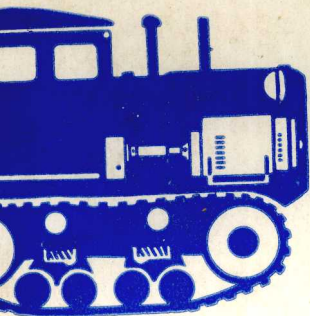




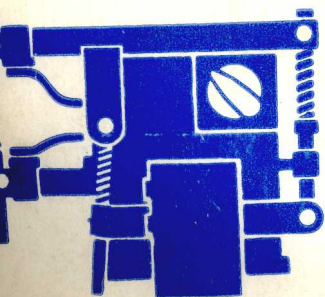
5



HANJIE
SHEBEI
YU
GONGYI



焊接设备与工艺



上海劳动电焊机厂

前 言

弧焊变压器是焊接设备中结构最简单、产量最多的一项产品。据成都电焊机研究所七一年的不完全统计,我国弧焊变压器年产17755台,占电焊机总产量43.4%。因此,对这项量大面广的产品质量,有必要进行深入的、有系统的试验研究,以寻求精确的设计与计算方法、可靠的评价及考核弧焊变压器焊接适应性的方法,从而提高弧焊变压器质量。这是我们制造厂与广大使用单位共同的迫切要求。

英明领袖华主席为首的党中央作出了“抓纲治国”伟大战略决策后,我们遵循毛主席:“自然科学方面,我们比较落后,特别要努力向外国学习。但是也要有批判地学,不可盲目地学。在技术方面,我看大部分先要照办,因为那些我们现在还没有,还不懂,学了比较有利”的指示精神,选编了这本《弧焊变压器译文专辑》。

本译文集中,介绍了苏联关于动绕组、高漏抗及磁化式弧焊变压器的计算资料,引入了日本及苏联的几篇探讨交流弧焊稳定性的文章,以作为评定弧焊变压器质量之前提。本译文集以主要的篇幅介绍了意大利A. Carrer等人提出的关于交流焊接适应性定义的建议:即以与测试点相应的次级空载电压 V_{20} 与次级短路电流曲线过零点时曲线与时间轴夹角 α_{cc} 的正切之乘积 P 为评定适应性的指数。

荷兰 J. Kas的文章则认为最大动态短路电流及空载电压 U_0 与短路电流曲线在零点处的相对斜率 S 的乘积,提供了与飞溅及焊缝成形相吻合的关系,他与A. Carrer的定义相似,其中 $S(\frac{3.34}{F} - 2) \cong \text{tg } \alpha_{cc}$, (短路电流形状系数 $F = \frac{I_k(\text{有效值})}{I_k(\text{平均值})}$, I_k —短路电流)。

苏联 A. A. Троицкий认为,在交流电弧回路中,如果电感是非线性的,电弧电流曲线与短路电流的曲线形状不同,A. Carrer提出的建议没有顾及这种区别以及引燃电压的增长速度。

本译文集所载的资料,说明目前国外普遍注意对交流弧焊变压器质量的评价,但尚不能得出一项可靠而无争议的评价准则,有待于进一步的深入研究。

1977年4月

焊 接 设 备 与 工 艺

第 5 期

弧焊变压器译文专辑

目 录

动绕组式弧焊变压器的计算.....	[苏 联]	..... 1
应用计算机计算焊接变压器.....	[苏 联]	..... 6
弧焊变压器的通用外特性曲线.....	[苏 联]	..... 8
电弧焊用磁化变压器结构及计算基础.....	[苏 联]	.....14
电感对交流焊接电弧曲线形状的影响.....	[苏 联]	.....19
焊接变压器动特性比较.....	[苏 联]	.....24
弧焊变压器的动态性能		
一关于焊接适应性定义的建议草案.....	[意大利]	.....29
焊接变压器质量的评价.....	[荷 兰]	.....50
交流弧焊机的电弧稳定性(一).....	[日 本]	.....61
交流弧焊机的电弧稳定性(二).....	[日 本]	.....63
交流弧焊机的电弧稳定性(三).....	[日 本]	.....65
交流弧焊机的电弧稳定性(四).....	[日 本]	.....67
交流弧焊机的电弧稳定性(五).....	[日 本]	.....69

动绕组式弧焊变压器的计算

Е.С.Федер, А.Е.Песенсон

(苏联电焊设备科学研究所)

本文叙述了动绕组式变压器的计算。说明了变压器主要技术经济指标对 ν , λ 值的依赖关系, 及其最佳值的确定。

动绕组式变压器可用作交流弧焊电源。这种变压器的计算主要系确定其几何尺寸, 以使漏感随着绕组间距离 ξ 的变化而在给定范围 (从 X_{\min} 到 X_{\max}) 内改变。

动绕组式变压器的计算系使用已知的漏感公式, 其中所有几何尺寸系通过下列数值来表示: 次级绕组匝数 w_2 ; 初级与次级绕组间距离 ξ , cm; 窗内初级绕组截面高度与宽度之比值 $\nu = h_1 / b_1$; 磁导体迭厚对片宽比 $\lambda = m / p$ 。

本文的目的即说明变压器主要技术经济指标对 ν , λ 值的依赖关系并确定其最佳值。

现设定, K_{TP} —— 变压系数;

q'_1 —— 连绝缘的初级绕组导线截面, mm^2 ;

q'_2 —— 连绝缘的次级绕组导线截面, mm^2 ;

U_{20} —— 变压器空载电压, V;

f —— 电网频率, Hz;

B_m —— 磁路磁感, Gs;

K_c —— 磁导体钢截面填充系数 (通常 $K_c = 0.72 \sim 0.95$);

K_p —— 绕组胀大系数 (一般地 $K_p = 1.1 \sim 1.2$);

t_1 和 t_2 —— 窗孔内导磁铁芯柱与初级和次级线圈间的间隙, cm;

t'_1 和 t'_2 —— 夹紧螺杆侧导磁铁心柱与初级和次级线圈间的间隙, cm;

δ_1 和 δ_2 —— 窗孔内初级和次级线圈自身间的距离, cm。

数值 t_1 , t_2 , t'_1 , t'_2 , δ_1 和 δ_2 由结构上考虑决定。 q'_1 和 q'_2 的数值当所选裸导线截面为 q_1 和 q_2 时可按下式得出: $q'_1 = K_q q_1$ (mm^2) 和 $q'_2 = K_q q_2$ (mm^2), 式中对于矩形导线以及直径为 $\phi 2.26 \sim 5.2 \text{mm}$ 的圆截面导线 $K_q = 1.12 \sim 1.32$ 。

从参考文献 [1] 的公式不难得出变压器的主要几何参数 (图 1)。

初级线圈高度 $h_1 = C_{K1} \sqrt{\nu w_2}$ (cm), 其中 $C_{K1} = 10^{-1} \sqrt{K_{TP} K_p q'_1}$ (cm)。

初级线圈截面宽度 $b_1 = C_{K1} \sqrt{w_2 / \nu}$ (cm)。

次级线圈高度 $h_2 = \frac{C_{K2}^2 w_2}{C_{K1} \sqrt{\frac{w_2}{\nu}} + t_1 - t_2 + \frac{\delta_1}{2} - \frac{\delta_2}{2}}$ (cm), 其中 $C_{K2} = 10^{-1} \sqrt{K_p q'_2}$ (cm)。

次级线圈截面宽度 $b_2 = C_{K1} \sqrt{\frac{w_2}{\nu}} + t_1 - t_2 + \frac{\delta_1}{2} - \frac{\delta_2}{2}$ (cm)。

磁导体迭厚

$$m = C_M \sqrt{\frac{\lambda}{w_2}} \quad (\text{cm}), \quad \text{其中} \quad C_M = \sqrt{\frac{U_{20} \cdot 10^8}{4.44 f B_m K_c}}。$$

磁片宽度

$$p = \frac{C_M}{\sqrt{\lambda w_2}} \quad (\text{cm})。$$

初级线圈平均匝长

$$l_1 = 2m + 2p + 4(t_1' - t_1) + 2\pi(t_2 + 0.5b_1) \quad (\text{cm})。$$

次级线圈平均匝长

$$l_2 = 2m + 2p + 4(t_2' - t_2) + 2\pi(t_2 + 0.5b_2) \quad (\text{cm})。$$

变压器窗宽

$$n = 2t_1 + 2b_1 + \delta_1 \quad (\text{cm})。$$

变压器窗高

$$h = h_1 + h_2 + h_{\text{Доп}} + \xi_{\text{max}} \quad (\text{cm})。$$

其中 $h_{\text{Доп}}$ —— 考虑磁轭与线圈间的绝缘, 变压器附加窗高 (通常 $h_{\text{Доп}} \leq 1 \text{ cm}$)。

在个别情况下, 当移动绕组的行程螺杆通过磁路系统的窗孔内, 通过初级线圈间隙和次级线圈间隙时, 确定次级线圈的高度和厚度的公式将大为简化。实际上, 在这种情况下, 如果设定: $t_1 = t_2$, 而 $\delta_1 = \delta_2$, 则次级线圈高度

$$h_2 = \frac{C_{K2}^2}{C_{K1}} \sqrt{v w_2} \quad (\text{cm}),$$

或

$$h_2 = C_h h_1 \quad (\text{cm}), \quad \text{其中}, \quad C_h = \frac{C_{K2}^2}{C_{K1}^2}。$$

而其次级截面宽度

$$b_2 = b_1 = C_{K1} \sqrt{\frac{w_2}{v}} \quad (\text{cm})。$$

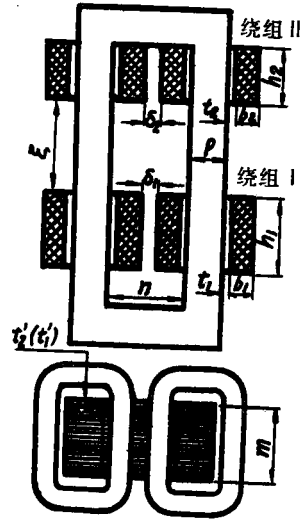


图 1. 动圈式焊接变压器

如果变压器次级绕组以裸母线绕制, 其尺寸则为:

$$h_2 = (a_{\text{III}} + \delta_3) w_2 - \delta_3 \quad (\text{cm}), \quad b_2 = b_{\text{III}} \quad (\text{cm}),$$

其中 a_{III} = 母线厚度 (cm);

b_{III} = 母线宽度 (cm);

δ_3 = 衬绝缘的匝间间隙值 (cm) (通常 $\delta_3 \leq 0.2 \text{ cm}$)。

可方便的计算, 变压器一半的绕组漏感。在这种情况下, 按照列别杰夫和科里茨基的方法 [2] 导出的次级绕组的变压器半部电抗等于:

$$X' = f w_2^2 \left[15.8 g \left(\frac{h_1 + h_2}{3} + \xi \right) + 2.5 (l_{cp} - g n) l n \frac{g_{12}^2}{g_1 g_2} \right] 10^{-8} \quad (\Omega)。$$

这里 g —— 当 $\mu = 1$ 时对应于单位铁心长度的磁路铁心间的磁导。 g 的数值仅系比值 m/n 的单变量函数, 可以经验公式来表示。

$$g = 0.828 \frac{m}{n} + 1.78 \sqrt{\frac{m}{n}}。$$

g_{12} , g_1 和 g_2 数值为平均几何距离 [3],

其中 $g_1 = 0.223 [2(b_1 + t_1) + h_1] \text{ (cm)}$; $g_2 = 0.223 [2(b_2 + t_2) + h_2] \text{ (cm)}$;

如果 $\frac{b_1 + b_2 + t_1 + t_2}{h_1 + h_2} > 0.5$,

则 $g_{12} = 0.22(b_1 + b_2 + t_1 + t_2) + 0.375(h_1 + h_2) \text{ (cm)}$;

或者如果 $\frac{b_1 + b_2 + t_1 + t_2}{h_1 + h_2} < 0.5$,

则 $g_{12} = 0.475(h_1 + h_2) \text{ (cm)}$ 。

最后, l_{cp} 可以通过初级和次级绕组平均匝长来表示, 即

$$l_{cp} = \frac{l_1 + l_2}{2} \text{ (cm)}$$

按照上面 $b_1, b_2, h_1, h_2, l_1, l_2, m, n$, 诸相互关系, 变压器的感抗公式可以通过 $\omega_2, \xi, v, \lambda$ 值来表示, 即 $X' = F(\omega_2, \xi, v, \lambda)$ 。在给定的变压器空载电压和焊接电流范围条件下, X'_{min} 和 X'_{max} 不难确定。最小感抗 X'_{min} 相应于初级与次级绕组的线圈间最小距离 ξ , 这则取决于固定和移动绕组之形式 (通常 $\xi_{min} \approx 1.5 \sim 2 \text{ cm}$)。

因此, 在最小感抗的公式 $X'_{min} = F(\omega^2, v, \lambda)$ 中共有三个未知数。如果现在给予 v 和 λ 一定的数值, 则很容易确定相应的变压器次级绕组匝数及其全部几何尺寸。

本文作者借助于电子计算机进行了计算, 确定了 v 和 λ 数值对基本技术经济指标——变压器的有效材料重量, 成本和效率的影响。

曾对具有不同功率和焊接电流调节范围的三种基本结构的几百台变压器作过计算。

图 2, a 指出的变压器结构中初、次级绕组系用 A П B Д 或 A П C Д 导线绕成, 而行程螺杆则通过整个窗口的高度。在图 2, б 所示的第二种结构中也使用这种型号的导线, 但行程螺杆只能达到动绕组的上线; 图 2, в 所示的第三种结构其次级线圈为固定, 用裸母线绕制, 这样可以大大提高电流密度。行程螺杆情况与第二种相似。

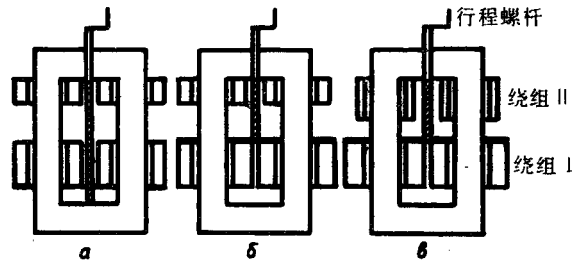


图 2. 变压器的不同结构

这样, 绕组中的电流密度和结构间隙随着结构的不同而在相当大范围内改变。此外, 电感也随着电工钢的型号而在广阔范围内改变。

进行计算时, 每一给定的焊接电流调节范围和结构参数均以 $v = 0.5 \sim 4$ 和 $\lambda = 0.5 \sim 7$ 为条件。结果指出, 尽管取决于 v, λ 值的有效材料重量, 价格与效率曲线的斜度不同, 在所有计算的情况中, 对同一个 v 和 λ 值, 我们所研究的指标均存在极值。

图 3 和图 4 示出了有效材料重量与效率对 v 和 λ 的依赖关系, 图 5 和图 6

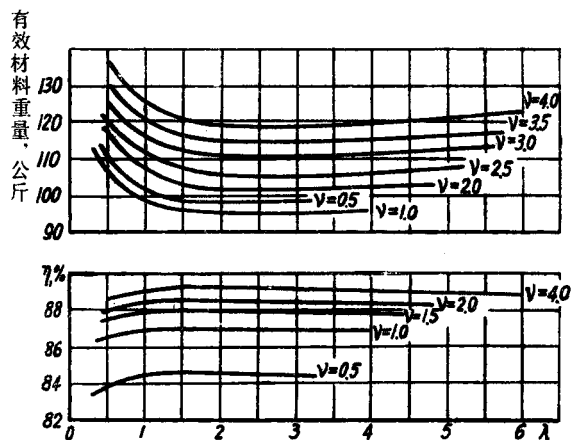


图 3. $v = \text{常数}$ 时有效材料重量和效率对 λ 的关系

则示出了有效材料价格对 v 和 λ 的关系
(均指图2, a 所示结构之变压器)。

这种变压器的电气和结构数据如下:

额定焊接电流

$$I_H = 300 \text{ a};$$

绕组并接最大电流

$$I_{max} = 385 \text{ a};$$

绕组并接最小电流

$$I_{min} = 110 \text{ a};$$

$$\Pi P = 60\%;$$

$$U_{20} = 60 \text{ 伏};$$

负载电压

$$U_H = 30 \text{ 伏};$$

导线型号 A П В Д;

初级绕组电流密度.

$$j_1 = 1.17 \text{ A/mm}^2;$$

次级绕组电流密度

$$j_2 = 1.01 \text{ A/mm}^2;$$

磁感应 $B_m = 12500 \text{ Gs};$

$$t_1 = 1 \text{ cm};$$

$$t'_1 = 2.5 \text{ cm};$$

$$t_2 = 0.5 \text{ cm};$$

$$t'_2 = 2.5 \text{ cm};$$

$$\delta_1 = 3 \text{ cm};$$

$$\delta_2 = 3 \text{ cm};$$

$$\xi_{min} = 2 \text{ cm}.$$

由图 3 可知, 当 v 一定, $\lambda = 1.5 \sim 2$ 时具有最大的效率。当 $\lambda = 2$ ($v =$ 常数) 时, 可得到最小的有效材料重量。 λ 值的继续增加可使重量有某些增大, 其增大的程度随着各个变压器而异。当 λ 值一定 (图 4) 有效材料重量在 $v = 1$ 时为最小。

有效材料价格: Э41 号钢每一公斤 0.17 卢布, 导线 A П В Д 每公斤 0.8 卢布时, 以 $\lambda = 2$ ($v =$ 常数) 时为最小 (见图 5)。至于有效材料价格与 v 的关系, 当 λ 值不变时, 它在 v 为 0.5 ~

2 的范围急剧下降。当 $v = 2 \sim 2.5$ 时达到最小值。进一步增大 v 值, 在实际上不影响价格 (图 6), 在某些情况下则重新使其价格增高。

当 $\lambda = 2.0$ 时, 取得了变压器的最理想的技术经济指标。

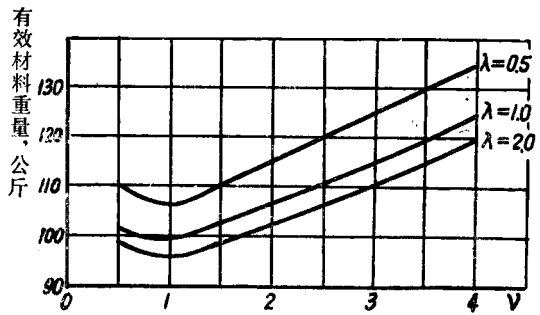


图4. $\lambda =$ 常数时有效材料重量对 v 的关系

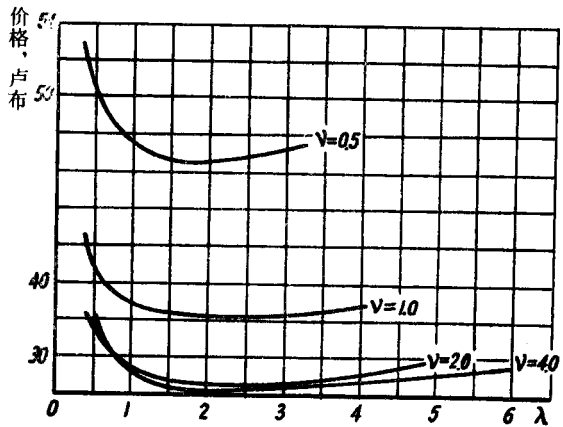


图5. $v =$ 常数时有效材料价格对 λ 的关系

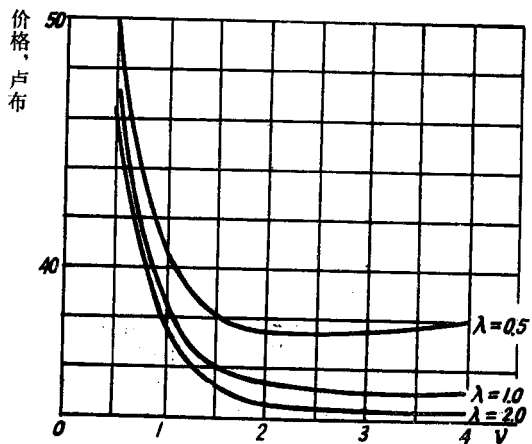


图6. $\lambda =$ 常数时有效材料价格对 v 的关系

按照有效材料价格和效率，最理想的数值为 $v = 2.0$ ，应知道在这样的有效材料重量，虽不是最小值，但这已完全由变压器的高效率和低有效材料价格所补偿。在实际计算中，可以取 $v = 1.5 \sim 2.0$ 。

在个别情况下设计时必须使变压器具有最小重量时（移动式轻型变压器）。对此，在计算时就需取 $v = 1$ 的数值。

根据上述资料，对安工作用移动式轻型变压器进行了计算。（ $I_H = 200$ 安， $U_{20} = 60.5$ 伏）。计算得到了有效材料的最小重量。在 $v = 1$ ， $\lambda = 2$ 时取得了下列数据：

变压器有效材料重量32.5公斤，效率81.2%，有效材料价格20.5卢布。（用 $\Theta 320$ 钢每公斤0.22卢布， $\Delta П С Д$ 导线每公斤1.5卢布）。

同一变压器以各种 v 和 λ 值不同的方案用计算机核算的结果表明，上面所得的方案在有效材料重量方面是最理想的。按有效材料价格和效率考虑最理想的方案是 $v = 2$ ， $\lambda = 2$ （18.2卢布和 $\eta = 84\%$ ）。但在这一方案时有效材料重量为38.1公斤。

结 论

1. 当 $v = \frac{h_1}{b_1}$ 和 $\lambda = \frac{m}{p}$ 为最佳比例时计算动绕组式变压器为最合理。
2. 在实际计算中可以选择 $v = 1.5 \sim 2.0$ 和 $\lambda = 1.8 \sim 2.2$ ，在必须保证最小重量时则取 $v = 1$ 。
3. 所推荐的 v 和 λ 值也可用于磁分路变压器计算。

参 考 文 献

1. А.Е.Песенсон, А.Л.Рывкин. Расчет сварочных выпрямителей с регулирующим трансформатором с подвижными катушками, ГОСИНТИ, 1963.
2. В.К.Лебедев, В.А.Керицкий, К расчету сопротивления короткого замыкания сварочного трансформатора с подвижной обмоткой, «Автоматическая сварка», №7, 1961.
3. Г.Н.Петров, К теории расчета индуктивности рассеяния трансформатора, «Электричество», №3, 1948.

译自《Автоматическая сварка》，
1965, №7, Стр.7~10

应用计算机计算焊接变压器

А.Е.Песенсон, Е.С.Федер

(苏联电焊设备科学研究所)

本文叙述了高漏抗焊接变压器以 Минск-1 计算机作电磁计算的方案。

计算技术的广泛应用使我们能够按新的方式以高技术经济指标着手电焊设备的设计和研究。首先被探讨的是在焊接技术中应用最广泛的焊接变压器。

高漏感抗焊接变压器的计算主要是确定绕组和磁路的参数，以保证调整焊接电流的电感有一个给定的变化范围。

这种计算通常是庞杂而艰巨的，需要十分细心和熟练的技巧。如再考虑到，变压器要达到高技术经济指标（有效材料的重量、效率和价格）必须分析比较许多方案，计算人员所费的劳动效果显然是不大的。

应用电子计算机能够迅速而准确地进行所有必需的计算，在计算过程中改变某一参数，并从许多被计算的方案中选出最可取的方案来。因此，计算机广泛地用于电机制造的生产实践。使用计算机来作研究性计算同样是合适的。

要在计算机上解决任何课题，首先必须编制计算公式，并决定完成运算的程序。预先确定所设计的机器各个参数之间的关系具有很大的意义，它能使计算的课题具有最少的变量。例如，动绕组焊接变压器的漏感抗表达式^[1]在经过一些不复杂的变换以后可以写作如下形式： $X = f(\omega_2, \xi, \nu, \lambda)$ ，其中 ω_2 —变压器次级绕组的圈数； ξ ——初次级绕组之间的距离； ν ——初级绕组高度 h_1 对厚度 b_1 之比； λ ——磁路总长 m 对铁心片宽度 P 之比。如现从结构要求出发给定绕组间的最小距离 $\xi = \xi_{\min}$ ，那么任务就成了对于变量 ν 和 λ 的具体的数值之各种方案决定圈数 ω_2 。

在决定解决具体课题的计算程序时要编制方框图，也就是计算和逻辑运算的图式。这种方框图可以通用于计算动绕组变压器和磁分路变压器。仅仅由于计算机型号不同会引起某些差别。

所有原始数据输入计算机后，开始计算变压器。首先确定辅助元件和必需的感抗值 X_{\min} 和 X_{\max} 。然后求出变压器次级绕组必需的圈数 ω_2 ，在此 ω_2 时精确到给定程度的感抗 X^*_{\min} 接近必需的 X_{\min} 。最后计算变压器其他所有的要素和参数。

高漏抗变压器计算主要是确定其绕组的圈数，一般来说，这一点用普通的数学运算是办不到的。在这种场合就采用圈数选择法。这一方法的实质就是在漏感抗公式中代入任一圈数值，并算出相应的感抗。此后将所得感抗值与必需的感抗值相比较，并校正圈数。然后按同样程序以校正过的圈数进行计算，如果需要，再使其更精确。这类运算一直继续到选择的圈数得出的感抗值与必需的感抗值偏差最小为止。

确定变压器绕组的圈数是焊接变压器计算的最困难部分。计算机可以自动地选择圈数，

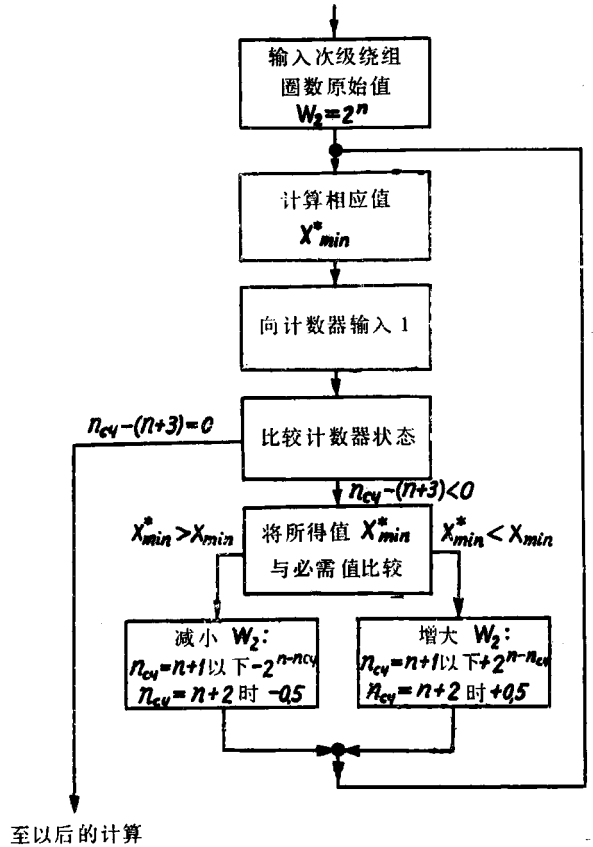
直至所得的感抗值与必需的感抗值之差与早先给定的精确度 ΔX 相符。然而，给出了 ΔX 之值，实际上并不一定得到整数的圈数。这就必需在随后用笔算对所计算的方案进行校正

图上示出能确定使所得感抗与必需感抗最接近的必需的整数圈数的方框图。此时，不必给定 ΔX 值。

方框图的意义如下。输入绕组圈数原始值 $w_2 = 2^n$ （ n 之数值使 2^n 比所需值大许多）。在进行相应的感抗计算之后，向登记计算序号的计数器输入1。然后比较计数器状态。如果 $n_{cy} - (n+3) < 0$ （ n_{cy} —计数器中存储的数字），就将所得值 X_{min}^* 与必需值 X_{min} 比较，并编成新的 w_2 值，供继续计算。所谓编成新值就是在原来 w_2 值上加上或减去 $2^{n-n_{cy}}$ ，直至计数器中存储的数字为 $n_{cy} = n+1$ 。当 $n_{cy} = n+2$ ，加上或减去0.5圆整成整数，并进行最接近要求感抗值的最后计算。此时 $n_{cy} - (n+3) = 0$ ，所得结果传输出去供以后的计算。象这样的方框图可以最简单地选择圈数并圆整成整数。顺序循环数此时等于 $n+3$ 。

上述方框图是简化了的。实际上程序还要复杂，但其一般原则可以作为任何焊接变压器计算的基础。

以《Минск-1》计算机进行焊接变压器的计算提供了确定变压器最佳方案的可能性。



确定变压器绕组必需的圈数的方框图

参 考 文 献

1. В. К. Лебедев, В. А. Корицкий, Крaсчeту cопрoтивлeния кoрoткoгo зaмыкaния cвapчoгo тpaнcфopмaтopa c пoдвигнoй oбмoткoй, «Aвтoмaтичecкaя cвapкa», №. 7, 1961.

译自《Aвтoмaтичecкaя cвapкa》，
1965, №13, C тp. 38 ~ 39

弧焊变压器的通用外特性曲线

И.В.Пентенов, Е.П.Стемковский
(乌克兰科学院巴东电焊研究所)

在推导高漏磁焊接变压器的外特性方程时，通常把电弧看作线性的有效电阻。而当顾及电弧的非线性时，外特性就按假定焊接回路的欧姆电阻可以忽略不计的近似公式来计算 [1, 2]。上述两种方法都不精确，因为电弧的非线性与焊接回路的欧姆电阻实质上影响着焊接电路中过程的性质和外特性曲线的形状。

因此，很有必要得出既考虑焊接回路欧姆电阻的影响，又考虑电弧电压真实形状的外特性方程。

焊接电路的等效电路(图1)包含短路电抗 X_k 和焊接回路有效电阻 R 。焊接变压器励磁电流忽略不计。

在推导方程时，我们仅只限于考虑正、反极性时电弧电压降 U_{II} 相等，并在整个燃弧时间内不变化的情况。此时焊接电流曲线是对称的，并足以推出一个半周的电流方程。对于我们所研究的情况，电流和电压的波形图示于图2。时间假定从每一电流半波起点起算。

写下上述等效电路在燃弧时间的基尔霍夫第二方程

$$iR + \frac{X_k}{\omega} \cdot \frac{di}{dt} + U_{\text{II}} = U_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

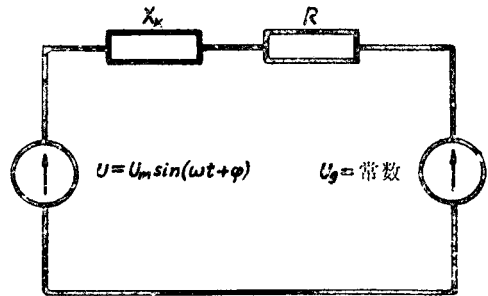


图1. 焊接电路的等效电路

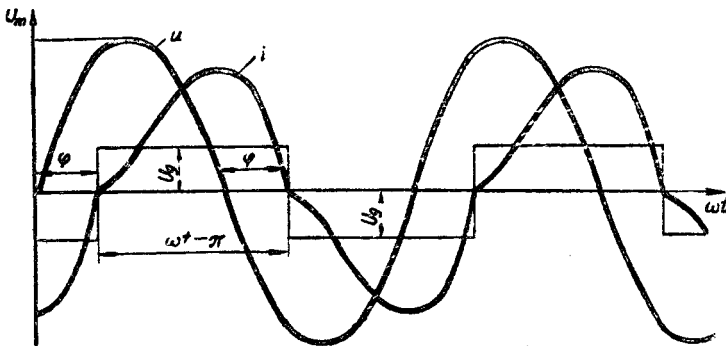


图2. 焊接电路中电压和电流的波形

其中 i ——焊接电流；
 U_m ——网路电压幅值；
 ω ——网路电压角频率；
 φ ——网路电压和焊接电流间的相移角。经过运算，得出这一方程的解为

$$i = \frac{U_m}{Z_k} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\beta^2}} [N(e^{-\beta\omega t} - \cos\omega t) + M\sin\omega t] - \frac{U_{II}}{Z_k} \sqrt{1+\frac{1}{\beta^2}} (1 - e^{-\beta\omega t}) \quad (2)$$

此处 Z_k —— 焊接电路总短路阻抗

$$Z_k = \sqrt{R^2 + X_k^2} \quad (3)$$

无因次系数 β , M 和 N 等于:

$$\beta = \frac{R}{X_k} \quad (4)$$

$$N = \cos\varphi - \beta \sin\varphi;$$

$$M = \sin\varphi + \beta \cos\varphi.$$

系数 M 和 N 可以用不含三角函数的式子表示。考虑到连续燃弧时, 当 $\omega t = \pi$, $i = 0$, 将这些式子代入方程 (2), 对 N 解出所得的等式, 可得

$$N = \frac{U_{II}}{U_m} \left(\beta + \frac{1}{\beta} \right) \operatorname{th} \frac{\pi}{2} \beta. \quad (7)$$

确定系数 M 必须将方程 (5) 和 (6) 左右两边分别平方并相加。对 M 解出所得等式

$$M = \sqrt{1 + \beta^2 - \left(\frac{U_{II}}{U_m} \right)^2 \left(\beta + \frac{1}{\beta} \right)^2 \operatorname{th}^2 \frac{\pi}{2} \beta} \quad (8)$$

我们把焊接变压器的外特性理解为考虑连接电缆影响的整个焊接装置的外特性, 即电流有效值 I_{CB} 对电弧电压 U_{II} 的关系。

为了推导外特性方程, 我们把方程 (2), (7) 和 (8) 代入表达式

$$I_{CB} = \sqrt{\frac{\omega}{\pi} \int_0^{\pi/\omega} i^2 dt} \quad (9)$$

变换后得到

$$\frac{I_{CB}}{I_K} = \sqrt{1 - \left(\frac{U_{II}}{U_{X,X}} \right)^2 \left[\frac{2}{\pi} \frac{(1+3\beta^2)}{\beta^3} \operatorname{th} \frac{\pi}{2} \beta - 1 - \frac{1}{\beta^2} \right] - \frac{8}{\pi\sqrt{2}} \left(\frac{U_{II}}{U_{X,X}} \right) \sqrt{\frac{\beta^2}{1+\beta^2} - \frac{1}{2}} \left(\frac{U_{II}}{U_{X,X}} \right)^2 \operatorname{th}^2 \frac{\pi}{2} \beta} \quad (10)$$

此处变压器空载电压 $U_{X,X}$ 和短路电流 I_K 等于:

$$U_{x,x} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad I_K = \frac{U_{x,x}}{Z_K} \quad (11)$$

单参数关系(10)便于以相对单位表达。对于参变数 β 的不同值按方程(10)计算的外特性曲线族,绘在图3上。

当参变数 β 的数值如同实际中常见的那样较小时,公式(10)可以利用展开式的头三项

$$\operatorname{th} \frac{\pi}{2} \beta = \frac{\pi}{2} \beta - \frac{\pi^3}{24} \beta^3 + \frac{\pi^5}{240} \beta^5 - \dots$$

加以简化。略去高阶无穷小各项,得到简化方程

$$\frac{I_{CB}}{I_K} = \sqrt{1 - \left(\frac{U_{II}}{U_{x,x}}\right)^2 \left[2 - \frac{\pi^2}{12} + \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{32}{15} \pi^2 - 1 \right) \beta^2 \right] - \frac{8\beta}{\pi \sqrt{2}} \left(\frac{U_{II}}{U_{x,x}}\right) \sqrt{1 - \frac{\pi^2}{8} \left(\frac{U_{II}}{U_{x,x}}\right)^2 \left(1 - \frac{\pi^2}{6} \beta^2\right)}}, \quad (12)$$

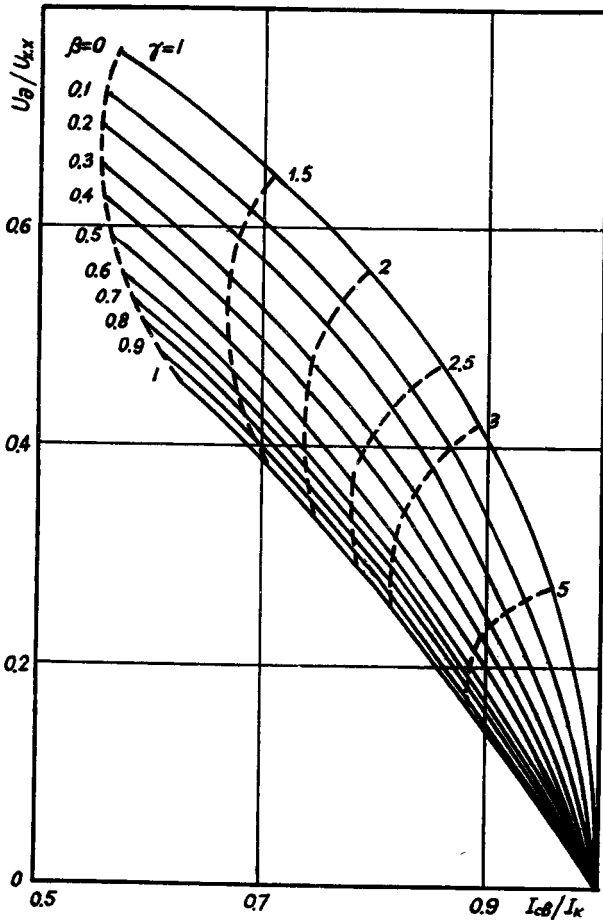


图3. 焊接变压器以相对单位表示的通用外特性曲线

对于 β 值 ≤ 0.1 是正确的。

当 $\beta = 0$ 时,公式(12)变为理想变压器的外特性表达式^[2]

$$\frac{I_{CB}}{I_K} = \sqrt{1 - \left(\frac{U_{II}}{U_{x,x}}\right)^2 \left(2 - \frac{\pi^2}{12}\right)} \quad (13)$$

所推导出的方程与曲线仅当连续燃弧过程时是正确的。为了保证连续燃弧,必须使焊接电流经过零值的时刻电源电压等于或大于引弧电压 U_3 。引入符号 $\gamma = U_3/U_{II}$,对于极限情况写作

$$\sin \varphi = \gamma \frac{U_{II}}{U_m} \quad (14)$$

另外,方程(5)和(6)对于 $\sin \varphi$ 的共解给出如下表达式:

$$\sin \varphi = \frac{M - \beta N}{1 + \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{1 + \beta^2} -$$

$$-\left(\frac{U_{II}}{U_m}\right)^2 \frac{1}{2\beta^2} \operatorname{th}^2 \frac{\pi}{2} \beta -$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{U_{II}}{U_m} \operatorname{th} \frac{\pi}{2} \beta \quad (15)$$

用等式(14)从方程(15)中消去

$\sin\varphi$, 以 $\sqrt{2} U_{x,x}$ 代 U_m , 得到保证连续燃弧条件的极限曲线, 从而使得出的外特性真正有效,

$$\frac{U_{\Pi}}{U_{x,x}} = \sqrt{\frac{2}{(1+\beta^2) \left[\left(r + t h \frac{\pi}{2} \beta \right)^2 + \frac{1}{\beta^2} t h^2 \frac{\pi}{2} \beta \right]}} \quad (16)$$

这些曲线对于不同 γ 值用虚线绘于图 3 上。

通过曲线 (图 3) 可以得到任一电源 (实际上从未遇到过 $\beta > 1$ 的电源) 的实际外特性。此时不必对每一具体设备以试验方法绘下外特性曲线。必须记住, 越出 $\gamma=1$ 虚线外的外特性曲线延长线仅具物理意义。

考虑焊接回路欧姆电阻 R 的影响来确定短路点附近外特性曲线斜率是重要的。为此, 用方程 (10), 我们求出 $U_{\Pi} = 0$ 时的导数 dI_{CB}/dU_{Π}

$$\left. \frac{dI_{CB}}{dU_{\Pi}} \right|_{U_{\Pi}=0} = -\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{R}{Z_K^2} \quad (17)$$

它表征低电弧电压时电流的稳定程度。 $U_{\Pi}/U_{x,x}$ 较大 (0.5 及以上) 时电流的稳定程度只取决于 Z_K 。在这一区域内以相对单位表示的所有曲线斜率实际上是相同的, 由图 3 曲线可知,

$$\frac{dI_{CB}}{dU_{\Pi}} \approx -\frac{1}{Z_K} \quad (18)$$

通用外特性 (图 3) 可以建立一系列的派生曲线, 简化实际计算。利用等式

$$\frac{I_{CB}R}{U_{x,x}} = \frac{I_{CB}}{I_K} \frac{\beta}{\sqrt{1+\beta^2}}$$

将曲线 (图 3) 所有各点的横坐标乘以系数 $\frac{\beta}{\sqrt{1+\beta^2}}$, 对于每一点取相应的 β 值。

结果我们得到在新的坐标轴 $\frac{U_{\Pi}}{U_{x,x}}$

和 $\frac{I_{CB}R}{U_{x,x}}$ 上的变换曲线族 (图 4)。用图 4, 在已知 U_{Π} , I_{CB} , $U_{x,x}$, R 和 γ 各值时可以容易地确定燃弧过程是否具有连续性。曲线 $\gamma = \text{常数}$ 是界限, 在给定 γ 的曲线前电弧连续

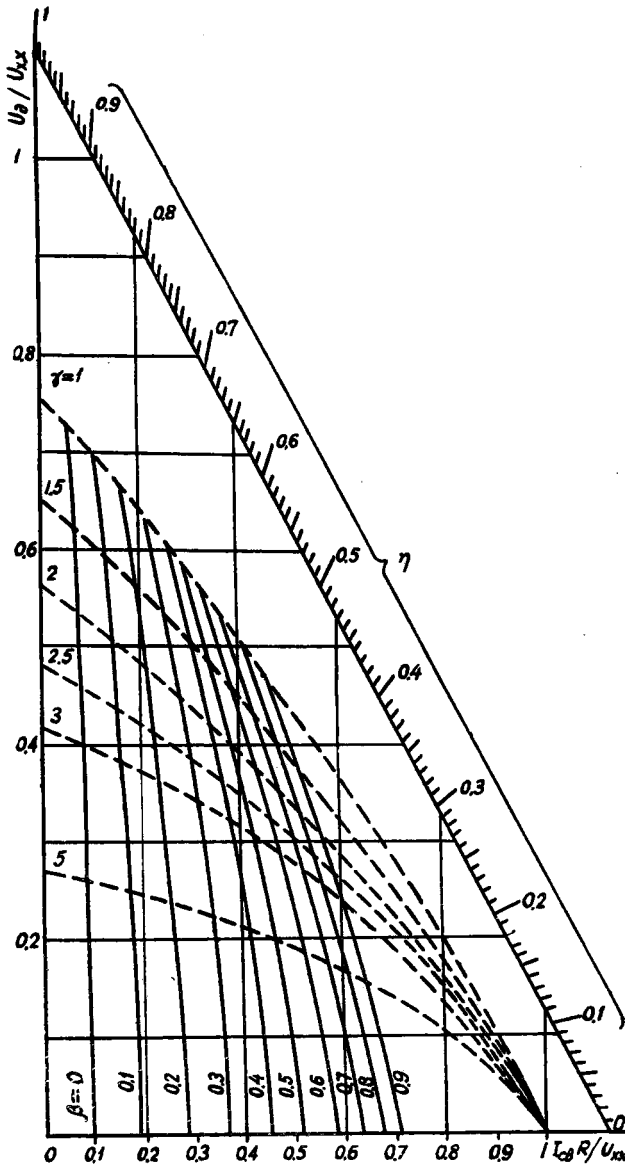


图 4. 确定效率和连续燃弧区域的曲线

燃烧。如果坐标为 $U_{\text{д}}/U_{\text{x,x}}$ 和 $I_{\text{св}}R/U_{\text{x,x}}$ 的点位于由坐标轴和该 $\gamma = \text{常数}$ 曲线限定的区域内，那么，电弧的燃烧是连续的，这样的焊接规范是许可的。如该点位于上述区域之外，则不允许采用这种焊接规范，因为在任何 $X_{\text{к}}$ 值的情况下电弧将断续燃烧。为了保证正常规范，此时必须提高 $U_{\text{x,x}}$ ，或者减小 γ 和 R 。利用图 4 可以准确地计算这些数值。

所得出的通用曲线可以用来确定焊接回路的效率

$$\eta = \frac{U_{\text{д}} I_{\text{св}}}{U_{\text{д}} I_{\text{св}} + R I_{\text{св}}^2} = \frac{1}{1 + \frac{I_{\text{св}} R}{U_{\text{x,x}}} \cdot \frac{U_{\text{x,x}}}{U_{\text{д}}}} \quad (19)$$

效率仅仅取决于以相对单位表示的图表（图 4）中该点两坐标之比。因此，所有在经过坐标原点的同一直线上的各点正好与同一效率的焊接规范相应。用这种性质可以容易地确定焊接回路的效率，只须将直尺放在图表上使其边缘通过原点和所取的点，效率值就在倾斜的等分刻度（图 4）上。

为了确定焊接变压器应有的 $X_{\text{к}}$ 最大值和最小值以保证给定的电流调节倍数，可以方便地利用画在 $I_{\text{св}}R/U_{\text{x,x}}$ 和 β 坐标上不同 $U_{\text{д}}/U_{\text{x,x}}$ 值的调整曲线族（图 5）来决定。当 β 值 > 0.02 时必须应用这一图表。

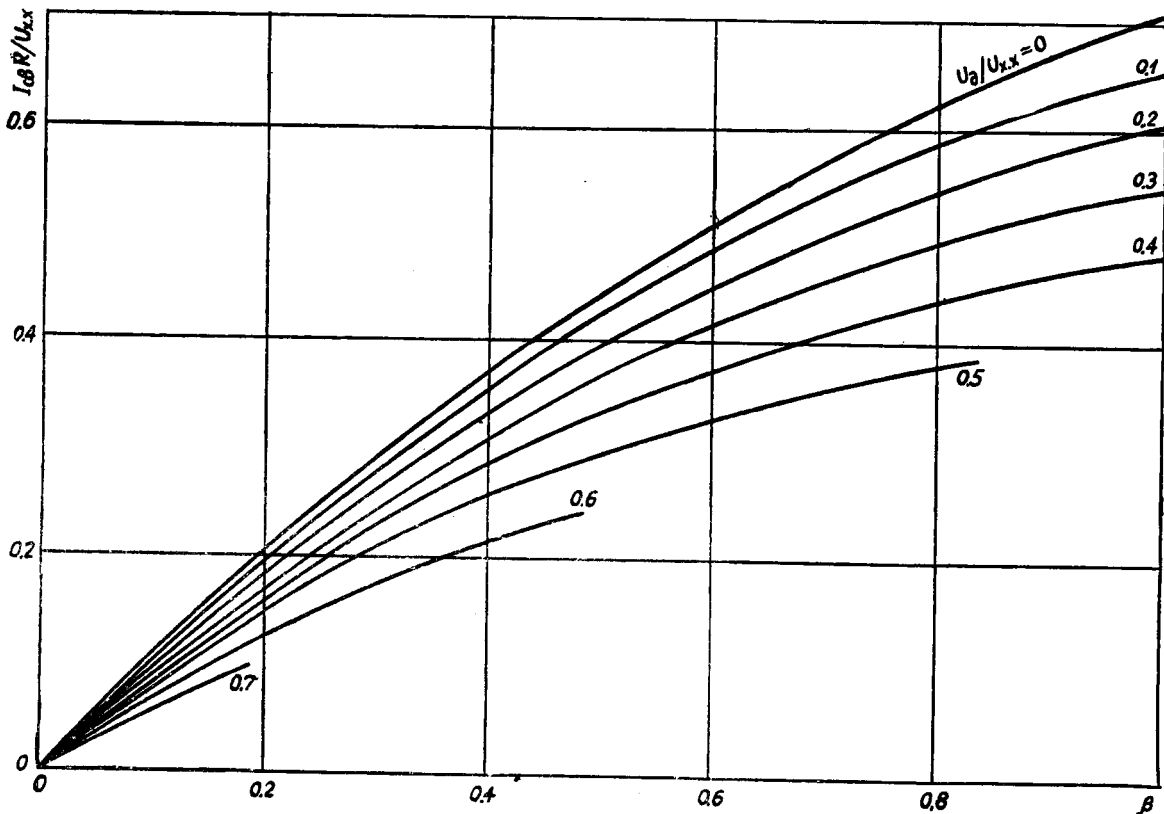


图5. 通用调整曲线

已知给定的 $U_{\text{Д}}$, $I_{\text{СВ min}}$, $I_{\text{СВ max}}$, $U_{\text{X,X}}$, R 和 γ , 求出 $U_{\text{Д}}/U_{\text{X,X}}$, $I_{\text{СВ min}} R/U_{\text{X,X}}$, $I_{\text{СВ max}} R/U_{\text{X,X}}$, 并按图 4 确定电流 $I_{\text{СВ max}}$ 时所取规范是否能实现连续燃弧。如能满足连续燃弧的要求, 则按倾斜刻度求出回路的效率。然后在图表 (图 5) 的纵坐标轴上划出 $I_{\text{СВ min}} R/U_{\text{X,X}}$ 和 $I_{\text{СВ max}} R/U_{\text{X,X}}$ 之值, 过此两点引水平直线与相应于给定 $U_{\text{Д}}/U_{\text{X,X}}$ 值的曲线相交, 确定 β 和 β_{max} , 此后变压器漏泄阻抗变化范围按下式计算:

$$X_{\text{K min}} = \frac{R}{\beta_{\text{max}}}, \quad X_{\text{K max}} = \frac{R}{\beta_{\text{min}}} \quad (20)$$

$\beta < 0.02$ 时, X_{K} 值可按直接由式 (13) 得出的下式求得,

$$X_{\text{K}} = \frac{U_{\text{X,X}}}{I_{\text{СВ}}} \sqrt{1 - \left(\frac{U_{\text{Д}}}{U_{\text{X,X}}}\right)^2 \left(2 - \frac{\pi^2}{12}\right) - \left(\frac{I_{\text{СВ}} R}{U_{\text{X,X}}}\right)^2} \quad (21)$$

如果图表曲线具有足够的密度, 也可直接用图 4 确定 β_{max} 和 β_{min} 。

示例。 确定保证焊接变压器电流调节从 $I_{\text{СВ max}}=1000$ 安到 $I_{\text{СВ min}}=250$ 安所需要的 $X_{\text{K min}}$ 和 $X_{\text{K max}}$ 之值, 焊接电路参数如下: $U_{\text{X,X}}=75$ 伏, 电流 250 安时 $U_{\text{Д min}}=30$ 伏, 电流 1000 安时 $U_{\text{Д max}}=45$ 伏, $R=0.015$ 欧姆, $\gamma=1$ 。

求出计算值 $U_{\text{Д min}}/U_{\text{X,X}}=0.4$, $U_{\text{Д max}}/U_{\text{X,X}}=0.6$, $I_{\text{СВ max}} R/U_{\text{X,X}}=0.2$, $I_{\text{СВ min}} R/U_{\text{X,X}}=0.05$ 。按图 4 确定, 纵坐标 0.6、横坐标 0.2 的点位于由 $\gamma=1$ 曲线和坐标轴限定的区域内。

连续燃弧的条件得到满足。由图表找出焊接回路的效率: 电流 1000 安时 $\eta=0.75$, 电流 250 安时 $\eta=0.89$ 。

然后, 利用图 5 确定 $\beta_{\text{min}}=0.06$, $\beta_{\text{max}}=0.355$, 由此按公式 (20) 得到 $X_{\text{K max}}=0.042$ 欧姆, $X_{\text{K min}}=0.25$ 欧姆。

同样的参数, 用通常的方法假设电弧以有效电阻代替来计算, 得出的数值要高 7%, 即 $X_{\text{K min}}=0.045$ 欧姆, $X_{\text{K max}}=0.267$ 欧姆。

参 考 文 献

1. Б. Е. Патон, В. К. Лебедев, Электроборудование для дуговой и шлаковой сварки, «Машиностроение», М., 1966.

2. И. Я. Рабинович, Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги, Машгиз, М., 1958.

译自《Автоматическая сварка》

1970, №.2, Стр.20-24.

电弧焊用磁化变压器结构及计算基础

М.И.Закс, Ш.И.Липидус
(苏联电焊设备科学研究所)

本文研究了磁化变压器的结构并给出了有关其计算的建议。

以磁分路磁化来调节的变压器(ТРПШ)^[1-3]近年来在调节装置,稳压及稳流装置中得到应用。ТРПШ由于其高度的可靠性、紧凑性、以及简化在焊接过程中按程序设计遥调焊接电流的可能性,极宜作为自动弧焊的专用电源。

ТРПШ的工作原理已在参考文献中作过说明。但是,现行的方法和建议并不能完全适用于用作弧焊电源的ТРПШ。

作为弧焊电源的ТРПШ的工作特点及计算我们以变压器实例(图1)来加以研究。ТРПШ的磁路由两个Π形铁心组成,一个铁心垂直地插入另一铁心^[2]。内铁心就是磁分路Ш,以控制绕组 W_1 中的直流电使之磁化。变压器工作绕组对称地布置在外磁路Г的两个柱上。

为了获得经济合理的铁心与绕组的重量比,每一铁心柱的次级绕组由两部分串联组成——主绕组 w_{20} 和辅助绕组 $w_{2П}$ 。两个柱上对应绕组的线圈接成并联或串联。

变压器主铁心与磁分路之间的气隙位于控制磁力线之外,故不成为磁阻。

磁化变压器应特别注意焊接电流曲线的形状。用饱和电抗器调节电流时,和在ТРПШ中,通常得到与正弦曲线不同的电流曲线。利用理想磁放大器^[4]原理,可以确定电流开始进入每半周的相角 $\alpha = \arccos\left(\frac{2U_{\Delta}}{U_{x,x}} - 1\right)$ 。由此等式得出,在整个调节范围内负载电流曲线形状强烈地畸变,因为比值 $U_{x,x}/U_{\Delta}$ 在2—5范围内。

这种结构的焊接电流曲线由于存在气隙,其畸变减轻了。为了保证电流为正弦曲线形状,或较正弦曲线更快经过零值,在变压器中部分截止控制绕组电流的偶次谐波。为此采用增加控制绕组感抗的漏磁叠片П。

图2简略示出带绕组的磁化变压器的磁系统。

我们将初级绕组和辅助绕组所有参数化为变压器次级绕组。以后我们把绕组的有效电阻、变压器主磁路中的损失和磁化功率,以及次级辅助绕组和次级绕组间的漏磁均忽略不计。计及上述假说,变压器总漏磁通等于

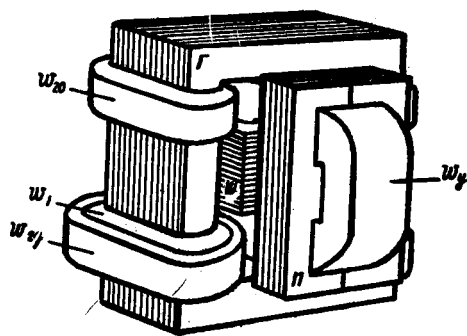


图1. 磁化调节焊接变压器