

2012年9月22日深圳
电源网LED专场学术交流

南京航空航天大学

DianYuan.com

周洁敏

Jieminzh@nuaa.edu.cn

联系电话: 13951947492

2016年50%以上LED电源市场将由电源制造商主导

2016年全球LED照明电源市场预计将达到100亿美元。

 电源网
® **DianYuan.com**

专题 反激变压器(连续模式)

1、求占空度和匝比

2、线圈电流参数的计算

3、连续工作模式分析

4、连续工作模式设计举例

5、LED驱动电路实例

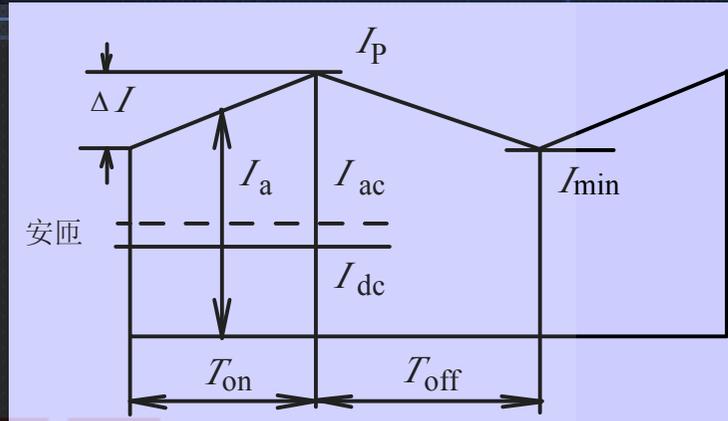
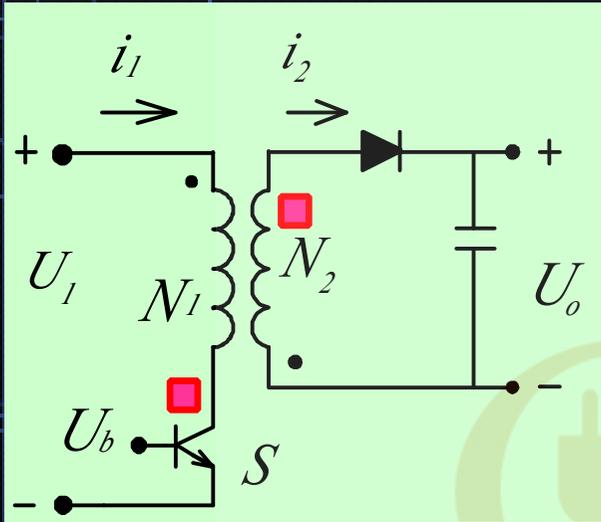
反激变压器是功率电感家族，磁芯工作在直流滤波电感器状态。

磁芯的磁导率是局部磁导率。磁滞和涡流损耗都小，但含有较高的直流分量，激磁电流和磁场强度大。

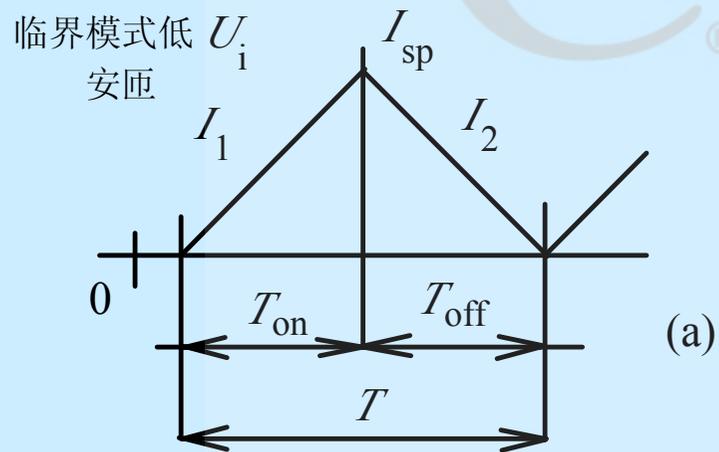
® DianYuan.com

反激变压器有3种工作状态

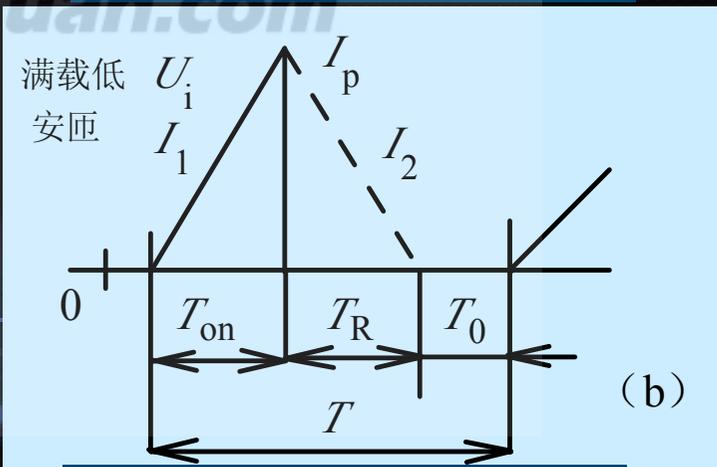
反激变压器的三种工作状态



连续工作模式



临界连续工作模式

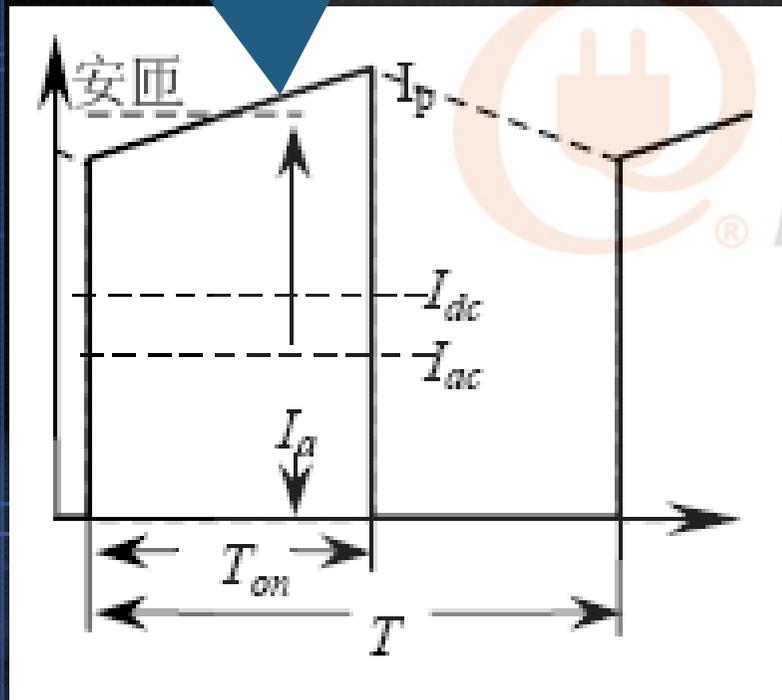


断续工作模式

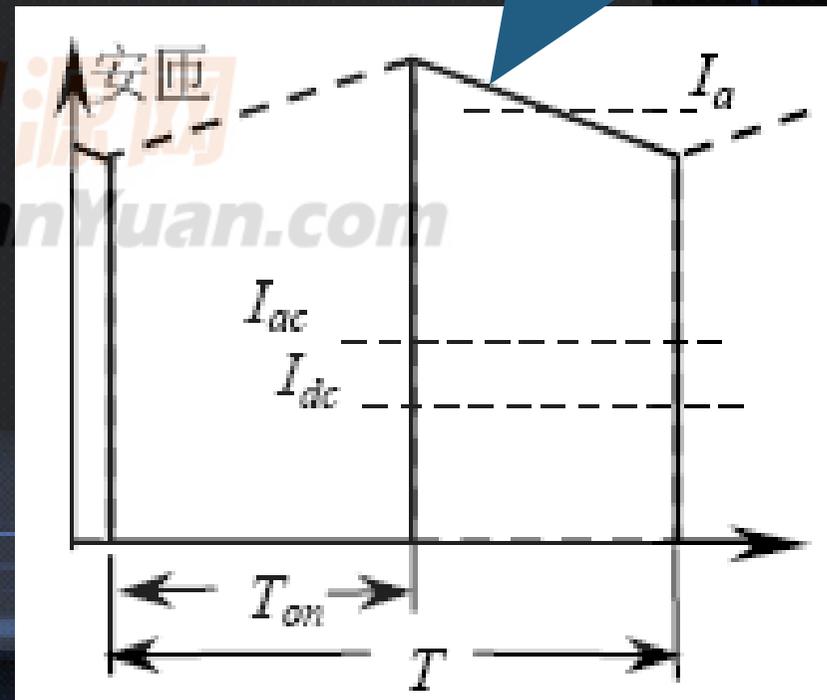
电源网
DianYuan.com

1、求占空度和匝比

功率管导通，初级电感电流线性增长



功率管截止，次级绕组电流线性减小。

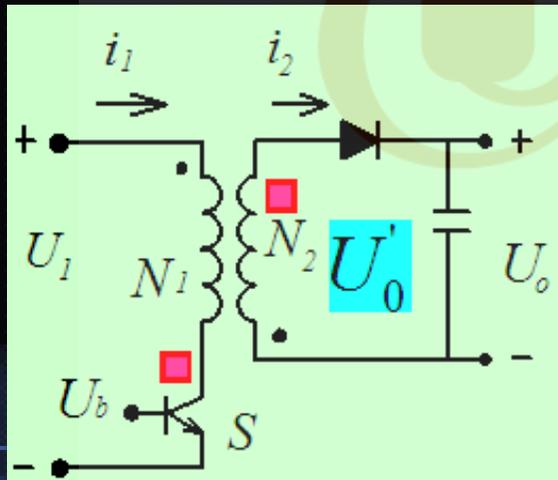


反激变压器的设计和损耗计算需要决定占空度 D ，再由占空度 D 决定计算变比。

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{(U_i - 0.5)}{(U_o + 0.5)} \times \frac{D}{1 - D}$$



$$D = \frac{n(U_o + 0.5)}{U_i - 0.5 + n(U_o + 0.5)}$$



占空度为0.5的变比最佳，可以避免高的峰值电流和电压。

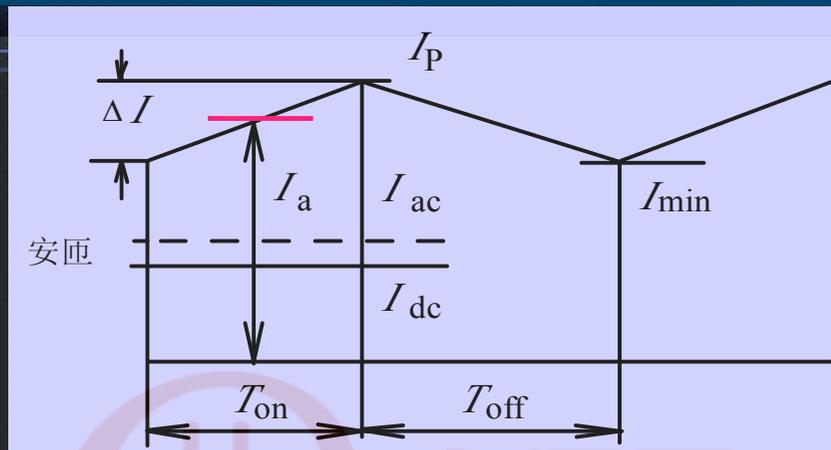
U_o' 考虑了整流器、功率开关、线圈和电感电阻压降

2、线圈电流参数的计算

(1) 分析和计算波形的直流、交流和总的有效值电流。

(2) 计算与磁芯饱和、磁芯损耗、线圈损耗各种最坏情况的电流值。

(1) 变压器的线圈电流波形 (连续三角波)



$$i(t) = (I_a - \Delta I / 2) + \Delta I t / T_{on} \quad t: 0 \sim T_{on}$$

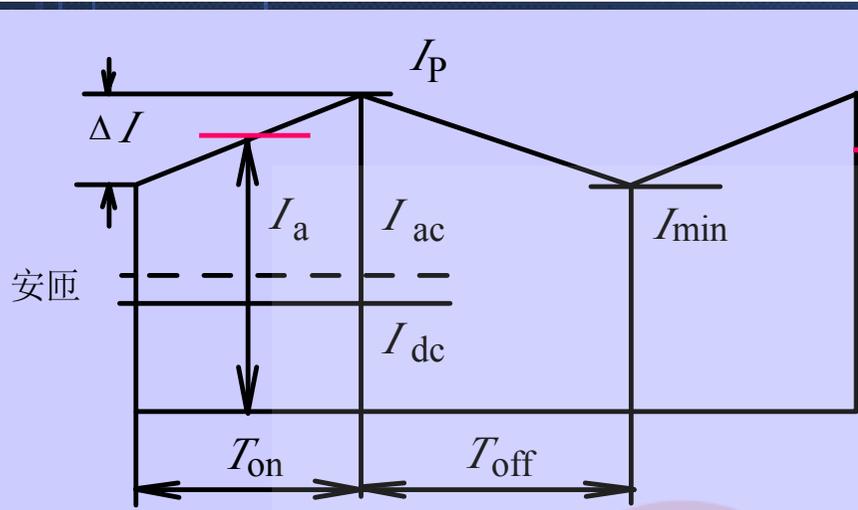
$$t: 0 \sim T_{on}$$

$$i(t) = I_p - \Delta I (t - T_{on}) / (T - T_{on}) \quad t: T_{on} \sim T$$

$$t: T_{on} \sim T$$

求原边绕组电流平均值

$$I_{dc} = \frac{1}{T} \left(\int_0^{T_{on}} ((I_a - \Delta I / 2) + \Delta I t / T_{on}) dt \right) = D I_a$$



$$i(t) = (I_a - \Delta I / 2) + \Delta I t / T_{on} \quad t: 0 \sim T_{on}$$

$$i(t) = I_p - \Delta I (t - T_{on}) / (T - T_{on}) \quad t: T_{on} \sim T$$

求原边电流总有效值

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int_0^{T_{on}} \left((I_a - \Delta I / 2) + \Delta I t / T_{on} \right)^2 dt \right)}$$

$$= \sqrt{D \left(I_a^2 + (\Delta I)^2 / 12 \right)}$$

比较小的时候可以忽略不计

$$I = \sqrt{D I_a^2} = I_a \sqrt{D}$$

求原边绕组交流分量的有效值

$$I_{ac} = \sqrt{I^2 - I_{dc}^2} = \sqrt{D(I_a^2 + \frac{\Delta I^2}{12}) - D^2 I_a^2} = \sqrt{(D - D^2)I_a^2 + D\Delta I^2 / 12}$$
$$\approx \sqrt{(D - D^2)} I_a$$

副边绕组的公式与原边绕组相似，只是公式中的 D 用 $1-D$ 代替



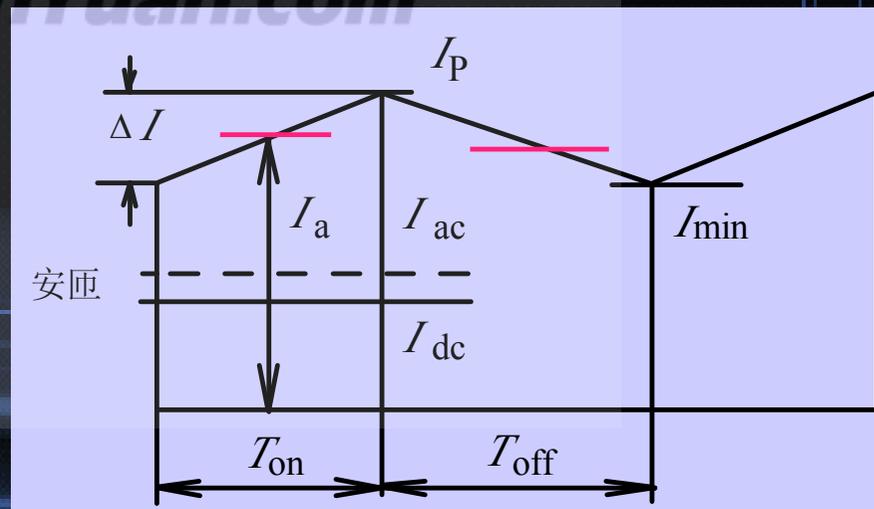
3、输入、输出电流与功率的关系

$$P_o = \frac{(U_o + 0.5)I_{2a}T_{of}}{T} = (U_o + 0.5)(1 - D)I_{2a}$$

$$I_{2a} = \frac{P_o}{(U_o + 0.5)(1 - D)}$$

$$I_{1a} = \frac{P_o}{\eta(U_i - 0.5)D}$$

$$P_o = \eta P_i$$

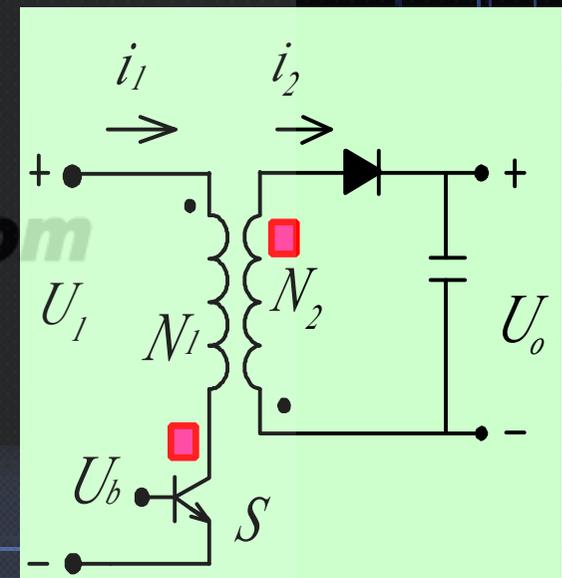
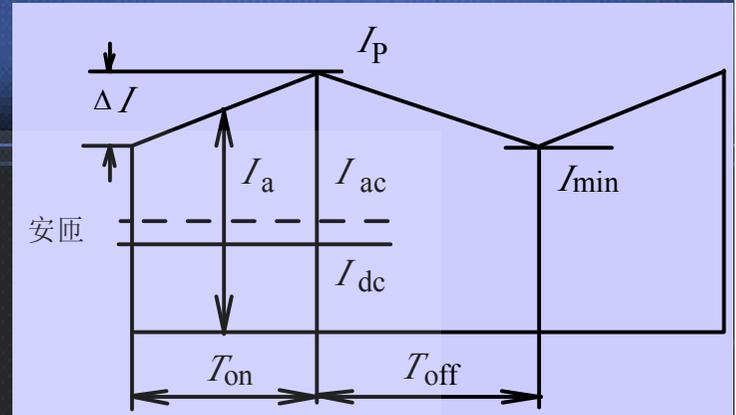


4、连续工作模式分析

(1) 交流纹波分量与满载直流分量相比很小，因此磁芯损耗可以忽略。

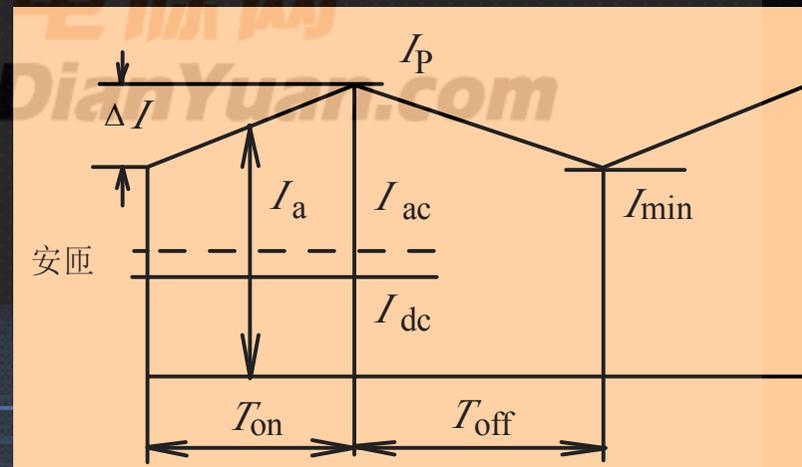
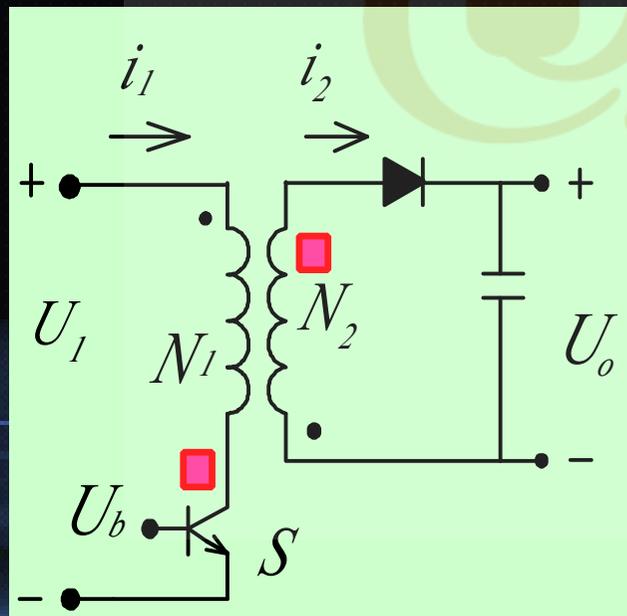
(2) 线圈中的交流分量很大，引起了明显高频线圈效应。原副边不同时导通。

(3) 次级电流的直流分量等于输出电流，与输入电压 U_i 无关。



(4) 在最低输入电压时，占空比最大，初级直流和峰值电流以及总的电感电流达到最大，是磁芯饱和与线圈损耗的最坏情况。

(5) 在高输入电压时，占空比最小，总电感电流、交流纹波电流和磁芯损耗最大。



设计时应注意的问题

(1) 原边绕组匝数需要满足绕组上的伏秒和磁芯的饱和特性。

$$N_{1\min} \cdot \Delta B_m \cdot A_e = U_{1m} \cdot T_{onm}$$

(2) 当使用带有气隙的铁氧体磁芯时，最小的气隙长度必须保证在流过交流和直流励磁电流时，磁芯不能饱和。

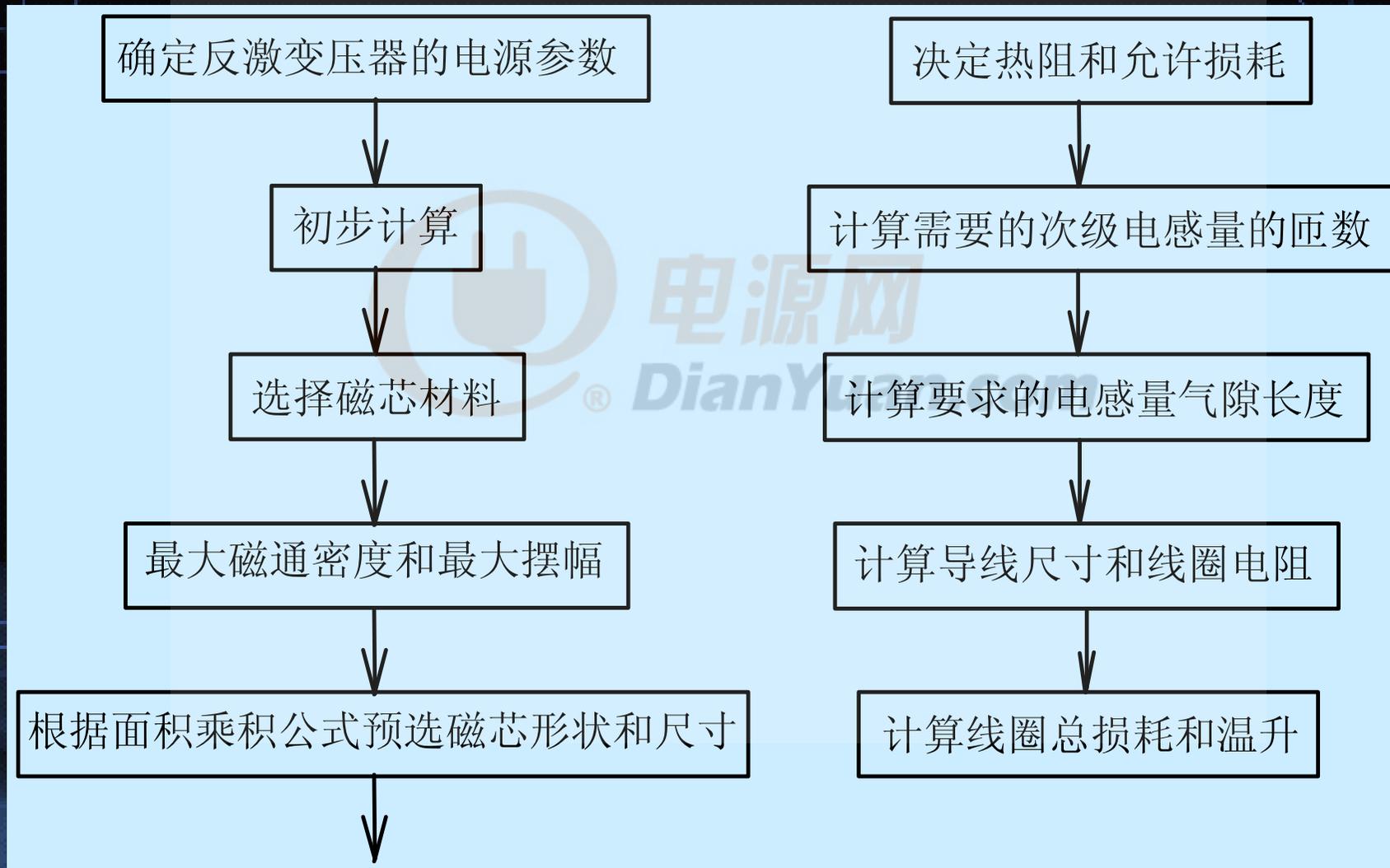
(3) 原边流过电流时，副边没有电流抵消原边安匝数，因此原边安匝数很容易使磁芯饱和。特别是负载轻时，很低的输出功率，无气隙的磁芯也会立即饱和从而损坏开关管。

防止磁芯饱和：选用磁导率较低的磁芯，例如间隙铁氧体或磁粉芯。

铁氧体开气隙后使磁化特性曲线的斜率发生改变，但饱和磁密不会发生改变，气隙的长度影响着磁导率及有效电感。

4、连续模式电感设计举例

反激变压器设计步骤



(1) 反激变压器有关电源参数

输入电压

$$U_i = 28 \pm 4V$$

输出

$$U_o = 5V$$

满载电流

$$I_o = 10A$$

电路拓扑: 反激连续模式

开关频率

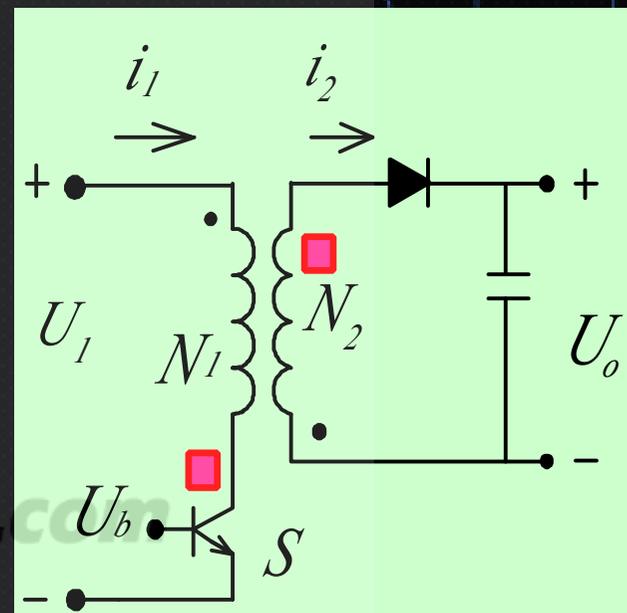
$$f_s = 100kHz$$

设额定占空度, 在28V输入时:

$$D = 0.5$$

最大纹波电流, 32V输入时

$$\Delta I = 5A$$



次级峰值短路电流

$$I_{sp} = 25A$$

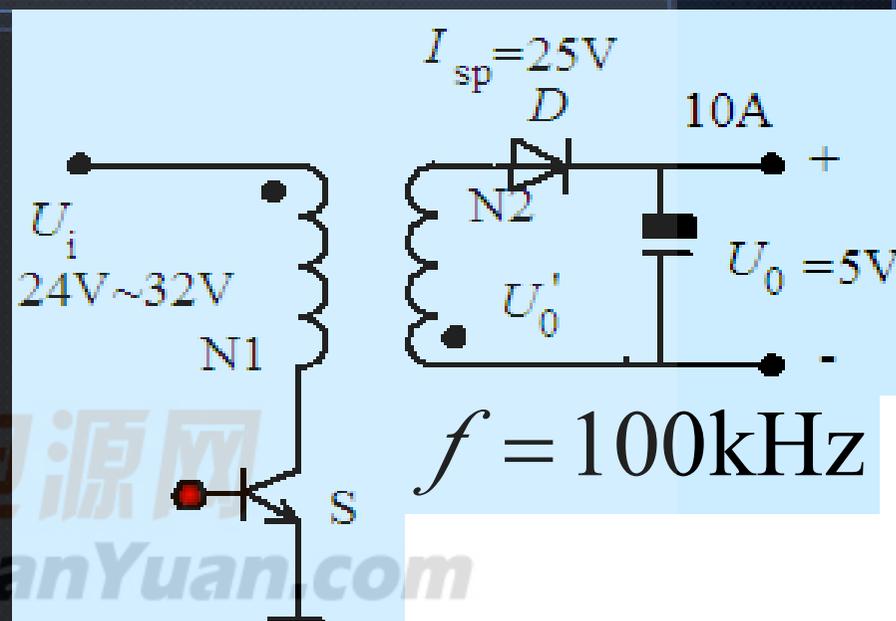
次级电感

$$L = 6.8\mu H$$

$$L \frac{\Delta I}{T_{on}} = U$$

$$(D=0.5, \Delta I=5A)$$

保证磁芯不饱和



最大损耗（绝对）：2.0W

最大温升

$$\Delta T = 40^\circ C$$

冷却方式：自然对流

变压器设计参数

参数名称	数值	参数名称	数值
输入电压 U_i	24 ~ 32V	开关频率 f	100kHz
输出电压 U_o	5V	设定占空比 D	0.5 $U_i=28V$
满载电流 I_o	10A	最大纹波电流 ΔI	副边绕组 5 $U_i=32V$ A
电路拓扑	反激连续模式	峰值短路电流 I_{sp}	副边绕组 25A
副边电感 L	6.8 μ H	最大损耗 (绝对)	2W
最大温升	40 $^{\circ}$ C	冷却方式	自然对流
环境温度	20 $^{\circ}$ C 室温		

(2) 初步计算 (求匝比)

匝比即伏秒面积比

求额定值时匝比

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{(U_i - 0.5)}{(U_o + 0.5)} \times \frac{D}{1 - D} = \frac{27.5}{5.5} \times \frac{0.5}{1 - 0.5} = 5$$

计算最坏情况——最低输入电压损耗

$$U_i = 28 - 4 = 24\text{V}$$

$$D_{24\text{V}} = \frac{nU'_o}{U_i + nU'_o} = \frac{5 \times (5 + 0.5)}{23.5 + 5 \times (5 + 0.5)} = 0.539$$

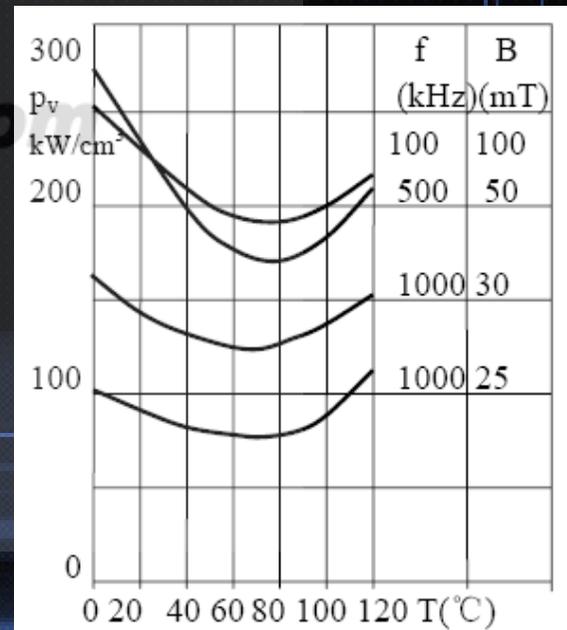
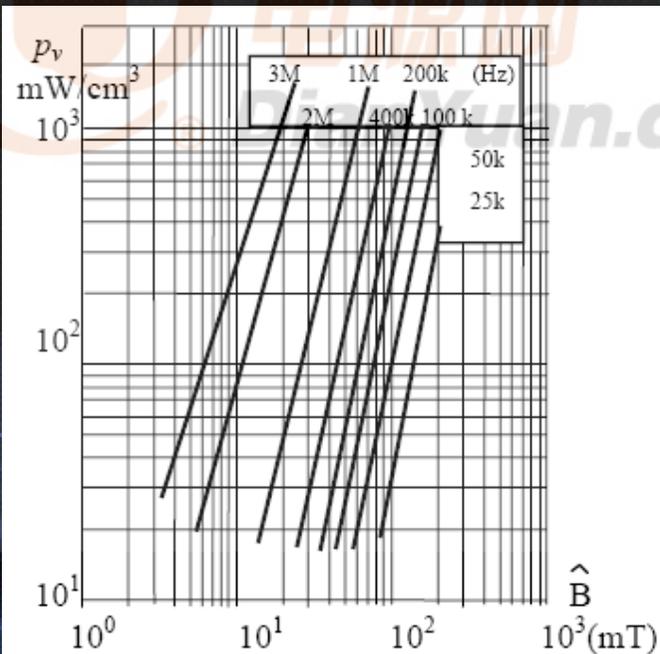
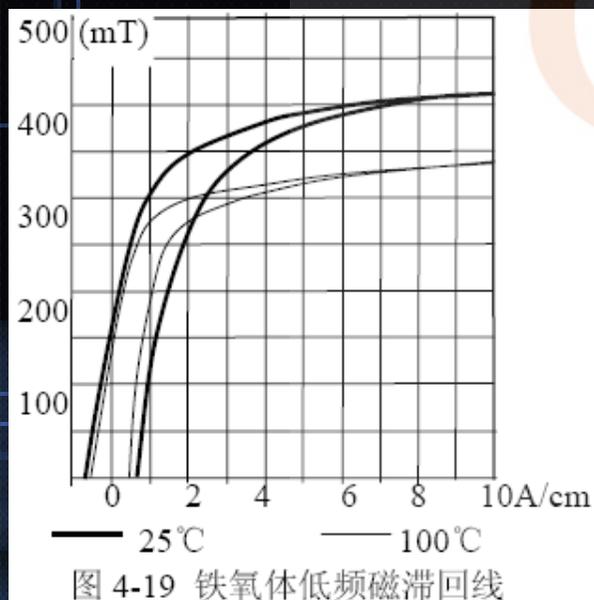
副边占空比

$$1 - D_{24\text{V}} = 1 - 0.54 = 0.461$$

(3) 用产品手册选择磁芯材料

磁芯材料为铁氧体，Philips 3C90。
100度时饱和磁感应为0.32T。

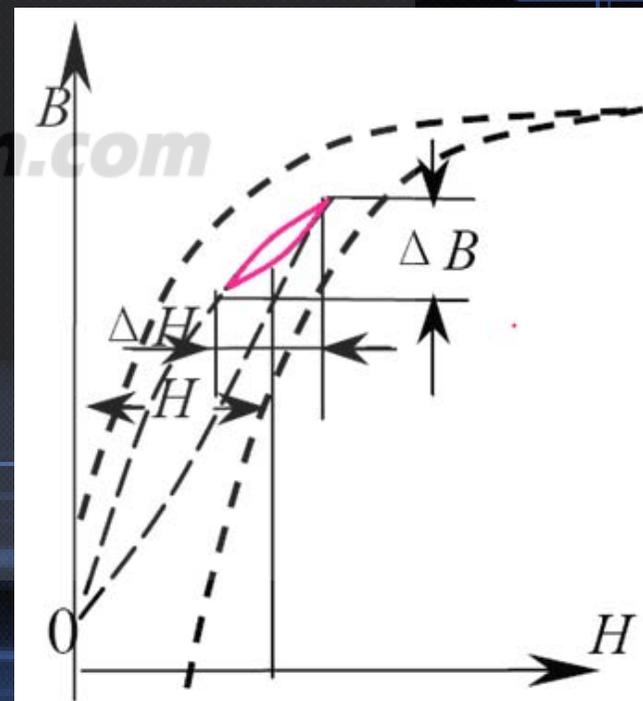
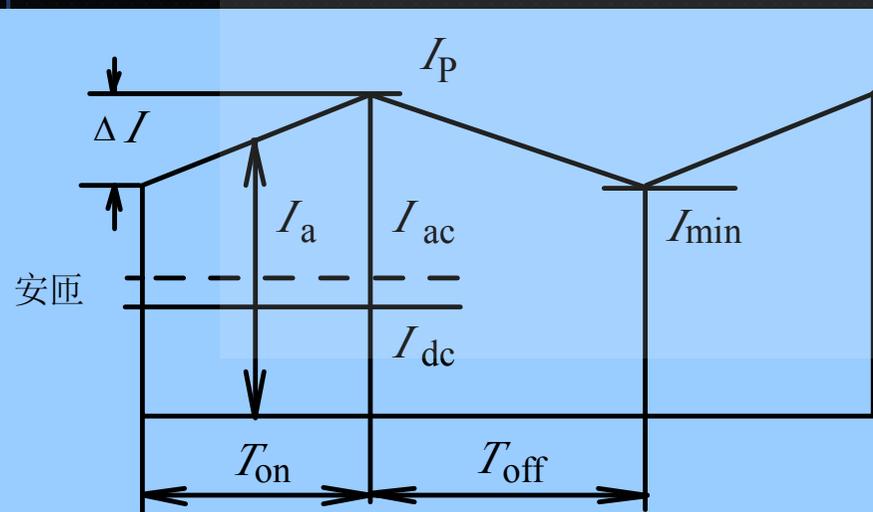
Philips 3C90



(4) 决定磁芯工作的最大磁通密度

电感安匝连续模式，饱和限制了最大磁通密度 $B_{\max} = 0.3\text{T}$ (3000Gs)。因此在峰值短路电流时，磁密 B 将达到最大值。

$$\Delta B_{\max} = B_{\max} \frac{\Delta I}{I_{sp}} = 0.3 \times \frac{5}{25} = 0.06(\text{T})$$



(5) 厂商提供的手册或应用面积乘积公式 预选磁芯型号

$$AP = \left[\frac{LI_{sp}}{B_{max}} \cdot \frac{I_{FL}}{K_1} \right]^{4/3} = \left[\frac{6.8 \times 10^{-6} \times 25 \times 10}{0.3 \times 0.0085} \right]^{4/3} = 0.66^{4/3} = 0.58(\text{cm}^4)$$

表 10-9 ETD 型磁芯规格表(图 10.2)

零件号	有效参数					
	$A_e(\text{mm}^2)$	$l_e(\text{mm})$	$V_e(\text{mm}^3)$	$A_w(\text{mm}^2)$	$l/A(\text{mm}^{-1})$	重量(g/对)
ETD29	76.0	72	5470	134	0.947	28
ETD34	97.1	78.6	7640	171	0.810	40
ETD39	125	92.2	11500	234	0.737	60

考虑骨架后 $A_w = 1.23\text{cm}^2$

$$AP = A_e A_w = 0.97 \times 1.23 = 1.19\text{cm}^4$$

表 10-9 ETD 型磁芯规格表(图 10-2)

零件号	磁芯尺寸(mm)					
	a	b	c	e	f	g
ETD29	30.6	15.8	9.8	11.0	9.8	22.0
ETD34	35.0	17.3	11.1	11.8	11.1	25.6
ETD39	40.0	19.8	12.8	14.2	12.8	29.3
ETD44	45.0	22.3	15.2	16.1	15.2	32.5
ETD49	49.8	24.7	16.7	17.7	16.7	36.1
ETD54	54.5	27.6	18.9	20.2	18.9	41.2
ETD59	59.8	31.0	21.65	22.5	21.65	44.7

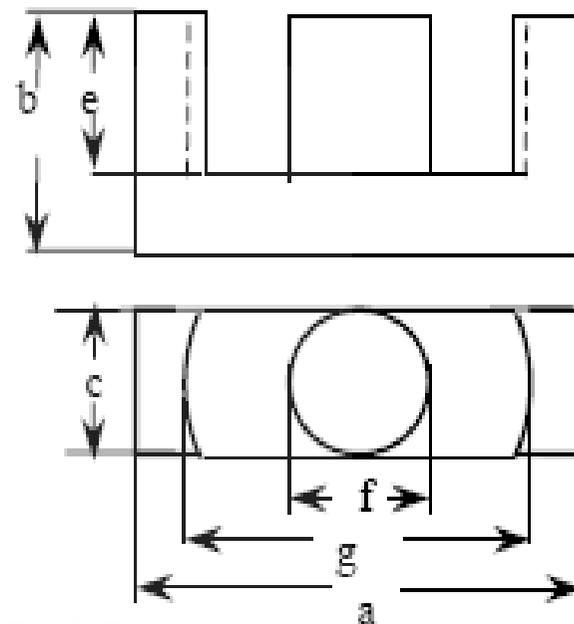


图 10-2 ETD 型磁芯尺寸

(6) 计算热阻和允许损耗

损耗分为线圈损耗和磁芯损耗，由磁芯手册获得热阻，根据最大温升的允许损耗为

$$P_{\text{lim}} = \Delta T(^{\circ}\text{C}) / R_{\text{th}} = 40 / 20 = 2(\text{W})$$

表 10-13* Magnetics 公司产品热阻与磁芯规格的关系

铁芯形状	$R_{\text{th}}(\text{K/W})$	铁芯形状	$R_{\text{th}}(\text{K/W})$	铁芯形状	$R_{\text{th}}(\text{K/W})$
E20/6	50	ETD29	28	PM50/39	15
E25	40	ETD34	20	PM62/49	12
E30/7	23	ETD39	16	PM74/59	9.5

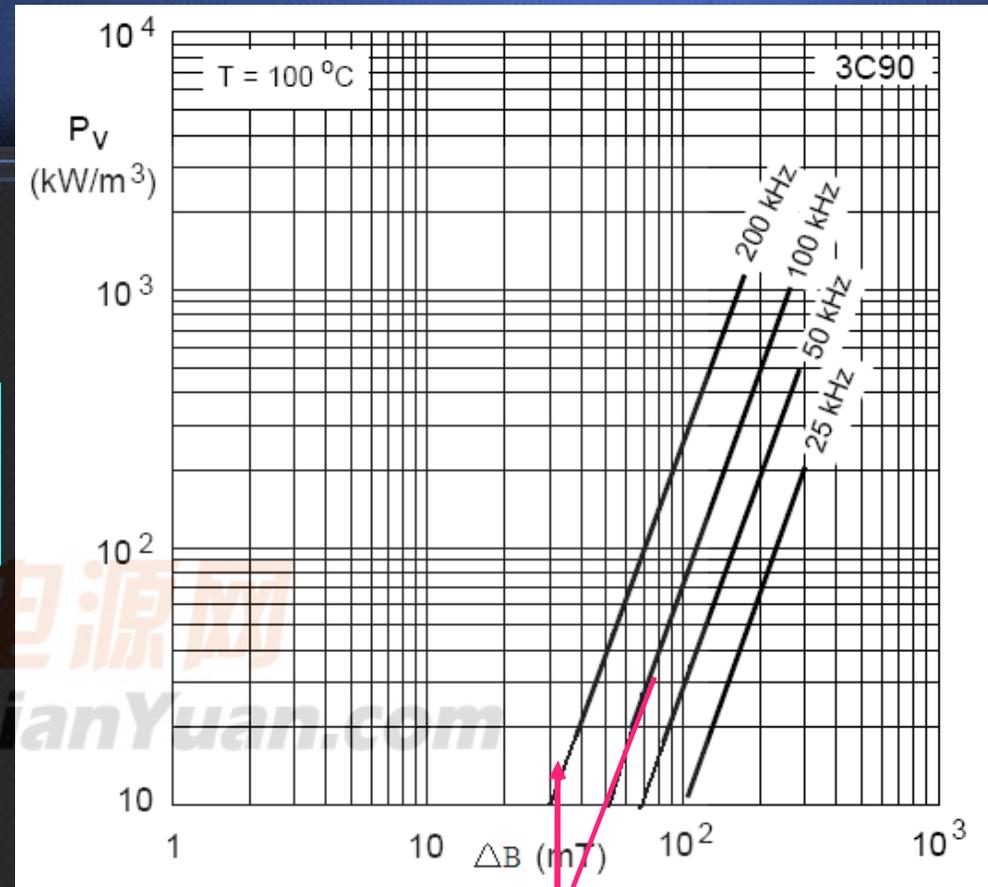
磁芯损耗

$$P_c = P_v \times V_e = 2.6 \times 7.64 = 20\text{mW}$$

$$\Delta B_{\max} = B_{\max} \frac{\Delta I}{I_{sp}} = 0.3 \times \frac{5}{25} = 0.06(T)$$

按30mT查找比损耗

磁芯损耗可忽略不计，
只考虑线圈损耗。



(7) 根据电感量计算次级匝数

计算次级匝数

$$N_2 = \frac{L\Delta I}{\Delta BA_e} = \frac{6.8 \times 10^{-6} \times 5A}{0.06T \times 0.971 \times 10^{-4}} = 5.84 \rightarrow 6$$

计算初级绕组匝数

$$N_1 = N_2 \times n = 6 \times 5 = 30 \quad \text{匝}$$

(8) 计算气隙长度

先取一个气隙长度 (1mm) 代入
下面公式计算, 反复迭代数次。

$$\begin{aligned}\delta &= \mu_0 N^2 \frac{A_e}{L} \left(1 + \frac{\delta}{D_{cp}}\right) \times 10^4 \\ &= 4\pi \times 10^{-7} \times 6^2 \times \frac{0.97}{6.8} \left(1 + \frac{\delta}{1.08}\right) \times 10^4 = 0.08(\text{cm})\end{aligned}$$

迭代数次后 $\delta = 0.074\text{cm}$

单位 尺寸: cm 电感: 微亨

D_{cp}

中柱直径 f

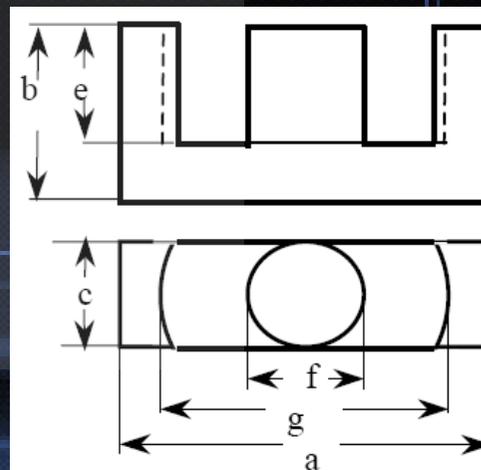


图 10-2 ETD 型磁芯尺寸

(9) 计算导线尺寸和线圈电阻

表 10-9 ETD 型磁芯规格表(图 10-2)

零件号	磁芯尺寸(mm)					
	a	b	c	e	f	g
ETD29	30.6	15.8	9.8	11.0	9.8	22.0
ETD34	35.0	17.3	11.1	11.8	11.1	25.6

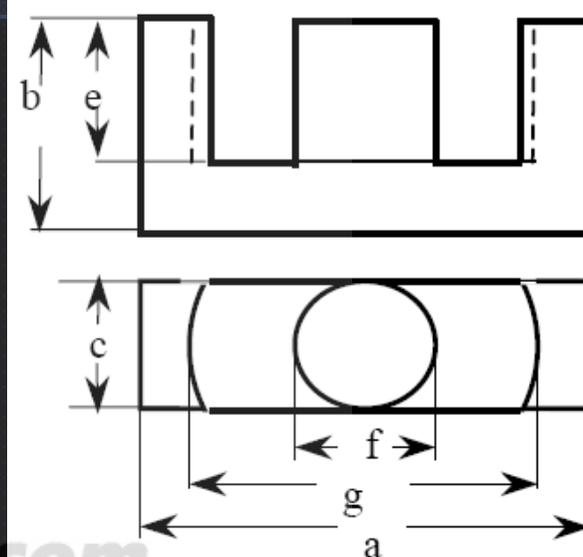


图 10-2 ETD 型磁芯尺寸

窗口宽度

$$b_w = 2.10\text{cm}$$

窗口高度

$$h_w = 0.60\text{cm}$$

爬电距离

3mm

线圈有效宽度

$$2.1 - 2 \times 0.3 = 1.5\text{cm}$$

按最低输入电压是计算各电流值

$$U_i = 24V$$

输出电流

$$I_o = 10A$$

最大平均电流

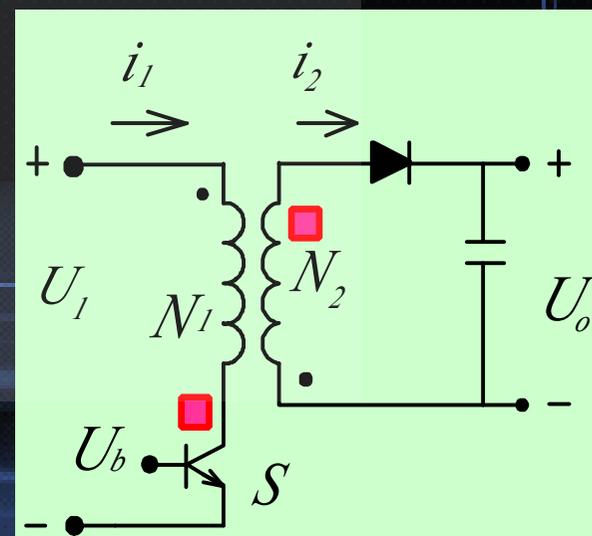
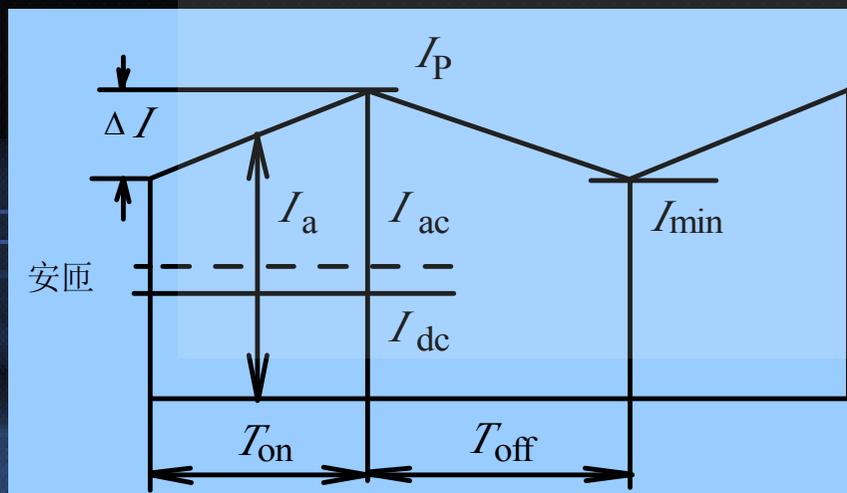
$$I_{2a} = \frac{I_o}{1 - D_{24V}} = \frac{10}{0.462} = 21.65A$$

次级电流有效值

$$I_2 = \sqrt{(1 - D_{24}) I_{2a}^2} = 14.7A$$

次级交流电流

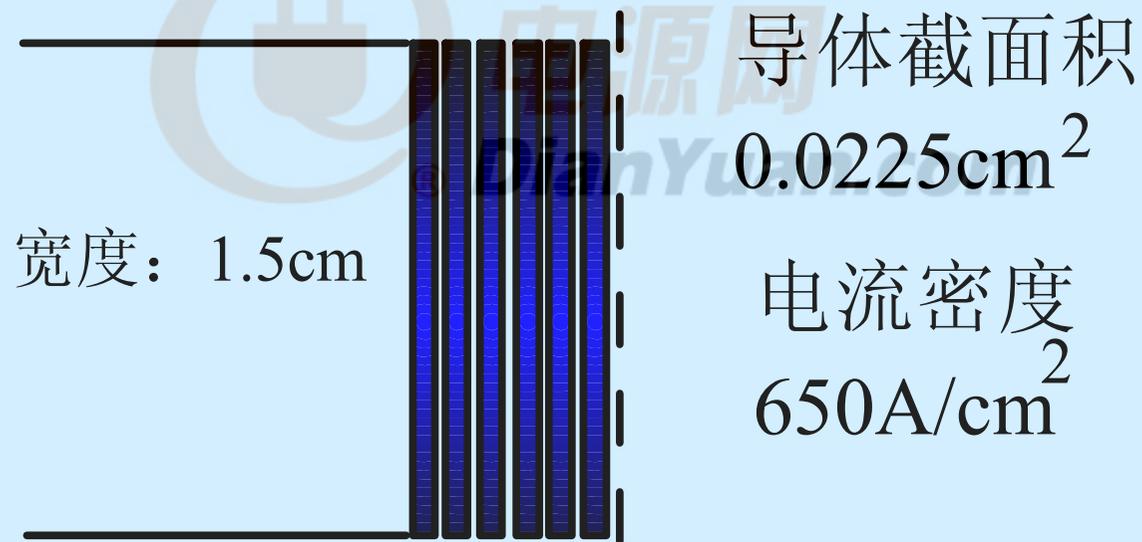
$$I_{2ac} = \sqrt{(I_2^2 - I_o^2)} = 10.77A$$



变压器次级绕制

6匝即6层铜带，铜带宽度裁成1.5cm

铜带厚度：0.015cm 线圈总高度
层间厚度：0.005cm 0.12cm



平均匝长6.1 总线圈长度36.6cm

次级线圈直流电阻计算

$$R_{2\text{dc}} = \rho_{100^{\circ}\text{C}} \frac{l_2}{A_2} = 2.31 \times 10^{-8} \times \frac{6 \times 6.1 \times 10^{-2}}{0.0225 \times 10^{-4}} = 0.00376 \Omega$$

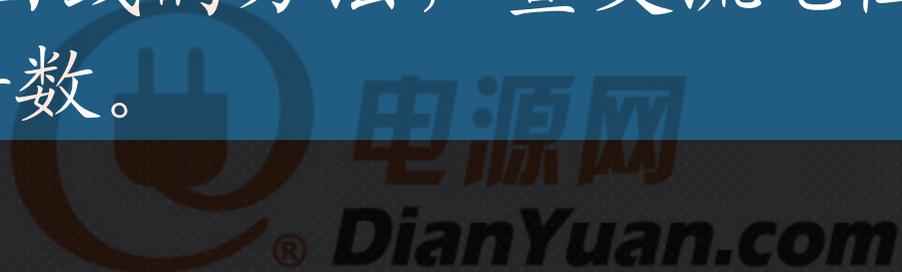
铜的电阻率

$$\rho_{100} = \rho_{20^{\circ}\text{C}} \left(1 + \frac{T - 20}{234.5} \right) = 2.3 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$$

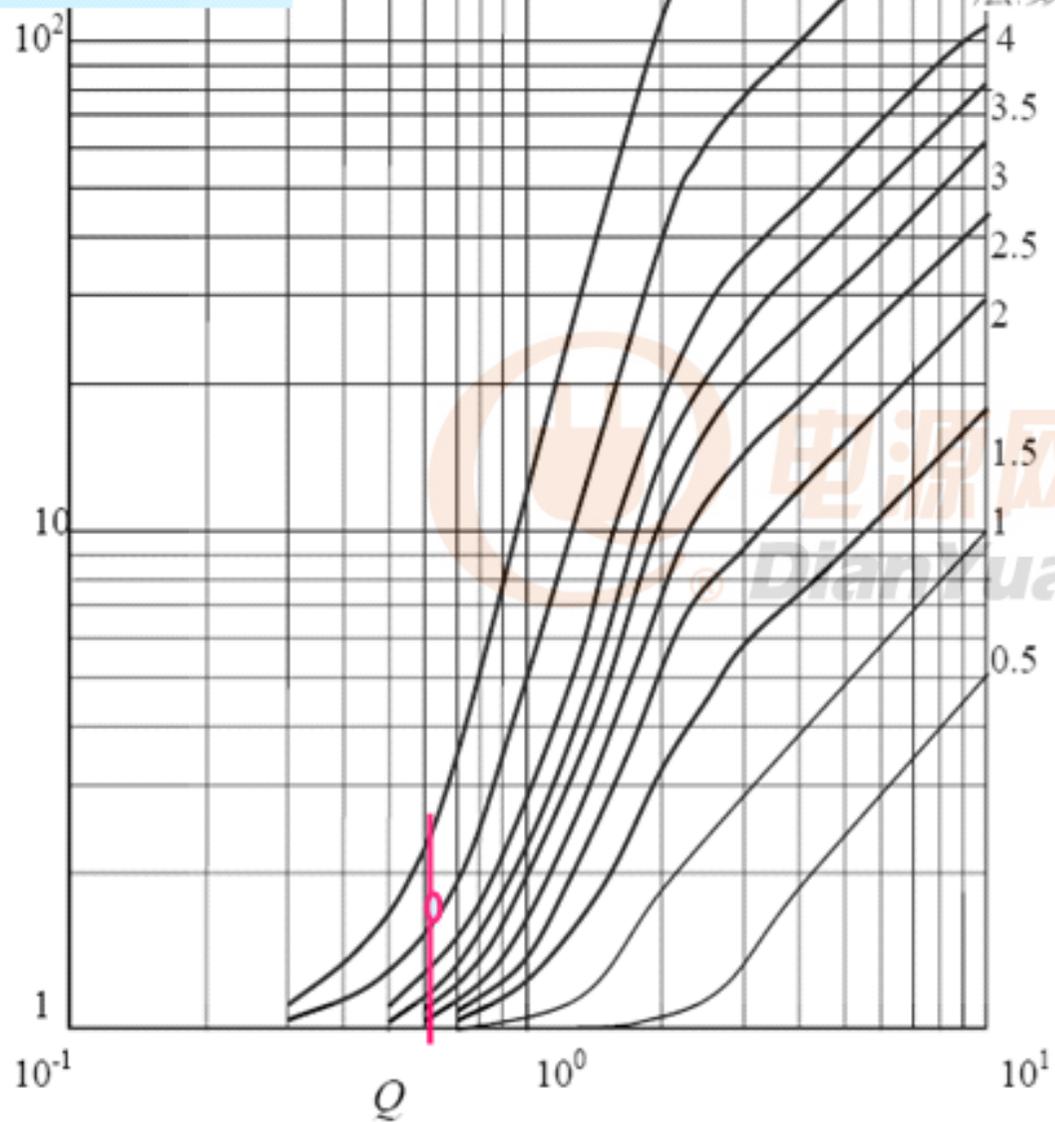
$$\rho_{20^{\circ}\text{C}} = 1.724 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$$

计算次级线圈交流电阻计算

高频效应使交流电阻计算复杂，采用查Dowell曲线的方法，查交流电阻与直流电阻的倍数。



$$F_R = R_{ac} / R_{dc}$$



层数6

次级有效面积
减少倍数Q

$$\Delta_{100^\circ C} = \frac{7.65}{\sqrt{100000}} = 0.024 \text{ cm}$$

$$Q_2 = \frac{d}{\Delta} = \frac{0.015}{0.024} \approx 0.625$$

初级线圈参数计算

额定输入28V时，占空比取0.5。

最坏情况是最低输入电压24V。

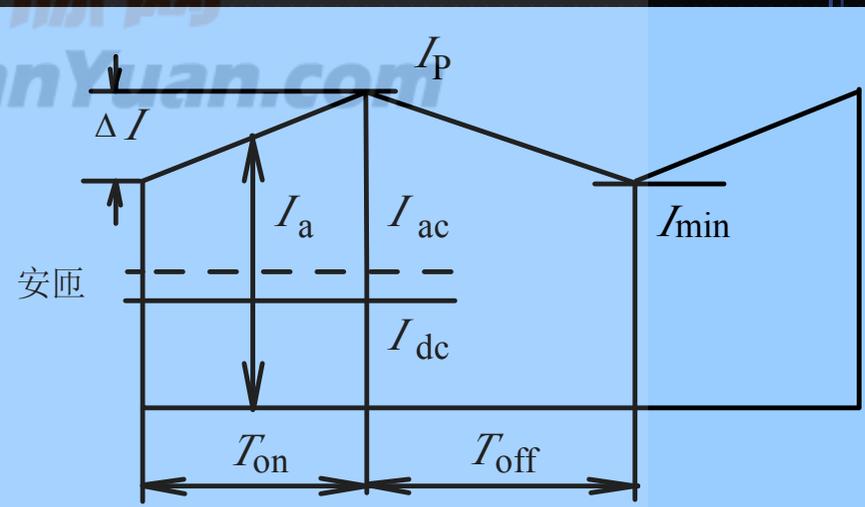
$$D = 28 \times 0.5 / 24 = 0.583$$

中值电流

$$I_{1a} = I_{2a} / n = 21.65 / 5 = 4.33\text{A}$$

直流电流

$$I_{1dc} = DI_{1a} = 0.538 \times 4.33\text{A}$$



有效值电流

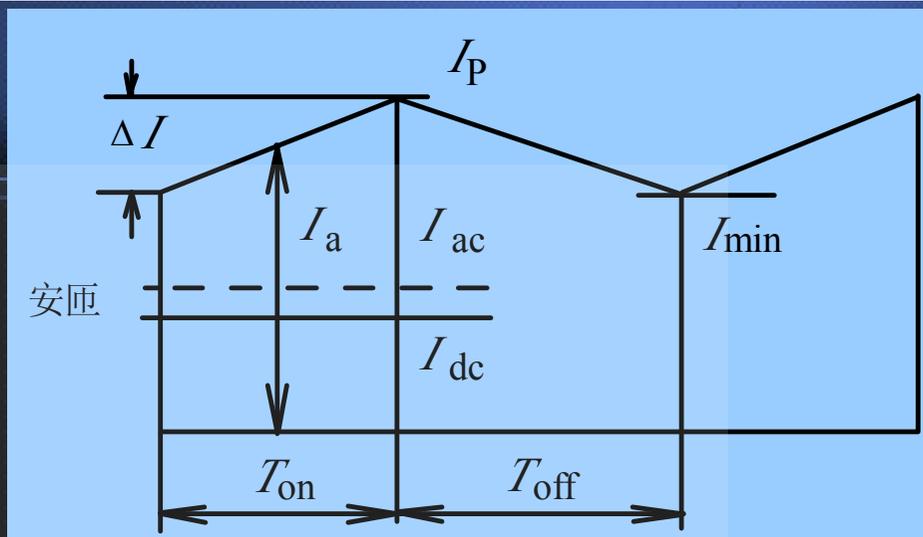
$$I_1 = \sqrt{DI_{1a}^2} = 3.18\text{A}$$

交流电流

$$I_{1ac} = \sqrt{I_1^2 - I_{1dc}^2} = \sqrt{3.18^2 - 4.33^2} = 2.16\text{A}$$

峰值短路电流

$$I_{1sp} = 25 / n = 5\text{A}$$



初级线圈用3层共30匝利兹线

150根，直径0.08mm组成，单位长度电阻为0.046 Ω/cm ，整个导线的单位长度电阻除以150，100° C时单位长度电阻为0.00031欧姆/cm。

可以用初级线圈单位长度电阻计算总电阻

$$R_{1dc} = R_{N1(150)} = 0.00031 \times 183 = 0.0567 \Omega$$

初级导线长度 $l_{M1} = N_1 \times l_{av} = 30 \times 6.1 = 183\text{cm}$

$\rho_{100} = 1.724 \times 10^{-8} (1 + 80/234.5) = 2.31 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

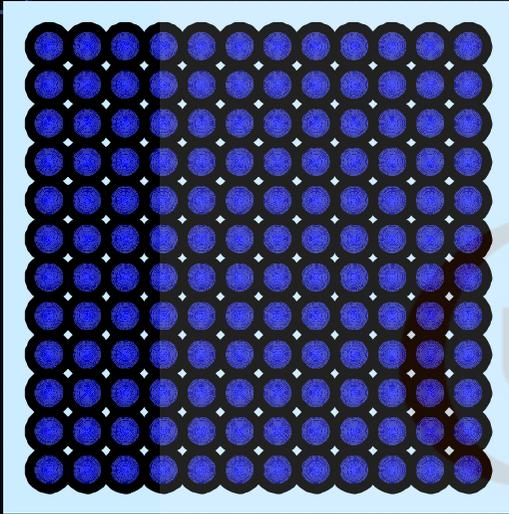
表 10-2 国标 QQ-2 高强度漆包线规格

标称直径 mm	外皮直径 mm	截面积 mm ²	电 阻 Ω/m(20° C)
0.08	0.11	0.005	3.48

初级绕组电阻

$$R_{1dc} = R_{M1(150)} = \rho_{100} \times \frac{l_{M1}}{150 \times A_{N1}} = 2.31 \times 10^{-8} \times \frac{183 \times 10^{-2}}{150 \times 0.005 \times 10^{-6}} = 0.0567 \Omega$$

单根利兹线的截面



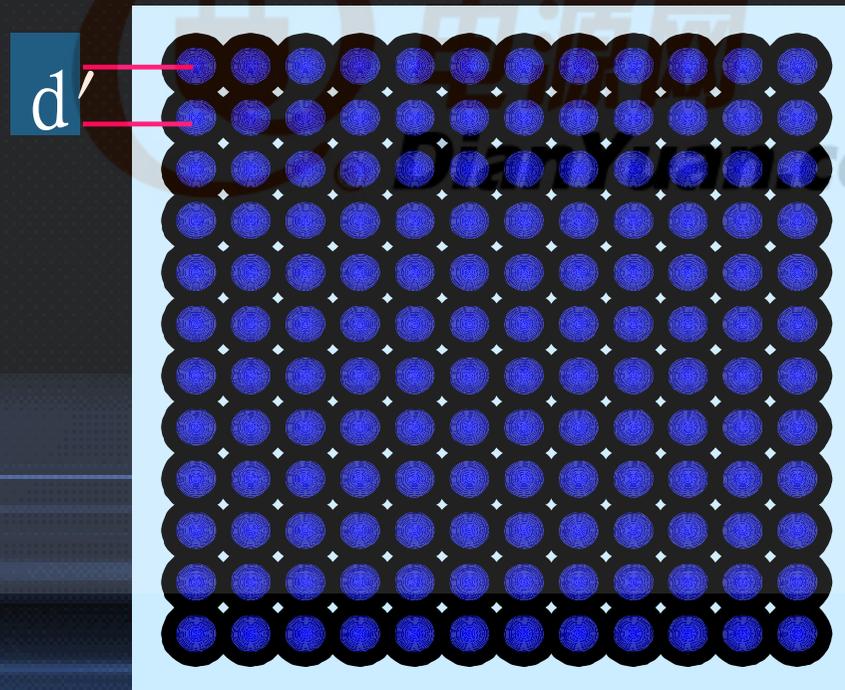
每根利兹线由150根直径0.008cm的细铜线组成，150根利兹线可以近似看成 $12 \times 12 = 144$ 根组成

初级线圈有3层，每层10根利兹线绕制。每根利兹线中间间距为骨架窗口宽度1.5cm除以单层的总导线数120，即为0.0125cm。

$$d' = 1.5\text{cm} \div (10 \times 12) = 0.0125\text{cm}$$

计算初级导线的有效层厚度

$$h_1 = 0.83d \sqrt{\frac{d}{d'}} = 0.83 \times 0.008 \sqrt{\frac{0.008}{0.0125}} = 0.053(\text{cm})$$



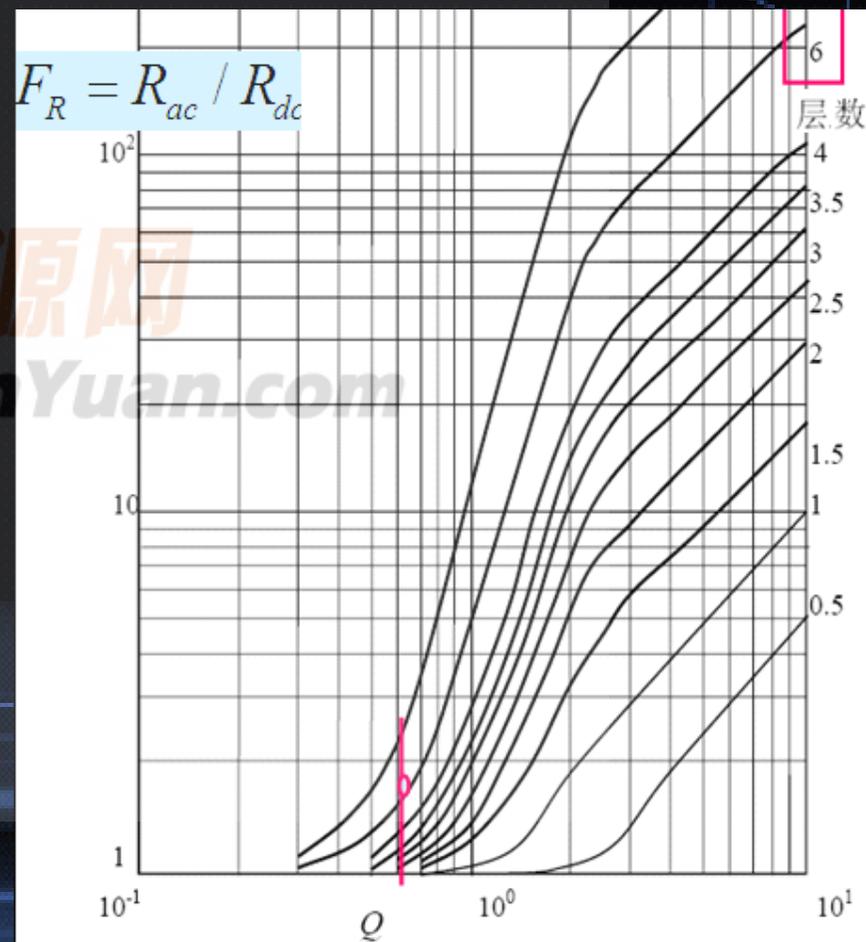
求初级导线有效面积减少的倍数Q值

$$Q_1 = h_1 / \Delta = 0.0053 / 0.024 = 0.22$$

由于Q1非常小，
曲线上没有提供
36层的参数，因
此交流电阻近似
为

$$R_{ac} / R_{dc} = 1.6$$

$$R_{ac} = 1.6 \times 0.0567 = 0.09\Omega$$



(10) 计算线圈总损耗

次级损耗+初级损耗=总损耗

次级直流损耗

$$P_{2dc} = I_o^2 R_{dc} = 10^2 \times 0.00376 = 0.376 \text{ W}$$

次级交流损耗

$$P_{2ac} = I_{2ac}^2 R_{2ac} = 10.77^2 \times 0.006 \approx 0.696 \text{ W}$$

次级总损耗

$$P_2 = P_{2dc} + P_{2ac} = 0.376 + 0.696 = 1.172 \text{ W}$$

初级直流损耗

$$P_{1dc} = I_{1dc}^2 R_{dc} = 2^2 \times 0.0567 = 0.225 \text{ W}$$

初级交流损耗

$$P_{1ac} = I_{1ac}^2 R_{ac} = 2.16^2 \times 0.09 = 0.42 \text{ W}$$

初级总损耗

$$P_1 = P_{1dc} + P_{1ac} = 0.025 + 0.42 = 0.645 \text{ W}$$

总线圈损耗

$$P_W = P_1 + P_2 = 0.645 + 1.172 = 1.814 \text{ W}$$

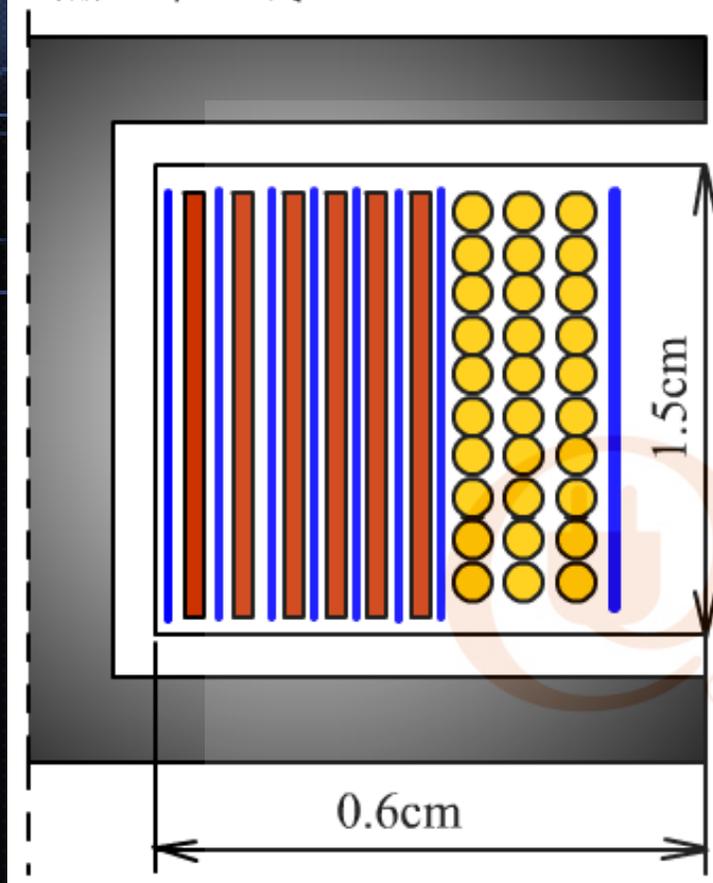
磁芯损耗

$$P_c = 0.02 \text{ W}$$

变压器损耗

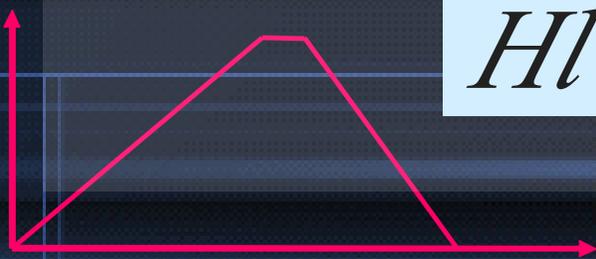
$$P_T = P_c + P_W = 0.02 + 1.184 \approx 1.2 \text{ W}$$

磁芯中心线



- 磁芯 ■ ETD34, 材料3C90
 - 骨架 □ 骨架宽度1.5cm, 骨架高度0.6cm
 - 次级 ■ 铜带厚度0.015cm, 铜皮面积0.225cm²
 - 绝缘 — 绝缘层厚度0.005cm, 外层0.02cm
- 次级线圈总高0.015×6+0.005×9=0.12cm
- 初级 ● 每层10匝, 利兹线外直径0.127cm
3层高度0.127×3=0.381cm
初次级总高度0.381+0.12+0.02=5.21cm
- l_{av} 平均匝长6.1cm

$$Hl = Ni$$



磁势最大的地方?
漏磁最大的地方?

次级电感折算到初级电感

$$L_1 = n^2 L_2 = 25 \times 6.8 = 170 \mu\text{H}$$

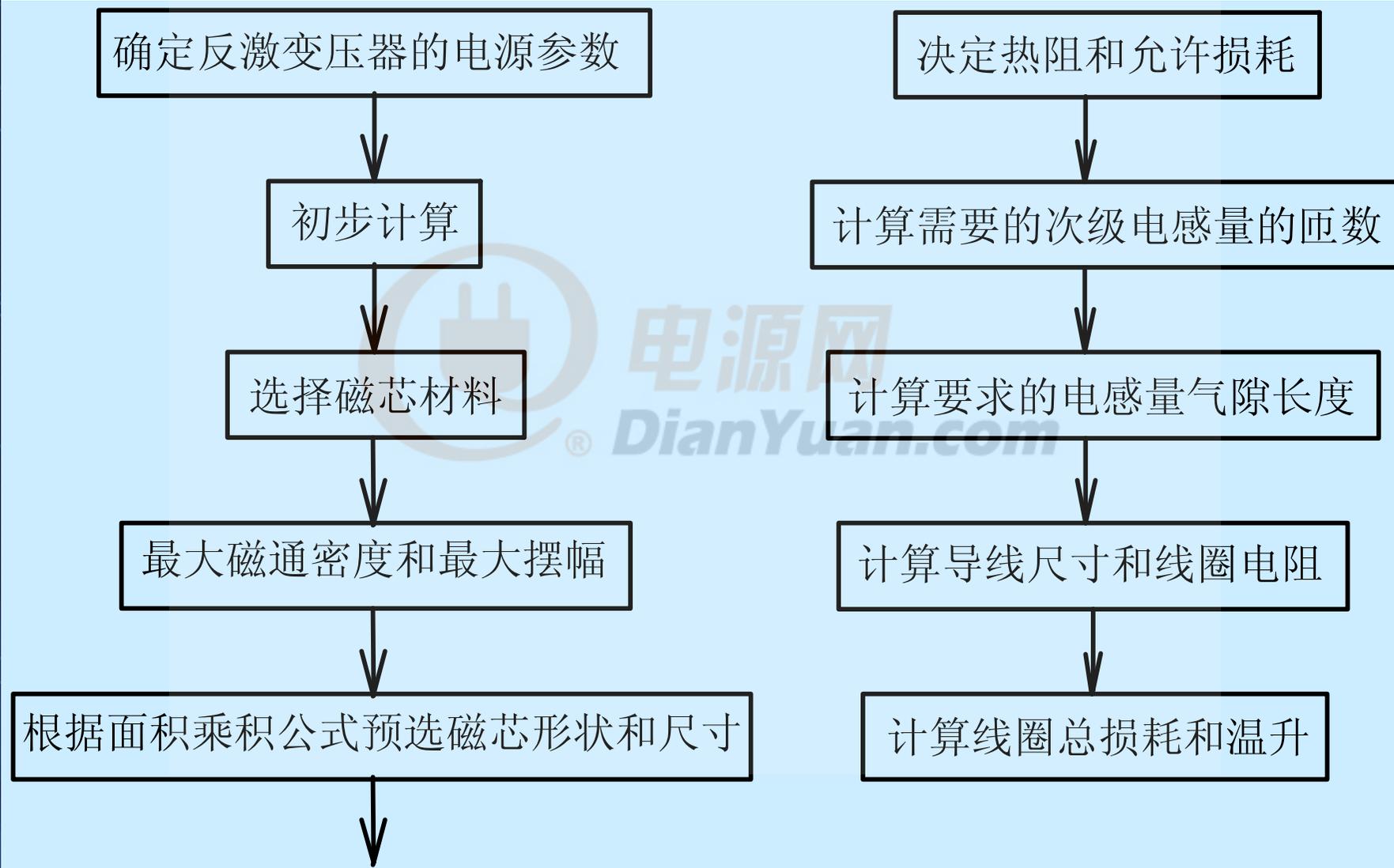
初次级之间的漏感

近似为 $L_{1s} = 5 \mu\text{H}$

线圈之间电容 $C_s = 50 \text{PF}$

为了减少漏磁，线圈可以采取交错结构分层绕法，漏感要减小，但电容要加大，在试验中改进。（完毕）

小结：连续模式反激变压器设计步骤



连续模式反激变压器的特点

- (1) 原副边绕组电流不连续，磁芯的安匝连续
- (2) 磁芯工作在局部磁化特性曲线上，磁芯损耗小，线圈的直流损耗和高频损耗大。
- (3) 磁芯工作在局部磁化特性曲线上，磁芯损耗小，线圈的直流损耗和高频损耗大。
- (4) 防止磁芯轻载饱和。
- (5) 突加和突卸负载额动态响应速度慢。

LED灯控制的问题

1、恒流控制技术 延长LED的寿命

改变LED电流可调节LED光输出强度

正向电流的变化也会改变LED的彩色

2、接入电网要求限制

功率因数要求

3、热设计

基于AP3766的5W 到7W的 LED驱动电路



电源网

® *DianYuan.com*

芯片生产厂家：新进BCD

AP3766主要特点

1、采用原边调整控制 (PSR) 技术实现高精度的恒压/恒流 (CV/CC) 输出。

2、“亚微安启动电流”

3、30mW空载输入功率

4、省去了副边光耦及恒压恒流控制电路

5、省去了控制环路补偿电路

6、随机频率调节可以减少系统的EMI

7、可实现DCM反激拓扑

8、开环反馈保护

9、内置软启动

10、短路保护

可配灯泡

GU10射灯、E27泡灯、PAR灯和只管灯

生产厂家：新进BCD

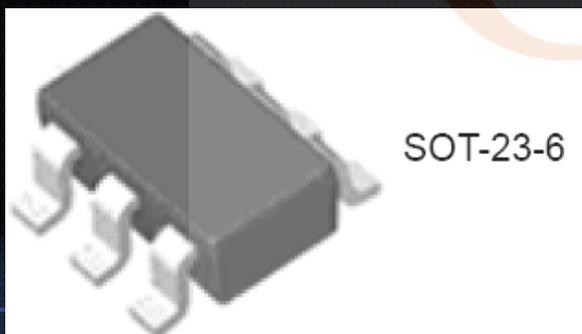


型号AP3766

LED驱动芯片

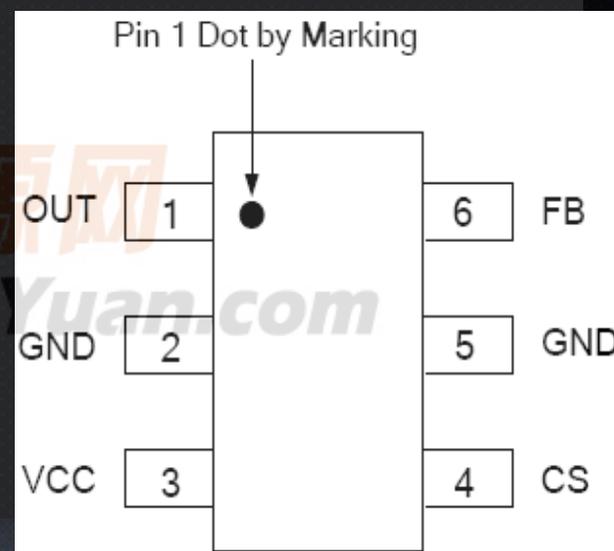
备用电源或辅助源供电

手机电池充电器



封装与管脚排列

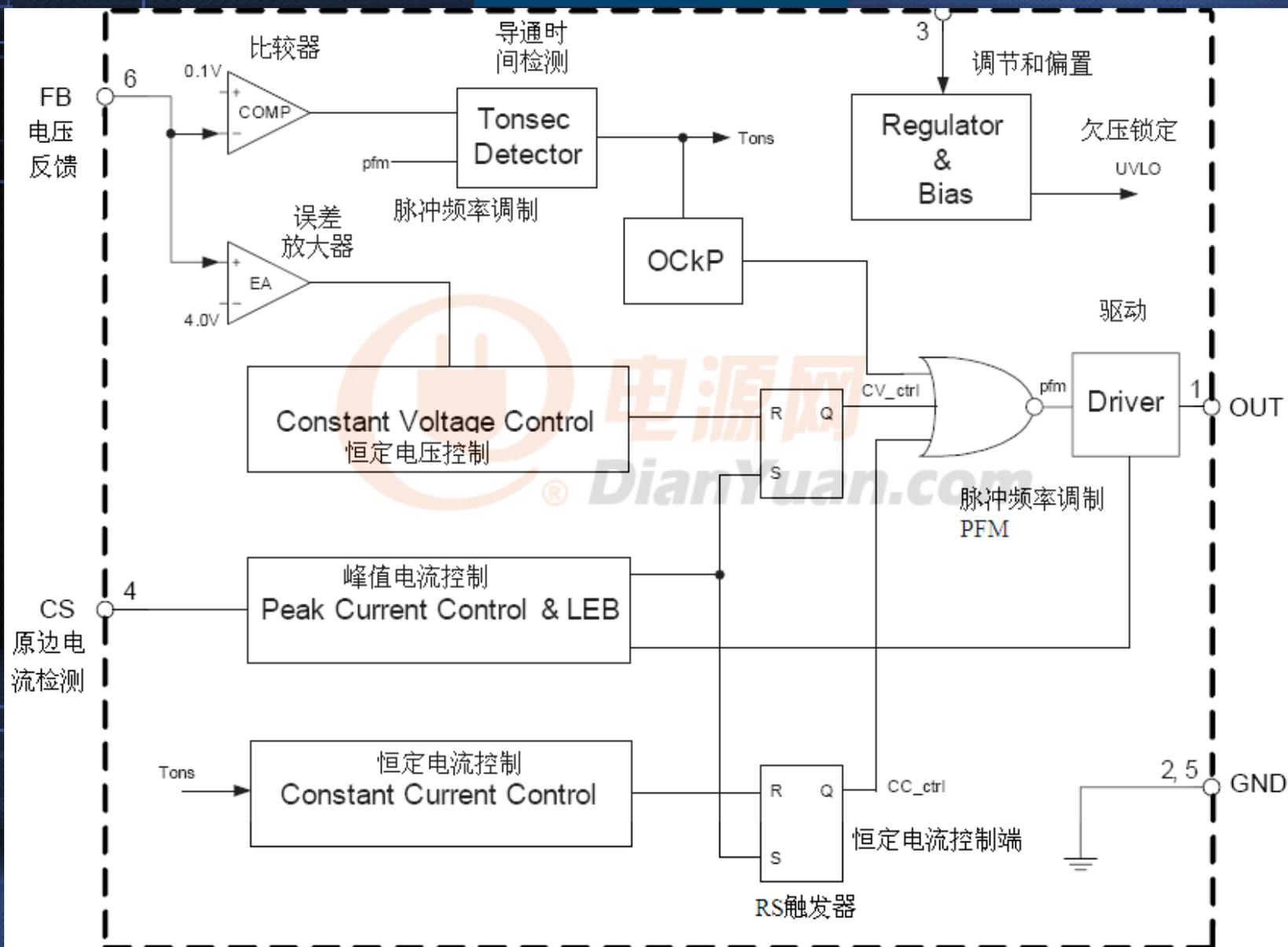
OUT: 输出NPN的驱动



CS: 原边电流检测

FB: 辅助绕组电压反馈

型号 AP3766



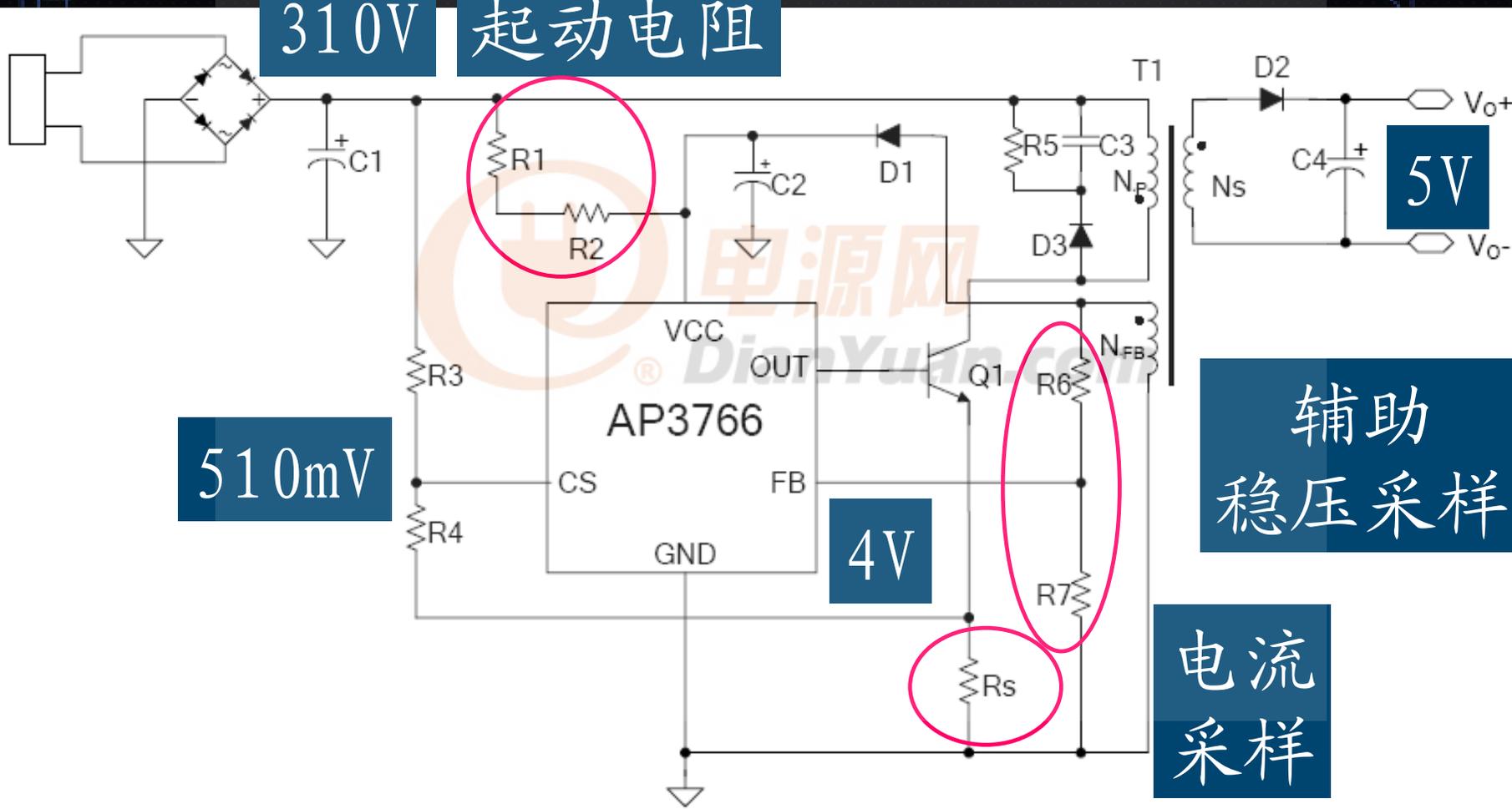
输入220V, 50Hz

典型应用

原边绕组

副边绕组

310V 启动电阻



510mV

4V

5V

辅助
稳压采样

电流
采样

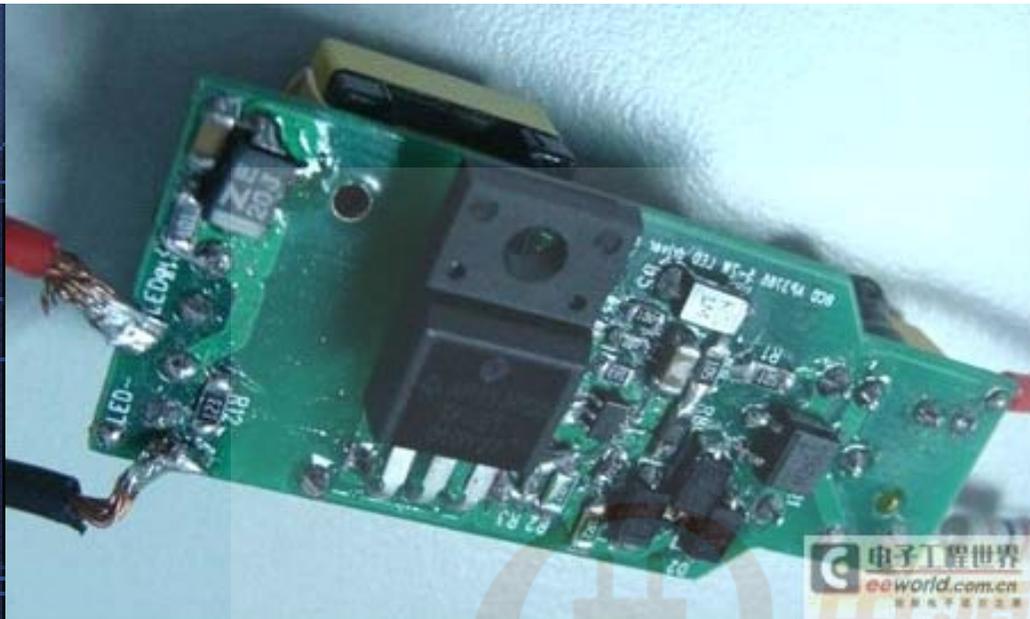


图6为AP3766 5W到7W应用电路样机



AP3766样机
(5W, 7W)

最大功率因数接
近0.9, 效率超过
80%

图片和数据摘自
电子工程世界

RICHTEK

RT9911

6 Channel DC/DC Converters

RT9917

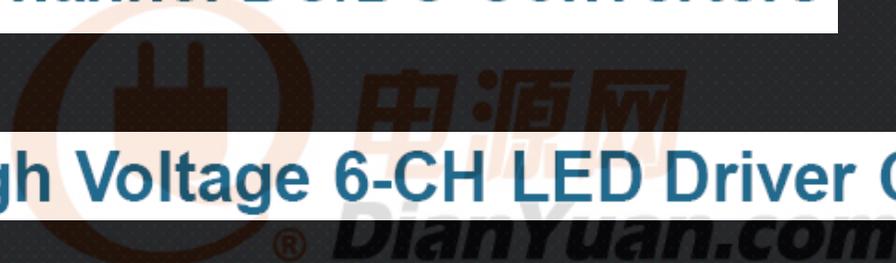
7 Channel DC/DC Converters

RT8488

High Voltage 6-CH LED Driver Controller

RT8450

High Voltage Multi-Topology LED Driver



欢迎来到南京航空航天大学



谢谢光临，请提出宝贵意见！



电:源网
DianYuan.com

高压多种拓扑LED驱动器控制芯片

RT8450/B系列



电源网

® *DianYuan.com*

1、输入40V，输出50V

2、1.5A开关电流

3、适合Buck、Boost和Buck-Boost等拓扑

4、电流模式PWM控制，频率可达800kHz，(500kHz, RTA8450B)

5、易调节光亮度：模拟方法，PWM数字或PWM转换成模拟量（外加一个电容）

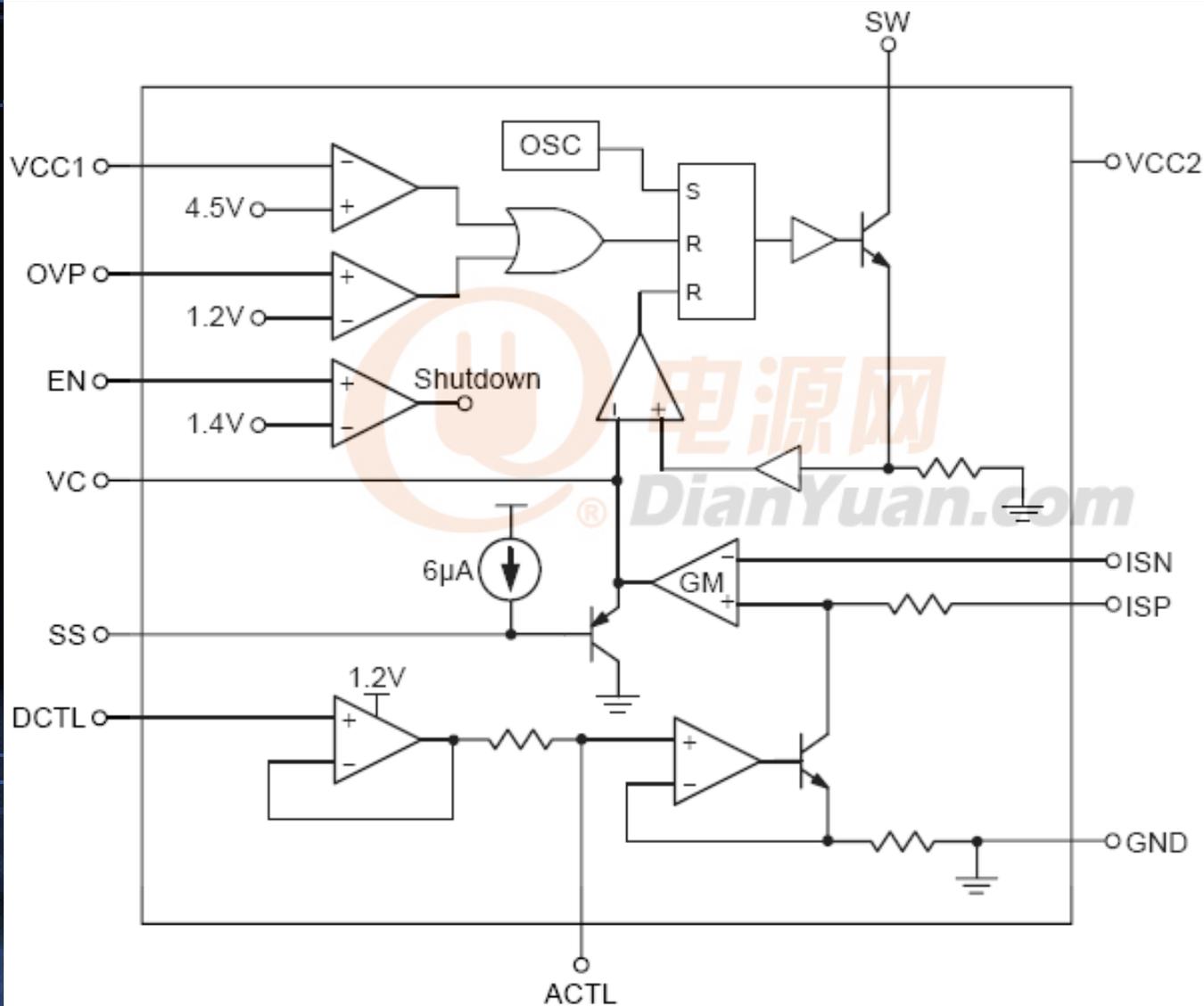
6、可编程软启动避免浪涌电流

7、可编程过压保护以限制输出电压

8、输入电压欠压锁定输出和过热关断

9、符合RoHS和Halogen Free（无卤族元素）要求

RT8450/B系列内部框图



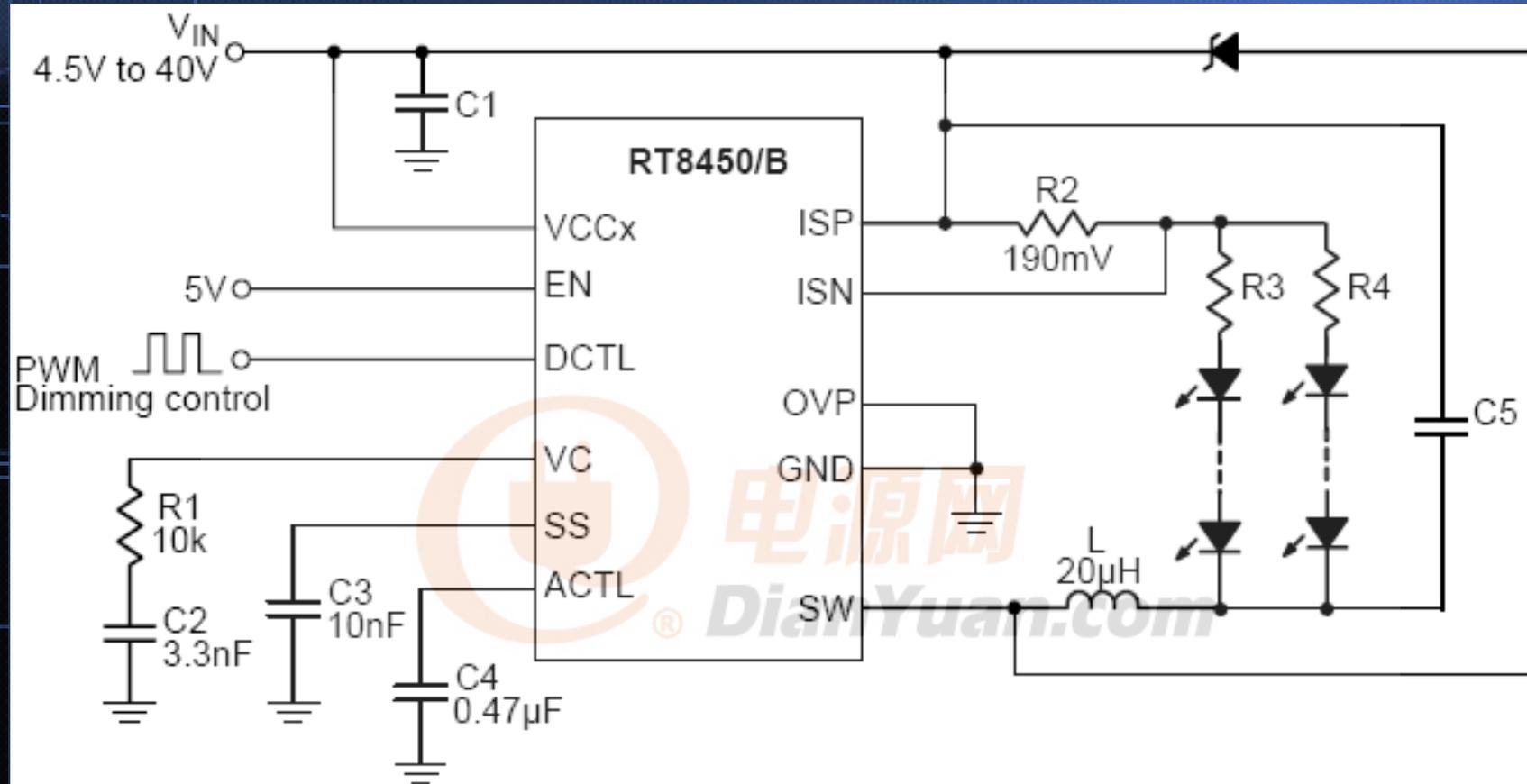


Figure 1. PWM to Analog Dimming Buck Configuration

PWM转换为模拟量调光的Buck电路

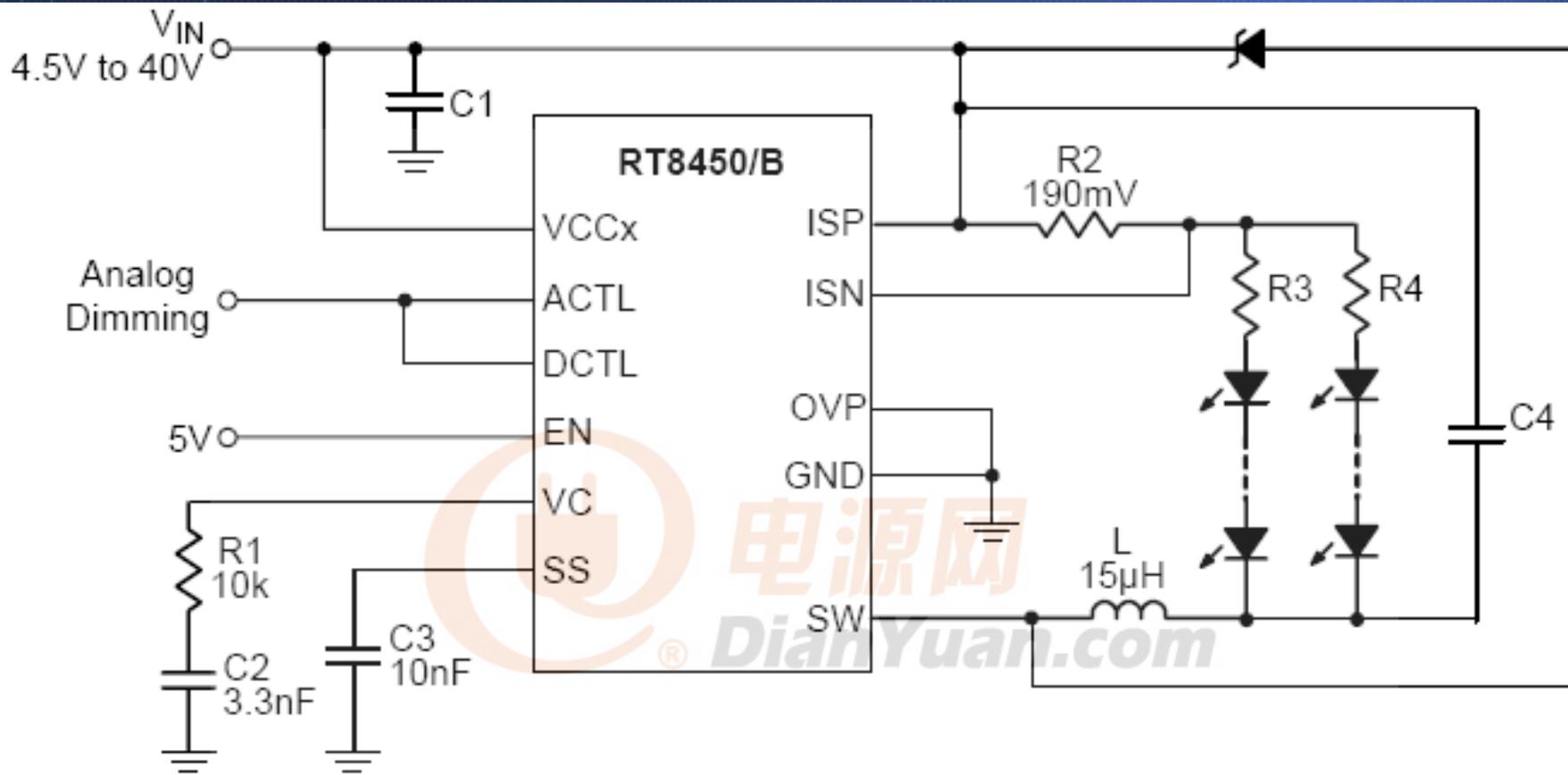


Figure 2. Analog Dimming Buck Configuration

模拟调光BUCK电路

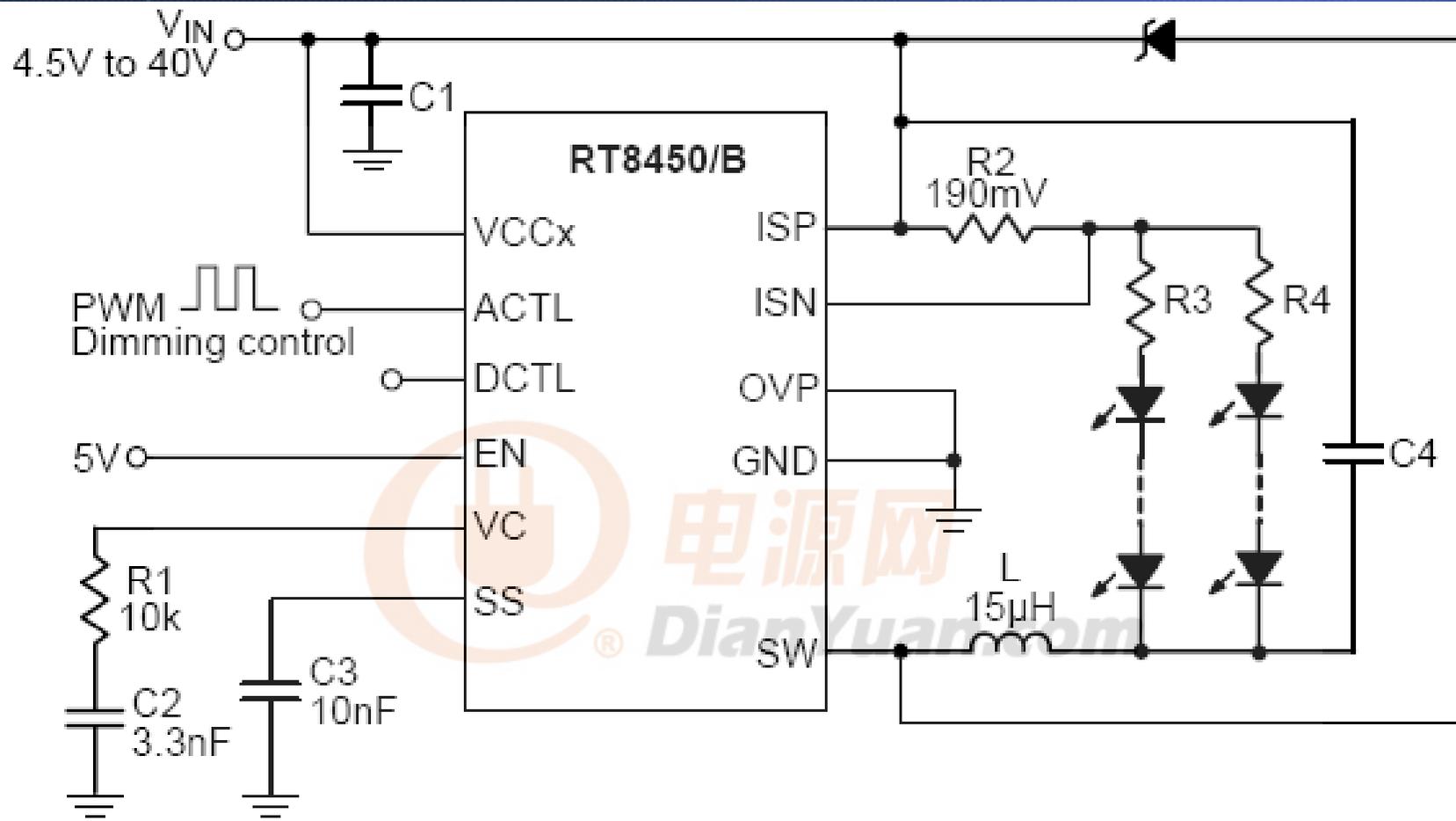


Figure 3. PWM Dimming Buck Configuration Through ACTL Pin

PWM调光BUCK电路（由ACTL端调节）

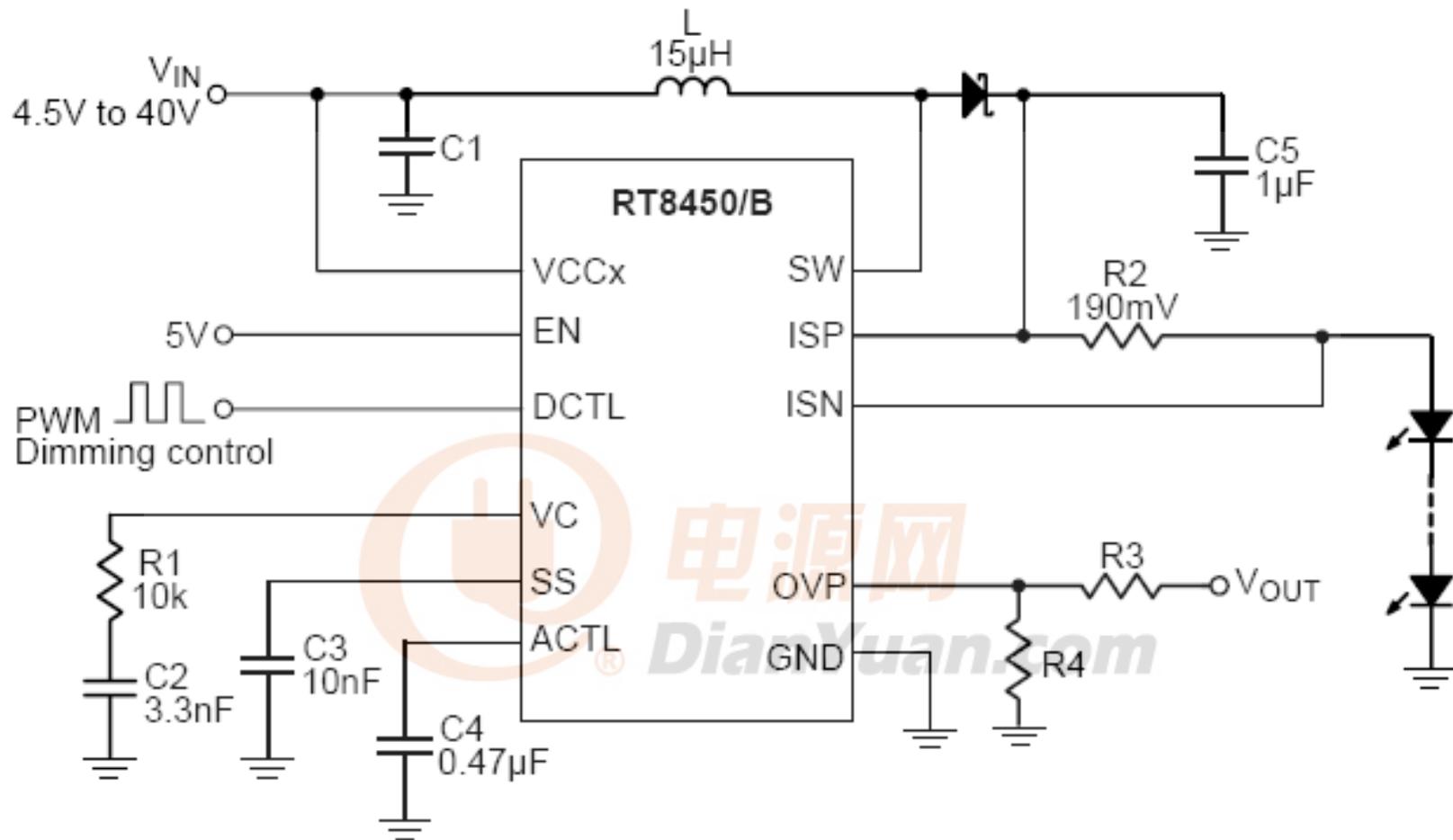


Figure 4. PWM to Analog Dimming Boost Configuration

PWM变换为模拟调光的BOOST电路

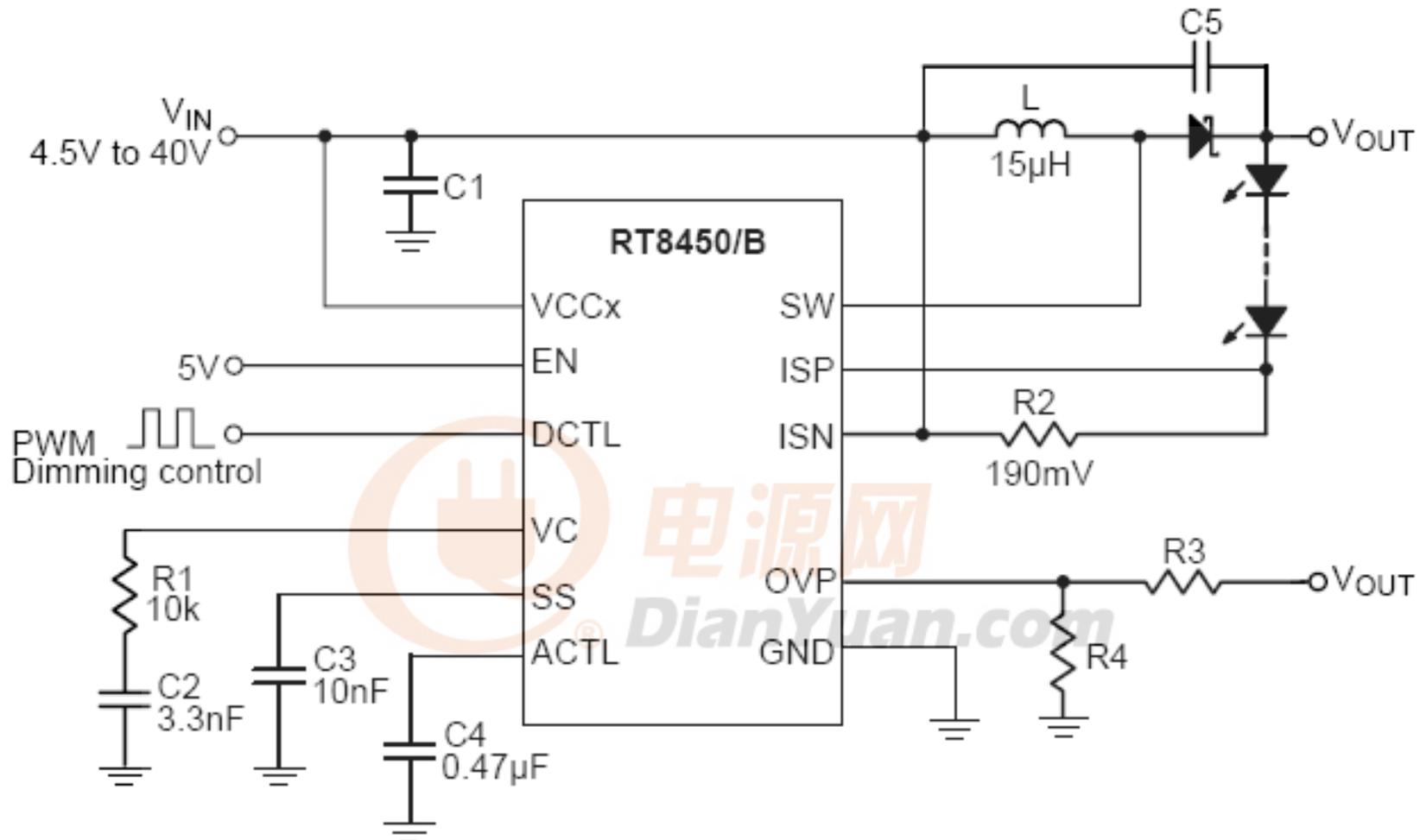


Figure 5. PWM to Analog Dimming Buck-Boost Configuration

PWM变换为电路模拟调光的BUCK-BOOST