

# 基于综合负荷模型的过流保护整定

茆超, 许群舟

(嘉兴市电力局, 浙江 嘉兴 314000)

**摘要:** 现代电力系统中, 负荷构成的复杂性决定了负荷自启动电流不断增大的趋势, 为了分析重合闸时的动态负荷自启动过程中产生的启动过电流对过流保护的影响, 运用了综合负荷模型, 定性定量地分析了动态负荷占总负荷不同比重时的启动过电流。并提出了针对该问题的相应解决方法。

**关键词:** 重合闸; 综合负荷模型; 自启动电流

## Calculation of the fixed value of current protection based on the integrative load model

MAO Chao, XU Qun-zhou

(Jiaxing Electric Power Bureau, Jiaxing 314000, China)

**Abstract:** In modern power system, the complexity of the load induces the aggrandizement of the start-up current. To analyze the effect of the start-up current to the current protection, integrative load model is used in this paper to calculate the start-up current of the load when the dynamic load occupies different proportion. And at the same time a method is advanced to resolve this problem.

**Key words:** reclosing; integrative load model; start-up current

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)24-0181-03

## 0 引言

电力系统中, 暂时性故障的比重往往很大, 重合闸技术的广泛应用大大降低了暂时性故障对电力系统的不利影响。故障后线路跳闸至重合闸的这段时间负荷处于失电状态, 而后伴随着重合闸动作负荷进入自启动过程。现代电网中, 负荷成分越来越复杂, 其中各种旋转类负荷占的比重越来越大。负荷特别是旋转类负荷的自启动会产生较大的过电流, 这一电流会对过流保护产生何种影响, 将是本文重点讨论的问题。目前, 电力负荷建模工作已经取得了巨大的学术和应用成果, 这为本文的论述提供了坚实的理论依据。

## 1 综合负荷模型的结构

负荷的构成是多样而复杂的, 就个体而言, 包括各种各样的工业电机, 家用电器等; 就负荷的类型来看, 又分为静止设备和旋转设备。目前的负荷建模理论中, 一般采用综合负荷模型等值电力负荷。其基本思想是将负荷群体看作一个整体, 用连接于负荷母线的一台异步电动机和一个静态负荷表述该母线下所接的所有负荷, 我们把这种负荷模型称为

经典负荷模型, 其结构如图1所示<sup>[1]</sup>。

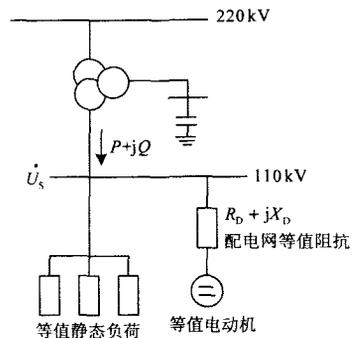


图1 经典负荷模型结构图

Fig.1 Structure of classical load model

## 2 负荷的启动特性

根据以上经典负荷模型的构成, 分别讨论静态负荷和动态负荷的启动特性。静态负荷一般指系统中的静止负荷, 其模型的指数形式一般如式(1)和式(2)。

$$P = P_{s0} \left( \frac{U}{U_0} \right)^{pv} \quad (1)$$

$$Q = Q_{s0} \left( \frac{U}{U_0} \right)^{qv} \quad (2)$$

式中： $P_{s0}$  为额定电压下静态负荷吸收的有功； $p_v$  为有功电压指数； $Q_{s0}$  为额定电压下静态负荷吸收的无功； $q_v$  为无功电压指数； $U_0$  为额定电压。

由该模型可知，静态负荷与电压的关系是呈线性特征的，其启动特性是平稳的。静态负荷在启动过程中没有很大的启动电流，也就是说对系统没有产生额外的冲击。如图 2 和图 3 所示为静态负荷电压和功率波动曲线。所以，在分析过程中，我们一般不考虑静态负荷对系统的影响。

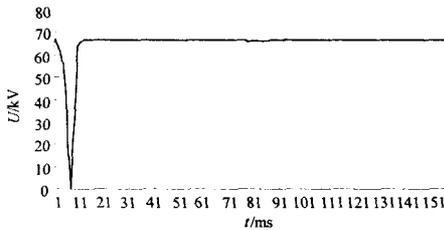


图 2 静态负荷的电压波动曲线

Fig.2 Curve which the voltage changes which time of static load

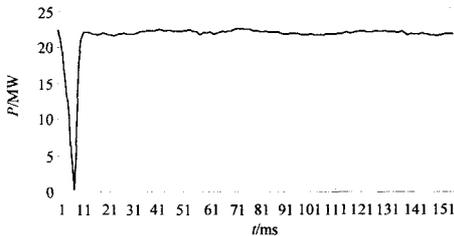


图 3 静态负荷关于电压波动响应的功率曲线

Fig.3 Curve which the power changes which time of static load

动态负荷即异步电动机是负荷启动时产生冲击电流的主要因素。异步电动机的启动是指电机从静止状态加速到工作转速的整个过程。普通的异步电动机如不采取任何措施而在额定电压下直接启动，其启动电流约为其额定电流的 5~7 倍。电动机启动时，转速  $n=0$ ，滑差  $s=1$ ，旋转磁场以同步转速切割转子绕组，在转子感应一个较大的电势，产生较大的转子电流，此时的激磁电流很小，可以忽略不计。因此可以得到<sup>[2]</sup>：

$$I_{st} = I_2' = \frac{U_1}{(r_1 + c_1 \frac{r_2'}{s}) + j(x_1 + c_1 x_2')} \quad (3)$$

其中： $c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_m}$ ，将条件  $c_1=1$ ， $s=1$  代入 (3)

并求幅值可以得到

$$I_{st} = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (4)$$

相较于额定负载下的定子电流：

$$I_1 = \frac{U_1}{(r_1 + r_m) + j(x_1 + x_m)} + \frac{U_1}{(c_1 r_1 + c_1^2 \frac{r_2'}{s}) + j(c_1 x_1 + c_1^2 x_2')} \quad (5)$$

为了更加直观地比较启动电流与额定电流的大小，我们将电动机的各重要参数取典型值，用以计算这两个电流值。

根据中国电科院提供的模型参数典型值取定子电阻  $r_1=0$ ，转子电阻  $r_2=0.02$ ，定子电抗  $x_1=0.12$ ，转子电抗  $x_2=0.12$ ，激磁电阻  $r_m=0$ ，激磁电抗  $x_m=3.5$ ，初始滑差  $s_0=0.0106$ <sup>[3]</sup>，可以计算出  $c_1=1.034$ ，以上典型值都是电动机本身容量下的标么值。根据以上参数可以分别计算出启动电流  $I_{st}=8.22U_1$ ，额定电流  $I_1=1.068U_1$ 。由此我们可知，当负荷模型采用典型参数时，动态负荷的启动电流是额定电流的 8 倍多。

综合负荷模型中，静态负荷与动态负荷各占有一定比例。所以在计算启动电流时需要计及这两类负荷的综合影响。根据动态负荷占负荷整体的比例，我们可以计算出负荷整体的启动电流和额定电流的关系：

$$k = \frac{p I_{st}}{I_1} + (1 - p) \quad (6)$$

其中： $k$  为总负荷的启动电流与额定电流的倍数关系， $p$  为动态负荷占总负荷的比例。根据式 (6)，可以计算出动态负荷占有不同比例时，总负荷的启动电流与额定电流的倍数值，其结果如表 1 所示。

### 3 启动电流对过流保护的影响

表 1 中的数据表明，当负荷中含有一定比例的电动机负荷时，重合闸后的自启动过程将产生一定倍数的启动电流。这对过流保护的整定是不利的，过流保护 I 段是瞬时限的，所以负荷启动电流有可能造成保护的误动，这就要求过流 I 段从定值上躲开启动电流。电动机的自启动过程一般持续 1 s 时

间,而过流 II 段的延时一般为 0.5~1 s 左右,一般来说 II 段的灵敏性是大于 I 段的,所以过流 II 段的启动值也必须躲开启动电流。当然定值的提高在一定程度上减小了过流保护的覆盖范围。由于 III 段的延时一般在 3 s 左右,已经在时间上避开了自启动过程,故定值方面无需考虑与启动电流的配合问题<sup>[4]</sup>。实际上,现代的微机保护中有很多是采用电流量作为保护启动的判据之一,动态负荷的自启动也会造成这类保护的误启动。

表 1 动态负荷占不同比例时的总负荷启动电流倍数

Tab.1 The total startup current when the dynamic load

occupied different proportion

动态负荷比例	20%	30%	40%	50%	60%
启动电流倍数	2.34	3.01	3.68	4.35	5.02

表 1 中的启动电流倍数是在所有的电动机都自启动且启动过程中不采取任何措施这一最不利条件下计算得出的。实际上,部分大型电动机都装有低电压保护,当电压低于保护定值(一般在 0.6~0.8 $U_N$ )的时候,自动把电动机从系统中切除。重合闸后电压恢复过程中,这部分电动机是不能自启动的。另外,一些电动机启动过程采用降压启动等措施,一定程度上减小了启动电流。因此,启动电流的实际情况要比表 1 中的计算结果乐观一些。但系统中仍有大量的小型电动机不具备欠压保护等任何防启动电流的措施,所以,重合闸后的动态负荷的自启动电流仍然是各类过流保护整定中不可忽视的问题。

#### 4 解决方案

以上阐述说明,在电流保护中考虑负荷的自启动电流的影响是很有必要的。现代的保护一般也具备使用多套定值的功能,这里建议保护在重合闸时采用另外一套考虑了负荷自启动电流的定值。表 1 已经列出了动态负荷占总负荷不同比例时采用经典负荷参数计算出的总负荷自启动电流倍数。实际上由于负荷的多样性和区域差异性,经典负荷参数的套用往往也是有条件和场合的。一般情况下, $r_1, r_2,$

$x_2, r_m, x_m$  这几个参数的在不同地区负荷中的差异不是很大,可以套用经典负荷参数。而  $x_1, s_0$  以及动态负荷占总负荷的比例  $p$  往往差异较大。根据负荷辨识理论,当已知功率关于电压的动态响应后,是可以求出负荷模型中各参数的。电力线路配置的故障录波器、PMU 等装置记录的线路波动数据都可以用来建立负荷模型,求取模型参数。由于这部分内容属于负荷建模理论,本文不再赘述。这样我们就可以建立如图 4 所示的系统,使用故障录波器数据对保护定值进行修正,这样既考虑了负荷自启动电流的影响,又提高了电力数据的使用效率。

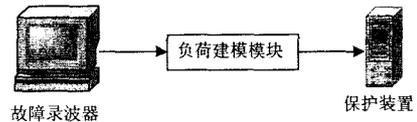


图 4 故障录波器数据运用于保护定值修正方案图

Fig. 4 Scheme that the data of failure recorders used in the modifying of relays' fixed value

#### 5 结语

本文利用综合负荷模型为依据,分析了动态负荷自启动过电流问题。从理论上阐述了重合闸后的自启动过程对过流保护整定的影响,并提出了解决方案。

#### 参考文献

- [1] 鞠平, 马大强. 电力系统负荷建模[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [2] 周鹗. 电机学[M]. 北京: 中国电力出版社, 1988.
- [3] 中国电力科学研究院, 近期东北—华北—华中同步互联系统仿真计算中电动机参数选取的建议[Z]. 2005.
- [4] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 1979.

收稿日期: 2008-12-31; 修回日期: 2009-03-17

作者简介:

茹超(1983-), 男, 硕士, 研究方向为电力系统负荷。

E-mail: maochao\_2000@tom.com