

应用多种技术是抑制变频驱动器 电磁干扰有效举措

The application of many kinds of technology is to suppress the electromagnetic interference of the inverter drive

鲁思慧

摘要: 本文就应用多种新技术消除变频驱动器电磁干扰的解决方案作分析, 并对引起与抑制变频驱动器电磁干扰的尖脉冲驱动作重点研讨。

关键词: 电磁干扰, 逆变电路, 脉冲边沿, 屏蔽与滤波

Abstract: in this paper, the application of several new technical solutions to eliminate the variable frequency drive electromagnetic interference points analysis, and the cause and restraining electromagnetic interference variable frequency drives the spike pulse drive as a focus for discussion.

Keywords: electromagnetic interference, nverter circuit, pulse edge, Screening and filtering

0 前言

变频驱动器通常由常由两部分组成一电动机自身和驱动电动机的控制器(也叫逆变器), 控制器和电动机之间通过电缆连接。控制器接收来自交流电流的功率。变频驱动器具有不同的工作方式, 它们的速度由驱动信号的频率控制。这种驱动器之在于都由脉冲调制信号(PWM)驱动。典型的变频驱动器基本架构由变频控制器与电动机构成(见图1所示)。

由图1可知, 交流电源为变频控制器供电, 将其转换为脉冲信号(见图1右上端)驱动电动机。其变频控制器

由整流电路、滤波电路及逆变电路组成。其整流电路是交-直转换; 滤波电路是能耗电路; 逆变电路的作用在控制电路下, 将直流电路输出的直流电源转换成频率和电压可以任意调节的交流电源。逆变电路的输出就是变频器的输出, 所以逆变电路是变频器的核心之一。常见的逆变电路专是利用六个功率开关器(如GTR、IGBT、GTO)组成三相桥式逆变电路或由单片机控制技术构建。

由于变频驱动器是机电一体化的系统, 它又是许多工业应用领域中的的一个重要部件, 再加上的使用环境既复杂又恶劣, 因而在实际应用中不可避免的伴随产生许多影

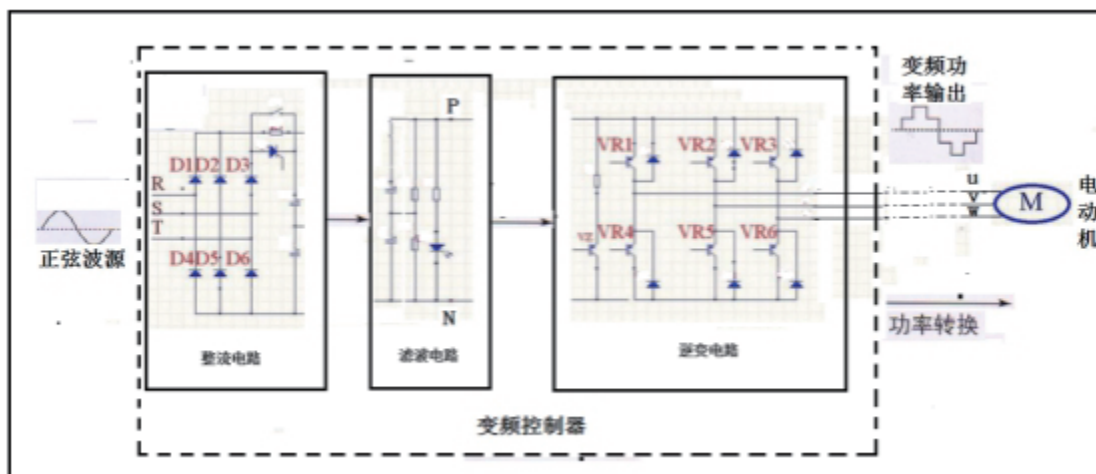


图1 所示为变频驱动器基本架构示意图

响系统或产品可靠性的问题。其中由此引起的电磁干扰将是最大隐患与挑战，这就成为制造厂商和设计工程师迫切需要应对与解决的问题。

如何应对，为此本文就应用多种新技术抑制消除变频驱动器电磁干扰的解决方案作分析，并对引起与抑制变频驱动器电磁干扰的尖脉冲驱动作重点研讨。

1 变频驱动器电磁干扰的引起

变频控制器设计方案很重要的一点是应减少设备成本并能简单打开和关闭流入电机的电流，这比产生一个逐步加大和逐步减少输出电压更为简单、便宜及有效。然而驱动电动机的信号是变频控制器逆变电路所采用快速开关（如GTR或IGBT）产生的几纳秒上升和下降时间的尖驱动脉冲，并将这些信号的频谱扩展到几兆赫兹，却这些短边沿驱动脉冲带来了变频驱动器的电磁干扰一系列的问题。

在分析这个问题之前先应对设备的电磁干扰的理念作一说明：

* 电子设备收到强电磁波时，电路中会感应到不想要的电流，这会产生非预想的操作或对预想的操作形成干扰。如果外部施加的能量过于强大，电子设备可能会损坏。外部电磁波造成的这些干扰称为电磁噪声干扰，而造成干扰的电磁波称为电磁噪声。

* 通常，随着电子设备的密集度增加，噪声源和噪声受体之间的距离在缩短，而噪声干扰的程度在上升。此外，随着电子设备的性能提升，工作电路频率增加，会产生更高频率的噪声，扩大了受影响的频率范围。而且，由于电子设备的省电功能，更多的电路可以按更低的电压运行，这样低能量噪声影响的情形在增多。今后随着电子设备进一步的高密集化、高性能化及小型化，预期噪声干扰问题会更加严重。

* “系统内 EMC”，电子设备自体中毒。没有任何外部噪声，电子设备本身就可能出现噪声干扰。电子设备内部电路中产生的噪声可能会干扰电子设备本身内部的其他电路。这称为系统内 EMC。例如，如果手机设有内置数字电路，数字电路的噪声会令手机的接收器性能下降（降低接收器灵敏度）。这种情况下，噪声源和噪声受体之间的距离明显小于常规噪声源之间的距离，会产生更严重的干扰。视具体情形而定，提供的噪声抑制水平要远比噪声规定的限制更加严格。

由此理念可进而很容易理解并分析出尖脉冲驱动信号与脉冲边沿过电压将给变频驱动器带来以下的电磁干扰：其一是、电动机轴承损毁及由过电压促使关联绝缘的损坏；其二是、电力线和地线中的高电平传导电磁干扰与地平面中高电平电磁干扰电流引起的电气过载（EOS）；其三是、来自电缆的高水平辐射电磁干扰火以及机械噪声及电动机过热；其四是、过电压不仅会引起压筋的损害，还会压迫电缆和电动机内部线圈的隔离层。故用标准绝缘的电动机终端的脉冲电压不能超过 1350V。

应该说，大多数来自变频驱动器的内部电磁干扰问题是由驱动脉冲引起。如上所述，通过电动机轴承的电流会破坏设备的整个地系统，并减小数据线中的信噪比及改变传感器中的信号，导致过程改变，有时甚至会引起生命危险情况，如核磁共振中的错误读数。

需要指出的是来变频器控制器或伺服电机中的电磁干扰还可能引起电气过载。半导体和印刷电路板安装设备之间的大电压差会将敏感设备暴露在电气过载中，这经常引起立即损坏，这种损坏会造成设备在实际中很快就坏了。具体问题就是地平面上的电磁干扰电压具有很低的输出阻抗，这会导致强电流功率，即使很低的电压差也会损坏设备。因此对于电子产品，从产量和可靠性方面考虑，电气过载（EOS）越来越重要。

2 如何消除变频器驱动器的电磁干扰

由上可知所有问题都由驱动脉冲的尖锐边沿所引起。因此，解决此类问题需要改变脉冲边沿以便上升和下降时间都足够慢，以免定子和转子之间的容性耦合成为主要的导电路径，同时还能保证电动机的性能。如今可应用优化走线和改变通过轴承的电流路径或者脉宽调制驱动电机等多种解决方案。值此，结合引起的电磁干扰的通用性与特殊性在实践中应用以下措施来消除。

* 进行正确的接地

通过现场的具体调研可以看到，现场的接地情况是不甚理想的。而正确的接地既可以是系统有效地抑制外来干扰，又能降低设备本身对外界的干扰，是解决变频器干扰最有效的措施。具体来讲就是做到以下几点：其一、变频器的主回路端子必须接地，该接地可以和该变频器所带的电机共地，但不能与其它的设备共地，必须单独打接地桩，且该接地点应该尽量远离弱电设备的接地点。同时，变频

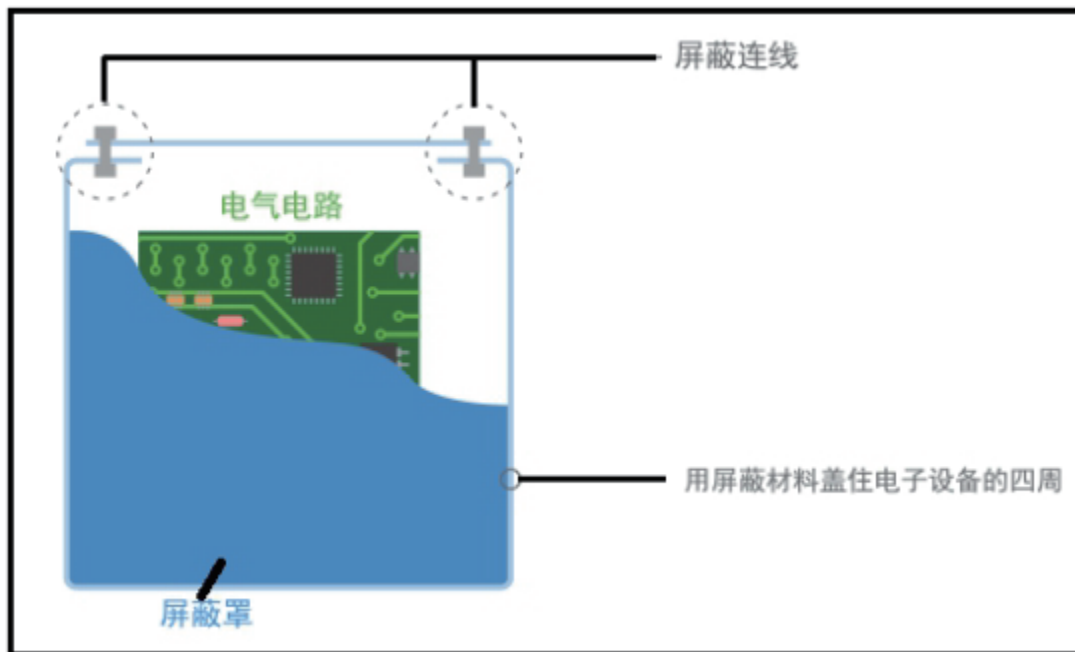


图2 屏蔽设施的应用示意图

器接地导线的截面积应不小于 4mm^2 ，长度应控制在 20m 以内；其二、其它机电设备的地线中，保护接地和工作接地应分开单独设接地极，并最后汇入配电柜的电气接地点。控制信号的屏蔽地和主电路导线的屏蔽地也应分开单独设接地极，并最后汇入配电柜的电气接地点。

* 屏蔽干扰源

屏蔽指的是通过用如图 2 所示的金属板或其他保护装置封闭目标物体，把周围的电磁场排除在外。

图 2 中应用屏蔽连线：开口和间隙会显著降低屏蔽性能，故应确保用螺钉或垫圈电气连线牢固，使其没有间隙。用屏蔽材料盖住电子设备的四周。屏蔽材料应采用良好的导体，例如金属或高导磁率材料。

尽管屏蔽的效果通常取决于所用材料的传导性、导磁率和厚度，但用铝箔等极薄的金属板会比常规电子设备的噪声抑制更有效。必须意识到电子设备的噪声抑制效果会因形成外壳的连接方法（间隙、接触阻抗等）而异，而与材料规格无关。在散热所用的屏蔽罩上制作开口时，限制每个开口的最大尺寸比限制开口的总面积更加重要。由此看来，带许多小孔的板材（例如冲孔的金属和延展的金属）是很好的材料，既有利于通风，又有利于屏蔽。

而屏蔽干扰源是抑制干扰的很有效的方法。通常变频器本身用铁壳屏蔽，可以不让其电磁干扰泄露，但变频器的

的输出线最好用钢管屏蔽，特别是以外部信号（从控制器上输出 4~20mA 信号）控制变频器时，要求该控制信号线尽可能短（一般为 20m 以内），且必须采用屏蔽双绞线，并与主电路线（AC380）及控制线（AC220V）完全分离。此外，系统中的电子敏感设备线路也要求采用屏蔽双绞线，特别是压力信号。且系统中所有的信号线决不能和主电路线及控制线放于同一配管或线槽内。为使屏蔽有效，屏蔽层必须可靠接地。

* 合理布线与走线优化

具体方法：设备的电源线和信号线应尽量远离变频器的输入输出线；其它设备的电源线和信号线应避免和变频器的输入输出线平行。在此应用先进的走线优化举措。

众所周知，相比长的电缆，短的电动机电缆提供更小的振铃和更少的发射。与其他电缆作分离布置的电缆则对其他导体产生更小的电压和电流。正确连接的屏蔽（铜网编织）有助于减小来自脉冲边沿的电磁场。对于变频器或伺服电机有许多特殊制造的电缆。控制器和电动机之间更好的电缆是那种具有足够厚度适当屏蔽的电缆（铜网编织屏蔽体）。有的电缆各相都具有独立的地线，这进一步减小了振铃。不建议用户使用不是专门用于变频器的常规电缆的电缆，因为这可能加剧干扰。

* 新型滤波器的应用

其一、在系统线路中设置滤波器是一种有效措施。设备滤波器的作用是为了抑制干扰信号从变频器通过电源线传导干扰到电源和电动机。为减少电磁噪声和损耗，在变频器输出侧可设置输出滤波器；为减少对电源干扰，可在变频器输入侧设置输入滤波器。若线路中有敏感电子设备如控制器和变送器等，可在该设备的电源线上设置电源噪声滤波器以免传导干扰。

而采用拓展电抗器是切实可行之举措。众所周知，在变频器的输入电流中频率较低的谐波成分（5次谐波、7次谐波、11次谐波、13次谐波等）所占的比重是很高的，它们除了可能干扰其它设备的正常运行之外，还因为它们消耗了大量的无功功率，使线路的功率因素大为下降。在输入电路内串入电抗器是抑制较低谐波电流的有效方法。

那又为什么要对电抗器拓展呢？这是因为电抗器输入（负载）电抗连接着控制器和电动机。电抗器的主要功能在于扩展驱动信号 dV/dt 的上升和下降时间。增加 dV/dt 时间扩展了驱动脉冲边沿，通常能够增加3到5倍。电抗器安装在电动机控制器旁边以减少电磁辐射。电抗器的作用包括：降低通过轴承的电流，减小设备中的电磁干扰，减小驱动脉冲的振铃，允许在控制器和电动机之间采用更长的电缆，降低电动机温度。

电抗器不仅有助于避免轴承损坏和过电压，它们还有助于减小地电流和设备上的总体电磁干扰。另一方面它们还可以提供非常好的性能，以改善 dV/dt （如减缓）脉冲边沿。即使需要取得一点小改进，则电抗器可是一种合理的选择。

其二、如今有基于电抗器拓展技术的两种新型滤波器被应用。它们是正弦波滤波器和 dV/dt 滤波器，它们比较适合对变频驱动器中电磁干扰的消除。实际上是电抗器的升级版，添加与改进了更多的滤波举措。那么它的实用性又是怎样的呢？

由于变频器的输出含有高频谐波，增加了动力电缆及电机的损耗；同时极高的 dV/dt 会引起数 MHz 的辐射干扰；如果电机需要长线传输时（电机线缆超过 50 米），由于行波反射引起电机端电压叠加，使电机绝缘破坏，甚至使电缆爆裂；对于谐波电流，可以通过改变调制方式，降低谐波分量但并不能完全消除。由 dV/dt 引起的射频干扰，可以加装 dV/dt 电磁滤波器，但只能对一定长度的电缆有效，并不适合任意长度的电缆；能同时解决以上问题的

有效方法使在变频器输出侧加装正弦波滤波器，将 SPWM 调制波滤波成近似正弦波的电压波形，正弦波滤波器由高频出线电抗器，RC 回路，共模电抗器组成。可以有效的抑制高频损耗及 dV/dt 射频干扰，并使电机和变频器的线缆延长至 500 米，甚至使 2 千米。

* 何谓正弦波滤波器？正弦波滤波器由串联电抗 L 和并联电容 C 构成，见图 3 中的虚线框。

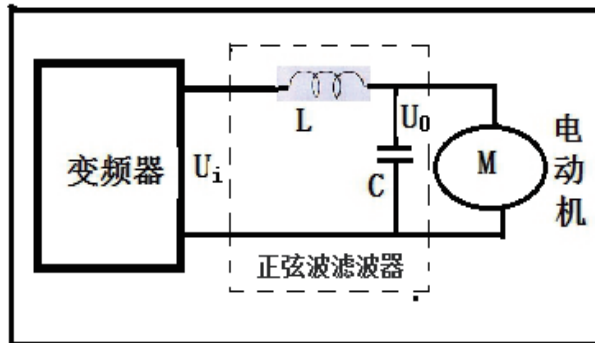


图 3 为正弦波滤波器示意框图

其滤波器基本上是在电动机每个相位上的低通 LC 滤波器，它将脉宽调制信号转换为相应的正弦波，该正弦波与原来的脉宽调制信号具有几乎相同的均方值电压。正弦波滤波器在减小各方面的电磁干扰上都具有优势。它们也可用于现有安装的改进。就像电抗器一样，它们不需要进行周期性测试或维护。然而，正弦波滤波器只能工作于某些种类的电动机，但由于可能的内部电容损坏及体积较大，它们不能用于低开关频率的电动机。

需要指出的是，正弦波滤波器应用于众多变速器系统里面的马达驱动（尤其在变频器或者开关电源装置中），无源型滤波器设计用来转换由变频器等产生的非正弦电压，使电压波形形成一个近似于正弦波的波形。主要在 380 到 480V 的工业电网中应用。因为该滤波器的压降远远低于目前市场的标准，它能够保证非常高的电机输入端电压。它能够减少噪音并且保护相对比较敏感的电机，允许使用非常长的电机线缆，最长可达 2000 米。典型应用行业：冶金、煤炭、石化、水处理、新能源等。一般情况下，国产的变频器与负载的距离，超过 50 米，就必须加电抗器，如果对变频器输出波形有要求的话，就要加正弦波滤波器；进口变频器只要距离超过 100 米，就要加正弦波滤波器。这个距离指的是连线的长度。正弦波滤波器的制造成本比较高，通常情况如无特殊要求，选用变频器专用滤波器或

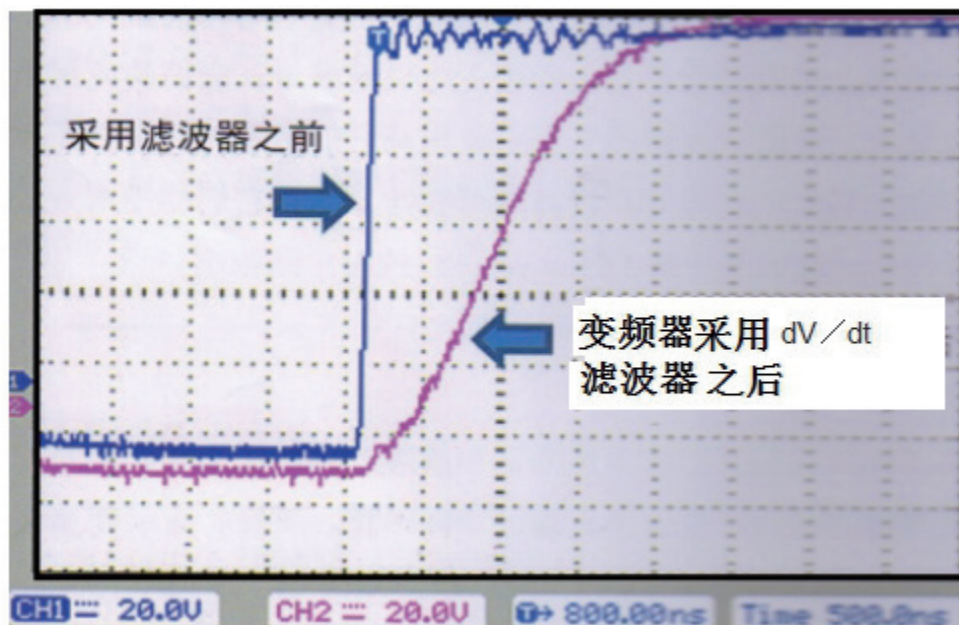


图 4 为典型变频器 dV/dt 滤波器改变驱动脉冲边沿时间的特性曲线

者输出电抗器就可以了。

* 何谓 dV/dt 滤波器? 这些是最通用的滤波器, 它们用于变频器或伺服电机时性能很好。dV/dt 滤波器延缓了驱动脉冲的上升和下降时间, 从而减小了驱动信号的高频频率分量, 因此减小了定子和转子之间的容性耦合以及流经轴承的电流和地电流, 它还能减小主机设备的总体电磁干扰水平。就像正弦滤波器和电抗器一样, 它们不需要进行周期性测试或维修, 并能在事后进行安装。由于它们的通用性和广泛应用, 我们将更紧密地检查其性能。如采用典型变频器 dV/dt 滤波器后则改变驱动脉冲边沿时间的特性曲线 (见图 4) 所示。从而可看出消除电磁干扰的功能。

图 4 中显示了采用变频器 dV/dt 滤波器引起的典型脉冲边沿扩展。上升时间从 100ns 增加到 2μs。由此这个滤波器如何消除脉冲尖锐上升沿引起的过电压。于是当

滤波器正确放置在电动机控制器的输出端时, 电缆中的驱动信号很多不再具有尖锐的边沿, 这减小了过激和谐振, 以及设备内的辐射和耦合电磁干扰。

3 后话

如果采取了以上的办法之后还是不能够奏效, 那么继续作干扰的隔离, 它是指从电路上把干扰源和易受干扰的部分隔离开来, 使他们不发生电的联系。通常是在电源和控制器及变送器等放大器电路之间在电源线上采用隔离变压器以免传导干扰, 电源隔离变压器可应用噪声隔离变压器。电磁干扰解决方案主要强调它们磁芯的问题, 能够有助于整个工业界提高设备的可靠性, 延长它们的使用寿命并减少运行成本。