

IGBT 在激光电源中的应用

刘斌, 胡晓

(武汉市楚源电子有限公司, 湖北 武汉 430074)

摘要:为克服以往激光器普遍采用以晶闸管作为逆变元件的开关电源存在的缺点, 研制了以 IGBT 为功率变换器件的开关型脉冲激光电源, 其主电路采用谐振型电流过零关断工作方式, 从根本上解决了造成器件损坏的问题。

关键词: IGBT; 激光器; 开关电源

The application of IGBT in laser power

LIU Bin, HU Xiao

(Wuhan Chuyuan Electronic Technology Co. Wuhan 430074, China)

Abstract: Switch on-off pulse laser power with IGBT as power inversion device is developed, which eliminates the weakness of thyristor as power inversion device in the past. Resonant current zero passage turn-off mood is applied in its main circuit which solve the problem of device damage fundamentally.

Key words: IGBT; laser device; switch on-off power

1 脉冲激光器电源

目前, 大功率固体脉冲激光器在工业加工中, 如焊接、打孔、切割等领域得到广泛的应用。高压脉冲氙灯是这种激光器的泵浦光源。由于高压脉冲氙灯的恶劣工作条件, 即开启时需要有上万伏的高电压触发; 工作时有几百安培的大电流冲击, 电路有时工作在完全短路状态, 有时又工作在完全开路的状态, 因此, 对电源的要求非常苛刻。过去激光器普遍采用晶闸管作为逆变元件的开关电源, 但这种电源存在以下缺点:

(1) 由于晶闸管的开关速度慢, 因此逆变器工作频率不可能很高, 这就限制了储能元件的充电速度和充电精度;

(2) 以往的晶闸管开关型激光电源, 经常出现 2 管直通现象, 这是因为脉冲激光电源的强干扰信号多, 使晶闸管误触发导通;

(3) 存在着严重的工作噪声。

最近研制的以 IGBT 为功率变换器件的开关型脉冲激光电源克服了上述缺点。图 1 所示为激光

电源的主电路, 功率变换器件采用美国 IR 公司的 IGBT, 型号为 GA150TD120U (合资公司爱帕克生产)。由于主电路采用谐振型电流过零关断工作方式, 因此减小了 IGBT 的关断损耗, 同时也消除了关断时在 IGBT 上产生的反峰电压, 从根本上解决了造成器件损坏的问题。主电路型式采用半桥谐振型。

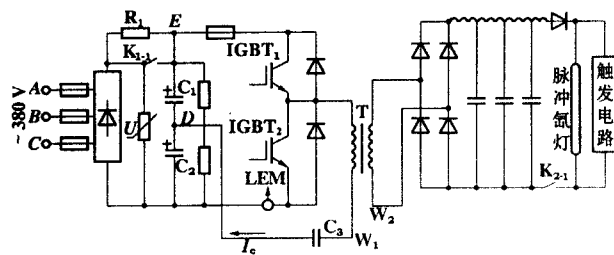


图 1 谐振型激光电源主电路

2 输入整流滤波电路

输入整流滤波电路由桥式整流电路和串流电容 C_1 、 C_2 构成。整流桥选用耐压为 1 200 V 的二极管三相桥模块, 电容器选用 CD283-2 高频电容, 电阻 R_1 和继电器 K_1 的常开触头 K_{1-1} 组成主电路的软启动

回路。当电源启动时, R_1 串入主电路, 限制启动时的充电电流, 过 50 ms 后继电器 K_1 吸合, 将限流电阻短路, 主电路启动过程结束。

3 IGBT 谐振型功率转换电路

谐振型功率转换电路由功率开关 IGBT₁、IGBT₂, 半桥电容 C_1 、 C_2 , 高频变压器一次绕组 W_1 以及谐振电容 C_3 组成, 其工作原理如下:

(1) 当 IGBT₁ 和 IGBT₂ 均截止时, 由于电容 C_1 、 C_2 容量相等, 电路对称, 因此中点 D 的电压为输入整流滤波电路输出直流电压 E 的一半, 即 $V_{C_1} = V_{C_2} = E/2$, 同时 $V_{CE_1} = V_{CE_2} = E/2$ 。

(2) 当 IGBT₁ 的栅极加 1 触发脉冲信号时, 电容 C_1 通过 IGBT₁、变压器一次绕组 W_1 、谐振电容 C_3 放电, 同时电容 C_2 通过输入电源、IGBT₁、变压器一次绕组 W_1 、谐振电容 C_3 充电。中点 D 的电位在充电过程中按指数规律上升, 在 IGBT₁ 导通终了时, D 点的电位将上升到 $V_D = E/2 + \Delta E$ 。当 IGBT₂ 被触发导通时, 电容 C_2 放电而 C_1 被充电, D 点电位在 IGBT₂ 导通终了时下降至 $V_D = E/2 - \Delta E$, 即中点 D 的电位在电路动态过程中将在 $E/2$ 的电位基准上以 $\pm \Delta E$ 的幅度按指数规律变化。 ΔE 的数值取决于滤波电容 C_1 、 C_2 以及输出负载的大小。由于半桥电路具有抗不平衡能力, 因此 ΔE 在小范围变化时, 不会引起高频变压器的偏磁现象。在上述动态过程中, IGBT₁、IGBT₂ 均在谐振电流过零时自然关断, 没有 PWM 状态下大电流强迫关断时产生的反峰冲击, 不需要缓冲电路。谐振状态下的 IGBT 工作波形如图 2 所示。

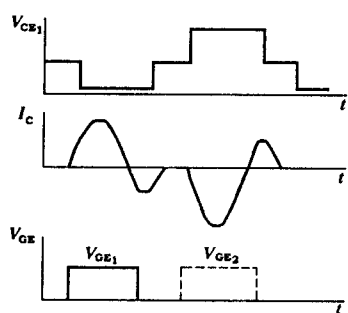


图 2 谐振状态下的 IGBT 波形

其工作频率为 30 kHz。

图 3 所示为没有谐振电容 C_3 时, PWM 状态下 IGBT 的电流、电压波形。

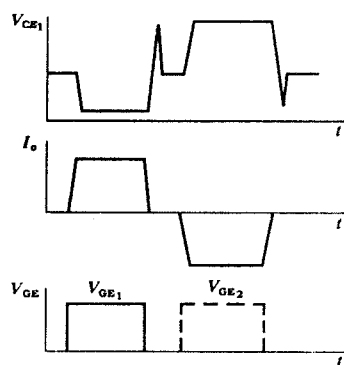


图 3 PWM 状态下的 IGBT 波形

4 整流滤波输出电路

由高频变压器二次绕组 W_2 获得 1 400 V 的交流电压, 经整流滤波后获得 1 200 V 的高压直流, 供给负载一脉冲氙灯。由于输出电压高, 开关速度快, 整流二极管应用高压快速恢复二极管。本电路选用 IR 公司合资厂爱帕克公司生产的大功率快恢复二极管, 其正向平均电流 $I_E = 30$ A, $V_{RRM} > 1\ 000$ V, $t_{rr} \leq 100$ ns, 2 只管串连使用。

5 控制及保护电路

大功率脉冲激光器在工作时有几百安培的大电流冲击, 可产生很强的电磁干扰, 为了提高电源的抗干扰能力, 除在电路的布线、器件的布局上采取措施外, 控制电路采取了抗干扰能力强的全数字化控制方式。图 4 所示为控制电路的原理框图。

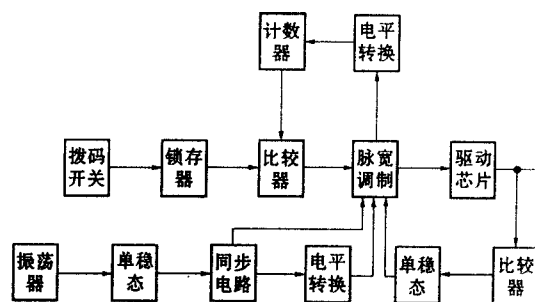


图 4 控制电路原理框图

拨码开关设定功率开关管 IGBT 开通的次数, 从而决定输出电压值。输出充电电容的放电频率由 NE555 集成定时器构成的振荡器给定。为了提高整个电源的抗干扰能力, 在控制电路中采用了 74LS374 锁存器和 CD4098 单稳态触发器。功率开关管 IGBT 的驱动电路采用专用 HL402 集成模块, 为了防止 IGBT 过电流损坏, 在主回路中加有霍尔电流

传感器,一旦发生过电流现象,电流传感器 LEM 就发出过电流信号,封锁 TL494 脉宽调制器,使之无脉冲输出,同时切断主回路,并发出报警信号。

总之,以 IGBT 为主功率开关器件构成的谐振型大功率激光器开关电源具有抗干扰能力强、可靠性高、工作稳定的优点,是一种性能优良的新型激光器电源。

6 连续激光器电源

图 5 示出 IGBT 的应用于半桥式开关电源的线路。由于此电源能在很大范围(6~40 A)调节,可以应用在动态电阻很小(约 0.8 Ω)的氦灯的恒流型电源中。过去,这种电源是晶闸管移相调压式的。因为晶闸管电路的动态响应时间较长($t = 1.7 \text{ ms}$),电源的动态调节时间很慢,因而影响了整个电源的性能指标。在氦灯电流小时,还会产生很多高次谐波,“污染”了电网。IGBT 的工作频率达 35 kHz,远高于晶闸管,因而从根本上解决了上述缺点。使用型号为 GA150TD120U 的快速型 IGBT 及 HL402 型 IGBT 驱动模块,LEM 为电流取样器件,TL494PWM 为控制芯片。

IGBT 的驱动电路模块,包括 HL402、M57962L 和

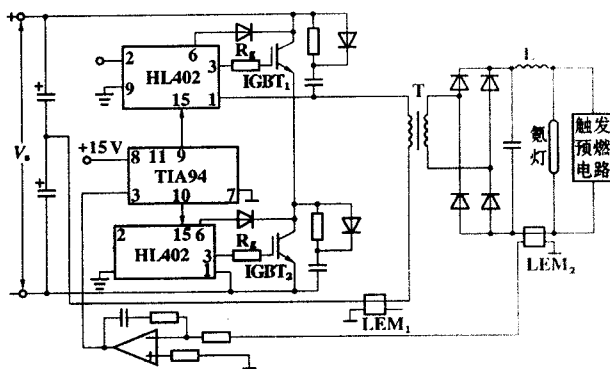


图 5 IGBT 连续激光器开关电源电路图(部分)

M57959L。其内部电路基本相同。HL402 高速驱动模块,能驱动 400 A/600 V 以内及 GA75TS120U - GA100TS120U 的 IGBT 管,有关数据为:光耦合输入电流 $I_1 = 100 \text{ mA}$,输入/输出隔离电压 2 500 V,(2 和 9)电源电压端之间小于 25 V。HL 内设置有过电流保护电路,作用原理是把驱动信号与集电极电压经与门控制 IGBT 门极信号。当发生过电流时,使门极信号从有变无。但转变速度较正常的开通和关断的速度要慢一些。因为过电流时,电流大,如果过快关断,电流变化率过大会使 IGBT 烧毁。

表 HL402 电阻 R_g 的推荐值

IGBT 电流值 /A	电压 600 V											电压 1 200 V										
	10	15	30	50	75	100	150	200	300	400	-	8	15	25	-	50	75	100	150	200	300	
电阻 R_g/Ω	250	150	82	50	33	25	15	12	8.2	5	3.3	250	150	82	50	33	25	15	12	8.2	5	3.3

当 IGBT 集电极产生的电压尖峰较大时,可调节图 1 中的门极串电阻 R_g 的数值,各 IGBT 值对应推

荐的 R_g 值如表所示。