

触头振动的计算方法

郑晓芳

(电气工程系)

摘 要 介绍和讨论了用数值计算方法计算触头的振动过程^[1]。

关键词 数值计算; 振动; 触头

分类号 TM 5

0 引 言

电器设计的传统方法, 通常是根据设计要求(触头数量、压力、反力弹簧、额定电压、吸合电压等参数) 以及工作气隙磁通, 电磁吸力, 线圈温升等几个基本方程进行初步的设计, 确定磁系统的初步尺寸, 然后再验算线圈温升与吸力特性, 看它们是否符合规定要求与特性配合是否良好^[1]。若不能满足要求, 则应修改有关尺寸, 再进行验算^[1]。

随着电子技术与计算机应用的发展, 国外逐渐开展了电器的计算机辅助设计^[1]。国内在80年代初也逐渐开展了电器 CAD 的研究^[1]。由于采用了计算机, 大大提高了运算速度与效率, 同时也为电器产品的优化设计及可靠性设计创造了条件^[1]。

触头振动是影响电器可靠性的一个重要因素^[1]。因此, 有触点电器产品的触头振动分析、计算, 对产品的可靠性设计有着重要的意义^[1]。

1 触头振动分析

触头振动是有触点电器中普遍存在的一种现象, 触头振动时接触电阻呈周期性变化, 它影响到触头的磨损及电器的寿命^[1]。严重的甚至分离产生电弧, 使触头熔焊和烧损^[1]。由此可见振动直接影响到触头工作的可靠性^[1]。

引起触头振动的原因很多, 但其中最主要的, 在各种电器中也都会遇到的就是在衔铁的吸合过程中动、静触头相撞时, 所产生的振动^[1]。下面以直动式触头系统为例, 分析此种振动的物理过程^[1]。

如图1所示, 静触头固定, 动触头上装有弹簧, 驱动装置的力直接作用在支板上^[1]。设动触头以 v_1 速度向静触头方向运动, 当触头发生碰撞后触头表面开始逐步变形(压扁), 如图1(a)所示^[1]。动触头具有的动能除一部分消耗在接触表面的磨擦和介质阻尼外, 大部分转变为触

头表面材料的变形能,当触头表面达到最大变形 x_d 时,相应地变形位能亦达到最大,动触头的动能变为零,运动停止^[3]以后触头变形开始恢复,将能量放出,动触头立刻以最大的速度 v_{20} 开始向相反的方向跳开,如图1(b)所示^[3]动触头在反跳运动期间,一方面使触头弹簧压缩将动能储存于弹簧之中,另一方面驱动装置继续推动触头支板,当动触头反跳的力与弹簧被压缩的伸张力相等时,动触头便停止反方向的

运动,此时动触头反跳所经过的距离达到最大为 x_m ,如图1(c)所示^[3]以后动触头在弹簧张力的作用下,又开始向静触头方向运动而闭合,于是又发生第二次碰撞和反跳^[3]由于触头每一次的碰撞和反跳都要消耗一部分能量,同时触头弹簧压缩,使触头反跳距离一次比一次减小^[3]当弹簧加在动触头上的压力开始超过反跳力时,动触头便不再反跳,振动过程到此结束,若用时间以及弹开的距离来表示振动过程,则可得到如图2所示曲线^[3]由图2可看出,若振动的最大振幅 x_m 大于触头的最大变形距离 x_d (即 $x_m > x_d$) 时,动、静触头间就会产生周期性的接触和分离^[3]当两触头分离时,在两触头间产生金属桥和电弧,造成触头磨损,甚至使两触头熔焊,无法正常工作^[3]当 $x_m < x_d$ 时,动、静触头在整个振动过程中,保持接触而不分离^[3]这种振动为无危险振动^[3]因此,准确的计算振动曲线,对验证产品的可靠性及产品的设计均有极大的帮助^[3]

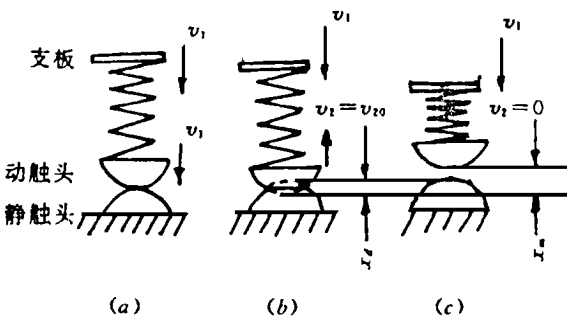


图1 触头振动物理过程图解

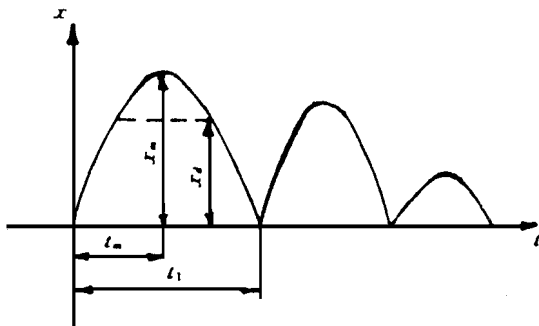


图2 动触头弹开距离 x 与时间的关系曲线

2 分析计算

根据能量平衡关系来分析计算最大弹开距离 x_m 及对应的时间^[3]直动式触头系统动、静触头刚发生碰撞及动触头弹开时的示意图如图3所示^[3]设从动、静触头发生碰撞瞬间起,经过 t 时间后触头弹开距离为 x ,并认为在此时间 t 内触头支架继续以速度 v_0 向下运动,触头支架下移的距离为 $v_0 t$,所以经时间 t 后触头弹簧的压缩量为 $S_0 + v_0 t + x$ ^[3]

其中 v_0 —— 碰撞瞬间触头支架运动速度 (m/s)

S_0 —— 触头弹簧的初压缩量 (m)

因此,在时间 t 内触头弹簧的位能变化为

$$W_s = \frac{c}{2} (S_0 + v_0 t + x)^2 - \frac{c}{2} S_0^2. \quad (1)$$

中国知网 <https://www.cnki.net>
其中 C —— 触头弹簧刚度 (N/m)

在时间 t 内动触头动能消耗为

$$\text{耗}W_d = (1 - k) \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2} \quad (2)$$

其中 m —— 触头系统运动部分的质量 (kg) ;

k —— 碰撞损耗系数⁽¹³⁾

在时间 t 内触头支架对触头弹簧所作的功为

$$\begin{aligned} \text{耗}W_s &= \int_0^t Fv_0 dt = \int_0^t C(S_0 + v_0 t + \\ &\quad x)v_0 dt \\ &= CS_0 v_0 t + \frac{C}{2} v_0^2 t^2 + \\ &\quad C v_0 \int_0^t x dt. \end{aligned} \quad (3)$$

根据能量平衡关系,可列出

$$\text{耗}W_s = \text{耗}W_d + \text{耗}W \quad (4)$$

将式(1)、(2)、(3)代入式(4),并整理可得

$$(1 - k) \frac{mv_0^2}{2} = CS_0 x + \frac{C}{2} x^2 + C v_0 x t - C v_0 \int_0^t x dt + \frac{m}{2} v^2. \quad (5)$$

由式(5)即可解出动触头的最大弹开距离 x_m 、弹开 x_m 所需的时间 t_m 及触头第一次弹开的总弹开时间 t_l ⁽¹³⁾

对于式(5)采用计算机计算的方法如下:将初始值 $t=0, x=0, v=v_{20}$ 代入式(5)可得

$$v_{20} = \frac{1}{1 - kv_0} \quad (6)$$

选择定值 耗 作步长,设在 耗 内动触头的位移为 耗_i ,由下列递推公式求出经过 耗 后的 t_i, x_i 和 v_i 值

$$\left. \begin{aligned} t_i &= t_{i-1} + \text{耗}, \\ x_i &= x_{i-1} + \text{耗}_i, \\ v_i &= 2 \frac{\text{耗}_i}{\text{耗}} - v_{i-1}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

将 t_i, x_i 和 v_i 值代入式(5),看其是否满足方程⁽¹³⁾设方程左侧为 A ,右侧为 B ,判断 t_i, x_i 和 v_i 值能否满足式(5)的条件为

$$\left| \frac{A - B}{A} \right| < \varepsilon \quad (8)$$

式中 ε 是给定的允许精确度,若满足式(8),则所设的 耗_i 值正确,否则按下式调整 耗_i 值

$$\text{耗}_i \begin{cases} 1.03 \text{耗}_i & (\text{当 } A > B \text{ 时}) \\ 0.98 \text{耗}_i & (\text{当 } A < B \text{ 时}) \end{cases} \quad (9)$$

由式(7)重新计算 x_i 及 v_i 值,代入式(8)进行考察,如此反复直到满足式(8)为止,这时的 t_i, x_i 和 v_i 即为满足方程的解⁽¹³⁾

这样按上述计算过程由 t, x 和 v 的第 i 次解可计算第 $i+1$ 次解,如此逐次递推下去,每递推一步均需用以下关系式考察动触头的速度是否已降到零⁽¹³⁾

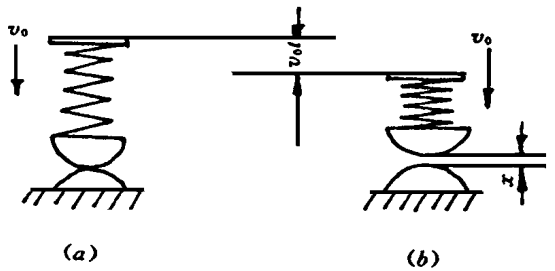


图3 直动式触头系统的振动

(a) 动、静触头刚发生碰撞

(b) 动触头弹开

$$\left| \frac{v_i}{v_0} \right| < \varepsilon \text{ 或 } v_i < 0 \quad (10)$$

若满足式(10),则可认为 v_i 降至零,此时的 x_i 值即为动触头的最大弹开距离 x_m ,此时的 t_i 值即为弹开 x_m 所需的时间 t_m (13)再继续逐次递推下去,每递推一步均需用以下关系式考察动触头的弹开距离是否已降为零(13)

$$\left| \frac{x_i}{x_m} \right| < \varepsilon' \text{ 或 } x_i < 0 \quad (11)$$

若满足式(11),则可认为 x_i 降至零,此时的 t_i 值即为动触头第一次弹开的总时间 t_1 ,动触头的弹回时间 $t'_m = t_1 - t_m$.

对于式(5)中的定积分 $\int x dt$,采用梯形公式按下式计算

$$\theta = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{i-1} + x_i}{2} \right) \Delta t,$$

其中 n —循环次数 i 的值(13)

3 计算程序框图

利用前面介绍的计算方法,可编制计算程序,程序框图如图4所示(13)

4 结束语

在传统的开关设计中,由于精确的计算触头弹跳过程比较复杂,为了尽量减少触头的弹跳都尽量采取减轻动触头运动部分的质量,以及适当降低闭合速度或采用文献[1]中所提到的公式

$$x_m = \frac{S_0^2 + (1-K) \frac{mv_0^2}{C} - S_0^2}{1 + \frac{2}{1-k}}$$

进行估算,但计算误差较大,而且极不方便(13)采取本文的计算方法,可通过输入不同的初始参数,得出不同的振动曲线,可方便的从计算参数中确定电器产品的最佳设计参数,由此给设计者带来极大的方便(13)

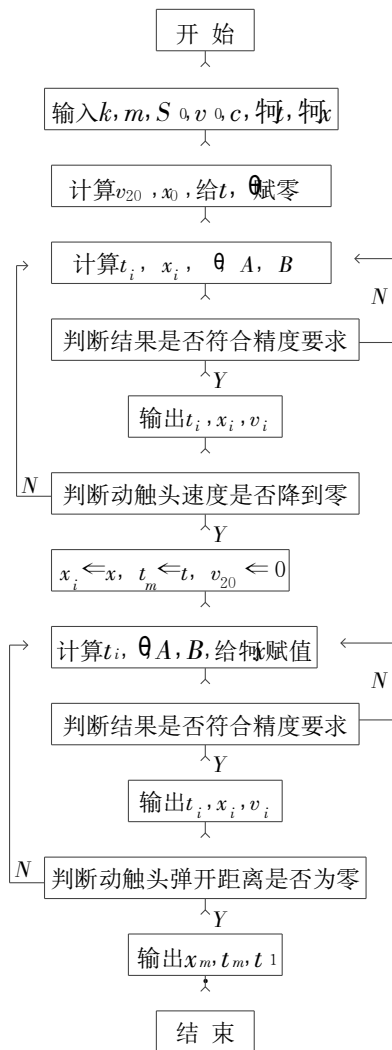


图4 计算程序框图

参 考 文 献

- 1 张冠生 19 电器理论基础 19 北京:机械工业出版社, 1989
- 2 刘韵云 19 机车电器原理 19 北京:中国铁道出版社, 1988
- 3 刘德贵等 19 FORTRAN 算法汇编 19 北京:国防工业出版社, 1983

Numerical Method for Vibration of Contactor

Zheng Xiaofang

(Electrical Engineering Department)

Abstract A computational principle and a numerical method for the vibration of contactor by numerical computation are discussed in this paper.

Key words numerical computation; vibration; contactor

(上接第27页)

The Research and Application for Auto-Indication of tolerances for Form and Proportion

Yang Keren

(Mechanical Engineering Department)

Abstract AUTOCAD is a common software especially widely used in mechanical drawing. However, it has no commanding order for the indication of tolerances for form and proportion and its indication is very complicated. This paper introduces an auto-indication system. Which is programmed by AUTOLISP language.

Key words tolerances for form and proportion; indication