



# 摩托车点火IGBT的功率分析与计算

Analysis and Calculation of the Power of Motorcycle Ignition IGBT

王跃安 安森美半导体高级应用工程师

## 前言

从2010年7月1日起,国家环保部批准并颁布的《摩托车污染物排放限值及测量方法(工况法,中国Ⅲ阶段)》(GB14622-2007)、《轻便摩托车污染物排放限值及测量方法(工况法,中国Ⅲ阶段)》(GB18176-2007)(简称国三标准)正式实施。自规定型式核准执行日期之后一年起,所有制造、销售、登记注册的摩托车和轻便摩托车的排气污染物排放必须符合以上标准要求。摩托车排放标准的升级,推动了摩托车电喷技术的发展,而数字点火电喷是解决摩托车排放问题的关键技术,在摩托车上的应用已是大势所趋。

摩托车数字电喷按点火储能方式分为电容式点火器(CDI)与电感式点火器(PEI)。电容式点火器(CDI)用内部储能电容经可控硅向点火线圈初级瞬间放

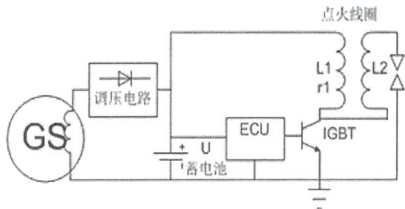


图1 直流PEI点火系统

电,在点火线圈次级感应出二、三万伏高压实现点火。电感式点火器(PEI)又称晶体管点火器,它采用晶体管来控制电感式点火线圈初级的通电时间,把电能存储于电感式点火线圈中。在点火时,晶体管瞬间关断,在自感电动势的作用下,点火线圈的次级感应出二、三万伏高压实现点火。

电容式点火器(CDI)由于电路结构较复杂,点火能量偏小,其优势地位渐渐被电感式点火器(PEI)取代。随着半导体工艺的发展,晶体管耐压等级越来越

高,过电流能力越来越强,直流PEI点火系统因其电路结构简单,点火不仅稳定且能量大,在汽车点火系统中已广泛应用。目前应用的晶体管主要有达林顿管和IGBT。由于达林顿管是电流控制型,需要较大的驱动电流保持其导通状态。而IGBT是电压控制型,导通时驱动电流几乎可以忽略。另外,IGBT的工艺易于构建更高的耐压和大电流,比达林顿管更有优势,但受到价格因素限制,目前只用在高端摩托车点火上。

## IGBT工作过程

如图1所示,直流PEI点火系统有磁电机、蓄电池、ECU、点火线圈及火花塞组成。

来自ECU点火控制信号的触发脉冲的上升沿超过晶体管的阈值电压时,晶体管导通,点火线圈初级线圈电流线性上升,将能量存储在初级线圈中。当ECU输出低电平点火信号时,晶体管立即关断,初级线圈中电流被切断,点火线圈产生自感电动势,将能量释放出来,在次级线圈产生高压,使火花塞点火。因此,可以分为IGBT储能和释放两个过程分析。

测试电路与波形分别如图2和图3所示。所使用的IGBT为ONSEMI公司的NGD8209,集成了ESD与钳压保护功能,耐压值为410V,常温下可以承受12A脉冲电流,专门用于点火控制电路。

从图中可以看出,在 $t_1$ 时段驱动信号(蓝色)为高电平后,IGBT导通,集电极电流(绿色)开始上升,由于初级电感 $L_1$ 的作用,电流按指数规律上升,即

表1 测试数据

r1 ( $\Omega$ )	L1 (mH)	U (V)	F (Hz)	t1 (ms)	t2 (ms)	t3 (ms)	t4 (ms)	$i_p$ (A)	$i_0$ ( $\mu$ A)	$U_0$ (V)	$U_{CEO}$ (V)
3.7	8.5	12	20	4	1.14	1.36	43.5	2.2	25	25	1.45



$i(t) = \frac{U}{r_1}(1 - e^{-\frac{r_1}{L_1}t})$ , 饱和电压降为 $U_{CE0}$ , 点火线圈存储能量。

当IGBT关断时, 由于初级线圈中电感的作用, 在点火线圈初级产生感应电压, 即 $u(t) = L_1 \frac{di}{dt}$ 。当初级感应电压超过IGBT钳位保护电压值410V时, 保护电路将其钳位在410V左右。由于这一时间非常短暂, 持续时间仅为几微秒, 在此忽略不计。

在 $t_2$ 时段, 放大图形如图4所示。由于次级感应电压达到火花塞的击穿电压后, 火花塞被击穿, 产生火花放电, 初级电压降为点火维持电压(为计算方便, 将点火维持电压等效为 $U_0$ ), 初级电流基本降为IGBT的漏电流 $i_0$ 。

在图4的 $t_3$ 时段, 初级感应电压振荡衰减, 降为电池

$$P_2 = U_0 \times i_0 = 25 \times 25 \times 10^{-6} = 625 \mu W$$

$t_3$ 时段的功率损耗

$$P_3 = U \times i_0 = 12 \times 25 \times 10^{-6} = 300 \mu W$$

$t_4$ 时段的功率损耗

$$P_4 = U \times i_0 = 12 \times 25 \times 10^{-6} = 300 \mu W$$

因此得出 $r_1=3.7 \Omega$ ,  $L_1=8.5mH$ ,  $U=12V$ ,  $f=20Hz$ 时,

IGBT工作一周期内各时段的功率损耗值如表2所示。

通过对图3与表2数据的分析可知:

- 1) 点火IGBT驱动电路是电压型, 需要驱动电流非常小;
- 2) 点火IGBT关断时间非常短;
- 3) 点火IGBT具有极小的漏电流, 损耗的功率非常

小;

4)

点火IGBT的损耗主要是导通损耗;

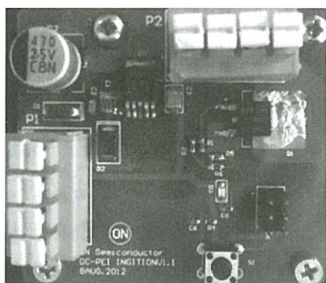


图2 摩托车点火控制板

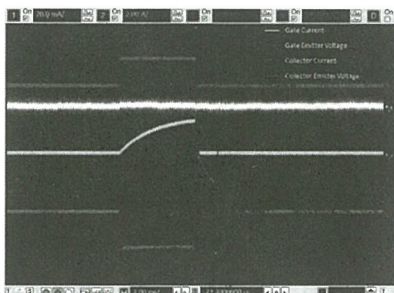


图3 测试波形

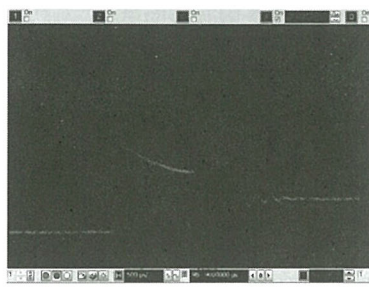


图4  $t_2$ 与 $t_3$ 时间段波形放大图

电压, 初级电流为IGBT的漏电流 $i_0$ 。为计算方便, 将初级电压等效为电源电压 $U_0$ , 初级电流基本降为IGBT的漏电流 $i_0$ 。

在图3的 $t_4$ 时段, 点火线圈的能量释放完毕, IGBT处于截止状态, 其电流为漏电流 $i_0$ , 电压为电源电压 $U$ 。

## 功率损耗的分析计算

本文选用普通电子点火模块作为研究对象, 由于点火模块在不同点火线圈与发动机转速下的功率损耗不同, 在此我们只选一组点火线圈与频率下的工况进行了测试。

参照图3, 先将IGBT工作的一个周期分为4个时段, 即 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ , 电路参考图1, 测试数据如表1所列。

将 $t_1 \sim t_4$ 时段的功率损耗分别计算如下:

$t_1$ 时段的功率损耗

$$i(t) = \frac{U}{r_1}(1 - e^{-\frac{r_1}{L_1}t}) = \frac{12}{3.7}(1 - e^{-\frac{3.7}{8.5 \times 10^{-3}}t}) = 3.24(1 - e^{-435.3t})$$

$$P_1 = \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} U_{CE0} \times i_1(t) dt = \frac{1}{4 \times 10^{-3}} \int_0^{4 \times 10^{-3}} 1.45 \times 3.24(1 - e^{-435.3t}) dt = 2.47 W$$

$t_2$ 时段的功率损耗

## 结束语

功率晶体管在使用过程中, 因散热条件与使用环境恶劣, 导致晶体管的壳温超过手册给定的壳温时(一般 $25^\circ C$ ), 则此晶体的最大允许功率损耗应随着壳温的上升而降低。由NGD8209N手册可知, 当壳温超过测试条件中所规定的 $25^\circ C$ 时, 壳温每升高 $1^\circ C$ , IGBT的最

表2 IGBT工作一周期内各时段的功率损耗值

时段	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$
功率损耗 $P(W)$	2.47	$625 \times 10^{-6}$	$300 \times 10^{-6}$	$300 \times 10^{-6}$

大允许功率损耗必须降低0.63W使用, 这样才能保证其安全工作。另外, 有些应用要求环境温度 $-40^\circ C \sim +125^\circ C$ 内都能正常工作, 所以实际应用中对IGBT的功耗分析应考虑到温度因素的影响。同时, 为了保证IGBT正常稳定工作, 散热设计也是一个非常重要的环节。[3W]