

电气化铁道馈线保护误动原因分析及改进

高仕斌 苏鹏程 西南交通大学电气工程学院(610031)

摘要 本文分析了再生制动机车和安装有滤波器的机车运行的电气化铁道线路上馈线保护装置误动作原因,进而根据牵引负荷特点提出了一种新型阻抗继电器算法和一种改进型 ΔI 继电器算法,最后,通过计算机仿真,给出了改进型 ΔI 继电器的整定原则。

关键词 牵引供电系统 馈线保护 数字仿真 继电器

引言

目前,牵引供电系统馈线保护广泛采用阻抗继电器作主保护、电流型继电器作辅助保护,这种配置对一般的牵引供电系统都能满足要求。但是,随着技术的进步及对供电质量的要求,有的电力机车上加装了兼作滤波的功率因数补偿装置,有的电力机车采用再生制动,作为牵引供电系统负荷的电力机车对馈线保护的动作性能具有直接影响。再生制动机车运行线路上馈线保护误动作现象日益严重;带功补机车运行线路上馈线保护整定困难、功率装置的投切严重影响保护的正确动作。

1 机车负荷对馈线保护的影响

1.1 再生制动负荷对阻抗继电器的影响

为了改善电力机车制动性能,从国外引进的8K电力机车和国产SS₃型电力机车都采用再生制动。在该工况下,机车牵引电动机工作在发电机状态,机车不仅不从电网获取电能,还要向电网发馈电能。当供电臂内有的机车工作在牵引状态,有的机车工作在制动状态,那么,变电所馈线保护(距离保护)的测量阻抗为两者的迭加,如图1所示。

从图1可以看出:对于高速重载线路,行车密度或牵引吨位较大,牵引和再生负荷较重,测量阻抗将落于偏移平行四边形阻抗继电器的动作区内。

1.2 牵引负荷对阻抗继电器的影响

由于电力机车为整流负荷,存在有较高的奇次谐波。例如:石太线某牵引变电所谐波含量实测结果:三次谐波含量25%左右,五次谐波含量13%左右,七次谐波含量7%左右。

据文献^[1],即便是装有功率因数补偿装置的电力机车,综合谐波含量仍然不低于10%。

谐波成分的存在,势必影响图1所示阻抗继电器的正确动作,这是因为图1所示阻抗继电器的bc边界是按基波最小负荷阻抗整定的,亦即^[2]:

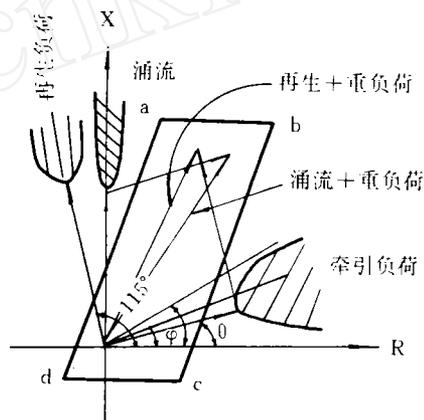


图1 平行四边形阻抗继电器特性图

收稿日期:1995-02-11

$$R = \frac{U_{1fmin}}{K_k I_{1fmax}} (\cos\varphi' - \frac{\sin\varphi'}{\operatorname{tg}\theta}) \quad (1)$$

式中 K_k ——可靠系数
 φ' ——功率因数差时的负荷阻抗角
 θ ——bc 边的倾斜角

若负荷电流中有谐波成分存在,且基波成分仍为 I_{1fmax} ,则测量阻抗为:

$$Z_m = \frac{1}{1 + K_\Sigma} Z_{1fmin} = \frac{1}{1 + K_\Sigma} \cdot \frac{U_{1fmin}}{I_{1fmax}} \quad (2)$$

式中 K_Σ ——综合谐波与基波的比值

比较式 1 和 2 可以看出:对于相同的基波阻抗,由于谐波成分的存在,随着 K_Σ 的增大, Z_m 将减小,也即:牵引负荷电流中谐波含量越高,继电器误动越严重。

1.3 机车负荷对 ΔI 型继电器的影响

为了提高牵引供电系统馈线保护躲过渡电阻能力,采用 ΔI 型继电器作后备保护。常规 ΔI 型继电器的基本表达式如下:

$$\Delta I = I_{1d} - I_{1f} - K_A (I_{3d} - I_{3f}) = \Delta I_1 - K_A \Delta I_3 \geq \Delta I_{zd} \quad (3)$$

式中 I_{1d} 、 I_{1f} ——分别为故障电流和负荷电流中的基波成分;
 I_{3d} 、 I_{3f} ——分别为故障电流和负荷电流中的三次谐波成分;
 K_A ——三次谐波抑制系数

将式 3 进一步拓展成两不同时间测量到的电流增量,如式 4。

$$\Delta I = (1 - K_A K_{3d}) I_{1d} - (1 - K_A K_{3f}) I_{1f} \quad (4)$$

据式 4 讨论从负荷到故障和从负荷到负荷情况下 ΔI 继电器的动作情况及有关技术性能。

① 负荷 → 故障:

负荷电流中含有或多或少的三次谐波分量(占基波百分比为 K_{3f}),而故障电流基本为正弦波,三次谐波占基波百分比 $K_{3d} \approx 0$,负荷电流中三次谐波成分有利于继电器动作,当空载时发生故障时,这种助增不复存在。

② 负荷 → 负荷:

在重负荷情况下,若前一时刻负荷电流中三次谐波含量较高,后一时刻负荷电流中三次谐波含量较低,那么, ΔI 继电器将十分容易误动作。例如:前一时刻基波电流为 500A,三次谐波含量为 30%,后一时刻基波电流为 800A,三次谐波含量因并补装置的投入而变成 10%,则 $\Delta I = 546A$,而实际基波电流增量只有 300A,显然,该继电器谐波分量的助动特征明显。

③ 由于有的机车上装有滤波装置,有的机车上没有装滤波装置,某一线路上可能同时存在各种机车运行,三次谐波含量随牵引工况(机车运行级位改变、并补装置的投切、再生制动等)的变化而变化,抑制系数 K_A 选取困难。

④ 由于计算 ΔI 值的前一时刻谐波分量对继电器的动作有较大助增作用,因而 ΔI 继电器的定值不宜选得过低,亦即:其躲过渡电阻的能力十分有限,例如:文献^[4]介绍 ΔI 继电器可以躲 40 Ω 左右的过渡电阻。

2 高可靠性继电保护算法

2.1 新型自适应阻抗继电器算法

根据前面分析,电力机车在再生制动工况下,图 1 所示的阻抗继电器可能误动,谐波含量的存在也会影响阻抗继电器的正确动作。为此,本文提出了一种自适应偏移平行四边形特性的

继电器保护算法,亦即:其动作边界可以根据谐波含量的大小进行自动调节。

2.1.1 ab 边的调节

(1) 整定:当保护范围末端短路时,继电器应能可靠动作,即:

$$X_{ab} = K_k \cdot X_{xl} \quad (5)$$

式中 X_{xl} ——被保护线路的电抗值

(2) 调节:为了避免被保护线路上同时出现机车运行于牵引和再生工况时,继电器误动作。充分利用牵引和再生制动工况下谐波含量自动调节其动作边界,即:

$$X_{ab} = \frac{K_k}{1 + K_\Sigma} \cdot X_{xl} \quad (6)$$

2.1.2 bc 边的调节

(1) 整定:同式 1

(2) 调节:为了避免重负荷且谐波含量较大时,继电器误动作,bc 边界按式 7 调节。

$$R_{bc} = \frac{1}{K_k(1 + K_\Sigma)} Z_{l\min} (\cos\varphi' - \frac{\sin\varphi'}{\tan\theta}) \quad (7)$$

从式 6 和 7 可以看出:当被保护线路上发生短路故障时,由于其电流接近纯正弦波,不会影响其动作边界;当牵引工况下出现重负荷时,谐波含量较大,继电器 bc 边界自动缩小,提高继电器防止误动作能力;当牵引工况与再生工况迭加时,随 K_Σ 值的大小自动调节 ab 边的动作边界,防止继电器误动作。例如:若 $K_\Sigma = 0.1$,则继电器抗误动能力提高 10%,若 $K_\Sigma = 0.3$,则继电器抗误动能力提高 23%。

2.2 改进型 ΔI 继电器算法

改进型 ΔI 继电器算法表达式如式 8 所示:

$$\Delta I = I_{1h} - I_{1q} - K_\Sigma I_{2h} \geq (1 + I_\Sigma/I_{1h}) \Delta I_{zd} \quad (8)$$

式中 I_{2h} ——后一时刻计算的综合谐波电流

ΔI_{zd} ——继电器整定值

K_Σ ——谐波抑制系数,根据计算出综合谐波含量大小,自动选取 0、1、2、3 等值。

改进型 ΔI 算法有如下优点:

- ① 继电器抗误动能力大为加强。主要是前一时刻电流谐波成分对继电器的动作没有影响,后一时刻电流中谐波成分越大,则继电器动作边界越大。
- ② 故障时继电器动作灵敏度能够保证。故障时谐波含量较小或为零,谐波抑制量不起作用。
- ③ 能保护较高的过渡电阻。

3 ΔI 继电器的整定

新型阻抗继电器算法与常规阻抗继电器不同点仅在于:动作边界可以根据电流中谐波含量的大小自动调节。而电力机车运行时谐波含量情况已有很多实测数据和文献介绍,在此不再赘述。本文主要对 ΔI 继电器整定值的选取问题进行了计算机仿真计算。在进行仿真计算时,主要考虑了如下因素:

- ① SS₁ 型、SS₃ 型电力机车为我国目前主要运行车型,仿真计算针对这两种机车进行。
- ② SS₁ 型电力机车为有级调压,调压手柄每改变一个级位的时间是以秒为数量级的,该时间要远远大于计算 ΔI 的时间跨度(本文推荐该时间为一个周波)。
- ③ SS₃ 型电力机车为有级调压与级内无级调压配合使用,级内无级调压引起的电流增量

显然小于级间调压引起的电流增量。

基于此,SS₁型、SS₃型电力机车级间调压或削磁所引起的最大电流增量即为整定ΔI继电器的基本依据。

图2为SS₁型电力机车在不同运行速度情况下牵引网电流与机车运行级位和削磁级位的关系曲线,从图中可以看出:机车运行级位较低时,运行速度较低,改变运行级位所引起的电流增量较小;机车运行级位较高,机车运行速度较高,改变运行级位所引起的电流增量不一定大;机车运行在33级位削磁运行时,机车运行速度不一定快,但改变牵引电动机磁场削弱系数所引起的电流增量较大,最大值为48A。

图3为SS₃型电力机车不同运行速度下改变运行级位所引起的电流变化曲线。从图中可以看出:机车运行速度越高,电流增量越小;最大电流增量出现在速度30~60km区间,最大电流增量为93A。

以上仿真为一个供电臂内仅有一台机车运行所引起的电流增量,若考虑一个供电臂内有多台机车运行,则ΔI继电器的整定原则如下:

若供电臂内最多可能有N台同型号机车运行,则:

$$\Delta I_{dz} = K_K \cdot K_N \cdot \Delta I_s \quad (9)$$

式中 K_K——可靠系数,取1.2~1.5;

K_N——N台机车引起的电流增量系数,根据仿真计算和实测数据,K_N = 2-1/N为宜,这主要是因为N台机车不可能同时工作在同一状态;

ΔI_s——单台机车运行可能引起的最大电流增量的仿真计算值,本文给出了SS₁、SS₃型电力机车的电流增量最大值,其它机车的最大电流增量也可通过仿真计算得到。

若供电臂内最多可能有N台不同型号机车同时运行,则:

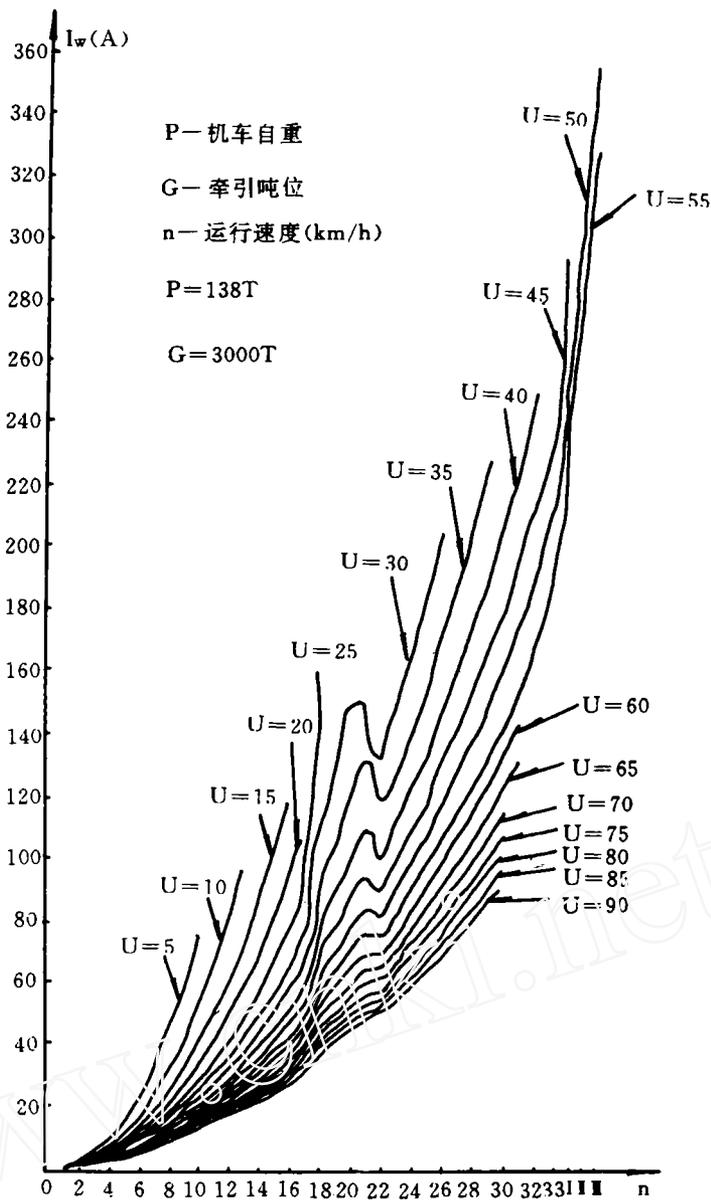


图2 SS₁型电力机车运行级位n与牵引网电流I_w关系曲线图

$$\Delta I_{dz} = K_K \cdot K_N \cdot \Delta I_{smax} \quad (10)$$

式中 $\Delta I_{smax} = \max(\Delta I_{s1}, \Delta I_{s2}, \dots, \Delta I_{sN}), \Delta I_{s1}, \Delta I_{s2}, \dots, \Delta I_{sN}$ 分别为供电臂内 N 种型号机车单机运行时可能引起的最大电流增量仿真值。

4 结论

通过前面的叙述,我们可以得到如下几点结论:

① 再生负荷与牵引重负荷迭加的情况下,可能会导致现有常规距离保护误动作;根据负荷电流中谐波成分的大小自动调节其动作边界的办法可以大大提高阻抗继电器防止误动作的能力。

② 对于有功率因数补偿装置电力机车运行的线路,由于功补的投切等原因,常规 ΔI 继电器可能会误动作,往往是通过牺牲其躲过渡电阻能力来防止误动作;本文提出的改进型 ΔI 继电器,能够保护较大的过渡电阻又不至于误动作。

③ 本文提出的继电器算法易于在计算机上完成。

参考文献

- 1 铁道部产品质量监督检验中心. 韶山 5 型干线客运电力机车功率因数和谐波性能试验. 1993 年 8 月 31 日
- 2 贺威俊、张淑琴等. 晶闸管与计算机继电保护原理. 成都:西南交通大学出版社,1990 年

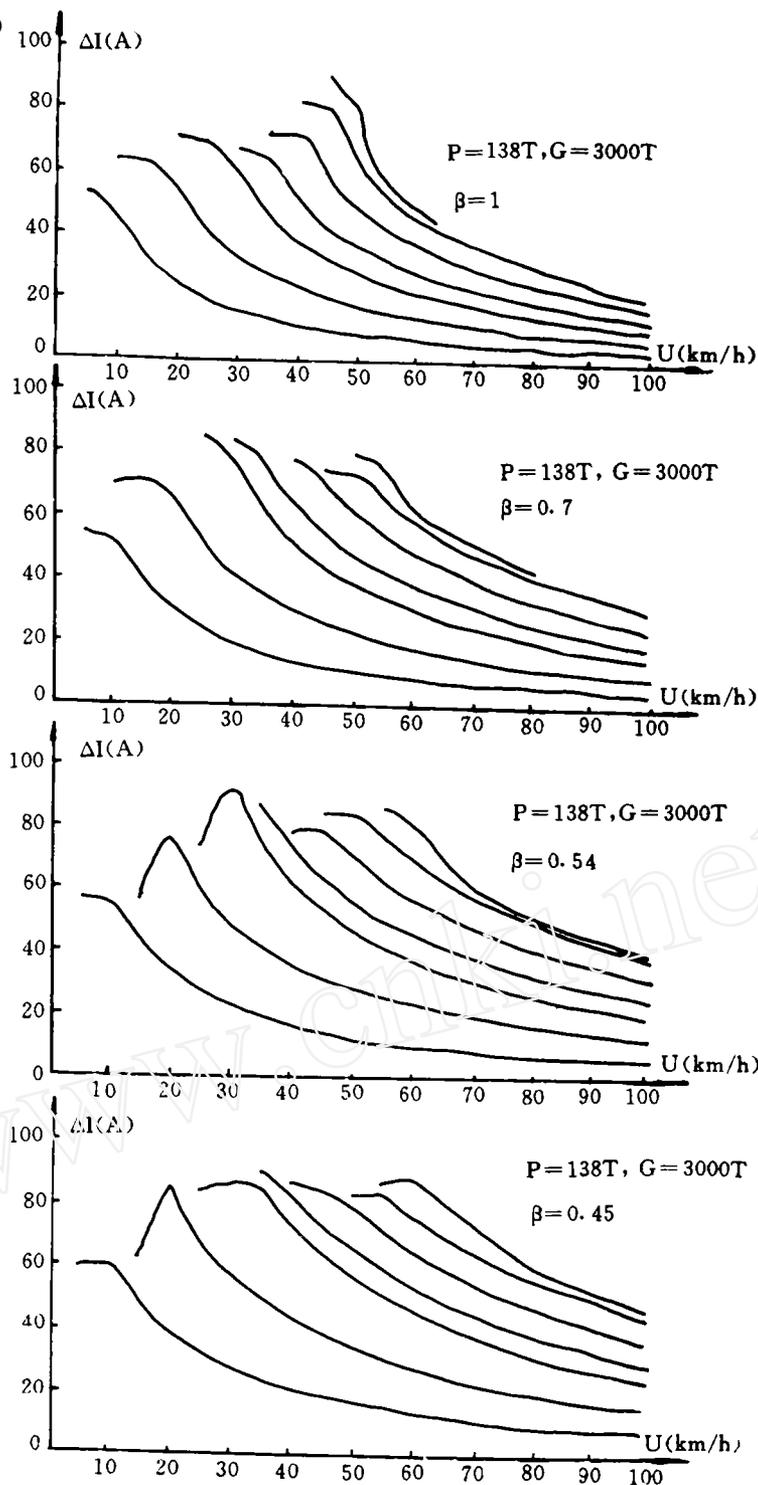


图 3 SS₃ 型电力机车调速时电流变化曲线图

P—机车自重 G—牵引吨位 β—消磁系数

(下转 25 页)

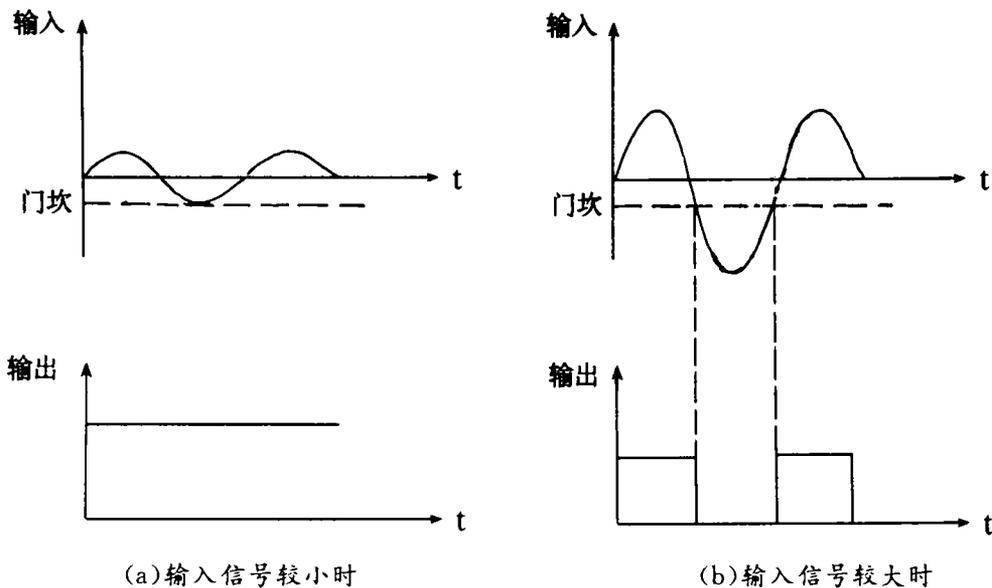


图2 采用负门槛后的方波输出图

出现错误的接地指示。

3 结论

零序电流比相式接地选线保护,不必引入零序电压量做为比相的基准信号,因而具有接线简单、实现方便,不必任何手动操作就可以实现自动指示接地线路等突出优点。但其原始设计方案中存在着小输入电流误闭锁或误指示的问题,本文采用负门槛比相技术解决了这一问题,为零序电流比相这一原理的应用,提供了可靠的保证。

本文所论述的电流比相式接地选线方案,是依据中性点不接地的小电流接地时系统中单相接地时系统中零序电流的特点而提出的,因而它完全适用于这种系统。对于中性点经消弧线圈接地的小电流接地系统,若采用欠补偿方式,因零序电流相位关系不会发生变化,故上述原理仍可使用,但若采用过补偿或全补偿方式,因接地线路零序电流相位改变或消失,上述原理将不能使用。

参考文献

- 1 潘贞存. 比相式和比幅式小接地电流系统接地选线保护. 全国高校电自专业第七届学术年会论文集(下). E173~177. 1991年
- 2 马长贵主编. 继电保护基础. 电力工业出版社, 1989年
- 3 西北电力设计院编. 电力工程设计手册. 水利电力出版社, 1987年

(上接 18 页)

- 3 持久芳文、久水奉司. 交流電きてつ道用保護領域切替形距離けい電きの開はつ, RTRI REPORT, VOL. 7, NO. 10, 93, 10
- 4 津田電き計き株式かい社, 交流き電回路用故障選たくyl-説明書, AE-143