

船用变频器技术指南



MT02 • 2006.3

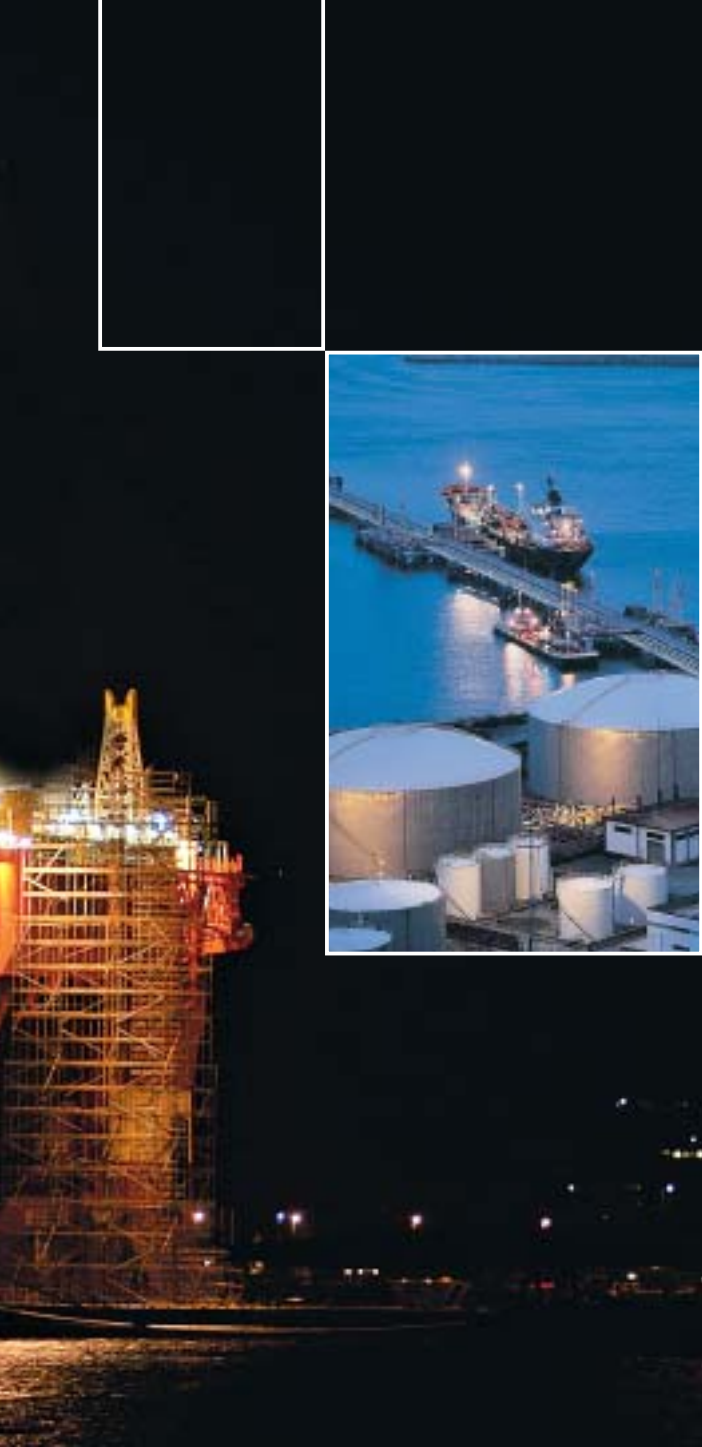


marine EQUIPMENT



SIEMENS





目录

1	概述	4
2	船用变频器技术说明	5
	西门子船用变频器	5
	由船用变频器控制的交流电机	5
	船用变频器运行概览	6
	电网下的船用变频器负载	7
3	船用变频器的应用	7
	柴电推进系统中使用的船用变频器	7
	助推器	9
	货物泵	9
	绞车	11
	推进器	12
	风扇和冷却系统	13
	其它应用	14
4	其它问题	15
	节能	15
	带节流阀控制泵的特性	15
	带转速控制泵的特性	15
	电磁兼容性 (EMC)	16
	谐波电流和调谐滤波电路	17
	谐波对电网的影响	17
	具有三种总线通讯方法的船用变频器	18
	使用 PROFIBUS 进行通讯	18
	通过西门子 DRIVE-CLiQ 进行驱动器之间的通讯	18
	通过个人计算机进行调试和维护	19
	动态负载限制 (DLL)	19
	总结	20

概述

目前，船舶工业正面临着日益艰巨的挑战，特别是在节能和环保方面。在此背景下，潜伏着诸如二氧化碳负荷以及对未来十年时间内燃油成本的可怕预测等政治敏感问题。

因此，政府部门和船舶公司越来越关注降低环境风险以及节省能源等航运理念。

在各个运营阶段都具有较高燃油效率的船舶将日益受到人们的欢迎，并具有很大的未来发展潜力。此外，对可靠性、冗余能力、机动性以及较长维护周期和较短维护响应时间的要求变得越来越严格。其中的部分要求可以通过控制电机转速来简单实现。在本指南中，将简要向您介绍变频器的工作原理、结构以及应用。在与变频器连接之后，交流电机就具有了独特的性能，表现在其转速可以为从静止一直到超出其额定转速的数值，并且可以进行精确的转矩控制。

船用变频系统因其均匀的全功率范围输出而体现了一种全新的概念。

船用变频器的调节和控制性能允许将同一类型的变频器用于船上的所有驱动装置。船用变频器和电机甚至可以方便地代替液压控制设备。



本手册将使您了解船用变频器在船舶上的大多数应用，并指出使用它们优势所在。它将向您介绍在指定应用中船用变频器的性能，并提出了相应的解决方案。同时，我们还将探讨将船用变频器集成到自动化系统中的可能性。

一般来说，任何变频器都会引起电源电压的失真，因此会对其它船上设备造成干扰。我们将通过选择性地使用船用变频器配置来说明如何避免这种干扰，并向您说明可以对此加以改进的空间。

船用变频器 技术说明



船用变频器

西门子船用变频器

对变频器的要求随功能、所需的检测和整个功率范围内控制的一致性的不同而不同。变频器还应该可以连接各种系统电源电压。西门子新型船用变频器系列专门为船舶市场而设计，符合所有相关要求。

西门子的船用变频器还可通过特有的整流单元(AFE)提供纯正弦波电流，因而将总谐波失真降低到低于1%。

所有船用变频器都具有以下性能：

- 使用IGBT技术的变频
- 一致性控制概念
- 同种类型控制面板
- 相同的电子解决方案和基本功能
- 相同的控制功能连接
- 相同的调试技术
- 供个性化应用的开放式软件

某个变频器中所具有的一个功能(一个参数值)在该系列中的所有其它变频器上具有完全相同的含义。这同样也适用于信号终端及其分配。同时还适用于对故障的诊断存储、跟踪和反应等功能。所有变频器对控制命令的反应方式是相同的。这对于用户来说是一个重要优势：如果您会使用某个船用变频器，您就会使用所有其它变频器。西门子的船用变频器是市场上第一个使用相同的变频器原理来覆盖所有应用类型的变频器的。其中，最小的变频器可驱动泵和风扇，而较大一些的变频器可驱动横向推进器和主推进电机。而所有变频器的操作和维护都是相同的。

由船用变频器控制的交流电机

使用脉宽调制(PWM)技术的变频器可为控制交流电机提供最适宜的技术性和经济性解决方案。新的IGBT晶体管技术元件有利于对交流电机驱动器进行控制。高度集成化的微电子元件具有强大的计算功能和近于无限的存储能力，可以实现强大而复杂的功能，并且成本低，对空间要求也不高。

交流电机的转速控制在所有工业部门中已成为一个主要的革新项目，极高的革新速度将会引起对这种驱动系统需求的进一步增长。

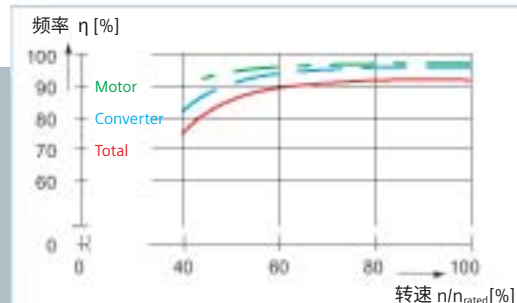
转速控制驱动装置的性能取决于传输到被驱动机器的动力(转矩)的精度和动态性能，同时还取决于对转速调节进行控制的精度。另外，取得最高效率并将功耗降到最低也是至关重要的。

今天，在驱动现代机器设备时不使用速度控制驱动器是几乎无法想象的。在对新的电机驱动技术进行投资时，必须要评估经济和技术条件。

如果不考虑电机和变频器的效率，主动力源的负荷在任何时候就仅为工作机器所需的有效动力。甚至电机在部分负荷区域中运转时情况也是这样，即具有相对于电源的整功率因数。

船舶上的电站受无功功率影响较小，因此无需对此加以衡量。下图显示了一台电机和一台变频器在整个转速范围内的典型效率因数，其中在所有转速下都具有恒定负荷转矩。船用变频器使用脉宽调制(PWM)技术，可以使所连接的电机在整个转速范围内保持很高的效率和转矩。

一台船用变频器控制的电机在整个转速范围内的效率曲线



像柴电推进系统这样的大型驱动装置通常从三台或更多柴油机发动机获得所需的电能。在这方面，通过调整发电机组并车台数来提供当前所需推力和船上其它设备所需能量，就可能节约巨大的能量。不再需要使用辅助柴油机发动机，维护计划也变得更加简单。

使用柴电推进系统，可以对重量和体积都很大的部件进行灵活、最佳定位，同时还会降低对面积和空间的总体需求。同时，改进的系统计划将会使运作成本降低。

在冷却水泵和风扇上面也存在着巨大的节能潜力，因为它们的尺寸大小是根据与温度有关的类别要求确定的。由此使得那些由系统过量输送空气和水而消耗的能量得到合理运用。多年以来，空气和水的温度大大低于用作分类要求基础的标准。对带有集成温度调节的船用变频器的投资很快就会得到回报。

对于绞车、推进器、卸料泵等其它应用，船用变频器控制的交流电机与液压系统相比，会表现出较好的工作特性。

船用变频器可以对转速进行精确调节，并使电机产生精确的预设转矩。结构坚固的鼠笼式电机可以得到控制，在从静止到超过额定转速范围内提供均匀的转矩。

转速控制电机驱动系统具有以下优势：

- 投资较低
- 在部分负载范围内时，节约能量
- 维护成本较低，因为受控制的电机运转减轻了机器和材料磨损
- 与液压和柴油解决方案相比节省空间

技术更佳的过程解决方案：

- 工作可靠性提高
- 磨损低、维护少
- 监控和操作简单
- 故障诊断快速而安全
- 经济而用户友好的操作



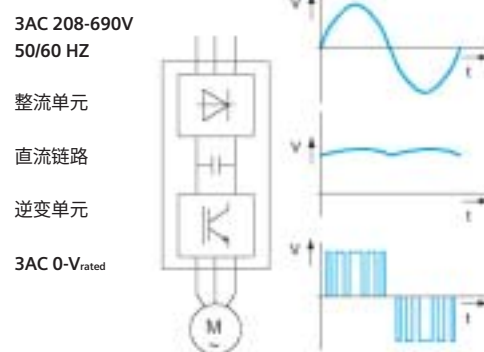
豪华游艇的柴电推进系统

船用变频器运行概览

变频器的作用是将电源(交流电源)的固定频率和电压转换为一个可变的频率和电压以便驱动电机。电机的转速将随频率的改变而线性变化。为了对电机转矩进行精确控制，在电机的整个转速范围内保持电压与频率比的恒定十分重要，即使 $V/f \sim \phi = \text{常数}$ ，其中 ϕ 为电机的磁通量。

船用变频器的整流单元将交流电压转换为一个恒定的直流电压，交流逆变单元的作用是将这一直流电压转变为一个可变的交流电压。船用变频器可以通过一种几乎无损耗的方式来进行这种能量转换。船用变频器的工作效率在 97-98 % 之间。由二极管和晶闸管组成的电源整流单元执行这项工作，它可以确保电源提供的电流与电源电压保持同相，即船用变频器将只获取电源的有功功率(即几乎为整功率因数)而不需要无功功率。如果忽略电机和船用变频器的效率因素，电机驱动器将只获取被驱动负荷在各个时刻所需的有功功率。这同样适用于电机在部分负荷范围内工作时的情况。

与其它形式的驱动器相比，转速控制鼠笼式电机在整个转速范围内具有非常高的效率。



带电源整流单元、中间电路和交流逆变单元的脉宽调制船用变频器的结构

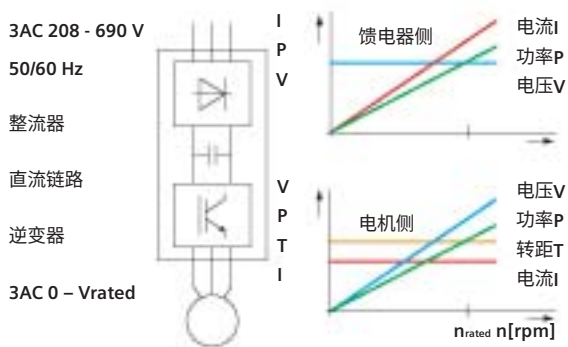
电网下的船用变频器负载

下图说明了一台由船用变频器控制的电机驱动器的原理。两个图显示了提供给电机或被驱动机器的电流、电压和功率，以及在电源侧作为电机转速的函数的相应条件。此处的条件是，被驱动的机器在整个转速范围内需要恒定转矩 T 。

转矩 T 和功率 P 之间的物理关系为：

$$T \text{ [Nm]} = 9.55 \cdot P \text{ [W]} / n \text{ [rpm]}$$

从此式中可以看出，在保持转矩恒定时，输出功率 P 将随电机转速 n 线性增加。由于船用变频器的控制系统可确保电机在恒定磁通量 Φ 下工作，因此，电机电流将与转矩 T 成正比，也就是 $I \text{ [A]} \sim k \text{ [Nm]}$ 。恒定磁通量 Φ 的条件是，实际电压 V 随频率 f 成正比增加，即 $V/f \sim \Phi = \text{常数}$ 。基本物理定律表明， P 为电压 V 和电流 I 的乘积，即 $P = V \cdot I$ ，这种关系从图上可以看出。



在恒定转矩负荷电机的整个转速范围内电源和电机的功率和电流负荷

请注意，在工作机器的转速保持恒定时，变频器供电侧的物理因素是如何作为转速函数变化的。在忽略效率时，来自电源的吸收功率 P_i 一定与电机的输出功率 P_o 相同。

由于电源电压 V 保持恒定并且必须符合物理条件 $P = V \cdot I$ ，船用变频器从电源获得的电流 I ，将与电机转速成正比增加，即使在电机电流 I 和转矩保持恒定的情况下。这两个电流只有在额定电机转速下才相同。在给定的物理条件下，当转速或负荷较低时，电流负荷会非常低。直接从电源启动电机时，电机电流将达到额定电流的 6-7 倍。使用船用变频器时，电源电流只是额定电机电流的一部分。这意味着可以将由船用变频器控制电机引起的电源电压降落忽略，而不管该电压降落有多大。

船用变频器的应用

柴电推进系统中使用的船用变频器

对于多数类型船舶，柴电推进系统在技术上、运行上和经济性上要优于传统的柴油系统。

使得柴电推进系统富有吸引力的五个最为重要的方面为：

- 维护工作减少
- 可靠性增加
- 操控性能更佳
- 对环境更加友好
- 可观的节能效果

柴电推进系统通常配备有两个螺旋桨和三个或更多发电机，使其具有很高的可用性。根据船舶类型(如大型渡船)，采用一个或四个螺旋桨的系统是很常见的。

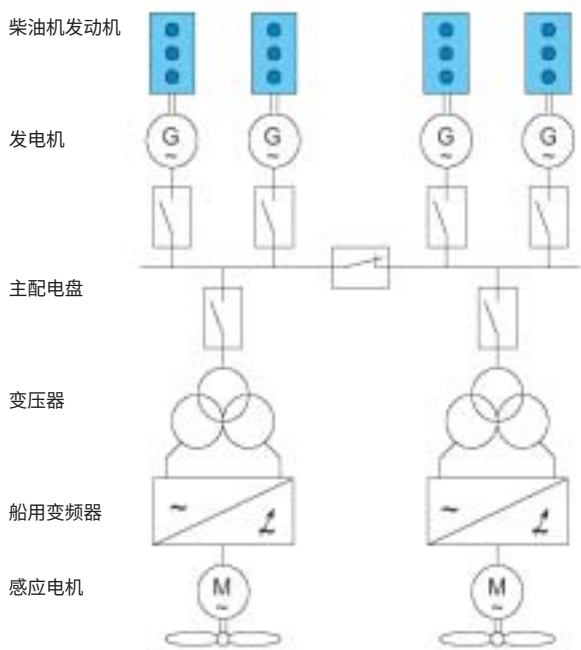
一个由四个柴油发动机组成的系统通常最为灵活。同时使用的发动机数量取决于所需的推动力和螺旋桨的转速。这就是说，运转的发动机数将被限制在恢复能量平衡所需的实际数量。当三台柴油发动机同时运转时将达到最高的可用性，船舶可仍保持其最高转速的 90%。有了这种系统，辅助柴油发动机就成为多余的了。这意味着可在不损害系统可靠性的情况下，进行有计划的维护。

在船用变频器使用一个三绕组前变压器的大型推进系统中，一个专用的前馈电系统可用于为船用变频器的 DC 连接电路供电。

如果使用有源前端 (AFE) 作为馈电系统，当线电压等于驱动系统的输入电压时，就不能使用输入变压器。在此馈电系统中，不仅谐波失真极低(低于 1 %)，而且还可对输电线路进行功率因数补偿。

电机机房 - 每台 3 MW





带有数个发电机和两个推进螺旋桨的柴电推进系统

在柴油发动机转速可以变化的传统推进系统中，燃油消耗量会随发动机转速的改变而变化(请参见第 5 页的图)。通常在较小的船舶上采用这种系统，船的速度不是由可调螺距螺旋桨控制，而是由发动机的转速控制。对于每个特定转速，都有一个最佳燃油消耗点，在这种推进形式下不会经常达到此最佳点，因为它只与船的一个固定速度有关。

在柴电推进系统中使用了变速驱动器后，船的速度既不是由可调螺距螺旋桨来调节，也不是由柴油机发动机的转速来调节，而是由船用变频器和电机进行调节。

因此，柴油发动机这个船上的主动力装置总可以在最佳燃油消耗点处运转。

其结果是：

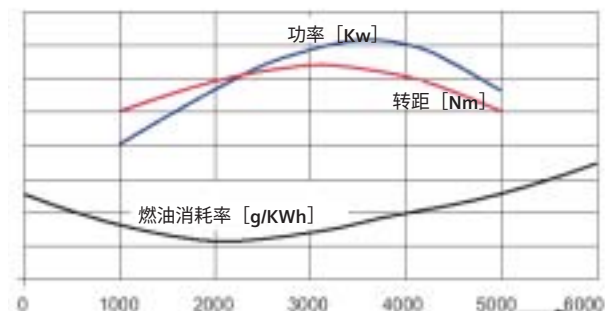
柴油发动机内部会产生较少积碳，因而需要的维护较少。

可以使用价格较低的小型、高速柴油发动机。

燃油消耗降低。

总体上看，将使成本降低。

燃油消耗与转速的关系



柴电推进系统的优点

成本较低

- 用于发电的柴油发动机具有最合理燃油消耗
- 因在转速和负荷范围方面达到最佳运转而生成较少积碳
- 在整个转速范围内具有高效率因子
- 柴油发动机的最佳运转使维护时间间隔延长，从而降低了维护成本
- 为制定维护计划提供了更好的条件
- 维护所需的停机时间降到最低
- 可灵活使用发电机

运转可靠性

- 模块化结构和冗余系统可使推进总损耗降到最低
- 从根本上减少了移动机械部件的情况
- 十多年使用成熟电气部件的经验
- 通过使用带固定螺旋桨的柴电系统而不是带可调螺距螺旋桨的传统系统，可大大延长平均无故障时间 (MTBF)。

灵活性

柴电推进系统的模块化结构允许将船上设备灵活布置：

- 没有长螺旋轴
- 柴油发动机的位置更加合理
- 对空间和面积的要求降低
- 在选择柴油发动机转速时具有灵活性
- 易于建造分段式发动机房

有一台用于船首推进器的 736 kW 电机和一台用于伸缩式方位角螺旋桨的 900 kW 电机的推进装置室

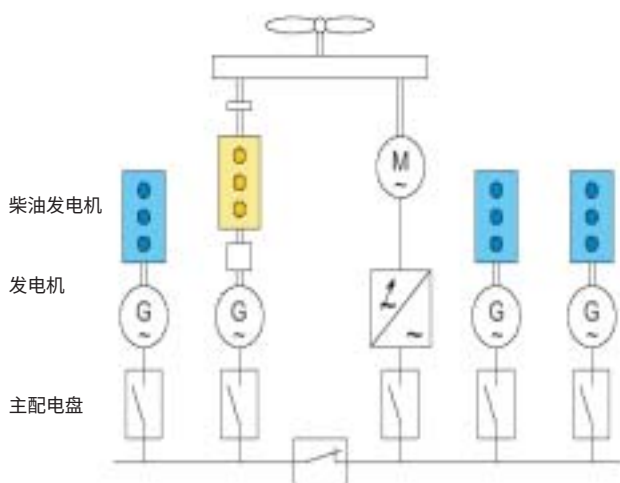


用于助推器的变频器

助推驱动器通过在主发动机上结合使用电动机来增加船只的主动力推进。

它们可在加速时支持船舶的柴油发动机，在整个转速范围内辅助它，确保发动机始终保持高转速，并提高其效率。

下图是在电气系统中实现的助推驱动系统的示意图。



带 3 个辅助发电机的助推驱动系统示例

助推驱动器可在以下条件下运转：

- 主发动机出故障。这时船只的螺旋桨推进器由助推驱动器控制。
- 当船只缓慢行驶时，可以将主发动机关闭，推进动力由助推驱动器提供。
- 当主发动机在标称功率下运转，速度必须增加时。

此装置的突出特点：

- 主发动机和主发电机的尺寸可以较小，因为附加推进力可由助推器提供。辅助发电机也可得到最佳利用。
- 能耗较低，特别是在部分负荷时。也可以在船只慢速行驶时，通过将主发动机关闭而节约燃料。
- 由于辅助发动机在最佳条件下运转，并且在速度较低、需要动力较少时将不使用主发动机，从而减少了维护工作。

用于货油泵的船用变频器

在运送货物时，我们需要用到船舶装货和卸货的设备。

例如，这些设备可以是用于油船、化学品运输船或食用油运输船的泵驱动器。

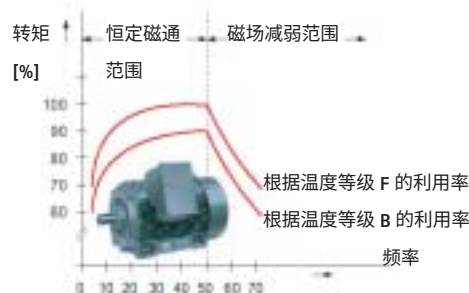
由于船用变频器具有模块化的设计，因此可以根据泵的数量、尺寸和同时性因子来对泵进行量身定造。带有相关电机的泵驱动器位于泵房中，或者所使用的长轴泵连同其电机被布置在甲板上。

布置在甲板上时，电机必须具备 IP56 防护等级(防护大量海水冲击)，并且通常还要具有防爆设计。使用船用变频器的转速控制泵驱动器具有更高的灵活性和效率，并且与液压传动泵相比，噪声较低。

同时，可以将与泵控制有关的特殊“技术软件”作为此解决方案的一部分，用于对泵进行保护，并使总的泵系统获得更高的运转效率。

船用变频器同时提供转速和转矩控制，当选用热裕量设计较高的交流电机时，这种泵系统可以取得非常高的灵活性。

下图显示了西门子交流电机与船用变频器结合使用时，可以获得的高转矩(转速甚至高于额定电机转速)。



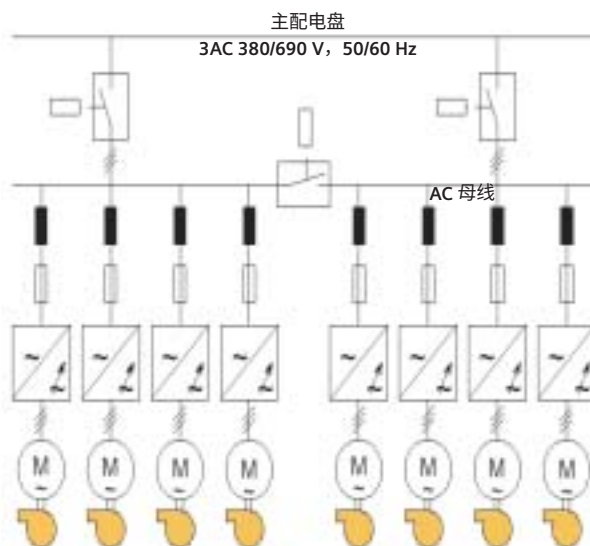
自冷式鼠笼型电机典型转矩与转速关系特性曲线

单机传动系统

为货油泵供电的船用变频器输入功率来自主配电盘上的一个断路器。每个货油泵都有其自己的船用变频器，并且每个变频器都被单独控制的。船用变频器通过通常的 I/O 信号或通过串行通讯通道(如 PROFIBUS、Ethernet 和 CAN-Bus)与自动化系统进行通讯。

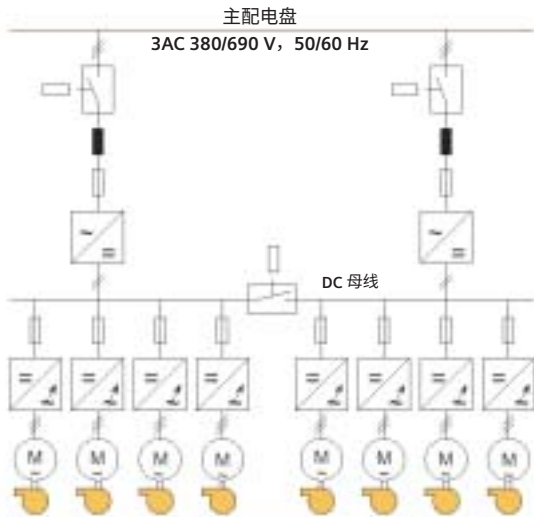
船用变频器可以构成主配电盘的一部分，或者安装在独立控制柜或控制柜系统中。

单机传动系统的货油泵



直流母线系统

特别是在多台泵不需要同时运转的场合，通过两个整流器或有源前端对船用变频器供电是可以实现的。整流器或有源前端通过一个 DC 母线轮流为每个变频器供电。整流器的尺寸应该根据泵的同时性因素确定，而不是根据泵的总装功率。这种系统的优点是，包括船用变频器在内的主配电盘的总尺寸实现了最优化。



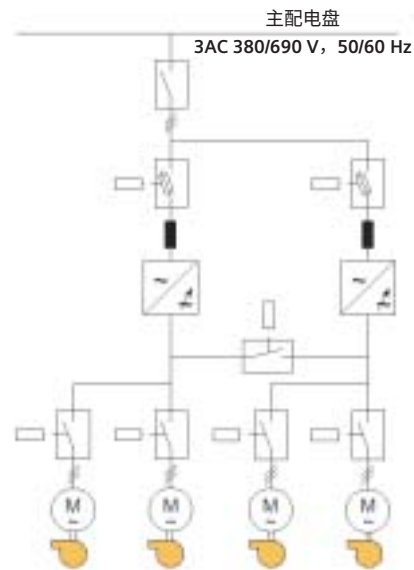
具有直流连接系统的货油泵

交叉连接的交流连接低压驱动器

一个船用变频器可以为多台货油泵供电，但本身却被单独控制。船用变频器的功率取决于泵的功率、可以投入运转的泵数量以及是否需要在正在运行的变频器上来启动一台泵。例如，可以通过选择船用变频器来控制一台船用变频器上的两种不同的电机额定功率。

所有接触器(输出和互连)和与泵有关的“技术软件”都通过低压驱动系统内的 PLC 和过程功能由船用变频器本身进行控制。而且，与自动化系统进行连接也是可能的。

为了取得泵驱动系统的最高利用性，在低压驱动控制柜的前面有一个紧急控制按钮。这样，万一整体自动化系统出现故障，也仍然可以对储槽进行卸载。



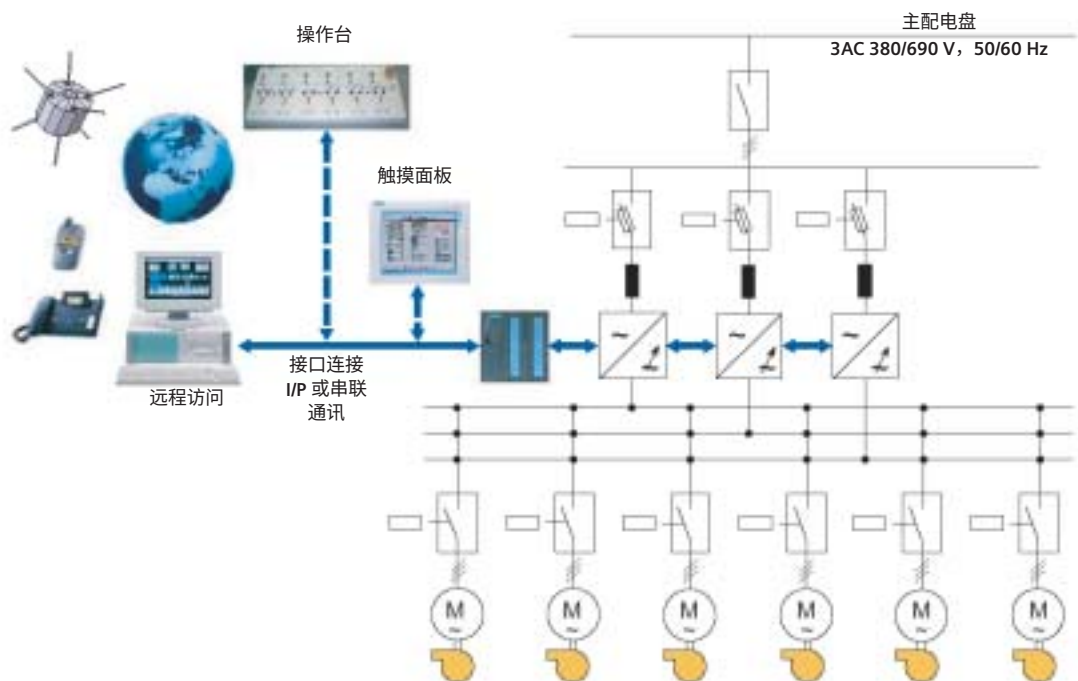
交叉连接泵驱动器的示意图

每个低压驱动系统的互连，可以获得泵系统的最高利用性。在一台船用变频器出现故障的情况下，可以将一个连接移到另外一台船用变频器以保证将储槽卸载。因此就获得了泵系统的最大可用性。

所有接触器(输出和互连)和与泵有关的“工艺软件”都通过低压驱动系统内的 PLC 和过程功能由船用变频器本身进行控制，并且可以与自动化系统相连接。

货油泵的控制柜





矩阵连接泵驱动系统的示意图

矩阵式连接的单机传动系统

每个低压驱动船用变频器的输出都被连接到一个接触器矩阵。

所有低压驱动变频器通过一个SIMATIC PLC由PROFIBUS进行控制，SIMATIC PLC可以：

- 通过分布式 I/O 模板控制矩阵中的接触器。
- 在变频器前面的触摸面板上进行控制，可选择有关系统状态的驱动系统信息以及显示的模式。
- 通过 I/O 信号或串行通讯连接(如 PROFIBUS、CAN-Bus 和 Ethernet)与整个自动化系统接口连接(例如货物处理计算机)。
- 使用操作员面板，通过 I/O 或串行通讯总线进行接口连接。
- 使用触摸面板，通过串行通讯进行接口连接。
- 通过远程访问来加快诊断、缩短停机时间、降低维护成本。
- 易于升级或添加附加服务。

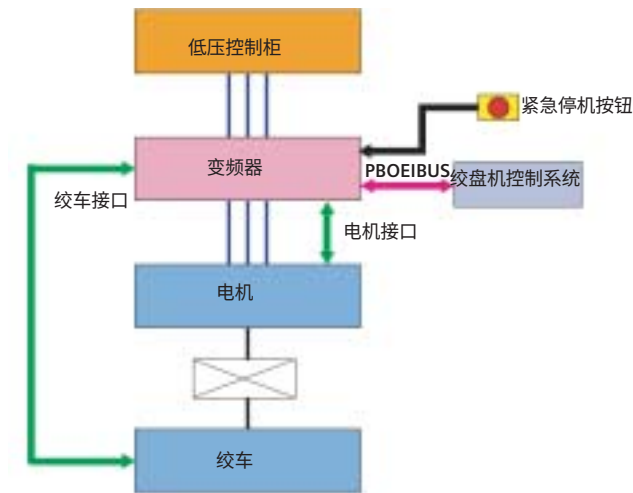
这种矩阵组合具有极高的灵活性和可用性。

用于绞车的船用变频器

现在多数绞盘机、系泊绞车等还是配备液压驱动系统或换极电机驱动系统。

使用鼠笼电机和船用变频器的绞车，工作性能提高了，总体运行得到简化。坚固的鼠笼电机具有两倍于额定转矩的停止力矩，同时，最大转速可达额定转速的 2 到 4 倍。使用船用变频器的绞车驱动器通过船用变频器的矢量控制而使控制能力提高并具有可选特性，因为在从 $n = 0$ 起的整个转速范围内对转速和转矩的精确控制得到了保证。

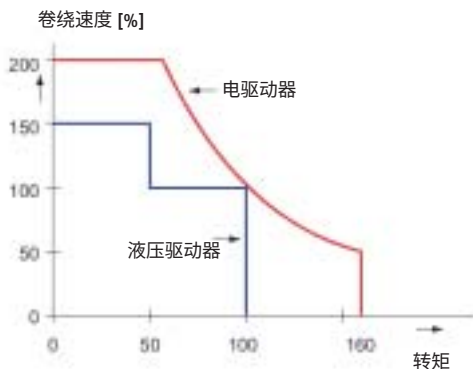
对于大多数绞车来说，船用变频器将配备装有应用导向软件的工艺板。其中，工艺板负责所有高级转速和转矩控制，并负责对抱闸进行控制。它还将连续监视制动力与所需转速的关系。



绞车控制原理示意图

使用船用变频器时，电气制动可以如下进行：

- 电气制动能量被反馈回交流电源。前提条件是交流电源能够接收多余电能，即必须连接其它大型负载。
- 电气制动能量被一个制动电阻吸收。在长时间制动时，大量热量会从该电阻上散发，因此与以前的制动方法相比需要更多空间。



绞车应用中液压驱动器与船用变频器控制电机的特性比较



300 kW自航式挖泥船上的绞盘机

使用船用变频器时，对绞车的控制要求与对起重机的要求类似，不管是抓斗起重机还是集装箱起重机。在起重机上一般要使用多个电机驱动器，例如用于主起重、辅助起重、起重机机架移动以及横向移动等。

鉴于电源负荷和电机同时性因子，最为紧凑的船用变频器系统配置是使用一个公共电源整流器，通过一条直流母线为所有变频器供电。整流器最好为制动能量反馈型，或者具有一个安装在直流母线上的共用制动斩波器。直流母线随后可作为一个平稳能量的连接。

用于推进器的船用变频器

多数船首推进器现在配备的是液压驱动系统。

这种液压驱动系统包含一台固定转速电机，可以以固定转速来驱动推进器。水流的控制是通过液压系统改变螺旋桨的螺距进行的。

在使用船用变频器时，可以在保持螺距固定不变的情况下，在很宽的范围内改变推进器的速度。换言之，通过推进器的水流是由电机的转速控制的。对推进器的完全控制是船用变频器的一部分功能。

对于舵桨装置，船用变频器也同样是一个最佳的解决方案。

两种运动(推进器的旋转和速度控制)都可由驱动器进行控制。

风扇和冷却系统中使用的船用变频器

在多数船上，具有大量用于各种用途的泵。冷却水泵的尺寸经过特殊设计，在 32°C 至 38°C 水温范围内达到其额定输送能力。这意味着在温度较低的水域使用时，大量不必要的冷却水被泵送过系统，从而造成很高的能量浪费和机械设备的磨损。

举例来说，用于输送水果的船只需要非常稳定的温度。在通过温度发生变化的气候带时，由船用变频器控制的冷却系统可确保恒定的贮存室温度。

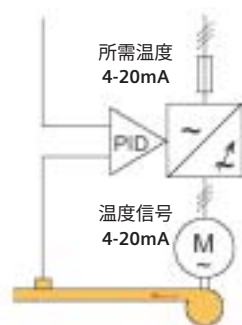
在客船和游艇上，大量的能量用于通风和空调系统。在日夜交替以及不断改变的环境温度下，对这种系统的电机功率要求也会不断发生变化。

有了温度控制以后，维持所需的温度，仅需使用必要的电机能量。

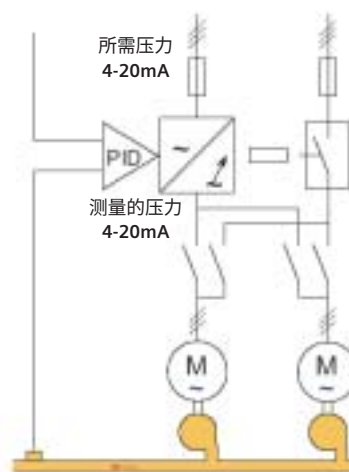
使用船用变频器来调节发动机房温度经证明同样可以节约大量能量。

多数泵和风扇系统经过几个月的节能运转就会取得投资回报。除此以外，这种运作方法还具有磨损低、维护量小的优点。

上面的第一个图显示了一台温控泵的主要情况。泵后面的温度使用一个可提供 $4\text{--}20\text{ mA}$ 输出信号的传感器进行测量。船用变频器具有内置的PID调节器，可用于控制温度、容积、压力液位等。在上图中，所需温度是以 $0\text{--}10\text{ V}$ 、 $0\text{--}20\text{ mA}$ 或 $4\text{--}20\text{ mA}$ 的信号输入的。船用变频控制器可使交流电机以达到理想温度所需的转速进行运转。



使用船用变频器进行泵的温度调节



通过船用变频器对泵进行控制，多台泵平行运转，仅有一台具有转速控制

在两台或更多台泵或压缩机并行工作时，实际上只有一台需要转速控制，而其它的可直连接或脱离电源。这种情况下的船用变频器都配有应用软件。

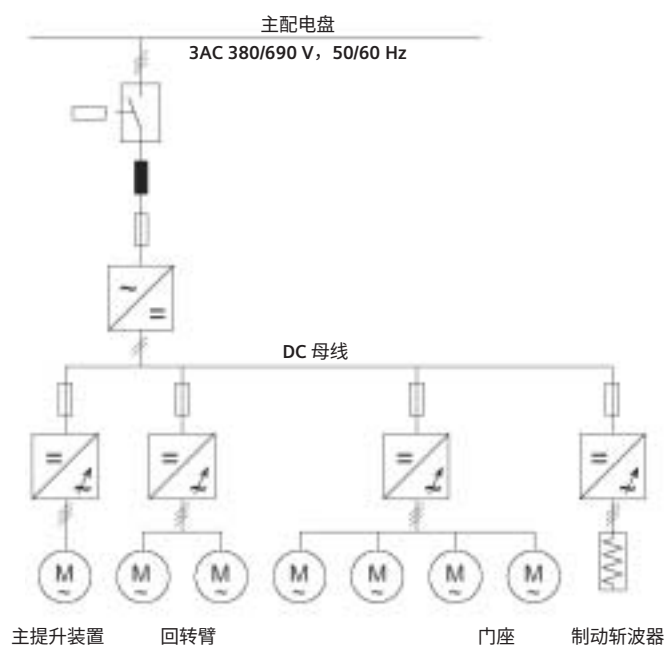
此软件可以对船用变频器以及直接受交流电源驱动的泵进行完全监控。当船用变频器以最大转速驱动由它控制的电机，并且任需要更高的体积或压力时，船用变频器会直接联机切换下一台电机。船用变频器此时会在直接连接电机的加速期间，自动降低由其控制的电机的转速，因此可以防止管道系统内发生压力波动。

用于船上货油泵、海水冷却泵和通风的货船变频驱动器



用于其它应用的船用变频器

船用变频驱动器也可用于其它应用，如起重机和传送带等。特别在需要使用转速或转矩控制的驱动器时，船用驱动器将是最佳的选择。有了开放式软件功能，通过使用该软件，船用变频器将轻松用于个性化的应用。



用于起重机的船用变频器的原理示意图



节能

在船舶工业中，燃料消耗是运营成本的一个重要组成部分。特别是在石油价格不断上涨的情况下，船只的燃料消耗是要在成本核算中优先考虑的一个问题。

因此，节能降耗是降低船只燃料成本的一个十分具有吸引力的方法。

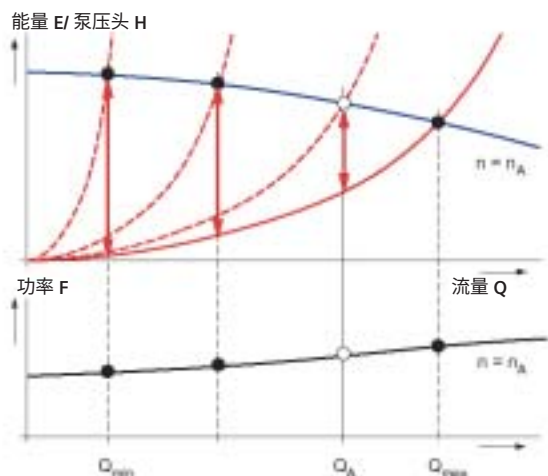
通过使用西门子的船用变频器，可以大大节省能量消耗，特别是在泵及风扇在部分负荷下运转时。

下图所显示的是使用截流阀控制与使用变速控制的泵运转的对比。

使用节流阀控制泵的特性

泵将输送由泵特性曲线(蓝色)决定的能量 E ，而装置(冷却或加热回路)仅需要由装置特性曲线(红色)显示的能量。它们的能量差(红色箭头)必须被“截流”掉，这就是被浪费的部分。

在输入处的能量消耗是大至相同的，使用截流阀就意味着在输出处要有机械控制。



图例

蓝色：泵特性曲线
红色：过程特性曲线

红色箭头：被“截流”的能量
黑色：功率消耗

下图显示了泵特性曲线(蓝色)，各种装置/过程的曲线(红色)，以及使用截流阀控制所获得的曲线。

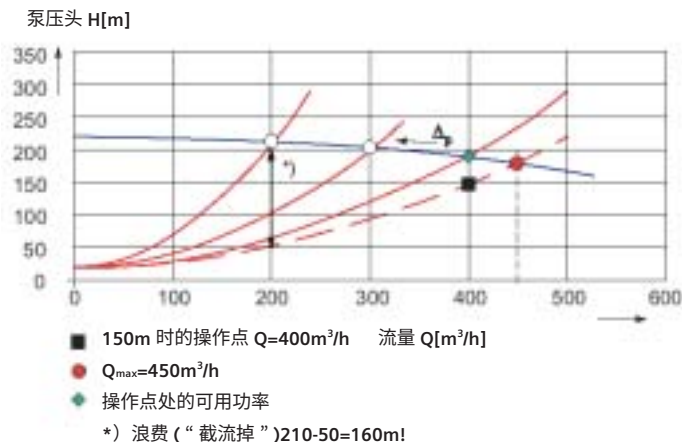
未经利用的压头差造成了能量的浪费。

示例：必要流量 $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ：

50 m 压头(等效势能)下必要的 $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ ，但泵在 210 m 压头(等效势能)下能提供 $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ，结果：

浪费掉 $210 - 50 = 160 \text{ m}$ 的泵压头，换言之， 160 m 的等效势能被浪费掉(请参见上图)。

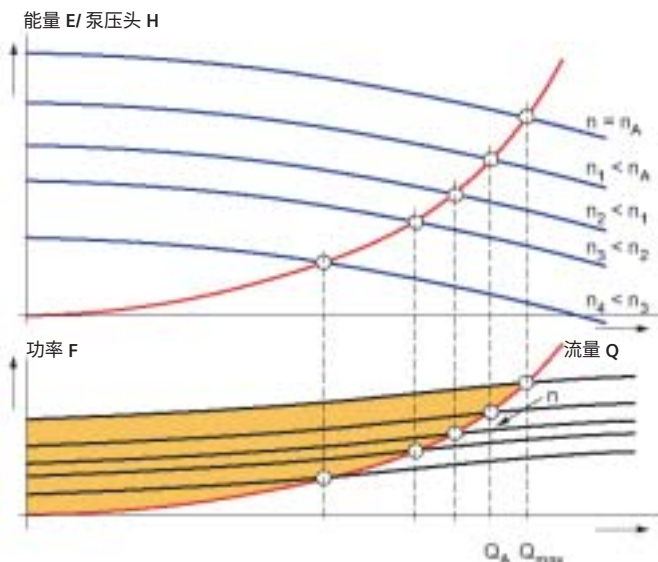
其它问题



截流阀控制：沿泵特性曲线(蓝色)

使用转速控制泵的特性曲线

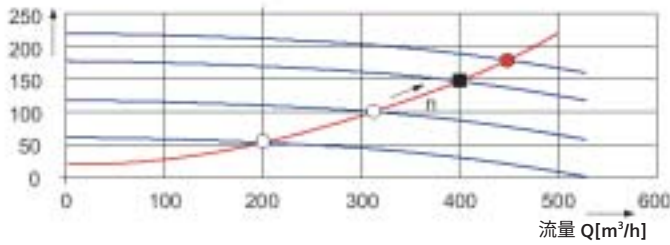
由于具有可变转速 n (也就意味着可变/受控流量 Q)，泵可以输送在过程/装置的各个瞬间所需的能量 E 。不会有能量差的浪费。在输入处的能量消耗 E 会随转速控制而变化，即该能量随转速的降低而减少。转速控制就意味着在输入处要有电控。



图例

蓝色：泵特性曲线
红色：过程特性曲线
黑色(下面)：在各种转速下的功率消耗

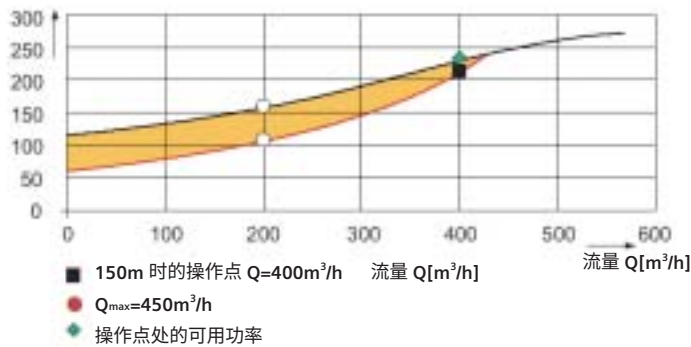
泵压头 $H[m]$



转换控制：沿装置／过程特性曲线（红色）

西门子船用变频器可帮您计算节省下来的能量，请参见下图：

电功率 $P_e[kw]$



阴影区域代表因可变转速(转速控制)而节省下来的能量
 黑色：使用截流阀控制时的能量消耗
 红色：使用转速控制时的能量消耗

使用具恒定转速特性的应用(如往复压缩机)可取得同样的效果。

电磁兼容性(EMC)

根据EMC条令的定义，电磁兼容性为“设备在电磁环境中安全工作而不会产生使此环境中的其它电气设备不能接受的电磁干扰的能力”。

为确保符合有关EMC标准，一方面要将干扰辐射限制在可以接受的数值，另一方面，设备还要达到足够的抗干扰能力。

在快速地开关电源时，船用变频器的电源部分会产生电磁辐射。这些辐射通过连接的电源电缆被传导到环境中并通过空气辐射到环境中。对这样的辐射必须加以限制。

控制器和船用变频器的其它电子部件由许多灵敏电子器件组成，对这些器件必须采取防电磁干扰措施。

为了限制船用变频器的干扰辐射，必须采取以下措施：

- 用干扰抑制滤波器限制传导辐射。
船用变频器配备有滤波器部件，可根据适用于工业环境的EN 61800-3 标准和船级协会如DNV、GL、LR、ABS和BV的规范降低传导辐射。
 - 用屏蔽电机电缆降低发射出的辐射。
在安装驱动器系统时必须采取此预防措施。
 - 符合安装指南。
此部分在船用变频器的操作手册中提供。
- 为确保船用变频器具有抗干扰性能，必须采取以下措施：
- 用屏蔽信号电缆保护与控制器相连的导线以防止电磁干扰。在安装驱动器系统时，必须采取此措施。
 - 符合安装指南。
此部分在船用变频器的操作手册中提供。

在采取了所有这些措施后，船用变频器即可以可靠工作而不会干扰同一环境中的其它设备。



谐波电流和调谐滤波电路

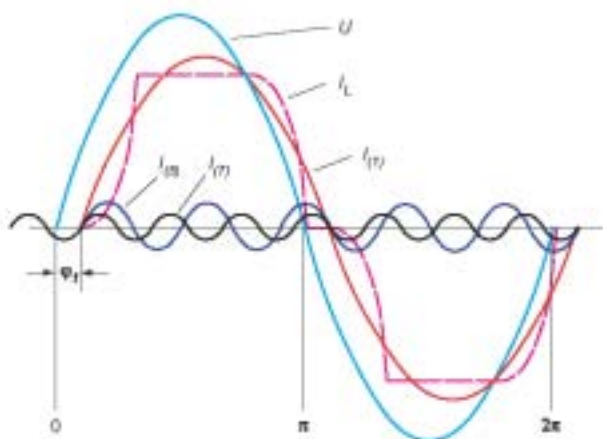
所有使用二极管和晶闸管的电源装置都将引起电源电压的失真。晶闸管整流器另外还会引起大量感应无功电流。

整流器电流由大量正弦波电流、一个基频成分和频率比电源频率高若干倍的谐波电流组成。

电源网络的阻抗可使所有这些电流产生叠加在电源的基础正弦波形上的电压。它们会使电源电压发生失真，从而导致电源故障和其它用电装置出现问题。

电源整流器可使电源网络具有基本频率 ω_1 ，并通过谐波数 v 返回电源网络（电源线）电流：

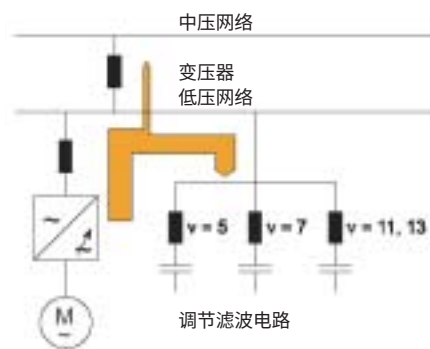
$$v = 6 \cdot k \pm 1, k = 1, 2, 3, \dots$$



整流器电流分解为基频和谐波分量

滤波电路可直接连接到低压一侧，以使较高的谐波电流远离电源网络。这些滤波电路由与一个线圈（电感器）串联的几个电容组成。这些振荡电路经过调谐可为每个谐波分量提供几乎为零的电阻。因此，谐波电流的主要部分被滤波电路吸收。只有很少量的无用电流返回到电源网络，因此造成的电源电压失真可以忽略不计。

从交流电源（50 Hz 或 60 Hz）上看，滤波器是一个容性阻抗。这意味着滤波电路不仅将吸收谐波，而且还可传导容性电流。因此，滤波电路另外还可用作整个电源网络的电抗性补偿。通过使用滤波电路，可将谐波电流降低到高达 90% 的最大值。不能将其它类型的灵敏设备连接到电源网络，除非用变压器将其分开。



滤波电路中谐波电流的吸收

从图中可以看出，电容和电感在谐波的降低中起着关键作用。这意味着，要避免振荡，电源网络的电感性在确定滤波电路的大小上十分重要。投入运行的发电机数目将会改变电源网络的电感性，也就是说，必须要对电源网络和滤波电路的短路电抗大小加以确定以适合这种运行状况。

交流电源的谐波失真

所有在直流和交流电机驱动器中使用的配备有二极管和晶闸管的交流电源整流器，都具有从交流电源吸收非正弦波电流的特性。这种电流消耗将使电源电压失真。失真度也称为失真系数（DF）。船级社通常要求 THD（总谐波失真）必须小于 5%，在选择驱动器时，必须对此加以考虑。

船用变频器的总功率相对于发电机功率及其短路功率越高，电源电压的失真程度越高。具有高电压失真的电源网络很可能会损坏其他电源网络部件，并导致无法解释的事故。

用于小功率和中等功率输出的船用变频器具有所谓的 6 脉冲电源整流器设计，即在整流器中使用 6 个二极管或晶闸管。图中给出了 6 脉冲变频器发电机电源的耗用电流，同时显示了该电流是如何使电源电压发生失真的。如果这种设计用于较大的耗电设备，则电源失真可能会达到 20% 至 30%。

对于较高的电机功率 (相对于发电机功率) ，船用变频器应该配有一个 12 脉冲的整流器，它是通过三绕组变压器与独立电压系统连接的 6 脉冲交流整流器的 2 倍。变压器输出 (Dy5Dd0) 组经安排给出两个次级绕组系统之间 30 ° 角的电相位移动。

在此情况下，与预连接电源电路的连接会使电源电压失真降低。通过使用两个这样的船用变频器驱动器，两个变压器的连接组相互之间可具有 15 ° 角的电相位移动。随后，我们可以得到一个所谓 24 脉冲电源连接。但是，为了最大程度地降低谐波失真，两个电机驱动系统要具有相等的负荷。

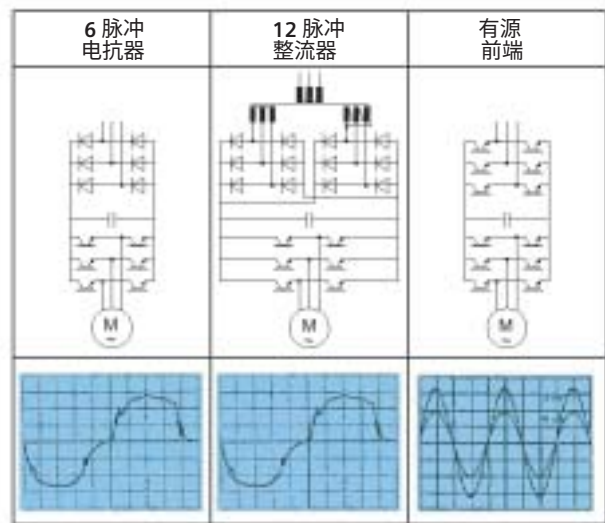
在船用变频器中，西门子拥有使用晶体管技术 (IGBT) 完整系列的电压整流器。这种整流单元的构造与逆变单元完全相同。晶体管的优点在于它能够接通与关断。船用有源前端电源整流器在被控制时从交流电源吸收未失真的正弦波电流。

这意味着，功率因数可精确地等于 1。但是，如果需要使功率因数不等于 1，则可以将有源前端整流器进行参数化。功率因数的值可参数化为容性或感性。这意味着，具有有源前端电源整流单元的船用变频器可以完成发电机的任务，为如直接连接到电源的电机等感性负载提供无功功率。

有源前端 (AFE) 的电压失真低于 2%，这意味着在示波器屏幕上无法看到这种失真。

对于带有许多较大耗电设备 (相对于发电机的最大功率) 的船只，有源前端是理想的解决方案。无论从价格上，空间要求上，还是从与所得到的低电源网络失真来讲，情况都是如此。使用有源前端将会使电源清洁剂变得多余，例如旋转或静态变频器。

具有相关网络电流负荷的 6 脉冲、12 脉冲和有源前端船用变频器的主要结构



具有三种总线通讯方法的船用变频器控制和调节设备的数字化提供了潜在的可能性。船用变频器可以通过串行接口和数据总线系统连接到自动化系统。随后，船用变频器的参数可与用于过程控制 (刻度值、实际值、命令和消息) 、过程适应 (控制设定点、曲线特性选择) 和维护 (存储的故障消息、操作时间、测量的和计算出的过程参数) 的自动化系统的参数进行交换。数据接口的质量、参数的结构和内容以及操作和维护原理，构成了转速控制电机的基本质量特性的组成部分。

使用 PROFIBUS 进行通讯
船用变频器可以连接到通过 DIN 19245 进行标准化的 PROFIBUS 系统。也可将执行器、阀门和传感器等其它部件连接到 PROFIBUS 标准总线系统上。所有以前通过传统的 I/O 端子块与船用变频器相连的信息，现在可通过双线制电缆系统进行传输。

自动化系统通过电缆以报文的形式来传送其命令和刻度值。状态报告和实际值以相反的方向传动，以便能够在具有屏幕的控制系统中进行显示。PROFIBUS 可确保使用主站 - 从站原理进行快速、安全的数据传输。1.5 Mbit/s 的高传输速率和短响应时间使得进出自动化系统 (主站) 的时间短于 1 ms，例如，该自动化系统可与一个船用变频器 (从站) 相连。

通过西门子 DRIVE-CLiQ 进行驱动器之间的通讯
在操作起重机和绞车时，其中的每个电机驱动器都受到其它驱动器运作时的影响，通过让电机驱动器相互进行直接通讯可以大量减少设备和计划工作量。这种快速连接可将转速和转矩的变化信息传递到其它电机驱动器。驱动器之间的信号因以太网通讯而异常迅速。这种快速通讯可通过或不通过 PROFIBUS 来完成。

当使用 PROFIBUS 时，可以通过此通讯网处理非时间关键信息，并通过 DRIVE-CLiQ 总线处理时间关键信息。通过这种方法，可以处理更多的时间关键信息。

通过个人计算机进行调试和维护
针对船用变频器提供了功能强大的维护工具。

STARTER 是一个定制的可视化程序，用于调试和维护，创建图形和文本以帮助您安全地完成任务。船用变频器投入使用之后，STARTER 可用于参数和功能的简单调节。

调试完毕或进行了必要的参数变更之后，可以将船用变频器参数存储器的全部内容存储在 PC 中。它将成为一种安全备份，当要更换变频器或其控制板时，会用到该备份。随后，您只须从 PC 传输存储的整套参数。

STARTER 还具有一个示波器功能，可以在 PC 上同时测量最多六个物理量，如电流、转速、转矩等。

动态负荷限制 (DLL)

西门子的理念是将具有自己的发电机、主配电盘、船用变频器和电机的大负荷驱动系统视作一个单一的系统，即使动态负荷发生变化。

在具有很大的耗电设备的情况下，耗电设备不会使发电机过载，或者在最坏的情况下，不会引起的电气系统的中断，是十分重要的。带有船用变频器的这种大型耗电设备可以配备一个动态负荷限制系统。这是一个根据实际的可用发电机能力对大型耗电驱动器的功耗进行连续限制的控制系统。

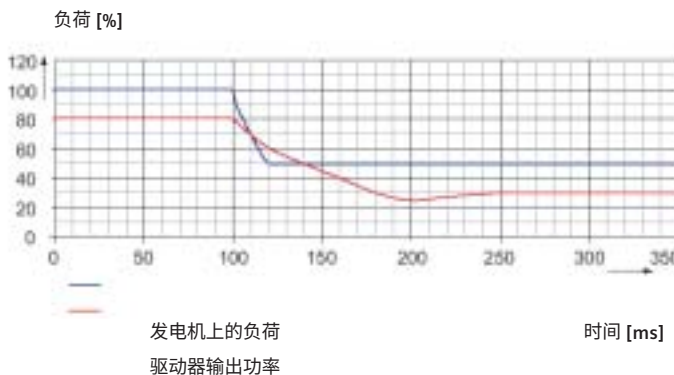
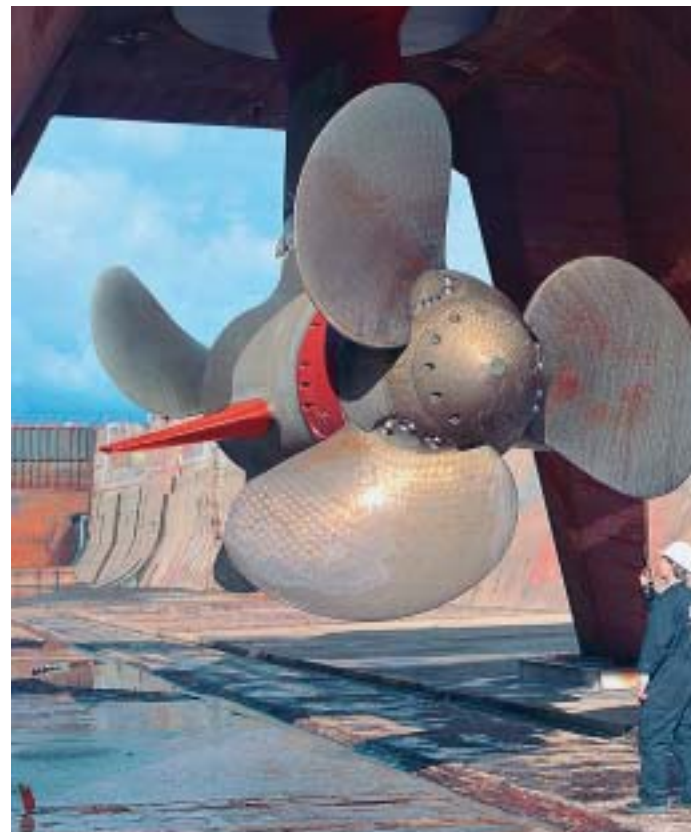
在使用电力推进和动态负荷限制系统的情况下，船用变频器还可以与螺旋桨的动态行为相适应。船用变频器可确保在波涛汹涌的海面上螺旋桨的功率波动不会造成发电机和电源总线中的功率波动。

所有这些船用变频器和动态负荷限制系统的重要特性，可使大型耗电驱动器成为船舶电气系统中的一个小型耗电设备。

动态负荷限制系统将会连续适应并将功耗限制在发电机的最大负荷。在能够使电气系统（特别是发电机）按照其额定负荷运转后，就无需使用其它控制系统来确保船上电源的可靠性。如果一台柴油发电机发生意想不到的突然停机，动态负荷限制 (DLL) 系统就会立即做出反应。大型耗电系统的功耗将在 160 ms 内降低，并维持在其余发电机的额定负荷限制之内。动态负荷限制系统响应迅速，因此可以避免发生电源中断。动态负荷系统是船用变频器的一个选件，它独立于电源管理系统 (PMS)。



Royal Carrbean International“ Radiance of the Seas ”号豪华邮轮



动态负荷限制：在可用的发电机功率突然降低 50% 时的驱动器功率降低



Royal Carribean International: “Radiance of the Seas” 号豪华邮轮

船用变频器的主要客户利益和重要特性：

- 易于订货、具有订货相关文档、快速物流和世界范围的服务
- 设备的通用操作、工程组态和维护
- PROFIBUS 接口便于实现更高级自动化系统
- 易于同现有装置集成，结构紧凑，仅需要很小的直立安装空间
- 噪音低
- IP22 和 IP54 防护等级的标准和紧凑型控制柜，空气冷却和水冷却
- 易于调试，对于标准应用而言，仅需要调整少数参数
- 易于通过菜单式控制面板进行操作，带有支持图形的纯文本显示屏
- 易于维护
- 特殊的安全概念可防止无意或未经授权的校准变更
- 不带编码器的矢量控制，使得操作有效可靠

北京
北京市朝阳区望京中环南路7号
邮政信箱：8543
邮政编码：100102
电话：(010) 6476 8888
传真：(010) 6476 4977

上海
上海市浦东新区浦东大道1号
中国船舶大厦7-11楼
邮政编码：200120
电话：(021) 5888 2000
传真：(021) 5878 4401

沈阳
沈阳市沈河区青年大街109号
沈阳凯宾斯基饭店5层
邮政编码：110014
电话：(024) 2334 1110
传真：(024) 2295 0715, 2295 0718

广州
广州市先烈中路69号
东山广场16-17层
邮政编码：510095
电话：(020) 8732 0088
传真：(020) 8732 0084

成都
成都市人民南路
二段18号川信大厦18/17楼
邮政编码：610016
电话：(028) 8619 9499
传真：(028) 8619 9355

西安
西安市高新区科技路33号
高新国际商务中心28层
邮政编码：710075
电话：(029) 8831 9898
传真：(029) 8833 8818

西门子(中国)有限公司
自动化与驱动集团

西门子公司版权所有
如有改动，恕不事先通知

www.ad.siemens.com.cn

订货号:E20001-K7030-C600-X-5D00
643-P902888-03062