

天市场上5kVA以上的UPS大都采用双变换模式,这好像是天经地义的。但是,仔细研究会发现一个事实,传统的逆变器优先运行模式(双变换模式)千辛万苦,将市电通过整流器和逆变器进行能量的两次100%转换,好不容易输出了1%精度的交流电给负载供电,但是看看IT设备对交流电源的要求(-20%,+10%,40~70Hz),可以发现1%的电压精度其实对IT设备没有多大价值。相反,在双变换模式下,能量经过两次100%的转换后效率较低(90%~95%),最要命的问题是电容、电感、功率器件IGBT等每秒钟都要承受所有的负载电流,元器件的疲劳老化严重,寿命降低,从而可用性降低。从本质上来说,传统的逆变器优先运行模式(双变换)就是一种低可用性的模式(图1)。

为了提高可用性,降低TCO(提高效率),早在2010年,行业里面又推出了一种新的运行模式,叫做ECO模式(经济模式),也叫做旁路优先运行模式。该种模式下,绝大部分的时间UPS都是工作在旁路。当旁路市电超出了IT设备能够允许的范围(设定的窗口)之后,它将会自动的切换回逆变器运行模式。这种模式相当于是市电直通,输入的性能指标就是IT负载的性能指标,即UPS输入功率因数=IT设备的功率因数(0.90~0.95),输入的谐波电流=IT的设备的谐波电流(15%~30%)。这种模式的好处是市电直供,效率可达99%。ECO模式的缺点是,市电电网的故障是千变万化的,在某些情况下,它不能够保证百分之百地能从旁路模式切换到逆变器模式,它会有一个切换时间,当切换时间超过IT设备能够承受的范围时,就会造成IT设备重启,使得IT应用的可用性降低。

可见逆变器优先运行模式(双变换模式)和普通旁路优先运行模式在可用性方面都有较大的弱点。2012年施耐德研发团队研发出了第三种模式-即超级旁路优先运行模式(E变换模式)。它不是普通的旁路优先模式。如图1所示,该模式下,逆变器与旁路市电并联工作,逆变器精确控制的结果是最终实现由旁路市电提供有功功率(基波电流),逆变器提供无功功率(谐波电流),两者合起来就是IT负载所需要的电流。因此市电的输

入功率因数可以做到 >0.99 ,输入的谐波电流 $<3\%$ 。该模式下UPS提供一级供电质量,保证IT设备的正常运行。同时,逆变器还可以给电池提供10%的充电能力。

当市电电网有问题时,会自动关断旁路市电供电,由逆变器100%的给负载供电,由于逆变器本身一直在工作,因此也就不存在切换时间,或者说切换时间 $=0\text{ms}$,从而保证了可用性。同时特殊的可控硅关断控制技术,也确保电池的能量在任何情况下都不会倒灌回电网。

仔细分析发现,超级旁路优先运行模式最大的优点其实是:电容、电感、功率器件等没有承受所有的负载电流,长期处于轻载运行,因此元器件的疲劳老化轻微,寿命延长,系统可用性提高。可以说超级旁路优先运行模式理论上就是一种高可用性的运行模式。另外,在这种模式之下,我们看到效率也非常高,可以达到98.8%。

总结如下:超级旁路优先运行模式下功率器件负载率低,器件疲劳老化轻微,是一种高可用性的运行模式。输入功率因数0.99,输入谐波含量 $<3\%$ 。输出供电质量达到国际一级标准,切换时间为零毫秒,效率高达98.8%以上。满足了用户高可用性、高效率、高输入性能指标的要求,这是非常完美的一种模式。这种模式是施耐德在2012年获得的技术专利,并在2014年开始全面应用到GalaxyV系列产品。

下面计算对比一下超级旁路优先模式(E变换)和传统的逆变器优先模式(双变换)的能耗。以1000kW的IT负载为例,施耐德Galaxy7000系列UPS双变换模式的效率是94.3%,而GalaxyV系列UPS超级旁路优先模式的效率可以达到99.1%,效率差是4.8%。再考虑到空调的耗电,总共加起来两个系统的效率差是6.4%,在1000kW负荷下,每年节省 $365 \times$

$24 \times 6.4\% \times 1000 = 56$ 万度电,三相大功率UPS一般使用寿命都是十年以上,十年下来,它可以节省560万度电。

多电平逆变器技术(图2)

三相UPS电源的第二个重要的趋势是新型逆变器技术的发展。前面已经介绍了超级旁路优先模式的好处,如高可用性、高效率、高输入性能指标、一级供电质量等,但是某些行业用户,它的使用习惯或者是行业的规范要求UPS要运行在逆变器优先模式(双变换)。思维的惯性,也使得相当大一部分用户在相当长时间内还是喜欢运行在逆变器优先模式,这点,从到今天为止还有用户偏好工频机就可以看出来。可以预见,今后相当长一段时间内超级旁路优先运行模式和逆变器优先运行模式在中国将会长期共存。

因此UPS厂家也必须在逆变器技术方面进行研究。传统的工频机和高频机都采用的是两电平逆变器的技术。工频机的直流母线电压为432V。高频机的直流母线电压是750 ~ 800V。高频机由于效率高、体积小、重量轻,早在上世纪90年代就是各个厂家重要的技术发展方向。

但高频机两电平逆变器架构中其功率器件IGBT的承压就是直流母线电压750 ~ 800V,这样就必须挑选耐压值为1200V甚至1500V的IGBT功率器件。研究功率器件发现,耐压值越高的功率器件,其失效率越高(是耐压值800V器件的十倍)。因此为了提高逆变器的可用性,必须降低功率器件的承压。

三电平逆变器应运而生,它通过增加功率器件串联来分担高频机的800V直流母线电压,使得每一只器件的承压降低到了400V,这样我们就可以选择600或者800V耐压的功率器件。从而提高可用性。400V电压甚至低于工频机的432V的直流母线电压,从理论上说,三电平逆变器的高频机的可用性已经高于传统的两电平逆变器工频机。

进一步又开发出了四电平逆变器,使得功率器件的承压降低到直流母线电压的1/3即266V。因此我们可以采用500V或者是600V耐压的功率器件,使得逆变器的可用性得到进一步的提高。

同时从效率的角度来讲,两电平逆变器的效率大概能做到94.5%,三电平逆变器的效率可以做到96%,四电平逆变器的效率可以做到97%。

但是多电平逆变器带来了一个不好的地方,功率器件的数量增加了。使得制造成本提高,理论上故障率也会提高。因此从这个角度出发,不可能无限制地采用比如说五电平六电平的逆变器,也没有必要。

研发人员又重新思考,回到了三电平逆变器。但是它是一个采用混合型架构的三电平逆变器(图3),增加了一个零电压开关的控制环节,目的是使得IGBT的开关损耗减少了50%,同时功率器件的数量也得到了降低。

采用混合三电平逆变器的效率达到了97.5%,只用了24个功率器件(四电平架构要用到50个功率器件)。因此新型的混合三电平逆变器技术,它不但提高了效率,降低了元器件

的数量,降低了成本,同时理论上讲,由于元器件的数量的降低,它的可用性也得到了提高。

从后备到储能-电池角色的转变

第三个重要的趋势是电池角色的转变,从以前的后备角色的被动工作状态转变到今天的储能角色的主动工作状态(图4)。

UPS供配电系统是由UPS主机、电池、配电系统等构成的,电池在整个系统当中占有重要的地位,其成本的占比也非常高。对于大功率UPS系统来讲,在10~15年的生命周期中,电池要更换2~3次,因此电池的成本甚至要高于UPS主机的成本。

传统的UPS供配电系统当中,电池的角色是个什么样的定位呢?绝大多数情况下,电池处于后备的被动工作的状态。数据表明,2016年中国10kV电网的可用性是比较高的。城市范围内10kV平均每年的断电次数为1.2次,平均每年的断电时间是5.2h,其中有3.5h是有提前预告的维护性断电,只有1.7h是属于突发性的断电。可以说,每年电池大概会有2次的使用机会,那么电池每次会放电多长时间呢?大型的数据中心,都会配备发电机,发电机在市电中断以后,在1min内就会完成启动并处于可以供电的状态。也就是说其实电池在每年2次的放电过程中,每次只工作了1min,这是绝大多数的数据中心电池的真实运行模式。

UPS系统中,UPS主机每秒钟都在工作,我们花在UPS的上面的钱是有价值的,但是电池我们花的钱更多,结果却是每年仅工作2次,每次只工作1min,而且电池日常维护工作量

还是比较大的。