

电压调节器中：

磁放大器磁芯选型设计

连长庆

2001, 12, 15

第一部分

磁芯造型设计

一、已知条件：输出电压 V_0 、输出电流 I_0 、工作频率 F 、佔空比 D_{\max}

二、决定变压器的次级电压。(已单端正激电路为例)

$$V_i \geq \{ V_0 (1 + K_C) + V_F \} / D_{\min} \dots \dots \dots (1)$$

V_i ：变压器次级电压。

K_C ：富裕系数或称调节余量。(通常取 0.2)

V_F ：整流二极管压降。

D_{\min} ：最小佔空比。(发生在输入电压最大时)

V_0 ：要求的输出电压。

三、决定被砍掉的电压 (被调节的电压) V_{reg}

$$\begin{aligned} V_{\text{REG}} &= V_i \times D_{\max} - V_0 \\ &= V_1 - V_0 \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

式中 $V_1 = V_i \times D_{\max}$

四、计算磁芯所需的磁通量 $\Delta \phi$

$$\begin{aligned} \therefore V_0 &= V_i \times D_{\max} - V_{\text{砍}} = V_i \times D_{\max} - V_{\text{reg}} \\ &= V_i \times (t_{\text{on}}/T) - V_i \times (t_i/T) \end{aligned}$$

$$\therefore V_{\text{reg}} = V_i \times t_r / T$$

由电磁定律知 $V_i \times t_r = \Delta \phi$

$$\therefore V_{\text{reg}} \times T = V_i \times t_r = \Delta \phi$$

$$\text{写成 } \Delta \phi = V_{\text{REG}} / F \dots \dots (3)$$

最后得到被砍掉压折算成磁通量的式子,即电路调节中所需磁通量为 $\Delta \phi$ 。

\therefore 磁芯的单匝磁通量为 $2\phi_m$ (有时就简称 ϕ_m) 今设计磁通量为 $\Delta \phi$, 则总有一个 N 存在使 $N \times \phi \geq \Delta \phi \dots \dots (4)$ 。

五、选择磁芯的尺寸。

(1) 先选择内径

设磁芯的窗口面积为 W_a 。其中的一部分面积是由导线的截面积充填占据。充填系数用 K_F 表示,也叫有用系数, K_F 常取 0.4。就有 $W_a \times K_F =$ 所绕 N 条导线的截面积。

已知输出电流为 I_0 , 导线的电流密度为 J , 则一条导线所占面积为 I_0/J 。

设绕了 N 匝, 则 $W_a \times K_F = N \times I_0/J$,

$$\text{写成 } W_a = N \times I_0 / J K_F \dots \dots (5)$$

式(4)决定了磁芯的内径.因为一个确定的窗口面积 W_a ,必有一个确定的磁芯内径与之对应.公式(5)是用电流 I_0 等已知参数计算出了窗口面积 W_a .从而选定了磁芯内径。

2) 选择外径

$$\text{由式 (5) 已知 } W_a = N \times I_0 / (J \times K_F)$$

$$\text{当 } K_F = 0.4, J = 6 \text{ A/mm}^2 \text{ 时, } W_a = N \times I_0 / 2.4$$

将此式左边乘以 $N\phi_m$, 右边乘以 $\Delta\phi$ ($\because N \times \phi_m = \Delta\phi$)

则有 $N \times \phi_m \times Wa = \Delta\phi \times N \times l_0 / (K_F \times J)$,

两边约去 N 得: $\phi_m \times Wa = \Delta\phi \times l_0 / (K_F \times J) \dots \dots (6)$

而 $\Delta\phi \times l_0 / (K_F \times J)$ 是电路设计时计算出来的。一款磁芯其 $\phi_m \times Wa$ 的值使 (6) 式成立。则外径也选定了。

由于 $\phi_m = B \times A_c$ A_c 是磁芯的有效截面积。

$A_c = (\text{外径} - \text{内径}) / 2 \times h \times K$ (K 称充填系数, 通常在 0.7-0.8 之间)

h 是磁芯高度。

当 Wa 确定后, 内径也就确定了。

于是 A_c 只与外径和磁芯高度有关了

当 h 选定后, 一个确定的 A_c 就有一个确定的外径。

这样由 $\Delta\phi \times l_0 / (K_F \times J)$ 的计算值就确定了磁芯的尺寸。

五、决定匝数 N

先求最小匝数 N_{\min}

由式 (4) 知 $N \times \phi_m \geq \Delta\phi$ 。式中的 ϕ_m 是由 (3) 式计算出来的最小磁通量。

或 $N \geq \Delta\phi_{\min} / \phi_m$

则 $N_{\min} = \Delta\phi_{\min} / \phi_m$ (取整数) $\dots \dots (7)$

现在求 N_{\max}

\because 式 (4) 中的 $\Delta\phi = V_{\text{reg}} / F$ 或 $V_{\text{破}} / F$

而 $V_{\text{reg}} = V_{\text{破}} = V_1 - V_0 = V_S \times D_{\max} - V_0$, (式中 V_1 为最大输出电压)

得 $V_0 = V_S \times D_{\max} - V_{\text{破}}$

当 $V_{\text{破}} = V_S \times D_{\max}$ 时, $V_0 = 0$

即是说磁芯的调节作用最多只能把 $V_S \times D_{\max}$ 这个电压砍掉，此时的 $\Delta\phi$

$$\phi_{\max} = V_{\text{砍}_{\max}} / F = V_S \times D_{\max} / F$$

$$\phi_{\max} = V_S \times D_{\max} / F = V_i / F \dots \dots (8)$$

$$\text{此时 } N_{\max} = \Delta\phi_{\max} / \phi_m \dots \dots (9)$$

六、决定导线直径 D

设绕线采用单股。则导线截面积 $A_w = I_0 / J$

由 I_0 计算出的导线截面积 $A_w = I_0 / J_0$

由导线直径计算出的截面积 $A_w = D^2 \pi / 4$

$$\text{两个截面积应相等得到 } D^2 \pi / 4 = I_0 / J \quad D = \sqrt{(4I_0 / \pi J)}$$

设 $J = 6 \text{ A/mm}^2$, 则 $d = 0.46 \sqrt{I_0}$

七、计算死角

当正向电流来到时，我们希望磁芯立即饱和，但这办不到，只有当正向电流到达一定值， $H = H_S$ 时磁芯才饱和或者说只有当磁芯的 B 值从 B_r 到达 B_m 时，才能饱和，从 B_r 到 B_m 差 $(1 - B_r / B_m)$ 到达 B_m ，磁通量差 $\phi_m \times (1 - B_r / B_m)$ 到达 ϕ_m ， N 匝线圈就差 $N \times \phi_m \times (1 - B_r / B_m)$ 到达 $N\phi_m$ ，当变压器次级电压为 V_i 时，

$$\text{则 } N\phi_m \times (1 - B_r / B_m) = V_i * t_d$$

注意 $N \times \phi_m \times (1 - B_r / B_m)$ 也是一个磁通量，它等于电压和时间的乘积，变换上式得到：

$$t_d = N\phi_m \times (1 - B_r / B_m) / V_i \dots \dots (10)$$

t_d 被称为死时间。

$$\text{又} = V_i * t_d / T = V_d \dots \dots (11)$$

称 V_d 为死电压。(T 为周期)

有点象二极管的管压降一般，每个磁芯都有，且和工作频率有关。

$\therefore V_d = V_i \cdot t_d / T = V_i \times t_d \times f$ ， f 越大， t_d 越大。

如果下式满足则死角影响可以忽略：

即 $V_i = [V_0 (1 + K_C) + V_F + V_d] / D_{\min}$

K_C 为富裕系数

V_F 为整流二极管压降

V_d 为死电压

八、计算复位电流

\therefore 磁滞回线负 x 方向任意一点所对应的反向磁场 $H_R = N \times I_R / AI$

AI ：磁芯有效磁路长度 (米)

$\therefore I_R = H_R \times AI / N$ (A)

式中 H_R 单位为 A/M (安/米)

AI 单位为 M

I_R 单位为 A

要求得 I_R 必须知道 H_R ，有两种求法：

1) 取 $H_R = H_C$磁芯的矫顽力，则 $I_R = H_C \times l / N$(12)

2) H_R 可由 $\Delta \varphi_{\min}$ 或 $\Delta \varphi_{\max}$ 计算出

(φ_{\min} 、 φ_{\max} 分别由 3、8 式计算出)

$H_R = [0.1502 \times (f_{sw})^{0.57} \times (\Delta \varphi)^{0.7} / (N \times A_e)^{0.7}] \times 79.6$(13)

(乘以 79.6 是将奥斯特化成安/米。)

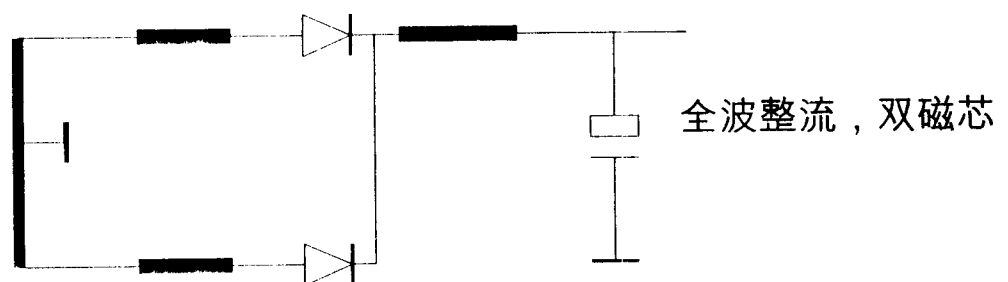
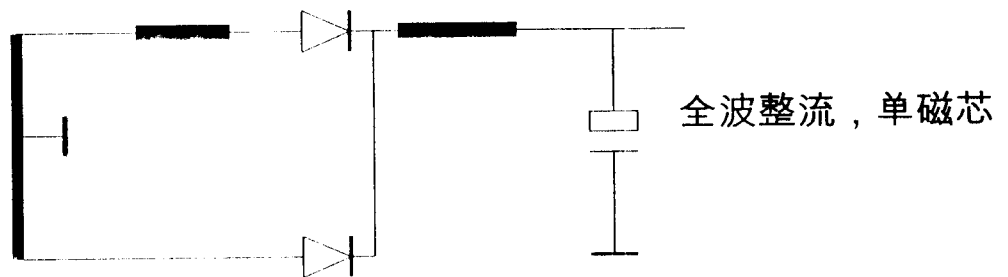
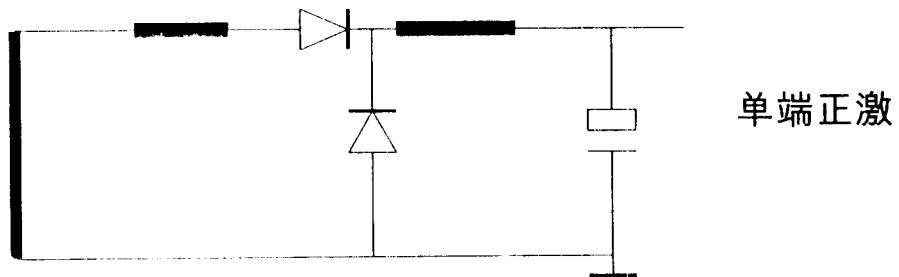
再由式 (12) 计算复位电流。

第二部分

采用可饱和磁芯作调节元件，三种典型电路中

1. 被砍去电压 V_{reg} 的计算公式

2. 所需磁通量 $\Delta\phi$ 的计算公式



(一) 单端正激电路(半波整流电路)

已知：

V_S ：变压器次级对地电压。

V_0 ：输出电压。

D_m ：最大佔空比。

F ：工作频率

则被砍去电压由下式计算：

$$V_{reg} = V_S - V_0 ,$$

所需磁通量由下式计算：

$$\Delta\phi_{min} = (V_S \times D_m - V_0) / F。$$

$$\Delta\phi_{max} = (V_S \times D_m) / F。$$

(二) 全波整流，单边磁芯调节

因为输出 V_0 是两个半波整流输出的共同贡献。其中一个半波的贡献是 $V_S \times D_m$ ，带有磁芯的另一半波贡献是 $V_S \times D_m - V_{reg}$ ，(V_S 是对地电压)

$$\therefore V_0 = V_S \times D_m - (V_S \times D_m - V_{reg})$$

我们只须研究被砍掉中电压的那个半波整流的情况，这个半波的输出等於总输出 V_0 减去另一半波的输出；

$$\text{即 } V_S \times D_m - V_{reg} = V_0 - V_S \times D_m ,$$

$$\text{则被砍去电压： } V_{reg} = 2 \times V_S \times D_m - V_0$$

對於 ATX 电源 $(2 \times V_S \times D_m) = 5v$, $V_0 = 3.3v$, $V_{reg} = 1.7v$ 。

所需磁通量： $\Delta \phi_{min} = V_{reg}/F = (2 \times V_S \times D_m - V_0)/F$

$$\Delta \phi_{max} = (V_S \times D_m)/F。$$

(對於通常的 ATX 源比 $V_S \times D_m = 2.5v$)

⇒全波整流双边磁芯调节

因為输出 V_0 是两个半波的共同贡献，且认定这两个半波是完全对称的，相等的，所以只要讨论一个半波电路中的磁芯就可以了。

$$\therefore V_0 = V_0/2 + V_0/2$$

一个半波的输出电表达式是：

$$V_0/2 = V_S \times D_{max} - V_{reg}$$

所以被砍电压 $V_{reg} = V_S \times D_{ma} - V_0/2 = (2 \times V_S \times D_m - V_0)/2$

對於 ATX 电源 $2 \times V_S \times D_m = 5v$, $V_0 = 3.3v$ 。

$$\text{所需磁通量 } \Delta \phi_{min} = [(2 \times V_S \times D_m - V_0)/2] / F$$

$$= (2 \times V_S \times D_m - V_0)/2F$$

$$\Delta \phi_{max} = (V_S \times D_m)/F$$

第三部分

磁芯选型设计软件使用方法

(一)软件使用说明

本软件是在 Excel 基础上编写的，是想让更多的使用者容易使用，达到普及目的。

打开软件后可以明显看到三张“黄牌”分别说明它们的使用范围，画面的左面有一个红色表格写着‘必需输入’和‘参考输入’使用中根据情况选择使用输入方式。

(二)软件的基本组成

基本分两大部分：

1. “已知电路参数和磁芯参数”对磁芯进行设计选型。
2. “只知道电路参数选求磁芯型号”

‘2.’完成后会告之你被选中的型号，和 ϕ_{ol0} 值。再查软件中所附的型号表可获得 A_e ， $2\phi_m$ ，和 $\phi_m W_a$ 三千个参数，将它再输入到‘1.’中去就可以对磁芯进行设计了。当你不想使用被推荐的型号时可以根据 ϕ_{ol0} 值选择任何一厂家的产品。(任何厂家的产品均有 ϕ

mW_a 值，它叫 Hamding Power，简写符号为 H_{PC} ，叫操作功率，也叫适用功率，也有叫总功率的)如果某磁芯的 $\phi_m W_a$ 值使下式成立

$\phi_m W_a \geq \phi_{010}/2.4$ 。则该磁芯被选中，再将该磁芯的参数输入到

1. 中对磁芯进行设计。

(三)参数输入

当你在‘参考输入值’的栏目中输入必要的参数时，可以得到一些可供参考的设计结果，例如对应於一倍 $\Delta\phi$ ，一倍 $\Delta\phi$ ……可以得到不同的 N ， ΔB ， ΔP ， H_r ， I_r 供参考选用。