

Buck inductor design

---Prepared by Bean

1. 电感计算

1). 确定占空比 $D := \frac{V_o}{V_{in}}$

2). 计算电感 根据电路很易得到下列关

a). 藕续模式 $L := (V_{in} - V_o) \cdot \frac{D}{2K_f \cdot f \cdot I_o}$ or $L := V_o \cdot \frac{(1 - D)}{2K_f \cdot f \cdot I_o}$

Where: V_{in} ---输入电压 (V) V_o ---输出电压 (V)
 f ---操作频率(Hz) I_o ---输出电流 (A)
 K_f ---纹波系数 (典型值0.1~0.2)

b). 断续模式

$$L := (V_{in} - V_o) \cdot \frac{D}{f \cdot I_{pk}} \quad \text{or} \quad L := V_o \cdot \frac{(1 - D)}{f \cdot I_{pk}}$$

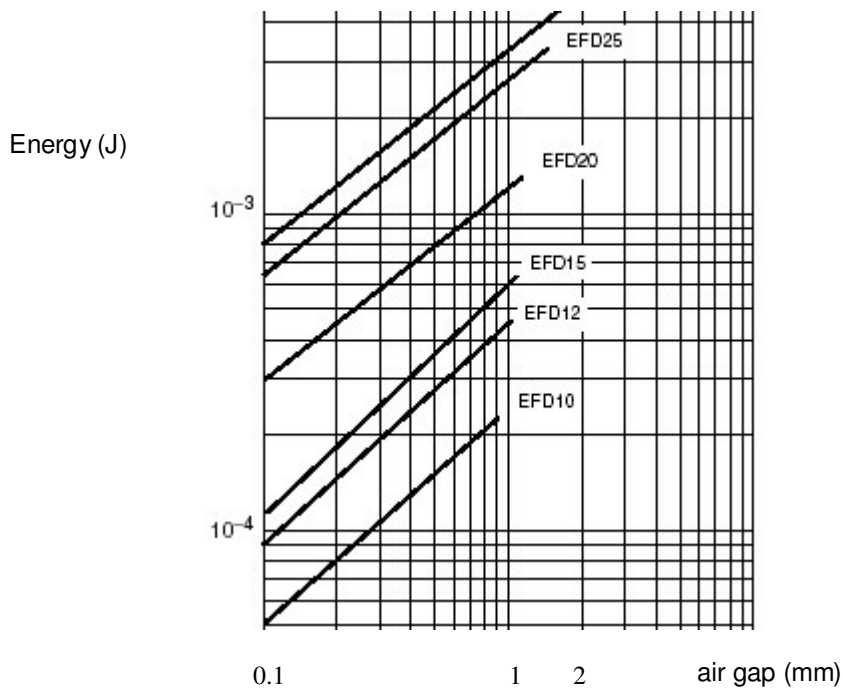
注意: 某些场合特别是低电压应用需考虑二极管压降.

2. 磁芯的选择(铁氧体设计)

1). 计算能量

$$W := L \cdot I^2$$

2). 基于能量气隙曲线定义气隙.



3. 计算圈数:

根据在第二步得到的气隙长计算圈数

$$N := [L \cdot (R_c + R_g)]^{0.5}$$

Where: L --- 电感(Henry)
R_c---磁芯磁阻
R_g---空气磁阻

$$R_c := \frac{l_e}{\mu \cdot A_e} \quad R_g := \frac{l_g}{\mu_0 \cdot A_e}$$

Where: l_e---磁芯有效长度(meter)
A_e---磁芯有效截面积(square meter)
l_g---气隙长(meter)
μ---磁芯磁导率
μ₀---空气磁导率

4. 定义线径

a). 国内方法

$$\phi := 1.13 \cdot \sqrt{\frac{I}{J}}$$

Where: φ---导线直径(mm)
J---电流密度(典型值7~16)

b). 国外方法

$$CM := J \cdot I$$

Where: CM---圆密尔
J---电流密度(典型值100~250)

然后查表

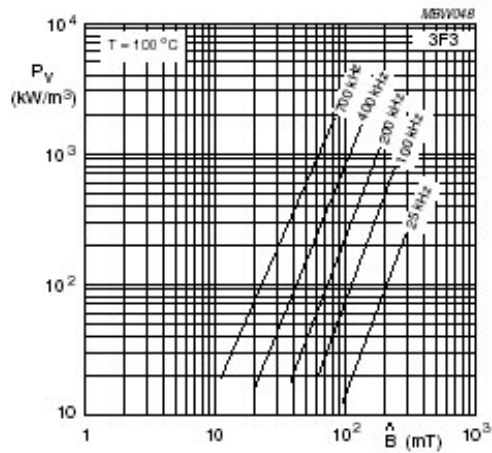
5. 验证设计

1). 磁芯是否饱和

$$\Delta B := \Delta I \cdot \frac{L \cdot 10^{-2}}{N \cdot A_e}$$

Where: ΔB---磁通密度摆幅(Tesla)
ΔI---交流电流(峰-峰)
L---电感(μH)
N---圈数
A_e---磁芯有效截面积(cm²)

将磁通摆幅除2去查相应的磁损,若高于100mW/cm³,磁芯有可能饱和了.
*此原则来源于Lloyd's的设计手册,实际上若你是按上面的方法选择的磁芯和气隙,磁芯一般是不会饱和的.

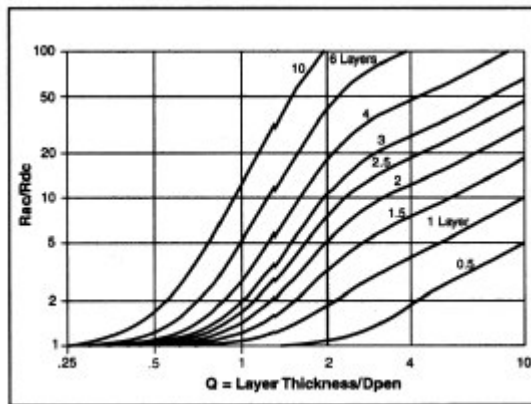


2). 温升

a). 铜损

$$P_{\text{copper}} := I_{\text{dc}}^2 \cdot R_{\text{dc}} + I_{\text{ac}}^2 \cdot R_{\text{ac}}$$

Where: I_{dc} ---直流电流
 R_{dc} ---直流电阻
 I_{ac} ---交流电流有效值
 R_{ac} ---交流电阻(可根据DewII曲线得到)



b). 磁芯损耗

根据 5.1 得到.
 一般磁芯损耗在铁氧体连续模式电感设计中不是重要的因数.

c). 温升

$$\Delta\tau := \sqrt[0.833]{\frac{P_t}{A_s}}$$

Where: P_t ---总损耗(mW)
 A_s ---电感表面积(cm²)

实际大量的BUCK电感用环形铁粉芯,下面是一个真实的例子.

Buck: Input voltage: 5V
 Output voltage: 1.25V
 Output current: 6.5A
 Frequency: 1MHz

$V_{in} := 5$ $V_o := 1.25$ $I_o := 6.5$ $f := 1000000$

1. 确定电感和占空比(通常BUCK电感被设计在连续模式)

$$D := \frac{V_o}{V_{in}} \quad D = 0.25 \quad K_f := 0.1$$

$$L_{min} := (V_{in} - V_o) \cdot \frac{D \cdot 10^6}{2 \cdot K_f \cdot f \cdot I_o} \quad L_{min} = 0.721 \quad \text{or}$$

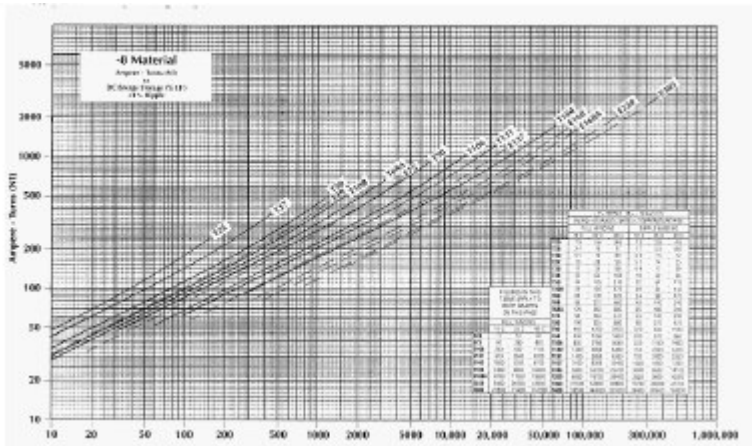
$$L_{min} := (V_o + 0.085 \cdot I_o) \cdot \frac{(1 - D) \cdot 10^6}{2 \cdot K_f \cdot f \cdot I_o} \quad L_{min} = 1.04$$

*本例中使用了一IC,此IC可减去外围电路二极管的使用但有85mOHM的内阻

2. 由于频率要求选择-8材.

$$W := 0.5L_{min} \cdot I_o^2 \quad W = 21.968$$

在能量曲线表中查找相应的型号:



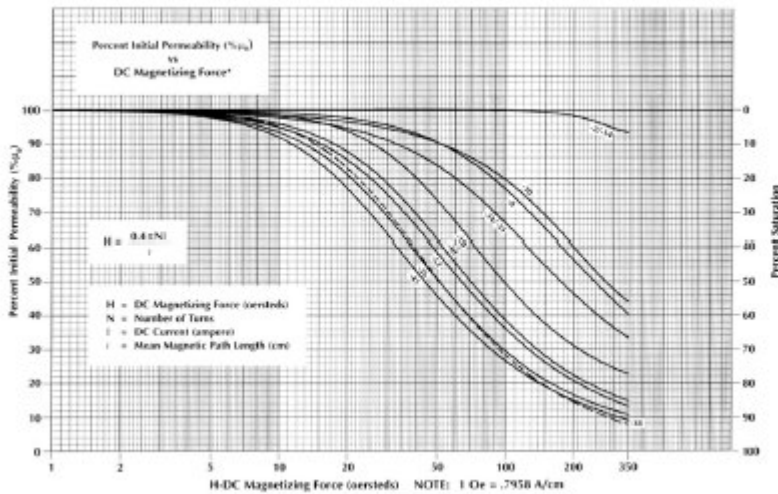
结果T30可以符合要求,并且安培圈大约是67. 因而暂定圈数为10.

$$A_e := 0.06 \quad l_e := 1.84 \quad N_p := 10 \quad AL := 14 \quad V_e := .11$$

3. 圈数的调节

计算磁场强度: $H := 0.4 \cdot \pi \cdot Np \cdot \frac{I_o}{le}$ $H = 44.392$

根据算得的磁场强度查下曲线发现 $\mu\%$ 是93.5%.



$$N := \left(L_{min} \cdot \frac{10^3}{AL \cdot 0.935} \right)^{0.5} \quad N = 8.913 \quad N := 9$$

实际上9圈时的电感大约是1.06uH。

4. 定义线径

假设: $J := 13$

$$\phi := 1.13 \cdot \sqrt{\frac{I_o}{J}} \quad \phi = 0.799$$

AWG20号线大概直径是0.799MM,但是若用20号线则绕不下,改为21号。

设计是:

$N := 9$ AWG21

5. 验证温升

T30: $MLT := 1.44$ $As := 2.79$

AWG21 $\Omega := 12.77 \cdot \frac{\Omega}{1000ft}$

$DCR := MLT \cdot \frac{N}{2.54 \cdot 12} \cdot \Omega$ $DCR = 5.43$ $m\Omega$

$P_{cu} := I_o^2 \cdot DCR$ $P_{cu} = 229.408$

由于电感设计在断续模式,因而忽略交流电阻损耗。

用加在线圈上的最大电压计算磁芯损耗:

$$V_{pk} := V_{in} - V_o$$

$$\Delta B := V_{pk} \cdot \frac{D \cdot 10^8}{2 \cdot A_e \cdot N \cdot f} \quad \Delta B = 86.806 \text{ G}$$

从供应商目录上可得到下列关系.

$$P := \frac{f}{\left(\frac{1.9 \cdot 10^9}{\Delta B^3} \right) + \frac{2 \cdot 10^8}{\Delta B^{2.3}} + \frac{9 \cdot 10^5}{\Delta B^{1.65}}} + 2.5 \cdot 10^{-14} \cdot \Delta B^2 \cdot f^2 \quad P = 284.252$$

$$P_{core} := P \cdot V_e \quad P_{core} = 31.268$$

$$P_t := P_{cu} + P_{core} \quad P_t = 260.675$$

$$\Delta \tau := \left(\frac{P_t}{A_s} \right)^{0.833}$$

$$\Delta \tau = 43.795$$

References:

- [1] Lloyd H. Dixon: Unitrode Magnetics Design Handbook
- [2] Micrometals Catalog, 2000
- [3] Ferroxcube Catalog, 2002

- End -