

相灵敏接线方向阻抗元件的计算机仿真分析

重庆大学 王晓茹 米麟书

摘要

本文对一实际的LZ—21型方向阻抗元件的动态特性进行了计算机仿真研究, 所得结果经试验和理论分析验证是正确的。仿真计算表明, 含滤波器的相敏比较电路, 因受滤波器暂态特性的影响, 输出电压发生了变化, 导致方向阻抗继电器动作特性变化。

一 引言

由于相灵敏比较电路具有较高的灵敏度, 所以无论是在整流型还是晶体管式的方向阻抗继电器中, 都获得了较为广泛地应用。

一般相灵敏接线方向阻抗继电器的执行回路如图1(a)所示, 其中 \dot{U}_x 、 \dot{U}_Y 、 \dot{U}_j 分别是补偿电压、测量电压和极化电压。图1(b)是(a)的等效电路, 其中:

$$R_1 = R_2; \quad \dot{E}_1 = -\dot{U}_x + \dot{U}_Y - \dot{U}_j, \quad \dot{E}_2 = -\dot{U}_x + \dot{U}_Y + \dot{U}_j,$$

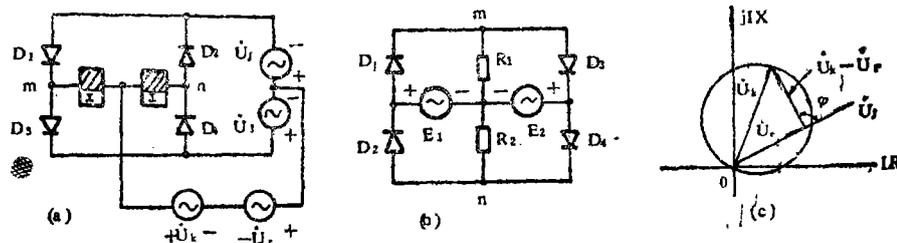


图1 由不含滤波器的相敏电路构成的方向阻抗继电器及其动作特性

置作任何改动, 简单易行, 精确度高。用户可很方便地利用身边的通用微机编制一短小程序, 在故障后很快算得准确故障地点, 进行及时的检修恢复。

实际上, 把本文的方法稍加扩充就可应用于任何一台不配有测距软件的微机故障录波仪, 作为事后故障定位用。使应用这类装置的用户, 可以在不增加任何投资的情况下, 取得良好的测距结果。

参考文献

1. “利用测量电阻分量实现高阻接地短路的准确测距法” 王绪昭等 《继电器》1988年8期
2. “Transients Program User's Manual” H·W·Dommel The University of British Columbia, Copyright 1976, Latest Revision Aug. 1, 1978.

设 $\dot{U}_1 = -\dot{U}_x + \dot{U}_y$, $\dot{U}_2 = \dot{U}_y$, 则 $\phi = \arg \dot{U}_1 \dot{U}_2^*$, U_{av} 是 U_{av} 一周内的平均值。
 对于图1(b)的相敏比较电路, 已有结论[1]、[2]: U_{av} 是倍频交流电压, 当:

$$|\phi| < 90^\circ \text{ 或 } |\dot{E}_1| > |\dot{E}_2| \text{ 时, } U_{av} > 0$$

$$|\phi| > 90^\circ \text{ 或 } |\dot{E}_1| < |\dot{E}_2| \text{ 时, } U_{av} < 0$$

$$|\phi| = 90^\circ \text{ 或 } |\dot{E}_1| = |\dot{E}_2| \text{ 时, } U_{av} = 0$$

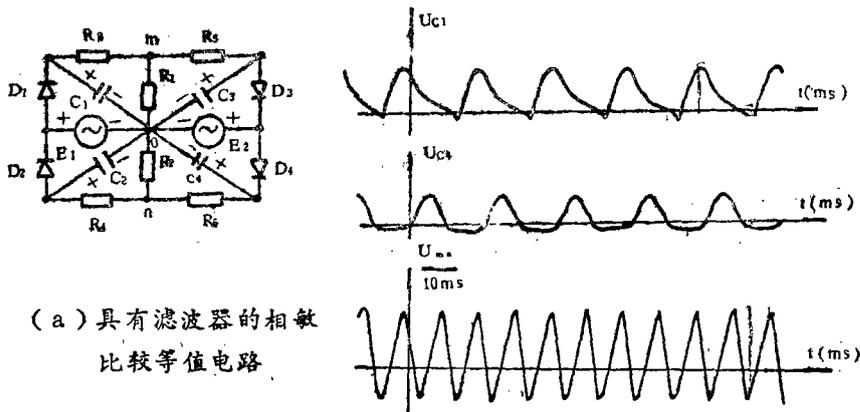
据此构成的执行回路图1(a)的动作条件是 $U_{av} \geq 0$, 它对应于:

$$|\dot{U}_x - \dot{U}_y + \dot{U}_y| \geq |\dot{U}_x - \dot{U}_y - \dot{U}_y|$$

或
$$-90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_x - \dot{U}_y}{\dot{U}_y} \leq 90^\circ$$

恰好构成了一个具有圆特性的方向阻抗继电器, 其动作特性如图1(c)所示。

工程上实用的反应于相敏电路输出电压平均值的方向阻抗继电器, 为消除倍频交流分量的不良影响, 都必须辅以良好的滤波措施。图2(a)是LZ-21型方向阻抗元件的等值电路, 是具有滤波器的相敏比较电路。至今人们对相敏电路的分析尚未涉及滤波暂态特性的影响。本文利用计算机仿真技术, 对含滤波器的相敏电路动态特性进行了较为深入的分析研究。



(a) 具有滤波器的相敏比较等值电路

(b) 实测电压 U_{c1} 、 U_{c4} 及 U_{av} 的波形

图 2

二 具有滤波器的相敏比较电路暂态特性分析

利用继电保护通用仿真程序对一实际LZ-21型方向阻抗元件的相敏电路进行数字仿真计算, 并在相同条件下进行了试验实测, 两者的波形图分别如图3及图2(b)所示。

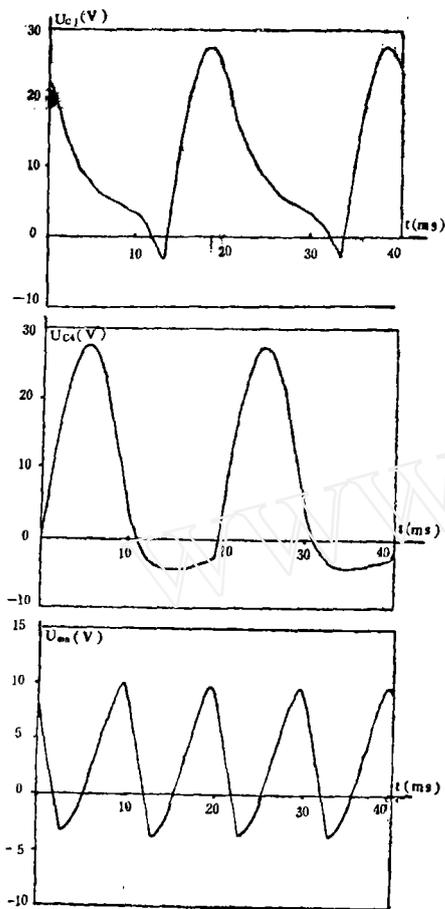


图3 图2(a)相敏比较电路的计算机仿真计算电压 \dot{U}_{c1} 、 \dot{U}_{c4} 及 \dot{U}_{m0} 的波形图

$E_1 > 0$, $E_2 > 0$, 故 D_1 、 D_4 导通, D_2 、 D_3 截止, $U_{c1} = E_1$, $U_{c4} = E_2$, U_{c1} 和 U_{c2} 分别由 E_1 和 E_2 充电, U_{m0} 与 U_{m0} 也分别由 E_1 和 E_2 激励所得, 其波形如图5中虚线所示。

由于 D_1 导通时, $U_{c1} = E_1$, 当 E_1 下降时, U_{c1} 的下降要受放电回路时间常数的限制, 如图6(c)所示。在某一时刻e点, $U_{c1} > E_1$, D_1 截止, D_4 仍处于导通状态, 因此0—a时段的波形如图5中实线所示。

比较图2(b)与图3看出:

1. 仿真计算与试验所得结果一致, 表明仿真计算是正确的;

2. 当 $|\dot{E}_1| = |\dot{E}_2|$, 但它们的相位不同时, $U_{m0} \neq 0$;

3. 在对称电路中, C_1 与 C_4 虽地位相当但二者的电压波形却不同。

因此, 滤波器导致相敏电路输出电压发生变化。结合计算和仿真计算结果, 再作如下理论分析。

图4是计算机仿真计算结果, 其中图(i)~(l)是二极管的电压波形。(a)是输入电压 \dot{E}_1 和 \dot{E}_2 的波形, 以任一电压的零值作为划分时段的分界点, 可将两波形在一周期内分成4个典型时段。当无滤波电容时, 在 \dot{E}_1 正半波期间, D_1 导通, D_2 截止; 在 \dot{E}_2 正半波期间, D_4 导通, D_3 截止, 对应的二极管状态用虚线示于图4(i)~(l)中。可见由于滤波电容的存在, 使二极管状态发生变化的时刻提前了。下面对每一时段进行理论分析, 分析波形如图5所示, 分析条件与仿真条件相同, 即图4(a)同图5(a)。

(1) 0—a时段

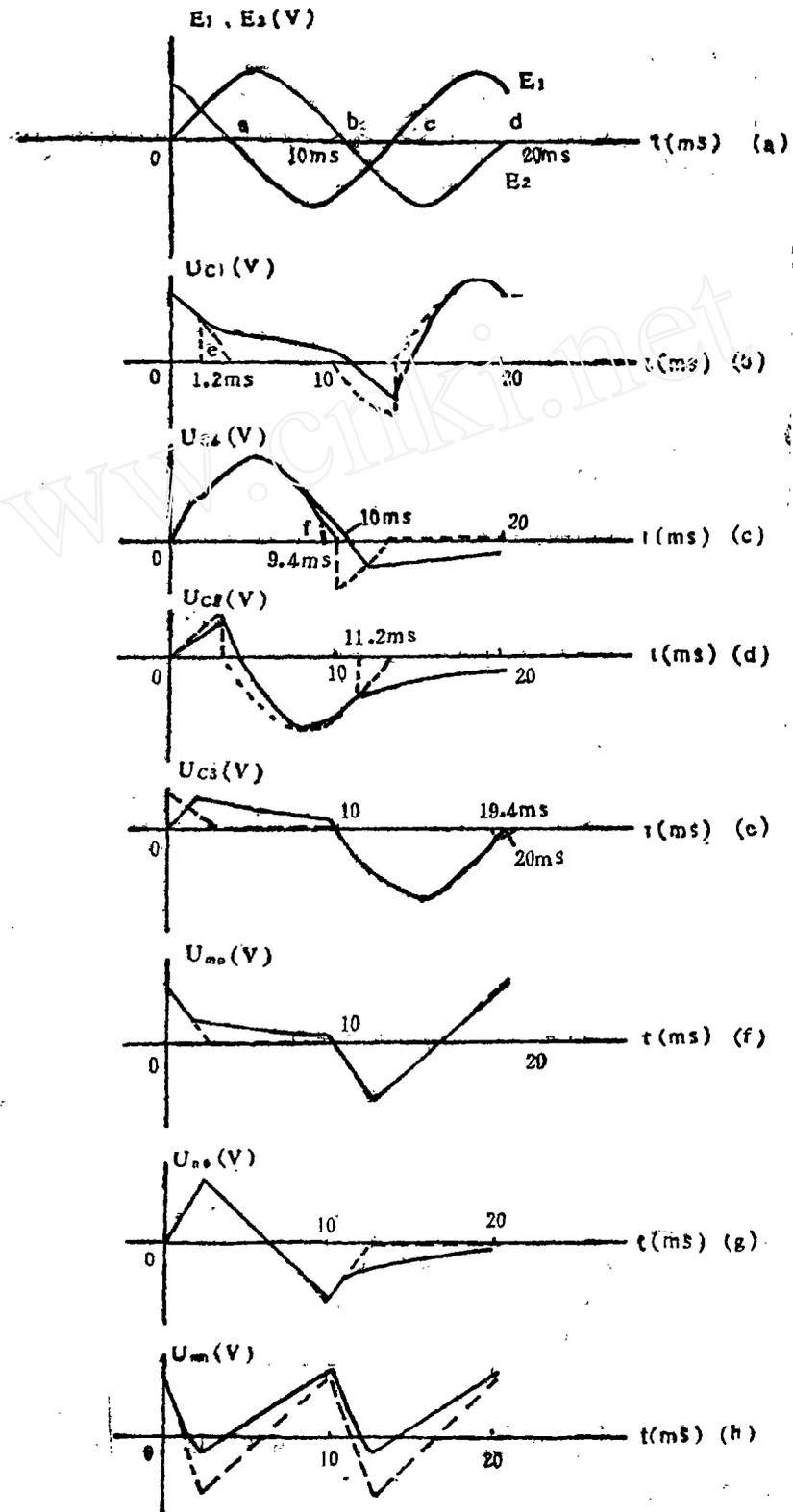
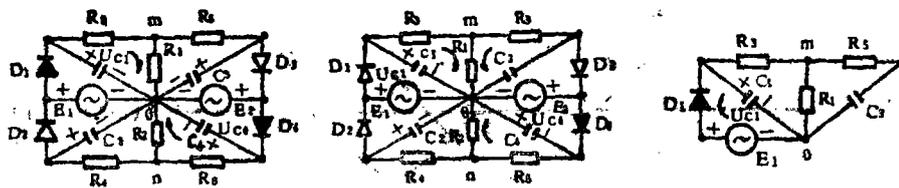


图5 理论分析所得相敏电路中滤波电容电压与输出电压的波形图



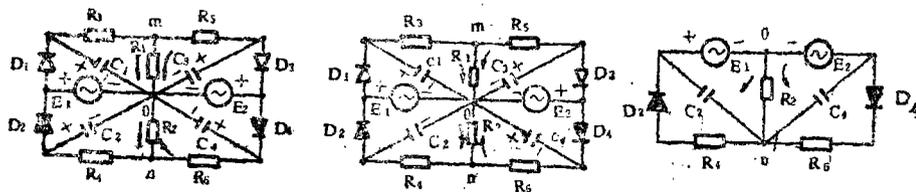
(a) D_1 、 D_4 导通，电容充电 (b) D_4 导通， C_1 、 C_3 放电， C_2 、 C_4 充电 (c) C_1 、 C_3 的充电回路

图6 0—a时段电路工况

(2) a—b时段

$E_1 < 0$ ， $E_2 > 0$ ，故 D_2 、 D_4 导通， $U_{C2} = E_1$ ， $U_{C4} = E_2$ ， C_1 、 C_3 继续放电， U_{m0} 是 C_1 和 C_3 放电电流在 R_1 上的压降， U_{m0} 是 $E_1 + E_2$ 产生的电流流过 R_2 的压降。此时 C_2 、 C_4 的充电回路如图7(c)所示。当 $U_{C1} \geq E_2$ 时，亦即f点， D_4 截止，波形如图5的实线所示，其中(c)与(g)中的虚线对应于该时段内 D_4 未截止的情况。

类似地，可对 b—c、c—d 两时段进行分析，分析波形如图5的实线所示。比较图4和图5可知，理论分析与仿真计算结果是一致的。这时， $U_{m0} \neq 0$ 。图5中虚线是不考虑二极管在滤波电容影响下的波形，此时 $U_{m0} = 0$



(a) D_2 、 D_4 导通， C_1 、 C_3 放电， C_2 、 C_4 充电， (b) D_2 导通， C_1 、 C_3 放电， C_2 、 C_4 充电， (c) C_2 、 C_4 的充电回路

图7 a—b时段电路工况

图8是 \dot{E}_1 超前 \dot{E}_2 不同角度 ϕ 时的 U_{m0} ，仿真计算结果，表明只有当 \dot{E}_1 、 \dot{E}_2 同相或反相时， U_{m0} 才等于零。

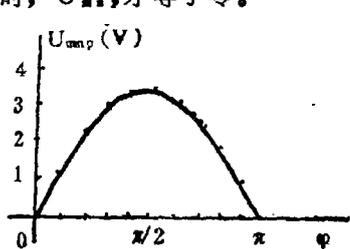


图8 $|\dot{E}_1| = |\dot{E}_2|$ ， \dot{E}_1 超前 \dot{E}_2 为 ϕ 时的 U_{m0}

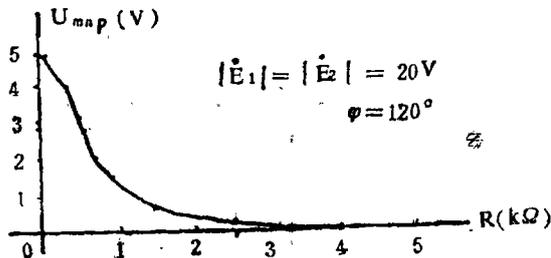


图9 U_{m0} 与滤波器电阻 R 的关系

上述分析表明,相敏电路输出电压受滤波器暂态特性的影响而发生变化,其中滤波器的时间常数是一个重要的因素。图9是 $|\dot{E}_1| = |\dot{E}_2| = 20\text{V}$, $\phi = 120^\circ$ 时, $U_{m\omega}$ 与滤波器电阻 $R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$ 的关系曲线。

图10是不同工况与不同参数时相敏电路的仿真电压波形,表明 U_{c1} 与 U_{c2} 的波形愈趋一致, $U_{m\omega}$ 值愈小。

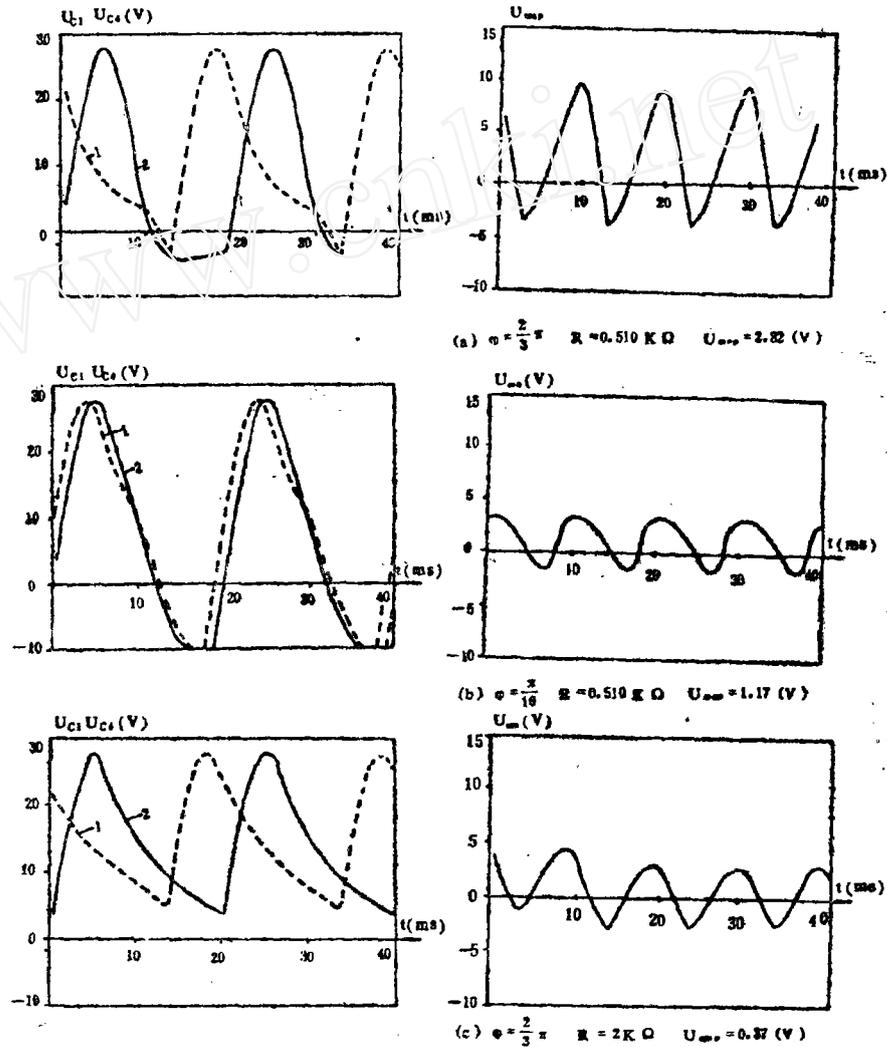
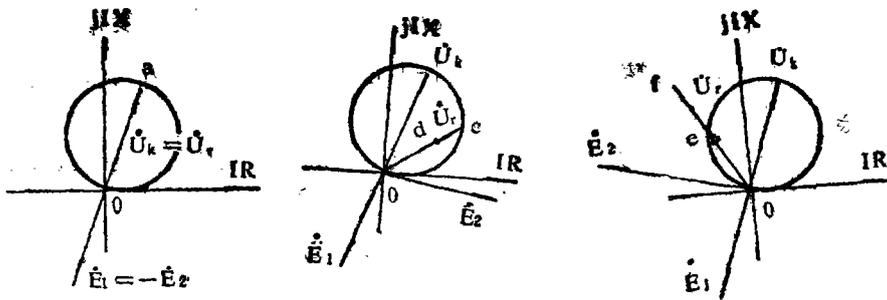


图10 不同工况和参数时相敏电路的仿真电压波形图

三 LZ—21型方向阻抗元件动作特性的计算机仿真分析

LZ—21型方向阻抗元件执行回路的等效电路如图2(a)所示。由于 $|\dot{E}_1| = |\dot{E}_2|$ 时, $U_{m\omega} \neq 0$, 其动作特性不再是图1(C), 分析如下。



(a) $\dot{U}_r = \dot{U}_k$ 或 $\dot{U}_r = 0$ (b) \dot{U}_r 滞后 \dot{U}_k (c) \dot{U}_r 超前 \dot{U}_k

图11 动作特性分析图

因为 \dot{U}_r 的作用仅是判别方向，为方便起见，设 $\dot{U}_r = \dot{U}_k$ 故 $E_1 = -\dot{U}_k +$

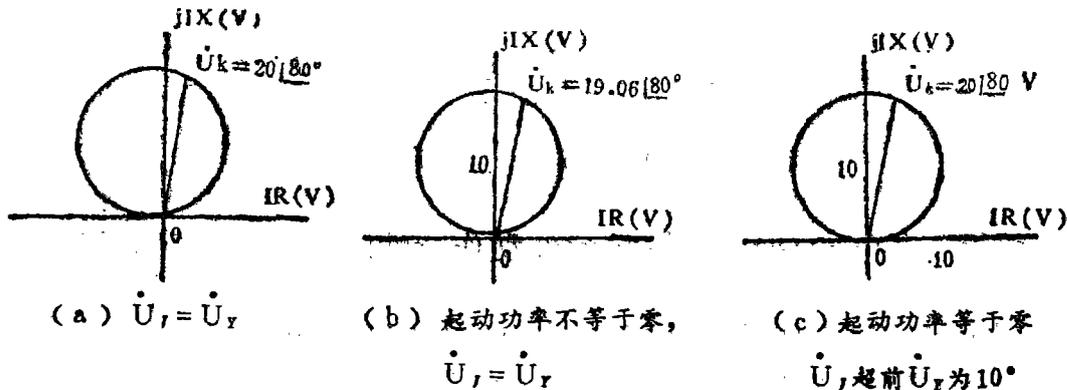
$\dot{U}_r - \dot{U}_k = -\dot{U}_k$, $E_2 = -\dot{U}_k + \dot{U}_r + \dot{U}_r = -\dot{U}_k + 2\dot{U}_r$, 如图11所示。

1. 当 $\dot{U}_r = \dot{U}_k$, 如图(a)点a, $E_1 = -E_2$, 是两幅值相等方向相反的比较量, $U_{...} = 0$, 临界点仍是a点。
2. 当 $\dot{U}_r = 0$, 如图(a)点0, $E_1 = E_2$, 是两幅值相等相位相同的比较量, $U_{...} = 0$, 临界点仍是点0。
3. 当 \dot{U}_r 滞后 \dot{U}_k , 如图(b), $|E_1| = |E_2|$, 但 E_1 滞后 E_2 , $U_{...} < 0$, 故必须减小 \dot{U}_r 值到某一点d使 $U_{...} = 0$, d点即为临界点。
4. 当 \dot{U}_r 超前 \dot{U}_k , 如图(c), 同上分析, 临界点是f。

因此, 含滤波器相敏电路构成的方向阻抗继电器的特性圆, 不再以 \dot{U}_k 为直径, 而在其左侧具有较大的动作范围, 在其右侧具有较小的动作范围。

本文用计算机仿真计算求取继电器的动作特性圆, 用大步长寻找临界动作区, 再用黄金分割法快速精确地寻找临界动作点。

LZ-21型方向阻抗元件仿真计算所得特性圆如图12所示。图(a)是 $\dot{U}_r = \dot{U}_k$ 、动作条件为 $U_{...} \geq 0$ 的情况。实际上, 执行元件总是需要一定的起动功率, 设 U_0 是起动电压, 则动作条件是 $U_{...} \geq U_0$, 实测 $U_0 = 0.684$ V, 动作特性如图13(b)所示。



实际的方向阻抗继电器, \dot{U}_k 并不与 \dot{U}_r 同相, 而是超前一小角度, 如图13所示。要满足 $(\dot{U}_k - \dot{U}_r) \pm \dot{U}$ 的动作条件, 其临界动作点是b点而不是a点, 故其动作特性圆不再对称于 \dot{U}_k , 而是向右偏移。图12(c)是 \dot{U}_k 超前 \dot{U}_r 为 10° 的仿真计算特性。

从上述分析可知, 计算机仿真计算所得结果与理论分析是一致的。

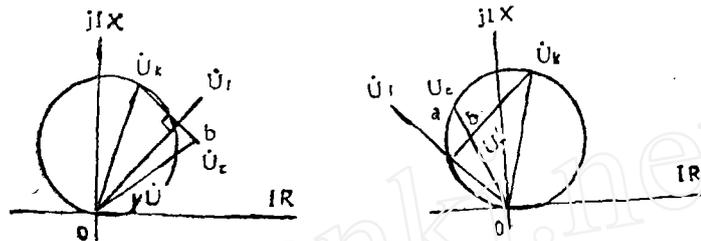


图13 \dot{U}_k 超前 \dot{U}_r 的动作特性分析

四 结论

1. 具有滤波器的相敏比较电路, 其输出电压 \dot{U}_{out} 在一周内的平均值 U_{avg} , 不仅与比较量的幅值有关, 还受两比较量相位差大小和方向的影响。
2. 相敏电路受暂态影响的程度, 随滤波器参数的不同而不同。
3. 采用含滤波器的相敏电路构成的方向阻抗继电器因受暂态特性的影响, 导致特性圆不再以 \dot{U}_k 为直径, 而在 \dot{U}_k 的左侧有较大的动作范围, 在 \dot{U}_k 的右侧有较小的动作范围。

参考文献

1. 郭象容 相灵敏接线方向阻抗元件的动作原理分析《继电器》1983年3月
2. 朱声石 《高压电网继电保护原理与技术》 1983年10月
3. 王晓茹 电力系统继电保护装置的数字仿真研究, 重庆大学硕士学位论文 1988年4月

(上接50页)

由于辅助触点接触不良或重动继电器线圈断线, 都会导致交流电压消失, 而此时, 由于三相同步消失, 断线闭锁装置不能动作。为此, 应将相应的电压切换触点同时引入阻抗保护的出口回路(见图7)。

对于某些大型变压器的低阻抗保护, 也可采用上述断线闭锁措施。

五 结 论

1. 对原有的电压回路断线闭锁装置适当改进所构成的多功能断线闭锁装置, 能够反应发电机系统的各种电压回路断线故障, 是一种比较理想的断线闭锁装置。
2. 对于元件保护(如变压器和发电机—变压器组的低阻抗保护), 断线闭锁装置一般不能反应三相交流电源同时消失的断线故障, 应采用其他措施(如串入电压切换触点等), 以闭锁整组保护出口。