

# GL 型感应式电流继电器时限特性分析

张方元 天津纺织工学院自动化系 (300160)

**【摘要】** 对 GL 型感应式电流继电器时限特性的数学模型作了理论分析, 针对其理论模型存在的问题, 通过实验研究给出了 GL 型电流继电器的实用模型, 并通过实例验证了该模型的实用性。

**【关键词】** GL 型感应式电流继电器 理论模型 实用模型

## 概述

由 GL 型感应式电流继电器构成的过电流保护, 因其结构简单, 便于实现交流操作, 因而在工厂供电系统中获得广泛应用。但其时限整定比较麻烦, 不便于在继电保护设计阶段计算确定, 一般要经实验反复调试完成。其原因主要是对 GL 型电流继电器的反时限特性没有一个较好的数学模型描述, 而当采用数字式继电器实现这一反时限特性时, 对其时限特性的数学描述就更显得重要了, 本文试图就这一问题作一探讨。

## 1 GL 型感应式电流继电器时限特性分析

在磁极部分装有短路线圈的 GL 型感应式电流继电器, 其结构原理如图 1(a) 所示。当继电器线圈 4 中通以交流电流  $I_K$  时, 由于电磁铁 1 的磁极被短路线圈 2 分割成两部分, 从而产生了在空间上分开并具有相位差 的两个交变磁通  $\phi_1$ 、 $\phi_2$ , 磁通  $\phi_1$  与  $\phi_2$  在铝质圆盘 5 中分别感应出电势  $E_1$ 、 $E_2$ , 并在圆盘中分别引起电流  $I_1$ 、 $I_2$ , 其正方向可按螺旋定则确定。若假定铝质圆盘的感应电抗比有效电阻小很多而可忽略时, 则可认为电流与电势同相, 如图 1(b) 所示。

由电工基础知识可知, 当  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  穿过铝质圆盘时,  $\phi_1$  与  $I_2$ 、 $\phi_2$  与  $I_1$  将产生电磁作用力, 其合力对铝质圆盘产生的合成力矩为:

$$M = K_1 \phi_1 I_2 \sin \psi$$

式中  $K_1$  为比例系数。

对于 GL 型电流继电器, 磁通  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  均由

同一电流  $I_K$  产生, 在磁路未饱和时, 磁通与电流成正比, 所以作用于 GL 型电流继电器铝盘上的电磁力矩可写成:

$$M = K I_K^2 \quad (1)$$

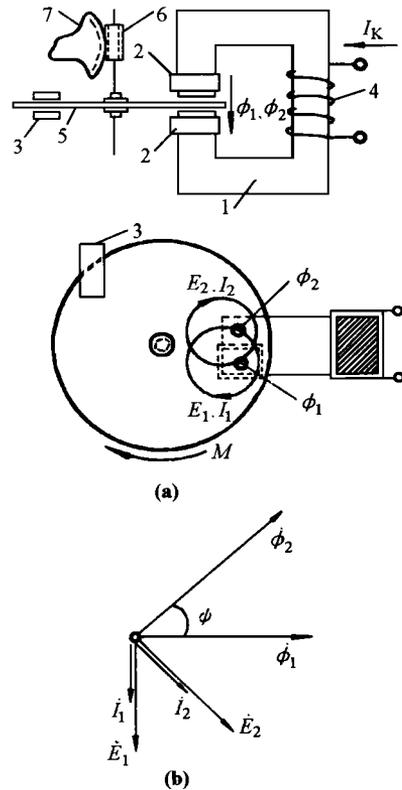


图 1 GL 型感应式电流继电器结构原理

在力矩  $M$  作用下, 铝盘则绕轴旋转。旋转的铝盘将因切割永久磁铁 3 的磁通  $\phi_M$  而在铝盘内产生感应电势, 并引起感应电流  $I_M$ ,  $M$  与  $I_M$  相互作用将对铝盘产生制动力矩  $M_T$ 。当  $M$  恒定时, 该制动力矩与铝盘转速 成正比:

$$M_T = K_T \omega \quad (2)$$

此外,铝盘转动时,还将受到轴承等启擦阻力产生的阻力矩  $M_m$ 。

综上所述,可列出铝盘转动时的运动方程

$$\text{为: } M - M_T - M_m = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

将(1)、(2)式代入(3)式,并把磨擦阻力矩  $M_m$ 、比例系数  $K$ 、 $K_T$  看作常数,则可简化为:

$$J \frac{d\omega}{dt} + K_T \omega = (KI_K^2 - M_m) \quad (4)$$

式中  $K$ 、 $K_T$  ——比例系数;

——铝盘转动角速度;

$J$  ——铝盘转动惯量。

令:  $C = KI_K^2 - M_m$ , 当电流  $I_K$  恒定时,  $C$  亦为常数,则(4)式可写成:

$$J \frac{d\omega}{dt} + K_T \omega = C \quad (5)$$

对(5)式两边取拉氏变换,并考虑到初始条件  $\omega(0) = 0$ ,则有:

$$JS(S) + K_T(S) = C \frac{1}{S} \quad (6)$$

令:  $a = C/J$ ;  $b = K_T/J$ , 则(6)式可简化

$$\text{为: } (S) = \frac{a}{S(S+b)} \quad (7)$$

对(7)式取拉氏反变换可得:

$$(t) = \frac{a}{b} (1 - e^{-bt}) \quad (8)$$

将  $a$ 、 $b$ 、 $c$  代入(8)式可得:

$$(t) = \frac{(KI_K^2 - M_m)}{K_T} (1 - e^{-\frac{K_T}{J}t}) \quad (9)$$

当电流  $I_K$  恒定时,铝盘的稳定转速为:

$$= - \frac{M_m}{K_T} + \frac{K}{K_T} I_K^2 \quad (10)$$

$$\text{或写成: } V = A_0 + A_2 I_K^2 \quad (11)$$

$$\text{式中: } A_0 = - \frac{M_m}{K_T}; \quad A_2 = \frac{K}{K_T}$$

设:  $H$  ——继电器扇形齿轮上升距离;

$V$  ——继电器扇形齿轮上升速度。

由于铝盘转轴上蜗杆 6 与扇形齿轮 7 间转速比为一定,因此铝盘转速折算至扇形齿轮的上升速度  $V$  可写成:

$$V = A_0 + A_2 I_K^2 \quad (12)$$

由此可得 GL 型感应式电流继电器的时限

特性为:

$$t = \frac{H}{V} = \frac{H}{A_0 + A_2 I_K^2} \quad (13)$$

以上 GL 型电流继电器时限特性数学模型的推导是在磁路不饱和条件下导出的。显然,随着电流  $I_K$  的逐渐增大,磁通与电流间非线性关系对时限特性的影响会越来越显著,而(13)式没有能反映这种非线性的影响;此外,在模型(13)式的推导过程中,忽略了电源频率、环境温度的变化对铝盘感应电抗、有效电阻、线圈电抗、线圈电阻、电流和磁通间相位关系等的影响,以及推导过程中忽略了铝盘电抗的影响,因此,式中一些比例系数并非严格的常数。总之,用(13)式来描述 GL 型电流继电器的时限特性显然与实际有差异。

## 2 GL 型感应式电流继电器时限特性的实验研究

针对 GL 型电流继电器时限特性理论模型存在的问题,我们采用 GL - 15/5 型电流继电器一台,测试了其时限特性中 10 倍动作电流时动作时限分别为 0.5s、2s 和 4s 三组特性的数据,经对该三组数据进行回归分析的结果,获得 GL 型电流继电器时限特性的实用模型为:

$$\left. \begin{aligned} t &= H/V(X_K) \\ V(X_K) &= a_0 + a_1 X_K + a_2 X_K^2 + a_3 X_K^3 + a_4 X_K^4 \\ X_K &= I_K/I_{op} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中  $H$  ——继电器扇形齿轮上升距离;

$I_K$  ——通入继电器线圈电流;

$I_{op}$  ——继电器动作电流整定值;

$i$  ——模型系数,  $i = 0, 1, 2, 3, 4$ ,

记  $T_{10}$  为继电器 10 倍动作电流时的动作时限(s), 则当:

$T_{10} < 1s$  时,系数  $i$  取:

$$a_0 = -8.19946; \quad a_1 = 12.23398;$$

$$a_2 = -2.784309; \quad a_3 = 0.2837178;$$

$$a_4 = -1.019104 \times 10^{-2};$$

$T_{10} \geq 1s$  时,系数  $i$  取

$$a_0 = -3.904179; \quad a_1 = 6.898463;$$

$I_{op} = 2(A)$ 

表 1

 $T_{10} = 0.5(s)$ 

$I_{kp}(a)$	$T_p(s)$	$I_{kc}(a)$	$T_C(s)$	绝对误差	相对误差
2	6.15	2	5.90653	0.2434697	3.958857 E - 02
2.1	4.91	2.1	4.755441	0.1545591	3.147844 E - 02
2.2	4.09	2.2	3.997137	9.286332 E - 02	2.270497 E - 02
2.3	3.52	2.3	3.460151	5.984803 E - 02	1.700256 E - 02
2.4	3.09	2.4	3.060139	2.986121 E - 02	9.663823 E - 03
2.5	2.77	2.5	2.75079	1.920986 E - 02	6.934969 E - 03
2.6	2.51	2.6	2.504556	5.444527 E - 03	2.169134 E - 03
2.7	2.3	2.7	2.304022	4.02236 E - 03	1.748852 E - 03
2.8	2.13	2.8	2.137647	7.647038 E - 03	3.590158 E - 03
2.9	1.98	2.9	1.99747	1.746976 E - 02	8.823114 E - 03
3	1.85	3	1.877829	2.782881 E - 02	0.0150426
3.5	1.46	3.5	1.473471	1.347089 E - 02	9.226635 E - 03
4	1.23	4	1.243446	1.344621 E - 02	1.093188 E - 02
4.5	1.08	4.5	1.097298	1.729786 E - 02	1.601654 E - 02
5	0.99	5	0.9979421	7.942081 E - 03	8.022304 E - 03
5.5	0.92	5.5	0.927333	7.33304 E - 03	7.970696 E - 03
6	.87	6	.8756054	5.60534 E - 03	6.44292 E - 03
6.5	0.83	6.5	0.8368798	6.879747 E - 03	8.288851 E - 03
7	0.81	7	0.8074072	2.592802 E - 03	3.20099 E - 03
8	0.79	8	0.7668354	2.316463 E - 02	2.932232 E - 02
9	0.77	9	0.7409839	2.901608 E - 02	3.768322 E - 02
10	0.732	10	0.7224253	9.574771 E - 03	1.308029 E - 02
11	0.7	11	0.7064255	0.0064255	9.179286 E - 03
12	0.678	12	0.689933	1.193303 E - 02	1.760034 E - 02
13	0.658	13	0.6712057	1.320571 E - 02	2.006946 E - 02
14	0.638	14	0.6496425	.0116424	1.824827 E - 02
15	0.62	15	0.6255921	5.592048 E - 03	9.019432 E - 03
16	0.61	16	0.6000955	9.904504 E - 03	1.623689 E - 02
17	0.588	17	0.5745891	1.341093 E - 02	0.0228077
18	0.555	18	0.5506546	4.345477 E - 03	7.829687 E - 03
19	0.527	19	0.5298686	2.868593 E - 03	5.443251 E - 03
20	0.5120001	20	0.5137923	1.792252 E - 03	3.500492 E - 03

总的绝对误差 = 0.8796686

 $I_{op} = 2(A)$ 

表 2

 $T_{10} = 2(s)$ 

$I_{kp}(a)$	$I_p(s)$	$I_{kc}(a)$	$T_C(s)$	绝对误差	相对误差
2	13.37	2	13.162	0.2079973	1.555702 E - 02
2.1	11.95	2.1	11.63689	0.3131056	2.620131 E - 02
2.2	10.49	2.2	10.45627	3.372669 E - 02	3.215128 E - 03
2.3	9.63	2.3	9.515719	0.1142817	1.186725 E - 02
2.4	8.88	2.4	8.749135	0.1308651	1.473706 E - 02
2.5	8.100001	2.5	8.112668	1.266766 E - 02	1.563908 E - 03
2.6	7.67	2.6	7.576049	0.0939517	1.224924 E - 02
2.7	7.16	2.7	7.11773	4.227019 E - 02	5.903657 E - 03
2.8	6.62	2.8	6.721951	0.1019511	1.540047 E - 02
2.9	6.24	2.9	6.376916	0.1369157	2.194162 E - 02
3	5.99	3	6.073617	8.361673 E - 02	1.395939 E - 02
3.5	4.98	3.5	4.983186	3.186226 E - 03	6.398044 E - 04
4	4.28	4	4.312693	3.269243 E - 02	7.638418 E - 03
4.5	3.83	4.5	3.864851	3.485084 E - 02	9.099435 E - 03
5	3.51	5	3.549207	3.920698 E - 02	1.117008 E - 02
5.5	3.29	5.5	3.318365	2.836514 E - 02	8.621622 E - 03
6	3.19	6	3.145018	4.498244 E - 02	1.410108 E - 02
6.5	3.02	6.5	3.012251	7.749558 E - 03	2.566079 E - 03
7	2.91	7	2.908959	1.040936 E - 03	3.577098 E - 04

续表 2

$I_{kp}(a)$	$T_p(s)$	$I_{kc}(a)$	$T_C(s)$	绝对误差	相对误差
8	2.8	8	2.762397	0.0376029	1.342961 E - 02
9	2.7	9	2.6659	3.410006 E - 02	1.262965 E - 02
10	2.61	10	2.59682	1.318049 E - 02	5.049998 E - 03
11	2.54	11	2.541073	1.073361 E - 03	4.225829 E - 04
12	2.46	12	2.489863	2.986312 E - 02	1.213948 E - 02
13	2.41	13	2.43826	2.826023 E - 02	1.172624 E - 02
14	2.37	14	2.384481	1.448083 E - 02	6.110055 E - 03
15	2.33	15	2.329357	6.434918 E - 04	2.761767 E - 04
16	2.3	16	2.275761	0.0242393	1.053883 E - 02
17	2.235	17	2.228157	6.842613 E - 03	3.061572 E - 03
18	2.2	18	2.192304	7.696152 E - 03	3.498251 E - 03
19	2.19	19	2.175361	1.463914 E - 02	6.684539 E - 03
20	2.157	20	2.186755	1.175451 E - 02	5.404374 E - 03

总的绝对误差 = 1.6878

$I_{op} = 2(A)$

表 3

$T_{10} = 4(s)$

$I_{kp}(a)$	$T_p(s)$	$I_{kc}(a)$	$T_C(s)$	绝对误差	相对误差
2	23.33	2	22.79865	0.5313549	2.277561 E - 02
2.1	21.03	2.1	20.70234	0.3276615	1.558067 E - 02
2.2	19.19	2.2	18.99722	0.1927834	1.004603 E - 02
2.3	17.84	2.3	17.58374	0.2562561	1.436413 E - 02
2.4	16.5	2.4	16.39351	0.1064911	6.454006 E - 03
2.5	15.48	2.5	15.37796	0.1020412	6.591812 E - 03
2.6	14.5	2.6	14.50166	1.663208 E - 03	1.14704 E - 04
2.7	13.7	2.7	13.73817	3.817177 E - 02	2.786261 E - 03
2.8	12.85	2.8	13.06734	0.2173424	0.0169138
2.9	12.44	2.9	12.47356	3.355503 E - 2	2.69735 E - 03
3	11.78	3	11.94452	0.1645184	1.396591 E - 02
3.5	9.88	3.5	9.985046	0.1050453	1.063212 E - 02
4	8.59	4	8.732248	0.1422472	1.655963 E - 02
4.5	7.89	4.5	7.872872	1.712799 E - 02	2.170848 E - 03
5	7.17	5	7.25504	8.503962 E - 02	1.186048 E - 02
5.5	6.79	5.5	6.796067	6.066799 E - 03	8.934903 E - 04
6	6.48	6	6.44698	3.302002 E - 02	5.095682 E - 03
6.5	6.25	6.5	6.176822	0.0731783	1.170853 E - 02
7	5.96	7	5.964962	4.961491 E - 03	8.324649 E - 04
8	5.68	8	5.662622	1.737833 E - 02	3.059565 E - 03
9	5.52	9	5.465003	5.499697 E - 02	9.963218 E - 03
10	5.38	10	5.328196	5.180407 E - 02	9.629008 E - 03
11	5.23	11	5.223877	6.123066 E - 03	1.170758 E - 03
12	5.1	12	5.132868	3.286696 E - 02	6.444501 E - 03
13	5.01	13	5.042362	3.236151 E - 02	6.459383 E - 03
14	4.89	14	4.944746	5.474615 E - 02	1.119553 E - 02
15	4.81	15	4.836911	2.691126 E - 02	5.594856 E - 03
16	4.73	16	4.719638	1.036263 E - 02	2.19083 E - 03
17	4.61	17	4.596844	1.315641 E - 02	2.853886 E - 03
18	4.55	18	4.474734	7.526684 E - 02	1.654216 E - 02
19	4.38	19	4.361036	1.896429 E - 02	4.329747 E - 03
20	4.23	20	4.264528	0.0345273	8.162483 E - 03

注:表1、2、3中  $I_{kp}$ 、 $I_{kc}$ ——分别为实验电流和模型计算用电流;  $T_p$ 、 $T_C$ ——分别为继电器实测动作时限和用模型计算动作时限。

$2 = - 1.534701; \quad 3 = 0.1570072;$

$4 = - 5.892282 \times 10^{-3}$

表1、2、3分别给出了  $T_{10} = 0.5s$ 、 $2s$  和  $4s$  时的三组实验数据及利用模型计算的结果。

### 3 实用模型的应用

#### 3.1 应用示例

例1(摘自参考文献2,例6-4)

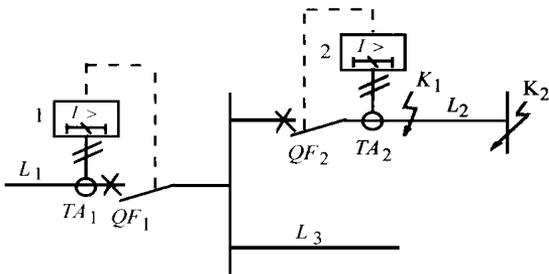


图2

如图2所示,某10kV供电系统,由原  
题知,线路 $L_1$ 、 $L_2$ 分别装设GL-15型继电器  
构成的反时限过电流保护1与2,动作电流整定  
值 $I_{op1} = 7A$ ,  $I_{op2} = 9A$ ,保护1 10倍动作电流  
时限整定为 $T_{110} = 1s$ ,时限配合点 $K_1$ 短路时  
流入保护1与2之电流分别为 $I_{K11} = 21A$ 和  
 $I_{K12} = 42A$ ,整定保护2之动作时限。表4分别  
给出原题整定结果和模型计算结果。

表4

项 目	代号	原题查曲线	模型计算
配合点 $K_1$ 处保护 动作时限(s)	$t_1$	1.8	1.809
	$t_2$	1.1	1.109
10倍动作电流时 的动作时限(s)	$T_{110}$	1.0	1.0
	$T_{210}$	0.8	0.85

例2.(摘自参考文献3,例6-2)

某供电系统如图3。保护4、3、2均装设GL  
型继电器构成的反时限过电流保护。由原题知,  
 $I_{op3} = 10A$ ,  $K_3$ 点短路时,保护2动作时限 $t_2$   
 $= 0.6s$ ,流入保护3继电器中电流可算得为  
 $35.2A$ ,保护3动作时限 $t_3 = 0.6 + t = 1.2s$ 。

要求确定保护3 10倍动作电流的动作时限  
 $T_{310}$ 。表5分别给出了原题用插值法计算、用模  
型计算和查曲线的结果。

表5

原题插值法计算	实用模型计算	查GL型继电器特性曲线
0.88	0.76	0.75

由以上两例可见,实用模型(14)式能满足  
工程计算之要求。

#### 3.2 实用时限特性示例

利用模型(14)式,表6给出了 $T_{10} = 0.75s$   
时的实用时限特性示例。

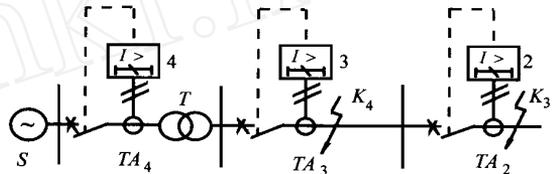


图3

### 4 结论

实践证明,实用模型(14)式,比较好地反  
映了GL型电流继电器的反时限特性,完全可  
应用于GL型电流继电器的时限整定计算,并  
为实现数字式反时限过电流保护提供依据。

#### 参考文献

- 1 克鲁格(苏). 电工原理. 上海: 龙门联合书局出  
版, 1953.
- 2 刘介才. 工厂供电. 北京: 机械工业出版社.  
1991.
- 3 丁昱. 工业企业供电. 北京: 冶金工业出版社.  
1993.

张方元, 男, 1940年生, 副教授, 主要从事自动  
控制研究及工厂供电教学工作。

### ANALYSIS ON THE TIME CHARACTERISTICS OF GL INDUCTIVE TYPE CURRENT RELAY

Zhang Fangyuan (Tianjing Textile Industry College, 300160, Tianjing, China)

**Abstract** The mathematic model of GL inductive type current relay is analyzed theoretically. For the questions existing in the theoretical model, a proactical model of GL current relay is presented by experiment study and the practicality of the model is also verified by examples.

**Keywords** Inductive - type current relay Theoretical model Practical model