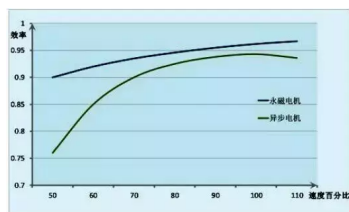


上海特波电机 科普专刊

永磁同步/异步电机 的性能解析

永磁同步电机与异步电机相比，具有明显的优势，它效率高，功率因素高，能力指标好，体积小，重量轻，温升低，



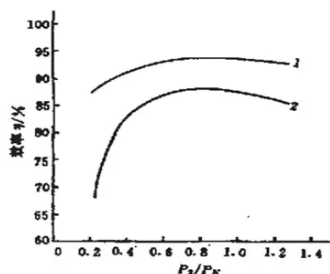
异步电机与永磁同步电机效率对比

技能效果显著，较好地提高了电网的品质因素，充分发挥了现有电网的容量，节省了电网的投资，它较好地解决了用电设备中“大马拉小车”现象。

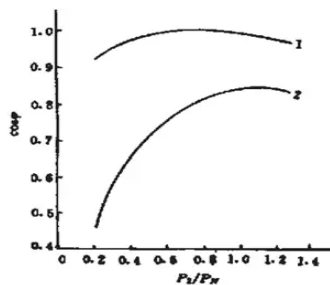
1. 效率及功率因素

异步电机在工作时，转子绕组要从电网吸收部分电能励磁，消耗了电网电能，这部分电能最终以电流在转子绕组中发热消耗掉，该损耗约占电机总损耗的20~30%，它使电机的效率降低。该转子励磁电流折算到定子绕组后呈感性电

流，使进入定子绕组中的电流落后于电网电压一个角度，造成电机的功率因数降低。另外，从永磁同步电机与异步电机的效率及功率因数曲线(图1)可以看出，异步电动机在负载率($=P_2/P_n$) < 50%时，其运行效率和运行功率因数大幅度下降，所以一般都要求其在经济区内运行，即负载率在75%-100%之间。永磁同步电机在转子上嵌了永磁体后，由永磁



(a) $\eta \sim (P_2/P_n)^{0.7}$



(b) $\cos\varphi \sim (P_2/P_n)^{0.7}$

图为永磁同步电动机与异步电动机的效率和功率因数

a. 异步启动永磁同步电动机 b. 异步电动机

特波电机科普杂志

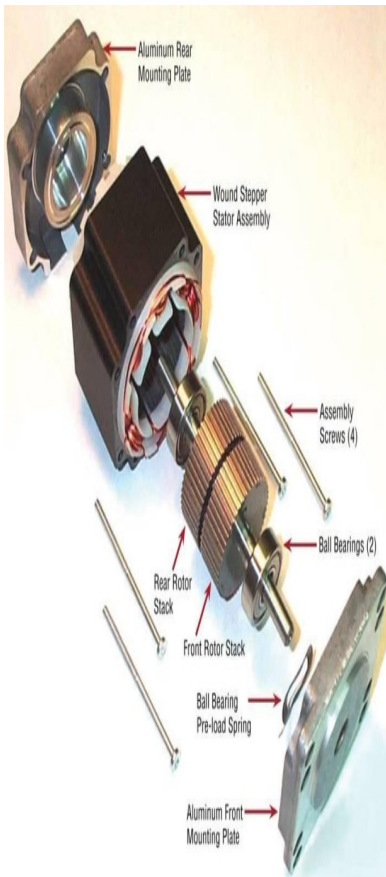
永磁同步/异步电机的性能解析

1

电机启动器和加热系统设计

2





电机启动器和加热系统设计

混合式继电器是将静态继电器和机械继电器并联在一起构成的开关元件，兼具机械继电器的低压降与硅器件的可靠性，常用于电器设备的电机启动器或加热器控制功能。

欧盟RoHS指令可能会影响到机械继电器的工作可靠性，因此，混合式继电器日益受到市场的青睐。

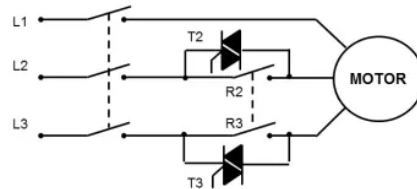
正确控制混合式继电器，看起来容易，做起来难。例如，在机械开关和半导体开关相互转换过程中可能会产生尖峰电压，引起电磁噪声辐射。为了有效降低尖峰电压，本文将探讨几个简易的控制电路设计技巧。

一、整合固态继电器与机械继电器的双重优势
当选择交流开关时，固态继电器和机械继电器

各有优缺点。半导体固态继电器响应速度快，导通无电压反弹，关断无电弧，电压反弹或电弧将会造成电磁干扰(EMI)辐射，缩短继电器的使用寿命。机械继电器的主要优点是导通损耗小，2 A RMS以上应用无需使用散热器；驱动线圈与电源接线端子之间隔离，无需通过光耦合器驱动可控硅整流管(SCR)或双向可控硅。

第三种继电器是将固态继电器与机械继电器并联，形成一个兼备这两种技术优势的混合式继电器(简称HR)。图1所示是电机启动器内的混合式继电器拓扑，这个三相电机启动器只需要两个混合式继电器，如果两个继电器都是关断状态，只要电机中性线没有连接，电机就会保持关断状态。如果负载连接了中性线，还可以在线 L1 上串联一个混合式继电器。

图 1: 左)基于混合式继电器的电机启动器；右)继



电器/双向可控硅控制序列

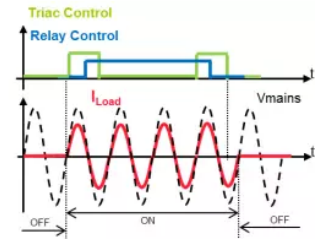
图1还描述了混合式继电器的控制序列:

接通序列:

- 1.双向可控硅(在大电流应用中，使用两个反极性并联的可控硅整流管)导通，负载零电压接通。
- 2.在一个或数个市电周期后，继电器接通。继电器的接通电压极低（通常是1-2V，恰好是双向可控硅的通态压降）。
- 3.在施加继电器线圈电流一到两个周期后，撤去双向可控硅栅电流，为继电器在双向可控硅关断前吸合提供充足的时间。因此，稳态负载电流只流经机械继电器。

关闭序列:

- 1.双向可控硅导通。因为继电器还在接通状态，所以负载电流主要流经机械继电器。
- 2.几毫秒后继电器关闭。像继电器接通一样，关闭电压同样极低。因此，电弧时间被缩短。
- 3.在撤去继电器线圈电流一个到两个周期后，再撤去双向可控硅栅电流，双向可控硅关断。混



合式继电器在零电流时关断。

继电器在近零电压时关闭，可提高继电器使用寿命十倍。如果是直流电流或电压关断，这个数字还能再高些。

更重要地是，因为欧盟RoHS指令(2002/95/EC)关于豁免锡限制使用的规定将于2016年到期，触点防锈和触点焊接所用的银-氧化锡合金将会被银氧化锌或银氧化锡替代。除非使用面积更大的触点，否则这些触点的使用寿命将会缩短。

零压导通技术还准许使用容性负载来降低涌流，容性负载包括灯具电子镇流器和内置补偿电容或逆变器的荧光灯具。这项技术有助于延长电容器的使用寿命，避免市电电压不稳问题。此外，固态继电器技术支持渐进式软启动或软停止。电机转速平稳升降可降低机械系统磨损，防止泵、风扇、电动工具和压缩机损坏。例如，管道系统中的水击现象就会消失，V型传送带打滑现象不会再出现。

这种混合式继电器常用于4-15 kW的设备，最高应用功率可达250kW。

此外，混合式继电器还可用于加热系统。脉冲控制器通常被用于设定加热功率或室温/水温。脉冲或周期跳跃模式控制方法是接通负载“N”个周期，关闭负载“K”个周期。像脉宽调制控制技术中的占空比一样，“N/K”周期比用于设定加热功率，虽然控制频率小于25-30 Hz，但是，对于加热系统的时间常量来说，这个频率已经足够快了。

二、EMI噪声源

驱动双向可控硅有很多控制电路可以考虑，前提是隔离电路。图1中的两个双向可控硅的参考电压不

同，所以隔离控制电路应该使用光耦双向可控硅或脉冲变压器。两个电路的工作方式不同，产生的EMI噪声也不相同。

图2所示是一个光耦双向可控硅驱动电路。当光耦双向可控硅LED激活时（即当微控制器I/O引脚置于高边时），通过R1施加双向可控硅栅极电流。电阻R2连接在双向可控硅G与A1端子之间，用于分流瞬变电压在光耦双向可控硅寄生电容上产生的电流。通常使用50-100欧姆的电阻器。

该电路的工作原理是在每个电流过零点（如图2所示）上产生峰值电压，即便光耦双向可控硅内置电压过零电路也是如此。

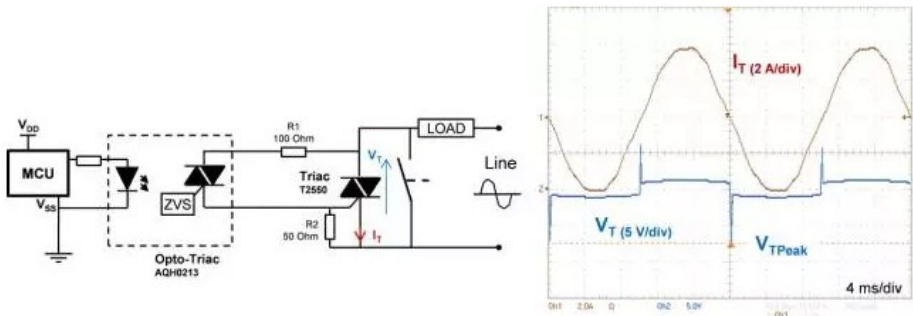


图2：左)光耦双向可控硅驱动电路；右)电流过零尖峰电压

事实上，在光耦双向可控硅电路内，双向可控硅的 A1和 A2端子之间必须有电压，才能向栅极上施加电流。双向可控硅导通时的电压降接近1V或1.5 V，这个压降值不足以向栅极施加电流，因为该压降小于光耦双向可控硅压降与G-A1结压降之和（两者的压降都高于1V）。因此，每当负载电流过零点时，没有电流施加到栅极，双向可控硅关断。

当双向可控硅关断时，线路电压施加在双向可控硅的端子上，该电压必须将VTPeak 电压提高到足够高，才能使施加的栅极电流达到双向可控硅IGT电流值。

图2实验使用了一个T2550-12G双向可控硅(25 A，1200 V，50 mA IGT)，最高峰值电压等于7.5 V(在负电压转换过程中)。假设 G-A1结和光耦双向可控硅的典型压降分别为0.8 V和1.1 V，这个实验使用一个200欧姆电阻器R1取得28 mA栅极电流。对于我们所用样品，这个电流是第三象限(负电压VT 和负栅极电流)导通所需的电流IGT。

如果样品的IGT电流接近最大指定值(50 mA)，VTPeak 电压将会更高。因为IGT 值随着温度降低而升高，如果双向可控硅的结温较低，VTPeak 电压将会更高。

因为VTPeak电压的频率是线路电压频率的两倍

(若市电50 Hz，则该电压频率是100 Hz)，其EMI噪声辐射超出了EN 55014-1电器设备和电动工具标准规定的辐射限制。还应指出地是，这个噪声只在双向可控硅导通时才会出现。只要绕过继电器，噪声就会消失。EN 55014-1断续干扰限制规定与反复率(或“click”)有关，即混合式继电器的工作频率和干扰时长。

为避免这些电压峰值，在光耦双向可控硅与脉冲变压器之间优先选择脉冲变压器。在变压器二次侧增加一个整流全桥和一个电容器，用于修平整流电压，为驱动双向可控硅栅极提供直流电流。因此，在电流过零点不再有尖峰电压，不过，当导通状态从机电继电器转换到双向可控硅时，还会发生电磁干扰。只有在混合式继电器关闭时才会发生导通转换。图3.a描述了这个阶段发生的尖峰电压；时间恰好是在双向可控硅导通时，整个负载电流从继电器突然切换到双向可控硅。图3.b图所示是双向可控硅上电流上升过程的放大图。dIT/dt速率接近8 A/μs。双向可控硅被触发时还没有导通（因为全部电流还是流经机械继电器），当电流开始流经可控硅时，硅衬底具有很高的电阻。高电阻将会产生高峰值电压，在图3使用T2550-12G进行的实验中，该峰压为11.6 V。在双向可控硅开始导通后，其硅结构的正反面P-N结将向硅衬底注入少数载流子，这会降低衬底

体来建立转子磁场，在正常工作时转子与定子磁场同步运行，转子中无感应电流，不存在转子电阻损耗，只此一项可提高电机效率4%~50%。由于在水磁电机转子中无感应电流励磁，定子绕组有可能呈纯阻性负载，使电机功率因数几乎为1.从永磁同步电机与异步电机的效率及功率因数曲线(图1)可以看出，永磁同步电机在负载率>20%时，其运行效率和运行功率因数随之变化不大，且运行效率>80%。

2. 起动转矩

异步电机起动时，要求电机具有足够大的起动转矩，但又希望起动电流不要太大，以免电网产生过大的电压降落而影响接在电网上的其他电机和电气设备的正常运行。此外，起动电流过大时，将使电机本身受到过大电力的冲击，如果经常起动，还有使绕组过热的危险。因此，异步电机的起动设计往往面临着两难选择。

永磁同步电机一般也采用异步起动方式，由于永磁同步电机正常工作时转子绕组不起作用，在设计永磁电机时，可使转子绕组完全满足高起动转矩的要求，例如使起动转矩倍数由异步电机的1.8倍上升到2.5倍，甚至更大，较好地解决了动力设备中“大马拉小车”的现象。

3. 工作温升

由于异步电机工作时，转子绕组有电流流动，而这个电流完全以热能的形式消耗掉，所以在转子绕组中将产生大量的热量，使电机的温度升高，影响了电机的使用寿命。

由于永磁电机效率高，转子绕组中不存在电阻损耗，定子绕组中较少有或几乎不存在无功电流，使电机温升低，延长了电机的使用寿命。

4. 对电网运行的影响

因异步电机的功率因数低，电机要从电网中吸收大量的无功电流，造成电网、翰变电设备及发电设备中有大量无功电流，进而使电网的品质因数下降，加重了电网及枪变电设备及发电

设备的负荷，同时无功电流在电网、输变电设备及发电设备中均要消耗部分电能，造成电力电网效率变低，影响了电能的有效利用。同样由于异步电机的效率低，要满足输出功率的要求，势必要从电网多吸收电能，进一步增加了电网能量的损失，加重了电网负荷。

在永磁电机转子中无感应电流励磁，电机的功率因数高，提高了电网的品质因数，使电网中不再需安装补偿器。同时，因永磁电机的高效率，也节约了电能。

的电阻，将通态电压降至约1V-1.5 V。

这种现象与PIN二极管上的峰值压降现象相同，导通时电流上升速率高，所以PIN二极管数据手册给出VFP峰压，该参数大小与适用的 di/dt 参数有关，如果是高频开关应用，该参数将会影响能效。在混合式继电器中，VFP电压只在继电器关闭时才会出现，计算功率损耗时无需考虑。

还应注意地是，既然VFP现象是因注入少数载流子以控制衬底电阻所用时间造成的，1200V

的双向可控硅的VFP高于800V解决方案的VFP，例如，T2550-8。因此，必须精心挑选器件所能承受的VFP电压，因为过高的余量将会导致双向可控硅导通时峰压较高。虽然峰压实际测量值高于在光耦双向可控硅电路上测量到的峰压，但是，因为这种现象只是在混合式继电器关闭时每周期出现一次，且持续时间只有几毫秒，所以，EMI电磁干扰还是降低了。尽管脉冲变压器使用昂贵的铁氧磁芯，体积大，成本高，考虑到这个原因，脉冲变压器驱动电路依然是首选。

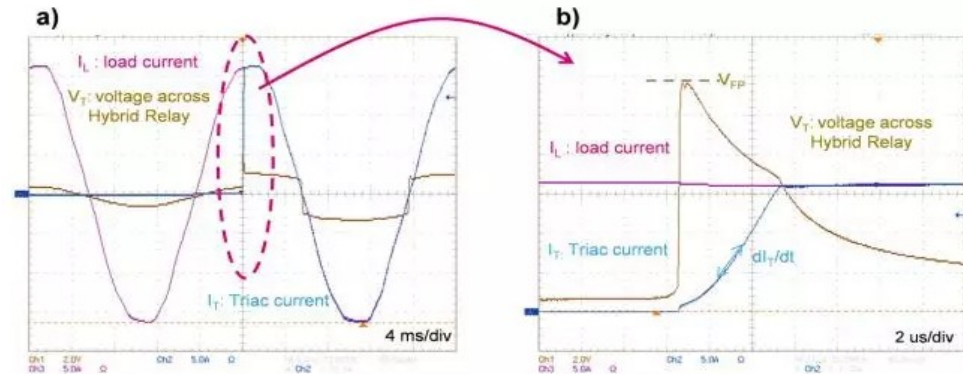


图3：混合式继电器关闭(a) – 接通时的放大图(b)

编译：特波科普杂志编辑部

上海特波电机有限公司

上海市浦东新区康桥镇
康柳路303号

电话: +86-21-68192006

传真: +86-21-68193158

www.techtop.com

