

电子工程技术丛书

经典开关电源 实用电路139例

● 周志敏 纪爱华 编著



<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电子工程技术丛书

经典开关电源实用 电路 139 例

周志敏 纪爱华 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

前 言

随着电子技术的高速发展，电子系统的应用领域越来越广泛，电子设备的种类也越来越多。电子设备与人们的工作、生活的关系日益密切，而电子设备都离不开可靠的电源，对电源的要求更加灵活多样。电子设备的小型化和低成本化使电源以轻、薄、小和高效率为发展方向。为此，单片开关电源集成电路自 1994 年问世以来，引起了国内外电源界的普遍关注，现已成为具有发展前景和影响力的一项高新技术产品。单片开关电源以其低损耗、高效率、电路简洁等显著优点而受到人们的青睐。开关电源具有高集成度、高性能比、最简的外围电路、最佳的性能指标等特点，现已成为电子设备的优选电源，广泛地应用于计算机、电子设备、仪器仪表、通信设备和家用电器中。

书中选取开关电源在通信、信息、家电、国防等领域应用的经典电路实例，采用图文并茂的形式系统地解析了开关电源的典型应用电路的设计方法和设计要点，读者可直接采用书中讲述的 100 多幅开关电源的典型应用电路图，也可结合应用设计特点在此基本电路上改进，应用于设计实践中。本书在写作上尽量做到有针对性和实用性，并力求做到通俗易懂和结合实际，以使本书具有技术先进、实用等特点，更加贴近现代从事开关电源技术开发、设计、应用的技术人员，读者可以以此为“桥梁”，系统、全面地了解 and 掌握开关电源的设计和应用技术。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、纪达安、纪和平、刘淑芬等，本书在写作过程中无论从资料的收集还是技术信息交流上，都得到了国内的专业学者和同行及开关电源集成芯片制造商的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，加之编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，在此敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 开关式 AC/DC 变换器电路实例	1
【例 1-1】 5V/0.8A 输出精密开关电源电路	1
【例 1-2】 4W/5V 输出开关电源电路	2
【例 1-3】 16W (峰值 35W) 输出开关电源电路	3
【例 1-4】 30W/12V 输出开关电源电路一	5
【例 1-5】 30W/12V 输出开关电源电路二	6
【例 1-6】 30W/12V 输出开关电源电路三	8
【例 1-7】 30W/12V 输出开关电源电路四	10
【例 1-8】 20W (峰值 80W) 输出开关电源电路	11
【例 1-9】 65W/19V 输出开关电源电路	13
【例 1-10】 50W (峰值 70W) 输出开关电源电路	14
【例 1-11】 70W/19V 输出开关电源电路	15
【例 1-12】 7.5V/1A 恒压/恒流输出开关电源电路	17
【例 1-13】 20W/12V 输出开关电源电路	21
【例 1-14】 5V/0.5A 输出开关电源电路	22
【例 1-15】 30W/15V 精密输出开关电源电路	23
【例 1-16】 15W/7.5V 输出开关电源电路	24
【例 1-17】 12V/1A 输出开关电源电路	25
【例 1-18】 3W/5V 输出开关电源电路	27
【例 1-19】 1.25W/5V 输出开关电源电路	29
【例 1-20】 9W/9V 输出开关电源电路	30
【例 1-21】 5V/2A (峰值 3A) 输出开关电源电路	31
【例 1-22】 1.44W/12V 输出开关电源电路	33
【例 1-23】 3W/12V 输出开关电源电路	34
【例 1-24】 0.6W/12V 输出开关电源电路	35
【例 1-25】 32W (峰值 81W) 输出电源电路	36
【例 1-26】 0.75W/5V 输出开关电源电路	41
【例 1-27】 2.4W/12V 输出开关电源电路	42
【例 1-28】 1W/7V 输出开关电源电路	43
【例 1-29】 12V/1A 输出开关电源电路	45
【例 1-30】 12V/1.7A (峰值 2.6A) 输出开关电源电路	46
【例 1-31】 32V/2.2A (峰值功率 70W) 输出开关电源电路	48
【例 1-32】 12V/2A (峰值功率 36W) 输出开关电源电路	50
【例 1-33】 35W/13V 输出开关电源电路	51
【例 1-34】 70W (峰值 126W) 输出开关电源电路	52

【例 1-35】 20W 超低空载功耗开关电源电路	54
第 2 章 开关式多路输出 AC/DC 变换器电路实例	56
【例 2-1】 25W 多路输出开关电源电路	56
【例 2-2】 57W 多路输出开关电源电路	61
【例 2-3】 7W (DVB-T) 开关电源电路	61
【例 2-4】 180W (PCSF) 开关电源电路	63
【例 2-5】 13W (DVD) 开关电源电路	65
【例 2-6】 43W 多路输出开关电源电路	65
【例 2-7】 20W (峰值 25W) DVD 开关电源电路	68
【例 2-8】 60W 多路输出开关电源电路	70
【例 2-9】 35W 双输出开关电源电路	70
【例 2-10】 35W 多路输出机顶盒开关电源电路	74
【例 2-11】 150 ~ 300W 高效率功放开关电源电路	75
【例 2-12】 72W 双输出开关电源电路	78
【例 2-13】 12V/5V 双输出开关电源电路	80
【例 2-14】 25W (峰值 28W) 多路输出开关电源电路	81
【例 2-15】 65W 双输出开关电源电路	81
【例 2-16】 13W (峰值 17.2W) 多路输出开关电源电路	83
【例 2-17】 7.5W (峰值 13W) 多路输出开关电源电路	84
【例 2-18】 17.7W (峰值 29.7W) 多路输出开关电源电路	86
【例 2-19】 1.2W 双输出开关电源电路	89
【例 2-20】 9W 多路输出开关电源电路	90
【例 2-21】 36W (峰值 72W) 多路输出开关电源电路	91
【例 2-22】 33W (峰值 60W) PVR 开关电源电路	92
【例 2-23】 7W (峰值 10W) 多路输出开关电源电路	94
【例 2-24】 7W (峰值 10W) 多路输出开关电源电路	97
【例 2-25】 75W 双输出开关电源电路	98
【例 2-26】 50W (峰值 200W) 多路输出开关电源电路	100
【例 2-27】 15W 机顶盒开关电源电路	100
【例 2-28】 75W (峰值 126W) 多路输出开关电源电路	103
【例 2-29】 60W (峰值 200W) 多路输出开关电源电路	105
【例 2-30】 9.65W 双输出开关电源电路	107
【例 2-31】 5.9W 多路输出开关电源电路	108
【例 2-32】 35W 多路输出开关电源电路	109
【例 2-33】 60W 多路输出开关电源电路	110
【例 2-34】 280W LCD 电视机电源电路	111
第 3 章 开关式 DC/DC 变换器电路实例	125
【例 3-1】 30W 同步整流 DC/DC 变换器电路一	125
【例 3-2】 30W 同步整流 DC/DC 变换器电路二	129
【例 3-3】 6.6W DC/DC 变换器电路	131

【例 3-4】	7.5V/0.4A DC/DC 变换器电路	135
【例 3-5】	3.1W/12V DC/DC 变换器电路	137
【例 3-6】	30W DC/DC 变换器电路	138
【例 3-7】	25W DC/DC 变换器电路	139
【例 3-8】	5V/70W DC/DC 变换器电路	141
【例 3-9】	16.5W DC/DC 变换器电路	142
【例 3-10】	20W/2.5V 同步整流 DC/DC 变换器电路	144
【例 3-11】	5W DC/DC 变换器电路	145
【例 3-12】	60W 同步整流 DC/DC 变换器电路	147
【例 3-13】	50W DC/DC 变换器双输出电路	149
【例 3-14】	19.2W DC/DC 变换器电路	150
【例 3-15】	60W DC/DC 变换器电路	152
【例 3-16】	17W DC/DC 变换器电路	153
【例 3-17】	150W DC/DC 变换器电路	155
【例 3-18】	250W/48V DC/DC 变换器电路	156
【例 3-19】	20W DC/DC 变换器双输出电路	157
【例 3-20】	10W/15W DC/DC 变换器电路	159
第 4 章	开关式充电器电路实例	162
【例 4-1】	6W 铅酸蓄电池充电器电路	162
【例 4-2】	6W 恒压/恒流充电器电路	165
【例 4-3】	5W 高效充电器应用电路	167
【例 4-4】	2.5W 恒压/恒流充电器电路	169
【例 4-5】	2.4W 恒压/恒流充电器电路	171
【例 4-6】	1.75W 充电器电路	173
【例 4-7】	2W 充电器电路	174
【例 4-8】	3W 恒压/恒流充电器电路	175
【例 4-9】	15V/2A 精密恒压/恒流输出开关电源电路	177
【例 4-10】	15V/15W 恒功率型开关电源电路	179
【例 4-11】	2.75W USB 充电器电路一	180
【例 4-12】	2.75W USB 充电器电路二	182
【例 4-13】	2.75W USB 充电器电路三	184
【例 4-14】	2.75W 恒压/恒流充电器电路	186
【例 4-15】	5W 恒压/恒流充电器电路	187
第 5 章	开关式适配器电路实例	190
【例 5-1】	70W/19V 笔记本电脑适配器电路	190
【例 5-2】	15W/12V 适配器电路	197
【例 5-3】	10W 便携式音频播放器适配器电路	198
【例 5-4】	12W 通用输入恒压适配器电路	199
【例 5-5】	2W 低成本恒压适配器电路	201
【例 5-6】	4.56W 无绳电话适配器电路	203

【例 5-7】	2.75W CV/CC 充电器或适配器电路	204
【例 5-8】	1.5W CV/CC 充电器或适配器电路	207
【例 5-9】	2W/6.2V 适配器电路	208
【例 5-10】	2.5W 充电器/适配器电路一	209
【例 5-11】	2.5W 充电器/适配器电路二	211
【例 5-12】	45W 通用输入的 LCD 显示器外部适配器电路	212
【例 5-13】	1.6W 适配器电路	213
【例 5-14】	65W/19.7V 超薄型笔记本适配器电路	214
【例 5-15】	40W 标准笔记本适配器电路	215
【例 5-16】	6W 适配器电路	218
第 6 章	开关式 LED 驱动电路实例	220
【例 6-1】	1.8A (无源 PFC) LED 驱动电路	220
【例 6-2】	非隔离降压式 LED 驱动电路	221
【例 6-3】	0.5W 非隔离恒流 LED 驱动电路	222
【例 6-4】	20W (PFC) LED 驱动电路	223
【例 6-5】	可调光的 LED 驱动电路	225
【例 6-6】	高效 LED 驱动电路	227
【例 6-7】	14W 高效 LED 驱动电路	228
【例 6-8】	17W 隔离式 (PFC) LED 驱动电路	229
【例 6-9】	1.25W 非隔离恒流 LED 驱动电路	231
【例 6-10】	单级 PFC 恒压/恒流 LED 驱动电路	232
【例 6-11】	350mA/12V 非隔离高效、低成本 LED 驱动电路	233
【例 6-12】	7.6V/700mA 隔离式高效 LED 驱动电路	234
【例 6-13】	350mA/4.2W 隔离式 LED 驱动电路	236
【例 6-14】	填谷式电流校正可调光 LED 驱动电路	237
【例 6-15】	高效恒流降压式 LED 驱动电路	239
【例 6-16】	11W 高效率恒流 LED 驱动电路	240
【例 6-17】	3.67W 恒定/恒流 LED 驱动电路	241
【例 6-18】	7.6V/700mA 隔离式 LED 驱动电路	242
【例 6-19】	12V/350mA 恒压/恒流反激式 LED 驱动电路	244
附录 A	集成开关器件型号及输出功率	246
附录 B	集成开关变换器典型应用电路	255
参考文献	287

开关式 AC/DC 变换器 电路实例



【例 1-1】 5V/0.8A 输出精密开关电源电路

采用 TOPSwitch-II 系列的 TOP221Y 器件构成的隔离式 5V/0.8A 输出精密开关电源电路原理图如图 1-1 所示, AC 输入经 C1 和 L1 构成的 EMI 滤波器抑制电磁噪声, 输入至整流电路。由于 TOP221Y 具有频率抖动特性, 可有效抑制噪声干扰, 因而在小功率开关电源中, 只需简单的 EMI 滤波器, 并采用合理的接地技术, 即可符合有关电磁兼容性的要求。BR1 选用快恢复特性的整流桥 (2KPBO6M), 整流后的脉动直流电经 C2 滤波, 提供给 TOP221Y 开关调制电路。

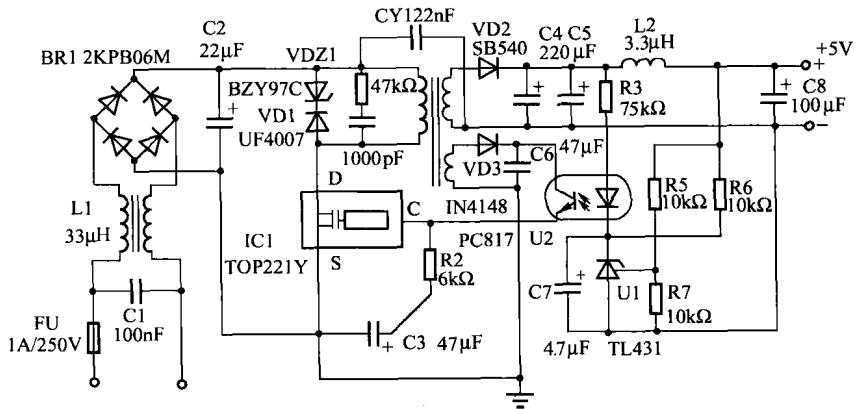


图 1-1 隔离式 5V/0.8A 输出精密开关电源电路原理图

TOPSwitch-II 系列器件是美国功率集成公司在 1997 推出的产品, TOPSwitch-II 是 TOPSwitch 的改进型号。TOPSwitch-II 系列器件同 TOPSwitch 系列器件相比, 内电路做了许多改进, 器件对于电路板布局以及输入总线瞬变的敏感性大大降低, 故设计更为方便, 性能又有了增强, 性能价格比更高。与 TOPSwitch 系列器件相比, TOPSwitch-II 系列器件在输入电压为 100V、115V 或 230V AC 时, 系统功率从 0~100W 提高到 0~150W; 在 3 种电压下均可工作时, 系统功率从 0~50W 提高到 0~90W, 从而使得 TOPSwitch-II 器件可在如电视、监视器及音频放大器许多新的应用领域内使用。

TOPSwitch-II 系列器件提供了多种封装方式, 其中 8 脚的 PDIP 封装方式可使用 6 个引脚将芯片热量直接传送到电路板上, 从而节省了使用散热器的成本。TOPSwitch-II 系列器件由 MOSFET、PWM 控制器、高压启动电路、环路补偿和故障保护电路等部分组成。该芯片由漏极端、控制端、源极端 3 个引脚组成, 各引脚功能如下:

(1) 漏极端 (DRAIN 脚): 漏极端与 MOSFET 的漏极连接。启动时, 提供内部偏置电流。

(2) 控制端 (CONTROL 脚): 控制端具有以下 3 项功能。

- 该端电压 V_c 为片内并联调整器和门驱动级提供偏压。
- 该端电流 I_c 能调节占空比。
- 该端还作为电源支路与自动重新启动/补偿电容的连接点, 通过外接旁路电容来决定自动重新启动的频率, 并对控制回路进行补偿。

(3) 源极端 (SOURCE 脚): 源极端和 MOSFET 的源极连接, 也是开关电源初级电路的公共点和参考点。

高频变压器的次级绕组有两个:

一个是主绕组, 它提供电源的主能量, 高频电压经快速二极管 SB540 整流后由滤波电容 C4、C5 滤波, 再经 L2 构成低通滤波器输出至负载。L2 的主要功能是抑制高频噪声输出至负载, 以防止负载受其干扰。输出端的电解电容 C6 的主要功能是降低输出直流电压的交流纹波。

另一个次级绕组为反馈电压绕组, 输出的反馈电压由二极管整流后加在光电耦合器的二极管正极上, 电阻 R5 和 U1 构成基准电压源, 为光电耦合器提供基准电压, 这样光电耦合器中的二极管的发光强度是由输出电压控制的, 经光电耦合器耦合到 TOP221Y 的控制端, 从而实现脉宽的可控, 达到稳压目的。电阻 R6 和 C6 是控制环路的补偿元件。

图 1-1 所示电路具有以下特性:

- (1) 输出直流电路采用了 LC 滤波电路, 有效消除次级电路中的高频干扰信号。
- (2) 交流输入电压范围为 85 ~ 265V (47 ~ 440Hz)。
- (3) 直流输出为 5V/0.8A, 纹波小于 50mV。
- (4) 该电源具有约 1% 的电压调整率和负载调整率, 效率可达 70% 以上。
- (5) 工作温度范围为 0 ~ 75℃。



【例 1-2】 4W/5V 输出开关电源电路

图 1-2 所示的输出为直流 +5V 的开关型稳压电路的输入电压范围为 90 ~ 264V AC (50/60Hz), 该电路的稳压精度优于 $\pm 3\%$, 输出功率为 4W, 最大输出电流可达 0.8A, 典型变换效率为 70%。

图 1-2 所示电路采用 TOPSwitch 系列的 TOP100 器件, TOPSwitch (Three Terminal Off line PWM Switch) 系列器件是三端 PWM 开关电源, 它的特点是将高频开关电源中的 PWM 控制器和 MOSFET 功率开关管集成在同一芯片上, 是一种二合一器件。这大大简化了电路设计, 提高了可靠性, 使得电源的设计更加简单快捷。TOPSwitch 器件有多种封装形式, 采用 DIP-8 和 SMD-8 封装的, 中间 4 只为空脚, 可以将它们接到印制电路板的铜箔上, 将芯片产生的热量直接传到印制电路板上, 不必另设散热器, 节省了成本。

TOPSwitch 系列器件仅用 3 个引脚就能将开关电源所必须具有的高压 N 沟道 MOS 场效应管及驱动电路、电压型 PWM 控制器、100kHz 高频振荡器、高压启动偏置电路、带隙基准、用于环路补偿的并联偏置调整器, 以及误差放大器 and 故障保护等功能全部组合在一起。TOP209/TOP210 还特别为小功率备用电源应用做了优化, 弥补了 TOPSwitch 系列器件在这一类应用中的不足。TOPSwitch 系列器件的引脚功能如下:

(1) D (漏极)。漏极是内部 MOSFET 的漏极, 也是内部电流的检测点, 启动工作时, 漏极端由一个内部电流源提供内部偏置电流。

(2) S (源极)。连接内部 MOSFET 的源极, 同时是 TOP 开关及开关电源初级电路的公

共接地点及基准点。

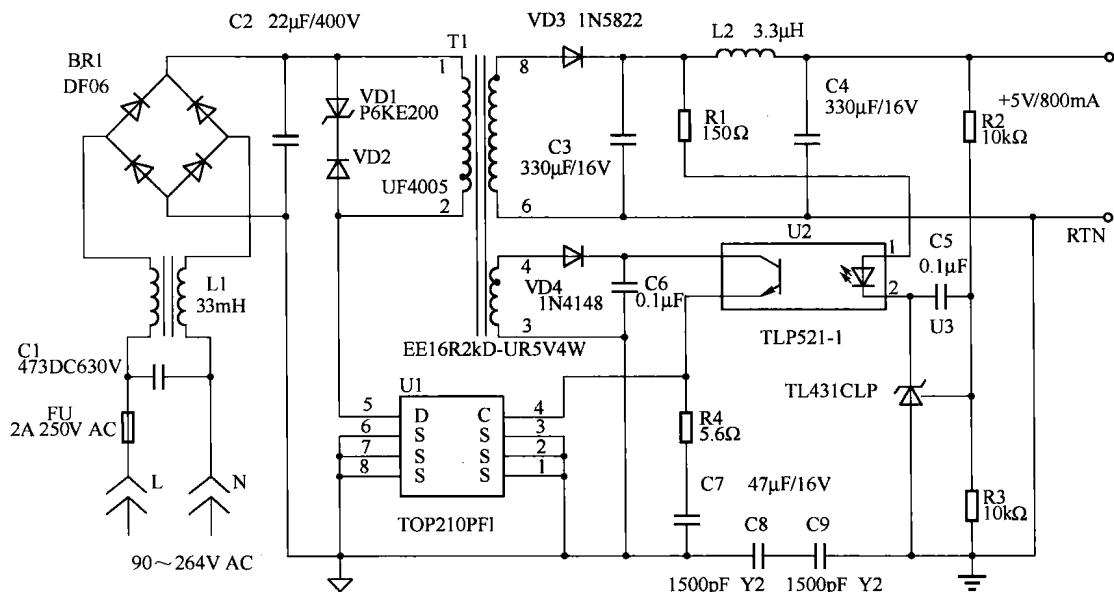


图 1-2 4W/5V 开关型稳压电路

(3) C (控制极)。误差放大电路和反馈电流的输入端，在正常工作时，由内部并联调整器提供内部偏流。系统关闭时，可激发输入电流，同时也是旁路、自动重启和补偿功能的电容连接点。控制极有 4 个作用：

- 利用控制电流 I_c 的大小来调节占空比 D 。
- 为芯片提供正常工作所需的偏流。
- 决定自动重启的频率。
- 对控制回路进行补偿。

在图 1-2 所示电路中，C1、L1、C8 和 C9 构成一个 EMI 滤波器，BR1 和 C2 对输入交流电压整流滤波，VD1 和 VD2 用于消除因变压器漏感引起的尖峰电压。U1 是一个内置 MOSFET 的 PWM 控制器 (TOP210PF1)，U1 控制整个电路的工作，R2 和 R3 是取样电阻，它们和 U2、U3 一起对输出电压进行反馈控制，以确保负载变化时输出电压稳定。VD3 和 C3 是次级整流滤波电路，L2 和 C4 对输出电压进一步滤波以便降低输出纹波电压。

在图 1-2 所示电路设计时，需特别注意散热和隔离问题，U1、T1、VD3 为发热元件，布局时要与其他元件相隔一定距离，U1 的 6 个 S 引脚要在输入端采用大面积铜箔可靠连接，并利用它散热。输入和输出端的元件要以变压器 T1 和光电耦合器 U2 为轴线分为二边布局，中间留足空间以满足输入/输出间对隔离电压的设计要求。图 1-2 所示电路中的电解电容器最好使用低阻抗宽温型开关电源专用电容，以获得最佳性能，C8、C9 应选用 Y2 型安全电容。



【例 1-3】 16W (峰值 35W) 输出开关电源电路

图 1-3 所示的 16W 音频放大器电源应用电路，在 85V AC 输入，输出峰值功率 35W 时，效率为 77% (最小)。电路具有低空载功耗 (230V AC 时小于 0.7W)、元件数量少 (共 37

个元件, 不包括 I/O 连接器) 等特点, 变压器设计为能输出 35W 峰值功率, 使用或不使用输出缓冲电容均能实现稳定的工作状态, 满足 CISPR-22B 对 EMI 限制的要求, 并具有大于 10dB μ V 的裕量。

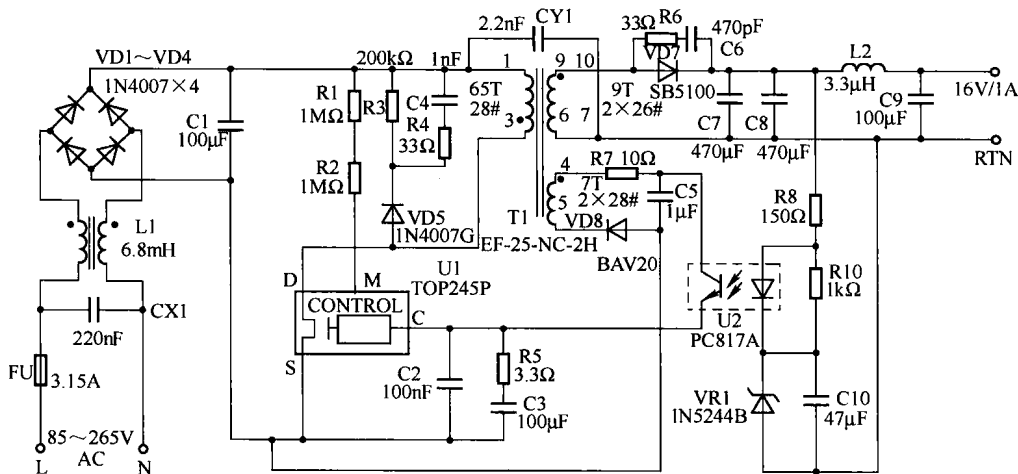


图 1-3 16W 音频放大器电源应用电路

图 1-3 所示的电路为宽电压输入的反激式拓扑结构, 使用了 TOPSwitch-GX 器件的许多内置的特性, 以减少元件数量、变压器尺寸和整体成本。设计中, TOP245P (DIP-8 封装) 器件使用 PCB 铜箔散热, 省去了散热器, 输出整流管 VD7 也用同样的方法散热。电阻 R1 和 R2 将标称的欠压 (UV) 锁存和过压 (OV) 关断点分别设置为 84V 和 378V。在低电压时, UV 锁存功能保护电源, 可消除开启和关断的频繁切换。OV 关断功能在出现电压浪涌时保护电源。TOPSwitch-GX 系列器件引脚功能如下:

(1) 漏极 (D) 引脚。高压 MOSFET 的漏极输出, 通过内部的开关高压电流源提供启动偏置电流, 是漏极电流的内部限流检测点。

(2) 控制极 (C) 引脚。误差放大器及反馈电流的输入脚, 用于占空比控制。与内部并联调整器相连接, 提供正常工作时的内部偏置电流, 也是电源旁路和自动重启/补偿电容的连接点。

(3) 电压检测 (L) 引脚 (仅限 Y、R 或 F 封装)。过压 (OV)、欠压 (UV)、降低 D_{\max} (最大占空比) 的电压前馈、远程开/关和同步的输入引脚, 若连接至源极引脚, 则禁用此引脚的所有功能。

(4) 外部限流 (X) 引脚 (仅限 Y、R 或 F 封装)。外部限流调节、远程开/关控制和同步的输入引脚, 若连接至源极引脚, 则禁用此引脚的所有功能。

(5) 多功能 (M) 引脚 (仅限 P 或 G 封装)。此引脚集 Y 封装的电压检测 (L) 及外部限流 (X) 引脚功能于一体, 是过压 (OV)、欠压 (UV)、降低 D_{\max} 的电压前馈、远程开/关和同步的输入引脚, 若连接至源极引脚, 则禁用此引脚的所有功能, 并使 TOPSwitch-GX 以简单的三端模式工作。

(6) 频率 (F) 引脚 (仅限 Y、R 或 F 封装)。选择开关频率的输入引脚, 如果连接到源极引脚, 则开关频率为 132kHz, 若连接到控制极引脚, 则开关频率为 66kHz。P 和 G 封装只能以 132kHz 开关频率工作。

(7) 源极 (S) 引脚。这个引脚是 MOSFET 的源极连接点, 用于高压功率回路, 也是初

级控制电路的公共点及参考点。

由于 TOPSwitch-GX 器件内置的频率抖动功能, EMI 滤波电路可大大简化, 仅使用 3 个元件 (L1、CX1 和 CY1) 构成 EMI 滤波器。由 C4、R3、R4 和 VD5 构成的 RCD 钳位电路限制 U1 的漏极峰值电压, 采用玻璃钝化型慢恢复二极管 (VD5) 可把一部分存储在变压器的漏感能量回送回去, 增加了电路整体效率, 电阻 R4 阻尼漏极的振荡 (用慢恢复二极管时是必需的)。偏置绕组给 U1 的控制脚提供工作电流和反馈电流。U2、R8 和 VR1 构成反馈电路, 检测输出电压。流过 U2 的电流通过调制输入 U1 控制脚, 由反馈电流来实现对输出电压的调整。

为确保在额定输入电压和输出负载的极限情况下, 控制环路有足够的相位裕量 (包括使用和未使用输出缓冲电容时), 稳压管 VR1 的误差应 $\leq 5\%$, 如果要求更好的精度, VR1 的误差应 $\leq 2\%$ 。OV 和 UV 阈值由以下公式决定:

$$V_{OV} = 225 \mu\text{A} \times (R_1 + R_2) \quad (1-1)$$

$$V_{UV} = 50 \mu\text{A} \times (R_1 + R_2) \quad (1-2)$$

设计中应使功率环路部分的布局 (初级和次级) 紧凑, 使噪声 (EMI 和输出纹波) 和功率损耗最小。至少有 10cm^2 的 PCB 铜箔散热面积。使用 $10\,000\mu\text{F}$ 的低 ESR 输出缓冲电容可改善多通道音频瞬态能力, 输出整流管两端应避免使用 RC 缓冲电路。



【例 1-4】 30W/12V 输出开关电源电路一

图 1-4 所示的电路具有效率高 (最低 79%), 元件数量少, 空载功耗低 (115V AC 时小于 200mW, 230V AC 时小于 250mW) 等特点, 并具有 UV、OV 关断, 自动恢复的热关断和短路保护功能, 满足 EN5022B 和 CISPR-22B 对 EMI 标准的要求, 在 265V AC 输入时将过载输出功率限制到额定负载的 160%。

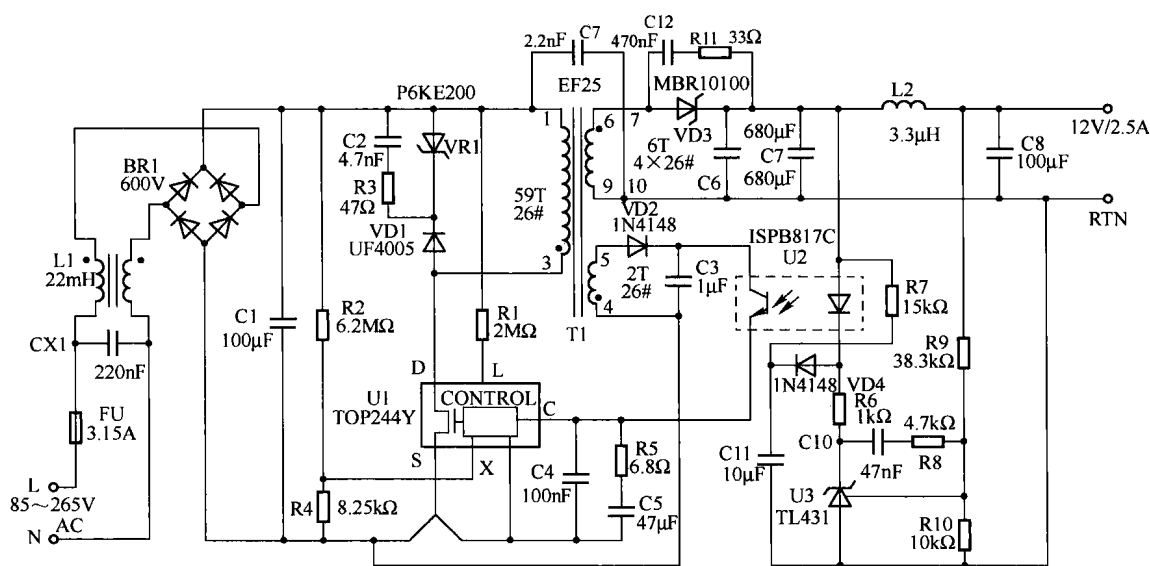


图 1-4 30W/12V 输出开关电源电路一

电阻 R1 通过 L 脚实现输入 UV、OV 保护功能 (UV 典型值为 100V DC, OV 典型值为 450V DC), 电阻 R4 将 U1 的限流点控制为标称值的 85%, 当输入电压增加时电阻 R2 降低

电流限流点，限制了电源的最大过载功率。具有限流点降低功能，可使用小尺寸的变压器来实现连续模式工作，并降低了初级和次级的峰值电流，优化了效率并减小了元件应力。

由 VD1 和 VR1 构成钳位电路，在正常工作时吸收漏感能量，齐纳管 VR1 把电压钳位到一个安全水平。电容 C2 从 VR1 转移了一些漏感能量，降低了它的温度，并增加了电路整体效率。钳位后，反相恢复电流流过 VD1 把一部分钳位能量回送回去。电阻 R3 限制了 VD1 的反相恢复电流，通过限制漏极振荡来改善 EMI。采用电阻 R9 和 R10 设置输出电压，C10 和 R8 提供补偿，R6 设置 DC 环路增益。采用 TL431 做参考，比使用齐纳管能得到更好的调整率和输出电压误差，由于偏置电流低（1mA），能提供更好的空载性能。VD4、C11 和 R7 为可选元件，采用可选元件可实现软启动以限制开机过冲，电阻 R7 在关机时给软启动电容放电。在图 1-4 所示电路设计中要注意以下要点：

(1) 设计中应将反射电压限制在 90 ~ 120V 的范围内。

(2) VD3、C6 和 C7 的紧凑布局可提高效率，以确保 C6 和 C7 有相同的次级环路面积以平衡各自的纹波电流。

(3) 钳位电路要实现成本最低则可采用 RCD 钳位电路，要获得最好的空载特性，应使用齐纳管。

(4) 参考电压要实现成本最低，可采用低电流的齐纳管做次级参考（偏置电流 5mA），但采用 TL431 可得到更好的电压精度和空载功耗（因为只有 1mA 的偏置电流）。

【例 1-5】 30W/12V 输出开关电源电路二

图 1-5 所示电路利用了 TOPSwitch-GX 器件的一些特性来降低系统成本，减小电源尺寸，提高效率，可提供 12V、30W 输出，采用通用的 85 ~ 265V 交流输入，在 50℃ 环境下可以在开放式模式下工作，设计中选择 TOP244Y 时满载额定效率可达 80%。

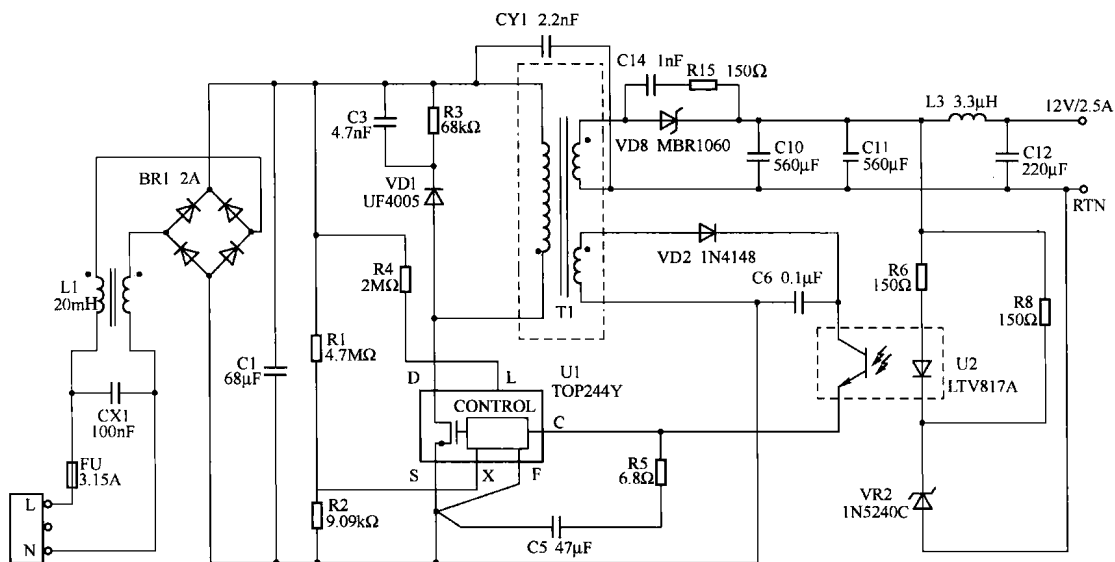


图 1-5 30W/12V 输出开关电源电路二

在图 1-5 所示电路中，通过电阻 R1 和 R2 可从外部设置 TOPSwitch-GX 的限流值，使其仅略高于低电压工作时的漏极峰值电流，约为默认限流值的 70%。因此，对设定的输出电

压, 可以采用更小的变压器磁芯和更高的变压器初级电感, 以降低 TOPSwitch-GX 器件功耗, 同时避免启动和输出瞬态情况下变压器磁芯出现饱和。

电阻 R1 和 R2 提供电压前馈信号, 使限流可随电压而降低, 从而限定在高输入电压时的最大过载功率。前馈功能与内置的软启动功能相结合, 可以使用高的反射电压、低成本的 RCD 钳位电路 (R3、C3 和 VD1), 即使在最差条件下也可将 TOPSwitch-GX 器件的漏极电压限定在安全范围内。电阻 R4 实现电压检测, 将 UV 设定为 100V DC, OV 设定为 450V DC。TOPSwitch-GX 器件增大了最大占空比 (确保至少 75%, 而 TOPSwitch-II 为 64%), 因而可以使用更小的输入电容 (C1)。

TOPSwitch-GX 器件采用 RCD 钳位电路后, 最大占空比可更大, 反射电压更高, 因而 T1 可以使用较高的初次级匝数比, 以降低次级整流管 VD8 上的峰值反向电压。因此, 15V 以下输出电压可使用肖特基二极管, 能极大地改善电源效率。TOPSwitch-GX 器件的频率降低特性使电源在空载调节时无须假负载, 降低了电源的空载、待机功耗, 频率调制特性可更好地使 EMI 符合 CISPR-22 (FCCB) 标准。

电路采用简单的齐纳检测电路可降低电路成本, 输出电压稳压由齐纳二极管 (VR2) 电压及光电耦合器 (U2) 和电阻 R6 上的压降决定, 电阻 R8 为齐纳二极管提供偏置电流, 稳压精度可达到 $\pm 5\%$ 。

输入电容应能提供 TOPSwitch-GX 系列器件所需的最小直流电压, 以保持最低额定输入电压和最大输出功率条件下电压受控。由于 TOPSwitch-GX 的 D_{\max} 比 TOPSwitch-II 的高, 它可以使用更小的输入电容。对 TOPSwitch-GX 而言, 只要变压器设计得当, 通用输入的电容通常只需 $2\mu\text{F}/\text{W}$ 。

初级钳位电路限制 TOPSwitch-GX 器件的峰值漏源极电压, 齐纳钳位所需元件数少, 占用电路板面积也较小。为提高效率, 钳位用的齐纳管电压至少应是输出反射电压的 1.5 倍, 以缩短漏极尖峰传导时间。在通用输入应用中, 使用齐纳钳位 V_{OR} 的值最好小于 135V, 以实现齐纳二极管的绝对误差和温差, 也可以保证钳位电路高效工作。

设计中要充分发挥 TOPSwitch-GX 器件的 D_{\max} 范围更宽的优势, V_{OR} 必须更高。RCD 钳位电路比齐纳钳位电路的钳位电压误差更严格, V_{OR} 可达 150V。通过将外部限流可将 RCD 钳位电路的损耗降至最低。RCD 钳位电路比齐纳钳位电路的效率更高, 但需要优化钳位电路的设计。

输出二极管的选择由峰值反向电压、输出电流和应用的热条件 (包括热吸收、空气流通等) 来确定, TOPSwitch-GX 器件的 D_{\max} 较高, 若变压器匝数比设计适当, 在高达 15V 的输出电压上可使用 60V 肖特基二极管, 以获得更高效率。

电路接通时, TOPSwitch-GX 器件内软启动电路在 10ms 内使占空比从零线性增大到 D_{\max} , 同时, 初级限流从 85% 上升至 100%。这使得输出电压依次上升, 为反馈回路控制占空比提供时间。这不仅降低了 TOPSwitch-GX 器件内部 MOSFET、钳位电路和输出二极管的峰值电流或电压, 也有助于防止在启动期间变压器过饱和。在软启动的同时还能限制输出电压过冲的幅值, 在大多数应用中都无须软启动电容。

开关电源频率调制特性是将开关频率调制在狭窄的波段内, 从而降低与基本开关频率的各次谐波相关的 EMI 峰值。此特性对均值检测模式特别有利, 频率偏离越大, 开关谐波阶次越高, 频率抖动功能的益处就越明显。TOPSwitch-GX 的开关频率可以通过频率 (F) 引脚选为 132kHz 或 66kHz。某些应用为了降低高频辐射噪声, 漏极节点需要较大的缓冲电路

(如 VCR、DVD、显示屏、电视机等), 这时选择 66kHz 工作频率可以降低缓冲电路损耗, 提高效率。同样, 在变压器尺寸要求不严的应用中, 选择 66kHz 也能降低 EMI, 提高效率。因 66kHz 的二次谐波低于 150kHz, 而频率在 150kHz 以上时 EMI 指标要求会严格得多。对 10W 以下应用, 用简单的电感就可以满足各种关于 EMI 的限制条件, 而无须设置交流输入共模电感。

变压器的工作磁通密度最好不超过 3 000Gs (高斯), 最大限流时的峰值磁通密度不超过 4 200Gs (高斯)。匝数比的选择应能满足反射电压 (V_{OR}) 在使用齐纳钳位电路时不超过 135V, 使用前馈电压降低限流 (过载保护) 的 RCD 钳位电路时不超过 150V (最大)。

如果设计的工作电流远远低于限流值, 最好用接近峰值工作电流的外部限流, 以降低峰值磁通密度和峰值功率。在大多数应用中, TOPSwitch-GX 器件比 TOPSwitch-II 器件具有更严格的限流误差、更高的开关频率和特有的软启动特性, 这些都有助于减小变压器尺寸。

频率降低特性能显著降低轻载或空载功耗, 特别是使用齐纳钳位电路时。如果次级功耗很低, 也可以使用 TL431 来控制反馈。另外, 开关频率从正常时的 132kHz 降至轻载条件下的 66kHz, 也能显著降低开关损耗。



【例 1-6】 30W/12V 输出开关电源电路三

图 1-6 所示电源电路具有成本低, 元件数量少, 小巧轻便, 能效高, 空载和待机功耗低等特点, 在 265V 交流输入时的空载功耗小于 250mW, 在 50°C 环境下工作时输出功率为 30W, 无须使用外部散热片, 具有精确的自动恢复、迟滞特性的过热关断功能, 使 PCB 的温度在各种条件下均维持在安全范围内, 在输出短路及反馈环路开环时进入到自动重新启动保护状态, 并具有出色的输入电压调整率和负载调整率, 符合 EN55022 和 CISPR-22B 对 EMI 限制的要求, EMI 裕量大于 10dB μ V。

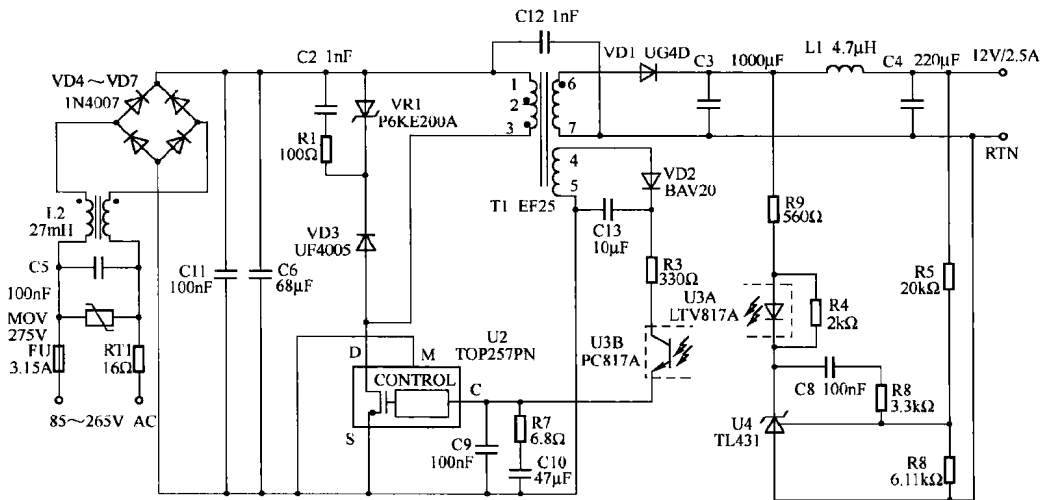


图 1-6 30W/12V 输出开关电源电路三

图 1-6 所示的隔离反激式变换器采用 P 封装 (8 脚 DIP 封装) 的 TOP257PN (U2) 器件, 无须使用外部散热器件, 降低了成本。TOPSwitch-HX 系列器件以经济高效的方式将一个 700V 的 MOSFET、高压开关电流源、PWM 控制器、热关断保护电路、故障保护电路及其

他控制电路集成在一个单片器件内。为了改善大型号 TOPSwitch-HX 系列 Y 封装器件在抗噪声方面的性能,使用一个信号接地 (G) 引脚替换了 F 引脚 (TOP259 ~ 261YN 的开关频率固定在 66kHz)。此引脚充当 C 引脚电容与 X 引脚电阻的低噪声通道,只对 TOP259 ~ 261YN 封装器件有这样的要求。TOPSwitch-HX 系列器件引脚功能如下:

(1) 漏极 (D) 引脚。MOSFET 漏极引脚,该引脚通过内部的开关高压电流源提供启动偏置电流,也是漏极电流的内部限流检测点。

(2) 控制极 (C) 引脚。误差放大器及反馈电流的输入脚,用于占空比控制。与内部并联调整器相连接,提供正常工作时的内部偏置电流,也是电源旁路和自动重新启动/补偿电容的连接点。

(3) 外部限流 (X) 引脚 (用于 Y、M 和 E 封装)。外部限流调节和远程开/关控制的输入引脚,连接至源极引脚则禁用此引脚的所有功能。

(4) 多功能 (M) 引脚 (仅限 P 和 G 封装)。此引脚集 Y 封装的电压检测 (V) 及外部限流 (X) 引脚功能于一体,连接至源极引脚则禁用此引脚的所有功能,并使 TOPSwitch-HX 以简单的三端模式工作。

(5) 电压检测 (V) 引脚 (仅限 Y 和 M 封装)。它是过压 (OV)、欠压 (UV)、降低 D_{\max} 的电压前馈、输出过压保护 (OVP)、远程开/关和器件重置的输入引脚,连接至源极引脚则禁用此引脚的所有功能。

(6) 频率 (F) 引脚 (用于 TOP254 ~ 258Y 封装与 E 封装)。如果连接到源极引脚,则开关频率为 132kHz;如果连接到控制极引脚,则开关频率为 66kHz。P、G 和 M 封装以及 TOP259 ~ 261YN 只能以 66kHz 开关频率工作。

(7) 信号接地引脚 (G) (仅限 TOP259 ~ 261YN)。C 引脚是 X 引脚电阻的返回回路。

(8) 源极 (S) 引脚。这个引脚是 MOSFET 的源极连接点,用于高压功率的回路,它也是初级控制电路的公共点及参考点。

在图 1-6 所示电路中,AC 输入通过 VD4 ~ VD7 进行整流,通过 C6 和 C11 滤波后的直流电压输入至初级侧功率元件 T1 和 U2 上。C5、C12 和共模扼流圈 L2 提供 EMI 滤波,热敏电阻 RT1 可以限制 AC 电路的浪涌电流。为了优化各种负载下的效率,U2 需工作在从空载到满载 4 种模式下,这 4 种模式分别是:多周期调制、固定频率 PWM (30kHz)、多频率 PWM 及固定频率 PWM (66kHz)。在所有模式下,控制器均会保持占空比和控制极引脚电流之间的线性关系,以实现各模式之间的无缝切换。

二极管 VD3、C2、R1 和 VR1 构成初级钳位电路,确保 U2 漏极节点上的最大电压低于 700V。T1 次级侧产生的电压经 VD1 整流和 C3 滤波后的输出电压为 12V。将 LC 后级滤波器 (C4, L1) 连接至此输出端可以降低输出纹波。使用 TL431 参考电压 (U4) 控制输出电压,电阻 R4 为 U4 提供偏置电流,反馈到 U4 的低频信号来自 R5 和 R8 分压电路,此电路的中心点与 U4 的 REF (2.5V) 引脚相连。电容 C8 和电阻 R6 降低了 U4 的高频增益,电阻 R9 设定环路增益。

将 RCD 钳位电路 (C2、R1 和 VD3) 设计为正常工作模式,使轻载时的效率达到最高。齐纳二极管 VR1 提供预设的最大钳位电压,在出现负载瞬态或过载时导通。可用 FR106 型快速恢复二极管代替 VD3,以增加漏感能量恢复和提高效率。在本设计中,电源工作模式为连续模式, K_p 值为 0.5。M 引脚短接到源引脚,将限流点设定为与内部器件限流点相同。



【例 1-7】 30W/12V 输出开关电源电路四

由 TOPSwitch-FX 系列的 TOP234Y 构成 30W/12V 高效开关电源的电路如图 1-7 所示, 在 85 ~ 265V AC 输入电压范围内, 满载时电源效率可达 80%。TOPSwitch-FX 系列器件引脚 P、G、Y 分别表示 DIP-8、SMD-8、TO-220-7B 封装。其最大输出功率为 75W。其中, TO-220-7B 封装有 5 个引出端, 它们分别是控制极 C、多功能端 M、源极 S、开关频率选择端 F、漏极 D。DIP-8 和 SMD-8 封装没有 F 端, 等效于四端器件。

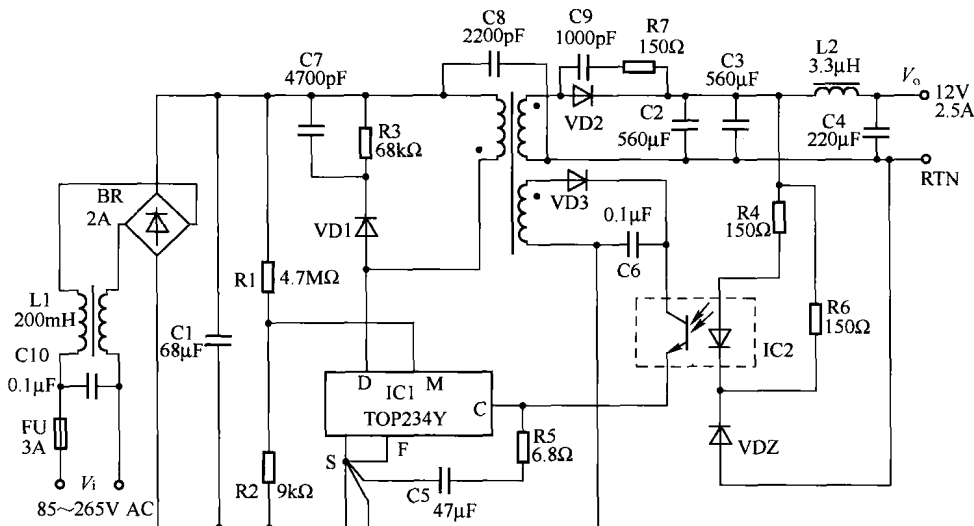


图 1-7 30W/12V 输出开关电源电路四

TOP232 ~ 234 另加了两个引脚。第一个是多功能 (M) 引脚, 这个引脚可以利用一个电阻同时设置欠压、过压以及前馈保护功能。当整流后的 DC 电压值超过了设置的过压阈值时, 将强迫 TOPSwitch-FX 内的 MOSFET 关断, 增加了对浪涌电压的防护能力。欠压检测可以防止关闭电源时出现瞬变的电压尖峰。执行电压前馈可以减少输出电压纹波。这个引脚还可以允许用几种方式进行 TOPSwitch-FX 的远程 ON/OFF 控制。此外, 这个引脚还可以用来在外部编程设置精确的电流限值。它能执行可编程线性 OV/UV 关闭及利用线性电压提供线性反馈并减小 D_{max} , 该脚还可以用来在外部设置限流值, 在任何一种情况下都可以用做远程 ON/OFF 控制或使振荡器与外部较低频率的信号同步。第二个是频率 (F) 引脚, 它只出现在 Y 类封装中, 频率引脚将开关频率选择端接源极时, 开关频率 $f = 130\text{kHz}$; 接控制端时, 开关频率变成 $f/2 = 65\text{kHz}$ 。若将 M、F 端均接 S 极, TOPSwitch-FX 即工作在三端模式下, 与 TOPSwitch-II 相似。这对于噪声敏感的视频应用或高效率待机工作模式都是有利的。将该脚接到源极 (S) 引脚时不发挥效能, 这一特点可使系统工作于三端 TOPSwitch 态。TOPSwitch-FX 同时具有多种优良性能: 如软启动、周期跳跃、130kHz 的转换频率、频率跳变、更宽的 D_{max} 和滞后热关断等。另外, 它与 TOPSwitch-II 系列器件相比, 所有的关键参数如频率、电流范围、PWM 增益等都具有更好的温度性能及抗干扰能力, 有更高的限流精度和更大的 D_{max} 。TOPSwitch-FX 系列的输出功率与 TOPSwitch-II 系列相比, 在相同情况下可提高 10% ~ 15%。

在图 1-7 所示电路中, 交流电压 V_i 依次经过电磁干扰 (EMI) 滤波器 (C10, L1)、输