

绿色 UPS

武 毅 (清华大学建筑设计研究院 100084)

摘 要 简单介绍了 UPS 的基本结构, 着重分析了 UPS 在使用中给电网及环境造成的污染及其原因, 最后给出了几种当前较为先进的消除此类污染的环保技术措施。

关键词 UPS 污染 环保 电流谐波 功率因数 超导储能 飞轮储能

1 引言

UPS (不间断电源系统) 能够为负载提供连续稳定的电能。随着计算机、精密电子仪器等用电设备的普及以及电信、医院、银行、体育场馆、机场等重要场所对供电质量要求越来越高, UPS 得到了广泛的应用, 已经逐步发展成为高可靠、高性能、高度自动化的局部供电中心。但是, 随着 UPS 的大量使用, 其对电网及环境造成的污染也渐渐显现出来。在环保意识日益强烈的今天, 人们不断研究开发新的环保技术替代原有技术, 使 UPS 逐步成为真正的绿色电源。

2 UPS 的基本原理

用电设备重新投入使用时, 二次线路很容易再次发生短路故障, 故二次线路还是以满足热稳定要求为宜。而熔断器一般不需要作热稳定校验。

由于熔断器以其自身产生的热量参数确定切断电路时间, 只要合理选用就能保证在短路电流损坏线路绝缘前被切断, 故选用熔断器作为控制回路的保护电器更具有现实意义。此外, 熔断器同断路器相比, 还具有一个可靠性高的优点。由于断路器结构较复杂, 机械环节多, 因而易发生机械故障, 影响断路器的工作, 而熔断器不存在此情况。因此, 熔断器的短路保护性能优于低压断路器, 更适合于控制回路短路保护。

如果控制回路采用低压断路器保护, 由于低压断路器一般不具有明显的断开点, 不宜作为隔离电器, 根据《通用用电设备配电设计规范》(GB50055-93) 第 2.6.1 条规定, 还必须在低压断路器前侧加设隔离电器。而如采用熔断器作为保护电器, 由于其具有明显的断开点, 因而可以同时作为保护电器

一般来讲, UPS 由五大部分组成: 整流电路、储能机构、逆变电路、旁路开关电路及测控电路。如图 1 所示: ①整流电路: 将交流电变换为直流电, 完成对储能机构充电, 同时通过逆变器向负载供电。②储能机构: 储能机构是 UPS 的核心部分, 当市电正常时, 储能机构从电网吸收能量储存; 当市电中断时, 储能机构将电能释放出来, 供逆变器使用。③逆变电路: 将整流电路所得的直流电压或者储能机构的电压变换成交流电压。④旁路开关: 是市电旁路供电和逆变器供电的电气转换器件。⑤测控电路: 是 UPS 的“大脑”, 监测输入电压、电流的水平和控制输出的电压和电流精度; 设置和控

与隔离电器使用, 不仅有利于降低成本, 而且使控制回路的接线更为简单。

采用熔断器保护控制回路, 也不会出现一般配电线路上因某相上的熔断器熔断, 从而导致电气设备断相运行问题。首先, 控制回路一般不具有可以断相运行的设备; 其次, 电气设备的控制回路一般由单相 220V 相电压或两相 380V 线电压供电, 串接在控制回路上的任一熔断器熔断, 整个控制回路就断电, 故不存在断相运行问题。

综上所述, 采用熔断器保护电气设备的控制回路, 不仅安全可靠, 安装维护简单, 而且经济适用。因此, 笔者认为熔断器是保护电气设备控制回路的首要选择。

参 考 文 献

- 1 郑凤翼主编. 低压电器及其应用. 北京: 人民邮电出版社, 1999: 82
- 2 上海市电机工程学会, 《电世界》编辑委员会编. 电工问答 1500 例. 上海: 上海科技出版社, 1989: 102 ~ 103

制整流器、逆变器；控制储能机构的充放电；控制主回路与旁路之间的转换。

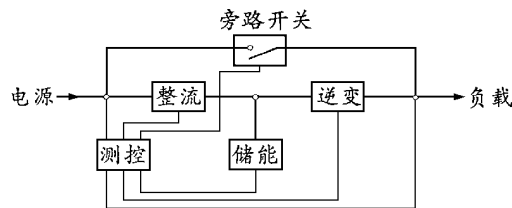


图 1 UPS 结构框图

3 UPS 带来的污染

3.1 对电网的污染

一般 UPS 的整流电路常采用晶闸管相控整流电路，常用的整流电路有三相全桥六脉冲整流电路、六相全桥十二脉冲整流电路等。相控整流电路结构简单，控制技术成熟，但由于交流输入功率因数低，并向电网注入大量的谐波电流，会对电网产生较大的污染。

3.1.1 谐波含量高

相控整流电路利用整流元件的导通、截止作用短接和断流，以达到改变输出电压的目的，这样就会产生谐波电流，当整流电路滤波电抗足够大，不计换相重叠角且控制角为零时，谐波次数和谐波电流(理论最大值)为：

$$n = kp \pm 1$$

$$I_n = \frac{I_1}{n} = \frac{I_1}{kp \pm 1}$$

式中： k ——整数 1, 2, 3, ……；

p ——整流电路的相数或每周脉冲数；

I_n —— n 次谐波电流；

I_1 ——基波电流。

常用整流器负荷电流的谐波次数、谐波电流、含量(理论最大值)、电流总谐波畸变率见下表。

常用整流器负荷电流的谐波次数、谐波电流及含量、
电流总谐波畸变率(理论最大值)表 (单位：%)

整流电路 接线方式	$I_n = I_1/n$										谐波电 流含量 I_H	电流总谐 波畸变率 THD_I
	$n=1$	5	7	11	13	17	19	23	25	$\sqrt{\sum_{n=2}^{25} I_n^2}$		
三相 六脉冲	100	20	14	9.1	7.7	5.9	5.3	4.3	4	28.9		28.9
六相十二 脉冲	100	0	0	9.1	7.7	0	0	4.3	4	13.3		13.3

此外，在 UPS 中一般由交流市电输入整流，整

流后大都采用大容量的电容器进行滤波以使输出电压平滑(在 UPS 中还并联有蓄电池)，只有电压高于滤波电容两端电压时，滤波电容才开始充电，这就在电容充电期间形成了宽度很窄的脉冲电流，这种电流不仅严重滞后于电源电压，而且谐波分量很大。

3.1.2 输入功率因数低

传统的中大型 UPS 一般都是双逆变在线式结构，输入整流器采用三相全桥六脉冲可控整流电路，其输入功率因数是由换相重叠角 γ 和控制角 α 来决定的。换相重叠角 γ 是指由于电感作用而导致的完成换相所需要的相位持续时间；控制角 α 表示触发延时时间，即从自然换相点计起到晶闸管门极触发脉冲前沿为止的时间。相控整流电器的功率因数为：

$$\cos \phi = \cos (\alpha \pm \frac{\gamma}{2})$$

如果换相重叠角 γ 很小，可以忽略不计，则相控整流器的功率因数表达式为：

$$\cos \phi = \cos \alpha$$

说明整流器的功率因数主要与控制角的余弦有关，控制角愈小，功率因数愈大；反之则功率因数愈小。实际上，在整流电路中，除了存在整流电压与整流电流之间相位差之外，还存在着由于高次谐波电流引起的电流波形畸变问题，用电流畸变系数 μ 进行计算。电流畸变系数 μ 如下式所示：

$$\mu = \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}$$

考虑到高次谐波畸变因数后，整流器的功率因数 PF 可以表示为：

$$PF = \mu \cos \phi$$

高频开关整流电源由于是峰值整流形式，其输入电流为很窄的大电流脉冲波，谐波分量很大，电流畸变系数 μ 很低，故其功率因数 PF 也很低。

3.1.3 高谐波含量、低功率因数的危害

大量谐波电流涌入电网后，会使线路的附加损耗增加，引起线路过热，加速绝缘介质的老化，导致绝缘破损。另外，谐波电流通过电网时会产生有功损耗，对电网的经济运行很不利。另外，由于电网中设置的并联电容器的容抗会随着谐波次数的增

加而减小,因而会使电容器过电流发热导致绝缘击穿的故障增多。

电力系统存在分布电容和功率因数补偿电容器,谐波电流有可能激发局部串联谐振或并联谐振,直接破坏整个系统的安全运行。

当选用柴油发电机组与 UPS 匹配使用时,UPS 向柴油发电机组反射的大量高次谐波,特别是 5 次和 11 次谐波会对柴油发电机组产生严重的危害,使柴油发电机组的效率大大降低。

大量的谐波会使用电设备运转不正常或者不能正常操作;谐波同时会干扰通信系统,降低信号的传输质量,破坏信号的正常传递,甚至损坏通信设备。

功率因数低会使电网的电压下降,电气设备得不到充分利用,大量的无功电流在线路上流动占用了线路资源,降低了线路传输有功电流的能力,增加附加损耗,降低发电、输电及用户设备的效率。

3.2 UPS 对环境的污染

目前 UPS 中广泛采用蓄电池作为储存电能的装置。蓄电池需先用直流电源对其充电,将电能转化为化学能储存起来。当市电中断时,UPS 依靠储存在蓄电池中的能量维持逆变器的正常工作,此时蓄电池通过放电将化学能转化为电能提供给 UPS 使用。

UPS 中应用的蓄电池共有三种:开放型液体铅酸电池、密封式免维护铅酸蓄电池、镉镍蓄电池。

开放型液体铅酸电池的正电极活性物质过氧化铅,负电极活性物质是海绵状铅,电解液是浓硫酸。蓄电池在充电过程中,电池内部产生的硫酸蒸汽、水蒸汽、氢气和氧气等混合物会逸出扩散到空气中。铅酸蓄电池制造过程中会产生大量的固体废弃物、含硫酸和重金属废水以及含铅尘、铅烟的大量废气。铅酸蓄电池中的铅和铅氧化物在蓄电池的生产和使用过程中以粉尘和烟雾的形式通过呼吸道和消化道进入人体,铅是人体唯一不需要的微量元素,它性质稳定,不可降解,对人体神经系统、消化系统、造血系统以及肾脏有一定的影响。

尽管密封式免维护铅酸蓄电池生产厂家采用各种办法减少硫酸蒸汽、水蒸汽、氢气和氧气等混合物逸出,使它们尽量消化在电池内部,但绝对控制是不可能的;同样由于密封式免维护铅酸蓄电池的工作原理仍然延续传统的铅酸电池,采用同样的

反应物质,它对环境带来的污染也是不可避免的。

镉镍电池的正极性物质是高价氢氧化镍,负极性物质是海绵状金属镉,氢氧化钾或氢氧化钠的水溶液作为电解液。镉是重要的工业和环境污染物质,主要来源于锌、铜、铅矿的冶炼,电镀、蓄电池、合金、油漆和塑料等工业生产中。镉污染的主要途径是食物和吸入。镉是人体非必需且有毒元素,还是 IA 级致癌物,具有致癌、致畸和致突变作用,镉在体内的生物半衰期长达 10~30 年,为已知的最易在体内蓄积的有毒物质。镉的不断累积,可使接触者产生各种病变,还可引起肺、前列腺和睾丸的肿瘤。

4 环保措施

4.1 减少对电网的污染

现代意义的 UPS 越来越注重对电网的环境保护意识,在降低谐波污染、无功损耗等方面根据 UPS 功率大小的不同,电路结构的不同可以采取不同的措施和方法。

传统的大功率 UPS 整流器大都采用晶闸管相控整流电路,在输入侧加装无源滤波器,来吸收谐波和提高功率因数,但是由于受到滤波器的体积和成本的限制,最高可使功率因数提高到 0.9,电流总谐波畸变率 THD_I 为 5%。而且无源滤波器抑制谐波本质上是频域处理方法,即将非正弦周期电流分解成傅里叶级数,对某些谐波进行吸收,因此只能抑制固定的几次谐波,补偿固定的无功功率。针对无源滤波器的上述缺点,人们提出了在 UPS 网侧设置有源滤波器对谐波和无功功率进行补偿。有源滤波器以时域分析为基础,对畸变波形实时跟踪补偿,使得电源侧的电流波形与电压波形一致。有源滤波器具有高度可控性和快速响应特性,并且能补偿各次谐波,自动产生所需变化的无功功率,其特性不受系统影响,不增加电容元件,可以避免系统发生谐波谐振,相对体积和重量较小。

UPS 电路中采用高频整流技术,通过高频 PWM(脉冲宽度调制)控制,可以使输入电流和输入电压相位相同,网侧功率因数为 1,输入谐波电流也将降到 3% 以下。其网侧高频滤波器的体积非常小,只要载波的频率足够高,就可以利用线路的杂散电感和很小的电容进行滤波,实现输入电流正弦化。

此外,可以在 UPS 的结构上进行改进,避免

传统的双变换在线的串联级联的模式,采用先进的模式克服功率较大的相控整流器对电网的干扰和影响,也可以对电网起到一定的调节作用。例如,采用高频双向变换串并联补偿电路结构,如图2所示。

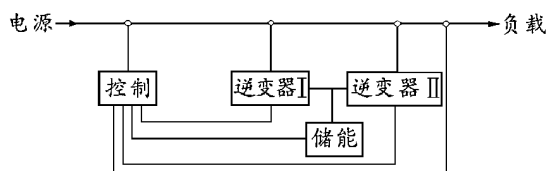


图2 高频双向变换串并联补偿电路结构框图

该系统由两个逆变器组成,两个逆变器都是可双向变换的高频逆变器。逆变器I实际上是一个并联在主回路的电流源,把负载电流中的无功和谐波滤掉,同时对电网电压的变化进行补偿。输入电压高于输出电压时,吸收功率形成反极性电压补偿;输入电压低于输出电压时,输出功率形成正极性补偿。逆变器II是一个电压源,并接于负载两端,稳定输出电压,保证向负载提供纯净的正弦波电压,此功能是与逆变器I共同完成的。当逆变器I输出功率进行正极性补偿时,逆变器II从电网吸收电流并逆向变换给逆变器I;当逆变器I吸收功率做反极性补偿时,逆变器II将逆变器I吸收的功率以电流形式正向变换转送给负载。逆变器II同时控制中间储能装置的电压,完成对储能装置的充电,保持此点电压的稳定。另外,逆变器II还对负载端的无功电流和谐波电流进行补偿,保证负载端的电流谐波成份不传送到输入端。高频双向变换串并联补偿电路既可以实现输入电流正弦化,又可以使输入功率因数为1或者其它值,系统的运行效率也很高。此种UPS接入电网不仅不会造成电网的无功功率的增加,而且还可以适量地对电网进行无功调节。

总之,对于小功率的UPS可以采用PFC(功率因数校正器)整流器和高频PWM整流器及其相应的控制技术,对于大中功率的UPS采用高频双向变换串并联补偿电路结构比较适合,具有广阔的发展和应用前景。

4.2 消除对环境的污染

近年来人们越来越关注环境,如何在发展的同时保护环境,成为社会生活中的大问题,UPS中大量采用铅酸及镉镍蓄电池作为储能装置,已经成为对环境造成破坏的污染源,消除UPS对环境的污

染的根本措施就是采用环保的无污染的储能装置替代原有的化学电池,目前新兴的高科技储能技术主要有两种:超导储能和飞轮储能。

4.2.1 超导储能(SMES)

超导材料具有高载流能力和零电阻的特点,可长时间无损耗地储存大量电能,需要时储存的能量可以连续释放出来。在此基础上可制成超导储能系统。超导储能装置一般由超导线圈、低温容器、制冷装置、整流逆变装置和测控系统几部分组成。如图3所示。

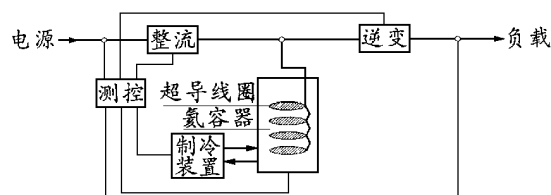


图3 超导储能装置结构框图

其中超导线圈是超导储能装置的核心部件,它可以是一个螺旋管线圈或是环形线圈。螺旋管线圈结构简单,但周围杂散磁场较大;而环形线圈周围杂散磁场小,但是结构较为复杂,超导线圈以电感的方式直接将电能储存起来。如果线圈由普通的铜线绕成,磁能将会由于线圈电阻的存在以热的形式散失掉,然而如果导线具有超导特性(没有电阻),能量就会恒久地存在直到需要为止。超导储能装置储存的能量 E 由下式决定:

$$E = \frac{1}{2} LI^2$$

式中: L ——线圈的感应系数;

I ——流过线圈的电流。

一个完整的超导储能系统的运行原理非常简单,首先通过整流装置将电网提供的交流电转化为直流电加入到超导线圈中,因此当能量从系统流入线圈中时,直流电压将会对超导线圈充电,能量被储存在线圈中,能量储存的多少是由装置的设计决定的。当交流网络需要提供能量时,线圈作为电源,释放储存的能量,通过逆变器将直流电转换为交流电。

超导储能装置是一种先进的储能方式,它将电能储存在超导线圈内的磁场中,超导储能线圈产生的磁场很强,储存的能量密度很高,储能与释放能量的次数基本不受限制,由于超导储能系统中不存

在化学反应,在运行过程中不会产生有毒物质,因此对环境几乎不会造成污染。但是,超导的实现是通过把线圈的温度降低到它要求的温度以下来完成的,就目前的技术而言这个温度非常低,使用铌-钛合金的超导线圈,需要将温度保持在液氮的温度下。因此,持续维持线圈处于超导状态所需要的低温而花费的维护费用就十分昂贵,这样便限制了超导储能应用的普及。但是,超导储能仍然是许多科研工作者的研究方向。

4.2.2 飞轮储能

飞轮是绕轴旋转的简单物体,飞轮储能装置从本质上讲是一种机械电池,飞轮以动能的方式储存能量。飞轮储能装置主要包括:飞轮、电机、轴和轴承、真空容器、整流器、逆变器、测控装置。在整个飞轮储能装置中,飞轮是核心部件,它直接决定了整个装置的储能多少,它储存的能量 E 等于组成飞轮的各个部分的动能之和,具体由下式决定:

$$E = 1/2 j \omega^2$$

式中: j ——飞轮的转动惯量,与飞轮的形状和重量有关;

ω ——飞轮转动的角速度。

$$j = k \times M \times R^2$$

式中: M ——质量;

R ——半径;

k ——惯性常数(由形状决定)。

不同形状的惯性常数为:轮圈 $k = 1$; 厚度均匀的固体圆盘 $k = 1/2$; 固体圆球 $k = 2/5$; 球壳 $k = 2/3$; 细矩形棒 $k = 1/2$ 。

为了减少运转的损耗,提高飞轮的转速和飞轮储能装置的效率,飞轮储能装置轴承一般都使用非接触式的磁悬浮轴承技术,而且将电机和飞轮都密封在一个真空容器内减少风阻。通常发电机和电动机使用一台电机来实现,通过轴承直接和飞轮连接在一起。

飞轮储能装置最基本的工作原理就是,将电网输入的电能通过电动机转化为飞轮转动的动能储存起来,当测控系统感知到网侧电源不正常或者中断时,又通过发电机将飞轮的动能转化为电能,输出到外部负载,其中整流器和逆变器为双向的,在储能状态时保证对飞轮平稳储能,在释放能量过程中保证输出的电能符合负载的严格要求;当网侧电源

恢复正常时,飞轮回到备用状态,整个装置就可以以最小损耗方式运行。它的结构框如图4所示。

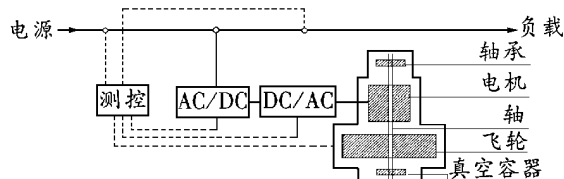


图4 飞轮储能装置结构框图

飞轮储能的技术已经比较成熟,由于它具有安全、清洁、工作可靠、效率高、寿命长、维护费用低等优点,必将逐步取代化学储能装置,占领更大的储能设备市场。

5 结语

综上所述,不难看出 UPS 对电网的污染主要是由其非线性特性决定的,当前采用的几种提高功率因数降低谐波电流的措施,都是对电流波形进行校正或补偿,使其从电源侧看呈现线性负载特性,但是由于 UPS 的本质特性,现今使用的各种方法还不能完全实现输入电流与输入电压保持完整的正弦波形,还需要不断研究开发新的技术手段;UPS 对于环境的污染主要来源其化学储能电池内的重金属,采用新的不含污染源的超导储能、飞轮储能装置就可以从根本上消除 UPS 对环境的污染。

参考文献

- 1 中国航空工业规划设计研究院等编. 工业与民用配电设计手册. 第二版. 北京: 水利电力出版社, 1994: 227 ~ 233
- 2 吴竞昌等编. 电力系统谐波. 北京: 水利电力出版社, 1988: 11 ~ 158
- 3 张乃国主编. UPS 供电系统应用手册. 北京: 电子工业出版社, 2003: 1 ~ 124
- 4 赵可斌, 陈国雄编. 电力电子变流技术. 上海: 上海交通大学出版社, 1993: 3 ~ 71
- 5 宋文南, 刘宝仁合编. 电力系统谐波分析. 北京: 水利电力出版社, 1995: 1 ~ 81
- 6 周志敏, 周继海编. UPS 实用技术—应用与维护. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 1 ~ 90
- 7 张文保, 倪生麟编著. 化学电源导论. 上海: 上海交通大学出版社, 1992: 45 ~ 147
- 8 章立源等著. 超导物理学. 北京: 电子工业出版社, 1995: 1 ~ 13
- 9 林德华编. 超导物理基础与应用. 重庆: 重庆大学出版社, 1992: 180 ~ 190
- 10 高子忠编. 环境保护及三废处理. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990: 35 ~ 39