

# 反激电源变压器参数计算方法（QR 工作模式）—V1.0

## 1. 选择磁芯骨架：参考《高频变压器 AP 法公式的推导过程》

$$AP \geq Ae \cdot Aw = Pin \cdot 10^4 / (2 \cdot Ku \cdot Kf \cdot fs \cdot \Delta B \cdot J), \text{ 单位是 } CM^4$$

AP 是选取磁芯的依据，Ae 是磁芯截面积，Aw 是磁芯窗口面积，

Pin 是电源输入功率，一般取  $1.15 \cdot Pout$ （基于 85%效率）

Ku 是初级绕组在磁芯窗口的占比系数，一般  $Ku = 0.3$ ；

Kf 是开关波形系数，方波时  $Kf = 1.0$

fs 是电源开关频率，由主控电路决定，取满载最低工作频率

$\Delta B$  是磁感变化量，一般反激电源用的磁芯材料  $\Delta B = 0.2 \sim 0.25$

J 是电流密度，一般  $J = 300 \sim 350 A/cm^2$

**反激变压器 80kHz 频率时 AP 值快速简算： $AP \geq Pin/360$  单位是  $CM^4$**

对于 30W 案例：

$$AP \geq 34/360 = 0.094 \text{ cm}^4$$

查看磁芯手册，EE1910B 的  $Ae = 0.52 \text{ cm}^2$   $Aw = 0.44 \text{ cm}^2$ ,  $AP = 0.228 \text{ cm}^4$

## 2. 计算初级绕组电感量 $Lp$ 、匝数 $Np$ 、磁感应强度变化量 $\Delta B$ ，

初级绕组电感量  $Lp$  计算（计算依据是电感储能公式+电感电压公式）

$$Lp = V_{dc\_min} \cdot V_{dc\_min} \cdot D_{max} \cdot D_{max} / (2 \cdot Pin \cdot fs) \quad (\text{此公式基于临界模式和 QR 模式})$$

**快速计算： $Lp = kf \cdot 16 / Pin$  (mH)** 基于 AC90V 输入临界模式,  $D = 0.4$ , 频率系数  $kf = 80/fs$

注：若变压器实际的  $Lp$  比计算出来的小，则表示 AC90V 时实际工作的占空比小于 0.4，比如  $D = 0.3$  时， $Lp$  的理论值会只有 0.4 时的 56%。小的占空比会引起初级和次级的电流有效值增大，导致电源效率降低。

初级绕组匝数  $Np$  计算

$$Np = V_{dc\_min} \cdot D_{max} / (Ae \cdot fs \cdot \Delta B), \quad \Delta B \text{ 建议取 } 0.25$$

**快速计算：则  $Np = kf \cdot 25 / Ae$**  基于 AC90V 输入临界模式  $D = 0.4$ ,  $kf$  同前， $Ae$  单位  $\text{cm}^2$

注：磁芯截面积  $Ae$ 、工作频率  $fs$  和占空比  $D_{max}$  确定下来后，次级绕组匝数  $Np$  就只  $\Delta B$  相关，若实际变压器初级匝数比理论计算值小，则  $\Delta B$  会变大，变压器磁芯损耗会加大。

对于已经确定的  $Lp$  和  $D_{max}$ ，可以算出实际工作时的  $\Delta B = V_{dc\_min} \cdot D_{max} / (Ae \cdot fs)$ 。

对于 30W 案例, 80KHZ 工作频率：

$$Lp = 1 \cdot 16 / 34 = 0.47 \text{ mH}; \quad Np = 1 \cdot 25 / 0.5 = 50$$

实物  $Lp = 420 \mu H$ ,  $Np = 48$ , 基本符合设计要求

## 3. 计算初次级绕组的匝比 $Np\_s$ 和次级绕组匝数 $Ns$

初次级绕组匝比计算，依据变压器伏秒平衡，输入直流电压最低时占空比最大，

$$Np\_s = V_{dc\_min} \cdot D_{max} / (Vout \cdot (1 - D_{max})), \text{ 显然匝比与输出电压反比，与输出功率无关}$$

**快速计算  $Np\_s = 85 / Vout$** , 成立条件是  $D = 0.4$

$$Np\_s = 104 / Vout, \text{ 成立条件是 } D = 0.45$$

$$Ns = Np \cdot Np\_s$$

#### 4. 计算辅助绕组与次级绕组匝比 $N_{a\_s}$ 和辅助绕组匝数 $N_{aux}$

依照控制 IC 需要的工作电压 VDD,  $V_{aux}$  一般选取 VDD 工作范围的中间值,

$$N_{a\_s} = V_{aux} / V_{out}, \quad N_{aux} = N_s * N_{a\_s}$$

例如, 对于 JW1520AC 控制器的 VDD 供电电压范围是 8~28V

$$V_{aux} \text{ 取中间值 } 18, \quad N_{a\_s} = 18/8 = 2.25, \quad N_{aux} = 2.25 * 12 = 27$$

#### 5. 计算初次级绕组峰值电流 $I_{p\_max}$ 、 $I_{s\_max}$ 和有效值电流 $I_{p\_rms}$ 、 $I_{s\_rms}$

尽管变压器个绕组的工作电流不属于制作变压器时需要用到的物理参数, 但是算出绕组的理论工作电流, 对于检验变压器的工作电流波形、计算变压器的铜损发热都是非常必要的。

$$I_{p\_max} = 2 * P_{in} / (V_{in\_dc} * D) \quad (\text{推导依据是电感电压公式 } U=L*di/dt, \text{ 基于临界模式})$$

$$I_{p\_rms} = I_{p\_max} * (D_{pr}/3)^{0.5}, \quad D_{pr} \text{ 是初级侧三角波电流波形的时间/T}$$

$$I_{s\_max} = I_{p\_max} * N_{p\_s}$$

$$I_{s\_rms} = I_{s\_max} * ((D_{sec})/3)^{0.5}, \quad D_{sec} \text{ 是次级三角波电流波形的时间/T}$$

#### 6. 计算变压器损耗:

参考《功率电感及变压器电磁损耗计算》

铜损  $P_{cu} = I_{rms} * I_{rms} * R_{dc} * Fr$ , 趋肤系数  $Fr$  取 1.1~1.5, 见参考文章

磁损  $P_{core} = K * f_s^a * B^b * V_e$ ,  $f_s$  是频率,  $B$  是磁感应强度的变化量,  $V_e$  是磁芯体积

$K$ 、 $a$ 、 $b$  是常数, 需查看厂家的手册数据, PC95 磁芯参考值为:

$$K = 1.5 * 10^{-6}, \quad a = 1.25, \quad b = 2.55$$

$f$  单位是 kHz,  $B_{ac}$  单位是 mT,  $V_e$  单位是  $cm^3$ ,  $P_{core}$  单位是 mW

$$\text{快速估算 (} B=0.25, f=80k) P_{core} = 468 * V_e \text{ (mW)} = 0.47 * V_e \text{ (W)}$$

$$(B=0.20, f=80k) P_{core} = 267 * V_e \text{ (mW)} = 0.27 * V_e \text{ (W)}$$

对于 30W (20V1.5A) 案例:

$$I_{p\_rms} = 0.65A, \quad I_{s\_rms} = 5.7A, \quad R_p = 0.86R, \quad R_s = 0.02R, \quad V_e = 0.903, \quad B = 0.25$$

$$\text{铜损} = I_{p\_rms} * I_{p\_rms} * R_p * 1.1 + I_{s\_rms} * I_{s\_rms} * R_s * 1.3$$

$$= 0.65 * 0.65 * 0.86 * 1.1 + 5.7 * 5.7 * 0.02 * 1.3 = 0.4 + 0.84 = 1.24W$$

$$\text{磁损} = K * f_s^a * B^b * V_e$$

$$= 1.5 * 10^{-6} * 80^{1.25} * 250^{2.55} * 0.903 = 422.074mW = 0.42W$$