

应用手册 2025-02

V01 2025-02

IGBT 在焊机中的应用

目录

1. 逆变焊机简介.....2

2. 逆变焊机常见的拓扑结构.....2

2.1 半桥式.....3

2.1.1 半桥式拓扑电路.....3

2.2 全桥式.....4

2.2.1 全桥式拓扑电路.....4

2.3 损耗分析 IGBT 驱动及布线建议.....4

3. 逆变焊机 IGBT 损耗分析.....6

1. 逆变焊机简介

逆变焊机采用高频逆变技术，具有高效节能、体积小重量轻的核心优势，同时提供稳定电弧和精准控制，适应薄板精密焊接与户外作业需求，兼具智能化操作和低运行成本，是兼顾高性能与便携性的现代焊接解决方案。

如图 1.1 所示，逆变焊机工作原理是先将电网提供的工频交流电转变为直流电，然后通过电子开关（IGBT/MOSFET）将直流电逆变成高频交流电，最后通过整流得到适合焊接工艺要求的电流和电压。

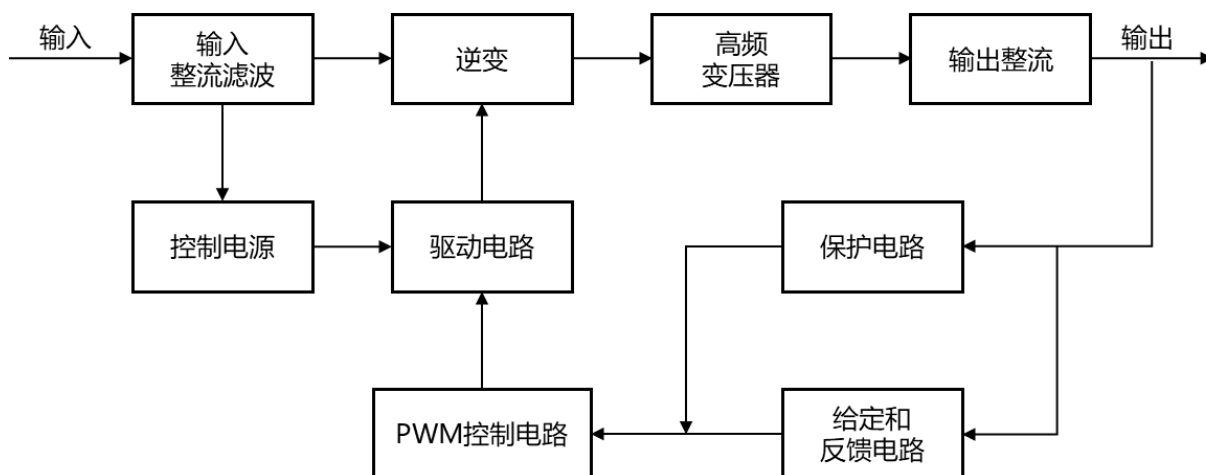


图 1.1 逆变焊机工作框图

2. 逆变焊机常见的拓扑结构

逆变焊机主电路拓扑已经较为成熟，主要的拓扑有双管正激式、推挽式、半桥式、全桥式等。

双管正激式：结构简单、开关管电压应力低（仅输入电压一半）且成本低，但功率容量小（通常 <3kW），需磁复位电路，适合低成本小功率场景；

推挽式：采用中心抽头变压器，器件少且变压器利用率高（双向励磁），但开关管电压应力高（2

倍输入电压)，易因参数不对称引发偏磁问题，适用于中功率（5-10kW），但对器件一致性要求高；

半桥式：开关损耗低、功率密度适中（5-15kW），但直流母线电压利用率仅 50%，需防直通死区控制；

全桥式：功率容量最大（>15kW），电压利用率高且磁芯无偏磁，适合大电流高精度焊接，但成本高、驱动复杂且需多路隔离电源，对器件匹配和散热设计挑战较大。

本应用手册主要介绍常见的半桥式与全桥式拓扑。

2.1 半桥式

2.1.1 半桥式拓扑电路

图 2.1 为半桥式拓扑结构，该拓扑由两个开关管（IGBT）串联组成桥臂，中间连接点通过高频变压器与输出整流滤波电路相连。直流母线电压由两个电容（C2、C3）分压，形成中点电位。两个开关管交替导通，将直流电压转换为高频方波交流电，其对称交替导通有利于变压器完全复位，磁芯利用率高，输出响应快，且半桥分压电容器能够避免直流偏磁导致变压器饱和，该拓扑广泛应用于中小功率逆变焊机。

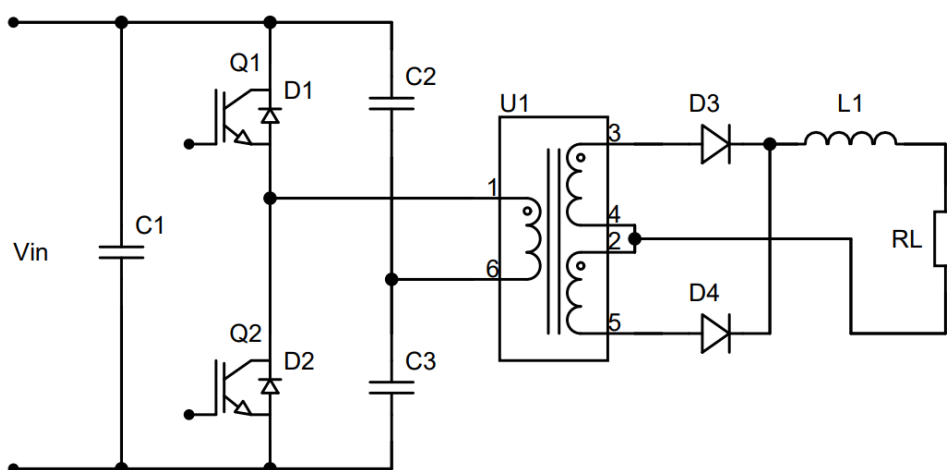


图 2.1 半桥式逆变拓扑

2.2 半桥式

2.2.1 全桥式拓扑电路

图 2.2 为全桥式拓扑结构，该拓扑是通过四个开关管（IGBT）组成桥臂，交替导通对角管对（Q1-Q4 与 Q2-Q3），将直流电转换为高频方波交流电（20kHz-100kHz），经高频变压器降压和快恢复二极管整流后输出焊接电流，其特点为功率密度高（>15kW）、电压利用率 100%（半桥仅 50%）、磁芯双向励磁无偏磁风险，适合大电流高精度工业焊机。

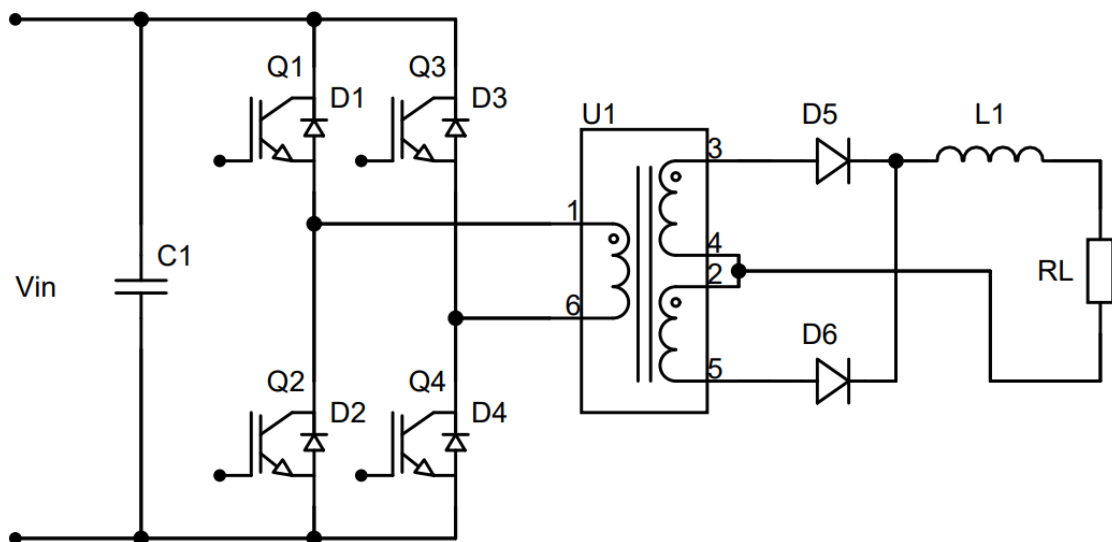


图 2.2 全桥式逆变拓扑

2.3 损耗分析IGBT驱动及布线建议

1. 驱动电压：通常开通电压为 15V，关断时可施加负偏压（-1V~-15V），以确保 IGBT 的可靠开通和快速关断；
2. 驱动能力：驱动电路应有足够的瞬时功率或瞬时电流输出能力；
3. 信号传输延时：尽可能短的输入输出信号传输延时；
4. 隔离能力：输入输出之间需要有很强的隔离能力，通常采用变压器隔离；

5. 栅极电阻：在 IGBT 栅极串一个小电阻（5-20 Ω ），以减小关断时集射间 di/dt 的上升率；
6. 驱动回路及布线：驱动连接到发射极 E 引脚布线和发射极的 I_{ce} 电流，不共用电流回路或尽量少共用电流回路。下图 2.2 为共用电流回路布线方式，会增加寄生电感的影响，寄生电感会导致栅极电压的上升速率（ dv/dt ）突变，从而可能引发栅极电压振荡；共用回路会增加驱动回路的寄生电感和电阻，降低驱动信号质量，在关断过程中，寄生电感可能导致栅极电压的尖峰，进一步影响 IGBT 的可靠性。

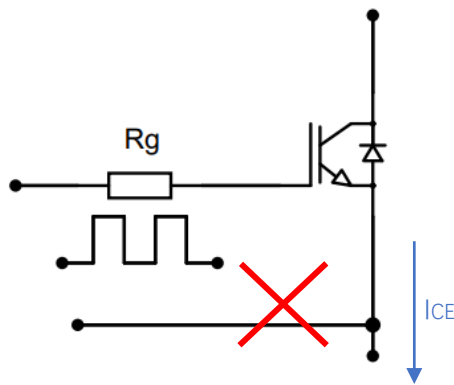


图 2.3 IGBT 驱动布线（共用电流回路）

下图 2.3 为不共用电流回路布线方式，建议使用此种布线方式，可以降低寄生电感电容对器件的影响，提高驱动电路的可靠性和器件的性能。

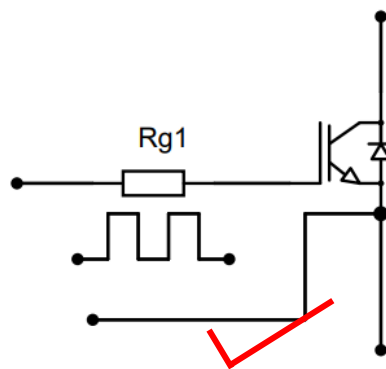


图 2.4 IGBT 驱动布线（不共用电流回路）

3. 逆变焊机 IGBT 损耗分析

目前市面上大部分逆变焊机采用的为硬开关电路，电路拓扑如图 2.1 和 2.2，通过测试分析，该应用场景 IGBT 器件的损耗主要来源于以下四个部分，如图 3.1 所示：

- IGBT 关断损耗 E_{off}
- IGBT 导通损耗 E_{con}
- IGBT 开启损耗 E_{on}
- IGBT 器件内部合封二极管续流过程损耗 E_{diode}

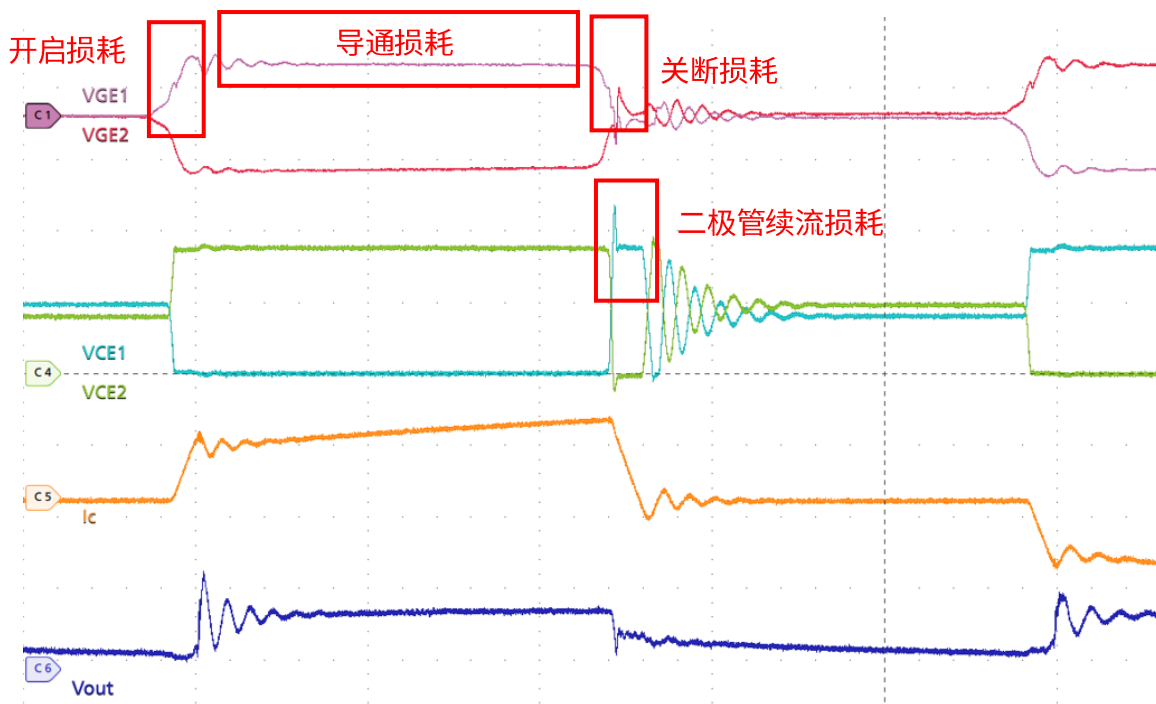


图 3.1 逆变焊机 IGBT 开关波形

焊机应用中，关断损耗 E_{off} 和导通损耗 E_{con} 影响较大。焊接瞬间，即焊条与工件接触瞬间，输出端近似短路，电流急剧上升，控制系统通过降低占空比限制能量输入，此时导通损耗减小，关断损耗增加；焊接时，电弧稳定，电流减小，回归额定值，占空比增加维持稳定输出功率，此时导通损耗增加，关断损耗减小。开启损耗 E_{on} 和二极管续流损耗影响较小，IGBT 开启时，为 0 电流开启，开

启损耗 E_{on} 很小；IGBT 关断后，电感中电流通过二极管续流，逐渐减小至 0，此时损耗为二极管的正向导通压降与续流电流产生的，二极管正向导通时间很短，续流损耗 E_{diodes} 很小。

在焊机应用中，关断损耗在短路瞬间占主导，而导通损耗在正常焊接时更显著。通过器件选型、控制策略和热管理的协同优化，可显著提升焊机效率与可靠性。

4. 瑶芯微 650V/60A IGBT 产品优势

在逆变焊机应用中，关断损耗与导通损耗占比最大，其次为二极管续流损耗。为适应焊机客户大电流 IGBT 单管需求，瑶芯微研发推出 650V/80A IGBT 单管—AKB65A060UCH，采用最新一代微沟槽场截止技术，根据焊机应用精细调整 Dummy 栅，Emitter 栅，Active 栅的布局，充分发挥器件性能，搭配先进的减薄工艺，做到 V_{cesat} 和 E_{off} 的最优折中，开关速度快，关断损耗小，开关频率可达 50Hz 以上，饱和压降 $V_{CE(sat)}$ 小且 V_F 低，满足客户对高效率焊机的需求。

IGBT 开关频率的提高可显著提升焊机在大功率输出时的效率，降低焊机正常工作时的温升。瑶芯微—AKB65A060UCH 优异的器件设计方案，为器件在逆变焊机系统在温升、短路等测试提供了保障。如图 4.1 为便携式 140A 逆变焊机正常工作时，瑶芯微—AKB65A060UCH 的温升速度最慢且温升最低，可满足客户对更高频、更高效焊机的需求。

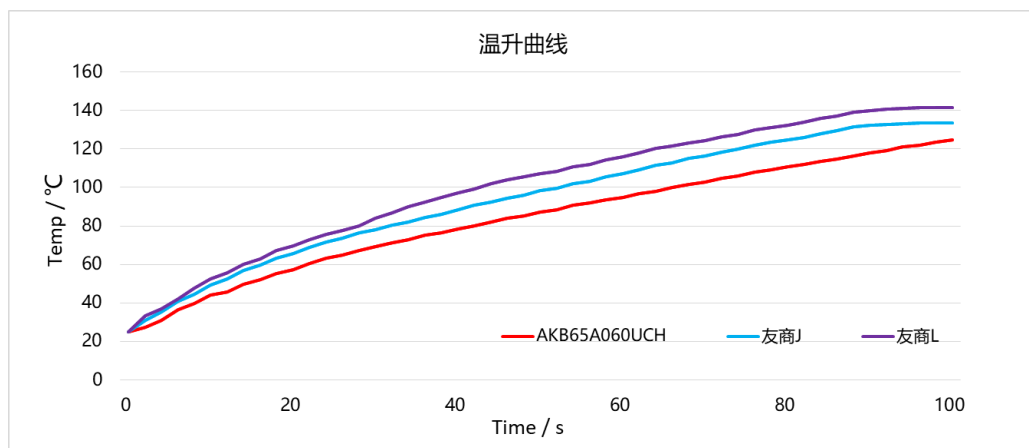


图 4.1 140A 焊机温升曲线