

一款为实现三相电机的缺相保护而研发的互感器

孙海侠，史银虎

北京创四方电子股份有限公司，北京 100015

摘要：在三相电机的使用过程中，经常出现供电缺相的情况，缺相会引起电流增大，温升过高，导致三相电机烧毁，针对这种情况，我们设计了一款新型电流互感器，利用互感器的磁饱和原理实现三相电机的缺相保护。

关键词：电流互感器，饱和，三相电机，缺相保护

A Transformer Developed for Phase Loss Protection of Three-phase Motor

SUN HAIXIA, SHI YINHU

Beijing Chuang Si Fang Electronic Co. Ltd, Beijing 100015

三相电动机是一种广泛应用的驱动设备，在运行时如果出现电源缺相或者接错线等现象，就会引起定子绕组电流过大、温升过高，从而导致电动机烧毁。在铁路信号设备中有很多地方用到三相电动机，如提速道岔电动转辙机、驼峰空压机等。为了确保工作安全，必须为三相电动机配置缺相保护装置。

三相电动机的缺相保护有很多方式，本文介绍的这款电流互感器，是利用互感器的磁饱和原理，结合三相电动机的工作特点，能在三相电源电路中有缺相或者三相电动机的工作电流不平衡时，通过互感器输出脉冲幅度的差异，直接或间接地控制相关装置，对三相电机进行缺相保护，避免由于缺相或者接错线而使三相电动机被烧毁。

1 电流互感器输入输出特性

众所周知，图 1-1 是电流互感器的磁路在工作时的磁化曲线。

传统的电流互感器一般用于电流的测量或常规的过流保护，其磁路工作在线性状态，磁感应强度在磁化曲线(B-H 曲线)的线性段以内变化，所以输入和输出是线性对应的，当输入是正弦波时，输出的波形也是正弦波如图 1-2 上面的波形。

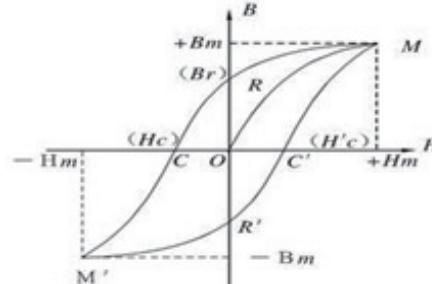


图 1-1 磁化曲线 (B-H 曲线)

当输入电流超过一定值时，互感器的磁路开始进入饱和，这之后输出会发生畸变，当饱和深度足够时，互感器会把输入的正弦波转换成输出的三角波，如图 1-2 下图所示。

为了获取定量数据，我们用我公司原有的一款互感器，进行了相关试验，针对不同的输入情况，测试并记录了输入波形与输出波形的关系。

试验原理如图 1-3 所示。

互感器工作在线性范围时，输入输出都是不失真的正弦波，输出的幅度跟随着输入呈比例线性变化，如图 1-4、1-5 和 1-6 所示，随着输入电流从 1A、2A 到 3A 的变化，互感器输出的幅度线性增大。

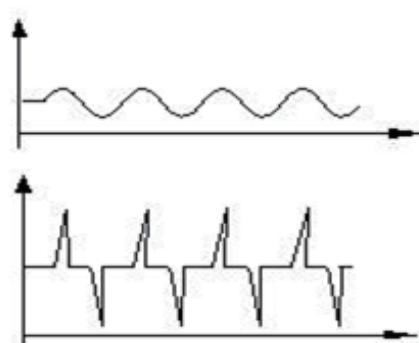


图 1-2 互感器波形

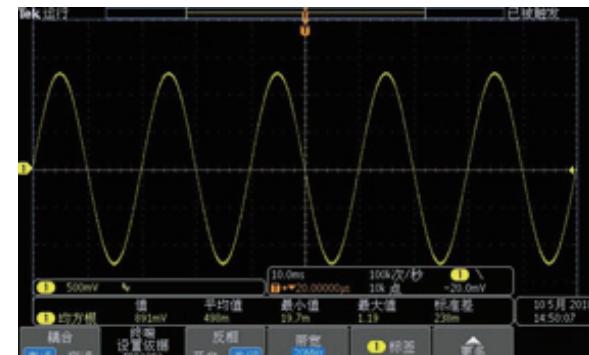


图 1-6 互感器输入 3A 时的输出波形

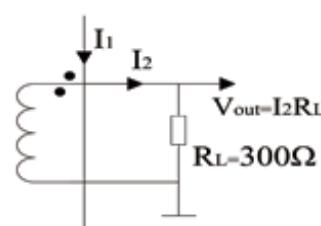


图 1-3 实验原理图

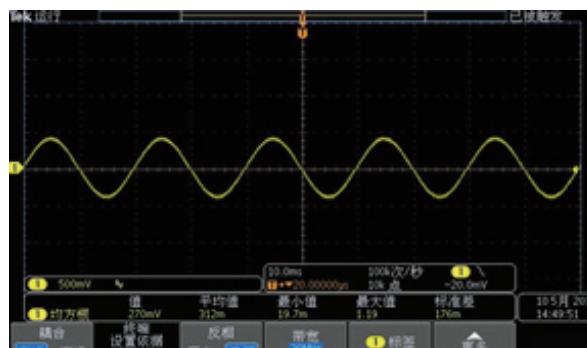


图 1-4 互感器输入 1A 时的输出波形

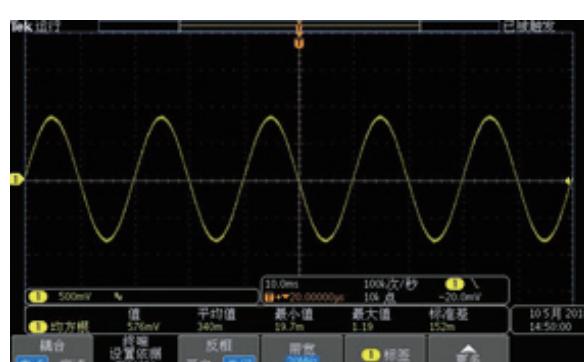


图 1-5 互感器输入 2A 时的输出波形

继续增大输入电流，当输入电流增大到 4.3A 时，测试到互感器的次级输出波形开始发生畸变，此时互感器开始进入饱和状态，磁芯工作在 B-H 曲线的拐点的位置，波形如图 1-7 所示：

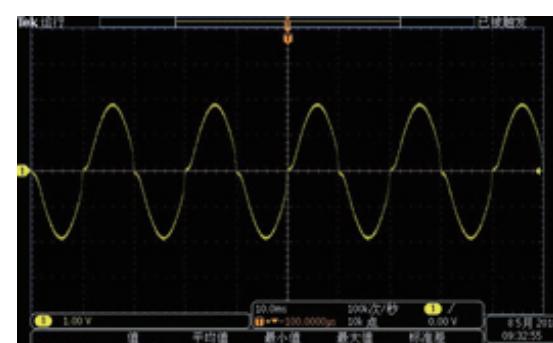


图 1-7 互感器输入 4.3A 时的输出波形

随着输入电流的增大，互感器饱和状态逐渐加深，形成三角波，饱和深度越深，脉冲的幅度越高，宽度越窄，图 1-8、图 1-9、图 1-10 是互感器饱和状态逐渐加深时互感器的次级输出波形。

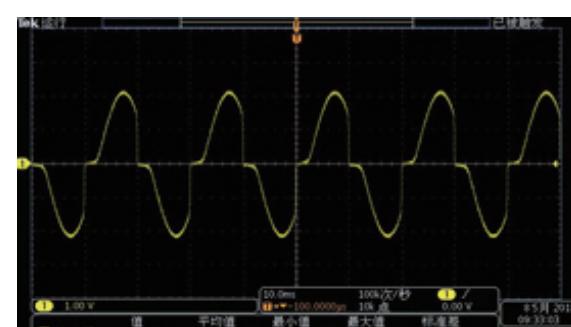


图 1-8 互感器中度饱时次级输出波形

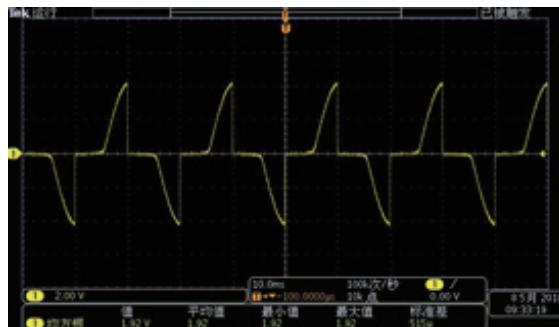


图 1-9 互感器深度饱和时次级输出波形

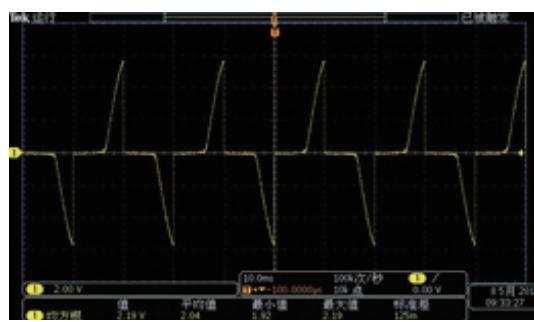


图 1-10 互感器深度饱和时次级输出波形

通过上述试验，我们可以得出结论，就是适当控制互感器的饱和深度，可以让互感器实现在输入正弦波时输出脉冲波的结果，而输出的脉冲宽度和幅度可以通过调整互感器的磁路参数和线圈参数来实现。我们利用这个结论作指导，研发出了可以用于对三相电机进行缺相保护的互感器。

2 利用互感器饱和特性实现三相电机缺相保护的原理

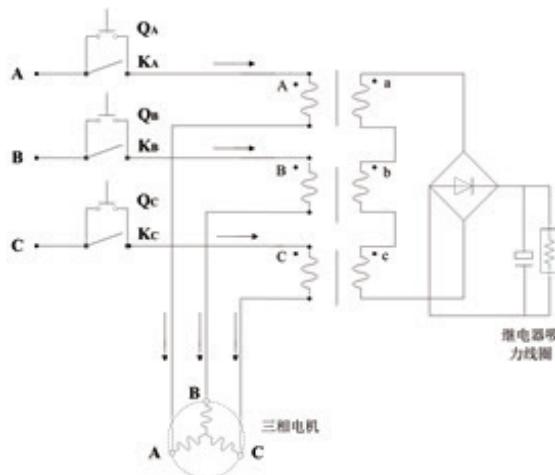


图 2-1 正常运行三相电机启动示意图

图 2-1 就是一个利用互感器的饱和特性来实现三相电机缺相保护的典型应用电路。电路中用到三个单相互感器（也可以是一个三相互感器），互感器的初级线圈串接在三相电机的主回路中，主回路中还串接着继电器的常开触点开关和与此相并联的启动开关。互感器的次级线圈串联后接整流桥，再经电容滤波后为继电器的吸力线圈供电。

图中的 KA、KB、KC 是继电器的常开触点开关，受吸力线圈的控制，三相联动。QA、QB、QC 是启动开关，三相联动。

工作原理：

启动时，按下启动开关，瞬间短路常开触点开关，强制给三相电机供电，如果三相电源没有缺相，三相电机也无异常，电流就会按照图 2-1 中箭头的方向形成回路，并且三相上都会流过正常的工作电流，如图 2-2 所示，这个电流通过互感器在次级线圈输出脉冲，如图 2-3 所示，其中 a、b、c 分别是各相的输出脉冲，d 是三相串联后的输出脉冲波形。从图 d 可以看到，只要三相的脉冲没有重叠，就不会有相互抵消的情况，这样，经过桥式整流并滤波后，就能得到一个可以启动继电器吸力线圈的直流电压，使串联在主回路的继电器常开触点开关闭合，从而接通主回路，带动电机正常工作。

如果按下启动开关时，三相电源有缺相或者电机有异常，则三相电流就会有一相或者两相缺失，以 B 相缺失为例，此时 A、B、C 间的三相电压变成了只有 A 和 C 间有电压的单相线电压，输入到电路中的电流变成了单相电流，其流向按照图 2-4 中箭头方向形成回路，A 相和 C 相电流方向相反，如图 2-5 所示，此时次级线圈感应电压的方向也相反，输出被抵消或输出幅度不足，如图 2-6 所示，其中，a、b、c 分别是各相的输出脉冲，d 是三相串联后的输出脉冲波形。从图中可以看到，a 相和 c 相有输出但脉冲极性相反，b 相输出为零，三相串联后的输出 d 也几乎为零（不完全

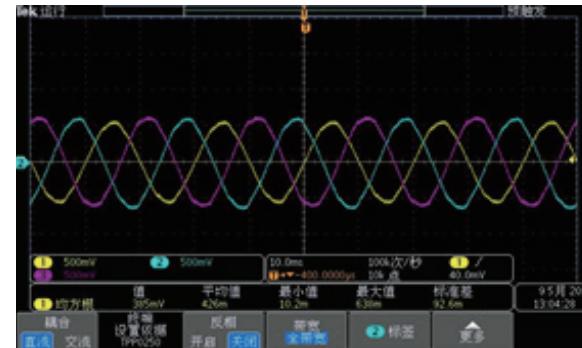


图 2-2 三相正常输入时互感器输入端的波形

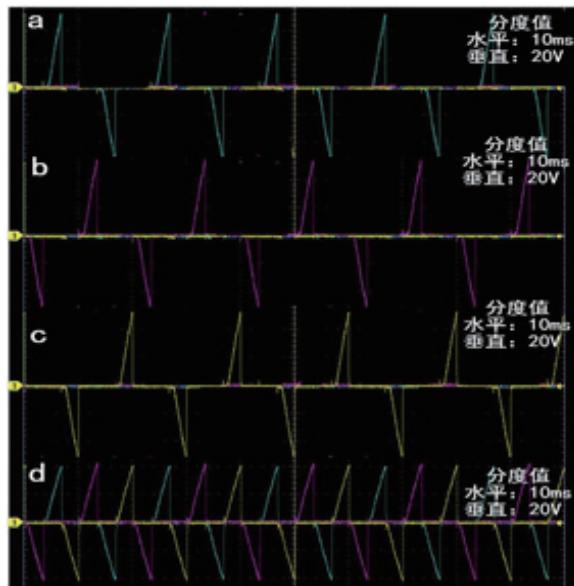


图 2-3 三相正常输入时互感器输出端的波形

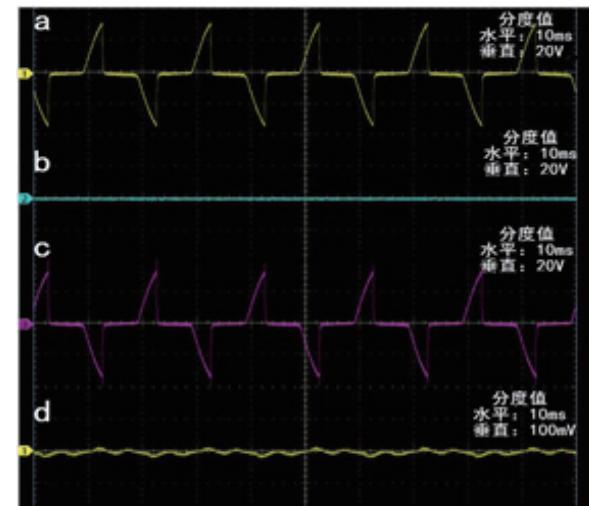


图 2-6 B 相缺失时互感器输出端的波形

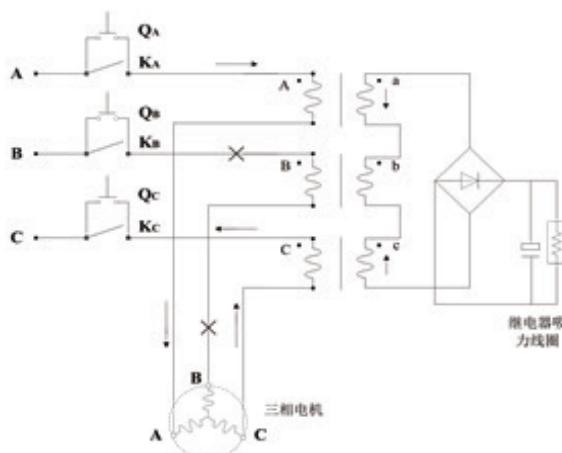


图 2-4 三相电机缺相启动示意图

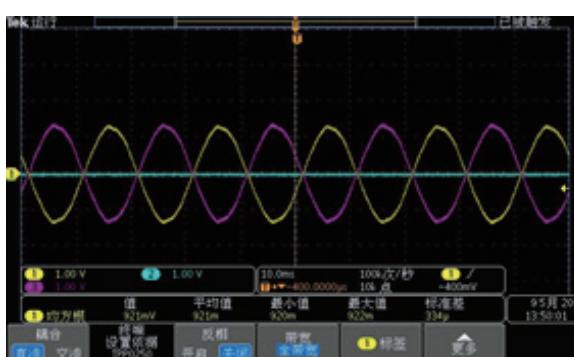


图 2-5 B 相缺失时互感器输入端的波形

为零的原因是互感器线圈间的特性不完全一致)，从而形成足够推动继电器吸力线圈的直流电压，不能推动继电器，主回路就形成不成通路，从而启动不成功，使三相电机不能通电，实现了保护的目的。

综合上述情况，通过分析我们得出，为了实现上述原理，必须让互感器工作在饱和状态，饱和的深度要适当，使互感器在电机的工作电流范围内，每相线圈输出的脉冲宽度等于 3.3ms 是理论上的最佳值（宽度大于 3.3ms 时，三相串联输出会被抵消一部分；宽度太小又会使输出能量不足；经过实验验证，把宽度控制在 2.5~5ms 为好），输出的幅度以能推动继电器或控制芯片的工作为适度。

在我们推广这个原理应用的互感器的过程中，有客户问，为什么要让互感器饱和才能起到保护作用，用普通的线性互感器可以吗？

我们说，确实有很多使用普通的线性互感器来实现缺相保护的例子，但那需要很复杂的控制电路，很显然，我们推广的这个原理是很简单的，因此会更可靠。至于为什么要让互感器饱和才能起到保护作用，从上述原理图中不难看出，如果把线性互感器用在这个电路中，在三相对称电路中工作时，其三相串联后的输出是零（零序电压），显然不行。

还有客户质疑说，变压器一旦饱和就会被烧毁，互感器饱和了会不会被烧毁？

我们说，变压器饱和后会被烧毁，是因为变压器是电

压输入，当输入电压超过额定值后，变压器进入饱和，这时励磁电流随着输入电压的升高而急剧增大，而且其电流值不可控，因此会烧毁变压器。我们这里设计的饱和互感器，输入的是电流，其电流值是事先知道的，设计时已经选定足够粗的导线，因此线圈不会发热，磁路的饱和程度也是在设计的预期之中，综合考虑了磁路面积、铁芯发热量和散热面积，因此铁芯的发热也在预期之中，所以不会因为饱和烧毁互感器。

实际上，很早以前，我们的前辈就有利用磁路饱和的特性，来解决实际问题的案例了，例如，交流稳压电源、恒压变压器、直流互感器等等。

3 应用实例

基于以上原理，我司为铁路信号用缺相保护配套研发了TV2033型电流互感器，外形尺寸如图3-1；性能参数如表3-1和表3-2。



图 3-1 互感器外形图

表 3-1 静态和安全特性

脚号	电阻	电感	抗电强度
4-6	$0.1\Omega \pm 10\%$	$\geq 0.3H$	$\geq 2.5kV/min$
1-3	$32\Omega \pm 10\%$	$\geq 30H$	

表 3-2 输出的脉冲特性

输入电流 I	输出电压 V _p	脉宽 t _n
1A	$\geq 20V$	$\leq 5ms$
5A	$\leq 35V$	$\geq 2.5ms$
缺相时	$\leq 0.2V$	----

这款互感器适合对工作电流为1A~5A的三相电机（在三相线电压为380V时，电机的功率是660W~3300W）做缺相保护。

下面的图3-2、图3-3和图3-4是将互感器接入到图2-1的电路中后，分别让互感器输入为1A、5A和缺相时，互感器次级串联后的输出波形。

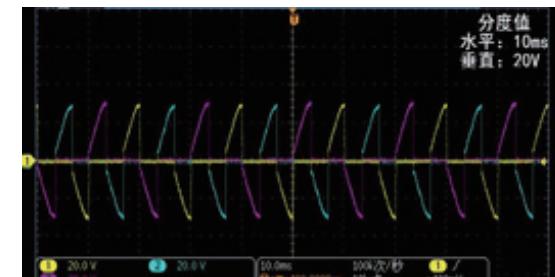


图 3-2 互感器输入 1A 时次级输出的波形图

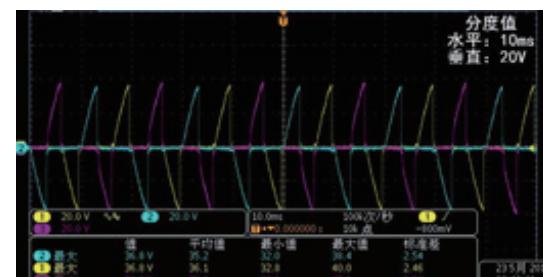


图 3-3 互感器输入 5A 时次级输出的波形图

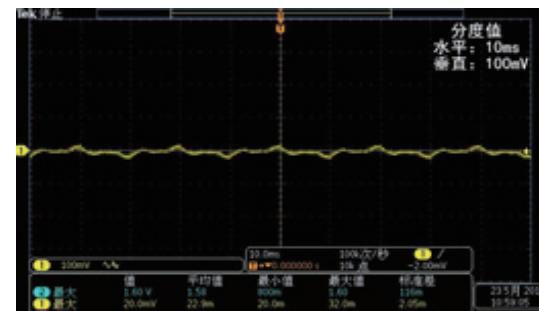


图 3-4 互感器输入缺相时次级输出的波形图

我公司自2007年开始研发该类三相电机缺相保护互感器，迄今为止，已为多家铁路行业厂家配套了多种型号的互感器，不同厂家对互感器整流输出后的直流电压有不同的应用，有的是直接用直流电压控制继电器，也有的用直流电压去控制另一套保护电路，从而达保护三相电机的目的。以上我们只针对直接控制继电器的电路进行了分析讲解。

4 总结

下转160页