

正弦波滤波器与DVDT滤波器对变频器谐波抑制效能对比

杨君香

萨顿斯(上海)电源有限公司 上海 201600

摘要: 正弦波滤波器与DVDT滤波器在变频器谐波抑制效能方面各具特点。正弦波滤波器通过优化波形,将变频器的PWM波转换为近似正弦波,有效降低了谐波畸变系数,显著减少电机谐波损耗和电磁干扰。而DVDT滤波器则专注于抑制电压升高率,减少峰值电压,对特定频段的谐波有较好的抑制效果,尤其适用于保护电机免受高频谐波损害。两者在不同应用场景下各有优势,共同推动电能质量的提升。

关键词: 正弦波滤波器; DV/DT滤波器; 变频器; 谐波抑制; 效能对比

1 正弦波滤波器与 DVDT 滤波器的基本原理

1.1 正弦波滤波器的基本原理

正弦波滤波器是一种用于将PWM(脉冲宽度调制)波形或SPWM(正弦波脉宽调制)波形转换为近似正弦波形的电子设备。它的基本原理基于串联电抗L和并联电容C构成的电路结构,这种结构也被称为LC滤波器。正弦波滤波器通过选择适当的电抗L和电容C的值,可以设定滤波器的截止频率 f ,该频率决定了哪些频率成分能够通过滤波器,哪些频率成分被滤除。正弦波滤波器的滤波效果可以通过以下公式进行描述:假设变频器输出电压为 U_1 ,经过LC正弦波滤波器后变为 U_0 ,则电压传输比 $A = \frac{U_0}{U_1} = \frac{1}{1 + (2\pi f)^2 LC}$ 。因此,截止频率 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。

当变频器载波频率为 f_c 时,其输出的PWM波形内含基波及众多谐波成分,谐波频率主要为 f_c 及其倍数(特别是 f_c 、 $2f_c$ 、 $3f_c$)。通过合理选定截止频率,能高效滤除PWM波形中的大部分谐波,进而使 U_0 趋近于正弦波形。正弦波滤波器的主要功能包括两个方面:一是调整变频器输出的波形,将PWM波或SPWM波改造成比较像正弦波的波形;二是实现变频器的远距离传输,通过抑制高频损耗及射频干扰,延长电机和变频器的线缆长度。正弦波滤波器在变频传动系统(如提升机、水泵、风机等)和交流电源(如风力发电、UPS等)中有广泛应用,尤其在冶金、煤炭、石化、水处理、新能源等行业,对于需要长线缆传输的场合,正弦波滤波器的作用尤为突出。

1.2 DVDT滤波器核心运作机制

DVDT滤波器,又名 dV/dt 滤波器或 Du/Dt 滤波器,是一种专门设计的电子设备,旨在滤除信号中的高频噪声,同时有效防护电机免受高电压的损害。其核心运作机制在于,它向输入信号引入了一个经延时、微分

及放大的电路,此电路产生的信号与噪声信号在频率上一致但相位相反,从而在输出端实现两者相互抵消,达到滤除噪声的效果。DVDT滤波器在工业自动化控制系统中扮演着关键角色,特别是在PWM逆变器直接驱动电机的场景下。此类情况下,逆变器会产生较高的 dV/dt (电压变化速率)共模电压,这不仅可能引发轴承电流和共模漏电流,还会造成严重的电磁干扰(EMI)问题。尤其在逆变器通过长距离电缆与电机相连时,电缆的分布参数效应会进一步加剧问题,导致电机端出现电压反射,可能使电机承受的电压超过原始电压的两倍,进而威胁线圈绝缘的完整性。DVDT滤波器通过减缓电压的升高速度并最小化电机终端的峰值电压,有效降低了电机电缆传输线路的不良影响,为电机提供了强有力的保护,防止其遭受峰值电压的致命冲击^[1]。该滤波器性能出色,即便在距离电机较远(例如300米)的情况下,也能确保电机承受的峰值电压不超过规定的最大值(通常为母线电压的150%)。其额定处理能力针对的是小于 $200V/\mu s$ 的 dV/dt 值,但在某些特殊应用中,即使电缆长度延伸至更长距离(例如900米),该滤波器仍能保持卓越的性能表现。

2 正弦波滤波器与 DVDT 滤波器的性能分析

2.1 滤波性能对比

正弦波滤波器和DVDT滤波器在滤波性能上各有侧重。正弦波滤波器的主要目标是将PWM波形或SPWM波形转换为近似正弦波形,通过滤除高频谐波成分,使得输出电压波形更加平滑,减小对电机绝缘的损伤,延长电机寿命,同时提高系统可靠性。正弦波滤波器通常具有较高的滤波精度和较好的波形还原能力,但价格相对较高,设计时需要提供更多的参数,并根据这些参数单独建模、仿真,才能达到更好的滤波效果。DVDT滤波器更侧重于为电机提供峰值电压保护,其机制在于降低电压升高率并最小化电机终端的峰值电压,从而减轻电机

电缆传输线路所带来的不利影响。虽然DVDT滤波器在波形还原能力上可能不如正弦波滤波器,但它在保护电机免受峰值电压损伤方面表现出色,且价格相对较低,设计相对简单。

2.2 电磁兼容性分析

正弦波滤波器和DVDT滤波器在电磁兼容性方面都有良好的表现。正弦波滤波器通过滤除高频谐波成分,减少了电磁干扰(EMI)的产生,使得系统更加稳定可靠。正弦波滤波器还可以增加传输距离,提高系统可靠性,对电磁干扰的抑制效果好。DVDT滤波器则通过减弱电压升高率和最小化电机终端上的峰值电压,来降低电磁干扰的产生。特别是在长电缆传输的场合,DVDT滤波器能够显著减小电压反射现象,从而减小电磁干扰对电机绝缘的损伤。DVDT滤波器还具有较好的抗雷击性能,能够在一定程度上保护系统免受雷击损害^[2]。

2.3 应用场景适应性分析

正弦波滤波器和DVDT滤波器在应用场景上各有优势。正弦波滤波器更适用于对波形要求较高的场合,如变频传动系统、交流电源等,特别是在需要长电缆传输的场合,正弦波滤波器能够显著减小电磁干扰和电压反射现象,保护电机绝缘,延长电机寿命。正弦波滤波器还可以应用于对谐波电流和射频干扰有严格要求的场合,如风力发电、UPS等。DVDT滤波器则更适用于对电机保护要求较高的场合,如工业自动化系统中的电机驱动系统。特别是在PWM逆变器直接驱动电机的场合,DVDT滤波器能够显著减小由高 dV/dt 共模电压引起的轴承电流、共模漏电流以及电磁干扰,保护电机不受峰值电压的毁灭性影响。此外,DVDT滤波器还具有较好的性价比和适应性,能够广泛应用于各种工业自动化系统中。

3 正弦波滤波器与 DVDT 滤波器应用案例分析

3.1 案例一:工业自动化生产线

在工业自动化生产线中,正弦波滤波器和DVDT滤波器都发挥着重要的作用。

正弦波滤波器应用案例:某大型汽车制造厂的自动化生产线中,大量使用了变频器驱动的电机电机。由于变频器输出的PWM波形在电缆传输过程中容易产生过冲电压,对电机绝缘造成损伤,导致电机频繁故障。为了解决这个问题,该厂引入正弦波滤波器。正弦波滤波器将PWM波形转换为正弦波形,显著减小电缆传输过程中的过冲电压,保护电机绝缘,延长电机使用寿命。正弦波滤波器还提高了系统的稳定性和可靠性,降低维护成本。DVDT滤波器应用案例:在另一条工业自动化生产线中,某食品加工企业使用大量的PWM逆变器驱动电机。

由于逆变器至电机的电缆距离较长,引发了显著的电压反射效应,从而在电机端诱发了超过原始电压两倍的过电压现象,这对电机的绝缘层构成了极大的安全威胁。为了解决这个问题,该企业引入DVDT滤波器。DVDT滤波器通过减弱电压升高率和最小化电机终端上的峰值电压,显著降低了电压反射现象对电机绝缘的损伤。DVDT滤波器还提高了系统的电磁兼容性,减少电磁干扰对周围设备的影响。

3.2 案例二:新能源发电系统

在新能源发电系统中,正弦波滤波器和DVDT滤波器同样具有广泛的应用。

正弦波滤波器应用案例:某风力发电场采用大量的变频器来控制风力发电机的转速和输出功率。变频器输出的PWM波形在电缆传输过程中产生大量的谐波,对电网造成污染,同时也对风力发电机的绝缘造成损伤。为了解决这个问题,该风力发电场引入正弦波滤波器。正弦波滤波器将PWM波形转换为正弦波形,显著减小谐波的产生,提高电网的电能质量。同时正弦波滤波器还保护风力发电机的绝缘,延长发电机的使用寿命。DVDT滤波器应用案例:在另一个新能源发电系统中,某光伏电站使用了大量的PWM逆变器来将太阳能转换为电能。由于逆变器与电网之间的电缆长度较长,产生严重的电压反射现象,导致电网端产生过高的电压,对电网设备和光伏电站的逆变器造成威胁。为了解决这个问题,该光伏电站引入DVDT滤波器^[3]。DVDT滤波器通过减弱电压升高率和最小化电网终端上的峰值电压,显著降低电压反射现象对电网设备和逆变器的损伤。同时DVDT滤波器还提高系统的电磁兼容性,减少电磁干扰对周围设备和环境的影响。

4 正弦波滤波器与 DVDT 滤波器的选择与应用建议

4.1 选择原则

在选择正弦波滤波器与DVDT滤波器时,需遵循一系列原则以确保滤波器能够满足特定应用场景的需求。正弦波滤波器的选择原则:首先,需考虑负载的电气特性,如阻抗、功率因数等,选择与负载特性相匹配的正弦波滤波器。对于感性负载,应选用具有适当电感值的滤波器以抑制电流突变;对于容性负载,则需关注滤波器的电容特性,以避免谐振现象。根据系统对谐波抑制的需求,选择具有相应滤波精度的正弦波滤波器。对于要求较高的场合,如精密电子设备供电系统,应选用滤波效果更好的高阶滤波器。确保所选正弦波滤波器与系统其他部分的兼容性,包括电压等级、频率范围等。考虑滤波器的接入对系统整体性能的影响,如电压降、相位偏

移等。在保证滤波效果的前提下,综合考虑滤波器的成本、使用寿命以及维护费用,选择性价比高的产品。

DVDT滤波器的选择原则;(1)峰值电压抑制能力:根据应用场景中电机或电网可能承受的峰值电压水平,选择具有足够峰值电压抑制能力的DVDT滤波器。

(2)响应速度:关注滤波器的响应速度,确保在电压突变时能够迅速发挥作用,保护电机或电网设备免受损害。

(3)电磁兼容性:选择具有良好电磁兼容性的DVDT滤波器,以减少对周围设备的电磁干扰。(4)安装与维护便捷性:考虑滤波器的安装尺寸、重量以及维护便捷性,确保滤波器能够方便地安装于系统中,且易于日常检查和维护。

4.2 安装与维护注意事项

安装注意事项:位置选择;正弦波滤波器和DVDT滤波器应安装在靠近负载或电网接入点处,以减少传输线路上的损耗和干扰。接地处理;确保滤波器正确接地,以提高滤波效果和电磁兼容性。接地电阻应符合相关规定,且接地线应尽可能短而粗。电气连接;滤波器的电气连接应牢固可靠,避免松动或接触不良导致的故障。注意电气安全,确保在断电状态下进行安装和调试。

维护注意事项:定期对滤波器进行检查,包括外观、电气连接、接地情况等,确保滤波器处于良好工作状态。保持滤波器表面清洁,避免灰尘、油污等污染物影响滤波效果。对于户外安装的滤波器,还需注意防雨防潮。一旦发现滤波器出现故障或性能下降,应及时进行维修或更换。维修时,应遵循相关操作规程,确保安全。

4.3 应用前景与发展趋势

随着工业自动化和智能化程度的不断提高,对电能质量的要求也日益严格。正弦波滤波器作为改善电能质量的重要手段之一,其应用范围将不断扩大。特别是在新能源发电、电动汽车充电站、精密电子设备供电系统

等领域,正弦波滤波器将发挥更加重要的作用^[4]。未来,正弦波滤波器将向更高精度、更小型化、更智能化方向发展,以适应不同应用场景的需求。DVDT滤波器在保护电机免受峰值电压损害方面具有独特优势,因此在工业自动化、新能源发电等领域具有广泛的应用前景。随着电机技术的不断进步和电网结构的日益复杂,对DVDT滤波器的性能要求也将不断提高。正弦波滤波器和DVDT滤波器在改善电能质量、保护电机免受损害方面发挥着重要作用。在选择和应用这两种滤波器时,需遵循一定的原则,并注意安装和维护事项。

结束语

综上所述,正弦波滤波器和DVDT滤波器在变频器谐波抑制方面各有千秋。正弦波滤波器以其卓越的波形优化能力,成为改善电能质量的重要工具;而DVDT滤波器则以其高效的电压抑制性能,在保护电机免受高频谐波损害方面展现出独特优势。未来,随着技术的不断进步,两者有望在更多领域发挥更大的作用,共同推动电力电子技术的革新与发展。

参考文献

- [1]蓝马,黎青,庄德玉.采煤机非机载调速系统输出正弦波滤波器设计[J].电气传动,2019,49(6):30-32,78.DOI:10.19457/j.1001-2095.dqcd18558.
- [2]肖烨然,邵俊波,邱长青.基于正弦波滤波器的轮缘推进永磁同步电机无速度传感器控制[J].电网技术,2021,45(9):3618-3626.DOI:10.13335/j.1000-3673.pst.2020.2033.
- [3]上海富尔登实业有限公司.便于散热的正弦波滤波器:CN202322900361.9[P].2024-08-30.
- [4]王力,雷勇,敖兵.基于正弦幅值积分器的有源滤波器谐波检测[J].电测与仪表,2020,57(10):94-99.DOI:10.19753/j.issn1001-1390.2020.10.015.