

通信电源的发展趋势

便于读者理解通信电源发展趋势，首先要介绍一次电源和二次电源。

一次电源是指将电网市电变换成标称值为48V的直流电。传统采用可控硅相控整流技术，比起历史上曾经采用的汞弧整流器经过电阻网络来得到不同大小的直流电压来说，是一次革命。缺点是比起用电的通信主机来说，体积庞大、笨重，热损耗较大，输出纹波大，无功功率较大，对电网污染明显。

由于通信设备近年来集成化发展很快，体积重量明显减小，因而对电源装置的小型化提出了更高的要求。

新型的通信用一次电源，就是高频开关整流电源，是将市电直接整流，然后经过高频开关功率变换，得到高频交流电，再经过整流滤波而得到48V输出的直流电。这里市电50HZ的工频变压器没有了，代替的是在高频功率变换之后的高频变压器——变压器的体积和重量都减小了；纹波频率高，滤波环节也明显地减小了体积重量，并且使电性能也得到提高。采用大功率晶体管的高频整流电源，在技术上是一次飞跃。正因为如此，1994年我国邮电部做出重大决策，要求通信领域推广应用开关电源，以取代相控电源。几年来的实践已经证明，这一决策为国家节省了大量铜材、钢材和占地面积。由于变换效率高，能耗减少，既达到了节能，又降低了电源环境的室温，还改善了工作人员的工作环境。

80年代，大功率晶体管主要采用双极型功率晶体管，开关工作频率常用20kHz。后来又采用绝缘栅双极型功率晶体管（IGBT），工作电压和电流定额（即单管容量）明显地增大了。到了90年代，由于功率场效应管MOSFET的技术进步而被广泛采用，开关工作频率采用100kHz或更高。我国近几年用于通信的高频开关整流电源发展迅速，单个模块已先后推出48V / 20A、48V / 30A、48V/50A、48V / 75A、48V / 100A、48V / 200A等系列化产品，以满足不同容量不同场合的用电需求。产品技术水平能与进口产品相媲美，部分产品已有少量出口。当然，国内也有不少进口品牌电源，因此在这一领域已经形成竞争局面。

二次电源是指通信设备内部集成电路芯片等所需用的直流电源。要求体积要小，输出电压多种多样，用得较多的有±5V。大规模集成电路的广泛应用，如微处理器，发展趋势是速度更快，电压更低，需要的电流容量一直在增加。以英特尔微处理器为例，工作电压是2—3V / 10A；操作频率是300MHz。预计两年内它的工作电压会降到1V或0.8V，操作频率为1000MHz。将一次电源输出的48V直流电，经过DC / DC高频开关功率变换，获得不同大小的直流电压输出，即是二次电源。二次电源的特点是体积小，动态特性好，工作频率100KHZ以上。

一次电源或二次电源，无一例外地都是采用高频开关直流电源。通信电源作为高频开关直流电源的一个典型，发展到今天已经有十多年历史了。十多年来，采用高频开关直流电源的通信电源，它的发展趋势，可概括为：高频化、高效率、无污染、模块化。

1. 高频化——是缩小电源体积重量、提高功率密度的重要技术途径；高频化又是提高电源动态品质的重要保证。小功率DC / DC直流二次电源，开关频率将达到1兆赫或更高。功率密度也将由现在的每立方英寸50W提高到100w以上。

2. 高效率——作为电源，效率是重要的指标之一。效率高，发热损耗小，散热容易，才容易做到高功率密度。

高频化的结果使开关损耗显著增加。因此，80年代后期以来，软开关变换技术的研究，始终是电源技术研究的热门课题。80年代后期，美国弗基尼亚电力电子研究中心应用谐振软开关技术成功地制造出了兆赫级开关频率、功率密度为50瓦/英寸³的开关电源。这种电路结构，在较大功率输出时，又表现出不足。因为功率器件开关损耗极小（理论上为零），但是谐波电流很大，引起导通损耗增加，由此效率并未能提高。由于谐波电压也较大，线路中LC元件并不能由于频率提高而明显减小体积。又因为采用调频控制输出的大小，输出谐波频谱随控制而改变，这给输出滤波设计带来困难，因此不得不在最坏的情况下（即工作频率最低时）设计滤波器，结果体积常常偏大。

针对谐振变换软开关技术存在的不足，在90年代初，美国弗基尼亚电力电子研究中心主任李泽元教授提出了“软开关P. W. M”概念，即功率开关器件只是在开关转换前后的一个小区间与线路加LC元件工作在谐振状态，以构成电压或电流的过零点来实现功率器件的软开关，在开关全周期工作在P. W. M模式。由于“开通”、“关断”都是零电压，因此又称“零电压转换”（ZVT, Zero Voltage Transition）。这种电路结构在高频电能变换中，即组成各种高频开关电源中，将得到广泛应用。

软开关技术理论上可使开关损耗为零；实际上，可使目前的各种电源模块的变换效率由80%提高到90%以上，达到了高频率、高效率的功率变换。

3. 无污染——电力电子装置和电源的大量广泛应用，使输入电流中的谐波显著增加，功率因数显著降低，使供电网受到污染。开关电源的输入端常常是二极管整流—电容滤波的组合电路，其输入电流波形呈尖脉冲状，交流侧功率因数只有0.6-0.7。

为了限制电器设备对电网发射谐波电流，国际上已经制订了许多标准，如针对中小功率电器设备的IEC555-2，适用于大功率电器设备的IEC1000-3-2等。

提高AC-DC（高频开关整流电源）开关电源的输入端功率因数，可用有源或无源功率因数校正（PFC）技术。无源校正技术简单，即应用LC滤波网络，可以满足IEC1000-3-2标准，功率因数可以达到0.92以上，只不过滤波网络体积重量较大。有源校正技术是在输入整流和DC-DC功率变换之间加一级有源功率因数校正（APFC）电路，实际上也是一种DC-DC变换器，利用控制电路（现在有专用集成控制芯片），使输入端电流波形接近正弦并保持与电压同相，从而使输入端功率因数接近于1，电路成本约增加20%。据报道，国外已将软开关技术应用于APFC有源校正，采用单相Boost主电路应用IGBT功率器件，用本电压转换（ZVT）PWM技术，工作频率100KHZ，功率1KW，交流输入电压180-260V，效率达到了97%。

现在国内正在研究开发单级高功率因数电路，即APFC电路和开关电源只用一级主电路构成。成本只增5%于计首先在小功率AC-DC开关电源上实现。

实现三相有源PFC要比实现单相的APFC，困难得多。现在已提出了多种方案，但只有理论分析和某些实验结果，成熟的商品还很少。

4. 模块化——以适应分布式电源系统供电的需要。过去功率不大时，电源均是采用单一集中的供电方式。近年来均是采用分布式供电。这是由于：

- （1）分布式供电，具有节能、高效经济、维护方便、可靠性高的优点。
- （2）适用于低传输损耗，超高速型集成电路低电压电源（2.2V、3.3V）的供电要求。
- （3）当需要大功率输出时，可采用小功率电源模块、大规模控制集成电路做基本部件，组成积木

式智能化大功率供电电源。这样做带来的好处是：①极大地减轻了对大功率元器件的研制压力；②减轻了对大功率电源装置的研制压力。

(4) 联系到通信系统供电的实际，分布供电就是将大型的通信局(站)的通信设备分割成几部分，每一部分将由一套容量最为合适的电源设备供电，不仅使电源设备工作安全性提高，而且把电源设备故障的影响限制在一定范围内。分布式供电，使电力室至通信设备机房的馈电线由直流48V改为交流220V，提高了馈线送电效率。分布式供电也分散了蓄电池室，使每一蓄电池室降低了供电负荷，提高了蓄电池组工作的安全性。分布式供电缩短了蓄电池室和通信设备机房之间的距离，大幅度减少了直流送电的损耗。

可以预见，在相当长一段时期，信息产业仍将成为国民经济增长的焦点，这也是推动开关电源发展的重要动力。

现在再讲两点可以预见到的——通信电源主要发展展望。

功率半导体器件仍然是开关电源发展的“龙头”。

功率场效应管(MOSFET)由于单极性多子导电，显著地减小了开关时间，因而很容易达到100kHz的开关频率而受到世人瞩目。这种器件现在的重点在于如何降低通态电阻。美国IR公司用提高单位面积内原胞个数的方法。如该公司开发的一种HEXFET场效应管，其沟槽(Trench)原胞密度，已达世界最高的每平方英寸1.12亿个的水平。通态电阻RDS可达3毫欧，自1996年以来，其以每年50%的速度下降。IR公司还开发了一种低栅极电荷(Qg，即输入电容很小)的HEXFET，使开关速度更快。

同时应当看到，作半导体器件材料的硅，已经“统治”了半导体器件超过了50年，挖掘硅性能的潜力已很难。有关半导体器件材料的研究，从70年代以来始终在进行着。进入90年代以后，对碳化硅(SiC)的研究达到了热点。实验表明，应用SiC的半导体器件，其导通电阻只有Si器件的1/200；如电压较高的硅功率MOSFET，导通压降达3—4V，而SiC功率MOSFET，导通压降小于1V，而关断时间小于10ns。目前的问题是要进一步改善SiC表面与金属的接触特性和更完善SiC的制造工艺。有把握地说，再经过5年不会超过10年，这些问题都会得到很好的解决。到用SiC制造的半导体器件得到广泛应用时，对开关电源的影响将会是革命性的。

半导体器件或电路的发展方向是模块化、集成化。如控制电路现在多已制成专用集成电路。具有各种控制功能的专用芯片近几年发展很快，如功率因数校正(PFC)电路用的控制芯片，并联均流控制芯片，较开关控制用的ZVS、ZCS芯片，ZVT、ZCTPWM专用控制芯片，电流反馈控制芯片等等。功率器件则有功率集成电路(Power IC)和IPM。IPM是IGBT作功率开关，集控制、驱动、保护、检测电路封装在一个模块内。由于外部接线、焊点减少，可靠性明显增加。集成化、模块化使电源产品体积小、可靠性高，给应用带来极大方便。

电路集成的进一步发展是做系统集成。美国VICOR公司生产的第一代电源模块受生产技术、功率和磁元件体积、封装技术的限制，密度始终未能超过每立方英寸80W。近年来推出的第二代电源模块，内部结构也改为模块式，达到高度集成化和全面电脑化。功率密度已经达到了每立方英寸120W。电源模块内含元件只有第一代产品的1/3，由115个减为35个。第二代电源模块的控制电路只含两个元件，被称作“大脑”(Brain)。“大脑”是两片厚膜电路，由VICOR公司自己的无尘室自行开发生产，其总体积只有0.1立方英寸，取代了第一代产品中的约100个控制元件，体积缩小了60%。第二代产品中另一个突破是变压器的改良，平板式变压器使处理功率的密度达到了每立方英寸1000W。第二代产品功率器件的管芯直接焊接在基板上以取代第一代TO-200封装，可以提高散热效

率，降低寄生电感、电容和热阻。第二代产品集成度显然提高了，但还不是系统集成。仍以英特尔微处理器的供电电源为例，现在的做法是开关电源紧靠微处理器，这样尚能满足现在微处理器的要求。但将来微处理器工作电压降为 1V或0.8V，电流增加，速度更快的时候，现有的解决办法将无法达到它的要求。三年前，美国弗基尼亚电力电子研究中心李泽元教授就提出要彻底解决问题，必须将开关电源与微处理器结合在一起。今天英特尔公司开始接受这一想法并在积极促成此事。提出的构想是：开关电源紧密结合（集成）在微处理器主机板下面。这样开关电源的大小必须与微处理器相当，而现在的开关电源要比微处理器大几十倍。如何减小体积？这又面临新的挑战！

可以预计，下面几个问题是开关电源，自然也是通信电源发展的永恒方向：

1. 开关电源频率要高，这样动态响应才能快；配合高速数字电路工作是必须的；也是减小体积的重要途径；
2. 体积要小，变压器电感、电容都要减小体积；
3. 效率要高，散热少，容易达到高功率密度。