

逆变器供电异步电机转子故障的识别

Ch·Kral 等 (奥地利)

【摘要】 异步电机转子导条和端环的故障会加大鼠笼中的热应力,这会导致电机的功率损耗或者引起电机颠覆。介绍的新方法能够及时发现这种故障,从而提高驱动系统的可靠性并避免停机所造成的较大损失。

关键词: 异步电机; 转子; 故障

中图分类号: U264.1⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-8410(2002)06-0030-03

Detection of rotor faults of inverter fed induction machines

Abstract: Faulty rotor bars or end rings cause additional thermal stress in the squirrel cage of asynchronous machines. This leads to performance loss or breakdown of the motor. A new method allows early detection of such faults and thus increases reliability of drives and avoids expensive downtimes.

Key words: asynchronous machine; rotor; faulty

1 引言

异步电机鼠笼转子受生产条件制约而产生的气孔和发状裂纹以及电机在运行中由于振动而引起的损坏,使缺陷处周围的电流密度增大。由此而引起的损耗使电机热负荷增大,同时使相邻转子导条的电流负荷增大,从而导致故障部位进一步扩大。在端环的故障处或端环和导条连接处的缺陷也会导致相邻转子导条的电流负荷增大,因为通过的电流有时会受到很大的破坏,最终使转子受到机械破坏,同时也会造成定子铁心和定子绕组受损。

因此,应尽可能提早识别转子故障,以便及时对转子进行修理。这也有助于降低高的维修费用和有关的后续费用,避免机车动车的停用。

2 识别转子故障的方法

鼠笼转子的电气不对称性可在定子电流的频率分量中反映出来。在电流频谱中,它以2倍转子频率(即转差频率)出现在定子电源频率的左右。因此,在转轴上的输出转矩包含有2倍转子频率的脉动。根据缺陷程度的不同,该脉动分量为实际负载转矩的千分之几到百分之几。

对于电网供电的异步电机,已有许多文献介绍了一些识别转子故障的方法,这些方法大多数是以电机电流的傅立叶级数分析为基础。在这些文献中,大多

数假定电机稳态运行并且大多只在某一种电机上进行了验证。此外,还采用神经网络方法,采用该方法可以将缺陷进行分类。然而,它必须了解无缺陷电机的运行状态,因此不适用于已有缺陷的电机。

对于逆变器供电的电机,由于控制方式不同,不仅在电压中而且在电流中会包含边带频率。因此,要可靠地探测和评估转子故障还较困难。此外,使用的快速电力电子开关元件也会使电压和电流中有强的高次谐波,这也给转子故障的探测和评估带来新的困难。

3 Vienna 监控器

3.1 概述

Vienna 监控法(VMM)不仅完全适用于逆变器的工作,而且可以用来评估转子状态而无需了解电机过去的情况。VMM提供了一绝对的故障指示,它表征转子电气上不对称的程度。

VMM识别转子故障是基于比较所计算出来的转矩。由异步电机的空间矢量方程推导出所采用的数学模型,用几千Hz的扫描频率获得所测量的数据,然后在电压模型和电流模型中计算分析(图1)。

3.2 电压模型

电压模型用来评价所测量的电压和电流,始终由2个或3个测量值构成一个空间矢量,并且用相应的参考值进行标准化,下式可以用标准化的值处理:

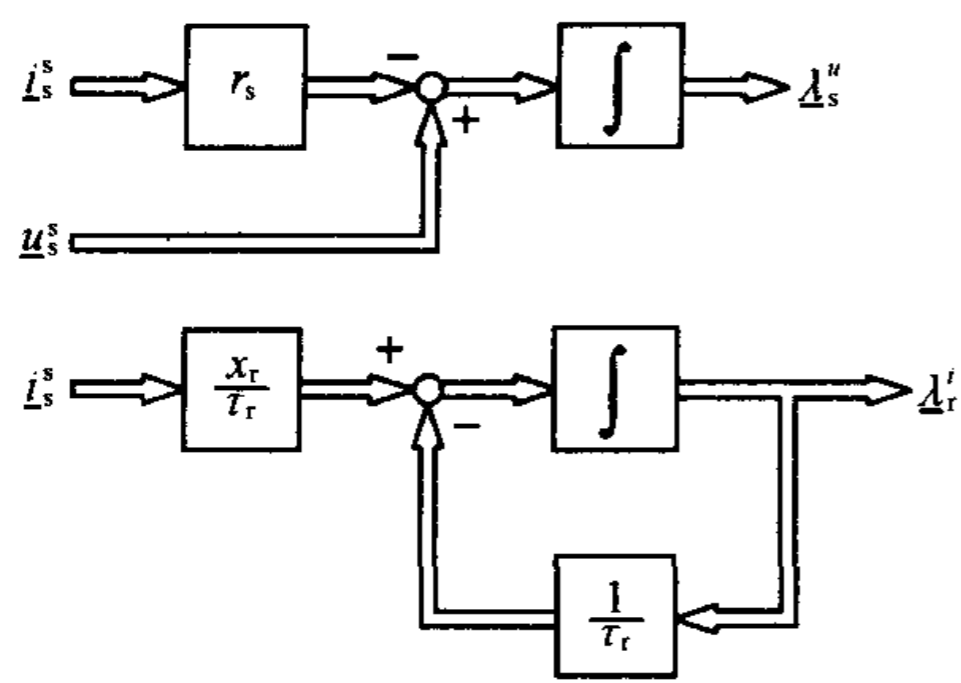


图1 电压模型(上图)和电流模型(下图)
(参数和角标的意义见正文)

$$\underline{u}_s^s = \frac{2}{3U_{\text{Bezug}}} (U_1 + e^{j\frac{2\pi}{3}} U_2 + e^{j\frac{4\pi}{3}} U_3) \dots\dots\dots(1)$$

$$\underline{i}_s^s = \frac{2}{3I_{\text{Bezug}}} (I_1 + e^{j\frac{2\pi}{3}} I_2 + e^{j\frac{4\pi}{3}} I_3) \dots\dots\dots(2)$$

式中,下标s表示与定子有关的量,即定子电压矢量和定子电流矢量。上标表示所采用的参考坐标系,在电压模型中,表示的是与定子有关的固定坐标系。

电压模型的所有输出量用上标u表示,它同样表示固定定子坐标系。

借助定子电压差分方程,电压模型可计算出定子磁通空间矢量的复数 ϕ_s^u 。作为电机参数,必须知道有关的定子电阻。采用磁通矢量以及定子电流空间矢量的共轭复数 i_s^{s*} ,可以确定由电压模型推导出有关的转矩:

$$m^u = -I_m (i_s^{s*} \cdot \phi_s^u) \dots\dots\dots(3)$$

3.3 电流模型

电流模型的输入量是与转子有关的用上标r表示的定子电流空间矢量。为了将转子固定的坐标系变换为定子固定的坐标系,必须知道定子和转子之间的机械旋转角度。机械旋转角度可以通过编码器或者能提供每一转的脉冲数的位置的简单检测装置来确定。

电流模型需要2个参数,即转子电抗 x_r 和转子时间常数 t_r 。它们可以通过相应的估算法和参数跟踪法来确定。计算出的转子磁通矢量 ϕ_r^i 可以通过转子电压方程来确定。电流模型的输出量用上标i表示。

与方程式(3)类似,可确定电流模型的转矩为:

$$m^i = -I_m (i_s^{r*} \cdot \phi_r^i) \dots\dots\dots(4)$$

3.4 原理

当电机具有理想的对称特性时,采用2个模型所计算的转矩完全相等。

当有缺陷时,转矩以2倍转子频率脉动。由2个模型得出的这些转矩脉动是不同的,因为2个模型所利用的输入参数不同,并且模型结构也不一样。此时存在转矩差:

$$\Delta m = m^u - m^i \dots\dots\dots(5)$$

而且同样以2倍转子频率脉动,脉动的振幅与负

载转矩成正比。将式(5)除以所估计的负载转矩就可以得到一个与负载状况无关的量,即相对转矩差。作为结合的结果是该转矩差仅与电机工作点的转子频率和负载转矩有关。

为了能可靠地判断出与转子频率无关的转子状态,须研究相对转矩脉动与转子磁通空间矢量旋转角度的关系。因为在转子固定的坐标系中转子磁通矢量以转子频率旋转,所以以2倍转子频率的脉动变换成以周期 π 的脉动,也就是变换成与转子圆周有关的2次谐波分量。这种计值形成与电机运行状态无关,因为转子频率本身就包含着磁通空间矢量的旋转运动。

此外,还采用分段法,即作为磁通旋转角(即下面所说的磁通角)函数的相对转矩的变化是离散的。为此,将360°角度等分成32等分,所以实际计值的部分能通过磁通角清楚确定。每一部分的数据由该部分相对转矩差的递归的平均值组成。对于转矩差来说,磁通角在所分析的部分中。通过这种方法,能够达到较好的过滤作用,这对于逆变器供电的电机特别必要,因为电机由逆变器供电时,电压、电流中含有丰富的谐波。

按确定的测量周期,对于每一部分的相对转矩差进行离散傅立叶级数分析。2次谐波代表2倍于转子频率的相对转矩差的幅值,并作为VMM的缺陷指示。

3.5 特点

VMM具有灵敏度高的特点。目前已能可靠地检测出1根转子导条的相对电阻增加百分之几十的情况。图2是在1根转子导条上依次测出的测量结果,其对应的电阻值可通过有限元法求得。缺陷度随电阻值的增加而不断增加。

图3为多根导条完全损伤的转子导条的例子。

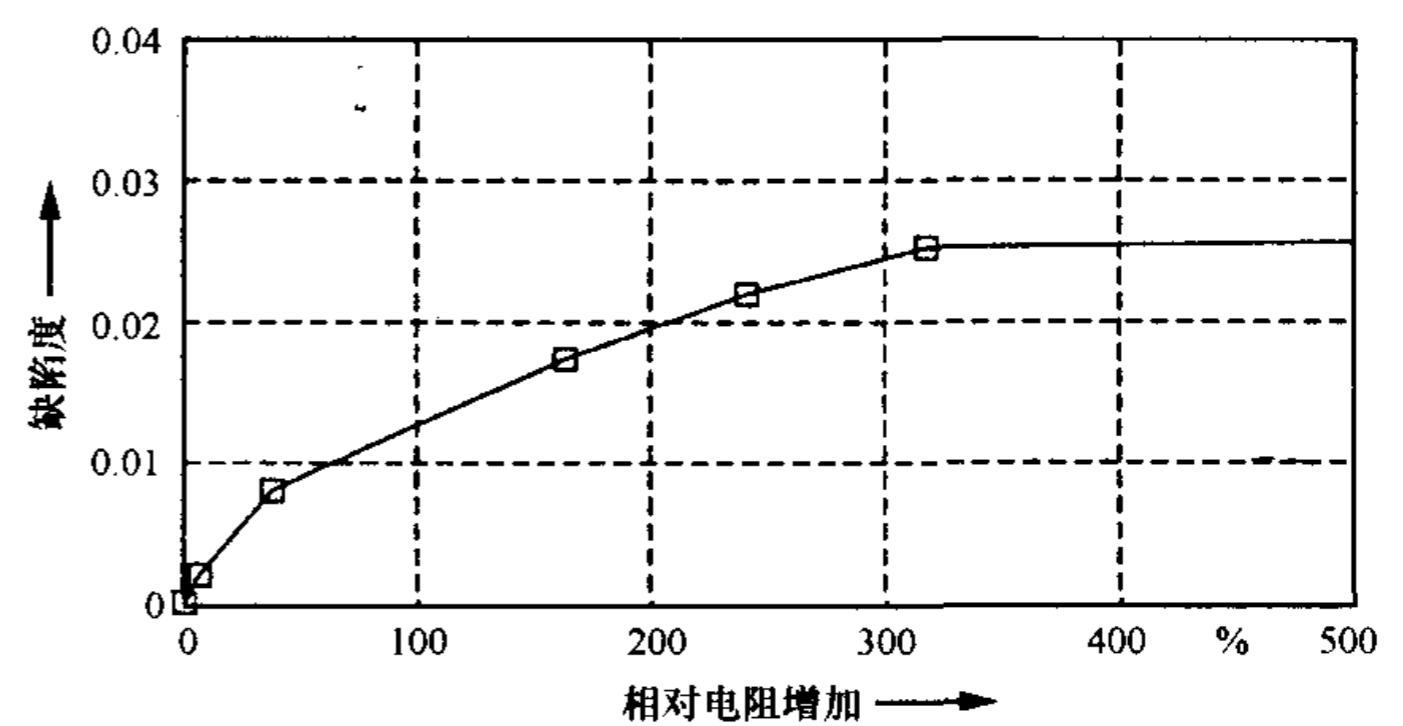


图2 缺陷度与1根转子导条的电阻增加之间的关系

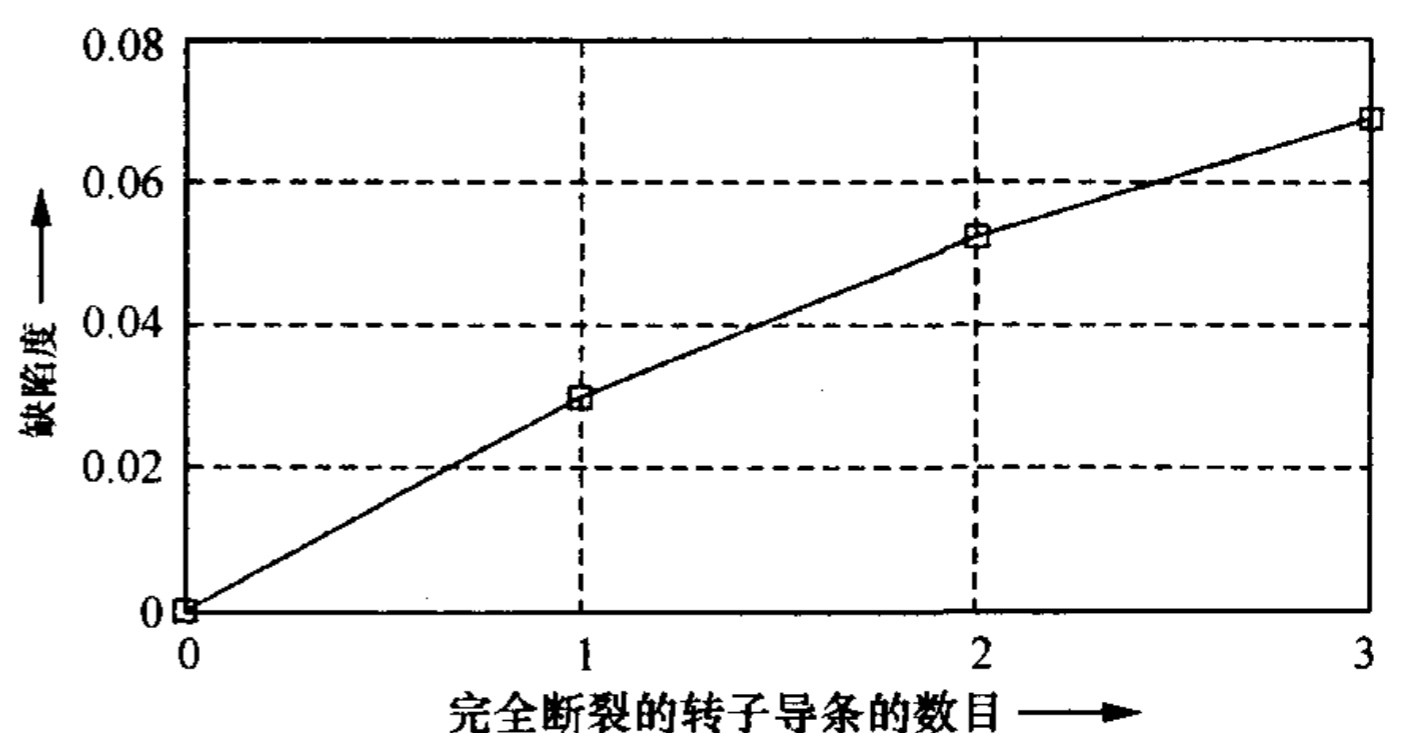
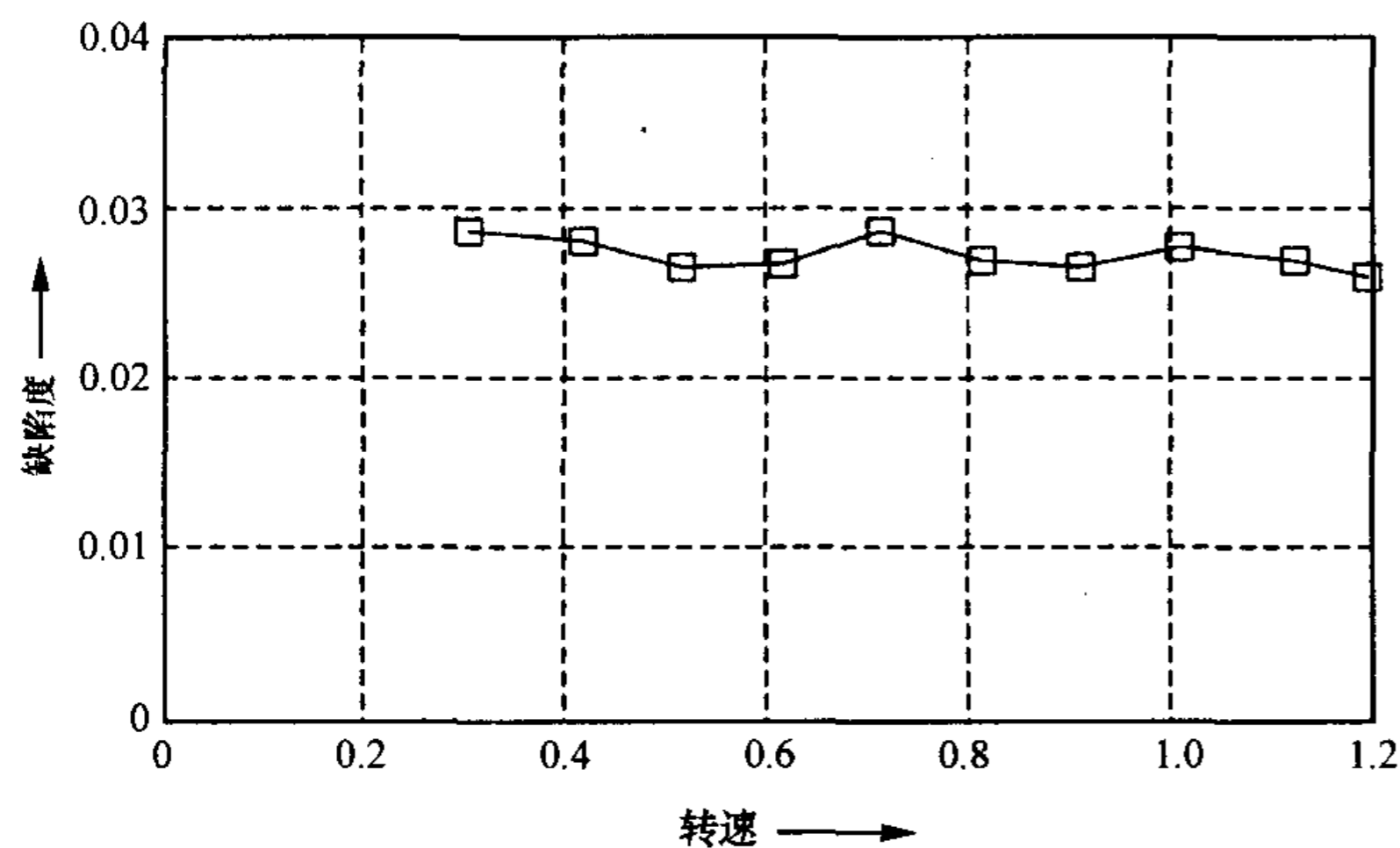


图3 完全断裂的转子导条的缺陷度

图4给出了缺陷度与电机转速之间的关系,即与转子频率之间的关系。当转速低于额定转速的30%时,采用电压模型就不可靠了。该转速范围必须通过



故障分析来予以排除。相反,在较高转速范围中,缺陷度为一常数。此外,图4还表明缺陷度与电机转速无关。

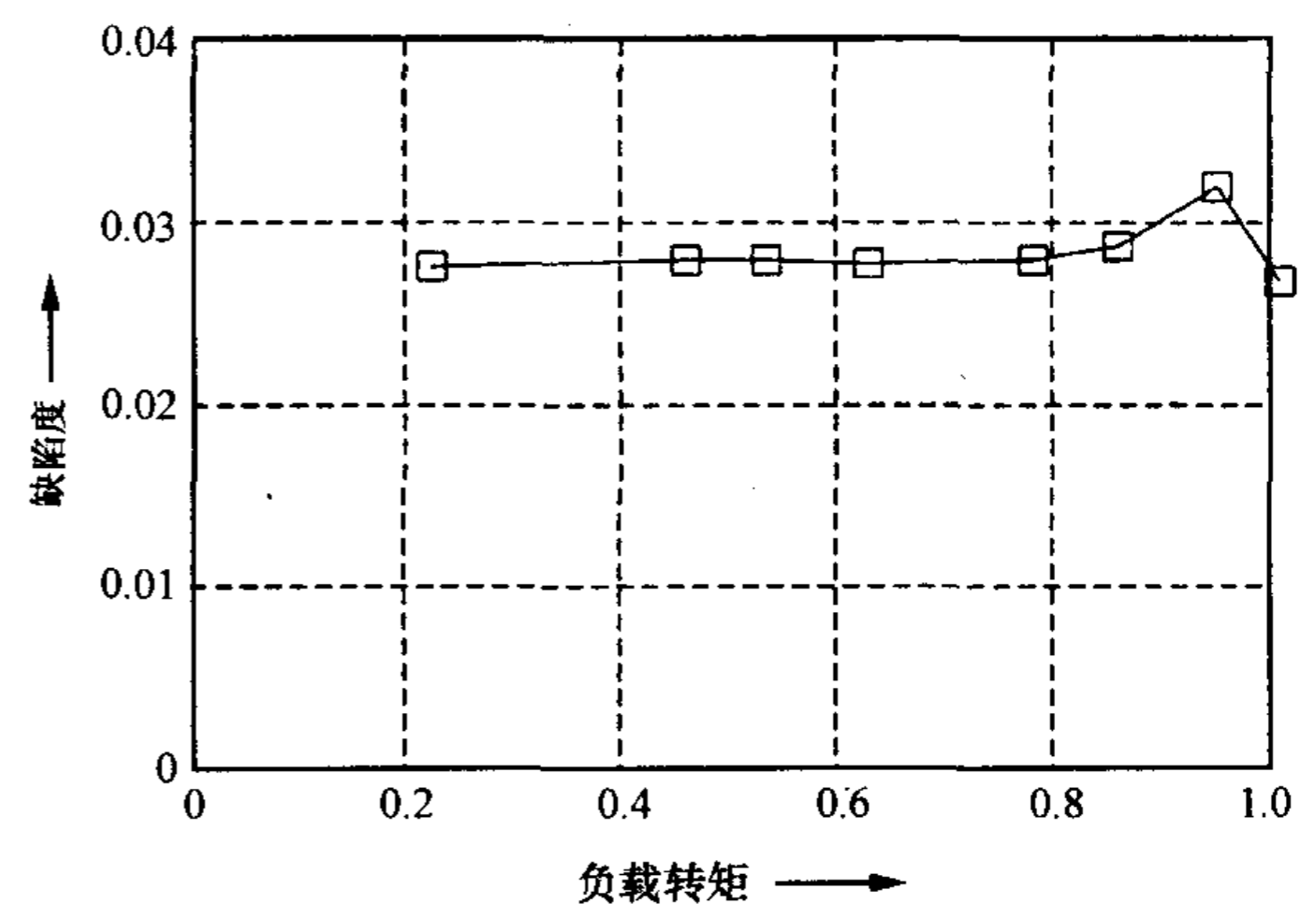


图4 当转子导条完全断裂时,缺陷度与转速(左图)及负载转矩(右图)之间的关系

目前所给出的测量结果仅仅只涉及静态运行工况,但VMM同样适用于电机动态运行。图5给出了一个恒定频率和负载变化的实例,计算了每40s的缺陷度,因此其变化曲线为梯形。

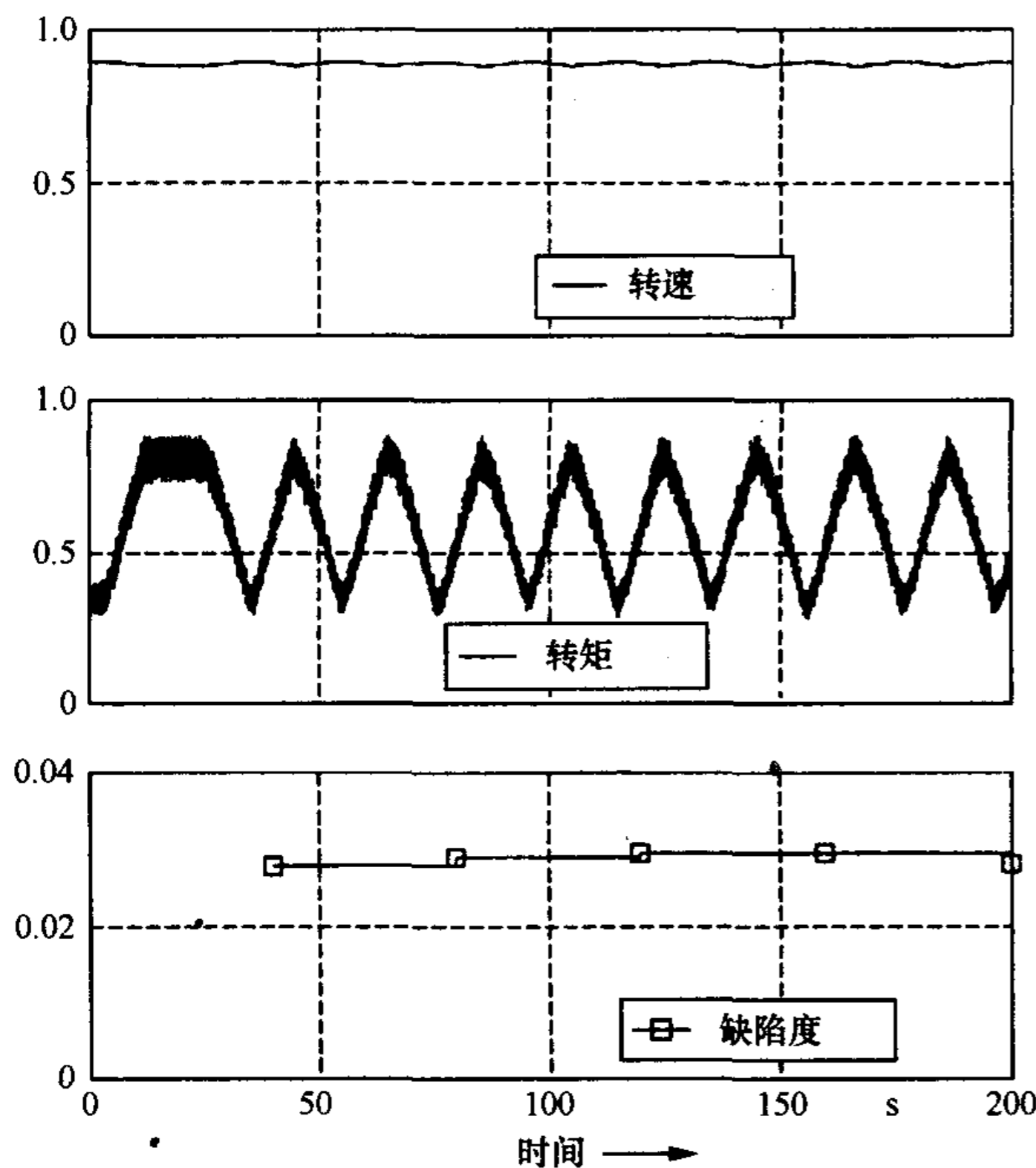


图5 完全断裂的转子导条动态运行时,转速、转矩和缺陷度与时间的关系

为了可靠地测定缺陷度,必须有足够长的测量时间。因为与电机结构尺寸和负载点有关的转子频率仅为额定频率的百分之几,为达到相应的精度,对转子固定的磁通空间矢量必须进行多次旋转,这就需要较长的测量时间。但是对检测转子缺陷来说,该测量时间本身就是非临界的,因为这类故障本身不会突然出现。

4 应用可能性

所给出的结果表明VMM可适用于逆变器运行工况,因为它与电机转速及负载转矩无关。无论是静态运行还是动态运行,VMM都能可靠地计算出缺陷度。此外,VMM与传动所采用的控制方法无关。因此它可应用于牵引领域,且与所使用的工艺技术无关。

Arsenal研究中心根据VMM基本原理,已经开发出外部使用的测量装置。该装置配置了几个传感器。与供电的逆变器无关,该装置可测量出电压、电流以及转子的位置。在这种应用时应有完整的所需的模型和参数输入。该装置不仅适用于电网供电也可适用于逆变器供电的异步电动机,因此也适用于牵引领域。但也必须说明,所需的方法在软件方面应有别于传动逆变器信号处理程序。

对于每一种情况,必须非常仔细地确定所采用的模型及参数。此外,掌握转子的位置也非常重要。只有每一个模型都可靠工作,才能保证掌握所出现的效应。因此也能够可靠地检测出转子故障。

在这种前提下,详细的试验和实践工作保证了VMM具有可靠且精度很高的特点,它目前已在工业领域中应用,同样也可应用于牵引领域。

(参考文献5篇略)

译自《eb》2002, №4

译者:李益丰

校者:王渤洪