

15W 反激开关变压器设计

1. 设计原理

1.1 选择磁芯尺寸

输出功率为 15W，假定副边的效率为 85%（仅考虑输出二极管及变压器损耗），则变压器传递的功率为 18W。

1.2 选择导通时间

原边功率晶体管（集成于 NCP1014，见其原理框图）的最大导通时间出现在最小输入电压和最大负载时，暂假定最大导通时间不超过总的工作周期的 50%。

实际：

频率 100KHz

周期 10us

半周期 5us

因此 $t_{on(max)} = 5us$

1.3 变换器最小输入电压计算

计算电源模块工作于满载和最小电源输入电压时输入 DC 电压 V_{cc} 。对于输入电容整流滤波器，DC 电压不能超过输入电压的有效值的 1.4 倍，也不可能小于输入电压有效值的 1.2 倍，该模块使用 1.3 倍的输入电压有效值，将给出在满载时相当近似的 V_{cc} 工作值。

实际

线路输入为 100V 有效值，则 DC 电压 V_{cc} 将接近

$$100 \times 1.3 = 130V$$

1.4 选择工作偏移磁通密度

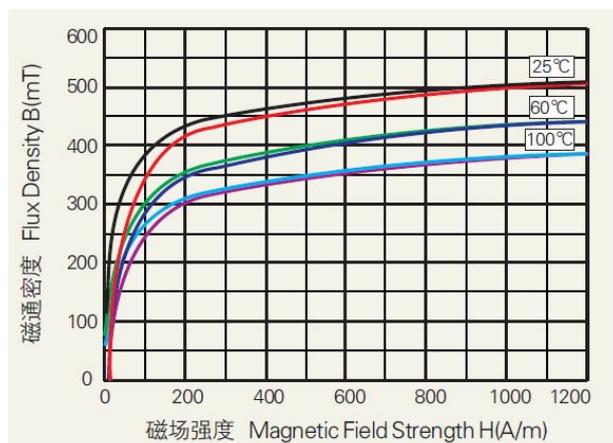
卡住：如何确定变压器磁芯材料及结构形式？

依据参数

1) 磁芯材料依据工作频率 见《开关电源设计与应用》P314 图 6-42

对于 EE20 磁芯，根据制造商（横店东磁）的数据，磁芯的有效截面积是 $32mm^2$ ，（注：TDK 标注值为 $31mm^2$ ）饱和磁通密度 $100^\circ C$ 时 $\geq 250mT$ ，在此取值 $300mT$ 。

工作磁通密度选择在 300mT ,以提供较好的工作裕量(见 DMR40 材料特性 B-H 曲线。) 最大峰峰交流磁通密度 B_{ac} 选择在 300mT。



在设计最后要检查总的交流和 DC 磁通密度，以保证磁芯在高温时不会饱和。对于不同的磁通量，可能需要重复设计。

1.5 计算最小原边匝数

在单个导通周期内使用伏秒方法，可以计算最小原边匝数，因为施加的电压是方波。

$$N_{\min} = Vt / (\Delta B_{ac} \times A_e)$$

其中， N_{\min} = 最小原边匝数；

$V = V_{cc}$ (施加的 DC 电压)；

t = 导通时间，单位是 us；

ΔB_{ac} = 最大的 ac 磁通密度，单位是 T；

A_e = 磁芯的最小横截面积，单位是 mm^2 ；

实际：

对于最小电源电压 (130V 有效值) 和 5us 的最大脉宽

$$N_{\min} = Vt / (\Delta B_{ac} \times A_e) = 130 \times 5 / (0.3 \times 32) = 67.7 \text{ 匝}$$

$$N_p(\min) = 68 \text{ 匝}$$

1.6 计算副边匝数

在反激期间，储存在磁场中的能量会传递到输出电容和负载。再次使用伏秒方程来确定传递所需的时间，如果原边的反激电压与施加的电压相等，则获取能量所花的时间等于输入该能量所花的时间，故该例为 16us。因此若忽略附件的漏感，开关管集电极上的电压将是电源电压的 2 倍。

$$\text{原边 } V/\text{匝} = V_{cc} / N_p = 130 / 68 = 1.9V/N$$

该电路要求输出电压是 12V，允许整流二极管有 0.7V 的电压降和相关电路及变压器副边的 0.5V 电压降，变压器副边的电压应为 13.2V，因此副边匝数是

$$N_s = V_s/V/N = 13.2/1.9 = 6.95 \text{ 匝}$$

在此， V_s = 副边电压；

N_s = 副边匝数；

V/N = 每匝伏特数。

因此， $N_s = 7$ 匝。

1.7 确定磁芯气隙尺寸

原边电感可由电流波形的斜率 ($\Delta i/\Delta t$) 来确定：

$$V_{cc} = L_p \Delta i/\Delta t$$

输入功率 18W，因此可以计算整个周期的平均电流 I_a ：

$$I_a = \text{输入功率}/V_{cc} = 18/130 = 0.138\text{A}$$

因此导通周期的平均电流是：

$$I_m = I_a \times \text{总周期}/\text{导通周期} = 0.138 \times 10/5 = 0.277\text{A}$$

导通期内的电流变化 $\Delta I = I_m = 0.277\text{A}$ ，而原边电感可以如以下计算：

$$L_p = V_{cc} \times \Delta t/\Delta I = 130 \times 5 \times 10^{-6}/0.277 = 2.35\text{mH}$$

一旦知道原边电感 L_p 和匝数 N_p 。对于所选磁芯，如果知道这些是有效的，可以使用 Hanna 曲线得到：

$$AL = L_p/N_p = 2.35/68$$

如果无有效数据，而且气隙较大 (大于磁路长度的 1%)，假定所有的磁阻都在气隙中，用下式计算保守的气隙尺寸：

$$a = \mu_r N_p^2 A_e / L_p$$

在此， a = 气隙总长度，单位是 mm；

$$\mu_r = 4\pi \times 10^{-7}；$$

N_p = 原边匝数；

A_e = 磁芯的最小横截面积，单位是 mm^2 ；

L_p = 原边电感，单位是 mH。

实际：

$$a = 4 \times \pi \times 10^{-7} \times 682 \times 32 / 2.35 = 0.01\text{mm}$$

1.8 导线直径及并绕根数

1) 由于集肤效应限制的最大漆包线直径及截面积。对于频率高于 20KHz 的变换器来说，由于集肤效应的影响，增大了导线交流电阻 R_{ac} ，电流密度在导线截面上分布不均，越靠近导线的中心，电流密度小，电流集中在导线的表面，使导线的等效导电截面积减小，功率损耗增大；采用较细的导线可以减小集肤效应的影响。

① 由于集肤效应的限制，最大导线直径可以参考下表选择，等效交流电阻

R_{ac} 比直流电阻 R_{dc} 增大约 10%。

按集肤效应选择导线直径

f_s (KHz)	20	50	100	200	500
d (mm)	0.93	0.59	0.41	0.30	0.19

② 单根漆包线的截面积 (mm^2) 为 :

$$A_{cop} = \pi/4 \times d^2 = 3.14/4 \times 0.41 \times 0.41 = 0.132 (mm^2)$$

2) 一匝的导线截面积 (mm^2) 按绕组电流计算有

$$A_T = I/j$$

式中 I - 绕组电流的有效值 ;

j - 导线电流密度 , 一般取 (4-10) A/mm^2 。

输出交流纹波值按直流电流的 10% , j 取 $5A/mm^2$ 计算 , 可计算的 A_T :

$$A_T = (0.5A + 0.5A \times 10\%) / 5 = 0.11mm^2$$

3) 导线的并绕根数 n_{cop}

$$N_{cop} = A_T / A_{cop} = 0.11 / 0.132 = 0.83 = 1 (取整数)$$

4) 由电流求出的漆包线直径 d (mm) , 如果 $n_{cop} < 1$ 则

$$d = 1.13 \sqrt{I/j} = 1.13 \times 0.33 = 0.3729mm$$

查找漆包线规格型号 , 选择芯标称直径 0.38mm , 漆包线最大外径 0.42mm 的漆包线。

5) 初级绕组最大电流 $I_{p(max)} = 18W/130V = 0.138A$, 同样计算 , 可知初级绕组导线直径选用芯标称直径 0.20mm , 漆包线最大外径 0.225mm 的漆包线。

6) 验算窗口铜的占空系数 K_w

1.9 绕组的布置

1) 考虑的重点因素

· 减小漏感 , 变压器的漏感可以使次级绕组电压相对减小 , 开关管关断时能量的释放、吸收、转移形成尖峰边电压 , 寄生振荡波形和干扰。

· 减小变压器分布电容引起的静电干扰。初次级绕组导线的靠近处形成分布电容 , 初级绕组电压的剧变会通过分布电容干扰到次级绕组电压。

2) 具体安排

· 骨架或框架 , 采用 EE20 骨架 (6+6 立式)。

· 绕组之间和绕组与铁芯之间的试验电压 , 见下表。

工作电压	$\leq 60V$	$\leq 125V$	$\leq 250V$	$\leq 500V$
试验电压(V)	500	1000	1500	2000

在此 , 选择耐压 1.5KV/50Hz 测试时间 1m。

. 层间绝缘材料及厚度

导线直径 (mm)	层间垫纸厚度(mm)	绝缘材料
0.08~0.14	≤0.03	电容器纸或聚酯薄膜
0.15~0.25	0.05	电话电缆纸
0.27~0.8	0.08	电话电缆或乙酰化纸
0.83~1.5	0.12	电话电缆或乙酰化纸
1.6~2.44	0.17	电话电缆或乙酰化纸

本例中选用 0.42mm 的漆包圆铜线，故用 0.08mm 厚的乙酰化纸。

2. 变压器绕制

2.1 磁芯参数

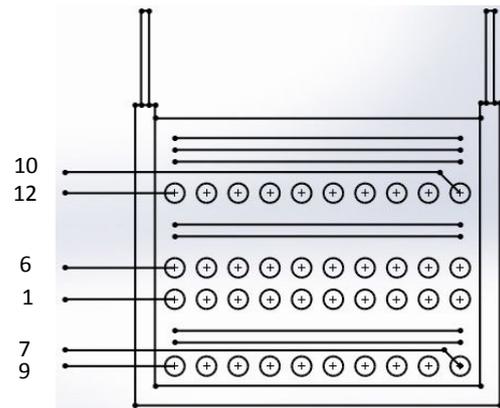
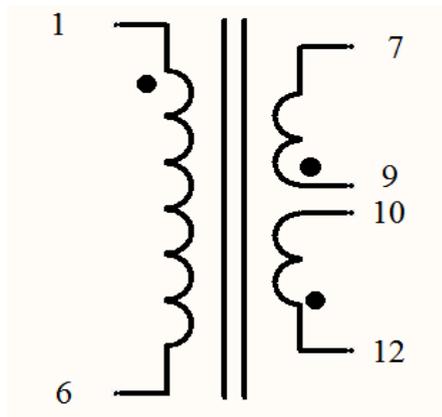
Core : EE20 , 横店东磁 DMR40 $A_e = 32\text{mm}^2$ $A_w = 60\text{mm}^2$

Bobbin : EE13 , 12PIN , 6+6PIN , VELOX 20-SEO , 94V0 , 立式

$L_p = 2.35\text{mH} \pm 5\%$

$L_k = 20\mu\text{H Max @10KHz}$ 短路次级

2.2 绕线图



2.3 绕线数据

序号	名称	规格	方向	匝/层数	备注
1	N_p , 主绕组	$\text{Ø}0.20\text{mm} \times 1\text{P}$, 2UEW	1→6	68Ts	密绕 2 层
2	绝缘胶纸	3M , No.1350	--	2 层	--
3	N_{s1} , 输出绕组	$\text{Ø}0.42\text{mm} \times 1\text{P}$, 2UEW	9→7	7Ts	均绕一层
4	绝缘胶纸	3M , No.1350	--	2 层	--
5	N_{s2} , 输出绕组	$\text{Ø}0.42\text{mm} \times 1\text{P}$, 2UEW	12→10	7Ts	均绕一层
6	绝缘胶纸	3M , No.1350	--	3 层	--

3. 测试数据

测试数据 测试项目	单位	输入电压				
		85	100	135	220	265
I _o =0A 时输入功率	W					
I _o =0A 时输出电压	V					
I _o =0A 时输出纹波	mV					
100%输出负载:						
I _o =0.625A 时输出电压	V					
I _o =0.625A 时输出纹波	mV					
I _o =0.625A 时转换效率	%					
75%输出负载:						
I _o =0.469A 时输出电压	V					
I _o =0.469A 时输出纹波	mV					
I _o =0.469A 时转换效率	%					
50%输出负载:						
I _o =0.313A 时输出电压	V					
I _o =0.313A 时输出纹波	mV					
I _o =0.313A 时转换效率	%					
25%输出负载:						
I _o =0.156A 时输出电压	V					
I _o =0.156A 时输出纹波	mV					
I _o =0.156A 时转换效率	%					
25~100%输出的平均效率	%					
输出短路时输入功率	W					