EiceDRIVER™

高压栅极驱动 IC

驱动 IC 外部放大器

应用说明

应用说明

AN2013-10

版本 1.6，2014-08-05

工业电源控制

发布日期：**2015-08-26**

发布者：
英飞凌科技股份公司
81726，德国慕尼黑

© 2015 英飞凌科技股份有限公司

保留所有权利。

法律免责声明

本应用说明中给出的信息仅作为关于使用英飞凌科技器件的建议，不得被视为就英飞凌科技器件的任何特定功能、条件或质量作出的任何说明或保证。本应用说明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，未就本应用说明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。

信息查询

若需获得关于技术、交付条款和价格的更多信息，敬请就近联系英飞凌办事处(**www.infineon.com**)。

警告

由于技术要求，器件可能包含有害物质。如对器件的成分有疑问，请就近联系英飞凌办事处。

如果可以合理地预计英飞凌的某个器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，那么在将这些器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。

修订记录：**2013-09 1.0** 版	
页码或项目	主题（上次修订以来的重大变更）
Previous Version: 1.0	

作者：**Jinsheng Song**

英飞凌科技股份公司商标

AURIX™、C166™、CanPAK™、CIPOS™、CIPURSE™、EconoPACK™、CoolMOS™、CoolSET™、CORECONTROL™、CROSSAVE™、DAVE™、DI-POL™、EasyPIM™、EconoBRIDGE™、EconoDUAL™、EconoPIM™、EconoPACK™、EiceDRIVER™、eupec™、FCOS™、HITFET™、HybridPACK™、I²RF™、ISOFACE™、IsoPACK™、MIPAQ™、ModSTACK™、my-d™、NovalithIC™、OptiMOS™、ORIGA™、POWERCODE™、PRIMARION™、PrimePACK™、PrimeSTACK™、PRO-SIL™、PROFET™、RASIC™、ReverSave™、SatRIC™、SIEGET™、SINDRION™、SIPMOS™、SmartLEWIS™、SOLID FLASH™、TEMPFET™、thinQ!™、TRENCHSTOP™、TriCore™。

其他商标

Advance Design System™ (ADS)是 Agilent Technologies 的商标。AMBA™、ARM™、MULTI-ICE™、KEIL™、PRIMECELL™、REALVIEW™、THUMB™、µVision™是 ARM Limited, UK 的商标。AUTOSAR™由 AUTOSAR 开发合作伙伴授权。Bluetooth™是 Bluetooth SIG Inc.的商标。CAT-iq™是 DECT Forum 的商标。COLOSSUS™、FirstGPS™是 Trimble Navigation Ltd.的商标。EMV™是 EMVCo, LLC (Visa Holdings Inc.)的商标。EPCOS™是 Epcos AG 的商标。FLEXGO™是 Microsoft Corporation 的商标。FlexRay™由 FlexRay Consortium 授权。HYPERTERMINAL™是 Hilgraeve Incorporated 的商标。IEC™是 Commission Electrotechnique Internationale 的商标。IrDA™是 Infrared Data Association Corporation 的商标。ISO™是 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 的商标。MATLAB™是 MathWorks, Inc.的商标。MAXIM™是 Maxim Integrated Products, Inc.的商标。MICROTEC™、NUCLEUS™是 Mentor Graphics Corporation 的商标。MIPI™是 MIPI Alliance, Inc.的商标。MIPS™是 MIPS Technologies, Inc., USA 的商标。muRata™是 MURATA MANUFACTURING CO.的商标。MICROWAVE OFFICE™ (MWO)是 Applied Wave Research Inc.的商标。OmniVision™是 OmniVision Technologies, Inc.的商标。Openwave™是 Openwave Systems Inc.的商标。RED HAT™是 Red Hat, Inc.的商标。RFMD™是 RF Micro Devices, Inc.的商标。SIRIUS™是 Sirius Satellite Radio Inc.的商标。SOLARIS™是 Sun Microsystems, Inc.的商标。SPANSION™是 Spansion LLC Ltd.的商标。Symbian™是 Symbian Software Limited.的商标。TAIYO YUDEN™是 Taiyo Yuden Co.的商标。TEAKLITE™是 CEVA, Inc.的商标。TEKTRONIX™是 Tektronix Inc.的商标。TOKO™是 TOKO KABUSHIKI KAISHA TA 的商标。UNIX™是 X/Open Company Limited.的商标。VERILOG™、PALLADIUM™是 Cadence Design Systems, Inc.的商标。VLYNQ™是 Texas Instruments Incorporated 的商标。VXWORKS™、WIND RIVER™是 WIND RIVER SYSTEMS, INC.的商标。ZETEX™是 Diodes Zetex Limited 的商标。

商标最后更新日期 2011-11-11

目录

1 简介 5
2 外部放大器基础知识 6
3 器件选择 7
4 设计注意事项 10
5 设计示例 12
6 参考资料 14

1 简介

外部放大器用于将驱动 IC 的工作范围扩展至高于最大额定值的电流水平。要达到此目的，必须使用额外元器件。例如，英飞凌1ED020I12-F2驱动 IC 具有2A 的驱动能力，但要达到高于2A 的驱动能力以用于驱动更大型的 IGBT 或用于并行驱动，最常用的解决方案就是使用外部放大器。使用此配置时，驱动 IC 将用作控制器，并采用外部放大晶体管来处理更高的电流和更大的散热量[1]。乍一看，外部放大器电路并不复杂。但在实际应用中，考虑到器件的选择（双极晶体管或 MOSFET）以及驱动 IC 功能（例如箝位、DESAT 等等）的影响，往往会出现一些问题。本应用说明将专门针对上述问题提供一些应用提示和建议。
尽管1ED020I12-F2驱动 IC 主要用于这些示例应用，但本应用说明也适用于除1ED-SRC 以外的大多数英飞凌 EiceDRIVER™驱动 IC 系列（1ED、2ED 和6ED）。

2 外部放大器基础知识

典型的外部放大器电路通常由添加到驱动 IC 输出的分立 NPN/PNP 互补输出级构成。图1显示了一种可能的实施方案。其中，NPN 和 PNP 放大晶体管应具有较快的开关速度，以及足够大的电流增益，从而提供所需的峰值输出电流。图1所示的电路描述了与英飞凌1ED020I12-F2驱动 IC 配合使用的外部输出放大器。

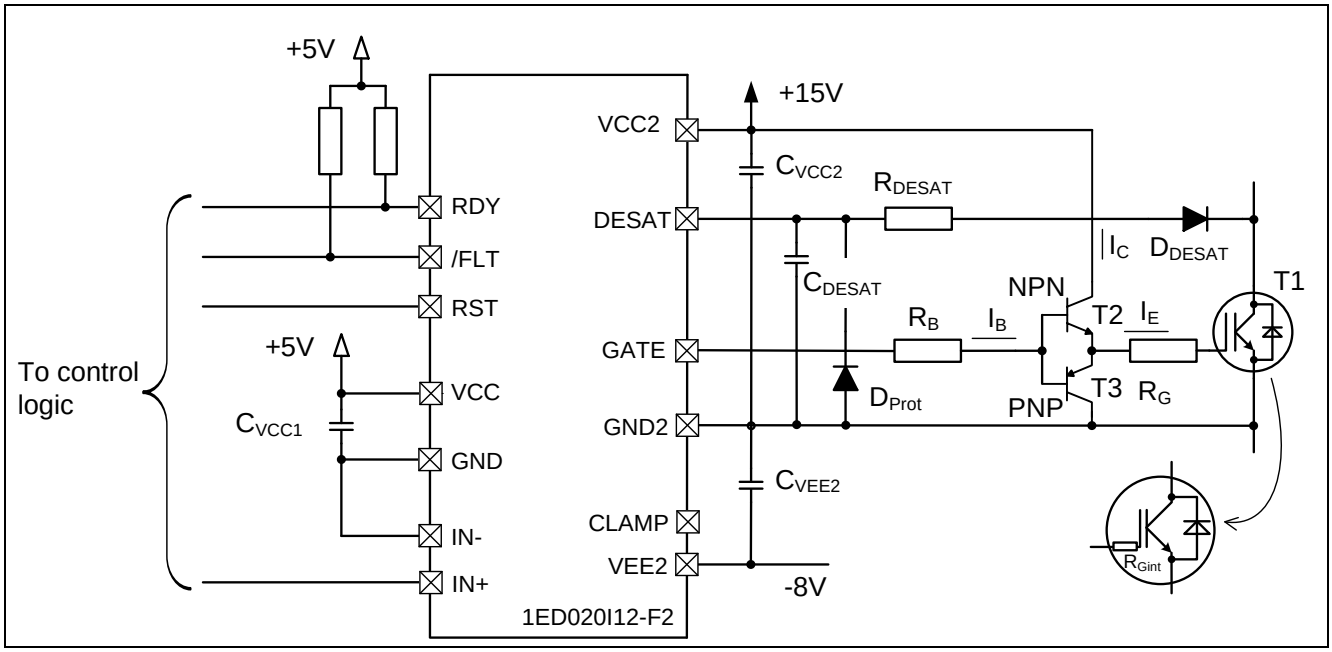


图1　　用于驱动大型 IGBT 模块的示例电路（驱动 IC 双极电源）

其中，NPN 晶体管 T2负责开启负载 T1（IGBT 或 IGBT 模块），PNP 晶体管 T3则负责将其关断。
基本概念非常简单：1ED020I12-F2驱动 IC 在外部 NPN 放大晶体管开启期间将其输出电流馈入放大晶体管的基极端子。该放大晶体管随即将此基极电流 I_B 乘以放大晶体管的直流电流增益(h_{FE})，从而在集电极获得高得多的电流 I_C。公式(1)和(2)提供了通过 I_B 推导 I_C 和 I_E 的方法：

$$I_C = h_{FE} \cdot I_B \quad (1)$$

$$I_E = I_C + I_B = (1 + h_{FE}) \cdot I_B \quad (2)$$

最终，发射极电流 I_E 将驱动负载 T1（IGBT 或 IGBT 模块）。一般情况下，I_C 在驱动负载时远远大于 I_B ($I_C >> I_B$)，因此在本应用说明中，我们将使用 I_C 代替 I_E。在关断期间，PNP 晶体管将按照正常方式工作。
使用外部放大器时，要求驱动 IC 提供的输出电流将会大幅减小，减小倍数为放大晶体管的直流电流增益系数。现在，大部分功耗负担落在放大晶体管，而不是驱动 IC 上。
栅极电阻器 R_G 可根据功率器件和应用要求调整至合适的大小，基极电阻器 R_B 则可根据放大晶体管的增益调整为提供需要的基极电流。以上电阻器具有适合重复性脉冲功率的额定值，以免发生性能退化。在一些应用中，可能还要求 R_G 和 R_B 具有单独的开启电阻和关断电阻。在本应用说明中，为突出所选主题的内容，我们将使用单一的 R_G 和 R_B 电阻值。

3 器件选择

根据经验，放大晶体管 T2和 T3的大小需要确保提供足够大的集电极峰值电流 I_{Cpk} 以驱动负载 T1。此峰值电流可以使用下面所列的简单公式进行计算：

$$I_{Cpk} = \frac{\Delta V_{out}}{R_{Gint} + R_G} \quad (3)$$

$$I_{CM} > I_{Cpk} \quad (4)$$

在此公式中，ΔV_{out} 是沿充电/放电路径的电压降。一般而言，单极电源的ΔV_{out} 为 V_{CC2}，对于双极电源则为 V_{CC2}-V_{EE2}。R_{Gint} 是 IGBT 的内部栅极电阻，R_G 是外部放大器与 IGBT 之间的栅极电阻，而 I_{CM} 则是允许的最大峰值脉冲电流。
在现实中，外部放大器电路的输出电流上限值往往受限于放大晶体管（T2或 T3）的最大功耗和最高结温。因此必须针对每个单独的电路设计检查和验证放大晶体管的功耗和最大额定值。为简化基于非恒定栅极电流计算瞬态特性的过程，可借助以下公式(5)，使用标准化应用参数快速进行功耗检查：

$$P_D = \frac{1}{2}\Delta V_{out} \cdot f_S \cdot Q_G - (R_{Gint} + R_G) \cdot (f_S \cdot Q_G)^2 \quad (5)$$

其中，P_D 是双极晶体管的功耗，f_S 是开关频率，Q_G 是 IGBT 的栅极电荷。该公式的第一部分是在电源到 IGBT 栅极的路径上消耗的总功率。第二部分则是由栅极电阻器消耗的功率，二者的差值即为放大晶体管所消耗的功率。
计算出 P_D 以后，即可使用公式(6)和(7)推导出放大晶体管的结温：

$$T_J = T_A + R_{THJA} \cdot P_D \quad (6)$$

$$T_J < T_{Jmax} \quad (7)$$

T_A 是环境温度，R_{THJA} 是结与环境之间的热阻，而 T_{Jmax} 则是所选双极晶体管的最大容许结温。计算得出的放大晶体管结温 T_J 必须小于 T_{Jmax}，否则就会损坏外部放大器。
以上仅仅提供了一种描述热特性的简单方法。有关对大功耗 PCB 上的 SMD 元器件进行热建模的更多详情，请参考相关资料，如[2]等。

为使得外部放大器的输出在较低的电流条件下紧跟驱动 IC 输出（以保持轨对轨能力），可能有必要在放大晶体管的基极到发射极之间添加电阻器(R_E)（如图2所示）。建议的值范围为50Ω 至100Ω 之间。有时，当外部放大器需要使用具有极高增益的晶体管时，使用经过仔细调试的 R_E 可能有助于避免输出级出现振荡。

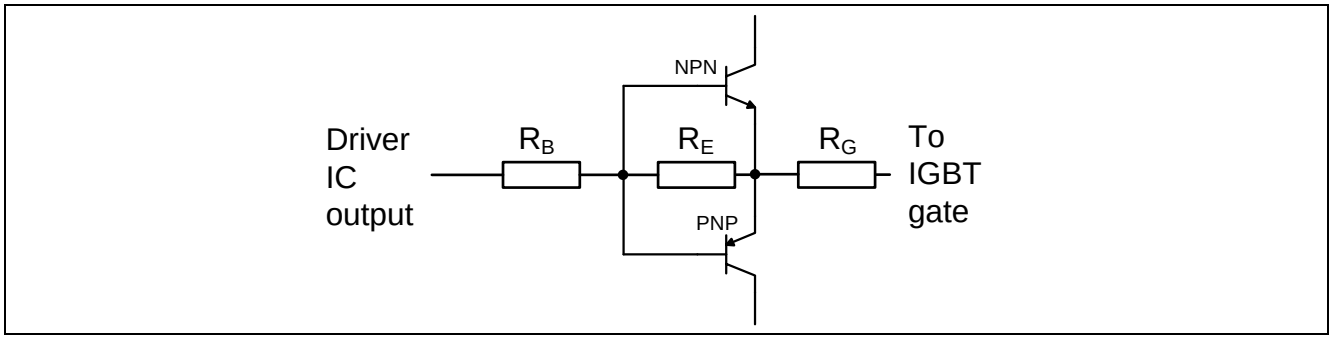


图2　　放大器级替代配置

就本质而言，MOSFET 也可以用于外部放大器，并通过增加额外的反相器来解决极性问题（理论上也可以通过使用驱动 IC 侧的反相输入管脚来解决极性问题，但这样一来，使用1ED020I12-F2设计栅极驱动时将无法使用 DESAT 和有源米勒箝位功能），如图3所示。在此示例中，比较双极晶体管与 MOSFET 之间的差别时，需要注意几点：

1) 双极解决方案在输出 $V_{CE(sat)}$时存在电压损耗，而 MOSFET 解决方案则几乎可以保持轨对轨输出。
2) 在使用双极电源时，MOSFET 的击穿电压限值（对 V_{GS} 而言约为20V）可能成为问题。
3) 使用 MOSFET 的放大器很容易被直通短路，特别是当电源电压超过15V 时。此外，MOSFET 的阈值电压 Vth 具有负温度系数，因此在较高温度下更容易直通短路。在将 MOSFET 用于外部放大器时，应重视并慎重考虑这一问题。
4) 开关速度：在外部放大器电路中，双极晶体管的开关速度通常慢于 MOSFET。
5) 放大器输入级承受静电放电和电压浪涌的坚固性：栅极氧化层对比 PN 结。
6) 最后但同样重要的一点，成本。

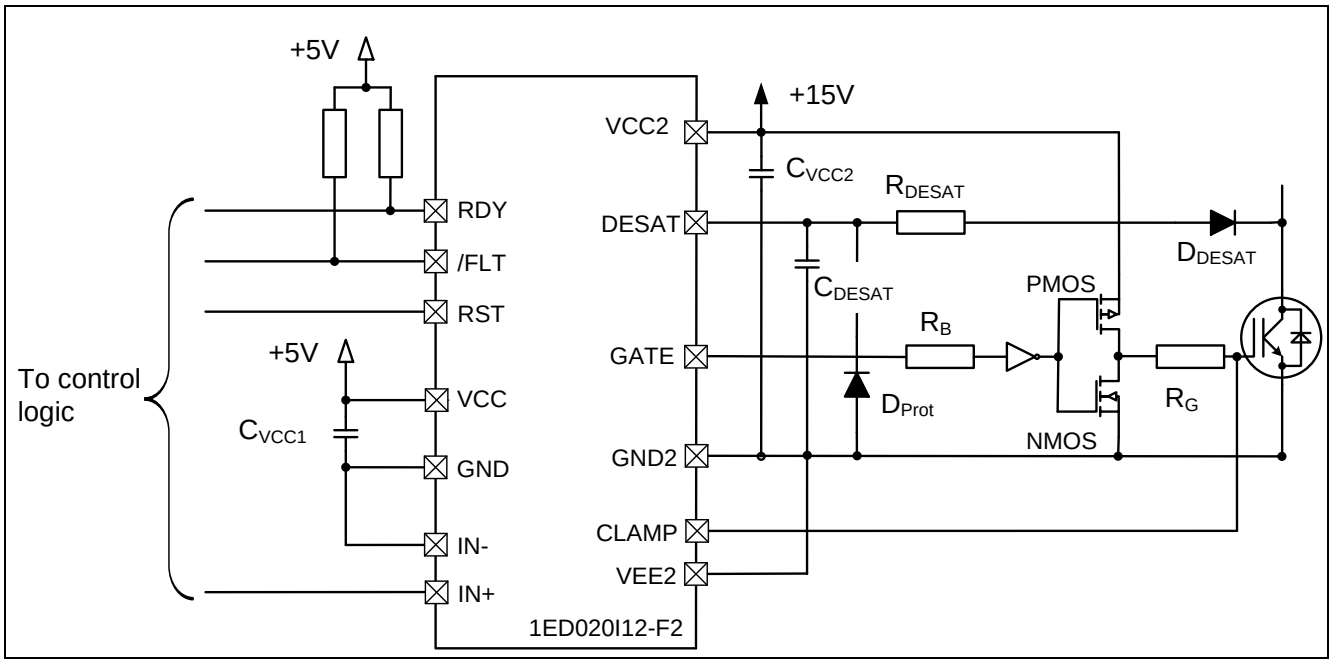


图3 使用 **MOSFET** 的外部放大器示例电路（驱动 **IC** 单极电源）

4 设计注意事项

应用外部放大器时，会对应用电路以及驱动 IC 的功能造成一定的影响，因此，下面列出了几点设计注意事项供参考：

1) 可以将1ED020I12-F2系列的有源米勒箝位功能与外部放大器配合使用（主要用于单极电源的情形）。当米勒电流大于驱动 IC 的最大箝位能力（对1ED020I12-F2而言为2A）时，需要在箝位路径（IGBT 栅极与 CLAMP 管脚之间）上增加吸收路径。放大晶体管自身也具备吸收能力，但由于栅极电阻器(R_G)的存在，此吸收能力可能不够用。图4提供关于如何实施此额外吸收路径的示例。其中，晶体管 PNP_CLAMP 应具备与外部放大器的 PNP 晶体管相同的电流能力。R_{B_CLAMP} 是晶体管 PNP_CLAMP 的基极电阻器，其大小可根据晶体管 PNP_CLAMP 进行调整。R_P 用作起安全作用的上拉电阻器，建议的电阻值为10kΩ 级别（以便将流经 R_P 的电流限制到 mA 级别，达到节能的目的）。

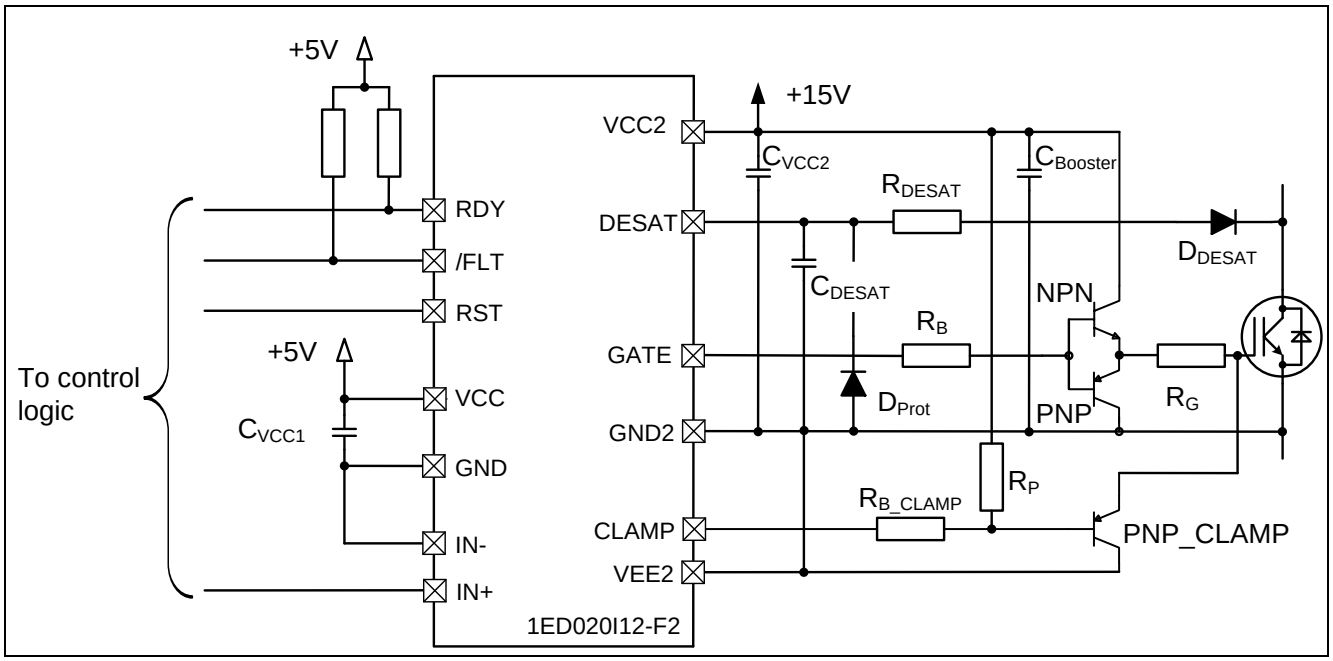


图4 外部放大器与有源米勒箝位功能示例电路（驱动 IC 单极电源）

2) 在使用双极电源时，VEE2的电势可能与 GND2不同，而是为负值。这种情形下，一般不需要使用有源米勒箝位功能。直接将 CLAMP 管脚保持开路状态即可（如图1所示）。由于电压阶跃(ΔV_{out} = VCC2 – VEE2)发生了变化，因此需要相应地调整 Rg 和 R_B 的电阻值。

3) 如果需要将双极电源与有源米勒箝位功能配合使用，则需要根据不同的 VEE2值对额外的吸收路径（如图4中所示的 PNP_CLAMP 和 R_{B_CLMAP}）进行相应的调整。请注意，对于英飞凌1ED 驱动 IC 系列而言，由于 CLAMP 管脚是参考于 VEE2的，因此可以实现这一配置。

4) DESAT（退饱和检测）功能可以正常使用，并且不受外部放大器影响。

5) 1ED020I12-FT/BT 驱动 IC 的 TLTO（两级关断）功能可正常用于双极外部放大器，但不能用于使用 MOSFET 的外部放大器。

6) 电源和去耦电容器 C_{VCC2}（如图1所示）需要根据外部放大器进行调整，以确保电源电压的质量，使其足以支持三个主要功耗部分：驱动 IC、负载(IGBT)和外部放大器。也可以使用单独的去耦电容器解决方案来优化该设计：C_{VCC2}需靠近驱动 IC，$C_{BOOSTER}$ 需靠近外部放大器晶体管（如图4所示）。

7) 在布局时，应避免引入过大的寄生电感，尤其要避免引入寄生电容（例如缩短回路长度，避免在高 dv/dt 路径与接地路径之间出现重叠等等）。

5 设计示例

为了更全面地理解该示例，可以考虑在下面的示例中使用真实数据进行计算。使用图1作为参考设计，1ED020I12-F2为驱动 IC。使用英飞凌600A IGBT 模块 FZ600R12KP4作为负载，该负载可使用10A 峰值电流正常驱动。对于外部放大器，使用 ZXTN2031F [3]作为 NPN 晶体管，ZXTP2025F [4]作为 PNP 晶体管，二者为配对晶体管，并具有相似的参数。

工作条件如下：

使用双极电源驱动负载时的电压阶跃：ΔV_{out} = 15.0V – (-8.0V) = 23.0V

开关频率：f_s = 5kHz

环境温度：T_A = 80°C

根据 IGBT 模块 FZ600R12KP4 的数据表[5]：
栅极电荷：Q_G = 5.6µC（针对-15V…+15V 范围，-8V…+15V 范围时将小于该数值）
R_{Gint} = 1.3Ω
R_G = 1.2Ω

根据驱动 IC 1ED020I12-F2 的数据表[6]：
峰值输出电流：I_{OUTH} = I_{OUTL} = 2A (ΔV_{out} = 23V)

根据双极晶体管的数据表：
集电极－发射极击穿电压：$V_{(BR)CEO}$ = 50V > ΔV_{out} (23V)
最大容许结温：T_{Jmax} = 150 °C
热阻：R_{THJA} = 125 °C/W

对于 ZXTN2031F：
峰值脉冲电流：I_{CM} = 12A
静态正向电流传输比：h_{FE} = 80（使用最小值）
对于 ZXTP2025F：
峰值脉冲电流：I_{CM} = 10A
静态正向电流传输比：h_{FE} = 70（使用最小值）

首先说明 NPN 晶体管 ZXTN2031F 的计算过程，它将负责开启 IGBT：
根据公式(3)，I_{Cpk} 的计算结果如下：
$I_{Cpk} = \Delta V_{out} / (R_{Gint} + R_G) = 23V / (1.3\Omega + 1.2\Omega) = 9.2A < I_{CM}$ (12A)
根据公式(5)，放大器晶体管的功耗如下：

$$P_D = ½ \cdot \Delta V_{out} \cdot f_S \cdot Q_G – (R_{Gint} + R_G) \cdot (f_S \cdot Q_G)^2$$
$$= ½ \cdot 23V \cdot 5kHz \cdot 5.6\mu C – (1.3\Omega + 1.2\Omega) \cdot (5kHz \cdot 5.6\mu C)^2$$
$$= 322mW – 70mW = 252mW$$
$$T_J = T_A + R_{THJA} \cdot P_D$$
$$= 80\,°C + 125°C/W \cdot 252mW$$
$$= 80\,°C + 31.5\,°C$$
$$=105.7\,°C < T_{Jmax}\ (150°C)$$

很显然，在上述工作条件下，峰值电流和结温都在最大额定值范围以内，这表明此示例应用将在安全范围内运行。

现在考虑如何调整基极电阻器 R_B。此电阻器用于确定基极电流，以便根据放大晶体管的电流增益 h_{FE} 来控制集电极电流。由于开关过程中的关键时间点是峰值电流时间点，因此我们使用 I_{Cpk} 值，根据公式(1)来推导最小基极电阻要求：

$I_B = I_C / h_{FE}$
$= 9.2A / 80$
$= 0.115A$

在驱动 IC 侧，可通过将电压阶跃ΔV_{out} 除以驱动 IC 额定峰值电流来近似计算驱动 IC 的输出电阻 $R_{DS(on)}$：

$R_{DS(on)} = \Delta V_{out} / I_{OUTH}$
$= 23V / 2A$
$= 11.5\Omega$

在开启时（峰值电流时刻），电压阶跃ΔVout 将应用于驱动 IC 输出电阻 $R_{DS(on)}$和基极电阻 R_B。现在，可按以下公式计算最小基极电阻 R_B：

$R_{B_min} = \Delta V_{out} / I_B – R_{DS(on)}$
$= 23V / 0.115A – 11.5\Omega$
$= 188.5\Omega$

按照相同的步骤和标准计算 PNP 晶体管 ZXTN2025F。
在使用单极电源和有源米勒箝位功能的情形下（如图4所示），需要根据新的电压阶跃(ΔV = VCC2)来调整计算过程。箝位晶体管 PNP_CLAMP 的调整过程和计算方式与外部放大器的 PNP 晶体管类似。
关于驱动 IC 本身的功耗，请参考1ED 系列应用说明的相应章节：技术说明[7]。

6 参考资料

[1] Application Note No. 159: Low-Cost, Linear Mode, 71 % Efficiency 380 mA LED Driver Demo using the BCR401R, BCX68 & LUXEON® Rebel LEDs
http://www.infineon.com/dgdl/AN159.pdf?folderId=db3a304412b407950112b40d9afd0e79&fileId=db3a30431ddc9372011dde4d59e6001a

[2] Linear SuperpositionSpeeds Thermal Modeling - Powerelectronics
http://powerelectronics.com/site-files/powerelectronics.com/files/archive/powerelectronics.com/thermal_management/thermal_management_simulation/701PET21.pdf

[3] ZXTN2031F Medium power transistor datasheet - Diodes, Inc.
http://www.diodes.com/datasheets/ZXTN2031F.pdf

[4] ZXTN2025F Medium power transistor datasheet - Diodes, Inc.c.
http://www.diodes.com/datasheets/ZXTP2025F.pdf

[5] Datasheet / Datenblatt IGBT-Module FZ600R12KP4 - Infineon
http://www.infineon.com/dgdl/ds_fz600r12kp4_2_2_de-en.pdf?folderId=db3a304412b407950112b4095b0601e3&fileId=db3a304320896aa20120b345f54276c4

[6] Datasheet / Datenblatt Driver IC 1ED020I12-F2 - Infineon
http://www.infineon.com/dgdl/Datasheet_1ED020I12-F2_V2_final.pdf?folderId=db3a30432b16d655012b33fafdac11e2&fileId=db3a304330f68606013122ce5f3649cb

[7] Application Note 1ED family: Technical description
http://www.infineon.com/dgdl/Infineon+-+Application+Note+1ED+family+-+Technical+description+09-12.pdf?folderId=db3a3043353fdc1601355231e5194784&fileId=db3a304336ca04c90136e958eed2361d

www.infineon.com

英飞凌科技股份公司发布