

LP8860-Q1 LED 背光电路设计注意事项

Martin Ma

Sales and Marketing/Auto China

ABSTRACT

LP8860-Q1 是用来做升压控制的汽车级高效 LED 恒流驱动器，该器件可通过 PWM 输入、SPI 或者 I2C 去控制 4 路高精度恒流输出。该升压控制器可基于 LED 电流自适应的控制输出电压，从而最大限度降低系统功耗，增加背光电路的可靠性以及电路的工作效率。

本文基于 LP8860-Q1 的典型应用列出了几个实际应用中的常见问题，并给出了注意事项及解决方法。

Contents

1	LP8860-Q1 电路功率参数的设计	Error! Bookmark not defined.
2	LP8860-Q1 VDD 供电注意事项.....	3
	2.1 EEPROM 设置.....	3
	2.2 外部充电泵电路.....	3
3	LP8860-Q1 亮度调节的方法.....	4
	3.1 Display Mode.....	4
	3.2 Cluster Mode.....	5
4	背光电路中音频噪音.....	5
	4.1 电感的音频噪音分析.....	6
	4.2 电容的音频噪音分析.....	6
	4.3 电路的音频噪音分析.....	7
	4.4 PFM 阈值调节.....	8
5	小结.....	8
6	参考文献.....	8

Figures

Figure 1.	LP8860-Q1 典型应用线路.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 2.	LP8860 外部充电泵电路	4
Figure 3.	LP8860-Q1 PFM 波形图.....	5
Figure 4.	LP8860-Q1 环路测试参数-1.....	7
Figure 5.	LP8860-Q1 环路测试参数-2.....	7
Figure 6.	LP8860-Q1 PFM 波形图-2.....	8

Figure1 为 LP8860-Q1 的典型应用电路，本文的分析都是基于这个典型应用线路图。

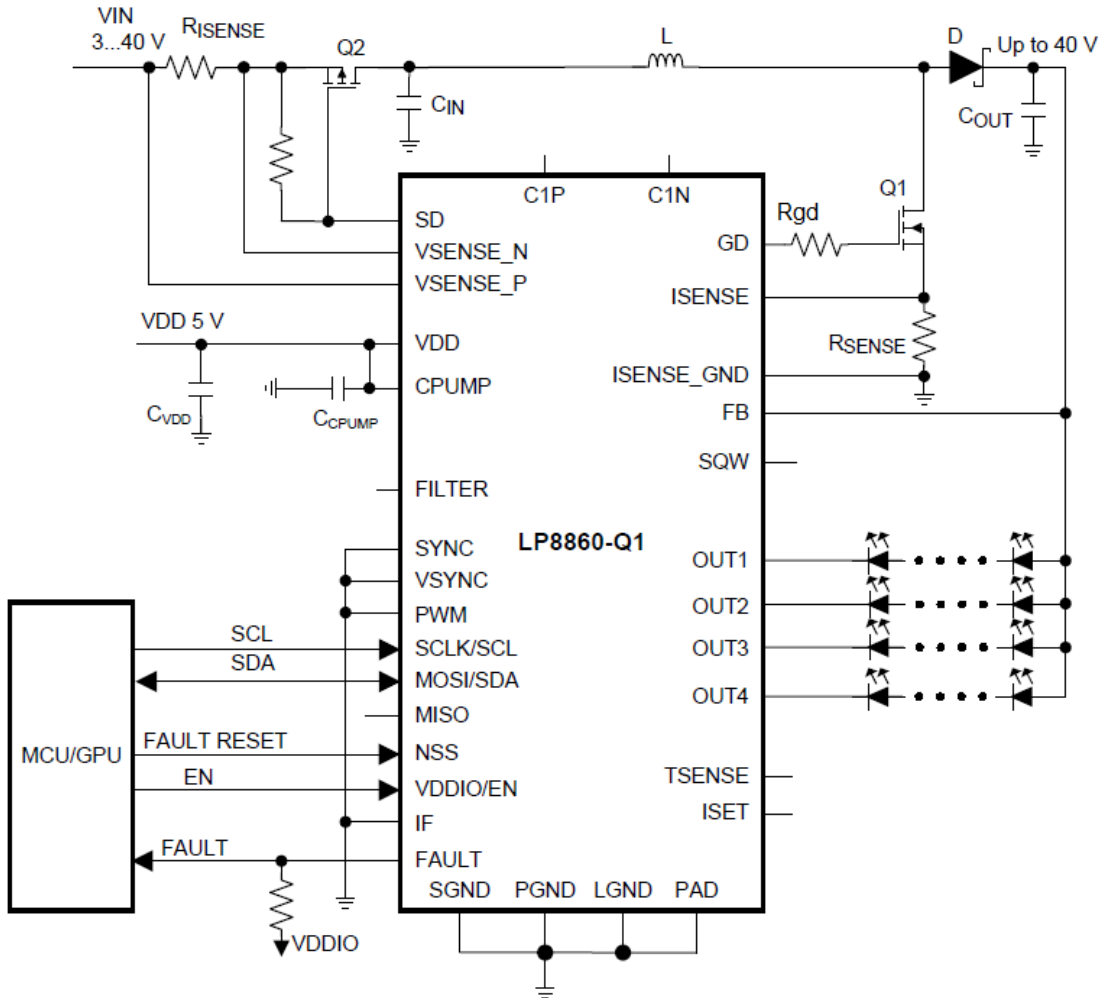


Figure 1. LP8860-Q1 典型应用线路

1 LP8860-Q1 电路功率参数的设计

LP8860-Q1 电路的功率参数的选择主要是包含输入电容，输出滤波电容和输出滤波电感的选择，本文仅针对 LP8860-Q1 工程设计中重要参数进行说明。

具体的 BOOST 电路的工作原理和相关的波形可以参考 TI 的相关应用文档 SLVA372C: Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage, <http://www.ti.com/lit/an/slva372c/slva372c.pdf>

输出滤波电感在升压电路中是一个重要的元器件，工程上设计上主要考虑两点，一是要保证电感电流工作中不能超过电感的饱和电流 I_{sat} ，否则电感在工作时相当于短路；二是要保证输出电流纹波不会太大，一般选在满载时纹波电流是满载电流的 0.2~0.3 倍，以免导致过大的输出纹波电压。工程上基于这两点的考虑，可得饱和电流的选择条件如下：

$$I_{sat} > \frac{I_{outmax}}{D'_{min}} + I_{ripple}$$

其中根据 BOOST 升压电路的基本原理, 可得:

$$I_{ripple} = \frac{V_{outmax} - V_{inmin}}{2 \times L \times F_s} \cdot \frac{V_{inmin}}{V_{outmax}}, D'_{min} = 1 - \frac{V_{outmax} - V_{inmin}}{V_{outmax}}$$

对于输入电容, 可以按如下的公式计算, 其中 I_{LED} 为输出的总的 LED 电流, 通常 33uF(ESR < 500 mohm)加 10uF 的陶瓷电容即可满足设计需求。在 2.2M 的工作频率时 10uF 陶瓷电容即可满足设计。

$$C_{in} > \frac{I_{in}(avg) * (1 - D)}{\Delta V_{inmax} \times F_s} = \frac{I_{LED} * D}{\Delta V_{inmax} \times F_s}$$

对于输出电容, 可以按如下的公式计算, 其中 R_d 为 LED 的等效的动态电阻, $\Delta I_{led pp}$ 为最大的 LED 电流纹波, 通常 33uF(ESR < 500mohm)加 10uF 的陶瓷电容即可。在 2.2M 的工作频率时 10uF 陶瓷电容即可满足设计。

$$C_{out} > \frac{I_{LED} * D}{R_d \times \Delta I_{led pp} \times F_s}$$

2 LP8860-Q1 VDD 供电注意事项

LP8860-Q1 的 VDD 的工作电压范围是从 3V 到 5.5V, 用来提供芯片内部逻辑的工作电压以及 MOSFET 工作的驱动电压。在很多实际应用中, VDD 的工作电压为 3.3V, 此时工作电压可能达不到外部 N MOSFET 的门极开启电压, 就会导致 MOSFET 无法正常开启, 可能导致整个电路无法正常工作。在 3.3V 电源供电的情况下, 我们可以通过开启内部的充电泵电路和使用外部充电泵电路两种方式来解决这个问题。

2.1 EEPROM 设置

我们可以通过 I2C 重新配制 EEPROM 的设置, 开启芯片内部的充电泵电路, 这样可以设置门级的驱动电压为 2 x VDD, 即将 EEPROM 0x76 地址的默认值从 0xDC 改为 0xDE, 即可开启此功能, 具体的寄存器描述如下:

CP_2X_EN	1	R/W	Charge pump enable. CP is enabled at soft start if CP_2X_EN EEPROM bit asserted. 0 = disabled 1 = enabled
----------	---	-----	---

2.2 外部充电泵电路

LP8860 的 SQW 脚位可以提供输出 100 KHz 方波信号, 当内部充电泵电路没有使能时, 内部振幅和 VDD 的幅度相等, 此时我们可以采用如下的充电泵电路, 将 CPUMP 的电压升至 2xVDD 的电压, 其具体的方式可参考图 2。这种方式的优点是可以继续使用芯片内部的默认设置, 不需要烧写 EEPROM, 简化软件的工作。

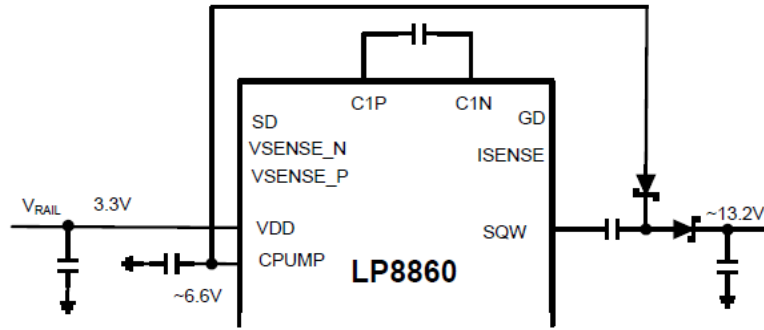


Figure 2. LP8860-Q1 外部充电泵电路

3 LP8860-Q1 亮度调节的方法

LP8860-Q1 亮度调节可以设置成 Display Mode 和 Cluster Mode，正常的显示我们使用 Display Mode，Cluster Mode 是一种特殊的，可以单独控制每一个通道的显示模式。

3.1 Display Mode

如果设置 LP8860-Q1 为 Display Mode,对于亮度的调节方式，我们可以通过如下的方式去计算单个通道的电流：

$$I_{LED} = \frac{3000 \times V_{BG}}{R_{ISET}} \times \frac{DISP_CL1_CURRENT[11:0]}{4095} \times \frac{DRV_LED_CURRENT_SCALE[2:0]}{150} \times \frac{(DRV_OUTx_CORR[3:0] + 100)}{100}$$

LED 的输出电流如上公式所示，通过输出电流的计算方式可见，我们可以通过调节 R_ISET 电阻，寄存器 DISP_CL1_CURRENT [11:0]，DRV_LED_CURRENT_SCALE [0:2]和 DRV_OUTx_CORR[3 : 0] 四个参数来调节输出电流，以达到调节亮度的需求。通常我们使用 R_ISET 硬件方式设置最大电流 150mA，通过 DRV_LED_CURRENT_SCALE 去设置最大的工作电流，通过 DISP_CL1_CURRENT 的寄存器，或者 DISP_CL1_BRT [15:0] 去调节输出电流来调节亮度。

另外在 Display Mode 下，可以通过设置 BRT_MODE[1:0]去设置背光电路的调光方式，有如下的四种控制方式，其中 BRT_MODE[1:0]=00 和 11 的区别在用，BRT_MODE[1:0]=00 方式下，芯片会去检查输入的占空比，然后通过 16 bit 的值去控制 LED 的 PWM 的输出，使用的是芯片内部的 PWM 时钟，而对于 BRT_MODE[1:0]=11，则是完全用 PWM 占空比直接去调节背光的亮度。

BRT_MODE[1:0]	BRIGHTNESS CONTROL
00	PWM input duty cycle
01	PWM input duty cycle x Brightness register
10	Brightness register
11	PWM direct control (PWM in = PWM out)

3.2 Cluster Mode

如果将 LP8860-Q1 设置为 Cluster Mode，可通过如下的方式去计算单个通道的电流：

$$I_{LED} = \frac{3000 \times V_{BG}}{R_{ISET}} \times \frac{CLx_CURRENT[7:0]}{255} \times \frac{DRV_LED_CURRENT_SCALE[2:0]}{150} \times \frac{(DRV_OUTx_CORR[3:0]+100)}{100}$$

LED 的输出电流如上公式所示，输出电流的方式可以通过调节 RISET 电阻，CLx_CURRENT [7 : 0]，DRV_LED_CURRENT_SCALE[0:2]，和 DRV_OUTx_CORR[3 : 0]四种方式来调节，通常使用 RISET 硬件方式设置最大电流 150mA，通过 DRV_LED_CURRENT_SCALE 去设置最大的工作电流。建议实际工程设计时通过 CLx_CURRENT[7 : 0]的寄存器去调节电流亮度，或者 DISP_CL1_BRT[15:0]去调节，简化亮度调节逻辑。

对于两种调光模式，Display Mode 可以自适应的控制输出电压，优化系统的效率，并可以支持 PWM 调光，混合调光和调节电流变化斜率。Cluster Mode 则可以单独的控制任意一个通道的亮度和输出电流，当每个通道 LED 的数目不同时，不能够自适应的提高电压，所以需要设置一个固定电压，所以不能够很好的优化系统的效率，也不支持 PWM 调光，混合调光和调节电流变化斜率。在实际应用中我们可以根据具体的设计，选择适合自己的亮度调节方式。

4 背光电路中音频噪音

在开关电源的设计中，由于使用了开关器件以及电感和电容等储能的元器件，设计中通常会产生音频噪音。通常认为音频噪声是指开关电源自身在工作过程中产生能被人耳听到频率为 20—20kHz 的音频信号，其来自于储能元件的机械振动，解决噪音的主要方法就是消除机械振动。

本文中我们结合一个 LP8860-Q1 噪音实际解决实例，来分析如何解决实际应用中的噪音问题。如图 3 LP8860-Q1 PFM 波形图，此时为 2.52%亮度，图中的信号分别为 VIN，Vout，ISW 和 VDD。此时我们发现电路在实际工作中有可听见的噪音，针对这个噪音我们从电感，电容，电路产生的音频噪声这三个方面做如下的分析。

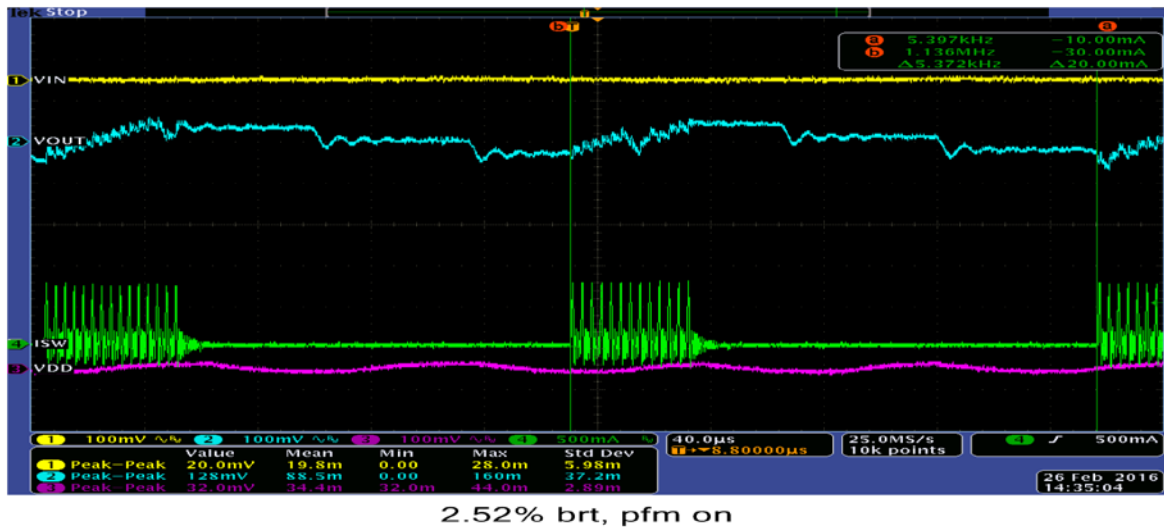


Figure 3. LP8860-Q1 PFM 波形图

4.1 电感的音频噪声分析

在大多数开关应用中，电感是主要的音频噪声源。如下一些机制会产生发出声音的机械位移，这些包括：

磁质伸缩—磁芯材料的尺寸随磁通密度变化，普通功率的铁氧体的变化率小于 1ppm。

线圈移动—由于线圈的不对称性导致电感中的电流产生移动这些导线的吸引力和排斥力。

电路谐振—由于电路内部的耦合谐振导致的低于 20K 的工作频率。

这些共同作用，形成了复杂机械振动，能在人耳听力范围内的一个或几个频点上，产生强烈的共振。

解决电感音频噪声的常见方法有如下几种：

电感要采用均匀浸渍，从而能有效填充线圈与线圈之间、线圈与骨架之间、骨架与磁芯之间的固有间隙，降低活动部件发生位移的可能性。

在条件允许的情况下尽量降低峰值磁通密度，要充分考虑高温时的饱和磁通密度，留足够余量防止工作曲线进入非线性区，可以有效降低电感的音频噪声。

条件允许可使用非晶、超微晶合金等软磁材料，其磁均匀一致性远比一般铁氧体好得多，磁致伸缩效应趋于零，对应力不敏感。

实际的调试过程中我们使用了均匀浸渍，满足饱和电流的软磁材料替换原有的电感，并未改善噪音，替换电感后发现噪音源并非电感，需要继续分析其他的噪声来源。

4.2 电容的音频噪声分析

绝缘材料在电场的压力下均会变形，这种电致伸缩效应与电场强度的平方成正比，有些绝缘介质还呈现压电效应，即与电场强度成正比的线性位移。通常压电效应是电容产生噪声的主要途径。

电容噪声的一般有如下的两个解决方法：

1) 将吸收回路用的高压陶瓷电容换成压电伸缩效应很小的聚脂薄膜电容，这样可以基本消除电容产生的噪声，或者使用多个陶瓷电容串联的方式，减低单个电容的电场强度来降低压电效应。

2) 要确定陶瓷电容是否主要噪声源，可以用不同绝缘体的电容来替换。如薄膜电容或者电解电容。替换时应注意替换品是否能经受得住反复的尖峰电流和电压应力。

从实际的测量波形上可见，电路此时工作在 PFM 状态，输出电容上的纹动有 128mV，将输出电容换位铝电解电容，噪音消失，确认为输出滤波陶瓷电容的压电效应产生的噪音。所以对于此问题可以使用电解电容，避免压电效应来解决问题。

实际的使用过程中，电解电容一个缺点是在高频段的阻抗比较高，不能抑制高频信号，如果使用电解电容的话，由于电解电容对温度的敏感性，在满足输出纹波的情况下还需要满足寿命的计算。

另外，由于压电效应和电容的尺寸和电压应力成反比，也可以通过多个瓷片电容串并的方式，保证输出纹波条件下，降低单个电容电压应力来降低压电效应，解决因压电效应带来的噪音，还可以增加系统的响应速度，降低纹动电压来解决问题。

4.3 电路的音频噪声分析

如上节分析，从测试波形上可见，电路此时工作在 PFM 状态，频率约为 6.9KHz，纹波为 128mV，所以我们可以通过调节系统的响应速度，将电容的纹波降下来，从而降低电容的压电效应。

测量系统满载时环路特性如 Figure 4，此时系统的相角裕量=70 度，穿越频率=6.8K,所以还可使适当调整系统响应速度。LP8860-Q1 外部无环路参数调节，预留了寄存器 0X74 可以去改变系统环路参数，其默认值为 0X74=0x35H，默认的比例参数 P=2，积分参数 I=2。

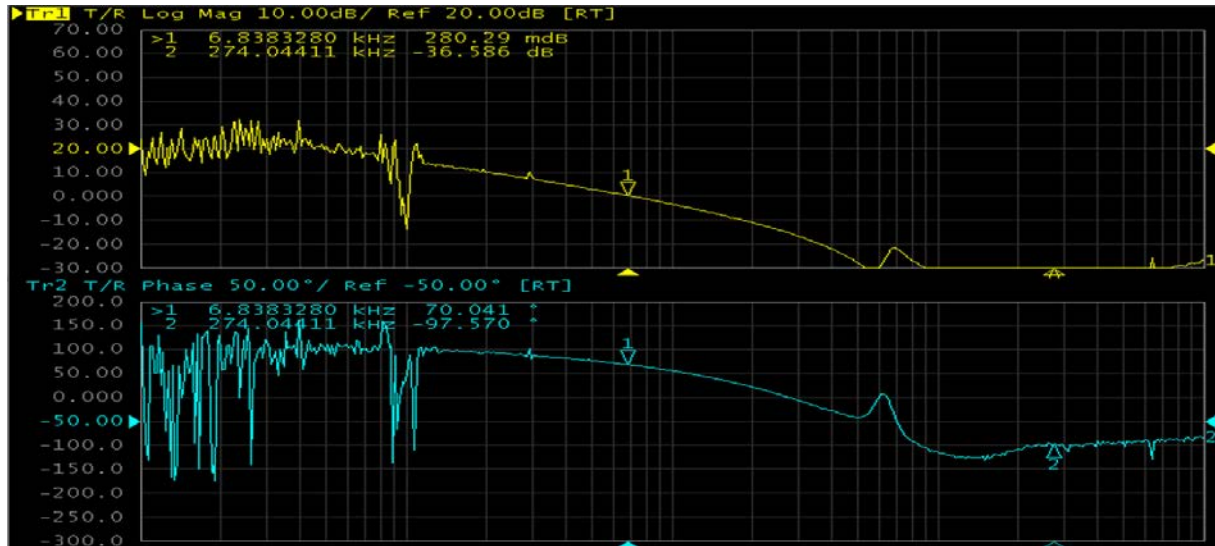


Figure 4. LP8860-Q1 环路测试参数-1

为了加强系统的响应速度，我们将 LP8860 环路参数设置为 P=2，I=4.即 0X74=0x3DH，此时测量系统的环路相角裕量=51 度，穿越频率=11.5K，如 Figure 5 所示。

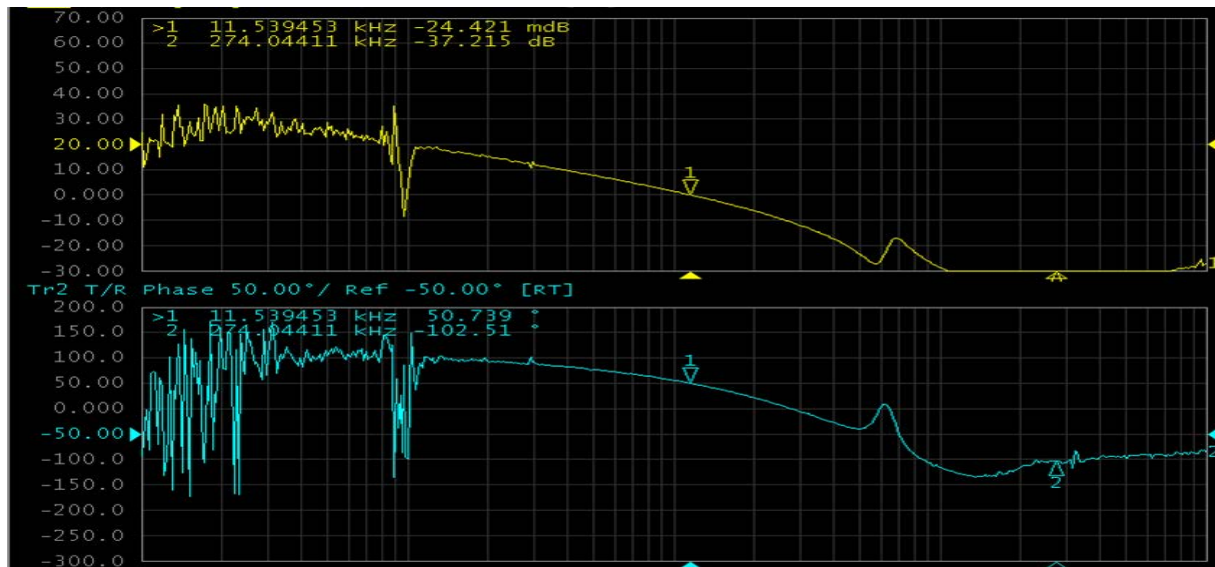


Figure 5. LP8860-Q1 环路测试参数-2

在相同条件下测量工作波形，如 Figure 6，电容的纹波值从 128mV 降低到 88mV，降低了电容的压电效应，系统的噪音消失。可见通过调节系统的响应速度，降低输出电容的电压的纹动，也可解决压电效应带来的噪音问题。

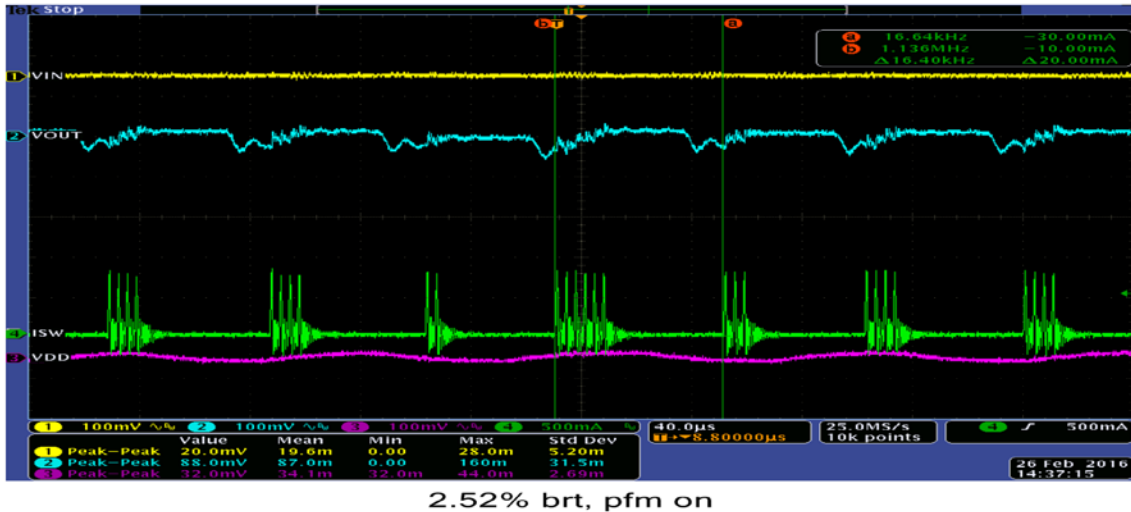


Figure 6. LP8860-Q1 PFM 波形图-2

4.4 PFM 阈值调节

寄存器 0X74 可以设置 LP8860 进入 PFM Mode 的负载水平，其默认值为 00。实际调试过程中，我们也可以适当的去降低滤波电感 L 的值或者增加 Rsense 的电阻值，相当于在相同负载下，增加 ISENSE 脚位的电压值，变相的降低 PFM 的门槛值，让电路在轻负载时即工作在 PWM Mode，对于解决电路 PFM 噪音也有帮助。

Name	Bit	Access	Description
BOOST_SEL_LLC[1:0]	7:6	R/W	Light load comparator control. Selects boost PFM entry threshold (compensator current) 00 = 5 μ A (boost switches from PFM to PWM early at light loads) 01 = 10 μ A 10 = 15 μ A 11 = 20 μ A (boost operates in PFM mode to higher loads)

5 小结

本文总结了 LP8860-Q1 在实际应用中常见问题：功率器件的选择，VDD 电源设计的注意事项，亮度调节的几种方式，以及系统噪音的解决，并给出了工程设计时快速的分析和解决问题的方法，可以帮助 LP8860-Q1 的工程设计。

6 参考文献

1. LP8860-Q1 datasheet (SNVSA21E)
2. LP8860-Q1 EVM User's Guide
3. Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage (SLVA372C)

有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能而设计。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等许可包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无复发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

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 © 2018 德州仪器半导体技术（上海）有限公司