



如何使用英飞凌IGBT7设计 高性能伺服驱动器

赵佳，张晖，苏建中（晶川电子）
2021.8.24



Agenda

1

伺服的高功率密度需求

2

新一代的IGBT7带来功率密度提升

3

驱动电路更简化

4

仿真实例

5

总结

工业机器人 Industrial Robots



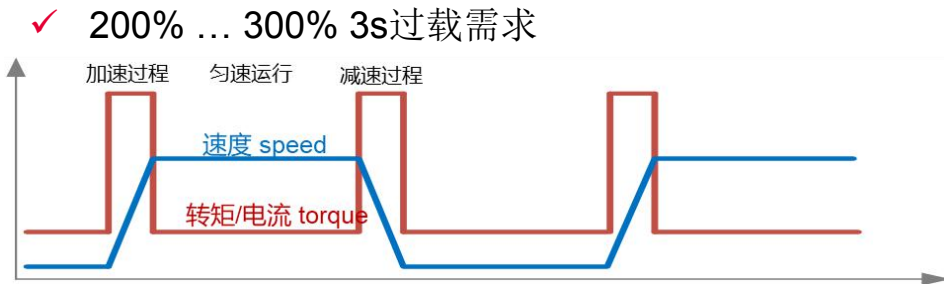
工业控制 Industrial control system



数控机床 Machine tools



- 频繁加速减速
- 高瞬时转矩
- 高开关频率 (8~16k)
- 高功率密度



TRENCHSTOP™ IGBT7的设计初衷



适合电机驱动应用



减少功率器件总损耗



过载条件下的**175°C**
结温



提高功率密度



减少系统尺寸



降低系统成本

Note: Not all benefits can be leveraged equally in every system as some might be contradictory

Agenda

1

伺服的高功率密度需求

2

新一代的IGBT7带来功率密度提升

3

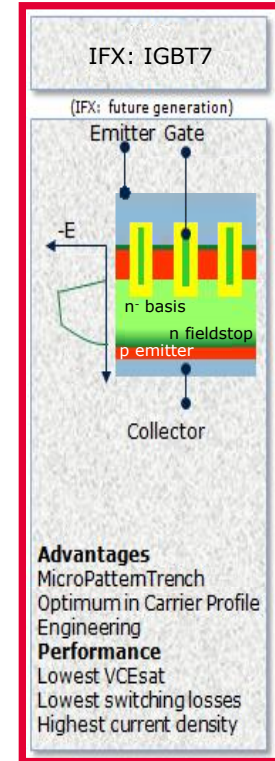
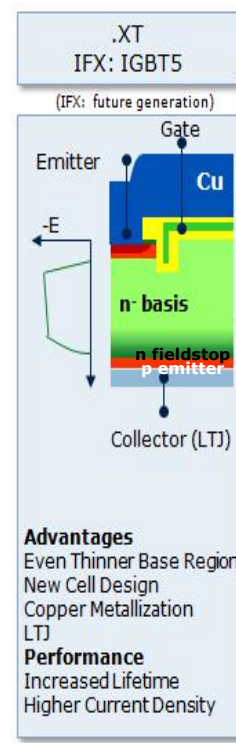
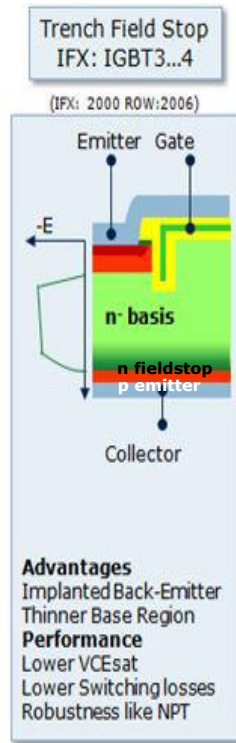
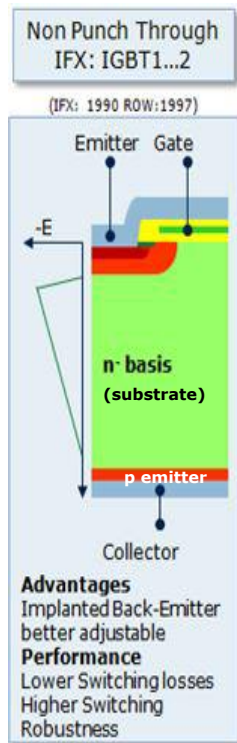
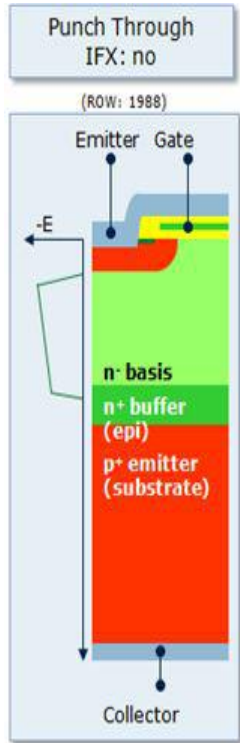
驱动电路更简化

4

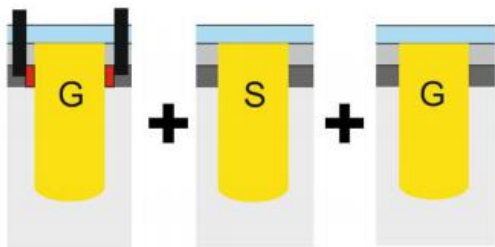
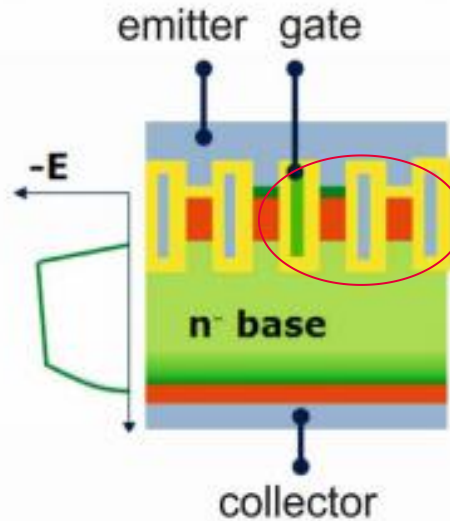
仿真实例

5

总结



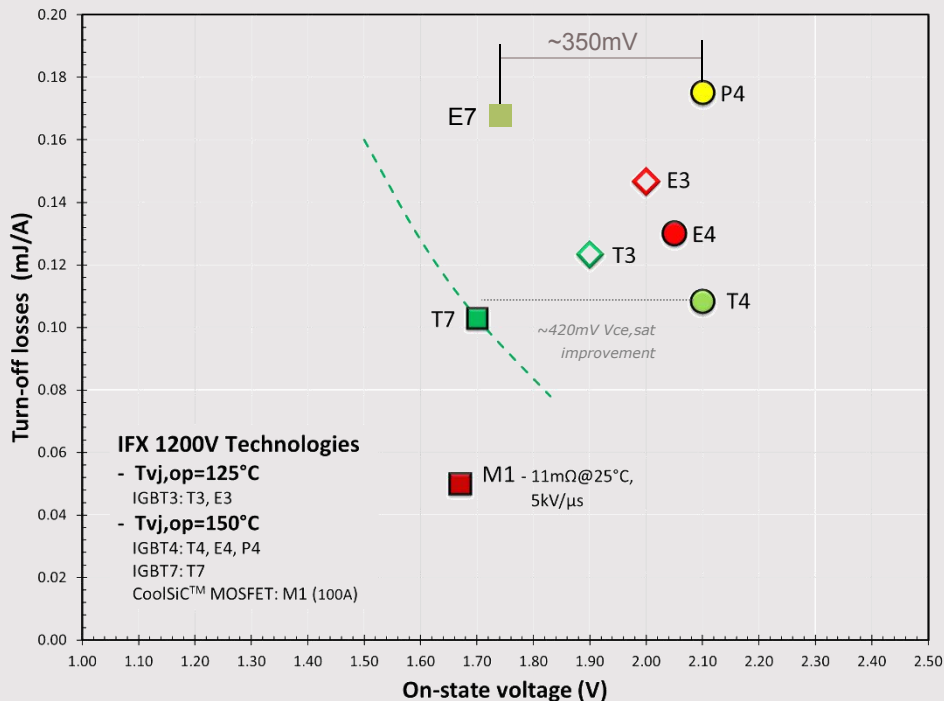
IGBT7 器件结构--新型微沟槽 (MPT)



- > 场截止FS结构实现优良耐压性能
- > 漂移区更薄，降低芯片饱和压降
- > MPT改状况载流子分布，降低饱和压降
- > 三种沟槽类型
 - > 有效沟道沟槽
 - > 伪栅极沟槽
 - > 发射极沟槽
- > 三种沟槽类型占比改变寄生电容比例，从而改善器件可控性。

关键技术点1 – MPT技术带来IGBT7的超低导通损耗

IGBT7 1200V T7/E7 与 T4/P4 相比， V_{cesat} 降低了20%/17%



低导通损耗 – 市面的IGBT模块的规格对比

以 25A 的 IGBT 规格书为例

IGBT4 - FP25R12W2T4_B11

Charakteristische Werte / Characteristic Values

		min.	typ.	max.	
Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung Collector-emitter saturation voltage	$I_C = 25\text{ A}, V_{GE} = 15\text{ V}$		1,85	2,25	V
	$I_C = 25\text{ A}, V_{GE} = 15\text{ V}$	$T_{vj} = 25^\circ\text{C}$	$V_{CE\text{sat}}$	2,15	V
	$I_C = 25\text{ A}, V_{GE} = 15\text{ V}$	$T_{vj} = 125^\circ\text{C}$		2,25	V
		$T_{vj} = 150^\circ\text{C}$			V

IGBT7 - FP25R12W2T7_B11

Charakteristische Werte / Characteristic Values

		min.	typ.	max.	
Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung Collector-emitter saturation voltage	$I_C = 25\text{ A}$		1,60	t.b.d.	V
	$V_{GE} = 15\text{ V}$	$T_{vj} = 25^\circ\text{C}$	$V_{CE\text{sat}}$	1,74	V
		$T_{vj} = 125^\circ\text{C}$		1,82	V
		$T_{vj} = 175^\circ\text{C}$			V

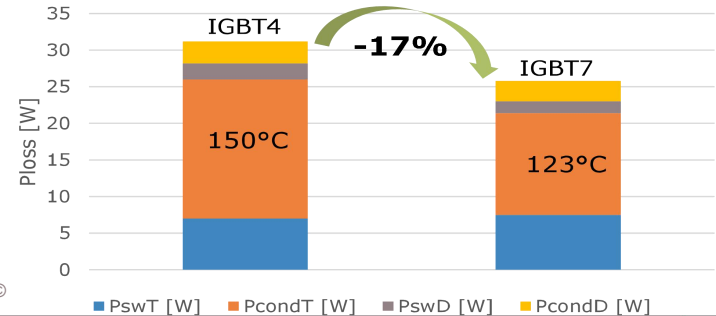
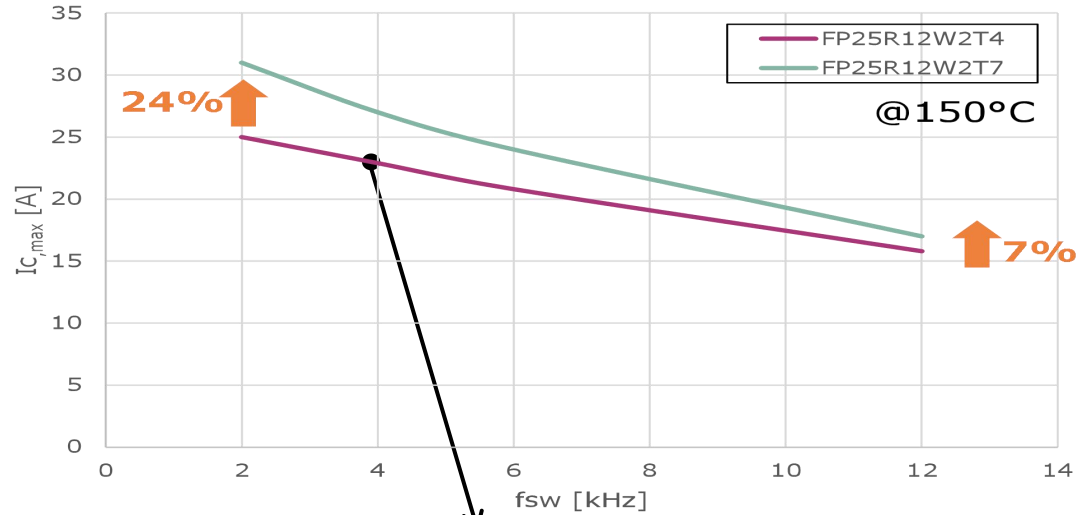
Other New Gen IGBT

Collector-Emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$ (terminal)	$V_{GE} = 15\text{ V}$ $I_C = 25\text{ A}$	$T_{vj}=25^\circ\text{C}$	-	1.65	2.15	V
	$V_{CE(sat)}$ (chip)		$T_{vj}=25^\circ\text{C}$	-	1.50	1.95	
			$T_{vj}=125^\circ\text{C}$	-	1.85	-	
			$T_{vj}=150^\circ\text{C}$	-	1.95	-	
			$T_{vj}=175^\circ\text{C}$	-	2.00	-	

低导通损耗 – IGBT7相对IGBT4的提升

仿真条件

- 连续运行
- $V_{DC} = 540\text{ V}$
- $\cos \phi = 0.85$
- Modulation factor = 1
- $dv/dt = 5\text{ kV}/\mu\text{s}$
- $f_{out} = 50\text{ Hz}$
- $R_{thHA} = 1.8\text{ K/W}$
- $\tau_{HA} = 60\text{ s}$
- $T_{amb} = 40^\circ\text{C}$



关键技术点2 – 过载时IGBT的运行结温 $T_{vj,op}$ 可达175°C

175°C

IGBT7

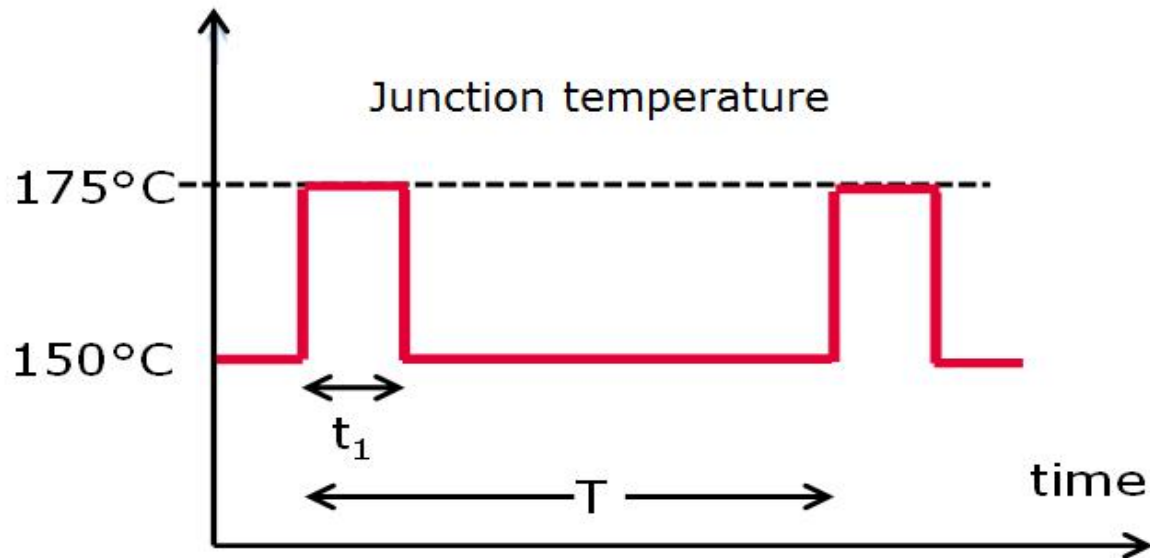
150°C

IGBT4

125°C

IGBT3

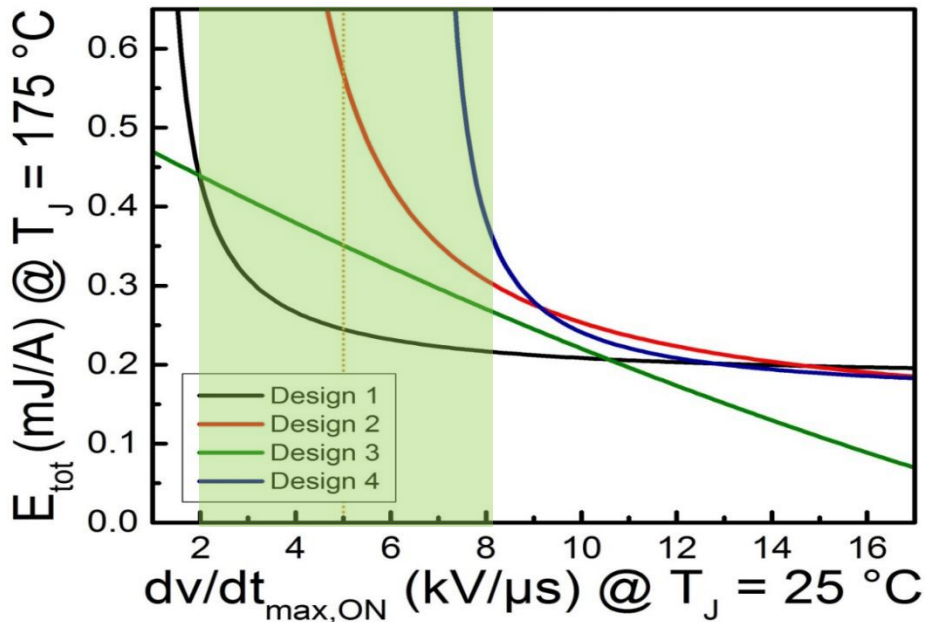
最大允许的芯片运行结温 $T_{vj,op}$



- ✓ 连续运行时, $T_j \leq 150\text{ °C}$
- ✓ 重复过载时, $T_j \leq 175\text{ °C}$ 并且过载时间 $t_1 \leq 60\text{ s}$
- ✓ 过载循环周期满足 $D=t_1/T \leq 20\%$

关键技术点3 – 针对电机驱动类应用的 dv/dt 特性优化

IGBT7针对电机驱动类应用的dv/dt设计需求，在dv/dt 2-8kV/μs区间内优化芯片本身的受控性



最优化设计遵循

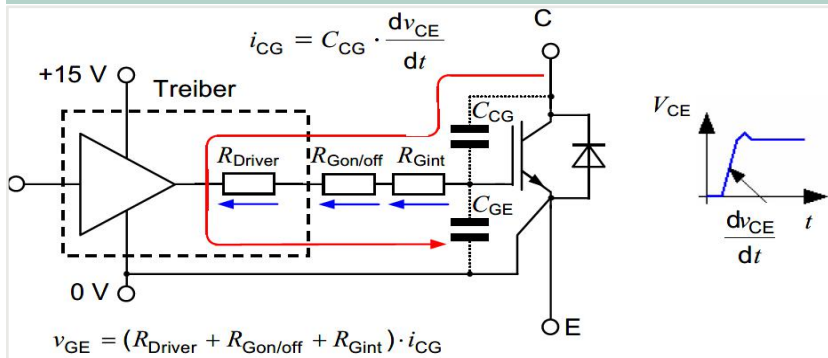
- › 总开关损耗 $E_{tot} = E_{on} + E_{off} + E_{rec}$ 最小
- › 实现了很大范围的dv/dt可控性
- › 即便在最严酷情况下，开关产生的dv/dt也显示较好的受控性

匹配电机类应用需求

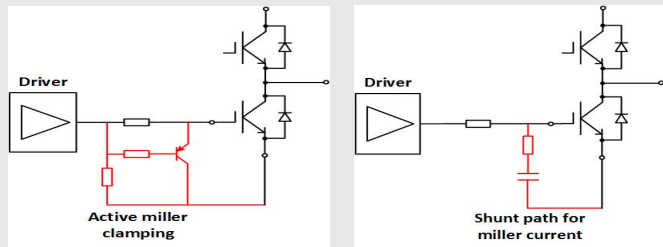
- › 典型 5 kV/μs 的应用需求，以满足电缆反射和EMI要求
- › 更简便的驱动电阻选型和调整

关键技术点4 - IGBT7 支持 0V 的驱动电压

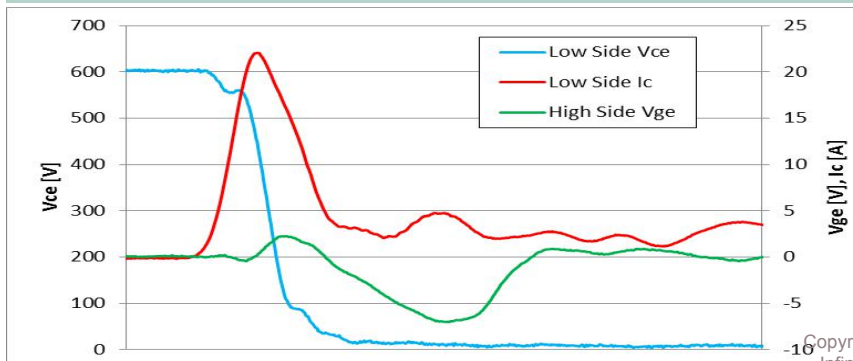
✓ 1200V IGBT4 需要负压驱动电源设计以防止寄生导通



- › 采用负压驱动电源设计
- › 采用钳位驱动电路设计



✓ 1200V IGBT7 通过优化输入电容可以在0V驱动时防止寄生导通

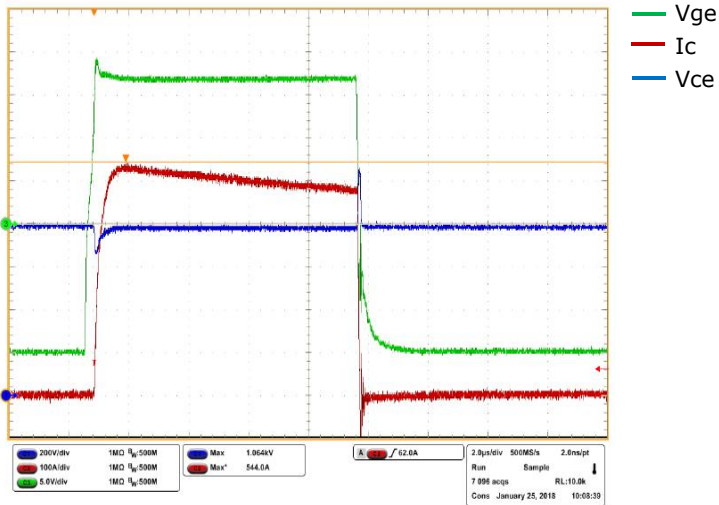


- › 最严酷条件下测试寄生开通
 - 25A的芯片
 - 0欧姆驱动电阻开通
 - 1/10 Inom
 - 室温
 - 200欧姆驱动电阻关断
 - 栅极0V关断

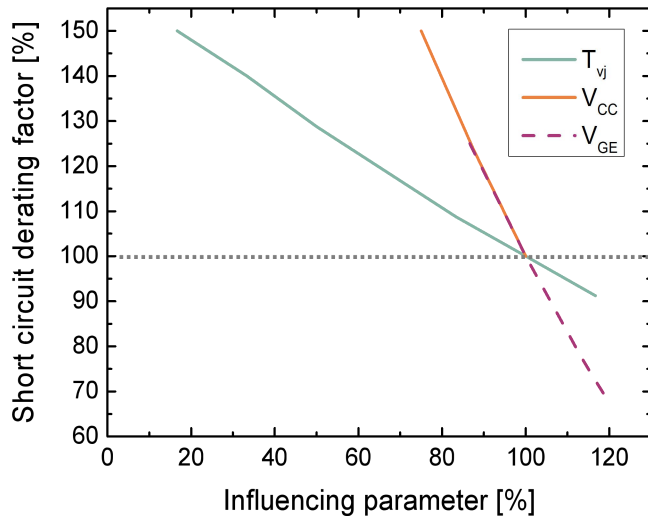
半桥中的对管开通最快, dvdt最大
寄生电流造成的 Vge最高

关键技术点5 – IGBT7 的短路特性和降额因子

✓ 短路耐受时间被设定为8us (典型条件 T_{vj} 150°C, V_{ge} 15V, V_{cc} 800V)



IGBT7 短路波形



IGBT7的短路降额比例与 T_{vj} , V_{cc} 和 V_{GE} 的关系

根据实际的芯片结温、直流母线电压和驱动电压，提供了短路耐受时间的降额比例。可参考 AN2018-14-TRENCHSTOP™ 1200 V IGBT7 Application Note

Agenda

1

伺服的高功率密度需求

2

新一代的IGBT7带来功率密度提升

3

驱动电路更简化

4

仿真实例

5

总结

IGBT7 的驱动电流和驱动功率不同于 IGBT4

➤ IGBT7 的驱动部分参数的改变:

Condition	FP25R12W2T4_B11	FP25R12W2T7_B11
Rgon	20 Ω	6,2 Ω
Rgoff	20 Ω	6,2 Ω
QG (VGE = -15 / 15 V)	0,20 μC	0.395 μC

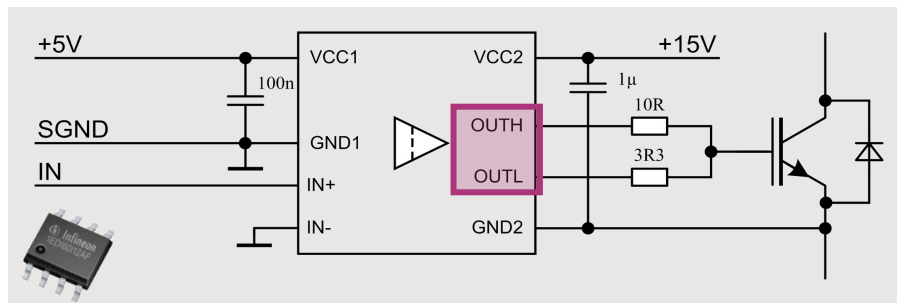
- IGBT7 的规格书驱动电阻会比 IGBT4 小
- 驱动电阻的选型会比实际目前使用的IGBT4要小
- IGBT7 的Qg会比IGBT4更大，采用0/15V驱动，Qg会和IGBT4类似

➤ IGBT7 的驱动IC芯片的选型

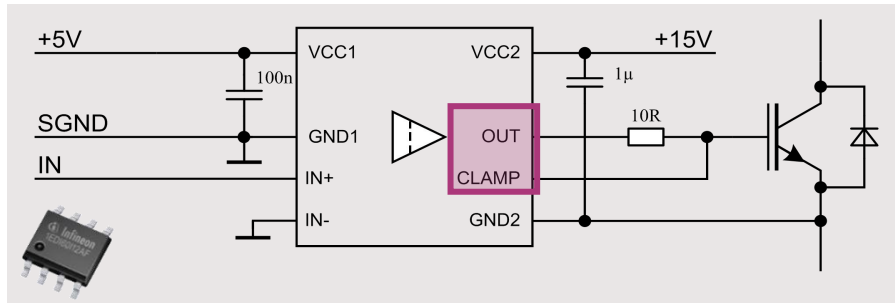
- 驱动IC的峰值电流需依据驱动电压 / 驱动电阻 确定
- 驱动电源的功率需依据驱动电压 / Qg 确定

1200V的紧凑型功能绝缘的磁隔离驱动IC

功能图 150 mil 宽度



开通关断引脚分开型



有源米勒钳位型



- › 紧凑型的DSO-8封装，宽度仅3.8 mm，可节省PCB的面积
- › 峰值驱动电流可达10A，可省去推挽电路
- › 采用磁隔离驱动技术，抗干扰能力强

型号	类型	驱动电流(平均值)
1EDI6012AF	OUT+ / OUT-	6.0A
1EDI4012AF	OUT+ / OUT-	4.0A
1EDI2012AF	OUT+ / OUT-	2.0A
1EDI0512AF	OUT+ / OUT-	0.5A
1EDI3012MF	OUT / CLAMP	3.0A
1EDI2012MF	OUT / CLAMP	2.0A
1EDI1012MF	OUT / CLAMP	1.0A

1200V全新驱动芯片X3系列

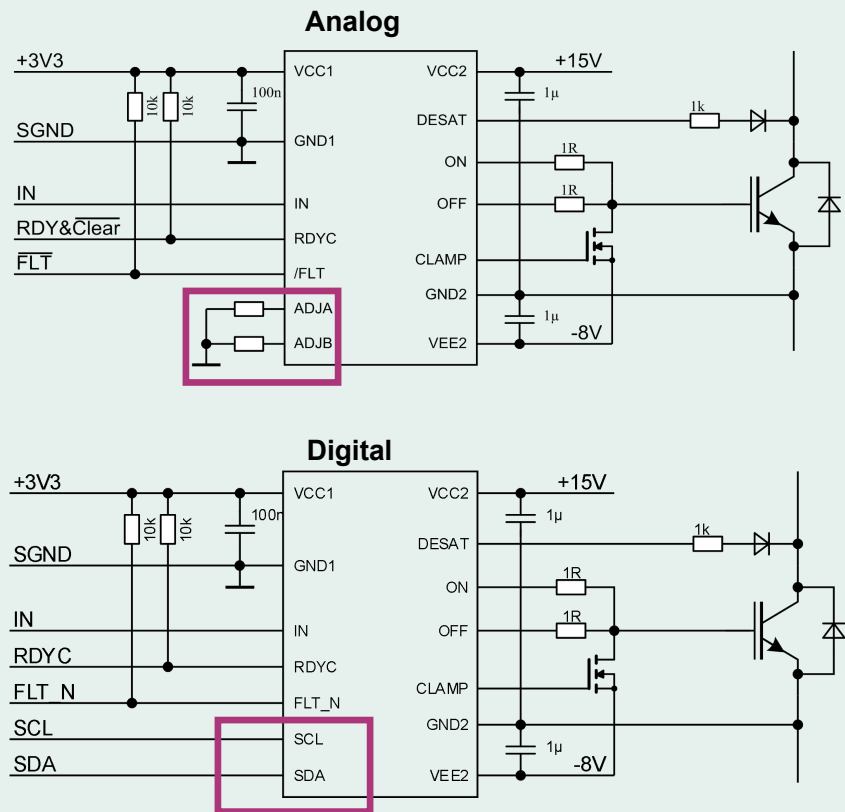
	X3 Compact							
	1ED3124	1ED3125	1ED3120	1ED3121	1ED3122	1ED3123	1ED3124	1ED3131
Package	150-mil		300-mil					
Output current (typ.)	±14 A	±10 A	±5.5 A	±5.5 A	±10 A	±14 A	±14 A	±5.5 A
Output configuration	SS	MC	Separate source/sink (SS)		MC	Separate source/sink (SS)		
UVLO	10.5 V		8 V	10.5 V	8 V		10.5 V	
CMTI	200kV/us							
Pinouts								

符合国际隔离等级认证标准

- 1ED31xxMU12F/H: UL 1577
- 1ED31xxMC12H :UL1577 and VDE-11 (reinforced isolation)
- 高达**14A**的电流输出能力 (**PMOS source**)

具有保护功能的增强型驱动芯片

- › 单通道隔离驱动**3 / 6 / 9 A**
- › 带有源米勒钳位(**clamp driver**), DESAT短路保护, 软关断
- › **CMTI > 200 kV/μs**
- › **温度保护**
- › **UL 1577, $V_{ISO}=5.7$ kV(rms); VDE 0884-11 Reinforced**
- › **DSO16 300 mil 窄管脚间距**
- › **1ED34xx (X3 Analog)**
 - › 通过外部电阻设置**短路保护和软关断时间**
- › **1ED38xx (X3 Digital)**
 - › **通过I2C总线实现UVLO, DESAT², TLTO, Soft-off, Miller clamp的配置**



Agenda

1

伺服的高功率密度需求

2

新一代的IGBT7带来功率密度提升

3

驱动电路更简化

4

仿真实例

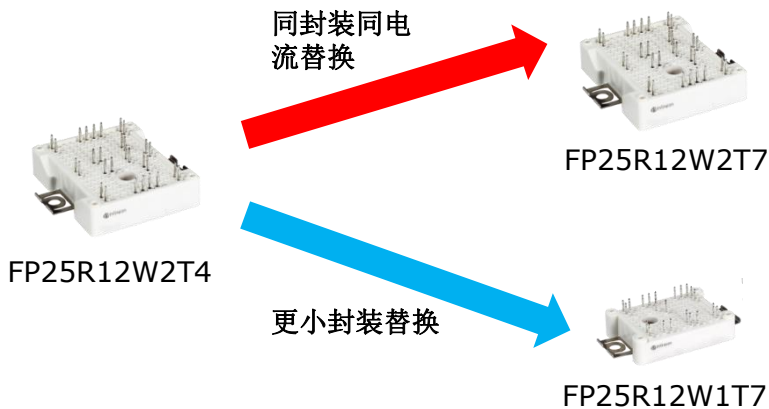
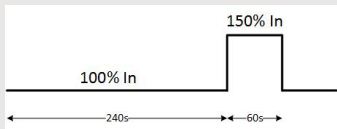
5

总结

IGBT4 升级到 IGBT7 的应用场景

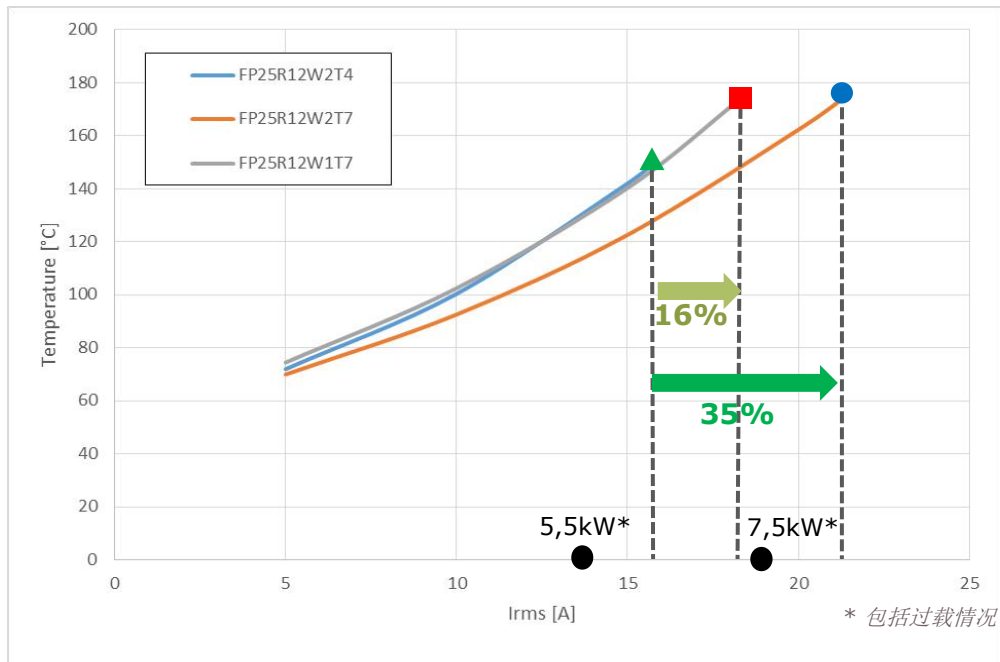
仿真条件

- $V_{DC} = 540\text{ V}$
- $\cos \phi = 0.85$
- Modulation factor = 1
- $f_{out} = 50\text{ Hz}$
- $\tau_{u_{HA}} = 60\text{ s}$
- $T_{amb} = 50^\circ\text{ C}$
- 150% overload



模块参数	FP25R12W2T4	FP25R12W2T7	FP25R12W1T7
Package	Easy2B	Easy2B	Easy1B
$V_{CE,0}@25A, 125^\circ\text{C}$	2.15 V	1.65 V	1.65 V
$R_{th,JH,IGBT}$	1.45 K/W	1.35 K/W*	1.54 K/W
$T_{vjop,max}$	150°C	175°C	175°C
Typical R_{thHA}	1.8K/W	1.8K/W	2.3K/W

IGBT4 升级到 IGBT7 的对比仿真



- ✓ 对于“pin to pin”同封装替换方案，在相同的系统散热条件下，IGBT7输出电流可以增加35%，这让功率跳档成为了可能。
- ✓ 对于更小封装替换方案（Easy2B -> Easy1B），可以实现更紧凑的设计，并且输出功率还提高16%。

Agenda

1

伺服的高功率密度需求

2

新一代的IGBT7带来功率密度提升

3

驱动电路更简化

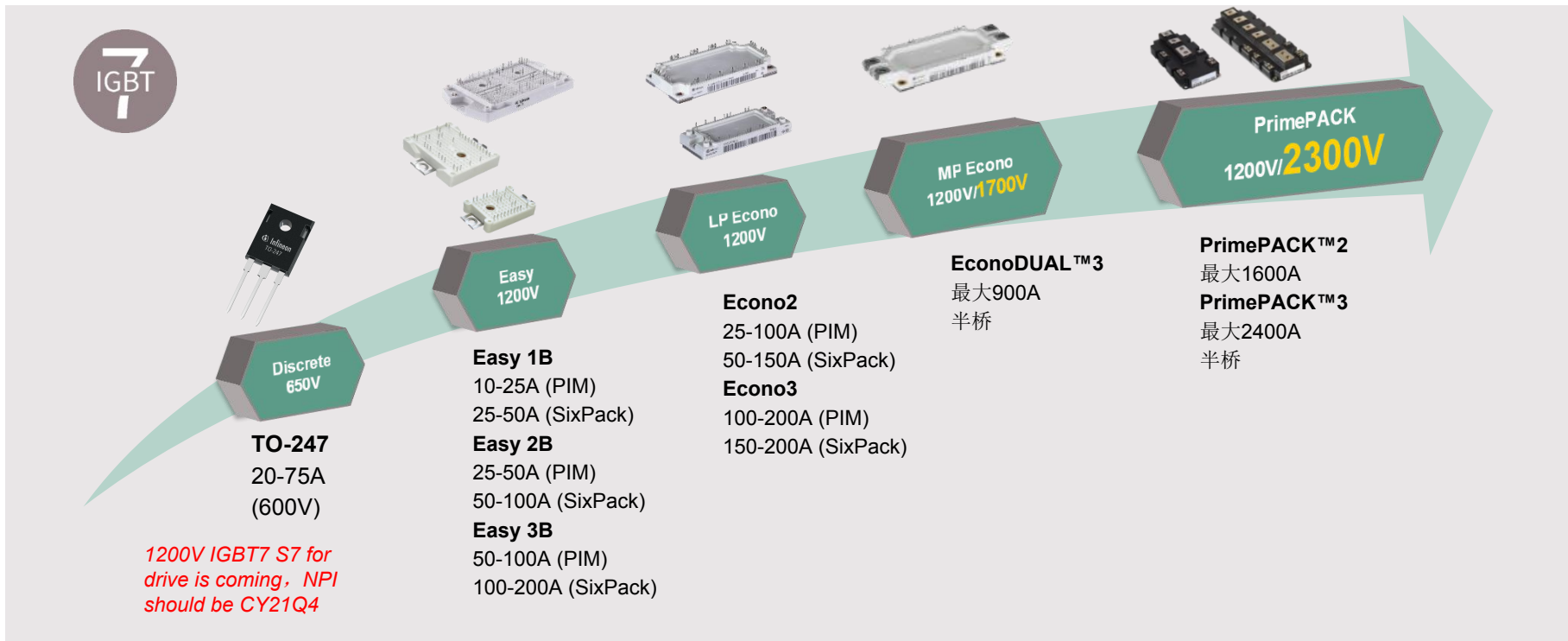
4

仿真实例

5

总结

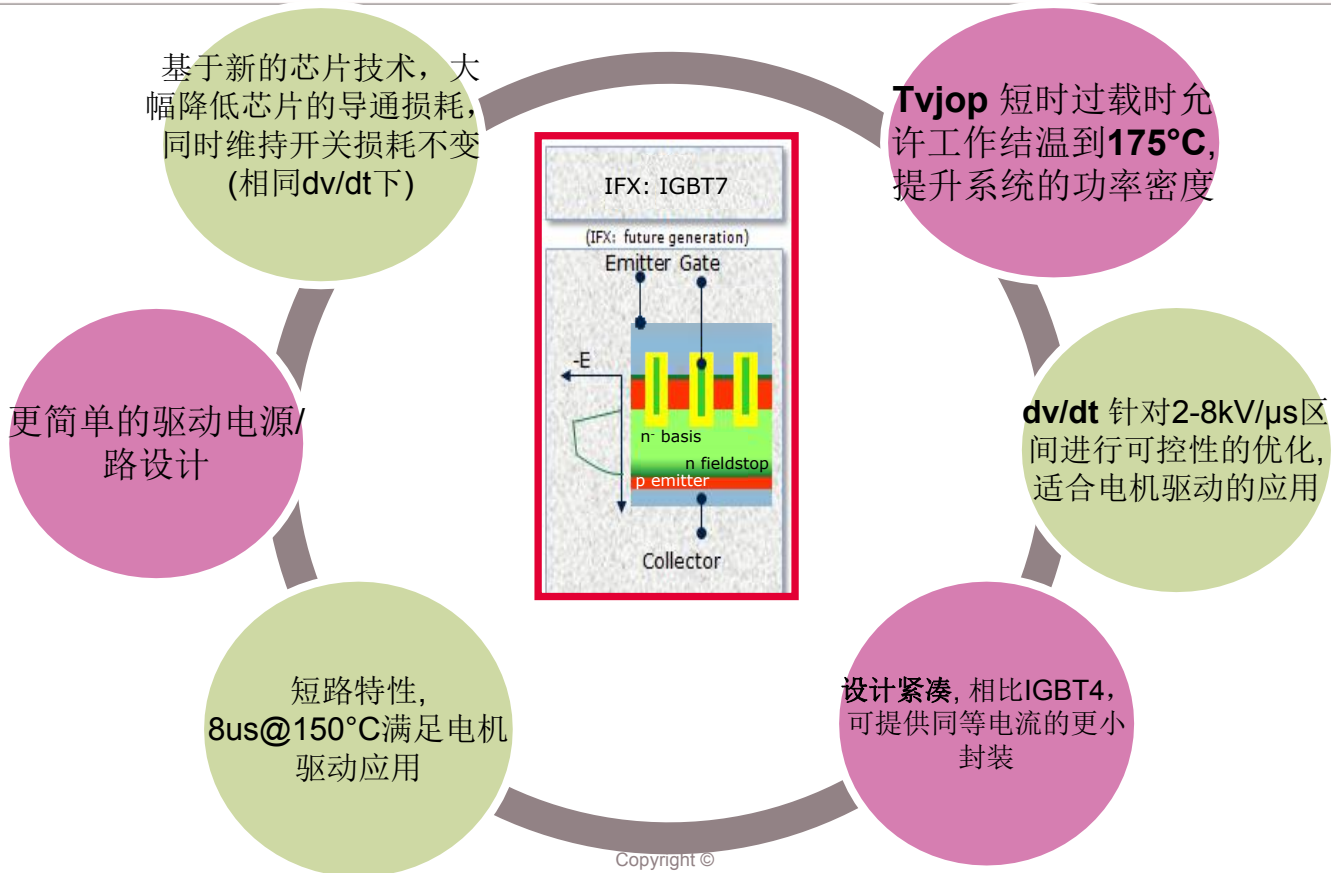
英飞凌IGBT7 600/1200/1700/2300V 产品家族图谱



10A

电流

2400A





Part of your life. Part of tomorrow.

