



开关电源设计流程

1. 设计步骤

- 1.1. 根据产品的要求指标, 确定设计思路, 设计原理图;
- 1.2. 搭实验板验证设计的可行性, 制作 PCB 印制板;
- 1.3. 变压器的计算;
- 1.4. 关键元件的选用;
- 1.5. 设计验证;
- 1.6. 样机的测试报告, 生产注意事项以及生产料单。

2. 设计流程介绍

2.1. 根据要求输出的功率, 确定电源的拓扑类型

决定拓扑选择的一个重要因素就是输入电压和输出/输入比。此外, 拓扑的选择还与输出功率、输出电压路数、输出电压调节范围等有关。图 1 给出了常用隔离的拓扑相对适用的范围。

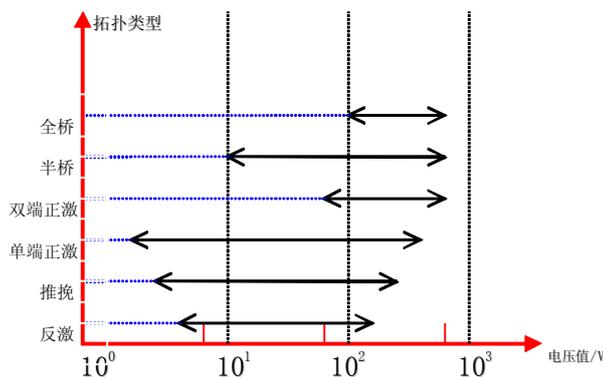


图 1. 各种隔离拓扑应用电压范围

一般情况下, 输入 220VAC 输出 5W~100W 的开关电源我们推荐使用反激变换器拓扑; 要求输出功率在 100W~200W 通常我们使用推挽和正激变化器拓扑; 要求输出功

率较大的开关电源一般使用半桥或者全桥变换器拓扑。

2.2. 设计原理图，制作 PCB 印制板

原理图设计时应考虑整体的元件布局，使阅读者一目了然。在 PCB 印制板设计的过程中要严格按照国家的安全标准进行设计，同时需要重点考虑的噪声干扰包括：EMI 干扰、功率开关管产生的高频噪声。

PCB 板的设计过程中应考虑到地线、高压线的电流密度，功率开关管的高频线与其它走线之间的距离，一般不小于 3mm，元件的 PCB 封装与实际生产元件封装一致，以便于生产。元件的放置符合美观、实用的标准；元件与元件之间应紧凑，以提高开关电源的功率密度，降低生产成本（特殊元件除外）。

2.3. 变压器的设计

变压器是整个开关电源的核心器件，所以变压器的设计及验证是非常重要的环节。

2.3.1. 磁芯和骨架的选择

当我们的电路拓扑选定后，就要确定电路的工作频率和变压器磁芯的尺寸大小，确保在变压器体积最小的情况先获得最大的输出功率。

首先我们确定需要的引脚数，变压器的输出、输入，辅助绕组的引脚来确定骨架的引脚数，输出有单路和多路，变压器一般采用夹绕的方法以增加线圈的耦合度。

其次选择磁芯材料是主要参考材料铁损（单位一般为毫瓦/立方厘米）随频率和峰值磁通密度变化的曲线。大多数变压器的磁芯的材料为铁氧体，因为它有很高的电阻率，所以铁氧体的涡流损耗很低。

2.3.2. 根据变压器计算公式计算变压器的初级线圈匝数

变压器初级匝数计算公式：

$$N_p = V_{in(\min)} \times T_{on(\max)} / (\Delta B \times A_e)$$

N_p ： 变压器初级线圈的匝数。

$V_{in(\min)}$ ： 输入直流电压的最小值（V）。

$T_{on(\max)}$ ： 功率开关管导通时间的最大值（S）。

A_e ： 磁芯面积（ m^2 ）。

ΔB ： 由磁芯本身材料决定。一般取 1600G，因为当震荡频率大于 50KHz 的时候，高损耗材料会产生过量的磁芯损耗，这就使可选择的 B_{max} 值变小，因此经过对比选择增量 ΔB 的值为 1600G（ $1G=10^{-4}T$ ）。

其中 $T_{on(max)} = (1/\text{振荡频率}) \times D$ (D 为最大占空比, 最大时一般取 0.45)。

2.3.3. 根据公式计算变压器的次级线圈匝数

变压器次级绕组匝数计算公式:

$$N_p/N_s = [V_{in(min)} \times D] / [V_o \times (1-D)]$$

N_p : 初级绕组匝数。

N_s : 次级绕组匝数。

$V_{in(min)}$: 最低输入直流电压, 一般全电压开关电源取值为 100V。

V_o : 输出电压。

D : 占空比, 一般取值 0.45。

2.3.4. 根据公式计算变压器的辅助绕组

变压器的辅助绕组我们可以根据输出绕组的匝数来设计, 设输出电压为 V_o , 电源管理芯片的供电电压要求为 V_p , 输出绕组的匝数为 N_p , 那么辅助绕组的匝数 $N_{辅} = V_p N_p / V_o$

由于供电电流很小, 一般在 4mA 以下, 因此通常情况下辅助绕组不需要很粗的漆包线, 一般用直径 $\Phi 0.35\text{mm}$ 的漆包线即可满足设计要求。

2.3.5. 计算变压器的初级、次级以及辅助绕组的线半径

一般情况下, 为了保证变压器的温升不会太高, 我们把变压器上的电流密度控制在 $4\text{A}/\text{mm}^2$, 此时我们设电源的效率值为 0.75, 经过计算得到最低输入电压时的电流为:

$$I_{in(max)} = (P_o / 0.75) \div V_{in(min)}$$

$$I_{in(max)} = 4P_o / [3 V_{in(min)}]$$

那么为了把电流密度控制在 $4\text{A}/\text{mm}^2$ 以内, 我们计算线径:

$$R_{初} = \text{sqrt}[(I_{in(max)} \div 4\text{A}/\text{mm}^2) / 3.14] \times 2$$

因此, 我们采用直径为 $R_{初}$ 的铜线; 同理, 我们求出了次级线圈的线径 $R_{次}$ 。有时可能因为次级线径比较大, 不易于生产, 同时线圈的耦合度比较差, 因此我们采用多股并绕的方式来设计变压器。

2.3.6. 根据公式设计变压器的电感量及漏感量的限制

变压器初级电感的计算公式如下:

$$L_p = V_{in(min)} \times T_{on(max)} / I_{in(max)}$$

其中 L_p 为变压器的初级电感量; I_p 为变压器的初级线圈的电流峰值; N_p 为初级线圈匝数。

当我们设计的变压器的初级绕组的电感量过大时，我们可以添加气隙来得到我们需要的感量，一般漏感的大小不大于感量的 3%，否则变压器会由于漏感太大而温升过高，同时漏感导致的尖峰电压过高可能会使功率开关管炸裂。

2.3.7. 根据实际我们计算变压器的参数

电源管理芯片 SSC620D 的正常震荡频率为 100KHz，根据以上的计算公式，所以：

$$\text{一个周期内最大导通时间: } T_{on(max)} = 10^{-5} \times 0.45S = 4.5 \times 10^{-6}S;$$

$$\text{导通最大占空比} \quad : D = 0.45;$$

$$\text{选用的磁芯的截面积} \quad : A_e = 118.5 \times 10^{-6}m^2;$$

$$\begin{aligned} \text{变压器的初级绕组的匝数: } N_p &= V_{in(min)} \times T_{on(max)} / (\Delta B \times A_e) \\ &= 100V \times 4.5 \times 10^{-6}S / (1600G \times 10^{-4} \times 118.5 \times 10^{-6}m^2) \\ &\approx 24 \text{ (圈)} \end{aligned}$$

根据公式 $N_p/N_s = [V_{in(min)} \times D] / [V_o \times (1-D)]$ 我们推导出次级绕组的匝数：

$$\begin{aligned} N_s &= 12V \times 0.55 \times 24 / (100V \times 0.45) \\ &\approx 4 \text{ (圈)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{辅助绕组的匝数} \quad : N_p &= V_p N_s / V_o \\ &= 13V \times 4 / 12V \\ &\approx 5 \text{ (圈)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{最大输入的平均电流} \quad : I_{in(max)} &= 4P_o / [3 V_{in(min)}] \\ &= 4 \times 75W / [3 \times 100V] \\ &= 1A \end{aligned}$$

根据电流密度不大于 4A/mm² 的标准我们依据公式：电流密度=最大输入平均电流 ÷ 绕组的截面积，据算所需要的线径。通过计算我们得到下面的参数：

初级线圈 $N_p=24T$ ，线直径 0.6mm。

次级线圈 $N_s=4T$ ，线直径 0.6mm×6 并绕。

辅助线圈 $N_{辅}=5T$ ，线直径 0.3mm。

然后我们计算变压器的初级电感量的范围。果实际的电感量比要求的大，那么我们需要垫气隙来减小电感量以达到我们的要求；如果实际的电感量比计算所得的电感量小，那么就不需要垫气隙，按实际的电感量来设计。根据以下的公式：

$$\begin{aligned} L_p &= V_{in(min)} \times T_{on(max)} / I_{in(max)} \\ &= 100V \times 4.5 \times 10^{-6}S / 1.2A \end{aligned}$$

$$=375\mu\text{H}$$

变压器的感量控制在 $400\mu\text{H}\pm 5\%$ 范围内, 实际上我们把变压器的漏感控制在 3% 以内。

注: 1. 变压器的漏感是由变压器线圈之间的耦合程度决定的, 耦合度高那么漏感就小, 相应的开关管上的尖峰电压越小, 电源的空载功耗也就相应的减小; 反之亦然。

2. 变压器上的电流密度一般取 $4\text{A}/\text{mm}^2$, 只是个参考值, 一般以实际温升为准。

3. 在 $110\text{VAC}\sim 250\text{VAC}$ 输入的情况下, 如果电容串联, 则容值为输出功率的 3~4 倍, 耐压值为输入最高电压的 0.8~0.9 倍; 如果电容并联, 则容值为输出功率的 0.8~1 倍, 耐压值为输入电压的 1.6~1.8 倍。

4. 这里的 $I_{\text{in(max)}}$ 是电源输入的峰值电流。

3. 关键元件的选择 (以下以 75W-12V 的电源为例计算)

3.1. 功率开关管的选择

就 S-75-12 的开关电源来说, 我们使用 MOS 管 8N60, 最大允许电流为 8A, 最高电压为 600V, 电流裕度 95% 左右, 电压裕度 20% 左右, 这样开关管的发热量不会很高, 而我们的成本也相对适中。

3.2. 输出整流二极管的选择

整流二极管的选择需要考虑两方面的因素:

- a: 二极管的最高耐压值;
- b: 二极管最大允许通过电流。

输出的额定电流 = 输出额定功率 ÷ 输出额定电压, 在在反击变换器中我们我们选取整流管的额定电流和电压值时, 一般是输出额定值的 4 倍以上; 而在半桥及全桥变换器中, 一般选取的整流二极管的参数是输出额定值的 2 倍以上。

3.3. 保险丝的选用

由以上计算可知输入的峰值电流为 1.2A, 输入电压最大为 250VAC, 那么当我们选择保险丝的时候一般选择电流额定值为输入最大电流的 2~3 倍, 电压值稍高于输入电压最大值的元件。如果电容的体积过大, 我们可以选择电容串联来满足设计上的要求; 如果现有的电容容量过小, 我们可以采取电容并联的方式来解决设计上的问题。

3.4. 热敏电阻的选用

电源启动的瞬间, 初级滤波电容处于短路状态, 导致输入电流比较大, 虽然时间比较短, 但是也有可能对电源造成伤害。为了保证电源安全地工作, 一般需要在开关电源的输入端串联一个热敏电阻。热敏电阻的选取一般情况下按照下述方法:

$$R \geq 1.414 \times E / I_m$$

其中 E : 输入电压的最高值。

I_m : 浪涌电流。一般在开关电源中, 浪涌电流为稳态电流的 100 倍左右。

由此我们计算得到 $R \geq 3.535 \Omega$, 所以我们选择型号 NTC10D-9 的热敏电阻 (额定 10Ω , $0.25W$), 也可以选择阻值稍大于 4Ω 的热敏电阻。

3.5. Y 电容和安规电容的选用

加装 Y 电容的作用是为了去除干扰。电容的选用一般按照安规要求进行选取, 这样在 S-75-12 的电源中我们采用 $400V/222M$ 的电容。

安规电容的选用主要是为了滤除开关电源中的高频噪声, 以防止对外界造成不良影响。

3.6. 共模电感的选取

开关电源中共模电感式一个重要的抗电磁干扰组件, 共模电感的作用: 抑制 EMI, 滤除 EMI, 且自身不产生对电路的干扰和对外界的辐射。

在设计共模电感的时候我们首先考虑电流密度的大小, 根据以上计算知道: 输入电流最大 $I_{in(max)} = 1.2A$, 通常电流密度 $4A/mm^2$, 因此我们计算得到线直径 $R_{共}$ 。电感量的计算如下:

$$L_{min} = X_g / 2\pi f$$

其中 L_{min} : 共模电感最小电感量。

X_g : 共模电感阻抗, 这里取 10Ω 。

f : 是电源的工作频率, 这里取 $100KHz$ 。

然后我们假设一个磁环的内径为 $R_{内}$, 那么内圆的周长 $L_{内} = \pi R_{内}$, 圈数

$S = (160/360) \times L_{内} / R_{共}$, 最后我们计算磁环的 AL 最小值:

$$AL = L_{min} / S^2$$

因为磁芯的 AL 值变化范围一般为 $\pm 30\%$, 因此我们选择磁芯的时候一般选择最大 AL 值为所需要磁环的参数, 即 $AL_{max} = 1.3AL$ (AL 为磁环感应系数)。

3.7. 假负载的选取

适当的假负载可使线路的输出更加稳定, 但是假负载的阻值不能太小, 否则会影

响效率。使用时需要注意是否超过电阻的额定值（一般功率裕量为电阻功率额定值的60%）。

3.8. 光电耦合器以及 TL431 的作用

光电耦合器（简称光耦）主要将输出信号取样后回馈到电源管理芯片，当输出级的 TL431 导通后，光耦将会将输出级取样的电流依比例转换一次到电源管理芯片的反馈端，由此来确保电源输出的稳定。

4. 设计的验证（可分为三个部分）

- a. 设计阶段验证
- b. 样品制作验证
- c. QE 验证

4.1. 设计阶段验证

设计阶段验证的时候我们应该养成随时记录的习惯，记录下当时的实验结果与原件的规格是否适合。这个阶段我们不再做详细解释，根据以上的介绍进行各个阶段的验证，记录下当时的状况，以便于改进。

4.2. 样品制作验证

样品制作的过程中我们要对各个原件的规格进行确认，这些包括：PCB 的尺寸、零件的限高、零件禁置区、螺丝孔位置以及孔径、外观尺寸等。

样机完成之后，首先记录功率开关管的波形状况，记录开关管的尖峰电压、各种负载的情况下的占空比、开关管的漏极电压值、电源的工作频率等；然后开始记录温升，进行 EMI 的测试，保证样机验证与电气规格相符。

4.3. QE 验证

QE 针对工程部所提供的样品做验证，工程部应提供电路原理图、样机供 QE 验证。

5. 生产料单 生产注意事项以及新机测试报告的制作

根据样机上的组件，整理出生产料单；在测试新机的时候可能会有需要注意的操作，需要在生产注意事项中指出；新机的测试报告是记录在设计过程中各个关键组件的温升，整个产品效率，以及相应纹波大小的档，这是样机的体检表，是对产品以后可能出现的问题的一个很重要的对照，所以样机测试报告务必要真实。

注: 1. 变压器的设计除了计算以外, 我们还需要注意变压器的实验性。因为计算出来的变压器参数不一定符合实际的要求, 这就要求我们仔细观察功率开关管波形, 以及对变压器的磁芯和绕组的温度的测量。

2. 对于给定磁芯, 如果磁芯损耗远小于绕组损耗 (初级与刺激铜损之和), 我们应当减少匝数; 这将增加磁通密度, 磁芯损耗增加, 而铜损减少, 使总损耗减少。

3. 相反, 对于给定磁芯, 如果磁芯损耗远大于铜损耗, 你应增加匝数。这将使得磁通密度减少, 损耗也随之减少, 而铜损耗增加, 总损耗减少。

4. 初级和次级分配相同的窗口面积: 如果匝数多, 次级导线必然比较细; 如果有几个次级, 按输出功率分配窗口面积。

以上注意事项为引用, 仅供参考!

以上为本人工作中的积累, 如有不妥, 请不吝赐教!

E-Mail: L517903955@163.com