

金属磁粉心市场

一 金属磁粉心市场增长的动力之源

金属磁粉心的市场来自对铁氧体市场的掠夺，而这种掠夺主要来自三方面的因素：一是金属磁粉心产品在设计 and 制作电感器产品方面具有的性能优势；另一方面是整个世界对电子产品的 EMI 和 EMC 的强制认证要求；三是金属磁粉心技术和工艺的发展，新材料不断涌现，高频损耗特性越来越小，以及新的金属磁粉心磁集成技术，满足现在低压大流高功率密度需求，另外制作成电感器的相对成本不断下降。

1、金属磁粉心的特性（与铁氧体对比）（内因）

- a 闭和磁路（铁氧体要开气隙，有 EMI），对外界几乎无 EMI 干扰见图 1；
- b 由于金属磁粉心内部天然分布气隙，避免了像铁氧体要开气隙造成的局部损耗过高，造成热点温度，严重影响电感器绕组的寿命图 1；
- b 具有铁氧体 2 倍的高 B_s ，制作成电感器具有很高的功率密度，体积可比铁氧体减少近 1/3，尤其是做成一体式 SMD 电感器见图 2；
- c 金属磁粉心的直流偏磁特性既直流偏磁场和磁导率（或电感系数）的变化是容易得到，且成平滑规律曲线状，电感器的饱和过程是软饱和见图 3，按曲线设计成的电感器的实际效果和实际工作动态基本相一致；
- d 金属磁粉心具有很好的抗外界应力特性，使其具有更高的可靠性：

由于是粉末冶金工艺，使材料更具有韧性，抗机械冲击能力强于其他软磁材料；

金属磁粉心有更宽的工作温度范围（-55 -200 ），很低的温度系数，一般小于 300 ppm；

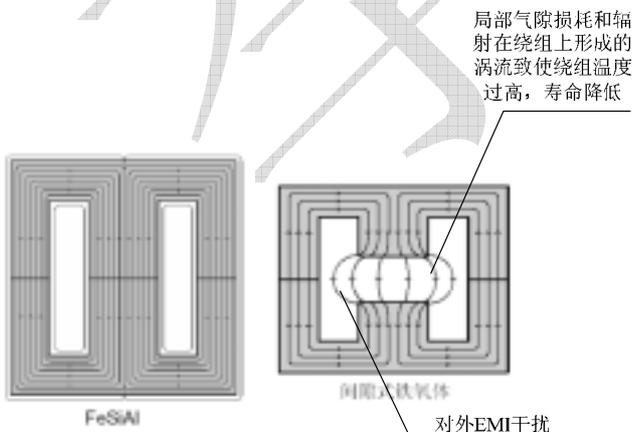


图 1 金属磁粉心与铁氧体比较

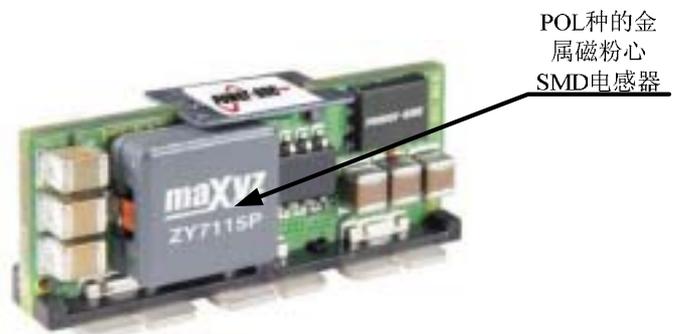


图 2 金属磁粉心 SMD 电感器

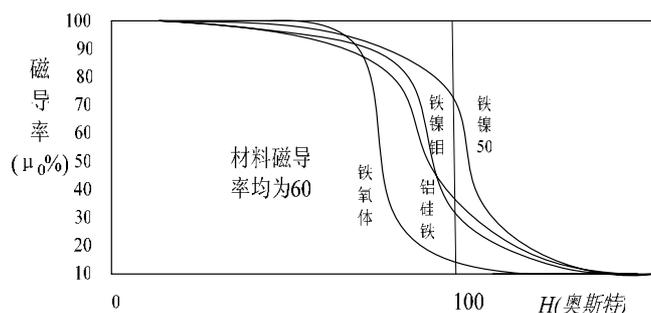


图3 直流偏磁特性对比

2、EMI 和 EMC 强制认证标准牵引金属磁粉心市场增长（外因）

2.1、有源功率因数校正技术牵引金属磁粉心市场

a、电网谐波问题及有关标准的提出

随着现代工业的高速发展，电力系统的非线性负荷日益增多。如各种换流设备、变频装置、电弧炉、电气化铁道等非线性负荷遍及全系统，而程控交换机、电视机、高频逆变焊机、电子镇流器等信息设备、办公自动化设备和家用电器的使用越来越广泛。这些非线性负荷产生的谐波电流注入到电网，使公用电网的电压波形产生畸变，严重地污染了电网的环境，威胁着电网中各种电气设备的安全运行。其危害概括起来有以下几个方面：

可能使电力系统的继电保护和自动装置产生误动或拒动，直接危及电网的安全运行。

使交流供电设备(如交流发电机、UPS 等)输出功率的利用率降低，并使输电线上的损耗增大，造成了紧缺资源的严重浪费。

使三相四线制电网中的三次及其倍数次谐波在中线同相位，导致合成后中线电流很大，甚至可能超过相电流。但由于安全标准规定中线无保护装置，因此可能过热起火发生安全事故。

使各种电气设备产生附加损耗和发热、使电机产生机械振动和噪声。

电网中谐波通过电磁感应、电容耦合、以及电气传导等方式，对周围的通讯系统产生干扰、降低信号的传输质量，破坏信号的正常传递，甚至损坏通讯设备。

谐波使电网中广泛使用的各种仪表，如电压表、电流表、有功及无功功率表、功率因数表、电度表等产生误差。为消除此类误差，会大大增加制造成本。

增加了电网中发生谐波谐振的可能性，造成很高的过电压或过电流，从而引起安全事故。

由于电网谐波的诸多危害，国际社会已于上世纪八十年代和九十年代初制定了一些与此相关的标准，以期尽量消除或降低其危害，如 IEC1000-3-2、IEEE-519、IEC555-2、EN60555-2、MIL-STD-1399、Bellcore001089 等。我国也为此于上世纪八十年代研究对策，做了很多准备工作，并于 1993 年正式颁布了 GB/T14549-93《电能质量 公用电网谐波》标准，1998 年又制定了 GB17625.1-1998 标准。

在欧洲,从 1992 年开始对 300W 以上设备强制实行 IEC555-2 标准,并于 1994 年对 300W 以下设备也作出同样要求。在美国,早就对 700W 以上设备产生的谐波作出了限制。国际电工委员会于 1998 年对谐波标准 IEC5552 进行修订,另外还制定了 IEC61000-3-2 标准,规定严格的谐波要求。而在我国,但随着现代化进程的加速推进,及绿色电子产品的发展,2003 正式提出强制性“3C 认证”,3C 认证标准中包括有一项新增加的 PFC(谐波电流限制)电路考核指标,它是专门针对谐波电流问题而制定的。我国“3C 认证”中规定 75W 以上电源必须有 PFC(功率因数校正),功率因数校正电路中核心器件是电感器,电感器最好的材料是金属磁粉心。

b、电网谐波抑制与有源功率因数校正电路 APFC

公用电网谐波和基波无功功率的存在,最终均可归因于电网负荷的功率因数 PF 小于 1 并用其来表征。这里的 PF 包括相移因数和畸变因数(或称畸变系数、失真因数)。为了消除谐波和基波无功功率,应进行功率因数校正(PFC),以提高负荷的功率因数,使其尽量接近于 1,即等效于纯电阻负载。

传统的功率因数校正采用的是被动的无源校正网络,主要针对线性负荷如感性或容性负荷,以改善相移功率因数,降低无功功率。但其尺寸、重量大,难以得到高功率因数,且其工作性能与频率、负载变化及输入电压变化有关,因此对电网的适应性也较差。同时由于电网中存在高次谐波,也使这种无源 PFC 难以发挥更大的作用。另有一种被动的有源校正网络叫有源电力滤波器(APF),它是一种动态抑制谐波和补偿无功功率的电力电子装置,能对频率和幅度都变化的谐波进行很好的补偿,对电网的适应性强,但其控制复杂、造价高昂。目前主要思路是将 APF 和无源校正网络混合使用,以图降低 APF 容量和整个校正网络的造价。这种网络主要用于大功率负荷。

随着信息技术和电力电子技术的飞速发展,诸如通讯设备、计算机、电子镇流器和家用电器等使用开关电源的非线性负荷大量投入使用。它们通常采用的是桥式整流+电解电容滤波方式,其 PF 值约为 0.55 ~ 0.65。有鉴于此,一种新型的主动性有源校正网络,即有源功率因数校正(APFC)技术得到人们的普遍重视。该技术是在负载的整流电路和滤波电容之间增加一个功率变换电路,将输入电流强制校正成与输入电压同相位的正弦波,使功率因数提高到近似为 1.0,而且具有稳定的输出电压,从而消除谐波和无功功率并降低了其后接变换器的设计难度和成本。这种方法不仅校正效果好,而且效率高、体积小、重量轻、成本低、适应性强,已被国外大多厂商用于其实际产品中,国内也有很多有实力的厂商对其进行研究和应用。

由于欧美国家对有关标准的强制执行,促使国际学术界对 APFC 技术进行积极探讨,并取得了很多人瞩目的成果。特别是开发出适用于各种需要的众多型号的控制用专用集成电路,使 APFC 产品的开发摆脱了早期采用分立元件造成的开发周期长、线路复杂、可靠性低且效果并不尽如人意的弊端,使 APFC 产品迅速得以推广应用,取得了可观的社会效益和经济效益。目前,在学术界和实际工程应用中,人们对具体的实现 APFC 的具体电路拓扑基本已经形成共识,即采用 BOOST 电路见图 4。BOOST 电路的核心器件是电感器,从性能上来说,根据不同频率选用 Fe 粉心、FeSiAl、FeNi50、FeNiMo、甚至新材料 FeSi

材料等金属磁粉心是最合适的，功率密度最高，不产生气隙 EMI。具体 APFC 技术和电路信息见附件 1。

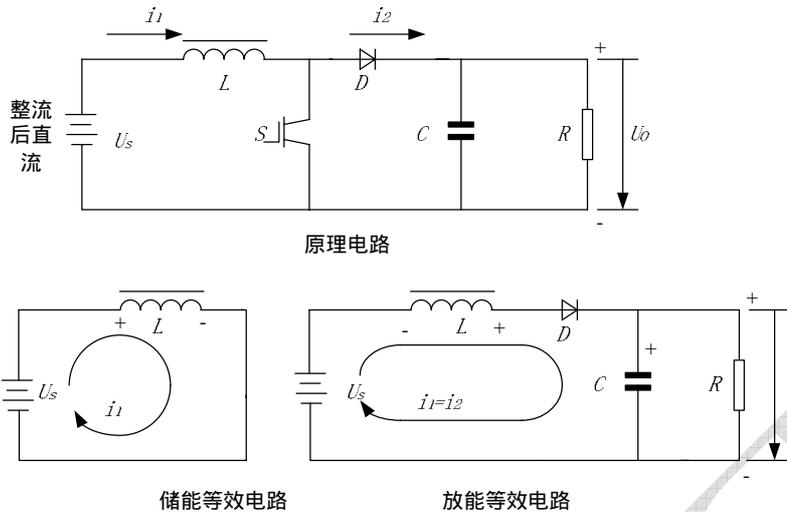


图 4 APFC 电路

2.3 APFC 电路与电子产品

a、平板电视与 APFC 电路

小尺寸：最大为 21 英寸，这种尺寸的平板电视功耗通常低于 70W。这个数值低于大多数谐波含量标准对功耗的要求，因此无须使用功率因数校正(PFC)技术。在这种情况下，通常使用一个开关电源(SMPS)。在正常模式下，开关电源必须输出额定功率，而在待机模式下，开关电源必须拥有较高的能效。

中等尺寸平板电视：介于 26 英寸至 32 英寸之间，对于这种尺寸面板的平板电视而言，功耗大幅增加，最大可达 180W。由于**输入功率高于 75W**，因此，这种应用应该遵从欧盟 IEC1000-3-2 D 类标准或类似区域性谐波含量标准。在这里，功率因数校正(PFC)技术也开始应用；而且，由于主电源必须进行优化，以实现更高的能效和更小的体积。因此，有源 PFC 能够发挥突出作用，对主电源单元输入电压的变化进行限制。在这种功率级别，临界导电模式(CRM) PFC 是应用得最为广泛的拓扑。

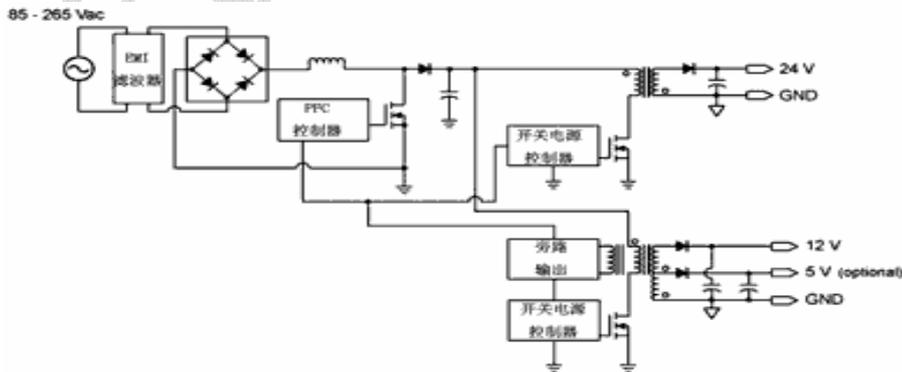


图 5 有 APFC 的采用了 2 个反激式电源的 26~32 英寸面板

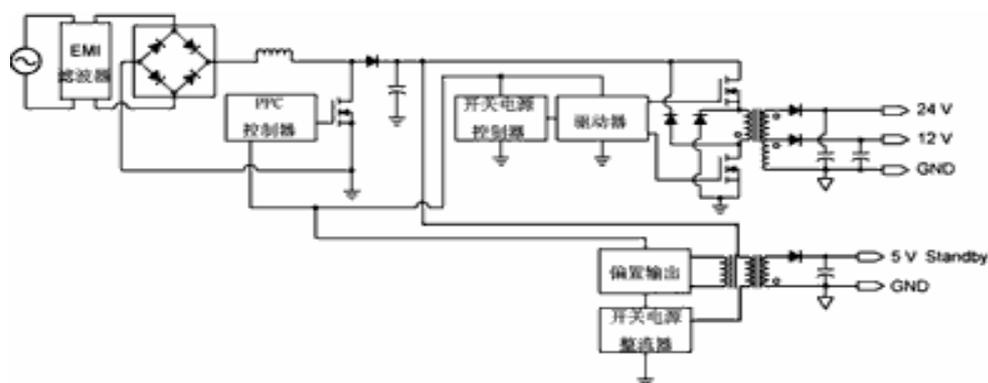


图6 面板尺寸介于26~32英寸之间的平板电视中的电源结构

较大尺寸平板电视：37英寸，这种尺寸的LCD TV功耗最高达220W。在这种情况下，必须使用PFC技术，并强烈推荐有源PFC。在这个功率等级，可以考虑三种备选拓扑，分别是临界导电模式(CRM)、固定频率非连续导电模式(FFDCM)和连续导电模式(CCM)。

大尺寸平板电视：40英寸及更大尺寸，40/42英寸LCD TV的功耗可能高达300W，46英寸的更是高达330W。在这个功率等级，连续导电模式(CCM)拓扑对PFC而言最为适用。

平板电视电源链的发展，平板电视电源转换链的设计需要考虑诸多的挑战和相互冲突的设计折中，才能设计出无需有源冷却的高性价比、高效、小巧纤薄的解决方案。此外，为了满足不同消费者的需求，平板电视制造商需要提供众多不同的功能组合，同时要求无须对每款电源进行重新设计。系统设计和IC制造商已经合作起来探寻最佳的设计折中组合。如今，我们需要集中力量开发下一代的LCD TV，令面板背光子系统能够直接从功率因数转换段供电。

b、电子镇流器与APFC电路

《建筑照明设计标准 GB 50034—2004》中条文里的说明。请参见非条文说明第7.2.10条，供给气体放电灯的配电线路宜在线路或灯具内设置补偿器，功率因数不应低于0.9。消费者对电子镇流器的要求越来越高。用户希望电子镇流器安全可靠，价格低廉，且不影响灯的使用寿命。电力部门则还要求其输入电流谐波必须在允许的限制范围之内，不能对电网造成污染，影响其它电器设备的安全经济运行。为此，IEC928(1990)、IEC929(1990)和GB/15143(1994)、GB/515144(1994)等标准详细规定了管形荧光灯电子镇流器的性能要求和安全要求。我国境内市场上流行的电子镇流器大多不符合产品标准要求。但是国内已经提出强制性认证要求。其中滤波器部分用铁粉心做差模电感器、用高导铁氧体做共模电感器，PFC部分使用金属磁粉心做电感器（也可以使用铁氧体，取决于性价比和应用场合），输出级使用金属磁粉心做逆变滤波电感器（也可以使用铁氧体，取决于性价比和应用场合）。随着铜线价格这几年的飞涨，其实铁氧体成品电感器的成本优势已经不是很明显，如果FeSi金属磁粉心批量推出进行替代，潜在市场很大。

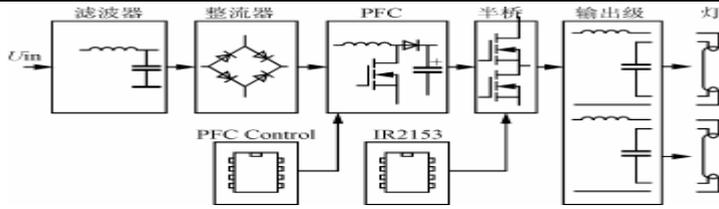


图 7 典型电子镇流器电流

c、逆变电源 (UPS, EPS) 与 APFC 电路及滤波电路

逆变电源应用非常广泛,无论是离线式(市电正常时,直接市电供电)还是在线式(市电正常时,作为稳压器使用)都要应用到 APFC 电路,BOOST 电路中就要使用金属磁粉心电感器,尤其是 1000W 以上的产品中,一般都使用金属磁粉心制作电感器,由于使用频率多在 50kHz-150kHz,因此多使用 FeSiAl 金属磁粉心。

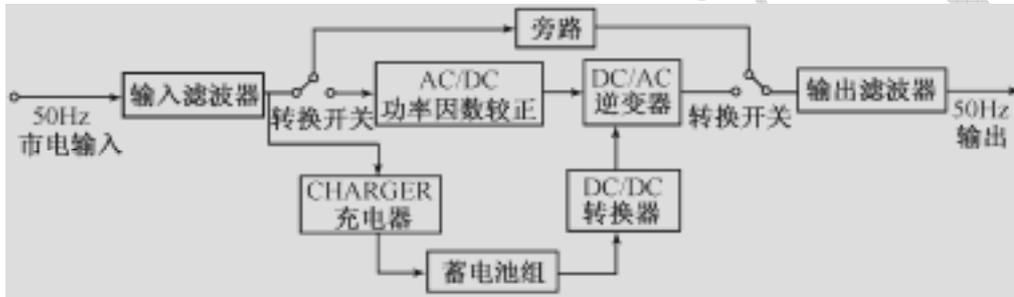


图 8 离线式逆变电源电路

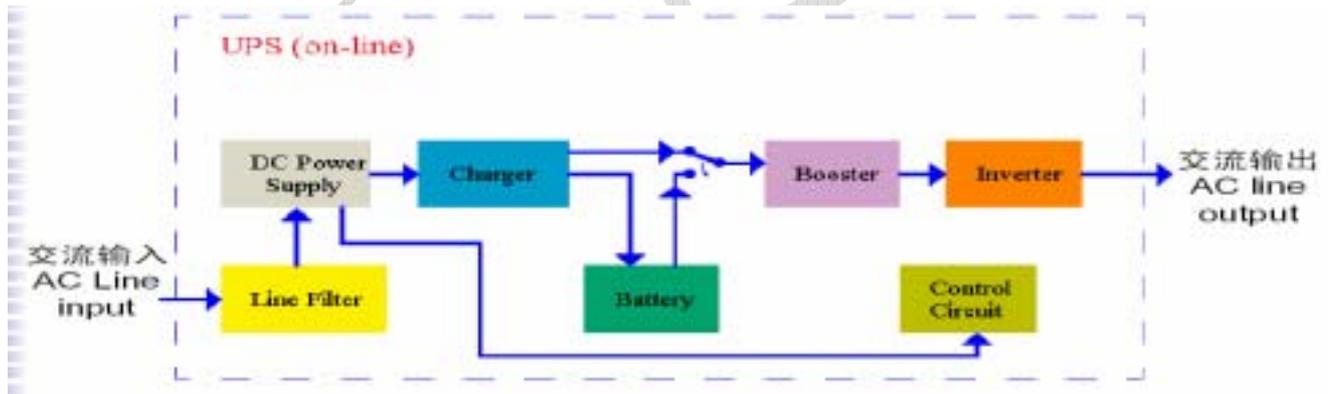


图 9 在线式逆变电源电路

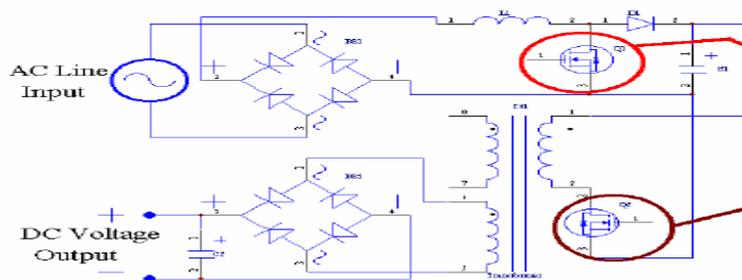


图 10 逆变电源中的典型充电电路

另外因为在 DC-AC 逆变时采用载波为几 kHz 到几十 kHz 的锯齿波的 SPWM 方式，会在输出端产生高次谐波干扰。因此在输出端需要加 LC 滤波器，其中 L 在原来载波频率低于 10kHz 时主要用铁粉心的-33 材料，但是由于现在载波频率逐渐提高到 20kHz 甚至 40kHz 或更高（大功率使用 IGBT 开关），不能再使用铁粉心的-33 材料。目前一般采用低磁导率的 FeSiAL 的磁导率 26 材料或者使用 FeSi 材料（看 FeSi 特性完全可以使用在频率 100kHz 左右，价格比铁硅铝便宜很多）。我建议大力推广 FeSi 材料。三相逆变电源后边可以使用 FeSi 材料作成的方块型产品制作成三相逆变滤波电抗器如图 11。功率达到几时千瓦甚至上百千瓦的只能采用方块型结构。



图 11 三相逆变（变频）输出滤波电感器

c 变频器

变频器现在应用非常广泛，尤其在家用电器上，如冰箱、洗衣机、空调。大多变频器产品都使用采用载波为几 kHz 到几十 kHz 的锯齿波的 SPWM 方式，其实在变频器的后端像逆变电源一样也需要 LC 滤波器。因此在输出端需要加 LC 滤波器，其中 L 在原来载波频率低于 10kHz 时主要用铁粉心的-33 材料，但是由于现在载波频率逐渐提高到 20kHz 甚至 40kHz 或更高（大功率使用 IGBT 开关），不能再使用铁粉心的-33 材料。目前一般采用低磁导率的 FeSiAL 的磁导率 26 材料或者使用 FeSi 材料（看 FeSi 特性完全可以使用在频率 100kHz 左右，价格比铁硅铝便宜很多）。三相逆变电源后边可以使用 FeSi 材料作成的方块型产品作成三相逆变滤波电抗器如图 11。

d、电力有源功率因数补偿技术

各个国家除了要求各类电子设备中提出了功率因数要求，也着手从用电网入手采用功率补偿技术，原来大多采用无功补偿的技术。但是无功补偿，器件体积大，功率因数低，目前正开始普及有源功率因数补偿技术，功率因数高，体积小，成本正逐渐降低。目前电力有源功率因数补偿技术，也是采用 APFC 技术和无功补偿技术较多。在 APFC 部分，使用大功率 IGBT 开关管，开关频率在 20kHz-100kHz，功率越到使用频率越低。这种技术一般要求一个工厂，一个小区，或者某种公用电网部分进行功率因数补偿，如城市路灯照明。现在国家正在对城市照明

设施，城市公共其他用电设施进行节电改造。在这种大功率有源功率因数校正电路中，根据频率可以使用铁粉心-33 材料的大环型产品，最好的方式是使用 U 型产品（便于绕制大电流绕组，这种电流一般从 30A-500A），也可以使用方块型产品如 FeSi 型产品（频率高时必须使用 FeSi 产品）。典型电路图见图 12。谐波电流补偿器 HCC 是一个电流源，与负载同时并联在电网上，控制三相桥的开关器件使其输出的谐波电流跟踪指令电流，补偿负载的谐波电流，使电网电源电流正弦化。谐波电压补偿器 HVC 是一个电压源，它串联在电路中，控制三相桥开关器件使其输出的谐波电压跟踪补偿电网的谐波电压，经谐波电压补偿后，电网中其他负载端点电压无谐波，电源电流也随之正弦化。

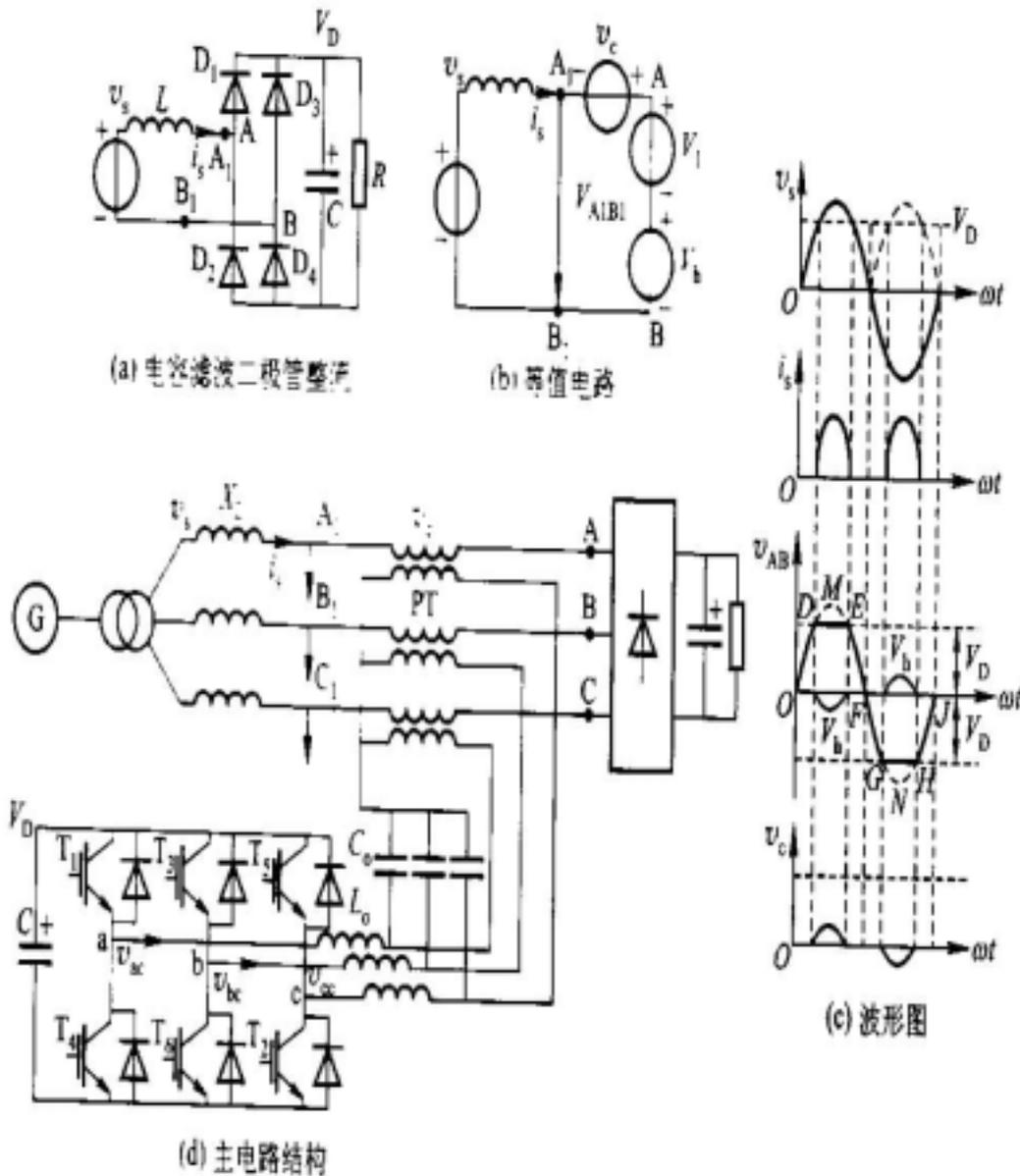


图 12 电力有源功率因数补偿技术电路

e 太阳光伏并网发电站

太阳光伏产业是蓬勃发展的朝阳产业，发展迅猛，2007 年仅仅上海市光伏产业就达到 100 亿元。到本实际未应该成为世界上主要的发电模式。下图是一种典型太阳光伏发电站电路，其中前端是一个 BOOST 升压电路，后端是 LC 逆变滤波电路。BOOST 电路根据适用频率可以选用 FeSi 金属磁粉心或者 FeSi Al 金属磁粉心作成的电感器；后端 LC 滤波电路中的电感器根据适用频率选用 -33 铁粉心、FeSi、低磁导率 FeSi AL 金属磁粉心作成电感器（载波频率小于 20kHz，用 -33，载波频率大于 20kHz 其他两种材料，由于主频是 50Hz，所以不能使用铁氧体）。

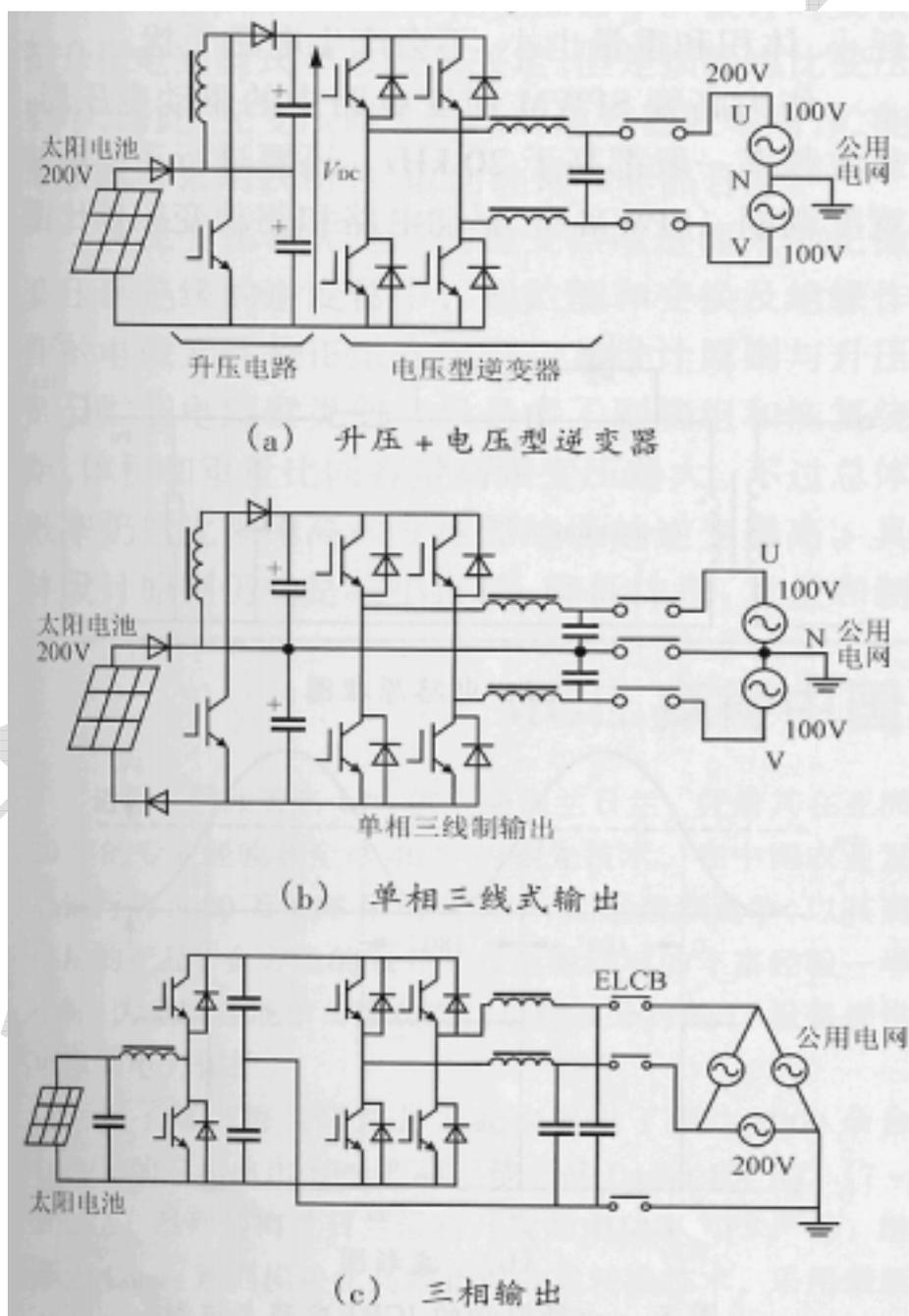


图 13 使用 SPWM 载波技术的典型太阳光伏并网发电站

f AC-DC 开关电源中的 APFC 和 EMI 电路及输出滤波电感器

开关电源已经相继进入各种电子、电器设备领域，程控交换机、通讯、电子检测设备电源、控制设备电源等都已广泛地使用了开关电源。市场研究公司 Frost & Sullivan 表示，2006 年全球开关电源 (Switch Mode Power Supplies, SMPS) 市场总收入达到 120 亿美元，这一数字在 2009 年可望攀升至 156.4 亿美元。根据我的经验，其中电源中使用的电感器、变压器成本一般占整个电源销售收入的 10% 左右，也就是说到 2009 年在电源中使用的电感器和变压器产品的销售收入应该在 16 亿美元左右。在这些电感器变压器产品中，使用金属磁粉心制作成的电感器约占电感器和变压器销售总数的 3/5，也就是 10 亿美元左右。

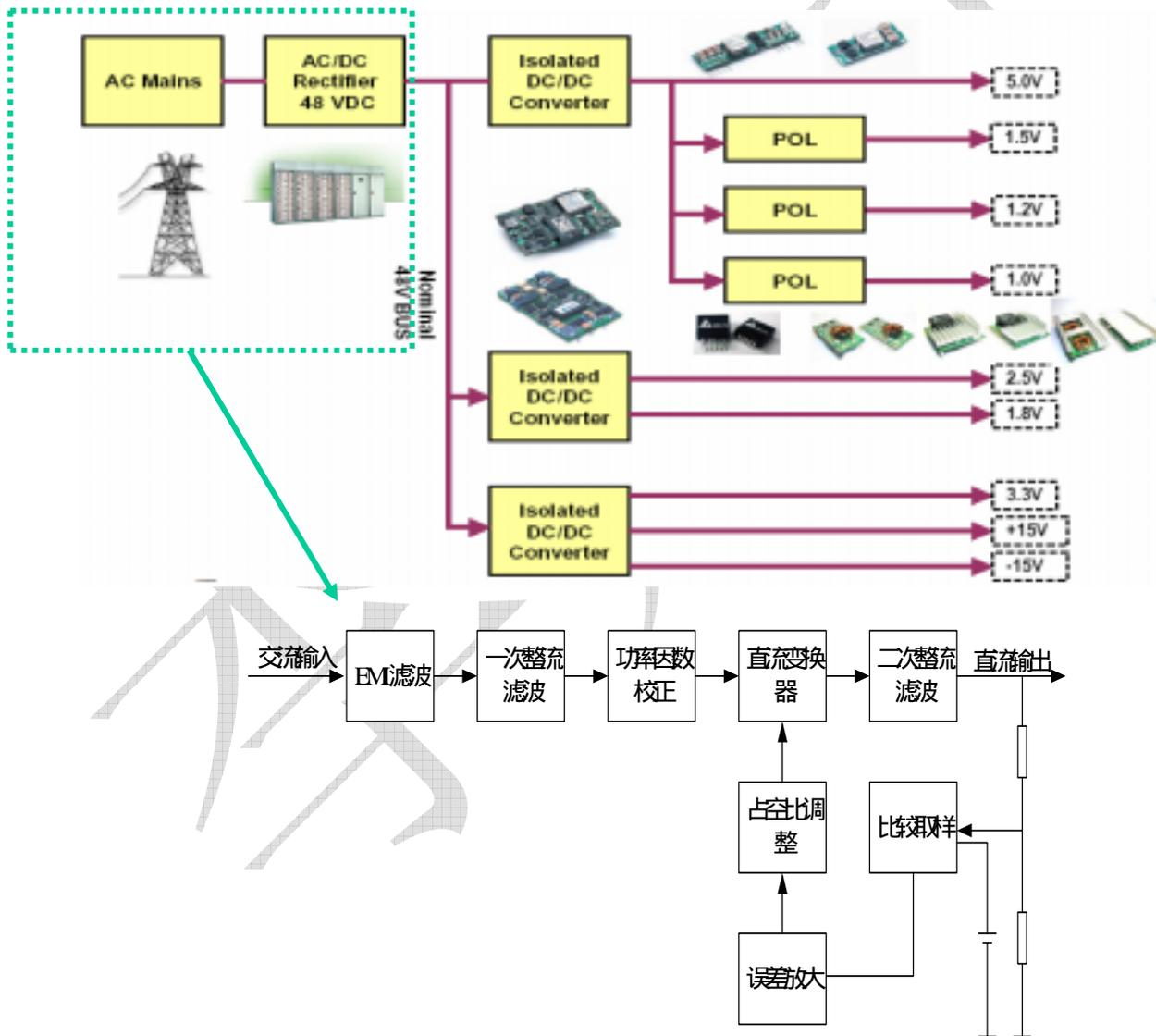


图 14 DPA (分布式电源构架) 电源电路

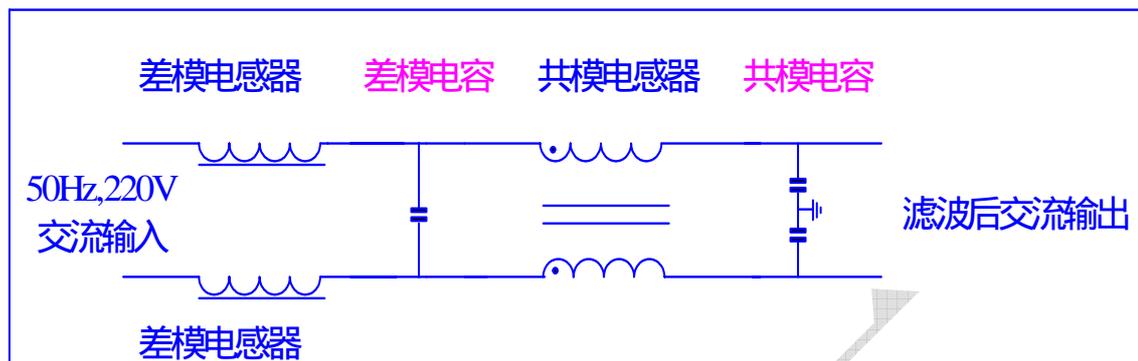


图 15 每个电源都要有的 EMI 电源滤波器的典型电路

随着各种 EMI 和 EMC 的强制认证对传导干扰和发射干扰的要求,几乎在所有的 AC-DC 电源产品的最前端甚至一些 AC-DC 电源的输出端加上 EMI 滤波器图 13。在电源滤波器电路中,使用最多的就是制作差模电感器的-26 材料铁粉心磁环(这种材料很难替代),和高导磁率铁氧体材料作成的共模电感器。

在 AC-DC 电源中的 APFC 电感器,使用 FeSiAl 材料作为磁心材料已经成为电源工程师的习惯,特别是磁导率 125 的 FeSiAl 材料。当然功率越大,选用的材料的磁导率越底,这也是为什么需要磁导率 26 的铁硅铝材料。

在 AC-DC 电源的输出滤波中,现在越来越多的工程师已经了解金属磁粉心的优点和设计要点,再加上铜线价格的非常以及 EMI 的要求,使得金属磁粉心特别是 FeSiAl 材料成为首先的电感器材料。但是目前 AC-DC 开关电源特别是高功率开关电源,开关频率基本都在 100kHz 左右,在目前 FeSiAl 市场价格战的基础上,可以考虑使用 FeSi 材料低成本代换。

3、金属磁粉心技术进步带动磁粉心市场的发展

各种新材料逐渐发展壮大,高价格比的 FeSiAl 材料,填补 Fe 粉与 FeSiAl 之间的低损耗无热老化 FeS 材料,正在加大研发不久会批量应用的非晶压粉磁心,也许将于不同档次和相对较低的成本,逐渐代替各种 Fe 粉心和合金金属磁粉心。总之损耗越来越低,应用频率越来越高,高的 Bs 值,方便的设计催成了从本世纪初金属磁粉心更广泛的应用。

金属磁粉心从单一的环型到棒型、E 型、U 型、方条型、EQ 型等新形状的开发,降低了电感器加工成本,也催进了金属磁粉心产品的应用,也拓展了金属磁粉心的应用领域。一次压成的高功率密度金属磁粉心电感器,以高电流承载能力,优良的电感动态稳定性,表贴的封装形式,正好符合现在超大规模集成电路、CPU 等电子设备对电源产品的高功率密度,低电压(电压已经向低于 1V 发展),大电流(电流从几十 A 到

上百 A),高频化的趋势。目前电源界研制的 POL 负载点电源,VTM 电压调整器、向微处理器供电的稳压模块(VRM),电流大于 10A 的产品,一般都选用金属磁粉心一体式 SMD 电感器。该类电感器到 2010 年销售额应该在 1.0-1.5 亿美元左右。因为随着**低压大电流**发展趋势,从 2007 年开始 POL 电源的发展速度将超过其他电源的发展速度。上面数据仅仅是自己推算,仅做参考。但是 POL、VTM 或者 VRM 电源模块中的一体式或者分体式金属磁粉心电感器无疑是金属磁粉心中最快的增长点。因

就目前形式看:我更看好 FeSi 合金磁粉心市场,成本低于 FeSiAl,产品特性符合现在低压大电流趋势,在很多场合都可以代替目前的 FeSiAl 产品,也是铁粉心的代替品。尤其是 SMD 产品,我查了一下目前能做的企业还不是很多,韩国 CSC 就没有 SMD 产品。但是 SMD 型 FeSi 产品的市场需求很大,主要要应用在各种 CPU,超大集成电路供电电源等 VTM、VRM、POL 电源中如图 15 和图 16。POL 电源是电源模块中增长速度最快,应用最广的电源,随着超大规模集成电路的发展,在电源中的比重将越来越大。

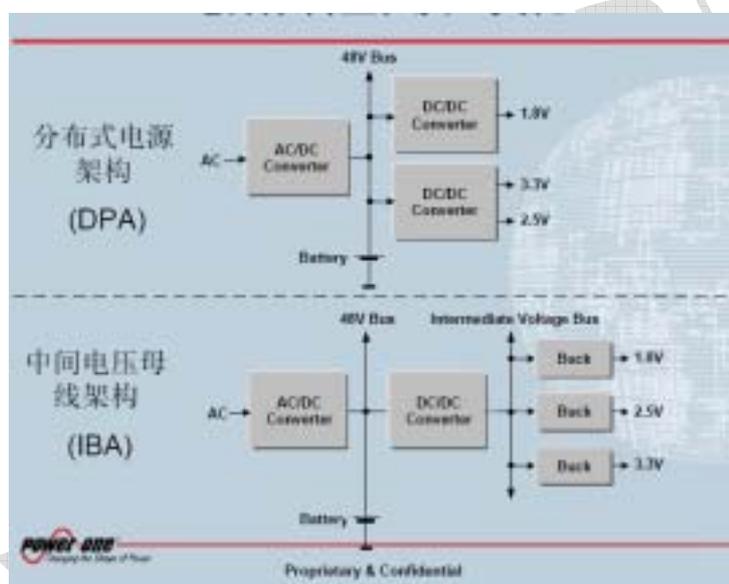


图 15 两种流行的电源构架 (IBA 占主流,图中的 BUCK 就是 POL)

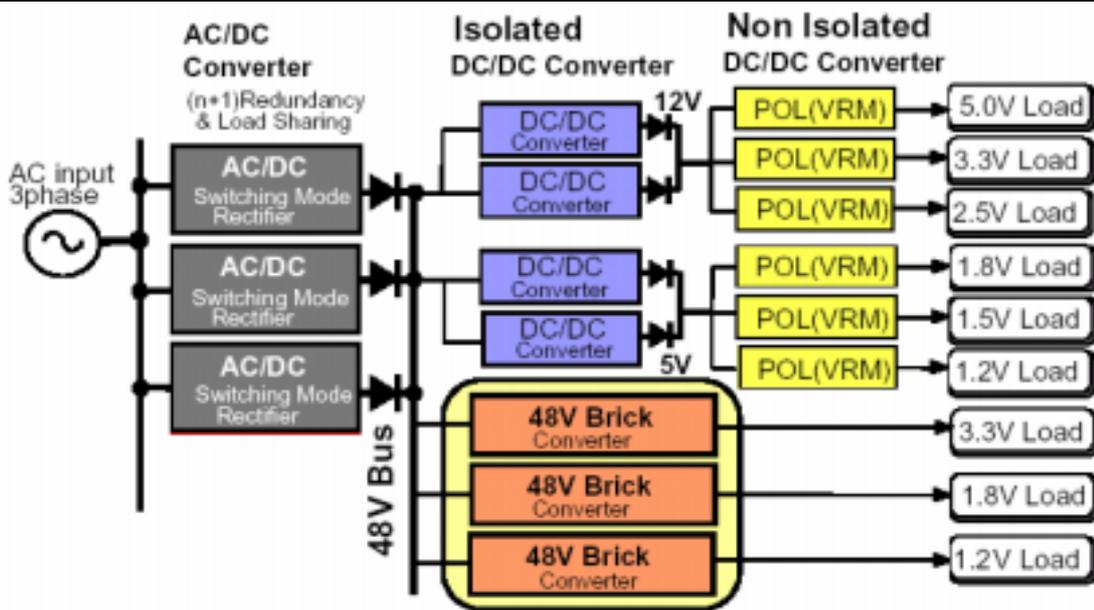


图 16 两种电源构架混用

目前国外的知名电源厂家都在生产 POL 模块，如：



图 17 National Semiconductor, POL 样板

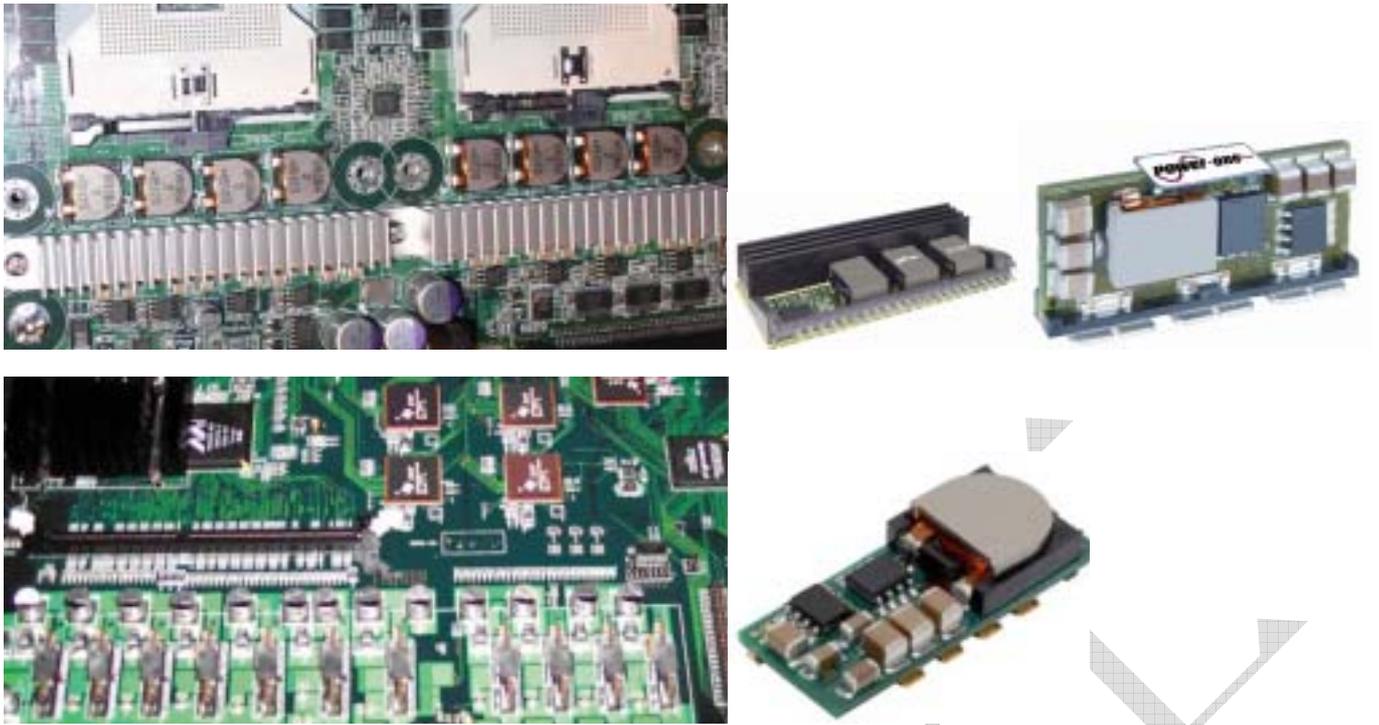


图 18 POWE ONE 公司 POL 模块



图 19 ARTESYN 公司 (EMERSON 公司) POL 模块



图 20 ACBEL 公司 POL 模块



图 21 台达的 IBA 电源构架及 POL 用途

最后对金属磁粉心应用进行简单综述：

Fe 粉心 -26 -52 材料 主要用在 EMI 电源滤波器差模电感器；

Fe 粉心 -2 -18 等材料 主要应用在音响功放滤波电路，发射机滤波电路；

Fe 粉心 -33 -34 -35 主要应用在无源功率因数校正电路、UPS 和 EPS 电源 LC 滤波电路（载波频率 20kHz 以下）、低频大功率 APFC 电路（IGBT 作为开关管，电路频率在 20kHz 左右）、大功率光伏并网电站中的 APFC 电路、DC-DC 电路、逆变部分 LC 滤波电路，变频器逆变 LC 滤波电路。

FeSiAl 磁导率 60 75 90 125 主要应用电路是抑制电网谐波的 BOOST 电源电路，AC-DC 电源输出滤波电路，这是 FeSiAl 材料最主要的应用场合。其实最主要是 APFC 催生 FeSiAl 应用和技术的发展。

磁导率 26 材料 主要应用一些大电流场合的 APFC 电路、AC-DC 开关电源输出滤波电路，频率高于 20kHz 载波的逆变电路 LC 滤波。

FeNiMo 主要应用在要求体积比较严格、要求温升高的高档 AC-DC 电源、APFC 电路、逆变电源，谐振电路、单端反激变压器 还有军用场合。

FeSi 在开关频率 200kHz 以下大电流 APFC 电路、开关电源输出滤波电路代替 FeSiAl、频率 500kHz 到 2MHz 的大电流 POL 电源电路中作为高功率密度电感器。因为 FeSi 高频损耗小，成型后不用烧结所以可以作成压粉式一体 SMD 电感器（FeSiAl 需要烧结，因此不能作成一体式压粉磁心）。大功率超大电流（几百 A 上千 A）UPS 和 EPS 滤波电感器，尤其是 SPWM 载波频率 15KHz 以上的情况。