

离线 LED 驱动 Demo Board v1

图 1 所示的是敦泰 FT6610 Demo Board v1, 它选用 FT6610 做驱动芯片, 支持市电 AC220V 直接输入, 主要用来驱动 10W 左右的 LED 负载 (可用于日光灯照明), 可以满足高电压低电

流驱动应用要求。使用时, 可以将 LED 按串多并少的方式进行排列。如要驱动 180 个 20mA LED 草帽灯, 可以将 LED 分布成 36*5 (36 个 LED 串联成 1 组, 再 5 组并联) 或者 45*4 的阵列。

应用范围 (非隔离式)	
参数	值
输入电压	220VAC(110VAC), 50Hz/60Hz
LED 驱动电压	<120V(<60V)
LED 驱动电流	120mA 左右
开关频率	200kHz 左右



图 1 FT6610DB1 实物图

FT6610 支持固定频率和固定关断时间的 PWM 工作方式, 图 2 选用了后一种调光方式, 用户可以参考 FT6610 的 datasheet 了解基本的计算和工作原理。

为了通过 EN61000-3-2 标准对 C 类设备规定的谐波限制, FT6610 Demo Board 采用了图 2 所示简单的 PFC 电路。由于该 PFC 电路采用电容串联充电并联放电的原理, 不支持 LED 电压高于 120V 的应用场合。为了满足更高 LED 驱动电压的要求, 同时也为了提高效率, 对于功率因数要求不严格的场合, 建议去掉该 PFC 电路。

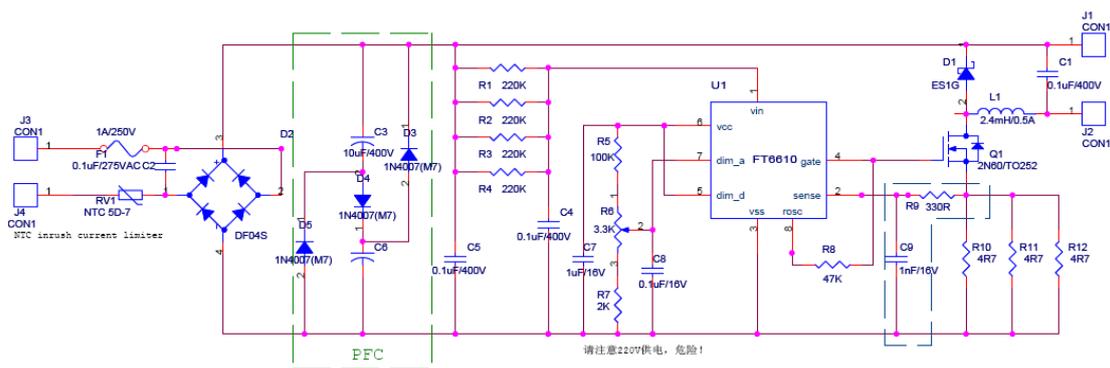


图 2 FT6610DB1 对应电路图

调试步骤:

注意：本设计采用非隔离方案，PCB 和 LED 负载均带电。调试时，请严格按照相关安全规定操作，以免发生触电事故。

首先根据 LED 负载连接方式估算器件取值和类型选取。

1: LED 连接方式

因为采样电阻 R10/R11 和 R12、开关管 Q1、肖特基二极管 D1、电感 L 内阻的消耗的功率均与流过的电流成正比，故对于效率要求较高的场合，建议将 LED 负载连接成串多并少的矩阵，这样 LED 的驱动电流将更小，效率将更高。

但同时也要注意，根据电感电压公式 $v = L \frac{di}{dt}$ ，在相同的 ripple 要求下，LED 电流越小， di 将越小。而关断时间 dt 不能太小，当 LED 驱动电压比较大时，L 也将比较大。故对于电感体积要求比较小的场合，建议适当增加并联的组数。

2: 根据负载决定是否选择图示的 PFC 电路

图 2 的 PFC 采用了填谷原理。充电时，D5 和 D3 截止，两个电容串联，电压可以充到最大值；放电时，当电压低于最大值的一半时，D5 和 D3 导通，两个电容并联放电，电压为最大值的一半。

如果选择 PFC 电路，对应 220VAC 供电系统，负载电压将不能超过 $220 * \sqrt{2} / 2 * 0.8 \approx 120V$ ，对于 110VAC 供电系统，负载电压不能超过

$110 * \sqrt{2} / 2 * 0.8 \approx 60V$ 。如果不选择PFC电路同时桥式整流电路后面的滤波电容足够大的话（假设输入AC电压为220V，频率为50Hz，则整流后得到的电压为308V，频率f为100Hz，LED电压为90V，LED电流为120mA。如果Vin电压需要控制在到5%以内，则需要的滤波电容为 $C_{min} = I_{led} * V_{led} * 2 / (f * v_{in} * v_{in} * (1 - 0.95 * 0.95)) = 22\mu F$ ），负载电压将分别可以达到 $220 * \sqrt{2} * 0.8 \approx 240V$ 或者 $110 * \sqrt{2} * 0.8 \approx 120V$ 。

适当调节 C3 和 C6，可以改善功率因数大小。

3: R5/R6/R7 选择

为了保持驱动电流的一致性，需要通过电阻 R5/R6/R7 调节 dim_a 电压大小，建议 dim_a 电压调节范围为 $250mV \pm 100mV$ 。按照图 2 所示的电阻比例，dim_a 调节范围为 $142mV \sim 377mV$ 。由于 VCC 的驱动能力比较弱，R5/R6/R7 的电阻值不能选取太小。

4: C8 选择

C8 主要起两个作用，一个是稳定 dim_a 电压，一个是作驱动电路的软启动控制。当 dim_a 的抽头连接在 R2 和 R4 之间时，电容 C8 充电时间常数为 $\tau = (R7 + R6) // R5 * C8$ 。按照图示选取 R5/R6/R7 和 C8 时，C8 充电至 250mV 的时间为 540us。如果需要更长的软启动时间，可以按比例增加 R5/R6/R7 或者 C8。

5: R10/R11/R12 和 R8 选择

图 2 采用固定关断时间，改变关断时间的 PWM 方式驱动 LED。这样，流过 LED 的最大电流由 R10//R11//R12 决定，不断流时的电流 ripple 由 R8 设置的固定关断时间决定。根据电感电压电流关系式 $v = L \frac{di}{dt}$ ，在关断时间，电感两端电压由 LED 负载决定，故可以认为 v 为常数。这样，确定关断时间后，di 即电流

ripple 将与电源电压无关。这就是采用该方式驱动的好处。实际应用时，由于电路有传输 delay，供电电源改变时， i_{max} 将变化，从而导致驱动电流平均值的变化，但该变化也在应用可接受范围内。

R8 越大，关断时间越长，其等式关系为 $T_{off}(\mu s) = \frac{R8(k\Omega) + 22(k\Omega)}{25}$ 。选择 R8 时，必须注意这两个方面的要求：一是不能消耗太多 vcc 电流，二是不能使输出电流断流或者说必须选择更大尺寸的电感。用户应根据实际情况折中选择 R8 的大小。

6: 电感 L1 选择

确定 R8 和电流 ripple 后，即可根据 $v = L \frac{di}{dt}$ 计算电感值。选用电感时，要根据电流范围选择电感线径，内阻要小，电感量可比理论值大 10% 左右，磁饱和电流为流过电感最大电流的 1.5 倍以上。

选择 R8 和电感时，也要考虑系统的工作频率，工作在几百 kHz 为宜。

由于非闭合回路的电感切换时将产生较大的干扰，有可能导致系统发生降频，故建议用户使用闭合回路的电感。考虑到一版日光灯管都具有金属外壳，采用闭合回路的电感，也可以降低灯管对电感性能的影响。

7: 功率开关管 Q1 选择

为了降低控制功耗，应选取 Cgs 电容小、开关电阻小，Vds 耐压值为 vin 的 1.1 倍以上的功率管。推荐使用 2N60，Cgs 电容为 270pF，开关电阻为 5 欧姆，vds 耐压值为 600V。

8: R1/R2/R3/R4 选择

为了降低芯片功耗，在芯片 vin 脚串联了 R1/R2/R3/R4。当芯片流过电流一定时，vin 脚电压越低，芯片的功率越低，工作温度越低。

选择 R1/R2/R3/R4 时，首先要估算芯片的平均电流。如按上述选择 2N60，系统工作频率为 300kHz，则 2N60 消耗的电流为 $i=f*v_{cc}*c=300K*7.5*270p=600uA$ ，芯片消耗的电流约为 500uA，R5/R6/R7 消耗的电流约为 70uA，R8 消耗的电流约为 200uA，则芯片 vin 提供的总电流约为 1370uA。Vin 脚电压最好高于 50V，如果采用 PFC 电路，则电阻 R1/R2/R3/R4 压降约为 100V，按 1.5mA 电流计算，可以选择 60K 欧姆的分压电阻，消耗的功耗为 0.135W。考虑到电阻的额定功率为 1/8W，可以选择多个电阻并联使用。

从上面的分析可以看出，如果不选择分压电阻，则芯片的功耗约为 $(300*2/3+150*1/3)*1.5m=375mW$ 。按照 160°C/W 的热阻计算，芯片温度将达到 $27+0.375*160=87^{\circ}C$ （如果选择 Cgs 更大的功率管，芯片将消耗更多的功耗，温度更高），而选用分压电阻后，芯片温度降低到 $(0.375-0.135)*160+27=65^{\circ}C$ 。分压电阻越大，芯片温度将越低。但也要考虑电源电压的波动，如果分压电阻过大，将可能使 vin 脚电压低于 50V。

选用 R1/R2/R3/R4 还有另外一个好处：降低了 vin 和 sense 之间的电压差，避免了在潮湿环境这两个相邻引脚之间火花放电。

9: C1 选择

C1 的主要目的是为了降低输出电流的 ripple，但同时也降低了效率，用户应根据具体要求判断是否选取 C1。不使用 C1 时，LED 电流为比较理想的锯齿波。C1 越大，ripple 越小，效率也越低。

10: R9 和 C9 选择

如果系统干扰较大，建议用户使用 R9 和 C9，这样 Q1 开关时产生的毛刺可以被过滤掉，可以保证环路不降频。但也要注意，R9 和 C9 增加了环路的 delay 时间，sense 峰值电压也将增加，同时电源改变导致的电流变化量也将增加。

完成上面的步骤后,下面可以进行带电调试。完成调试需要示波器和万用表。

1: 空载测试

不带负载,在图 2 J3 和 J4 加 220Vac 电源。首先测试 FT6610 vcc 脚电压,如果电压低于 7.5V,则说明分压电阻 R1/R2/R3/R4 选大了,减小分压电阻阻值,直至 vcc 电压为 7.5V,且 vin 电压高于 50V。

接着测试系统的静态功耗,如果可能,直接测量功率,应该在 0.2W 左右,如果偏大,则说明电路连接有问题,需要检查 PCB 板连接。如果不能直接测量功率,也可以测试电源电流,电流应该不高于 1mA。

2: 带负载测试

A: 测试 vcc 电压和 vin 电压,重复上面的步骤,调节 R1/R2/R3/R4 至 vcc 电压为 7.5V,且 vin 电压高于 50V。

B: 去掉 C1,在负载 LED 端串联 10 欧姆的电阻,测量该电阻两端的压降(除以 10 即为 LED 电流)。如果该压降为锯齿波,则证明 LED 电流未断流,否则电流断流,需要减小 R8 或者增加电感。也可以通过减小 R8 或增加电感降低电流的 ripple,调节完成后,可以将 C1 焊接到 PCB 上。

C: 如果需要,可测量功率因数。可通过改变 C3 和 C6 的电压调节功率因数。

D: 用肉眼观测 LED,以不闪烁为标准,如果闪烁,可以调节 C3、C6、R8 和 L。

E: 测量不同 PCB 的负载电流,调节 R4,使输出电流具有良好的一致性。

附 1: 典型应用 BOM 表

名称	数量	描述	封装	型号
F1	1	1A, 250VAC 保险丝	直插	1A, 250VAC
RV1	1	NTC 负温度系数温敏电阻	直插	5D-7
C1,C5,C4	3	0.1uF, 400V 涤纶电容	直插	0.1uF, 400V
C2	1	0.1uF, 275VAC 电容	直插	MKP0.1uFKX2
C3,C6	2	10uF, 400V 铝电解电容	直插	10uF, 400V
C7	1	1uF, 16V 陶瓷贴片电容	SMD0603	1uF, 16V
C8	1	0.1uF, 16V 陶瓷贴片电容	SMD0603	0.1uF, 16V
L1	1	2.4mH, 0.5A 电感	直插	4.7mH, 0.5A
D1	1	1.0A 快恢复二极管	SMA/DO-214AC	ES1J
D2	1	400V, 1A 整流桥	DF04S	DF04S
D3, D4, D5	3	普通整流二极管 1A1000V	SMA DO-214AC	1N4007
R1, R2, R3, R4	4	220k, 1/8W, 1%电阻	SMD0805	220K
R5	1	100k, 1/8W, 1%电阻	SMD0603	100K
R6	1	3.3k, 1/8W, 1%可调电阻	SMD3*3mm	3.3K
R7	1	2k, 1/8W, 1%电阻	SMD0603	2K
R8	1	33k, 1/8W, 1%电阻	SMD0603	47K
R10, R11, R12	2	4.7, 1/8W, 1%电阻	SMD0805	4.7
U1	1	通用 LED 驱动芯片	SOP8	FT6610
Q1	1	600V, 2A NMOSFET	T0-252	2N60-x-TN3-R
PCB	1	PCB 板	—	—

附 2：图 2 典型应用测试结果

测试条件：220V AC 输入，负载为 180 个 20mA LED 草帽灯，连接成 6 组，每组 30 个串联。测试时，在 LED 串联了 10 欧姆的电阻。测试温度为室温。

测试仪器：PF9800 智能电量测量仪（远方光电），MSO6054A 示波器（Agilent），FLUKE 111 示波器（FLUKE，测电压用），VC97（Victor，测电流用），DC-500VA 隔离变压器（柳迪），TDGC2J-05 变压器（三正电器）。

测试结果：

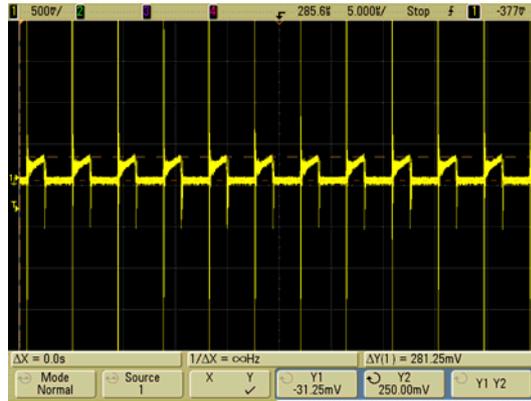
	测试结果
空载静态功耗	0.26W
输出平均电流	123.6mA
LED 电压	90.3V
电流 ripple	±10%
效率	82.7%
功率因数	0.86
工作频率	225kHz 左右
关断时间	2.64us
gate 上升/下降时间	90ns/55ns
电流和输入电压的关系 ^{注1}	±1.8%（4.3mA）

注 1：电压范围为 190VAC~250VAC

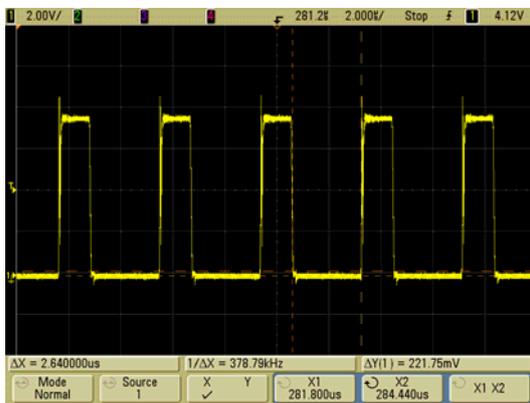
测试波形:



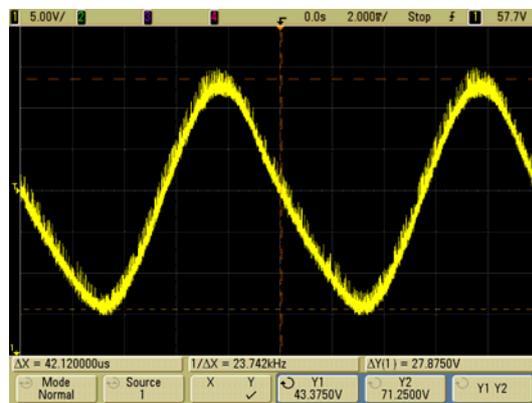
负载电流波形



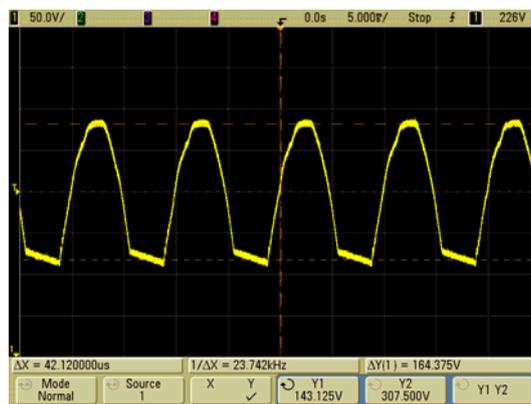
sense 电压波形



gate 电压波形



vin 电压波形



电源电压波形

本方案为敦泰实验室调试方案，敦泰将不会对任何参考该方案的产品负责（包括但不限于产品寿命以及使用过程中发生的任何安全问题），敦泰也将不会通知用户在其方案上所作的修改。如果用户想了解最新的应用，请访问公司网站：

www.focaltech-systems.com