

耗尽型 MOS 管在 SMPS 启动电路中的应用

在开关电源(SMPS, Switching Mode Power Supply), 广泛运用脉冲宽度调制(PWM, Pulse Width Modulation) 芯片对开关管进行控制。PWM IC 作为数模混合电路, 需要稳定的电源电压供电, 该电压一般不超过 18V。在电路稳态工作条件下, 该电压通过 SMPS 输出端的附加绕组(Auxiliary Winding)实现。在电路启动阶段, PWM 芯片尚未正常工作, 因而输出端的附加绕组还没有电压输出, 此时, 需要通过启动电路(Start-up Circuit)实现对 PWM 芯片的电压供电, 使电路逐渐过渡到稳态工作条件。进入稳态工作条件后, 启动电路自动切断或进入低功耗状态, 确保系统效率最大化。

传统的启动电路—采用功率电阻

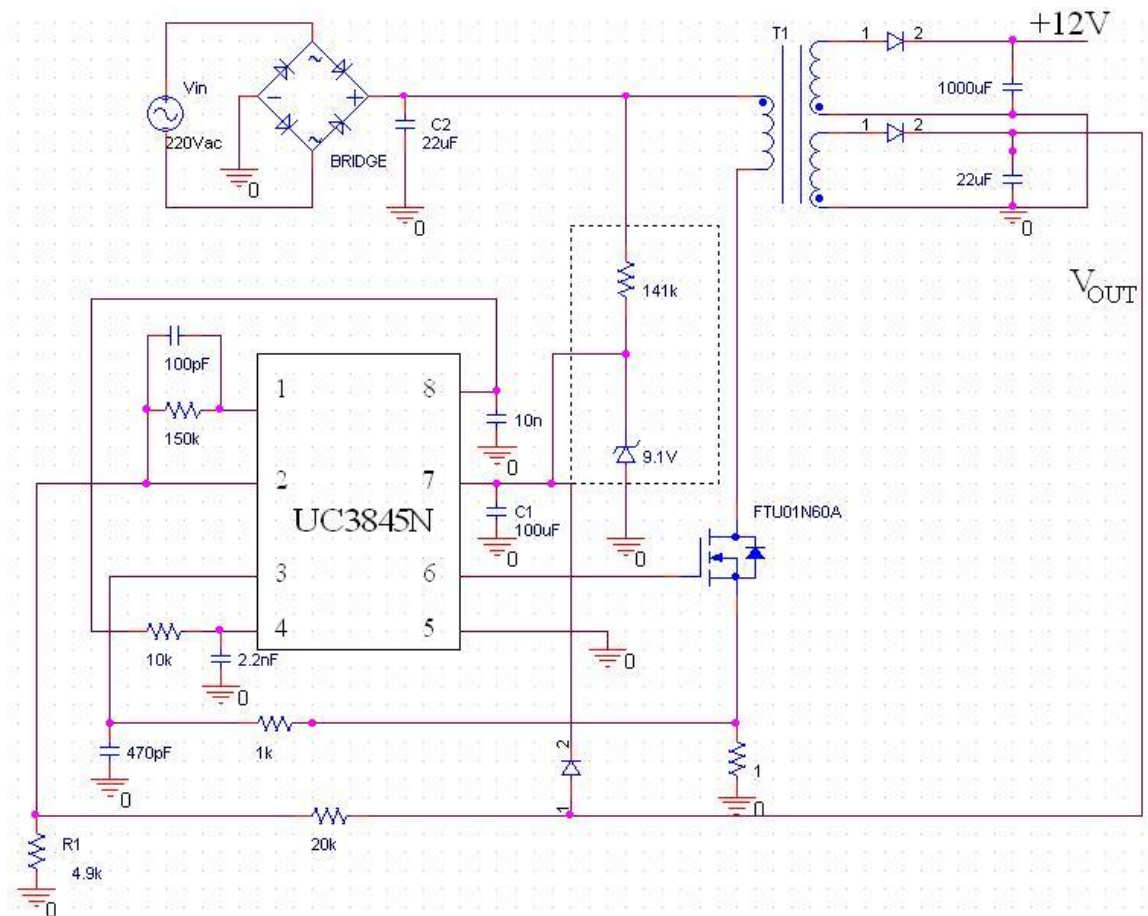


图 1. 功率电阻应用于 SMPS 启动电路

传统的方式是采用功率电阻和稳压二极管构成简单的启动电路，如图 1 所示。通过稳压二极管，将芯片的电源电压限制在 9V 左右。对于 IC UC3845N，其与启动相关的参数如下：

- a) 启动电流最大值：1.0mA
- b) 工作电流最大值：17.0mA
- c) 启动阈值电压最大值：9.0V
- d) 开通后的最低工作电压：8.2V

世界范围内的市电一般为 110VAC~240VAC，这意味着该 SMPS 将面临较宽的输入电压范围。考虑到最坏情况下电路依然要正常启动。取 $V_{IN(MIN)}=110VAC$ ，IC 需要启动电流 $I_{IC}=1mA$ ，稳压二极管需要的偏置电流 $I_{BIAS}=100\mu A$ ，则

$$R = \frac{V_{IN(MIN)}}{I_{IC} + I_{BIAS}} = \frac{110\sqrt{2}V}{1mA + 100\mu A} = 141k\Omega \quad (1)$$

无论是在电路启动阶段，还是在稳态工作阶段，电阻 R 上的压降均约等于整流后的市电电压。考虑到最坏情况下电阻 R 消耗的功率。取市电输入为 $V_{IN(MAX)}=240VAC$ ，则

$$P_{DISS} = \frac{(V_{IN(MAX)})^2}{R} = \frac{(240\sqrt{2})^2}{141k\Omega} = 0.82W \quad (2)$$

由此可见，在电路启动后，电阻 R 持续地产生功耗，降低了系统效率。

如果采用更大功率的 MOS 管作开关，需要 PWM IC 提供更大的驱动电流，其启动电流也必须相应增大。如果启动电流增大到 10mA，在最坏情况下电阻消耗的功率将高达 7.4 W。

因此，采用电阻式启动电路，具有如下明显的缺点：

- (1) 电阻持续地消耗较大的功率，降低了系统效率；
- (2) 较窄的输入电压范围；
- (3) PCB 板承受额外的热量，降低了系统可靠性；
- (4) 较大的功率电阻，占用了宝贵的空间。

新型的启动电路—采用耗尽型 MOS 管

表 1 耗尽型 MOS 管 DMZ6005E 的参数

符号	参数	最小值	典型值	最大值
BV_{DSS}	击穿电压	600V	--	--

只要 V_{C1} 小于齐纳二极管 D_1 的击穿电压，则电阻 R 和 D_1 支路上的电流 $I_{BIAS} \approx 0$ ，电阻 R (200k) 起到源极负反馈的作用，将流经 R 和齐纳二极管支路的电流限制在一个极低的值（关于此拓扑的电路分析，详见 ARK 的产品应用手册 AN-DM21）。由 $I_{IC} \gg I_{BIAS}$ ，得

$$V_{CC} = V_Z - V_{GS(OFF)} \left(1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}\right) \quad (5)$$

由 AN-DM21 可知，当耗尽型 MOS 管的漏极电压在 $V_Z + 7V \sim 600V$ 的范围内变化， I_D 均保持恒定， V_{CC} 基本不变。

在电路启动阶段，耗尽型 MOS 管的功耗最大为

$$P_{MOS} = (I_{DSS(MAX)}) \cdot (V_{IN(MAX)}) = 2mA \cdot (240\sqrt{2})V = 0.68W \quad (6)$$

因此，采用耗尽型 MOS 拓扑，有效地“屏蔽”了输入端电压变化对启动电路的影响，极大地拓展了输入电压范围。

13V

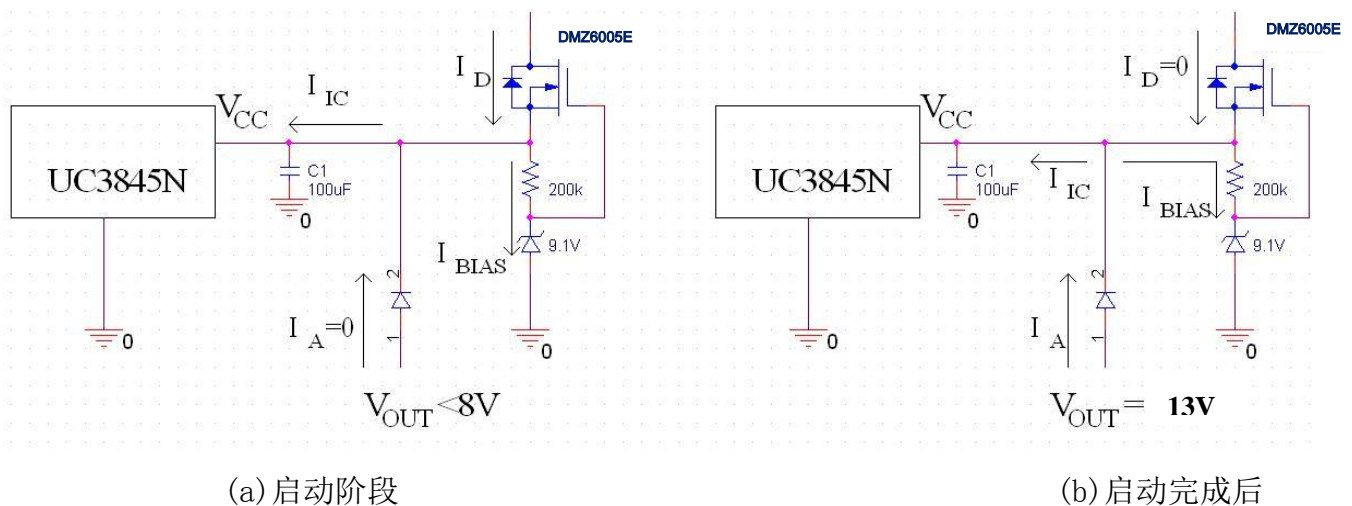


图 3. 耗尽型 MOS 管启动电路的工作状态

当 V_{C1} 上升到 9V 左右，PWM 芯片开始工作，电路主通路逐渐开始启动。附加绕组产生的稳定的直流电压 V_{OUT} 将回馈到 PWM 芯片，最终实现“自供电”，如图 3(b) 所示。为了降低电路功耗，使稳态工作后耗尽型 MOS 管被关断，则需要

$$V_{OUT} \geq 3.3V + V_Z + 0.7V \approx 13V \quad (7)$$

此时，齐纳二极管被击穿，耗尽型 MOS 管道栅极-源极电压满足

$$V_{GS} = -I_{BIAS} * R = -(V_{OUT} - V_Z) = -3.0V \leq V_{GS(OFF)} \quad (8)$$

耗尽型 MOS 被关断，仅有数十 nA 级的泄漏电流，其功耗可忽略不计。

电阻 R 和齐纳二极管 D1 支路的功耗为

$$P_{BIAS} = V_{OUT} * I_{BIAS} < 12.1V * 100\mu A \approx 1.2mW \quad (9)$$

因此，在稳态工作后，启动电路的整体功耗极低，完全可以忽略不计。

综上所述，采用耗尽型 MOS 管实现的 SMPS 启动电路中具有如下优点：

- (1) 极宽的输入电压范围；
- (2) 在启动阶段，偏置电路功耗可忽略不计，提高了系统效率；
- (3) 启动完成后，启动电路“自动切断”，功耗可忽略不计，提高了系统效率；
- (4) 器件发热低，PCB 布局紧凑，提高了系统可靠性。

关于耗尽型 MOS 管的更多应用，请参阅成都方舟微电子有限公司 (ARK Microelectronics Co., Ltd.) 的产品应用手册。