

【太实用了】电源适配器变压器计算与元器件选型、细，全！

适配器设计计算 23 步骤

12V1.5A 方案设计 芯片：.....

1 输入:100-264V

2 输出： 12V1.5A

3 效率： 84%(5 级能效 80.2%， 为便于生产故选 84%)

4 Vcc: 14V (选择 VCC 开启阈值)

5 工作频率： 60K (PFM)

这里讲下 PFM PFM 优点空载时处于降频模式也就降低了我们的开关损耗和导通损耗及 IC 负载低于一定的时候进入睡眠模式就是 IC 规格书中写到的静态电流稳态电流，就是说降低了 IC 的消耗，缺点是纹波动态响应没有 PWM 好

6 Dmax: 0.45 占空比大于 0.5 会带来环路不稳定的缺陷所以大家都控制在 0.5 以内

7 $\Delta B: (B_s - B_r) * n = \Delta B = (390 - 55) * 0.6 = 0.2T$

Bs: 390mT/100℃

Br: 55mT 各家参数不同安全值取 0.3Tmax

CCM 连续模式，电流不为零， ΔB 变小，n 取 60% ΔB 取值个人习惯

8 Vinmin、Vinmax 计算：

$V_{inmin} = V_{acmin} * 1.2 = 90 * 1.2 = 108V$

$V_{inmax} = V_{ac} * 1.414 = 374V$



微信扫一扫关注：电源研发精英圈
已突破5W+电源工程师关注
大牛每天分享开关电源知识与经验



微信扫一扫关注：张飞实战电子
已突破5W+电子工程师关注
大牛每天分享硬件研发知识与经验

9 磁芯选择:

$$AP = \left[\frac{(P_o/\eta + P_o) * 10000}{(2 * \Delta B * f * J * K_u)} \right]$$
$$= \left[\frac{(18/0.84 + 18) * 10000}{(2 * 0.2 * 60 * 1000 * 400 * 0.2)} \right]$$
$$= 394285.7 / 1920000$$
$$= 0.205 \text{cm}^4$$

$$f = 60 * 1000 \text{ (Hz)}$$

J 电流密度=400

Ku 绕组系数=0.2

$$\text{EF25 } AP = 0.2376 \text{cm}^4 \text{ AE} = 51.8 \text{mm}^2$$

设计经验:

1、Ae 值小效率低温度高，磁芯面积小扇热差，罐装磁芯辐射好，长宽磁芯漏感小。

2、 $A_e = P_o * 2$ 本人更喜欢这个公式 $A_e = 18 * 2 * 1.4 = 50.4 \text{mm}^2$

取: EF25: AE: 51.8mm²

当然以上 2 种都可以选择。

10 Np 计算:

初级匝数:

$$N_p = V_{INmin} * t_{on} / \Delta B / A_e$$

$$N_p = 108 * 7.5 / 0.2 / 51.8$$

$$= 78.18 \text{T 取整 } 79 \text{T}$$

11 NS 计算:

$$\text{次级匝数: } N_s = (V_o + V_d) * (1 - D_{max}) * N_p / (V_{INmin} * D_{max})$$

$$= (18 + 0.6) * (1 - 0.45) * 78 / (108 * 0.45)$$

$$= 11.12 \text{T 取整 } 11 \text{T}$$

12 N 计算:

$$\text{匝比计算: } N = N_p / N_s = 79 / 11 = 7.18 \text{T}$$

13 I_{av} 计算

$$\text{平均电流: } I_{av} = P_o / \eta / V_{inmin} = 18 / 0.84 / 108 = 0.198 \text{A}$$



微信扫一扫关注: 电源研发精英圈
已突破5W+电源工程师关注
大牛每天分享开关电源知识与经验



微信扫一扫关注: 张飞实战电子
已突破5W+电子工程师关注
大牛每天分享硬件研发知识与经验

14 I_{pk} 计算：峰值电流计算

$$I_{pk} = I_{pk1} + I_{pk2} = I_{av} * 2 / D_{max} = 0.198 * 2 / 0.45 = 0.88A$$

15 ΔI 计算：

电流变化率 ΔI 计算：CCM $I_{p2} = 3I_{p1}$

DCM $I_{p1} = 0$

$$0.88 / 4 = I_{p1} = 0.22$$

$$0.22 * 3 = I_{p2} = 0.66$$

$$\Delta I = I_{p2} - I_{p1}$$

$$= 0.66 - 0.22 = 0.44A$$

16 电流有效值 CCM： $I_{rms} = 0.88 * 0.512 = .45A$

17 L_p 计算：

初级电感量计算： $L_p = V_{inmin} * t_{on} / \Delta I = 108 * 7.5 / 0.44 = 1.8mH$ 我们实际使用的要比计算的小一些这里算一个经验值吧再乘以 0.7 = 1.26mH

18 验证是否饱和： $\Delta B = L_p * I_{pk} / N_p / A_e = 1.26 * 0.88 / 79 / 51.8 = 0.27T < 0.3T$

19 I_{pks} 计算：

$$\text{次级峰值电流： } I_{pks} = I_{pk} * N = 0.88 * 7.18 = 6.3A$$

20 I_{rmss} 计算：

$$\text{次级有效值计算： } CCM \ I_{rms} = 6.3 * 0.566 = 3.57A$$

21 D_p 计算

初级线径计算： $D_p = (I_{rms} / \pi / J)$ 开根号 * 2

$$= (0.45 / 3.14 / 6)$$
 开根号 * 2 = 0.3mm

J 电流密度取 5-7

22 D_s 计算：

$$\text{次级线径计算： } D_s = (3.75 / 3.14 / 7)$$
 开根号 * 2 = 0.82mm



微信扫一扫关注：电源研发精英圈
已突破5W+电源工程师关注
大牛每天分享开关电源知识与经验



微信扫一扫关注：张飞实战电子
已突破5W+电子工程师关注
大牛每天分享硬件研发知识与经验

绕不下的情况下降额 70%=0.57

J 电流密度取 6-8

集肤深度：导线线径不超过集肤深度的 2 倍，若超过集肤深度，则需多股并绕。

$$\delta=66.1/\sqrt{f}\text{cm}=66.1/244.94=0.269\text{mm} \quad 0.269*2=0.54$$

$$\text{多股线计算}=0.7/\sqrt{\text{根号股数}}=0.57/1.414=0.4\text{mm}^2$$

23 Nvcc 计算：

反馈绕组计算：

$$V_a = (V_o + V_d) / N_s = 12.6 / 11 = 1.145 \text{V/T}$$

$$N_{vcc} = V_{cc} / V_a$$

$$= 14 / 1.145$$

$$= 12.22 \text{T} \text{ 取 } 12 \text{T}$$

Lp: 1.2mm 1K0.25V

Np: 79T 0.3mm

Ns: 11T 0.4*2mm

Nvcc: 12T 0.15mm

NP 放在第一层这样每匝的长度最短减少匝间电容，起线放在 MOS 端使 dv/di 最大的部分被绕组屏蔽 EMI 较好

Vcc 绕组 PSR 放在最外层，有利于初次级耦合减少初级和 Vcc 绕组耦合有利于输出电压精度

SSR 模式将 Vcc 放在初次级之间充当屏蔽。尽量满层。

变压器绕指的几个经验规则

①初级绕组必须在最里层：这样可以缩短每匝导线的长度，减小其分布电容，同时初级绕组还能被其他绕组屏蔽，降低其电磁干扰。

②初级绕组的起始端应接到 MOSFET 漏极：利用初级绕组的其余部分和其他绕组将其屏蔽，较小从初级耦合到其他地方的电磁干扰。

③初级绕组设计成 2 层以下：这样能把初级分布电容和漏感降到最低，在初级各层间加 1 绝缘层，能将分布电容减小到原来的 1/4 左右。

④绕制多路输出的次级绕组：输出功率最大的次级绕组应靠近初级，以减小漏感。如次级匝数少，无法绕满一层，可在匝间留间隙以便充满整个骨架，当然最好是采用多股并绕的方法。



微信扫一扫关注：电源研发精英圈
已突破5W+电源工程师关注
大牛每天分享开关电源知识与经验



微信扫一扫关注：张飞实战电子
已突破5W+电子工程师关注
大牛每天分享硬件研发知识与经验

⑤反馈绕组一般在最外层：此时反馈绕组与次级绕组间耦合最强，对输出电压的变化反应灵敏，还能减小反馈绕组与初级绕组的耦合程度以提高稳定性。

⑥屏蔽层的设计：在初、次级之间增加屏蔽层可减小共模干扰，最经济的办法是在初次级间专绕一层漆包线，一端接 V_i （或 V_d ），另一端悬空并用绝缘带绝缘而不引出，线径可选 0.35mm。但是因为线于线之间有间隙没有铜箔效果好。

⑦铜片屏蔽带：可用 1 铜片环绕在变压器外部，构成屏蔽带，相当于短路环，对泄漏磁场起抑制作用，屏蔽带应与 V_d 连通

8. 安全试验：变压器绕好后在外面缠 3 层绝缘胶带，插入磁芯，浸入清漆，然后进行安全测试。对于 110V 电源，初次级间应能承受 2000V 交流试验电压，持续时间 60s，漏电距离为 2.5~3mm；对于 220V 电源，需承受 3000V 的交流试验电压，漏电距离为 5~6mm。各绕组首尾引出端需加绝缘套管，套管壁厚不得小于 0.4mm。

下面聊下调试经验

$1/2 * L_p * I_{pk} * I_{pk} * f = P_o / \eta$ PFM 变频模式 这里要设计好频率一般满载 60K 频率高了变压器和输入大点解温度会下降但是 MOS 温度会上升所以这里要调试一个平衡。

$1/4 * N * I_{pk} = I_o$ 匝比大了 I_{pk} 会下来 MOS 的温度会下降，肖特基反向电压下降，但是变压温度会上升 V_{ds} 电压会升高

初级级之间加屏蔽，铜箔屏蔽要比线屏蔽效果好，线跟线之间存在缝隙。需要时磁芯外可以包外屏蔽但是屏蔽也是会产生损耗的效率会下降。

在效率低 V_{ds} 高的情况下可以采用三明治绕法提升效率减小 V_{ds}

变压器计算完了，网上有很多计算方法我这算是结合验证还是蛮准的。

元器件的选型

1 保险丝。

$I_f = I_{av} / 0.6 * 2$ （0.6 为不带 PFC）

$= 0.198 / 0.6 * 2$

$= 0.66A$

电压 额定输出电压 90-240V 250V 的保险丝即可。

2 压敏电阻： $V_{1ma} = a * V_{inmax} / b / c$

$= 1.2 * 374 / 0.85 / 0.9$

$= 487.9V$



微信扫一扫关注：电源研发精英圈
已突破5W+电源工程师关注
大牛每天分享开关电源知识与经验



微信扫一扫关注：张飞实战电子
已突破5W+电子工程师关注
大牛每天分享硬件研发知识与经验

- a: 电压波动系数 1.2
- b: 压敏误差系数 0.85
- c: 压敏老化系数 0.9

浪涌波形发生器对外输出有 2 欧的电阻,打 1KV 差模浪涌时流通容量: $1000/2*2=1000A$

3 输入大电容

$2Po=C=18*2=36\mu F$ 故此选择 33 μF 电容

如电容选小了会发生如下情况:

- 1、纹波电流大会使电容发热。
- 2、无法满足维持输出功率的能量导致带不起载。
- 3、低频纹波大。
- 4、在满足容量的情况下,尽可能的前面放一个小电容后面放一颗大电容,对 0.5M 前的 EMI 有很好的效果。

这里注意电容越大 MOS 的温度会降低

4X 电容

输入 2pin 为 2 类,输入 3pin 为 1 类,2 类加强绝缘,1 类基本绝缘。2 类选择 X2 电容,容量越大传导效果越好,安规规定 X 电容超过 0.1 μF 需要加释放电阻,保证输入断电 1S 内降到安全电压,输入峰值电压的 37%

$0.65*R*Cx=1$ 如 $Cx0.22\mu F$

$R=1/0.65/0.22=7Mmax$ Cx: μF R 单位 M

$R=1/0.65/0.22=7M max$ 我们选择 R1A 1M R1B 2M 这里还要注意耐压我们选择 2 颗 1206 贴片电阻

因其他放电回路 X 电容漏电流这些因数所以最好实测调试。

5Y 电容:

根据初级峰值电压选取 Y1, Y1 参数交流额定工作电压 250V 直流额定工作电压 400V 二类产品漏电流小于 0.25mA

$CY=Ileakage/2/\pi/f/Vrmsmax=0.25/2/3.14/60/264*10^{-6}=2.5nFmax$

可以选择不超过 2500pF 的电容我们先选择 222/400V 的,也可以选择 2 个 Y2 串联,电容串联容量减半,并联叠加。

不要超过 2500pF 具体选择根据 EMI 实际情况选择



微信扫一扫关注: 电源研发精英圈
已突破5W+电源工程师关注
大牛每天分享开关电源知识与经验



微信扫一扫关注: 张飞实战电子
已突破5W+电子工程师关注
大牛每天分享硬件研发知识与经验

6 滤波电感

共模电感差模电感，理论上电感越大 EMI 效果越好，但是差模电感大电感带来的是匝数多，分布电容大，可能会适得其反。

这里我一直按照个人经验，先选个 20mH 的感量（传导不过的情况下再试着加大感量）线径 $D_p=0.3*0.7=0.21\text{mm}$

7 桥堆选择

$$V_d=2\sqrt{2}*V_{inmax}=2*V_{inmax}=747V$$

加 470V 压敏防雷击后其残压越 800V 左右*1.1（它表示在规定的冲击电流 I_p 通过压敏电阻器两端所产生的电压此电压又称为残压，所以选用的压敏电阻的残压一定要小于被保护物的耐压水平。）

$$V_d=775*1.1=852.5V \quad 471 \text{ 最大残压 } 775V$$

$$BR1=5*I_{av}=5*0.198=0.99A$$

选择 1A1KV

8 RCD 吸收

网上很多计算方法，我也看了很多实验了很多，我觉得算的没有意义太繁琐结果页不是很满意，先采取典型电路配置，个人更喜欢 150K 电阻，102 的电容，加一颗慢管。

电阻电容具体这么选择呢我觉得还是调试把效率和 V_{ds} 调整到一个合适的平衡，二极管，我看过其他人先的文章说的都有道理，所以我一般能过辐射即可，这里注意满足有异音和这个管子及电容有关系。

对于小功率推三极管的尽量还是选慢管可以减小 MOS 关闭时的震荡频率。

9 CS 电阻

$$V_{cs}<R_{cs}*I_{pk} \quad V_{cs}=R_{cs}*I_{pk}*1.2$$

VCS 尽量取低一点避免饱和对充电设备来说恒流更精准，这里注意我有碰过一些 IC 老化后 OCP 下降满载掉电压，所以要多试验多验证。

10 VCC 电容



微信扫一扫关注：电源研发精英圈
已突破5W+电源工程师关注
大牛每天分享开关电源知识与经验



微信扫一扫关注：张飞实战电子
已突破5W+电子工程师关注
大牛每天分享硬件研发知识与经验

大了起机速度慢，小了在满载转空载会出现馈电的情况，最严重的满载转空载，VCC 进入欠压保护。这里讲一个经验，国产的芯片 ESD 做的不是太好所以画板时尽量 Vcc 电容靠近 Vcc 脚，所有的低单点接地。



微信扫一扫关注：电源研发精英圈
已突破5W+电源工程师关注
大牛每天分享开关电源知识与经验



微信扫一扫关注：张飞实战电子
已突破5W+电子工程师关注
大牛每天分享硬件研发知识与经验