■中国电源学会名誉理事长清华大学 蔡宣三

开关电源发展轨迹

开关稳压电源（以下简称开关电源）取代晶体管线性稳压电源（以下简称线性电源）已有30多年历史，最早出现的是串联型开关电源，其主电路拓扑与线性电源相仿，但功率晶体管工作于开关状态。后来脉宽调制（PWM）控制技术有了发展，用以控制开关变换器，得到PWM开关电源，它的特点是用20kHz脉冲频率或脉冲宽度调制。PWM开关电源效率可达65～70%，而线性电源的效率只有30～40%。在发生世界性能源危机的年代，引起了人们的广泛关注，线性电源工作于工频，因此用工作频率为20kHz的PWM开关电源替代，可大幅度节约能源，在电源技术发展史上誉为20kHz革命。

随着ULSI芯片尺寸不断减小，电源的尺寸与微处理器相比要大得多；航天，潜艇，军用开关电源以及用电池的便携式电子设备（如手提计算机，移动电话等）更需要小型化，轻量化的电源。因此对开关电源提出了小型轻量要求，包括磁性元件和电容的体积重量要小。此外要求开关电源效率要更高，性能更好，可靠性更高等。

我国开关电源历程

从我国开关电源的发展过程可以了解国际开关电源发展的一个侧面，虽然一般说来，我国技术发展水平与国际先进水平平均有5～10年差距。

70年代起，我国在黑白电视机，中小型计算机中开始应用5V，20～200A，20 kHz AC-DC 开关电源。80年代进入大规模生产和广泛应用阶段，并开发研究0.5～5 MHz 准谐振型软开关电源。80年代中，我国通信（如程控交换机）电源在AC-DC及DC-DC开关电源应用领域中所占比重还比较低。80 年代末我国通信电源大规模更新换代，传统的铁磁稳压－整流电源和晶闸管（Thyristor，原称可控硅元件）相控稳压电源为大功率（48V，6 kW）AC-DC开关电源（通信系统中常称为开关型整流器SMR）所替代；并开始在办公室自动化设备中得到应用。工业应用方面，在锅炉火焰控制，继电保护，激光，彩色TV，离子管灯丝发射电流调节，离子注射机，卤钨灯控制等系统中均有应用。

90年代我国又研制开发了一批新型专用开关电源，典型例子如下：

1. 卫星开关电源。东方红三号通信卫星、风云一号、二号气象卫星均应用了开关电源。特点是：多路输出，不可维修性，要求长期不改变性能，设置冗余模块，可靠性高，EMC满足空间环境条件，高效，轻小。

2. 远程火箭控制系统的DC-DC开关电源，要求发射过程中高度可靠。

3. 1000kW牵引变流器4500V/1200A GTO门控250W 开关电源。

4. 40kW固体脉冲激光器的软开关电源。用4台10 kW全桥多谐振ZVS变换器并联。

5. 焊机用双IGBT管正激零电压转换－脉宽调制（ZVT-PWM）软开关电源。输出20kW，500A，开关频率40kHz，效率92%。特点是负载大范围变化频繁，工作环境恶劣。要求电源冲击电流小，动态特性好，无过冲，负载不影响软开关性质。

6. 变电所直流操作系统开关电源。供继电保护和自动装置及蓄电池充电用。代替晶闸管调压系统，输出10A，180～286V。主开关管用IGBT或功率MOSFET。

7. 单相和三相高功率因数整流器（有源功率因数校正器）。

可以看出，20～30年中，我国开关电源的应用领域和技术性能有很大进展，这与国家基础工业和国力增强有密切关系，也和国际先进开关电源技术影响有关。充分显示了中国电源技术人员的聪明才智和艰苦奋斗的创业精神。

90年代，中小型（500W以下）AC-DC和DC-DC开关电源的特点是：高频化（开关频率达300-400kHz）以达到高功率密度，体小量轻；力求高效和高可靠；低成本；低输出电压（≤ 3V）；AC输入端高功率因数等。在今后5年内仍然将沿这些方向发展。

主要技术标志

从技术上看，几十年来推动开关电源性能和技术水平不断提高的主要标志是：

1. 新型高频功率半导体器件的开发使实现开关电源高频化有了可能。

如功率MOSFET和IGBT已完全可代替功率晶体管和晶闸管，从而使中小型开关电源工作频率可达到400kHz

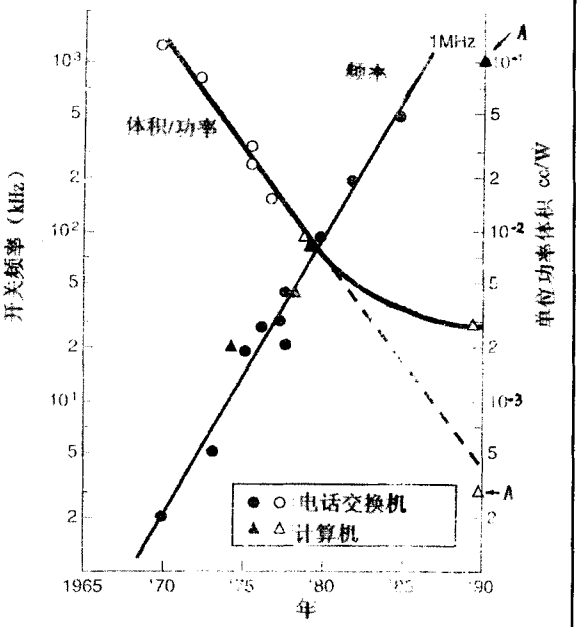

图1. 开关电源提高频率，减小体积的发展进程。A—零电压/有源钳位软开关电源

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

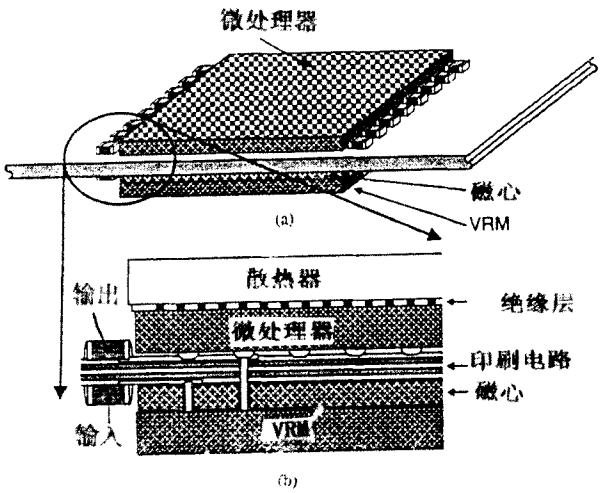

图2.微处理器和配套开关电源（VRM）未来结构模式的设想（系统集成方法）
三维视图(a)　侧视图(b)

(AC-DC)和1MHz（DC-DC）的水平（图1）。超快恢复功率二极管，MOSFET同步整流技术的开发也为高效低电压输出(例如3V)开关电源的研制有了可能。现正在探索研制耐高温的高性能碳化硅功率半导体器件。

2. 软开关技术使高效率高频开关变换器的实现有了可能。

PWM开关电源按硬开关模式工作(开/关过程中电压下降/上升和电流上升/下降波形有交叠)，因而开关损耗大。开关电源高频化可以缩小体积重量，但开关损耗却更大了(功耗与频率成正比)。为此必须研究开关电压/电流波形不交叠的技术，即所谓零电压(ZVS)/零电流（ZCS）开关技术，或称软开关技术（相对于PWM硬开关技术而言），小功率软开关电源效率可提高到80～85%。

70年代谐振开关电源奠定了软开关技术的基础。以后新的软开关技术不断涌现，如准谐振(80年代中)；全桥移相ZVS-PWM，恒频ZVS-PWM/ZCS-PWM(80年代末)；ZVS-PWM 有源钳位；ZVT-PWM/ZCT-PWM(90年代初)；全桥移相ZV-ZCS-PWM(90年代中)等。我国已将最新软开关技术应用于6kW通信电源中，效率达93 %。

3. 控制技术研究的进展。如电流型控制及多环控制，电荷控制，一周期控制，功率因数控制，DSP控制；及相应专用集成控制芯片的研制成功等，使开关电源动态性能有很大提高，电路也大幅度简化。

4. 有源功率因数校正技术（APFC）的开发，提高了AC-DC开关电源功率因数。

由于输入端有整流-电容元件，AC-DC开关电源及一大类整流电源供电的电子设备（如逆变器，UPS）等的电网侧功率因数仅为0.65，80年代用APFC技术后可提高到0.95～0.99，既治理了电网的谐波“污染”，又提高了开关电源的整体效率。单相APFC是DC-DC开关变换器拓扑和功率因数控制技术的具体应用，而三相APFC则是三相PWM整流开关拓扑和控制技术的结合。

5. 磁性元件新型磁材料和新型变压器的开发。

如集成磁路，平面型磁心，超薄型(Low profile)变压器；以及新型变压器如压电式，无磁心印制电路（PCB）变压器等，使开关电源的尺寸重量都可减少许多。

6. 新型电容器和EMI滤波器技术的进步，使开关电源小型化并提高了EMC性能。

7. 微处理器监控和开关电源系统内部通信技术的应用，提高了电源系统的可靠性。

90年代末又提出了新型开关电源的研制开发，这也是新世纪开关电源的发展远景。如：用一级AC-DC开关变换器实现稳压或稳流，并具有功率因数校正功能，称为单管单级（Single Switch Single Stage）或4S高功率因数AC-DC开关变换器；输出1V，50A的低电压大电流DC-DC变换器，又称电压调节模块VRM，以适应下一代超快速微处理器供电的需求（见图2）；多通道（Multi-Channel或Multi-Phase）DC-DC开关变换器；网络服务器（Server）的开关电源和可携带式电子设备的高频开关电源等。

以上简要回顾了开关电源发展的历程和取得的业绩。相信进入21世纪后，开关电源的理论与技术发展将会有更辉煌的成就，谨以此短文寄希望于我国跨世纪的青年电源专家们。■

◀(上接第38页)(RSSI)电路，一个FM/FSK解调器和一个零功率模式控制。

正如CMX017发送器IC的情况那样，所需频率是通过外PLL或合成器选定的，而外PLL或合成器是由来自第一下变频器的缓冲RF振荡器信号驱动的。LNA的开关增益功能可用来增加接收器动态范围。在第一模式下，应选择高增益而且可达到最低的噪声系数，这对于需要最大灵敏度来适应天线端的低电平信号时是非常有用的。在强信号时这可能增大互调失真，LNA的增益可降低到22dB（大约从+16dBm降到-6dBm）。在这种情况下，降低失真会损失灵敏度。这种性能使得设计人员可根据应用需求灵活地实现灵敏度和互调失真之间的最佳平衡。

CMX018IC的第1下变频器包括一个双平衡混频器和一个低噪声前置放大器以及振荡器元件。高端电压控制L0使用一个外部变容二极管和振荡回路谐振器电路产生70MHz第1 IF。缓冲振荡器信号驱动合成器来产生调谐。第2下变频器(也带有一个双平衡混频器和一个低噪声前置放大器）是一低端配置，用一个外部60MHz晶振产生10.7MHz第2 IF。

限幅放大器在解调器之前提供IF放大和限幅，RSSI电路使得LNA输入端在-100dBm RF信号电平时有大约150mV的指示电压。RSSI在-60dBm输入以20mV/dB增大到1.05V最大值。解调器电路采用一个正交检测器和外鉴别器及相移网络。CMX018IC的功率降低模式使电流消耗降到低于10μA，这对于与CMX017 IC组成收发器应用来说是非常有用的。■　　(冰)

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net