

## 无电解电容 LED 驱动方案中输出功率的测量

LED 灯珠作为一个半导体器件，其寿命长达 50,000 小时以上。而 LED 照明驱动方案中普遍用到电解电容 (Electrolytic Capacitor)，其寿命则仅为 5,000~10,000 小时。这样电解电容的短寿命与 LED 灯珠的长寿命之间有一个巨大的差距，削弱了 LED 的优势。因而无电解电容 LED 驱动解决方案就有很大的吸引力。图 1 为美芯晟科技推出的基于 MT7920 的无电解电容 LED 驱动解决方案。

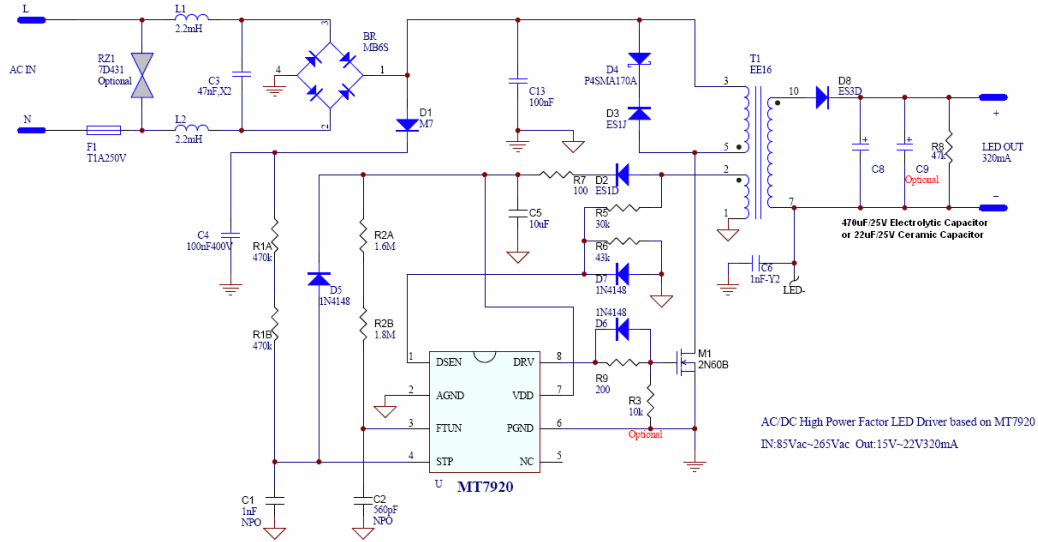


图 1、基于 MT7920 的隔离 LED 驱动方案

该方案中，在全桥堆之后，用容值较小的 CBB 高压陶瓷电容或薄膜电容取代了高压电解电容，去掉了电解电容，同时也提高了功率因子 (PFC)。而输出电容 C8 和 C9 可以用陶瓷电容替代电解电容。从而实现了完全无电解电容。

● **当输出电容 C8、C9 采用 470uF 电解电容，驱动 6 颗 LED 时，测量结果如下：**

输入电压  $V_{in} = 220VAC$ ，输入功率  $P_{in} = 7.54W$

输出电压  $V_o = 19.33V$  (万用表读数)

输出电流  $I_o = 327mA$  (万用表读数)

输出功率  $P_o = V_o * I_o = 6.32W$

效率  $\eta = 6.32/7.54 = 83.8\%$

采用电解电容时的输出电压，电流的波形如图 2 所示。从波形图上可以看出，输出电压、电流均存在一定的纹波。这在单级 PFC 恒流驱动方案中不可避免的，加大输出电容 C8、C9，可以进一步减小输出纹波。同时我们注意到示波器上电流、电压的平均值与万用表的读数基本相同。也即是万用表所测量到的直流电压、电流值为平均值。

进一步，在示波器上，用输出电压与输出电流相乘所得的瞬时功率曲线的平均值 6.34W 也基本与用平均电压与平均电流相乘所计算的功率相同。

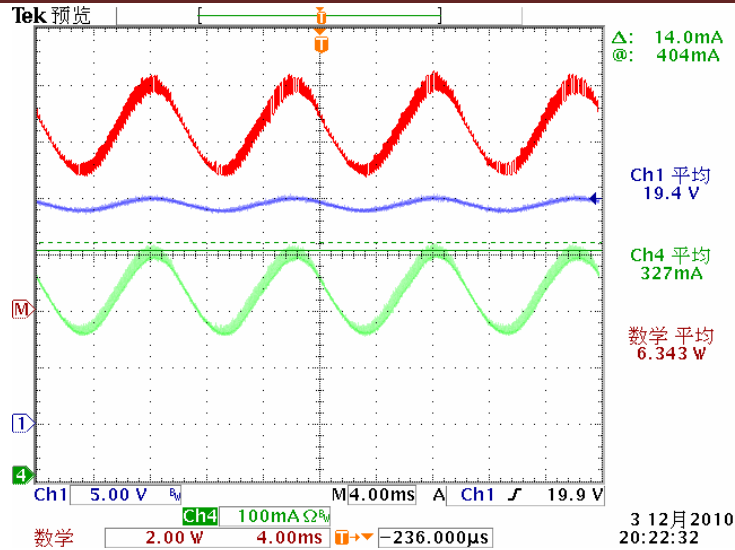


图 2、输出采用电解电容 (470uF X 2) 时的电流、电压波形  
 (Ch1=蓝色: 输出电压; Ch4=绿色: 输出电流; 数学运算=红色: Ch1\*Ch4)

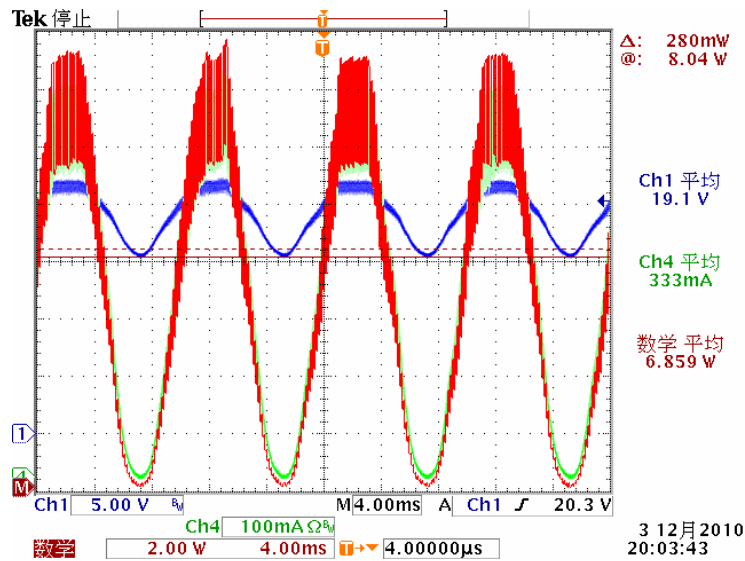


图 3、输出采用陶瓷电容 (22uF X 2) 时的电流、电压波形  
 (Ch1=蓝色: 输出电压; Ch4=绿色: 输出电流; 数学运算=红色: Ch1\*Ch4)

- 当输出电容 C8、C9 采用 22uF 陶瓷电容，驱动 6 颗 LED 时，测量结果如下：  
 输入电压  $V_{in} = 220VAC$ ，输入功率  $P_{in} = 8.10W$   
 输出电压  $V_o = 19.07V$  (万用表读数)  
 输出电流  $I_o = 334mA$  (万用表读数)  
 输出功率  $P_o = V_o * I_o = 6.37W$   
 效率  $\eta = 6.37/8.10 = 78.6\%$

采用陶瓷电容时输出电压、电流的波形如图 3 所示。

与用电解电容时相比，输入功率增加了约 0.56W (8.10W - 7.54W)，而输出功率

按万用表读数计算基本不变 (6.37W vs. 6.32W), 从而导致效率降低了 5%。情况真的如此吗? 0.5W 的功率跑哪里去了?

在图 3 中, 用输出电压与输出电流相乘所得的瞬时功率曲线的平均值为 6.86W, 而不是用平均电压与平均电流计算得到的 6.37W, 二者相差 0.49W, 正好补上了输入端增加的 0.56W。新的效率应该是  $\eta = 6.37/8.10 = 84.7\%$ 。因此效率是没有下降的。

为什么在无电解电容 (采用陶瓷电容) 方案中, 输出功率的计算会有如此的不同? 原因在于陶瓷电容的容值较小, 导致输出电流的纹波巨大, 电流的最低值甚至已经触底为零值了。此时, 输出电流的纹波已经大于其直流平均值了, 也即是输出电流已经是一个交流电流了。再采用平均电流来计算输出功率就不合适了。正确的输出功率计算方法是:

$$P_o = V_{o\_rms} * I_{o\_rms} * PF$$

式中  $V_{o\_rms}$  和  $I_{o\_rms}$  分别为输出电压和电流的均方根值, PF 为功率因子。图 4 是输出为陶瓷电容时, 输出电压及电流的波形及均方根值。与图 3 比较, 我们可以发现, 对于交流电流来说, 平均值与均方根值不再相等了。

但是功率因子 PF 不太容易测量, 用上述的公式在操作上有一定的难度, 我们用瞬时功率 (瞬时电压乘以瞬时电流) 的平均值来计算输出功率就比较容易了, 这个操作可以在示波器上很容易实现。

在用电解电容的方案中, 由于电解电容的容值比较大, 输出电流的直流值远大于纹波值, 其平均值与均方根值基本相等, 用平均电流来计算输出功率就不会引入太大的误差。

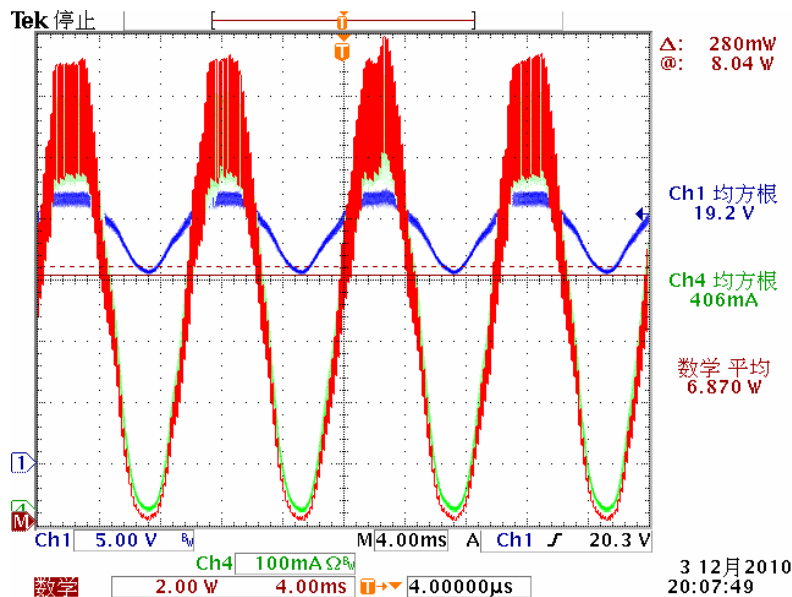


图 4、输出采用陶瓷电容 (22uF X 2) 时的电流、电压波形  
(Ch1=蓝色: 输出电压; Ch4=绿色: 输出电流; 数学运算=红色: Ch1\*Ch4)