

继电器时间参数测试线路的探讨

许昌继电器研究所 韩天行

继电器时间参数的测试方法中规定：采用突然改变激励量，突然改变激励量在继电器工作电路中将会出现过渡过程。如果测试线路选择不恰当，会使测试结果失去真实性。这一点必须引起我们的重视。为此对时间参数的测试线路需进一步的探讨，以减少由于测试线路而引起的附加误差。

1. 突然改变激励量在继电器工作回路中的过渡过程：

继电器的工作部分——线圈，可以认为是由电阻和电感二个集中参数所组成。在稳定工作状态时，对于工作在直流电路中的继电器，限制激励回路的电流是线圈的电阻，对于工作在交流电路中的继电器，限制激励回路电流是线圈的电感。但是在突然改变激励量时，限制激励回路电流就不一样了，则线圈的电阻和电感都要限制激励回路的电流，要出现过渡过程。

根据电工学的知识，将继电器工作回路所出现的过渡过程分析如下：

(1) 接通直流电源所出现的过渡过程：

设在 $t = 0$ 瞬间接通直流电源。电路图如图 1 所示：

根据克希霍夫第二定律，列出电路的性能方程：

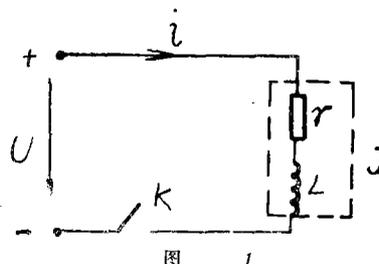


图 1

$$L \frac{di}{dt} + ri = U \quad \dots\dots (1)$$

(1) 式是一次微分方程，当 r 、 L 都为常数时，它的特征方程是：

$$L\alpha + r = 0 \quad \dots\dots (2)$$

$$\text{则 } \alpha = -\frac{r}{L} \quad \dots\dots (3)$$

一次微分方程的通解是：

$$i = i' + i'' \quad \dots\dots (4)$$

$$(4) \text{ 式中: } i' = \frac{U}{r}$$

$$i'' = Ae^{-\alpha t}$$

从 (4) 式可以知道，在突然闭合直流电源时，电路中的电流由二个分量所组成。

其一为暂态分量，即 $i'' = Ae^{-t/\tau}$ ，它的大小随时间按指数函数变化。另一为稳态分量，即 $i' = \frac{U}{r}$ 。它的大小不随时间的变化而变化。

暂态分量中的常数 A ，应由电路中初始条件来决定。

根据初始条件，当 $t = 0$ ， $i(0) = 0$

可求得： $A = -\frac{U}{r}$ (5)

将 $A = -\frac{U}{r}$ 代入 (4) 式可得出：

$$\begin{aligned} i &= i' + i'' \\ &= \frac{U}{r} - \frac{U}{r} e^{-t/\tau} \\ &= \frac{U}{r} (1 - e^{-t/\tau}) \end{aligned} \quad \text{..... (6)}$$

令 $\tau = \frac{L}{r}$ ，则 $i = \frac{U}{r} (1 - e^{-t/\tau})$ (7)

其电流变化的规律如图 2 所示。

由图 (2) 电流变化的曲线可以得出如下的规律：

1) 电路中，线圈电流由零开始按指数函数曲线逐渐增大至稳定值。

2) $\tau = \frac{L}{r}$ 称为电路的时间常数，它的大小表示电流增大的快慢。 τ 越大，电流增长越快。

3) 从理论上讲，电流达到稳定值的时间是无限长，但实际上认为经过 4τ 或 5τ 的时间后，可认为电流进入稳定值状态。

实际上，当对机电式继电器施加一定的激励量后，继电器的衔铁部分要运动，使衔铁的开距逐渐减少，而电感量随着衔铁的运动而不断增大，因而在线圈中所出现的过渡过程更为复杂。继电器在突然施加激励量时，线圈中电流的动态特性如图 3 所示。

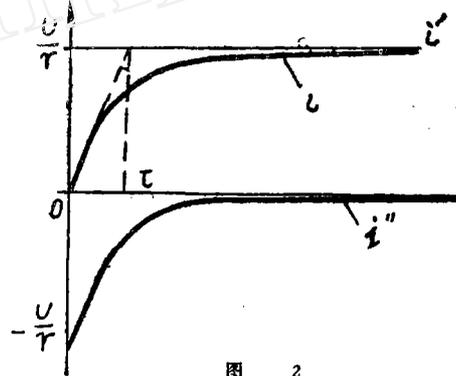


图 2

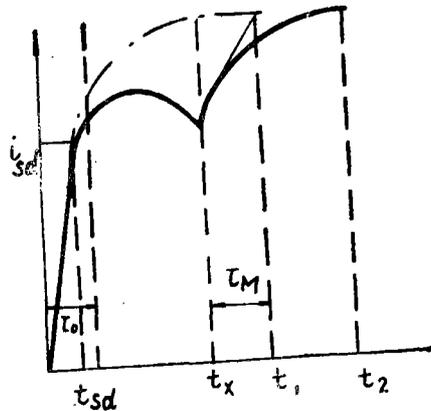


图 3，继电器动作时的动态特性

t_1 —为电感不变的動作时间

t_2 —电感变化的動作时间

$t_2 > t_1$

图3中电流变化的过程可以分为三个阶段,第一阶段是从 $t=0$ 开始,到衔铁刚开始运动时为止。在这段时间内,由于衔铁未运动,而线圈的电感为 L_0 ,并保持不变。电流按 $i = \frac{U}{r}(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}})$ 的规律上升。其中 $\tau_0 = \frac{L_0}{r}$ 。电流上升到 i_{sd} 时,在线圈中产生的电磁吸力 F_{sd} 等于继电器的反作用力 F_r 。电流再增大时,衔铁就要开始运动。第二阶段就是从 $i = i_{sd}$ 时开始,到衔铁完全闭合时止。在这段时间内,由于衔铁的运动,使线圈中的电感由小开始增大,到衔铁完全闭合时,其电感量为最大即 L_M 。由于电感变化,在线圈中产生的感应电动势 e 不仅是由电流变化而产生的,因为 $e = -\frac{d(Li)}{dt}$,所以感应电动势应由电流变化产生的感应电动势 $e_1 = -L \frac{\partial i}{\partial t}$,和由电感变化产生的感应电动势 $e_2 = -i \frac{\partial L}{\partial t}$ 二部分组成。

即: $e = e_L + e_2$

$$= -\left(L \frac{\partial i}{\partial t} + i \frac{\partial L}{\partial t}\right) \dots\dots\dots (8)$$

根据电磁感应定律知道,感应电动势产生的感应电流总是企图阻止电流的变化。所以当电流增大时,产生的感应电流的方向和原来电流方向相反。由于感应电动势由以上二部分所组成,因此感应电流增长速度比电流增长速度快,所以使线圈电流的增长速度开始减慢,并在电流上升到某值后,开始下降。直到衔铁完全闭合为止。

当衔铁完全闭合到触点完成预定的功能为第三阶段。在第三阶段中,线圈电感不再变化,电感量保持为 L_M ,线圈中电流按 $i = \frac{U}{r}(1 - e^{-\frac{t}{\tau_M}})$ 上升。其中 $\tau_M = \frac{L_M}{r}$ 。

从继电器的动态特性可以看出继电器的动作时间,与线圈的时间常数有关,时间常数越大动作时间越长,对于其它的时间参数也有同样的影响。

(2) 接通正弦交流电路的过渡过程:

在 $t=0$ 时,接通 $U = U_m \sin(\omega t + \psi)$ 电路,如图4所示。

电路的性能方程为:

$$L \frac{di}{dt} + ri = U_m \sin(\omega t + \psi) \dots\dots\dots (9)$$

其微分方程的通解仍为 $i = i' + i''$

其中 $i' = \frac{U_m}{z} \sin(\omega t + \psi - \varphi)$

$$= I_m \sin(\omega t + \psi - \varphi)$$

$$i'' = Ae^{-at} = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$z = \sqrt{r^2 + (\omega L)^2}$$

$$\varphi = \text{arctg} \frac{\omega L}{r}$$

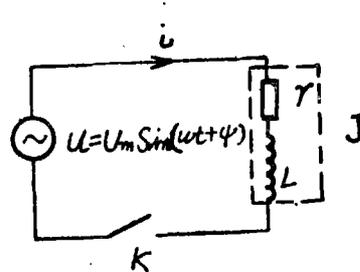


图 4

$$\begin{aligned} \therefore i &= i' + i'' \\ &= I_m \sin(\omega t + \psi - \varphi) + A e^{-\frac{t}{\tau}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (10)$$

常数A由初始条件所决定。

$$\text{当 } i = 0 \quad i(0) = 0$$

$$\therefore A = -I_m \sin(\psi - \varphi)$$

代入(10)可得:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi - \varphi) - I_m \sin(\psi - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

从(9)式可知:线圈中电流是在稳态分量*i'*上迭加一暂态分量*i''*。所以使得线圈中的电流在某些瞬间的电流值要超过稳态电流的幅值。线圈的时间常数τ决定暂态分量*i''*的衰减速度。τ越大,衰减越慢。而暂态分量的大小,由 $-I_m \sin(\psi - \varphi)$ 来决定。它与ψ有关,ψ值就是突然施加激励量的瞬间。

①当 $\psi = \varphi$ 或 $\psi = \varphi \pm \pi$ 。接通瞬间,稳态分量为零,所以瞬态分量也为零。即无暂态分量。

②当 $\psi = \varphi \pm \frac{\pi}{2}$, 接通瞬间,由于稳态分量处于幅值,因而暂态分量也处于幅值,当 $\psi = \varphi + \frac{\pi}{2}$ 时为最严重,因为总电流在经 $\frac{1}{2}$ 周期时,其值将接近二倍幅值,当时间常数越大,越接近二倍幅值。

电流变化的曲线见图5。

实际上,交流继电器在衔铁运动过程中,电感也是变化的。其动态特性更为复杂,影响因素和直流继电器相类似。但是直流继电器的时间常数影响动作时间的长短,时间常数越大,动作时间越长。交流

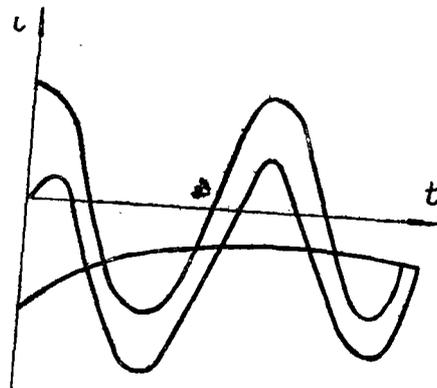


图 5

继电器首先是决定于暂态分量的初始值,而时间常数的大小影响暂态量的衰减快慢,时间常数越大,衰减越慢,相对而言,动作时间就短。

2. 对直流继电器时间参数测试线路选择的探讨:

(1) 电流型继电器。

电流型继电器在测试动作值时,往往在测试电路中串接电阻来改变测试电路的电流大小,这种方法不宜测量时间参数。电流型继电器一般来说线圈的电阻较小。在测试电路中串接电阻,使线圈中的时间常数变动很大,而串入的电阻越大,时间常数越小,动作时间越短。对于同一台继电器,随着测试电路电压等级不一样,要得到同一电流所需串入的电阻值是不同的,电源电压等级高的测试电路串入的电阻大,时间常数小,动作时间短。反之,电源电压等级低串入电阻小,时间常数大,动作时间长。这样同一台继

电器的时间常数随着测试线路的不同,就得到不同的时间参数。为了不使继电器时间参数不失去真实性,要求时间参数的测试电路不许用电阻来调整电流值,同时还希望电源的内阻越小越好。电流的调整可以用更改电源电压的大小来实现。

(2) 电压型继电器。

电压型继电器一般都采用分压法来调整电压。对于电压型继电器由于线圈本身的电阻比较大,所以采用分压法尽管有部分电阻接入继电器的工作回路,但对于时间常数的改变的影响不大。但值得注意的是:由于分压电阻接入测试电路前后,将引起电压的波动,对时间参数测试也有影响。所以要求电压型继电器尽量避免使用分压法来测试时间参数。

3. 交流继电器时间参数测试方法的探讨。

对于交流继电器时间参数测试中,除了和直流继电器一样外,由于测试线路所用的试验设备如电阻和调压器,使测试电路的时间参数改变,突然施加激励量时,要影响暂态分量的衰减速度,使其测试的时间参数会因测试线路中使用的试验设备不同而不同。采取的措施是应避免使用电阻调电流或者调压器调电压。

但是更主要的是,突然施加激励量的瞬间的不同,其暂态分量不同,测量的时间参数不同,离散性很大。在以往的试制方法规定以十次的时间参数平均值作为时间参数,这是不科学的。目前许多厂、所都试制成功了相位合闸器。可以通过相位合闸器来控制合闸的瞬间。使其暂态分量大小一致。在测量时间参数时,可以在暂态分量为零和最大的二种情况下进行,当暂态分量为零所测得的时间参数为继电器所固有的时间参数。而暂态分量为最大时的时间参数为继电器的最长的时间参数。

测试线路方框图如图 6 所示。

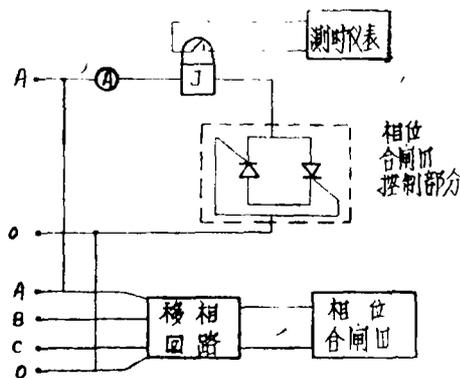


图 6 交流电流型继电器时间参数测试线路

综上所述,测试线路的选定是关系着时间参数测量的准确性的关键,所以必须予以重视。以上主要是针对时间参数在 $40ms$ 以下的继电器,对于定延时和反延时继电器测试线路的影响相对而言比较小,可以不考虑。