

感性绕组直流电阻快速测试仪的研制

徐洪权¹, 薛丰进²

(1. 江苏华电扬州发电有限公司, 江苏 扬州 225007; 2. 扬州大学 信息工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要:提出了一种动态测量感性绕组直流电阻的新方法,该方法通过采样被测绕组充电过程中电压、电流信号,借助于 V/V 、 I/V 转换、自动程控放大器 A_1 、 A_2 、采样保持器 S/H 、多路切换开关 MPX 、模数转换器 A/D 、单片机等器件,实现了快速测量感性绕组直流电阻的目的。该法对测试电路电源、外串电阻要求不高且不需要预先测量被测绕组的电感量,一次即可完成直流电阻的测量。直流电阻表达式中,不含微分项,简化了要求,从而易实现,易编程,有较高的精度。组成的测量装置表明方法是可行的。

关键词:感性绕组;直流电阻;动态测量

中图分类号:TM934.1

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2009)01-0046-03

电力系统中经常要对变压器、发电机、大型电动机、电抗器等绕组进行直流电阻测量,因这些绕组电感量大,电阻小,时间常数都较大,测量绕组电阻时,充电电流要经过一个暂态过程才能达到稳定值,一般要几分钟,甚至几十分钟,如何快速测量绕组的直流电阻已成了研究的课题。有人对传统的静态法进行了改进,采用变阻快充法、增压快充法等等,虽然这些能缩短了充电电流达稳态的时间,但充电时间仍较长,且提高了直流电源的电压和容量。最近有关文献介绍用动态法,但其过程要经两次测量,预先要测量绕组的电感量,且直流电阻的表达式中含有微分项。针对这些问题,作者在传统的静态法与现有动态法的基础上,研究出了一种动态测量绕组直流电阻新方法,只需一次测量即可快速、准确得到电阻值,计算简单明了。组成的测量装置表明方法可行、实用^[1-2]。

1 大电感绕组直流电阻的测量原理

1.1 动态测量方法^[3]

动态测量方法,即通过采样绕组线圈充电过程中的电压、电流数据来测算电阻参数值的方法。其接线原理见图1,当 $K1$ 闭合电路开始充电,满足下面两个方程:

$$u(t) = Ri(t) + L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

$$i(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2)$$

式中 $R = R_0 + r$, $\tau = L/R$, R_0 为外串电阻, L 是绕组电感, r 是待测绕组的直流电阻。测量时取 t_1 、 t_2 、 t_3 时刻采样绕组的电压和电流,则分别为: $i(t_1)$ 、 $u(t_1)$, $i(t_2)$ 、 $u(t_2)$, $i(t_3)$ 、 $u(t_3)$, 其中 $t_2 = t_1 + \Delta t$, $t_3 = t_1 + 2\Delta t$, Δt 为相邻两采样点的时间间隔,将上面 t_1 、 t_2 时刻的采样值分别代入式(1),得两个方程,联立求解得:

$$r = \frac{u(t_1) \left. \frac{di}{dt} \right|_{t_2} - u(t_2) \left. \frac{di}{dt} \right|_{t_1}}{i(t_1) \left. \frac{di}{dt} \right|_{t_2} - i(t_2) \left. \frac{di}{dt} \right|_{t_1}} \quad (3)$$

式(3)即为待测绕组 r 的动态理论表达式。

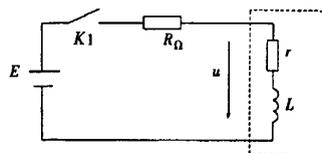


图1 动态测量接线原理图

Fig. 1 Dynamic measurement wiring schematics

1.2 动态算法推导

因式(3)含有微分项,不能直接将采样值代

收稿日期:2008-12-19

作者简介:徐洪权(1966-),男,江苏阜宁人,工程师,主要研究方向为电力系统自动化。

入计算绕组电阻 r , 必需消除微分项。消除微分项需经如下变换, 给式(2)求导数:

$$i'(t) = \frac{di}{dt} = \frac{E}{L}e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4)$$

则 t_1, t_2 时刻点的导数为:

$$\left. \frac{di}{dt} \right|_{t_1} = \frac{E}{L}e^{-\frac{t_1}{\tau}} \quad (5)$$

$$\left. \frac{di}{dt} \right|_{t_2} = \frac{E}{L}e^{-\frac{t_2}{\tau}} = \frac{E}{L}e^{-\frac{t_1+\Delta t}{\tau}} = \frac{E}{L}e^{-\frac{t_1}{\tau}} \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} \quad (6)$$

将式(5)、式(6)代入式(3)整理得:

$$r = \frac{u(t_1) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} - u(t_2)}{i(t_1) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} - i(t_2)} \quad (7)$$

式(7)进一步化简, 去掉 $e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}$ 项。将 $t = t_1, t = t_2 = t_1 + \Delta t, t = t_3 = t_1 + 2\Delta t$ 分别代入式(2):

由 $i(t_1) = \frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}})$ 解得:

$$e^{-\frac{t_1}{\tau}} = \frac{E - Ri(t_1)}{E} \quad (8)$$

由 $i(t_2) = \frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t_1+\Delta t}{\tau}}) =$

$$\frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}} \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}) \quad (9)$$

将式(8)代入式(9)化简得:

$$e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} = \frac{E - Ri(t_2)}{E - Ri(t_1)} \quad (10)$$

由 $i(t_3) = \frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t_1+2\Delta t}{\tau}}) =$

$$\frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}} \cdot e^{-\frac{2\Delta t}{\tau}}) \quad (11)$$

将式(8)、式(10)代入式(11)化简得:

$$R = E \cdot \frac{2i(t_2) - i(t_1) - i(t_3)}{i(t_2)^2 - i(t_1)i(t_3)} \quad (12)$$

将式(12)代入式(10)化简得:

$$e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} = \frac{i(t_3) - i(t_2)}{i(t_2) - i(t_1)} \quad (13)$$

再将式(13)代入式(7)并化简得:

$$r = \frac{u(t_1)[i(t_3) - i(t_2)] - u(t_2)[i(t_2) - i(t_1)]}{i(t_1)[i(t_3) - i(t_2)] - i(t_2)[i(t_2) - i(t_1)]}$$

至此直流电阻动态表达式公式推导完毕, 等式右边所有项都是已知项(采样值), 并消去了微分项。

1.3 误差分析^[4]

由直流电阻公式求出的 r 精度主要取决于各

点 i, u 的采样值, 只要采样值精确(包括 A/D 转换), 则 r 的计算结果不引入任何误差。即使采样值有一定的绝对误差, 只要 i 与 u 的相对误差相等(或接近相等), r 的计算结果也没有误差, 这是因为直流电阻公式分子、分母误差正巧能约掉。这就保证了 r 有较高的精度。

2 测量仪器的硬件构成

测量仪器的原理如图 2。测量仪主要有直流电源 E , 外串电阻 R_0 , 单片机测量仪等 3 部分组成。直流电源 E 的输入电源可以是交流也可以

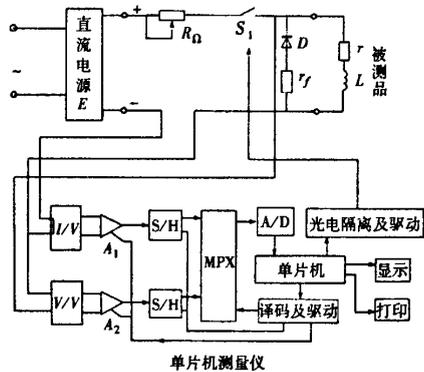


图 2 测量仪器的构成

Fig. 2 The composition of measuring instruments

是直流, 输出电压连续可调。外串电阻 R_0 选用 1 ~ 4.7 k Ω 的可调电位器。测量电路的稳态电流为 $I_\infty = E/(R_0 + r)$, 由于绕组的直流电阻一般都很小, $R_0 \gg r$, 则 $I_\infty \approx E/R_0$, 若取 R_0, E 为定值, 则 I_∞ 就为定值。这就保证了不论试品的参数如何, 其充电回路电流曲线都是相同的, 测量仪后面的试品就好象同一个试品一样。因此, 设计测量仪时, 只需找出一套最优设计。测量仪部分首先由模拟输入通道将直流电压及电流信号分别经 V/V 及 I/V 转换, 然后经自动程控放大器 A_1, A_2 和采样保持器 S/H 及多路切换开关 MPX 后分时与模数转换器 A/D 接通, A/D 在单片机的控制下, 将各路模拟转换量转换为数字量存储。一次测量可连续取若干个采样点, 设 $n (n \geq 3)$ 点, 利用单片机快速运算的特点, 应用上面推导的直流电阻公式计算出 $(n-2)$ 个 r 值, 再由 $r_p = \sum_{i=1}^{n-2} r_i / (n-2)$ 完成直流电阻的计算。S1 为控制测量开关, 由单片机自动控制。测量仪发出 S1 命令后, 经 $(n-1) \Delta t$

时间即可完成直流电阻的测量, Δt 值理论上可以取得很小, 但不宜过小, 否则得到的采样值变化不大, 给数据处理带来不便。为了保证采样值在 Δt 内有较大的变化, 由 $i'(t)$ 可知, 在 $t=0$ 时最大, 即 $i(t)$ 指数曲线在 $t=0$ 时变化率最大。因此, 采样范围在 $0 \sim 0.5 \tau$ 之间比较适宜。当测量完毕, S1 断开时, 二极管与电阻 r_f 自动为被试电感电流提供一个旁路, 以免 S1 断开时电感绕组产生很高的电压, 危设备及人身安全。因此, 这个支路是非常重要的。

3 结论

a. 直流电阻公式中, 不含微分项, 因而不需要

预先测量绕组电感量, 一次即可完成直流电阻的测量。

b. 对测量电路的电源、外串电阻没有特殊的要求, 给测试人员带来方便。

c. 有较高的精度。测量仪采用最优测量设计, 保证不同试品能得到同样好的测量精度。

d. 测量速度快。采样范围在 $0 \sim 0.5 \tau$ 之间。

e. 基于上述原理研制的测量仪, 具有测量手段简单, 测量速度快, 通用性强, 轻巧便携优点, 具有较大的使用价值。

参考文献:

- [1] 马春排, 张源斌. 大型电力变压器绕组直流电阻“三点法”测试研究[J]. 西安交通大学学报, 2002, 36(4): 410-412.
- [2] 梁志瑞. 基于同一化方法的绕组直流电阻测量方法[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(10): 42-44.
- [3] 李维波. 大型电力设备直流电阻智能化测试仪的研制[J]. 计量与测试技术, 2001, 28(5): 22-23.
- [4] 王亮. 电力变压器直流电阻测试方法和特点[J]. 河北电力技术, 2001, 20(5): 28-30.

Development of Rapid Inductive Coils of the Directcurrent Resistances Measurement

XU Hong-quan, XUE Feng-jin

- (1. Yangzhou Power Company of China Huadian Coporation, Jiangsu Yangzhou 225007, China)
- (2. School of Information Technology, Yangzhou University Jiangsu Yangzhou 225009, China)

Abstract: This paper put forward a new way of dynamic measurement system of the directcurrent resistances of inductive coils. That is, by means of, conversion, automatic program controlled amplifier, sampling holder S/H, Multi-Way Switching Device MPX, analog-to-digital converter A/D, MCU and other parts, the charging voltage and current signal of tested coils were measured. A rapid measurement of the directcurrent resistances of inductive coils was realized. DC resistance measurement can be completed one-time, when it does not present a high demand about power supply circuit, and inductance value measured preliminarily. There is no differential term in the directcurrent resistances expression, it can simplify the requirements, it has the advantages of easily realize, program and with high precision. The result showed that the measuring device is feasible.

Keywords: Inductive coils; direct resistance; dynamic measurement

(责任编辑:沈建新;校对:张英健)