

# 基于UC3843 断续反激开关电源变压器设计 AP法

2012年6月27日

磁材：PQ2020

$$A_e := 62 \text{ mm}^2 \quad l_e := 45.7 \text{ mm} \quad V_e := 2790 \text{ mm}^3$$

$$A_w := 65.8 \text{ mm}^2 \quad A_{p_{PQ2020}} := A_e \cdot A_w = 0.408 \text{ cm}^4$$

其它元器件参数：

$$\text{次级二极管压降 } V_{df} := 0.8 \text{ V} \quad \text{辅助绕组二极管压降 } V_{dv} := 0.7 \text{ V} \quad \text{IC工作电压 } V_{cc} := 13 \text{ V}$$

频率电阻、电容

$$R_t := 10 \text{ k}\Omega \quad C_t := 2200 \text{ pF} \quad f_{osc} := \frac{1.68}{R_t \cdot C_t} = 76.364 \text{ kHz}$$

开关电容基本规格

$$\text{最小输入电压 } V_{in_{acmin}} := 75 \text{ V} \quad V_{in_{dcmin}} := \sqrt{2} \cdot V_{in_{acmin}} - 10 \text{ V} = 96.066 \text{ V}$$

$$\text{最大输入电压 } V_{in_{acmax}} := 270 \text{ V} \quad V_{in_{dcmax}} := \sqrt{2} \cdot V_{in_{acmax}} = 381.838 \text{ V}$$

$$\text{输入电压频率 } 50 \text{ Hz}$$

$$\begin{array}{l} \text{输出电压} \\ V_{out} := 12 \text{ V} \end{array} \quad \begin{array}{l} \eta \text{ ---- 效率} \\ V_{out} \geq 12 \text{ V} \quad \eta = 80 \sim 85\% \\ V_{out} < 12 \text{ V} \quad \eta = 75 \sim 80\% \end{array}$$

$$\text{输出最大电流 } I_{out} := 2.5 \text{ A}$$

$$\text{效率 } \eta := 81\%$$

$$\text{输出最大功率 } P_{out_{max}} := V_{out} \cdot I_{out} = 30 \text{ W}$$

$$\text{输入最大功率 } P_{in_{max}} := \frac{P_{out_{max}}}{\eta} = 37.037 \text{ W}$$

$$\text{开关频率 } f_{sw} := f_{osc} = 76.364 \text{ kHz} \quad T := \frac{1}{f_{sw}} = 13.095 \mu\text{s} \quad D_{MAX} := 0.45$$

反激变压器中为了避免震荡，最大占空比一般小于0.5。

## 二、计算过程：

### 1.1 计算开关电源需要的面积乘积值 AP

#### ●变压器的设计原则及方法

设计变压器主要有两种方法：面积积AP法 AP：磁芯截面积 $A_e$ 与线圈有效窗口面积 $A_w$ 的乘积。

PT-变压器的计算功率

$A_e$ -磁芯有效截面积

$A_w$ -磁芯窗口面积

Ko-磁芯窗口利用系数，典型值为0.4

Kf-波形系数，方波为4，正弦波为4.44

Bw-磁芯的工作磁感强度

Fs-开关工作频率

Kj-电流密度系数, 取395A/cm<sup>2</sup>  
X-磁芯结构系数, P107表3-8

$$A_p = A_e A_w = \left( \frac{P_T \times 10^4}{K_o K_f f_s B_w K_j} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$

按照功率变压器的设计方法, 用面积积AP法设计变压器的一般步骤:

1. 选择磁芯材料, 计算变压器的视在功率;
2. 确定磁芯截面尺寸AP, 根据AP值选择磁芯尺寸;
3. 计算原副边电感量及匝数;
4. 计算空气隙的长度;
5. 根据电流密度和原副边有效值电流求线径;
6. 求铜损和铁损是否满足要求 (比如: 允许损耗和温升)

为了防止磁芯的瞬间出现饱和, 预留一定裕量, 取  
 $B_m = \Delta B_{max} \cdot 0.6 = 0.198T$  取0.2T

$$B_m := 0.2 \text{ T} \quad \text{电流密度 } K_j := 395 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2} \quad \text{窗口填充系数 } K_u := 0.3$$

变压器视在功率PT: 对于反激拓扑来说

$$P_T := P_{in_{max}} + P_{out_{max}} = 67.037 \text{ W}$$

计算AP

$$AP := \frac{P_T}{B_m \cdot f_{sw} \cdot K_j \cdot K_u} = 0.37 \text{ cm}^4$$

反为了适应突变的负载电流, 把电源设计在临界模式: 临界电流 $I_{OB} = 0.8 \times I_O$

$$I_{OB} := 0.8 \cdot I_{out} = 2 \text{ A}$$

三. 计算原、副边电感量及匝数, 为了保证一直工作在非连续模式下, 需要留一个0.1~0.2T的死区时间

1、匝比

$$n := \left( \frac{V_{in_{dcm}} \cdot D_{MAX}}{(V_{out} + V_{df}) \cdot (1 - D_{MAX})} \right) = 6.141$$

2、次级峰值电流

$$I_{sOB} := \frac{2 \cdot I_{OB}}{(1 - D_{MAX})} = 7.273 \text{ A}$$

3、次级电感 L<sub>S</sub>

$$L_S := \frac{(V_{out} + V_{df}) \cdot (1 - D_{MAX})}{I_{sOB} \cdot f_{sw}} = 12.676 \mu\text{H}$$

#### 4、初级电感

$$L_P := n^2 \cdot L_S = 477.978 \mu H$$

#### 原、副边峰值电流

#### 5、计算连续模式时的副边峰值电流

$$I_{s_{pk}} := \frac{I_{out}}{(1-D_{MAX})} + \frac{I_{s_{OB}}}{2} = 8.182 A$$

#### 6、计算连续模式时的初级峰值电流

$$I_{p_{pk}} := \frac{I_{s_{pk}}}{n} = 1.332 A$$

#### 7、初级匝数

$$N_p := \text{ceil} \left( \frac{L_P \cdot I_{p_{pk}}}{B_m \cdot A_e} \right) = 52$$

#### 8、次级匝数

$$N_s := \text{ceil} \left( \frac{N_p}{n} \right) = 9$$

#### 9、辅助绕组匝数

$$N_f := \text{ceil} \left( \frac{N_s \cdot (V_{cc} + V_{dv})}{(V_{out} + V_{df})} \right) = 10$$

#### 四、气隙计算：

为了避免磁芯饱和，在磁回路中加入一个适当的气隙，计算如下：

$$l_g := \frac{\mu_0 \cdot N_p^2 \cdot A_e}{L_P} = 0.441 mm$$

#### 五、原、副边及辅助绕组的线径有两种方法：1、求裸线面积； 2、求导线直径（J电流密度取4A/mm<sup>2</sup>）

#### 10、原边有效电流

$$I_{p_{rms}} := \frac{P_{in_{max}}}{V_{in_{dcmin}}} = 0.386 A$$

#### 11、原边线径大小：

$$\Phi_p := 1.13 \cdot \sqrt{\frac{I_{p_{rms}}}{K_j}} = 0.353 mm$$

用1根直径为0.4mm的线并绕。

#### 12、次级线径大小：

$$\Phi_s := 1.13 \cdot \sqrt{\frac{I_{out}}{K_j}} = 0.899 mm$$

用3根直径为0.31mm的线并绕。

电流趋肤深度的计算

$$\delta := \frac{2837}{\sqrt{\frac{f_{sw}}{Hz}}} \text{ mil} = 0.261 \text{ mm}$$

$$\Phi_{wh} := \delta \cdot 2 \cdot 0.9 = 0.469 \text{ mm}$$

多股并绕时的单股线径必须小于或等于dwh，单线绕制时，线径如超过dwh值就要考虑采用多股线并绕。

验证过程：

1、实际变比

$$N_n := \frac{N_p}{N_s} = 5.778$$

2、反射电压：

$$V_{or} := N_n \cdot (V_{out} + V_{df}) = 73.956 \text{ V}$$

3、MOS耐压值：

$$V_{mos_{max}} := V_{or} + 1.3 \cdot V_{in_{dcmax}} + 50 \text{ V} = 620.345 \text{ V}$$

4、实际电感量

$$L_{POK} := N_n^2 \cdot L_S = 423.166 \text{ } \mu\text{H}$$

5、最大导通时间：

$$T_{on} := \frac{V_{or} \cdot T}{V_{in_{dcmin}} + V_{or}} = 5.696 \text{ } \mu\text{s}$$

6、电流检测电阻：

$$R_L := \frac{N_n \cdot 1 \text{ V}}{\sqrt{3} I_{s_{pk}}} = 0.408 \text{ } \Omega$$

7、电阻最大功耗：

$$P_{RL} := \left( \frac{I_{s_{pk}}}{N_n} \right)^2 \cdot R_L = 0.818 \text{ W} \quad P_{RL_{rms}} := I_{p_{rms}}^2 \cdot R_L = 0.061 \text{ W}$$

8、次级二极管反向耐压、电流值

$$V_{dmax} := \frac{V_{in_{dcmax}} + V_{or}}{0.85 \cdot n} + V_{out} = 99.325 \text{ V}$$

$$I_{DS} := \frac{I_{s_{pk}}}{0.8} = 10.227 \text{ A}$$

9、lm431 R24电阻计算

$$R_{18} := 10 \text{ k}\Omega \quad R_{22} := 18 \text{ k}\Omega$$

$$R_{10} := \frac{R_{18} \cdot V_{out}}{R_{10} - R_{22}} = 20 \text{ k}\Omega$$

## 电流

起动电流	$I_{ST}$		0.12	0.3	mA
------	----------	--	------	-----	----

启动电阻：为了保证在满载的时候能正常在最低输入电压启动，一般取2倍的Ist电流。

$$I_{Star} := 0.3 \text{ mA}$$

$$R_{3star} := \frac{V_{in_{dcm_{in}}}}{2 \cdot I_{Star}} = 160.11 \text{ k}\Omega$$

$$R_{star} := \frac{R_{3star}}{3} = 53.37 \text{ k}\Omega$$

增加啞比反射电压Vor增高，MOSFET损耗增加，次级二极管反向耐压、损耗降低；反之减少啞比反射电压Vor降低，MOSFET损耗降低，次级二极管反向耐压、损耗增高；所以需要在两个间取值平衡。

放电电流 ( $V_{osc}=2.0V$ ) $T_J=25^\circ C$ $T_A=T_{low}$ 至 $T_{high}$	$I_{dischg}$	7.5	8.4	9.3	7.5	8.4	9.3	mA
		7.2	-	9.5	7.2	-	9.5	

确定频率：查数据手册

$$I_d := 0.84 \text{ mA}$$

$$f_{osc} := \frac{1}{0.5465 \cdot R_t \cdot C_t - R_t \cdot C_t \cdot \ln\left(\frac{I_d \cdot R_t - 2.3 \text{ V}}{I_d \cdot R_t - 2 \text{ V}}\right)} = 76.457 \text{ kHz}$$

频率值为计算值，电路真是工作频率值由于电子误差，PCB板阻抗，3脚的RC补偿叠加等等因素决定最终工作频率。