

基于 1ED020I12FA 的汽车级 IGBT 模块驱动电路

Automotive Gate Driver circuit base on 1ED020I12FA

关键词：1ED020I12FA，电动汽车，门极驱动电路，IGBT 短路保护，电压尖峰抑制，有源电压箝位

摘要：本文设计一套基于英飞凌 1ED020I12FA 的汽车级 IGBT 模块驱动电路。所有电子原件全部采用符合 AEC-Q100/101/200 汽车认证的产品，使之满足 EV/HEV 的需要。包括电路功能说明、layout 要点、重点器件的计算选型方法、电路使用注意事项以及整套电路完整料号的材料清单。

1 电路结构框图

本设计采用模块化设计，主要分为低压信号模块电路，驱动输出高压电路，和 IGBT 电路，主要 IC 为英飞凌 1ED020I12FA，IGBT 为英飞凌 HybridPACK2。图 1 以 U 相为例介绍总图结构。

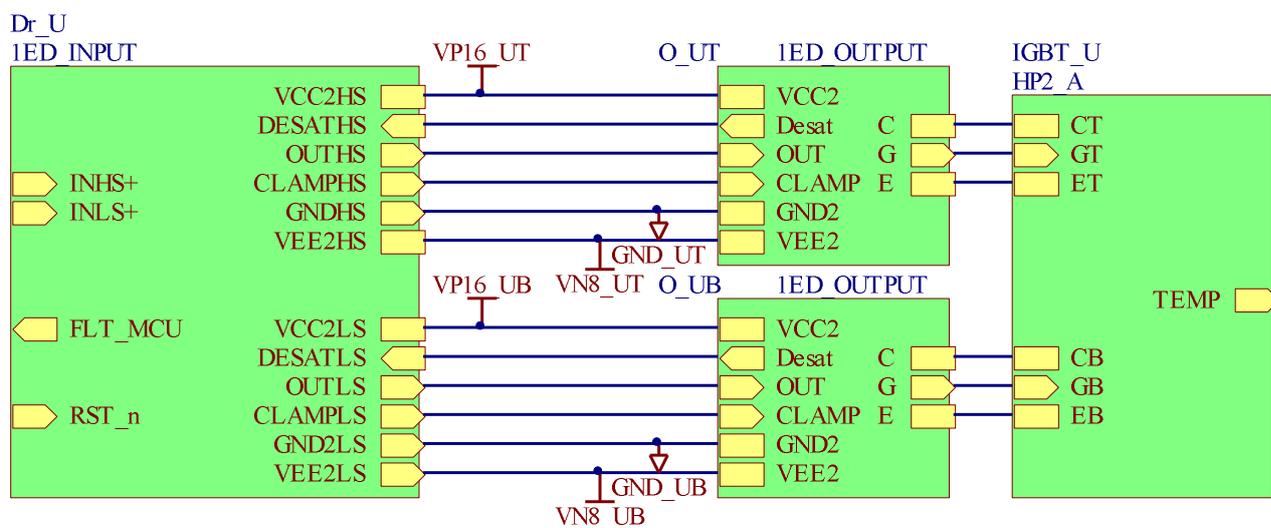


图 1：电路结构框图

2. 1ED020I12FA 及其低压信号部分电路相关说明

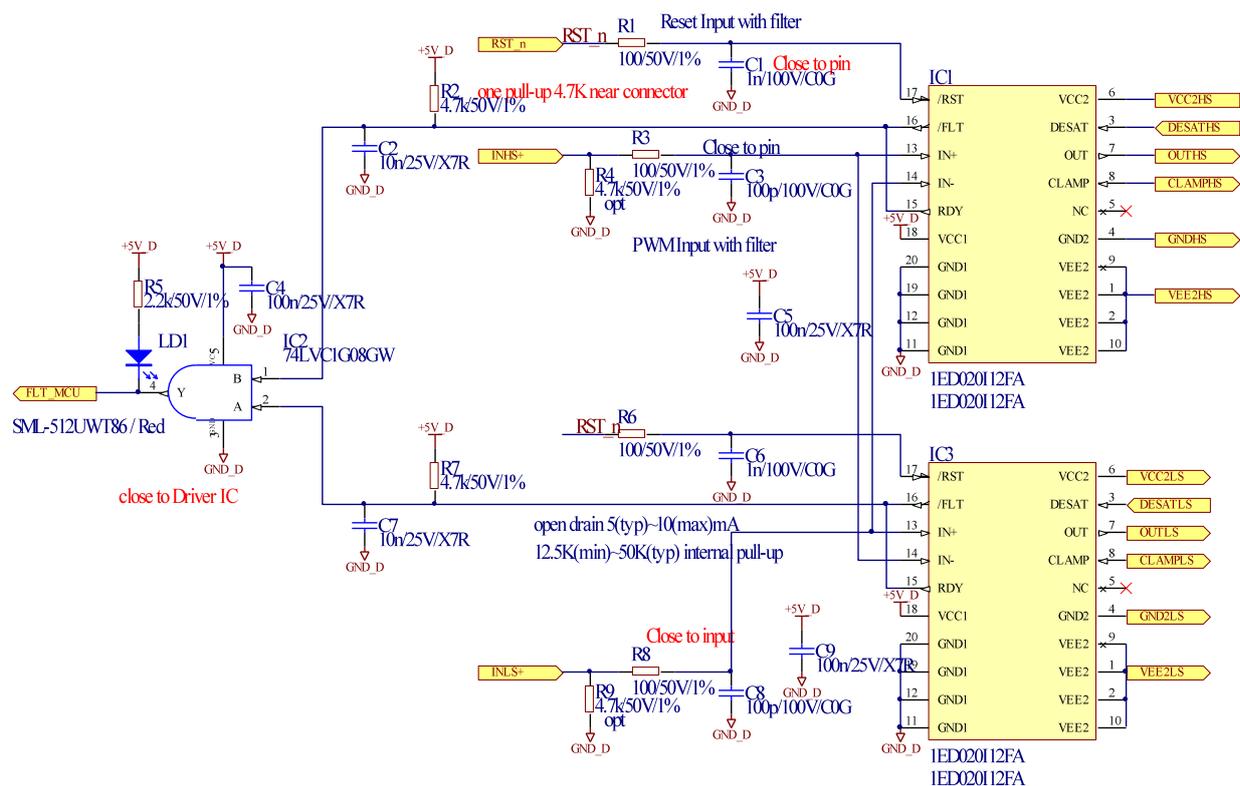


图 2： 1ED020I12FA 及其低压信号部分电路

2.1 功能说明

如图 2 半桥的上臂和下臂各用一片 1ED，IN+作为 PWM 信号的输入脚与对应的另一个 1ED 芯片的 IN-连接作为互锁，硬件上没有包含死区电路。RDY 和 FLT 脚连在一起经过与门送出一个总故障，4.7k 上拉电阻和 10n 电容保证信号的可靠性和抗干扰能力，与门输出放一个 0603 封装 LED 作为故障指示，方便试验和调试，没有实际的电气作用。RST 引脚经过各自的 RC 滤波电路后连接在一起，共用一个总复位。

2.2 PCB layout 要点

RST, RDY 和 FLT 作为敏感信号容易受到干扰而误动作，因此需把滤波电容放在贴近芯片引脚的位置。RDY 和 FLT 的引线要尽量短，后面的与门是个只有 TSSOP5 封装的 IC，非常容易放在芯片附近。图中 C5, C9 应尽量贴近 18 脚和 20 脚。

3. 1ED020I12FA 输出部分电路相关说明

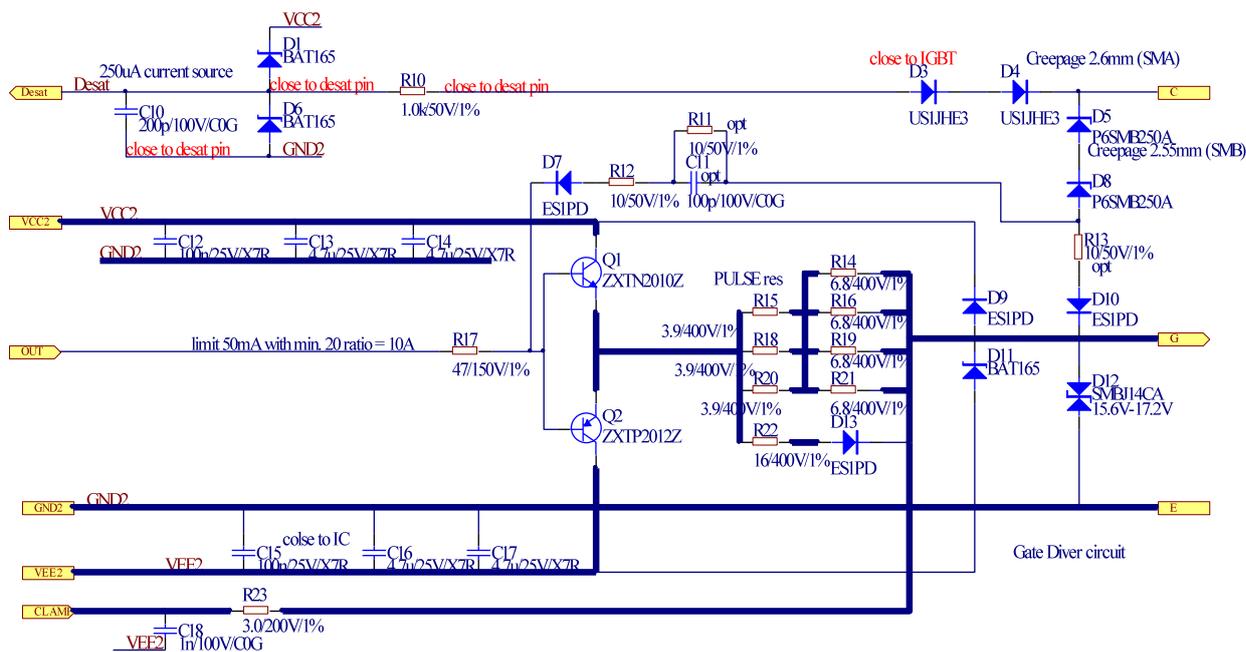


图 3: 1ED020I12FA 输出部分电路

3.1 功能说明

如图 3 为了适应 HybridPACK2 开关要求, 选择开通电阻大约 2.5 欧, 关断电阻 3 欧的设计, 因此需要采用 push-pull 结构放大门极峰值电流。采用有源电压箝位电路防止关断 IGBT 时的 Vce 过冲导致 IGBT 失效。同时使用三极管作为推挽结构, 可以有效的增强有源电压箝位对电压尖峰的抑制效果, 具体见参考文献 1。D1, D6 作为箝位二极管, 对敏感信号进行保护。D9, D11 箝位门极电压以防门极电压过高而击穿。

3.2 PCB layout 要点

门极电阻布置见图 4, 因为需要较好散热所以选用电阻并联再串联的方式, 方便布局布线和散热。

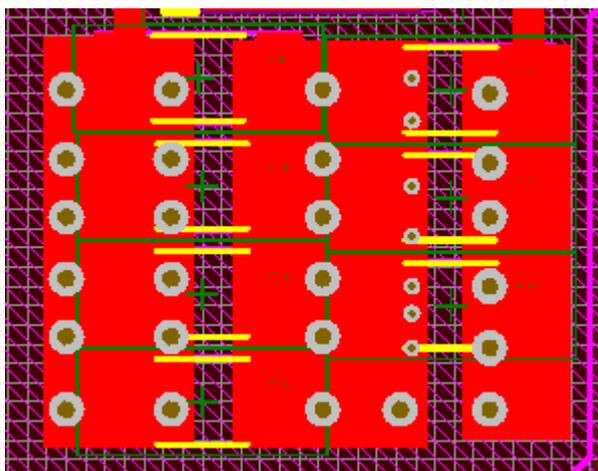


图 4 门极电阻的布置

图 3 中粗线部分会走过较大电流, 母线宽度大于 1mm, 尽量宽一些。D3, D4, D5, D8 承受 Vce 电压,

所以应使 C 点到 R10 和 R13 保持足够的距离，以防爬电。D12 应靠近 IGBT 模块 GE 引脚，起到最好的吸收效果。D1,D6 靠近芯片 Desat 引脚。

3.3 重点器件选型

C10 作为控制保护延迟时间的重要电容，应选择 C0G 材料的电容，建议根据系统响应情况，选择 100p 左右的电容，考虑对未来后续版本 1ED020I12FA2 的使用，可以选择 200p 左右的电容，前提是 IGBT 保护的延迟时间应小于 10us。D1,D6,D17 因箝位电流较小，选用英飞凌的 BAT165。D7,D9,D10 冲击电流较大选用了 Vishay 的 ES1PDHM3。R11,R12,R13 作为限流电阻需根据系统实际情况进行短路测试后选定合适的值。门极电阻功率根据公式 1 进行计算，详见参考文献 3。按照最大 15kHz 开关频率计算，门极电阻功率约为 2.2W，按照 1/3 标称功率选择 7 个 2010 的 1W 高功率电阻平分热量。经过计算得到 R1,R18,R20 值为 3.9 欧，总功率 2.2W 时每个电阻耗散功率 0.31W，R14,R16,R19,R21 值为 6.8 欧，总功率 2.2W 时每个电阻耗散功率 0.31W。在正电源和负电源端各并联两个 4.7uF X7R 的电容，以保证供电平稳。

$$P_{dis} = P_{R_{Gext}} + P_{R_{Gint}} = \Delta V_{out} \cdot f_S \cdot Q_{ge} \quad \text{公式 1}$$

4. IGBT 周边电路相关说明

IGBT 周边电路较为简单，选择 10k 电阻保证 IGBT 不会误开通。对 NTC 信号进行简单处理送至 MCU 板做进一步处理。

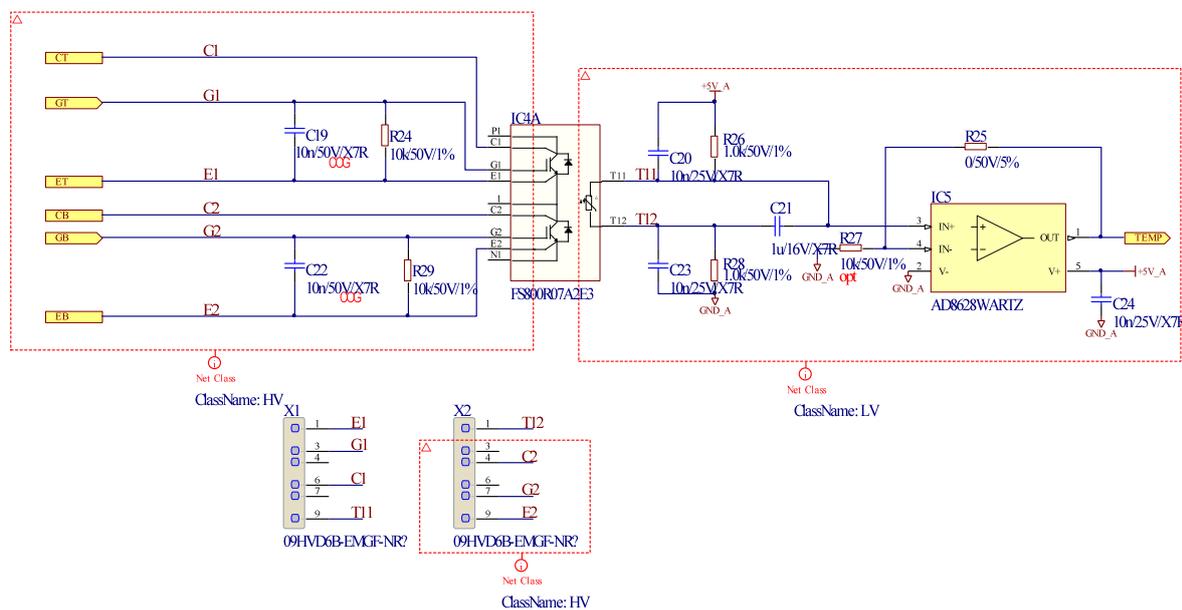


图 5： IGBT 模块周边电路

5 测试结果

如图 5 图 6，分别是 IGBT 在开通和关断时的波形，测试条件是直流母线 250V，逆变器输出交流有效值 200Arms。

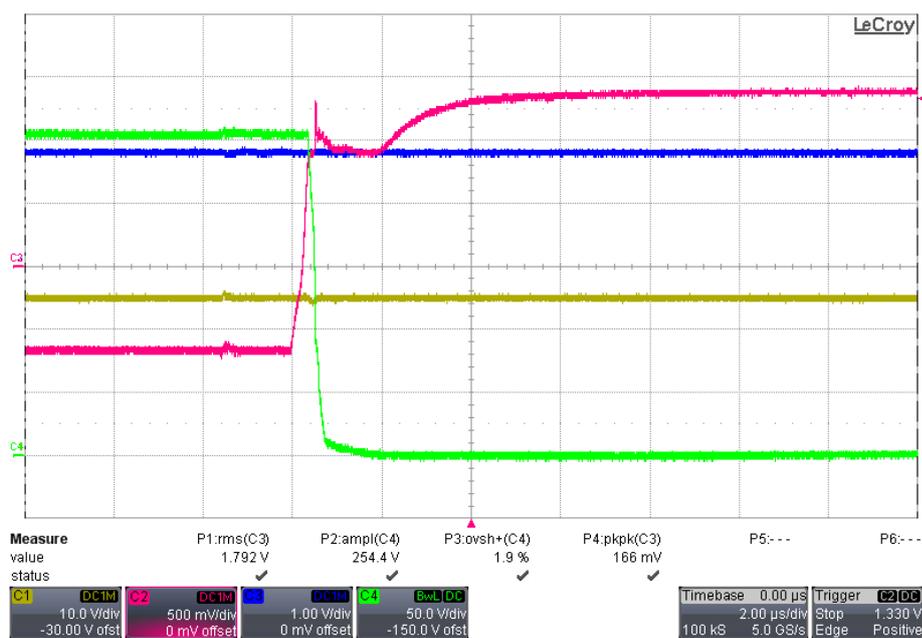


图 5: IGBT 开通波形

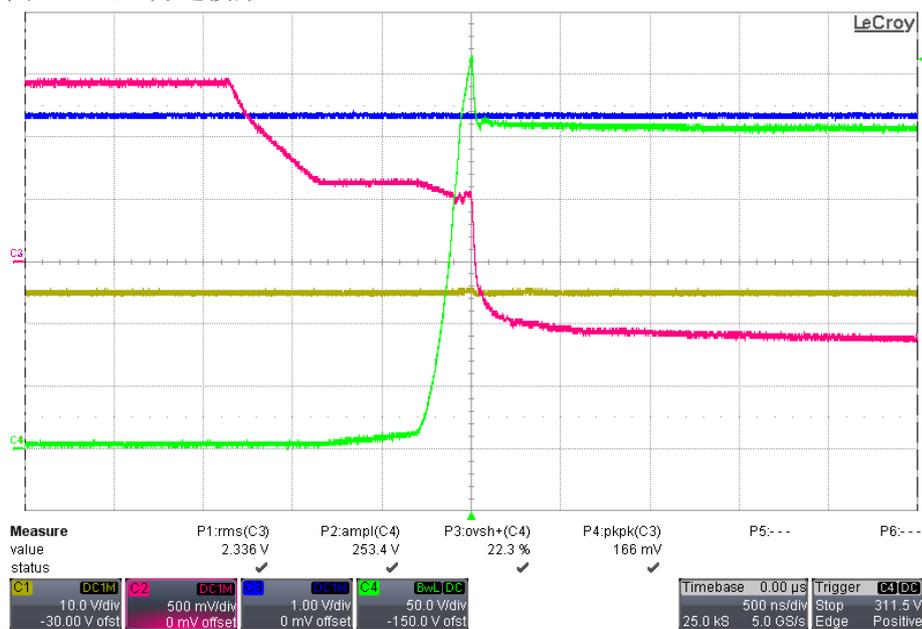


图 6: IGBT 关断波形

6 材料清单

Description	Designator	Manufacturer	Part Number	Qty
Cap-0603-1n/100V/0.1/C0G	C1, C6, C18	Kemet	C0603C102K1GACAUTO	3
Cap-0603-10n/25V/0.1/X7R	C2, C7, C20, C23, C24	Kemet	C0603C103K3RACAUTO	5
Cap-0603-100p/100V/0.1/C0G	C3, C8, C11	Kemet	C0603C101K1GACAUTO	3
Cap-0603-100n/25V/0.1/X7R	C4, C5, C9, C12, C15	Kemet	C0603C104K3RACAUTO	5
Cap-0603-200p/100V/0.1/C0G	C10	Kemet	C0603C201K1GACAUTO	1
Cap-1210-4.7u/25V/0.1/X7R	C13, C14, C16, C17	Kemet	C1210C475K3RACAUTO	4

Cap-0805-10n/50V/10%/X7R	C19, C22	Kemet	C0805C103K5RACAUTO	2
Cap-0805-1u/16V/0.1/X7R	C21	Kemet	C0805C105K4RACAUTO	1
Medium Power AF Schottky Diode	D1, D6, D11	Infineon	BAT165	3
Ultrafast Rectifier / 600V	D3, D4	Vishay	US1JHE3	2
TVS Diodes - UNI / 250V	D5, D8	Vishay	P6SMB250CA	2
Ultrafast Rectifier / 200V	D7, D9, D10, D13	Vishay	ES1PDHM3	4
TVS	D12	ON semi	SZ1SMB14CAT3G	1
Single IGBT Driver IC	IC1, IC3	Infineon	1ED020I12FA	2
Single 2-input AND gate	IC2	NXP	74LVC1G08GW	1
650V IGBT/ HybridPACK 2	IC4	Infineon	FS800R07A2E3	1
Operational Amplifiers	IC5	Analog Devices	AD8628WARTZ	1
LED - SML / Red	LD1	Rohm	SML-512UWT86	1
NPN Low Saturation Transistor 60V	Q1	Zetex	ZXTN2010Z	1
PNP Low Saturation Transistor 60V	Q2	Zetex	ZXTP2012Z	1
100/0603/1%	R1, R3, R6, R8	Rohm	MCR03EZPFX1000	4
4.7k/0603/1%	R2, R4, R7, R9	Rohm	MCR03EZPFX4701	4
2.2k/0603/1%	R5	Rohm	MCR03EZPFX2201	1
1.0k/0603/1%	R10, R26, R28	Rohm	MCR03EZPFX1001	3
10/0603/1%	R11, R12, R13	Rohm	MCR03EZPFX10R0	3
6.8/2010/1%	R14, R16, R19, R21	Vishay	CRCW20106R80FKEFHP	4
3.9/2010/1%	R15, R18, R20	Vishay	CRCW20103R90FKEFHP	3
47/0805/1%	R17	Rohm	MCR10EZPF47R0	1
16/1210/1%	R22	Vishay	CRCW121016R0FKEFHP	1
3.0/1206/1%	R23	Vishay	CRCW12063R00FKEFHP	1
10k/0603/1%	R24, R27, R29	Rohm	MCR03EZPFX1002	3
0/0603/5%	R25	Rohm	MCR03EZPJ000	1
JST HVD Connector 09 HVD 6B	X1, X2	JST	09HVD6B-EMGF-NR?	2

参考文献:

- 1 荣睿,何耀华.具有有源电压钳位功能的电动汽车 IGBT 驱动电路设计与研究.电子产品世界,2012.11
- 2 DataSheet_1ED020I12FTA , Infineon Technologies AG.
- 3 AN2011-03 Hybrid kit for HybridPACK 2 , Infineon Technologies AG.