

功率器件技术与电源技术的现状和发展

一、 半导体功率器件制造技术和电源技术的发展和创

电源技术与功率半导体器件制造技术互依互存，共同发展。从五十年代初晶闸管整流器问世，就揭开了功率半导体器件制造技术和电源技术长足发展的序幕，并奠定了现代电力电子学的基础。电力电子技术包含了电力电子器件制造技术和电力电子线路与装置两大部分，其中电力电子器件及其应用技术是基础。

电源和功率半导体器件是重要的基础科学和产业，从人们的日常生活到工、农业生产、国防建设直至科学研究，都离不开电源。而功率半导体器件制造技术的发展又支持了电源技术的发展，反之，电源技术的发展又对功率半导体器件提出了更高的要求。因此，电源技术和功率半导体器件制造技术正是在这种相依相存的环境中逐步发展起来的。

半个世纪以来，电源技术与功率半导体器件制造技术的发展不断创新。经历了从真空闸流管、真空三极管到半导二极管、三极管、晶闸管、功率场效应晶体管（MOSFET）、绝缘栅双极性晶体管（IGBT）、栅控晶闸管（MCT）、等不同时代的新器件。总之，功率半导体器件正朝着高频、大电流、高电压、栅控可关断方向发展。功率器件的发展促进了电源技术的升级换代，同样电源技术也正在朝着高频、大容量、模块化、高稳定度、高效率，并能有效地抑制电网谐波和环境噪声污染方向发展。

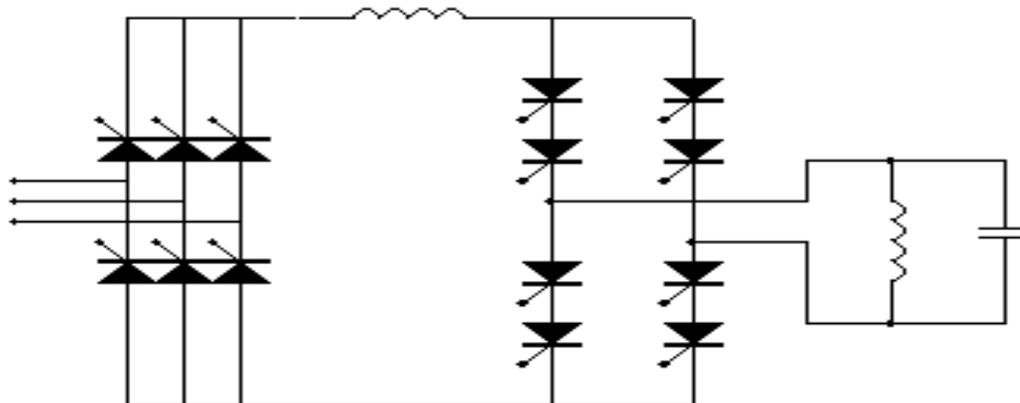
未来，可以相信在新理论、新技术的引导下；在新材料、新器件的支持下，电源和功率半导体器件将会进入更广阔的发展空间。

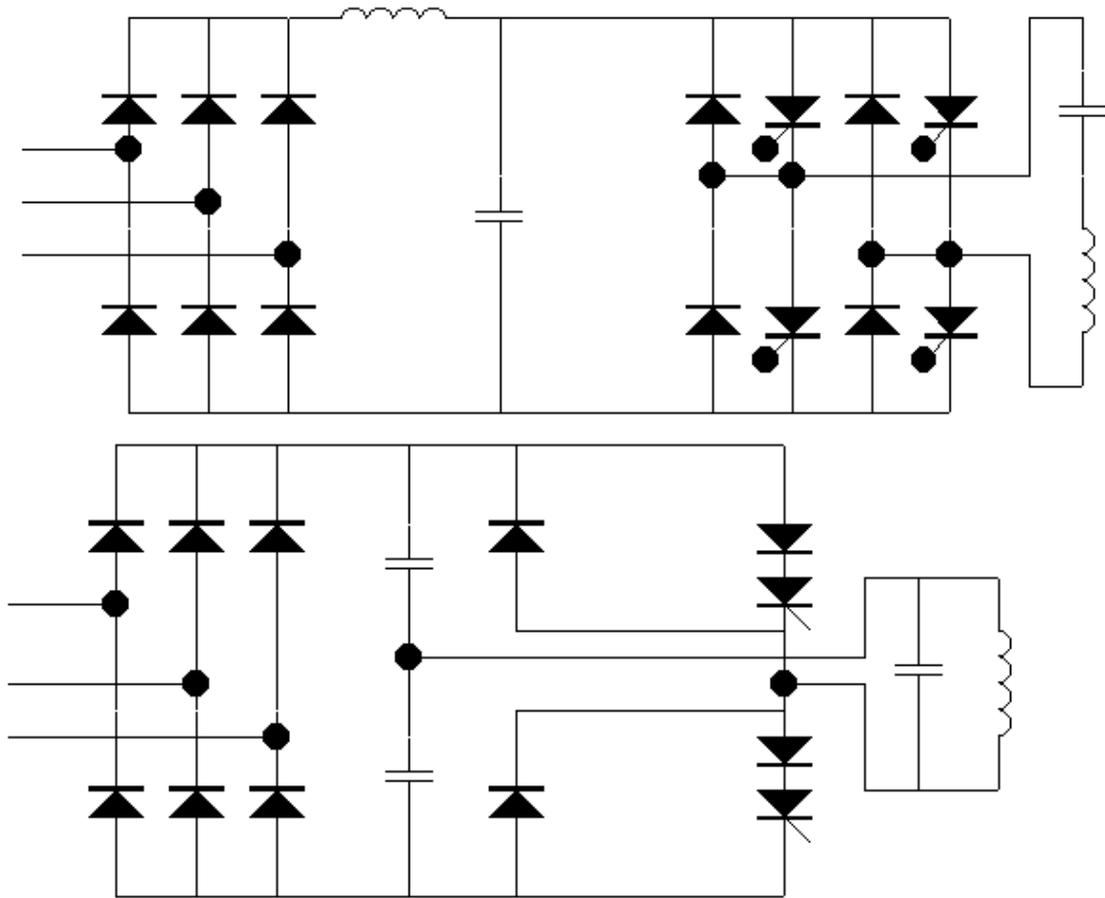
二、 功率半导体器件的应用和电源技术的发展

随着科学技术和工业生产的发展，对电源和功率器件的要求越来越高，规格品种越来越多，技术难度越来越大，涉及的学术领域也越来越广，工业电源应用的对象具有多样性、新颖性和复杂性，要求电源具备先进的控制技术和多种输出外特性。

1. 中频感应加热电源

晶闸管中频电源基本替代了传统的中频电动机—发电机组，广泛应用于热加工领域。中频电源至今仍主要采用快速或高频晶闸管，频率为 300—8000 Hz，单机功率为 25—4000KW，中频电源主回路大致有三种形式，见下图。





中频电源主回路主要由整流桥和逆变桥组成，整流桥大都采用 6 只普通晶闸管组成三相全控桥式整流电路，该电路的电压调节范围大；输出电压脉动频率较高，可以减轻直流滤波环节的负担，使输出电流更平稳。另外，它还可以工作在有源逆变状态，当逆变桥颠覆时，将贮存在滤波电抗器中的能量通过有源逆变方式返回网侧，使逆变电路得到保护。逆变桥的主要功能是把直流电转变成单相中频交流电。

逆变桥快速晶闸管关断时间的选择，应根据逆变电路的频率而定。不要盲目地追求短时间；不要认为关断时间越短越好，因为关断时间与正向压降是一对矛盾。

在电压型逆变电路中，为了给交流侧向直流侧反馈的无功能量提供通道，逆变桥各桥臂都并联了反馈二极管，或叫续流二极管。续流二极管应根据设备的工作频率选择软恢复二极管或软快恢复二极管，不要选择硬恢复二极管。因硬恢复二极管的 di/dt 比软恢复二极管高，过冲峰值电压高，因此，硬恢复二极管在关断过程中的电压过冲问题比较严重，易损坏与之并联的晶闸管。

随着新型半导体功率器件的不断出现，电力电子技术应用领域将会有新的变革，中频感应加热领域也不例外。S I T——静电感应晶体管，其关断时间典型值为 $0.3 \mu s$ ；应用于小功率、高频率的整机，整机工作频率可达 300 KHz 。I G B T——绝缘栅双极晶体管，其典型关断时间只有 $0.55 \mu s$ ；整机功率可达 3000 kW 。但 I G B T 的正向压降较高，所以在低频、大功率电源应用中并不占优势。M C T——M O S 控制晶闸管，其关断时间为 $2.1 \mu s$ ，正向压降低，串、并联容易。无疑，在未来这种器件会在中、高频电源的逆变技术中发挥

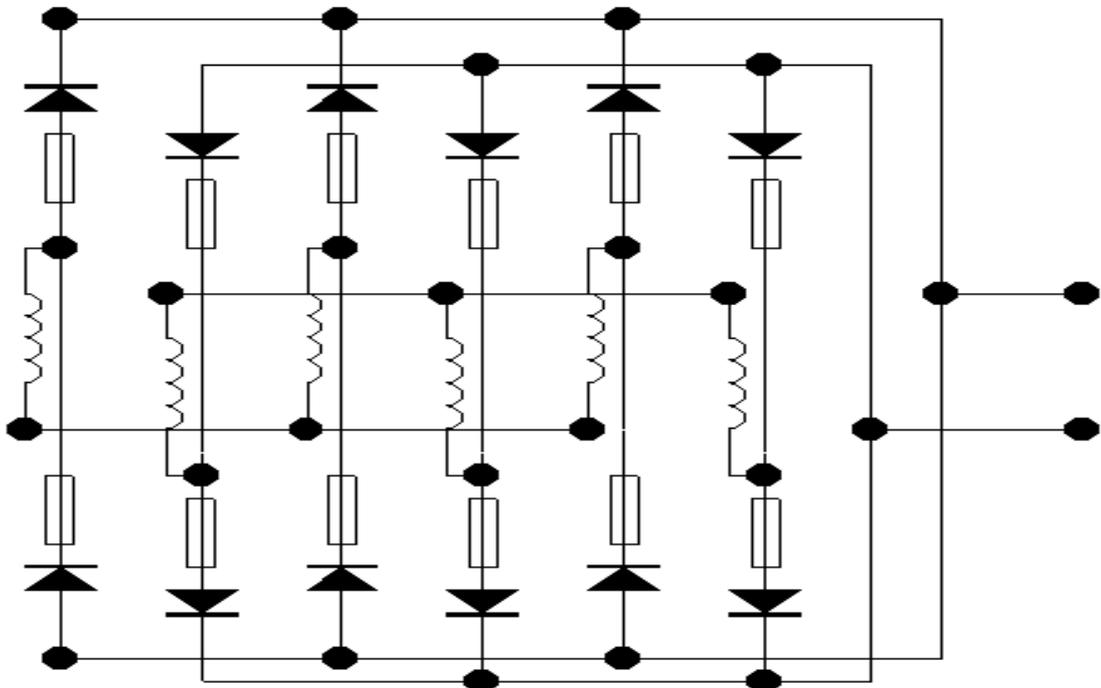
其应有的作用。

2. 电化学和电热用电源

电化学在工业上的应用：

- 水溶液电解制取金属，如金，银、铜、锌、锡、铅等。
- 水溶液电解制取非金属（电解食盐水），如氯、氢、等。
- 熔融盐电解制取金属，如铝、钛、镁、钠、钾等。
- 电热化学制取非金属，如黄磷，石墨电极、碳化钙等。
- 电热化学制取金属，如铁，钢，铁合金等。
- 表面电解加工与处理，如电镀等。
- 界面电化学，如电泳，电渗析等。

电化学和电热用电源一般电流较大，主回路采用双反星形带平衡电抗器同相逆并联结构或桥式同相逆并联结构。每个支臂由多只大功率晶闸管或二极管并联（元件的正向压降要接近；但要特别注意机械结构与支路电感影响元件均流）。



3. 焊接电源

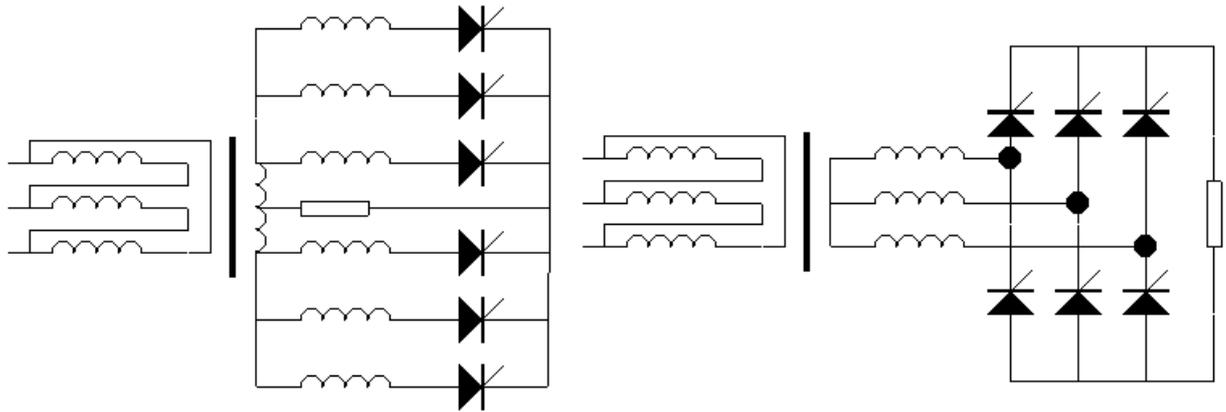
焊接电源的主电路形式是随着电力电子及其他相关技术的发展而发展的。大致经历了弧焊发电机、磁放大器式硅整流焊接电源、晶闸管整流焊接电源、晶闸管逆变焊接电源、晶体管逆变焊接电源和 IGBT 逆变焊接电源等阶段。

3.1 弧焊发电机及磁放大器式硅整流电源

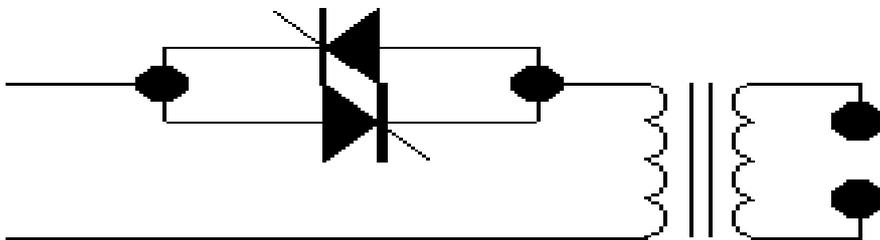
弧焊发电机及磁放大器式硅整流电源，其主电路使用的是弧焊发电机、抽头式和磁放大式硅整流电源。

3.2 晶闸管焊接电源

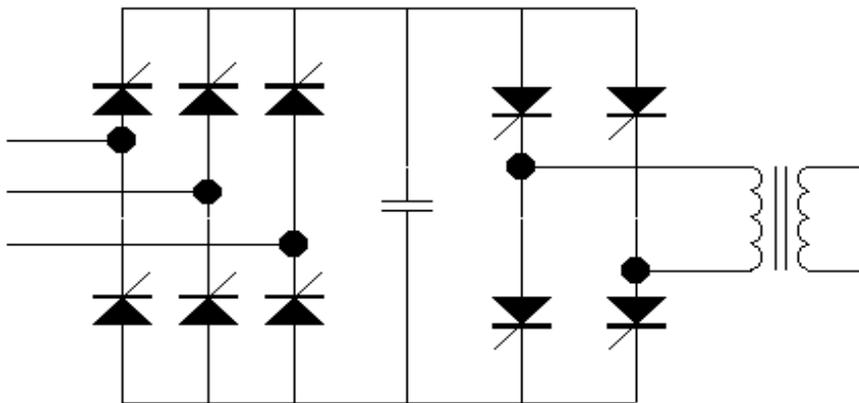
- 晶闸管整流焊接电源，其主电路采用了带平衡电抗器的六相双反星形可控整流电路和三相全控桥整流电路。



- 开关、移相式晶闸管焊接电源，反并联晶闸管组或双向晶闸管工作于开关或移相状态，以控制电焊机电流的大小和开通时间。



- 电容储能式晶闸管焊机，该焊机的主回路分为充电回路和桥式放电回路，由全控桥或半控桥组成充电回路，四只晶闸管组成桥式放电回路，以防变压器磁化。

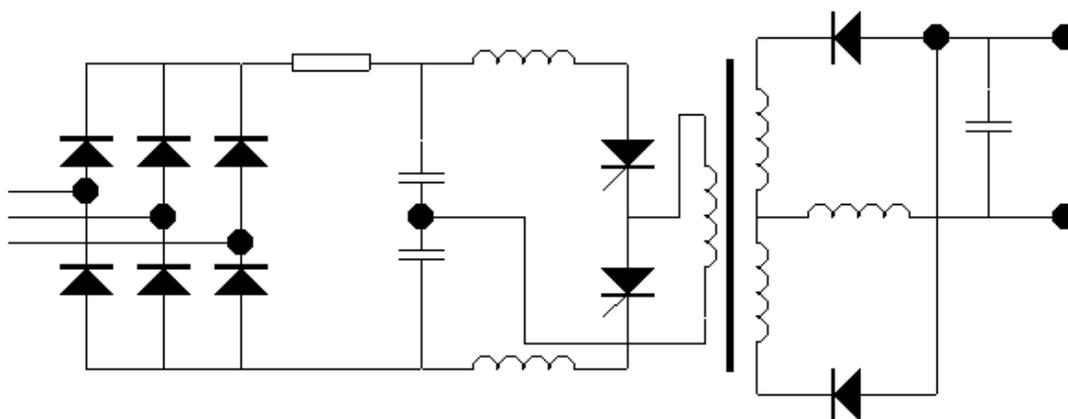


晶闸管焊接电源与弧焊发电机相比，具有效率高、噪声小、动态性能好的特点；与抽头式变压器硅整流电源相比，焊接参数实现了无级调节，可满足精度较高的焊接需要；与磁放大器硅整流电源相比，可节约大量的铜和硅钢材料，主回路时间常数小，动态性能好，而且有利于各种控制方案的实现。因此，晶闸管焊接电源在焊接电源中占有很大比例。

晶闸管虽然有许多优点，但也有其致命的缺点，即晶闸管为半控元件，控制电路只能控制其开通，而不能控制其关断。对三相全波整流电路或双反星形可控整流电路而言，控制周期为 3.3MS，该时间与焊接熔滴过渡的周期在同一数量级上，也就是说晶闸管整流焊接电源不可能很好地控制焊接的熔滴过渡。逆变焊接

电源克服了整流焊接电源的这个缺点。

- 晶闸管逆变弧焊电源，晶闸管逆变弧焊电源是最早的一种逆变式弧焊电源。其主电路是采用 AC—DC—AC—DC 系统，工作频率可达 3000HZ，所以变压器的尺寸和重量都很小，使其整机的重量只有同容量晶闸管整流焊机重量的三分之一，且动态响应快，焊接性能好，高效节能。但这种焊接电源受晶闸管关断时间的限制，逆变频率不高，同 IGBT 逆变焊接电源相比，它的逆变器体积大一些，特别是工作在音频段，噪声也大一些。



- IGBT 逆变焊接电源，IGBT 是发展最快而且很有前途的一种混合型可关断器件。开关频率已达到 10—30KHZ，用在中大容量的逆变焊接电源中，现在已逐渐成为主流。
4. 电机用可控硅电源
- 可控硅直流电源可用于发电机、同步电动机、直流电机的励磁。近期已有用 IGBT 制作电机励磁系统，该系统优于可控硅系统。
 - 可控硅反并联组件用于电动机软起动装置、电机频繁倒向开关装置（主要用于轧钢生产线）。IGBT 变频器用于电机的软起动和软停机，在性能上优于晶闸管电动机软起动器，但 IGBT 变频器的价格比晶闸管电动机软起动器的价格高得多。因此，在不需要大幅度调速的应用领域，晶闸管电动机软起动器的性价比比 IGBT 变频器高。
 - 晶闸管甚低频交—交变频用于线绕电机的进相，提高电机的功率因数。
 - 晶闸管直流不可逆传动系统主要用于造纸、印刷等轻工业。
 - 晶闸管直流可逆传动系统主要用于轧机、龙门刨等。
 - 晶闸管交流串级调速；晶闸管直流牵引。
 - 晶闸管斩波器用于线绕电机的启动、调速。

5. 电力操作电源

电力操作电源是为发电厂、水电站及变电站提供直流的电源设备(即直流屏)，包括供给断路器分合闸及二次回路的仪器仪表、继电保护、控制、应急灯光照明等各类低压电器设备用电。

6. 动态静止无功补偿装置

动态静止无功补偿装置在电压等级（特别是高压无功补偿装置采用多只可控

硅串联)、装置容量上不断提高,实现了全数字化计算机控制,在电力补偿上得到了成功应用(如:晶闸管控制电抗器、晶闸管投切电容器),并取得了较大的经济效应和社会效应。近年来出现的静止无功发生器、有源电力滤波器等新型电力电子装置具有更为优越的无功功率和谐波补偿的性能。

7. 大功率、高电压直流电源

大功率、高电压直流电源广泛应用于环境保护的静电除尘、污水处理。

电源技术在工业应用领域已取得了十分辉煌的成就。功率器件制造技术是电源技术的基础,电源是功率器件制造技术和现代控制技术的综合产物。功率器件制造技术的每次重大进步都对电源技术的发展产生深远影响。在 80 年代后期,以绝缘栅极双极型晶体管(IGBT)为代表的复合型器件异军突起,IGBT 是 MOSFET 和 BJT 的复合。它把 MOSFET 的驱动功率小、开关速度快的优点和 BJT 通态压降低、载流量大的优点集于一身,性能十分优越,使之成为现代电力电子技术的主导器件。与 IGBT 相对应,MOS 控制晶闸管(MCT)和集成门极换流晶闸管(IGCT)都是 MOSFET 和 GTO 的复合,它们同样也综合了 MOSFET 和 GTO 两种器件的优点,是一种很理想的混合功率器件。它们具有高电压、大电流、低通态压降、高电流密度、高输入阻抗、低驱动功率和高开关速度等优点。它们的诞生是大功率开关器件的一项重要突破,就象几十年前晶闸管的出现迅速取代汞弧整流器和闸流管一样,栅控可关断大功率元件的发展极有可能使晶闸管及其派生器件被淘汰,或被局限在较窄的应用领域,因此,IGBT、IGCT 和 MCT 可能是当今功率器件中最有发展前途的混合功率器件。当今,由于 MCT 受 MCT 的结构过于复杂,对生产设备和材料的要求过高,成品率太低等因素的制约,使其生产和应用都陷入了停滞不前的状态。尽管如此,我们还是有理由相信它会在不久的将来,随着科学技术的进步,新材料和新工艺的出现,而重现生机。