

# LM2587,LM3411

*Application Note 1095 Design of Isolated Converters Using Simple Switchers*



Literature Number: ZHCA126

# 利用Simple Switchers设计隔离式转换器

美国国家半导体公司  
应用注释 1095  
Ravindra Ambatipudi  
1998年8月



## 引言

在两个相关系统之间需要隔离式转换器来提供电气隔离。在特定应用中要求电源和负载之间隔离以满足安全规格，例如UL1459，必须为电信应用提供500V的隔离。

必须在电源转换器的所有输入级和输出级之间提供隔离。因而，必须在电源级和控制环路上提供隔离。通常会用变压器来实现电源级隔离。经常使用一个光耦（也称做光隔离器）来实现反馈/控制环路中的隔离。

变压器非常适合于电源级隔离，众所周知它们能在两个系统之间提供良好的绝缘势垒，并能提供多个输出。变压器也能提升和降低输入电压。

在隔离式开关电源中，广泛应用光耦来隔离反馈环路。光耦可提供非常好的隔离性能，将电路复杂性降到最低，同时可降低成本。使用光耦的一个缺点就是它的低带宽。由于在转换器的控制环路增益中引入额外的极点会减少转换器的带宽。在传统的低频转换器中这不是一个问题。然而，在现代高频转换器中，光耦对控制环路的带宽和速度形成了严重的制约。

光耦的另一个缺点就是其电流传输比（CTR）在单个光耦器件之间有差异。定义CTR或者耦合效率为光隔离式晶体管集电极电流与二极管电流的比值。环路增益与CTR增益成正比。因此，CTR的较大变化会对控制环路设计施加形成诸多限制。

## 部分I. 光隔离式电源的设计

### 设计方法

随着SIMPLE SWITCHER™以及与之相关的“Switchers Made Simple”软件（SMS4.2.1, SMS3.3）的出现，非隔离转换器的设计已变得非常简单。然而，将非隔离转换器修改为隔离式转换器也非常容易。光隔离转换器的设计流程如下所示：

**步骤1：**使用SMS4.2.1/3.3为一个反激转换器设定电源级器件。“Switchers Made Simple”软件可用于设计变压器、输入/输出电容、输出整流器和箝位网络等。

**步骤2：**通过引入一个次端控制器（例如LM3411）和用于反馈隔离的光隔离器来修改反馈/控制环路。再则，禁止Simple Switcher内置基准源的工作。

### 电源级器件的设计

设计流程的第一步就是将转换器的规格指标（如表1所示）输入到“Switchers Made Simple”软件的输入菜单中。利用这些规格，软件可以设计电源级的器件。以下实例就是基于Switchers Made Simple 4.2.1（SMS4.2.1）和相关的LM258X反激转换器。

如果键入的输入规格如图1所示，SMS4.2将会设计出一个降压型转换器，而非一个反激转换器。当输出电压低于输入电压电平时，为了设计一个反激转换器，有必要先输入一个虚拟的输出电压值，满足大于输入电压 $V_{IN}$ （最小值）即可。软件将会设计一个反激转换器。现在，回到主菜单，改变输入要求。将虚拟的输出电压值改为所要求的电压值。如果输出电压大于最小的输入电压，就不必再执行这些多余的步骤。

表1. 隔离式电源转换器规格（实例）

输入电压	10V 至 30V
输出电压	5V
负载（最大值）	2A
工作温度范围	0°C 至 70°C

```

Num Outputs = 1
VIN Min = 10.00V
VIN Max = 30.00V
VOUT1 = 5.00V
IOUT1 Max = 2.00A
VRIPPLE1 = 0.10V
TA Min = 0.00°C
TA Max = 70.00°C
  
```

Ok Cancel

10015101

图1. 在SMS4.2.1的输入菜单中键入转换器的规格指标

修改器件值、输入指标等等直到满足要求。软件会设计所有的电源级器件，并给出供应商的名单。在如图2所示的实例中，手工输入器件值可以生成一个表面贴装器件设计。

## 部分I. 光隔离式电源的设计 (续)

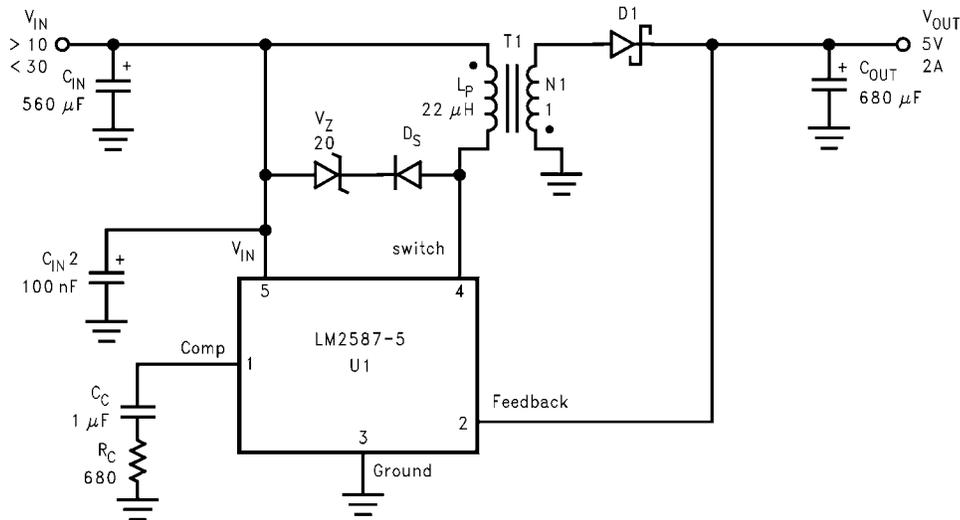
变压器的隔离电压并没有在软件中列出。通常在变压器制造商目录中提及隔离电压值。选择一个考虑到隔离电压值

的变压器。列于LM258X Simple Switcher数据手册中的任何一款变压器都满足UL1459规格，并适合于电信应用。

Input Parameters		Operating Values		Component Values	
$V_{IN}$ Min	= 10.00V	Mode	= Cont	Pri L	= 22.00 $\mu$ H
$V_{IN}$ Max	= 30.00V	Frequency	= 100.00 kHz	Leakage L	= 470.00 nH
$V_{OUT1}$	= 5.00V	Duty Cycle	= 38.68%	N1 sec/pri	= 1.00
$I_{OUT1}$ Max	= 2.00A	IC $I_{PK}$ Max	= 5.00A	$V_Z$	= 20.00V
$V_{RIPPLE1}$	= 0.10V	IC $I_{PK}$	= 4.04A	$C_{IN}$	= 560.00 $\mu$ F
$T_A$ Min	= 0.00°C	L $I_{PP}$	= 1.56A	$C_{IN}$ ESR	= 40.00 m $\Omega$
$T_A$ Max	= 70.00°C	Efficiency	= 72.88%	$C_C$	= 1.00 $\mu$ F
		IC Pd	= 1.71W	$R_C$	= 1.00 k $\Omega$
		IC $T_J$	= 106.21°C	IC Heatsnk	= 19.23°C/W
		Diode1 Pd	= 1.00W	Pri DCR	= 35.84 m $\Omega$
		Xformer Pd	= 0.32W	$C_{OUT1}$	= 660.00 $\mu$ F
		Zener Pd	= 0.49W	$C_{OUT1}$ ESR	= 24.00 m $\Omega$
		$I_{IN}$ Avg	= 1.37A		
		Cross Freq	= 2.40 kHz		
		Phase Marg	= 89.78 Deg		
		$V_{OUT1}$ P-P	= 96.61 mV		

10015102

图2. SMS4.2.1的主屏幕总结了设计



10015103

图3. 利用SMS4.2.1设计电路

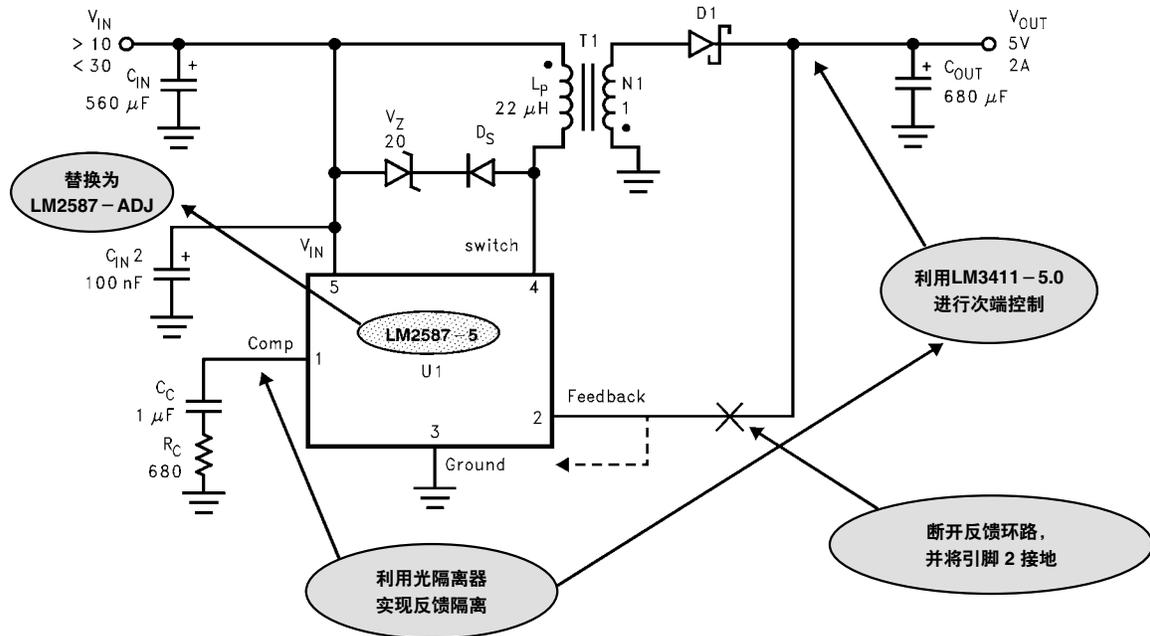
软件会产生非隔离式转换器的电路图，如图3所示。这是设计流程的第一个步骤。

## 部分I. 光隔离式电源的设计 (续)

### 为隔离式设计而修改控制环路

设计光隔离式转换器的第二步，是利用一个诸如LM3411的次端控制器来修改反馈环路，以及使用一个光隔离体来实

现反馈回路的隔离。用光耦来连接次端控制器和补偿引脚，从而完成反馈环路的隔离。电源级的隔离是由变压器来提供的。



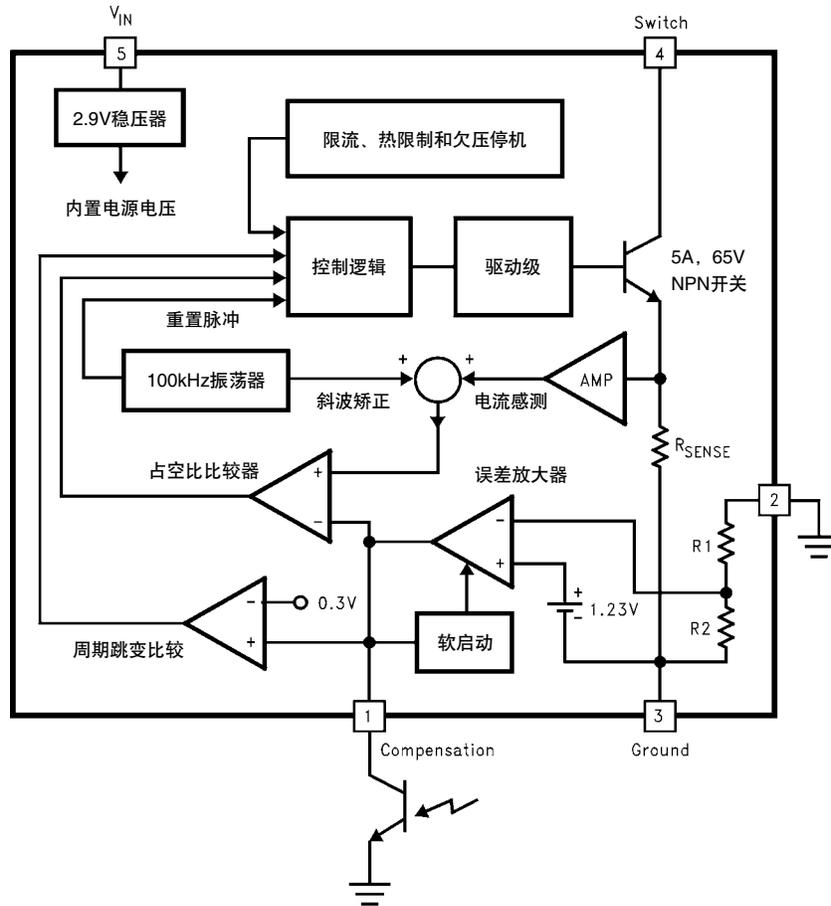
10015104

图4. 将非隔离式反激转换器修改为隔离式反激转换器

为了避免与次端控制器中的基准源产生相互影响，以及避免反馈环路中的过量增益，必须禁止内置在LM2587中的基准源和误差放大器工作。图5为LM2587的内置模块框图。通

过将反馈引脚接地，并把光耦输出连到补偿引脚，可以旁路误差放大器。由此，可任意选择LM2587的输出电压。从而完成隔离式转换器的设计过程。

## 部分I. 光隔离式电源的设计 (续)



10015105

图5. LM2587框图；反馈引脚接地可禁止误差放大器工作，用光耦将反馈信号传到补偿引脚

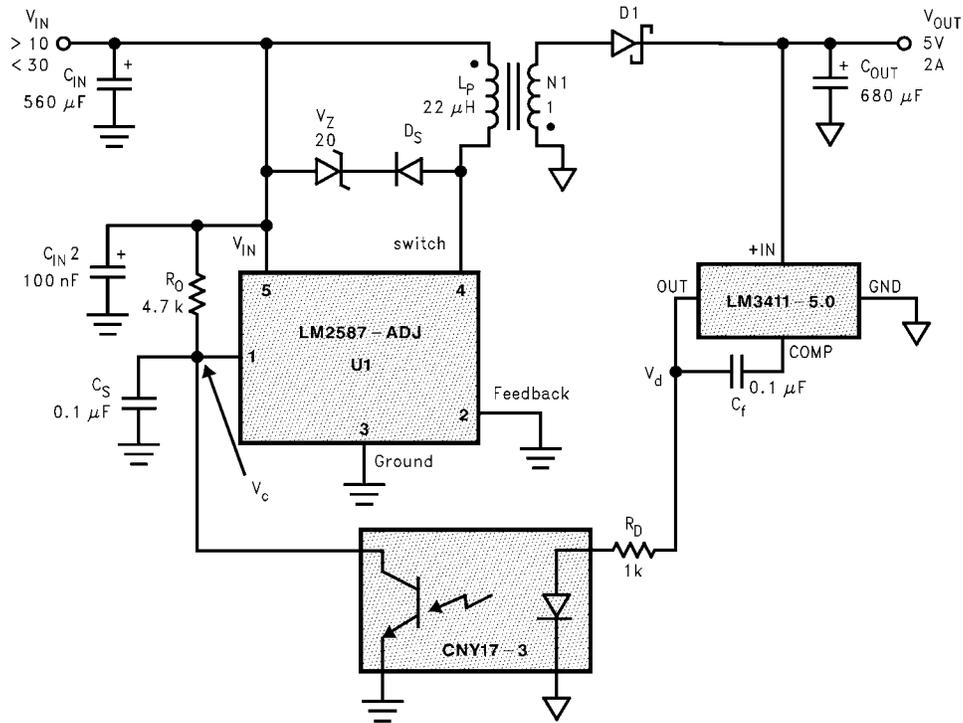
图6为基于光隔的反激电源LM2587的电路图。由于将LM2587误差放大器禁止工作，现在反馈控制环路由LM3411-5.0次端控制器和光隔组成。需要电阻 $R_0$ 和 $R_d$ 来偏置光隔离器。电容 $C_s$ 用来实现软启动。

**注释：短路保护。**在LM258X开关中，软启动比较器和短路保护都是由反馈引脚电压来控制的。在启动时，输出电压为零，激活软启动比较器，输

出逐渐增加至标称电压值。之后，软启动比较器被止能，并使能短路保护。如果此时输出短路，频率将会变为标称工作频率的25%。

仅当在禁止软启动之后才会激活短路保护。在隔离式转换器中，反馈引脚接地。转换器决不会从软启动模式开始工作。所以短路保护（在短路保护条件下频率变到25 kHz）不会被激活。因而，需要一个外置电路来实现短路保护功能。

## 部分I. 光隔离式电源的设计 (续)



10015106

图6. 10瓦的光隔离式反激转换器

## 补偿器件的选择

补偿电路的设计包括光耦输出电阻 $R_o$ ，光耦输入电阻 $R_d$ 和反馈电容 $C_f$ 的参数选择。补偿传输函数是从输出电压 $V_o$ 至控制电压 $V_c$ 的小信号传输函数。传输函数 $A(s)$ 由下式给出：

$$A(s) = \frac{CTR \times R_o}{R_d} \left( 1 + \frac{1}{sC_f R_f} \right)$$

因此，这是两个极点、一个零点的补偿。在上式中， $CTR$ 代表光耦电流传输率或者称之为耦合效率。电源级传输函数是一个极点、一个零点（esr）补偿器（在关心的频率范围内）。选择 $R_o$ 和 $R_d$ ，使得电压 $V_c$ 总是大于0.3V。同样，补偿引脚上的最大电压应不超过2V。选择 $C_f$ ，放置一个零点来

抵消电源级的极点，如图7所示。若按上述设计作补偿，环路增益应具有非常好的相位裕度和增益裕度，在图7中，

$$f_z = \frac{1}{2\pi C_f 94K}, \quad f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_o R_L}$$

$$f_{esr} = \frac{1}{2\pi C_o R_{esr}}$$

其中， $f_{p1}$ 是电流模式转换器中电源级的极点频率。 $f_z$ 是补偿零点， $f_{esr}$ 是等效串联电阻(esr)零点。 $f_c$ 为环路交越频率。 $f_{p2}$ 是由于电流模式控制而产生的极点（落在靠近开关频率一半处的高频范围内）。

## 部分I. 光隔离式电源的设计 (续)

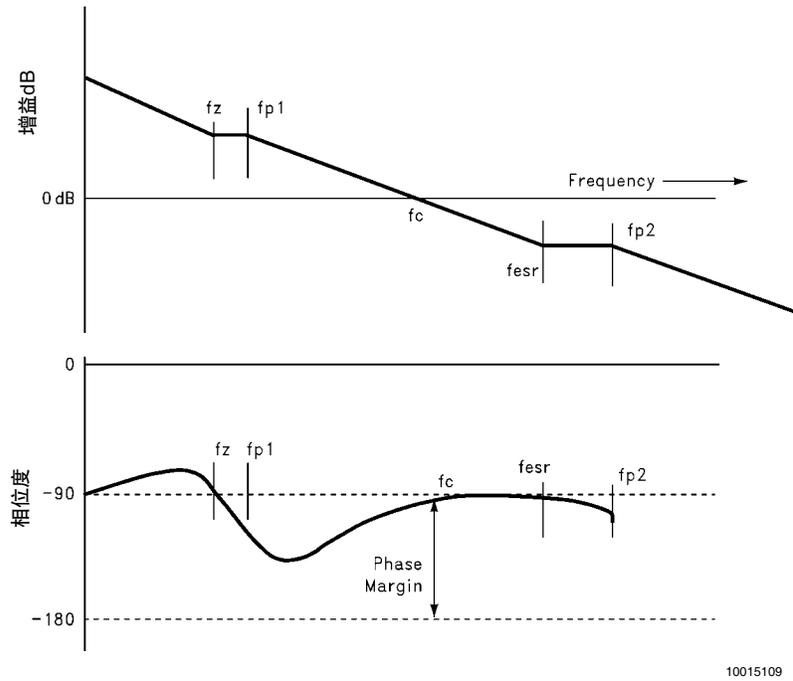


图7. 估计的环路响应

对图6所示的实验型转换器上的环路增益进行测试，得到如图8所示的结果。带宽和相位裕度值都远低于预期值。

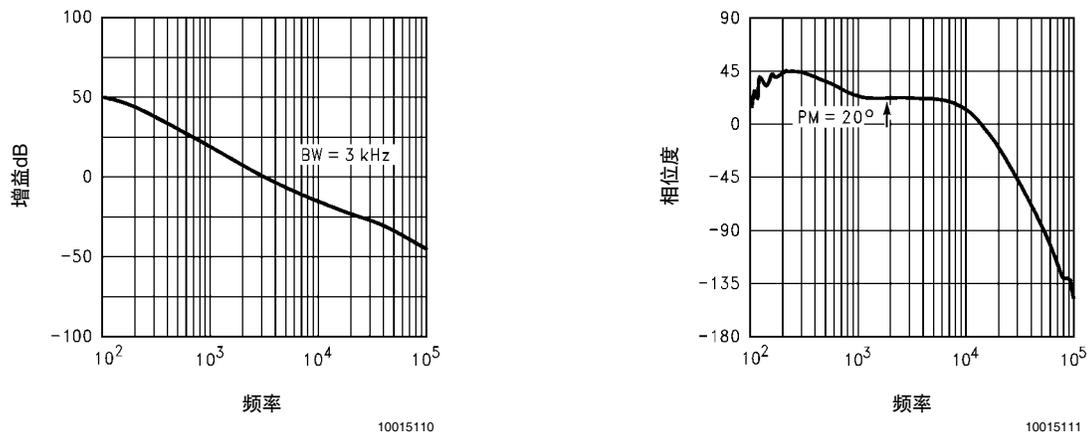


图8. 实验型转换器的环路增益测试 (带宽=3 kHz和相位裕度=20度)

因为带宽和相位裕度都非常之低，对从0A至1A的负载突变会产生很差的瞬态响应，图9也表明控制环路中较差的稳定性。

## 部分I. 光隔离式电源的设计 (续)

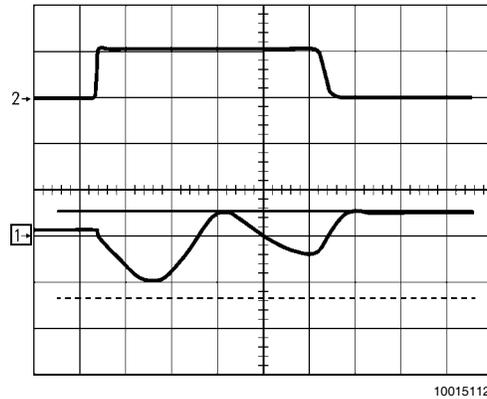


图9. 对于阶跃负载从0A变化到1A时产生的瞬态响应

## 部分II. 改善光隔离式转换器的瞬态响应

什么原因造成预估值和测试结果之间差异?

如图6所示的转换器应用一个光隔离器CNY17-3来进行反馈隔离, 应用LM3411来进行次端控制。因为转换器工作在100 kHz开关频率下, 要求其环路交越频率大约在10 kHz至

20 kHz之间, 从而获得极佳的瞬态性能。然而, 在该结构中应用的光耦CNY17-3在5 kHz至10 kHz的频率范围内有-3 dB频率, 其值取决于如图6所示的电阻 $R_o$ 。光耦极点会在10 kHz左右引入一个超过45度的相移, 如图10所示。因为设计补偿或者环路增益时没有考虑到这个因素, 测试得到的相位裕度和带宽要低于之前所预估的值。

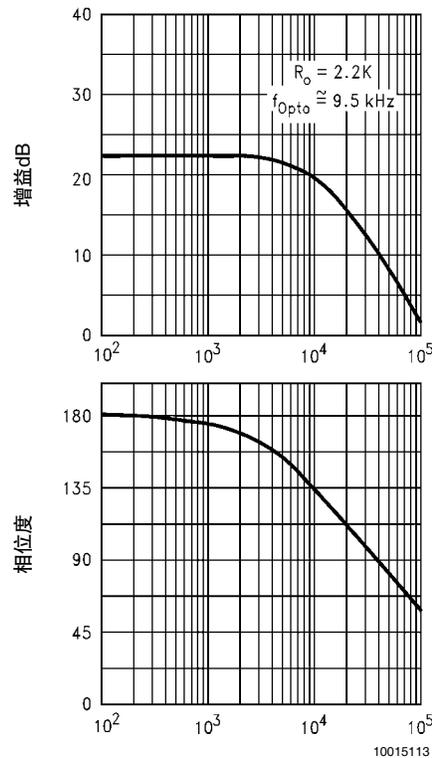


图10. 光耦CNY17-3会在所需的10 kHz环路带宽处增加45度以上的相移

## 部分II. 改善光隔离式转换器的瞬态响应 (续)

### 是什么限制了光耦合器的带宽?

光耦的严重带宽限制完全是由于光耦的光晶体管特性导致的。当前馈电流通过光耦二极管时，它会产生红外辐射。辐射能量通过光耦介质发射出去，并落在光晶体管的表面。

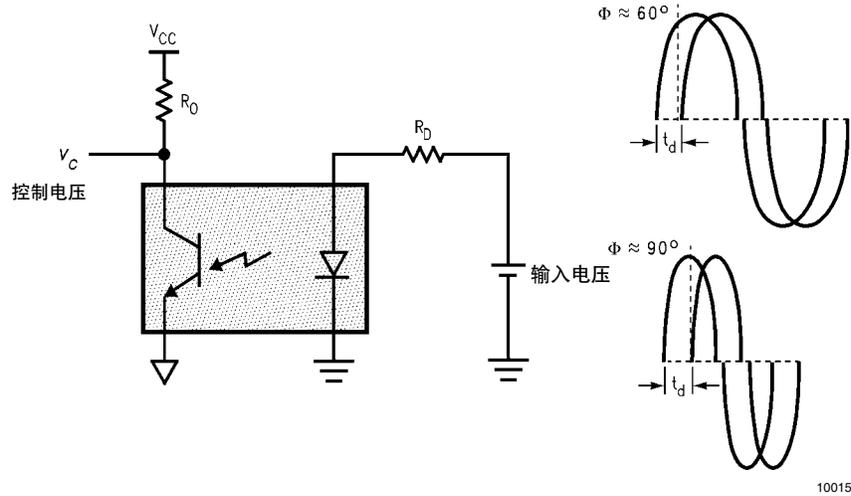


图11. 光耦传输延迟会在高频处增加相位变化（随着输入正弦信号的频率增加，输入和输出之间的相移也会线性增加）

密勒电容 $C_m$ 与电阻 $R_0$ 耦合，会在传输函数中产生一个极点。当设计补偿电路时应考虑该极点。

我们从光耦特性中也可以观察到在极高频处相位会发生极大的变化。这是由于辐射能量通过光介质传输时的固有延迟造成的。如果光耦的输入信号是正弦波，如图11所示，输出信号也将会是正弦信号，但由于延迟会产生相移。随着该正弦信号频率的增加，相移也会增加，而且几乎是线性的。仅当该相移是由于延时造成的，相移才会线性增加。

### 如何解决光耦合器带宽难题?

可通过以下三种方法来提高控制环路的带宽：

1. 通过减小系统的交越频率来提高相位裕度。然而，这种方法会牺牲转换器的瞬态性能。

为了使光敏管基区对光敏感，又使辐射能量迁移中的损耗最小，设计光敏管使之有一个非常大的集电结区和一个非常大的基区。由此产生一个很大的基极电容 $C_{ob}$ 。电容值一般在几个皮法的数量级上。然而，由于存在密勒效应，实际电容值会增大数倍，最终得到非常大的密勒电容 $C_m$ 。密勒电容一般会在几个纳法的数量级。

2. 可使用频率特性更好的光隔离器（例如MOC8101）。但这类光耦价格更加昂贵。
3. 通过在控制环路中引入一个附加的零点来补偿光隔离器的极点。这需要对光耦的极点做出正确的预测。

### 光耦合器极点的预估

可以采用很多方法来预测光耦的极点。其中之一便是通过实际的平台测试来确定极点的特性。图12为采用一个网络分析仪搭建的测试平台装置，来确定光耦的特性。信号加在光耦的输入端，该信号在关心的频率范围内作频率扫描。利用探针A测试输入信号，和探针B测试输出信号。通过确定输入信号至输出信号的比率，可以获得光耦的频率特性。

## 部分II. 改善光隔离式转换器的瞬态响应 (续)

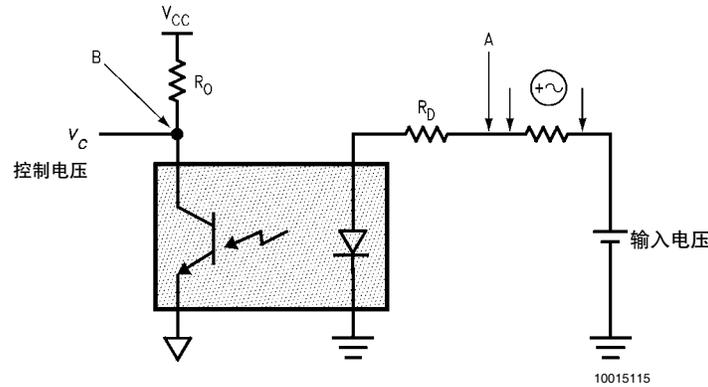


图12. 利用网络分析仪，为确定光耦极点频率特性而设置的测试平台

图13所示为实际测量光耦CNY17-3得到的典型性能曲线。该图为光耦带宽（极点）与电阻 $R_0$ 之间的关系。从该曲线中可很轻易地预测光耦的极点位置。举个例子，让我们预

测当 $R_0 = 5 \text{ k}\Omega$ 时，CNY17-3的极点位置。在 $R_0 = 5 \text{ k}\Omega$ 时画出平行于Y轴的直线。从其与曲线的交叉点，可以在Y轴上读取相应的值。光耦极点位置在4 kHz处。

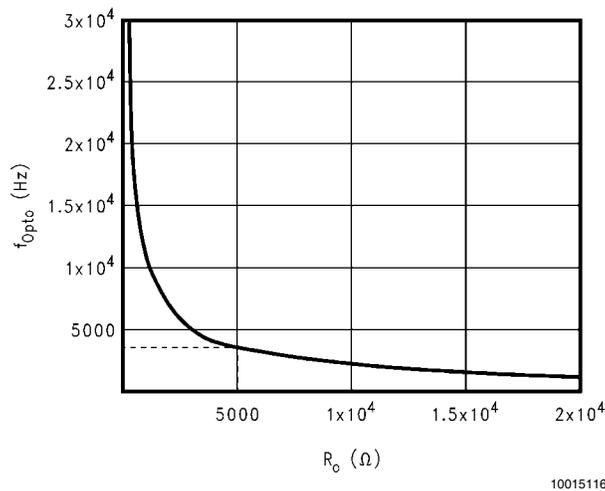


图13. 光耦CNY17-3带宽与电阻 $R_0$ 的关系图

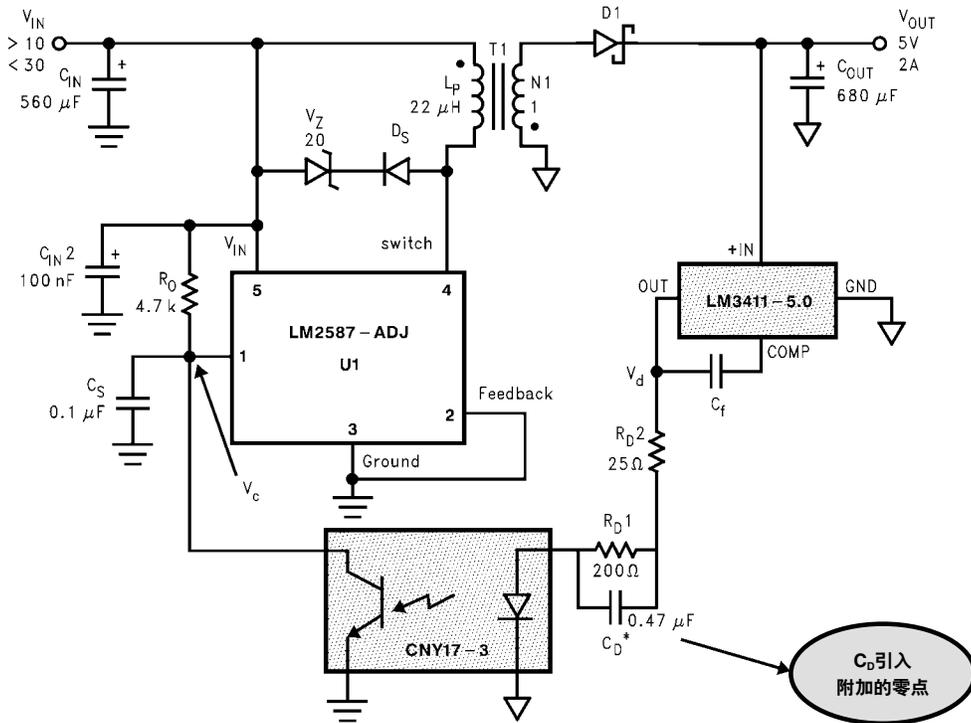
从部分I的结果中，可以明显看出光耦的极点严重限制了控制环路的带宽。可采用以下两种方法对该极点做出补偿：

- 如果允许采用基极连接，在光耦晶体管的基极和发射极之间连接一个大电阻，可以提高带宽。然而，这么做也会减少光耦的增益。
- 也可以在补偿电路中引入一个附加零点来提高带宽。

### 光耦器极点补偿的实现

对于图6所示的电路，如同上节讨论的来预测光耦的极点。然而，软启动电容与光耦的电容并联，并会影响光耦极点的位置。如图14所示，通过与 $R_{dt}$ 并联一个电容，可得到所需的附加零点来对光耦的极点做出补偿。在该过程中，由于存在 $R_{dt}$ 和 $C_d$ ，又会产生一个附加的极点。为了获得足够的增益裕度并衰减高频开关噪声，将该极点放置在超过交越频率的高频处。

部分II. 改善光隔离式转换器的瞬态响应 (续)



10015117

图14. 补偿光耦以改善带宽限制

修改后的补偿器传输函数为:

$$A(s) = \frac{CTR \times R_o}{R_{d1} + R_{d2}} \left( \frac{sC_c R_f + 1}{sC_c R_f} \right) \left( \frac{sC_d R_{d1} + 1}{sC_d R_{d2} + 1} \right) \quad (\text{assuming } R_{d2} \gg R_{d1})$$

其中,

CTR=光耦的电流传输比或耦合效率

R<sub>f</sub>=内置在LM3411中的反馈电阻 (对于LM3411-5.0为92k)

C<sub>c</sub>=补偿电容

通过与电容C<sub>s</sub>串联一个电阻可获得一个附加的零点, 将补偿光耦极点的所需附加零点放置在等于f<sub>z</sub>的频率处。

$$f_z = \frac{1}{2\pi R_o C_s}$$

(假定C<sub>s</sub>远大于光耦的密勒电容)

请注意补偿传输函数直接取决于光耦的CTR, 其在个体之间有差异, 所以考虑该因素非常重要。这意味着将应用具有低CTR变化和确保规范的光耦。

图15为采用修改补偿之后的环路增益。可以发现带宽和相位裕度方面都有明显的提高。环路增益同预期一致并表现出良好的稳定性。同时, 瞬态响应也得到了改善, 如图16所示。

## 部分II. 改善光隔离式转换器的瞬态响应 (续)

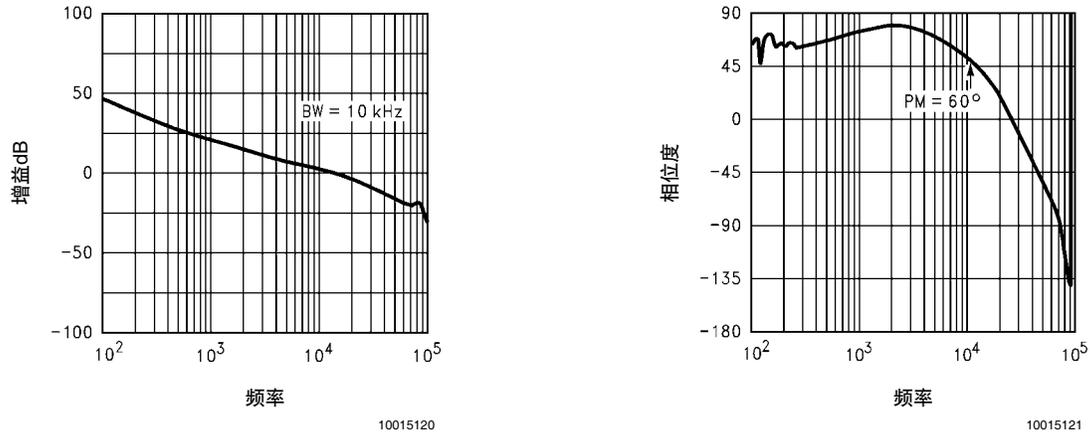


图15. 采用光耦极点补偿之后，观察到带宽和相位裕度都有明显的提高（带宽=10 kHz，相位裕度=60度）

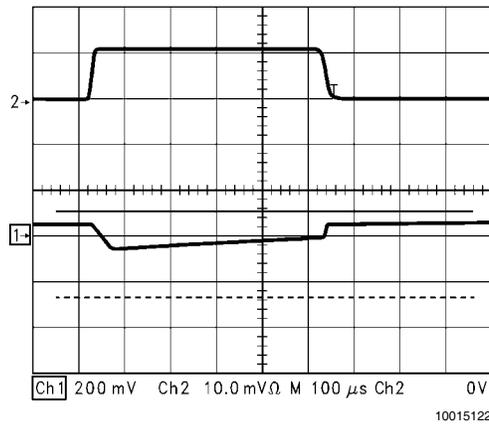


图16. 采用光耦极点补偿之后的瞬态响应（负载阶跃变化从0至1A）

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行通知。  
想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：[www.national.com](http://www.national.com)。

### 生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

1. 生命支持设备/系统指：(a) 打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；(b) 支持或维持生命，依照使用说明书正确使用，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
2. 关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

### 禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范（CSP-9-111C2）》以及《相关禁用物质和材料规范（CSP-9-111S2）》的条款，不包含CSP-9-111S2限定的任何“禁用物质”。  
无铅产品符合RoHS指令。



**National Semiconductor**  
Americas Customer  
Support Center  
Email: [new.feedback@nsc.com](mailto:new.feedback@nsc.com)  
Tel: 1-800-272-9959

**National Semiconductor**  
Europe Customer Support Center  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: [europe.support@nsc.com](mailto:europe.support@nsc.com)  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor**  
Asia Pacific Customer  
Support Center  
Email: [ap.support@nsc.com](mailto:ap.support@nsc.com)

**National Semiconductor**  
Japan Customer Support Center  
Fax: 81-3-5639-7507  
Email: [jpn.feedback@nsc.com](mailto:jpn.feedback@nsc.com)  
Tel: 81-3-5639-7560

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP 机动性处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>		
	德州仪器在线技术支持社区		<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122  
Copyright © 2011 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司