里，也不是一个可以移动的装置，由专业人员安装和调试。

PDS(或者CDM/BDM)集成到一个装置，系统或者安装中。

描述：

进入市场销售。专业的装配或者安装者，就是对EMC有相应能力水平的人，才能够正确安装PDS(或者CDM/BDM)。PDS(或者CDM/BDM)的制造商对安装指导负责。要求EC符合性声明和CE标记。

如果PDS/CDM/BDM集成到另一个产品中，那么，产品的EMC表现由最终产品的装配商负责。

C3类PDS:

PDS 的额定电压1000V以下，第二环境中使用。

PDS (或者CDM/BDM)作为完整产品销售给最终用户，或者集成到装置、系统或者安装中。

描述

进入市场销售。符合EMC规范，可以自由销售。要求EC符合性声明和CE标记。

PDS制造商对PDS在指定条件下的EMC表现负责。附加的EMC措施可以用通俗易懂的方式描述，可以由外行执行。

如果PDS/CDM/BDM集成到另一个产品中，那么，产品的EMC表现由最终产品的装配商负责。

C4类PDS:

PDS 的额定电压在1000V及以上或者额定电流在400A及以上，或者用于第二环境中的复杂系统。

PDS (或者CDM/BDM)集成到装置，系统或者安装中。

描述

C4类要求除了射频辐射之外的所有EMC要求。当在预定的地点安装，才进行评估。因此C4类PDS作为成品对待，没有EC符合性声明和CE标记的要求。

EMC规范要求随机发送的文档能分清固定安装、它的电磁兼容性特点、责任人，指明应该采取的预防性措施，不能简单的为了符合要求，做出妥协。

作为C4类PDS(或者CDM/BDM)，为了满足以上的要求，用户和制造商应该就EMC的规划达成一致，以满足预订应用的EMC要求。在这种情况下，用户定义EMC环境特点，包括整个安装和附近的环境。PDS的制造商应该提供典型辐射水平的信息，和安装指导。最后的EMC表现由安装者负责(如：遵循EMC计划)。

调试后，如果C4类PDS有不遵从规范的地方，标准含有测量外部辐射是否超过限幅的过程。

关于不同方法应用的例子

1. 民用或者工业应用的BDM，销售不受应用的控制

制造商应该对EMC负责，即使是外行也可以取得很好的EMC效果。尽管EMC规范适用于装置和固定安装(通常的元器件排除在外)，但它也说明由最终客户集成到装置中的元器件，比较容易受到电磁干扰的影响。因此，如果最终用户购买的元器件位于框架之外，当把它用于机械的时候，就不用担心是否遵从了规范。所以，这些元器件遵从规范和CE标记的责任由制造商负责。根据C1或者C3类的类别决定安装位置是允许的。

2. PDS 或者CDM/BDM用于民用或者工业目的，销售给专业装配商。

这些是作为配件销售给专业装配商的，这些配件会集成到机械，装置或者系统中。使用条件在制造商的文档中制定。技术数据的交流会令EMC的解决方案得到优化。除了C1类和C3类，C2类也是允许的。

3. PDS 或者CDM/BDM用于安装使用

使用条件是在下订单的时候确定的。因此供货商和客户之间技术数据的交流是可能需要的。包括不同的商业单元(PDS，机械，过程控制等)。

安装中系统的组合应该加以考虑，以便决定减轻辐射的方法。谐波补偿是一个明显的例子，但要考虑技术和经济上的原因。

除了C1, C2 和C3类，C4类也允许使用。

4. 机械中使用的PDS 或者CDM/BDM

与应用装置（机械）结合使用的PDS 或者CDM/BDM，例如吸尘器，风扇，水泵或者此类装置相似的变频器(E.Q.BDM的配件)都属于此类元器件。它们没有属于自己的本质功能给用户，但是可以销售给专业安装者，集成到机械，装置或者系统中。它们不能直接销售给最终用户。

因此，从EMC规范观点看PDS/CDM/BDM是一个元器件，应该排除在外。机械制造商应该为所有EMC问题负责。PDS/CDM/BDM的制造商应该提供安装、维护、和操作指导给机械制造商，以便可以取得符合EMC规范的满意效果。

否则，推荐使用C1, C2, C3或者C4类PDS/CDM/BDM，不使用没有符合规范的传动。

机械规范98/37/EC

机械规范对传动的影响？

机械规范涉及所有的组成机械的元件，其中至少有一个部分是可以移动的，并且要有必要的控制设备，控制回路，电源回路。

机械规范涉及所有的机械，但是像电梯一类的负载排除在外，因为此类负载有特定的规范。

新的机械规范2006/42/EC已经出版。旧的规范98/37/EC可以沿用到2009年12月29日，本指南在未来会有新规范的变化。

关键点:

至于传动，新版EN 60204-1，已经发布。老版本可以用到2009年6月1日。2009年6月1日之后，只能适用新版本。

对于完整传动模块(CDM)，没有可以给用户的功能值。在有效的使用之前，需要把电机与传动耦合。因此，不能带有机械规范的CE标记。

哪里可以获取机械规范？

为了获取一本机械规范，你可以联系当地的主管当局，或者从欧盟网站下载。（<http://europa.eu.int/eur-lex/>）

低压规范

低压规范对传动的影响？

2006/95/EC

该规范涉及的电气设备正常电压从50 V 到1 kV AC 和75 V 到1.5 kV DC。

低压规范的目的是保护机械的、电气的、消防的、辐射的危害。确保在市场上销售的产品是安全的。

PDS的所有部分，包括变频器，电机和齿轮箱，都必须遵从低压规范。

为了保证产品与规范的一致性，制造商必须提供符合性标准。这是表明产品符合规范要求的证明。

如果产品遵从规范，就会有符合性声明，就可以带有CE标记。

对于电气传动系统，每个部分都需要符合性声明。完整传动模块（CDM）的符合性声明，电机的符合性声明，必须由制造商提供。

关键点:

大多数制造商生产的PDS/CDM，使用的符合性声明都满足低压规范。传动装柜，可以从上面连接电源、完成合闸，不需要多余的操作。这是与开放式操作屏(BDM)比较，开放式操作屏是一个元件，需要防护。

符合性声明为什么重要？

关键点:

没有符合性声明，CDM不能带有CE标记，因此就不能在欧洲经济区销售，也就不能在任何系统使用。

EMC规范

EMC规范对传动的影响？

2004/108/EC

EMC规范的目的是让产品或者系统最终达到电磁兼容性。规范要让产品的对外辐射足够低，不能影响其它产品的正常工作。

EMC规范涉及两个方面：

- 产品的抗干扰性
- 产品的辐射

规范建议，当设计一个产品的时候，应该考虑EMC，事实上，仅仅通过设计环节，EMC并不能够完全被处理，可以通过量化的测量。

关键点:

大多数传动有CE-标记。然而，某些情况下，传动是机械或者过程设备/系统的一部分，作为元件，此时，不必遵从EMC规范。

机械制造商，必须最终负责，保证含有PDS和其它电气设备的机械，满足EMC规范。

在制造过程的每个阶段，从元件到系统，每个制造商都应该对规范的适用性负责。这可以在指导中找到如何安装设备，而不产生问题。不是指手册中有一系列符合性声明。

谁负责保证CE标记？

变频器很可能是电气传动系统唯一的部分。

但是，整个系统或者机械必须满足EMC规范。

因此，传动制造商可以选择是否把CE标记放到变频器上，表明遵从EMC规范，或者作为元件没有遵从EMC规范。

关键点：

最后保证产品符合EMC的人，要负起责任。

机械制造商或者系统供应商，必须对机械或者系统，包括传动、电气电子设备在内，负起责任，使其满足EMC要求。

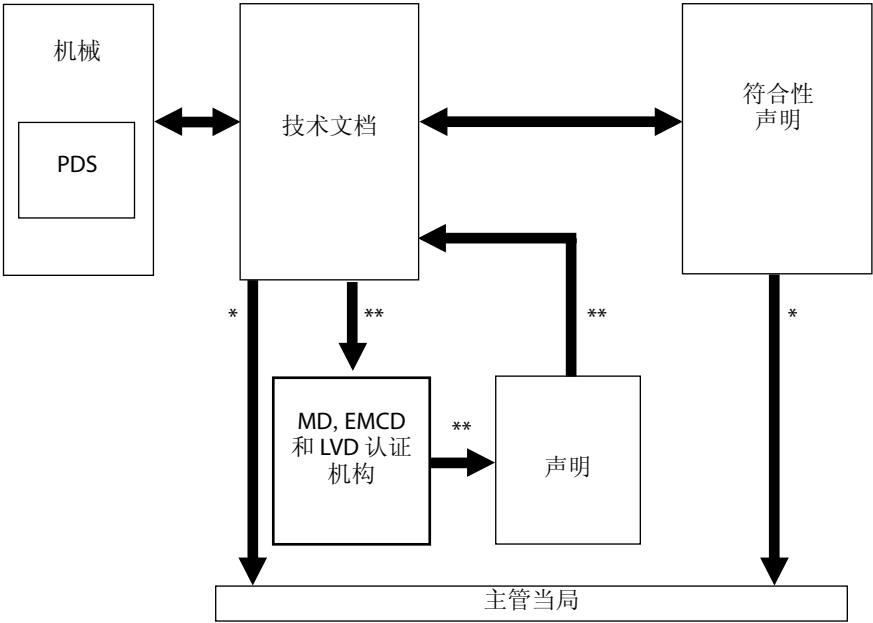
传动制造商能够帮助机械制造商或者系统供应商，通过提供的BDM/CDM/PDS，使其满足EMC规范和CE认证。

责任的总结

在含有PDS的系统中，制造商应用EC规范的责任总结：



取得 EC 安全规范认证



- * 市场监管要求
- ** 制造商选择，可选的步骤



北京ABB电气传动系统有限公司
中国，北京，100015
北京市朝阳区酒仙桥北路甲10号D区1号
电话：010-58217788
传真：010-58217518/58217618
24小时服务热线：(+86) 400 810 8885
网址：<http://www.abb.com/drives>

3ABD61253980版本 A
基于: 3AFE61253980 版本 D
生效日期: 2010/10/01

ABB 传动

传动系统的EMC兼容性安装与配置



ABB 传动

传动系统的EMC兼容性安装与配置

技术指导 3

3ABD61348280 版本 A 中文
Based on: 3AFE61348280 版本 D 英文
生效日期: 2010-10-01

第一章 - 介绍.....7

 概述.....7

 本指导目的.....7

 设备连接指导.....7

 谁是制造商?.....7

 制造商的责任.....7

 作为OEM的制造商.....8

 作为制造商的系统集成商或盘柜厂.....8

 定义.....8

 实际的系统安装.....8

 接地原则.....9

 产品手册.....9

第二章 - 定义..... 10

 PDS 的电磁兼容(EMC)..... 10

 抗扰度..... 10

 发射..... 10

 电气传动系统..... 11

 设备类型..... 12

 由最终用户组合成设备的元件或者部件..... 12

 由其他制造商和组装厂商组合成设备的元件或者部件..... 12

 成品..... 13

 针对于最终用户的成品..... 13

 针对于制造商和组装厂商的成品..... 13

 系统(成品的组合)..... 14

 设备..... 14

 固定安装..... 14

 装置..... 14

 EMC的CE标志..... 14

 安装环境..... 15

 第一环境..... 15

 第二环境..... 16

 EMC发射限制..... 16

 C1 类 PDS..... 16

 C2 类 PDS..... 16

 C3 类 PDS..... 16

 C4 类 PDS..... 17

第三章 - EMC 解决方案..... 19

 概述..... 19

 EMC 兼容性解决方案..... 19

 发射..... 19

 传导性发射..... 19

电磁辐射.....	20
屏蔽.....	20
电缆和布线.....	20
安装.....	21
“干净”侧与“肮脏”侧.....	21
RFI 滤波器.....	22
RFI 滤波器的选择.....	23
RFI 滤波器的安装.....	23
第二层屏蔽的选择.....	23
外壳过孔.....	24
360° (高频) 接地.....	25
使用电缆套管进行高频接地.....	25
带有导电套的高频接地.....	26
360° 在电机处的360°接地.....	27
控制电缆的导电衬套.....	28
控制电缆的导电衬套.....	28
附件的安装.....	29
内部接线.....	29
控制电缆及接线.....	31
动力电缆.....	32
传输阻抗.....	33
铁氧体磁环的使用.....	33
简单安装.....	35
典型安装.....	35
 第四章 - 现场实例.....	 35
小于100 kVA旁路系统的例子.....	36
12脉传动的典型实例.....	37
EMC 计划实例.....	39
 第五章 - 参考文献.....	 41
 第六章 - 索引.....	 42

第一章 - 介绍

简介

本指导帮助设计和安装人员，用来确保用户使用交流传动的系统能够符合所要求的EMC标准。

本指导目的

本指导是针对于原始设备制造商(OEM)，系统集成商，盘柜厂等等。用来设计或者将交流传动产品和一些辅助元件安装到用户自己的柜体和系统中。其中辅助单元包括接触器，开关，熔断器等。接下来的指导会介绍如何满足EMC要求以及必要时如何获得CE标志。

3

设备连接指导

三类关于交流传动的标准分别是：机械类，低压类和EMC类。关于这些指导的要求和原则以及CE标志的使用在2号技术指导“EU 委员会指导和调速传动”中有描述。本文档只针对于EMC类指导。

谁是制造商？

根据EMC指导(2004/108/EC)，对于制造商给出如下定义：“负责设计和构建某种设备的人，这种设备遵守EEA市场准则。任何人更改或利用设备，而制造出另一种新的设备都可以称作制造商。”

制造商的责任

根据EMC标准，制造商有责任在每一个设备上粘贴CE标志。同样，制造商有责任撰写和升级技术文档(TD)

作为OEM客户的制造商

众所周知OEM客户利用自己的品牌和标志来销售设备。典型的更改方式是更改标志，商标或者标志类型，从而制造出一种全新的设备。

变频器作为OEM产品的销售被认为是模块(完整传动模块CDM或者基本传动模块BDM)。设备是一个实体并包括终端用户使用的手册等。因此，OEM客户有考虑设备EMC的责任，并且应该发布设备符合性声明和设备技术文档。

作为制造商的系统集成商或盘柜厂

根据EMC标准，系统被定义为某些种设备，最终产品或者元器件的组合。并且设计以及组装是由一个人(系统制造商)来完成。这些设备会最终投放到市场，对于用户来说作为一个单独功能单元；或者被安装和控制用来执行某种特殊的任务。

系统集成商或者盘柜厂商往往承担这种工作。因此，系统集成商或盘柜厂商是唯一的并且应最终的考虑关于系统EMC的责任的人。他们不能忽略对于供应商的这种责任。

为了帮助系统集成商，ABB Oy 提供关于每种产品的安装指导以及EMC指导(本手册)。

定义

对于传动系统的EMC产品标准EN 61800-3 (或者 IEC 61800-3)是一种重要的标准。标准的术语和定义同样用在本指导中。

实际的系统安装

本指导提供使用的EMC实例以及解决方案，它们并没有在产品手册中描述。这些解决方案能够直接被OEM或者系统集成商以及盘柜厂商使用。

接地原则

交流传动的接地和接线原则在手册“交流传动的接地和接线”3AFY 61201998中描述。同样也包括关于干扰现象的简要描述。

产品手册

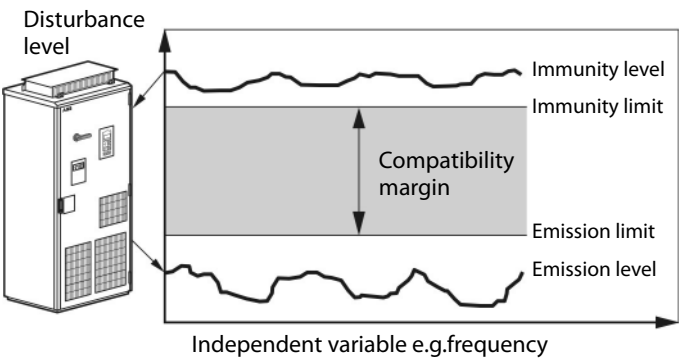
包括安装，产品使用，电缆选型等等的细节信息。本指导通常和产品手册一起使用。

第二章 - 定义

PDS 的电磁兼容 (EMC)

EMC代表电磁兼容，表示电子设备在电磁环境中正常工作的能力。同样，在他的安装位置，设备不能干扰其他的设备。这是EEA中所有工作设备的法律要求。这个术语通常定义兼容性。如图2-1：

图 2-1 免疫和发射兼容性



变频调速系统通常被表述成为一个干扰源，这就要求设备每一部分连接，包括电气或者空气连接，都符合EMS标准。整个系统的弱点通常是其最弱的一点的概念在此处有效。

抗扰度

电子器件在高频或者低频环境中应该具有抗扰度。高频现象，包括静电放电 (ESD)，高速脉冲，电磁辐射，无线电高频干扰和电涌等。典型的低频现象有电压谐波，电压跌落和电流不平衡。

发射

来自于变频器的高频发射源是快速的功率开关元件，例如IGBT和控制元件。这种高频发射可以由传导和辐射来传播。

电气传动系统

作为整个装置的一部分，传动在EMC产品标准EN 61800-3被描述。根据该标准，一个传动可以被认为是一个基本的传动模块(BDM)，或者是一个完整的传动模块(CDM)。

建议所有的设计和安装人员都要熟悉该标准。所有的标准都符合国际标准体系。

OEM系统集成商或者盘柜厂商生产的设备可以单独组成传动系统(PDS)部件，或者在一个配置中有多个PDS。

在本指导中表述的解决方案用在传动中，但是在某种程度上，可以扩展到所有的设备上。本指导给出了原理和实际应用中EMC案例，他们都可以应用到用户的系统中。

3

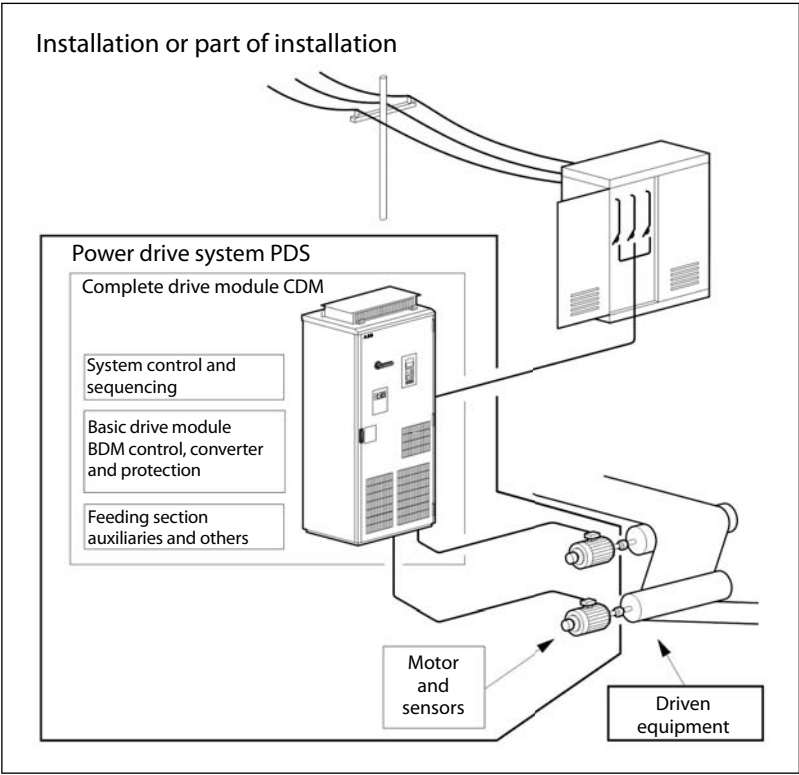


图2-2 传动中使用的缩写

设备类型

EMC标准(2004/108/EC)规定设备为固定安装的装置或者仪器。由于对于设备存在很多单独的保护，设备(PDM, CDM 或者BDM)需要确定正确的目录。

在技术-商业级别，以下的术语经常被用到：元件，部件，成品，成品组合，仪器，固定安装的装置和设备。

这些关键词是否是针对于最终用户：

- 如果针对最终用户，需要遵守EMC标准；
- 如果针对制造商或者组装厂家，可以不遵守EMC标准

由最终用户组合成设备的元件或者部件

制造商可以将元件或者部件投放于市场，针对于：

- 由最终用户组装成设备
- 有可能被最终用户使用

这些元件和部件称之为符合EMC应用的设备。这些元件或者部件的使用说明包括相关的信息，同时应该假设最终用户已经执行了校正和连接，且没有意识到EMC要求。

在这种情况下，元件相当于设备。变频器就属于这一范畴，也就是带有外壳的传动以整体单元(CDM)方式出售给最终用户，最终用户将它们安装在自己的系统中。所有的EMC标准都要遵守(CE标志，EC符合性声明和技术文档)。

由其他制造商和组装厂商组合成设备的元件或者部件

由其他制造商和组装厂商组合成设备的元件或者部件不能称作“设备”并且不属于EMC标准范畴。这些元件包括电阻，电缆，终端电阻，等等。

一些变频器也在这一范围，比如说基本传动模块(BDM)。它们由专业的组装厂商组装(盘厂或者系统制造商)或成柜，但是它们并不再BDM的制造厂商的发货范围。根据EMC标准，BDM供应商的要求是要为安装和应用提供使用说明。

注意：

系统制造商或者组装厂商有责任提供CE标志，EC符合性声明和技术文档

成品

成品是指任何包括电子或电子元件以及部件的单元或者设备，并且具有一定的功能同时有自己的外壳。与元件相同，对于成品的解释可以分成两部分：对于最终用户，对于制造商或者组装厂商

3

针对于最终用户的成品

从EMC标准上来看，如果这个成品是针对于最终用户，并且实现所有的标准，那么这个成品称之为设备。

作为电气传动系统(PDS)或者传动模块(CDM)，变频器产品就是属于这一范畴。这时，所有的EMC标准(CE标志，EC符合性声明和技术文档)都适用。传动制造商应该对CE标志，EC符合性声明和技术文档负责。

针对于制造商和组装厂商的成品

当成品是专门针对于公司用于工业组装操作，从而制造另外一种设备时，从EMC标准上来看，它并不能称作是一种设备。同时，EMC标准不能应用到这样的成品上。

属于这一范畴的变频器产品时基本传动模块(BDM)。当由另一个制造商或者组装厂商组装的设备时，这种方法于元件或者部件的是相同的。所以制造商或者盘柜商对于关系到EMC标准的行为负有责任。

系统(成品的组合)

由同一元件组成或者对于最终用户是作为单独功能的单元投放于市场，或者为了执行特殊任务而被安装和操作的设备称之为系统。

所有为设备定义的**EMC**标准，都可以整体应用到组合上。变频器就是这一类产品。所以变频器制造商应对关于**EMC**标准的所有行为负责。

设备

设备是指任何成品或者作为单独功能单元的组合，并且是针对于最终用户，同时容易产生电磁干扰，或者容易受到这种干扰的影响。

固定安装

一些元件，设备的特殊组合。这些组合主要指在预定地点永久性使用的安装。

装置

任何设备或固定安装

EMC的CE标志

由最终用户组装设备的元件或者部件需要为**EMC**标准使用**CE**标志。

由制造商或者组装厂商组装设备的元件或者部件不需要为**EMC**标准使用**CE**标志。

注意：产品可能为其他标准使用**CE**标志，而不是**EMC**标准。

设备和系统必须使用**CE**标志。

固定安装需要满足指导的不同部分，但是并不需要**CE**标志。



图 2-3 CE标志

安装环境

PDS可以连接到工业环境或者公共电网。环境等级取决于PDS连接到供电系统的方式。根据EN61800-3标准环境等级分成第一环境和第二环境。

3

第一环境

“第一环境包括民用的设备。同样包括不带有中间变压器时直接连接到低压供电电网，这样的电网供建筑用电或者民用。”

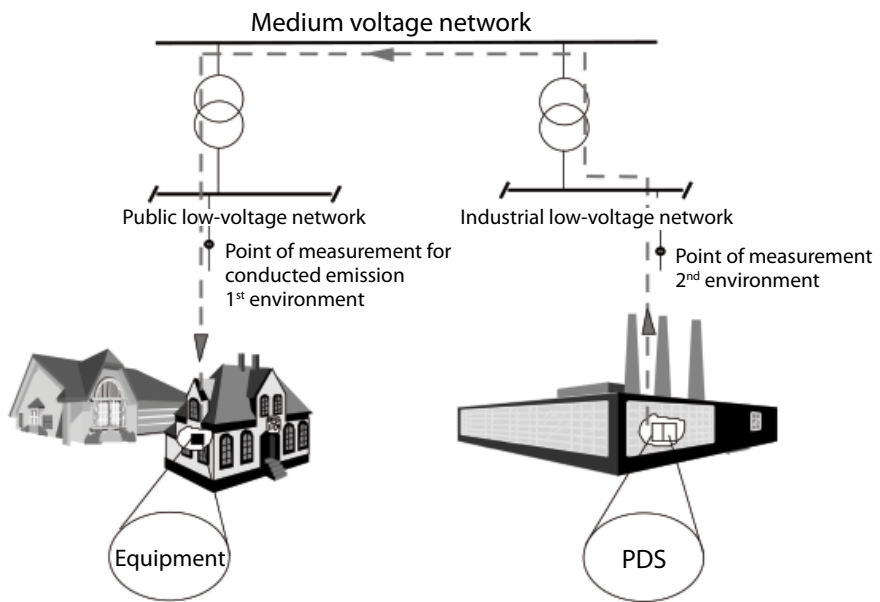


图 2-4 环境等级和干扰传播的说明。

第二环境

“第二环境包括所有的非民用的低压电网的供电设备，并不是直接连接到供建筑用电或者民用的低压电网。”

EMC辐射限制

根据使用目的，产品标准EN61800-3将PDS分成四个部分。在欧洲，这种标准的优先级高于所有的符合EMC标准的普通产品家族。特定条件的限制能够使用下图(见图2-5)进行选择。

C1类的PDS

额定电压小于1000V，或者应用在第一环境中的PDS(或者CDM/BDM)。一个PDS(或者CDM)以“实际建造”的方式出售给用户。

PDS制造商对于在特定条件下PDS的EMC行为负责。额外的EMC测量以简单易懂的方式被描述，并且能够被一个外行执行。

当PDS/CDM与其他产品组合使用，那种产品导致的EMC行为应该是成品组装者的责任。主要遵循制造商的建议和指导。

C2类的PDS

额定电压小于1000V，并且不是一个设备的插件，同时也不是一个可移动设备，且安装和调试是由专业人员完成的PDS(或者CDM/BDM)。一个PDS(或者CDM)以与一种设备、系统和安装组合的方式出售给用户。

当一个PDS/CDM/BDM与其他产品组合的时候，这种产品导致的EMC行为是成品组装者的责任。

C3类的PDS

额定电压小于1000V，并且应用在第二环境中的PDS(或者CDM/BDM)。一个PDS(或者CDM)以“实际建造”的方式出售给用户或者以与一种设备、系统和安装组合的方式出售给用户。

PDS制造商为在特定环境下安装的PDS的EMC行为负责。额外的EMC测量以简单易懂的方式被描述，并且能够被一个外行执行。

当PDS/CDM与其他产品组合使用，那种产品导致的EMC行为应该是成品组装者的责任。主要遵循制造商的建议和指导。

C4类PDS

额定电压等于或者大于1000V，或者额定电流等于或者大于400A，或者应用在第二环境中的复杂系统的PDS（或者CDM/BDM）。

C4类设备包括所有EMC设备，除了无线频率发射。当它被安装在指定位置时才能满足标准。因此C4类的PDS被认为时固定安装，并且不要求EC兼容性声明或者CE标志。

EMC标准要求附属文档来确认固定安装，电磁兼容特性和人员责任以及预防措施，用来确保安装过程中的一致性。

为了遵守以上的C4类PDS(或者CDM/BDM)要求，用户或者制造商应该在应用中遵守EMC计划来符合EMC要求。在这种情况下，用户定义包括全部安装和周边的环境特性的EMC特性。PDS制造商应该提供针对于安装过程中PDS的基本的发射等级以及安装指导。最终EMC行为时为安装人员负责(即遵循EMC计划)。

当调试后不满足C4类的PDS，那么标准包含在安装边界外测量发射极限的过程。

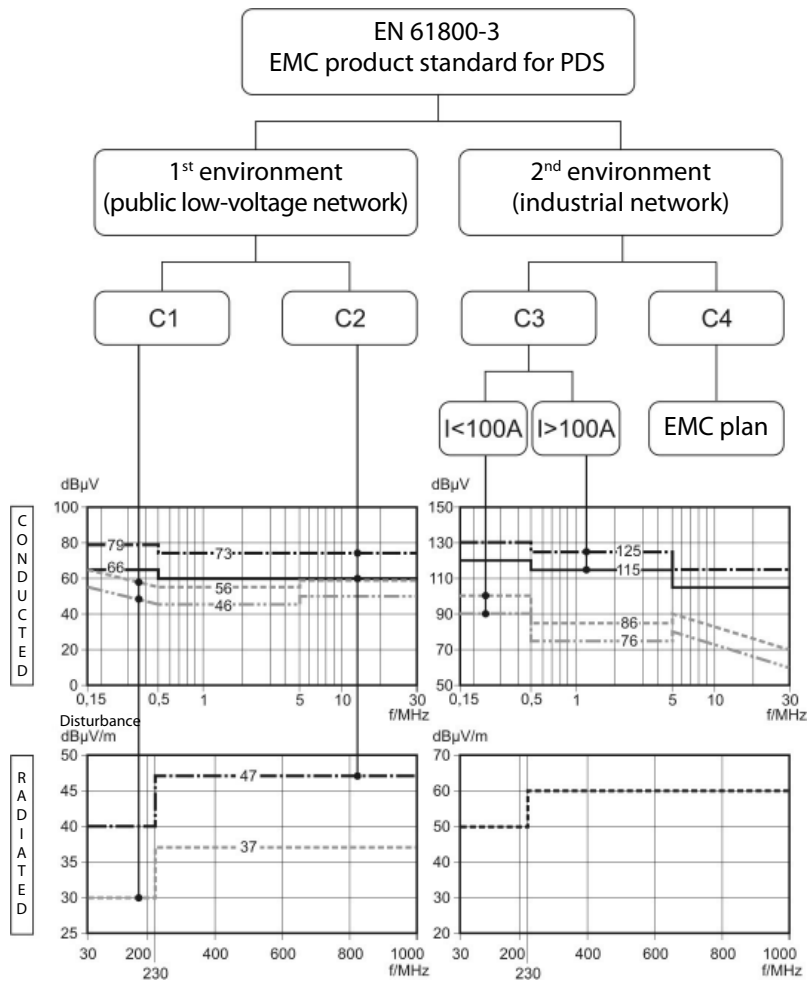


图 2-5 PDS的辐射限制

第三章 EMC解决方案

概述

本章主要描述了实现抗扰度的解决方案，以及辐射和传导性发射的要求。

EMC兼容性解决方案

当使用和设计传动系统尤其是带有交流传动产品的系统时，需要遵守一些基本原则。当在最初设计和构建产品的时候会使用相同的原则。例如，印刷电路板，机械设计，布线，电缆端子以及其他一些问题都需要细致的考虑。

发射

发射可以分成两个部分，传导性发射和辐射性发射。如下图所示，干扰可以由很多种方式发生：

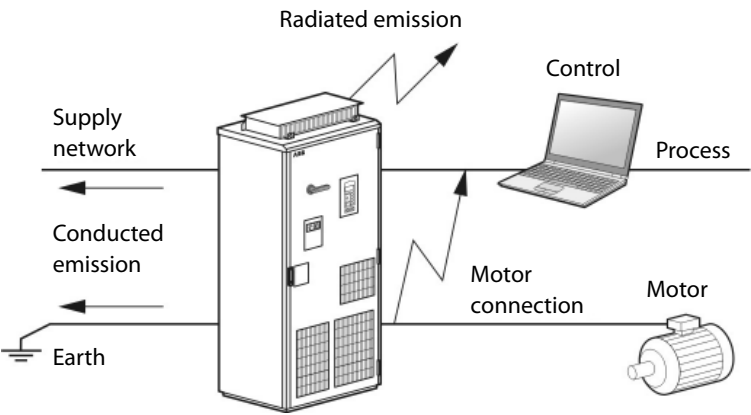


图 3-1 发射

传导性发射

传导性发射可以传递到其他设备，通过所有的导电器件，包括电缆，接地线以及金属框架。

传导性发射能够用如下方法衰减：

- 使用RFI滤波器抑制高频干扰
- 在功率连接点使用铁氧体磁环
- 使用交流或者直流斩波器(抑制谐波同时减少高频干扰)
- 使用LCL滤波器在再生传动场合
- 使用du/dt 滤波器

电磁辐射

通过使用法拉利笼，可以在空间范围内避免传动系统的所有干扰。PDS包括柜体，辅助控制柜，电缆，电机等等。

一些保证法拉利笼连续性的方法如下：

屏蔽

- 屏蔽必须到有一个非涂漆的防腐蚀接触点，通过该点其他的金属铜盘，柜门等等都与之连接。
- 采用导电衬垫的非涂漆的金属与金属的连接应该广泛的应用
- 使用非涂漆安装套件，保证良好接地，并保证所有的金属部分都要接地，并形成一个新的接地路径。
- 在柜门处和盖子处使用导电衬垫。使用金属盖板将“肮脏”部分与“干净”部分隔离
- 壳体上的小孔要求最小

电缆&布线

- 对于动力电缆屏蔽层的高频接地可以使用特殊的高频电缆端子
- 动力电缆屏蔽层的高频接地可以使用导电衬套
- 使用屏蔽的功率和控制电缆。参考特定的产品手册
- 不允许电缆屏蔽层损坏
- 在MHz范围内选择低阻抗的屏蔽连接
- 功率和控制电缆分开布线
- 使用双绞线防止干扰
- 如果必要，可以使用铁氧体磁环防止干扰
- 正确选择和布置内部线路
- 参考指定的手册

安装

- 所使用CDMs的辅助设备应该都带有满足EMC和低压标准的CE标志，除非它们是由制造商或者组装厂商组装在一个设备中。
- 根据制造商的指导安装和选择元器件。
- 对于壁挂式安装，剥去电机电缆的外皮，露出足够的铜线屏蔽层，这样屏蔽层可以盘在辫子上。保证这个辫子能够以最近的距离接地。
- 对于柜体式安装，将电缆置于柜体内部。将电缆屏蔽线在柜体进线处进行360°度接地。参考产品指定的手册。在电机端子处360°接地。参见电机手册。

3

“肮脏”和“干净”侧

在CDM与供电单元的连接处和滤波器的起始处之前，电路可以被认为是“干净”侧。能够引起干扰的BDM部分属于“肮脏”侧。

对于壁挂式传动，输出侧处之后的电路是唯一的“肮脏”侧。如果按照传动的安装指导安装，那么就是这样一种情况。

为了确保“干净”侧干净，那么可以使用法拉利笼对“肮脏”侧隔离。可以使用单独的金属片或者电缆。

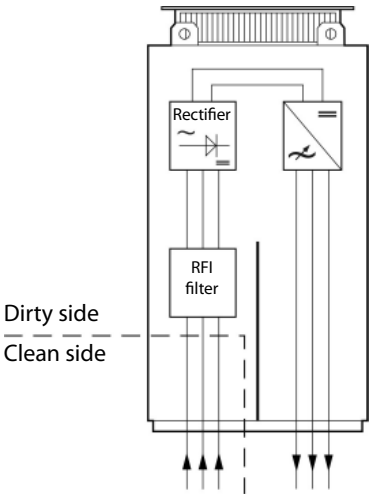


图 3-2 BDM的干净侧和肮脏侧

当使用单独的金属片时，壳体过孔的规则适用(参见本章中的壳体过孔)。

当使用电缆构成的法拉利笼时，必须遵守电缆的规则(参考本章中电缆和布线部分并且参考传动特定的产品指导)。

当使用一些其他的元件，比如接触器，隔离器，熔丝等等。在这些情况下，很难将“肮脏”侧和“干净”侧分开。

当把电路中的开关从“干净”侧移到“肮脏”侧时，这种现象能够发生。

一些典型的解决方案在第四章表述，实例。

RFI滤波器

RFI滤波器在线性连接点上将干扰接地从而抑制传导性干扰。

在PDS的输出端，输出滤波器抑制干扰。**du/dt**和共模滤波器有效，即使他们并不是为RFI设计的。

滤波器不能用在浮地电网，即与大地之间没有连接或者使用高阻连接的电网。

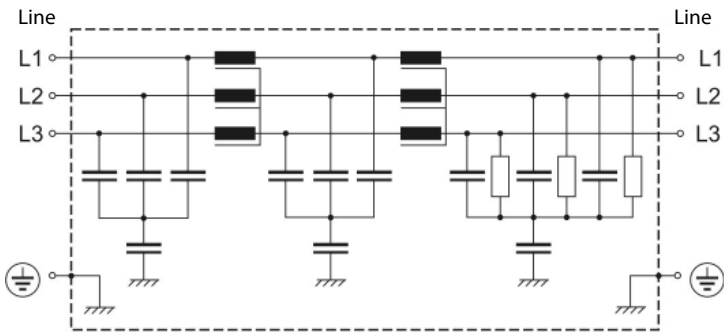


图 3-2 在传动模块中集成滤波器的例子

图3-2展示了一个集成的，分布式的滤波器。一些传动产品需要一个单独的滤波器(参见相应的产品指导)。

选择RFI滤波器

选择RFI滤波器抑制传导性干扰。比较从源端测量的干扰和滤波器的插入损耗是不可能的，因为这两类信息的测试方法并不相关。

通常在干扰源出测试滤波器，来确保足够的衰减，从而满足可用的发射限制。

RFI滤波器的安装

可靠的高频/低阻连接对于保证滤波器功能必不可少。因此，下面的准则必须要遵守。

- 根据滤波器制造指导，滤波器应该由一个非涂漆的连接点安装到金属板上。
- 滤波器的安装方向必须保证能够提供在滤波器输入和输出端之间足够的距离，用来防止肮脏侧和干净侧的交叉干扰。
- 滤波器和传动之间的电缆长度应该最短。
- 连接滤波器和传动的电缆应该和滤波器的输入电缆隔离。
- 机电电缆应该和滤波器的输入电缆隔离。

第二层屏蔽的选择

BDM安装的位置(例如，IP00等级变频器)，或者如果一些附属元件被安装到单元的“肮脏”侧，那么使用EMC屏蔽是必须的。

电机直接连接到逆变器的输出端子或者所有内部屏蔽部分都已经安装的带有附加底盘的模块，不需要特殊的屏蔽外壳。

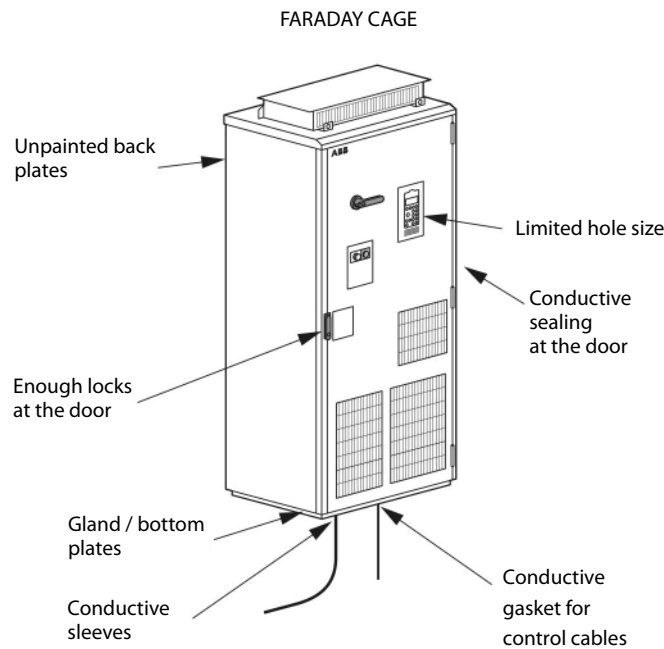
例如，如果传动配有输出开关设备，那么就需要EMC屏蔽，因为内部整体的法拉利笼已经不再使用。

注意，EMC只作为屏蔽选择的一部分。根据一些准则选择屏蔽：

- 安全
- 防护等级(IP等级)
- 散热容量
- 元件空间
- 装饰方面
- 电缆连接
- EMC 标准
- EMC 兼容的一般要求

制造商的构造和接地指导必须遵守：

图 3-4 外壳细节



外壳过孔

大多数情况，外壳上必须留有过孔，例如设备门，门锁，电缆等等。

当使用EMC外壳时，过孔的最大尺寸是100mm，也就是在频率为300MHz时波长的1/10。这种尺寸在EMC测试中被确认。

如果装配过孔在30mm和100mm之间，并且如果怀疑有高频干扰的可能，那么建议使用金属框架。

更大的用来观察的过孔应该装有带有导电涂层的玻璃。

玻璃必须用导电的双面胶或者导电衬垫连接到非涂漆的金属表面上。

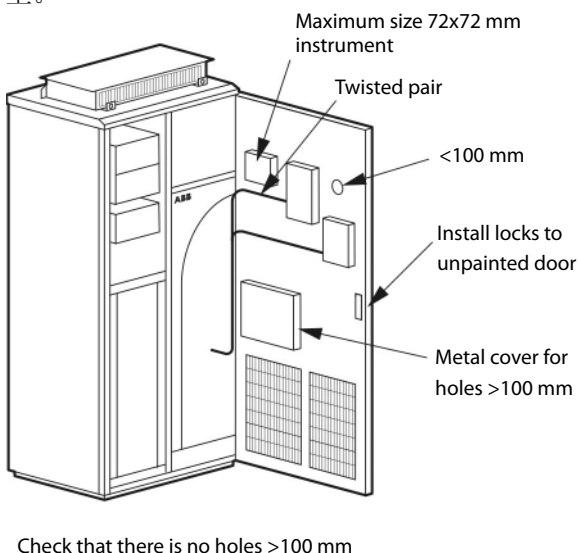


图 3-5 典型的外壳孔径细节

360°HF (高频) 接地

电缆进入柜体，辅助连接盒或者电机处都要进行360°高频接地。有很多种方式进行高频接地。这里描述ABB的产品CDM/BDM产品中所用的方法。

使用电缆套管进行高频接地

为360°高频接地设计的电缆套管适合直径小于50mm的动力电缆。

电缆套管通常并不应用到控制电缆，因为对于可靠高频接地，控制连接到电缆套管的距离通常很长。如果套管和控制电缆一起使用，那么电缆屏蔽层应该尽可能延长到控制连接点。根据电缆套管的长度来确定需要剥离的电缆绝缘层的长度。

为了获得最佳的高频接地效果，电缆屏蔽层应该覆盖导电带。该导电带必须覆盖全部的屏蔽层表面，包括电缆辫子，并且在缠绕时每一圈都要用手指压紧。胶水必须是导电的。

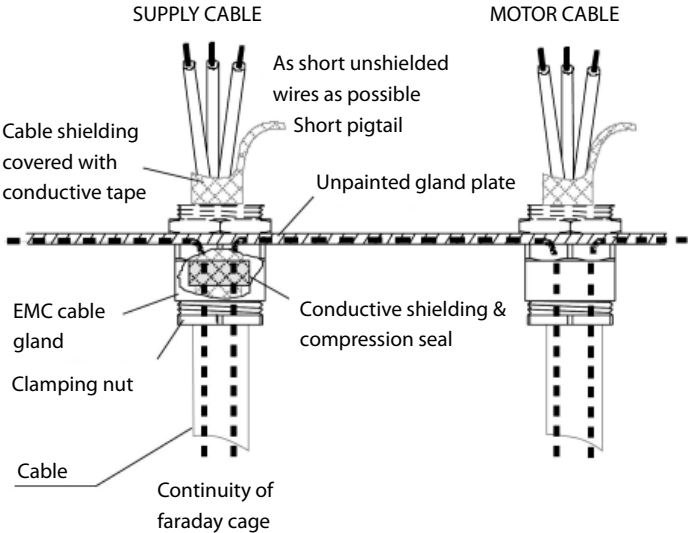


图 3-6 功率连接点的要素

带有导电套的高频接地

在动力电缆进线侧的360°高频接地可以使用环绕在电缆屏蔽层的导电套来完成。通过将导电套固定到特殊设计格兰盘的端子上来实现将导电套连接到法拉第电磁笼上。

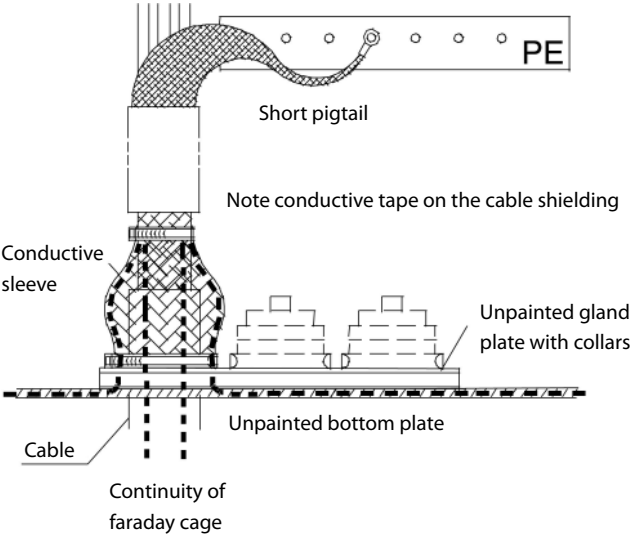


图3-7 360°带有导电套的接地

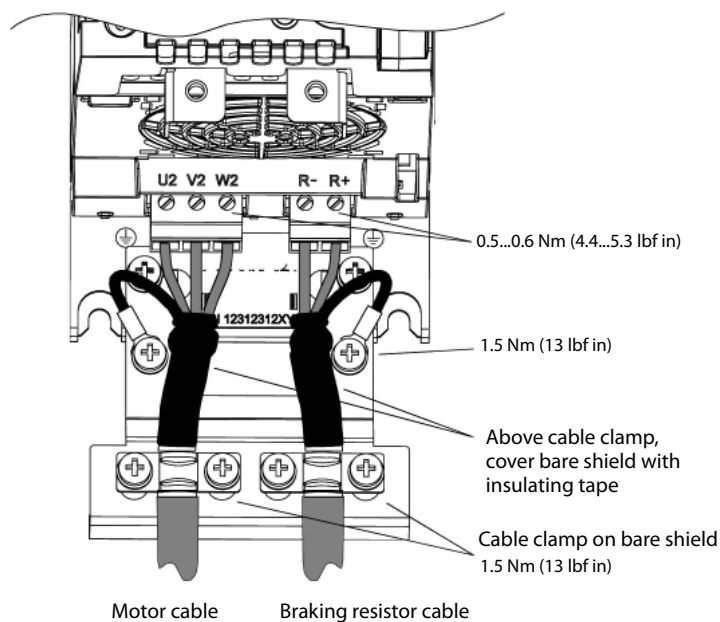


图 3-8 带有电缆屏蔽层夹子的360°接地

这种方案的优点是相同夹子可以用在不同尺寸的电缆上。

电缆能够被夹子机械固定，同时不需要使用特殊的电缆。

注意导电套不能够用作应力消除的夹子。

在电机处的360°接地

与在柜体入口处相同，在电机处必须使用相同的方法实现连续的法拉第电磁笼。即：

法拉第笼和IP55防护等级。包括：

- 提供电接触的格兰盘必须应用于电缆的箱位
- 电缆屏蔽层必须用导电带密封
- 导电衬套应该用来密封格兰盘和端子盒
- 注意：请在电机制造商处确认可行性。通常这对于电机是一种选择。
- 接地导体的辫子要尽可能的短

图 3-9展示了电机侧法拉第笼的解决方案

对于没有完全封闭的电机，例如在冷却模式IC01, IC06连续的法拉第电磁笼必须和整流的屏蔽使用同一种方法实现。

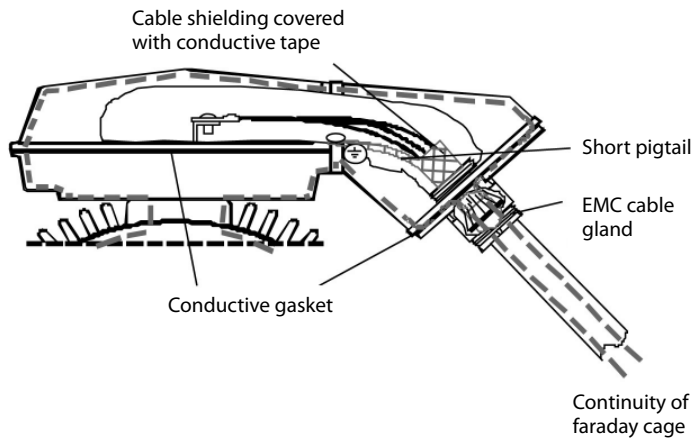


图 3-9 电机电缆的连接要点

控制电缆的导电衬套

控制电缆的360°高频接地可以由导电衬套来实现。这种方法中，屏蔽的控制电缆从两个导电衬套中穿过，并且被压紧在一起。由图 3-9所示。

当衬套安装在一个格兰盘之上时，电缆屏蔽层与控制连接要尽可能的短。这时，电缆的外部绝缘应该去掉，用来使之连接到屏蔽层，要求满足穿过衬套的长度。

屏蔽层应该包有导电胶带

如果衬套与控制连接尽可能的短，那么就达到了最好的高频接地。

衬套必须安装用来连接接地的未涂漆的格兰盘表面与安装这个衬套的格兰盘表面。

所有的连接鞭子应该尽可能的短，同时适当的双绞。电缆屏蔽层应该在连接端子处使用短辫子接地。

这些衬垫要求的格兰盘过孔的典型尺寸是200 x 50 mm。

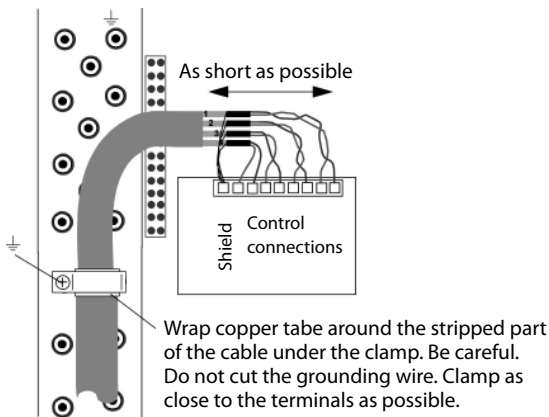


图 3-10 控制电缆走线要点

3

附件安装

能够安装的附件种类繁多，这里只能提供对于选择和安装的基本原则。

根据抗扰度/敏感性，附件可以被分成两类。受保护的设备表明此设备满足封闭的法拉第笼。所以推荐只要使用这种设备的地方就要使用金属的屏蔽层。

如果在干净侧和肮脏侧存在一种设备形成桥路，那么壳体上的过孔规则一定要遵守。

典型的开放式设备包括熔丝，熔断开关，接触器等等。这类设备没有金属屏蔽层。

大体上，如果没有金属屏蔽层，那么这类设备是不能够被安装在干净侧的。在壳体上的过孔规则必须遵守。

一些开放和受保护设备的例子在“现场实例”一章给出。

内部接线

对于内部接线有一些基本规则：

- 保证肮脏侧和干净侧的隔离
- 内部与经过滤波的传动单元的干净连接，即接触器与整流器的输入部分，不要求使用屏蔽电缆，但是要求在进入整流器的入口处使用去耦的铁氧体磁环。
- 使用双屏蔽线
- 对于存在于所有壳体的信号等级的出线和进线，要求使用屏蔽双绞线
- 不要将不同类型的信号线混合使用，即110 VAC, 230 VAC, 24 VDC 模拟量，信号量混合使用。
- 在金属表面走线，同时避免线在空间中缠绕，如果这样会使之成为天线。
- 如果使用塑料中继，要将之可靠直接的安装到安装盘上或者框架上。不要在空中跨越，那样会形成天线。

- 将动力电缆和控制电缆分开一定距离
- 使用电气隔离的信号
- 确保双绞线尽可能长地保持双绞状态，保持双绞尽可能地靠近端子
- 保证辫子尽可能的短
- 对于低阻抗射频干扰，在扁平带，多股绞合的或者辫子状导体处，接地连接应该尽量短。

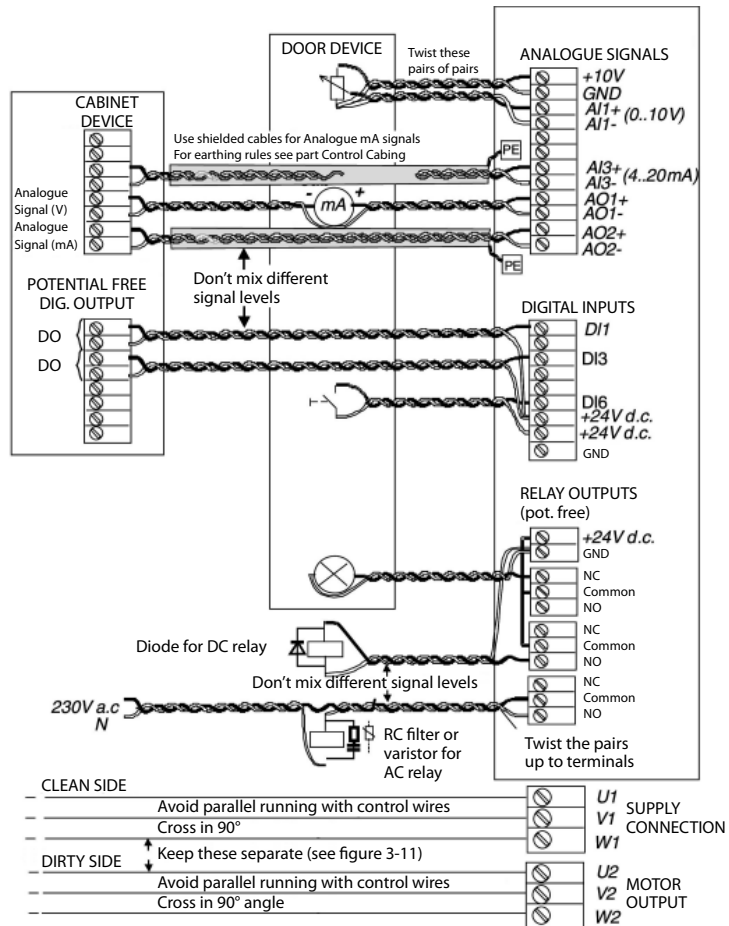


图 3-11 CDM 的接线原则

控制电缆及接线

控制电缆作为法拉第笼的一部分在控制电缆的导电笼部分被描述。

除了正确的高频接地，还有一些基本原则：

总是使用屏蔽双绞线：

- 对于模拟量使用双屏蔽电缆。
- 对于其他信号使用单屏蔽电缆，但双屏蔽电缆同样推荐。
- 不要在低电压等级的电缆中使用110/230 V的信号。
- 对每一个信号都要确保双绞线隔离。
- 在逆变侧直接接地。

如果对于在另一侧电缆的设备说明指定在另一侧接地，在最敏感的设备
的末尾处将电缆的内层屏蔽接地，同时将外层屏蔽在另一端接地。

3

根据图3-12布信号线，同时遵守产品手册的说明。

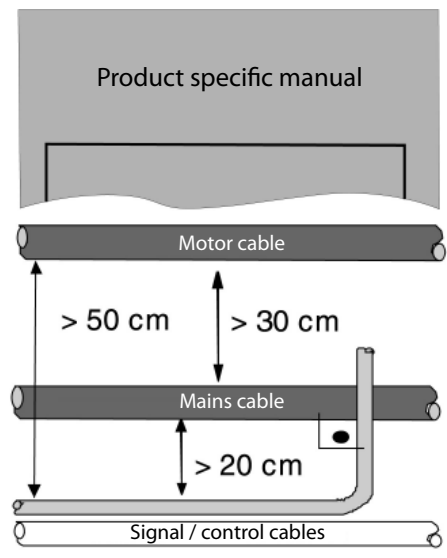


图 3-12 控制电缆的布线原则

在“接地和系统布线”文档和产品手册中有对于控制电缆布线的更多说明。

动力电缆

作为PDS的一部分，动力电缆同样是法拉第笼的一部分。为了满足EMC标准，必须使用带有良好屏蔽层的高效动力电缆。

屏蔽层的目的是减少发射。

为了高效，屏蔽层必须是良导体，并且覆盖大部分的电缆表面。如果电缆屏蔽层保护接地，那么屏蔽层的截面积(等价的传导率)必须至少是相导体截面积的50%。

产品手册描述了能够用在主供电和电机输出的电缆类型。

如果本地不能够使用这种类型的电缆，同时电缆制造商有一些不同类型的屏蔽，这就需要使用电缆的传输阻抗来进行评估。

传输阻抗描述了电缆的屏蔽效率。通常用于传输电缆。

电缆屏蔽层可能是辫子状或者螺旋型屏蔽，屏蔽层金属可能是铜或者铝。

特定传动类型的匹配在产品手册中有描述。

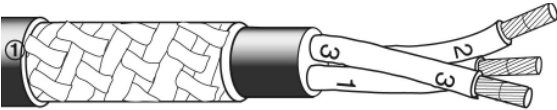


图 3-13 镀锌材料或者镀铜的辫状屏蔽层

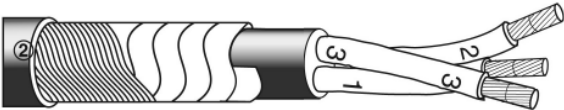


图 3-14 带有同轴层的铜带表面

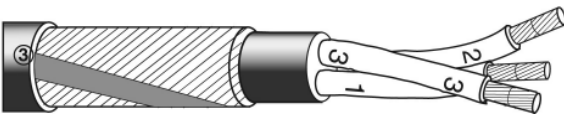


图 3-15 带有开放螺旋状铜带的铜线同轴表面

传输阻抗

为了满足发射要求，传输阻抗必须在频率达到100 MHz时小于100 mΩ/m。使用金属导管或者波浪状的铝制屏蔽层可以使屏蔽效率达到最高。图3-16展示了不同电缆结构下典型的传输阻抗。电缆越长，要求的传输阻抗越低。

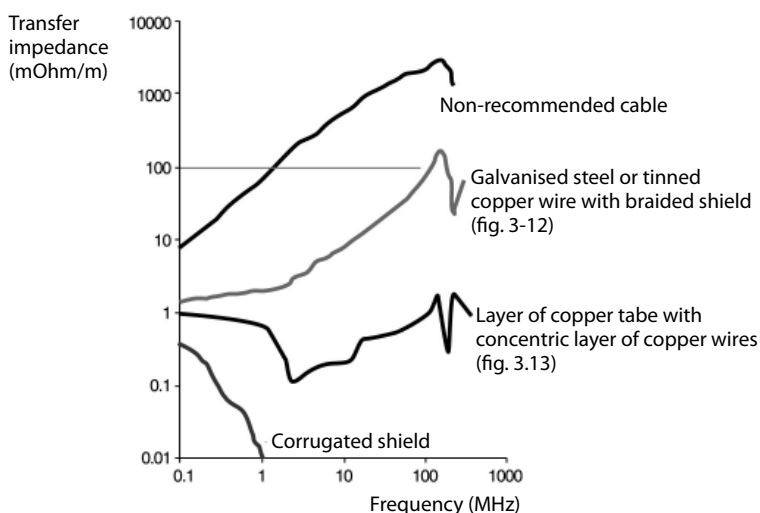


图 3-16 动力电缆的传输阻抗

铁氧体磁环的使用

在实际应用中，由于很高的发射等级，共模电感用在信号电缆上，用来避免在不同系统中的接口连接问题。共模干扰能够由导线通过共模电感的铁氧体磁芯来抑制(图 3-17)。

铁氧体磁芯增加导体的电磁感应以及互感，所以在一定频率之上的共模干扰信号被抑制。理想的共模电感并不抑制差模信号。

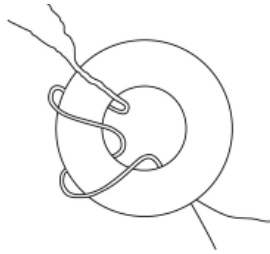


图 3-17 信号线的铁氧体磁环

感应强度(抑制高频干扰的能力)可以通过增加信号线的环绕圈数来实现。

当使用带有动力电缆的铁氧体磁环的时候，每一相都要穿过环。屏蔽层和接地线必须在环之外，用来保证共模电感生效。对于动力电缆，通常不可能在环上缠绕几圈，那么感应系数的增加可以使用一系列连续的环。

如果由于某种原因，不能遵守安装指导，一些铁氧体磁环或者滤波器只能以后安装，那么，推荐测量使之一致。

第四章 - 现场实例

简单安装

最简单的PDS安装包括三种电缆：供电电缆，电机电缆和制动电阻电缆。如图4-1所示。

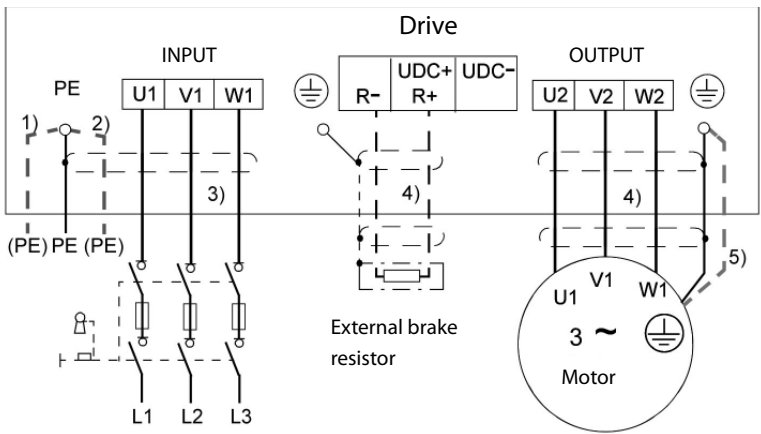


图4-1 最简单的PDS安装

- 注意：
- 1), 2) 如果使用屏蔽电缆，使用单独的PE电缆(1)或者带有接地导体的电缆(2)如果电缆屏蔽层的导电性小于相导体的导电性50%。
在输入电缆屏蔽层的另一端或者配电盘上的PE导体处接地。
 - 3) 如果是屏蔽电缆，那么推荐使用360度接地
 - 4) 要求360度接地
 - 5) 如果电缆屏蔽层的导电性小于相导体的导电性50%，并且没有对称结构的对称接地导体，那么建议使用单独的接地电缆。

典型安装

屏蔽电缆与主要部分交互连接，用来确保散射的衰减。这是由RFI滤波器实现的。

法拉第笼接地将所有的散射都引入大地。

如图4-2所示，柜体不要求EMC盖板，因为所有连接都处于符合EMC标准的变频器之中。

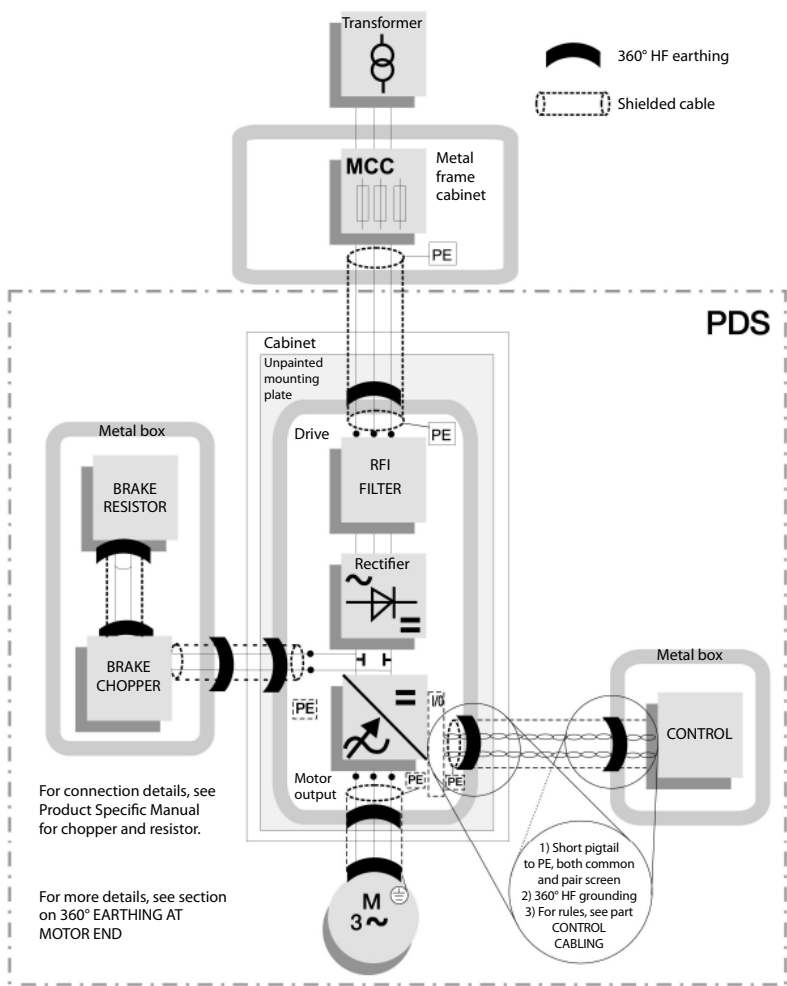


图 4-2 典型PDS安装

小于100 kVA旁路系统的例子

在这种情况下要确保在工频直起接触器 (DOL) 之上的传动的肮脏侧和干净侧没有交叉耦合。接触器不是RFI的屏蔽，线圈电路同样容易受到干扰。

在供电输入连接处的一个合适的RFI滤波器应该要求能够承受DOL的启动电流 (大约6到7倍的额定负载电流)，并且要求大于等于额定运行的选型，这样设计起来有一定困难。使用铁氧体磁芯可以减少耦合干扰。如图4-3所示。

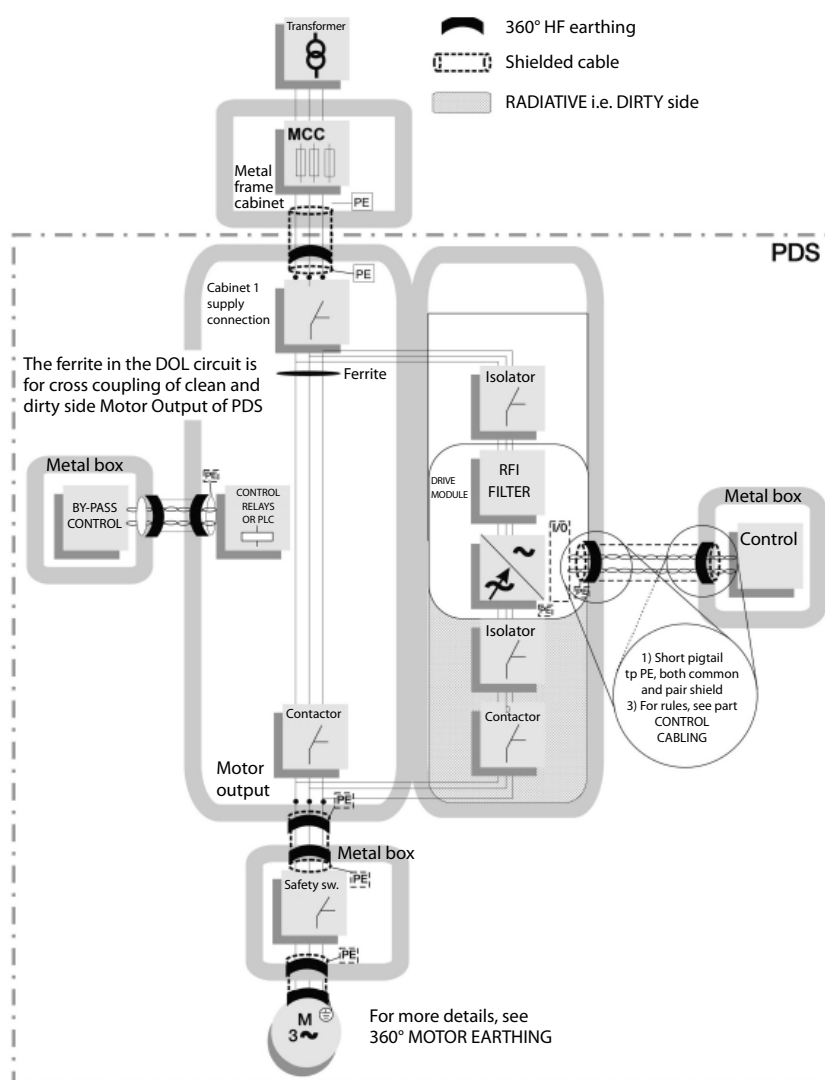


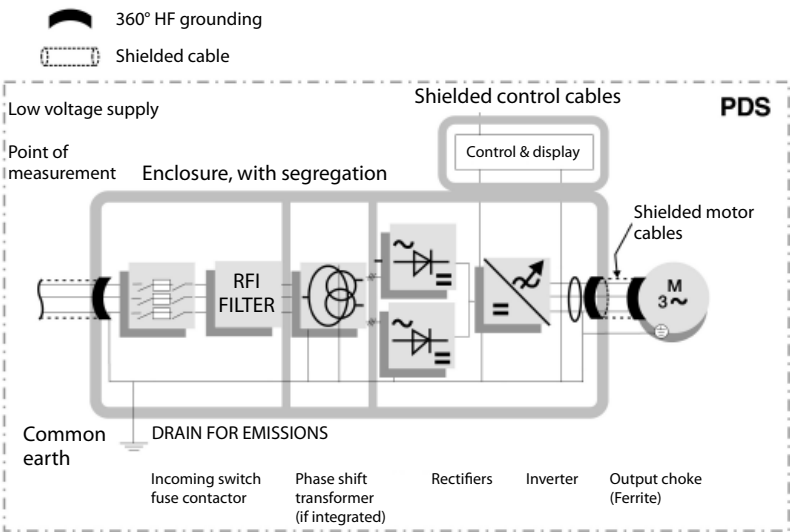
图 4-3带旁路的基本设计

12脉传动的典型实例

这种情况下12脉变频器是一个浮地系统，由于三角形接法的绕组不接地，因此任何进线滤波器必须在相位移位变压器的一次侧。

根据经验，在这种情况下，使用到母排的短连接，在变压器绕组之间的接地屏蔽层并不适合第一环境中的传导性干扰的衰减。因此RFI滤波器需要用在变压器原边来满足EMC兼容。RFI滤波器不能用在第二环境中。

对于浮地系统的设备，可以使用相同的过程。在第一环境中，隔离变压器允许PDS接地或者使用合适的滤波器。耦合点处于中压处，散射被认为处于系统中下一个电压耦合点处。根据合适的环境来确定散射的等级。对于定义，参看第二章中安装环境部分。



注意：所有内部设备都要屏蔽
图4-4 12脉中压整流系统

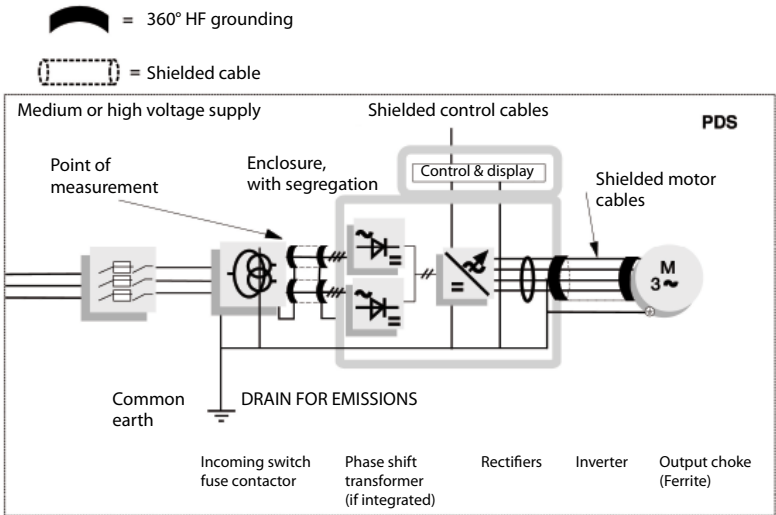


图 4-5 中压的12脉整流系统 (CDM、变压器和熔断开关具有独立的电气室)。

EMC计划实例

用户和制造商用来分析安装和定义用来满足电磁兼容测量时，可以使用这个表格来制定**EMC**计划。该计划定义制造商、安装者和变频器使用者的责任。所有的部分建立共同的计划。填写并回答以下问题。

步骤1: 填写信息	
制造商/供应商	ABB Oy, Drives
最终用户	ABC Paper company
定货号	123456789
设备类型 (如化学厂，纸机)	纸机 PM3
应用 (即泵，风机)	选择传动单元

步骤2: 搜集功率分配和接地数据		
功率分配	耦合点：配电盘编号，变压器的接线装置	
	变压器 T11	
	分布系统类型	TN-C, TN-S TT, IT
接地母线	安装方式以及位置? 在供电变压器处T11	

步骤3: 收集EMC数据(只有高频范围)		
在设备中RFI的敏感设备	是否设备在建筑内或者临近安装位置时易受RF干扰(过程控制和测量, 数据传送, 计算机, 远程控制)? 描述	是 否
	过程数据的处理单元	
	据PDS和PDS电缆合适的距离	5 米
	干扰中最可能的耦合路径	传导性干扰
在设备外的RFI的敏感设备	是否是广播或者通信接收天线可见或者临近设备(雷达、广播/电视、微波等等)? 描述	是 否
	频率	Hz
	距离天线的距离	米

步骤4: 定义安装规则	
遵守传动硬件手册的安装规则	
遵守解决方案中描述的条款	
EMC效果	考虑的条款
布线	- 根据ABB电缆标准和指导方针布线(电缆类型, 安装等等) - 根据ABB指导进行接地(托盘的接地)
专用变压器	- 带有静态EMC屏蔽层的专用供电变压器T11

由负责EMC的人员签字

日期 26/09/2007
签名
Joe Smith

第五章 - 参考文献

本指导设计到多种文档。推荐进一步阅读从而获得更加合适的安装:

EN 61800-3, Adjustable Speed Electrical Power Drive Systems - part 3, EMC product standard including specific test (published by CENELEC, Brussels, Belgium and National Standards organizations in EU member countries).

EN 61800-3:2004

Interference Free Electronics by Dr. Sten Benda (published by ABB Industry Ab, Västerås, Sweden)

Technical Guide No. 2 - EU Council Directives and Adjustable Speed Electrical Power Drive Systems, code 3AFE61253980 (published by ABB Oy Drives, Helsinki, Finland)

Grounding and cabling of the drive system, code 3AFY61201998 (published by ABB Oy Drives, Helsinki, Finland)

3



北京ABB 电气传动系统有限公司

中国，北京，100015

地址：北京市朝阳区酒仙桥路北路甲10号D区1号

电话：+86 10 58217788

传真：+86 10 58217618/7518

24小时服务热线：(+86) 400 810 8885

网址：www.abb.com.cn/drives

3ABD61348280 版本A 中文
Based on: 3AFE61348280 版本D 英文
生效日期: 2010-10-01

ABB 传动

调速传动指导

技术指导 4



ABB 传动

调速传动指导

技术指导 4

3ABD61389211版本 A 中文
基于：3AFE61389211版本 C 英文
生效日期：2010-10-01

第一章 - 简介.....7

 概述.....7

第二章 - 工艺过程和要求.....8

 为什么要使用调速控制.....8

 需要调速传动的工业过程.....9

 系统过程的变化.....10

 用机械改变材料特性.....11

 明确的定型.....11

 不定型.....11

 材料传输.....12

 固体材料.....12

 液体材料.....12

 气体材料.....12

第三章 - 工业主要设备-电动机.....13

 电机驱动大多数机械.....13

 电机将电能转换为机械能.....14

 变频器控制的电磁感应.....15

 传动系统的效率.....16

 旋转方向或转矩的反向.....17

 负载、摩擦和惯性阻碍旋转.....18

 电机克服负荷转矩.....19

 额定转速时传动转矩和阻转矩的平衡.....20

第四章 - 控制数量决定控制形式.....21

 材料的流速变化和输入输出要求.....21

 简单的控制方法.....22

 变速传动是最好的控制方法.....23

 机械的，液压的和电气的变速传动.....24

 液力耦合.....24

 直流传动.....24

 交流传动.....24

 占市场优势的电气变速传动.....25

 维护费用.....25

 生产效率.....25

 能源节约.....25

 更高品质.....25

 交流传动市场快速增长.....26

第五章 - 交流传动是领先的控制方法.....27

 交流传动的基本功能.....27

 交流传动电机的负载曲线.....28

 交流传动的特征更适应过程控制.....29

 反转.....30

 转矩控制.....30

 消除机械振动.....30

 低电压穿越.....31

 堵转功能.....31

 滑差补偿.....32

 快速/飞车启动.....32

 环境特征.....33

 EMC电磁环境兼容性.....33

第六章 - 交流驱动器的成本效益.....34

 交流传动与其他系统的技术差异.....35

 不需要机械部件.....36

 影响成本的因素.....37

 投资成本：机械和电子部件.....38

 电机.....38

 交流传动.....38

 安装费用：节流应用和交流传动比较.....39

 营运成本：维护和运行的能耗.....40

 总的成本比较.....41

第七章 - 索引.....42

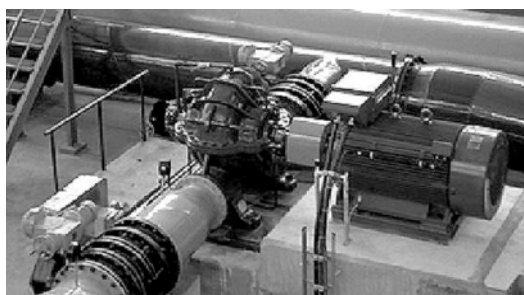
第一章 - 简介

概述

本指导是ABB的技术指导系列丛书的一部分，其中主要介绍了各种不同的调速传动(VSD)和它们在工业过程中的应用。文中主要介绍调速电气传动，特别是交流变频器。

本指导尽可能接近实用。虽然不要求特殊的调速传动(VSD)知识，但基本的专业知识还是需要的，以便于完全理解所使用的术语和描述。

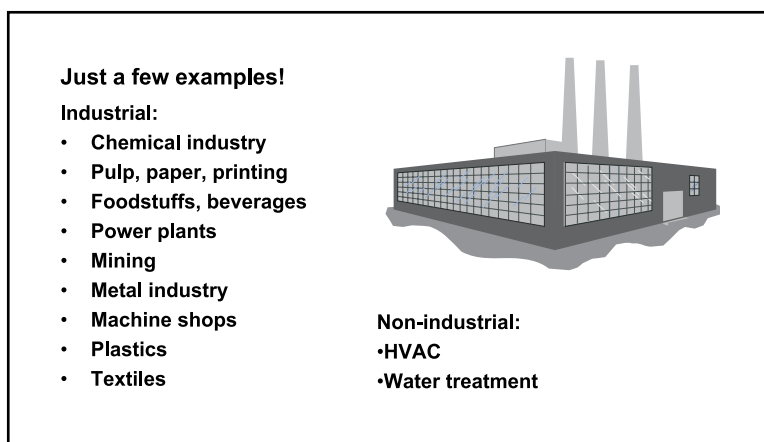
第二章 - 工艺过程和要求



为什么要使用调速控制？

要理解为什么需要调速控制，我们先要理解不同的工艺过程的要求。这些过程被分为主要的两大类；材料处理和材料传输。当然这两大基本类还有许多不同的子分类。

通常对于这两大基本工艺需要调整过程，这些需要调速传动才能实现。本章描述了使用调速传动的主要工业的和非工业的过程。为了理解为什么要使用调速控制，我们首先需要理解不同的工艺过程和要求。

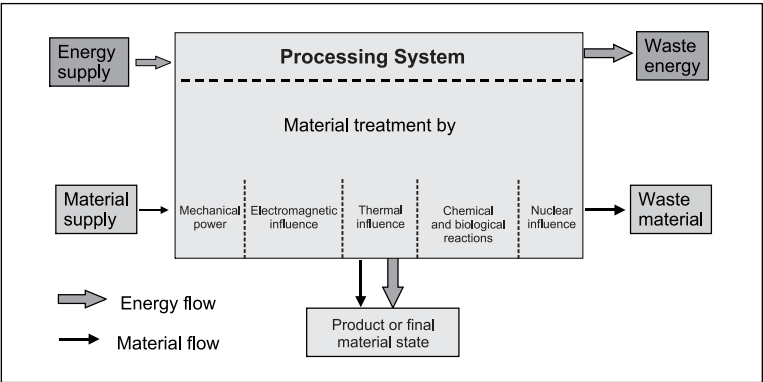


需要调速传动的工业过程

需要调速传动的工业过程有许多，上图只提到其中的一部分。它们的共同点是都要求调速传动。

例如：空调应用（HVAC暖通空调部分），根据房间湿度和温度要求改变风量或换气量，通过调整供风和回风风机实现。最好以调速传动方式来调整。

风机也用于发电和化工行业。在这两类应用中，风机需要根据主要工艺过程调整。在发电站，由于用电需求在一年，一周或一天的不同时间有不同的要求，所以主要工艺工程也是变化的，因此，速度变化需要根据工艺过程调整。



系统过程的变化

上图给出了影响过程控制的各种因素。

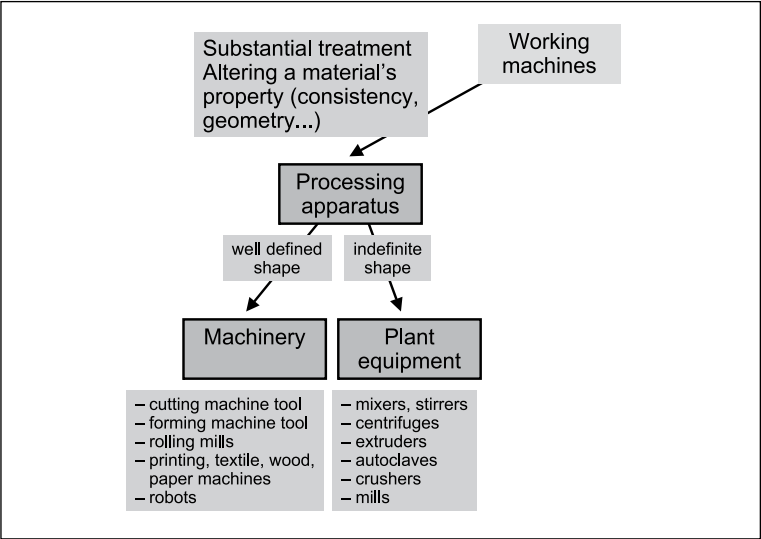
这些因素可分为能量和材料的变化。

就过程控制自身而言，能量或材料通过机械力、电磁效应、热效应、化学和生物反应或核能加工，每一个过程都需要能量和材料的供应来实现过程要求。

产品或最后形成的材料是过程的产出，但在每一个过程中都有能量或材料的浪费，这也算是一种产出。

在这些系统过程中，调速传动用于控制不同过程中机械的机械动能。

材料处理也要通过调速传动来控制。烘干窑就是一个好的例子，它需要加热空气的温度必须恒定，该过程通过调速传动控制加热风机的速度来实现。



用机械改变材料特性

4

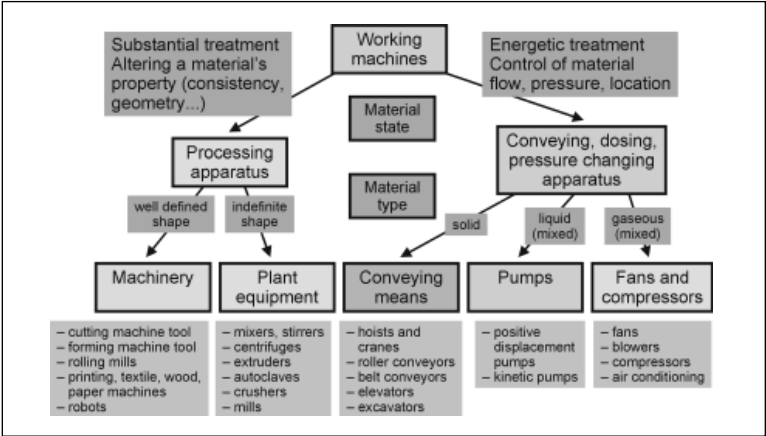
如本手册前面所述，机械工作过程可分为两类。第一类是材料处理，通过各种不同形式的过程处理设备，把材料改变成另一种形式。

明确定型

加工设备根据材料的形状的结果分为两大类。形状分为明确定型和不定型。用于纸张、金属和木材等材料的机械加工为明确定型的处理。

不定型

材料未定型的如各种食品、塑料等，加工产品需固定设备。如人造奶油搅拌器、离心机、挤压机等设备。



材料传输

第二类是那些把材料输送到指定位置的机械。包括运输、配料、压力变换等装置。这些机械可按材料是否为固态、液态或气态，被分为三种不同的子类。

固体材料

固体材料如集装箱、金属制品、木材制品、矿石，甚至也包括人，通过运输装置传送。这些设备包括起重机、传送带、电梯。

液体材料

液体材料如水、油或化学液体等都用品泵传输。

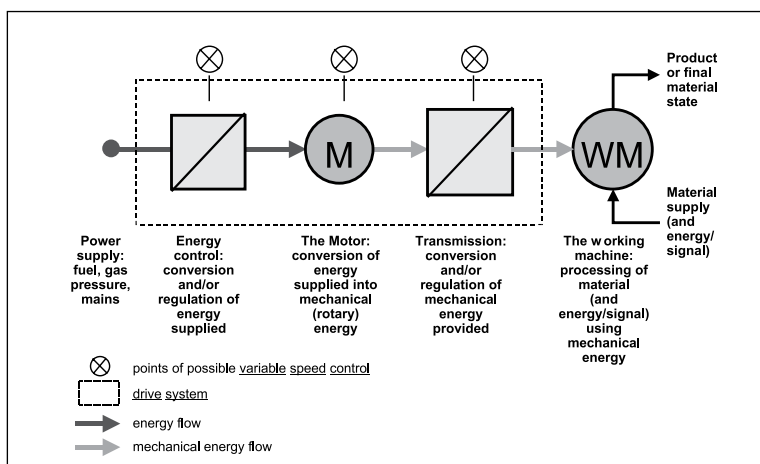
气体材料

气体材料如空气通过电扇、压缩机或吹风机等传输。空调是这类机械的一个特殊应用。

从上图可知，现在有五种不同的类型机械。它们或是型状加工类或是传输类的不同机械。但是它们都可使用调速装置。

第三章 - 工业主要设备—电动机

本手册前面提到的所有设备通常在工业环境中用电机驱动。因此可以说电机是工业生产过程中的主要设备。在本章，我们将详细描述电机，特别是鼠笼式交流电机，它是一种工业生产中最常用的电动机。



电机驱动大多数机械

每一种机械包括四个不同的部件，如上图所示，主要包括能量控制、电机、能量转移、被驱动设备。前三部分合在一起，成为“传动系统”。

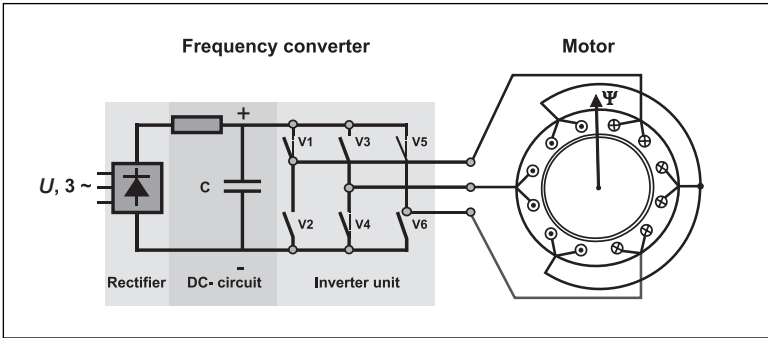
这种传动系统能转换特定的某种能量，通常将电能转换为机械能，机械能又被用来带动机械工作。能量供应由传动系统的电源提供。

在传动系统三个组成部分的每一个部分，可能要求调速控制。

使用变频器，双速电机或者齿轮变速箱可以实现调速控制。

如前所述，大多数机械被电机驱动。

电机又分为交流和直流两种电机。交流电机中特别是鼠笼式电机在工业生产过程最为常用。



电机将电能转换为机械能

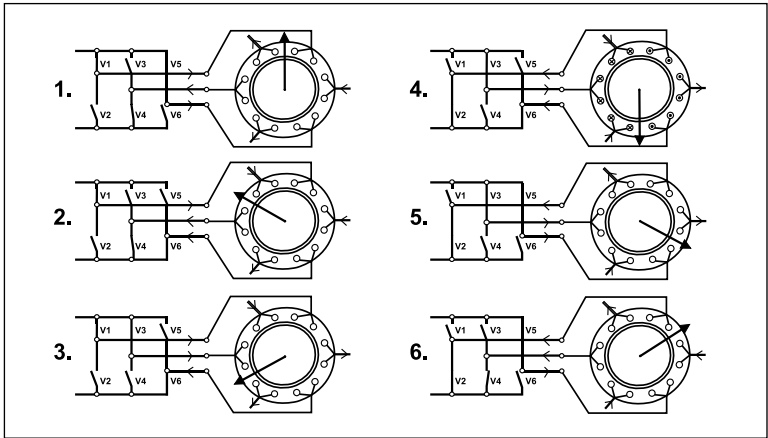
交流电机根据电磁感应原理能将电能转换为机械能。定子线圈的电压形成定子绕组的电流和磁通。该磁通的方向通过定子电流使用右手定则就能确定。

通过改变定子电压的方向，磁通的方向就可以改变。
按照正确的相序改变三相电机定子绕组的电压方向，电机定子磁通开始旋转。电机转子将随定子磁通按一定滑差跟随旋转。这是控制交流电动机的基本原理。这种控制可使用变频器来实现。

顾名思义，变频器可改变交流电的电压和频率。

变频器由三部分组成，正常的50赫兹3相交流电流供给整流部分，将其转换为直流电流。直流电压供给直流母线电路，这种电路能过滤脉动的直流电压。连到每个电机每一相的逆变器以某种顺序连到直流母线或正或负的电路。

如上图所示，要获取该磁通矢量方向，开关 V_1 ， V_4 和 V_5 应该关闭。为了使磁通逆时针方向旋转，开关 V_6 必须关闭，但 V_5 必须打开。如果开关 V_5 不打开，电路将短路。磁通逆时针转60度。



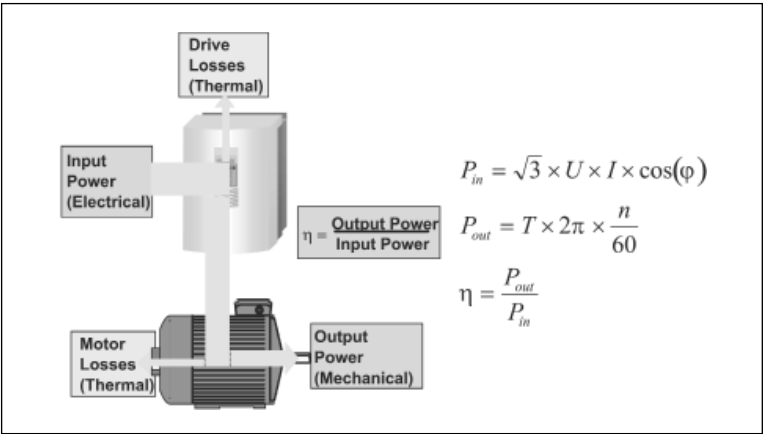
变频器控制的电磁感应

逆变桥有八种不同的开关位置。
其中两种位置，即当三相全都连接到相同的直流母线，同时是正极或负极的，此时电压都为零。
因此，在余下的六种不同的开关位置电机绕组的电压不为零，这时电压产生磁通。

上图显示了这六种开关位置和绕组电压在每种情况下产生的磁通的方向，而绕组电压也产生绕组电流，其方向在每相上用箭头标注。

在实际中，控制不是像这里说的那么简单。
磁通在转子中产生转子电流。这些转子电流使磁场更复杂化。外部的干扰，如温度或负载的变化，可能使控制变困难。

然而，今天的技术和专业知识可以有效地应对干扰。电气调速传动还提供了许多额外的优点，比如节能，因为电机有时候并不需要使用这么多的电能。此外，调速传动控制方法超过传统方法，因为电气的调速传动还提供了可能的连续控制。



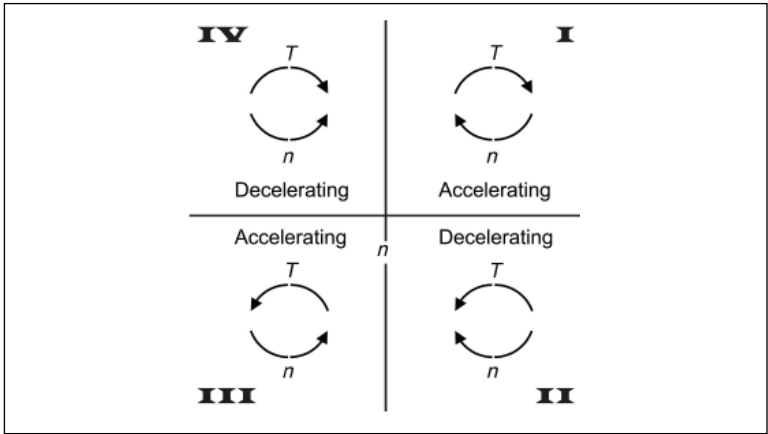
传动系统的效率

传动系统的总效率取决于电机的损耗和系统的控制。传动系统和电机的损失是热量损耗。所以表现为热量。传动系统的输入功率是电能的形式，而输出功率为机械能。这就是为什么计算效率系数(η)需要电气和机械工程方面的知识。

电机的输入功率 P_{in} 依赖于电压(U)，电流(I)和功率因数($\cos\varphi$)。功率因数告诉我们多少比例的总电能是有功的，有多少是所谓的无功功率。为了生产所需的机械动力，有功功率是必需的。无功功率需要在电机中产生磁场。

机械输出功率 P_{out} 取决于所需的转矩(T)和转速(n)。越高的速度或转矩要求，需要更大的功率。这对传动系统从电网吸收多少的电能有直接的影响。如前所述，变频器调节电压供给电机，这样直接控制电机消耗的电能，就和生产过程的控制一样。

电气开关晶体管是非常高效的，所以变频器的效率也是很高的，从0.97至0.99。电机效率通常在0.82和0.97之间，取决于电机大小和额定转速。所以说，由变频器控制的传动系统的总效率始终高于0.8。

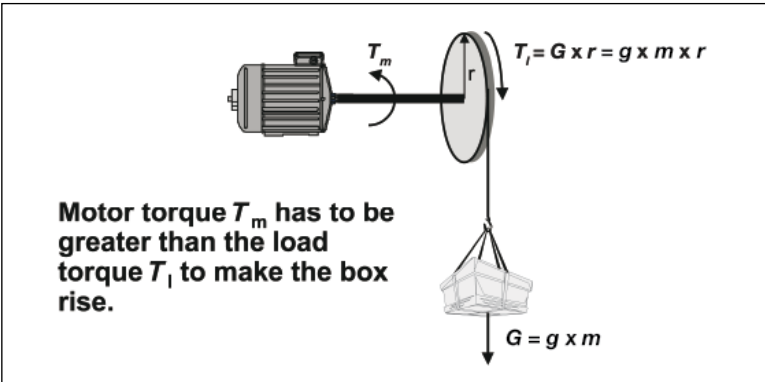


旋转方向或转矩的反向

在某些情况下，电机需要反向旋转。此外，转矩方向也可能改变。这些因素结合起来形成所谓的“四象限驱动器”。这个名字是来自在上图所示的(一至四)四个不同的象限。

- 1象限：第一象限，电机是顺时针方向旋转。由于转矩与速度在同一个方向，驱动器正在加速。
- 2象限：在第二象限，电机仍然是顺时针方向旋转，而转矩与速度在相反的方向，因此驱动器减速。
- 3象限和4象限：在第三和第四象限，电机逆时针旋转和驱动器或是加速或是减速，这取决于转矩方向。

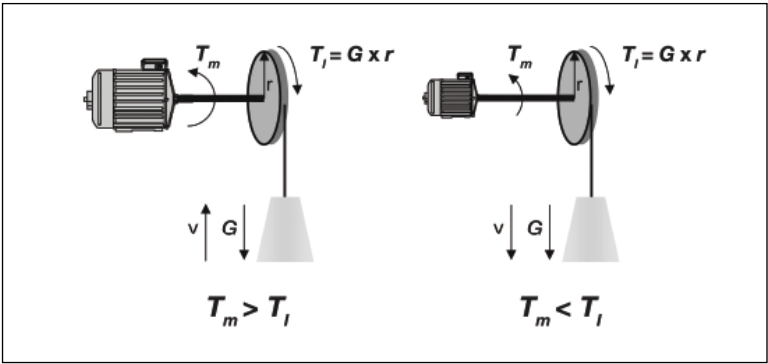
随着变频器调速的使用，转矩方向的变化不再依赖于旋转方向的变化也可以实现。高效率的四象限变频器产品用于一些需要制动装置的场合。这种控制转矩对于某些场合的使用，尤其在提升应用场合，不管旋转方向是否发生变化，但转矩方向需保持不变。



负载、摩擦和惯性阻碍旋转

电机所产生的转矩必须超过负载所要求的转矩。负载转矩包括摩擦力、运动部分的惯性和负载本身，这都与应用有关。在上图的例子中，电机转矩必须要大于负载转矩，如果该箱子需要上升，具体的数值取决于箱子的质量。根据应用的不同负载系数是不同的。

例如，在粉碎机应用时，负载转矩不仅取决于摩擦和惯性，而且还和被粉碎材料的硬度有关。在风扇和鼓风机应用时，空气压力的变化影响负载转矩等等。



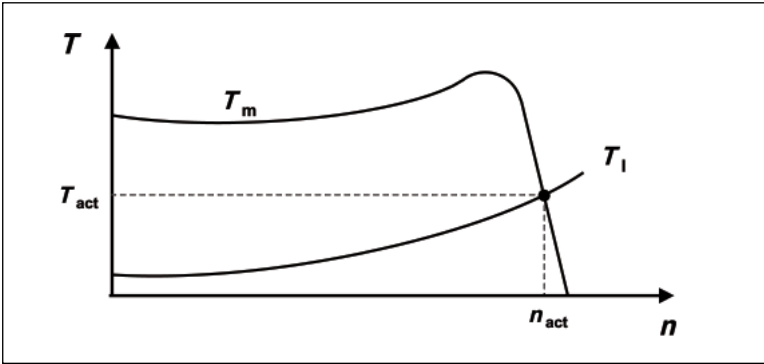
电机克服负荷转矩

在任何情况下，选择电机前必须根据应用类型明确负载转矩的大小。所需速度的大小也要清楚。只有这样，才能为该应用选出合适的电机。

如果电机太小，要求不能得到满足，这可能会引发严重的问题。例如，在提升应用中，电机过小可能无法足够快速的提起所需的负载到所需高度。甚至负载可能坠落，如上图所示。对于那些工作在港口或在现场必须使用提升机械工作的人，这可能是灾难性的。

为了计算电机的额定转矩，可用下面的公式：

$$T[\text{Nm}] = 9550 \times \frac{P[\text{kW}]}{n[1/\text{min}]}$$



额定转速时电动力矩和阻力矩的平衡

每个电机的转矩/速度曲线都是唯一的独特曲线，必须分别计算每个电机的曲线。从上图中，可以看出一个典型的转矩/速度曲线 T_m 。最大负载转矩的速度略低于额定速度。

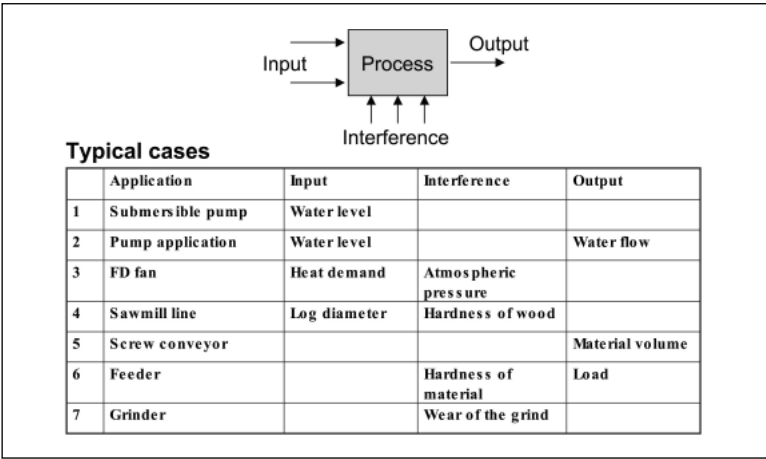
通常负载转矩 T_l 随速度的增加而增加，这取决于线性负载或平方转矩负载的应用。电机将自动加速直至负载转矩和电机转矩相等。这个点就是上图显示的 T_m 和 T_l 的交汇点。实际转矩(T_{act})会显示在y轴和实际速度(n_{act})会显示在X轴。

这些是普通的鼠笼式电机的基本工作原则。随着变频器的使用，优化的控制性能可从电机和整个传动系统得到。本手册将稍后加以解释。

第四章 - 变量数量决定控制形式

在大多数生产过程中至少有一个变量。这个变量是生产过程需要调整产生的。因此变化的生产过程和大量的材料需要某种形式的控制要求。

在本章我们将讨论生产过程及其变量。我们还将研究各种不同的控制方法。

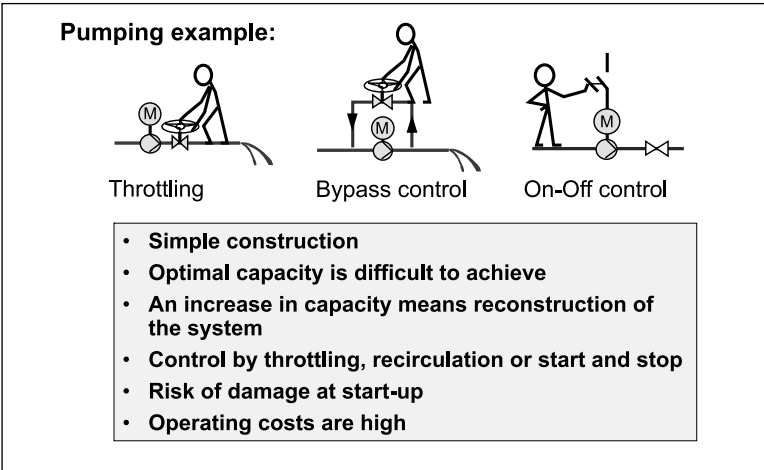


变化的材料流程和输入/输出要求

一个生产过程涉及许多不同的参数，最常见的是输入，输出和干扰。这些参数可能需要恒定不变，也可能需要按预设模式改变。如前所述，在一个生产过程中总是存在有输入和输出，几乎在所有情况下干扰都同样存在。

在一些生产过程中，没有干扰并且输入也是恒定的。这种生产过程中没有任何调速控制过程。然而，如果输出参数需要改变，输入是变化的或当前存在干扰，则调速控制可解决过程的实现。

上表列出了一些生产过程是要求调速控制的。它也显示了控制的原因：输入、输出或干扰。

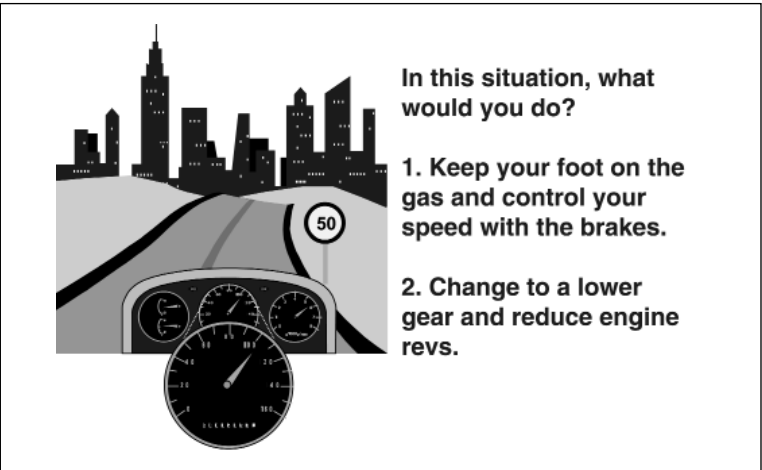


简单的控制方法

有很多简单的控制方法，如节流或旁路控制。这种装备结构通常很简单，投资成效立马可见。然而也有许多缺点。例如最佳进程处理的能力——要使该生产过程达到高品质，想通过简单的控制是很难实现的。扩大生产能力通常要求重建整个过程，每一个工频直起的启动都可能会产生电气的或机械的危害。

简单的控制方法意味着大量的能量损耗，因此总的运行成本费用比调速传动高，对环境的影响也大，如同电厂的二氧化碳排放量也将增加。

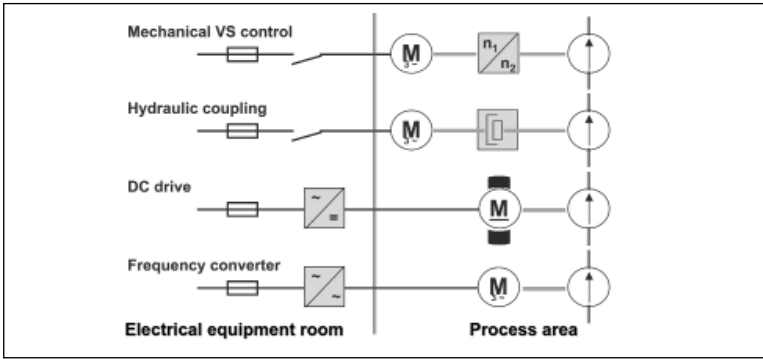
因此，在总的生命周期内，用简单的控制方法的投资运营成本远远高于变速传动的投资运营成本。



调速传动是最好的控制方法

对大多数系统来说，最好的控制方法是调速传动。例如，设想你正在驾驶汽车。如你正驾车在公路上并进入一个居民区，你需要降低速度，这样对你自己和其他人的生活就不会带来过高风险。

实现汽车减速的最好的方式是抬起踩油门踏板的脚，如需要也可换低速档。在相同档速时，另一种可能方法是，保持脚踩油门踏板同时脚踩刹车踏板减速。这样不仅会使发动机和制动器磨损，而且还浪费大量的燃油，降低车辆整体控制性能。此外，原来减速不危及自己和他人生活的目标也可能不会实现。



机械的，液压的和电气的调速传动

以上是工业应用中最常见的四种调速传动类型。机械调速传动通常采用皮带传动，并通过手动或使用定位电机控制锥形带轮。

液力耦合

在使用液力耦合时，利用涡轮液压原理。通过改变在液力耦合器中的油的体积，使传动和传动轴的速度产生不同变化。油量由泵和阀来控制。

直流传动

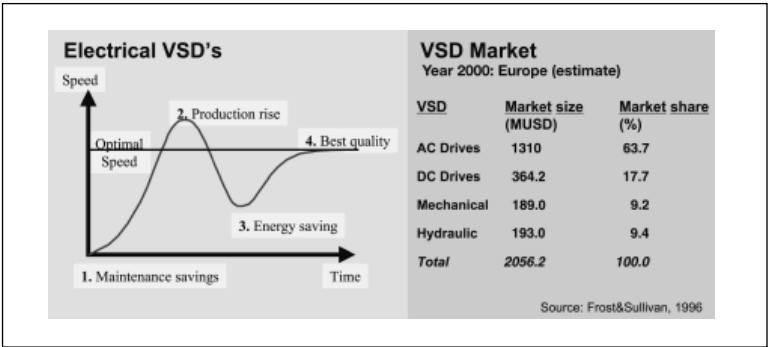
在使用直流传动时，直流整流器将电源电压转换成直流电供给直流电机。在直流电机内部有一机械换向器，变直流电流为交流电流。

交流传动

在使用变频器或交流传动时，需要一个标准的鼠笼式交流电机，其不需要机械换向器。电机的速度由变频器调节电机电压的频率实现，如本指南前面所提，变频器本身由电信号控制。

该页上图，显示了各种调速传动的控制设备位置。在机械和液压调速传动中，控制设备位于电机和工作机械之间，使维护非常困难。在电气调速传动，所有控制系统都处于电控设备室，只有驱动电机在生产过程区。这仅是电气调速传动的优点之一。

其他优点如下所述。



在市场占优势的电气调速传动

上图介绍了估计的2000年欧洲调速传动的市场份额，四种调速驱动中电气调速传动是最主要的。使用电气调速传动的四个主要优点在图中的速度曲线的转折点上标出。

维修费用

直接即时的启动对电机和电气设备有冲击压力。用电气变速传动设备顺利平稳的启动电机是可能的，这对维护成本产生直接影响。

生产率

生产设备通常设计时应该考虑到未来产量的增加。如改变已有的定速设备来提高产量，需要花费许多金钱和时间。使用交流传动，速度增长5%到20%不是问题，而产量增长的实现无需任何额外投资。

节能

在许多生产中，生产过程是量的变化。通过机械方式更改生产流程通常是非常低效的。使用电气变速传动设备，通过更改电机速度来改变生产过程。这样可以节省大量的能源特别是在泵和风机应用中，因为轴功率与流速的三次方是成正比的。

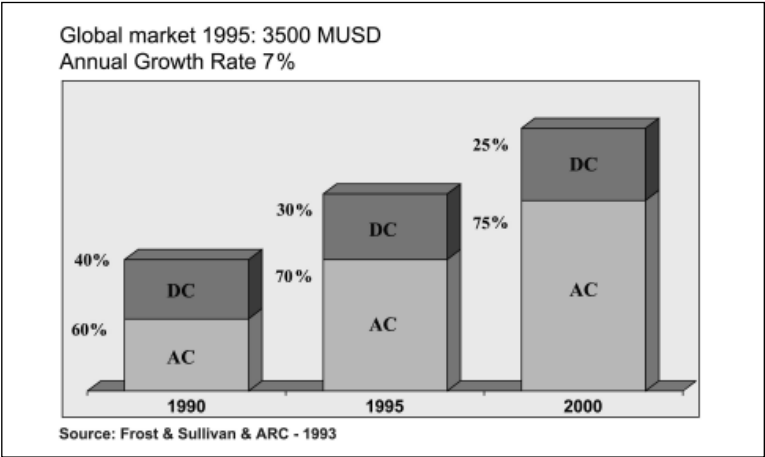
更高的质量

用电气变速传动设备可获得准确的速度控制并使工艺过程优化。优化的工艺过程控制使产品质量达到更好的品质，这意味着客户的利润更高。

由于这些优点，交直流电气变速传动占据市场主导。从上表可以看出，欧洲市场在2000年，交直流电气传动共同占变速传动的75%以上，仅仅交流电气传动也超过50%。

交流电气传动市场增长迅速

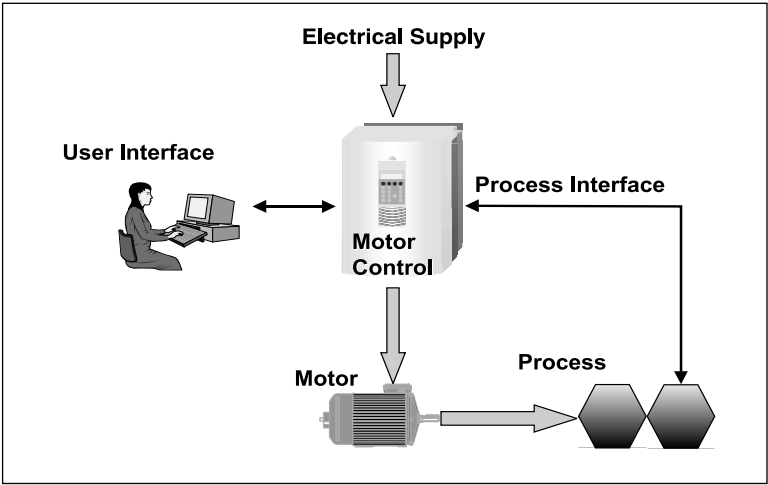
该页图显示预期到2000年时交流电气传动的市场发展。可以看出，交流电气传动的市场发展正在以每年接近10%的速度增长，其说明电气和变速驱动市场整体都在增长，直流传动的市场份额正在减少，总的直流市场规模几乎仍保持不变。这一进步是由于交流传动技术的发展。



如本指南前述，交流传动比其它过程控制方法有很多优点。交流电机和直流电机的区别是直流电机有利用碳刷换向的机械换向器。这些碳刷需要定期保养，换向器本身使电机结构复杂化，同时浪费能源。交流传动同直流传动相比，其市场份额正在增长，这些就是主要的原因。

第五章 - 交流传动是领先的控制方法

现在我们可确信地说，交流传动是领先的控制方法。在下面的章节，我们将仔细研究不同交流传动的特点和交流传动可提供的性能水平。

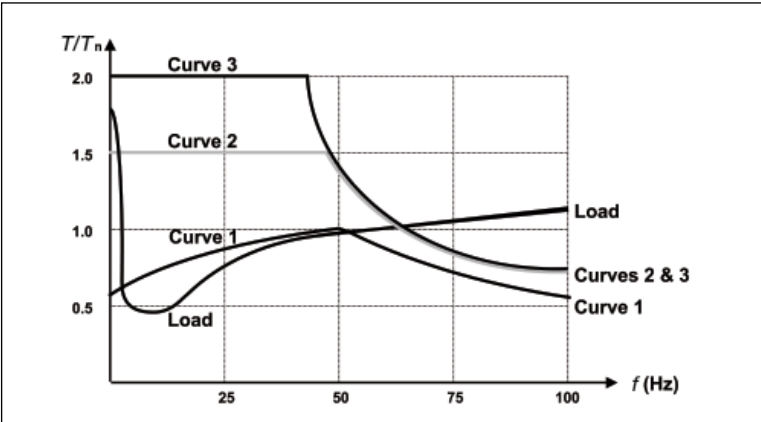


交流传动的基本功能

在上图中，给出了当前交流传动的基本功能。交流电气传动有四个不同的控制部分。它们是用户界面部分，电机部分，供电部分和生产过程接口部分。

供电部分供给交流传动所需要的电能。交流传动用电的选择标准是电源电压和频率。交流传动将电源的频率和电压转换后再供给电机。这个转换过程是受控的，控制信号来自生产过程或者用户通过生产过程接口部分和用户界面部分生成所需的信号。

通过交流传动，在用户界面部分能够观察交流传动状态，并能获得不同的生产过程信息。这使得交流传动易于和其他过程控制设备和重要的过程控制系统等集成在一体。



电机的负载曲线与交流传动

如果电机没有用变频器驱动，其负载曲线不能修改。这样电机将在一定的速度产生一个特定的转矩，不可能超出电机最大转矩。

当使用变频器驱动时，有不同的负载曲线可选择。上图中的曲线1（Curve 1）为标准曲线，使用时可沿其连续运行。其他曲线只能用于时间上的某些时段，因为没有为这类重载应用设计电机的冷却系统。

在启动期间，可能需要较高的带载能力。例如在某些应用的启动时，需要高达两倍的转矩值。使用变频器产生高达两倍的启动转矩是可以的，其意义是电机可以按正常使用选型（不用考虑高启动转矩）。这将减少投资成本。对前述情况，电机将使用其它的重要的负载曲线。

交流变频器和电机要匹配兼容。否则，电机或变频器会因过热损坏。

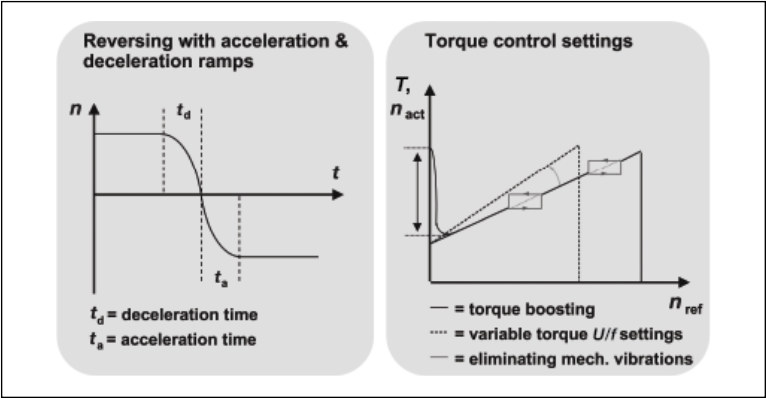
重要特点:

- 输入和输出
- 反转功能
- 加速/减速的斜坡时间
- 可变扭矩，电压频率比值的设置
- 扭矩提高
- 消除机械振动
- 负载限制，以防止产生故障
- 功率损耗低电压穿越
- 堵转功能
- 滑差补偿
- 快速/跟踪启动

交流传动的特征更适应过程控制

为了更好的实现过程控制，交流传动常需要其他的内部特性和功能。如上图所列的功能特征，例如输入和输出。对于各种不同的过程信息，可使用其相应地去控制和驱动电机。另外，它可以限制负荷，以防止产生故障并可保护机器的工作和整个驱动系统。

以下几节的将更详细的介绍列出的特点。



反转

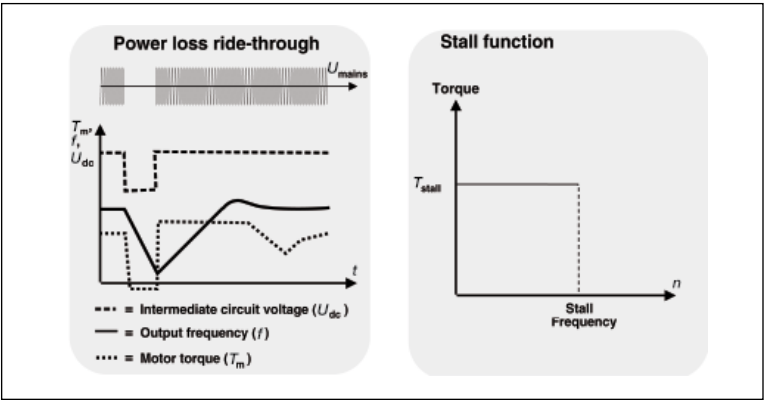
使用交流传动可简单的实现电机转向的反转。当使用ABB的变频器时，可简单的按下一个按钮就能实现。此外，可设置不同的加速和减速斜坡时间。斜坡形式也可根据用户的意愿修改。上面的左图中，目前已设置S型斜坡。另外也可以是线性斜坡。

转矩控制

在交流传动中，转矩控制是比较简单的方式。前面提到的转矩提高，如果需要一个非常高的起动转矩，转矩提高是必需的。可通过变转矩U/f的设置实现，这意味着在比正常速度低时可达到最大转矩。

消除机械振动

机械振动可通过跳过危险速度被消除。这意味着，当电机加速到接近临界危险速度时，传动将不允许电机的实际速度跟随给定的速度值。当临界点已跳过，该电机将快速返回到正常曲线并跳过临界危险转速。



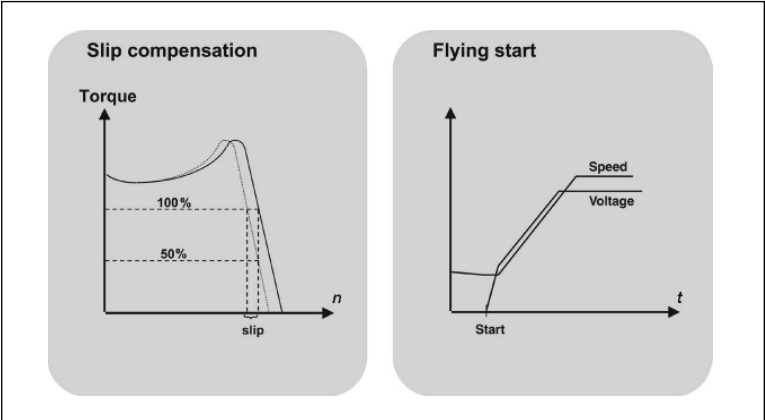
低电压穿越

低电压穿越功能使用于输入电源电压被切断。这时交流传动利用旋转电机的动能将继续运行。交流传动运行的时间长短，取决于旋转电机的动能和其发电量。

堵转功能

采用交流传动，电动机在堵转状态能够得到堵转功能的保护。可以调整监视限制值范围并选择电机堵转时的动作。如果下面三个条件同时满足，保护被激活。

1. 传动的频率低于预设的堵转频率。
2. 电机转矩已上升到某一限定值，该限定值由传动内部软件计算得出。
3. 最后一条是，电机堵转限制时间已超过用户设置的时间限值。

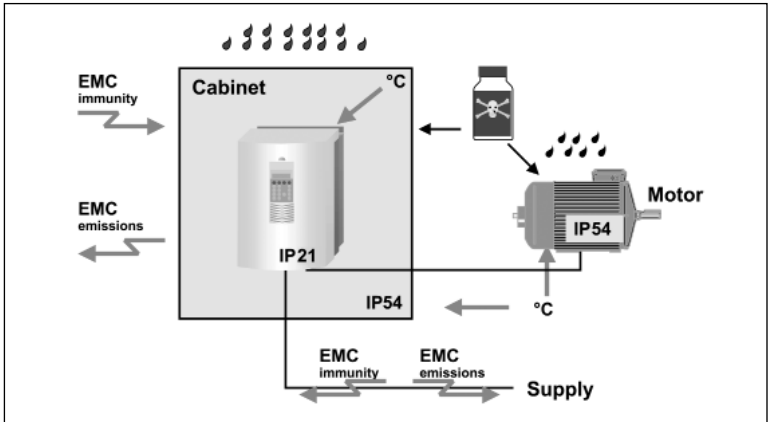


滑差补偿

如果电机负载转矩增加，电机的速度会减少，如在上图中的左图所示。为了补偿这个偏差，变频器的转矩/速度曲线可以修改，以便转矩的增加达到与先前相同的速度。

快速/跟踪启动

当电机连接到飞轮或高惯性负载时可使用跟踪启动功能。即使没有速度反馈也可使用跟踪启动。在电机旋转运动的情况下，变频器启动时首先降低电压，然后同步到旋转的转子。同步后，电机的电压和速度将增加到相应的水平。



环境特征

任何驱动系统都处于不同的环境压力下，如湿气水分或电气干扰。鼠笼电机是非常紧凑的，可在非常恶劣的情况下使用。具有IP54的防护等级的设备可在尘土飞扬的环境工作，并能承受从任何方向喷洒水分。

变频器通常为IP21的防护等级。这意味着无法接触到它的带电部分，而且垂直滴水不会对其造成任何伤害。如果要求较高的防护等级，是可以实现的。例如，通过将变频器安装在柜内，柜子有较高的防护等级。在这种情况下，必须确保柜内的温度不会超过允许的限值。

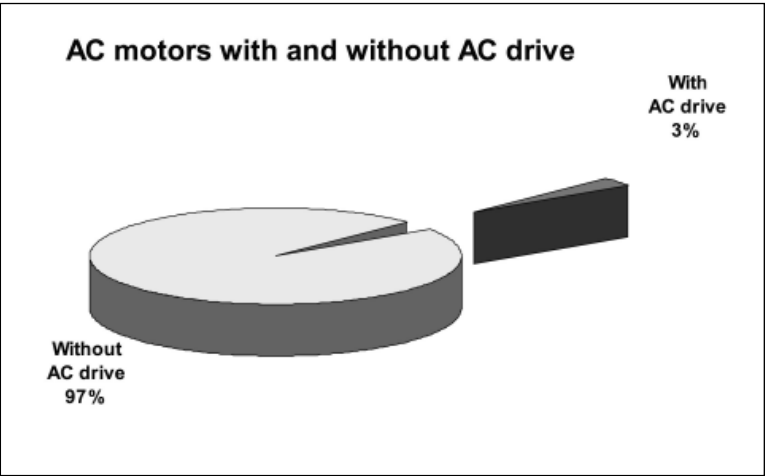
EMC

另一个重要的环境特点是电磁环境兼容性(EMC)。这是非常重要的，传动系统满足欧洲联盟的EMC要求。这意味着传动系统可以承受传导和辐射干扰，而它不向供电电网或周边环境发送任何传导或辐射干扰。

如果您需要更多有关EMC的指示信息和对传动的影响，请参阅ABB公司的技术指南第3号，EMC适应性兼容的安装和配置功率/电气传动系统。

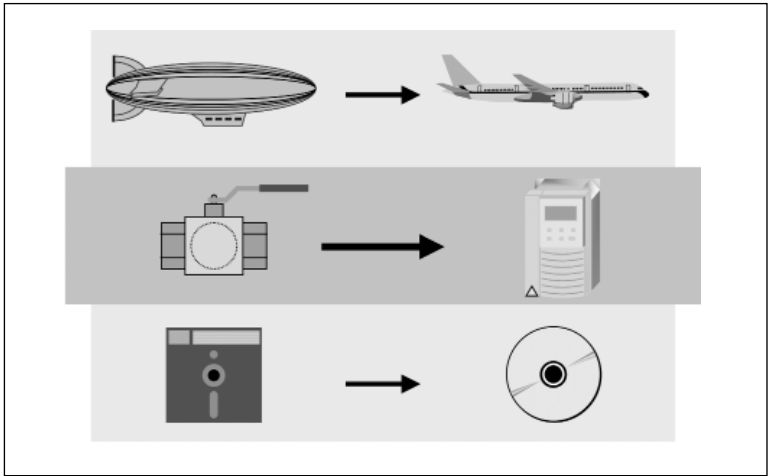
第六章 - 交流驱动器的成本效益

除了技术优势，交流传动还提供了许多成本效益。在这一章中，回顾这些优点，成本分为投资成本，安装成本和运行成本。



目前仍然有大量的电机没有使用交流变频传动。上图显示有多少低于2.2千瓦出售的电机，以及多少无变频器一起出售的电机。在此功率范围内只有3%的电机随变频器一起出售，每年销售97%的交流电机没有变频器。

本指南我们已看到这里，里面有许多惊人的思考，非常值得我们深思。更要加强对交流传动和常规控制方法的费用成本比较研究。但首先让我们回顾一下交流传动技术与其他控制方法的比较。



交流传动与其他系统的技术差异

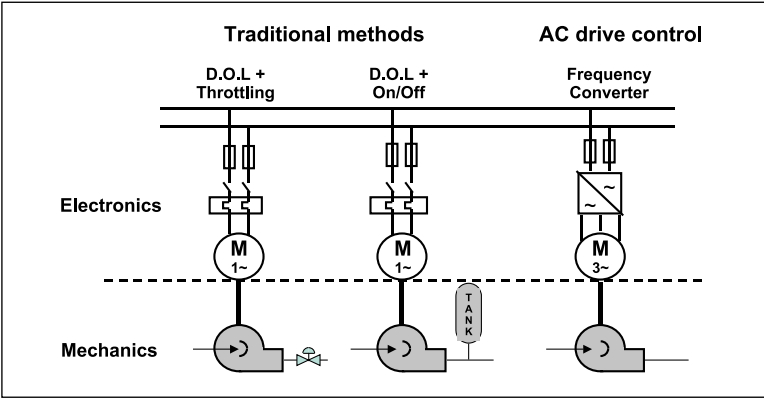
交流传动技术与其它简单控制方法完全不同。比较它们就如同比较齐柏林飞艇(齐柏林飞艇：一种由内部气囊支持着长圆筒机身的、机动的、具有硬式机架的、可驾驶的硬式飞艇)和现代的飞机之间的不同。

我们还可以这样比较交流传动技术的发展，如同从软驱磁盘到CD-ROM的发展。这两种创新的好处一般是众所周知的。虽然只是简单的信息存储问题，软盘只能处理CD-ROM上的一小部分的信息。

同样的，交流传动技术是基于一种与早先的控制方法完全不同的技术。在本指南中，我们指出交流传动比简单控制方法好的优点。

4

不需要机械控制部分



要进行适当的成本比较，我们需要研究不同控制方法的配置。

在这里我们以泵为例。

在传统的方法中，总有机电部分和电气部分。为了调节流量，在电气部分你需要保险丝，接触器和电抗器控制，对机械方面需要调节阀。如果使用开/关控制时，电气部分同样需要电器元件，在机械方面需要压力罐。交流传动提供新的解决方案。不需要机械控制部分，因为所有的控制都在电气方面。

当考虑到成本时，使用交流传动的另一个好处是，我们可以使用普通的3相电机，它比其他控制方法使用的单相电机便宜得多。当功率低于2.2千瓦，我们仍然可以使用220伏单相供电。

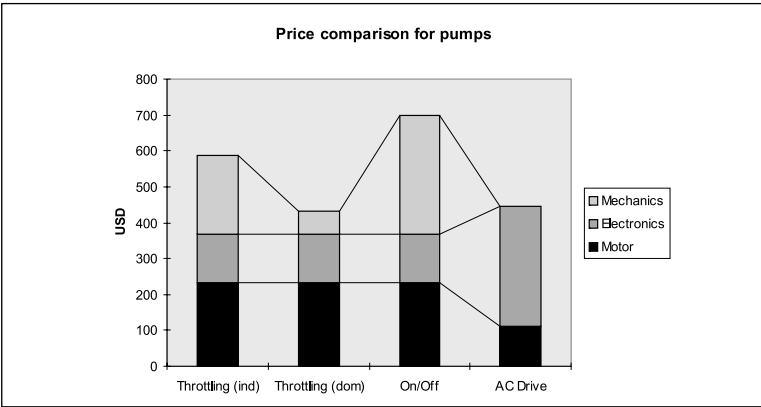
传统方法：	交流传动：
- 电气和机械部件	- 一体化
- 许多电气部件	- 只有一个电气元件
- 需要定期维护的机械部件	- 无机械部件，无磨损
- 机械控制为能量损耗	- 节能

影响成本的因素

此列表比较了传统的控制方法与交流传动的特点，以及他们对成本的影响。传统的方法是由电气和机械两部分组成，而通常需要单独购买。这些多次购买的总费用常高于单次购全的方式。

此外，机械部件磨损很快。这直接影响维护成本，从长远来看，维护是一个很重要的成本项目。在普通的方法中也有很多电子零件。当有几种不同类型的组件而不是只有一种时，最后的安装成本至少涨一倍。

但最后很重要的是，机械的控制很耗费能源，而交流传动实际上节省能源。这不仅有助于降低成本，而且还有助于减低对环境的影响减少发电厂排放的废气。



机械和电子部件的投资成本

在上图中，给出目前的几种水泵控制方法的投资结构以及费用总价。只有泵本身的成本未添加，因为它的价格是一样的，跟它是否与交流传动或阀门配合使用无关。在节流应用方面，取决于泵是用于工业或民用两种不同的情况。如在工业环境中，对阀门有更严格的要求，这会引起成本增加。

电机

可以看出，传统控制方法和交流传动相比，在电机的费用上更多。这是由于交流传动使用3相电机，而其他控制方法使用单相电机。

交流传动

交流传动不需要任何机械部件，从而显著减少了成本的增加。虽然机械部分本身总是比变频调速的成本更低，但是电气部分的费用也要算到总的投资成本中。

在考虑总成本时，相对于不同的控制方法来说，交流传动似乎总是最经济的投资。只有民用的节流应用，不同的控制方法和交流传动的费用一样低。然而这些都不是总成本，除了投资成本，我们需要看看安装费用和运营成本等费用。

	节流	交流传动
安装材料	20 USD	10 USD
安装工作	5h x 65 USD = 325 USD	1h x 65 USD = 65 USD
调试工作	1h x 65 USD = 65 USD	1h x 65 USD = 65 USD
总费用	410 USD	140 USD
安装节省: 270 USD!		

安装费用：节流应用与交流传动比较

由于节流应用是相比交流传动为第二种低的投资应用，我们将对比其与交流传动在安装和运营成本方面的差异。如前所述，节流应用有电气的和机械的两部分。这意味着材料安装需要两次。

节流应用相比交流传动，安装工作至少两次。将机械阀安装到管道上不太容易，需要增加安装时间。机械节流阀从准备安装到投入使用，通常需要5小时，而交流传动的安装只需1小时。安装所用时间乘以熟练安装工的平均工时费用为总的安装费用。

调试基于节流应用的系统，通常不需要太多时间，不会比交流传动系统的调试时间多。在这两种情况下，通常都只需一小时。所以我们现在可以算出总的安装费用。如你所见，每个交流传动的安装节省高达270美元。虽然节流应用的机械部分投资成本低于单相电动机的费用(约合200美元)，但是交流传动在投资前预算时就已节省了许多。

	节流	交流传动 节能 50%
功率要求	0.75 kW	0.37 kW
每年需要的能源 4000 小时/年	3000 kWh	1500 kWh
每年的能源费用 0.1 USD/kWh	300 USD	150 USD
维护/年	40 USD	5 USD
总费用/年	340 USD	155 USD
一年节约: 185 USD!		

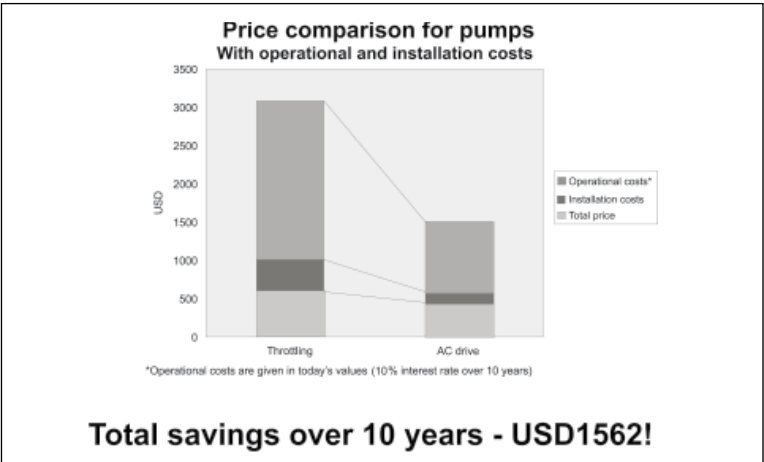
营运成本：维护和运行的能耗

许多调查和实验已证明了这一点，使用交流传动很容易实现50%的节能。这意味着，在节流应用的功率需求将是0.75千瓦，如采用交流传动则需要0.37千瓦。如一个泵每年使用4000小时，节流应用中节流阀每年的能源需要3000千瓦时，而相应的交流传动需要1500千瓦时。

为了计算节约的成本，需要用能源消耗量乘以能源价格，而能源价格取决于不同的地域。这里按每千瓦时0.1美元计算。

如前所述，机械部分的磨损很多，这就是为什么它们需要定期维护。据估计，节流阀应用每年的维护服务为40美元；而相应的交流传动的维护费用为5美元。然而在许多情况下，变频器是不需要维修的。

因此，经营成本将共计节余185美元，这大约是相应功率范围的变频器价格的一半。这意味着该变频器的回报期是两年。因此，每年旧的节流阀系统的服务费，用交流传动控制系统完全的替代改造是有利的，是更值得考虑的。改造现有的节流应用系统的回报期为两年。



总成本比较

在上图中，所有的费用已经汇总。通常对这类投资的营运成本计算时间为10年。在这里，运营成本的规定用现值利润10%的利润率计算。

从长远来看，传统的方法比变频器的贵过两倍。交流传动的节能大部分来自运营成本，特别是来自能源节约。在安装时，能实现最高的单独的节约。随着交流传动的安装尽快实现节能。

考虑到总成本，非常难理解，为什么只有3%的电机与变频器一起配合使用。在本手册中，我们试图解释交流传动的优点，我们认为，对于目前而言，过程控制的最好方法就是交流传动。



北京ABB电气传动系统有限公司
中国，北京，100015
北京市朝阳区酒仙桥北路甲10号D区1号
电话：010-58217788
传真：010-58217518/58217618
24小时服务热线：(+86) 400 810 8885
网址：<http://www.abb.com/drives>

3ABD61389211版本 A 中文
基于：3AFE61389211版本 C 英文
生效日期:2010-10-01

ABB 传动

现代交流传动系统的轴承电流



ABB 传动
现代交流传动系统
的轴承电流

技术指导 5

5

3ABD64230247 版本 A 中文
基于:3AFE64230247 版本 C 中文
生效日期: 2010-10-01

第1章 - 介绍7

 概述7

 消除轴承电流7

第 2 章 - 轴承电流的产生8

 高频电流脉冲8

 快速开关9

 高频轴承电流是怎样产生的?9

 环流9

 轴接地电流.....9

 容性放电电流 10

 共模电路 10

 寄生电容 11

 电流怎样流过系统? 12

 电压落差 12

 共模变压器..... 13

 电容分压器..... 15

第3章 - 如何防止高频轴承电流的危害 17

 三种途径..... 17

 使用多芯电机电缆 17

 降低接地阻抗 17

 高频接地屏蔽电缆 18

 遵循产品使用指导 19

 附加的解决方案 19

 测量高频轴承电流 19

 专家测量 20

第一章 - 介绍

概述

一些新安装的传动可能在启用后几个月就因为轴承电流产生故障了。故障是因为流过电机轴承的高频电流导致的。

自从电气轴出现以后轴承电流也随着产生了，它们引起的损害在最后几年里是逐渐增长的。这是因为现代变频传动能够产生快速上升的电压脉冲，以及它高的开关频率导致轴承上产生电流脉冲，而这个电流脉冲使得轴承不停重复放电，进而逐渐地侵蚀轴承滚道。

消除轴承电流

为了避免损害的发生，提供正确的接地方式使杂散电流返回变频器，不流过轴承是很必要的。可以使用对称电机电缆或变频器输出滤波器减小电流。绝缘轴承也可以阻断轴承电流回路。

第二章 – 轴承电流的产生

高频电流脉冲

轴承电流有几种不同的形式,然而,现代的电机设计和制造技术已经消除了由于电机不对称造成的低频轴承电流,但是现代交流传动系统的快速开关频率可能产生流过轴承的高频电流脉冲。如果这些脉冲的能量足够高,金属可从滚珠和滚道传到润滑剂。这就是大家熟知的放电加工或叫EDM。一个脉冲的效果是微不足道的,但是一个小的EDM凹陷会不间断地累计越来越多的脉冲,最终一个典型的EDM弹坑。现代交流传动系统的开关频率很高,大量的脉冲信号会使侵蚀逐渐累积,并最终导致轴承短期内就的更换。

ABB从1987年开始研究高频轴承电流。在最近几年系统设计重要性日渐突出。每一个因素包括电机,齿轮箱,控制器都是复杂制造技术的结果并显著地影响平均故障时间间隔MTBF。这些因素结合起来和安装系统一起被看作是一个整体,这样的话就需要特定的安装方法。

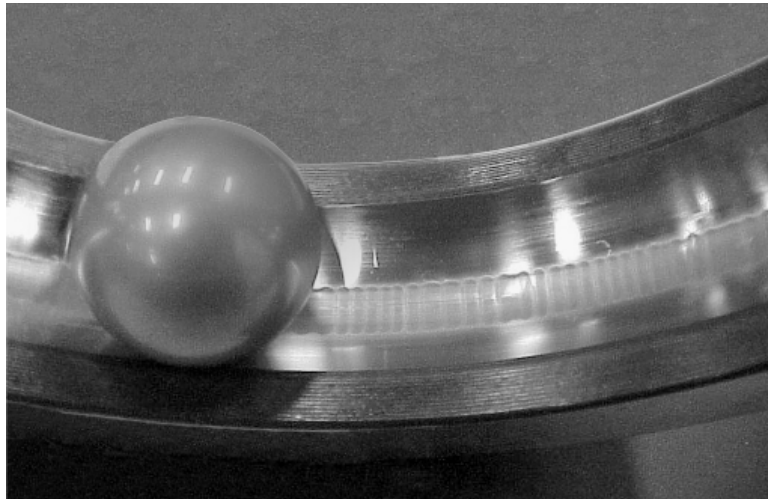


图1: 轴承电流能够产生“轴承笛声”, 一种在轴承滚道里有节奏的响声

快速开关

使用IGBT的交流传动技术，开关频率是十年前传统技术的20倍。近年来发现交流传动系统在启动后大约1到6个月的时间内发生轴承放电加工故障的次数呈上升趋势。这个程度依赖于交流传动系统的结构和使用的安装技术。

高频轴承电流是怎样产生的？

轴承电流的来源是轴承上感应的电压。这个电压可以通过三种方式产生。最重要的因素是电机的尺寸和电机外壳以及轴的接地方式。电气安装，比如合适的电缆形式，正确的导体的焊接以及电气屏蔽，也是很重要的因素。变频器的输出滤波器 du/dt 和直流母线电压也会影响轴承电流的大小。

环流

在大电机中，由于定子周围高频的磁通环流会在电机的轴端感应出高频电压。这个磁通是由于定子周围绕组到定子机座的容性电流泄漏引起的电压不平衡产生的。轴端的电压会影响轴承。如果这个电压高到击穿了轴承油膜的阻抗，那么就会在电机轴，轴承和定子机座间产生一个环绕的电流以补偿定子的磁通。这个电流就是高频轴承电流的环流形式。

5

轴接地电流

泄漏到定子机座的电流需要返回到变频器，而变频器正是这个电流的来源。任何回路都有阻抗，因此电机外壳对地的电压会上升。如果电机轴通过驱动的机械接地了，那么电机外壳上电压的增长就会施加在轴承上。如果这个电压高到击穿了驱动端轴承油膜的阻抗，那么就会有部分电流通过驱动端轴承，轴和驱动的机械流回变频器。这个电流就是高频轴承电流的轴接地形式。

容性放电电流

在小电机上，共模电压通过电机内部寄生电容的电压分配可能会导致轴电压过高，进而产生高频轴承电流脉冲。如果电机的轴没有通过驱动机械接地而是为了保护需要以标准方式接地的话，就会发生这种情况。

共模电路

高频轴承电流是在交流传动系统的共模电路中产生的电流。

一个典型的三相交流电源在正常条件下是平衡和对称的。也就是说，三相的矢量和为零。这样，正常的中线电压是零电位。但是，在一个脉宽调制的三相电源中不是这样的，因为它是把直流电转变成三相交流电的。即使它的输出电压的基波是对称和平衡的，也不可能使三相输出的和的瞬时值为零。结果就是中线电压不为零。这个电压就是共模电压的来源。任何负载的零点都是可以测量的，比如，电机绕组的起点。

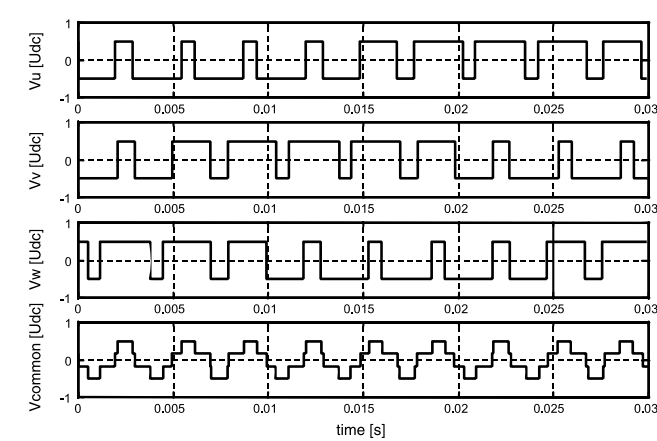


图 2：这个示意图表示了现代交流传动系统中一个典型的脉宽调制电源的相电压和三相的平均值或者叫中线电压。很明显中线电压不为零，并且这个电压就是共模电压的来源。电压的大小跟直流母线电压成比例，频率等于变频器的开关频率。

每一相输出在任何时刻都可能从一个电压变到另一个电压，由这个电压变化产生的电流就会通过输出电路上所有部件的接地电容强制流向大地。电流再通过三相系统外部的接地导体和变频器的寄生电容流回变频器。这种由外部到系统组成的环流就叫做共模电流。

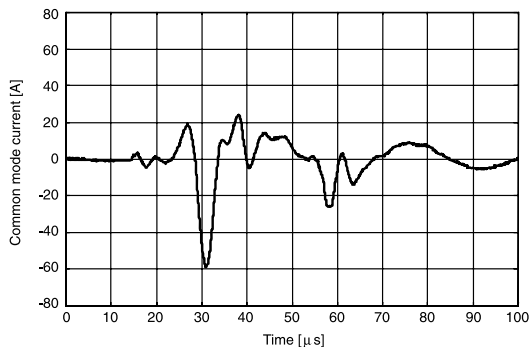


图 3：一个在变频器输出端的共模电流示例。由于共模电流的并行通路的自然频率不同，这个电流是几个频率电流的叠加结果。

寄生电容

两个中间绝缘的导体之间会产生一个电容。例如，通过PVC绝缘的电机相导线和PE线之间就有一个电容值。再例如，通过搪瓷涂层和槽隙绝缘的电机绕组和电机外壳之间也有一个电容值。电缆之间特别是电机内部的电容值是很小的。小的容值就意味着对低频信号高的阻抗，这样就阻止了低频寄生电流。然而，现代交流电源产生的快速脉冲包含高频信号，这样即使寄生电容很小也会产生一个低的阻抗，进而产生电流。

5

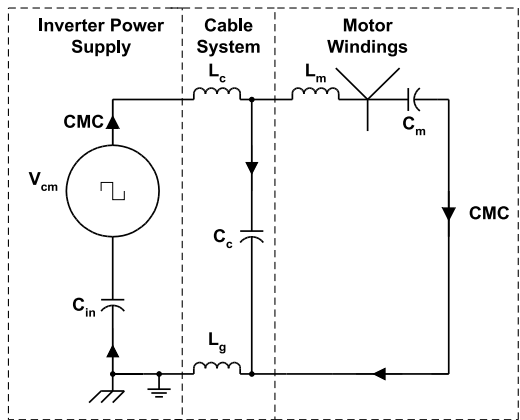


图 4：一个脉宽调制变频器和感应电机的简化共模电流环路图变频器充当一个共模电压源(V_{cm})。共模电流(CMC)流过共模电缆和电机电感 L_c ， L_m ，以及电机绕组和框架之间的寄生电容 C_m 。电流从电机外壳流向工厂的接地电路，这个电路有一个电感 L_g 。 L_g 也从寄生电缆电容 C_c 灌入共模电流。变频器外壳接到工厂大地并且通过变频器和外壳之间的寄生电容 C_{in} 跟共模电流/接地电流耦合，流回共模电压源。

电流怎样流过系统?

从电机外壳流回变频器外壳的泄漏电流的返回路径包括电机外壳，电缆屏蔽层或PE接地导体，以及工厂建筑中的铁或铝部分。所有这些元素都包括电感。共模电流流过这些电感时会产生一个电压降落，这样就提升了电机外壳对变频器外壳地电位的电压。这个电机外壳电压是变频器共模电压的一部分。共模电流将寻找阻抗最小的路径。如果路径上遇到了大的阻抗，象电机外壳的PE连接，电机外壳电压将分流一部分共模电流到未知路径，通过建筑。实际上有很多并行的路径。大部分对共模电流或轴承电流的值没什么影响，但可能会引起EMC干扰。

电压落差

如果电感的值很高，在典型的共模电流频率的高频阶段，50 kHz到1 MHz,电抗会在电机外壳和变频器外壳间引起超过100v的电压落差。在这种情况下，如果电机轴通过一个金属联轴器连接到齿轮箱或驱动机械，并且它们的接地牢靠且接近变频器的地电位的话，那么变频器共模电流的一部分还是可能通过电机轴承，轴和驱动机械返回变频器的。

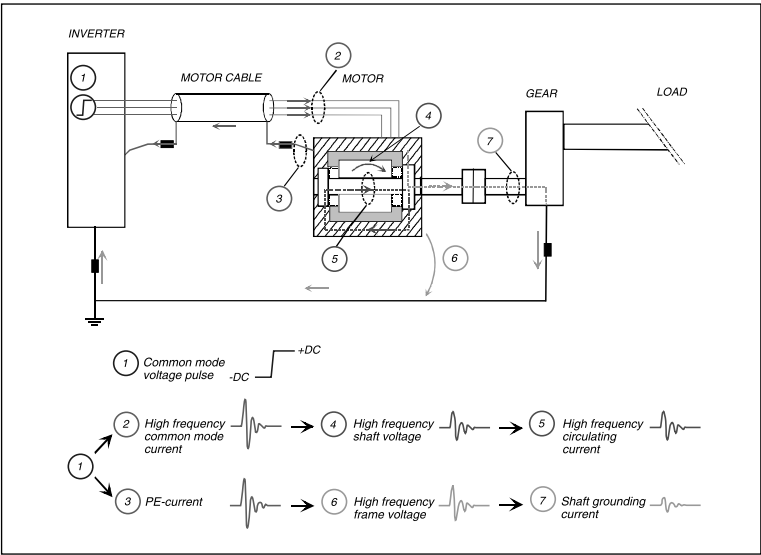


图 5: 示意图表示了环流和轴接地电流，后者是由电机外壳和机械地之间的高电压导致的。

如果机械的轴没有直接接地，电流就会流过齿轮箱或机械轴承。这些轴承可能会在电机轴承之前损害。

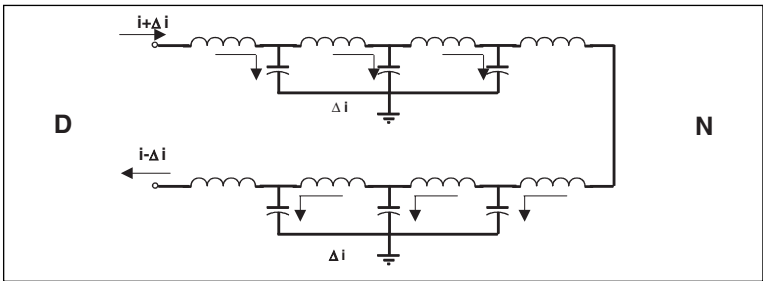


图6: 高频轴承环流的来源。通过定子电容的电流泄漏在定子周围形成的电流不为零。这就在电机轴周围形成磁场产生磁通。

共模变压器

电机寄生电容最大的组成成分就是定子绕组和电机外壳之间的电容。这个电容沿定子周围和纵向分布。因为电流沿着线圈泄漏到定子，所以进入到定子线圈的高频电流成分要比泄漏掉的电流大。

这个电流在定子铁片四周产生了一个磁场，在轴端感应出一个轴电压。如果这个电压足够高的话，就会产生一个流过电机轴和轴承的环流。在这种情况下，电机就会产生一个变压器的效果，流过定子机座的共模电流作为原边，感应到转子电路的环流作为副边。这个轴承电流被认为是危害最大的，依据电机额定功率大小， du/dt 滤波器，直流母线电压的大小会产生一个3到20安的尖峰电流。

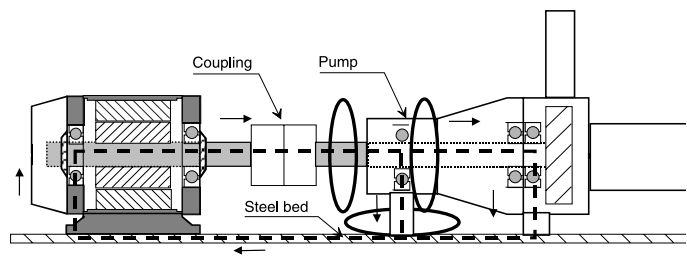


图 7: 高频轴电压被认为是产生变压器效果的原因，流过定子机座的共模电流作为原边，感应到转子电路的环流作为副边。

代替电机内部的环流，另一种轴承环流会在齿轮箱和驱动机械的轴和轴承之间以及其他的外部部件间产生。这个电流产生的原因和电机内部的是是一样的。图8指示了这样一个“四处流浪”的轴承环流的例子。

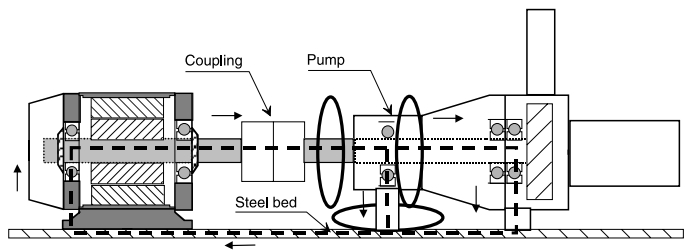


图 8: “四处流浪”的轴承环流从外部到电机构成了电流环路。

电容分压器

电机上还存在其他的寄生电容，比如定子绕组和转子间的电容，定子和转子间的气隙电容。轴承自身也有寄生电容。

定子绕组和转子间的电容也会连接到轴承滚道和轴上。变频器上共模电流的快速变化不仅在电机周围和纵向的电容上产生电流，也会在定子绕组和转子直到轴承产生电流。

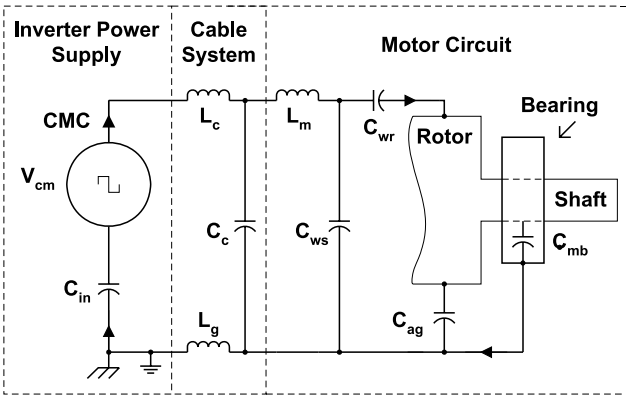


图 9：变频器的共模环路，包括定子, 转子以及轴承上的寄生电容。

跟着轴承在任意时刻的物理状态，轴承电流快速的变化着。例如，轴承上的寄生电容在滚珠充满油或油脂的时候是相同的，并且不导电。但是，当感应的轴电压建立起来以后，并且轴承电压超过了它的击穿值，或者油膜发生了破坏跟轴承滚道发生了接触，那么这个电容就会被短路。在很低速的情况下，轴承上有金属接触因为这时滚珠还没有在油膜上浮起来。

通常，轴承阻抗决定了轴承开始导电的电压等级。这个阻抗依据轴承负载，温度，转子速度和使用的润滑剂不同而呈非线性变化，视情况而定。

第三章- 如何防止高频轴承电流的危害

三种途径

有三种方法被用来影响高频轴承电流：正确的电缆和接地系统；打破轴承电流环路；削弱高频共模电流。所有这些手段的目的就是降低轴承上的电压使它根本不足以感应出高频轴承电流脉冲，或使这些脉冲的值低到一个不会影响轴承寿命的值。对于不同类型的高频轴承电流，需要使用不同的测量方法。

控制高频轴承电流最基本的就是正确的接地系统。标准的设备接地就是要设计出足够低的阻抗连接以保护人和设备免于系统周期性的故障危害。如果采用以下三种安装方法的话，变频器可在高频共模电流下有效的接地：

使用多芯电机电缆

使用对称多芯电机电缆。电机电缆的对地连接（保护地，PE）必须是对称的，以避免基频轴承电流。要获得PE导体的对称，可通过使用一个导体将三相相导线包起来，或使用在三相相导线周围对称分布三根接地导线的电缆。

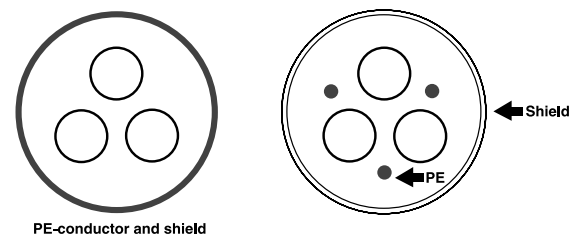


图10: 推荐使用对称多芯结构的电机电缆

降低接地阻抗

形成一个低阻抗的回路，使共模电流返回变频器。最好最方便的方法就是使用屏蔽电机电缆。屏蔽层必须是连续的且要是良导体材料，也就是铜或铝材料，并且需要360°接地。

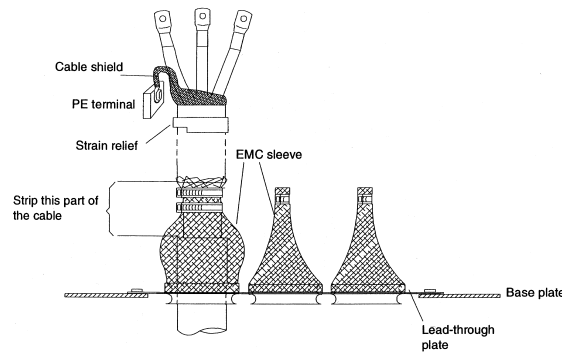


图11a 和11b 表示了欧洲和美国的电缆360° 接地。

图11 a: 欧洲电缆360°接地。屏蔽层以尽可能短的小尾巴的形式连接到PE端子。为使EMC网和电缆屏蔽层之间360° 高频连接，电缆的外部绝缘层要被剥开。

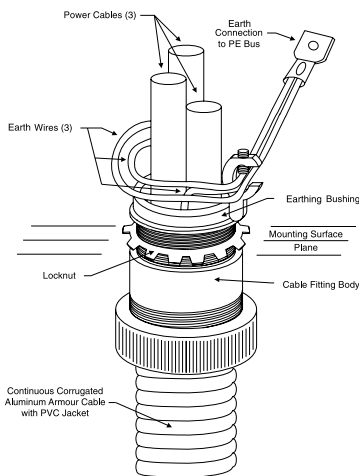


图11 b: 美国电缆360°接地。为了使接地导线连到铠装或导管上，在电机电缆的两端使用了接地套管。

高频接地屏蔽电缆

在系统和地参考点之间使用50—100mm宽的铜胶带进行高频连接，以使各部分的电位相等；扁平电缆将提供一个比圆电缆小的电抗回路。这个连接必须要在怀疑的变频器的地和电机的地断开的地方进行连接。另外要使电机外壳和驱动机械的电位相等，以缩短电机和驱动机械轴承间的电流回路。

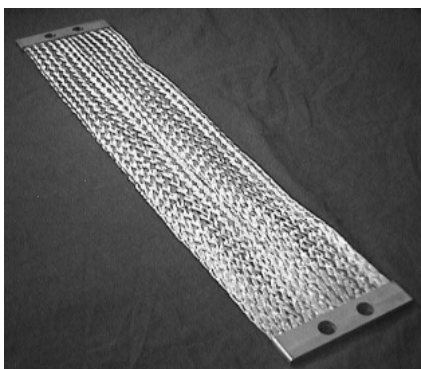


图12: 高频扁平电缆。

遵循产品使用指导

尽管安装的基本原则是一样的，但对不同的产品会有所不同。因此，要仔细认真的遵循产品的安装指导。

附加的解决方案

使用绝缘轴承结构可打断轴承电流的环路。使用专门的滤波器也可以减弱高频共模电流。作为一个变频器和电机的制造商，**ABB** 不但可以提供详细的正确的接地和电缆指导，也可以针对每个案例提供合适的解决方案。

5

测量高频轴承电流

要监测轴承的状态必须进行振动测量。直接从一个标准电机上测量轴承电流是不可能的。但是如果你怀疑有一个高频的轴承电流，那么可以进行现场测量以证实有没有电流环路的存在。测量设备需要有宽的带宽（至少10kHz到2 MHz），能够探测到至少150到200A的尖峰值和至少10mA的有效值。被测量信号振幅系数要不小于20。电流可能流向不常去的地方，比如转轴。这时候就需要专门的设备和经验丰富的技术人员。

ABB使用带有专用备件的专门设计的，灵活的，空心的，**Rogowski**型电流传感器，并且在世界范围内不同应用场合测量过超过一千台变频器，有着丰富的经验。

最重要的测量点在电机内部。测量时，电机速度至少要达到额定转速的10%，以使轴承能浮在油膜上。图13就是一个基本的测量示例。图14是一个测量出的电流波形图例。**GTO**变频器主要在20世纪80年代广泛使用，而**IGBT**变频器是现在广泛应用的。注意图中标定值的不同。

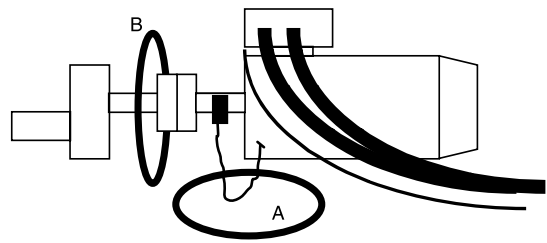
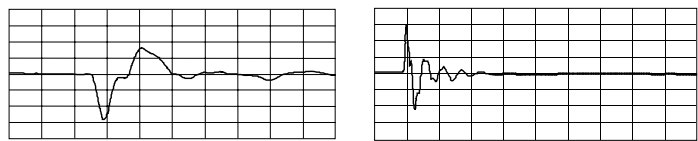


图 13: 基本测量: A) 使用跨接线测量环流 B) 测量轴接地电流.

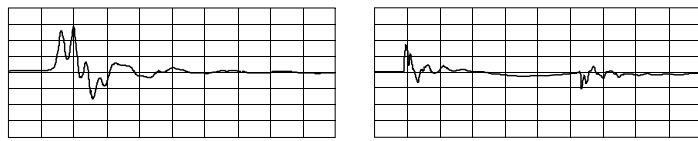
A) 环流



GTO变频器, 5us/格, 2A/格

IGBT变频器, 5us/格, 2A/格

B) 轴接地电流



GTO变频器, 2us/格, 10A/格

IGBT变频器, 5us/格, 500mA/格

图14: 图13中测量点的电流波形

专家测量

因为合适的工业测量设备在市面上买不到，并且测量和分析结果需要专门的经验，因此建议由专门的技术人员进行轴承电流的测量。



北京ABB电气传动系统有限公司
中国，北京，100015
北京市朝阳区酒仙桥北路甲10号D区1号
电话：010-58217788
传真：010-58217518/58217618
服务热线：(+86) 400 810 8885
网址：<http://www.abb.com/drives>

3ABD64230247 版本 A 中文
基于: 3AFE64230247 版本 C 中文
生效日期: 2010-10-01

ABB传动

交流传动谐波指南

技术指导 6



ABB传动

交流传动谐波指南

技术指导 6

3ABD64292714 中文 A 版本
Based on: 3AFE64292714 REV C EN
EFFECTIVE: 2010-07-01

目录

第 1 章 - 介绍	7
概述	7
第2章 - 谐波现象的基本原理	8
第3章 - 谐波畸变源和影响	10
第4章 - 使用DriveSize软件计算谐波畸变	11
4.1 计算实例的电路图	11
4.2 电机负载的输入数据	11
4.3 选择电机	12
4.4 选择逆变器	12
4.5 逆变器供电单元数据	12
4.6 电网和变压器数据输入	13
4.7 计算的谐波电流和电压	13
4.8 计算的谐波电流（用图形表示）	13
4.9 打印报告的一部分	14
第5章 - 谐波限值标准	15
5.1 EN61800-3（IEC61800-3）调速电气传动系统	15
5.2 IEC610002-2，电磁兼容性（EMC）	16
5.3 IEC61000-2-4，电磁兼容性（EMC）	16
5.4 IEC61000-3-2，电磁兼容性（EMC）	16
5.5 IEC61000-3-4，电磁兼容性（EMC）	16
5.6 IEC61000-3-12标准的介绍	17
5.7 IEEE519，IEEE推荐的电动系统谐波控制实践和要求	17
5.8 公用电网谐波国家标准	19
第6章 - 谐波评估	21
第7章 - 如何通过改进交流传动系统的结构来减少谐波	22
7.1 在交流传动中影响谐波的因素	22
7.2 表格：各种因素及其影响列表	23
7.3 使用6脉冲二极管整流器	23
7.4 使用12脉冲或24脉冲二极管整流器	24
7.5 使用相控晶闸管整流器	24
7.6 使用IGBT电桥	25
7.7 使用更大的直流或交流电抗器	26
第8章 - 降低谐波的其它方法	29
8.1 调谐的单臂无源滤波器	29

8.2 调谐的多臂无源滤波器 29

8.3 外部有源滤波器 30

第9章 - 谐波抑制综述..... 32

9.1 不带电抗器的6脉冲整流器..... 32

9.2 带电抗器的6脉冲整流器 32

9.3 带三绕组变压器的12脉冲整流器..... 32

9.4 由两台相位差30度的双绕组变压器组成12脉冲整流器..... 32

9.5 带两套三绕组变压器的24脉冲整流器 33

9.6 有源IGBT滤波器..... 33

第10章 - 定义..... 34

索引 36

第1章 – 介绍

概述

本指南是ABB系列技术指南的延续，其中介绍了谐波畸变、谐波畸变源和影响、以及谐波畸变的计算和评估。文中还着重介绍了降低交流传动谐波的方法。

第2章 – 谐波现象的基本原理

谐波电流和电压是由与配电系统相连的非线性负载产生的。谐波畸变是电设备中产生的一种污染，如果总谐波电流超过一定的限值，就可能出现问题。

在各种电子系统中的所有电力电子变流器都可以通过向电网直接注入谐波电流而增加谐波干扰。图2.1说明了在电力电子变流器输入电流(i_s)中的电流谐波(i_h)如何影响电源电压($u(t)$)。

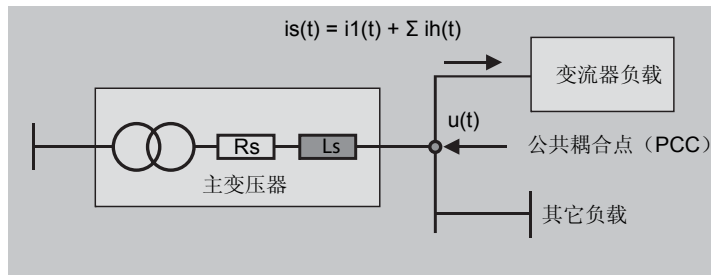


图2.1 带有变流器负载、主变压器和其它负载的设备

可以使用如下公式根据直流输出电流来计算3脉冲和6脉冲整流器的线路电流

$$I_1' = \sqrt{\frac{2}{3}} * I_d, \text{ 其中}$$

$$I_1' = \text{总电流的均方根值}$$

$$I_d = \text{整流器的直流电流输出} \\ (\text{适用于滤波直流电流})$$

基波电流为：

$$I_1 = I_1' * \frac{3}{\pi}$$

从理论上来说，如果将输出电流估算为没有污染的直流电流，那么一个6脉冲三相整流器的谐波电流频率为基波频率（50或60Hz）的n倍。如果线路电感与直流电抗器的电感相比可以忽略，那么下面的计算方法是成立的。此时线路电流为120°块状矩形波。次数n用如下公式计算：

$$n = 6k \pm 1, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

谐波成分的有效值为：

$$I_{ni} = \frac{I_1}{n}$$

在图2.2中给出了谐波成分：

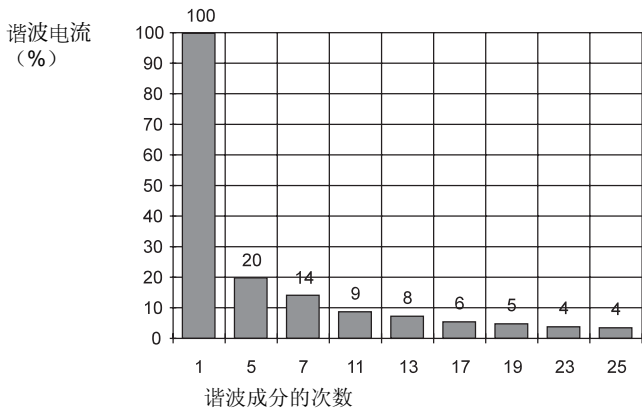


图2.2 一个6脉冲整流器理论矩形电流的谐波成分

在图2.3中说明了如何将谐波成分添加到基波电流中去，图中只显示了5次谐波。

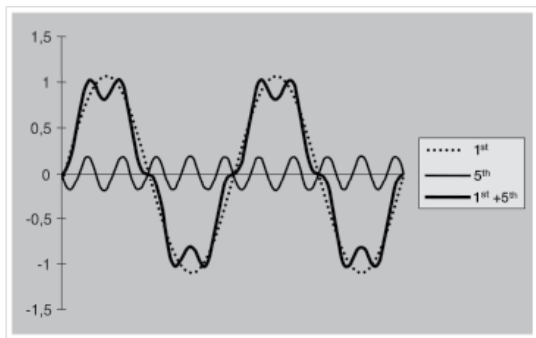


图2.3 基波和5次谐波电流的总电流.

第3章- 谐波畸变源和影响

公共非线性负载包括电机启动器、调速传动、计算机和其它电子设备、电子照明设备、焊接电源以及不间断电源。

与产生谐波的设备连接到同一个电源的变压器、电缆、电机、发电机和电容器可能因为谐波而出现过热。谐波还可能使电子显示器和照明设备出现闪烁，使断路器跳闸，使计算机出现故障，使计量设备产生错误读数。

如果在出现了上述症状后无法找到原因，那么就需要检查厂房整个配电体系的谐波畸变。谐波的影响可能先出现在客户厂房中，然后才出现在公用设施系统中。本技术指南旨在帮助客户了解可能出现的谐波问题，并确保将谐波畸变控制在合理范围内。

第4章 - 使用DriveSize软件计算谐波畸变

谐波电流会导致线路电压畸变。一般来说，如果知道了谐波电流和相应的源阻抗，就可以在电网中的任何一点计算电压畸变。在图4.1中的电路图显示了为变频器和设备中其它重要部件供电的电网。使用ABB DriveSize软件来计算。

4.1 计算实例的电路图

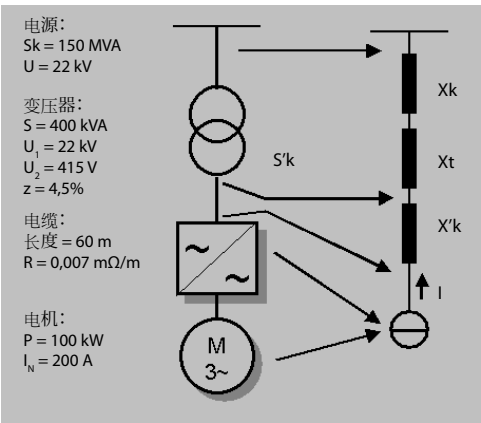


图4.1. 中间是为一个变频器供电的电网，右边是其等效图，左边是此实例的数据。

4.2 电机负载的输入数据

电机负载

负载类型: 恒定力矩/功率

过载类型: 一次过载

	最小	基本	最大
速度[rpm]	0	1450	1500
功率[kW]	0	100	100
过载 [%]		100	100

过载时间 [s]: 60 每[s] 600

图4.2. 在计算谐波过程中，最重要的电机负载数据是基本功率（kW）

4.3 选择电机

选择的电机数据	
M2BA 315 SMC 6	
选择项	DriveSize
电压 [V]	415
连接	D
频率[Hz]	50
功率 [kW]	110
☑数	6
速度[rpm]	992
最大机械速度 [rpm]	2300
电流[A]	197
力矩 [Nm]	1060
T max/Tn	3,2
功率因数	0,82
效率 [%]	95,6
绝缘类☑	F

图4. 3. 该软件为定义的负载选择电机。如果有必要，还可以借助选择功能选择其它电机（不是DriveSize选定的电机）。

4.4 选择逆变器

选择的逆变器数据	
ACS607-0140-3	
选择项	用户
选择方法	电流(正常)
电压 [V]	400
传动功率 [kVA]	140
Pn [kW]	110
正常Icont [A]	216
正常Imax [A]	238
Phd [kW]	90
重载Icont [A]	178
重载Imax [A]	267
脉冲数	6
外形尺寸	R8
P&F 12Nsq [A]	260

图4.4. 根据前面选择的电机来选择相应的逆变器，在这里，用户同样可以借助选择功能自己选择逆变器。

4.5 逆变器供电单元的数据

供电单元的数据	
脉冲数	6
Lv [μH]	110
Cdc [mF]	4,95
Udc [V]	560
Idc [A]	191

图4.5. DriveSize根据所选的逆变器类型来定义供电单元数据。

4.6 电网和变压器数据输入

原边电压 [V]

22000

频率[Hz]

50

电网Sk [MVA]

150

变压器Sn [kVA]

400

变压器Pk [kW]

3,0

变压器Zk [%]

3,8

电源电缆类型

☒ 电缆 ☐ 母排

电缆数量

3

电缆长度[m]

60

副边电压 [V]

415

☐ 未知

阻抗 [μΩ]

70

图4.6. 在此处给出了电网和变压器数据输入的内容。如果是标准的ABB变压器，会自动显示数据。

4.7 计算的谐波电流和电压

THD

	电流	电压
结果	47,1%	0,2%
IEEE 计算值	0,2%/	0,2%/
IEEE限值	15,0%	0,5%

数据

☒ 原边
☐ 副边

显示模式

☒ 表
☐ 图

n	f [Hz]	电流[A]	In/I1	电压 [V]
1	50	2,8	100,0%	21996,6
5	250	1,2	41,2%	32,9
7	350	0,6	19,5%	21,7
11	550	0,2	8,6%	15,1
13	650	0,2	5,6%	11,7
17	850	0,1	4,2%	11,3
19	950	0,1	2,7%	8,1
23	1150	0,1	2,3%	8,2
25	1250	0,0	1,4%	5,5
29	1450	0,0	1,2%	5,3
31	1550	0,0	0,8%	3,7
35	1750	0,0	0,5%	3,0
37	1850	0,0	0,6%	3,3

图 4.7. 通过对输入单元的模拟相电流进行离散傅立叶变换来计算谐波。在此过程中使用了多种电路模型，其中一种用于带有交流电抗器的单传动，另外一种用于带有直流电抗器的二极管和晶闸管电源。此外还有用于6、12和24脉冲连接的模型。

4.8 计算的谐波电流（用图形表示）

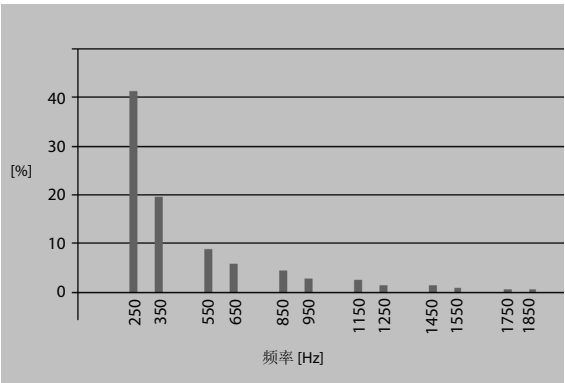


图4.8. 计算结果可以如上所示用表格表示，或用图形表示。

4.9 打印报告的一部分

ABB											
电网检查											
			ACS607-0140-3								
电网和变压器数据			供电单元数据								
正常电压 [V]	22000 (原边)		脉冲数#			6					
频率 [Hz]	50		Lv [μH]			110					
电网Sk [MVA]	150		Cdc [mF]			4,95					
变压器Sn [kVA]	400		Udc [V]			560					
变压器Pk [kW]	3,0		Idc [A]			191					
变压器Zk [%]	3,8										
电源电缆类型	电缆										
电缆数量	3										
电缆长度	60										
结果						IEEE 519限值			计算值/限值		
Cosφi	0,999		THD 电流			47,1%			THD 电流 0,2%/15,0%		
总功率因数	0,90		THD电压			0,2%			THD电压 0,2%/5,0%		
Unmax mot.	98%										

图4.9. 可以通过报告的形式打印输入数据和计算的结果。这里给出了报告的一部分。

第5章 - 谐波限值标准

下文介绍了国际和国内最常用的设定谐波限值的标准。图5.1是一个谐波畸变限值的实例。

5.1 EN61800-3 (IEC61800-3) 调速电气传动系统

第3部分：EMC产品标准（包括专门的检测方法）

欧洲经济区域（EEA）各国已经针对最低通用立法要求达成了一致意见，以确保在EEA内部的产品能够自由流通。产品如带有CE标志，就表示其符合相关指令。这些指令中给出了产品必须遵守的基本原则。而此类产品标准则规定了产品必须满足的要求，其中EN61800-3是针对调速电气传动系统（PDS）的EMC产品标准。电力电子变频器产品必须符合这些要求，才能在EEA内部自由流通。

根据EN61800-3要求，产品制造商应该在PDS文件中（或者根据需求）说明额定规格下的电流谐波相对功率端口额定基波电流的百分比。应该计算出每次谐波的参考值（至少要到25次），并评估电流THD（至少达到40次，包括40次在内）及其高频成分THD（包括14到40次）。在这些标准计算中，应该假定PDS连接到一个公共耦合点（ $R_{sc} = 250$ ），初始电压畸变小于1%。电网的内部阻抗应视为纯电抗。

在一个低压公共电源网络中，IEC61000-3-2的限值和要求适用于额定电流不超过16 A的设备。如果额定电流大于16A，小于75A，则建议使用IEC61000-3-12标准，如果额定电流大于75A，则建议使用IEC61000-3-4技术报告作为参考。如果在一个工业设备中使用PDS，那么应该采用经济而合理的方法，兼顾与设备相关的各种因素。此方法应该保证电源能够随时提供标准所指定的功率。在标准中还规定了计算设备总谐波的方法，并规定了电压畸变或生成总谐波电流的限值。在IEC61000-2-4中规定的兼容性限值可以用作电压畸变限值。

5.2 IEC61000-2-2, 电磁兼容性 (EMC)

第2部分：环境 - 第2节：在公共低压电源系统中低频传导干扰和信令的兼容性等级

本标准固定了公共低压电源系统中低频传导干扰和信令的兼容性限值。此类干扰现象包括谐波、间谐波、电压波动、电压骤降以及短期断电的电压失衡等。这个标准为设备制造商规定了基本的设计标准，并规定了设备所需达到的最低抗干扰能力。IEC61000标准符合EN50160规定的电压质量标准，可以确保服务商为客户终端提供的电压符合要求。

5.3 IEC61000-2-4, 电磁兼容性 (EMC)

第2部分：环境 - 第4节：在工业设备中的低频传导干扰兼容性等级

IEC61000-2-4与IEC61000-2-2类似，但是它规定了工业和非工业电网的兼容性等级，其中包括了低压电网和中压电源，但是不包括用于船舶、飞机、海上平台以及铁路方面的电网。

5.4 IEC61000-3-2, 电磁兼容性 (EMC)

第3部分：限值 - 第2节：生成谐波电流的限值（设备每相电流小于16 A）

本标准规定了与公共电网相连的个体设备生成谐波电流的限值。本标准自2001年1月1日起实施，不过在此之前针对该标准进行了大量的修订工作。修订的原因主要有两个：一个原因是该标准需要同时涵盖230 V以下的电压，另外一个原因是在对标准所涉设备进行分类的过程中需要解决很多困难和矛盾。

5.5 IEC61000-3-4, 电磁兼容性 (EMC)

本标准以II类技术报告的形式发布，目前正在将其转换为相关标准。它规定了额定电流超过75 A的个体设备生成谐波电流的限值。它适用于额定电压从单相230 V到三相600 V的公共电网。

该标准中给出了连接设备的三个不同阶段。如果满足第一阶段的谐波限值，就可以在电源系统中的任何点连接设备。第二阶段规定了具体的谐波电流限值以及THD及其对应的权重高频PWHd。通过短路比例来划分限值并制表。在第三个连接阶段，用户和供电机构针对耗电设备的有功功率达成一致意见。如果额定电流超过75 A，那么第三阶段适用于所有情况。

总的来说，本标准的组织结构很清晰，但是关于在第二阶段单相和三相设备是否应该具有不同的限值尚有商榷的余地。本标准很可能会保持现有的结构，但是在实际版本的标准中，单相和三相设备将具有不同的限值。

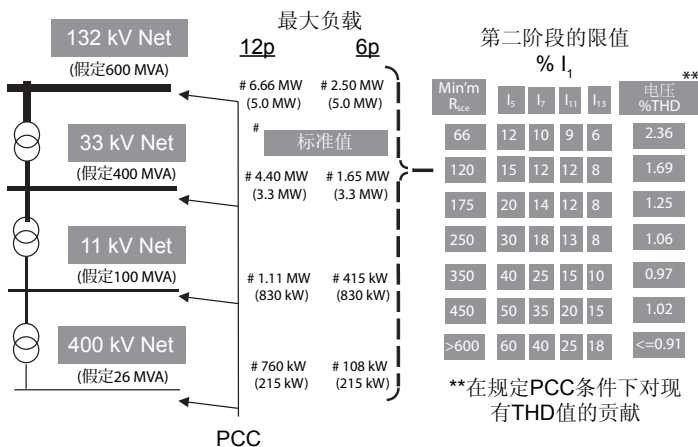


图5.1 在EN61000-3-4标准提案中的谐波限值

5.6 关于IEC61000-3-12标准的介绍

IEC61000-3-12 标准规定了额定电流超过16 A，但是不高于75 A的个体设备生成谐波电流的限值。它适用于额定电压从单相230V到三相690V的公共电网。

标准中，表4规定了在短路比是120以上时，公共电网允许的电流总谐波畸变率是48%，其中5次谐波是40%，7次谐波是25%，11次谐波是15%，13次谐波是10%。

5.7 IEEE519, IEEE推荐的电动系统谐波控制实践和要求

在本实践中确定谐波限值的目的是限制每个耗电设备所注入的谐波，从而将电压畸变控制在合理的范围内，不会影响正常的系统特性，同时限制设备系统电压所产生的总谐波畸变。该标准也被接纳为全美标准，在美国（尤其是市政工程领域）广为应用。

该标准没有给出具体设备的限值，而是给出了针对个体客户端的限值。客户端是按照公共耦合点可用短路电流（ I_{sc} ）与最大需求负载电流（ I_L ）之比来分类的。总需求负载电流是线性和非线性负载电流之和。在一个工业厂房系统中，PCC明确定义为非线性负载和其它负载之间的公共耦合点。

按照公共耦合点可用短路电流与最大需求负载电流之比（ I_{sc}/I_L ）来创建个体谐波电流和总谐波畸变允许值表格。这些限值为从2次到无穷次奇次和偶次谐波相对 I_L 的百分比。总谐波畸变称为总需求畸变（简称TDD），也应该计算到无穷次。在很多相关文献中，都将某一次谐波含量和TDD的谐波计算限制在50次以内。

本标准的表10.3有的时候会被错误理解，有些人会通过设备的 R_{sc} （而非整个系统的 I_{sc}/I_L ）来确定单个设备生成谐波的限值，通过这种方法使用表中给出的限值是不合理的，因为必须始终考虑整个系统中短路电流与总需求负载电流的比值。

IEEE 519 表10.3
美国IEEE519对电流失真的限制要求
(120V到69000V)

最大谐波电流失真占 I_L 的百分比						
单独谐波阶数（奇次谐波）						
I_{sc}/I_L	< 11	11<=h<17	17<=h<23	23<=h<35	35 <=h	TDD
< 20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

偶次谐波被限制为上表中奇次谐波的25%。
电流失真会导致直流偏移，例如不允许使用半波变流器。
*无论 I_{sc}/I_L 的实际值是多少，所有发电设备的电流失真被限制为这些数值。

I_{sc} = PCC的最大短路电流
 I_L = PCC的最大要求负载电流（基础频率部分）

总需量畸变率 (TDD) - 谐波含量均方根值与额定需求基波分量或最大需求基波分量之比，用百分数表示。(15 或 30 min 需量)。

5.8 公用电网谐波国家标准

国家标准GBT/14549-93中谐波电压限值和谐波电流允许值如下：

5.8.1 公用电网谐波电压（相电压）限值见表1：

表1

电网标称电压(kv)	电压总畸变率(%)	各次谐波电压含有率(%)	
		奇次	偶次
0.38	5	4	2
6	4	3.2	1.6
10			
35	3	2.4	1.2
66			
110	2	1.6	0.8

5.8.2 谐波电流允许值

公共连接点的全部用户向该点注入的谐波电流分量（方均根值）不应超过表2中规定的允许值。当公共连接点的最小短路容量不同于基准短路容量时，表2中的谐波电流允许值的换算为：

表2

标准电压 kv	基准短路容量 MVA	谐波次数及谐波电流允许值，A											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7
66	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5
110	75	12	9.6	6	9.6	4	6.8	3	3.2	2.4	4.3	2	3.7

标准电压 kv	基准短路容量 MVA	谐波次数及谐波电流允许值，A											
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.38	10	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12
6	100	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8
10	100	3.7	4.1	3.2	6	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1
35	250	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5
66	500	2.3	2.6	2	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6
110	750	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	1.4	1.1	2.1	1	1.9

注：220kV 基准短路容量取2000MVA。

同一公共接点的每个用户向电网注入的谐波电流允许值按此用户在该点的协议容量与其公共接点的供电设备容量之比进行分配。分配的计算方式见下式：

$$I_h=I_{hp}(S_{k1}/S_{k2})$$

式中： I_{hp} ——表2中的第h次谐波电流允许值， A；
 I_h ——短路容量为 S_{k1} 时的第h次谐波电流允许值， A；
 S_{k1} ——公共连接点的最小容量， MVA；
 S_{k2} ——基准短路容量， MVA；

第6章 – 谐波评估

“在电力系统中应用谐波限值指南”P519A/D6（1999年1月）中给出了一些评估工业设施谐波限值的通用规则。在图6.1的流程图中给出了相关程序。

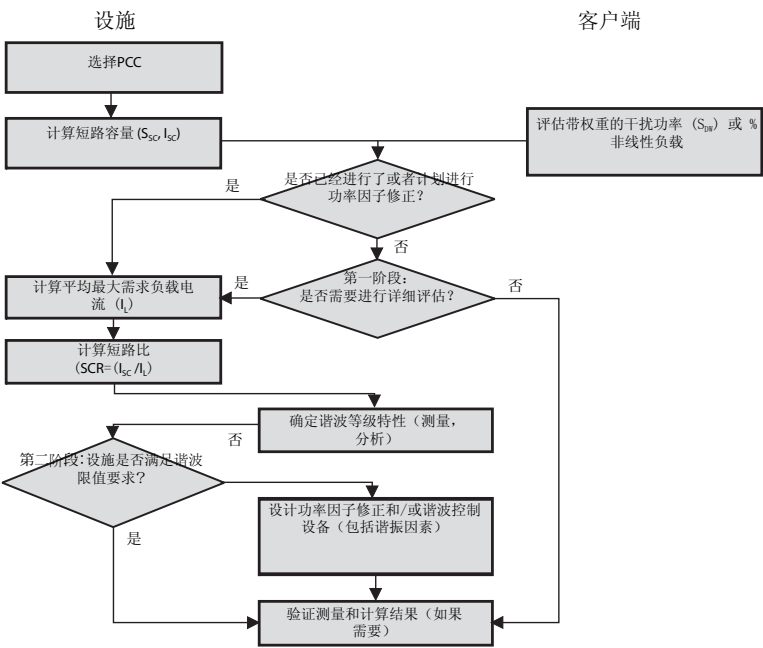


图6.1 评估谐波畸变

第7章 - 如何通过改进交流传动系统的结构来减少谐波

7.1 在交流传动中影响谐波的因素

可以通过改进传动系统的结构或者使用外部滤波功能来减少谐波。通过结构改进，可以增强电源功能，使其能够使用12或更多脉冲的传动，使用一个受控整流器，或者改善传动的内部滤波功能。

图7.1给出了在交流传动系统中会影响谐波的因素。电流谐波取决于传动的构造，电压谐波则用电流谐波乘以电源阻抗。

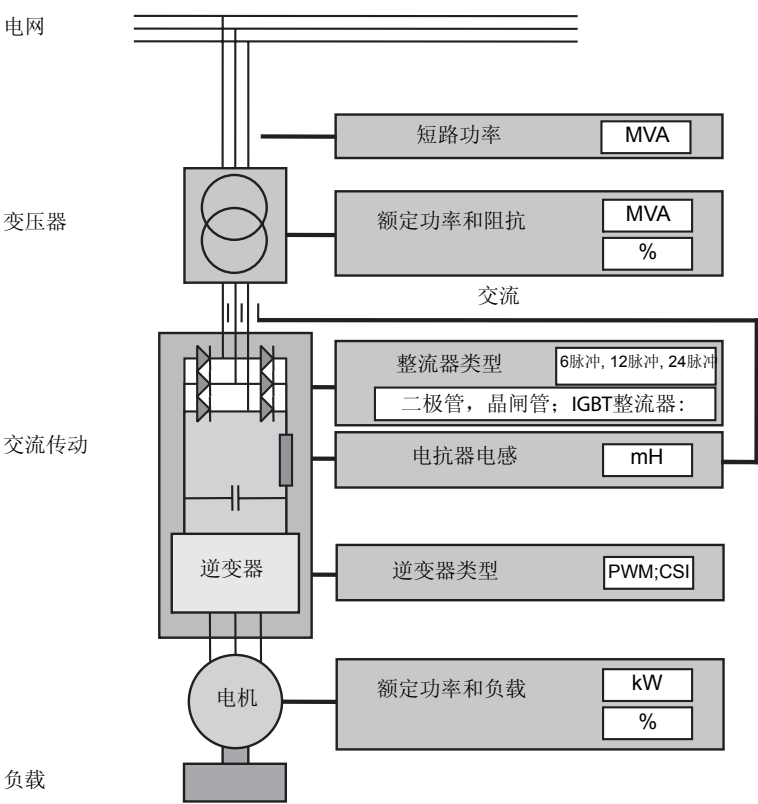


图7.1 传动系统中影响谐波的因素

7.2 表格：各种因素及其影响列表

因素	影响
电机越大…	电流谐波越高
电机负载越大…	电流谐波越高
直流或交流电抗越大…	电流谐波越低
整流器中的脉冲数量越多…	电流谐波越低
变压器越大…	电压谐波越低
变压器阻抗越低…	电压谐波越低
电源的短路容量越高…	电压谐波越低

7.3 使用6脉冲二极管整流器

在图7.2中给出了各种整流器解决方案的连接方式。在三相交流传动中最常用的整流器电路是6脉冲二极管整流桥。它包含6个不可控整流器或二极管以及一个电抗器，该电抗器与一个直流电容器共同形成一个低通滤波器，可以对直流电流进行平波处理。电抗器可以位于直流或交流端，也可以完全不用。6脉冲整流器操作简单，价格便宜，但是产生的5次、7次和11次低次谐波较大，尤其是在平波电抗较小的情况下。

在图7.2中给出了电流形式。如果负载的主体部分包含带有6脉冲整流器的变频器，那么需要增加电源变压器的尺寸，此时很难达到标准的要求。通常情况下都需要采用特定的谐波滤波功能。

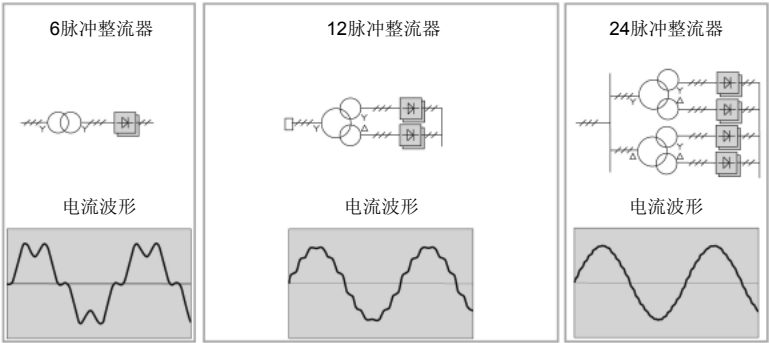


图7.2 具有不同整流器构造的线电流中的谐波

7.4 使用12脉冲或24脉冲二极管整流器

12脉冲整流器是将两个6脉冲整流器并联起来为一个公共直流母线供电。整流器的输入带有一个三绕组变压器。变压器的副边有30度的相位偏移。采用这种布局的好处是电源端的一部分谐波处于相反相位，因而被抵消掉了。从理论上来说，在变压器原边能看到的最低频率谐波成分是11次。

该结构的缺点是需要采用特殊变压器，与6脉冲整流器相比成本也较高。

24脉冲整流器的原理也在图7.2中给出。它由两个并联的12脉冲整流器组成，带有两个三绕组变压器，变压器有15度相位偏移。该结构的好处是几乎可以消除所有低频谐波，但是成本高。对于高功率单传动或者大型多传动系统来说，24脉冲系统可能是最经济的解决方案，谐波畸变也最小。

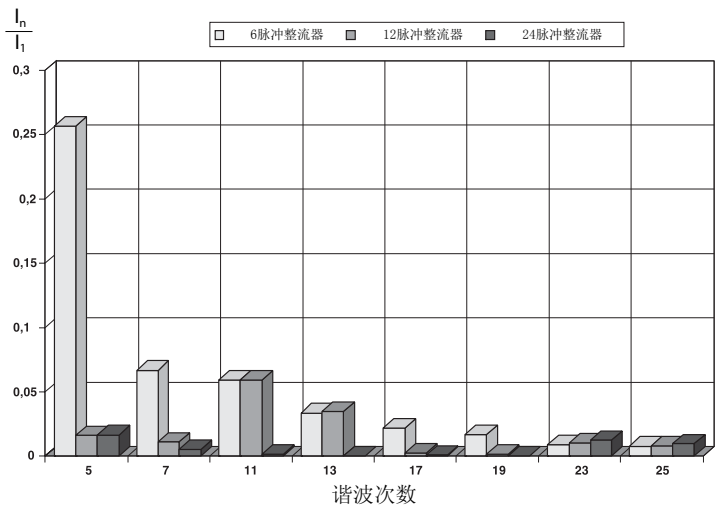


图7.3 各种整流器的谐波成分

7.5 使用相控晶闸管整流器

将6脉冲整流器中的二极管更换为晶闸管，即可得到相控整流器。因为晶闸管需要一个触发脉冲才能从非导电状态转换到导电状态，晶闸管开始导通时的相位角可以产生延迟导通。让触发角度产生90度以上的延迟，可以使直流总线电压为负值。这样直流母线就可以反馈给电网再生功率。

标准直流母线和逆变器配置不允许更改直流电压的极性，更常见的方法是连接另外一个晶闸管桥，并与第一个晶闸管采用反并联方式，以便允许电流极性反转。在这种配置下，第一个桥组在整流模式下导通，第二个桥组在再生模式下导通。

相控整流器的电流波形与6脉冲二极管整流器类似，但是因为它们的功率吸收伴有交变位移功率因数，所以较轻负载的功率因数很差，从而导致视在电流很高，绝对谐波电流高于二极管整流器。

除了这些问题之外，相控变频器还会导致设备电压波形中出现换流缺口。缺口的角位置随触发角而变化。

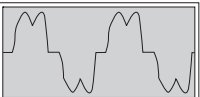
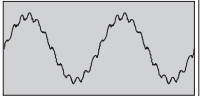
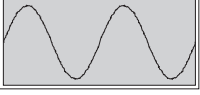
电源类型	电流 THD (%)	电压 THD (%) $R_{sc}=20$	电压 THD (%) $R_{sc}=100$	电流波形
6脉冲整流器	30	10	2	
12脉冲整流器	10	6	1.2	
IGBT 供电单元	4	8	1.8	
畸变值相对均方根值的百分比				

图7.4 各种供电单元的畸变。在各种情况下数值可能不同。

7.6 使用IGBT整流桥

与相位换流元件构成的整流器桥相比，采用由自换向元件构成的整流器桥有若干优势和潜在益处。与相位换流整流器一样，这种硬件结构可以实现整流和再生功能。此外，它还可以不受功率流向的影响，分别控制直流电压值和位移功率因数。

- 它主要有如下优势：
- 在主电源中断的情况下可以保证安全的关断。
 - 即使在弱磁区内也能提供高度灵活的传动控制。
 - 可以产生无功功率。
 - 接近正弦的电源电流，谐波成分少。在图7.5中给出了一个传动的测量结果。与图7.3比较可以发现两者有着明显的区别。
IGBT在低频下的谐波非常低，在高频下则有些高。
 - 电压升高能力。 如果电源电压较低，可以升高直流电压，以确保电机电压高于电源电压。

它的主要缺点是：因为需要IGBT整流桥和额外的滤波功能，所以成本高。

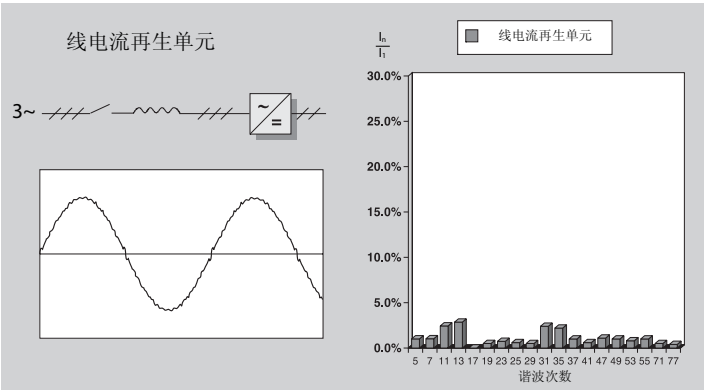


图7.5 线电流IGBT线电流再生单元中的谐波

7.7 使用较大的直流或交流电抗器

电压源交流传动可以通过在其交流输入或直流总线端连接一个足够大的电抗器来显著降低谐波。目前的趋势是同时减小变频器和电抗器的尺寸（在一些情况下完全不用电抗器）。可以从图7.6的曲线看出其效果。

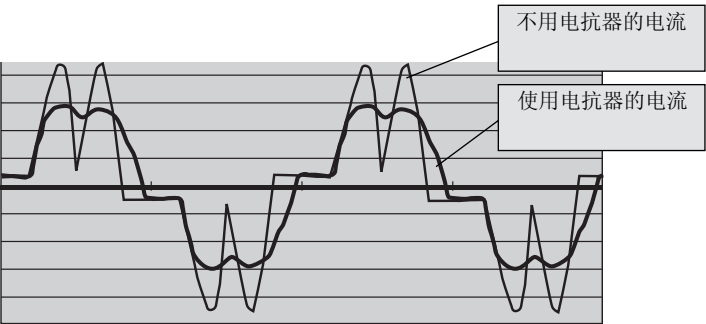


图7.6 电抗器对线路电流的影响

图7.7说明了直流电抗器的尺寸对谐波的影响。对于前25次谐波成分，理论的THD最小值为29%。如果用100mH除以电机kW数（亦即对于100kW电机为1mH，在45 V,50 Hz条件下）得到电感，则可以满足该要求。在实际应用中，比较合理的方法是用大约25 mH除以电机kW数，在这种情况下THD约为45%，也就是说，对100 kW电机，电感值为0,25 mH。

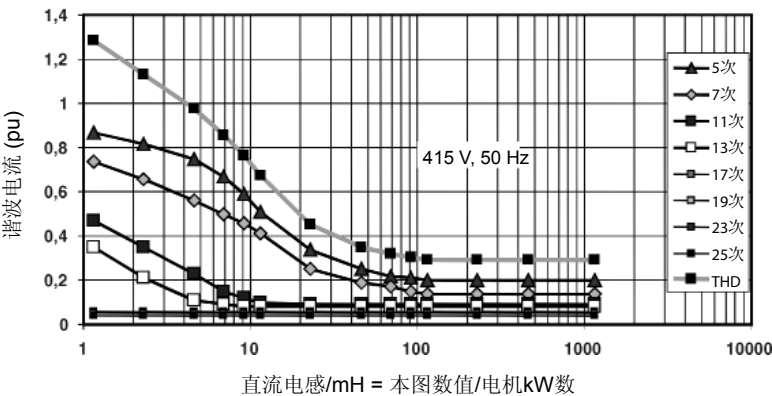


图7.7 谐波电流是直流电感的函数
在电流畸变确定的情况下，电压畸变取决于电源的短路比Rsc。该比值越高，电压畸变越低。从图7.8中可以看出这一规律。

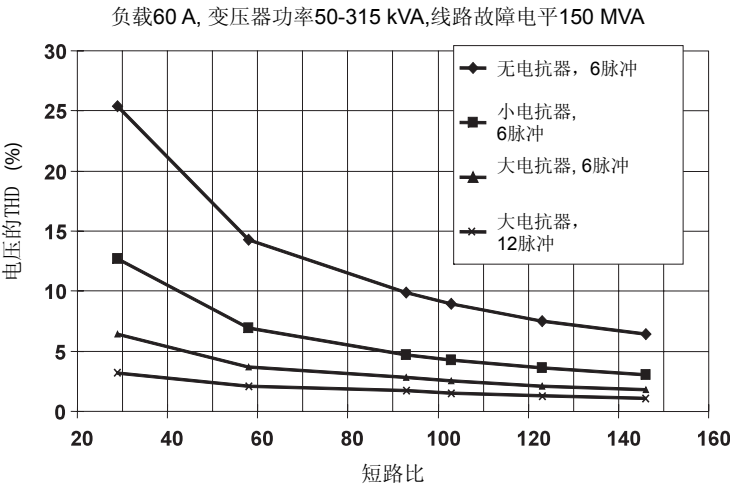


图7.8 电压总谐波畸变率与交流传动类型和变压器尺寸的对比

图7.9给出了一个估算谐波电压的简单实例。首先在右下图选择电机kW数，然后选择变压器kVA值，接下来沿水平方向画一条线与图中所示对角线交叉，并从该交叉点沿垂直方向向上画一条线与应用条件相符合的曲线相交，最后从该交叉点沿水平方向向左绘线与y轴相交，此交点即为总谐波电压畸变值。

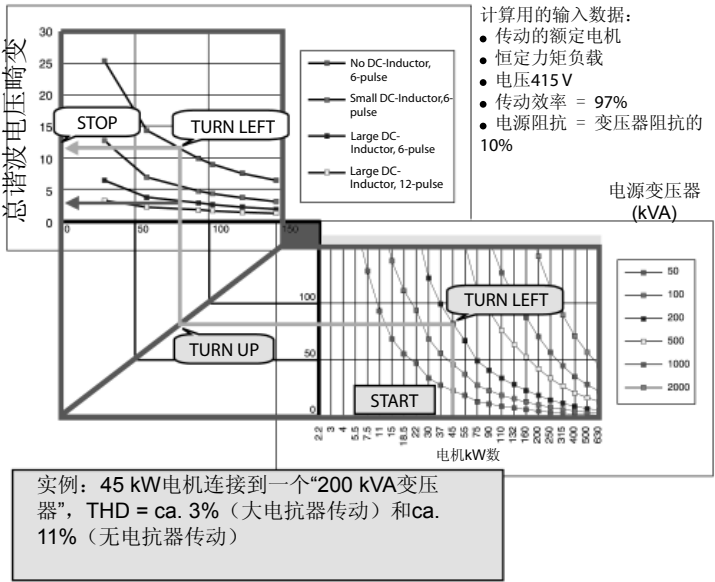


图7.9 总谐波畸变图

在图7.10中显示了针对不同厂商生产的传动单元进行实验室检测的结果。带有较大直流电抗器的传动A谐波电流畸变最低，而没有安装电抗器的传动畸变最高。

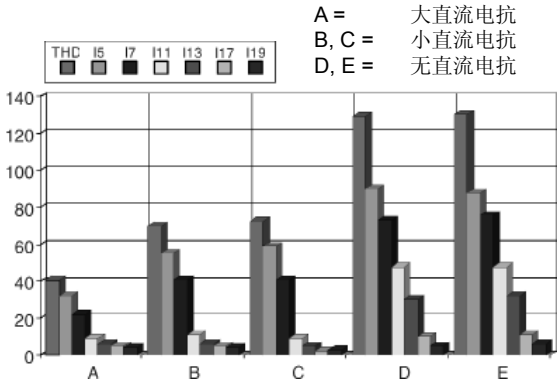


图7.10 不同直流电感下的谐波电流

第8章 - 降低谐波的其它方法

在谐波畸变逐渐增加的工业厂房设备中可以通过滤波来降低谐波，在新建厂房设备中还可以采用全面的滤波方案。基本的滤波方法有两种：无源滤波器和有源滤波器。

8.1 调谐的单臂无源滤波器

在图8.1中说明了调谐有臂无源滤波器的原理。调谐有臂无源滤波器应该用来处理系统中产生较明显谐波处的最低谐波成分。对于主要为工业负载供电的系统来说，这个成分很有可能是5次谐波。在调谐频率以上的谐波会被吸收，但是在该频率以下的谐波可能会被放大。

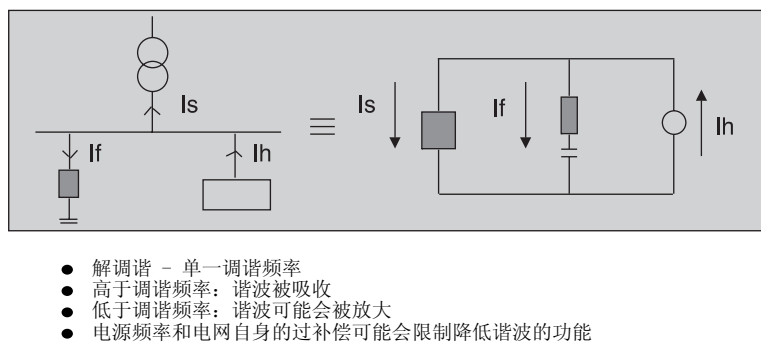
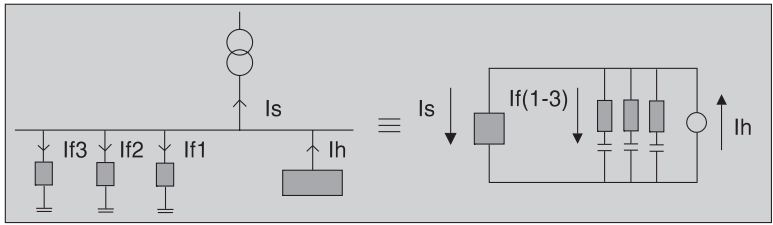


图8.1 调谐的单臂无源滤波器

8.2 调谐的多臂无源滤波器

这种滤波器中有一个电抗器，该电抗器与一个电容器组串联。该无源滤波器的最佳位置是靠近产生谐波的负载。一般来说新系统不使用这种解决方案。

在图8.2中说明了该滤波器的原理。该滤波器有若干个调谐臂，针对系统内两个或多个最低的较明显谐波频率进行操作。多臂滤波器的谐波吸收能力比单臂系统要好。



- 低于调谐频率为容性/高于调谐频率为感性
- 谐波吸收更好
- 设计过程中需要考虑的滤波器可能放大谐波的因素
- 受KVA_r和电网限制

图8.2 调谐的多臂无源滤波器

多臂无源滤波器经常用于通过专用变压器为整个系统供电的大型直流传动系统。

8.3 外部有源滤波器

无源调谐滤波器会引入新的谐振，进而产生额外的谐波问题。目前的新电力电子技术产品已经可以通过有源控制功能控制谐波畸变。如图8.3所示，这些有源滤波器能够在任何时间根据已经产生的谐波对设备系统中的谐波成分进行及时的补偿。

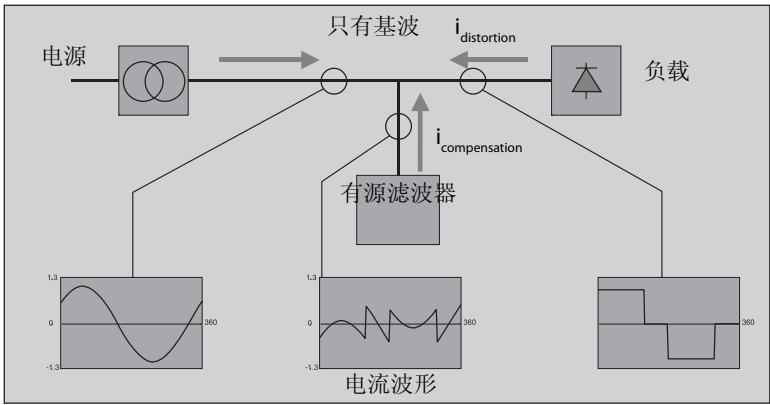


图8.3 外部有源滤波器原理图

有源滤波器能够补偿非线性负载所产生的谐波，其补偿方式是产生相位相反的谐波成分，如图8.4所示。外部有源滤波器最适用于小型多传动结构。与其它方法相比，它们成本比较高。

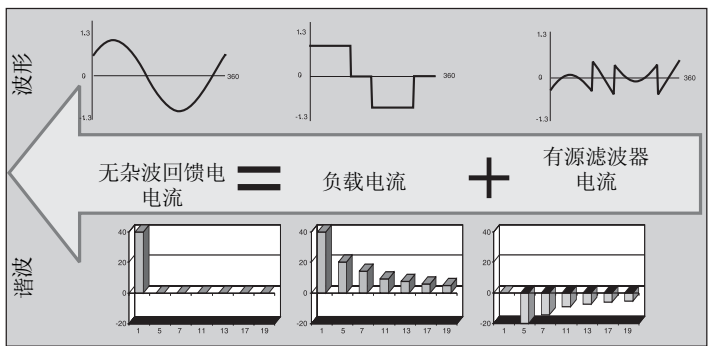


图8.4 外部有源滤波器波形和谐波

第9章 - 谐波抑制综述

有很多种方法可以在传动系统内部或者外部抑制谐波。这些方法都各有优劣，并且牵涉到成本因素。最佳解决方案取决于总负载、现场电源以及存在的畸变。

在以下各表中将各种内部操作方案与不带电抗器的基本系统进行了比较。谐波成分对应100%负载。各成本方案均适用于小型传动。对于多传动，12脉冲方案成本要低得多。

9.1 不带电抗器的6脉冲整流器

制造成本100%
标准谐波电流成分

基波	5次	7次	11次	13次	17次	19次
100%	63%	54%	10%	6,1%	6,7%	4,8%

9.2 带电抗器的6脉冲整流器

制造成本120%，添加交流或直流电抗器
标准谐波电流成分

基波	5次	7次	11次	13次	17次	19次
100%	30%	12%	8,9%	5,6%	4,4%	4,1%

9.3 带三绕组变压器的12脉冲整流器

制造成本200%
标准谐波电流成分

基波	5次	7次	11次	13次	17次	19次
100%	11%	5,8%	6,2%	4,7%	1,7%	1,4%

9.4 由两台带相位差30度的12脉冲整流器

制造成本210%
标准谐波电流成分

基波	5次	7次	11次	13次	17次	19次
100%	3,6%	2,6%	7,5%	5,2%	1,2%	1,3%

9.5 带两套三绕组变压器的24脉冲整流器

制造成本250%
标准谐波电流成分

基波	5次	7次	11次	13次	17次	19次
100%	4,0%	2,7%	1,0%	0,7%	1,4%	1,4%

9.6 有源IGBT整流器

制造成本250%，如果传动系统需要电气制动，也需要投资，那么总成本中一部分就相应地分摊到电气制动部分，而使谐波治理的成本并不高，标准谐波电流成分

基波	5次	7次	11次	13次	17次	19次
100%	2,6%	3,4%	3,0%	0,1%	2,1%	2,2%

第10章 - 定义

S: 视在功率

P: 有功功率

Q: 无功功率

Rsc: 短路比定义为PCC电源短路功率与相关设备额定视在功率的比值, $Rsc = Ss / Sn$ 。

ω_1 : 基波成分的角频率, $\omega_1 = 2\pi f_1$, 其中 f_1 是基波频率(比如50Hz或60Hz)。

n: 整数 $n = 2, 3, \dots$ 无穷大。谐波频率定义为 $\omega_n = n\omega_1$ 。

I_n : n 次电流的均方根值: 线路电流的谐波成分。

Z_n : 在频率 $n\omega_1$ 下的阻抗。

%Un: 谐波电压成分占基波(线)电压的百分比。

THD: 在输入电流中的总谐波畸变定义为:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

其中 I_1 是基波频率电流的均方根值。电压中的THD也可以用类似的方法来计算。下面给出了一个25个谐波成分的理论计算值实例:

$$THD = \frac{\sqrt{20^2 + 14,3^2 + 9,1^2 + 7,7^2 + 5,9^2 + 5,3^2 + 4,4^2 + 4^2}}{100}$$
$$THD = 29\%$$

PWHD: 部分权重谐波畸变定义为:

$$PWHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2}$$

PCC: 在本文中公共耦合点定义为公用电源中可以为所有相关设备以及其它设备公用的一点。在各种标准中针对**PCC**有若干种定义，在相关文献中的阐述更多。本文所选择的定义是从技术角度来说最为合理的定义。

PF: 功率因数定义为 $PF = P/S$ (功率 / 伏特-安培) = $I_1 / I_s * DPF$ (对于正弦电流，PF等于DPF)。

DPF: 位移功率因数定义为 $\cos\phi_1$ ，其中 ϕ_1 是设备吸收的基波频率电流与电源电压基波频率成分之间的相位角。

符号

12脉冲整流器 21, 22, 23, 30
24脉冲整流器 21, 22, 31
3线绕组 31
5次谐波 9
6脉冲整流器 8, 9, 21, 22, 23, 30
6脉冲三相整流器 9

A

ABB 7, 11, 13
交流电抗器 13, 24
有源滤波器 27, 28, 29
有功功率 17, 32
全美标准 17
反并联 23
视在功率 32
衰减 30, 31

C

计算 7, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19
CE标志 15
断路器 10
公共直流总线 22
换流缺口 23
兼容性限值 15, 16
计算机 10
耗电设备 17
变频器 8, 11, 15, 21, 23, 24
变频器负载 8

D

直流电容器 21
直流电流 21
位移功率因数 23, 33
畸变计算 7, 11, 12, 13, 14
畸变图 26
DriveSize 11, 12, 13, 14

E

影响 7, 10, 20, 21, 24, 25
电磁兼容性 16
电子设备 10
电子显示器 10
电子照明设备 10
EMC产品标准 15
欧洲经济区域 15
外部滤波 20

F

滤波 20, 21, 24, 27
频率 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 22, 27, 28, 32, 33
基波频率 9, 32, 33

H

谐波成分 9, 22, 25, 27, 28, 32
谐波电流 8
谐波电流 8, 11, 13, 18, 23

谐波畸变 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 22, 26, 27, 28, 32
谐波限值 16, 17, 18, 19
谐波现象 8, 9
降低谐波 20, 27, 28, 29
谐波电压 26, 32

I

IGBT电桥 23, 24
电感 9, 20, 21, 25, 26
电抗器 13, 21, 24, 25, 26, 27, 30
工业设施 15
设施 11, 15, 17, 18, 22, 27, 28
选择逆变器 12
逆变器供电单元数据 12

L

实验室检测 26
线路电流 8, 9, 21, 24, 32
低通滤波器 21

M

主电变压器 8
制造成本 30, 31
计量 10
电机负载 11, 21
选择电机 12
电机启动器 10
多臂无源滤波器 27, 28

N

电网 11, 13, 14, 15, 16, 17, 27, 28
非线性负载 8, 10, 18, 19

O

过热 10

P

无源滤波器 27, 28
相位换流整流器 23
公共耦合点 18, 33
配电 8
电气传动系统 15
功率因数 12, 14, 19, 23, 33
功率端口 15
公共电源 15
PWHD 17, 32

R

无功功率 23, 32
整流器 8, 9, 20, 21, 22, 23, 30, 31
整流模式 23
再生模式 23
报告 14, 16

S

短路功率 20, 32

短路比 17, 19, 25, 32
源 7, 10, 11, 24
源阻抗 11
标准 13, 15, 16, 17, 18, 21, 23, 33
改进结构 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26
供电机构 17
电源电缆 13, 14
电源变压器 21
电源电压 8, 24, 33

T
TDD 18
THD 13, 14, 15, 17, 25, 32
三绕组变压器 22
晶闸管 20
晶闸管 13, 22, 23
总需求畸变 18
总谐波畸变 18, 26, 32
变压器 8, 10, 11, 13, 14, 20, 21, 22,
25, 26, 28, 30, 31
调谐的单臂无源滤波器 27

V
调速传动 10
电压 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20,
21, 22, 23, 24, 25, 26, 32, 33
电压升高 24



北京ABB 电气传动系统有限公司
中国，北京，100015
北京市朝阳区酒仙桥北路甲10号D区1号
电话：+86 10 58217788
传真：+86 10 58217618
24小时×365天咨询热线：(+86) 400 810 8885
网址：<http://www.abb.com/motors&drives>

ABB 传动

传动系统选型

技术指导.7



ABB 传动

传动系统选型

技术指导. 7

7

3ABD64362569 版本 A 中文
基于: 3AFE64362569 版本 C 中文
生效日期: 2010-10-01

第1章 - 介绍.....7

 概述7

第2章- 传动系统.....8

第 3 章- 选型步骤的描述9

第 4 章- 感应(AC) 电机 11

 4.1 基本原理..... 11

 4.2 电机电流 13

 4.2.1 恒磁通范围 14

 4.2.2 弱磁范围 15

 4.3 电机功率 16

第 5 章- 基本的机械定律 17

 5.1 旋转运动 17

 5.2 齿轮和转动惯量 20

第 6 章- 负载类型 22

第7 章- 电机载荷能力 25

第 8 章- 选择变频器和电机 26

 8.1 泵和风机应用 (举例)..... 27

 8.2 恒转矩应用 (举例) 29

 8.3 恒功率应用 (举例) 31

第 9 章- 输入变压器和整流器 35

 9.1 整流器 35

 9.2 变压器 35

概述

传动系统的选型是一项需要仔细考虑各种因素影响的任务。选型需要整个系统的知识包括供电、被驱动的机器、环境条件、电机和传动等等。在选型阶段所花费的时间意味着成本的节省。

第2章 - 传动系统

一个典型的交流单传动系统包括输入变压器或供电部分、变频器、交流电机和负载。单传动中包括整流器，直流母线和逆变单元。

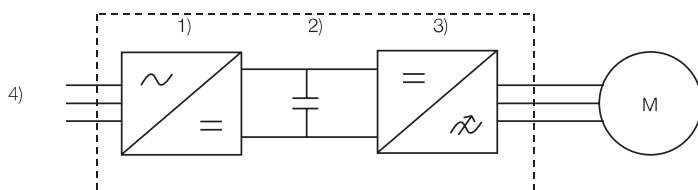


图 2.1 一个单传动包括 1) 整流器, 2) 直流母线, 3) 逆变单元 和 4) 供电部分

在多传动系统中通常会使用一个公共的整流单元。逆变单元直接连接到公共直流母线上。

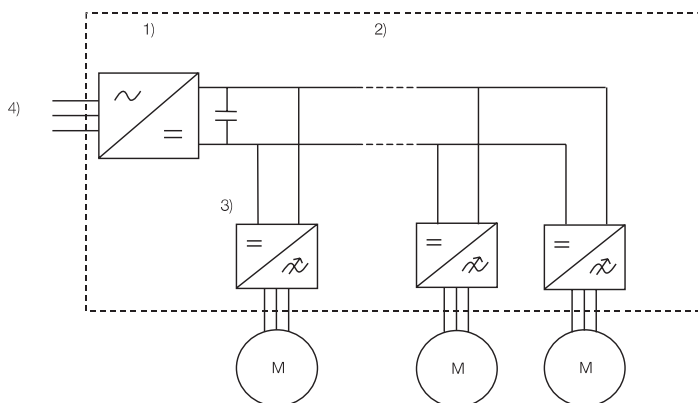


图 2.2 一个传动系统包括 1) 一个单独的供电部分, 2) 公共直流母线, 3) 传动部分和 4) 供电部分

第3章 - 选型步骤的描述

本章给出了电机和变频器选型的一般步骤。

1) 首先检查原始条件。

为了选择正确的变频器和电机, 检查主供电电源电压等级 (380 V ... 690 V) 和频率 (50 Hz ... 60 Hz)。主供电电源频率不会限制应用的调速范围。

2) 检查设备要求。

是否需要大的启动转矩? 负载类型? 一些典型的负载类型见后面的描述。

3) 选择电机

电机是转矩产生的来源。电机必须有一定的过载能力, 并且能够产生一定数量的转矩。不能超出电机的热负荷能力。在选型阶段考虑最大的有效转矩必须考虑电机的最大转矩要留有30%余量。

4) 选择变频器

变频器根据初始条件和已选择的电机来选择。变频器产生所需要的电流和功率的能力需要被检查。变频器在短时周期性负载的应用中具有潜在的过载能力。

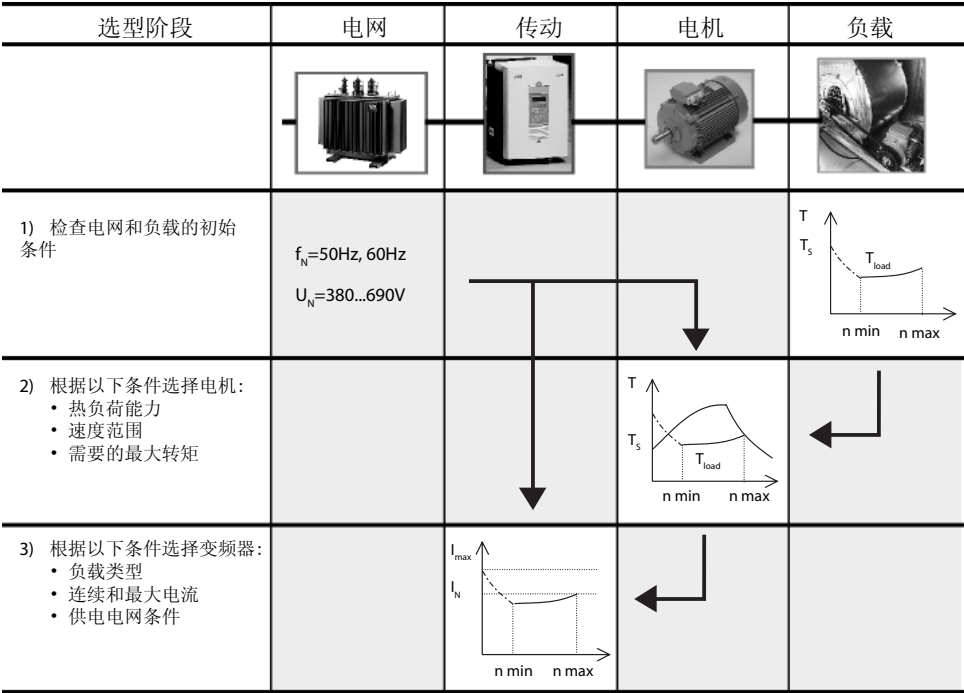


图 3.1 选型步骤的概述

第4章 - 感应 (AC) 电机

感应电机广泛应用于工业领域。本章描述一些基本特性。

4.1 基本原理

感应电机把电能转换为机械能。能量的转换基于电磁感应原理。
因为感应电机的原理感应电机都有转差存在。
转差在电机的额定点来定义频率 ((f_n), 转速 (n_n), 转矩 (T_n),
电压 (U_n), 电流 (I_n) 和 功率 (P_n))。在额定点转差为:

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} * 100 \% \tag{4.1}$$

n_s 为同步转速:

$$n_s = \frac{2 * f_n * 60}{\text{pole number}} \tag{4.2}$$

电机直接连接到恒定电压和频率的电网中其转矩曲线如下图:

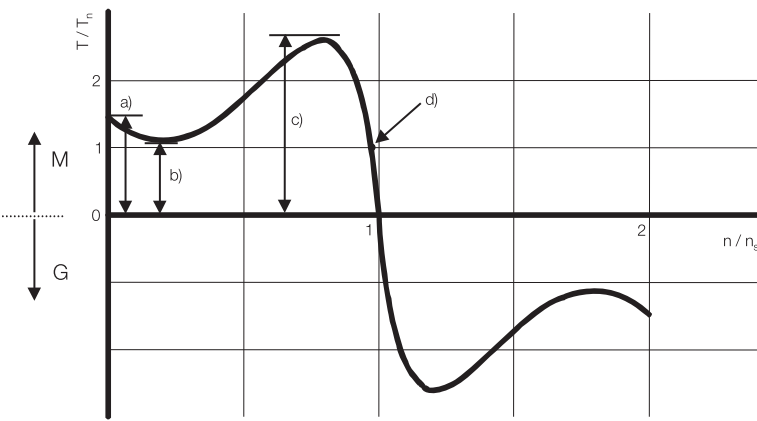


图 4.1 感应电机电网直接供电时的典型的转矩转速曲线(D.O.L., Direct-On-Line)。
图中 a) 启动转矩, b) 最大转矩 c), 最小转矩, Tmax 和 d) 电机额定点

标准感应电机的最大转矩(也称下拉转矩和极限转矩)一般是额定转矩的2-3倍。最大转矩下对应得转差 s_{max} 比额定转差大。为了有效使用感应电机其转差应在 $-s_{max} \dots s_{max}$ 的范围内。这可以通过控制电压和频率来实现。变频器可以实现这种控制。

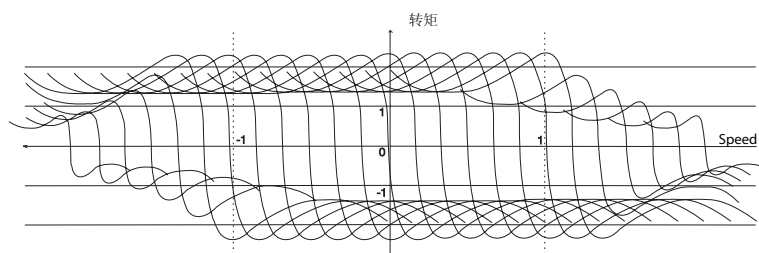


图 4.2 变频器供电的感应电机的转矩/转速曲线。 T_{max} 在弱磁点以下短时过载时有效。变频器控制时, 最大转矩的有效值限制在电机 T_{max} 的70%。

在额定频率以下的频率范围称为恒磁通范围。电机在额定频率/转速以上运行为弱磁范围。在弱磁范围内电机运行在恒功率段。这就是弱磁范围有时也称为恒功率范围的原因。

感应电机的最大转矩与磁通的平方成正比($T_{max} \sim \psi^2$)。这意味着最大转矩在恒磁通范围内是近似恒定的。在弱磁点以上最大转矩与频率的平方成反比。

$$(T_{max} \sim \left(\frac{f_n}{f_{act}} \right)^2)$$

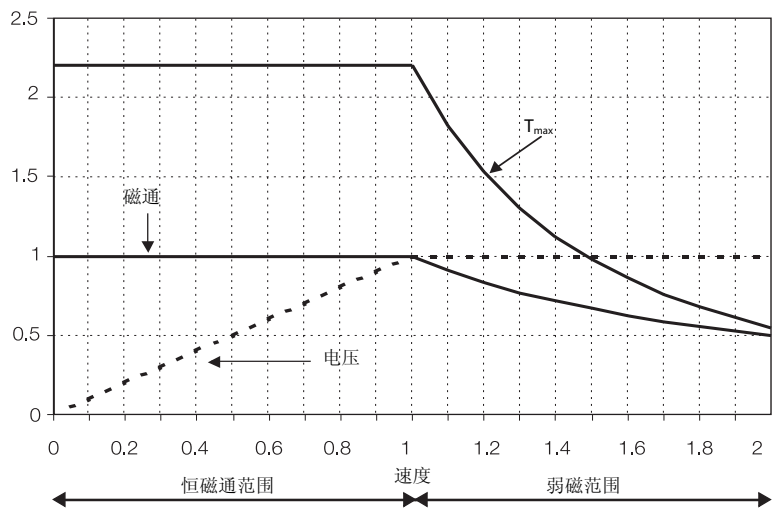


图 4.3 最大转矩,电压和磁通相对于转速的值.

4.2 电机电流

感应电机的电流有两个分量：无功电流 (i_{sd}) 和有功电流 (i_{sq})。无功电流分量包括励磁电流 (i_{magn})，而有功电流是产生转矩的电流分量。有功和无功电流分量是相互正交的关系。

励磁电流 (i_{magn}) 是近似恒定的在恒磁通范围内(在弱磁点以下)。在弱磁区励磁电流与转速成反比。

在恒磁通范围内对励磁电流的估算是电机额定点的无功电流 (i_{sd})。

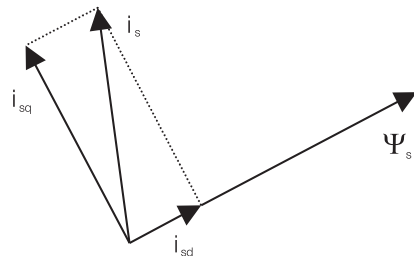


图 4.4 定子电流 (i_s) 包括无功电流 (i_{sd}) 和有功电流 (i_{sq}) 分量，它们相互正交。定子磁通用 Ψ_s 来表示。

4.2.1 恒磁通范围

在弱磁点以下电流分量可近似地用下面的公式来计算：

$$I_{sd} = I_n \left(\sin(\varphi_n) + \cos(\varphi_n) \left[\sqrt{\left(\frac{T_{max}}{T_n} \right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{T_{max}}{T_n} \right)^2 - \left(\frac{T_{load}}{T_n} \right)^2} \right] \right) \quad (4.3)$$

$$I_{sq} = I_n \left(\frac{T_{load}}{T_n} \right) \cos(\varphi_n) \quad (4.4)$$

总的电机电流：

$$i_m = \sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2} \quad (4.5)$$

可以看出零电机转矩时有功电流分量为零。随着电机转矩的升高电机电流成比例的增加。近似的总的电机电流为：

$$i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * I_n, \text{ 当 } 0.8 * T_n \leq T_{load} \leq 0.7 * T_{max} \quad (4.6)$$

例 4.1:

一个 15 kW 电机的额定电流是 32 A 功率因数是 0.83。在额定点电机的励磁电流近似是多少？在弱磁点以下在 120 % 额定转矩时电机总电流是多少。

解答 4.1:

在额定点估算的励磁电流：

$$I_{sd} = I_n \sin(\varphi_n) = 32 * \sqrt{1 - 0.83^2} \text{ A} = 17.8 \text{ A}$$

在 120 % 额定转矩时电机总电流的近似公式：

$$i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * I_n = 1.2 * 32 \text{ A} = 38.4 \text{ A}$$

使用近似的公式 是因为转矩满足条件：

$$0.8 * T_n \leq T_{load} \leq 0.7 * T_{max}$$

4.2.2 弱磁范围

在弱磁区电流分量也取决于转速。

$$I_{sd} = I_n \left(\frac{n_n}{n} \left(\sin(\varphi_n) + \cos(\varphi_n) \sqrt{\left(\frac{T_{max}}{T_n} \right)^2 - 1} \right) - \cos(\varphi_n) \sqrt{\left(\frac{T_{max}}{T_n} * \frac{n_n}{n} \right)^2 - \left(\frac{T_{load}}{T_n} * \frac{n}{n_n} \right)^2} \right) \quad (4.7)$$

$$I_{sq} = I_n \left(\frac{T_{load}}{T_n} * \frac{n}{n_n} \right) \cos(\varphi_n) = I_n \left(\frac{P_{load}}{P_n} \right) \cos(\varphi_n) \quad (4.8)$$

总电机电流:

$$i_m = \sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2} \quad (4.9)$$

电机电流在一定的运行区域内可以近似计算。电机电流近似与功率成正比。电流的近似公式:

$$i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * \frac{n}{n_n} I_n = \frac{P_{load}}{P_n} I_n \quad (4.10)$$

当满足下面条件时可使用近似值:

$$0.8 * \frac{n_n}{n} * T_n \leq T_{load} \leq 0.7 * \left(\frac{n_n}{n} \right)^2 * T_{max} \quad (4.11)$$

和

$$0.8 * P_n \leq P_{load} \leq 0.7 * \frac{n_n}{n} * P_{max} \quad (4.12)$$

在弱磁范围内为了维持一定的转矩需要与相对速度成正比的附加电流。

例 4.2:

电机的额定电流是71 A。在1.2倍额定转速时要获得100 %额定转矩需要多大电流($T_{max} = 3 * T_n$)。

解答 4.2:

电流用下面的公式近似计算:

$$i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * \frac{n}{n_n} I_n = 1 * 1.2 * 71 = 85.2 \text{ A}$$

4.3 电机功率

电机的输出功率根据转速和转矩用公式可计算出来：

$$P_{\text{out}} [\text{W}] = T [\text{Nm}] * \omega [\text{rad/s}] \quad (4.13)$$

电机的功率通常用千瓦来表示

(1 kW = 1000 W) 转速用 rpm 每分钟圈数来表示，

$$1 \text{ rpm} = \frac{2 \pi}{60} \text{ rad/s), 可用下面的公式计算:}$$

$$P_{\text{out}} [\text{kW}] = \frac{T [\text{Nm}] * n [\text{rpm}]}{9550} \quad (4.14)$$

电机的输入功率可根据电压, 电流和功率因数来计算：

$$P_{\text{in}} = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi) \quad (4.15)$$

电机的效率是输出功率除以输入功率：

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \quad (4.16)$$

例 4.3:

电机额定功率是 15 kW 额定转速是 1480 rpm

电机的额定转矩是多少？

解答 4.3:

电机的额定转矩通过下面公式计算：

$$T_n = \frac{9550 * 15}{1480} \text{ Nm} = 96.8 \text{ Nm}$$

例 4.4:

电机的额定效率是多少？

37 kW ($P_n = 37 \text{ kW}$, $U_n = 380 \text{ V}$, $I_n = 71 \text{ A}$ 及 $\cos(\varphi_n) = 0.85$) ?

解答 4.4:

额定效率：

$$\eta_n = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * I_n * \cos(\varphi_n)} = \frac{37000}{\sqrt{3} * 380 * 71 * 0.85} \approx 0.931$$

第5章 - 基本的机械定律

5.1 旋转运动

感应电机的一个基本等式的描述。

转动惯量 (J [kgm^2]), 角速度 (ω [rad/s]) 和转矩 (T [Nm]) 之间的关系, 见下面的等式:

$$\frac{d}{dt} (J \omega) = J \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{dJ}{dt} = T - T_{\text{load}} \quad (5.1)$$

上面的等式基于频率和转动惯量变化。下面的等式常常假设转动惯量为常量:

$$J \frac{d\omega}{dt} = T - T_{\text{load}} \quad (5.2)$$

转矩 T_{load} 表示电机的负载。负载由摩擦力, 惯量和负载本身组成。当电机转速变化时, 电机的转矩不同于 T_{load} 。这时电机转矩按动态转矩和负载转矩分量来考虑:

$$T = T_{\text{dyn}} + T_{\text{load}} \quad (5.3)$$

如果转速和转动惯量为常量动态转矩分量 (T_{dyn}) 为零。

动态转矩分量由恒定转动惯量的负载加减速而产生 (电机的转速变化 Δn [rpm] 是在 Δt [s] 内产生的, J 是常量):

$$T_{\text{dyn},n} = J * \frac{2\pi}{60} * \frac{\Delta n}{\Delta t} \quad (5.4)$$

动态转矩分量由恒定转速 n [rpm] 时变化的惯量而产生:

$$T_{\text{dyn},J} = n * \frac{2\pi}{60} * \frac{\Delta J}{\Delta t} \quad (5.5)$$

如果在电机加速时转动惯量改变动态转矩分量可按照一定的间隔来计算。从热选型的角度来看，在加速期间可以考虑转动惯量的平均值。

例 5.1:

总的转动惯量， 3 kgm^2 ，在10秒内速度从500 rpm加速到1000 rpm. 当恒定的负载转矩是50 Nm时需要的总的转矩是多少？

如果电机的供电被切断，电机需要多长时间减速到0 rpm？

解答 5.1:

总的转动惯量是常量。产生加速度需要的动态转矩分量：

$$T_{\text{dyn}} = 3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{1000 - 500}{10} \text{ Nm} = 15.7 \text{ Nm}$$

加速期间总的转矩：

$$T = T_{\text{dyn}} + T_{\text{load}} = (15.7 + 50) \text{ Nm} = 65.7 \text{ Nm}$$

如果电机的转速在1000 rpm时供电被切断，电机由于恒定的负载转矩(50 Nm)会减速。下面的公式：

$$3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{0 - 1000}{\Delta t} = - T_{\text{load}}$$

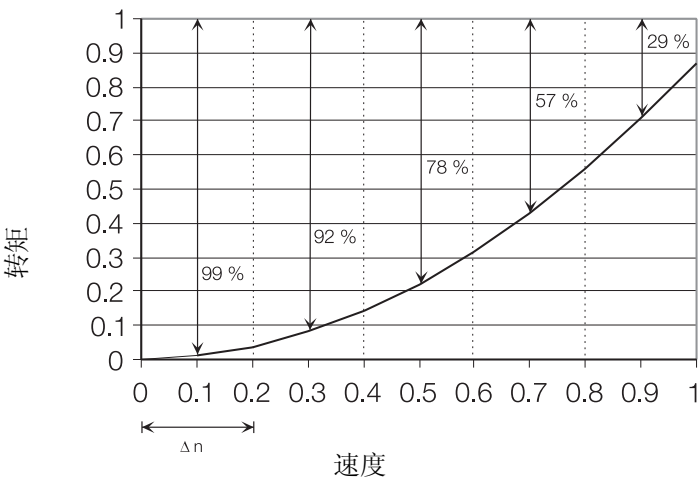
从1000 rpm到0 rpm的减速时间：

$$\Delta t = 3 * \frac{2 \pi}{60} * \frac{1000}{50} \text{ s} = 6.28 \text{ s}$$

例 5.2:

在额定转矩下加速一个风机到额定转速. 在额定转速下转矩为87 %. 风机的转动惯量是 1200 kgm^2 电机的转动惯量是 11 kgm^2 . 风机的负载 T_{load} 见图5.1。

电机的额定功率是200 kW，额定转速是991 rpm。



5.1 风机的转矩特性。转速和转矩用相对值来描述。

计算从零到额定转速的近似启动时间。

解答 5.2:
电机的额定转矩:

$$T_n = \frac{9550 \times 200}{991} \text{ Nm} = 1927 \text{ Nm}$$

把速度分成五个部分来计算启动时间。在每个部分 (198.2 rpm) 转矩被认为是恒定的。每个部分的转矩从中间点开始。因为每个部分的平方曲线接近于直线。

在额定转矩下电机(风机)的加速时间可通过下面的公式计算:

$$\Delta t = \frac{2 \pi}{60} \times \frac{J_{\text{tot}} \times \Delta n}{T_n - T_{\text{load}}}$$

不同速度区的加速时间：

0-198.2 rpm

$$\Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198.2}{0.99 * 1927} \text{ s} = 13.2 \text{ s}$$

198.2-396.4 rpm

$$\Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198.2}{0.92 * 1927} \text{ s} = 14.3 \text{ s}$$

396.4-594.6 rpm

$$\Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198.2}{0.78 * 1927} \text{ s} = 16.7 \text{ s}$$

594.6-792.8 rpm

$$\Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198.2}{0.57 * 1927} \text{ s} = 22.9 \text{ s}$$

792.8-991 rpm

$$\Delta t = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1211 * 198.2}{0.29 * 1927} \text{ s} = 45.0 \text{ s}$$

从0到991 rpm 的启动时间是112秒。

5.2 齿轮和转动惯量

在传动系统中齿轮是典型的传动装置。当计算电机转矩和转速范围时应考虑到齿轮装置的影响。以下等式从负载侧到电机侧齿轮传动装置被简化(见图 5.2):

$$T_1 = \frac{T_2}{\eta} * \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

(5.6)

$$J_1 = J_2 * \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

(5.7)

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}$$

(5.8)

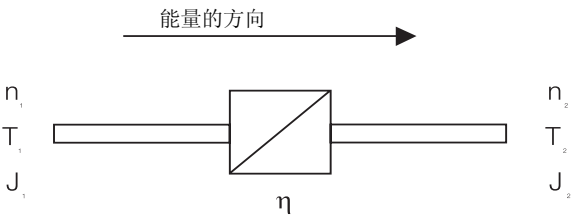


图5.2 齿轮传动装置的效率 η 。齿数比 $n_1:n_2$ 。

整个系统之内的转动惯量(J [kgm²])都需要知道。如果不知道可以计算出来, 要精确计算是比较困难的。机械制造商能提供一些必要的数

据。
例 5.3:
圆柱体是比较常见负载的外形 (辊子, 圆筒, 联轴器, 等.) 旋转圆柱体的转动惯量是多少(质量=1600 kg, 半径=0.7 m)?

解答 5.3:
旋转圆柱体的转动惯量 (质量 m [kg] 和 半径r [m]) 可以计算出来:

$$J = \frac{1}{2} mr^2 = \frac{1}{2} * 1600 * 0.7^2 \text{ kgm}^2 = 392 \text{ kgm}^2$$

如果有齿轮减速装置, 折算到电机侧的转动惯量应相应减小。下面的例子表明如何计算减小的齿轮和提升装置的转动惯量。在基础的工程学书籍中可以找到其它公式。

例 5.4:
下面的提升传动系统是折算到电机侧的转动惯量的计算。

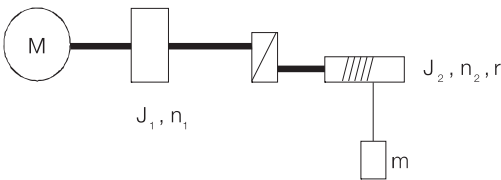


图 5.3 应用于例 5.4中的提升传动系统

解答 5.4:
总的转动惯量包括 J₁=10 kgm², J₂=30 kgm², r=0.2 m 和 m=100 kg。转动惯量为 J₂, 质量为 m 的负载连接在减速比为 n₁:n₂=2:1 的减速箱后面。

J₂ 的转动惯量折算后与减速比的平方成反比。提升物的转动惯量为减速比反比的平方乘以质量 m 及半径 r 的平方, 因为它也连接在减速机的后面。

因此系统总的转动惯量:

$$J_{red} = J_1 + \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 [J_2 + mr^2] = 18.5 \text{ kgm}^2$$

第6章 - 负载类型

在工业领域不同的负载类型有不同的负载特性。知道负载曲线(转速范围, 转矩和功率)对选择一个合适的电机和变频器是非常必要的。

下面的图形描述了一些常见的负载类型。也可能是一些负载类型的组合。

1. 恒转矩

在处理固定负载时, 恒转矩负载类型是典型的应用。例如螺杆式压缩机, 进料和搬运是典型的恒转矩负载应用。转矩是恒定的功率和转速成正比关系。

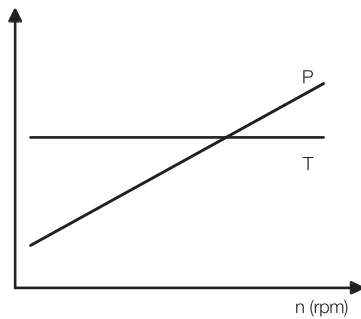


图 6.1 在恒转矩应用中典型的转矩和功率曲线。

2. 平方转矩

平方转矩是最普通的负载类型。典型的应用是离心风机和泵。转矩与转速的平方, 功率与转速的立方成正比。

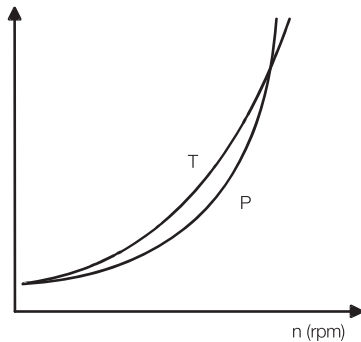


图 6.2 在平方转矩应用中典型的转矩和功率曲线。

3. 恒功率

当负载开始旋转时负载是额定的, 在旋转过程中直径是变化的。功率是恒定的, 转矩与速度成反比。

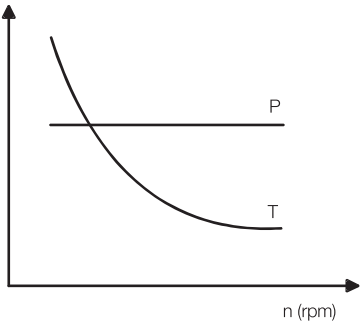


图6.3 在恒功率应用中典型的转矩和功率曲线。

4. 恒功率/转矩

这种负载在造纸行业应用的比较普遍。它是恒功率和恒转矩负载类型的组合。这种负载类型经常根据在高速点所需的功率来对系统选型。

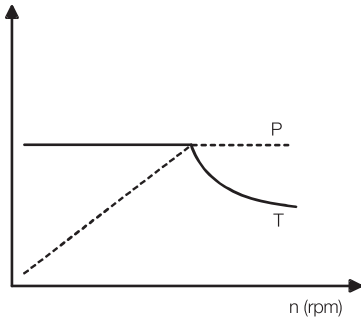


图 6.4在恒功率/转矩应用中典型的转矩和功率曲线。

5. 启动/ 最小转矩需求

在有些应用中需要低频高转矩。选型中要考虑这种要求。这种负载类型的典型应用，例如挤出机和螺杆泵。

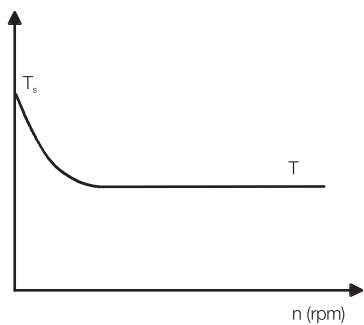


图 6.5 需要最小启动转矩应用的典型转矩曲线。

也有一些个别的负载类型。它们很难来描述。这里仅仅提及一点儿，有不同的对称(辊子，起重机等)和非对称的负载。转矩的对称/非对称以角度或时间来定义。这种负载类型的应用在选型时必须仔细考虑电机和变频器过载能力的余量和电机的平均转矩。

第7章 -电机载荷能力

当对传动系统选型时应考虑电机的热负荷能力。热负荷能力定义电机长期运行的载荷能力。

标准的感应电机是自冷却的。由于自冷却电机的热负荷能力随电机转速的下降而降低。这就限制了电机在低速下连续输出有效转矩的能力。

带单独冷却风机的电机在低速下能输出满转矩。冷却风机也要选型这样冷却效果可与额定点相同。

自冷和单独冷却电机的转矩在弱磁区都会受到限制。

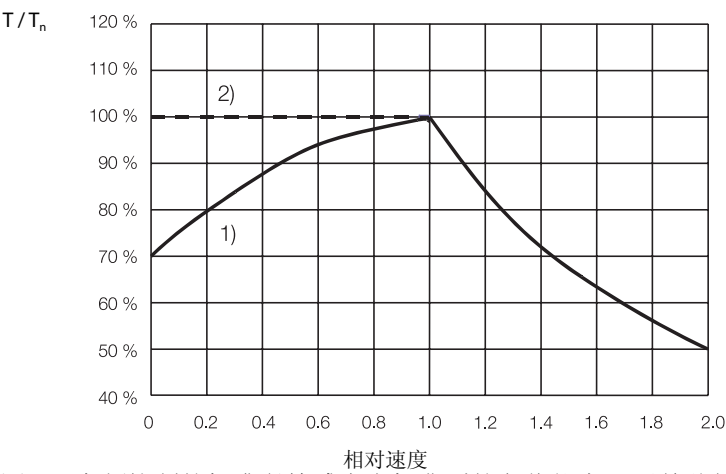


图 7.1 变频控制的标准鼠笼感应电机典型的负载能力1) 无单独的冷却风机 和 2) 有单独的冷却风机。

交流电机具有短时过载的能力。短时过载周期主要被最大转矩 T_{max} 限制(检查安全余量)。

一般而言，变频器的短时过载能力比电机的更为苛刻。电机的热上升时间从15分钟(小电机)到几个小时(大电机)。变频器的热上升时间(典型的几分钟)在产品手册中已给出。

第 8 章 - 选择变频器和电机

电机根据负载处理过程的基本数据来选择。转速范围，转矩曲线，冷却方式和电机载荷能力。经常要比较不同的电机，因为不同电机的选择会影响变频器的容量。

要选择合适的变频器有一些因素必须要考虑。对不同功率的变频器，制造商通常有对应典型电机功率的选择表。

如果知道转矩特性选型电流可以计算出来。相应的电流值根据转矩曲线和变频器电流限值可以计算出来。电机的额定电流给出一些选型的参考。这不是最好的选型标准因为电机可能被降容(环境温度，危险区域等)。

在选择变频器前要检查供电电压。供电电压的波动影响电机有效的输出轴功率。如果供电电压比额定弱磁点电压低，电机在弱磁区的最大有效转矩会降低。

电机最大有效转矩经常被变频器限制。在选择电机阶段要考虑这个因素的影响。变频器限制电机的转矩要优于电机制造商给出的数据表。

电机最大有效转矩还可以被系统中的变压器，电抗器，电缆等限制。因为它们会引起电压降落，因此电机的最大有效转矩会降低。系统的功率损耗需要通过变频器来补偿。

8.1 泵和风机应用(举例)

多个风机泵类应用的选型：

- 检查速度范围计算速度最高点的功率。
- 检查启动转矩。
- 选择电机极数。最经济的运行频率经常出现在弱磁区。
- 选择电机功率以便在最高转速时功率的利用。注意电机的热负荷能力。
- 选择变频器。根据泵和风机的额定数据。如果没有泵和风机的有效数据，根据电机的电流曲线来选择变频器。

例8.1：
一个泵在2000 rpm时带150 kW的负载。不需要启动转矩。

解答8.1：
在 2000 rpm 需要的转矩：

$$T = \frac{9550 \times 150}{2000} \text{ Nm} = 716 \text{ Nm}$$

根据这个应用可选择2极或4极电机。

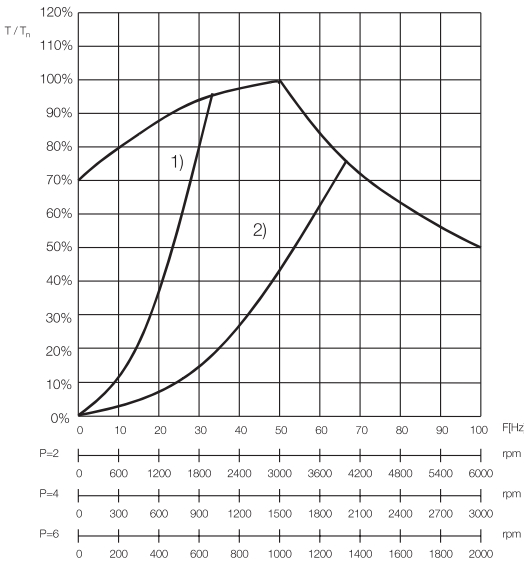


图 8.1 风机泵类应用时的电机负载曲线。1) 2极和2) 4极电机对比。

1) 2极电机
根据负载曲线2极电机在2000 rpm 时负载能力是95 %。电机的额定转矩至少为：

$$T_n \geq \frac{716}{0.95} \text{ Nm} = 754 \text{ Nm}$$

相应的额定功率至少为：

$$P_n \geq \frac{754 * 3000}{9550} \text{ kW} = 237 \text{ kW}$$

可选择 250 kW (400 V, 431 A, 50 Hz, 2975 rpm, 0.87) 的电机，电机的额定转矩为：

$$T_n = \frac{250 * 9550}{2975} \text{ Nm} = 803 \text{ Nm}$$

在 2000 rpm 时电机的电流近似为：(恒磁通范围)

$$i_m = \frac{T_{\text{load}}}{T_n} * I_n = \frac{716}{803} * 431 \text{ A} = 384 \text{ A}$$

变频器的最小连续输出电流是 384 A。

2)4 极电机

4极电机在 2000 rpm 时的负载能力是 75 %。

电机的最小额定转矩是：

$$T_n \geq \frac{716 \text{ Nm}}{0.75} = 955 \text{ Nm}$$

4极电机的最小功率是：

$$P_n \geq \frac{955 * 1500}{9550} \text{ kW} = 150 \text{ kW}$$

可选择 160 kW (400 V, 305 A, 50 Hz, 1480 rpm, 0.81) 电机。

在 2000 rpm (66.7 Hz) 时近似的电机电流是：

$$i_m = \frac{T_{\text{load}}}{T_n} * \frac{n}{n_n} I_n = \frac{P_{\text{load}}}{P_n} * I_n = \frac{150}{160} * 305 \text{ A} = 286 \text{ A}$$

如果选择变频器的额定电流接近电机的电流，应计算出精确的电流。

4极电机在泵的运行点需要的电流更小。因此是比2极电机更为经济的选择。

8.2 恒转矩应用(举例)

恒转矩应用时选型的一些步骤:

- 检查速度范围。
- 检查需要的转矩。
- 检查可能的加速度。如果需要加速检查转动惯量。
- 检查启动转矩的需要。
- 选择电机确保转矩在热负荷曲线之下(单独冷却/自冷却?)。典型的电机额定转速在需要的运行速度范围的中间。
- 根据选型电流选择合适的变频器。

例 8.2:
挤压机的转速范围是 300-1200 rpm。在 1200 rpm 负载功率是 48Kw。启动转矩是 200 Nm。从 0 到 1200 rpm 的加速时间是 10 秒。电机是自冷却额定电压是 400 V。

例 8.2:
需要的恒定转矩:

$$T = \frac{9550 * 48}{1200} \text{Nm} = 382 \text{ Nm}$$

可选择4极或6极电机。

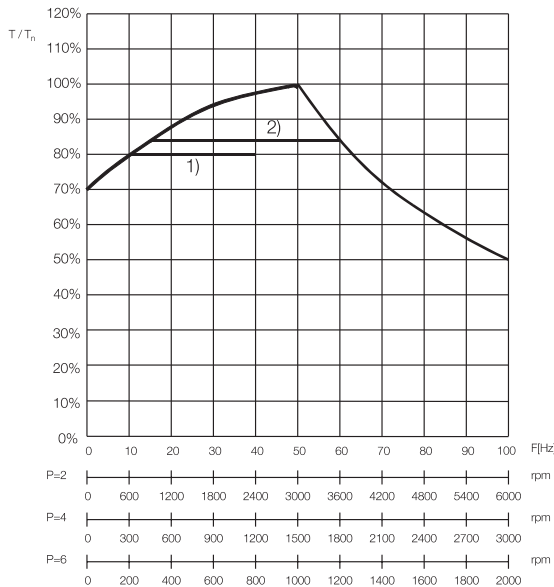


图 8.2 恒转矩应用中的电机负载能力曲线。1) 4极和 2) 6极电机的比较。

1) 电机极数=4

在300 rpm时电机的热负载能力是80 %。

估算的最小的额定转矩是：

$$T_n \geq \frac{382}{0.8} \text{ Nm} = 478 \text{ Nm}$$

最小的电机额定功率是：

$$P_n \geq \frac{478 * 1500}{9550} \text{ kW} = 75 \text{ kW}$$

例如一个 75 kW (400 V, 146 A, 50 Hz, 1473 rpm) 的电机。电机的额定转矩是：

$$T_n = \frac{75 * 9550}{1473} \text{ Nm} = 486 \text{ Nm}$$

近似的电机电流是 ($T/T_n \approx 0.8$):

$$i_m = \frac{T_{\text{load}}}{T_n} * I_n = \frac{382}{486} * 146 \text{ A} = 115 \text{ A}$$

根据计算的电机电流可以选择一个合适的变频器。

对这个电机来说(200 Nm)的启动转矩没有问题。

如果电机的转动惯量是 0.72 kgm² 在加速期间的动态转矩是：

$$T_{\text{dyn}} = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1200}{10} * 0.72 \text{ Nm} = 9 \text{ Nm}$$

在加速期间总的转矩是 391 Nm，其值小于电机的额定转矩。

2) 电机极数 p=6

电机转速在300 rpm 和1200 rpm 时电机的负载能力是84 %。

因此 6极电机的最小额定转矩是：

$$T_n \geq \frac{382 \text{ Nm}}{0.84} = 455 \text{ Nm}$$

最小的电机额定功率是：

$$P_n \geq \frac{455 * 1000}{9550} \text{ kW} = 48 \text{ kW}$$

比如选择 55 kW (400 V, 110A, 50 Hz, 984 rpm 和功率因数0.82) 的电机。电机的额定转矩是:

$$T_n = \frac{55 * 9550}{984} \text{ Nm} = 534 \text{ Nm}$$

在1200 rpm时选型电流能近似地计算出来:

$$i_m = \frac{T_{load}}{T_n} * \frac{n}{n_n} I_n = \frac{P_{load}}{P_n} * I_n = \frac{48}{55} * 110 \text{ A} = 96 \text{ A}$$

变频器的额定(连续) 电流要大于96 A。

需要的启动转矩小于电机的额定转矩。

如果电机的转动惯量是1.2 kgm²加速期间的动态转矩是:

$$T_{dyn} = \frac{2 \pi}{60} * \frac{1200}{10} * 1.2 \text{ Nm} = 15 \text{ Nm}$$

加速期间总的转矩是 397 Nm，其值小于电机的额定转矩。

6极电机的电流是 19 A，小于 4极电机。最终变频器/电机的选择取决于电机和变频器的功率等级和价格。

8.3 恒功率应用(举例)

恒功率应用中的一些选型步骤:

- 检查速度范围。
- 计算需要的功率. 卷曲是典型的恒功率应用。
- 对电机选型要充分利用其弱磁区。

例 8.3:

用变频器控制的拉丝机。卷轴的表面速度是12 m/s 张力是5700 N。卷轴的直径是 630 mm(空卷)到1250 mm(满卷)。有一个速比为n2:n1=1:7.12，效率是0.98的减速机。

根据此应用选择合适的变频器和电机。

解答 8.3:

卷曲的基本原理是随着卷径的变化保持表面的速度和张力恒定

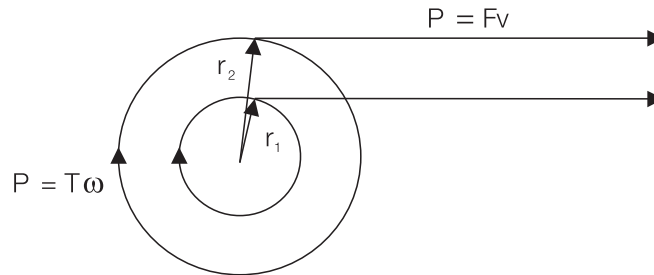


图 8.3 卷曲的基本图形

直线运动的功率是: $P = Fv$

旋转运动的功率是: $P = T\omega$

表面速度和角速度的关系是:

$$v [\text{m/s}] = \omega * r = \frac{2\pi * n [\text{rpm}] * r}{60} \Leftrightarrow n [\text{rpm}] = \frac{60 * v}{2\pi * r}$$

转矩等于力和半径的乘积: $T = Fr$

根据上面的公式可以选择出电机:

$$P = 5700 \text{ N} * 12 \text{ m/s} = 68.4 \text{ kW}$$

$$T_1 = 5700 \text{ N} * \frac{0.63}{2} \text{ m} = 1796 \text{ Nm}$$

$$n_1 = \frac{12 * 60}{\pi * 0.63} \text{ rpm} = 363.8 \text{ rpm}$$

$$T_2 = 5700 \text{ N} * \frac{1.25}{2} \text{ m} = 3563 \text{ Nm}$$

$$n_2 = \frac{12 * 60}{\pi * 1.25} \text{ rpm} = 183.3 \text{ rpm}$$

在选择电机之前必须考虑减速机的影响。速度, 转矩和功率相应减小:

$$P = \frac{P}{\eta_{\text{gear}}} = \frac{68.4}{0.98} \text{ kW} = 69.8 \text{ kW}$$

$$T_1 = \frac{1796}{0.98} * \frac{1}{7.12} \text{ Nm} = 275 \text{ Nm}$$

$$n_1 = 363.8 * 7.12 \text{ rpm} = 2590 \text{ rpm}$$

$$T_2 = \frac{3563}{0.98} * \frac{1}{7.12} \text{ Nm} = 511 \text{ Nm}$$

$$n_2 = 183.3 * 7.12 \text{ rpm} = 1305 \text{ rpm}$$

1) 电机极数 $p=2$

如果一个2极电机在1305 rpm时的负载能力是88 %, 在2590 rpm时是97 %。电机最小的额定功率是:

$$P_n \geq \frac{511 * 3000}{0.88 * 9550} \text{ kW} = 182 \text{ kW}$$

选择200 kW (400 V, 353 A, 50 Hz, 2975 rpm 和功率因数 0.86) 的电机。
电机的 额定转矩是:

$$T_n = \frac{200 * 9550}{2975} \text{ Nm} = 642 \text{ Nm}$$

根据511 Nm的转矩可以计算出选型电流:

$$i_m = \frac{T_{\text{load}}}{T_n} * I_n = \frac{511}{642} * 353 \text{ A} = 281 \text{ A}$$

2) 电机极数 $p=4$

如果选择4极电机 从负载曲线上可以看出在1305 rpm和2590 rpm时负载能力分别为98 %和60 %。电机的最小额定功率是:

$$P_n \geq \frac{511 * 1500}{0.98 * 9550} \text{ kW} = 82 \text{ kW}$$

选择一个90 kW (400 V, 172 A, 50 Hz, 1473 rpm 和功率因数 0.83) 的电机。电机的额定转矩是:

$$T_n = \frac{90 * 9550}{1473} \text{ Nm} = 584 \text{ Nm}$$

在这个应用中选型是根据电机在1305 rpm时的电流来完成的。
电机电流是:

$$i_m = \frac{T}{T_n} I_n = \frac{511}{584} * 172 \text{ A} = 151 \text{ A}$$

2极电机的弱磁区没有被利用 (恒功率), 这会导致选型过大。在这个应用中4极电机是更好的选择。

第9章- 输入变压器和整流器

有几种不同类型的整流器。整流器的类型会限制装置的运行。

比较常见的整流器是 6 脉或 12 脉二极管整流。二极管整流器仅支持电动类负载，功率只能流向一个方向。

在一些运行中负载可能处在发电状态，发电的能量需要被吸收。对于短时发电负载传统的解决办法是采用制动电阻把发电的功率转化成热能。如果负载一直处在发电状态，需要使用4象限整流器。

输入变压器和整流器根据电机轴功率和系统损耗来选型。例如如果在低转速时需要高转矩，而机械功率是比较低的。因此从整流的角度不需要高过载能力。

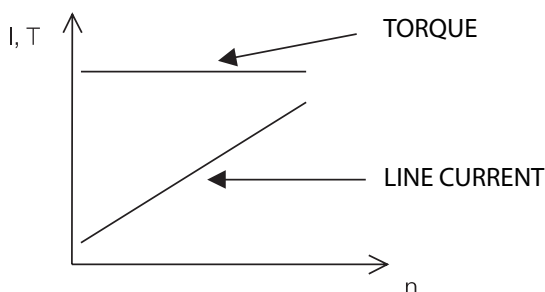


图 9.1 在恒转矩应用中的线电流曲线。在低速时线电流是非常小的。

9.1 整流器

整流器根据电机轴功率来选型。单传动的整流器容量可根据下面的近似的公式计算, 其中系数0.9主要是考虑了电机和逆变器的效率:

$$S_{\text{rectifier}} = \frac{P_{\text{motor}}}{0.9} \quad (9.1)$$

在传动系统中如果采用公直流母线的方式，在同一时刻既有电动又有发电。整流器的功率可根据下面的公式近似地计算。

$$S_{\text{rectifier}} = \frac{\sum P_{\text{motoring}}}{0.9} - 0.9 \sum P_{\text{generating}} \quad (9.2)$$

9.2 变压器

输入变压器的功率可根据以下公式计算：

$$S_{\text{transformer}} = P_{\text{total}} * \frac{1.05}{k} * \frac{1}{\eta_r} * \frac{1}{\cos(\alpha)} * \frac{1}{\eta_c} * \frac{1}{\eta_i} * \frac{1}{\eta_m} \quad (9.3)$$

上面公式中：

P_{total} 是总的电机轴功率。

k 是变压器的载荷系数 (k -系数)。

1.05 表示变压器的压降 (阻抗)。

η_r 是整流器的效率。

$\cos(\alpha)$ 是整流器的控制角 (=1.0 二极管整流器)。

η_c 是交流电抗器 (如果有) 效率。

η_i 是逆变器效率。

η_m 是电机效率。

典型的数值是1.2 - 1.35 总的轴功率。

例 9.1:

在恒转矩应用中转速在1200 rpm时需要的最大轴功率是48 kW。可选择55 kW 的电机和70 kVA的逆变器。

输入变压器和整流器的说明。使用6脉二极管供电单元(效率0.985), 直流母线上有直流电抗器, 逆变器效率0.97及电机效率0.95。

解答 9.1:

估算的整流器功率:

$$S_{\text{rectifier}} = \frac{48}{0.9} \text{ kVA} = 53.3 \text{ kVA}$$

电抗器的效率包括在逆变器的效率中。因为二极管供电单元的 $\cos(\alpha)=1$ 。输入变压器的功率($k=0.95$):

$$S_{\text{transformer}} = 48 * \frac{1.05}{0.95} * \frac{1}{0.985} * \frac{1}{0.97} * \frac{1}{0.95} \text{ kVA} = 58.4 \text{ kVA}$$



北京ABB电气传动系统有限公司
中国，北京，100015
北京市朝阳区酒仙桥北路甲10号D区1号
电话：010-58217788
传真：010-58217518/58217618
24小时服务热线：(+86) 400 810 8885
网址：<http://www.abb.com/drives>

3ABD64362569 版本 A 中文
基于: 3AFE64362569 版本 C 中文
生效日期: 2010-10-01

ABB 传动

电气制动

技术指导 8



ABB 传动
电气制动

技术指导 No. 8

3ABD64362534 版本 A 中文
3AFE64362534 版本 B 英文
生效日期: 2010-07-01

8

目录

第 1 章 - 介绍	5
1.1 概述	5
1.2 根据转速和转矩划分传动工作状态	5
第 2 章 - 制动功率的计算	7
2.1 电气制动的基本原理	7
2.2 基本负载	8
2.2.1 恒转矩和平方转矩	8
2.2.2 计算制动转矩和制动功率	8
2.2.3 概括总结	12
第 3 章 - 传动中电气制动的解决方案	13
3.2 制斩波器和制动电阻	14
3.2.1 变频器功储能特性	14
3.2.2 制动斩波器的工作原理	15
3.3 反并联晶闸管桥配置	17
3.4 IGBT 桥结构	18
3.4.1 IGBT 再生制动单元基本原理	18
3.4.2 IGBT 再生回馈的控制目标	19
3.4.3 直接转矩控制的形式是直接功率控制	20
3.4.4 再生回馈单元选型	21
3.5 公共直流母线	22
第 4 章 - 评估不同的电气制动方式的工作周期成本	23
4.1 计算能源成本	23
4.2 计算投资成本	23
4.3 计算工作周期的成本	24
第 5 章 - 符号和定义	27

第一章 – 简介

1.1 概述

这本手册是ABB技术指导系列丛书的一部分，主要介绍减少储能和将储能转化为电能的应用方案，介绍了不同制动方式的实际应用指导。

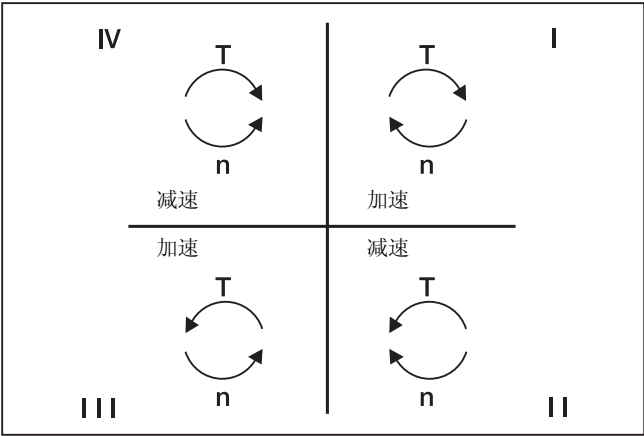
1.2 根据转速和转矩划分传动工作状况

传动应用根据转速和转矩主要分为三类，第一类最常用的交流传动主要用于转速和转矩方向相同的单象限运行。也就是，逆变器输出功率（速度乘以转矩）到电机。这些典型的应用于泵和风机的控制，负载是二次方转矩变化的应用。挤压机和传动带是单象限恒转矩的应用，也就是说当转速变化时负载转矩保持恒定。

第二类是两象限应用，转速方向不变但是转矩的方向可以改变，此时电量能从变频器输出到电机或者由电机反馈给变频器。单象限的传动工作在两象限状态。如风机减速的速度比正常的机械减速快，在许多的工业场合，尽管工作过程是单象限的但是机械急停需要两象限的工作。

第三类是四象限应用，转速的方向和转矩的方向可以自由改变，这些应用典型的如升降机，绞车，提升机，但是许多机械操作比如剪切，缠绕，纺织，以及测试台可能需要反复的速度和转矩的变化。单象限的工况过程中，而能量主要从机械设备回馈到变频器时，如卷纱机或者是上坡和下坡的传动带。

通常从节能的角度上交流电机和变频器的组合控制要优于机械抱闸的控制。然而却很少注意到许多的应用场合的能量是从机械设备回馈到变频器，怎样把制动的能量经济效益最优利用却没有被考虑。



图例 1.1 根据转速和转矩划分传动工作状态

第二章 – 制动功率的计算

2.1 电气制动的基本原理

制动的计算需要依据机械力，典型的要求是机械系统要在特定的时间内制动，或者是电机工作在发电状态时速度恒定或速度轻微变化的过程。

电气制动设备的容量选型的重要依据制动能量，机械制动的能量由设备的制动转矩和转速决定，公式（2.1）。速度越快功率越大，功率以特定的电压和电流传输，对于相同的功率电压越高电流就越小。

公式（2.2）电流是低压交流传动成本的首要因素。在公式（2.2）中有一个功率因数 $\cos\phi$ 。功率因数决定电机提供多大的励磁电流。励磁电流不提供转矩因此可以忽略不计。

另一方面，电机的励磁电流不是取自交流进线侧，整流输出侧的电流小于逆变器输出到电机的电流。供电侧的功率因数接近1。注意在公式（2.2）中是假设在直流电转化为交流电时没有电流损耗发生。在转化中是有一些损耗但在此手册中忽略不计。

$$P_{\text{mech}} = T * \omega = T * \frac{n}{60} * 2\pi \quad (2.1)$$

$$P_{\text{electrical}} = U_{\text{DC}} * I_{\text{DC}} = \sqrt{3} * U_{\text{AC}} * I_{\text{AC}} * \cos\phi \quad (2.2)$$

2.2 基本负载

典型的负载分为恒转矩负载和平方转矩负载。平方转矩负载是负载转矩与速度的平方成比例。也可以理解为功率与速度的三次方成比例，在恒转矩应用中，功率直接和速度成比例。

2.2.1 恒转矩和平方转矩

恒转矩

C: 恒定

$$T_{load} = C \quad (2.3)$$

$$P_{load} = T * \omega = C * \omega \quad (2.4)$$

平方转矩:

$$T_{load} = C * \omega^2 \quad (2.5)$$

$$P_{load} = T * \omega = C * \omega^2 * \omega = C * \omega^3 \quad (2.6)$$

2.2.2 计算制动转矩和制动功率

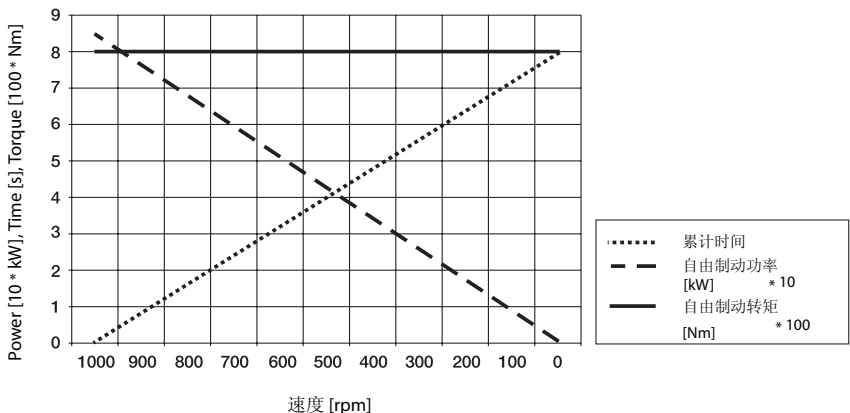
在稳定运行状态（角加速度为零），对应电机角速度，电机转矩必须克服摩擦转矩和负载转矩。
两种不同的负载类型的制动转矩和功率。

$$T_{motor} = -[J * \alpha + \beta * \omega + T_{load}(\omega)] \quad (2.7)$$

首先我们先考虑恒转矩的情况下，传动系统不能产生制动转矩
换言之，传动是单象限类型，为了计算制动时间需要应用到下面的等量关系，注意公式(2.7)标注是加速或减速时的转动惯量，摩擦阻力转矩和负载转矩，这些转矩与电机输出转矩的方向相反。

$$0 = -[J * \alpha + \beta * \omega + T_{load}(\omega)] \quad (2.8)$$

在实际的应用中很难准确确定摩擦转矩的作用，假设摩擦力为零，可以从更安全的角度计算出制动时间。



图例 2.1 累计时间, 制动功率和转矩与转速的关系

$$T_{load}(\omega) = J * \alpha = J * \frac{(\omega_{start} - \omega_{end})}{t} = J * \frac{(n_{start} - n_{end}) * 2 \pi}{t * 60} \quad (2.9)$$

时间的计算公式:

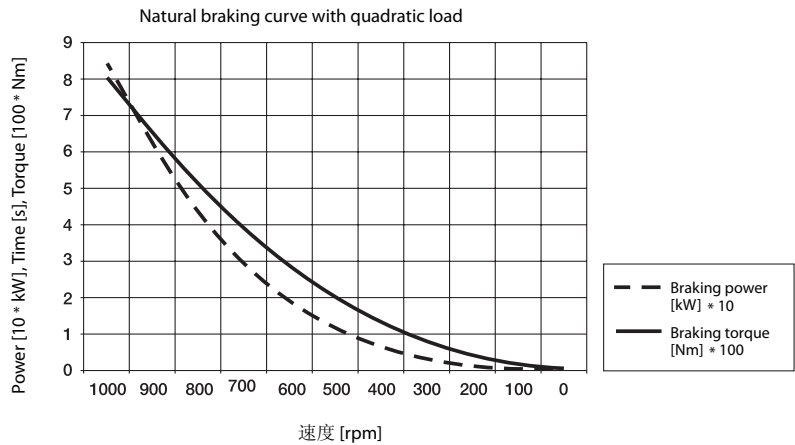
$$t = J * \frac{(n_{start} - n_{end}) * 2 \pi}{60 * T_{load}(\omega)} \quad (2.10)$$

假设负载的转动惯量是60 kgm², 负载转矩是 800 Nm
整个速度范围内保持不变, 如果负载运行速度在1000 rpm 时, 电机的转矩输出零, 则负载停止的时间如下:

$$t = J * \frac{(n_{start} - n_{end}) * 2 \pi}{60 * T_{load}(\omega)} = 60 * \frac{(1000 - 0) * 2 \pi}{60 * 800} = 7.85 s \quad (2.11)$$

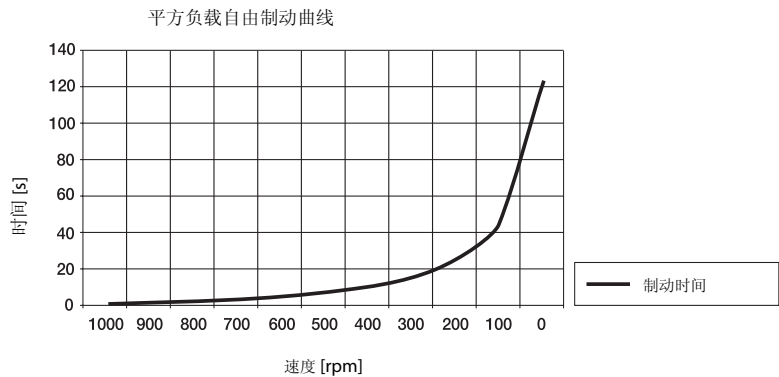
它应用于当制动开始的时负载转矩保持恒定, 当负载转矩消失 (如传动带断开) 动能保持不变但负载转矩减小了对机械的作用。在那种情况下如果电机不制动, 电机的速度只有在摩擦阻力的作用下停止。

现在假设一种情形, 负载转动惯量和负载转矩在转速为1000 rpm 时相同, 但是负载转矩的变化是平方形式, 此时如果强制电机转矩输出为零, 负载转矩的减小与转速的平方成比例变化, 则累积制动时间和转速之间的关系, 可以得出在低速时的自由制动时间, e.g. 从200 rpm到100 rpm, 与转速从1000rpm到900rpm有很大的不同。



图例 2.2 .90kw的风机负载自由制动时功率和转矩与速度的函数关系

自由制动曲线根据时间点的功率和速度的关系公式(2.5)和 (2.6)很容易绘出曲线



图例2.3 累积制动时间，（以90kw风机为例）

现在考虑一种情况，要求特定的机械系统在规定的转速下，特定的时间内完成制动。

90kw的风机转动惯量是60 kgm²,额定工作转速是1000 rpm, 风机需要在20秒内停止, 制动效果由于受负载特性的影响在开始制动时的最大, 最大动能可以由公式 (2.12)计算。平均制动功率由制动能量除以制动时间, 当然影响平均功率的因素如风机负载特性的因素没有考虑。

$$W_{kin} = \frac{1}{2} * J * \omega^2 = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2 \pi \right)^2 = P * t \quad (2.12)$$

$$P = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2 \pi \right)^2 * \frac{1}{t} =$$

$$\frac{1}{2} * 60 * \left(\frac{1000}{60} * 2 \pi \right)^2 * \frac{1}{20} = 16.4 \text{ kW} \quad (2.13)$$

当制动斩波器的功率为16.4KW, 电机在高速状态下制动时的制动能量远远超过16.4KW, 传动设备必须具备最大回馈功率的监控功能, 一些传动设备具备这种功能。

如果在特定的制动时间内优化制动斩波器容量, 可以参照图例(2.3)。在没有外界制动的情况下, 速度很快从1000rpm 减到500 rpm, 在开始制动时自由制动的效果很明显, 这样可以明显地看出不需要在开始就立即对16.4kw能量制动。从图例(2.3)看出, 速度从1000 rpm 到 500 rpm自由制动时间小于10s, 此时负载转矩是额定的25%, 风机的动能只有1000 rpm的25%。如果把1000rpm的计算方法用于500rpm, 可以看出从500rpm减到0rpm的制动功率接近8kw, 依据以前的计算都是从保守的角度上没有考虑负载的特性。

总之, 当制动减速时间为20秒, 速度从1000 rpm 降到 0 rpm, 斩波器和制动电阻的容量选择8.2kw, 设定传动的回馈功率为8.2 kw接近制动功率水平。

$$W_{kin} = \frac{1}{2} * J * \omega^2 = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2\pi \right)^2 = P * t \quad (2.14)$$

$$P = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2\pi \right)^2 * \frac{1}{t} =$$
$$\frac{1}{2} * 60 * \left(\frac{500}{60} * 2\pi \right)^2 * \frac{1}{10} = 8.2 \text{ kW} \quad (2.15)$$

2.2.3 概括总结

负载分为两种类型：恒转矩和平方转矩。

恒转矩应用：

- 负载转矩特性与转速无关，在整个转速范围内转矩基本保持不变。
- 功率随转矩成线形变化，反之亦然。
- 典型的恒转矩的应用：提升机，传动带。

平方转矩应用：

- 转矩的增加与转速成平方关系。
- 转速增加, 功率的增加与转速的三次方成正比。
- 典型的平方转矩的应用：风机和泵。

制动功率计算：

- 平方负载转矩的特性是转速在50-100%的额定转速区间，自由制动的速度快。计算制动功率可以利用此特性。
- 平方转矩负载在低速状态自由制动主要依靠摩擦力。
- 恒转矩负载特性是恒定的自由减速。
- 制动功率是特定运行状态下与转矩和转速的函数关系，计算制动斩波器的容量根据制动功率的尖峰值通常导致选型过大。
- 制动功率与电机额定电流或额定转矩以及额定功率不成函数关系。
- 当开始自由制动开始时如果负载转矩消失，此时自由制动的作用很小，这会影响到制动斩波器的选型。

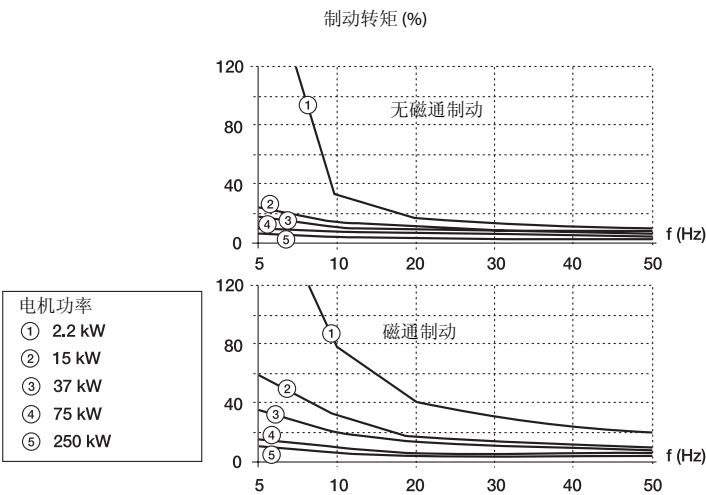
第三章 – 传动中电气制动的解决方案

现代交流传动包括输入整流器把交流转变为直流储存在直流电容中，逆变器把直流转变为规定频率交流电输出到电机。功率的传输经过整流器，直流母线，逆变器到电机。直流电容存储的功率相对于需求功率是很小的，因此，整流器必须不断地传输的功率是电机功率加上传动系统的功率损耗之和。

3.1 电机磁通制动

磁通制动是基于电机损耗的原理，当传动系统需要制动时，电机磁通因为励磁电流增加而增大。直接转矩的控制原理很容易实现控制磁通，（更多的直接转矩控制信息参照技术指导 1）。逆变器通过直接转矩控制可以立即使电机达到期望的转矩和磁通，在直接转矩控制下磁通制动能够保证电机在规定的速度斜坡进行制动。这与传动典型的直流注入制动有很大不同，在直流注入制动方法中，直流电流的注入来控制电机磁通在制动过程的损耗。磁通制动方法是根据直接转矩控制能够让电机很快的从制动到电动能量转换。

磁通制动增加电流就是增加电机内部的损耗，制动功率因此也增加，但是输出变频器的制动功率却没有增加。增加的电流产生使电机阻抗的损耗增加，电机的阻抗越大制动能量在电机内部消耗的就越大。典型的，在小功率电机（15kw以下）电机的阻抗与对应的额定电流有关。电机的功率越大或者电机电压越小，电机的阻抗值与电机的电流有关，换言之在磁通制动对小功率电机很有效。



图例 3.1 制动转矩相对于额定转矩的百分数和频率的函数关系

磁通制动的主要优点：

- 利用DTC控制不需要额外的设备和额外的成本投入。
- 电机在制动期间的控制与注入直流电流的制动控制方法不同。

磁通制动的主要缺陷：

- 如果电机在短期内反复制动会增大电机的热应力。
- 制动功率受限于电机的特性。比如：阻抗值
- 磁通制动主要应用于小功率电机。

3.2 制斩波器和制动电阻

3.2.1 变频器储能特性

在标准传动中，整流器典型的6脉波和12脉波的二极管整流器只能把交流电整流成直流电，却不能把直流电逆变成交流电。如果功率传输方向是变化的，比如在两象限和四象限的应用，能量回馈过程中根据公式（3.1）对直流电容进行充电，电容的直流电压开始升高。电容器的电容是一个相对的较小，所以在交流传动中导致直流电容快速的电压升高，变频器的元器件只能承受电压上升到一个规定的水平。

$$W = P * t = \frac{C * U_{dc}^2}{2} \quad (3.1)$$

$$U_{dc} = \sqrt{\frac{2 * W}{C}} = \sqrt{\frac{2 * P * t}{C}} \quad (3.2)$$

为了阻止直流公共母线直流电压过分升高，有两个可行的办法：
逆变器自己阻止电能从电机回馈到变频器，通过限制制动转矩来保持直流母线电压恒定。此方法称作过压控制，这是当代大部分变频设备的基本特点。可是，这就意味着机械设备在用户规定的速度斜坡下不能实现制动。

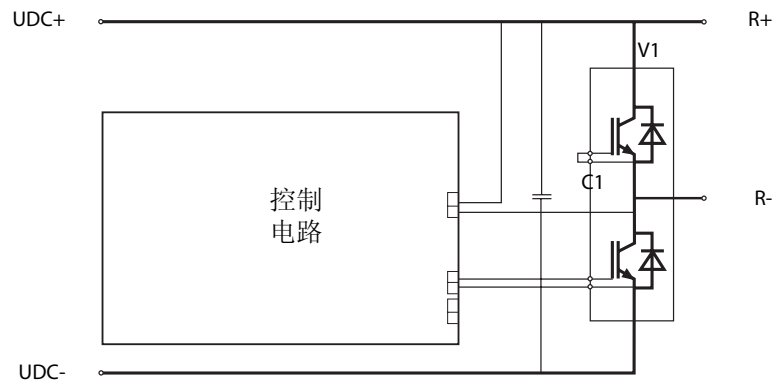
逆变器电能的储存能力很小，例如，90KW的变频器的电容值是5MF，如果变频器的供电电压是400V，则直流母线的电压是 $1.35 * 400 = 565 \text{ V DC}$ 。假定电容能够承受的最大直流电压是735VDC，则电容的充电时间是

$$t = \frac{C * U_{dc}^2}{2 * P} = \frac{5 * 10^{-3} * (735^2 - 565^2)}{2 * 90 * 10^3} = 6 \text{ ms} \quad (3.3)$$

这个值的范围适用于一般的当代交流低压传动，不管额定功率是多大。实际上交流电机的过压控制器和功率控制器必须工作在很快的速度，而且激活再生制动或制动斩波器的速度必须很快。

3.2.2 制动斩波器的工作原理

另外一种限制直流母线电压的方法是通过制动斩波器把制动能量输出给制动电阻。制动斩波器是一个电气开关连接直流母线和制动电阻，制动电阻把电能转化为热能。根据逆变器的额定电压，当母线电压超过规定的直流电压时制动斩波器自动激活投入工作。



图例 3.2 制动斩波器的电路示意图 UDC代表 DC母线端子
R代表制动电阻端子

制动斩波器加制动电阻的解决方案的优点：

- 简单的电气配置和众所周知的技术原理。
- 制动斩波器和制动电阻的低成本。
- 即使交流电源断开斩波器也可以工作，在主电失电的情况下需要制动的应用。例如：升降机或其它一些安全相关的应用。

制动斩波器加制动电阻的解决方案的主要缺陷：

- 如果被加热的空气不能被利用的情况下，制动能量被浪费掉。
- 制动斩波器和制动电阻需要额外的空间。
- 在冷却和热量回收利用方面需要额外的经济投入。
- 制动斩波器是对一定工作周期的选型，例如100%的功率对应于1/10min。长时间制动需要更精确的制动斩波器选型。
- 由于制动电阻的发热和可能的灰尘以及环境中的化学器件增大火灾的危险。
- 制动过程中直流母线电压的升高会对电机绝缘造成额外的电压应力。

何时选用制动斩波器：

- 偶尔制动周期的需要。
- 总的制动能量相对于电动能量比较小。
- 主电源掉电时需要制动工作。

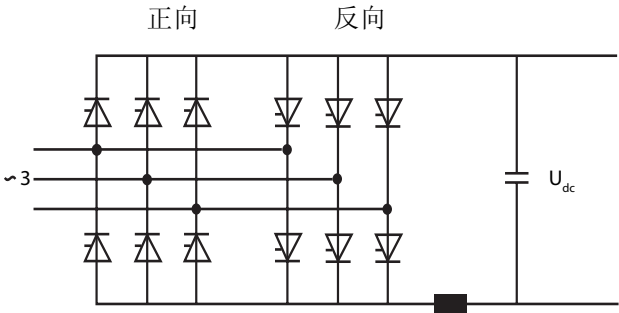
何时考虑应用除了制动斩波器和制动电阻的其它解决方案：

- 连续制动或者有规律的反复制动。
- 总的制动功率相比总电动功率大。
- 瞬间制动功率很高，例如：在几分钟内几百千瓦的制动功率。
- 环境中 有灰尘或者易燃易爆和金属部件。

3.3 反并联晶闸管桥配置

变频器的二极管整流桥用两组反相并联的可控晶闸管整流桥替代。这种配置根据过程中功率传输的需求改变整流桥。

晶闸管供电单元主要的有两个六脉波的晶闸管桥构成。正桥把三相交流电转变为直流电，通过直流中间回路把功率输送到逆变器。当需要把电机的剩余制动功率反馈给供电电网时，反桥把直流电逆变为交流电。



图例 3.3 反并联晶闸管供电单元单线图

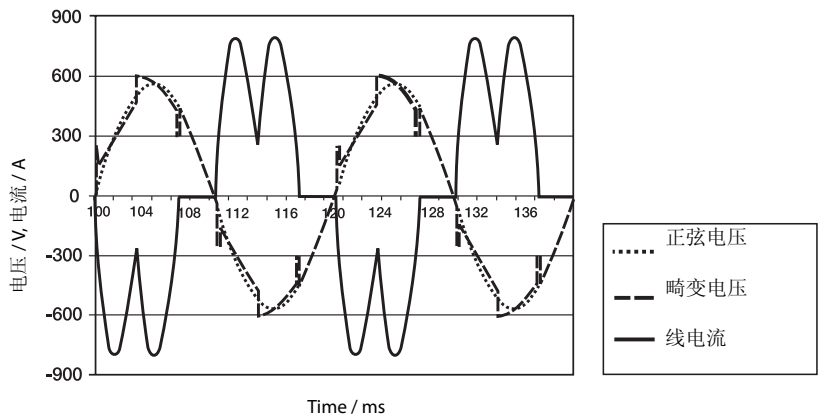
在某时只能有一个桥在工作，另外一个桥被禁止。控制晶闸管的触发角保持中间回路电压在规定的水平。正反桥的选择和中间回路电压的控制是根据测量供电电流，供电电压，中间回路电压。中间直流电抗抑制中间回路电流尖峰。

反并联晶闸管桥的主要优点：

- 众所周知的解决方案。
- 与IGBT相比，低投资。
- 直流电压能控制到比电网低的水平，在一些特殊的应用场合是很有优势的。

反并联晶闸管桥的主要缺陷：

- 直流电压总是比交流供电电压低是为了维持换流余量。因此输出到电机的电压比进线交流电压低。然而可以在供电单元利用升压自耦变压器解决这个问题。
- 由于晶闸管换相失败，如果供电交流电压突然断开，有出现熔断器烧掉的风险。
- 功率因数根据负载变化。
- 总的谐波畸变比IGBT再生制动要高。
- 通过其它网络产生电流畸变并对其他设备产生电压畸变。
- 在主电源掉电期间没有制动功能。



图例3.4. 反并联晶闸管桥制动期间电压电流波形

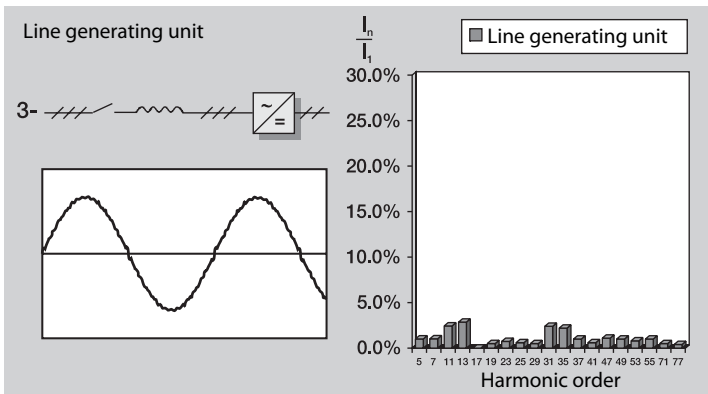
3.4 IGBT桥结构

3.4.1 IGBT 再生制动单元基本原理

IGBT再生制动基于相同的原理就是功率在同一个网络传输。在同一个网络中有发电机和负载连在一起。假定在某个结点是一个大的同步发电机具有恒定的频率，输入侧的IGBT桥（整流桥）可以认为是另外的交流系统通过电抗连接到发电机。两个交流系统电压为U，交换功率根据(3.4)可以计算出来。

$$P = \frac{U_{line} * U_{rec}}{X} \sin\delta \tag{3.4}$$

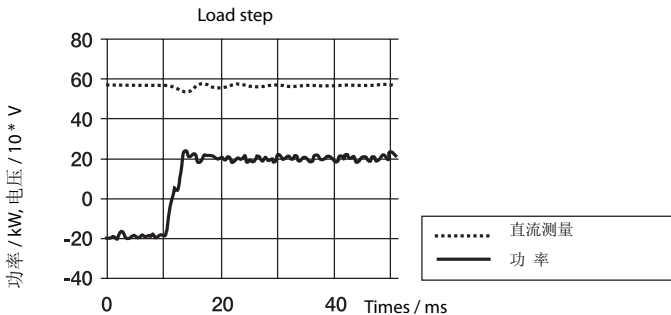
公式表示为了实现两个系统的功率交换，两个系统必须有相角差异，控制功率的传输必须控制相角。



图例 3.5. IGBT单元回馈电流波形和谐波状态

3.4.2 IGBT 再生回馈的控制目标

IGBT再生回馈单元的控制目标有三个。第一就是保持直流母线电压恒定，无论功率绝对值的大小以及流向，这样保证逆变器输出到交流电机工作在最好状态，无论电机工作状态怎样都有一个恒定的直流电压。当输入到中间直流母线的功率等于输出的功率时直流母线的电压恒定。通过控制两个交流系统的功率角可以控制功率的输入和输出达到一个接近的值。



图例 3.6.由发电到电动状态快速转变时，直流电压保持状态

第二个目标是减小供电电流的需求，例如， $\cos \Pi = 1.0$.控制整流输出电压。在一些应用中要求IGBT整流器工作在感性状态或是作为容性负载。

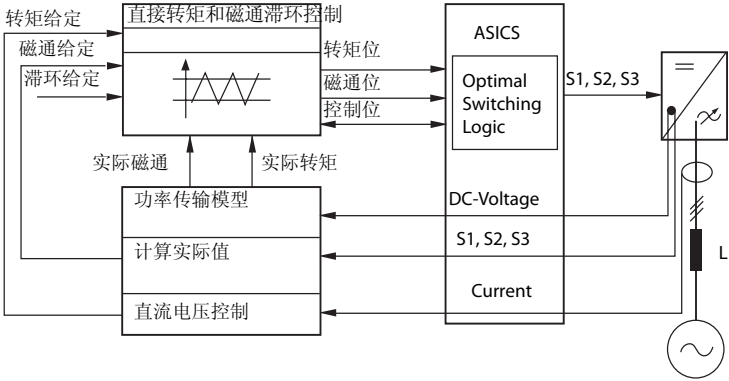
第三个控制目标是减少输入电流的谐波含量。主要设计标准是电抗的阻值和比例控制方法。

3.4.3 直接转矩控制的形式是直接功率控制

直接转矩是逆变器输出控制交流电机的一种控制方法。控制原理是根据实际转矩和用户给定转矩的差异控制IGBT的导通。同样的原理可以用在整流单元控制从电网到传动的功率传输，以及从传动到电网的功率传输。功率等于转矩乘以角频率，角频率在电网中是恒定的，所以控制转矩也就是控制功率的流向。

$$P = \frac{U_l U_{lc}}{X} \sin \delta = |T| |\omega|$$

(3.5)

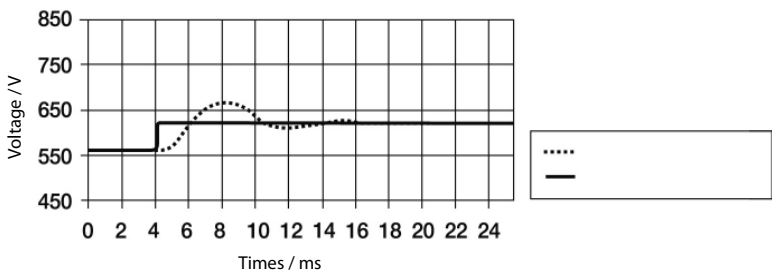


图例 3.7. IGBT控制单元DTC控制再生回馈的基本原理框图

直接转矩控制方法和IGBT技术的结合把总电流谐波降到很低。鉴于此IGBT供电单元被用来取代为了减少供电侧的电流谐波的单象限12脉和18脉配置。因此IGBT供电单元应用于控制电流谐波比控制制动能量更重要的应用场合。

IGBT再生回馈单元的主要优点：

- 电动和发电时更低的电流谐波。
- 对负载快速变化有高的动态响应。
- 可以提供相对交流供电电压更高的直流电压。这样可以对弱电网进行补偿或在弱磁区提高电机的最大转矩。
- 由于电压提升的功能，可对系统电压降落提供全部补偿。
- 可以控制功率因数。
- 和电网自动同步的失电跨越运行。
- 直流电压在电动或制动过程中基本保持同样的值。在制动期间不产生额外的电机绕组绝缘电压应力。



图例3.8.供电电压的升压性能

IGBT再生回馈单元的主要缺陷：

- 更高的投资。
- 在主电源掉电期间没有制动功能。
- 由于高开关频率产生高频电压谐波。这些高频的电压分量会引起小电容产生电流。通过适当的设计和对不同设备供电变压器的安排，这些现象可以被消除。

何时选择IGBT再生回馈单元：

- 连续制动或规律性的重复制动。
- 制动功率非常高。
- 相对于制动电阻解决方案可以节省安装空间。
- 对电网谐波要求比较严格。

3.4.4 IGBT 再生回馈单元选型

IGBT单元供电电流的选型根据功率的要求。我们假设电机轴功率是130KW且制动功率是100KW。计算IGBT供电单元的最大电动功率和制动功率的值。轴功率是130KW，电机电压是400V，最小的电网电压是370V。

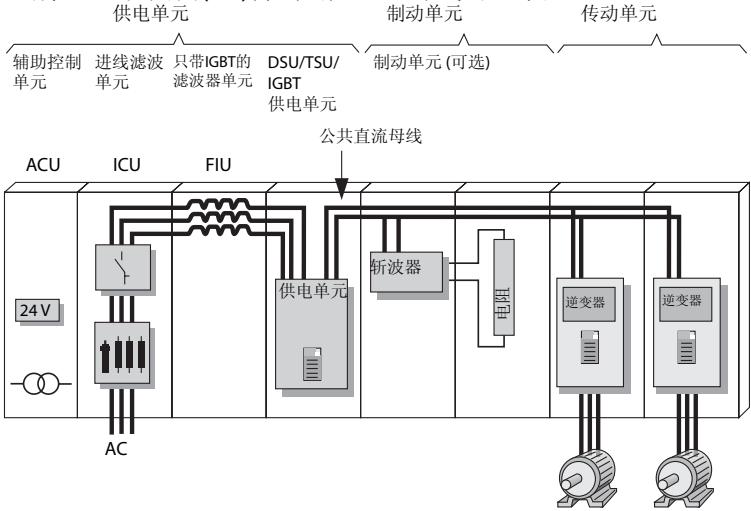
在这种情况下可以利用电压的升压能力，400V交流电压对应的直流电压升高。然而，需要的供电电流可以根据370V进行计算。假设在电机和传动系统中有5%的损耗，总的电网功率是136.5KW
供电电流可以根据公式算出。

$$I_{in} = \frac{P}{\sqrt{3} * U_{in}} = \frac{136.5 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 370 \text{ V}} = 213 \text{ A} \quad (3.6)$$

IGBT 再生回馈单元的选择依据电流的计算值。

3.5 公共直流母线

当系统中包括几个传动单元，有一台电机需要制动同时其它电机电动运行的模式，公共直流母线是利用机械能的有效解决方案。公共直流母线的方案包括一个单独的整流单元把交流电转变为直流电，逆变器连接到公共直流母线并把直流电转变为交流电输出给电机。也就是，直流公共母线是把一台电机制动功率传输到其它电机的渠道。从图例(3.9)得到公共直流母线的基本配置。



图例3.9. 公共直流母线方案的基本配置

公共直流母线方案的主要优点：

- 容易实现平衡传动之间的功率传输。
- 制动功率转换的系统损耗低。
- 即使瞬间制动功率比电动功率高的情况下，制动斩波器和制动电阻不需要根据总的制动功率选型
- 如果需要长时间的制动功率可以选择多种整流器组合。

单象限整流单元的公共直流母线配置主要缺陷：

- 瞬间电动功率要大于等于制动功率。
- 在瞬时的制动功率大于电动功率时需要配置制动斩波器和制动电阻。
- 当电机的数量少，专用的逆变器直流分断装置会增加成本

何时选用单象限整流单元的公共直流母线配置

- 传动数量多
- 电动功率总是比制动功率高，或者是制动斩波器的制动功率低。

第4章 - 评估不同的电气制动方式的工作周期成本

当投资节能产品时评估产品工作周期内的成本投入已经变得非常重要。交流变频器用来控制电机的速度和转矩，相对于其它的控制电机的方法，交流变频器的主要功能就是节能。在风机和泵的应用中制动很少用到，但是现在的交流变频器更多的被用于需要制动的场合。

前面提到的是技术标准，接下来主要计算一下不同的制动方法的经济因素。

4.1 计算电能成本

电能成本可以基本计算出来，例如，电能的价格和制动的时间每天制动的总能量。电能价格在每个国家是不一样的，但是一般以每千瓦时0.05欧元来计算。1欧元约等于1美元。一年的电能成本可以由公式计算出来

$$\text{Cost} = \text{Braking time (h/day)} * \text{Average braking power (kW)} * \text{price of energy (Euros/kWh)} * 365 \quad (4.1)$$

例如，100kw的变频器每年工作8000小时，一小时中有5分钟的制动时间，制动功率是50kw，也就是一年有667小时制动，则一年内的制动能量的价值是1668欧元。

4.2 计算投资成本

对于不同的制动方法投资的成本也不一样。下面投资部分的成本可以计算出来。

制动斩波器：

- 制动斩波器和制动电阻增加了额外的投资成本和设备的安装空间。
- 制动斩波器的风机增加了投资成本。

晶闸管和IGBT制动：

- 晶闸管和IGBT再生制动单元的额外投资成本与没有电气制动能力的变频器的功率有关。

公共直流母线：

- 制动斩波器和制动电阻以及设备的安装空间的额外投资成本。

- 如果需要公共直流母线的方案，公共直流母线与单独的变频器的投资成本是不同的。

4.3 计算工作周期的成本

工作周期的投资成本是投资方案中纯粹的经济因素能源的价格和变频器的价格不同的国家是不一样的，效率，公司规模，利率，投资时间和全面的经济状况下面的例子中的价格计算是举例说明价格计算的原理。

例1-偶然制动

以下面的应用为例：

在转速是1500rpm电机的功率是200kw，在急停的情况下电机要在10s内停车。根据经验急停每月发生一次，设备的转动惯量是122 kgm²，当急停时负载转矩忽略，计算电机的制动转矩是：

$$T = J * \frac{(\omega_{\text{start}} - \omega_{\text{end}})}{t} = J * \frac{(n_{\text{start}} - n_{\text{end}}) * 2 \pi}{t * 60} =$$

$$122 * \frac{(1500 - 0) * 2 \pi}{10 * 60} = 1915 \text{ Nm} \quad (4.2)$$

功率是200kw，转速为1500rpm的电机的标准转矩大约是1200Nm，由变频器控制的交流电机瞬时转矩能达到200%的额定转矩。为了达到更高的转矩电机的电流也需适当的提高。

开始制动的制动功率最大

$$P_{\text{br, max}} = T * \omega = 1915 * \frac{1500}{60} * 2 \pi \approx 300 \text{ kW} \quad (4.3)$$

制动斩波器和制动电阻必须承受300kw的瞬时电流，平均制动功率可以由下面计算。

$$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} * J * \omega^2 = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2 \pi \right)^2 = P * t \quad (4.4)$$

$$P = \frac{1}{2} * J * \left(\frac{n}{60} * 2 \pi \right)^2 * \frac{1}{t} =$$

$$\frac{1}{2} * 122 * \left(\frac{1500}{60} * 2 \pi \right)^2 * \frac{1}{10} = 150.3 \text{ kW} \quad (4.5)$$

制动电阻的成本：

制动斩波器需要满足最大制动功率**300kw**。如果变频器有功率限幅功能制动电阻的选择**150.3kw**，制动斩波器和制动电阻的成本是**4000欧元**。

制动电阻需要**0.4m²**的空间，每平米的成本是**500欧元**由于急停少和热功率小，额外的冷却忽略不计。

总的附加投资成本包括：

- 制动斩波器和制动电阻**4000欧元**。
- 空间投资成本**200欧元**。

每次制动损耗能量的成本是：

$$\text{Cost} = \frac{10}{3600} (\text{h}) * \frac{300}{2} (\text{kW}) * 0.05 (\text{Euros} / \text{kWh}) = 0.02 \text{ Euros} \quad (4.6)$$

在这种情况下制动能量的成本可以忽略不计。

四象限变频器成本：

相对于变频器和制动斩波器的投资成本，反并联-晶闸管整流桥的附加投资成本是**7000欧元**。可以看出，节能的收益低于附加的投资成本。

例 2 - 提升机应用

以下面的应用为例：

提升机的提升功率是**100KW**。在电动和发电状态下提升机都是满功率。最大的提升时间可能是**3分钟**。平均每年整个提升机工作时间占总时间的**20%**。

电阻制动成本：

制动斩波器和制动电阻的选型必需满足**100kw**的制动功率连续制动**3分钟**的最长制动时间。典型的最大制动斩波器选型满足十分钟内有**一分钟**的制动时间。

- 制动斩波器和制动电阻装柜成本是**7800欧元**。

提升机的机械构造给制动斩波器留有空间，不需要额外的空间成本。

假设有50%的工作时间提升机工作在发电状态，也就是平均每天2.4小时，每年消耗的能量成本是：

$$\text{Cost} = 2.4 \text{ (h/day)} * 100 \text{ (kW)} * 0.05 \text{ (Euros/kWh)} * 365 = 4380 \text{ Euros} \quad (4.7)$$

四象限变频器成本：

提升机应用推荐使用IGBT 四象限的变频器。

相对于制动斩波器的配置，IGBT 桥用于电气制动的额外投资成本是4000欧元。

则额外投资的4000欧元成本由一年内节约的电能回报。

例3 - 离心机应用

以下面的应用为例：

制糖离心机是额定功率为160KW的6极电机。电机在满转矩下30秒内速度增大到1100 r/min，在30秒的高速旋转情况下把糖汁脱离出来。当原料变干电机尽快减速来卸料和重新装料。

在每一批的装料周期，旋转和卸料的时间是固定的，因此增加产量的唯一办法就是提高加速度和减速率。在弱磁区（1000到1100 r/min）

利用IGBT四象限变频器的直流电压升压功能能够满足要求。每个周期可以节约3秒时间，因此每个周期的时间从110秒减到107秒。生产力的提高就意味着产量的增加。IGBT的额外投资成本是增加10%。

第五章 – 符号和定义

- AC: 交流电流或电压
- B: 摩擦系数
- C: 恒值或系数
- cosφ: 功率因数
- DC: 直流电流或电压
- DPF: 功率因数移向角
- I: 电流[安培, A]
- J: 转动惯量 [kgm²]
- n: 转速
- P: 功率 [W]
- PF: 功率因数
- T: 转矩 (Nm)
- t: 时间
- THD: 总的电流谐波分量

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{40} I_k^2}}{I_1} \tag{5.1}$$

- U: 电压 [V]
- W: 功 [J]
- ω: 角速度 [radian/second, 1/s]



北京ABB电气传动系统有限公司
中国，北京，100015
北京市朝阳区酒仙桥北路甲10号D区1号
电话：010-58217788
传真：010-58217518/58217618
24小时服务热线：(+86) 400 810 8885
网址：<http://www.abb.com/drives>

3ABD64362534 版本 A 中文
3AFE64362534 版本 B 英文
生效日期: 2010-07-01



ABB 传动

运动控制指导

技术指导 No. 9

3ABD68695201 REV A 中文
基于: 3AFE68695201 REV B 英文
生效日期: 2010-10-01

9

第一章 - 简介	7
1.1. 运动控制和速度控制的比较	7
1.2. 分散控制还是集中控制	8
1.3. 分散和集中控制系统的比较	9
1.4. 机器主要功能部件	9
1.5. 机器部件	10
第二章 - 传动和电机组组合	11
2.1. 直流有刷	11
2.2. 直流无刷	11
2.3. 异步伺服	12
2.4. 同步伺服	13
第三章 - 同步电机技术	14
3.1. 测量性能	14
3.2. 同步伺服电机与感应电机有何不同	15
第四章 - 同步伺服电机 - 工作原理	16
4.1. 启动时的特殊情形	17
4.2. 传统速度和电流控制	17
第五章 - 典型的伺服电机数据	19
5.1. 转矩常数	19
5.2. 反电动势	19
5.3. 转矩曲线	19
5.4. 典型电机数据	20
第六章 - 反馈设备	21
6.1. 旋转变压器	21
6.2. 增量式编码器	22
6.3. 正余弦编码器	22
第七章 - 运动控制	24
7.1. 概述	24
7.2. 运动控制 - 基本块	24
7.3. 运动控制公式和曲线	25
7.4. 运动曲线	25
7.5. 位置插补器	25

第八章 - 典型运动功能..... 26

8.1. 定位 26

8.2. 绝对定位..... 26

8.3. 相对定位..... 26

8.4. 同步 27

8.5. 旋转轴 28

8.6. 动态限幅器..... 28

8.7. CAM 盘 28

8.8. 归位 29

8.9. 循环校正..... 31

8.10. 编码器齿轮功能..... 32

8.11. 虚拟主机/主轴 33

第九章 - 应用举例，分散控制 34

9.1. 材料处理中的循环校正..... 34

9.2. 维持恒定间距..... 35

9.3. 等长切割..... 36

9.4. 转刀 37

9.5. 循环校正，包装应用 38

9.6. 有角度飞剪..... 39

9.7. 平行飞剪..... 40

9.8. 铰床 41

9.9. 材料装填..... 42

9.10. 切割机 43

9.11. 提取和堆垛 44

9.12. 仓储自动化 45

9.13. 卷曲..... 46

9.14. 包装材料 47

第十章 - 位置控制- *术语表 48

第一章 简介

本指导旨在对高性能传动和运动控制提供一个概况。尽管作者用简单的风格关联到许多应用，但读者仍需要对交流传动技术有一个基本的了解。

当考虑一个运动控制应用时，重要的是，要考虑系统中的所有部件，包括传动，电机，机械动力传输部件，软件等。

一个高性能的系统有如下一个或多个特征：

- 高动态性能
- 高精度给定跟随和可重复性
- 高精度运动功能
- 适用于不同类型电机

1.1. 运动控制和速度控制的比较

标准的调速装置通常通过给定一个速度命令来控制电机。典型系统为没有反馈，速度给定为预置速度，0到10伏，4到20毫安或现场总线。

对于运动控制，则总有实际位置反馈。反馈值与给定值作比较，差值通过运动控制器的曲线生成器来连续校正。

定位是突出这种差异的好例子。如果一个标准传动被用来作定位，电机通常在高速运转，然后减速到一个较低的速度并停车。传动可以选择跟随一个模拟信号。然而不管哪种给定信号，都没有给定曲线用来跟随、误差比较或校正。结果就是低精度。

如果控制器是一个高性能运动控制器，精度将会被提高。但在这个例子中，标准传动的动态和采样时间（通常为几个毫秒）会变成限制因素。

1.2. 分散控制还是集中控制

在一个集中控制的系统中，一个单元包含了所有软件，传动仅仅用来跟随给定值。传动是没有智能的。

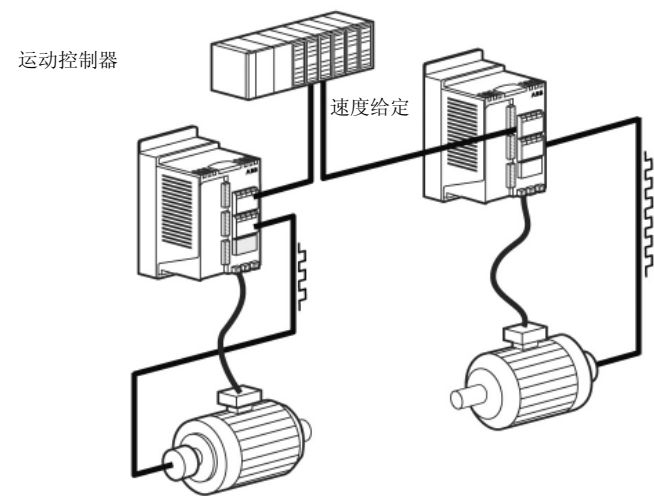


图1.1 运动控制器

在一个分散控制的系统中，现场设备也有智能。这意味着可以降低控制单元，因为控制单元只需较低的控制性能就可以了。

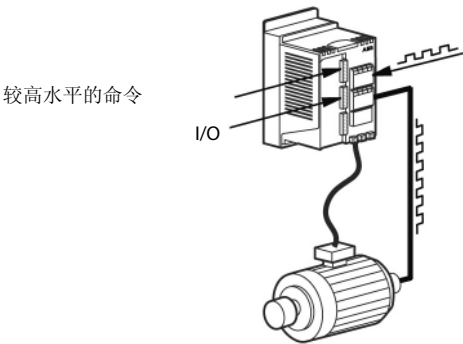


图 1.2 简化的分散控制系统

1.3. 分散和集中控制系统的比较

特征	分散控制	集中控制	分散控制的好处
控制线数量	少	多	接线少 - 降低成本 更少接线故障
装柜	元件少 体积小	安装更多元件	人工和材料 降低成本
可编程逻辑控制器 (PLC)	分散控制	全控，附加硬件费用	PLC硬件节约成本
时间水平	位置环内置在传动里*	位置环内置在控制器里	好的性价比
传动间通讯	快速的传动间通讯改善了通讯	无	减少硬件

*这意味着反馈直接连接到传动。它将不回PLC或运动控制器作计算，这种计算可能会引起延时。
更多详细信息请参见第7章。

1.4. 机器主要功能部件

使用运动控制和/或高性能传动的机器包含如下部分，所有这些都对系统的性能有决定性的影响：

- 运动控制硬件：控制系统的操作，可以是集中控制或分散控制。
- 运动控制软件：决定机器的功能，它按照软件代码设置的指令，通过接收输入数据和处理来实现。
- 传动或放大器 - 从运动控制软件接收命令。
- 电机 - 按照所需速度和转矩，提供机械能，按照特定的方式来驱动负载。
- 机械能量传输部件 - 皮带，齿轮箱，离合器，滚珠丝杠等。

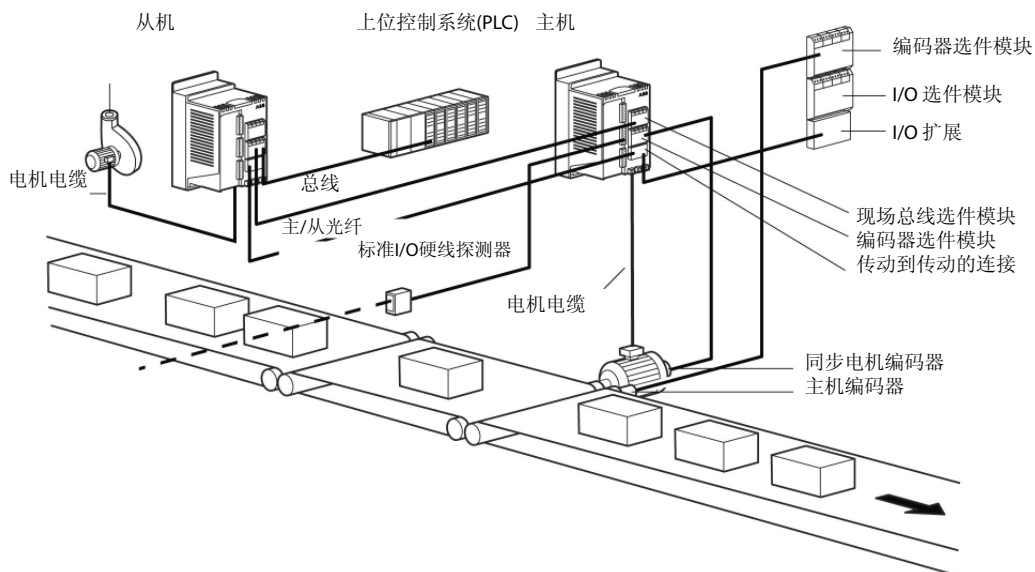


图 1.3 维持恒定间隙

1.5. 机器部件

图1.3所示为一个基本配置。传送带上盒子间的距离是不同的，运动控制软件的目的是通过皮带的加速或减速来使盒子间的距离相等。

主要部件：

- 传动和电缆 (动力，反馈，控制)
- PLC上位机控制
- 电机编码器监测电机闭环控制和循环校正位置信息
- 主机编码器，给出生产线速度给定
- 传动间的光纤通讯
- 现场总线，编码器和传动之间的连接
- 传感器给出24 V通/断信息到传动
- 同步编码器

第2章 - 传动和电机组合

传动和电机通常是打包供货来满足应用。下面描述主传动，电机类型和它们的特征。

2.1. 直流有刷

基本原理与工业大功率直流传动相同，主要的不同是没有励磁电路。取而代之的是，电机在定子侧带有永磁体。转子电流和电压通过电刷和换向器来提供。

通常，使用供电电压是不可能的。取而代之的是，变压器用来降压。一些传动有整流电路，而另外一些则需要外部电压整流。

电子设备相对简单，仅需要为速度控制器提供速度反馈。有刷直流传动是为数不多的用转速计为速度给定提供反馈的控制平台之一。

当运动控制使用这种类型的传动和电机组合时，电机轴上经常会安装脉冲编码器。脉冲被送到运动控制器来计算位置。

有刷技术的特征是简单和价格便宜的控制器。缺点是换向器和电刷是机械部件，寿命较短。特别是在一些应用中，电机总是停在同一个位置，换向器在一个特定的位置磨损，从而大大减少其寿命。

传动工业的大部分使用者都已不再使用这项技术。特别是这种产品是基于老的模拟平台。

2.2. 直流无刷

直流无刷伺服传动的主电路类似于交流传动。二极管桥整流后经直流电容滤波，逆变单元包含六个功率器件。

然而，不像交流传动那样，直流无刷传动的输出电压没有被调制以生成正弦电流。相反，六种可能的开关组合可以生成一个梯形矢量图。典型的，霍尔传感器（霍尔传感器是检测磁场以用来识别转子位置的设备）和转速发生器为速度控制器提供反馈。

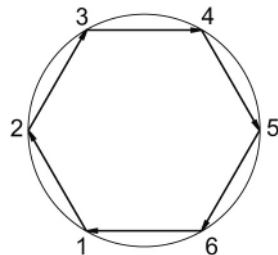


图 2.1 梯形控制的旋转电压矢量

对于交流传动，电机反电动势 EMF 趋向于正弦波，而直流无刷伺服电机，则是梯形反电动势 EMF 。

直流无刷伺服控制算法不需要像正弦传动那样大的计算量，转速计为速度控制器提供了快速的输入。

然而，随着更快、更强大、价格更合理的处理器的出现，很高性能的正弦输出传动也已经发展起来。

梯形波控制的主要问题是转矩脉动，特别是在低速段。有一些方法可以提高性能，但好像这种技术在主流市场上正在消逝。

2.3. 异步伺服

滑差的大小来决定转子的电流，以决定转矩。这种电机的转子较轻，直径较小，从而减小了惯性。这意味着与加速度成反比的惯性低于感应电机，尽管它高于永磁伺服电机。

相应的控制方法为闭环矢量控制或直接转矩控制，这种控制方法与异步伺服电机传动的性能相同，主要的限制因素是电机。

这种传动经常因为电机的特性或标准交流感应电机的闭环控制，而被视为伺服传动。

可是，总是需要用增量式编码器、旋转变压器或正弦脉冲编码器做反馈。

2.4. 同步伺服

这类电机经常被称之为交流无刷伺服。同步伺服电机的转子为永磁体，定子用三相供电。转子惯性很小，可以获得快速的动态性能。电机运转是同步的，反馈设备需要传输连续的位置和速度信息到放大器。

第三章（第15页）详细介绍了交流同步伺服电机。

第3章 – 同步电机技术

传动或放大器可以将直流电压转换成一个调制正弦波（传统调制器或更高级的方法，如DTC）。这使动力电路与传统传动相同。使用永磁电机，基本算法仅需要产生生成转矩的电流，无需励磁电流。

伺服电机，就像感应电机一样，制造的极数不同。以6极电机为例，铭牌上额定转速是940 rpm（标准感应电机），所以同步速度是1000 rpm。这是在输入频率为50 Hz时得到的，在更高速，电机将处在弱磁区。复杂一点的，一些异步伺服电机设计运行在不同于50 Hz的弱磁点。

额定转速以下，同步电机使用正弦波型和恒转矩，在这种方式下，以额定转速为3000 rpm（6极）为例，额定转速点的频率是150 Hz。

3.1. 测量性能

关键性能指标是不同控制环的带宽。

典型的好的速度环带宽为100 Hz，转矩环为800 Hz。

频率的增加意味着放大器响应能力的降低。通常，带宽测量一直到输出比给定小3 dB的水平。信号的带宽是反映关于时间波动有多快。所以，带宽越大，信号变化就越快。

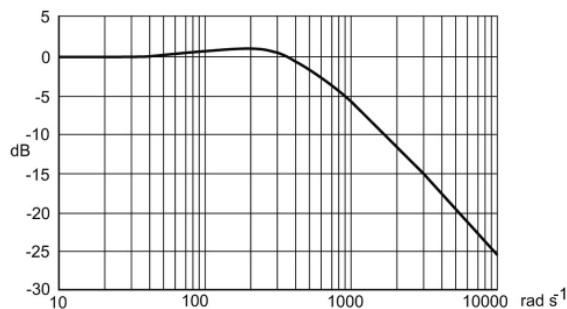


图 3.1 作为频率的函数，放大器的响应

另一个问题是放大电路的相延迟。当频率增加时，放大器将偏离原始相位。

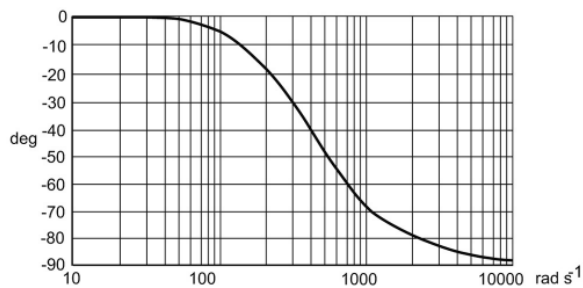


图 3.2 作为来频率的函数，放大器的相延迟

3.2. 同步伺服电机与感应电机有何不同

同步伺服电机和感应电机最大的不同就是电机轴性能。对于同步伺服电机，转子大小和直径达到最小，从而惯性较小，也就意味着转子不需要太大的转矩来加速。生成的转矩的大部分用来驱动负载。

同步伺服电机的典型特性：

- 在满功率运行时，电机效率通常超过 95%。
- 电机有高的功率密度 - 没有转子电流，所以没有转子温升。
- 电机可以在高温升下工作，例如，在环境温度为40度时，允许温升/等级H=125 °C
- 与标准感应电机的IP54相比，IP65是典型的防护等级。
- 标准交流感应电机价格便宜。但为了达到较高的性能，需要附加反馈设备，这些反馈设备价格昂贵。
- 包括编码器，风扇的其它费用使异步伺服电机成为有吸引力的选择。
- 高转矩过载能力取决于基本电机设计和它的磁性材料。一般来说，同步伺服电机可以在短时间内承受2-5倍以上的过载。
- 可以作为反馈设备的有旋转变压器、带换向通道的增量式编码器，或者各种类型的正余弦编码器。也可以是全数字的反馈系统。
- 最近传动和运动控制系统的发展，以及更低廉的磁性材料，已经快速的增加了同步伺服电机的市场和应用数量。

第4章 – 同步伺服电机 – 工作原理

同步伺服电机没有换向器或电刷。传动（放大器）在正确的矢量角和角速度上保持正确的电流分配。

同步伺服电机的转子是不对称的，但有磁极。定子提供三相正弦电流。定子电流形成合成磁通矢量。

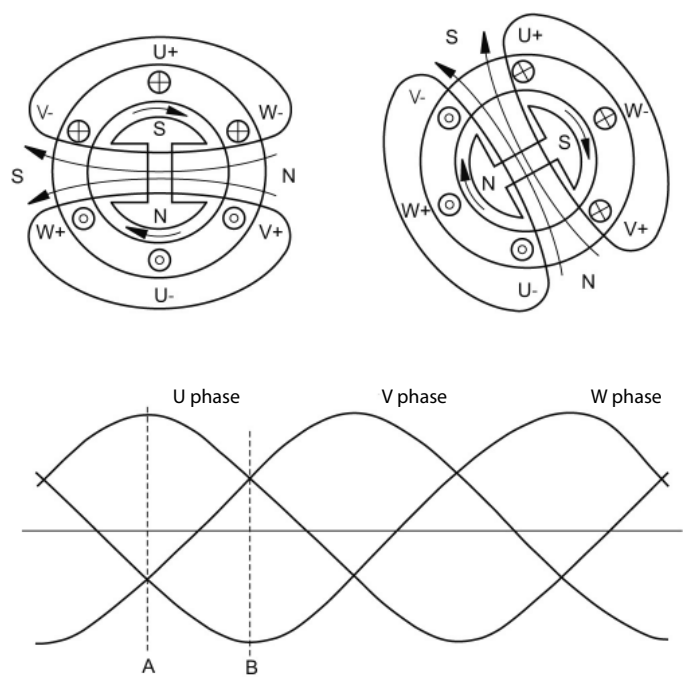


图 4.1 在两个位置的磁场。

永磁体和定子电流产生的磁通必须是正好相反，从而使磁场的吸引力和互斥力最大化。

这就是形成转矩并使电机轴转动的力。工作需要一个反馈设备来随时测量轴的角位置，使放大器能够建立正弦输出到正确的角度上。

4.1. 启动时的特殊情形

新电机有时在实际转子位置和反馈设备给出的位置之间有误差。这需要校正，否则不准确的反馈会导致电机不能够产生满转矩和最优性能。

相误差可以通过下列方式来解决：

首次启动：

- 传动有相误差功能软件，在试运行过程中能够辨识到误差，并且根据这个误差，使用它的控制算法来补偿。
- 从电机制造商得到的误差信息可以作为传动的参数进行输入。在当安装了一个备件电机，无负载试运行难以操作时，这就比较重要了。
- 一些电机生产商在制造过程中装入了零相误差。这是首选，因为它避免了以上的工作。

断电后起启动：

一上电，如果反馈设备（旋转变压器，带通信总线的正余弦编码器）能给出一转之内的绝对位置，转子位置就知道了。

但是，如果使用的是增量式编码器，则需要换向通道。起动时，只要用换向信号识别到位置，电机就被控制在梯形模式。关于反馈设备请见第6章，21页。

4.2. 传统速度和电流控制

图 4.2 所示为速度和电流控制基本原理

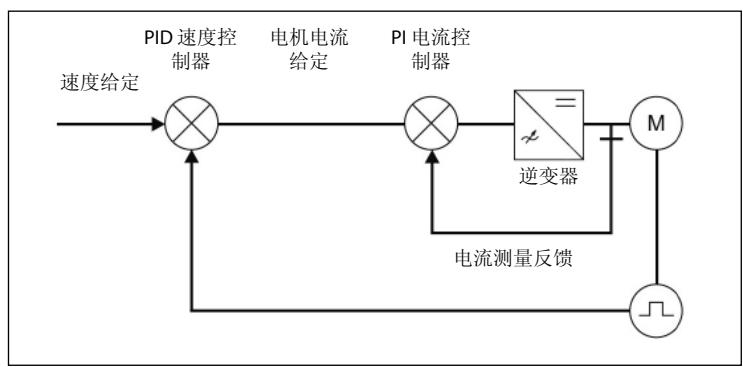


图 4.2 速度和电流控制环

伺服传动或放大器的目标是使电机速度和转矩跟随给定值。电机的反馈为速度控制器提供实际速度。典型的速度控制器就是一个比较给定和反馈信号的PID控制器。

误差信号传输到电流控制器。电流控制器，典型的是一个PI放大器，建立正确的电流，从而得到正确的转矩来保持速度到给定值。

第5章 – 典型的伺服电机数据

5.1. 转矩常数

转矩常数对于同步伺服电机来说是一个重要的量。用Nm/A来表示，决定每安培能够产生多大的转矩。

5.2. 反电动势

永磁电机像发电机一样，会建立与角速度相关的反电动势电压。反电动势与供电电压相反，并与角速度成正比。

K_e 是电压常数，一般表示为V/1000 rpm (电压有效值)。

5.3. 转矩曲线

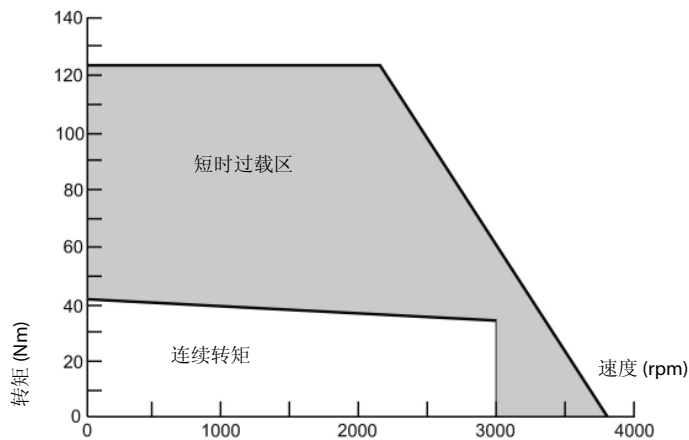


图 5.1 同步伺服电机的转矩曲线。

该图显示了同步伺服电机的典型转矩曲线。它包括一个连续转矩曲线和一个短时过载曲线。作为电机数据的一部分的典型值为：

- T_{stall} 零速额定转矩
- $T_{nominal}$ 额定转速下的额定转矩
- T_{peak} 最大转矩，典型为2到5倍的额定转矩

通常选择同步伺服电机是为了最大速度与额定速度接近。一个重要的限制因素是反电动势。速度增大，反电动势增大时，这意味着反电动势可能会超过传动的最大输出电压。

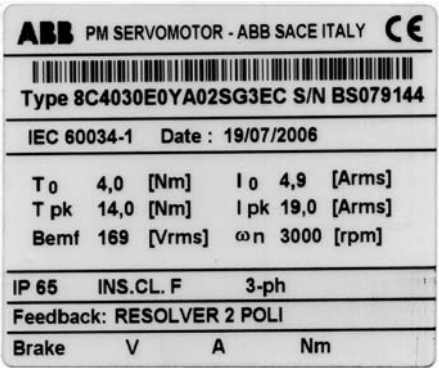
通常，同步伺服电机工作的电压远低于传动最大输出电压。举个例子，直流为560 V，电机为300V。原因是电机能从最大负载很快的恢复。

另一方面，存在同步电机可能在弱磁区工作的技术方案。

这就意味着电机需要为电机线圈提供更大的电流。通过增大电压可以获得，但是在额定电压和最大电压之间必须留有余量。这就是当速度接近额定速度时，为什么最大输出转矩开始降低的原因。

典型的同步伺服电机没有风扇。一些供应商作为可选件来提供冷却风扇。这增大了额定转矩和转矩有效值，但不是最大转矩。

5.4. 典型电机数据



下面是典型额定值和其它电机数据的总结。这些值是ABB伺服电机8C系列的。

类型	零速连续 转矩 M ₀ [Nm] (3)	连续转矩 电流 I ₀ [A] (1) (2) (3)	额定 转矩 M _N [Nm] (3)	额定 电流 I _N [A] (1) (2) (3)	额定速度 n _N [revi/min]	机械额定 功率 P _N [kW] (3)	峰值 转矩 M _{max}	峰值转矩 电流 I _{ma} x [A] (1)	电机 电流限 幅 I _{limit} [A]
8C1.1.30	1.3	2.1	1.2	2	3000	0.38	4.6	8.1	13.8

类型	转矩常数 K _{t0} [Nm/A] (1) (2) (3)	额定转速下相间反 电动势 V [V] (1) (2) (3)	终端电阻 R _{UV} [W] (1) (3)	终端电感 L _{UV} [mH] (4)	转子转动惯量 J _m [revi/min]	重量 m [kg]	曲线 (5)
8C1.1.30	1.05	190	20.8	47	0.9	3.1	501000

第6章 - 反馈设备

高性能传动常用旋转反馈设备来得到：

- 为放大器速度控制器提供速度反馈
- 为内部/外部位置控制提供位置信息
- 为放大器提供轴位置
- 在充当第二编码器时的位置信息
- 停车后的绝对位置

6.1. 旋转变压器

旋转变压器就是一个旋转的变压器。最常见的是无刷旋转变压器。

旋转变压器有三个线圈绕组。给定信号，比如一个8 kHz的正弦波，通过一个变压器连接到设备的旋转部分。这使承载给定的线圈与轴旋转在相同的速度。

其它两个线圈90度相移放置。旋转的线圈在这两个线圈上感应电压。输出信号送到放大器，通过这些信号可以得到转子的速度和位置。

经常的，旋转变压器信号被转换成脉冲列，用于外部运动控制器。也就是说，输出一个模仿编码器通道A、B和Z脉冲，读取编码器信息。

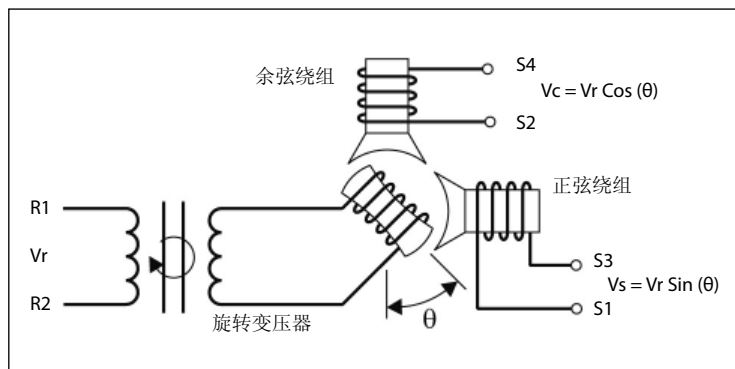


图 6.1 旋转变压器原理

6.2. 增量式编码器

增量式编码器被广泛应用在各种机器制造应用方面。

基本操作是基于一个光源，圆盘，感光单元（传感器）。圆盘装在光源和传感器之间。圆盘上有细孔，使光对于传感器可见或不可见。当光可见时，传感器输出数字化的方波脉冲。当圆盘转动时，传感器生成一个脉冲列。脉冲列的频率与轴的速度有关，接收终端可以计算得到。

编码器有各种规格，但是对于运动控制，最常使用的是两个通道加上一个零通道。一般每个通道是差动的，所以输出是A，A 负，B，B 负和Z，Z 负。

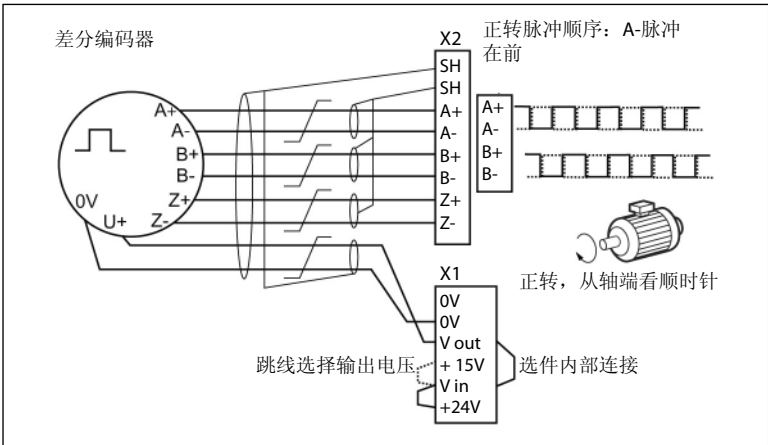


图 6.2 典型电路和接线

6.3. 正余弦编码器

SinCos编码器工作方式与增量式编码器类似。典型的有三个通道，A, B 和 Z。增量式编码器的输出是数字化的方波，SinCos编码器的输出是一个象征数字的全正弦和余弦波形。比如，转数可以是1024 满转，也常称之为“增量”。传动的接收电路计算这些信号间的增量和插值来提高分辨率。插值取决于传动的采样时间。举个例子，如果采样时间是250 us,每250 us取一个正弦和余弦值，速度越低，得到的分辨率越高（反之亦然）。从数学的角度上来看，角度是 $\arctan(\sin/\cos)$ 。

典型的，传动硬件输出一个正余弦信号的方形信号，所以看到的是一个用于计算的脉冲列。可以用两通道的上升沿和下降沿来给出每转的四个信号。这样就导致，信号数量比编码器数据的指定转数高四倍。

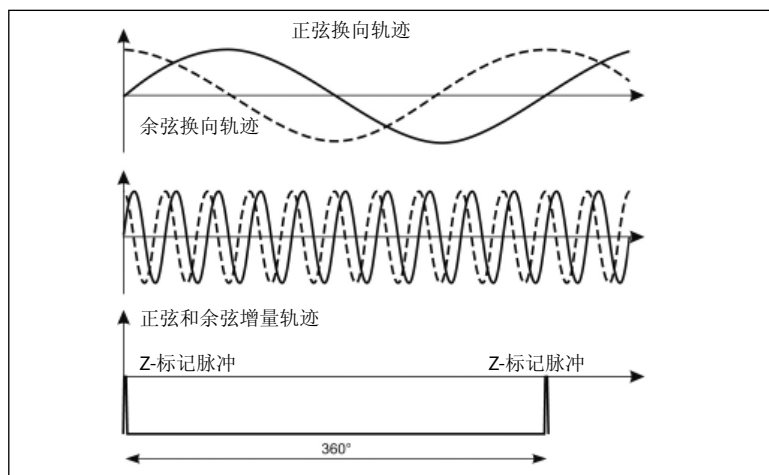


图6.3带换向通道的 SinCos 编码器输出

启动时也需要转子绝对位置。这可以通过使用数据链（下一章）或附加正余弦通道来建立。这个通道每转提供一个全正余弦周期，从而能够找到转子位置。当正余弦通道显示零位时通过确认Z-脉冲为“高”来检测Z脉冲位置。

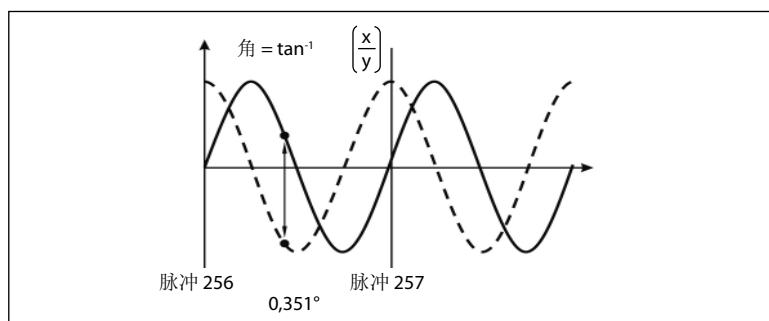


图 6.4 在 SinCos 编码器一转内的插补（每转1024个周期）

SinCos编码器也可以用总线来获得。在当今的应用中一般要求在失电后总线可以给出绝对位置。这就消除了失电后归位程序的需要，使得机器设计简单，增加了机器的生产时间。绝对位置的数据也用来在启动时识别转子位置。

第 7 章- 运动控制

7.1. 概述

运动控制包括许多不同的功能。本章介绍了速度和运动的基础和功能差别。

7.2. 运动控制 – 基本块

速度控制的传动主要一步一步改变速度，反应不是很快。在某几个水平上给出速度给定命令，传动不断的使用自己的斜坡从一个水平移到另一个水平。传动不遵循连续的给定改变轨迹。

在位置控制中，情况就不同了。电机遵循连续的给定改变。给定在曲线生成器中产生，并且该曲线与反馈进行比较。P-放大器比较信号，并为速度控制器提供给定。

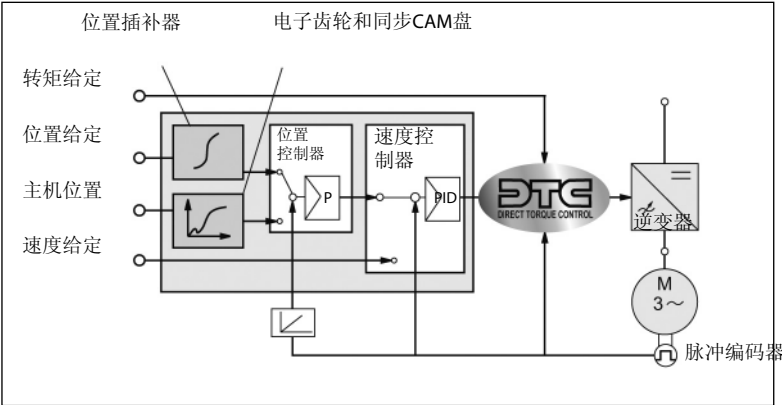


图 7.1 运动控制环

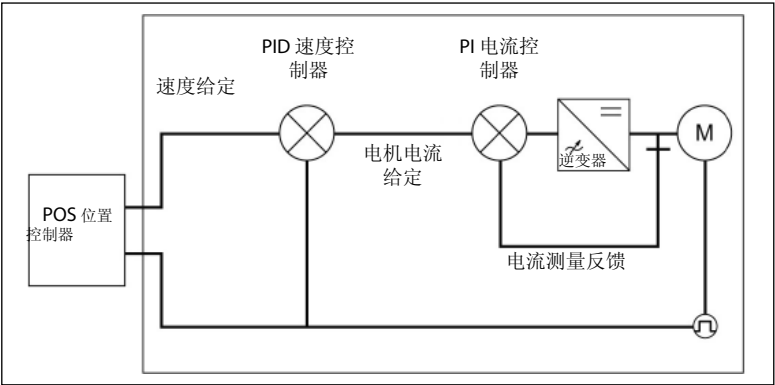


图7.2 位置，速度和电流控制

7.3. 运动控制公式和曲线

以下公式为主要的运动参数：

- 距离 (θ)
= 速度 x 时间
= $\int v \cdot dt$ (速度 x 时间的积分)
- 速度 (v)
= 距离/时间
= $d\theta/dt$ (距离变化率)
= $\int a \cdot dt$ (加速度 x 时间的积分)
- 加速度 (a)
= 速度/时间
= dv/dt (速度变化率)
= $\int \gamma \cdot dt$ (急动度 x 时间的积分)
- 加速度(γ)
= 加速度/时间
= da/dt (加速度的变化率)

7.4. 运动曲线

图例显示位置如何接近目标，同时也显示了速度曲线和相应的加速度和减速度。

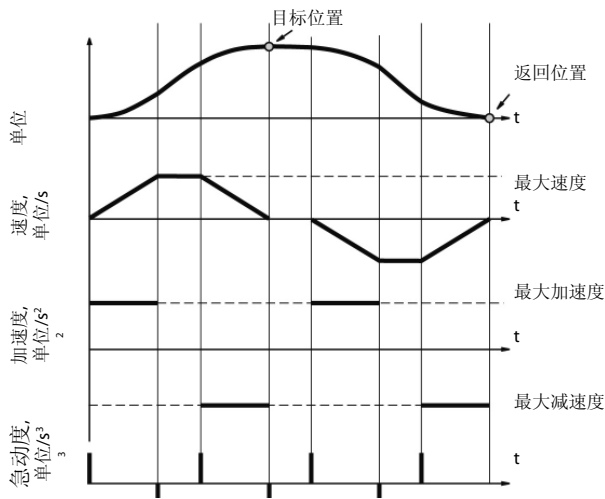


图 7.3 定位运动曲线给定

7.5. 位置插补器

位置插补器使用已定义的减速给定来计算速度，从而传动可以在目标距离内减速到停止。计算出的速度被用来生成优化的位置给定，该位置给定可以带领传动到它的目标位置。图例中显示了位置插补器如何生成一个位置给定。

使用者要设定的典型参数：

- 加速度
- 运行速度
- 减速度
- 目标位置

第 8 章- 典型运动功能

8.1. 定位

定位是最频繁使用的运动功能之一。它经常用在，把材料沿着一个预定义的轨迹从点A运到点B，然后到点C等等。

定位也可以被分为直线和旋转定位。旋转定位就是一转内的位置计算。

直线定位被用来直线运动。定位有两个主要的法则，绝对定位和相对定位。

8.2. 绝对定位

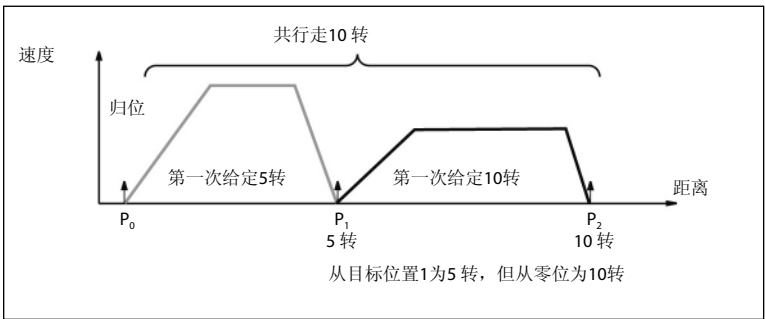


图 8.1 绝对定位

8.3. 相对定位

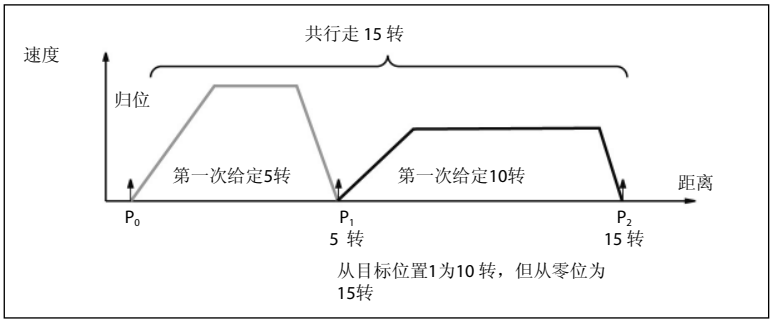


图 8.2 相对定位

8.4. 同步

同步的意思就是，从机从外部编码器或其它传动读取速度和位置给定。一般调节齿轮比来满足应用。同步有绝对同步和相对同步，有直线轴和旋转轴。

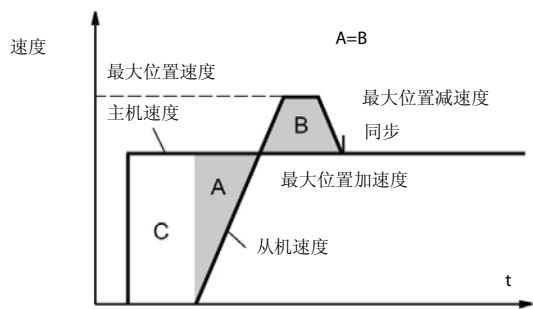


图8.3 相对同步

直线轴 (图 8.3)，相对同步：从机传动开始加速，持续增加加速度来追上主机速度，当A和B面积相同时，从机就追上了。

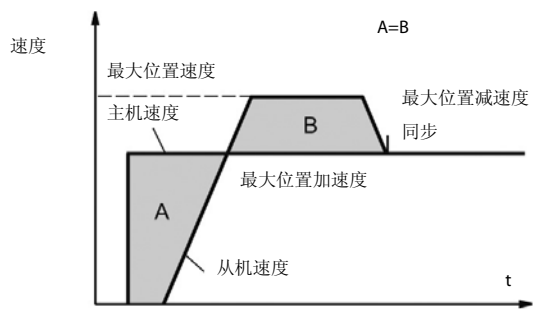


图 8.4 绝对同步

直线轴，绝对同步：这里的给定是主机传动完成的总行走距离。从机传动将在高速运行足够的时间，从而追上主机传动的位置。

8.5. 旋转轴

旋转轴模式是，只计算一转，然后全部重新开始计算。

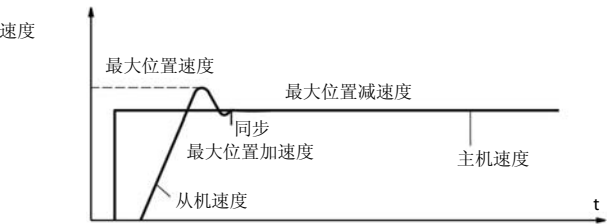


图 8.5 旋转同步

图中所示，从机传动怎样追上主机传动的位置。

8.6. 动态限幅器

图中显示了一个状况，主机速度太高，以致主机和从机传动间存在同步误差。在这个例子中，通过给出一个停车命令来校正误差。动态限幅器控制从机速度，直到达到定位速度。从机按照参数设定运行到该位置。

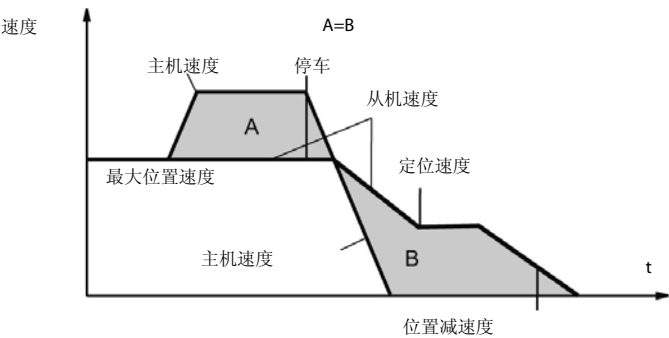


图8.6动态限幅器控制从机速度

8.7. CAM 盘

Cam功能以前通常通过机械方法来实现。传统上，此方法与转动的不对称工具合作，形成另一个工具的给定。

这种系统不是很灵活，并且包含了机械部分，会随着磨损降低精度。

在大多数场合，这些机械系统可以被电子CAM 系统代替。CAM曲线由用户设定值的CAM表创建。每个主机位置都有一个从机位置对应。

cam 功能在示例飞剪中十分有用。

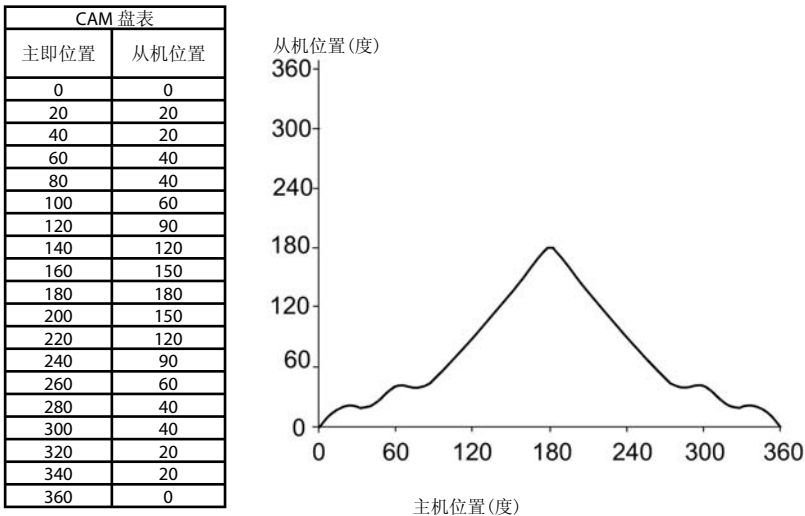


图 8.7 CAM 盘表值 vs CAM 曲线

8.8. 归位

归位功能在启动时需要，如果由于系统断电造成的位置丢失，也是需要的。如果使用的是绝对值编码器，电网一恢复，实际位置就能知道。一个方法是使用辅助电源(典型的24V)。

在启动时，归位位置需要知道。接下来，讨论没有绝对值编码器的应用，解释一些典型的归位程序。

如果只有归位限制开关，软件检查开关状态。如果开关在闭合状态，负载朝正速度移动，直到开关打开，从而负载到了归位位置。

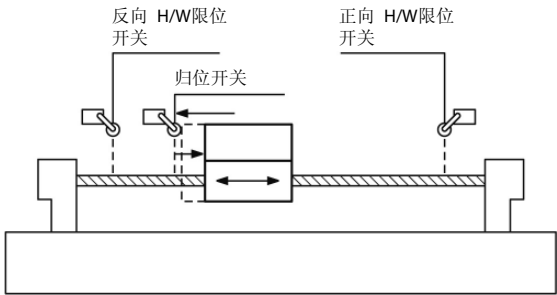


图8.8 用归位开关闭合起动归位

反之亦然，如果开关在打开状态，负载将反向移动，直到开关闭合。然后轻轻的返回，直到开关再次打开。

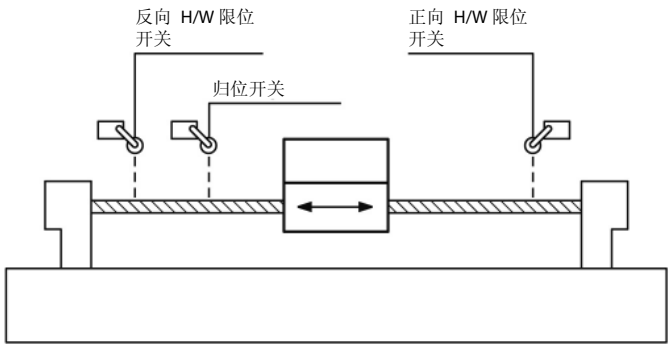


图 8.9 用归位开关打开起动归位

较好的结果或者说较精确的结果，可以通过使用零脉冲和预锁功能来获得。它按照下列方式来工作：

- 调试时，零脉冲的绝对位置是已知的或可以被设定的。
- 接近开关和零脉冲之间的距离必须在一转之内。
- 接近开关一激活，软件就开始找零脉冲并且在零脉冲停车，或者决定离零脉冲的距离。想法是，机械开关可能不精确，比如由于机械压力，只能给出大致的位置信息。而零脉冲是十分精确的，没有偏差。

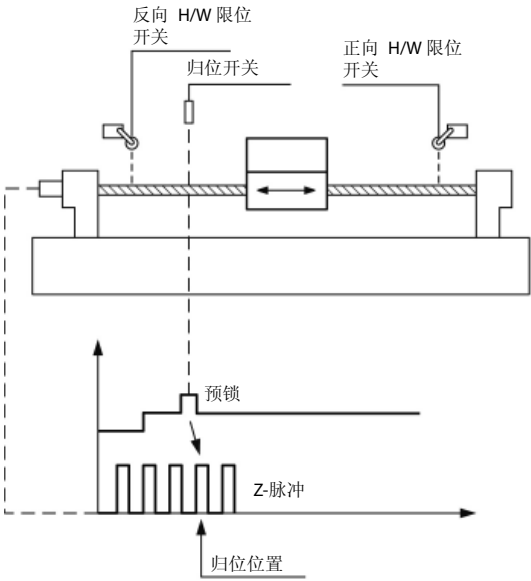


图 8.10 用预锁和零脉冲归位

8.9. 循环校正

循环校正 在许多应用中使用，这些应用中，由于偏差或材料错放，需要校正位置。它在旋转和直线运动都有效。

循环校正总需要位置锁定信息。锁定信号可以来自外部传感器或编码器的Z-脉冲。

下面的例子解释了该功能。

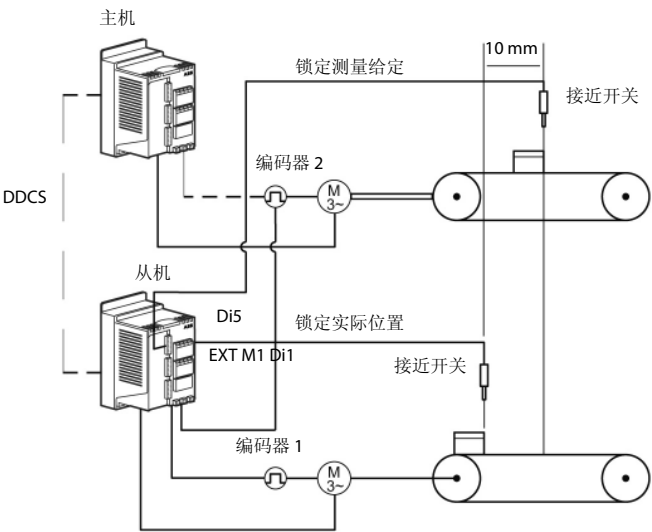


图 8.11 主/从传送带

在图8.11中描述了一个主/从设定。目的是保证两个传送带上的盒子之间准确的距离，比如10 mm。

从机需要知晓主机的速度。有两种方式来设置：

- 1. 从编码器读取主机速度。也就是说，从机有两个编码器连接。主机运行在开环状态。
- 2. 另一个方法是使用传动间的通讯，比如DDCS光纤连接。主机有一个反馈连接（编码器），信息通过光纤送给从机。

不管使用什么通讯方式，从机可编程数字口上连接了接近开关。从机比较传感器测到的距离差，校正此距离，在本例中，距离是10 mm。

8.10. 编码器齿轮功能

位置控制应用总需要反馈。反馈可以连接到电机，负载或两者都接。

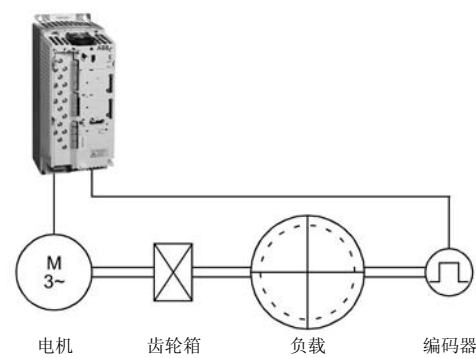


图 8.12 使用电机编码器齿轮比

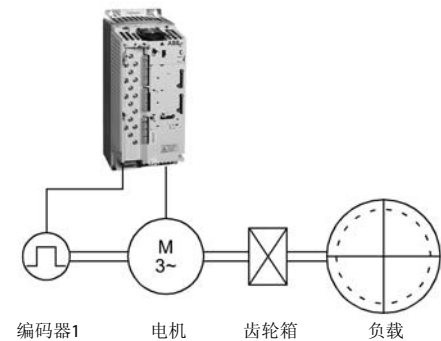


图 8.13 使用负载编码器齿轮比

如果负载侧没有编码器，需要按照齿轮比设定负载的齿轮比，因为传动必须使用电机的反馈来控制负载的实际位置。

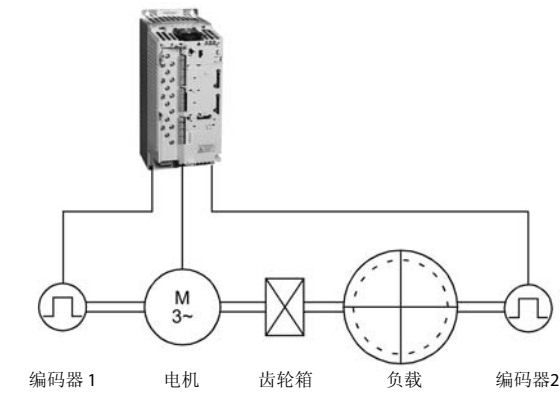


图 8.14 电机和负载都有自己的编码器

8.11. 虚拟主机/主轴

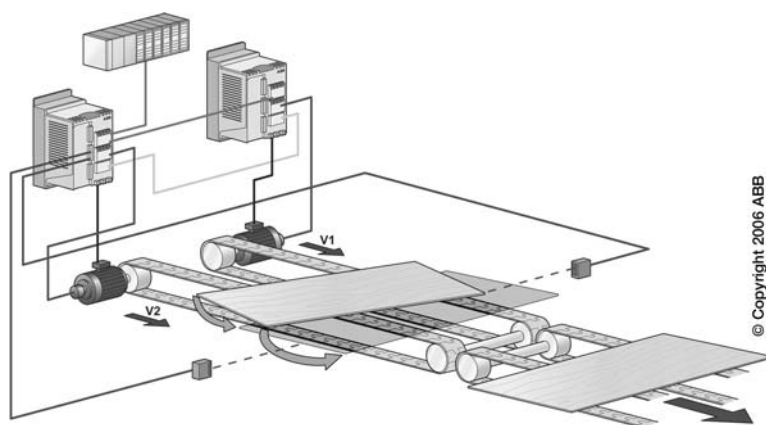
虚拟主机的意思是，用软件建立一个虚拟的旋转轴的模型，给定值就给到这个模型上。虚拟主轴把它的速度传给所有从机。在两个或更多传动同步的应用中，虚拟主轴给出无干扰的速度和位置信号。

虚拟主轴在系统调试中也十分有用，可以在不运行整个系统的情况下，测试机器的各个部分。

第9章- 应用举例，分散控制

本章简短描述了一些典型的运动控制应用。大多数例子中包含了一个PLC，PLC的作用是处理上位控制信息。控制动作由分散式控制传动来执行。

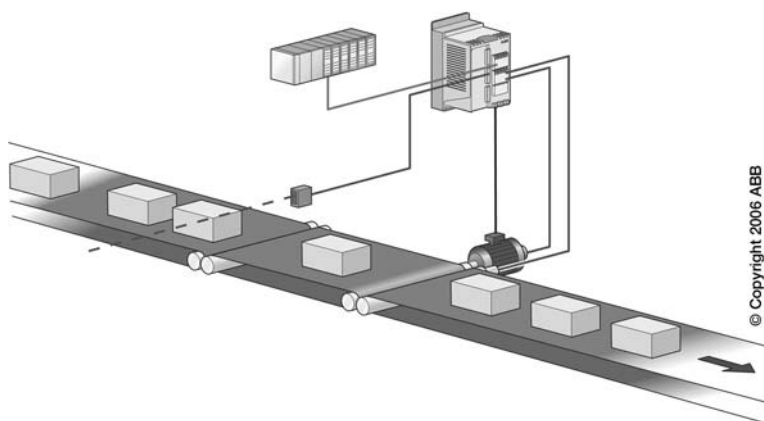
9.1. 材料处理中的循环校正



本机器的目的是，校正材料的任何角度误差。两个传动主从设置使用，主机决定生产线速度，从机接收主机速度给定。两个传感器连接到数字输入。从机通过两个传感器信号间的脉冲数来计算误差距离，通过升高或降低从机速度来校正此误差。

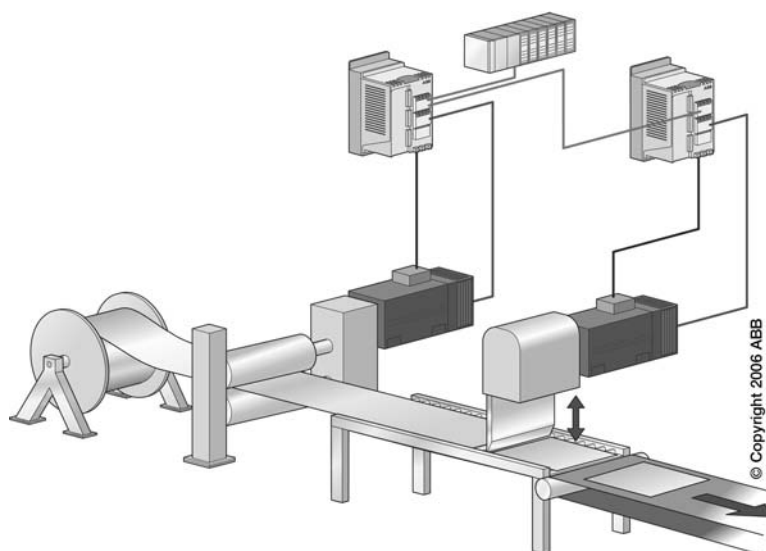
依靠此应用，可以选用不同类型的电机。反馈都是需要的。

9.2. 维持恒定间距



传送带有进料带，调节带，和接收带。盒子到达时，间距是随机的。传动从编码器接收线速度给定，传感器跟踪盒子上沿的上升和下降。当传感器监测到一个盒子，它将跟踪盒子的顶部一直到盒子过去。通过传感器可以看到下降沿，此下降沿与下一个上升沿间的距离就是盒子间的实际间距。这个间距与所需的间距相比较，软件通过改变调节带的速度来作出必要的校正。

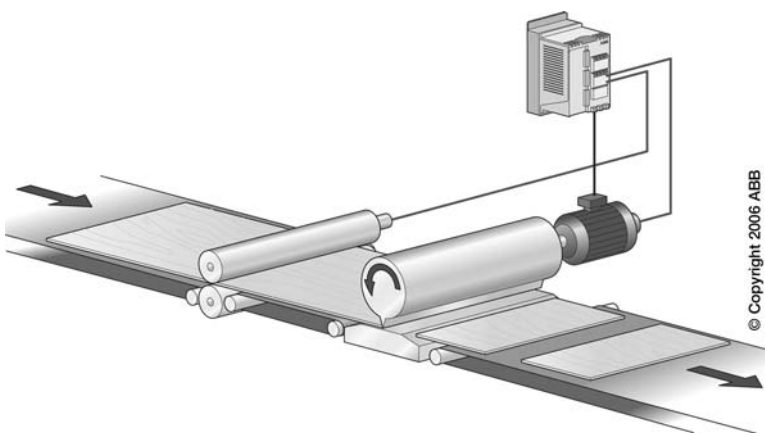
9.3. 等长切割



许多方法可以切割不同的材料成所需长度。这里，我们使用大众化的普通方法，这些仅仅是举例，其实有许多种其它配置。

在生产线停机来切割的场合，两个轴都使用传动的定位功能。喂料的传动首先运行已确定的转数，以符合所需的材料长度。当到达目标位置时，传动给PLC信号表明已到所需位置。切割电机旋转所需的转数来执行切割操作。然后给喂入电机允许运行信号。在其它应用中，系统的动态性能需求决定选用什么电机。

9.4. 转刀



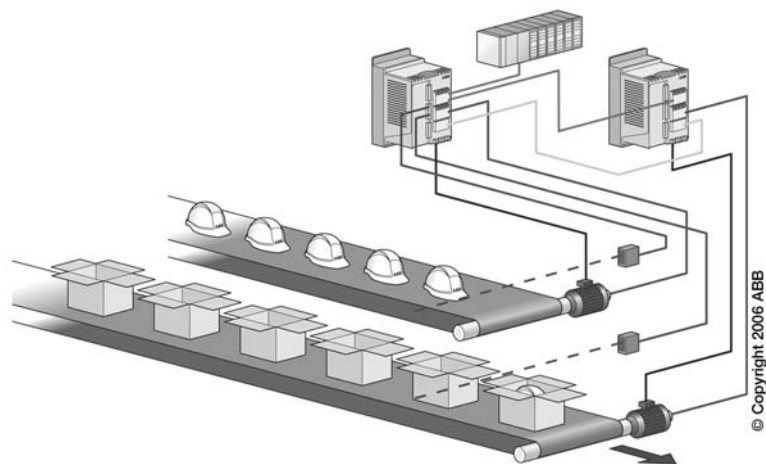
转刀用于切割材料成所需长度，或切掉不需要的材料。最简单的转刀用电子齿轮与生产线速度同步。可是，在很多应用中，这不能得到满意的性能。

对于转刀的操作有几个因素要考虑。第一，如果切割长度变了，必须决定工具是停顿还是连续旋转。第二，当工具碰到材料时，大多数情况下需要与生产线速度相同。第三，重要的是在什么位置进行切割。

在很多复杂的应用中，刀在旋转时必须形成一个运动曲线。当刀在停顿时接收到切割命令，则加速到该位置，然后减速到切割速度。切割完成后，工具将尽快返回到初始位置等待下次切割。

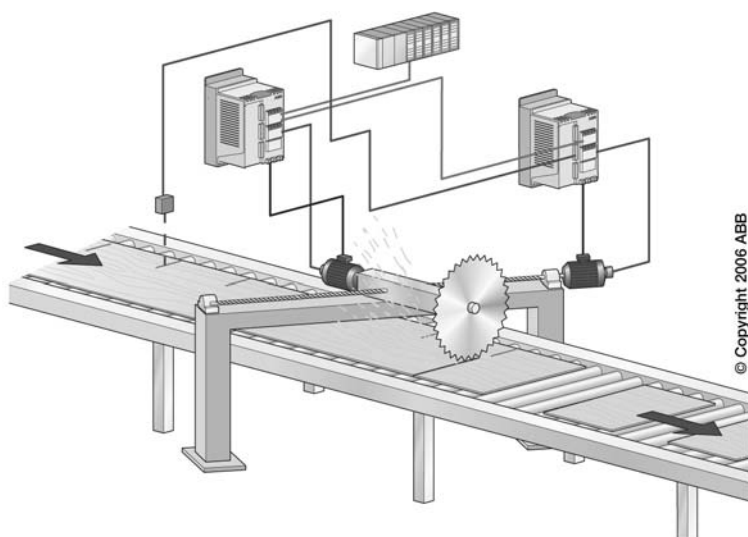
在一些案例中，工具不能停，不得不起动另一个切割。这就意味着使用两个加在一起的曲线。在这些情形下，通常使用方便参数设定的Cam曲线。

9.5. 循环校正，包装应用



从软件方面来看，与例子13.1，“材料处理中的循环校正”操作相同。不同的是物理配置。在两个例子中，都是主从配置，都有实际位置监测和软件校正的传感器。这个系统中有两个进给皮带，必须安排皮带上的物体之间距离正确。

9.6. 带角度飞剪

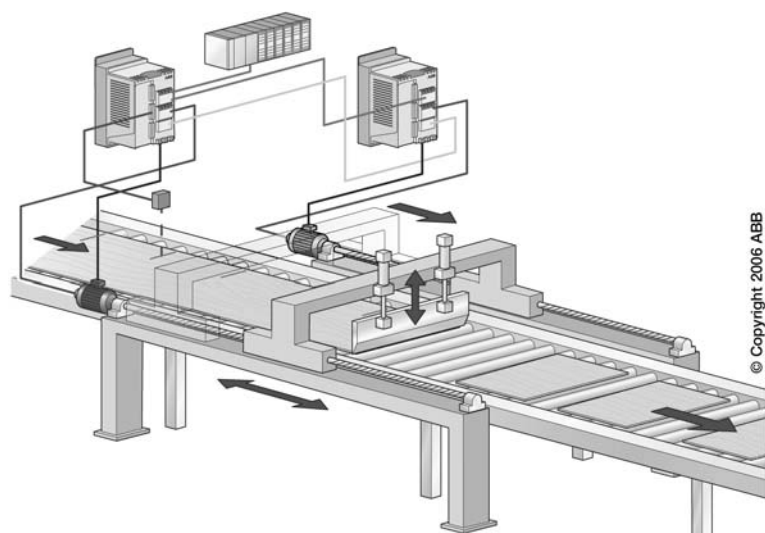


所谓飞剪，就是切割机允许在切割过程中材料恒速流动。它是基于直角三角法。当生产线的速度和锯的速度已知，可以相应的计算和调整切割角度。在这个图例中，角度就是切割时刀片移动的方向和生产线的角度。锯的速度控制不是关键，甚至可以使用不控电机，然而，最实用的方法是使用一个通用机械传动。

切割点通过在材料上做标记或通过编码器旋转测量来得到。典型的，使用同步或CAM功能。

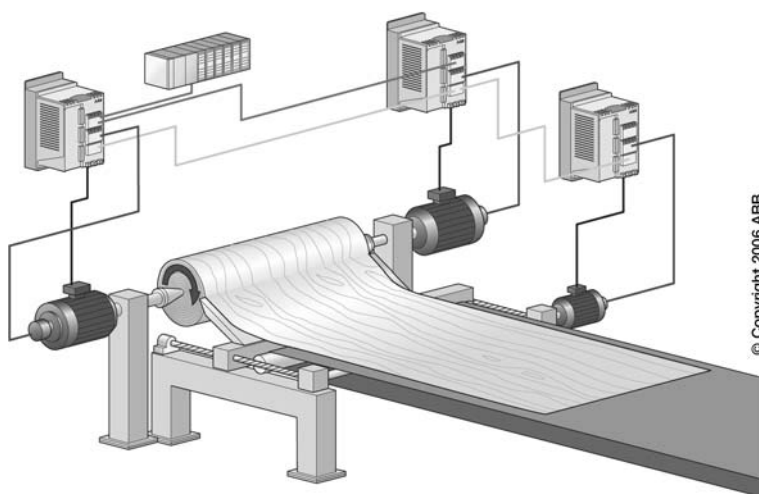
这种配置经常用在材料必须通过锯来切割，而不使用刀或切刀の場合。

9.7. 平行飞剪



这是飞剪的另一种形式。就像前面提到的，切割点从记号或编码器来读出。刀架等待切割命令，当命令给出时，刀架加速到生产线速度，同时与切割点同步。典型的，使用同步或CAM功能，切刀来完成切割。图例显示了两个电机的系统。两个传动使用主从功能运行在同步速度。也有只用一个电机的系统。

9.8. 铤床



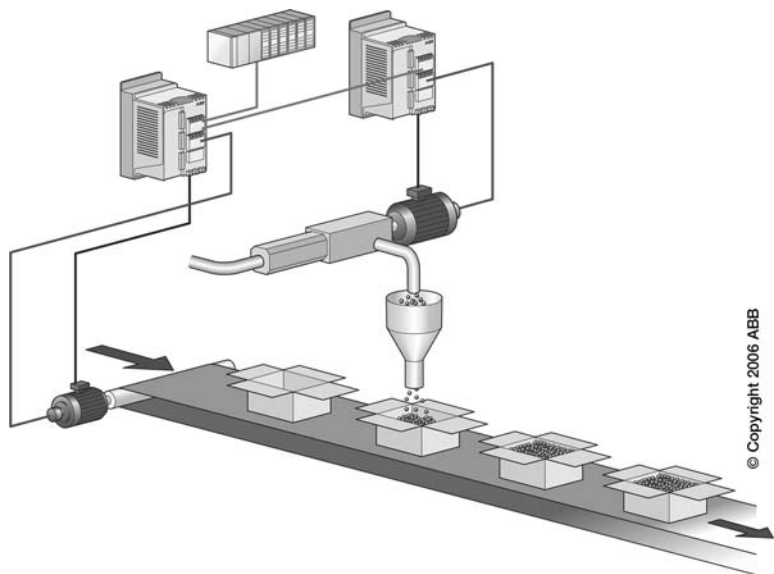
尽管图例十分简单，但显示了铤床三个主要的运动功能。

生产线速度必须恒定。这就意味着必须随着改变的材料直径来控制 and 调节铤子电机的速度。这可以通过PLC或带卷曲软件的分布式传动来控制。

两个主电机通过主从设置作为主机来运行。这在合板制造中特别重要，在这种应用中，铤子头将在螺纹处与材料连接。如果电机运行在不同的速度，两个螺杆头中的一个最后将开始打开，从而圆木飞脱。

刀架运行在同步模式。齿轮比按照材料厚度来设置。仅仅通过调节齿轮比参数就可以设置所需的厚度，这是十分便捷的，用户可以从人机界面指定为毫米单位。

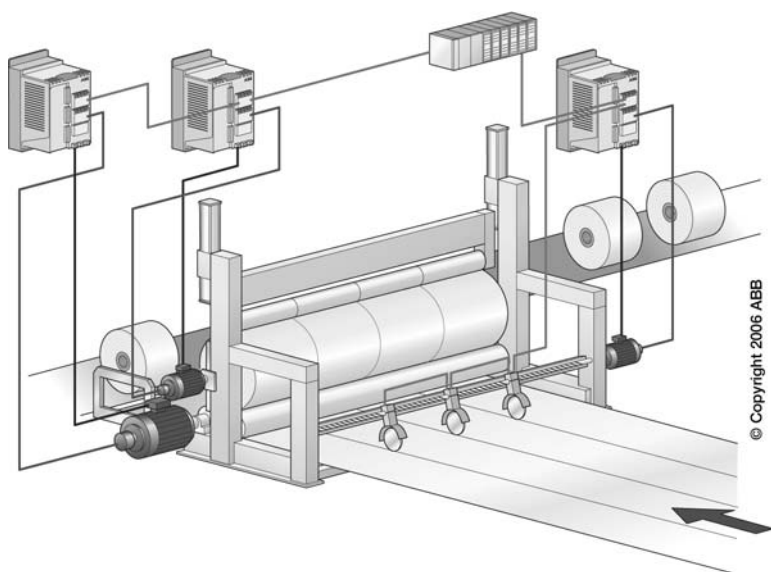
9.9. 材料装填



这个应用十分类似于9.3章“等长切割”介绍的应用。在本例中，从机运行给料单元。

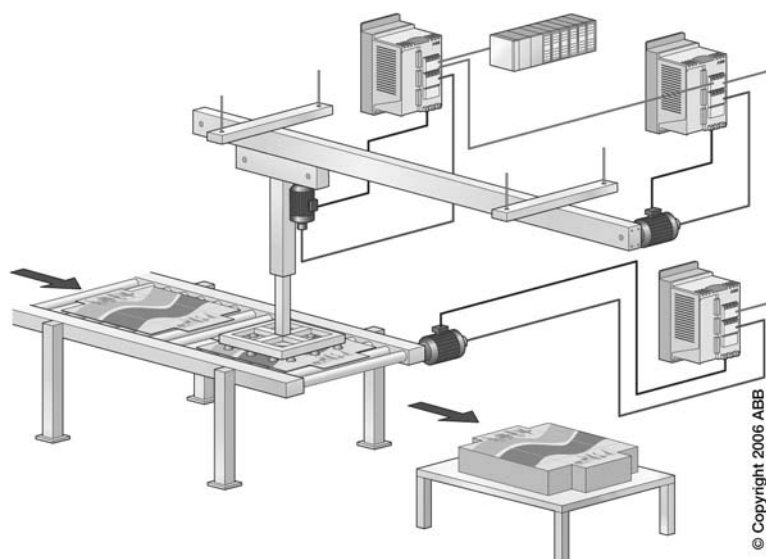
这只是很多可能配置中的一种，还有几种其它方法用来填充包装箱和瓶子。

9.10. 切割机

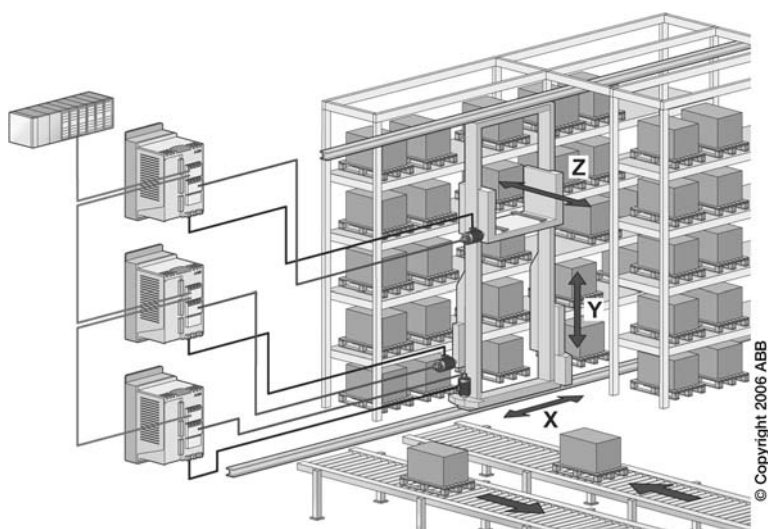


图例描述了切割机的切割和卷绕部分，显示了切割工具的运转。每个工具独立的连接到螺杆。当一个工具在工作时，PLC发送地址到传动。分布式控制系统保证了正确的定位。

9.11. 提取和堆垛



本应用三个轴上使用分布式控制。上位机控制器给每个轴命令，使金属板上的物料顺畅流动。金属板被使用定位控制的提取工具提起。金属板仍然处于位置控制，朝着堆垛位置移动。最后金属板被定位到堆垛上面。金属板喂入传送带可以以连续的速度，或定位控制模式运行。



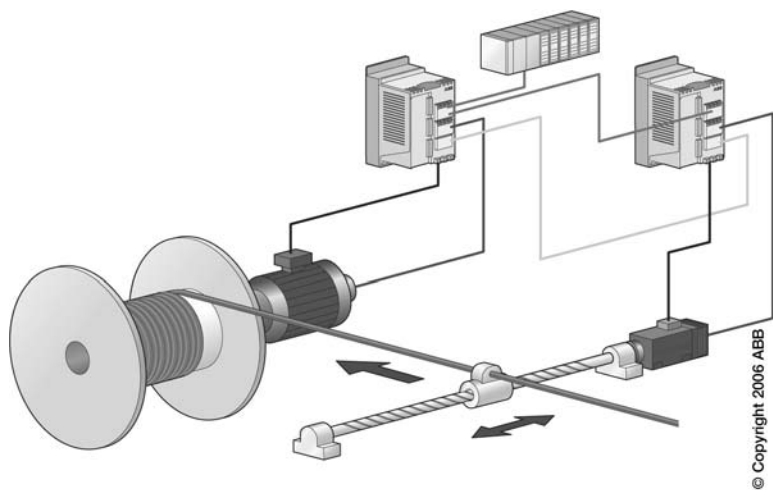
9.12. 仓储自动化

仓储自动化应用可以使用分布式控制来实现高性价比配置。上位控制系统是整个工厂自动化系统的一部分，它知道货盘要送到什么位置。

在大多数情况下，在零速和从零速开始需要高的速度和转矩性能。这就意味着需要闭环控制。在应用和电机选择之间系统动态需求是不同的，电机选择可以从带反馈的标准交流电机到交流无刷感应电机或永磁伺服电机。

这种类型的系统通常物理尺寸较大，在所有案例中，用于位置控制的电机反馈不是非常精确。这个问题可以通过监测实际位置的第二编码器来克服。

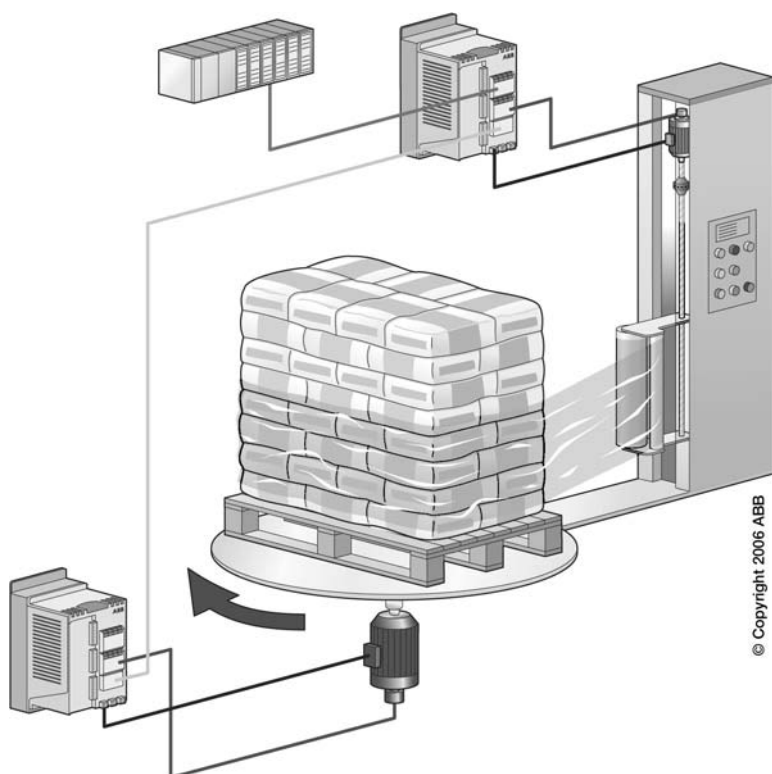
9.13. 卷曲



这里的应用图十分简单。目的是为了显示摆动控制的主要原理。摆动控制是一个电子齿轮功能，设置齿轮比，以便锁定摆动线性运动来卷绕材料。图例中没有显示用于控制换向点动作的限制开关。

卷曲和放卷是已建立好的应用，有很多专用的商业软件包可用。

9.14. 包装材料



图例所示为一个简单的包装应用。两个电机之间形成电子齿轮。

第 10 章- 位置控制 - *术语表

加速度	速度增加率，常用每秒米或每秒平方米(m/s ²)来表示。
精度	测量值与期望值的比较。在运动控制中，它常常参考位置描述，定义为与命令值的一个正或负偏差，或在设定点周围的范围值。
活动前端	前端处理器，它从上位设备和下位设备接收数据，无需外部控制就可作出改变。
实际位置	与期望位置相比较的轴位置。它可以是移动终点的最后位置，也可以是在移动中任意点的命令位置和测量位置间的延迟。后者通常称为跟随误差。
交流伺服	产生正弦型电机电流的电机驱动器。
警告	警告，当参数超出了可接受的范围，或定义的限制，或元件失效或故障的指示。它可以警告或建议操作者，或以输出信号的形式激活校正动作或关闭该程序。
模拟伺服	常用在液压和类似的系统，模拟伺服使用模拟控制和反馈系统，比如电压变化和压力改变。
模拟信号	随测量参数变化的信号。典型的例子包括0-10 V电机控制信号和风动控制压力。
运动轴	机器或元件受控运动的主要运动方向。这些轴通常按照如下定义： X: 定位方向的线性运动 Y: 与定位方向垂直的线性运动 Z: 垂直线性运动 A: 绕X轴的角运动（滚动） B: 绕Y轴的角运动（倾斜） C: 绕Z轴的角运动（偏航）

轴

一个工具，零件，或工件移动的方向。

无刷伺服

伺服传动，使用电流的电子换向，而不通过机械电刷和换向器来换向。

总线

一系列导体，作为控制单元和元件之间发送信息的路径。

集中控制

软件位于一个物理单元的系统。所有的传感器和反馈设备的输入信息都连接到这个单元，并且控制命令也从该单元发出。

圆形插补

在一个圆内移动组件的过程，通过沿着由软件产生的一系列直线的两个轴运动。

运动闭环

给定信号和反馈信号作比较，差值在放大电路中进行校正。

碰撞监测

描述使用传感器来监测部件或元件之间可能的碰撞过程。传感器可以发出停止运动警告，或减慢产生低速来配合元件。

换向

保证电机的相接收到正确的电流或电压。可以通过像电刷型电机的机电型电刷和换向器，或像无刷电机的电子换向来完成。

变流器

变换 AC到DC或 DC 到AC，通常使用二极管整流器或晶闸管整流电路。变流器这个词也可以是变频器，包括整流，直流中间电路，逆变和控制单元。

联合坐标

两个或更多轴的运动组合，来产生一个否则不可能完成的运动。传感器和其它内外部命令也可以用来辅助该运动。

电流控制器

根据负载给出合适的瞬时所需电流的电子功能。电流由最大电流来限幅，以减少过载损坏电机的危险。

定长切割

一种算法，喂入材料一定长度，从而在一个精确的长度上进行操作。反馈系统通常用来保证所选长度精确重复。

直流母线

使用一个直流电压作为给定的公共传送电路。这个词也用在几个元件共用一个电源分配系统的场合。

减速度

速度的减速率。通常用单位时间内的速度变化来衡量，例如，米/秒/秒，或米/秒²。

分布式控制

由分布在整个区域和过程中的分离式控制部件组成的控制方法。这些个体部件互相独立，尽管它们之间有某些通讯。

确定扫描时间

可编程控制器 (PLC) 执行一个程序的频率。通常以毫秒计，包括读取特定的指令和对原始指令作出回应。

设备层次网络

普通网络电缆，除去PLC和每个设备之间的单独连接。

诊断码

在操作者界面或程序中显示的代码，用来显示故障状态，也用来显示它的位置。

数字运动控制

用二进制代码计算的运动控制系统。

数字伺服

用二进制代码计算和反馈的伺服电机。

数字信号

二进制脉冲型信号，基于代表0和1的电压水平。

传动

控制电机电流的电子设备。

效率

电机效率比较机械输出和电能输入，它衡量电机转换电能为有用的机械能输出的程度。

电子凸轮

用于完成非线性运动，用电子设备来代替机械凸轮的技术。

电子连接器

使用电子凸轮或齿轮功能来产生基于主机位置的从机曲线。

电子齿轮

通过电子同步一个闭环轴到另一个，模拟机械齿轮。

电子线性轴

通过使用电子齿轮或凸轮曲线来与其它轴同步的虚拟轴。

编码器

把机械运动反映成电子信号来显示位置的反馈装置。增量式和绝对值编码器分别用来反映位置的增量改变和绝对改变。

编码器分辨率

在轴的360度旋转中，电子可辨识位置的数量。

EnDat

串行数据传输的标准接口，特别是对于位置和参数。

EMC/CE

为传导和辐射干扰设定标准和限制的欧洲条例。传动可能需要滤波器或其它元件来遵守这个条例。

急停

急停功能必须满足以下所有需要：

- 在所有情况下，它必须优先于所有功能和操作。
- 可能引起危险的机器装置的电源，必须尽可能快的在不产生其它危险的情况下被切断。
- 复位不能实现重新启动。
- 急停有急停0或急停1。急停的选择必须按照应用的需要来决定。

Ethernet

广泛使用的开放式网络标准。通常用在办公自动化和操作中，通讯速率为1.5 兆/秒，最新的版本可以到100兆/秒。

事件

一个输入参数改变状态，比如限制开关或接近开关触发时。

故障

传动或控制处于试图进行非法操作或失灵的情况。

反馈

被控机器发送一个信号，来告知它已经给控制信号作出反应。

反馈设备

把装置的实际速度和位置信息送到运动控制器。

正向进给

在控制环中，补偿已知误差的方法。它只取决于命令，不取决于测量误差。

光纤

玻璃或塑料光纤传导光源，并反映为电流，或用来决定电流路径

的开闭状态。I

现场总线

一种本地网络，通过ISA标准S50.02来定义，用来作为控制元件和传感器之间的连接。

跟踪起动

当电机正在旋转时重新起动，通常通过电机速度采样，编码器输入或反电动势来完成。

跟踪虚拟主机

运动控制器由一个虚拟编码器瞬时切换到另一个的能力。这个功能使高级同步功能成为可能。

跟随误差

轴的命令位置 and 实际位置间的误差，轴速度的差值。

无机架电机

只包含定子和转子的电机。制造商直接把它合并到一个机器里，不需要任何其它轴或其它机械传送设备。

构台

一个上位结构，能在X，Y，和/或Z轴上移动，运送各种工具或设备来完成任务。

G 代码

编程加工程序使用的软件，比如3-轴铣削和 2-轴切割。

严格的实时控制

控制器对于一个事件立即反应的能力。PLC就是为其设计的，尽管电脑完成了问题的大部分。

硬件限制开关

用来选择与机器设备相关的电子电路的开关。它通过一些部件或电动机器设备的运动来起作用。

抱闸制动

失电时，用于制动的摩擦设备。

归位位置

对于所有绝对定位运动，作为参考点的位置。通常在上电时设定，只要控制系统在工作，它就一直有效。

归位

通过找到一个唯一的参考点来校准轴的动作，通常发生在上电时。

人机界面 (HMI)

显示数据和接收命令的控制台，允许操作者控制传动。

IGBT- 绝缘栅双极型晶体管

IGBT通常用于开关电源和电机控制应用，是构成最先进的调速器的基础。

微动

通过重复闭合开关来小幅推进电机。

标定器

PLC控制步进电机运动的电子设备。

标定

轴移动到预定义的位置。

惯性

除非遇到外力，物体继续保持静止或一致运动的物质特性。

位置窗口

在命令位置点周围，可接收的位置范围。

插补

当两个或更多轴联动时，产生一个线性或圆周运动。

逆变器

直流转换交流的设备。典型的作为变频器的一部分。

急动度限制

限制加速度变化率的功能，目的是在速度改变时消除机械急动度。

无摆动同步

把从传动的加速度和减速度与主传动匹配的过程，从而提供平滑转换。

点动

轴在选择的方向上以固定的速度和加速减速度运动，但无特定的目的。

KP

速度环比例增益。决定伺服系统在移动中允许多大的速度误差。

KV

位置环增益。决定伺服系统在移动中允许多大的位置误差或跟随误差。

长度单位

编程和配置轴的直线单位，常定义为英寸，英尺，米或毫米。

线性

输出与输入成直接比例。

环更新时间

从跟随误差计算过程变量需要的时间。

运动控制

运动软件控制的任何工具或执行器。系统可以是水压的，气动的，电子的或它们的组合。不管什么系统，运动曲线写入到软件代码，执行器必须尽可能精确的跟随它。实际运动和给定总在通过反馈设备来比较，运动控制器旨在误差最小化。

模值

旋转轴转一圈的位置增量，即360度。

噪音

不想要的电子信号，通常为射频或电磁导致，像交流动力电缆，电机，发电机，变压器和无线电发送器产生的干扰。

偏移量

实际零参考点和编程的零参考点间的距离。

开放式结构

许多供应商将他们产品的软硬件特性合并成标准特性。从而可以互相连接，易于一起工作。

开环/闭环

开环控制就是控制系统没有调节其速度或位置的外部给定。闭环控制是利用外部传感器的反馈信号来校正位置和速度，使它符合命令值。

过流

传动在维持位置或移动到新位置时电流超过其额定电流值。

超越

故障时强迫轴移动的行为。经常用在强迫轴离开超程限制开关。

过调

系统输出超过期望值。

过温

指示电机或传动太热的警告，常常由太高的电流指令导致。

PC

个人电脑

相位调整

调整某轴相对于其它轴的位置。校正小的配准问题，常常在轴移动时完成。

PLC

可编程逻辑控制器。用快速重复的确定扫描时间来控制设备的计

算机。

PLS

可编程限位开关。把轴的旋转运动转换成数字信号的设备，典型用在提高定位精度上。

点对点接线

每个传动直接和PLC连线。这种方法省掉了网络引入的通讯延时。

定位误差

实际位置和命令位置的差值超过了一定数值，而引起的误差。

定位

目标位置，速度和加速度指定的移动。目标位置可以是绝对位置，或相对于当前位置的相对位置。

位置环

基于位置反馈产生位置信息的信号。

标记同步

通过比较产品上标志的位置和它的期望位置，然后补偿差值，来控制速度的方法。

曲线

运动的图形化表示。位置vs时间，速度vs时间，或转矩vs时间。

可编程限制开关

见PLS。

编程语言

控制机器行为的程式化通讯方法。

协议

用于传送编码信息的特定方法。

脉宽频率

IGBT开关频率。

脉宽调制

基于改变用于晶体管的电压脉冲的通断时间的一种开关模式控制方法。

正交

基于分离的90度（电子）信号通道来检测运动方向的技术。

斜坡发生器

产生方波，三角波，或正弦波输出的设备或数学模型。

额定速度	电机能够旋转的最大速度。
实际主机	为一个同步轴提供位置信息的反馈。
整流	变流器使用的把交流转换成直流的设备。
给定	相对于实际状况的反馈设备的设定。
再生	电机/传动系统可以在减速过程中产生再生功率，该功率可以在电网上给别的机器供电。
旋转变压器	用磁耦测量绝对轴位置的一种位置互感器。
滚式进给	在旋转轴直径变化时，保持喂入材料线速度恒定的功能。
转动	圆形轨迹运行，位置测量以度为单位。
安全中断	保证传动到电机没有功率传输的方法。
SCADA-监控控制 & 数据获取	一个软硬件系统，以它的效率控制生产过程和数据收集。
S曲线	电机缓慢加减速来减少机械冲击的方法。尽管比线性加速高级，但没有凸轮那样的性能。
操作顺序	让机器完成一个动作的一系列步骤。
SERCOS	串行实时通信标准。运动控制网络的开放通信协议，光纤传输速率可达 4 兆/秒。
串行通信	在单根电缆上来连续传输数字1和0。
伺服机构	一个自动的闭环运动控制系统，使用反馈来控制一个期望的输出，例如位置，速度或加速度。

伺服电机	可以精确控制的电机。驱动它的传动从一个旋转变压器或编码器得到精确的电机位置反馈。
屏蔽电缆	用金属外壳来包裹中心导体的电缆。金属外壳接地来防止电气噪声影响电缆信号。
SinCos	伺服控制使用的编码器。它输出数字和高分辨率模拟信号。
软件限制开关	基于软件，而非实物的开关。用来控制物理输出的通断，取决于来自像伺服电机，旋转变压器，或编码器设备的特定输入电平。
SSI	串行同步接口的首字母缩写。一种以一串格雷码字符发送位置信息的多圈绝对值编码器。
同步	机器的几个功能跟随一个公共控制信号。
转速计	一个电磁反馈传感器，提供与电机旋转速度成正比的模拟电压信号。
任务	一个软件系统控制，决定运行在传动或PLC上的软件模块的执行速率和优先级。
TCP/IP	传输控制协议/因特网协议。一种把数据编码成一串“包”来在网络上传输的方法。起初为因特网而设计，现在经常在生产控制上使用。
教导位置	被教导到运动控制程序的轴位置。一旦轴移动到设定位置，教导位置自动设定到运动控制程序中。
报文	控制器和设备间通讯的数据包。
TeleService	允许控制器或PLC被服务的特性。
TN	速度环积分作用时间，和KP一起使用。当测量速度移动超过KP设定的容差，

TN 决定传动多快把速度拉回特定容差内。也可见：调节

转矩限幅

一种伺服功能，允许供给伺服电机的电流被监控和限制。

调节

调节伺服传动的内部特征，以使其能控制相应的惯性，并给轴一个平滑的位置/速度曲线。

双绞线

两根线绞在一起，从而消除电气噪声。

VxWorks™

VxWorks™是一个实时操作系统，它保证一个绝对的确定性反应。它的优点包括实时行为，稳定性，操作时间和高效存储性能。

速度

电机或机械系统运转的速度。

速度环

一个把速度命令信号加到速度反馈信号中的伺服控制功能。输出的结果作为转矩命令信号。

虚拟主机

由位置控制软件创造的一个编码器信号，允许几个伺服系统同步。

警告

从一个传动或控制器得到的发生错误的信息，表明如果问题不被纠正，将发生故障。

Wintel

微软的**Windows™**操作系统，运行在**Intel**公司的微处理器上，个人电脑的工业标准。

反馈零点

编码器位置和伺服电机物理位置排列点。



北京ABB 电气传动系统有限公司
中国，北京，100015
北京市朝阳区酒仙桥北路甲10号D区1号
电话：+86 10 58217788
传真：+86 10 58217618
24小时×365天咨询热线：(+86) 400 810 8885
网址：<http://www.abb.com/motors&drives>

3ABD68695201 REV A 中文
基于:3AFE68695201 REV B 英文
生效日期: 2010-10-01

ABB 传动

安全功能

技术指导10



ABB

ABB 传动
安全功能

技术指导10

3ABD0000048753 REV A 中文
基于: 3AUA0000048753 REV A 英文
生效日期: 2010-07-01

目录

关于该文档7

第一章 – 理论和背景知识.....8

 安全和安全功能8

 机器安全指导9

 新机器安全指导当中的变化 10

 欧洲安全标准系统的结构图 12

第二章 – 新进展 14

 两个标准化组织 – IEC 和 ISO 15

 适用于风险最小化的标准..... 16

 适用于电气安全系统的标准..... 16

 产品-特殊安全标准（C类标准） 18

 适用于传动系统当中安全相关的特殊标准..... 18

 标准化的安全功能 19

第三章 – 满足机器安全指导要求的步骤..... 22

 第一步：安全功能规划..... 23

 第二步：风险评估 24

 第三步：降低风险 26

 第四步：安全需求的建立..... 28

 第五步：应用安全功能系统..... 32

 第六步：检验安全功能系统..... 33

 第七步：确认安全功能系统..... 37

 第八步：编制安全功能系统文档 37

 第九步：符合性验证 38

术语 40

索引..... 42

免责声明

该文档是为了帮助机器的最终用户，专门人员（安装和操作人员等）和制造商以及其他相关人员获得关于欧盟机器安全指导要求的更好理解而编写的。另外，还包括为了满足该指导和安全标准应采取的措施。

文档提供信息帮助，而不是应用指导。

文档当中提供的信息和例子仅仅适用于一般用途，并未提供必要细节应用于一个安全系统。

ABB传动公司对应用本文档信息造成的直接和间接伤害或损坏不承担任何责任。机器制造商承担按照使用规程操作的安全责任。因此，**ABB**声明免除可能由此文档带来的所有责任。

关于文档

文档介绍了机器安全指导以及为了保证操作安全，当设计一台机器的时候应该遵循的安全标准。

文档的目的是为了解释在一般意义上如何满足机器安全指导提出的要求以及CE标志的获得。CE标志意味着产品满足机器安全指导要求。

注意：

此文档仅提供满足机器安全指导深度要求的一般过程。制造商提供产品符合的安全标准以及安全保证。

文档分成三部分：

- 第1章-理论和背景知识-介绍应用背后的想法。安全功能以及如何满足机器安全指导。还包括新机器安全指导的变化。解释了欧盟安全标准系统的结构。
- 第2章-新进展-展示了替换旧标准的新机器安全指导的相关标准。介绍了两个标准系统。罗列了一系列安全相关的标准和安全功能。
- 第3章-满足机器安全指导要求的步骤-介绍了满足机器安全指导深度要求的9个步骤。

第一章-理论和背景知识

欧盟法律规定机器设备必须符合机器安全指导要求的深层次的健康和安全规则，以及该指导包含的安全标准。这就意味着新的机器必须满足同一法律要求才能够在欧盟销售。同一标准也适用于进行机器设备贸易和运输的非欧盟区域的国家。

为什么机器要满足这些要求？因为这些要求可以防止事故和随之带来的人身伤害。而且，满足机器安全指导和相关安全标准要求的机器设备，制造商可以保证他们设计和生产的机器的安全性能满足国家法律的强制要求。

对制造商而言，新改进的安全策略正越来越成为提高生产率和增强市场竞争的手段。传统安全系统的目的是为了获得操作安全和满足法律强制要求，一般通过增加电气和机械部件完成，虽然这会以牺牲生产效率为代价。在特定环境下，用户为了提高生产效率屏蔽这些系统功能，这会导致意外事故。

在现代安全系统中，在保持生产效率的同时，操作过程安全和操作人员的安全得到全面考虑。一个例子是：进行安全维护的时候机器运行在一个较低的转速。安全被集成到机器性能当中，而不是事后再考虑安全措施。这是现代安全系统的一条规则。

安全系统被有效应用在特定过程当中，以获得特别的安全性能以及使用符合规定的安全系统保护的子系统。符合安全标准在工业领域被寄予厚望。在市场领域，符合规定的子系统，诸如传动部件是必须的（符合安全标准）。机器安全是工业自动化市场成长最快的重要领域之一。

安全和安全功能

安全意味着保护操作人员和环境在意外事故当中不会受到伤害。在这里，主要指机器伤害。安全功能系统降低了意外事故发生的可能，因此，操作机器时意外伤害的发生降至很低的程度。安全标准定义了无法预料的风险下的社会大众可接受的安全性能。机器制造商必须在所有市场领域遵守该标准，不能存在地区差别。

消除风险最有效的办法是通过产品设计避免。如果不能通过设计降低风险，设置静态安全保护或安全功能是一个不错的选择。当机器快速安全停止或者在一个相对低速运行的时候，可以获得更多的正常运行时间，减少故障停机时间，从而降低风险，提高机器生产效率。另外，同时也满足法律的强制要求，操作人员和工作环境的安全保障得到保证。

机器领域的安全功能通常意味着安全监视的系统以及操作安全得到保证的机器控制。安全相关的系统具备必须的安全功能。安全功能系统设计用来监测恶劣环境下的安全操作状态，或者保证意外发生时一些必要措施的执行，比如安全停车。

监测的内容包括速度、停车过程、旋转方向和停止状态。当安全系统执行一个主动的安全功能，例如监视运行速度，系统状态偏离预定值时（比如系统运行太快），安全系统检测到这个偏差值，主动调整机器到一个安全状态。比如，通过降低电机转子端的负载转矩让机器安全地停下来。这通常是很容易做到的。

安全系统并不是机器操作的标准功能。但是，任何安全系统的失效都将导致机器操作的安全风险。

机器安全指导

机器安全指导，包括安全标准，在欧盟的机器重要健康和安全要求（EHSR）当中给出了定义。重要健康和安全要求（EHSR）列在了机器安全指导附录的第一部分。

机器安全指导背后的思想是保证机器设计、制造、使用和安装维护安全。在机器的整个生命周期中，带给人和环境的伤害风险降至最低。

重要健康和安全要求（EHSR）规定，当设计和制造安全机器的时候，制造商需按照以下步骤进行：

- 在机器的设计和制造阶段，充分考虑安全因素，尽可能消除或最小化安全风险。
- 应用必要的安全保护措施防止不能消除的危险发生。
- 提醒用户即使采用了切实可行的保护措施后，仍旧存在可能发生的危险，需要提供切实有效的用户培训和劳动保护用具。

符合安全指导当中EHSR要求的机器制造商被允许在他们制造的机器上使用CE标志。带有CE标志意味着制造商承诺他们产品的可自由运动部件满足欧洲安全指导，在这里是机器安全指导的相关安全规定。

注意

满足机器安全指导要求的CE标志只表明整个机器满足安全标准，并不意味着组成机器的零部件也满足该要求。因此，机器制造商或者销售代表，而不是组成机器的零部件制造商对CE标志的使用负责。

机器制造商对机器进行的相关风险分析负责，保证满足要求，相关步骤在第三部分表述。零部件制造商对销售出去的部件的安全性能的表现负责（SIL/PL 要求），前提是该零部件是正常使用的。在本文当中，零部件可能是一个安全继电器，或者集成了安全功能的变频器。

新机器安全指导当中的变化

新的机器安全指导2006/42/EC将会从2009年12月19日起替代老的98/37/EC机器安全指导。在此日期之后生产的机器适用新的机器安全指导。

新旧安全指导文件并没有本质的差别。新版本文件的目的是加强旧文件对机器安全的要求，再有就是增加可操作性。

在新版本机器安全指导当中增加的要点如下：

- 机器安全指导附录IV列出的对如何确认危险机器的方法做了改进。
按照新指导规定，制造商可以进行自我认定，而无需测试中心帮助。前提是，制造商必须确保产品质量检测流程符合机器安全指导附件X罗列的相关要求。

- 机器安全指导I 列出的重要健康和安全要求。
机器制造商必须执行EHSR规定的相关风险评估。

- 组成机器各产品部件的安全保证。
对产品的规定同样适用于机器、可互换件和安全部件等等。产品必须包括CE认证、符合性声明和必要的操作人员的安全信息提示。

- 零部件或半成品机器的安全要求。
部件或半成品机器只是机器成品的一个或若干组成部分，它们不能自行完成特定功能。各个部件或半成品组合起来才组成一个完整、符合机器安全指导定义、完成特定功能的机器。

在制造商声明当中必须包括对组成机器的零部件和半成品作出符合安全指导要求的兼容性声明。
产品文档必须还包括对组成机器的零部件和半成品的安装指导。

- 低压指导的更新部分
低压指导部分现在是指对产品的要求，而不是过去那种风险评估。机器安全指导和低压指导两者之间区别明显。
- 危险分析的变化
危险分析被定义成风险评价和风险预估两部分。
- 生产控制部分的变化。
机器生产序列目前有了内部生产控制流程，在机器安全指导附件VIII部分有特别规定。
- EC规定的检测认证的有效性。
具有资质的测试中心每5年检查该认证资格一次。制造商和测试中心需保留相关技术文档15年。

欧盟危险等级系统的金字塔结构图

欧盟负责标准化的委员会（CEN）和负责电气标准化的委员会（CENELEC）共同制定了危险等级标准。所有的危险等级标准都以“EN”打头。

危险等级列表可以在欧盟下属的互联网找到：
<http://ec.europa.eu>

危险等级标准的大部分可以在各个指导文件当中找到。为了保证满足机器安全指导的相关要求，建议使用对应的欧盟危险等级标准。为了设计满足这些标准的机器，制造商需要证明他们的产品符合机器安全指导的要求。一般来说，不需要第三方的认证。

注意：机器安全指导附件IV部分关于机器的要求一定要引起足够的关注。

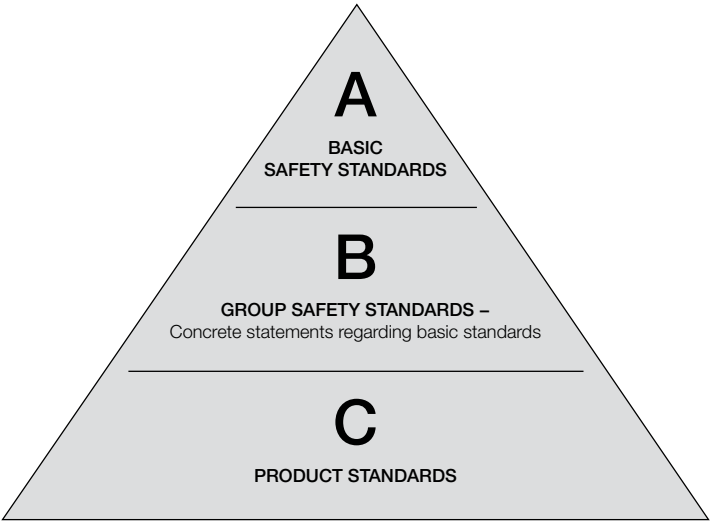


图 1-1 欧盟危险等级的金字塔结构图

- **C类标准**适用于一台机器或一类的机器。如果一台机器满足C类标准，相关的B类或A类标准就退居次席。当设计安全功能的时候，C类标准定义了机器必要的强制安全要求。但是，如果没有C类标准可供使用，B类或A类标准可以在设计和制造机器的过程中提供满足机器安全指导的帮助。
- **B类标准**适用于大多数机器的设计安全要求。这些标准给出可能的风险信息以及如何应对来降低风险，同时还提供降低风险的流程安排的相应帮助。B类标准可分成B1和B2。B1标准适用于特定安全方面，而B2适用于一般安全相关设备。例如，属于B1类的标准包括EN 62061:2005和EN ISO 13849-1:2008。B2类标准包括定义紧急停止，如EN ISO 13850:2008。
- **A类标准**包括一般设计原理和基本机器定义说明。EN ISO 12100-1就属于A类标准。

注意：

并不强制使用这些标准。但是这些标准提供了满足机器安全指导要求的方法，而安全指导是必须遵守的。

第二章 – 新进展

注意：

旧的标准EN 954-1将会在2009年11月30日过期，新标准EN ISO 13849-1和EN 62061将如期启用。从2006年11月开始的为期三年的过渡期即将结束。在这个过渡期内，EN 954-1和EN ISO 13849-1、EN 62061一起并行生效。

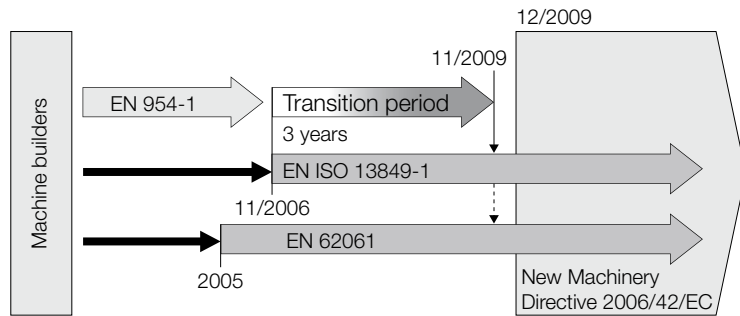


图 2-1 从旧标准到新标准的过渡期

用EN ISO 13849-1和EN 62061（用于电气控制系统）替换EN 954-1在安全相关的系统当中是一个确定无疑的进步，尤其对于可能或确切的原因-影响关系分析。新标准考虑整个安全功能的失效可能性，而不仅仅是组成系统的各个部分。不像旧标准EN 954-1，这些新标准允许使用可编程的安全系统。

新标准使用和EN 954-1一样的结构（分类）。增加了一些新的概念，比如生命周期思想，组件可靠性和质量测试的量化，一般失效原因分析等。

注意：

标准EN ISO 13849-1保留了EN 954-1当中的分类方法。该标准还提供了基于上述分类的设计和验证方法。标准EN 62061包含相似的结构和方法。

EN 954-1 是一个提供直接和便捷过程相对简单的安全标准。
EN ISO 13849-1的过程相对复杂。为了定义系统的分类或结构，机器制造商必须通过评估和计算来保证机器的安全。使用经认证的子系统是一种推荐的做法，因为这可以加快这个过程，并简化计算。

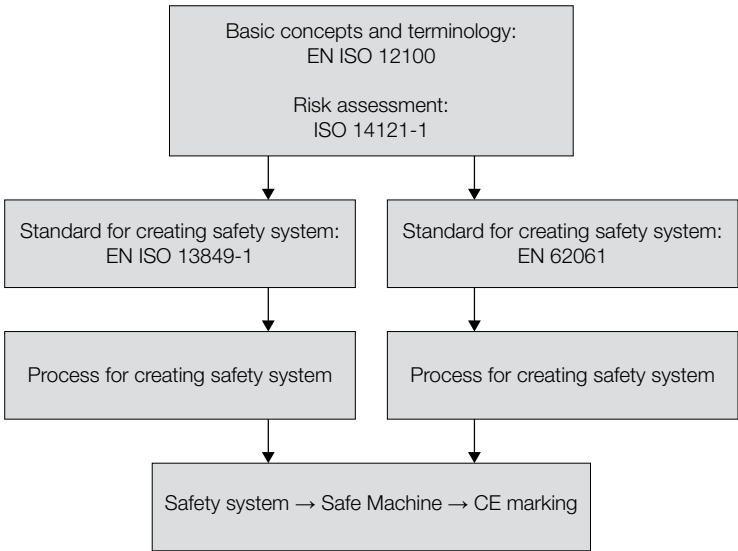


图 2-2 标准介绍

两个标准化组织——IEC和ISO

建立符合机器安全指导的功能安全系统的标准有两个可供参考：国际电工协会（IEC）标准和国际标准化组织（ISO）标准。

参照任何一个标准都将获得相似的结果，它们的安全完整性等级（SIL）和安全性能（PL）基本相当。更多信息，参见第三章步骤6部分的表格。

在设计系统过程中，解释两个标准的匹配性的图表，可以在EN ISO 13849-1 和 EN 62061当中找到。

注意：
机器制造商可以选定在建立安全系统时采用哪一个标准（EN ISO 13849-1或EN 62061）。一旦选定，则从头到尾采用同一标准，以保证标准的一致性。

CEN标准基于ISO标准，并且主要用于机械部件。新标准在10000系列当中包括很多成员。CENELEC基于IEC标准，新标准在60000系列当中包括很多成员。

注意：

EN ISO标准在本文档中以“ISO”形式出现。然而，EN IEC标准并不以“IEC”形式出现，主要是为了和标准列表当中的一致。

风险最小化标准

风险最小化基本安全标准包括：

- EN ISO 12100-1:2003（机器安全——基本概念，设计原理）
- EN ISO 14121-1:2007（机器安全——风险评估）

为了降低风险，EN ISO 12100提供给设计人员通用设计架构和提示（三步法）。EN ISO 12100-1定义了获得机器安全的基本术语和方法。

EN ISO 14121-1是一个在降低风险的过程中做风险评估的新标准，在EN ISO 12100标准当中有说明。EN ISO 14121-1替代已于2008年6月24日过期的EN 1050:1996。

注意：

所有在本文出现的其他对这些标准的参考内容适用于上述版本的标准。

适用于电气安全系统的标准

适用于电气安全系统的标准有：

- EN ISO 13849-1:2008（机器安全——控制系统的安全相关部分——一般设计原理）
- EN 62061:2005（机器安全——安全相关的电子器件、电气和可编程电气控制系统的安全功能）
- IEC 61508:1998-2000（电子器件、电气和可编程电气安全相关系统的安全功能），以及
- EN 60204-1:2006（机器安全——机器的电器零部件的一般要求）

注意:

所有在本文出现的其他对这些标准的参考内容适用于上述版本的标准。

EN ISO 13849-1是一个为机器安全向设计人员提供指导的标准。这些指导包括在设计、系统集成和验证过程中提供推荐方法，用于各种不同机器的控制系统安全相关部分，无论这些机器采用什么样的技术和使用什么样的动力方式。

该标准还包括对可编程控制系统的安全相关部分的特殊要求。这个标准覆盖设备的所有安全功能（完整安全链，例如，传感器-逻辑处理-执行器）。

该标准还定义了如何确定需要安全性能（PL）以及在一个系统当中怎样确定获得的性能标准。性能标准表明了一个安全系统在可预见的状况下能够实现的安全功能。性能标准分成五类：a, b, c, d 和e。e具有最高安全可靠性，a的安全可靠性最低。

EN 62061标准用于设计电气安全系统。它是IEC61508架构内的机器部分特定标准。**EN62061**包括对机器安全相关部分的电气、电子和可编程电气控制系统的设计、系统集成和验证过程进行安全指导。整个安全链——例如，传感器——逻辑处理——执行器——都包括在这个标准当中。单独的子系统不需要验证。但是，使用经验证的子系统建立各个组成功能块在该标准中是极力推荐的，因为这将大大节省设计过程中的工作量。

注意:

和**EN ISO 13849-1**不同，**EN 62061**不包括对机器非电气安全相关控制部分的要求。

这个标准定义了安全集成水平（SIL）。安全集成水平表示一个系统的安全功能可靠性。共有4个等级：1、2、3和4。SIL 4最高，SIL 1最低。在机器当中只用到了1—3。

IEC 61508 是一个基本的功能安全标准，它涵盖了包括电气、电子和可编程控制部件等系统的整个生命周期。这个系统的作用主要是实现安全功能。IEC 61508并不是一个完善的标准，但它却是在设计包括复杂硬件和软件的安全相关控制系统必须遵循的主要标准。IEC 61508一般用于设计可验证的安全子系统。标准 EN ISO 13849-1 和 EN 62061基于IEC 61508标准。EN 60204-1对机器的电气部分提供推荐值和要求，加强机器的安全性和可用性。

特别产品安全标准（C类标准）

特别产品安全标准，被称作C类标准，用于符合标准涵盖的EHSR要求的特殊机器或者某一类机器。

应当注意的是：

- C类标准的要求远高于一般安全标准（EN 62061，EN ISO 13849-1等）。
- C类标准对一些安全功能设定有SIL/PL要求。这些要求必须满足，无论风险分析的结果如何。

注意：

即使风险评估的过程中各种已知的危险有可能影响机器构成，而且C类标准是独特的，该标准仍未包括EHSR相关的方方面面。该标准仍然需要不断彻底检查，以确保危险从已知列表中排除出去。

安全相关驱动系统的特定标准

适用于安全相关驱动系统的特定标准是：

- EN 61800-5-2:2007（可调速电气驱动系统——功能安全要求）

注意：

本文提到的标准其他参照部分仅适用于上述版本的标准。

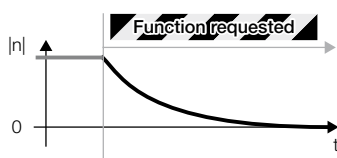
EN61800-5-2给出了安全相关应用的电气驱动系统的特别要求和推荐内容。这是一个涵盖在IEC 61508内的与安全相关部分的产品标准，提供了电气驱动系统用于安全系统子系统的一般要求。

安全功能的标准化

EN 61800-5-2标准包括对众多安全功能的定义。传动可以提供一个或多个安全功能。下面是一些例子：

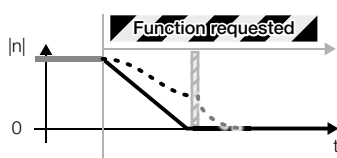
安全力矩脱扣（STO）

该功能让机器处于无转矩状态，从而避免意外启动。



安全停止 1（SS1）

该功能让电机安全停车，在一个特定速度下或者一段预定义的时间后开始执行STO功能。



安全停止 2（SS2）

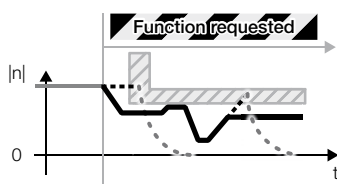
该功能实现安全停车，在一个特定速度下或者一段预定义的时间后开始执行SOS功能。

安全操作停车（SOS）

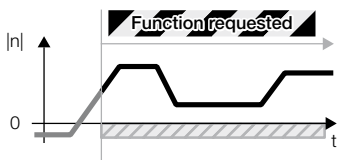
该功能实现电机保持转矩输出的静态停车。

安全限制速度（SLS）

该功能防止电机运转超过预定的限制速度。

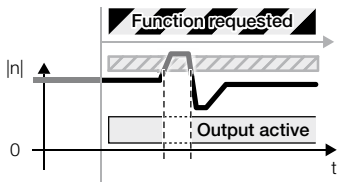


安全方向 (SDD)
该功能防止电机反向运转。



安全抱闸控制 (SBC)
该功能提供安全输出节点控制外部（机械）抱闸功能。

安全速度监测 (SSM)
该功能提供安全输出节点指示电机运行在安全速度。



更多安全功能例子可参见EN 61800-5-2标准。

紧急操作

EN 60204-1标准介绍了两种紧急操作：紧急断电和紧急停止。

紧急断电

当发生触电危险时，紧急断电功能将切断系统或部分电源供应。

该功能需要一个外部电源开关。带有安全转矩脱扣功能（STO）的驱动系统不能完成该功能。

紧急停止

紧急停止功能必须按照如下描述进行：当它有效时，机器的危险移动部件必须停止，并且在任何情况下不能启动。即使紧急停止开关放开，也只是允许机器重新启动（并不启动机器）。

紧急停止可以通过如下方式停止危险运动部件：

- 优化的停车时间，直至机器停止运转。
- 使用0或1类紧急停止，或者
- 使用预定顺序停车

0类紧急停车指的是立即切断电机电源。根据在EN 61800-5-2标准当中的定义，0类停车和安全力矩脱扣（STO）功能等同。

1类紧急停车指的是机器速度按照减速时间控制减速到零，然后切断电机电源。根据在EN 61800-5-2标准当中的定义，1类停车和安全停车1（SS1）功能等同。

在实际操作过程中，紧急停止功能一定不能对机器操作人员造成伤害。

注意：

紧急功能的设计原理在标准EN ISO 13850:2008当中做了介绍。

意外启动的防止

当人员处在危险区域时，确保机器停止在机器安全当中是非常重要的一个方面。

力矩安全脱扣功能可以防止机器意外启动。虽然电机驱动器控制回路的电源仍然有电，却可以阻止电机通电，从而防止电机的意外启动。

防止意外启动的原理和要求在标准EN 1037:1995+A1当中有描述。

第三章-满足机器安全指导要求的步骤

机器安全指导要求机器必须安全。然而，没有零风险的产品，所以，机器安全指导的目的是将风险最小化。

通过以下步骤可满足机器安全指导：

- 满足综合标准的设定要求，或者
- 满足具有相关资质第三方的认证要求

满足使用综合标准的机器指导规定的EHSR要求的过程可分成9个步骤：

- 步骤 1: 功能安全管理——在整个机器的生命周期当中管理安全功能
- 步骤 2: 风险评估——分析和估计风险
- 步骤 3: 降低风险——在设计和用户手册当中消除或最小化风险
- 步骤 4: 提出安全要求——消除或降低风险至可接受的水平需要什么（功能，安全性能）
- 步骤 5: 使用功能安全系统——设计和制造安全功能
- 步骤 6: 验证功能安全系统——确认安全系统满足设计要求
- 步骤 7: 确认功能安全系统——回到风险评估流程，确认安全系统在降低特定风险方面有效
- 步骤 8: 归档——制作设计文档，生成用户文档
- 步骤 9: 符合性验证——通过合规评估和技术文件证明机器符合机器安全指导当中EHSR的要求

在接下来的章节当中会对上述步骤做详细说明。

升级现有机器

- 当升级现有机器的安全要求时，下面这些方面必须考虑：
- 已经带有CE标志的机器——增加的部件必须也要带CE标志。新部件如何使用在旧系统当中，必须遵照机器安全指导当中的特别规定。
 - 不带CE标志的机器——机器的安全水平必须在使用带CE标志的新部件后得到保持，新部件使用声明并不在机器中体现。指导文件89/655/EEC和修正文件95/63/EC必须遵照执行。

最终，由相关权威部门认证该产品升级是否达到更高安全等级。

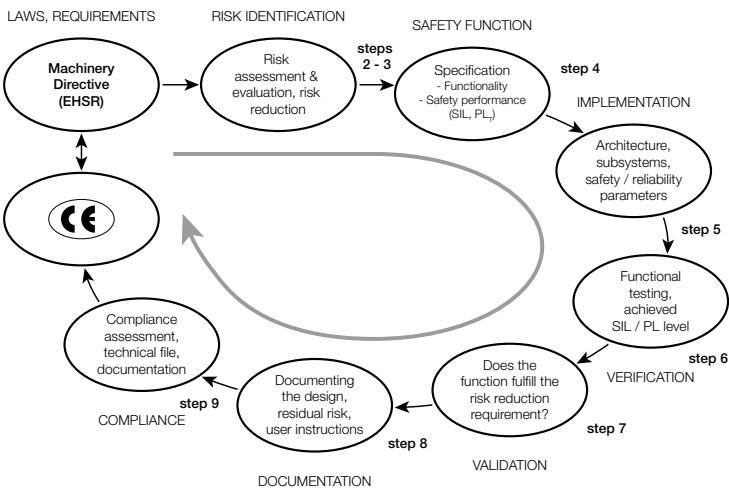


图 3-1 满足机器安全指导的工作流程

步骤1：功能安全管理

为了满足功能安全的要求，必须使用符合标准IEC 61508 或ISO 9001 的项目管理和质量管理。管理系统可以使用安全规划的特定形式。

安全规划

标准EN 62061为满足机器安全指导要求特别规定了安全规划。每个安全系统都要设计和记录这种规划，必要的时候还要修改，以满足新的要求。

安全规划：

- 识别所有相关活动
- 满足功能安全要求制定政策和策略
- 明确责任
- 识别和建立文档记录过程及资源
- 描述管理配置的策略
- 验证和确认计划

注意：

虽然上述内容并没有在EN ISO 13849-1:2008标准当中特别规定，相似的举措必须完全符合机器安全指导的要求。

一旦安全计划（参照EN 62061）确立，风险评估就开始了。

步骤2：风险评估

风险评估是风险分析和评价的过程。风险是发生一系列伤害和暴露在危险环境下可能发生伤害的总和。

注意：

按照新的机器安全指导2006/42/EC的要求，必须对机器进行风险评估。

机器安全指导2006/42/EC要求机器制造商进行风险评估并且在设计机器时考虑风险评估的结果。任何高风险必须通过改变设计或使用恰当的安全防护技术降至可接受的水平。

风险评估的过程为机器设计人员如何设计具备安全性能的机器提出要求。在机器设计阶段进行风险评估是非常重要的，因为这比事后对如何安全操作机器设备进行指导有效得多。

符合EN ISO 12100-1标准要求的风险评估过程包括两部分：风险分析和风险评估。风险分析指的是风险识别和风险估计。风险评估则是分析风险是否在可接受的水平，否则必须降低风险。

风险估计是在风险分析后进行的。降低风险的必要措施在风险估计后实施。

注意：

必须对每一个危险独立进行风险评估。

风险分析步骤：

1. 界定机器的应用范围和使用寿命限制。
这些限制包括：
 - 用途
 - 空间
 - 环境
 - 使用寿命
2. 判断机器可能造成的危险
3. 逐一评价已确定的风险
 - 危险的严重程度（潜在结果）
 - 危险的可能性（发生频次、发生的可能性以及是否可以避免）
- 评估风险：必须降低风险吗？
 - 是：采取降低风险的措施，返回风险分析步骤2

在下一节当中会介绍EN ISO 12100-1标准当中提供的降低风险三步法。

- 否：符合降低风险的目标要求，风险评估结束。

记录每个危险因素的风险评估过程和结果。

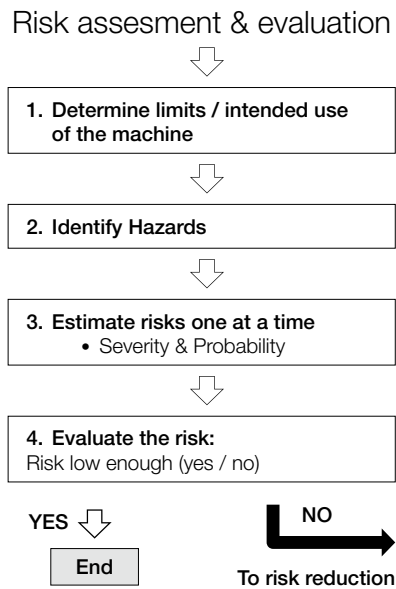


图 3-2 EN ISO 14121-1当中描述的风险评估流程

根据评估结果的不同，风险评估结束后有两个选择：

- 如果评估的结果是不需要采取降低风险的措施，则表明机器符合机器安全指导的对应安全要求。

注意：

为了认证和CE标志的要求，因为总存在残留风险，残留风险必须在操作和维护手册当中标出。

- 如果评估的结果表明风险仍然是不能接受的，降低风险的流程开始启动。

步骤3：降低风险

降低风险最有效的手段是在机器的设计阶段消除风险，例如，更改设计或者改变机器工作流程。如果在设计阶段消除风险已不可能，在降低风险的过程中采取符合机器安全指导当中适当的综合标准的要求也是有效的。

如果风险评估过程指出必须降低风险，需要制定风险最小化策略。按照 EN ISO 12100-1 标准的要求，降低风险可以分成三个步骤（三步法）：

1. 已有的安全设计方法——更安全的设计，更改设计流程
2. 安全装置和充分的安全保护措施——安全功能，保护措施
3. 信息的使用（残留风险管理）
 - 机器本体——报警指示，型号和报警设施，以及
 - 操作指导文件

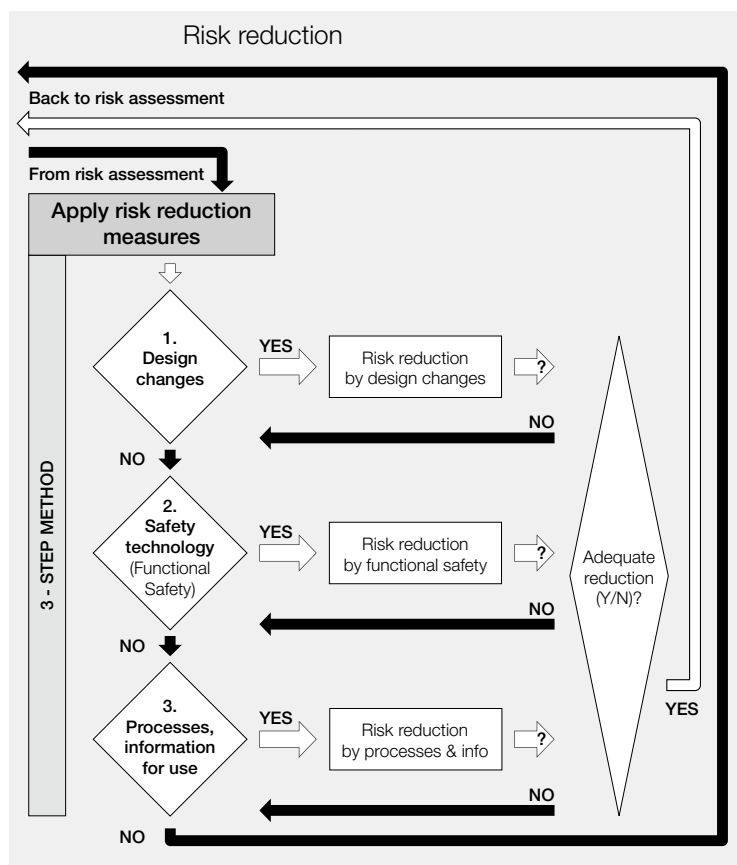


图 3-3 EN ISO 12100-1 三步法降低风险

残留风险指的是采取所有保护措施之后仍旧存在的风险。纯技术而言，不可能达到零风险状态，因此，总是存在残留风险。

所有残留风险必须在操作指南当中注明。

用户降低风险部分包括设计（制造）信息。对机器用户降低风险的措施有：

- 用户方采用的降低风险措施包括：
 - 使用安全操作流程，
 - 工作监控，以及
 - 使用工作许可系统。
- 使用附加安全防护。
- 使用个人安全保护用具。
- 客户安全培训。
- 详细阅读操作及安全提示信息，并遵照执行。

设计人员在设定防护措施时必须考虑使用者意见反馈。

当采取降低风险的措施的时候，必须保证这些措施能够将风险降低至可以接受的水平。风险是否降至需要的水平可以通过反复进行风险评估完成。

在接下来的章节当中列出的是三步法的第二部分：使用功能安全方式进行安全防护。

步骤4：提出安全要求

所有可以通过更改设计降低风险的措施实施以后，需要采用其他的安全防护手段来降低风险。功能安全作为附加降低风险的措施可以用于对付剩余的风险。

安全功能

安全功能是一项一旦失效造成风险立即增加的机器功能。它包括必须采取的举措，避免在意外事件发生时暴露在危险当中。安全功能不是影响机器运行的功能，只是该功能失效会增加机器操作造成的意外伤害。

定义一种安全功能一般包括两部分：

- 措施（为降低风险应该做什么）
- 安全作用（安全完整性等级 - SIL 或者安全性能 - PL）

注意：

安全功能必须特别定义、验证（功能和安全作用）以及确认对每个已知的危险的有效性。

安全功能举例：

要求：一根裸露的电机旋转轴可能在太接近它时带来人身伤害。

措施： 为了避免人身伤害，当防护门打开的时候，电机轴必须在一秒钟之内停下来。

当采取措施的安全功能定义之后，必需的安全等级就确认下来了。

安全作用/完整性

安全完整性用来衡量安全功能的作用。安全完整性表示基于需求获得的安全功能的性能的可能性。功能的安全完整性取决于风险评估和已获得的安全完整性等级（SIL）或安全性能（PL）所使用的标准。

两个标准对安全功能采用不同的评估技术，但基本是一致的。评价的项目和定义在两个标准中是相似的。

定义要求的SIL（EN 62061）

定义要求的安全完整性等级（SIL）的过程如下：

1. 确定一个危险事件的各个顺序的严重性。
2. 确定人员暴露在危险当中的频次和时长。
3. 当发生人员暴露在危险环境当中时，确定危险事件发生的可能性。
4. 确定阻止危险发生和限定危险发生范围的可行性。

例如：

用于决定安全完整性的参数，呈现在下列的SIL指定列表中。

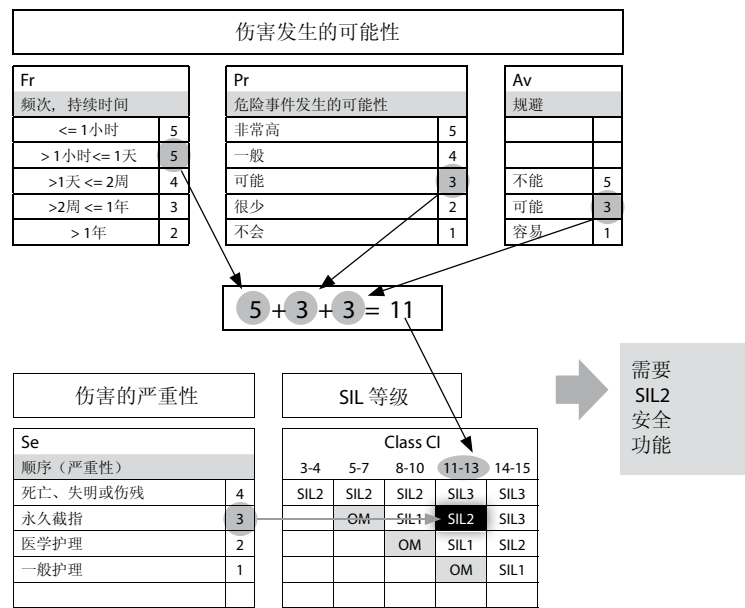


图 3-4 SIL 指定列表的例子

- 在这个例子当中，是对暴露在电机旋转轴当中作出的危险分析。
- 危险等级是永久伤害，比如，可能失去手指。严重程度Severity (Se) = 3.
 - 一个人一天当中有五次需要暴露在危险当中。频率Frequency (Fe) = 5.
 - 危险很有可能发生。发生的可能性Probability (Pr) = 3.
 - 危险可以被规避。规避的可能性Avoidance (Av) = 3.
 - 5 + 3 + 3 = 11, 根据事先的定义，符合SIL 2.

表格中各个要素的定义在标准中有说明。

SIL的要求定义之后，可以开始使用安全系统。

确定PL (EN ISO 13849-1) 需求

为了确定PL要求，从下列目录中选择一种方法，制定一种途径满足PL的要求。

- 1. 确定危险的紧迫程度。
紧迫性的定义如下：
S1 轻微的，通常指可康复的伤害
S2 严重的，通常指永久伤害，包括死亡
- 2. 确定暴露在危险当中的频次和时间长度
频次和时长的定义如下：
F1 极少短时暴露在危险环境当中
F2 频繁长时间暴露在危险环境当中
- 3. 确定阻止危险发生的可行性或者限制危险带来的伤害
防止危险发生和限制危险带来的伤害定义如下：
P1 在一定条件下可以实现
P2 几乎不可能

例如：
表现类别分成a, b, c, d和e，如下图描述。

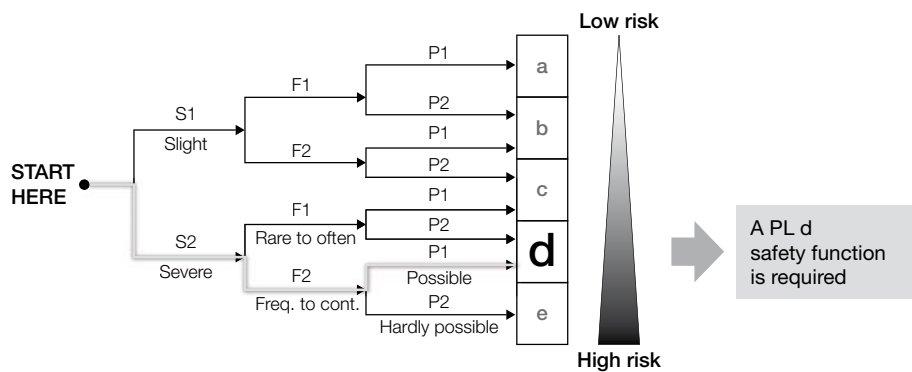


图 3-5 PL风险示例

- 在这个例子当中，对一个裸露的电机旋转轴进行危险分析。
- 危险发生是严重不可恢复的永久伤害。 严重程度Severity = S2.
 - 人员暴露在危险环境当中是一天数次。频率Frequency = F2.
 - 避免或限制危险造成的伤害是几乎不可能的。可能性Possibility = P2.

按上图指示，PL数值是d。确定各个因素数值在标准当中有说明。安全性能(PL)确定之后，就可以开始使用安全系统了。

步骤5：应用功能安全系统

当设计和规划一个安全功能时，为了满足前面章节提到的特定的SIL/PL要求，在功能安全系统当中使用经过验证的子系统对安全系统的设计人员来说可以大大节省工作量。当精心计算安全和可靠性，使用验证过的子系统之后，应用安全功能将变得很方便。

注意：

如果不使用经验证的子系统，就必须对每个子系统做安全性计算。标准EN 62061和EN ISO 13849-1包含了相关的过程和必需的计算参数信息。

使用和验证过程在子系统之间反复同步进行。在应用过程中验证被当作一个工具，检查应用系统是否满足安全水平的预定要求。更多验证过程，参照下述步骤。

注意：

系统的强健性取决于最薄弱的位置。这就意味着，为了满足机器安全指导EHSR要求设定的要求，所有功能安全子系统必须满足系统的SIL/PL的要求。

市场上有多款计算软件用于验证功能安全系统。这些程序可以对整个过程进行方便的验证。

应用功能安全系统的一般步骤包括：

1. 确定符合标准EN 62061 或 EN ISO 13849-1的SIL/PL的要求。
2. 选择用于安全系统的系统结构。标准EN ISO 13849-1 和 EN 62061 提供了带计算公式的基本结构。
3. 确定
 - 类别B, 1, 2, 3 或 4, 在标准ISO 13849-1有说明或者
 - 指定结构A, B, C 或 D, 在标准EN 62061有对子系统和整个系统的说明。

更多指定结构的系统，参见相关说明。

4. 从安全相关子系统构建系统 - 传感器/位置开关, 输入, 逻辑, 输出和执行器

或者:

- 使用已验证的子系统 (推荐), 或
- 对每个子系统进行安全计算。

整个系统的安全水平等于各个子系统安全水平的总和。

5. 安装安全系统。

系统必须被正确安装，避免因为不当接线、环境或其它类似因素造成的失效。安全系统因为不当安装造成不能正常工作，那就没有保障安全的用处，甚至有可能带来危险。

6. 验证系统功能。

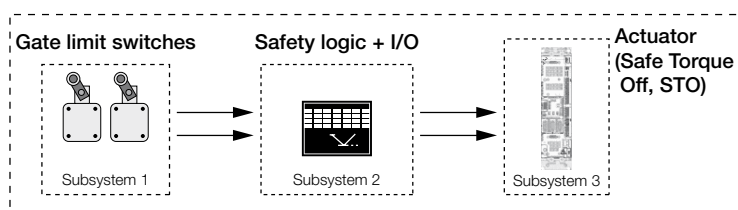


图 3-6 安全功能的结构

步骤6：验证功能安全系统

功能安全系统的验证用于确保应用安全系统满足特定的安全要求以及安全功能是否可行。

验证不能在应用过程结束后进行，而是同时完成。从而保证整个应用过程满足特定要求。

为了验证系统的SIL和PL，安全系统的修正操作也必须完成功能测试。

验证安全系统的安全完整性等级 (SIL) (EN62061)

为了验证安全完整性等级，必须展示安全表现，也就是可靠性，安全功能必须等于或高于在风险评估当中给出的安全目标要求。建议使用经验证的子系统，因为子系统制造商已经确定了决定系统安全完整性 (SILCL) 和随机硬件安全完整性 (PFH_d) 的相关内容。

验证使用经验证的子系统的安全系统的安全完整性等级 (SIL) 的方法如下：

1. 使用子系统定义的SIL限制要求 (SILCL) 来确定系统安全完整性。

SILCL 代表子系统的最大SIL值。SILCL用来确定已获得的安全完整性等级 (SIL)：整个系统的SILCL不高于最低子系统的SILCL。

2. 用子系统定义的每小时危险失效发生的可能性 (PFH_d) 来衡量系统随机硬件的安全完整性。经验证的子系统的制造商通常会提供他们系统的PFH_d 值。

PFH_d 是随机硬件失效数据，它决定安全完整性等级 (SIL)。

3. 使用常见失效原因分析 (CCF) 列表去检查所有必需的相关项目在创建的安全系统当中没有遗漏。

CCF 检查列表可以在标准EN 62061 附录F当中找到。

根据列表计算每个点的值，整个得分和标准EN62061附录F，表F.2的CCF因子 (β) 比较。这个数值用于估算PFH_d 的数值。

4. SIL: 根据SIL的定义确定获得SIL的水平。

验证SIL的例子:
验证电机旋转轴功能安全系统:

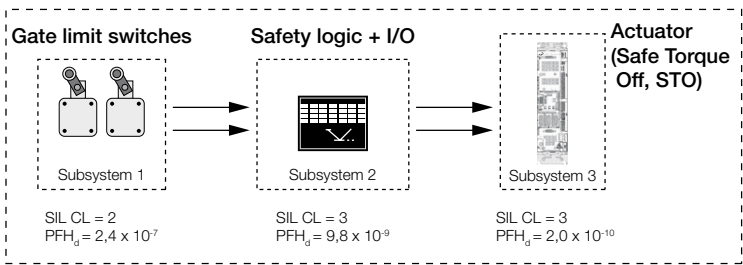


图 3-7 验证SIL的例子

系统安全完整性:
 $SIL\ CL_{sys} \leq (SIL\ CL_{subsystem})_{lowest} \rightarrow SIL\ Claim\ Limit\ 2$

随机硬件安全完整性:
 $PFH_d = PFH_{d1} + PFH_{d2} + PFH_{d3} = 2,5 \times 10^{-7} < 10^{-6}$

系统满足SIL 2.

按照整个系统PFH_d数据确定SIL的表格:

SIL	每小时可能发生的危险 (1/h)
SIL 1	$\geq 10^{-6}$ up to $< 10^{-5}$
SIL 2	$\geq 10^{-7}$ up to $< 10^{-6}$
SIL 3	$\geq 10^{-8}$ up to $< 10^{-7}$

表 3-1 确定SIL的表格

验证安全系统 (EN ISO 13849-1) 的安全性能 (PL)

为了验证安全性能, 必须先确定相应安全功能要求的安全性能。如果安全功能是由多个子系统组成, 这些子系统的安全性能必须等于或大于上述安全功能的要求。
推荐使用经验正的子系统, 因为安全性能对这些子系统已经有规定。

使用经验正子系统的安全系统安全性能 (PL) 的步骤如下:

1. 按照一般失效的检查列表, 确定系统的一般失效的安全程度

一般失效列表 (CCF) 可以在标准EN ISO 13849-1:2008 附录 I 当中

找到。

最小值是65分。

2. 根据已建立的柱状图标确定获得的安全性能：

- 种类，
- 平均危险失效时间 ($MTTF_d$)，和
- 全面诊断(DC)。

$MTTF_d$ 是危险失效发生的平均时间。DC表示可以通过诊断检测到的危险失效的次数。

更多和计算相关的信息细节可以在在标准EN ISO 13849-1当中找到。

3. 在PL图当中输入结果数值，可以确定PL。

验证PL的例子：
验证电机旋转轴功能安全系统：

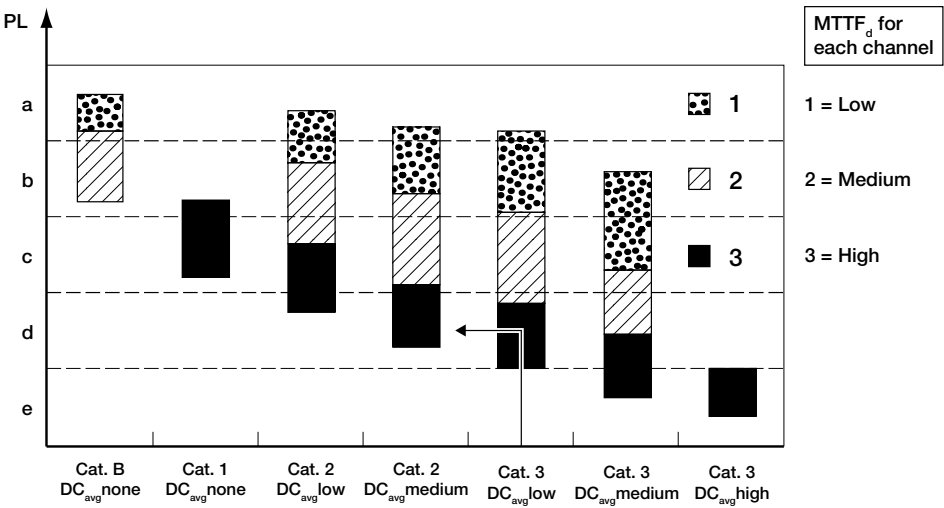


图 3-8 确定PL的例子

上面例子的安全表现水平如下：

- 结构是类别3，
- $MTTF_d$ 是高，
- DC 平均数值低。

系统满足PL数值d。

通过PFH_d 数值确定PL

PL	每小时危险失效时间发生可能 (1/h)
a	$\geq 10^{-5}$ up to $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ up to $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ up to $< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ up to $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ up to $< 10^{-7}$

表 3-2 确定PL的表格

对比SIL和PL
虽然两个标准的评价体系完全不同，评估结果在随机硬件失效方面是相似的。

安全完整性等级SIL	表现水平 PL
无对应	a
1	b
1	c
2	d
3	e

表 3-3 SIL和PL对比表

步骤7：验证功能安全系统

每一个安全功能都必须通过验证，以确保对降低在风险评估环节得出的风险是有效的。

为了确定功能安全系统的有效性，在系统进行符合机器安全指导的EHSR要求的风险评估过程的时候，就必须进行系统检查。

步骤8：功能安全系统的文件化

在机器符合机器安全指导要求之前，必须准备机器设计文档和用户手册。

文档必须精心准备以备查阅。

文档必须准确、简练，同时又必须信息完备方便用户理解。所有危险都必须在用户手册中注明，并且提供机器安全操作的指导。

文档必须方便查阅和保存。

用户手册随机器发给用户。

更多关于文档的信息，参见机器安全指导EHSR的附录 I 部分。

步骤9：符合性验证

在一台机器上市销售之前，制造商必须保证机器的应用满足安全标准的要求。还必须证明机器的安全相关部分的安全功能组合满足设计要求。

证明机器符合安全指导的步骤如下：

- 机器满足机器安全指导规定的相关重要健康及安全（EHSR）要求。
 - 机器满足其它相关指导的要求。
 - 这些要求的符合性可以通过相关标准提供的指导来验证。
 - 技术文件实时更新并且易于获得。
- 技术文档包括表明机器符合机器安全指导相关规定的部分。

注意：

技术文档的缺失可以被认为机器不符合EHSR。

技术文件的内容必须涵盖设计、制造和机器操作，这些对机器的符合性验证要求都是必须的。更多相关信息可以参见机器安全指导98/37/EC的附录VI部分，或者在新的指导生效之后参见新机器安全指导2006/42/EC的附录VII部分。

- 必须已经进行符合相关标准的符合性评估过程。对机器的特殊要求满足机器安全指导的附录IV部分。
- 必须给出EC符合性声明，并且随机器发货。

符合性通过后, 可以使用CE标志。

带有CE标志和EC符合性声明的机器是一定符合机器安全指导要求的。

CE 标记

机器或其它在欧盟经济区（EEA）销售的商品强制遵照的标准。对于带有CE标志的产品，制造商保证产品符合相关欧盟标准的特定要求。

CCF，一般失效

一个事件导致多个子系统失效的情况。所有的失效因事件本身引起，并不会顺序发生。

DC，全面诊断

全面诊断（DC）对监视系统或子系统故障是很有效的。它可以用来表示可检测危险失效的发生频次或者所有危险失效率。

EHSR，重要健康和安全要求

机器必须符合欧盟机器指导要求，并且获得CE标志。这些要求参见机器指导附录I的列表。

EN

表示“EuroNorm”。该前缀表示一组标准。

Harm

身体伤害或健康伤害

Harmonized standard

欧盟委员会或EFTA秘书处为了支持指导的深层次要求在欧盟法律许可范围内制定的欧盟标准。

Hazard

伤害源（危险）。

IEC，国际电工协会

由各个国家电工协会组成的国际标准化组织
www.iec.ch

ISO, 国际标准化组织
由各个国家标准化成员组成的联合组织。
www.iso.org

MTTF_d, 平均危险失效时间
危险失效发生的预期时间。

PFH_d, 每小时危险失效发生的可能性
危险失效平均每小时发生的可能性。**PFH**数值在安全功能当中决定**SIL**或**PL**数值。

PL, 安全性能
安全性能 (a, b, c, d, e) 代表了一个安全系统在已知条件下的安全功能的表现。

PL_r
要求的安全性能 (基于危险评估)。

Risk
伤害发生的可能性和伤害程度的组合。

Safety function
该功能设计用于增加机器的安全性。该功能失效会导致伤害风险快速增加。

SIL, 安全完整性等级
安全完整性等级 (1, 2, 3, 4) 表示一个电气安全系统在已知条件下的安全功能。在机器当中仅使用1-3。

SILCL, **SIL** 限制性声明
在考虑结构约束和系统安全完整性之后, 对一个电气安全系统的最大安全安全完整性等级 (**SIL**) 声明。

Subsystem
安全功能的一部分, 有自己的安全性能 (**SIL/PL**), 会影响整个系统的安全功能。如果一个子系统失效, 则整个系统的安全功能失效。



北京ABB 电气传动系统有限公司
中国，北京，100015
北京市朝阳区酒仙桥北路甲10号D区1号
电话：+86 10 58217788
传真：+86 10 58217618
24小时×365天咨询热线：(+86) 400 810 8885
网址：<http://www.abb.com/motors&drives>

3ABD0000048753 REV A 中文
基于:3AUA0000048753 REV A 英文
生效日期: 2010-07-01



北京ABB 电气传动系统有限公司
中国，北京，100015
北京市朝阳区酒仙桥北路甲10号D区1号
电话：+86 10 58217788
传真：+86 10 58217618
24小时x365天咨询热线：(+86) 400 810 8885
网址：<http://www.abb.com/motors&drives>

3ABD64514482 REV A 中文
基于: 3AFE64514482 REV D 英文
生效日期: 2010-11-17