

双线圈继电器线圈互感效应导致的可靠性问题案例研究

吴义彬, 张茂松, 袁朝阳

(洪都无线电厂, 江西 南昌 330003)

摘要: 针对继电保护与电力自动化设备现场实际使用中, 双线圈小型出口中间继电器所出现的典型问题案例, 从分析双线圈继电器线圈互感效应与消弧回路优化方案选择入手, 以实验测量验证为依据, 系统地比较分析、研究了双线圈继电器的线圈两端不接消弧回路、并联电阻二极管消弧回路、并联电阻电容消弧回路等方案的优缺点。并提出了实际运行中相关典型可靠性故障问题的解决方案: 并联电阻与电容消弧回路(电容量可根据消弧电压与动作时间的要求择优选择)可以从根本上消除双线圈继电器因线圈互感效应导致的线圈匝间击穿、短路、发热、断线等恶性故障。

关键词: 双线圈; 继电器; 互感; 可靠性; 消弧回路

Case study of reliability induced by coil mutual inductance effect of the double-coil relay

WU Yi-bin, ZHANG Mao-song, YUAN Chao-yang

(Hongdu Radio Factory, Nanchang 330003, China)

Abstract: To the typical problem of the miniature intermediate relay of double-coil appearing in the particular application of relay protection and electric power automation equipment, this paper introduces optimizing plans of coil mutual inductance of the double-coil relay and arc-restraining circuit. It analyses and studies according to experiments the advantage and shortcoming of a number of plans, such as the both ends of the double coils not connecting the arc-restraining circuit, the both ends parallel connecting resistance and capacitance etc. It also gives a solution to the typical reliability problem in actual operation, i. e. parallel connecting the resistance and capacitance arc-restraining circuit to eliminate and capacitance arc-restraining circuit to eliminate coil short circuit, heating, breaking off, etc. due to the coil mutual inductance of the double-coil relay.

Key words: two coils; relay; mutual inductance; reliability; arc-extinguishing circuit

中图分类号: TM58 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2007)03-0077-06

0 引言

双线圈继电器在继电保护与电力自动化设备中应用广泛。主要应用于电力系统各种继电保护装置中断路器操作回路内的防跳回路、自保持回路、断路器位置信号回路以及强电中央信号回路等。该类继电器在实际使用中, 如果未采用恰当的消弧抑制电路, 则可能出现因为两线圈相互产生互感效应, 从而导致电压线圈匝间击穿、短路、发热、断线等恶性故障。

1 双线圈继电器在实际使用中的典型可靠性故障案例之一

1.1 故障电路原理

某设备采用 JHX-3F/B-048-050-2H 继电器, 实用电路如图 1 所示。现场运行时, 发现电压启动线

圈①线匝间击穿、短路、发热、断线故障概率高。

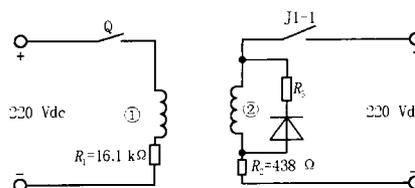


图 1 故障电路原理图

Fig.1 Fault circuit theory

1.2 理论分析

1.2.1 双线圈互感自感效应

分槽绕制的双线圈继电器的两个线圈示意图 2, 当线圈①中加激励(或去激励)的瞬间, 即线圈激励量由 0 增加至额定值(或由额定值递减至 0), 相应产生的磁通 ϕ 也随之变化, 在线圈①中产生自感应电动势的同时, 在线圈②中也产生互感应电动

势。反之，如果在线圈②中加激励(或去激励)的瞬间，同样地也会在线圈②中产生自感应电动势，在线圈①中产生互感应电动势。这就是双线圈继电器两个线圈在激励或去激励瞬变过程中必然产生的自感、互感效应。

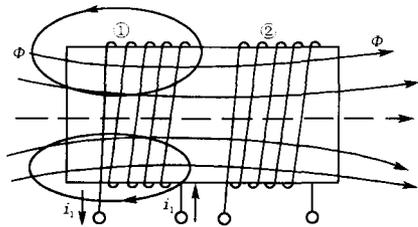


图2 两线圈互感

Fig.2 Two-coil mutual inductance

1.2.2 双线圈单稳态 B 型极化继电器

图 1 所示故障电路，属双线圈单稳态 B 型极化继电器的实用电路，一般是先给启动线圈①加激励，继电器可靠动作，接着给保持线圈②加激励，继电器维持动作状态，再去掉启动线圈①激励信号，继电器由保持线圈②维持动作状态。如去掉保持线圈②激励信号，继电器则返回初始状态。

由此可见，在给保持线圈②加激励的瞬间，启动线圈①除了本身的激励信号外，还有来自保持线圈②激励瞬间产生的互感电压。由上面的分析可知：先是给启动线圈①加 48 V 直流电压信号，继电器动作，接着给保持线圈②加 0.5 A 电流信号。这时，由互感原理可知，在启动线圈①中会产生互感电压。

$$e_{M12} = -\frac{d\psi_{12}}{dt} = -W_1 \frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L_1 \frac{di_2}{dt} \approx -L_1 \frac{\Delta i_2}{\Delta t} \quad (1)$$

式中： ψ_{12} 表示变化的电流 i_2 与 N_1 匝相交链的磁链， N_1 表示线圈①的圈数， Φ_{12} 表示与线圈①交链的磁通是由线圈②的电流 i_2 所产生的， L_1 表示线圈①的电感量。

又 JHX-3F/B-048 的线圈匝数是 9 500 匝，线径 $\phi=0.025$ mm，测量值 $L_1=1.041$ H，近似计算为 $\Delta i_2=0.5$ A， $\Delta t_2 \approx 1.0$ ms：

$$e_{M12} = -9500 \times \frac{d\Phi_{12}}{dt} = 1.041 \times 0.5 / (1.0 \times 10^{-3}) \approx -520.5 \text{ V}$$

根据法拉第电磁感应定律，向各线圈施加及截断电压时，会在另一线圈产生感应电压。感应电动势和磁通变化率与线圈的匝数成正比，与施加及截断线圈电压的变化率成正比，致使另一线圈中感应

出高达 500 多伏的瞬时电动势。由于 0.025 mm 漆包线的层间耐压标准定为 150 Vac (漆包圆绕组线第一部分：一般规定，GB6109.1-90)，故此时，给继电器反复多次激励时，绕组匝间易发生电击穿，损坏漆包线的绝缘层和金属芯线，使线圈匝间击穿、短路、发热、断线。

1.3 实测试验

1) 图 1 案例实测线路图及波形数据见图 3 与图 4、图 5 所示 (示波器为美国泰克 Tektronix TDS210 系列数字式实时示波器，P2100 10×无源探极)。

测试方法：接通水银开关 Q (没有电接触时的机械抖动)，继电器可靠动作，线圈②在加 0.5 A 激励的瞬间在线圈①中产生的互感电压，如图 4 波形所示；如断开水银开关 Q，即断开线圈②电流，在线圈①中产生的互感电压，如图 5 波形所示。

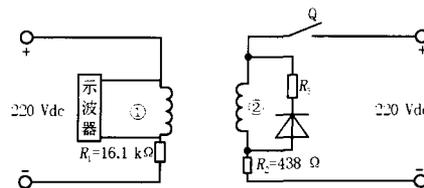
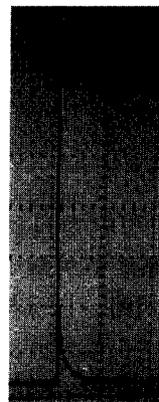


图3 测试电路图

Fig.3 Testing circuit

50.0 V/格



5.0 ms/格

图4 测试波形
Fig.4 Testing wave

50.0 V/格



5.0 ms/格

图5 测试波形
Fig.5 Testing wave

实测结果：图 4、5 表明，在线圈②激励与去激励过程中，在线圈①中产生的互感电压分别为 358 V 与 128 V。

2) 在实际使用中，有的用户在 JHX-3F/B-048-050-2H 继电器的线圈上并联电阻、二极管作为消弧

电路, 实测线路图及波形数据见图 6 与图 7、图 8 所示。测试方法: 线圈②激励与去激励的瞬间, 在线圈①中产生激励时的互感电压与去激励时的互感电压分别为图 7 和图 8 所示(示波器、无源探极同图 3)。

实测结果: 图 7、图 8 表明, 在线圈②激励与去激励过程中, 在线圈①中产生的互感电压分别为 356 V 与 2.92 V。故并联电阻、二极管回路, 只对去激励互感电压产生良好的消弧作用, 而对激励线圈②时在线圈①中产生的互感电压完全没有消弧作用。

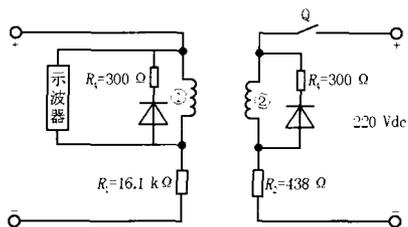


图 6 测试电路图
Fig.6 Testing circuit

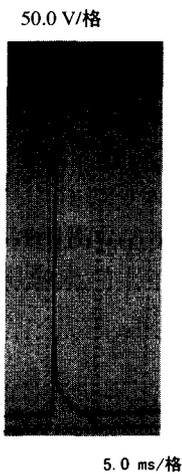


图 7 测试波形
Fig.7 Testing wave



图 8 测试波形
Fig.8 Testing wave

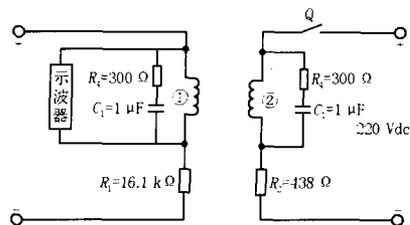


图 9 测试电路图

Fig.9 Testing circuit

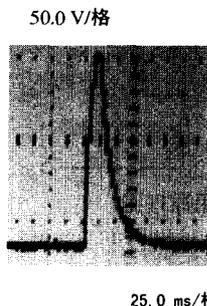


图 10 测试波形
Fig.10 Testing wave

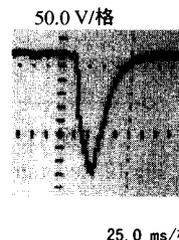


图 11 测试波形
Fig.11 Testing wave

1.4 实测试验结果

并联电阻、电容消弧回路对继电器动作和释放时间是有影响的。有鉴于此, 为了验证影响大小, 进行了动作和释放时间测试试验, 实测结果如表 1 所示。

表 1 时间测试对比

Tab.1 Time testing contrast

| 测试条件 | JHX-3F/B 启动线圈 048 | | JHX-3F/B 保持线圈 050 | |
|--------------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------|
| | 动作时间 /ms | 释放时间 /ms | 动作时间 /ms | 释放时间 /ms |
| 线圈两端未接消弧回路, 额定值激励, 如图 3 | 4.8 | 2.6 | 2.4 | 2.8 |
| 线圈两端并联电阻、二极管, 额定值激励, 如图 6 | 4.8 | 4.8 | 2.4 | 4.8 |
| 线圈两端并联电阻、电容(1 μF), 额定值激励, 如图 9 | 4.8 | 10.8 | 3.0 | 4.0 |

结果: 并联电阻、电容对继电器的动作时间的影响不大, 对继电器的释放时间有较大的影响。选择容量较小的电容, 对继电器的释放时间的影响会小一些, 可根据实际使用对消弧电压与释放时间的要求, 进行电容容量的优选工作, 决定并联多大的电容。

1.5 解决方案 (推荐)

理论分析与实测实验结果表明: 1) 在继电器的

3) 如在 JHX-3F/B-048-050-2H 继电器的线圈上并联电阻、电容作为消弧电路, 实测线路图及波形数据见图 9 与图 10、图 11 所示。测试方法: 线圈②激励与去激励的瞬间, 在线圈①中产生激励时的互感电压与去激励时的互感电压分别为图 10 和图 11 所示(示波器、无源探极同图 3)。

实测结果: 图 10、11 表明, 在线圈②激励与去激励过程中, 在线圈①中产生的互感电压分别为 11.8 V 与 9 V。从根本上解决了互感电压消弧问题。

线圈②上加激励或去激励的瞬间,在线圈①中会产生较高的互感电压;2)在继电器的线圈上并联电阻、二极管,可以较好地抑制去激励时的互感电压,但对激励时的互感电压没有抑制作用;3)在继电器的线圈上并联电阻、电容,可以很好地抑制激励与去激励时的互感电压,可显著提高线圈的实际使用可靠性。

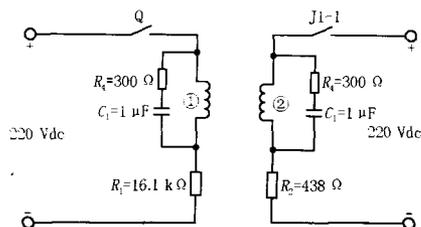


图 12 推荐使用原理图

Fig.12 Recommendation use circuit figure

建议解决方案:采用图 12 所示的线路使用双线圈继电器,可以避免线圈匝间击穿、短路、发热、断线等不可靠现象(电容的大小可根据实际情况选择)。

2 双线圈继电器在实际使用中的典型可靠性故障案例之二

2.1 故障电路原理图

某设备采用 JHX-121F/B-110-0015-2H2D 继电器,实用电路如图 13 所示。整批调试时,发现电压启动线圈匝间击穿、短路、发热、断线故障。

2.2 理论分析

如图 13 所示,先是给启动线圈③加 110 V 直流电压信号,继电器可靠动作,接着给保持线圈④加 1.5 V 电压信号。这时,在启动线圈③中产生的互感电压为

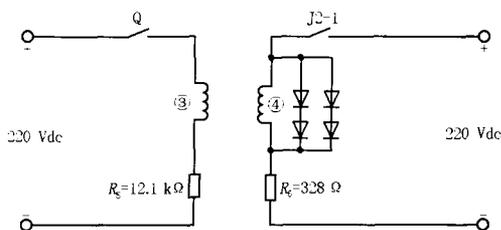


图 13 故障电路原理图

Fig.13 Fault circuit theory

$$e_{M34} = -\frac{d\psi_{34}}{dt} = -W_3 \frac{d\Phi_{34}}{dt} = -L_3 \frac{di_4}{dt} \approx -L_3 \frac{\Delta i_4}{\Delta t}$$

(2)

式中: ψ_{34} 表示变化的电流 i_4 与 W_3 匝相交链的磁链, W_3 表示线圈③的圈数, Φ_{34} 表示与线圈③交链的磁通是由线圈④的电流 i_4 所产生的, L_3 表示线圈③的电感量。

又 JHX-121F/B-110 的线圈匝数是 24 000 匝,线径 $\phi=0.03$ mm, 测量值 $L_3=9.2$ H, 近似计算为 $\Delta i_4=0.62$ A, $\Delta t_4 \approx 3.2$ ms:

$$e_{M34} = -24\ 000 \times \frac{d\Phi_{34}}{dt} \approx -9.2 \times 0.62 / (3.2 \times 10^{-3}) \approx -1\ 782.5$$

JHX-121F/B-0015 的线圈电阻 $R=2.25$ Ω, 额定电流 $I=U/R=1.5/2.25=0.667$ A, 又 JHX-121F/B-0015 的动作值为 1.05 V, 动作电流为 $I_1=U_1/R=1.05/2.25=0.467$ A。而 1.5 V 继电器线圈两端并联了整流桥, 整流桥的正向电压为 1.4 V, 可通过电流一般大于 10 A, 故整个线路的自保持电流可以为 1~6 A。这种电路在实际使用中, 1.5 V 继电器受外界较大干扰信号时有可能误动作。且电流较大时, 继电器刚动作的瞬间, 继电器线圈所通过的电流远大于 0.667 A, 由于感应电动势和磁通变化率与线圈的匝数成正比, 与施加及截断线圈电压的变化率成正比, 因此, 会在另一线圈中产生更大的感应电压。有时另一线圈中感应出高达 1 000 多伏的瞬时电动势。由于 0.03 mm 漆包线的层间耐压标准规定为 190 V_{ac} (漆包圆绕组线第一部分: 一般规定, GB6109.1-90), 故此时, 给继电器反复多次激励时, 绕组的匝间易发生电击穿, 损坏漆包线的绝缘层和金属芯线, 使线圈匝间击穿、短路、发热、断线等。

2.3 实测试验

1) 图 13 案例实测线路图及波形数据见图 14 与图 15、16 所示。测试方法: 线圈④激励与去激励的瞬间, 在线圈③中产生激励时的互感电压与去激励时的互感电压分别为图 15 和图 16 所示(示波器为美国泰克 Tektronix TDS 210 系列数字式实时示波器, HP 9258 ×100 无源探极)。

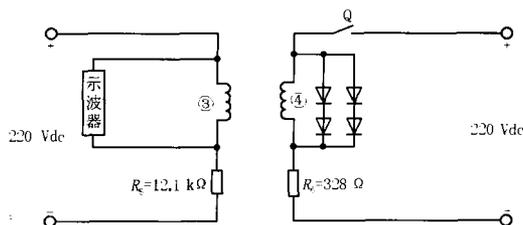
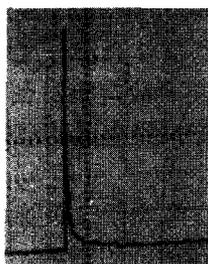


图 14 测试电路图

Fig.14 Testing circuit

200.0 V 格

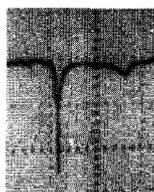


5.0 ms/格

图 15 测试波形

Fig.15 Testing wave

200.0 V 格



5.0 ms/格

图 16 测试波形

Fig.16 Testing wave

实测结果: 图 15、16 表明, 在线圈④激励与去激励过程中, 在线圈③中产生的互感电压分别为 190 V 与 488 V。

2) 在实际使用中, 有的用户在 JHX-121F/B-110-0015-2H2D 继电器的线圈上并联电阻、二极管作为消弧电路, 实测线路图及波形数据见图 17 与图 18、图 19 所示。测试方法: 线圈④激励与去激励的瞬间, 在线圈③中产生的激励时的互感电压与去激励时的互感电压分别为图 18 和图 19 所示(示波器、无源探极同图 14)。

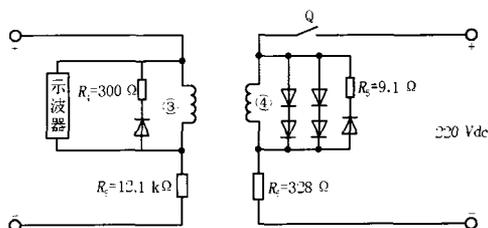
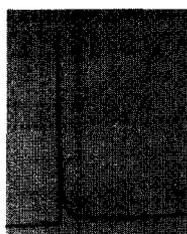


图 17 测试电路图

Fig.17 Testing circuit

200.0 V 格



5.0 ms/格

图 18 测试波形

Fig.18 Testing wave

10.0 V 格



25.0 ms/格

图 19 测试波形

Fig.19 Testing wave

实测结果: 图 18、19 表明, 在线圈④激励与去激励过程中, 在线圈③中产生的互感电压分别为

190 V 与 488 V。故并联电阻二极管回路, 只对去激励互感电压产生良好的消弧作用, 而对激励线圈②时在线圈①中产生的互感电压完全没有消弧作用。

3) 如在 JHX-121F/B-110-0015-2H2D 继电器的线圈上并联电阻、电容作为消弧电路, 实测线路图及波形数据见图 20 与图 21、22 所示。测试方法: 线圈④激励与去激励的瞬间, 在线圈③中产生激励时的互感电压、去激励时的互感电压分别为图 21 和图 22 所示(示波器、无源探极同图 3)。

实测结果: 图 21、22 表明, 在线圈④激励与去激励过程中, 在线圈③中产生的互感电压分别为 22.2 V 与 18.8 V。从根本上解决了互感电压消弧问题。

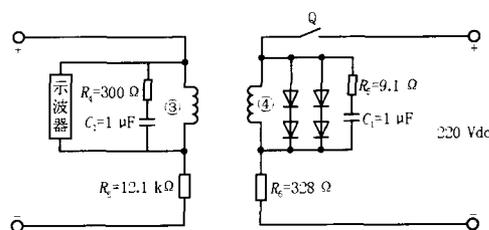
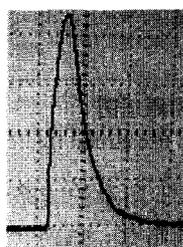


图 20 测试电路图

Fig.20 Testing circuit

5.0 V 格



25.0 ms/格

图 21 测试波形

Fig.21 Testing wave

5.0 V 格



25.0 ms/格

图 22 测试波形

Fig.22 Testing wave

2.4 实测结果

并联电阻、电容消弧回路对继电器动作和释放时间是有影响的。有鉴于此, 为了验证影响大小, 进行了动作和释放时间测试试验, 实测结果如表 2 所示。

实测结果: 并联电阻、电容对继电器的动作时间的影响不大, 对继电器的释放时间有较大的影响。选择容量较小的电容, 对继电器的释放时间的影响会小一些, 可根据实际使用对消弧电压与释放时间的要求, 进行电容容量的优选工作, 决定并联多大的电容。

表 2 时间测试对比
Tab.2 Time testing contrast

| 测试条件 | JHX-121F/B 启动线圈 110 | | JHX-121F/B 保持线圈 0015 | |
|---------------------------------------|---------------------|----------|----------------------|----------|
| | 动作时间 /ms | 释放时间 /ms | 动作时间 /ms | 释放时间 /ms |
| 线圈两端未接消弧回路, 额定值激励, 如图 14 | 12.0 | 3.6 | 12.0 | 3.6 |
| 线圈两端并联电阻、二极管, 额定值激励, 如图 17 | 12.0 | 8.0 | 12.0 | 7.0 |
| 线圈两端并联电阻、电容 (1 μ F), 额定值激励, 如图 20 | 12.0 | 22.0 | 14.0 | 6.0 |

2.5 解决方案 (推荐)

理论分析与实测实验结果表明: 1) 在继电器的线圈④上加激励或去激励的瞬间, 在线圈③中会产生很高的互感电压; 2) 在继电器的线圈上并联电阻、二极管, 可以较好地抑制线圈④去激励时的互感电压, 但对线圈④激励时的互感电压没有抑制作用; 3) 在继电器的线圈上并联电阻、电容, 可以很好地抑制激励与去激励时的互感电压, 可显著提高线圈的实际使用可靠性。

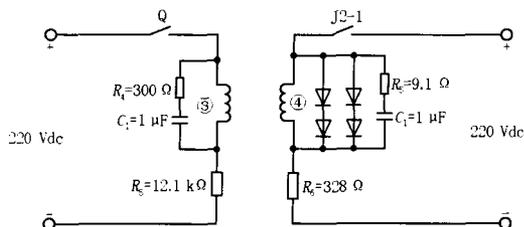


图 23 推荐使用原理图

Fig. 23 Recommendation use circuit figure

建议解决方案: 采用图 23 所示的线路使用双线圈继电器, 可以避免线圈匝间击穿、短路、发热、断线等不可靠现象。(电容的大小可根据实际情况选择)

3 典型可靠性故障案例之三

在图 23 所示电路的实际使用中, 千万不能给 1.5 V 继电器线圈④误加反向电压, 否则由于整流桥极性反了而不能给 1.5 V 继电器线圈分流, 所有电流全部通过 1.5 V 继电器线圈, 这时, 继电器线圈两端的电压可能远远大于 1.5 V, 1.5 V 继电器线圈就有可能立即烧坏。客户实际使用中已经发生过此类故障的案例。

采用 1.5 V 线圈并联二极管分流的设备在设计、调试或维修过程中, 千万不能给 1.5 V 继电器线圈误加反向电压, 否则容易烧坏线圈, 造成不可挽回的损失。

4 特别说明

采用图 12、图 23 解决方案完全符合《电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点》中对直流电压在 110 V 及以上的中间继电器的消弧回路相关要求。

表 1、表 2 分别列出了并联电阻二极管、并联电阻电容对继电器动作和释放时间的影响。

5 结束语

实际案例理论分析与实测试验结果表明: 双线圈继电器的选用, 必须妥善考虑并合理处理线圈互感效应可能产生的线圈匝间击穿、短路、发热、断线故障等后果。并联电阻与电容消弧回路(电容量可根据消弧电压与动作时间的要求择优选择)可以从根本上消除双线圈继电器因线圈互感效应导致的线圈匝间击穿、短路、发热、断线等恶性故障。这是实际使用过程中故障后果的教训与经验总结。此外, 对极化继电器激励正、反方向问题也值得客户高度重视。

参考文献

- [1] 吴义彬. 继电器用户实用手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1992.
WU Yi-bin. The Practicality Handbook of Relay User [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1992.
- [2] 中电元协控制继电器协会. 现代继电器技术 [Z]. 2001.
The Association of China Electric Element Control Relay. Modern Technology of Relay [Z]. 2001.
- [3] 谭恩鼎. 电工基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1991.
TAN En-ding. Electrician Base [M]. Beijing: Higher Education Press, 1991.
- [4] 电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点 [S].
In Reverse Fault Measure Item of Protection Equipment and Power System Stability Control Devices [S].
- [5] GB6109.1-90, 漆包圆绕组线第一部分: 一般规定 [S].
GB6109.1-90, Enamelled Round Wind Wire, Part I: General [S].

收稿日期: 2006-08-08; 修回日期: 2006-10-27

作者简介:

吴义彬(1943-), 男, 教授级高级工程师, 中国电子元件行业协会控制继电器分会理事, 享受国务院特殊津贴专家, 长期从事机电元件研究工作;

张茂松(1975-), 男, 工程师, 从事继电器设计、工艺和生产管理工作; E-mail: zhangmsong@163.com

袁朝阳(1981-), 男, 助理工程师, 从事电器及工业自动化产品的工艺设计工作。