

# 带有同步电动机群的变电所 母线断电保护

合肥工业大学 祖伟 姚晴林

**摘要** 本文分析了带有高压同步电动机群,具有单母线分段结构的变电所或配电所,当一段母线断电时的行为特征,并提出了以检测此两段母线上的相对频率为基础的断电保护方案及硬件电路实现。经实验室调试,已证明此方案是可行的。

**关键词** 断电保护 惰行 脉动电压 波形检测 相位检测 频率检测

## 前言

带有高压同步电动机的变电所或配电所,一般采用单母线分段结构,如图1所示。

当供电电源突然中断时(例如 $DL_1$ 或 $DL_3$ 或 $DL_5$ 跳闸),带有同步电动机的母线以及母线上所带有的全部负载共同组成一个独立的小电力系统。它依靠其中全部旋转性负载所储藏的总动能及磁场储能维持母线电压。在电源突然中断期间,整个机群将以基本一致的速度惰行。随着能量的消耗,整个机群的转速愈来愈低,此母线上的频率也愈来愈低,母线上的电压也随着下降,电压下降的速度较频率下降的要慢。特别是断电的初始阶段,电压基本保持不变,如图2所示。

由于在断电的初始阶段,断电母线上的电压基本保持不变,这样在供电电源短暂中断后又重新恢复瞬间(自动重合闸或备用电源自动投入)在某些不利的情况下,将会遭受“非同期冲击”,其程度有时比电机出口发生三相短路严重。它导致设备损坏或损伤。因此,现场中一般将备用电源自动投入解除不用,从而导致生产运行中的巨大经济损失。为解决这个问题,需要研制能够准确判定母线是否断电的断电保护装置。当判定母线发生断电后,断电保护装置动作,跳开此母线上所有的电动机出口断路器或励磁开关(对于带有再整步装置的同步电动机)。

具有高压电机负载的变配电所,供电电源突然中断并不导致相应母线电压的立即消失,此所谓“断电不失压”。而母线电压的瞬间失压,一般是由于供电系统中靠近该母线的某处发生短路故障所引起,在断路器未跳闸前,母线电压突然降至零或很小,这时供电电源并未中断,此所谓“失压不断电”。因此,传统上以失压来判别断电,用低电压继电器来检测母线是否断电和客观事实不符,势必造成误动。

文献<sup>[1]</sup>提出了用功率方向继电器、低周波继电器及电压相位差继电器的组合来构成断电保护。这种断电保护虽较以失压来判判断断电有根本的改进,但仍存在着许多不足。例如:每

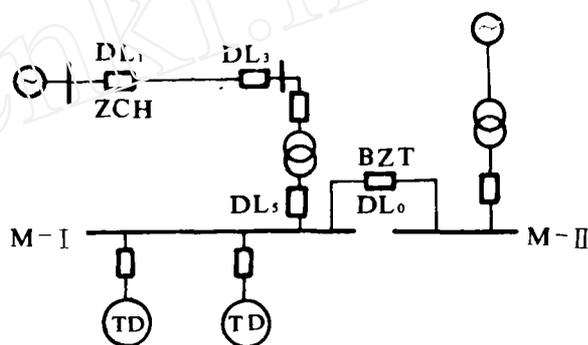


图1 变电所单母线分段接线

台电机都要装设一台逆功率方向继电器；它的低周波继电器是采用母线上电压的频率和一频率绝对值相比较，当母线上负荷较轻时，频率下降慢，动作时间长。

本文提出了检验两段母线上频率的相对值变化和其相位变化来判断母线是否断电，使断电保护克服了上述缺点。

## 1 原理与硬件电路实现

具有单母线分段结构的变配电所在正常运行时分段断路器是断开的。尽管如此，此两段母线上的频率应相同，其相位差也

相差不太大。当某段母线断电时，断电母线电压的频率是下降的。因此，如果检测出一段母线的频率比另一段母线上的频率低，即可断定频率下降的那段母线发生了母线断电故障。

如图 3 所示， $\dot{U}_1$  是母线 M-I 上的电压， $\dot{U}_2$  是母线 M-II 上的电压。假设 M-II 断电， $\dot{U}_2$  的频率低于  $\dot{U}_1$  的频率，则  $\dot{U}_1$  相对  $\dot{U}_2$  作逆时针方向旋转；反之，如果 M-I 断电， $\dot{U}_1$  的频率低于  $\dot{U}_2$  的频率，则  $\dot{U}_1$  相对  $\dot{U}_2$  作顺时针方向旋转。

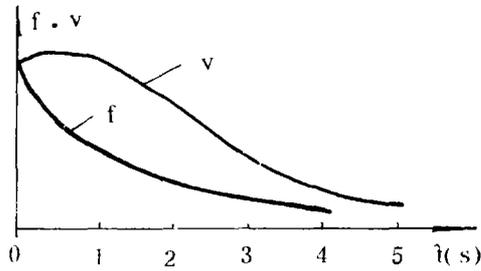
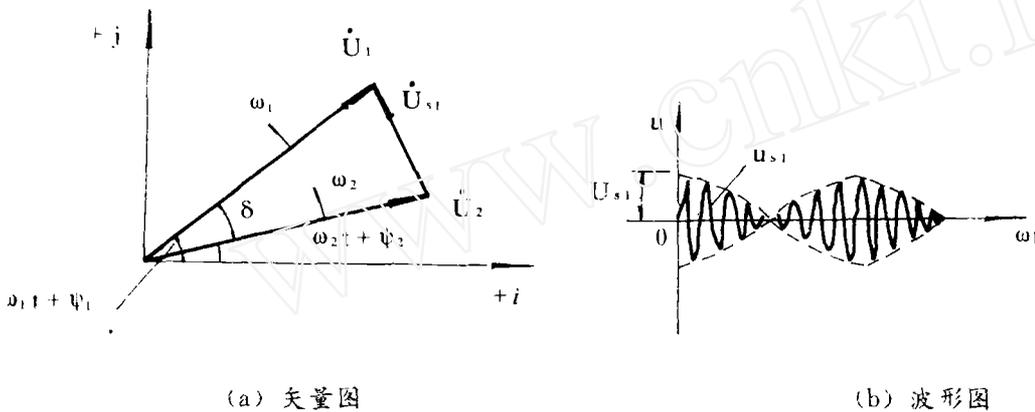


图 2 断电母线上的电压、频率变化曲线



(a) 矢量图

(b) 波形图

图 3 脉动电压

$$\dot{U}_{s1} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2$$

$\dot{U}_{s1}$  作脉动变化，其值为：

$$u_{s1} = U_1 \sin(\omega_1 t + \phi_1) - U_2 \sin(\omega_2 t + \phi_2) \quad (2)$$

设初始角  $\phi_1 = \phi_2 = 0$ ， $U_1 = U_2$ ，则 (2) 式为：

$$u_{s1} = 2U_1 \sin\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right) \quad (3)$$

令  $U_{s1} = 2U_1 \sin\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right)$ ，则 (3) 式：

$$u_{s1} = U_{s1} \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right) \quad (4)$$

设  $\omega_s = \omega_1 - \omega_2$  为滑差角频率，图 3 中的电压矢量的相位差角  $\delta$  为：

$$\delta = \omega_2 t$$

$$\begin{aligned} \text{于是: } U_{s1} &= 2U_1 \sin\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right) = 2U_1 \sin \frac{\omega_1}{2}t \\ &= 2U_1 \sin \frac{\delta}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

由 5 式可看出： $u_{s1}$  为正弦脉动波，其最大幅值为  $2U_1$ ，所以  $u_{s1}$  又称为脉动电压。如果设定  $U_2$  固定，则  $\dot{U}_1$  相对于  $\dot{U}_2$  以角频率  $\omega_2$  转动。当相角差  $\delta$  从零变到  $\pi$  时， $u_{s1}$  的幅值相应地从零变到最大值；当  $\delta$  从  $\pi$  变到  $2\pi$  ( $\dot{U}_1$  与  $\dot{U}_2$  重合) 时， $U_{s1}$  的幅值又从最大值回到零。

设  $\dot{U}_3$  是将  $\dot{U}_2$  向顺时针方向旋转  $\delta_0$  得到的电压。 $\dot{U}_3$  与  $\dot{U}_2$  的频率、幅值始终相同。如图 4 所示。

图 4 中， $\dot{U}_1$  与  $\dot{U}_2$  相重合以及  $\dot{U}_1$  与  $\dot{U}_3$  相重合的先后顺序和  $\dot{U}_1$  对  $\dot{U}_2$  的旋转方向即频率的大小有关。例如，当母线 M-I 断电时， $\dot{U}_1$  的频率低于  $\dot{U}_2$  的频率，假定  $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$  不动，则  $\dot{U}_1$  相对于  $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$  作顺时针方向旋转， $\dot{U}_1$  先与  $\dot{U}_2$  重合，经  $\delta_0$  角后再与  $\dot{U}_3$  重合。当母线 M-II 断电时， $\dot{U}_1$  的频率高于  $\dot{U}_2$  的频率，假定  $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$  不动，则  $\dot{U}_1$  相对于  $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$  作逆时针方向旋转， $\dot{U}_1$  先和  $\dot{U}_3$  重合，经  $\delta_0$  角后再与  $\dot{U}_2$  重合。两个电压重合时，这两个电压所形成的脉动电压的幅值 ( $U_{s1}$  或  $U_{s2}$ ) 为零。设  $\dot{U}_1$  与  $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_1$  与  $\dot{U}_3$  所形成的三角波差频电压 (或称为三角波整步电压) 为  $u_{s11}$ 、 $u_{s12}$ 、 $u_{s21}$  与  $u_{s22}$  两波形的前后位置与频率大小的关系如图 5 所示。

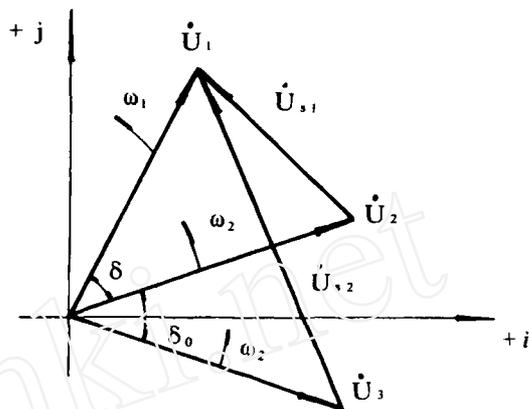


图 4 电压矢量图

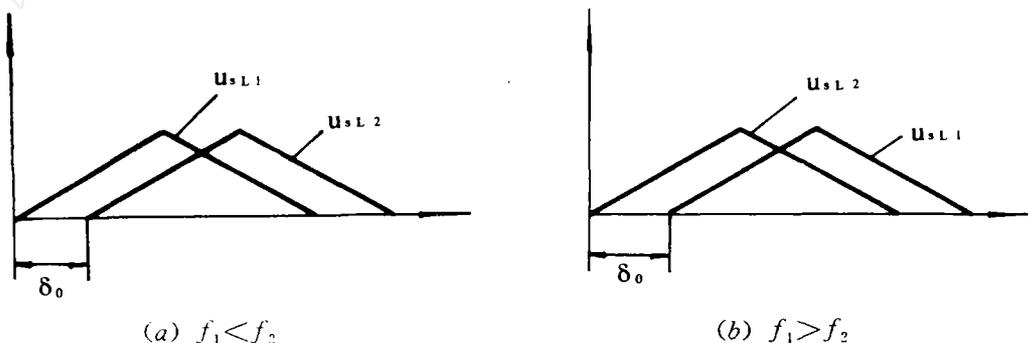
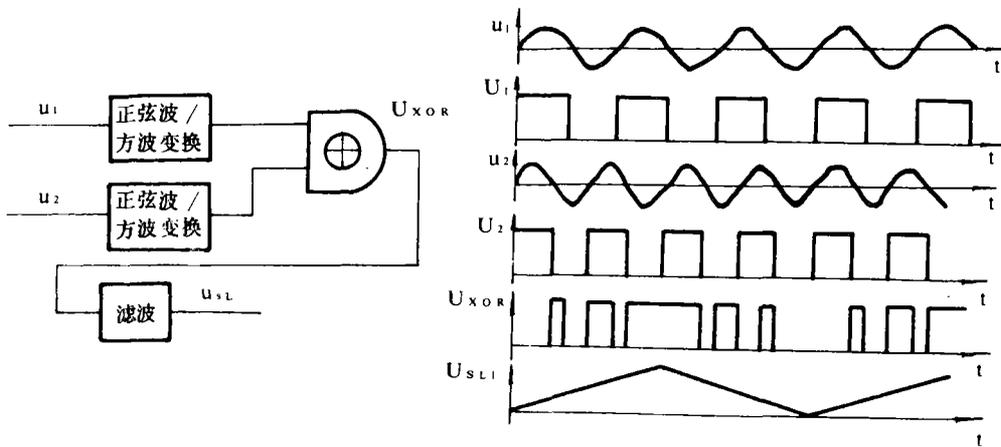


图 5 波形位置与频率的关系

可采用图 6a 所示电路获取三角波整步电压。图 6b 为波形图。

用常规方法获得整步电压时，采用的是用正弦整步电压的原理将脉动电压转换到线性整步电压的方法。采用此方法获取的线性整步电压中载有电压幅值的信息。在检测频率时，引进了受电压幅值影响的因素。采用图 6 所示电路获取的三角波整步电压则消除了电压幅值的影响。



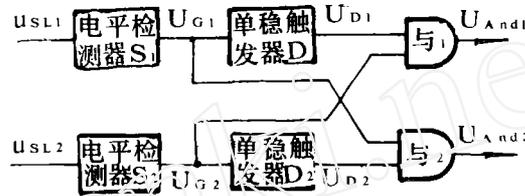
(a) 三角波获取电路

(b) 波形图

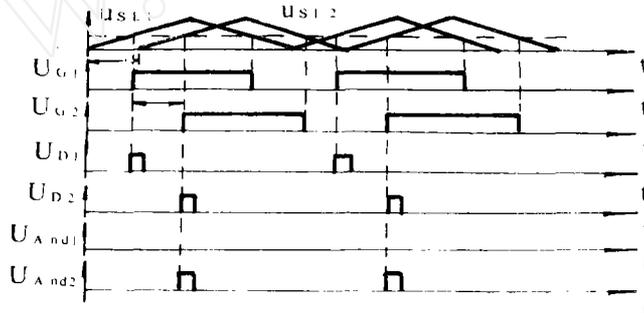
图6 三角波获取电路和波形图

采用图 7a 所示电路即可实现对两段母线上的电压频率进行检测。图 7b 为波形图。

假设  $M-I$  母线断电, 则  $M-I$  上的频率低于  $M-II$  上的频率。三角波差频电压  $u_{sl1}$  超前  $U_{sl2}$   $\delta_0$  角。将它们分接入电压检测器  $s_1$  和  $s_2$  之后, 可以得到两个相角差为  $\delta_0$  的矩形波  $U_{G1}$ 、 $U_{G2}$ , 它们分别经过单稳触发器后得到  $U_{D1}$  和  $U_{D2}$  两个脉冲波。由图 7a 可知, 当将  $U_{G1}$  送到与门 2 后即为输出脉冲作好了准备。由图 7b 中波形图可见, 当  $U_{D2}$  到达时, 即发出母线 I 断电信号。虽然  $U_{G2}$  也送到了与门 1, 但由于  $U_{D1}$  超前  $U_{G2} \neq \delta_0$  角到达, 即  $U_{G2}$  与  $U_{D1}$  有时间差, 它们不能同时到达与门 1, 与门 1 无脉冲输出。可见, 当  $f_1 > f_2$  时, 只发母线 I 断电信号; 同理, 当  $f_1 < f_2$  时, 与门 2 被闭锁, 与门 1 发母线 II 断电信号。



(a) 频率大小检测电路



(b) 波形图

图7 频率大小检测电路和波形图

当两段母线正常时, 两段母线上的电压无频差,  $u_{sl1}$ 、 $u_{sl2}$  为直流, 单稳触发器无输出, 电路无断电信号输出。因为两段母线均未断电时, 其上的电压相位差很小, 适当整定电平检测电路, 使电平检测电路输出为低电平, 这样就保证了整个电路无断电信号输出。

为提高保护的可靠性, 将装置设计成双重冗余形式。第二判据即相位判别的原理如下:

正常运行的两段母线电压的频率是相等的, 电压的相位差很小。当其中一段母线断电时(例母线 I 断电), 母线 I 上的频率下降, 母线 I 上的电压相量将越来越滞后于母线 II 上的电压相量, 滞后的相位差增大到动作整定值时, 准允母线 I 上的断电信号输出, 否则, 闭锁该段

# 大型变压器的铁芯多点接地保护

河南周口地区电业局 马元锐

变压器铁芯的多点接地故障占变压器总故障的比例可谓不少。变压器铁芯出现多点接地时会引起变压器铁芯温度急剧升高，如不及时发现和处理则会扩大故障范围。近些年来大型变压器的铁芯接地都经小套管引至油箱外部接地这就为大型变压器装设铁芯多点接地保护提供了方便。

## 1 变压器铁芯接地的概念

我们知道，变压器在运行中铁芯如不接地，在强电场的作用下将产生悬浮电位引起对附近的金属构件放电。大型变压器通常在上铁轭硅钢片这间夹一铜片再经引线引至小套管在油箱外部接地。由于硅钢片间漆膜电阻相对较小，可以认为所有硅钢片都处于接地状态。当变压器铁芯出现另外一点接地时，由于铁芯处于强磁场作用下因而就出现了涡流的通路，这是不能允许的。

## 2 大型变压器铁芯多点接地保护装设方法

变压器铁芯的多点接地保护可只作用于信号，其接线如图1所示。方法是将接地小套管的引下线经穿心式互感器或零序互感器穿入适当匝数后再接。零序电流互感器二次选用DD-11/60型接地继电器，线圈采用并联。再在继电器线圈上并联2CZ系列整流型二极管，目的是对继电器线圈电流限幅、防止较大接地电流出现时损坏继电器。因DD-11/60继电器线圈并联时阻抗为9欧姆，动作电流在0.03安至0.06安范围，因此动作电压在0.27伏至0.54伏之间。硅整流管的死区电压在直流0.6伏以内，因而当继电器动作值在0.03安时限幅二极管正反向只须各一只，当继电器整定值在0.06安时正反向各须二只二极管进行双向限幅。继电器的一次动作电流根据运行经验及有关规程规定建议取0.3安，这可通过穿芯式互感器改变穿入的匝数及继电器定值的调整来达到

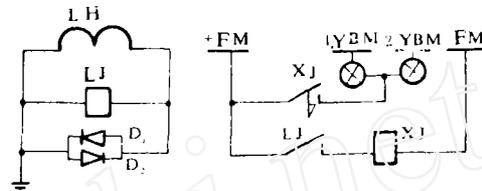


图1 铁芯多点接地保护二次接线图

圈采用并联。再在继电器线圈上并联2CZ系列整流型二极管，目的是对继电器线圈电流限幅、防止较大接地电流出现时损坏继电器。因DD-11/60继电器线圈并联时阻抗为9欧姆，动作电流在0.03安至0.06安范围，因此动作电压在0.27伏至0.54伏之间。硅整流管的死区电压在直流0.6伏以内，因而当继电器动作值在0.03安时限幅二极管正反向只须各一只，当继电器整定值在0.06安时正反向各须二只二极管进行双向限幅。继电器的一次动作电流根据运行经验及有关规程规定建议取0.3安，这可通过穿芯式互感器改变穿入的匝数及继电器定值的调整来达到

## 3 结论

综上所述，对大型变压器铁芯装设多点接地保护很有必且方法也简便，建议设计部门将其纳入正统的变压器保护设计中去。

母线的断电信号输出。电路如图8所示。

## 2 结论

采用检测单母线分段变电所母线电压的频率相位角的相对值变化来判断母线断电故障，修正了传统上采用失压来判断断电的错误做法，也克服了文献<sup>[1]</sup>上所述装置的不足。目前，该装置已完成实验室调试，结果令人满意。

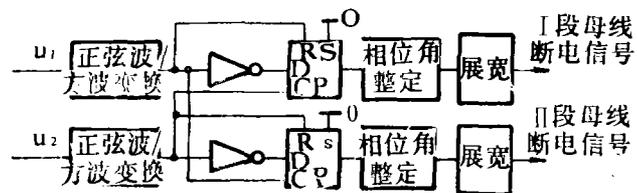


图8 相位判别逻辑电路

## 参考文献

- 1 蒋宗道. 同步电动机失步保护及带载自动再整步. 电世界, 1983, 12
- 2 杨嗣彭. 同步电机运行方式的分析, 成都科技大学出版社.