ENGINEERING
TOMORROW

手册 | 谐波抑制

供水和污水处理装置中的**谐波**
– 智慧选择，抑制成本

使用丹佛斯有源滤波器解决方案，让您的谐波抑制耗电费用减少

44%

drives.danfoss.com | VLT®

随时警惕替代方案

对于谐波抑制来说，市场上没有一劳永逸的解决方案：

- 提供最佳性能
- 低成本的同时，保持最高系统效率
- 满足所有标准要求
- 适用于所有规格的变频器
- 既适合新装置又适合改装装置

对于一个给定的装置，最经济和技术上最优越的解决方案将总是基于应用要求、谐波的严重性、成本以及与各种技术相关的优点。

那么，我们又怎么可以谈及成本效益高的谐波抑制呢?我们当然可以，原因如下：

存在谐波会增加风险，影响产品质量，增加运营成本。抑制谐波会降低变压器、电缆和设备中的损耗，间接实现能源节省。这些间接节省就是系统配备谐波抑制解决方案的原因所在，无论采用什么技术，都能够展现更高的总体系统效率。

使用有源前端变频器（AFE 变频器）抑制谐波已迅速流行。AFE 变频器可以进行再生，是需要再生时的最佳选择。然而，使用 AFE 变频器来抑制谐波时，由于固有的更高损耗，每年运营成本会明显增加。做出选择时务必保持警惕。

寻找一个谐波抑制效果同样优秀但更经济的解决方案?有源滤波器是一个非常可行的替代方案，与传统的解决方案相比，电费节省高达 44%。

什么是谐波？

理想的交流电源是基本频率为 50 或 60 Hz 的纯正弦波，并且所有电气设备专为使用该电源获得最佳性能而设计。

谐波是指所含的频率成分是基本频率的整数倍的电压和电流 — 污染纯正弦波形。

电力电子装置，如整流器、变速装置、UPS、照明调光开关、电视机和其他设备从电网吸取非正弦电流。

该非正弦电流 与主电源相互作用，依照电源的强弱情况（故障级别）使电压发生或大，或小程度的失真。

通常，现场安装的功率开关设备越多，谐波失真程度越大。

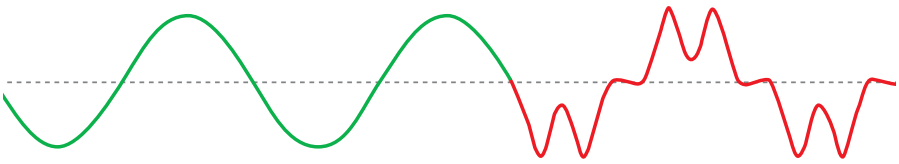
谐波为何是个难题？

主电源谐波过度失真意味着来源不仅含有 50 或 60 Hz 频率，还含有更高频率的成分。

这些成分无法为电气设备所利用，并且会产生严重的不利影响，其中包括：

- 限制电源和电网的利用率
- 增加损耗
- 增加变压器、电动机和电缆的发热量
- 降低设备的使用寿命
- 代价高昂的生产意外停止
- 控制系统故障
- 电机转矩脉动和减小
- 可听到的噪音

简言之，谐波降低可靠性，影响产品质量，增加运营成本。



受到污染的纯正弦波形图示

并非所有变频器均相等
– 配备可抑制谐波

每个变频器装置均会导致谐波问题吗?并不是。
所有丹佛斯 VLT® 变频器均配有内置直流电抗器*以减少谐波干扰,且在大多数情况下,这足以避免电压污染。

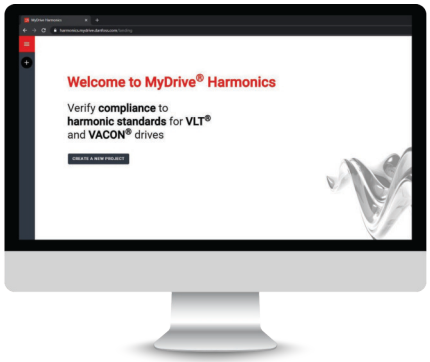
在某些情况下,由于电网状况或安装了多个变频器,可能需要额外的谐波抑制。

为此,丹佛斯提供各种个性化抑制解决方案,例如 12 脉冲变频器和配有内置或外置有源或无源谐波滤波器(包括 AFE)的标准变频器。

此外,丹佛斯还为集中谐波抑制提供有源解决方案,可同时补偿几个负载。

借助免费的 MyDrive® Harmonics 数字工具可轻松确定您网络中的电压污染程度。

MyDrive® Harmonics 是一个专业的谐波模拟工具,可在安装变频器时确定谐波在您的装置中是否会成为问题。它会估计实施由丹佛斯产品组合组成的不同谐波抑制解决方案时带来的可比较益处,然后计算谐波失真,以确认系统符合一系列相关标准。它是新建和升级项目的理想设计工具。



*发现 **MyDrive® Suite**,您可以在其中访问 **MyDrive® Harmonics***

**可提供外部抑制解决方案(VLT® Micro Drive FC 51,额定 7.5 kW 或以下除外)。*

丹佛斯提供设计支持,会为每个项目推荐最适合的谐波抑制解决方案。如果相关,丹佛斯支持还包括现场谐波调查。

选择最佳谐波解决方案

有各种不同的设备可减少谐波污染,这些设备都有各自的优缺点。

没有任何一个解决方案能够完全适合所有应用和电网状况。

为了获得最佳抑制解决方案,必须考虑几个参数。

主要参数可分为以下几组:

- 包含其他负载的电网状况
- 应用
- 符合标准
- 成本
- 能效

丹佛斯将根据要求进行全面谐波调查,并为您的工作场所推荐最合适和最具成本效益的解决方案。

该调查将考虑所安装的负载、监管标准和您的操作和应用的多样性。

重要考虑因素
– 一个整体的方法来优化您的业务

该污水处理厂基于主动滤波器进行谐波抑制，实现了优异的效率。

三个有源谐波滤波器确保鲑鱼苗循环养殖的可靠性。

电网状况如何影响谐波污染?

系统阻抗是确定供电网谐波污染最重要的因素。

系统阻抗主要取决于所安装负载的总功耗与变压器容量之间的关系。变压器相对于非正弦功耗而言越大，污染越小。

电网是相互连接的由电源和电力用户（均通过变压器连接）组成的系统。吸取非正弦电流的所有负载都会造成电网污染（不仅仅是在低压供电情况下，在较高的电压水平时也一样）。

在电源插座进行测量时，始终存在一定程度的污染。该污染被称为谐波前级失真。
由于并非所有用户都使用三相电流，因此各相的负载各不相同。这导致各相位上的电压值不相等，从而造成相不平衡。

不同谐波解决方案的前级失真和不平衡的抵御能力也不同，因此在确定最合适的谐波抑制解决方案时必须对这一点进行评估。

该污水处理厂中运行了 100 多台变频器，达到了完美的谐波均衡，从而产生了多余能量

污水站安装的三台 VLT® Low Harmonic 变频器，可确保符合 IEEE519 标准。

必须考虑哪些应用方面？

谐波失真随非线性负载的功率消耗量增加而加大，因此必须考虑所安装的变频器数量及其各自功率大小和负载曲线。

变频器的失真由总谐波电流失真 (THDi)（谐波分量总和与基本频率之间的关系）界定。

各变频器的负载非常重要，由于 THDi 在部分负载时会增加，因此变频器容量过大会加剧电网的谐波污染。

此外，由于不同解决方案有各自的特点（这使其或多或少适合具体情况），因此必须考虑环境和物理限制因素。

例如，需要考虑墙面空间、冷却空气（受污染）、震动、环境温度、海拔高度、湿度等。

是否符合全球统一标准？

为确保一定的电网质量，大多数配电公司要求用户遵守标准和建议。

不同的地理区域和行业实行的标准各不相同，但它们都有一个基本目标 — 限制电网电压失真。

标准取决于电网状况。因此在不了解电网规格的情况下不可能确保符合标准。

标准本身并没有强制要求采用某个特定的抑制解决方案，因此了解标准和建议对避免不必要的抑制设备成本非常重要。

应用谐波抑制对于成本来说意味着什么？

最后，必须评估初期成本和运行费用，以确保找到最具成本效益的解决方案。

不同谐波抑制解决方案的初期成本（相对于变频器）随功率范围而改变。对某个功率范围而言最具成本效益的抑制解决方案，其成本不一定最适合整个功率范围。

运行费用由整个负载曲线解决方案的效率及其终身维护成本确定。

有源解决方案有一个优势，就是能够使整个负载范围的真功率因数保持为接近一，从而提高部分负载时的能源利用率。

此外，尽管对目前的系统状态而言，某个解决方案最合适，但如果系统需要扩展，其他解决方案会更具灵活性，因此必须考虑工厂或系统的未来发展计划。

经济有效的谐波抑制
– 多种途径

规划系统时，保护资源和环境与产品的性能和技术可靠性一样重要。

关键选择标准：能耗和运营支出

从环境可持续性和经济角度来看，我们必须尽可能有效地使用能源。因此，一种合乎逻辑的方法是让能耗适应装置的实际需求。有多种方法可以做到这一点。

风扇和泵通常全天候运行，这意味着最佳能耗和低运营支出是规划装置的关键选择标准。

您知道吗？低效率的抑制技术和盲目遵守过于严格的规范可能会导致不必要的成本。丹佛斯建议根据良好的判断力和实际考虑，做出可持续的、具备成本效益的选择。我们随时准备帮助针对您的系统寻找最佳谐波抑制解决方案。

是否采用有源前端？

如果目的是要降低谐波电平时，所谓的有源前端 (AFE) 技术已经迅速流行起来。使用基于 AFE 的产品可以是一个很好的解决方案，但需要适当考虑才能加以应用。

要了解如何进行，可以考虑实现经济合理抑制的 3 条途径，并查看第 11 页中的示例，其中介绍了不同谐波抑制替代方案的成本影响。其中一个是 AFE 解决方案。另一个解决方案是有源滤波器。

实现经济合理抑制的三种途径

1. 仅在必要时使用谐波抑制设备

在所需标准之下，无需进行调节。仅将谐波调节的目标设置为所需标准，并且要满足装置要求。接线类比：由于将来可能需要更大的电机，您会将电机电缆确定为超大规格吗？可能不会吧。

没有一个解决方案是万金油。考虑系统性能的各方面因素，找到一个最优解决方案。丹佛斯随时准备帮助针对您的系统寻找最佳谐波抑制解决方案。

经验法则：当变频器负荷低于变压器总负荷的 40% 时，不要进行抑制。小心发电机电源（备用电源）。

2. 满足法规要求的设计

法规设定了 THDv 要求，但未规定 THDi 要求。

因此，设计为 5% THDv 来满足法规要求。在变频器主电源端子处，并没有法规要求 THDi≤5%，甚至没有要求 THDi ≤ 8%。规定这些 THDi 水平时，为了满足这些要求而进行设计会增加不必要的成本。

执行简单分析。不到 10 分钟的计算可以节省几千美元。评估整个系统，找到最佳解决方案。

通过我们免费的 MyDrive® Harmonics 即可轻松实现上述目标。

发现 MyDrive® Harmonics

3. 基于运营支出计算选择谐波抑制设备

在一个装置中，变频器的能耗是运营成本的主要因素。因此，选择谐波抑制设备时，效率验证是一个重要步骤，其中包括能耗损失的计算。

不同变频器供应商之间 6 脉冲变频器的效率通常仅相差 0.5%。然而，来自不同供应商的抑制设备的效率差异却经常能够达到 1-2%。进行选择之前，务必要进行计算。

污水处理厂
– 实践中的谐波抑制

通常，污水处理过程占到城市电费的 25%–40%，节省潜力巨大。

污水处理设施通常是一个城市最大的电力消费者。电耗量高与高能源密集型过程有关，并且此类设施采用全年无休，全天候的连续运营周期。供水和污水处理工艺在 24 小时周期内具有较高的载荷变化，在整年内也具有季节性特性。为了适应这种变化需求，越来越多地采用变频器来控制鼓风机、泵和其他电动设备。

考虑有源滤波器替代方案

电流网络中的谐波会产生系统干扰，给设备造成额外的压力，并导致性能不稳定。
传统的谐波抑制 AFE 解决方案会在系统中的每个变频器上都放置滤波器。

然而，根据调节标准，对于各个变速驱动其水平并没有谐波抑制要求。为了节省投资、空间和能源成本，我们建议只安装为了遵守 IEEE 519 等标准所需的过滤器。

使用我们先进的有源滤波器技术，可以创建一个带有中央滤波器解决方案的设置，同时仍然能够满足最新的调节标准。

与传统的基于有源前端技术的谐波抑制技术相反，高级有源滤波器可以识别系统中的谐波失真，并注入反电流来消除电气噪声。

有源滤波器提供了一种比传统 AFE 技术更紧凑的减少谐波失真的方法，同时将完成该工作所需的能耗减半！

想知道细节吗？点击**此处**详细了解

示例

现有污水处理厂需要进行容量升级。除了遵守当地标准之外，投资者通常还要求技术上不必要的安全裕量，只是为了保证安全：无论负荷如何，THDi 水平不得超过 5%。

大多数投资者没有意识到，THDi 限制的这种额外缓冲会导致显著的额外运营成本。供应商应提供一个高效、可靠的系统，具有高水平的冗余、服务和技术支持，最重要的是高度关注效率和节能。

为了满足这些要求，我们考虑了 2 种可能变频器解决方案的效率和成本影响：

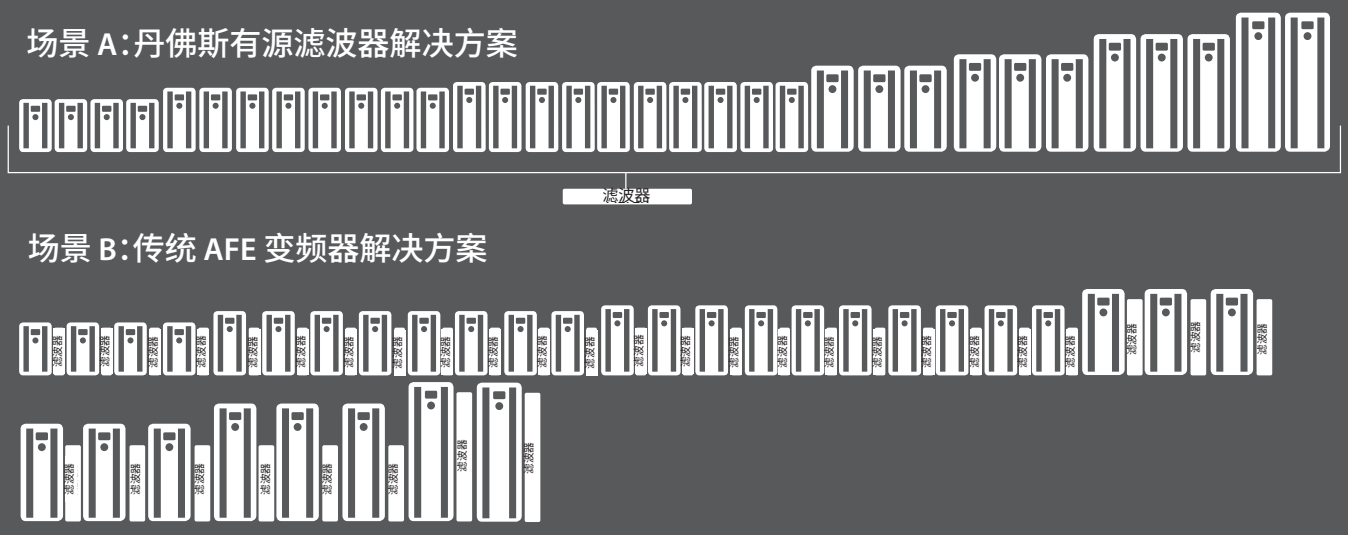
- 场景 A：标准 VLT® AQUA FC 202 结合有源滤波器
- 场景 B：AFE 低谐波变频器技术

每个场景所需的设备如表 1 所列。

表 1：污水处理厂谐波抑制场景 A 和 B 所需设备

安装的设备									
电机主轴功率 [kW]	5.5	7.5	11	22	75	90	250		
混合器数量		3	4	2					
泵数量	3	3	4		2	2			
鼓风机数量							1		
变频器数量	3	6	8	2	2	2	1		
备用混合器/泵/鼓风机和变频器的数量	1	2	2	1	1	1	1		
滤波器数量								1	
场景 A：使用 VLT® AQUA Drive FC 202 和有源滤波器的丹佛斯谐波抑制									
每变频器损耗 [W] [1]	187	225	291	444	1022	1232	4039		
滤波器损耗 [W]								7925	
10 年运营时间每变频器的损耗电力成本 [2]	1,311 欧元	1,577 欧元	2,039 欧元	3,112 欧元	7,162 欧元	8,634 欧元	28,305 欧元	55,538 欧元	
损耗总成本	3,931 欧元	9,461 欧元	16,315 欧元	6,223 欧元	14,324 欧元	17,268 欧元	28,305 欧元		**151,366 欧元**
场景 B：带有对等 AFE 变频器的传统谐波抑制									
每变频器损耗 [W] [1]	329	395	579	912	2963	3168	9135		
10 年运营时间每变频器的损耗电力成本 [2]	2,306 欧元	2,768 欧元	4,058 欧元	6,391 欧元	20,765 欧元	22,201 欧元	64,018 欧元		
损耗总成本	6,917 欧元	16,609 欧元	32,461 欧元	12,783 欧元	41,529 欧元	44,403 欧元	64,018 欧元		**218,720 欧元**

1] 未考虑电机内损耗。估计的最大功率损耗，数据来自变频器手册
2] 0.1 欧元/kWh x 24 小时 x 365 天 x 10 年。设备利用率设置为 80%，因为变频器并非总是以全负荷运行



污水处理厂
– 实践中的谐波抑制

分析

场景 A – 丹佛斯有源滤波器解决方案

使用 MyDrive® Harmonics 工具模拟不同的负荷条件，获取滤波器推荐。模拟结果如表 2 所示。

表 2：MyDrive® Harmonics 工具中的模拟结果

变压器二级侧的性能：变频器上 80% 负荷							
AAF 规格	无 AAF	90 A	180 A	270 A	**360 A**	450 A	540 A
THDu (%) 变压器二级侧	2.6	2.0	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0
THDi (%)	27.1	21.5	15.1	9.6	**5.0**	2.2	2.2

变压器二级侧的性能：变频器上 40% 负荷							
AAF 规格	无 AAF	90 A	180 A	270 A	**360 A**	450 A	540 A
THDu (%) 变压器二级侧	1.7	1.1	0.8	0.6	0.5	0.5	0.5
THDi (%)	35.2	25.2	16.2	8.8	**2.7**	2.7	2.7

AAF：高级有源滤波器

现在来看看模拟结果。对于此情况，丹佛斯根本不建议安装滤波器。为了符合国家 5% THDv 的要求而进行的规格确定将确保在最低投资、最高运行效率下的无故障运行。这完全消除了滤波器投资成本，滤波器损耗也相应减少。

为了符合客户规定的最大 5% THDi 的要求，需要一个 360 A 的滤波 然而，这是一种过度补偿，它不必要地增加了资本支出和运营支出，而装置耐用性方面并没有相应改进。

然而，为了进行比较，我们将在整个计算过程中使用 360 A 滤波器。

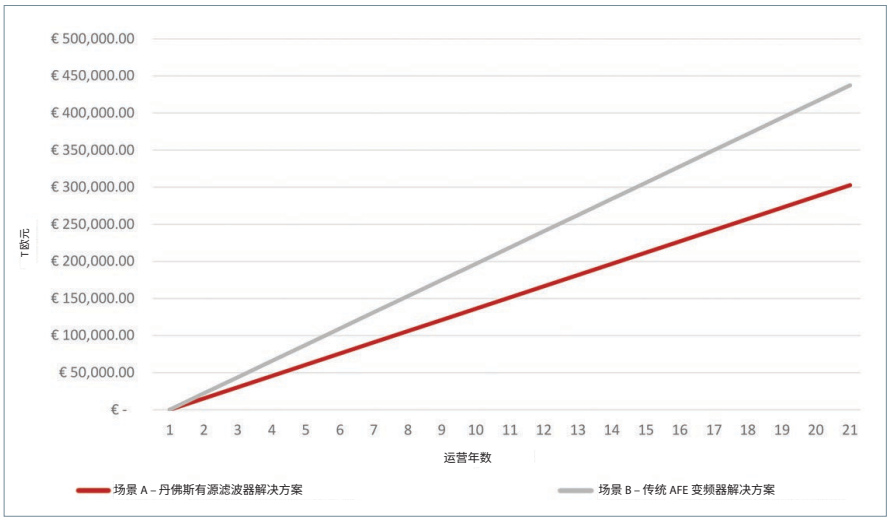
有源滤波器解决方案提供可观的生命周期节省

场景 B – AFE 变频器解决方案
基于 AFE 的低谐波变频器在所有负荷下均符合低于 5% 的 THDi 要求。

为什么务必要考虑解决方案的效率？到目前为止，效率是最重要的运营成本因素。我们看一下电耗量随着时间而发展的情况，如图 1 所示。

很明显，丹佛斯有源滤波器解决方案 (A) 与传统 AFE 变频器解决方案 (B) 相比，产生的损耗明显更低。

图 1. 随时间增长的总电耗



为什么效率如此重要？

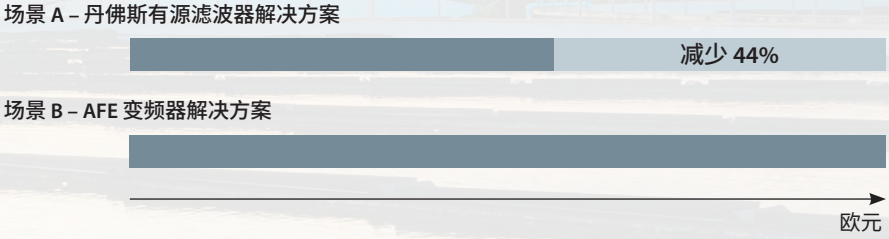
风扇和泵通常全天候运行，这意味着最佳能耗和低运营支出是规划装置的关键选择标准。

过去几十年来，变频器变速控制的相对成本降低，而能源价格上升。这样，在所有旋转设备上或多或少地使用变频器就变得更有吸引力。在变频器的整个使用寿命期间，能源成本都是最主要的经济因素，尤其是因为污水处理厂内的泵全天候运行。因此选择谐波抑制变频器解决方案时，效率和损耗成本是重要选择参数。

该示例表明，由于丹佛斯的谐波抑制变频器解决方案结合了变频器和有源滤波器的高效率，比传统方式更高效。

如表 1 所示，丹佛斯解决方案的损耗成本为 151,366 欧元，而传统解决方案的损耗成本为 218,720 欧元。基于表 1 中的数据，丹佛斯解决方案使用的电能比传统解决方案少 44%。因此，该污水处理厂通过选择丹佛斯有源滤波器方案，可以节省 44% 的谐波抑制电能成本，如图 2 所示。

图 2. 能耗比较



污水处理厂
– 实践中的谐波抑制

结论

该示例明显指出，通过使用有源滤波器解决方案，谐波抑制可以实现处理厂的无停机时间，与 AFE 解决方案相比，运营成本降低 44%，效率更高。

在场景 A 中，一个有源滤波器可以为多个 6 脉冲变频器系统提供抑制。如果备份变频器开始运行，则可以通过同一台有源滤波器进行抑制。

在场景 B 中，每个变频器需要一个 AFE，对于由多个变频器组成的整个系统，可以安装很多 AFE。备份变频器也需要额外的 AFE，会进一步增加投资成本。

有源滤波器的其他优点

- 将有源滤波器与变频器输入并联安装。因此，倘若滤波器出现故障，变频器也能正常运行，确保污水处理厂的无中断运行。此拓扑结构可确保高冗余水平的可靠系统。
- 有源滤波器会在谐波水平变低时进入“睡眠模式”，来实现节能。当计算中考虑这种能力时，还可以比此处列出的数字增加更多电力节省。

VLT® AQUA Drive 的其他优点

- 其设计可以保证至少 10 年服务，无维护
- 使用 VLT® AQUA Drive 独特的除屑/泵清洁功能再节省 10-50%
- 由于独特的背部风道冷却概念，空调投资降低可达 90%
- 基于工况的监测功能以先进的计算为基础，已经内置到变频器中

*阅读**更多关于 VLT® AQUA Drive 的信息***

更多问题?
– 此处是答案

是否务必使用有源滤波器来实现谐波抑制?

对于谐波抑制来说,市场上没有一劳永逸的解决方案:
- 提供最佳性能
- 低成本的同时,保持最高系统效率
- 满足所有规范要求
- 适用于所有规格的变频器
- 既适合新装置又适合改装装置

对于一个给定的装置,最经济和技术上最优越的解决方案将总是基于应用要求、谐波的严重性、成本以及与各种技术相关的优点。
在某些情况下,有可用于安装滤波器的物理空间,但有些情况下没有。

丹佛斯提供了一个全面的谐波抑制产品组合,丹佛斯的目标是为我们的客户提供考虑所有因素的最佳建议解决方案。

请联系您当地的销售代表,以获得真人谐波抑制支持。

为什么 AFE 变频器比标准 6 脉冲变频器的损耗更大?

AFE 变频器包含的电力电子元件数量是标准变频器的两倍,再加上 LCL 滤波器,标准变频器中没有此元件。两倍的电力电子元件数量意味着部件故障的风险提高两倍,还意味着变频器上的功率损耗更大,如该示例所示。

基于 AFE 的 LHD 解决方案会提高系统总体效率吗?

如果需要抑制谐波,则任何抑制谐波的解决方案都会提高整个系统的能效。

众所周知,谐波抑制可以通过减少变压器、电缆和设备的损耗以提高能源效率,从而实现间接节能,而这并不是 AFE 技术所独有的。

本示例展示了在选择谐波抑制方法时,各个部件的损耗是如何地重要。这些损耗对运营支出有重大影响。

AFE 可以进行再生,是需要再生时的最佳选择。

THDi、THDv 和 TDD 的差别是什么?

THD 是总谐波失真的缩写。可以电压和电流为单位对其进行测量,它描述了信号与理想的正弦状态相比的失真程度。

电流失真 THDi 是设备特定的电流失真,因此仅描述产品本身、其电源线和变压器的影响。

各种规范和标准旨在将电压失真 (THDv) 保持在较低水平。因此,减少谐波时的目标应是将 THDv 降至最低,以确保整个装置电源网络的电压质量得以保持。

关注各个用电设备的电流失真 (THDi) 并没有什么必要,因为只有系统级参数会影响同一电源上的所有用电设备。电流和电压之间的关联是阻抗 (欧姆定律)。因此,务必仅在与阻抗有关时才考虑 THDi,以评估电压失真的影响。

TDD 是系统级的总电流失真。它包括装置中的所有当前用电设备。为了降低 TDD,可以通过滤波过程 (有源或无源) 降低各个 THDi 值,提高短路容量或更改直接联机电机和变频器使用之间的平衡 (增加更多 DOL 以降低 TDD)。

ENGINEERING TOMORROW

工作中的丹佛斯有源滤波器解决方案 – 英国 Affinity Water

据预测，由于 Affinity Water Chertsey 水处理工程选择了 VLT® AQUA Drive，而不用针对该项目选择“退而求其次”的解决方案，将在其 20 年使用寿命中节省超过 33 万英镑的运营成本。

该系统的卓越效率基于实现抑制谐波的有源滤波器，采用独特的背部风道冷却概念。

点击**此处**查看 VLT® AQUA Drive 的更多应用案例：

水处理工程
节省 30 万英镑的运营成本

英国 Affinity Water 的 Chertsey 水处理工程

阅读应用案例

关注我们并了解有关变频器的更多信息

VLT® | VACON®

Danfoss公司对样本、小册子和其他印刷资料里可能出现的错误不负任何责任。恕Danfoss公司有权改变其中产品而不事先通知。这同样适用于已经订了货的产品，只要该变更不会造成已商定的必要的技术规格的改变。本材料中所有的商标为相关公司的财产。Danfoss 和所有Danfoss的标志是Danfoss公司A/S(丹佛斯总部)的商标。丹佛斯公司保留全部所有权。

DKDD.PB.445.A2.41

© 版权所有 Danfoss Drives | 2021.09