应用笔记 AN 2011-04
V1.0 2011.07

AN2011-04
MA3L080E07_EVAL评估适配器板：用于NPC1拓扑内的EconoPACK™ 4 3-电平模块

IFAG IMM INP M AE

www.infineon.com

版本 2011 年 05 月 15 日
英飞凌科技股份公司印制
59568 Warstein, Germany
© 英飞凌科技股份公司版权所有，2011 年。
保留所有权利。

免责声明
本应用文档中给出的信息仅作为关于使用英飞凌科技组件的建议，不得被视为就英飞凌科技组件的任何特定功能、条件或质量作出的任何说明或保证。本应用文档的使用者必须在实际应用中验证本文档描述的任何功能。英飞凌科技在此声明，未就本应用文档中给出的任何及所有信息作出任何性质的保证，也不承担任何性质的责任，包括但不限于没有侵犯任何第三方的知识产权的保证。

为方便客户浏览，英飞凌以下所提供的将是有关英飞凌产品及服务资料的中文翻译版本。该中文翻译版本仅供参考，并不可作为任何论点之依据。虽然我们尽力提供与英文版本含义一样清楚的中文翻译版本，但因语言翻译和转换过程中的差异，可能存在不尽相同之处。因此，我们同时提供该中文翻译版本的英文版本供您阅读，请参见【Evaluation Adapter Board for EconoPACK™4 3-Level Modules in NPC1-Topology】。并且，我们在此提醒客户，针对同样的英飞凌产品及服务，我们提供更加丰富和详细的英文资料可供客户参考使用。请详见【IGBT-Modules】

客户理解并且同意，英飞凌毋须为任何人士由于其在翻译原来的英文版本成为该等中文翻译版本的过程中可能存在的任何不完整或者不准确而产生的全部或者部分、任何直接或者间接损失或损害负责。英飞凌对于中文翻译版本之完整与正确性不担负任何责任。英文版本与中文翻译版本之间若有任何歧异，以英文版本为准，且仅认可英文版本为正式文件。

您如果使用以下提供的资料，则说明您同意并将遵循上述说明。如果您不同意上述说明，请不要使用本资料。

信息垂询
若需获得关于技术、交付条款和价格的更多信息，敬请联系距离您最近的英飞凌办事处
（**www.infineon.com**）

警告
由于技术要求，组件可能包含有害物质。若需了解相关物质的类型，请联系距离您最近的英飞凌办事处。如果可以合理地预计英飞凌的某个组件失效可能会导致生命支持设备或系统失效，或者影响该等设备或系统的安全性或有效性，那么在将这些组件用于生命支持设备或系统之前，必须获得英飞凌的明确书面同意。生命支持设备或系统意指用于植入人体内部，或者支持和/或维持、维系和/或保护人类生命的设备或系统。如果这些设备或系统失效，可以合理推定其用户或其他人的健康将受到威胁。

AN 2011-04
修订记录：日期（2011 年 05 月 15 日），V1.0
先前版本：无
主题：无
作者：Alain Siani（IFAG IMM INP MP）

欢迎提出意见和建议
您是否认为本文档中的任何信息存在错误、含糊不清或遗漏？您的宝贵意见和建议将帮助我们持续不断地改进本文档的质量。请将您的意见和建议（请注明本文档的索引号），发送电子邮件至：
[WAR-IGBT-Application@infineon.com]

1 引言 4
1.1 产品型号说明 4
2 设计特点 5
2.1 主要特点 5
2.2 关键数据 5
2.3 机械尺寸 6
3 引脚分配 7
4 适配板的功能 8
4.1 电源 8
4.2 功率放大器电路 9
4.3 监测 V_{CE} 用于短路检测；有源箝位电路 10
4.4 最大开关频率 11
5 并联 12
5.1 稳态电流不平衡 12
5.2 动态电流不平衡 12
5.3 与 MA3L080E07_EVAL 的并联 12
6 通过内置 NTC 电阻监测基板温度 14
7 电路原理图和布板 14
7.1 电路原理图 14
7.2 布板 17
8 MA3L080E07_EVAL 的材料清单 19
9 如何订购评估适配板 20
10 参考文献 20



上述电路板仅专用于实验室环境。其工作于高压条件下，高压侧与板上的任何部分之间均没有电气隔离，该电路板应由熟悉所有安规的的经过认证的、专业的人员操作。

1 引言

图 1 所示 3 电平 EconoPACK™4 模块的评估适配器板 MA3L080E07_EVAL 是为了帮助用户在使用 EconoPACK™4 3-电平模块进行初步设计应用而开发的。这一评估板是模块驱动板 F3L020E07-F-P_EVAL1 的补充设计，或者可以作为用户已有驱动方案的补充部分。关于三电平拓扑的更多细节，请参考文献[1]。

小批量的评估板，可以由 Infineon 提供。这篇文档的数据手册部分描述了这个评估板的性能指标，而其余部分提供了一些信息，旨在使用户可以根据他们的特殊需求进行复制，修改和评估该产品的设计。

MA3L080E07_EVAL 的设计是按数据手册中设计目标提到的有关环境条件实施的。在选择器件时已考虑符合 RoHS 的规定。该设计已做了如本文档所提到的各种测试，但未经有关制造业以及在整个工作环境温度范围或全寿命工作下的验证。

由英飞凌提供的此电路板仅经受过功能性测试。

由于其用途，该评估板不像常规产品那样，受到退货分析、流程变更通知、产品回收等流程的制约。

详细内容请查看英飞凌的保证和责任限制的免责声明和警告。

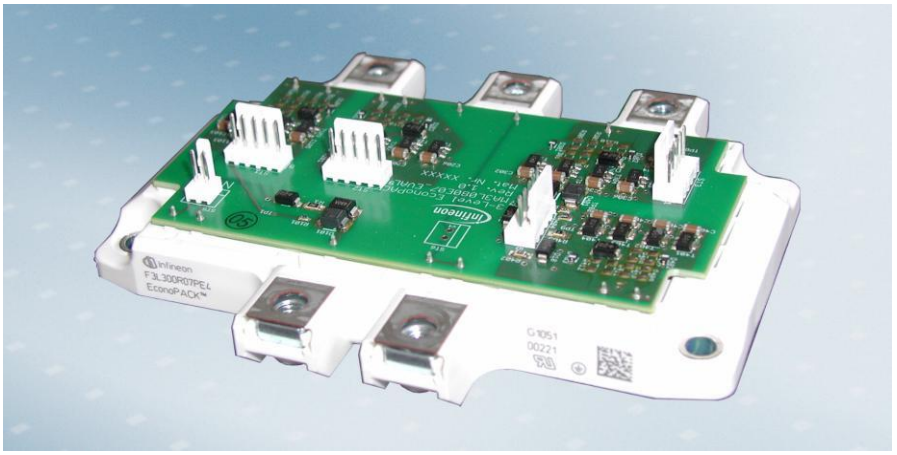
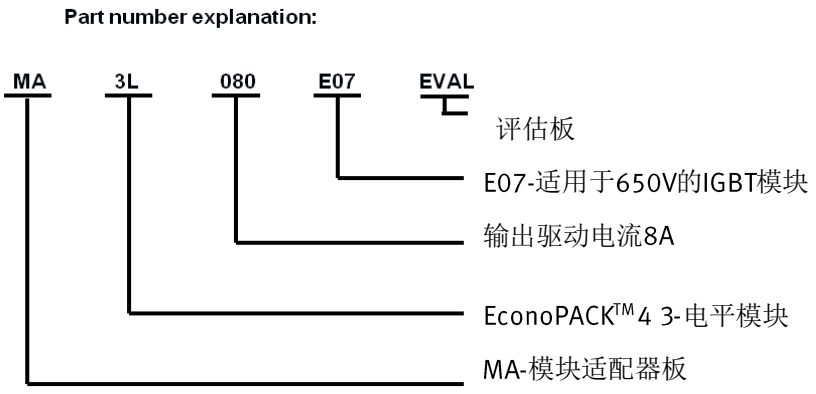


图 1: 用于 EconoPACK™ 4 3-电平模块评估适配器板 MA3L080E07_EVAL

1.1 产品型号说明



[1] 用于3-电平 EconoPACK™ 4的评估驱动板 AN2011-03

2 设计特点

以下部分提供该电路板的概况，包括主要特点、关键数据、引脚分配和机械尺寸。

2.1 主要特点

该评估板主要设计用来与 F3L020E07-F-P_EVAL 驱动板 [2] 一起使用。F3L020E07-F-P 评估驱动板主要有以下特点：

- 电气特性和机械特性符合3-电平 EconoPACK™ 4模块系列的要求
- 开通和关断过程可以设置不同的门极驱动电阻值
- 高端和低端IGBT的有源箝位保护
- 用于短路监控的IGBT欠饱和输出信号
- 利用内部NTC电阻监测基板温度
- 适用于-8V/+15V供电电源或最高±20V [3]

2.2 关键数据

以下表格所列的数据都是在环境温度为 25°C 的情况下测得的。

表 1：常规关键数据和特征值

参数	说明	数值	单位
V_{DC}	最大电源供电电压	±20	V
I_G	连续输出电流	±8	A
f_S	最大PWM信号的频率	60	kHz
T_{op}	工作温度 (设计目标)	-40...+85	°C
T_{sto}	存储温度 (设计目标)	-40...+85	°C

EconoPACK™ 4 3-电平 IGBT 模块具有四个纵向排列的 IGBT。图 2 给出了这四个 IGBT 的排列位置以及它们的名称，该名称适用于整个文档。

外高侧 IGBT
外高侧二极管

内高侧 IGBT
内高侧二极管

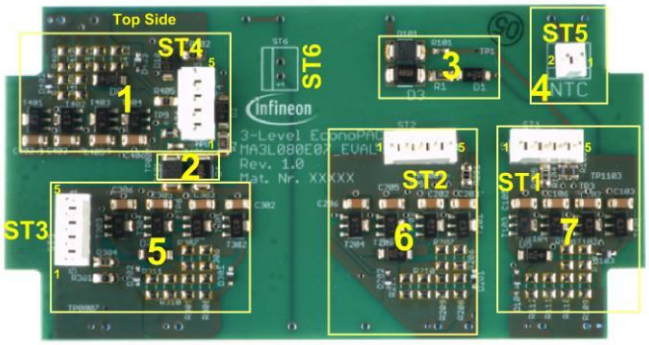
内低侧 IGBT
内低侧二极管

外低侧 IGBT
外低侧二极管

2.1.1 图 2: IGBT 模块中每个 IGBT 的名称

[2] 3-电平 EconoPACK™ 4 评估驱动板AN2011-03
[3] 因为 IGBT 短路电路的特性$_{GE}$,建议 V_{GE} 取 15V 最大值

图 3 给出了 MA3L080E07 评估板的正面图，并标出了板上的各个功能模块。



1：外低侧 IGBT 功率放大电路
2：外低侧 IGBT 欠饱和有源箝位
3：外高侧 IGBT 欠饱和有源箝位
4：温度监控
5：内高侧 IGBT 功率放大电路
6：内低侧 IGBT 功率放大电路
7：外高侧 IGBT 功率放大电路

2.1.2 图 3: 评估板 MA3L080E07_EVAL 上的各个功能组（正面）

2.3 机械尺寸

如图 4 所示为 MA3L080E07 适配器板的机械尺寸。

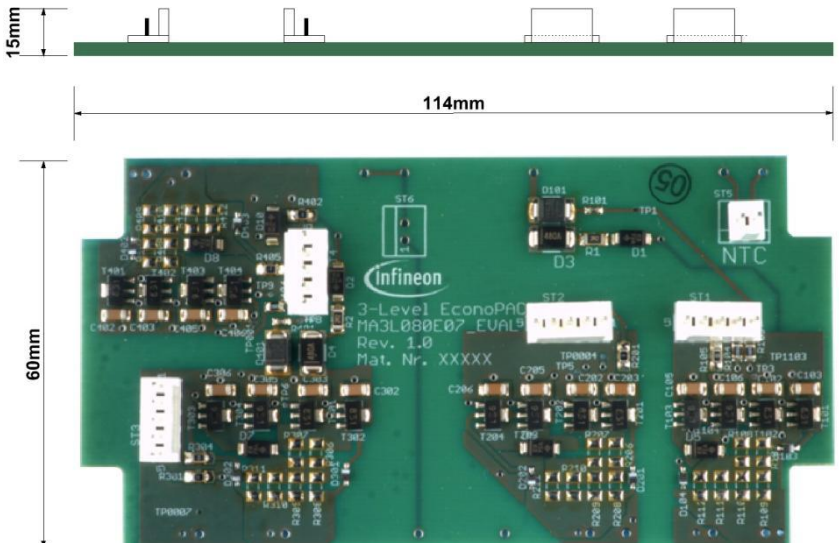


图4：MA3L080E07_EVAL的机械尺寸图

3 引脚分配

所有的 PWM 信号、逻辑信号及电源电压引脚分配均列在下列表格中：

表 2: 外高侧IGBT连接端子 ST1 的引脚分配图

引脚名称	引脚功能
ST1-1	+15V_T1
ST1-2	GND_T1
ST1-3	-8V_T1
ST1-4	PWM_T1
ST1-5	DESAT1

表 3: 内高侧IGBT连接端子 ST2 的引脚分配图

引脚名称	引脚功能
ST2-1	+15V_T2
ST2-2	GND_T2
ST2-3	-8V_T2
ST2-4	PWM_T2
ST2-5	NC (未连接)

表 4: 内低侧 IGBT连接端子 ST3的引脚分配图

引脚名称	引脚功能
ST3-1	+15V_T3
ST3-2	GND_T3
ST3-3	-8V_T3
ST3-4	PWM_T3
ST3-5	NC (未连接)

表 5: 外低侧IGBT连接端子 ST4的引脚分配图

引脚名称	引脚功能
ST4-1	+15V_T4
ST4-2	GND_T4
ST4-3	-8V_T4
ST4-4	PWM_T4
ST4-5	DESAT4

表 6: 温度输出信号连接端子ST5的引脚分配图

引脚名称	引脚功能
ST5-1	NTC+
ST5-2	NTC-

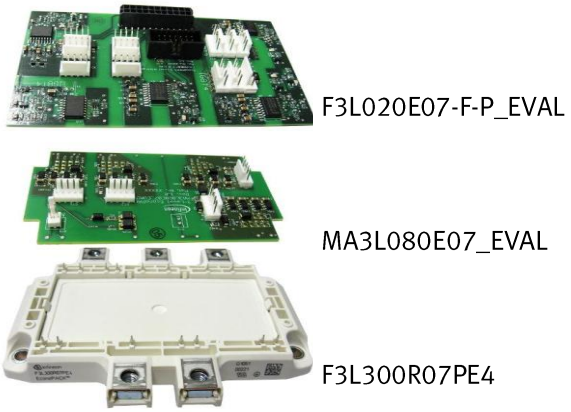
表 7: 连接端子ST6的引脚分配图

引脚名称	引脚功能
ST6-1	NCLAMP (IGBT中性点)
ST6-2	AC_OUT (IGBT 交流输出)

可选的端子ST6可以用来测量交流输出和直流母线电容中点的电压。

4 适配板的功能

如图 5 所示，MA3L080E07_EVAL 适配器板是评估套件的一部分，该评估套件用于驱动一个 3-电平的 IGBT 模块。该适配器板需能够插入 EconoPACK™ 4 模块中。

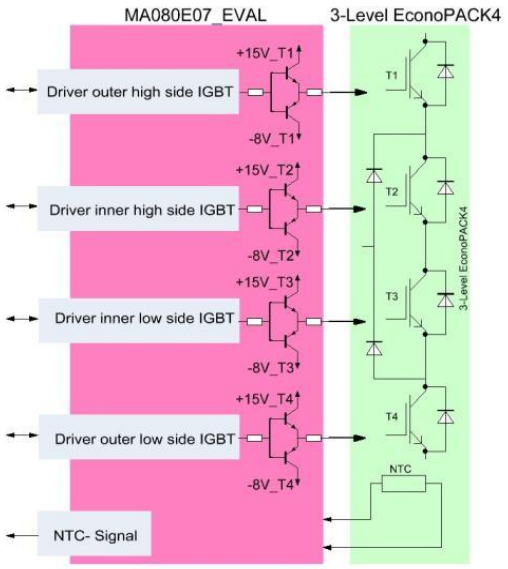


4.1.1 图 5: 评估套件的安装顺序

IGBT 模块不属于该评估套件的一部分。 若有需求，可单独购买 IGBT 模块。

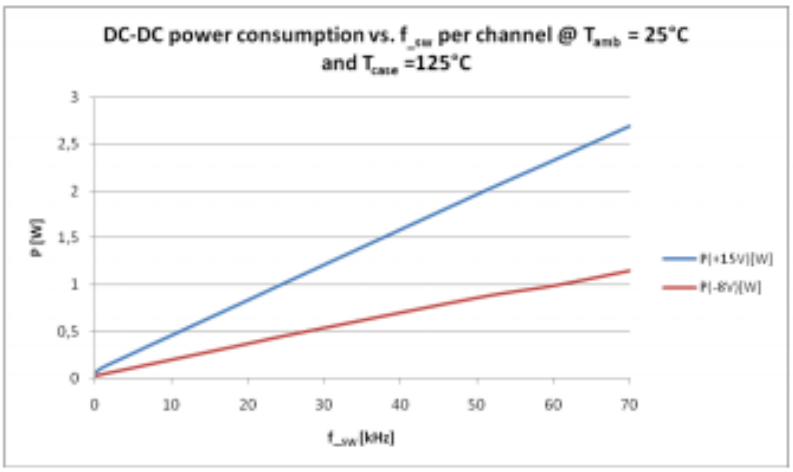
4.1 电源

如图 6，当用 F3L020E07-F-P_EVAL 驱动的时候，MA3L080E07_EVAL 需要额外的 4 个-8V/+15V 隔离的电源供电。假如 MA080E07 适配器板没有和 F3L020E07-F-P_EVAL 一起使用，只需用一个能够提供最大值为±20V 的隔离电源供电。输入的 PWM 信号电平的电压需要根据电源电压等级来确定。如果使用了一个不对称的电源电压，则 PWM 信号不能高于+15V，也不能低于-8V。使用连接端子 ST1，ST2，ST3 和 ST4 将电源连接到相应的驱动通道。



4.1.2 图 6: MA3L080E07_ EVAL 的原理框图

图 7 给出了驱动功耗-开关频率的关系示意图。所需的功耗在 Tcase = 125°C 和 Tamb = 25°C 时，需能够用于驱动 F3L300R07PE4 EconoPACK™ 4 3-电平模块中的一个 IGBT，该模块配有适配器板。该适配器板使用-8V/+15V 的电源电压。



4.1.3 图 7: 一个 3 电平 IGBT 需要的驱动功耗

4.2 功率放大器电路

图 8 所示为功率放大器电路，该电路使用两对互补配对的晶体管来放大输入的 PWM 信号。这使得能够提供给 IGBT 的驱动电流比驱动 IC 的大。其中，两个 NPN 用于开通 IGBT，两个 PNP 用于关断 IGBT。该晶体管可以提供足够的峰值电流来驱动所有的 EconoPACK™ 4 3-电平 IGBT 模块。

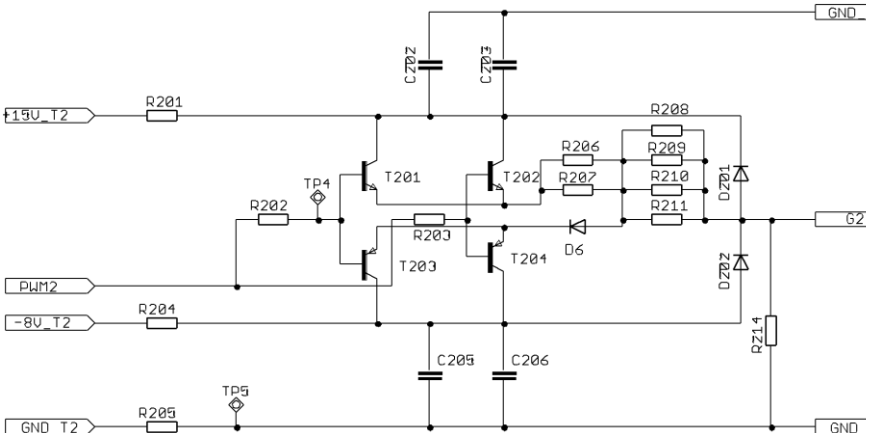


图8: 单个IGBT驱动器输出级的电路原理图

门极电阻用于连接功率放大器和 IGBT 的门极端。这些电阻需合理取值承受重复的脉冲电压，以避免器件的损坏。

4.3 监测 V_{CE} 用于短路检测；有源箝位电路

如图 9 所示，对于使用有源箝位的相应的 IGBT，利用对 V_{CE} 的监测来实现对外高侧和外低侧 IGBT 的短路保护。如果 IGBT 流过的电流高于几倍额定值的电流，晶体管会欠饱且器件两端的电压会升高。利用该现象可实现短路检测来关断 IGBT。英飞凌大功率 IGBT 模块能承受 10µs 的短路电流，在这段时间内，需要检测到短路电流且在不超过最大阻断电压情况下将 IGBT 关断。

当 MA3L080E07_EVAL 连接到 F3L020E07-F-P_EVAL 驱动板上时，外高侧和外低侧 IGBT 的 1ED020I12-F 无芯变压器驱动 IC 将分别检测和处理短路。

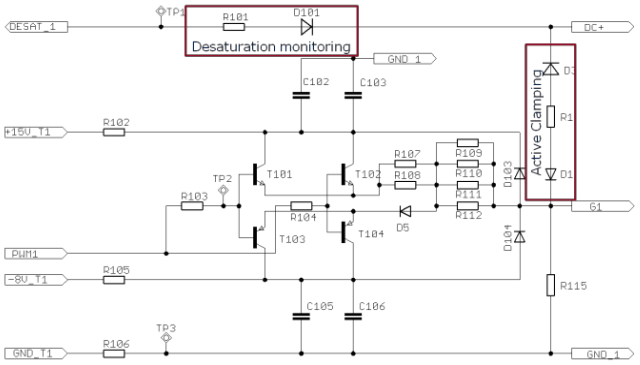


图9: 欠饱和保护和有源箝位二极管

有源箝位是一种当 IGBT 关断时，抑制关断瞬态过电压低于临界极限值的技术。有源箝位的标准用法是用一串雪崩击穿二极管 TVS[4] 连接于 IGBT 模块的辅助集电极与门极之间。当集电极与发射极之间的电压超过二极管击穿电压时，二极管电流与驱动器输出的电流叠加在一起。此时由于 IGBT 门极-发射极电压升高，晶体管保持在有源工作区且关断过程延长。dI_C/dt 变化率减缓限制了电压过冲。在二极管箝位工作限制过压的这一段时间内雪崩击穿二极管流过高峰值的电流。

如图 10a 为 F3L300R07PE4 模块在室温下，没有有源箝位功能时的典型关断波形图。图 10b 则为同图 10a 一样带有相同负载，带有有源箝位功能的波形图。

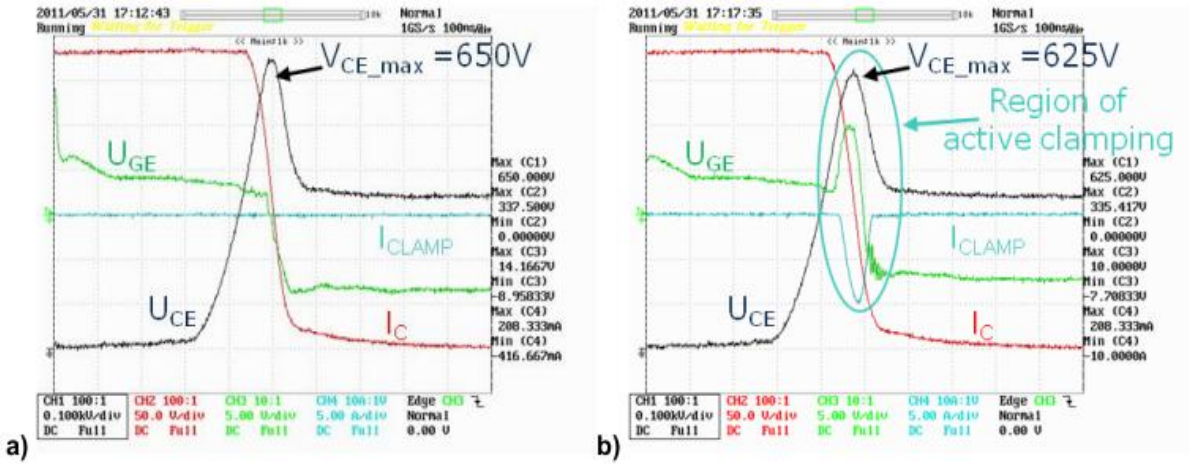


图10: a) 无有源箝位的关断波形　　b) 有有源箝位功能的关断波形

[4] TVS 瞬态电压抑制二极管

4.4 最大开关频率

驱动器的最大功率，或者外部门极电阻上的功耗导致的 PCB 最高温度，都限制了 IGBT 的开关频率。门极电阻上的功耗取决于 IGBT 的门极电荷、门极电压和 IGBT 的开关频率。由于外部门极电阻的功耗产生的热量，将导致这些电阻附近的 PCB 温度升高。温度升高不允许超过使用时 PCB 允许的工作温度，例如，FR4 标准的材料为 105°C。

利用式（1）可以计算门极电阻的功率损耗：

$$P_{dis} = P(R_{EXT}) + P(R_{INT}) = \Delta V_{out} \cdot f_s \cdot Q_G \quad (1)$$

其中：

P_{dis} = 损耗功率

$P(R_{EXT})$ =外部门极电阻损耗功率，

$P(R_{INT})$ =内部门极电阻损耗功率，

ΔV_{out} = 驱动器输出电压大小

f_s = 开关频率

Q_G =在给定门极电压范围的IGBT的门极电荷

完整的栅极电阻包括内部栅极电阻 R_{INT} 和外部栅极电阻 R_{INT}，因此在这种情况下，一部分相关的功耗会通过 DCB 直接散热到模块的基板上，而另一部分功耗将散热到外部的周围空气中或者 PCB 内，内部损耗功率 $P(R_{INT})$与外部损耗功率 $P(R_{EXT})$的比例与上述电阻 R_{INT} 和 R_{INT} 直接对应。在门极电压 -8/+15V 的工作范围内，Q_{GE} 的数据手册值减少了 20%。

基于 PCB 的温度标准，外部门极电阻的功率损耗 $P(R_{EXT})$需考虑散热的设计。

如图 11 所示，在如下条件时：T_{case} = 125°C, T_{amb} = 25°C, V_{GE} = -8V/+15V，门极电阻周围的 PCB 板温度取决于开关频率。

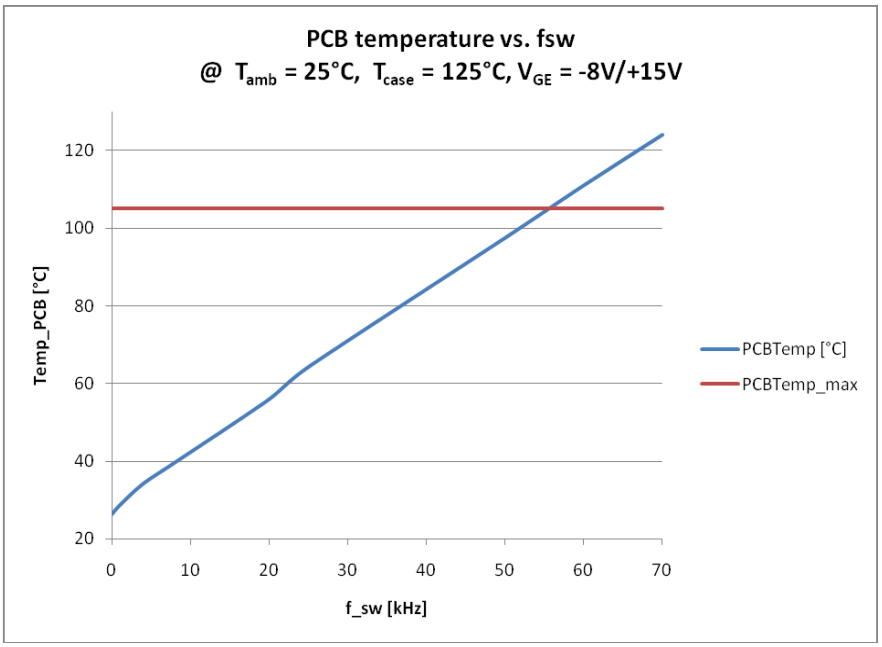


图 11: MA3L080E07_EVAL 局部区域温度趋势

5 并联

对于单个 IGBT，其工作点相对容易把握设置，但要让并联的 IGBT 模块工作在相同工作点不是一件简单的事情。这是因为，并联的 IGBT 之间在特性上有一些差别，这导致了它们之间轻微的电流不均匀。在这种情况下，最大的挑战是如何把电流不均匀减小到最小，以便提高系统效率和稳定性。
造成电流分配不均的两个主要因素：

- 并联的每个支路的阻抗不同
- 并联的每个支路输出电压不同

5.1 稳态电流不平衡

稳态电流的不平衡可能由以下引起：

- 并联支路中每个IGBT集电极-发射极的电压不同
- 主电流回路电阻的不同

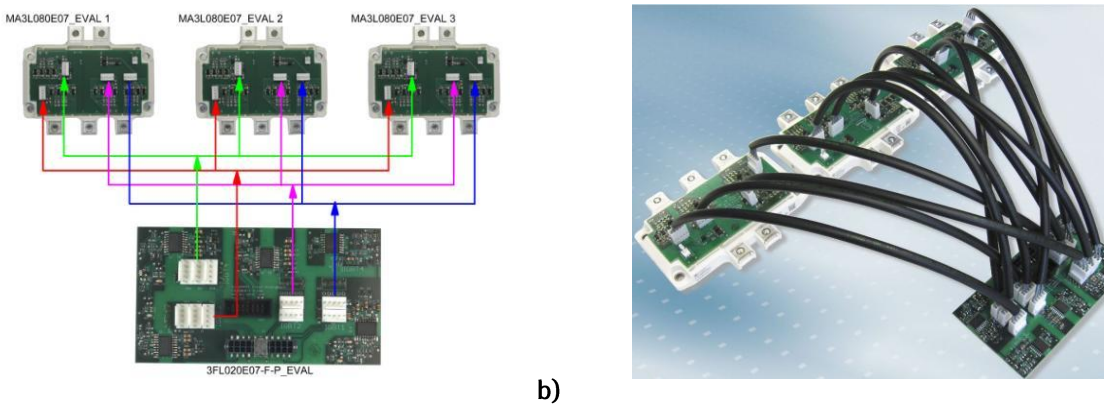
5.2 动态电流不平衡

动态电流的不平衡可能由以下引起：

- 由于每个IGBT的V_{GEth} 的不同导致传输特性的不同
- 主电流回路阻抗的不同
- IGBT模块的内部和外部换向回路的杂散电感
- 在并联支路上IGBT驱动器的输出电阻
- 转移特性 $I_C = f(V_{GE})$

5.3 与 MA3L080E07_EVAL 的并联

MA3L080E07_EVAL 主要设计来和评估驱动板 3FL020E07-F-P_EVAL 一起使用的，如图 12a 所示，3FL020E07-F-P_EVAL 最多可并联连接 3 个模块，每个模块都配备有一个 MA3L080E07 适配器板。在并联的情况下，驱动板不需要插入到适配板中，而是利用驱动板顶部的连接端子将驱动板与适配器板连接，如图 12b。



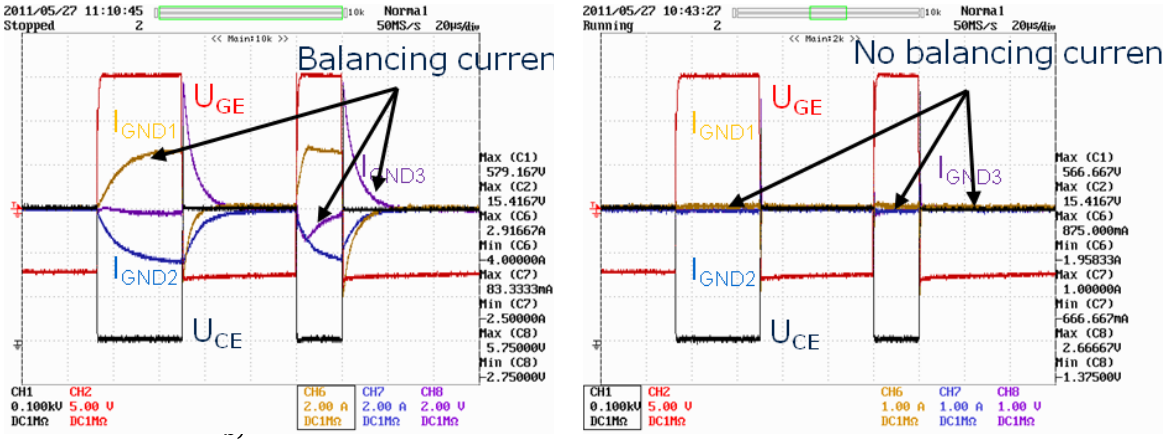
a) b)

图 12: a) 并联连接原理, b) 安装图片

图 12b 所示为三个 3-电平 IGBT 模块的并联连接。驱动板和适配器板间的连接线长度需一致，以避免三个支路门极的信号传递时间不同。IGBT 的星形连接减少了开关后流过并联模块辅助发射极之间的电流。MA3L080E07_EVAL 板在辅助发射极电流通路和其它供电电源(-8V / +15V)上串接一个 4R7 电阻，以减小流过并联模块之间的电流。
MA3L080E07 适配器板在供电电源上串接一个 4R7 去耦电阻。这避免了电流流过并联模块之间的发射极路

径。

图 13a 所示为当 MA3L080E07_EVAL 串接 0R 去耦电阻时，流经发射极路径的均衡电流。在开关切换之后所测得的平衡电流可达到 5A。如图 13b，如果是采用标准配备的适配器板，该平衡电流将会减少到几毫安。

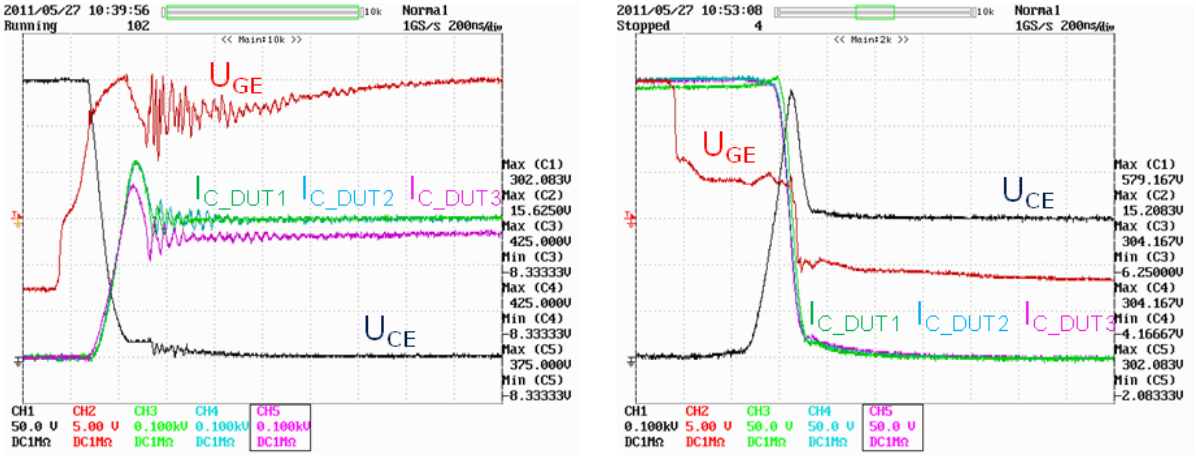


a) b)

图 13：辅助发射极电流通路中的电流分配

a) 去耦电阻0R b) 去耦电阻4R7

图 14 所示为 3 个并联的 IGBT 模型开通和关断时在交流端的电流分配



a) b)

图14：3个并联的F3L300R07PE4模块在交流端的电流分配

a) 开通 b) 关断

如表 8，E_{on} 和 E_{off} 值是通过门极电阻 $R_{gon} = R_{goff} = 2R$ 及环境温度为 25°C 时测量的。F3L300R07PE4 的 E_{on} 和 E_{off} 的数据表值为：$E_{on} = 1.5mJ$; $E_{off} = 14mJ$

表8: 3个并联的F3L300R07PE4模块的E_{on} 和 E_{off}

被测试模块	DUT1	DUT2	DUT3
E_{on} [mJ]	2.3	3.5	4
E_{off} [mJ]	14.28	13.24	14

和数据表值相比，测得的 E_{off} 值比较小，E_{on} 的变化比较大且一般都比数据表值大，然而，E_{off} 的影响是主要的。

6 通过内置 NTC 电阻监测基板温度

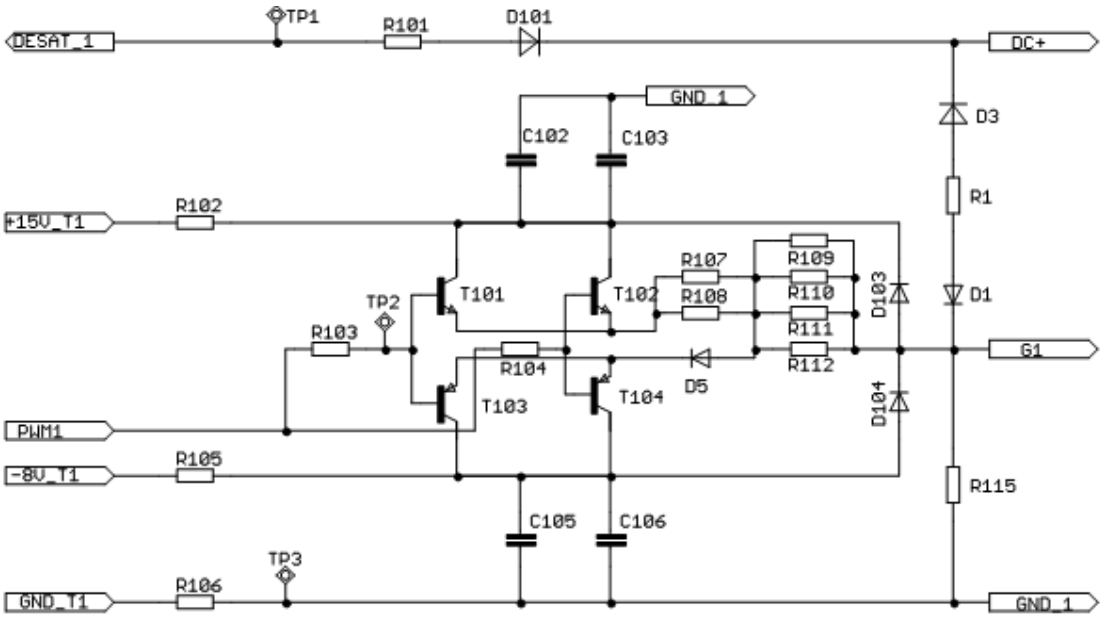
MA3L080E07_EVAL 适配器板可以监测 IGBT 外壳的温度。假如 MA3L080E07_EVAL 适配器板与 F3L020E07-F-P_EVAL 驱动板一起安装使用，可以很容易获得 NTC 的温度信号。对于与 F3L020E07-F-P_EVAL 驱动器板不同的驱动器方案，将需要一个外部电路获得 NTC 信号。对温度信息的评估处理要求采用一个外部电路，一些电路实例和 NTC 特性的详细信息可参考应用笔记：AN2009-10。
注意：不能通过检测温度来检测短路或短时过载，但是可以用于长期过载条件下以及冷却系统失效时保护模块。
建议负温度系数电阻与任一低压控制电路之间的设计满足功能性绝缘隔离。

7 电路原理图和布板

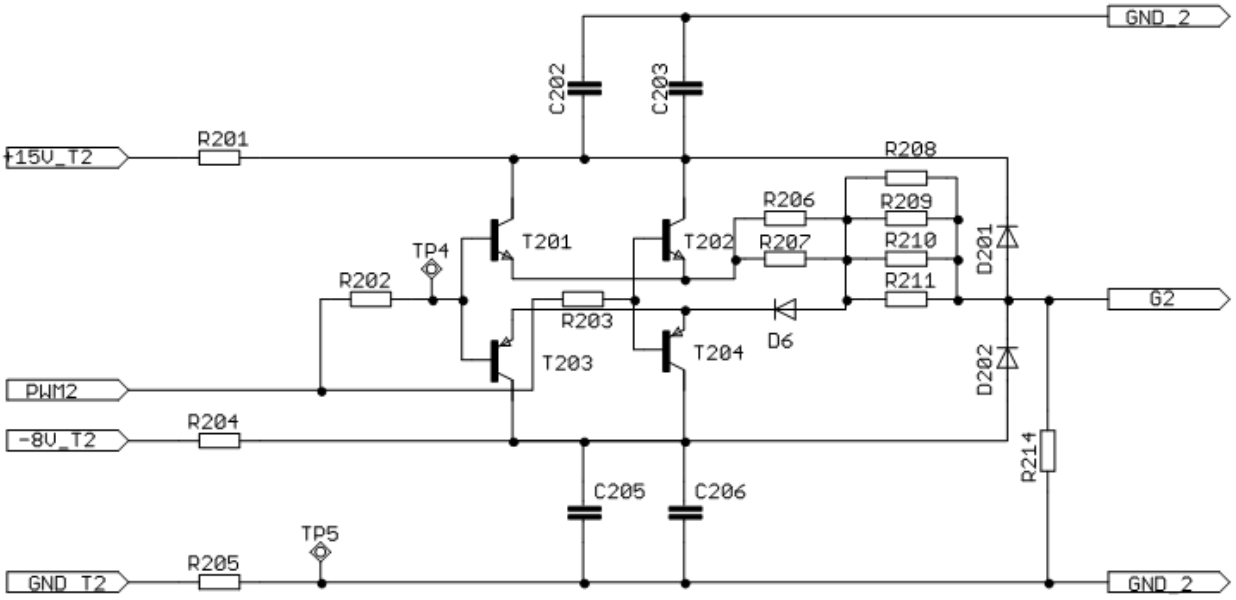
为了满足不同客户的要求，把评估板作为进一步开发和修改应用的基础，本章节给出所有必需的技术性资料，包括电路原理图，PCB 布板和器件清单等。

7.1 电路原理图

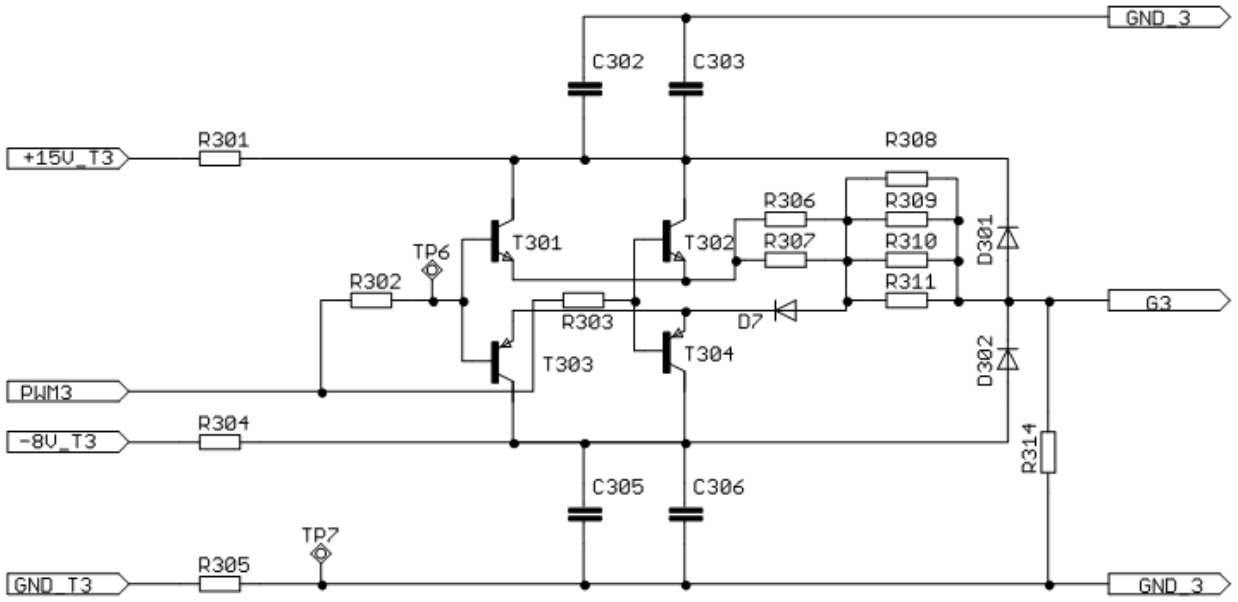
图 15 到图 18 给出了 IGBT 的驱动电路。



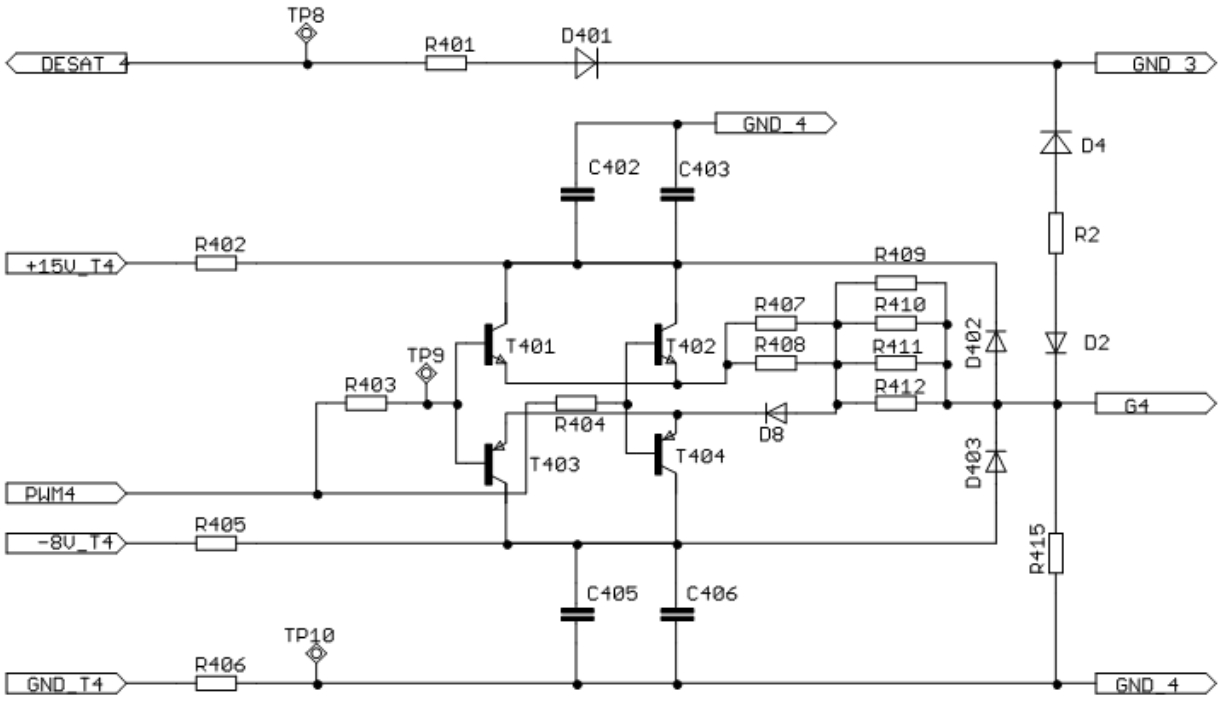
7.1.1 图 15: 外高侧 IGBT 的驱动电路



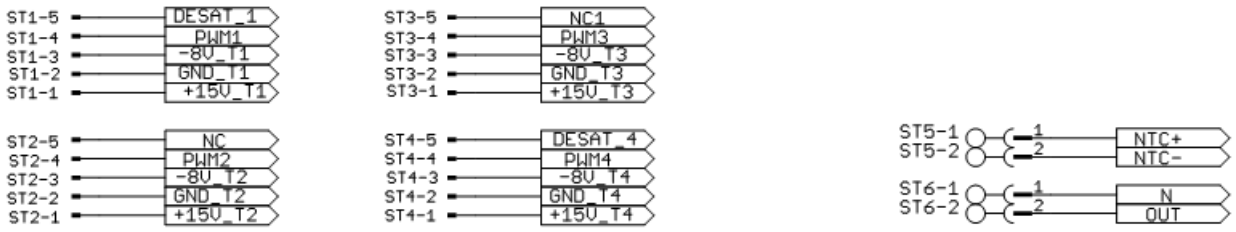
7.1.2 图 16: 内高侧 IGBT 的驱动电路



7.1.3 图 17: 内低侧 IGBT 的驱动电路

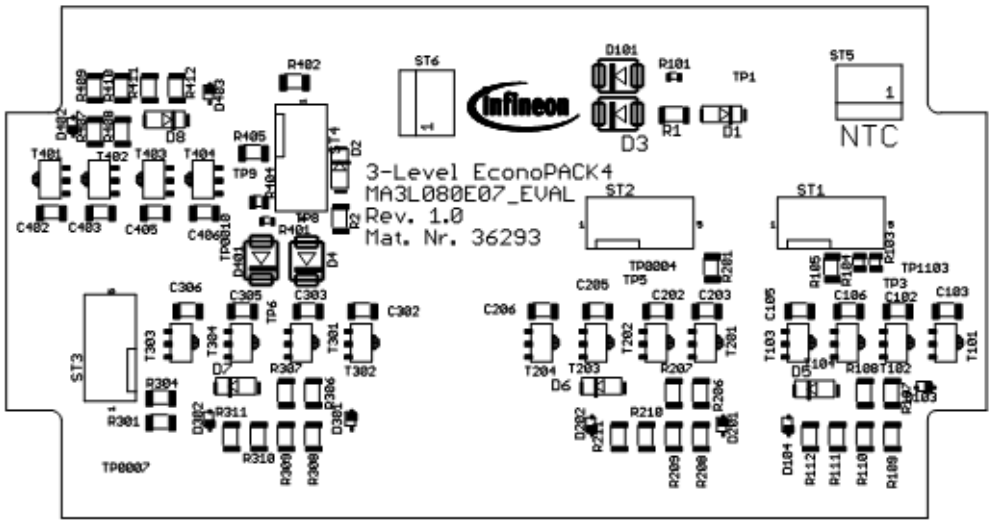


7.1.4 图 18: 外低侧 IGBT 的驱动电路

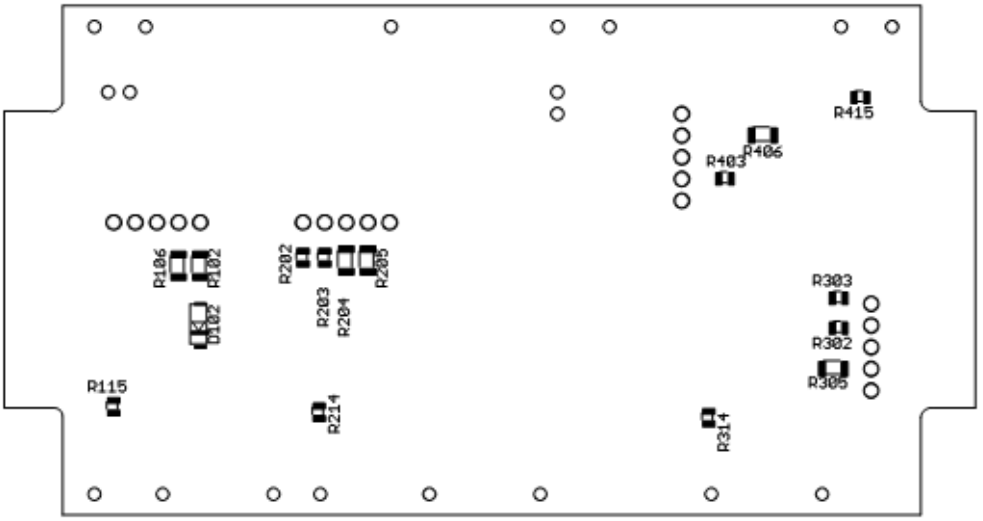


7.1.5 图 19: MA3L080E07_EVAL 连接端子的引脚说明

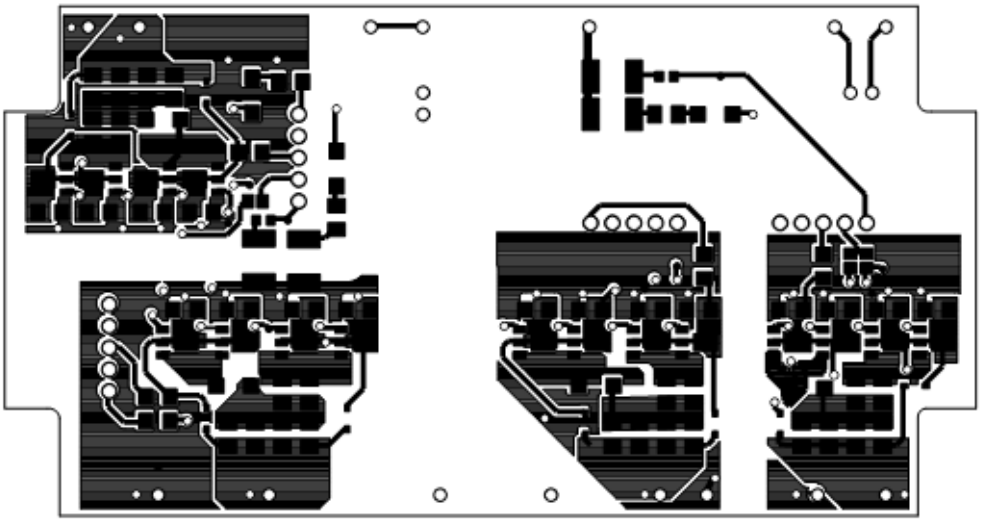
7.2 布板



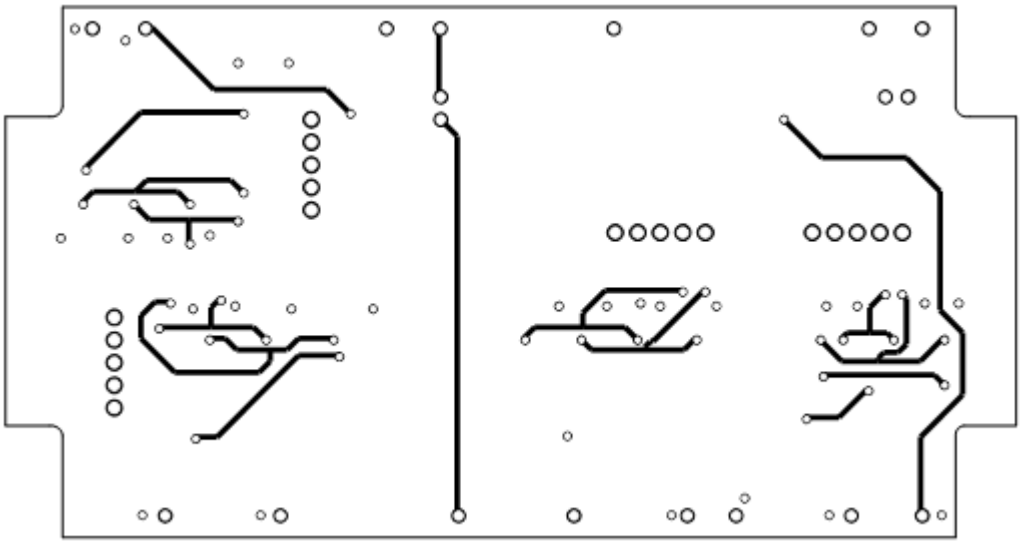
7.1.6 图 20: 元器件布局，顶层



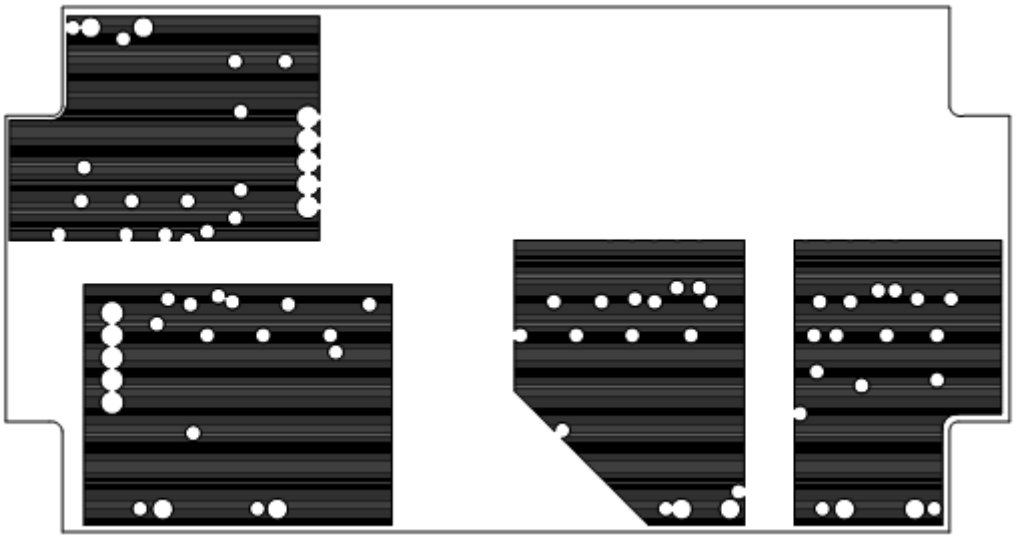
7.1.7 图 21: 元器件布局，底层



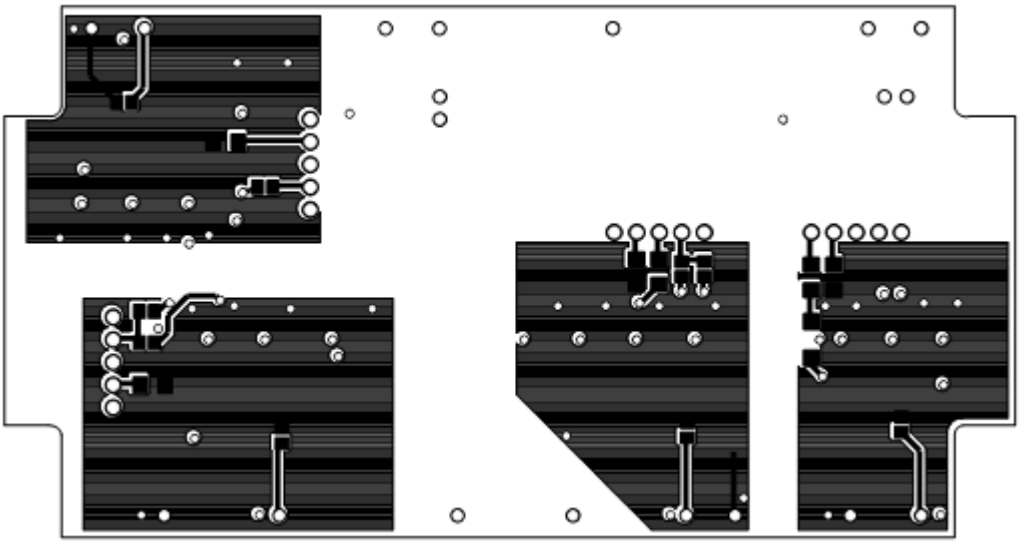
7.1.8 图 22: 电路板顶层



7.1.9 图 23: 电路板第 2 层



7.1.10 图 24: 电路板第 3 层



7.1.11 图 25: 电路板底层

8 MA3L080E07_EVAL 的材料清单

该材料清单包含器件列表和装配的清单。
电阻值的精度应该小于等于±1 %，COG 贴片电容值精度应该小于等于±5 %，X7R 贴片电容值精度应该小于等于±10 %。

类型	数值	封装	数量	标号	制造商
电阻	1R8	R-EU_1206	2	R1, R2	.
电阻	脉冲电阻，可选	R-EU_1206	24	R107,R108, R109, R110, R111, R112, R206, R207, R208, R209, R210, R211, R306, R307, R308, R309, R310, R311, R407, R408, R409, R410, R411, R412	.
电阻	4R7	R-EU_1206	12	R102, R105, R106, R201, R204, R205, R301, R304, R305, R402, R405, R406	.
电阻	1k	R-EU_0603	2	R101, R401	
电阻	39R	R-EU_0805	8	R103, R104, R202, R203, R302, R303, R403, R404	.
电阻	10k	R-EU_0805	4	R115, R214, R314, R415	.
电容器	4µ7/25V/X7R	C1206	16	C102, C103, C105, C106, C202, C203, C205, C206, C302, C303, C305, C306, C402, C403, C405, C406	Murata
二极管	ES1D	DO214AC	6	D1, D2, D5, D6, D7, D8	
二极管	P6SMB480C	SMB	2	D3, D4	
二极管	STTH112U	SOD6	2	D101, D401	.
二极管	BAT165	SOD323R	8	D103, D104, D201, D202, D301, D302, D402, D403	Infineon
双极性晶体管	ZXTN2010Z	SOT89	8	T101, T102, T201, T202, T301, T302, T401, T402	Diodes
双极性晶体管	ZXTP2012Z	SOT89	8	T103, T104, T203, T204, T303, T304, T403, T404	Diodes
连接端子	MOLEX 2223-2051	PITCH KK	4	ST1, ST2, ST3, ST4	Molex
连接端子	MOLEX 2223-2021	PITCH KK	1	ST5	Molex
连接端子	MOLEX 2223-2021	PITCH KK	N.C	ST6	Molex

9 如何订购评估适配板

每一套驱动电路评估板都有自己的IFX订购编号，可通过您的英飞凌销售合作伙伴订购。
在英飞凌网页www.infineon.com 上可以找到有关信息。
根据您的要求，电路板的CAD数据也可为您提供。使用这些数据将受本应用手册中的免责声明保护。
请您联系: WAR-IGBT.Application@infineon.com

MA3L080E07_EVAL IFX订单号: 36293
F3L020E07-F-P_EVAL IFX订单号: 36294

10 参考文献

[1] Zhang Xi, Uwe Jansen, Holger Rüthing : 'IGBT power modules utilizing new 650V IGBT3 and Emitter Controlled Diode3 chips for 3-Level converter' ISBN: 978-3-8007-3158-9 Proceedings PCIM Europe 2009 Conference

[2] AN2009-10 : 'Using the NTC inside a power electronic module', is available on Infineon's website

[3] Evaluation Driver Board for EconoPACK™ 4 3-Level modules AN2011-03