

12V_40A 双管正激**IC: NCP1252A****Core: PQ3230 // PC47 u = 60 // AL = 76 Hight Flux OD 27 // HT 12****Date:05/19/2015**

S1 参数 :

$V_{inmin} := 370 \text{ V}$	最低电压输入
$V_{nor} := 395 \text{ V}$	正常电压输入
$V_{inmax} := 410 \text{ V}$	最高电压输入
$V_o := 12 \text{ V}$	输出电压
$I_o := 40 \text{ A}$	输出电流
$\eta := 95\%$	预计正激部分整机效率
$f_{sw} := 100 \text{ KHz}$	选择开关频率
$r := 0.4$	输出电感电流纹波比
$P_o := V_o \cdot I_o = 480 \text{ W}$	输出功率
$P_{in} := \frac{P_o}{\eta} = 505.263 \text{ W}$	输入功率
$f_{line} := 50 \text{ Hz}$	AC线频率
$D_{max} := 0.45$	选择的最大占空比
$V_{ripp} := 1\% \cdot V_o = 120 \text{ mV}$	输出纹波电压比
$R_{load} := \frac{V_o}{I_o} = 0.3 \text{ } \Omega$	满载负载电阻
$V_d := 0.6 \text{ V}$ $V_f := 0.3 \text{ V}$	二极管压降

S2 求匝比, 在输入最低电压计算 :

$$V_{ins} := \frac{V_o + V_f}{D_{max}} = 27.333 \text{ V}$$

次级Buck电感在最大占空比时可接受的最大输入电压值。

$$V_{min} := 370 \text{ V}$$

$$N := \frac{V_{ins}}{V_{min} \cdot \eta} = 0.078 \quad n := \frac{1}{N} = 12.86$$

根据这个电压值推算出在最低电压的匝比。

$$N := \frac{V_o + V_d}{\eta \cdot V_{min} \cdot D_{max}} = 0.08$$

采用另一种方法计算得到
匝比。

$$D_{min} := \frac{V_o + V_d}{V_{inmax} \cdot N \cdot \eta} = 0.406$$

根据匝比推算最高输入时的
占空比

$$D_{nor} := \frac{V_o + V_d}{V_{nor} \cdot N \cdot \eta} = 0.422$$

$$D_{max} := \frac{V_o + V_d}{V_{min} \cdot N \cdot \eta} = 0.45$$

验证占空比

S3 求输出电容和电感量：

$$V_o = 12 \text{ V} \quad I_o = 40 \text{ A} \quad r = 0.4$$

$$f_{sw} = 100 \text{ KHz}$$

Bcuk要在最高输入电压下设计电感：

$$V_{onmax} := V_{inmax} \cdot N = 32.66 \text{ V}$$

根据匝比和最大输入电压，计算
次级电感的最大输入电压。

$$V_{on} := V_{min} = 370 \text{ V} \quad I_l := I_o = 40 \text{ A}$$

根据负载电流和纹波电流比
值，得到电感的峰值电流。

$$I_{pk} := \left(1 + \frac{r}{2}\right) \cdot I_l = 48 \text{ A}$$

列出预计最大占空比和在最大
输入电压时的最低占空比
的对比。

$$D_{nor} := \frac{V_o + V_d}{V_{nor} \cdot N \cdot \eta} = 0.422 \quad D := D_{nor} = 0.422$$

得出电感量：

$$L_o := \frac{(V_{onmax} - V_o - V_d) \cdot D_{nor}}{f_{sw} \cdot r \cdot I_o} = 5.285 \text{ } \mu\text{H}$$

$$I_{lrm} := I_o \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{r^2}{12}\right)} = 40.266 \text{ A}$$

BUCK电感电流有效值

$$I_{srsm} := I_o \cdot \sqrt{D \cdot \left(1 + \frac{r^2}{12}\right)} = 26.142 \text{ A}$$

变压器次级电流有效值

$$I_{d1} := I_o \cdot \sqrt{(1 - D) \cdot \left(1 + \frac{r^2}{12}\right)} = 26.142 \text{ A}$$

正向二极管电流有效值

$$I_{d2} := I_o \cdot \sqrt{(1 - D) \cdot \left(1 + \frac{r^2}{12}\right)} = 30.625 \text{ A}$$

续流二极管电流有效值

$$\Delta I := r \cdot I_o = 16 \text{ A}$$

电感纹波电流：

$$I_{cout_rsm} := \sqrt{\frac{12 \cdot I_o^2 + \Delta I^2}{12}} - I_o^2 = 4.619 \text{ A}$$

输出电容的纹波电流有效值

$$I_{crsm} := \frac{\Delta I}{2 \cdot \sqrt{3}} = 4.619 \text{ A}$$

输出电容的纹波电流有效值

$$resr := \frac{V_{ripp}}{\Delta I} = 0.008 \text{ } \Omega$$

根据纹波电压得到ESR值要小于：0.008R

$$I_{c_rsm} := I_o \cdot \frac{r}{\sqrt{12}} = 4.619 \text{ A}$$

$$f_c := 5 \text{ KHz} \quad \delta i := 35 \text{ A}$$

选择在5khz的穿越频率时，满足35A的电流变化，需要的输出电容为：

$$C_{out} := \frac{\delta i}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot 0.5 \text{ V}} = (2.228 \cdot 10^3) \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_{oo} := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot resr} = (4.244 \cdot 10^3) \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_o := 2200 \text{ } \mu\text{F}$$

$$I_{ppk} := I_{pk} \cdot N \cdot (1 + 15\%) = 4.397 \text{ A}$$

建议初级有10--15%的励磁电流

$$R_{sen} := \frac{1 \text{ V}}{I_{ppk} \cdot 1} = 0.227 \text{ } \Omega$$

控制IC 在1V进行逐个周期电流限制

$$I_{prsm} := I_{srsm} \cdot N = 2.082 \text{ A}$$

根据副边电流折算到原边，在得到检测电流电阻的值。

$$P_{rsen} := I_{prsm}^2 \cdot R_{sen} = 0.986 \text{ W}$$

S5 反馈电阻计算：

$$V_o = 12 \text{ V} \quad I_o = 40 \text{ A} \quad L_o = 5.285 \text{ } \mu\text{H} \quad N = 0.08$$

$$R_{low} := 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_{upper} := \frac{R_{low} \cdot V_o}{2 \text{ V}} - R_{low} = 50 \text{ k}\Omega$$

S6 正激变压器设计

由于初级采用了10%的励磁电流，所以可以计算出初级电感量的大概水平：

$$L_m := \frac{400 \text{ V}}{\frac{10\% \cdot I_{pk} \cdot N}{\frac{D_{max}}{f_{sw}}}} = 4.708 \text{ mH}$$

正激变压器可以不加气隙，因为磁芯不可能100%的贴合在一起，因此肯定是存在一点气隙。

1、AP法选择磁芯：

$$AP = \frac{P_{in}}{K_u \cdot J \cdot \Delta B \cdot f_{sw} \cdot D_{max}} \quad \Delta B := 0.25 \text{ T}$$

先运用AP法选择磁芯，后期根据能否绕制或成本进行迭代计算。

$$D_{max} = 0.45$$

$$K_u := 0.3$$

正激要隔离，所以窗口利用率要选的小一点。

$$J := 600 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{sw} = (1 \cdot 10^5) \frac{1}{\text{s}}$$

自然冷却的电流密度

$$A_p := \frac{(P_{in})}{K_u \cdot J \cdot \Delta B \cdot D_{max} \cdot f_{sw}} = 2.495 \text{ cm}^4$$

得出AP值。

2、磁芯选择PQ32//30：

$$A_e := 161 \text{ mm}^2$$

磁芯横截面积

$$A_{cw} := 149 \text{ mm}^2$$

磁芯窗口面积

$$L_e := 75 \text{ mm}$$

磁路长度

$$MLT := 6.7 \text{ cm}$$

绕线长度

$$AL := 5.1 \frac{\mu\text{H}}{N^2}$$

电感量系数

$$V_e := 12000 \text{ mm}^3$$

磁芯体积

$$W_{tfe} := 55$$

磁芯质量（克）

$$B_m := 0.3 \text{ T}$$

可允许的最大磁通密度

$$\mu_i := 2200$$

磁芯磁导率

$$N = 0.08$$

初级/次级匝比

$$A_{pp} := A_e \cdot A_{cw} = 2.399 \text{ cm}^4$$

AP值

3、根据损耗和温升选择磁通密度和线径：

计算表面积耗散密度

$$A_t := 47 \text{ cm}^2$$

变压器表面积公式 来源于 《变压器和电感器设计手册 第三版》

$$P_{tan} := P_o \cdot 1\% = 4.8 \text{ W}$$

估计可接受变压器耗损

$$P_{fe} := \frac{1}{2} \cdot P_{tan} = 2.4 \text{ W}$$

计算磁芯损失，通过导入允许的磁芯耗损和体积，来计算dB。

$$V_e = 12 \text{ cm}^3$$

$$f_{sw} = 100 \text{ kHz}$$

列出磁芯体积

$$P_{ve} := (P_{fe}) \cdot \frac{1}{(V_e)} = 200 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^3}$$

根据可允许耗损和体积得出，dB和耗损系数的值。

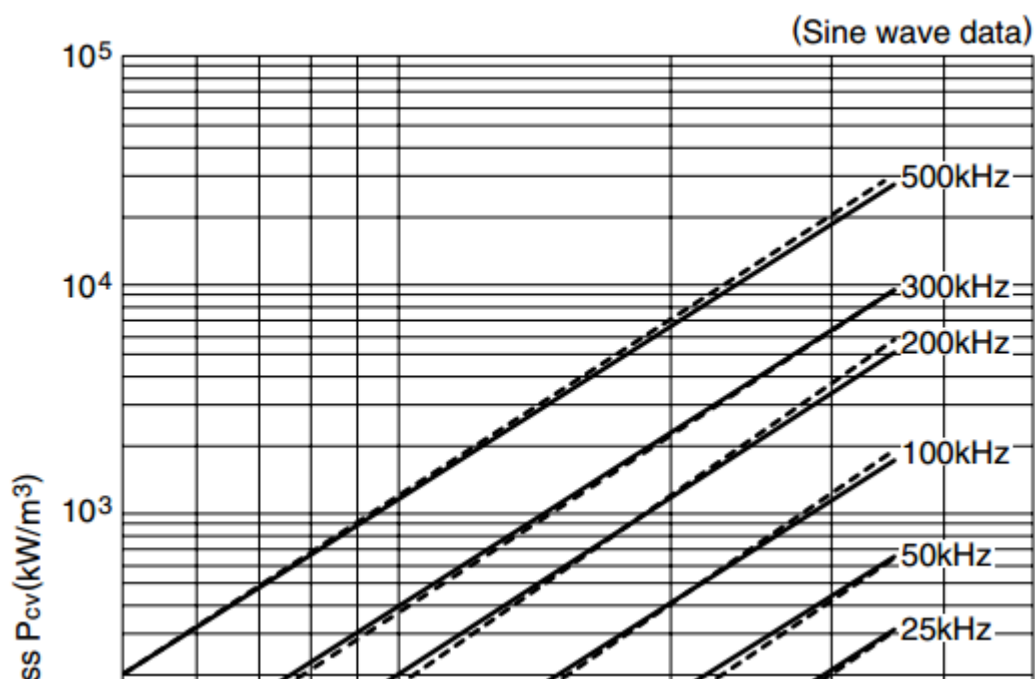
$$\Delta B := \left[\left(\frac{P_{ve}}{\frac{\text{mW}}{\text{cm}^3}} \right) \cdot \frac{1}{4.5 \cdot 10^{-14} \cdot \left(\frac{f_{sw}}{\text{Hz}} \right)^{1.55}} \right]^{\frac{1}{2.5}} \cdot 1 \text{ G} = [0.144] \text{ T}$$

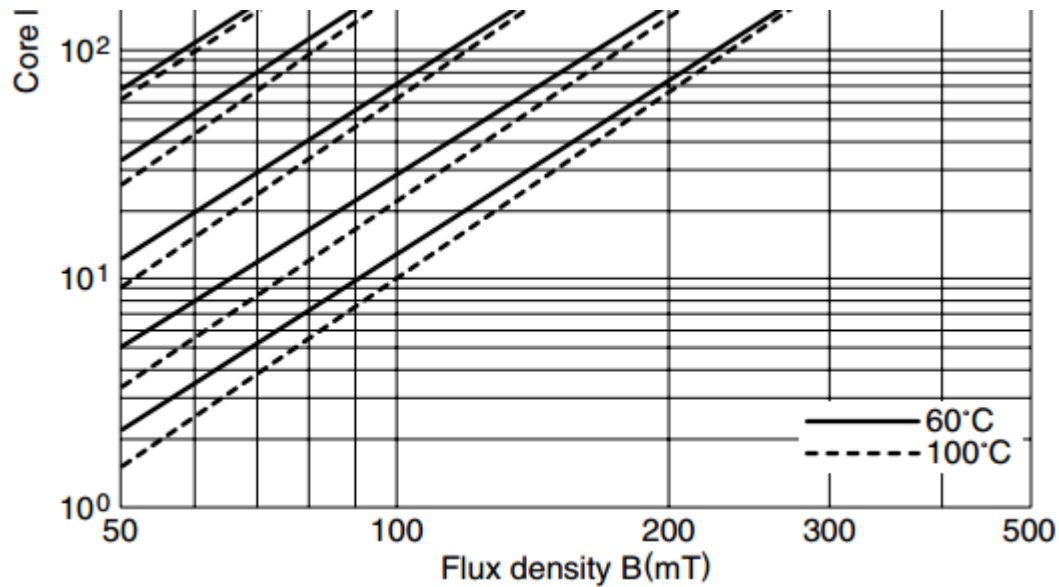
精通开关电源设计第三章

$$B_m := \Delta B \cdot 2 = [0.289] \text{ T}$$

关于磁心耗损的计算，下面使用TDK PC40给出的频率//体积//耗损图，查表计算在允许的磁芯耗损下，dB是多少。

查表可以看出，在耗损系数在200KW/M³时，100KHZ对应的dB是0.17-0.8T。





4、计算初级匝数

$$N_{pp} := \frac{V_{min} \cdot D_{max}}{f_{sw} \cdot A_e \cdot B_m} = [35.845]$$

变压器在最低输入电压设计!

$$N_{ppp} := \frac{V_{inmax} \cdot D_{max}}{f_{sw} \cdot A_e \cdot B_m} = [39.72]$$

考虑极限输入电压最高、占空比最大时，是否会饱和？

$$N_{ss} := N \cdot N_{pp} = [2.855]$$

SET3

得出次级匝数

$$N_{ppp} := \frac{3}{N} = 37.661$$

SET 38

$$D_{nor} = 0.422$$

$$N_p := 39$$

$$N_s := 3$$

$$N_{now} := \frac{N_p}{N_s} = 13$$

$$dB_{nor} := \frac{400 \text{ V} \cdot D_{nor}}{N_p \cdot A_e \cdot f_{sw}} = 0.269 \text{ T}$$

根据匝数核算最大磁通密度

$$dB_{max} := \frac{410 \text{ V} \cdot 0.5}{N_p \cdot A_e \cdot f_{sw}} = 0.326 \text{ T}$$

PC40 @100°, 0.39T饱和。

$$L_{mide1} := 5.1 \mu\text{H} \cdot N_p^2 \cdot (1 - 0.25) = 5.818 \text{ mH}$$

无任何气息的电感量

$$L_{mide1} := 5.1 \mu\text{H} \cdot N_p^2 = 7.757 \text{ mH}$$

考虑30%的窗口面积用于绕线，那么可以得出供绕线的磁心窗口面积：

$$A_{cu} := 30\% \cdot A_{cw} = 44.7 \text{ mm}^2$$

理想情况下，初级和次级各占用一半的绕线面积：

$$A_{cu_hf} := \frac{A_{cu}}{2} = 22.35 \text{ mm}^2$$

假如初级采用0.5mm*1 导线，可以估算能使用的匝数：

$$N_{pri} := \frac{A_{cu_hf}}{\left(\pi \cdot \left(\frac{0.5 \text{ mm}}{2} \right)^2 \right) \cdot 1} = 113.828$$

$$N_{sec} := \frac{A_{cu_hf}}{\left(\pi \cdot \left(\frac{0.7 \text{ mm}}{2} \right)^2 \right) \cdot 1} = 58.075$$

5、 计算辅助绕组电压：

$$V_{cc} := 16.5 \text{ V} = 16.5 \text{ V}$$

$$n_{aux} := \frac{V_{cc}}{V_{nor}} = 0.042$$

$$N_{aux} := n_{aux} \cdot N_p = 1.629$$

根据辅助绕组和初级的比例
得出辅助线圈的匝数。

$$V_{ccide} := \frac{V_{nor} \cdot 2}{N_p} = 20.256 \text{ V}$$

$$N_p = 39$$

$$N_s = 3$$

$$N_{aux} := 2$$

$$N_{new} := \frac{N_p}{N_s} = 13$$

6、 验算占空比:

$$D_{max} := \frac{V_o + V_d}{360 \text{ V} \cdot \eta} \cdot N_{new} = 0.479$$

360V可以启机，可将BO设置在370V。

$$D_{nor} := \frac{V_o + V_d}{V_{nor} \cdot \eta} \cdot N_{new} = 0.437$$

$$D_{minn} := \frac{V_o + V_d}{V_{inmax} \cdot \eta} \cdot N_{new} = 0.421$$

7、 考虑线径(考虑趋肤深度)

$$\varepsilon := \frac{6.66 \text{ cm} \cdot 1}{\sqrt{\frac{f_{sw}}{\text{Hz}}}} = 0.211 \text{ mm}$$

h对于铜线的等效厚
度，铜箔直接为1*厚
度。

$$D_{cu} := 2 \cdot \varepsilon = 0.421 \text{ mm}$$

考虑临近效应和Dowell曲线：

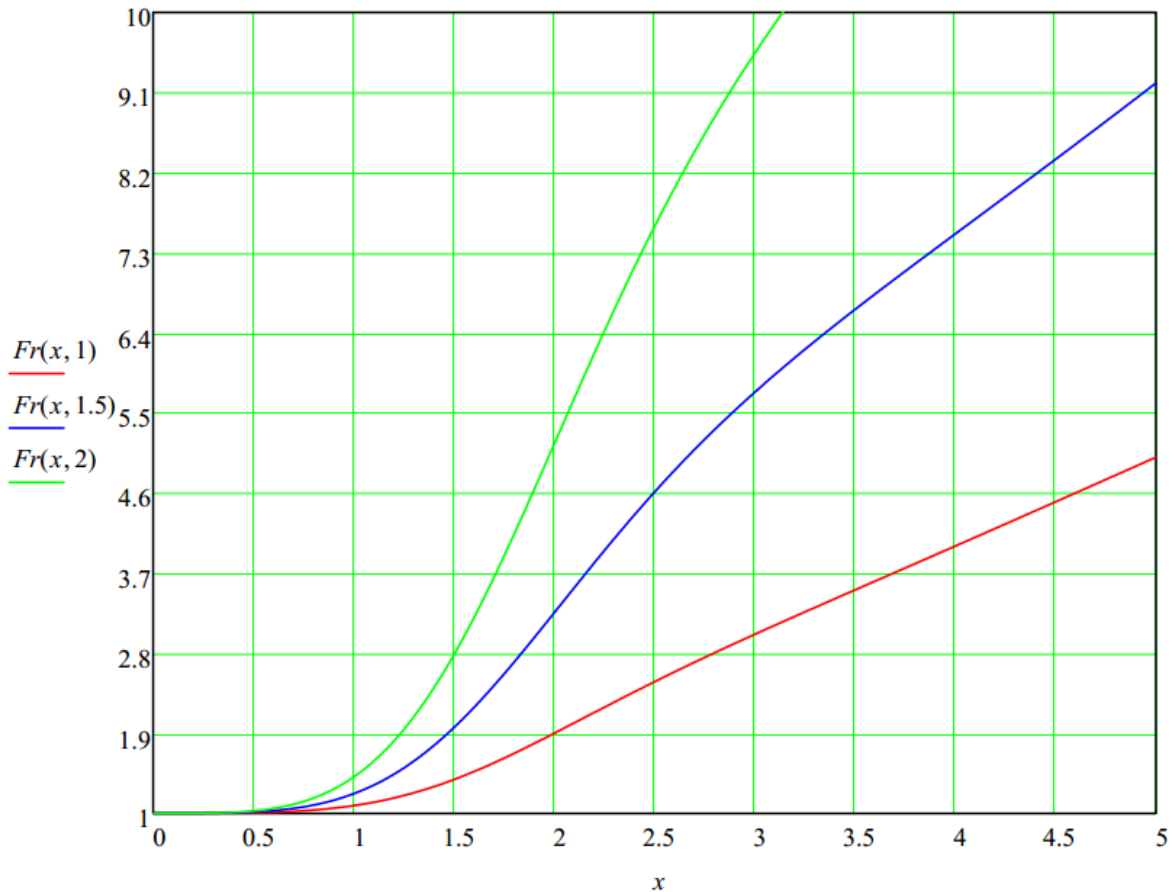
下文中的，Dowell 曲线和公式来源于：

《应用于电力电子技术的变压器和电感器、理论、设计与应用》机械工业出版社 2014 年 第五章

下式中 p 为绕组等效层数， x 为铜箔厚度和集肤深的比值。虽然这个图是考虑正弦波作用时，但是对于开关电源的矩形波，也有一定的参考作用。

关于开关电源的矩形波作用下的绕组临近效应，在《精通开关电源设计第二版》第三章有一定的讨论，有兴趣大家可以去看看这本书的意见。

$$Fr(x,p) := x \cdot \left[\frac{\sinh(2 \cdot x) + \sin(2 \cdot x)}{\cosh(2 \cdot x) - \cos(2 \cdot x)} + \frac{2 \cdot (p^2 - 1)}{3} \cdot \left(\frac{\sinh(x) - \sin(x)}{\cosh(x) + \cos(x)} \right) \right]$$



采用三明治绕组的结构 (1/3/1)，次级等效层数为 $P=1.5$ ，对比曲线发现在集肤深度/铜厚度=1时， R_{ac}/R_{dc} 的值，并非最优。反而在集肤深度/铜厚度=1.5时(铜线横截面=2倍集肤深度)， R_{ac}/R_{dc} 有最优值，如果继续加大铜厚，那么反而不再明显。

$$h := 0.866 \cdot 0.4 \text{ mm} = 0.346 \text{ mm}$$

绕组等效厚度

$$k := \frac{h}{\varepsilon} = 1.645$$

$$k_{cu} := \frac{0.35 \text{ mm}}{\varepsilon} = 1.662$$

$$J := 500 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$$

$$\rho := 2.3 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\Omega}{\text{mm}}$$

考虑骨架和绕组结构设置：

$$L_{core} := 18.5 \text{ mm}$$

PQ3230骨架总绕线长度

$$N1 := \frac{L_{core}}{0.4 \text{ mm} \cdot 2} = 23.125$$

$$Np = 39$$

根据骨架宽度，原边可以采用0.4mm线两股并绕，在一层内绕完20匝。

$$D_{cu} := 0.4 \text{ mm}$$

$$A_{cu} := \frac{\pi \cdot D_{cu}^2}{4} = 0.126 \text{ mm}^2$$

副边根选择0.3mm厚度的铜箔。

8、计算初级导线面积：

$$I_{mag} := \frac{V_{nor} \cdot D}{f_{sw} \cdot L_m} = 0.354 \text{ A}$$

计算初级有效电流值，选择线径。

$$I_{rms} := I_{mag} \cdot \sqrt{\frac{D_{nor}}{3}} = 0.135 \text{ A}$$

$$I_{prsm} := \sqrt{I_{rms}^2 + (I_{srsm} \cdot N)^2} = 2.087 \text{ A}$$

$$A_{pw} := \frac{I_{prsm}}{J} = 0.417 \text{ mm}^2$$

计算所需要的初级导线股数来满足这个电流面积

$$S_{np} := \frac{A_{pw}}{A_{cu}} = 3.321$$

如果选择用0.4*2股

计算初级直流电阻：

$$Acu\Omega := \frac{1687 \cdot 10^{-6} \cdot \Omega}{2} = (8.435 \cdot 10^{-4}) \Omega \quad Rp := \left(\frac{MLT}{cm} \right) \cdot Np \cdot Acu\Omega = 0.22 \Omega$$

交流电阻 :

$$Rp_ac := Rp \cdot 2 = 0.441 \Omega$$

计算初级的铜损 :

$$Ppcu := Iprsm^2 \cdot (Rp_ac) = 1.92 W$$

9、计算次级导线面积

$$Irsrm = 26.142 A$$

$$Js := J = 500 \frac{A}{cm^2}$$

$$Asw := \frac{Irsrm}{Js} = 0.052 cm^2$$

$$Sns := \frac{Asw}{Acu} = 41.607$$

考虑铜带 :

$$L := 17.5 mm \quad H := 0.3 mm$$

宽17.5mm//厚0.3mm
通过调整铜带的厚度, 调整铜带的Rac/
Rdc的值, 一般先选择较小的厚度。

$$Acu_s := L \cdot H = 5.25 mm^2$$

$$Asw := \frac{Irsrm}{Js} = 0.052 cm^2$$

$$\rho = (2.3 \cdot 10^{-5}) \frac{\Omega}{mm} \quad Ns = 3$$

$$Sns := \frac{Asw}{Acu_s} = 0.996$$

计算次级铜带的电阻 :

$$MLT = 67 mm$$

绕一圈骨架的铜线的长度

$$Rdc_sec := \frac{\rho \cdot (MLT) \cdot Ns}{\left(\frac{L}{mm} \right) \cdot \left(\frac{H}{mm} \right)} = (8.806 \cdot 10^{-4}) \Omega$$

$$k_{Cu} := \frac{0.30 mm}{\epsilon} = 1.424$$

计算次级的交流电阻 :

$$Rs_ac := Rdc_sec \cdot 1.9 = 0.002 \Omega$$

计算次级的铜损：

$$P_{scu} := I_{rms}^2 \cdot (R_{s_ac}) = 1.143 \text{ W}$$

计算初级和次级一起的铜损：

$$P_{cu} := P_{scu} + P_{pcu} = 3.063 \text{ W}$$

考虑磁芯真实耗损：

$$dB_{nor} := \frac{400 \text{ V} \cdot D_{nor}}{N_p \cdot A_e \cdot f_{sw}} = 0.278 \text{ T} \quad V_e = 12 \text{ cm}^3$$

$$W_{Ve1} := 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{f_{sw}}{\text{Hz}} \right)^{1.55} \cdot \left(\frac{dB_{nor}}{2 \cdot T} \right)^{2.5} \cdot 1 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^3} = 182.408 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^3}$$

$$P_{fe1} := W_{Ve1} \cdot V_e = 2.189 \text{ W}$$

$$P_{tot} := P_{cu} + P_{fe1} = 5.252 \text{ W}$$

10、变压器信息：

$$L_m = (4.708 \cdot 10^3) \mu\text{H}$$

$$N_p = 39$$

0.4mm * 2, 三明治绕, 里20圈。

$$N_s = 3$$

17.5mm * 0.3mm

$$N_{aux} = 2$$

0.28mm * 3

S7、输出电感计算：

$$I_{rms} = 40.266 \text{ A}$$

$$f_{sw} = (1 \cdot 10^5) \frac{1}{s}$$

$$V_{inmax} \cdot N = 32.66 \text{ V}$$

$$I_{pk} = 48 \text{ A}$$

$$B_m := 0.6 \text{ T}$$

$$L_o = 5.285 \mu\text{H}$$

$$J = 500 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$$

磁环选择：

$$NI^2 = \text{mH} \cdot \text{A}^2$$

$$L_o = 5.285 \mu\text{H}$$

$$\left(\frac{L_o}{\text{mH}} \right) \cdot \left(\frac{I_o}{\text{A}} \right)^2 = 8.456$$

选择磁芯：Hight Flux OD 27mm //HT12mm $\mu = 60$

$$OD := 2.7 \text{ cm}$$

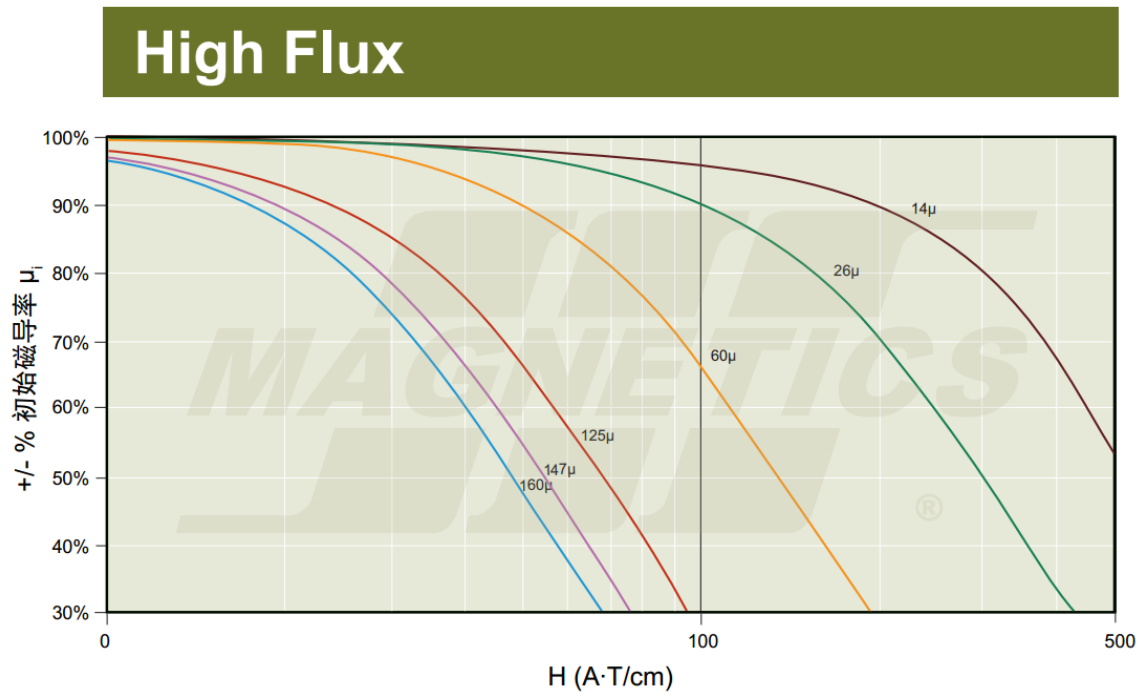
外径

$ID := 1.4 \text{ cm}$	内径
$HT := 1.1 \text{ cm}$	厚度
$Mpl := 6.35 \text{ cm}$	磁路长度
$Mlt := 4.5 \text{ cm}$	平均单匝长度
$Aee := 0.654 \text{ cm}^2$	横截面积
$Aww := 1.56 \text{ cm}^2$	窗口面积
$Al := 78$	电感系数
$\mu_i := 60$	磁导率
$Ap := Aee \cdot Aww = 1.02 \text{ cm}^4$	

2 根据磁芯得到匝数 :

$$N_{ss} := 1000 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{Lo}{mH}\right)}{Al}} = 8.231 \quad N_{ss} := 8$$

考虑在直流磁场偏置下电感量下降数 :



$$H_{dc} := \frac{0.4 \cdot \pi \cdot N_{ss} \cdot I}{M_{pl}} = 63.327 \frac{A}{cm}$$

已知在56 A/CM 的直流磁场力作用下60材料，磁导率下降80%。

$$N_{new} := 1000 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{L_o}{mH}\right)}{A \cdot 80\%}} = 9.203 \quad \text{SET 10}$$

$$N_o := 10$$

$$L_{noload} := \frac{N_o^2 \cdot 75 \mu H}{1000} = 7.5 \mu H$$

选择线径：

$$D_{cu3} := 1.2 \text{ mm}$$

$$A_{cu3} := \frac{\pi \cdot D_{cu3}^2}{4} = 1.131 \text{ mm}^2$$

$$A_{wb} := \frac{I_{rms}}{J_s} = 0.081 \text{ cm}^2$$

$$S_n := \frac{A_{wb}}{A_{cu3}} = 7.121 \quad \text{4股 1.2mm并绕}$$

计算绕线电阻：

$$A_{cu\Omega ss} := \frac{250 \cdot 10^{-6} \cdot \Omega}{4} = (6.25 \cdot 10^{-5}) \Omega$$

$$m_{lt} := 12 \text{ mm} \cdot 2 + \left(\frac{27 - 12}{2}\right) \cdot 2 \text{ mm} = 3.9 \text{ cm}$$

$$R_{ss} := N_o \cdot A_{cu\Omega ss} \cdot \left(\frac{m_{lt} \cdot 100\%}{cm}\right) = 0.002 \Omega$$

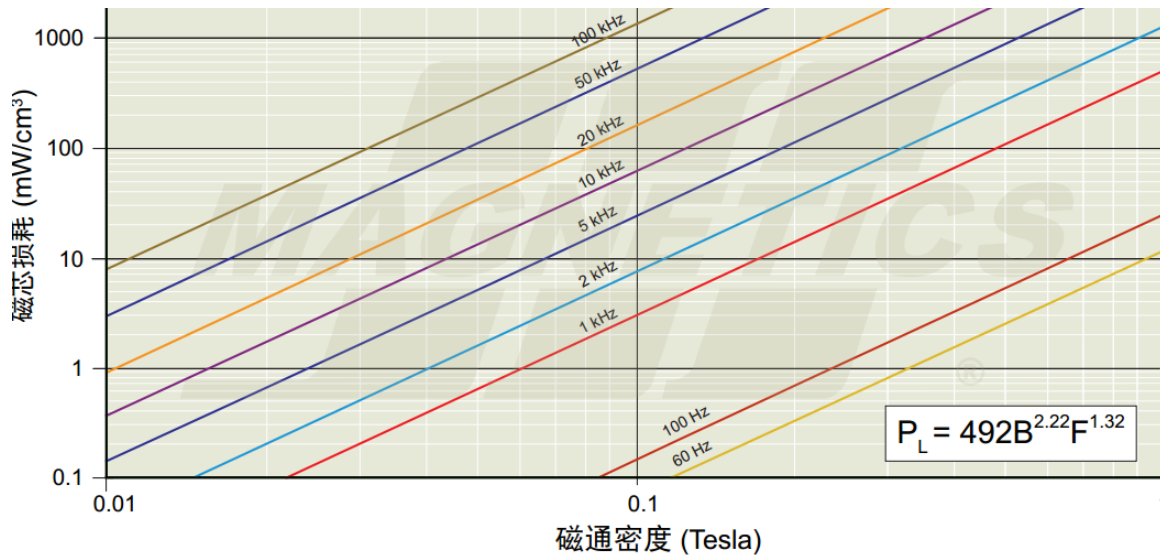
计算电感铜损：

$$P_{lcu} := R_{ss} \cdot I_{rms}^2 = 3.952 \text{ W}$$

磁芯损耗的公式表明：铁损是磁通和开关频率的函数。在设计中应该追求铜损和铁损一致。

验算磁通密度

High Flux 60μ



$$B_{ac} := \frac{L_o \cdot I_o}{N_o \cdot A_{ee} \cdot 2} = 0.065 \text{ T}$$

$$B_{dc} := \frac{L_o \cdot I_o}{N_o \cdot A_{ee}} = 0.323 \text{ T}$$

$$P_L := 492 \cdot \left(\frac{B_{ac}}{T} \right)^{2.22} \cdot \left(\frac{f_{sw}}{kHz} \right)^{1.32} = 491.322$$

$$A_{fe} := (A_{ee} \cdot M_{pl}) = 4.153 \text{ cm}^3$$

$$P_{fe_loss_max} := \frac{A_{fe}}{\text{cm}^3} \cdot (P_L \cdot 1 \text{ mW}) = 2.04 \text{ W}$$

得到总耗损：

$$P_{Lout} := P_{fe_loss_max} + P_{Icu} = 5.992 \text{ W}$$

$$\frac{P_{Lout}}{V_o \cdot I_o} = 0.012$$

选择 High Flux 磁导率60 AL60 外径27 宽度12mm

D 1.2mm*4 10T

实际电感为：
10圈，1.2mm。

$$L_{fload} := L_o = 5.285 \text{ } \mu\text{H}$$

S8 半导体计算MOS和DIDOE：

STB 20NM50N

$$C_{oss} := 180 \text{ pF}$$

$$B_{vds} := 500 \text{ V}$$

最高耐压

$$R_{dson} := 0.25 \text{ } \Omega$$

AT 100°

$$Q_g := 30 \text{ nC}$$

栅极总电荷

$$Q_{gd} := 15 \text{ nC}$$

栅极-漏极电荷

... 晶闸管计算

1 导通耗损计算：

$$P_{cond} := I_{prsm}^2 \cdot R_{dson} \cdot D_{max} = 0.521 \text{ W}$$

2 开关交叉耗损

$$I_{drv_pk} := 0.25 \text{ A}$$

$$\Delta t1 := \frac{Q_{gd}}{I_{drv_pk}} = 60 \text{ ns}$$

$$P_{swon} := \frac{I_{prsm} \cdot V_{inmax} \cdot \Delta t1}{12} \cdot f_{sw} = 0.428 \text{ W}$$

$$P_{coss} := \frac{1}{2} \cdot C_{oss} \cdot \left(\frac{V_{nor}}{2} \right)^2 \cdot f_{sw} = 0.351 \text{ W}$$

$$\Delta t2 := \frac{Q_{gd}}{I_{drv_pk}} = 60 \text{ ns}$$

$$P_{swoff} := \frac{I_{prsm} \cdot \frac{V_{inmax}}{2} \cdot \Delta t2}{6} \cdot f_{sw} = 0.428 \text{ W}$$

总耗损：

$$P_{sw_mos} := P_{cond} + P_{swon} + P_{swoff} + P_{coss} = 1.728 \text{ W}$$

输出二极管耗损：

$$PIV := N \cdot V_{inmax} + V_o = 44.66 \text{ V}$$

100V 的SR MOS

$$I_{d1} = 26.142 \text{ A} \quad R_{ds_sr} := 4 \cdot 10^{-3} \Omega$$

在bulk续流二极管电流为Io电流，为了保证一定的余量，需要采用30A的二极管。

$$I_{d2} = 30.625 \text{ A}$$

体二极管反向恢复的耗损

$$Q_{rr} := 80 \text{ nC} \quad V_r := 45 \text{ V}$$

$$P_{qrr} := Q_{rr} \cdot V_r \cdot f_{sw} = 0.36 \text{ W}$$

体二极管输出电容耗损

$$Q_{oss} := 820 \text{ pF}$$

$$P_{oss} := \frac{1}{2} \cdot V_r^2 \cdot Q_{oss} \cdot f_{sw} = 0.083 \text{ W}$$

二极管整流：

$$P_{conFW} := I_{d1}^2 \cdot (R_{ds_sr}) + P_{qrr} + P_{oss} = 3.177 \text{ W}$$

二极管续流：

$$P_{conFE} := Id2^2 \cdot (R_{ds_sr}) + P_{qrr} + P_{oss} = 4.195 \text{ W}$$

半导体总耗损：

$$P_{sw} := P_{sw_mos} \cdot 2 + P_{conFW} + P_{conFE} = 10.828 \text{ W}$$

磁元件总耗损：

$$P_{FE} := P_{tan} + P_{Lout} = 10.792 \text{ W}$$