

鼠笼型异步电动机转子故障诊断新方法

蒋建东, 蔡泽祥

(华南理工大学电力学院电力工程系, 广东 广州 510640)

摘要: 通过频谱分析看定子电流中是否存在 $(1 \pm 2s)f_1$ 频率分量来确定鼠笼型异步电动机转子是否故障的方法得到了广泛的应用, 但是由于 $(1 \pm 2s)f_1$ 频率分量的幅值相对于基频 f_1 分量的幅值非常小, 且频率 $(1 \pm 2s)f_1$ 与频率 f_1 在频谱图上非常接近, 使得这种方法存在诊断灵敏度低和对采样分辨率要求高的缺点。利用异步电动机定子单相瞬时功率信号中含有的信息量丰富的特点, 提出了一种基于定子单相瞬时功率信号频谱分析的诊断鼠笼型异步电动机转子故障的新方法。该方法首先把单相瞬时功率信号中的直流分量过滤掉, 然后利用快速傅立叶变换看信号频谱图中是否存在 $2sf_1$ 故障特征量来判断鼠笼转子有无故障, 具有故障特征信息多、诊断灵敏度高、对采样分辨率要求低的优点。文中用数字仿真和实测结果验证了该方法的有效性, 并给出了导条断裂根数和故障特征分量 $2sf_1$ 与 2 倍频分量幅值之比的对应关系。

关键词: 单相瞬时功率法; 转子故障诊断; 灵敏度; 分辨率

中图分类号: TM343.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)07-0014-03

0 引言

转子导条、端环断裂或开焊是鼠笼型异步电动机的常见故障, 转子故障后在定子电流中出现频率为 $(1 \pm 2s)f_1$ 的电流分量, 通过频谱分析检测定子电流中是否存在 $(1 \pm 2s)f_1$ 频率分量可以诊断转子有无故障。由于这种方法简便易行, 不损伤电机本身, 因而得到了广泛应用^[13]。但是由于 $(1 \pm 2s)f_1$ 分量的幅值相对于基频 f_1 分量的幅值往往较小, 同时异步电动机运行时转差率 s 很小, $(1 \pm 2s)f_1$ 与 f_1 非常接近, 在频谱图上 $(1 \pm 2s)f_1$ 频率分量会因 f_1 频率分量的泄漏而淹没, 降低了故障诊断的灵敏度并增加了对采样分辨率的要求。为了克服这些缺点, 人们采取了其它一些卓有成效的方法如自适应滤波法、准确滤波法、希尔伯特变换法以及启动电流时变频谱分析法等^[47]。

本文通过对定子单相瞬时功率信号的频谱分析提出了一种新的鼠笼型异步电动机转子故障诊断方法。并用数字仿真和实测结果对其有效性进行了验证。

1 单相瞬时功率法

假设电动机电源是理想的三相正弦交流电压, 并且电动机本身结构是对称的。这样, 正常运行的电动机的相电流将是理想的正弦波。设电动机相电压和相电流分别为 (以 A 相为例):

$$u_{A(t)} = U_m \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$i_{A(t)} = I_m \cos(\omega t - \theta) \quad (2)$$

其中: θ 为电动机的功率因数角。

则 A 相的瞬时功率为:

$$P_{A(t)} = u_{A(t)} \cdot i_{A(t)} = \frac{1}{2} U_m I_m \cos \theta + \frac{1}{2} U_m I_m \cos(2\omega t - \theta) \quad (3)$$

由式(3)可以看出, 正常运行时单相瞬时功率信号中含有直流分量和 2 倍频分量, 其中的直流分量与负荷平均水平相关。

鼠笼转子故障后, 定子电流中将被调制出 $(1 \pm 2s)f_1$ 的频率分量^[8]。设 A 相电流为:

$$i_{Af(t)} = I_{mf} \cos(\omega t - \theta_f) + I_{1-2s} \cos[(1-2s)\omega t - \theta_{1-2s}] + I_{1+2s} \cos[(1+2s)\omega t - \theta_{1+2s}] \quad (4)$$

式中: I_{mf} 、 I_{1-2s} 、 I_{1+2s} 分别为基频分量、 $(1-2s)f_1$ 分量、 $(1+2s)f_1$ 分量电流的幅值; θ_f 、 θ_{1-2s} 、 θ_{1+2s} 分别为基频分量、 $(1-2s)f_1$ 分量、 $(1+2s)f_1$ 分量电流的滞后角度。这时 A 相瞬时功率为:

$$P_{Af(t)} = \frac{1}{2} U_m I_{mf} \cos \theta_f + \frac{1}{2} U_m I_{mf} \cos(2\omega t - \theta_f) + \frac{1}{2} U_m I_{1-2s} \cos[2(1-s)\omega t - \theta_{1-2s}] + \frac{1}{2} U_m I_{1+2s} \cos[2(1+s)\omega t - \theta_{1+2s}] + \frac{1}{2} U_m I_{1-2s} \cos(2S\omega t + \theta_{1-2s}) + \frac{1}{2} U_m I_{1+2s} \cos(2s\omega t - \theta_{1+2s}) \quad (5)$$

由式(5)可以看出, 故障后单相瞬时功率信号较

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(990579)

故障后电流信号含有更丰富的信息量,并且与正常运行时的单相瞬时功率信号相比,故障后单相瞬时功率信号中除了直流分量和 2 倍频分量外,还含有 $2(1 \pm s)f_1$ 分量和 $2sf_1$ 分量, $2(1 \pm s)f_1$ 分量和 $2sf_1$ 分量都可以作为诊断转子故障的特征量。直流分量与负荷平均水平相关,在信号预处理中叠加一个与其大小相近的负的直流分量,即可将其部分或完全过滤掉,剩下的 $2sf_1$ 分量远离 $2(1 \pm s)f_1$ 分量和 2 倍频分量,使得 $2sf_1$ 分量不会因二者的泄露而被淹没。可通过检测 $2sf_1$ 分量来判断鼠笼转子有无故障。

2 仿真与实验结果分析

鼠笼断条故障的情况比较复杂,即使相同的断条数,随着鼠笼断条在转子上的位置不同,也能组合出多种故障情况,这就使得不同的故障可能出现相同的结果。为简单起见,我们仅考虑最有可能发生的故障,即相邻导条断裂的情况。这也是与鼠笼故障的实际情况相符合的,因为鼠笼断条后,相邻导条上的电流增大,在电磁力与热应力的作用下,使其成为最可能断裂的导条。

本文用一个 75 kW 的电机(型号为 JO₂-92-6)对鼠笼一根断条、连续两根断条、连续 3 根断条、连续 4 根断条作了数字仿真,并用一个 1.1 kW 的电机(型号为 JO₂-21-4)对鼠笼一根断条、连续两根断条、连续 3 根断条作了实验。其结果分别示于图 1 和图 2,其中图(a)是 2 根导条断裂时的频谱图;图(b)是导条断裂根数和故障特征分量 $2sf_1$ 与 2 倍频分量幅值之比的对对应关系。

由图 1、图 2 可以看出:

1) 鼠笼故障后,单相瞬时功率频谱图中出现了明显的 $2sf_1$ 分量,该分量可以用来判断鼠笼转子有无故障;

2) 虽然仿真和实验用的两台电动机容量不同,导条断裂根数和故障特征分量 $2sf_1$ 与 2 倍频分量幅值之比大概都为 $N \times (34.5)\%$,其中 N 为导条断裂根数,该比值可以用来诊断故障的严重程度;

3) 图 2(a)中出现的 50 Hz 分量是因为在鼠笼断条后的定子电流中含有直流分量,反映在单相暂态能量中就是 50 Hz 分量,它对故障诊断没有影响。该直流分量可能是由于电动机结构不对称造成的(实验用电动机是一台淘汰的旧电机,出厂日期为 1974 年 11 月)。经频谱分析,正常稳态运行的定子电流中也含有明显的直流分量,这也说明该电动机本身结构的不对称。

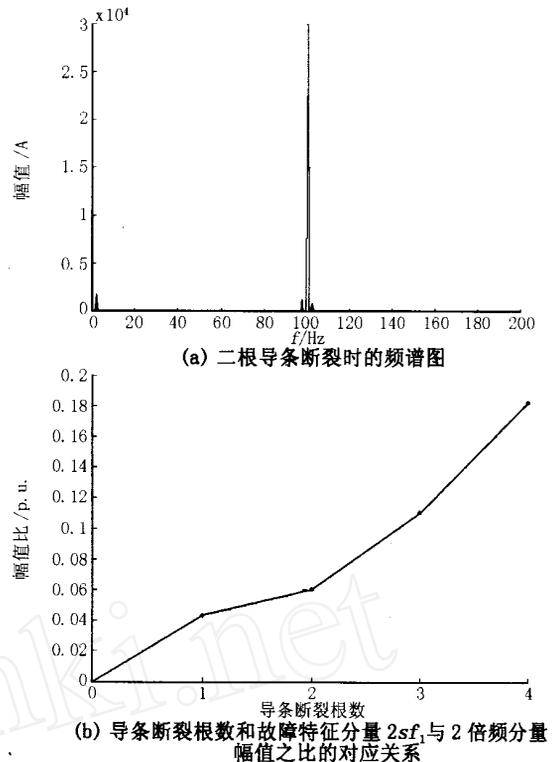


图 1 数字仿真结果

Fig. 1 Numerical simulation results of a 75 kW induction motor

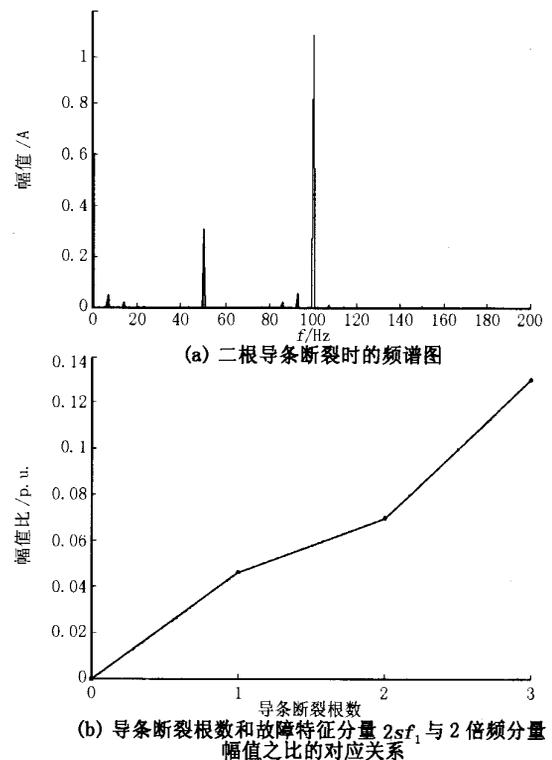


图 2 实验结果

Fig. 2 Experimental results of a 1.1 kW induction motor

3 结论

本文利用单相瞬时功率信号中含有的信息量多的特点,采用滤波和快速傅立叶变换方法,通过检测 $2sf_1$ 故障特征分量来判断鼠笼转子有无故障,给出了一种鼠笼型异步电动机转子故障诊断的新方法,提高了故障诊断的灵敏度,并且降低了对采样分辨率的要求。

参考文献:

- [1] Caydon B G, Hargis C, Kamash K. The Detection of Rotor Faults in Induction Motors[A]. IEE Conf on Electrical Machines Design and Applications. London:1982. 216-220.
- [2] Kilman G B, Stein J, Endicott R D, et al. Noninvasive Detection of Broken Rotor Bars in Operating Induction Motors[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 1988, 3 (4): 873-879.
- [3] 姜建国,汪庆生,杨秉寿,等(J IANG Jian-guo, WANG Qing-sheng, YANG Bing-shou, et al). 用自适应方法提取鼠笼式异步电动机转子断条的特征分量(Applying the Adaptive Noise Cancellation to Extract the Features of Squirrel Cage Induction Motor with Rotor Defects) [J]. 电工技术学报(Transactions of China Electrotechnical Society),1996,(4):176-179.

- [5] 许伯强,叶东,孙丽玲(XU Bo-qiang, YE Dong, SUN Li-ling). 笼型异步电动机转子断条的在线检测新方法(A New Method to Detect Rotor Bar Broken Fault in Squirrel Cage Asynchronous Motors) [J]. 华北电力大学学报(Journal of North China Electric Power University),1998,25(3):34-39.
- [6] 邱阿瑞(QIU A-rui). 提取感应电动机转子故障特征的新方法(New Approach of Extracting Rotor Fault Feature in Induction Motors) [J]. 清华大学学报(自然科学版)(Journal of Tsinghua University, Sci & Tech Edition),1997,37(1):35-37.
- [7] 邱阿瑞(QIU A-rui). 用启动电流的时变频谱诊断鼠笼异步电动机转子故障(Diagnosis of Rotor Fault in Squirrel Cage Induction Motors Using Time Varying Frequency Spectrum of Starting Stator Current) [J]. 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE),1995,15(4):267-273.
- [8] 沈标正(SHEN Biao-zheng). 电机故障诊断技术(Diagnosis Technology of Electric Machines) [M]. 北京:机械工业出版社(Beijing: China Machine Press),1996.

收稿日期: 2003-07-07; 修回日期: 2003-09-17

作者简介:

蒋建东(1975-),男,博士研究生,研究方向为电力系统故障诊断与继电保护;

蔡泽祥(1960-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为电力系统故障诊断与继电保护、电力系统稳定分析与控制。

A new method to detect the rotor fault in squirrel cage induction motor

J IANG Jian-dong, CAI Ze-xiang

(Electrical Engineering Department, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Using the frequency component $(1 \pm 2s)f_1$ in stator current to detect the rotor faults in squirrel cage induction motor is widely employed. But because the amplitude of frequency component $(1 \pm 2s)f_1$ is very small compared with that of fundamental frequency component f_1 and they are close to each other in the current spectrum, it is difficult to distinguish the $(1 \pm 2s)f_1$ component from stator current. In this paper, by analyzing the single-phase instantaneous power signal, a new method to detect the rotor fault in squirrel cage induction motor is presented. This method filtrates direct current component from the single-phase instantaneous power signal. Then the signal is analyzed by FFT. In the spectrum the $2sf_1$ component is the characteristic of the rotor fault. The method has the advantages of high sensitivity and low requirement to sampling resolving power. Both simulation and experimental testing results demonstrate the effectiveness of the method. The relation between the number of contiguous broken rotor bars and the ratio of the amplitude of the current components $2sf_1$ and f_1 is also given.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Guangdong Province(No.990579).

Key words: single-phase instantaneous power; rotor fault diagnosis; sensitivity; resolving power