

不间断电源系统 (UPS) 的现状与发展趋势

刘 树 声

(电子技术系)

摘 要 UPS 已广泛用于各种不允许供电突然中断, 或对供电质量要求较高的场合中。但是我国的 UPS 市场几乎被国外产品完全占领着。为引起同行们的关注, 本文扼要介绍了 UPS 的一般原理、现状和发展趋势

关键词 电源系统, UPS, 发展

分类号 TM91

1 概 述

UPS 是“Uninterruptible Power System”一词的缩写。根据我国国家标准, UPS 是由电力变流器、储能装置(蓄电池)和开关(电子式或机械式)等组合而成的一种电源设备。这种电源设备, 能在交流输入电源发生故障(如: 电力中断、电压、频率、波形等不符合供电要求)时, 保证向负载供电的连续性。

由于 UPS 具有稳压、稳频、滤波、抗干扰、防止电压浪涌等功能, 而更重要的是, 当突然停电时, UPS 可以对负载继续暂时供电, 使人们来得及处理由于停电而带来的影响, 避免损失(如: 保护信息、数据等)。故 UPS 已成为计算机等设备不可缺少的装置。据统计, 80% 的 UPS 用于计算机。这是由于计算机的发展, 对电源供电质量也提出了越来越高的要求。如表-1 所示。

此外, UPS 还广泛用于远距通讯系统、信息处理系统、卫星地面站、数控系统、生产线过程控制、机场的空中交通管制系统、银行、医疗设备以及报警、保护、检测等装置中。这些系统, 对供电质量及其可靠性、连续性, 都提出了较高的要求, 而一般电网是难以满足的。

随着工矿企业用电量日增, 非线性负荷越来越多。必将对电网产生更大的干扰和污染, 致使电网波形畸变加剧、高次谐波增多、电噪声日益严重, 甚至引起供电突然中断。影响电网供电质量的因素还很多, 如: 大容量电机的启动与切换, 大容量变流装置的运行, 功率补偿电容器的切换, 雷电引起的电压瞬变, 鸟害或其他用户的故障造成的跳闸, 或由于电路检修和能源紧缺而造成的定时或不定时停电等。这些因素, 就是西方技术发达的国家, 也是难以避免的。而 UPS 既能保证持续供电, 又能保证优良的供电质量, 故人们对 UPS 的需求, 几乎是直线上升。据香港《国际电子商情》[1988(2)]预计, 今后 10 年内, UPS 将成为欧、美、日市场畅销的高技术产品。以美国为例, 到 1991 年, 它的 UPS 销售量, 将是 1988 年的 4 倍, 销售额将达到 13 亿美元。

表 1 计算机对电源的一般要求及 UPS 可达到的指标

序	项 目	要求指标	UPS 可达到指标
1	稳态电压允许波动	$\pm 2\% \sim \pm 5\%$	$\pm 1\% \sim \pm 2\%$
2	瞬态电压允许波动	$\pm 8\% \sim \pm 10\%$	$\pm 5\% \sim \pm 10\%$
3	瞬态过渡时间	50~200ms	~100ms
4	稳态频率波动	$\pm 1\%$	$\pm 0.1\% \sim \pm 1\%$
5	波形失真	3%~6%	3%~5%
6	相间电压不平衡率	2%~3%	2%~3%

在国内,对于 UPS 的开发和应用,已经引起电源专家和计算机专家们的重视。由于计算机以及其他电子设备的大量使用,而我国能源紧缺、供电质量又不高,UPS 在国内市场上有相当大的潜力。因此,对 UPS 的实际需要,将比西方国家更加迫切。据香港《国际电子商情》(同前期)估计,国内对 50KVA 以下的 UPS 需要量较大;但目前还只能依靠进口。

按输出功率分类,UPS 大致可分为三档:(1)小功率, <10KVA; (2)中功率, 10KVA~60KVA; (3)大功率, >60KVA

目前大功率 UPS 的输出功率,已可做到 2000KVA 以上。

按工作方式分类,UPS 又可分为在线式(on line)与后备式(back-up 或 sps-stand by power Supplies)两种。

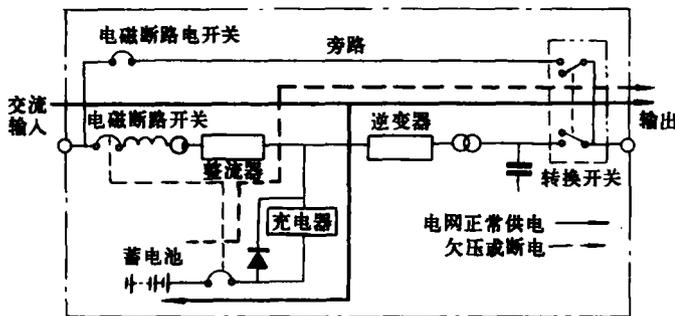


图 1 在线式 UPS 结构图

有些用电设备(如:计算机),为了不丢失数据和打乱程序,要求突然停电的时间,不得超过工频的 1/4 周期(5ms)(在这段时间内,由贮存在自身电源滤波电容中的能量供电),而且要求接替电网供电的 UPS,在频率、相位和幅度上,与电网的差别,不能超过一定范围。故要求 UPS 要时刻跟踪电网的频率、相位和幅度。于是锁相系统就成了这种 UPS 的重要组成部分。

UPS 一般结构,如图 1 所示。它的核心部件是逆变器,还包含有蓄电池、整流器、充电器、转换开关、滤波及稳压装置等。电网的交流输入,经整流器变成直流电,一路经充电器,对蓄电池进行充电;另一路则经逆变器把直流电变换成交流电,再经滤波器滤波后输出。其中,蓄电池是一个储能装置,在电网断电时用做逆变器的能源。但是,几乎所有计算机用的 UPS 都不是用做长时间供电的,只是在电网严重欠压(低于 170 伏)或停电时,瞬间接通蓄电池,经逆变器立即恢复供电;与此同时,用声、光报警,

通知操作人员尽快将信息存盘，并启动其他可长时间工作的后备电源（如发电机组）；或做关机的准备工作，在几分钟或十几分钟内，按正常次序关机。通常，为计算机提供的 UPS，在满载时可支持 5~14 分钟，半载时可维持 30 分钟左右。

所谓在线式，其逆变器一直处于工作状态，输出电压总是由逆变器提供。当电网正常供电时，由交流输入经整流器供给逆变器直流输入电流，此时蓄电池处于浮充电状态。当电网严重欠压或断电时，则由蓄电池提供逆变器的输入电流。转换工作是由二极管进行，因此速度极快，通常在毫秒量级。故有些厂家称之为零中断，意即转换时间为零，从输出端看不出有什么影响。这种 UPS，可使计算机与电网完全分开，隔离作用十分良好，电网上的噪声和干扰，电压的跌落和浪涌等影响，被大大减小甚至全部滤除。如图 2 所示。

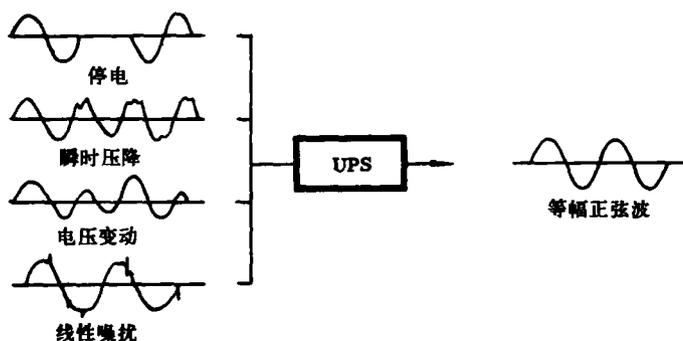


图 2 UPS 隔离性能示意

图 1 中的转换开关，是为了使供电更加可靠，防止万一逆变器损坏而立即转由电网直接供电。因此，无论电网的短时间电压严重跌落，甚至停电，或者是逆变器出现故障，均能保证计算机一直处于正常工作状态。

后备式（也称离线式 off line）与在线式的主要区别，在于逆变器在电网正常供电时是不工作的；只在电网出现电压跌落或停电时，才由固态开关或继电器，在不大于 4ms 的瞬间内，切断电网接通蓄电池，转由逆变器供电。一旦电网恢复正常，则立即停止逆变器的工作，由电网继续供电。严格地说，后备式不是完全不间断的，总有约 4ms 的转换间断时间。但如此短暂的间断，对一般用电设备来说是“发觉”不了的，只是对那些高速计算机，才会产生不能容许的影响。

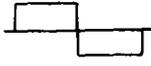
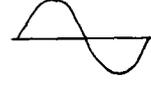
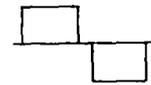
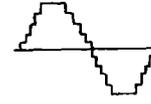
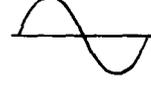
至于选用在线式还是后备式，要看使用场合而定。如负载是重要的通讯设备或高速计算机，宜用在线式正弦波 UPS 为好；而一般计算机房和实验室，采用后备式准方波甚至方波，也能满足要求。尤其是现在生产的微型计算机和小型计算机，大都采用开关电源，因而使用方波输出的后备式 UPS 更为适宜。

2 UPS 的技术现状

1957 年晶闸管（thyristor 或 SCR）诞生以后，于 1965 年研制成功了静止式 UPS，因而取代了旋转机组。这是 UPS 的一次重大的技术革新。静止型 UPS 至今已有 20 多年的历史，无论在电路技术上，还是在元器件上，都有了重大的变化和发展。现就 UPS 几个主要组成部分的发展现状，分述如下：

2.1 逆变器的电路型式

表 2 UPS 逆变器类型比较

序	类 型	优 缺 点	波 形
1	纯正弦波型	输出波形由振荡器/线性放大器产生。无谐波, 负载瞬时响应很好。但装置笨重、效率很低, 只用于小功率装置中。	
2	方波型	采用方波逆变桥式斩波器。线路简单, 但谐波含量很高, 已逐渐淘汰。	
3	稳压变压器型 (CVT)	采用铁磁谐振电路。线路简单, 波形接近正弦, 可靠性高, 价格低; 但负载瞬时响应差, 装置笨重, 输出电压不可调。	
4	准方波型 (QSW)	采用两个方波逆变桥移相叠加产生; 或用 PWM 方法产生。线路简单、可靠性好、价格低; 但谐波高, 需要体积较大的滤波器, 故负载瞬时响应差, 效率不高。	
5	阶梯波型 (SW)	采用多个方波叠加而成。滤波后波形好, 负载瞬时响应好, 效率高; 但线路复杂, 多用于 30KVA 以上的装置中。	
6	脉宽调制型 (PWM)	用高频方波, 经微机或数控合成。波形好。低序谐波少、负载瞬时响应好、效率高、功率密度及功率重量比大, 可靠性高; 但载波较低时, 有音频噪声。	
7	脉宽调制阶梯波型 (PWSW)	综合了 PWM 和 SW 的优点, 使效率更高, 瞬时响应更好; 但线路复杂, 可靠性稍差。	
8	合成正弦波型	用微处理器控制, 按 PROM 中贮存的波形模式, 合成正弦波。波形好, 效率高, 可靠性好, 瞬时响应也很好。	

UPS 技术性能, 在很大程度上决定于逆变器的电路型式。如: 输出波形、效率、可靠性、瞬变响应能力、噪声以及体积重量等, 都与逆变器的电路型式有关。现将有代表性的电路类型及其特点, 按出现先后列于表 2。

据美国电力研究所于 1986 年, 对美国 73 家生产 UPS 工厂的 2000 多种产品进行的调查表明, 采用正弦型 PWM (SPWM) 的占 29%, 非正弦型 (方波、准方波、阶梯波等) 占 21%, 合成正弦型占 2%。其中合成正弦型由于技术较新, 历史较短, 目前虽然还不占主导地位, 但其发展潜力很大。

逆变器的控制电路和保护电路, 多采用 CMOS 逻辑元件, 并广泛使用了专门为 UPS 设计的集成电路, 如: 三相正弦 PWM 电路 HEF4752VD、单相 PWM 电路 MC34060 (单边)、SG3524、TL494 (双边) 以及宽范围驱动电路 UPK 2436 等。在 UPS 中还常配有高性能的滤波网络和稳压装置, 使其具有交流稳压、高速后备、尖峰吸状及抗高频干扰的能力; 并大多备有过流、过压、蓄电池过放等保护装置的报警

系统，以及电网欠压、中断、蓄电池充电、充满自停等自动转换电路，使 UPS 达到全面自动化的程度。近年来，针对双极型功率转换电路，发展了以集成电路制造技术为基础的平面型结构，以适应模块化发展趋势。模块化可以使换流装置结构简化，便于维修。为在性能价格比上取得优势，常将功率晶体管、尖峰吸收电路和散热器设计成一体化结构。图 3 是双极型功率转换电路模块的内部结构。采用的电路称为全桥式功率转换电路。此外，常用的功率转换电路，还有半桥式和推挽式等。

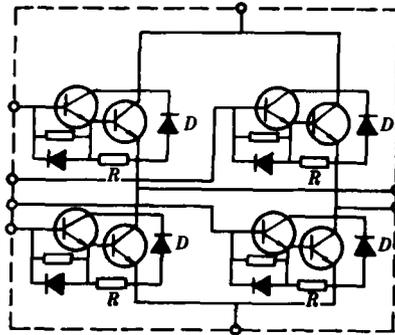


图 3 双极型功率转换模块内部结构

2.2 功率半导体开关器件

SCR 出现并用于逆变器之后，尽管在制造技术上得到了不断的提高，实现了高速化、改进了换流电路。相应地提高了逆变器的效率。但由于 SCR 基本工作机理的限制，妨碍了 UPS 的进一步发展。SCR 逆变器不足之处，主要表现在：辅助电路复杂、效率较低（且随载频的提高而进一步降低）、噪声较大。

随着大规模集成电路制造技术的进展，以及把这些技术用于双极型大功率晶体管 (GTR)、功率 MOS-FET 和可关断晶闸管 (GTO) 的设计、制造上，已成功地制造出了大容量、高压和高可靠性的 GTR 和 GTO。以前的 SCR 逆变器，正在迅速地被这些可关断型功率器件的逆变器所代替，它将使 UPS 的体积减小到原来的 $\frac{2}{3} \sim \frac{1}{3}$ 。提高了电能转换效率，而降低了成本和运行费用。但是目前，可关断型器件，在功率上还不能满足某些场合的需要，还给 SCR 留下一席之地。

(1) GTR：通常把耗散功率（或输出功率）大于 1W 的晶体管称为 GTR，也可以管芯与外壳间热阻低于 $15^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 的晶体管称为 GTR。GTR 具有开关速度高、饱和压降小、开关损耗少、价格便宜等优点。它的电流容量达到几百安培，反向电压可高至千伏左右，很适用于载频较高的 PWM 逆变器。但 GTR 很容易被尖峰电压及过流所损坏，因此要求有较多的保护电路，而且容量不宜过大，主要用于中、小容量的 UPS 中。但普遍认为 GTR 迟早也会广泛用于大容量的 UPS 中。图 4 GTR 与普通 SCR 应用于恒压恒频逆变系统时的效率比较，GTR 逆变器效率较高（约高 10%），这有利于节能。

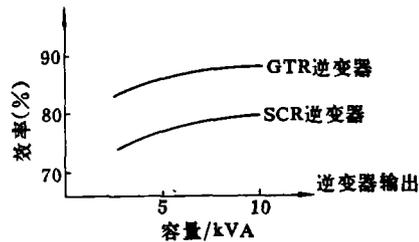


图 4 恒压恒频 (CVCF) 逆变器的效率

(2) 功率 MOS-FET：FET 是用场效应控制电流通路（沟道）中的多数载流子，故又称为单极型晶体管。与 GTR 相比它具有：开关时间短（不足 $1\mu\text{s}$ ，而 GTR 约几 μs ）、安全工作区大（没有二次击穿问题）、热稳定性好（便于并联工作）、驱动功率小（为电压控制器件）等。但其缺点是低频工作时，损耗远大于 GTR。目前它的电流容量也较小，只适用于小容量或中容量的逆变器中。

(3) GTO：是指可用门极关断的晶闸管。晶闸管即可控硅 (SCR)。学术界认为可控硅的叫法不十分确切，故现称为晶闸管。但在文献资料中，还常用 SCR 代表晶闸管。SCR 最大的优点是能通过大电流，但其突出的缺点是一经通导，门极就失去控制作用，不能控制关断。实际工作中，迫切需要一种既有 SCR 能通过大电流的特性，又有 GTR 控制能力的器件，于是在 1960 年推出了 GTO。

在结构上，GTO 与普通 SCR 一样，也是 PNP 四层三端器件，如图 5(a) 所示。其晶体管等效原理图

如图 3(b)所示。其中, a_1 为 $P_1N_1P_2$ 晶体管共基极电流放大系数, 箭头表示空穴导电方向; a_2 为 $N_1P_2N_2$ 晶体管共基极电流放大系数, 箭头表示电子导电方向。通导时 $a_1 + a_2 \geq 1$, 故处于临界导电状态, 这就为 GTO 用门极负信号关断阳极电流, 提供了有利条件。而普通 SCR 的 $a_1 + a_2$ 比 1 大得多, 使器件处于深饱和状态, 故难以用门极负信号关断阳极电流。这是 GTO 与普通 SCR 的一个重要区别。

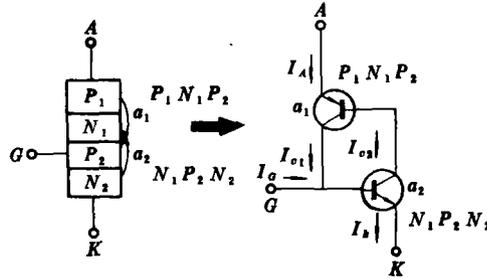


图 5 GTO 结构及晶体管等效电路图

GTO 的开关速度很高, 适用于高频 PWM 逆变器。但由于开关损失还较大, 关断增益还不高 (一般只有 3~5), 控制电路也比较复杂, 一般只用于大容量方波或准方波 UPS 中。

值得注意的是, 将 GTR 与功率 MOS-FET 进行组合 (以功率 MOS-FET 为驱动级、以 GTR 为功率级) 构成所谓 Bi-MOS 器件, 可以充分发挥两者的优点。

根据美国电力研究所 1986 年的调查, 这些功率器件的使用情况是: SCR 仍居首位, 但 GTR、功率 MOS-FET 已占有很大的比重; Bi-MOS 虽然出现不久, 但已占 SCR 或 GTR 的 1/5, 很有前途; 而 GTO 由于种种原因, 除日本外应用尚少。从逆变器类型看, CVT 以使用 SCR 为主, GTR 次之。但在 PWM、PWSW 中却以 GTR 为主。而功率 MOS-FET 和 Bi-MOS 器件, 也在相当数量的逆变器中得到应用。从功率容量看, 大容量 UPS 仍在大量使用 SCR, 但采用 GTR 的也不少。在中、小容量 UPS 中, GTR 与功率 MOS-FET 已逐渐占了优势。

2.3 UPS 用蓄电池

在 UPS 中, 广泛使用蓄电池作为贮能装置。一般的蓄电池, 在充电末期, 其电解液中的水分, 会被电解分离成氢气和氧气。因此, 每隔一段时间必须给蓄电池补水, 否则其电解液浓度将超过规定值。这就是一般铅酸蓄电池需要定期维护的原因。

静止型 UPS 通常要求放在计算机附近, 故对其所用的蓄电池也提出了很高的要求。如: 要求不能有漏酸、溢酸或酸雾溢出等现象, 最好是长期不用维护, 且使用寿命较长, 能长期工作在浮充电状态, 并能在短时间内输出大电流等。根据以上要求, 在 UPS 常用的蓄电池, 大致有以下几种:

(1) 胶体电解液铅酸蓄电池 (GEL pb ACID)

这种蓄电池, 早在 50 年代初就开始研制, 但因一些技术问题未能解决而搁置下来。70 年代又重新研制, 目前已广泛用于 UPS。这种蓄电池无漏酸、溢酸和酸雾外溢现象, 而且寿命较长、水的损失较少, 可长期不用维护。它的放置能力也较强, 无需定期充电。但这种蓄电池对充电要求较严, 必须进行限流充电。

(2) 密封免维护铅酸蓄电池

密封蓄电池, 是 70 年代初才在国际市场上出现的, 它具有一般铅酸蓄电池无可比拟的优点。一般是

湿荷电出厂，用户无需进行加液充电即可直接使用。除使用中的正常充放电外，无需进行任何维护。而且，安放姿态可以任意，无酸液、酸雾渗漏，对设备及环境无损害和污染。其自放电率很低，仅为一般铅蓄电池的 $1/3 \sim 1/4$ ，是镍镉蓄电池的 $1/10$ ；而且具有较小的内阻和极化，可提供 $3C(A)$ 的连续放电电流（ C 代表以 20 小时放电速率，所测得的电池标称容量），最大放电电流（瞬间）可达 $15C(A)$ 以上。其容量一般在 $1 \sim 50AH$ ，使用寿命一般在 $3 \sim 5$ 年，有的设计寿命可达 $5 \sim 10$ 年。

(3) 镍—镉蓄电池

镍—镉（NiCd）蓄电池，在大中小容量的 UPS 中均有应用，它的最大优点是使用寿命长，一般可达 15 年。放电速率也很高，而且水的耗损量很小，无需经常补水。但镍—镉蓄电池的单体电压只有 1.25V，而铅酸蓄电池的单体电压为 2.1V。这样，在组成所需的供电电压时，需要的单体数就多。此外，镍—镉材料价格昂贵，与同等容量的密封铅酸蓄电池相比，要贵 3~4 倍，而寿命只是它的 2 倍。因此在小功率 UPS 中，不比使用密封蓄电池更优越。

调查表明，在 UPS 中，使用最多的是胶体电解液铅酸蓄电池，其价格是最便宜的。其次是密封铅酸蓄电池，且比例在不断增加。镍—镉蓄电池一般只用在放电次数较频繁的场合。

3 UPS 发展趋势

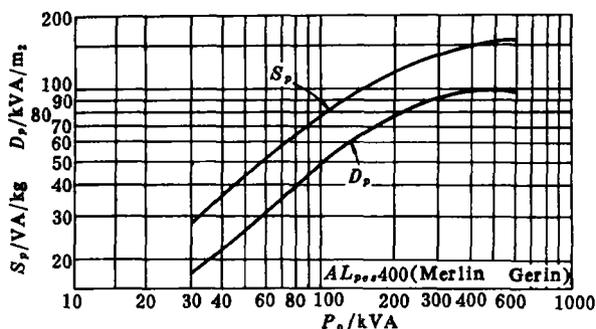


图 6 UPS 的 D_p 与 S_p 和 p_0 间的关系

在国际上，UPS 的发展始终围绕着高效率、高可靠性、小型化、轻重量、低噪声、高自动化方向进行着。当前，有几个明显的发展趋势，已可看出：

(1) 向高频化发展

为了克服工频（50Hz）UPS 存在的固有缺点（如：体积重量大、噪声严重及响应性能差等），国外正兴起一种所谓“高频链结”（HF Line）技术，并提出了几种具体方案，如：双谐振高频链结 DC/AC 功率变换技术、双向高频链结 DC/AC 变换技术、20KHz 开关频率高频链结 DC/AC 变换技术等。由于篇幅限制，有关高频链结技术将另文介绍。

为满足高频链结技术的需要，必须合理选用变压器的磁性材料。其中，非单晶金属卷绕铁心 METGLAS ALLOY 26055-3 和 METGLAS ALLOY 2605SC 是比较理想的材料；镍铁材料和铁钴钒合金材料，价格较高；而铁氧体材料在制造大型铁心时，还有一定的困难。

必须指出的是，高频链结技术，通常只用于中小容量的 UPS 中。这是由于 UPS 的功率密度 D_p (KVA/m³) 和功率重量比 S_p (VA/kg) 都与功率容量 p_0 成正比，如图 6 所示。因此，在中小容量的 UPS 中，工频变压器引起的矛盾，更加突出。

作为高频化的重要技术基础,新型的自关断开关器件(如:GTR、MOS-FET、Bi-MOS 以及其它模块组合式器件等)必将得到进一步发展。

(2) 向智能化发展

大多数 UPS,特别是大容量 UPS,都是长时间连续工作的,因此运行中工作状态的监视、故障检测及处理,对于保证 UPS 的不间断地工作至关重要。这是 UPS 研制生产的又一个重要目标,也是广大用户的希望。但是上述功能,采用一般电子线路是难以实现的,只有借助于计算机技术中的硬件和软件,使 UPS 智能化。

智能化的 UPS,除了能完成一般 UPS 所能完成的全部工作外,还应具备以下各项功能:(1)工作状态的监测;(2)故障诊断,确定故障部位,并由专家系统提出处理意见;(3)完成部分控制工作,如:发生故障时采取应急措施;完成对蓄电池组的分阶段恒流充电的控制等;(4)显示和记录故障信息;(5)定期自检,并形成文件;(6)实现无人值机,按程序进行自动启动和关机;(7)实现人机对话。以上大多是从大容量、多台 UPS 并行运用时,集中管理和操作、信息的远距传输和系统监视等方面考虑的。

此外,把微机引入 UPS 控制电路,还可进一步提高 UPS 性能,减小波形失真,使之更接近正弦波形,并通过快速检测 and 数据处理,使 UPS 的暂态响应时间缩短到 1 个周期以下。同时由于引入了微机,还可对各种不同的 UPS 的相似部分实现标准化,然后由微机软件来满足不同使用场合的特殊需要。标准化生产,将会使成本大幅度降低。

(3) 冗余技术的广泛应用

调查发现,有 28% 的生产厂家声称,他们的产品,有 84% 采用了冗余部件或冗余单元。这些部件和单元平时待机,一旦运行中的相应部件和单元出现故障,就可立即投入工作,从而大大提高了装置的可靠性。采用冗余技术的单台 UPS,其平均无故障时间(MTBF)达到 20000 小时以上。

(4) 其它有关技术,如:传感技术、高频磁性材料、新型散热材料以及电路和系统的 CAA、CAD、CAT 技术,都将得到相应的发展。

据估计,3KVA 的 UPS 将会得到较大的发展,并且在体积、重量、噪声和成本等方面,将会有一场激烈的竞争。在电路结构方面,微处理器控制的合成正弦波型的 UPS,会有较大的发展。

4 结束语

随着计算机的普及应用和其它电子设备的需要,UPS 的市场将是极其广阔的。从电力电子技术的发展来看,UPS 的发展也是处于前沿地位。根据我国的能源状况及电网供电质量,都说明对 UPS 的发展和需要是十分迫切的。目前我国的 UPS 装置应尽快走完仿制阶段,用国产的 UPS 占领我国的市场,加快研制新产品打入国际市场。

参 考 文 献

- [1] Clemmensen Jone M. Current state of UPS Technology. Conference Record of the 1986 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 1029~1035
- [2] 陈震宇. 高频链结 UPS 的新发展. 1989 年蛇口 UPS 专业会议资料
- [3] 国外静止型不间断电源技术状况. 电力电子技术, 1988, (1): 51
- [4] 巫长年. 不停电供电技术——UPS. 机械工业出版社, 1986

The Current Situation and Trend of Uninterrupted Power System (UPS)

Liu Shusheng

(Department of Electronic Technology)