

# UPS设备的无变压器技术分析（续）

薛蕙 供稿

## 4 无输出变压器 UPS 的电路形式

无输出变压器 UPS 的设计，应视其功率大小采用不同的电路形式。本文仅对大功率无输出变压器 UPS 的主电路结构形式（如图 14 所示）进行分析讨论，以了解其是如何实现三相四线输出和系统升压功能的，因为要求三相四线输出和系统升压是传统 UPS 必须带输出变压器的两个根本理由。当新的电路拓扑结构本身可以实现这两大功能时，该 UPS 设备中的输出变压器也就自然没有存在的必要了。图 14 主要示出了与是否需要变压器这个论题有关的电路框图，该图输入部分是 IGBT-PFC 整流电路，其后部分是三相半桥逆变电路，中间是电池配置示意图。图中所示电池组配用了两组 400V 的电池组，串联后直接跨接在直流母线上。也可以用一组 400V 电池组，那样就需要在直流母线和电池组之间配置一个独立的、可双向工作的 DC/DC 变换器，市电正常时，由 800V 降压给电池组充电；当市电停电时，反向升压给半桥逆变器提供 800V 的工作电池。

以下主要叙述 IGBT-PFC 整流电路和三相半桥逆变电路的工作状态。

### 4.1 无输出变压器 UPS 是如何向负载提供三相四线制电压的

如图 14 所示，输出半桥逆变电路由三组 IGBT 桥臂组成，每组与公用电容（电池）电路组成单相半桥逆变器。三个半桥电路可以独立地输出功率，由它们形成三个 50Hz 单相正弦波电压彼此相差  $120^\circ$ ，所以，只要知道一个半桥电路的工作过程，就可以了解三相电路的工作状态了。

如图 15 所示，假定桥臂上的 IGBT 用 VT1 和 VD1 表示，下面的 IGBT 用 VT2 和 VD2 表示，与电池组并联的电容器分别是  $C_1$  和  $C_2$ ，续流电感为  $L$ 。图 15 所示是主逆变器逆变状态等效电路及工作过程。在分析其工作过程时，先按输出电压正半周和负半周把它分解为两个降压型开关电路（BUCK）。在输出电压的正半周时，降压开关电路由开关管 VT1、续流二极管 VD2 和电感  $L$  组成。VT1 导通时，电容器  $C_1$  上的正电压（400V）通过电感  $L$  向负载输出功率，电感  $L$  中的电流呈线性上升；当 VT1 由导通转为截止后，由于电感  $L$  的续流作用，感应电压使 VD2 导通，续流电流流经电容  $C_2$ ，其电流方向实际上是给电容  $C_2$  充电。在输出电压的负半周时，降压开关电路由开关管 VT2，续流

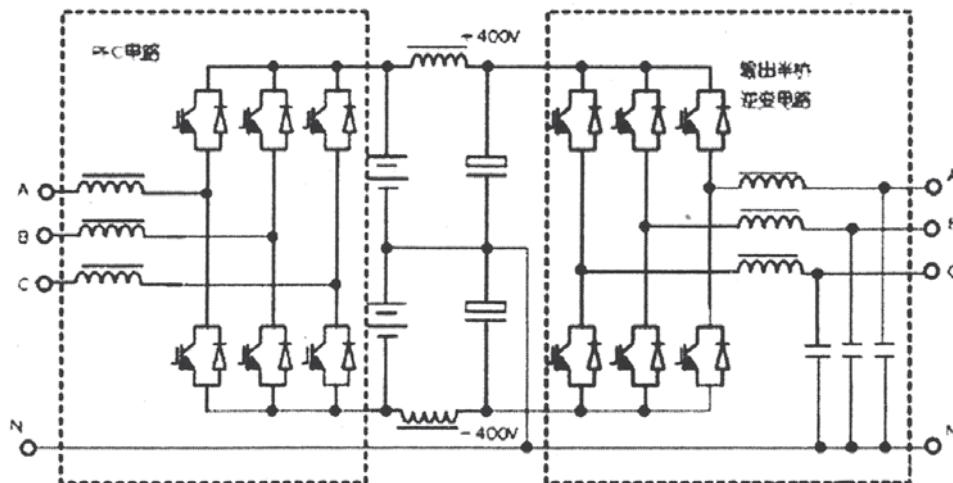


图14 无输出变压器UPS的主电路原理框图

二极管 VD1 和电感 L 组成。VT2 导通时，电容  $C_2$  上的负电压 (-400V) 通过电感 L 形成输出电压的负半周，电感 L 中电流呈线性上升，VT2 由导通转为截止后，由于电感的续流作用使二极管 VD1 导通，其电流方向实际上是给电容  $C_1$  充电。在电路中，输出电容 C 是容量不大的交流滤波电容器，设置该电容器的主要目的是与电感 L 一起滤除逆变器高频 (15kHz 左右) 开关脉动电压和干扰成分，当开关管的控制波形按正弦规律变化 (SPWM) 时，输出电压肯定是平滑的正弦波。

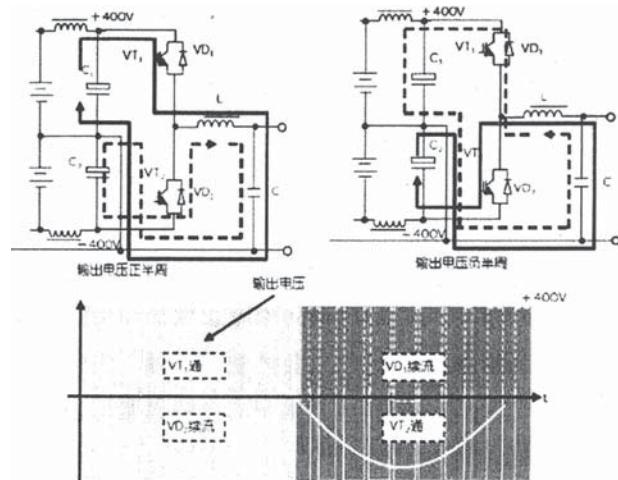


图15 单相半桥逆变器的等效电路及工作过程

由图 15 所示的工作过程和输出电压波形可知，三个半桥电路可分别输出三个稳定的正弦波电压，控制电路使三个稳定的正弦波电压相位差为  $120^\circ$ ，于是就形成了三相四线制输出，公共零线则是由直流母线的电容中点引出，而无需再配置输出隔离变压器。

#### 4.2 PFC技术可同时完成输入功率因数校正和升压功能

采用高频整流技术 (IGBT-PFC) 可同时完成对输入功率因数校正和提升电压的能力，这是无输出变压器 UPS 电路技术的另一个重要的标志性特点。PFC 技术很成熟，根据不同的应用场合和不同的性能要求，其电路拓扑形式也不尽相同，但其基本原理是相同的，具有功率因数校正功能的电路有降压式、升 / 降压式、反激式、升压式 (Boost) 四种形式，在 UPS 设备中，为了同时完成对输入功率因数校正和提升电压的功能，自然地就采用了升压式 (Boost) 电路。

图 16 是单相升压式 (Boost) 电路原理图。图中的  $C_1$  是高频小容量电容器，用以消除开关管在高频开关时产生

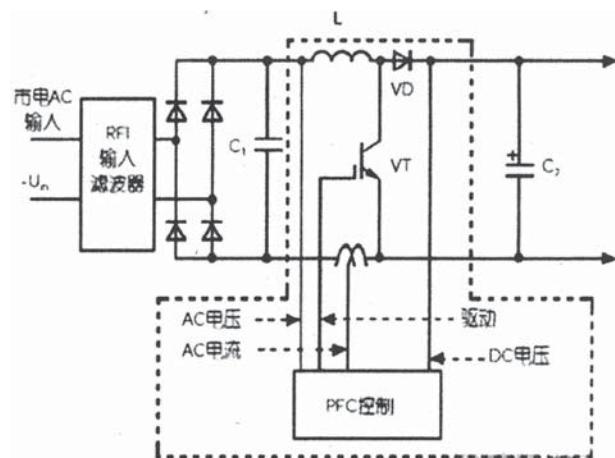


图16 输入功率因数校正(PFC)原理框图

的传向电网的干扰。 $C_2$  是大容量直流电解电容器。与一般 AC/DC 整流变换不相同的是，在桥式整流与大容量直流电容器之间加入了 PFC 电路这个环节，其目的是使输入电流跟随输入电压按正弦规律同相位变化。PFC 环节由电感 L、开关管 VT 和二极管 VD 以及相应的控制电路组成；控制电路接收输入电压波形的频率和相位，输入电流的波形和量值，输出直流电压幅值的三种反馈信号，并以 PWM 方式控制开关管的导通和截止，其工作过程为：功率开关管 VT 导通时，二极管 VD 因反向偏置而截止，输入电压通过开关管 VT 向电感 L 充电，电感电流（即此时的输入电流） $I_L$  的变化规律直接取决于电感 L 的量值和此时的输入电压瞬时值，其增加值则同时与 L 值、此时的输入电压瞬时值以及开关管导通的时间有关。开关管 VT 截止时，由于电感 L 的续流作用而感应产生一个电压叠加在输入电压上，使二极管 VD 正向导通，电感 L 将贮存的磁能转化为电能向电容器  $C_2$  充电并向负载输出，输入电流  $I_T$  下降， $I_T$  下降的速率与电感 L 值，此时刻输入电压瞬时值，以及负载（即直流电压  $U_2$  的输出负载）大小有关，其减小的值除取决于以上因素外，还与开关管 VT 的截止时间有关。显然，当输入电压  $U_1$  以正弦规律变化时，控制电路以 PWM 方式对开关管 VT 进行控制，当工作频率足够高（例如 15~20kHz）时，输入电流必然是一个与输入电压同相且波形相同的正弦波。

对于三相输入的大功率传统双变换 UPS，其输入电路是三相整流形式统一的直流母线（同时配备一组蓄电池），输入功率因数校正和升压原理与单相相似，电路形式有

由三个单相 PFC 组合式，单开关三相 PFC、三开关三相 PFC、六开关三相 PFC 等多种拓扑结构形式。图 14 中的输入电路就是六开关 (IGBT) 三相 PFC 原理电路。

六开关三相 PFC 是用六只开关功率器件组成的三相 PWM 整流电路，图 17 示出了它的原理电路。每个桥路由上下两只开关管及与其反向并联的二极管组成，每相电流可以通过该相桥臂上的这两只开关管控制。如 A 相电压为正时，VT4 导通使电感  $L_a$  上的电流  $i_a$  增大，电感  $L_a$  充电储能；VT4 关断时，电感  $L_a$  的感应电压叠加在输入电压  $U_A$  上 (升压)，使与 VT1 并联的二极管 VD1 导通，电流  $i_a$  通过 VD1 流向负载，在电感的能量释放过程中电流  $i_a$  逐渐减小。同样，A 相电压为负时，可以通过 VT1 和 VT4 反并联的二极管 VD4 对电流  $i_a$  进行控制。

六开关三相 PFC 原理电路的输入电压是 380V，峰值是 537V，所以此电路的输出直流电压可以升至 800V ( $\pm 400V$ )，此值正是 UPS 输出三相半桥电路所需要的直流母线电压。

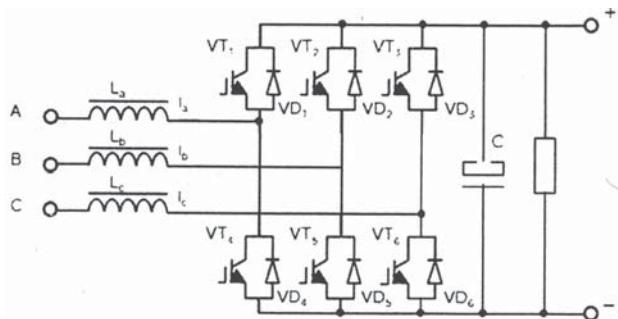


图 17 六开关三相PFC原理电路图

## 5 无变压器UPS的性能优势

本节的讨论仅限于是否带输出变压器这两种电路结构

的不同而带来的设备性能的差异，不包括下列与产品研制定型和生产水平有关的因素而造成的性能差别：

电路研制定型水平：与技术人员的技术水平、经验和定型流程管理有关；

器件选用差别：与电路定型、成本控制和质量管理流程有关；

产品质量和稳定性：取决于生产工艺水平，与人员的技术水平、生产和质量控制流程有关；

产品功能差别：包括是否有并机功能，是否模块化、系统管理和通讯功能、电池配置水平、电路控制差别；

CPU 或 DSP、软启动、冷启动、物理结构与可维护性水平等，这些差别与厂商决策人员对设备的研发方向、市场定位、商业取向、成本控制等指导思想有直接的关系。

无变压器 UPS 的性能优势是针对带输出变压器的 UPS 由于自身的电路结构而不可能达到的固有缺点相对而言的，包括了成本、效率、重量和体积等，当然还包括在设备电气性能方面的改进和提高。这些缺点对当前社会所提倡的降低能耗、节约资源、绿色环保等要求都是十分重要的。

### 5.1 高输入功率因数与低输入电流失真度

为了完成系统升压功能，PFC 整流环节成为“高频机”的重要组成部分和必要条件，但它同时又把 UPS 输入功率因数提高到理想的数值，达 0.99，把输入电流总谐波失真度 (THDI) 降低到 5% 以下，所以说输入功率因数高、电流失真度低是“高频机”的主要优点之一，这不仅消除了 UPS 对电网的谐波污染，还可以明显地降低前端设备和线缆的容量。表 1 为两种结构的 UPS 总电流失真度、总电流有效值和线缆配置要求。

表 1 UPS 的总电流失真度、总电流有效值和线缆配置要求比较表

	无输出变压器UPS		带输出变压器UPS		客户利益
输入电流THDI	100%负载下，45%		100%负载下，85%(12pulses)		合理选配 线缆， 发电机组， 变压器， 断路器
输入总电流	额定功率	输入电流	额定功率	输入电流	
	300KVA	442A	300KVA	554A	
	400KVA	587A	400KVA	751A	
	500KVA	765A	500KVA	965A	
输入线缆选型	额定功率	mm <sup>2</sup>	额定功率	mm <sup>2</sup>	
	300KVA	1×240	300KVA	2×180	
	400KVA	2×150	400KVA	2×240	
	500KVA	2×240	500KVA	5×120	
输入端柴油发电 机机组配置	1 1 3		1 2~4		输入谐波电流和无源滤波器的影响大于输入电流数值的影响

从表 1 中的数据可以看出，由于带输出变压器 UPS (例如 12 脉冲整流) 的输入功率因数低，输入电流的谐波大，其输入电流明显大于无输出变压器的 UPS，增加量在 27% 左右。因此，其前端变压器、断路器和线缆的规格都要相应地增大，其中的线缆截面积要增加近一倍，特别是当输入端存在备用柴油发电机时，由于谐波电流和 12 脉冲移相变压器、无源滤波器的影响，UPS 与柴油机容量的配比从无输出变压器 UPS 的 1:1:3 增大到 1:2~4。

表 1 所列为满载 (100%) 时的数据，当实际应用中负载减轻时，12 脉冲 (+11 次无源滤波) 的输入功率因数会明显地减小，输入电流谐波成分则明显增大 (见图 18 所示)，对电网污染和要求系统前端设备容量增大的影响也就更为严重。

## 5.2 工作效率高

无变压器 UPS 的整机效率之所以比带变压器 UPS 的效率高一些，主要来自两个方面：一是变压器的损耗被去掉了，大功率变压器的损耗通常大于 2%；二是系统直流母线电压的提高，减少了电路工作损耗约 0.5%，如果排除电路设计和生产水平差异的因素，电路结构的变化可使整机工作效率提高 2.5% 左右。表 2 列出了一组典型的测试数据。

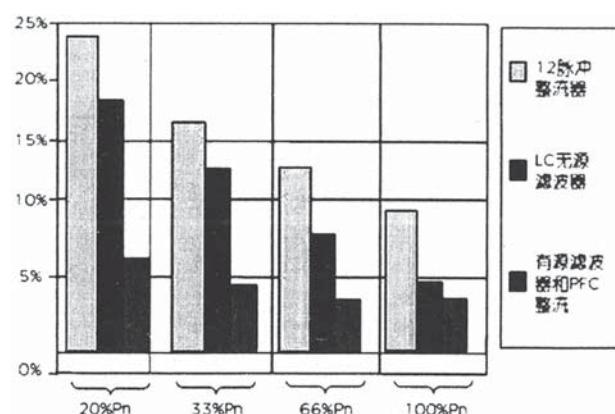


图 18 负载率不同时各种滤波器滤波效果的变化

整机效率的提高，不仅可以有效的降低能源损耗，还意味着设备本身的损耗小，以 500KVA 的 UPS 的满载效率比较，无输出变压器 UPS 的效率提高了 2.0%，这就相当于机内减少了 10KVA 的发热量，这对提高设备运行的可靠性和降低对环境的影响做出贡献。表 2 中的数据仅仅考虑了设备本身效率的提高，如果把因为输入功率因数的提高而使输入端设备（滤波器、开关、线缆等）容量和损耗的降低，以及脉冲整流时的输入变压器的损耗都计算在内的话，那么，无变压器 UPS 对整个系统效率的贡献可以超过 4%。值得关注的是，在实际使用中，特别是在“1+1”冗余并机和双总线的配置系统中，UPS 的实际输出负载率只有 30~40%，这时对提高 UPS 的工作效率则更有实际意义。在这一点上，无输出变压器 UPS 同样表现出了它的优势，如图 19 所示。

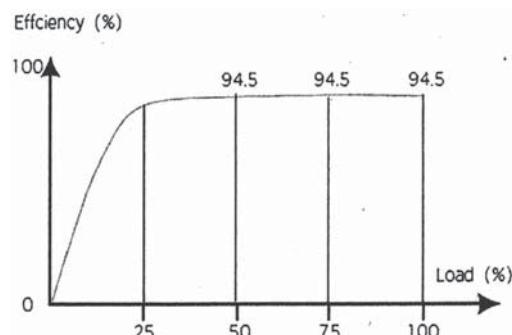


图 19 无输出变压器 UPS 的工作效率与负载率的关系

从图 19 可以看出，在 25% 至 100% 负载率范围内，工作效率基本上都恒定地保持在 94% 以上。

## 5.3 重量和体积

任何设备在设计、制造、安装、储运等过程中，都要考虑成本，UPS 设备也不例外。UPS 数据中心的基础设施是一项费用很大的固定资产，机房对设备重量、体积的要求也很严格，所以，重量轻体积小、便于运输和安装既是成本的要求，又是使用的追求。

表 2 UPS 工作效率比较表 (按输出功率因数为 0.9 计算)

不同负载下效率	无变压器 UPS	带变压器 UPS	客户利益 (年电费节省￥)			
			负载	25%	40%	100%
100%	94%~95%	92.5%~93%	300KVA	13140	14716	52560
40%	93%~94%	91.6%~92%	400KVA	17520	19621	70080
25%	91.4%~93.6%	89.5%~91.6%	500KVA	21900	26280	87600

表 3 给出了两种结构 UPS 在功率密度、体积和重量等方面的数据。从这些数据可以看出，与带有输出变压器的 UPS 比较，无输出变压器 UPS 在功率密度、占地面积、重量等方面的优势是：功率密度 (kW/m<sup>3</sup>) 可以提高 40% 左右；占地面积 (m<sup>2</sup>) 可减少 25% 左右；重量减少 50~80%。

#### 5.4 成本

与带输出变压器 UPS 相比，无输出变压器 UPS 去掉的环节包括：输出隔离变压器，输入 12 脉冲移相变压器及 11 次谐波无源滤波器。由此可见，无输出变压器 UPS 可降低成本是不言而喻的。讨论成本时，应考虑以下四个方面：

生产和购置成本

能源运行成本（工作效率高，包括空调费用的降低）

占地少、承重要求低和运输安装成本低

资源浪费少，降低了成本

第一点其实是很重要的，为了减少资源浪费，以半导体代替铜和钢铁资源早已成为工业和电子设备发展的趋势，是具有重大经济意义和社会意义的基本策略。

#### 5.5 对电性能指标的改进

无输出变压器 UPS 的各项电性能指标中的绝大多数都相当于带输出变压器 UPS，而且有些指标还表现出更优异的性能，如除以上论及的输入功率因数、工作效率、体积重量和成本以外，下列性能指标也有明显的改善：

输入电压范围更宽：带输出变压器 UPS 能够适应输入电压  $\pm 15\%$  的变化就很不容易，而无输出变压器 UPS

则可以在 25~30% 的变化范围内正常工作，不仅表现出对电网有很强的适应能力，还可以延长电池的使用寿命。

输出能力强：这体现在两个方面，一是输出半桥逆变器三相独立输出功率，提高了三相负载不平衡的适应能力；二是去掉了工频变压器，逆变器工作频率又较高，使输出滤波环节的阻抗更小，所以输出动态性能更好，负载阶跃从 100% 到 0，或从 0 到 100% 变化时，输出电压变化都可以限制在  $\pm 2\%$ ，并且在 20~40 毫秒内返回到  $\pm 1\%$  的容限范围以内。

#### 6 无输出变压器 UPS 可输出的功率等级和可靠性问题

尽管无输出变压器 UPS 的电路技术已经很成熟，但能否形成工业化产品，输出功率能达多大，可靠性水平如何，则与功率器件性能和等级水平有直接的关系。

##### 6.1 无输出变压器 UPS 可输出的功率等级

以下以 500KVA 无输出变压器 UPS 为例，讨论它对开关功率器件 IGBT 的耐压和工作电流有什么样的要求。

由图 14 可知，在 UPS 直流母线电压为稳定的  $\pm 400V$  的情况下，每个桥臂中的一支 IGBT 导通时，另一支截止的 IGBT 承受的电压将是 800Vdc。IGBT 的工作电流可根据输出功率和直流母线的最低电压计算出来。

在无输出变压器 UPS 中，以输出半桥逆变器对 IGBT 的性能要求最高，图 20 所示为半桥逆变器中各种电流参数的关系。

逆变器输出功率为 500KVA；

表3 两种UPS的功率密度、体积和重量比较表

	无输出变压器 UPS			带输出变压器 UPS			客户利益	
	容量	mm	m <sup>2</sup>	容量	mm	m <sup>2</sup>		
宽度和底面积配备维护旁路不含电池	300KVA	1412	1.20	300KVA	1600	1.52	节省更多空间，运输与安装成本低	
	400KVA	1412	1.20	400KVA	1600	1.52		
	500KVA	1812	1.54	500KVA	1600	1.52		
功率密度配备维护旁路；不含电池	容量	kW/m <sup>3</sup>		容量	kW/m <sup>3</sup>		更高功率密度，更小占地面积，运输与安装成本低	
	300KVA	225		300KVA	158			
	400KVA	300		400KVA	211			
	500KVA	292		500KVA	263			
重量不含电池		kg			kg		减轻机房承载要求，运输与安装成本低	
	300KVA	960		300KVA	1650			
	400KVA	1110		400KVA	2030			
	500KVA	1470		500KVA	2070			

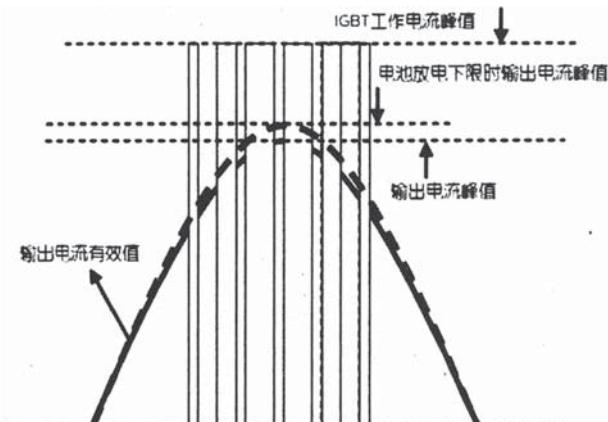


图20 半桥式逆变器中各种电流参数的关系

单相输出功率为  $500\text{KVA}/3=166.7\text{KVA}$  ；  
单相输出满负载电流有效值为  $166.7\text{KVA}/1220\text{V}=757.75\text{A}$  ；  
在无输出变压器 UPS 中，前级 PFC 整流是稳定的  $\pm 400\text{V}$ ，但当市电停电而转入电池放电时，就应考虑电池放电的下限电压（-11.25% 额定电压），所以，逆变器单相输出满负载电流有效值应是  $757.75\text{A} \times (1+0.1125)=843\text{A}$  ；

逆变器工作在正弦脉宽调制 (SPWM) 状态下，假定在输出电流峰值期间最大的占空比为 4:1，则 IGBT 是工作峰值电流是  $843\text{A} \times 1.414 \times 1.20=1430.4\text{A}$ ，在工作频率 5~15kHz 情况下，峰值电流的宽度为 0.15ms~0.05ms。

选用无输出变压器 UPS 器件时的通常做法是，在可能的最大耐压和电流值的基础上再增加 50% 的安全余量，即器件的耐压 (V<sub>ces</sub>) 为  $800\text{V} \times 1.5=1200\text{V}$ ；器件输出电流有效值能力为  $843\text{A} \times 1.5=1264.5\text{A}$ ；器件输出电流峰值的能力为  $1430.4\text{A} \times 1.5=2145.6\text{A}$  (0.15ms~0.05ms)。

考虑到工作频率和价格等因素，选用器件时常常采用低容量的器件进行并联，这样将存在并联均流的问题，则所选并联器件应降容 5% 使用，也就是说，做 500KVA 无输出变压器 UPS 时所选用的 IGBT 并联后的总输出电流有效值和峰值电流应大于：

器件输出有效值能力 :  $1264.5\text{A}/0.95=1331\text{A}$

器件输出峰值能力 :  $2145.6\text{A}/0.95=2258.52\text{A}$  (0.15ms~0.05ms)。以上推算结果见表 4 所列。

就目前的器件性能水平而言，能够满足表 4 所要求的 IGBT 器件已具有多种型号和规格，如果考虑 IGBT 用并联工作，则选择余地就更大了。

表 5 列出了日本富士公司的 IGBT(2MBI450U4J-120-50) 的主要技术性能参数。

表4 500KVA无输出变压器UPS输出逆变器对 IGBT器件的技术要求

	参数	数值	单位
集电极、发射极电压	V <sub>ces</sub>	$800 \times 1.5=1200$	V
工作电流	有效值	1264.5 (单管)	A
		1331 (多管并联)	
	峰值 (0.15~0.05ms)	2145.5 (单管)	A
		2258.5 (多管并联)	

表5 日本富士公司2MBI450U4J-120-50主要参数

	参数	工作状态	最大值	单位
集电极、发射极电压	V <sub>ces</sub>		1200	V
连续工作电流	IC	TC=25	600	A
		TC=80	450	A
	ICP	TC=25	1200	A
		TC=80	900	A

在利用日本富士公司的 IGBT(2MBI450U4J-120-50) 数据设计电路参数时，以下考虑是实际情况所要求的：

连续工作电流可理解为 PWM 工作时的输出电流有效值，即其正弦电流最大值可以达到  $600\text{A} \times 1.414=848.4\text{A}$  (TC=25) 和  $450 \times 1.414=636.3\text{A}$  (TC=80)；

当逆变器工作在 PWM 模式时，IGBT 管中的峰值电流是有效值  $\times 1.414$  (峰值系数)  $\times 1.25$  (假定电流峰值时的占空比为 4:1，宽度为 0.15ms~0.05ms) =1.767 倍。而表 5 中所列峰值电流 (1ms) 可以达到连续工作电流的两倍。所以用有效 (连续) 值是不会影响器件的安全性的。

考虑到在 UPS 设备中，管壳的温度通常控制在  $<70$ ，所以可以认为连续工作电流可以达到 500A，峰值电流则大于 900A。设计 UPS 电路时，用三只并联的总有效值 = $500\text{A} \times 3 \times 0.95$  (并联降容系数) =1425A；峰值电流  $>900\text{A} \times 3 \times 0.95=2565\text{A}$ 。

表 6 所列为设计技术性能要求和选用器件的实际最大输出能力比较。

表6 设计性能要求与实际最大输出能力比较

	参数	设计要求	实际最大输出能力
耐压	V <sub>ces</sub>	$800\text{V} \times 1.5=1200\text{V}$	1200V
工作电流	有效值	1264.5A (单管)	1425 (三管并联)
		1331A (多管并联)	
	峰值 0.15ms~0.05ms	2145.6 (单管)	2565A (三管并联) (1ms)
		2258.52 (多管并联)	

本例设计所用的器件是日本富士公司的 IGBT (2MBI450U4J-120-50)，在实际选材中，可以满足甚至高于上述性能要求的器件很多，而且有些管子的电流容量也远大于本例所用的数值，管子组合也分单管、单桥臂、六管集成等形式。所以，总的结论可以认为，当前的 IGBT 功率开关管的输出能力和电气性能使无输出变压器 UPS 的输出能力达到 400~500KVA 是不会有问题。

## 6.2 无输出变压器UPS工作的可靠性问题

UPS 设备的可靠性涉及多种因素，例如，电路研制定型水平、技术人员的技术水平和经验、器件选用的差别、生产工艺水平、质量管理流程和使用环境因素等。电路结构的变化有个技术成熟的过程，其中包括所选用的器材性能和可靠性对新电路结构的适应能力。所以说电路结构的变化对设备的可靠性是有影响的，但影响的大小最终取决于两个因素：电路技术的成熟程度和所用器件的技术性能及可靠性水平。

### 关于电路技术的成熟问题

无变压器 UPS 采用的新技术主要有两项：一是 AC/DC 高频整流 (PFC) 技术；二是输出半桥逆变技术。这两项技术已有较长的发展史，是电力电子设备的经典技术，应用也非常广泛，所以其技术成熟程度是不用置疑的。把这两项技术集成用于无变压器 UPS 中虽然是近十年的事情，因电路定型水平和参数选择的差异也可能会产生一些可靠性问题，但出现可靠性问题之原因则不会是电路结构和新技术的应用造成的。

当前的器件性能水平完全能够满足新电路结构提出的更高要求

在无变压器 UPS 中，对器件性能要求高的环节主要是半桥逆变器，而关键的参数又是功率开关器件 IGBT 的耐压 ( $V_{ces}$ ) 和输出电流（有效值和峰值）能力，从表 4、表 5 和表 6 可以看出，当前的 IGBT 的输出能力可以完全满足 400~500KVA 的大功率无输出变压器 UPS 的要求。

值得注意的是，在无变压器 UPS 的输出半桥逆变电路中，输出电压是由  $\pm 400V$  直流母线电压直接形成的，输入电流有效值等于输出电流有效值。而传统的带变压器 UPS 是通过输出变压器升压形成的，在升压臂为 1.1.9 或 1.1.78 时，同时考虑三角形 / 星形接法输出电流有效值是输入电流有效值的 1.73 倍，所以全桥逆变器输入电流有效值是输出电流有效值的  $1.9/1.73=1.1$ （或  $1.78/1.73=1.03$  倍）。数据说明，对同

样输出功率的 UPS，无输出变压器 UPS 对 IGBT 的电流输出能力的要求并不比传统的带输出变压器 UPS 高，也就是说，从 IGBT 的电流输出能力来看，能做多大功率的带输出变压器 UPS，就能够做相同输出功率的无输出变压器 UPS。

与带输出变压器 UPS 相比，无输出变压器 UPS 的输出逆变器对 IGBT 的耐压提出了更高的要求，在带变压器 UPS 的输出全桥逆变器中，IGBT 的耐压就是直流母线电压，一般在 400 多伏，而在无输出变压器 UPS 的输出半桥逆变器中，直流母线电压是  $\pm 400$  伏，故要求 IGBT 的耐压要大于 800V。虽然当前的器件耐压在 1200V 已不成问题，但该要求不仅是对静态耐压的要求，更主要的是对 IGBT 的开关电压变化率 ( $dv/dt$ ) 和开关损耗的要求问题，因此，这是电路设计和器件选择时必须重视和解决的问题。

### 输出的隔直问题

从图 14 和图 15 可以看到，由于控制环节发生故障造成一个 IGBT 连续导通时，或在一个 IGBT 或二极管短路的情况下，400V 直流母线电压会直接输出到负载端（此时，电感变成了阻抗很小的导线）。单相负载输入整流后的直流母线额定电压是 311V，考虑到负载输入允许的 +15% 的上限，直流母线的额定电压是 357V，并联在整流电路输出端的滤波电容的耐压通常是 400V。当 UPS 发生以上这样的故障时，输出直流电压会接近 400V，滤波电容和 DC/DC 变换器都会因输入电压过高而受影响。出现这种情况在理论上是可以解释的。然而，如果出现这种危险情况，即使缺少了专门的直流分量检测电路（例如，检测电路出现了故障或参数漂移等），也可以根据从另一个 IGBT 收到的驱动信号得知，直流电压可能发生了短路，从而立即终止逆变器工作，同时断开逆变器与后面负载的连接。通常情况下，逆变器的输出端配备有一个静态旁路开关，它可以在逆变器停止工作时迅速将负载切换到旁路市电供电，以保证负载供电的持续进行。逆变器保护和转旁路供电的动作时间很短，可在输出电压上升过程中完成，因而不会对负载安全造成影响。在大量设备的运行实际统计中，这种故障几乎没有出现过。

### 无输出变压器 UPS 的可靠性指标

如果不知道该产品的平均故障间隔时间（即 MTBF），或者厂商提供的 MTBF 数据不准确不可信，那么，可以用 UPS 的效率和输出能力的各项指标来衡量它的可靠性，这些指标包括整机工作效率、输出过载能力、输出电流峰值系数、启动负载时输出电流浪涌系数和输出功率因数等。

以下已被推向市场销售的 500KVA 无输出变压器 UPS 的可量化可靠性指标：

输出功率因数能力 :0.9 ；

逆变器短路能力 :150ms 2.5~3In ( 输出 400V ) ；

逆变器过载能力 :125%In 10 分钟 ;135%In 1 分钟 ;  
150%In 30 秒 ;

额定电压下的峰值因数 : 3.1

动态性能 : $\pm 2\%$  , 从 0 到 100% 或从 100% 到 0 的负载阶跃变化效率 :94.5% ( 50% 到 100% 负载率 )

以上这些数据可以说明 , 无输出变压器 UPS 的输出能力和可靠性指标与传统的带输出变压器 UPS 一样 , 它们都达到了很高水平。可靠性指标已不再是无输出变压器 UPS 设备的关键技术问题。

## 7 小结

图 21 所示曲线定性地表述了文章中论述的观点和内容 :

随着电路技术和半导体功率器件的发展进步和创新 , UPS 电路技术经历了由多个输出变压器到单一输出变压器 , 再到无输出变压器的变化过程。这反映出了去掉输出变压器 UPS 是电路技术进步的必然趋势。

文章定性的表述了无变压器 UPS 在效率、体积、重

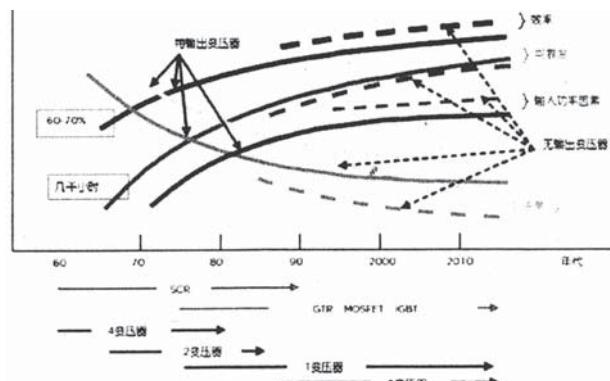


图 21 UPS 技术发展过程和两种结构 UPS 性能的比较

量、输入功率因数等指标的优势。

关于产品的可靠性问题 , 由于当前的电路技术和功率器件的性能决定了带输出变压器 UPS 和不带输出变压器 UPS 的可靠性都达到了很高水平 , 都超过了人们的期望值。虽然不能说不带输出变压器 UPS 的可靠性比带输出变压器 UPS 的可靠性还高 , 但有充分的根据可以说 , 不带输出变压器 UPS 的可靠性已经不成问题 , 而且其在效率、体积、重量、输入功率因数等方面的优势则代表着 UPS 产品技术的发展趋势。

《摘编自 “ 电源在线 ” 》