

## 基于 LP8556 实现万阶调光

Marvin Feng

HUAWEI team

### ABSTRACT

本文介绍了 LCD 背光的调光控制方式，以及基于 LP8556 详细介绍了调光精度的计算以及万阶调光的实现。同时，基于实际可能遇到的问题，提供了一些应用建议。

### Contents

1. 简介.....	2
2. PWM 调光和 I2C 调光的特点.....	Error! Bookmark not defined.
3. LP8556 调光精度的计算.....	Error! Bookmark not defined.
4. 如何实现万阶调光.....	5
5. 实际调试中的建议.....	6
6. 结论.....	7
7. 参考文献.....	7

### Figures

Figure 1. PWM 控制架构.....	2
Figure 2. Setting Switching and PWM Dimming Frequency With an External Resistor .....	3
Figure 3. Configuring PWM Dimming Frequency via EPROM .....	4
Figure 4. 输入 PWM 调光框图.....	5
Figure 5. 输出 PWM 电流波形.....	6
Figure 6. Slope 功能示意图.....	6

### Tables

Table 1. 调光精度计算.....	4
----------------------	---

## 1. 简介

过去几年手机的大量普及也成就了 LCD 屏幕数量的爆发式增长，伴随着 LCD 屏幕需求的爆发式增长，人们对 LCD 显示效果的要求也越来越高。实际应用中手机平板屏幕尺寸的增加带来了 LCD 背光的 LED 数目也在成倍的增加，即从传统的 12 颗灯逐步增加到 36 颗灯或者更多。更多颗 LED 灯增加亮度的同时，也对显示的细腻度提出了更高的要求，即从最开始的 9bit 调光需求一步步上升到 11bit 或者更高的调光精度。针对这样的需求，TI 提供了一系列可供选择的背光驱动方案，比如 TPS6116x/LM3692x/LP855x 等。

## 2. PWM 调光和 I2C 调光的特点

当前市场上的 LCD 背光驱动主要包括两种控制方式：PWM 控制和 I2C 控制。两种控制方式的区别在于 PWM 控制需要通过将占空比信息模拟化或者数字化来转换成对应的背光亮度控制值，从而控制输出 DC current 或者输出 PWM current。I2C 控制则相对简单，即输入的信号为数字信号，直接可以转换成对应的 DC current 或者 PWM current。

从技术演变角度来说，背光驱动芯片都是从 PWM 调光控制开始起步的，因为 PWM 占空比可以直接通过低通滤波器实现对应的电压转换，通过电压可以实现模拟电压控制 LED 电流的大小。但是这种架构能实现的电流精度相对会较低，最高不过 9bit 左右。随着技术的演变，通过高速时钟来实现对 PWM 占空比的计数来实现占空比的检测，这样可以实现更高的精度。

而输出电流控制可以基于输入 PWM 占空比或者 I2C 设置值转换为对应的输出电流，此处可以通过 Current Sink 电流的精度控制来实现最终输出电流精度控制。

其基本架构见图 1<sup>(1)</sup>：

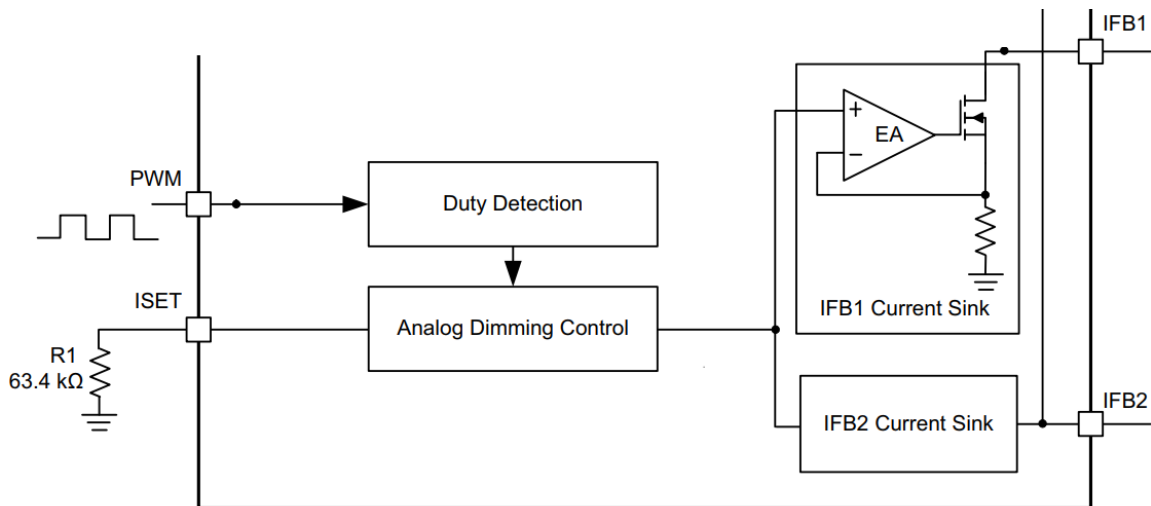


图 1： PWM 控制架构

由此架构，我们可以看到精度的调整与两个因素相关，输入精度检测和输出精度控制有关。

### 3. LP8556 调光精度的计算

基于前节架构的分析，我们会发现背光驱动的调光精度与输入精度检测和输出精度控制相关，最终调光精度取决于输入精度和输出精度的较小值。所以在细致分析 LP8556 的万阶调光实现前需要确定 LP8556 的输入/输出精度计算。

为了提高输入 PWM 占空比的精度检测，那么就不能使用简单的低通滤波器，一种可行的方式就是通过内部的超高时钟频率来计算对应的占空比。LP8556 的输入 PWM 采样频率是 20MHz，输出 PWM 采样频率是 10MHz。比如，输入频率为 9kHz，那么 PWM 占空比可实现的精度为：

$\log_2(20\text{MHz}/9\text{kHz})=11\text{bit}$ 。如果输入精度达到了 11bit，那么输出 PWM current 频率小于等于 4.5kHz 的情况下（输出侧内部采样时钟是 10MHz），那么就可保证输出的精度可达到 11bit 或者超出 11bit；一旦输出 PWM 频率高于 4.5kHz，那么实际能达到的输出 PWM 精度为  $\log_2(20\text{MHz}/f_{\text{out}})<11\text{bit}$ 。

如果使用 I2C 控制的话，输入的精度就决定于 I2C 的调光分辨率。比如，LP8556 只支持 8bit I2C 调光控制，那么如果只使用 I2C 输入调光，那么其调光精度最高只能达到 8bit；如果 LP8556 的 I2C 输入精度支持 12bit 调光，而其输出最高精度  $\geq 12\text{bit}$  调光，那么其最高调光精度也只能达到 12bit。

当输入精度不受限制的时候，那么输出精度的大小就决定了系统能实现的调节精度。从图 2<sup>(2)</sup>和图 3<sup>(2)</sup>可以看到，如果使用外置电阻来配置的话，那么输出 PWM Dimming 频率最小值可达到 2402Hz，对应的最大输出精度为 12bit，见图 2；如果使用 I2C 配置输出 PWM Dimming 频率的话，那么输出 PWM 频率最小为 4808Hz，对应的最大输出精度为 11bit，见图 3。

<b>R<sub>FSET</sub> [Ω] (Tolerance)</b>	<b>f<sub>sw</sub> [kHz]</b>	<b>f<sub>PWM</sub> [Hz] (Resolution)</b>
Floating or FSET pin pulled HIGH	1250	9616 (10-bit)
470k - 1M (±5%)	312	2402 (12-bit)
300k, 330k (±5%)	312	4808 (11-bit)
200k (±5%)	312	6010 (10-bit)
147k, 150k, 154k, 158k (±1%)	312	9616 (10-bit)
121k (±1%)	312	12020 (9-bit)
100k (±1%)	312	14424 (9-bit)
86.6k (±1%)	312	16828 (9-bit)
75.0k (±1%)	312	19232 (9-bit)
63.4k (±1%)	625	2402 (12-bit)
52.3k, 53.6k (±1%)	625	4808 (11-bit)
44.2k, 45.3k (±1%)	625	6010 (10-bit)
39.2k (±1%)	625	9616 (10-bit)
34.0k (±1%)	625	12020 (9-bit)
30.1k (±1%)	625	14424 (9-bit)
26.1k (±1%)	625	16828 (9-bit)
23.2k (±1%)	625	19232 (9-bit)
20.5k (±1%)	1250	2402 (12-bit)
18.7k (±1%)	1250	4808 (11-bit)
16.5k (±1%)	1250	6010 (10-bit)
14.7k (±1%)	1250	9616 (10-bit)
13.0k (±1%)	1250	12020 (9-bit)
11.8k (±1%)	1250	14424 (9-bit)
10.7k (±1%)	1250	16828 (9-bit)
9.76k (±1%)	1250	19232 (9-bit)
FSET pin shorted to GND	1250	Same as PWM input

图 2 : Setting Switching and PWM Dimming Frequency With an External Resistor

R <sub>FSET</sub> [kΩ]	PWM_FSET_EN	PWM_FREQ[3:0]	f <sub>PWM</sub> [Hz] (Resolution)
don't care	0	0000	4808 (11-bit)
		0001	6010 (10-bit)
		0010	7212 (10-bit)
		0011	8414 (10-bit)
		0100	9616 (10-bit)
		0101	12020 (9-bit)
		0110	13222 (9-bit)
		0111	14424 (9-bit)
		1000	15626 (9-bit)
		1001	16828 (9-bit)
		1010	18030 (9-bit)
		1011	19232 (9-bit)
		1100	24040 (8-bit)
		1101	28848 (8-bit)
		1110	33656 (8-bit)
1111	38464 (8-bit)		
See <sup>(1)</sup>	1	don't care	See <sup>(1)</sup>

图 3: Configuring PWM Dimming Frequency via EPROM

基于上面对于 PWM 调光和 I2C 调光精度的梳理，总结见表 1。

表 1: 调光精度计算

调光模式	调光精度
输出直流调光模式	输出是直流，输出直流的电流精度是 12bit，最终调光精度与输入精度有关。 1) 假如 PWM input resolution 大于等于 12bit，那么背光调光精度最大可以达到 12bit 调光； 2) 假如是 I2C 输入的 brightness I2C control，那么由于 I2C 输入调光精度的限制，最大的调光精度为 8bit。
输出 PWM 调光模式	输出是 PWM 调光输出，调光精度受限于输出 PWM 频率（寄存器配置最大 resolution 是 11bit，使用外接电阻配置是 12bit）。 1) 假如 PWM input resolution 大于 12bit，那么最终分辨率由 PWM 配置值决定。 2) 假如 PWM input resolution 或者 I2C 分辨率小于等于 12bit，那么最终分辨率由输入分辨率决定。

以上的分析为可实现的万阶调光方案奠定了基础。

#### 4. 如何实现万阶调光

万阶调光意味着系统至少实现 14bit 的调光精度，也就是说输入精度和输出精度要同时实现大于或者等于 14bit 的调光精度。

如果设计者想要得到高于 12bit 的调光，比如实现大于等于 14bit，由于受限于 I2C 调光方式只能实现实现 8bit 输入调光，那么输入需要是 PWM 调光，见图 4<sup>(2)</sup>，且输入 PWM 频率必须小于等于： $20\text{MHz}/(2^{14})=1.2\text{kHz}$ 。

而输出调光方式包括：DC 调光或者 MIX 调光方式或者 PWM 调光方式。为了简化分析，此处只分析 DC 调光和 PWM 调光方式。DC 调光最高支持 12bit，所以此处无法满足要求。

而如果输出是 PWM 调光方式，那么基于 PWM 调光的 11bit 或者 12bit，以及 dither 的 2bit 或者 3bit 调光，完全可以实现 14bit 的调光精度，即万阶调光。

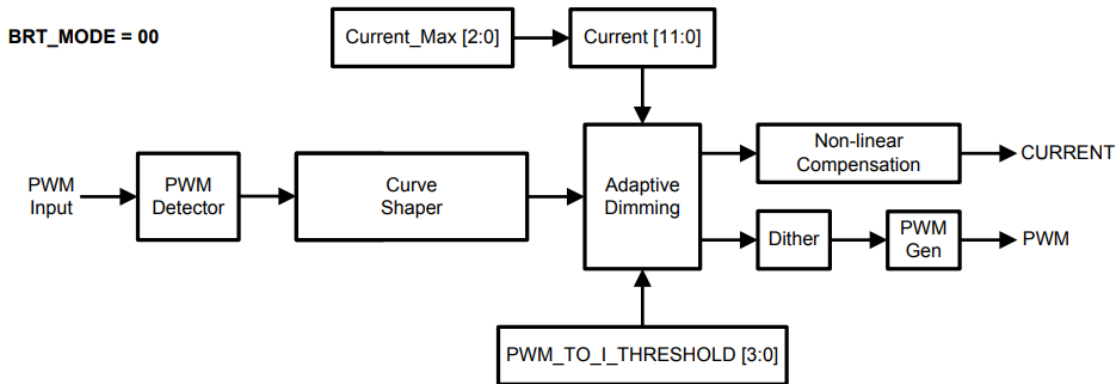


图 4：输入 PWM 调光框图

综上所述，当输入 PWM 频率小于等于 1.2kHz，基于电阻设置情况下使用输出 2.402kHz PWM Dimming，额外加上 2bit Dithering 精度，那么可以轻松实现 14bit 调光；或者通过寄存器配置使用输出 4.808kHz PWM，额外加上 3bit Dithering 精度，那么也同样可以实现 14bit 调光。

此处需要注意的是：为了避免可能的闪屏问题，需要尽可能的减小输入 PWM 的 Jitter，来保证调光精度且避免闪屏问题的出现。

此外，输出频率不能太低，因为当输出 PWM Dimming 频率在人耳可听到的频率范围内(<20kHz)时，可能会造成 Audible Noise。再者，基于 LP8556 的 Phase Shift 功能，最终能保证输出 PWM Dimming 频率对应的输出电压纹波频率为 6\*PWM 频率。比如，输出 PWM Dimming 频率为 2.402kHz 时，那么输出电压纹波频率为 14.412kHz；而输出 PWM Dimming 频率为 4.808kHz 时，那么输出电压纹波频率为 28.848kHz。

综上所述，如果基于实测，14.412kHz Audible Noise 在可接受的范围，那么可以考虑使用输出 2.402kHz PWM Dimming 频率；否则，可以使用 4.808kHz 输出 PWM Dimming 频率，外加 3bit dither 来实现万阶调光。

## 5. 实际调试中的建议

在实际的应用中，越精细的调光可以给用户带来更好的用户体验，但是同时可能带来闪屏等风险。背光芯片在实际应用中可能遇到的问题包括：闪屏，Phase Shift 的特殊用处等等问题，针对这些问题，我们可以按照下面的建议来进行调试。

### 1) Slope Functions 的使用：

背光闪屏一般是指背光固定在某一光亮位置，屏幕出现亮度不停跳动的情况，这会给用户带来非常差的用户体验。究其原因可能包括：输入 PWM 精度不够高，即其抖动过大，导致在某一亮度时，器件会认为其在某两个亮度之间跳动。见图 5，输出 PWM Dimming 的下降沿在 A 和 B 之间跳动，最终会表现为闪屏。

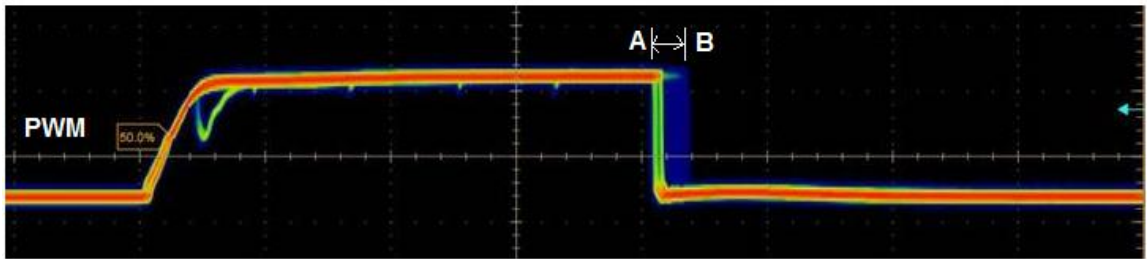


图 5：输出 PWM 电流波形

针对闪屏的问题，首先建议提高输入 PWM 精度，即减小其 jitter；其次，在输入 PWM 精度无法优化的情况下，那么建议使用 LP8556 的 Advanced Slope 功能来进一步优化闪屏问题。

Advanced Slope 的原理见图 6<sup>(2)</sup>。假设亮度 a 到亮度 b，如果是 normal slope 的话，那么从亮度 a 到亮度 b 需要 slope time T (0ms~500ms 可调)，而如果引入了 Advanced Slope 的话，那么其可以实现更缓慢的变化，实现更好的用户体验。

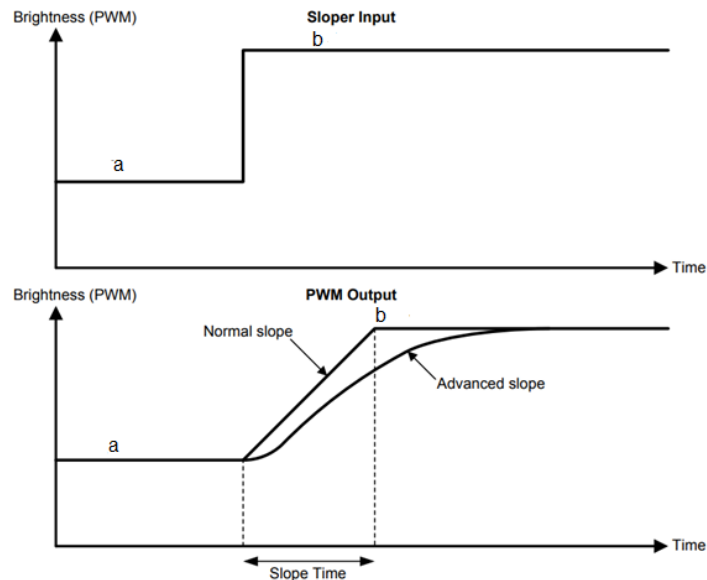


图 6：Slope 功能示意图

输入 PWM 的 jitter 过大的问题表现为亮度在  $a \sim [a-a_1, a+a_2]$  之间变化。那么我们假设  $a$  到  $a-a_1$  或者  $a$  到  $a+a_2$  之间变化所需要的时间是 200ms（假设其变化是线性的），那么基本上  $a$  还未变化到其目标值  $a-a_1$  就已经变回了  $a$  了，其过程简化为  $a \rightarrow a-a_1' (a_1' \ll a_1) \rightarrow a$ ，所以亮度值的变化基本上是很小，所以对于人眼基本上没有感知发生任何变化。

综上所述，如果 PWM input 的 Jitter 无法优化的情况下，Slope Function 是一个很好的解决手段去解决闪屏的问题。

## 2) Phase Shift 的用处：

LP8556 作为六通道的背光驱动芯片，Phase Shift 的用处总结见下：

- 1) Phase Shift 可以避免由于六个通道电流叠加产生的瞬间大电流，特别是 PWM 输出模式下；
- 2) 减小 Boost 输出的瞬间的电流，可以减小可能的 EMI 风险；
- 3) 为了获得更高的系统调光精度，也就是需要减小输出 PWM Dimming 频率。而过低的输出 PWM Dimming 频率可能会产生 Audible Noise，所以通过 Phase Shift 可以实现输出电压纹波  $6 * \text{PWM Frequency}$ ，进而实现更高的调光精度且避免 Audible Noise。

## 6. 结论

本文详细解析了 LP8556 调光控制方式，调光精度的计算以及实现万阶调光的步骤和应用注意事项。同时，针对闪屏等问题提出了有效可行的解决方式。

## 7. 参考文献

- (1) TPS61163 datasheet, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61163.pdf>
- (2) LP8556 datasheet, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp8556.pdf>

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

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 © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司