

文章编号：1005-8451 (2011) 09-0047-04

ZOOM-FFT 在检测轨道电路移频信号参数研究中的误区

王 安, 熊信民

(西北工业大学 自动化学院, 西安 710129)

摘要：本文在分析移频信号的频谱特点的基础上，通过 MATLAB 仿真发现，用 ZOOM-FFT 方法提高频率分辨率是有前提条件的，该方法需要较长的采样时间，而这不能满足测试仪表实时性要求。并指出了 ZOOM-FFT 在检测轨道电路移频信号参数研究中的误区。

关键词：移频信号；ZOOM-FFT；频率分辨率；MATLAB

中图分类号：U284

文献标识码：A

Misunderstanding of research on detecting parameters of frequency-shift signaling in track circuit using ZOOM-FFT

WANG An, XIONG Xin-min

(School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: This paper analyzed the characteristic of frequency-shift signaling. Through the simulation of MATLAB, it was found that it was of prerequisite to improve the frequency resolution by ZOOM-FFT, it needed more sampling time, and could not meet the real-time needs of testing instrumentation. The paper pointed out the misunderstanding of research on detecting the parameters of frequency-shift signaling in track circuit using ZOOM-FFT.

Key words: frequency-shift signaling; ZOOM-FFT; frequency resolution; MATLAB

铁路在国民经济的发展中起了很重要的作用。为了保证行车安全，需要定期检测轨道电路的相关运行参数，而现行的轨道电路主要采用移频信号作为控制信息，因此及时了解轨道电路移频信号的状态，能够为线路检修工作提供极大的方便。

目前，很多对移频信号参数的检测方法的研究^[1-3]，都采用 ZOOM-FFT 进行频谱细化，期望达到高频率分辨率。而在实际工程条件下，该方法并不能真的提高频率分辨率，只是降低了计算的复杂程度。通过 MATLAB 仿真实验，验证了用 ZOOM-FFT 方法并不能任意提高频率分辨率，该方法要受到采样时间长短的限制。

1 轨道电路移频信号分析

我国轨道电路的制式主要是移频轨道电路，包括国产 18 信息移频轨道电路和引进法国 UM71 型并加以国产化的 ZPW-2000 型移频轨道电路。二者均以频率作为参数，采用频率调制的方法，把低频信息搬到较高的载频上，以形成振幅不变、频率

随低频信号的幅度做周期性变化的调频信号，实现信息的传递。

表 1 国产 18 信息移频轨道电路的移频信号

载频	550、650、750、850
低频	7、8、8.5、9、9.5、11、12.5、13.5、15、16.5、17.5、18.5、20、21.5、22.5、23.5、24.5、26
频偏	± 55

表 2 ZPW-2000 型移频轨道电路的移频信号

载频	1700、2000、2300、2600
低频	10.3、11.4、12.5、13.6、14.7、15.8、16.9、18、19.1、20.2、21.3、22.4、23.5、24.6、25.7、26.8、27.9、29
频偏	± 11

这样就产生了 2 种制式的移频信号，其参数载频、低频和频偏的频率如表 1 和表 2 所示。(单位：Hz)。

移频信号的时域表达式^[4]为：

$$S(t) = A_0 \cos(\theta(t)) = A_0 \cos[\Omega_0 t + g(t)]$$

其中 $g(t) = kf(t)$ ， A_0 为移频信号的振幅， $\theta(t)$ 为移频信号的瞬时相位， Ω_0 为载频的角频率， $f(t)$ 表示低频调制方波信号， k 为系数，代表移频器的灵敏度，单位是 Hz/V。

收稿日期：2010-11-19

作者简介：王 安，副教授；熊信民，在读硕士研究生。

将上式用傅里叶级数展开，经过变换可得移频信号的频谱表达式^[4]如下：

$$\eta_A = \frac{P_\Sigma}{P_i} = \frac{P_\Sigma}{P_\Sigma + P_1}$$

$$S(t) = \frac{A_0}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{m^2 - n^2} [(m+n)(\sin m \frac{\pi}{2} \cos n \frac{\pi}{2} - \cos m \frac{\pi}{2} \sin n \frac{\pi}{2}) + (-1)^n (m-n)(\sin m \frac{\pi}{2} \cos n \frac{\pi}{2} + \cos m \frac{\pi}{2} \sin n \frac{\pi}{2})] \times \cos(\Omega_0 + n \Omega_1) t$$

式中， Ω_1 为基频， m 为移频指数， n 为边频数， $n = \dots -2, -1, 0, 1, 2, \dots$ 。

移频信号的理论频谱如图 1 和图 2。

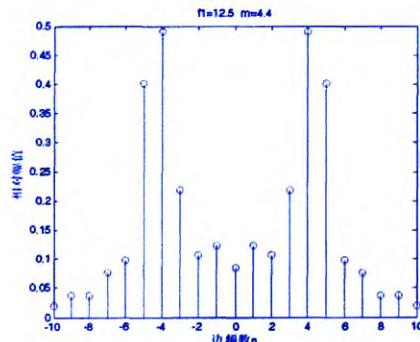


图 1 国产 18 信息移频信号理论频谱

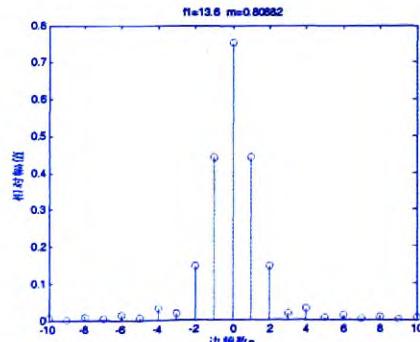


图 2 ZPW-2000 型移频信号理论频谱

通过分析移频信号的理论频谱的特点可知：对于国产 18 信息轨道电路，将峰值最大的两个边频对应的频率相加求取平均值可以得到信号的载频频率，两条相邻边频对应频率之差的绝对值为信号的低频调制频率；对于 ZPW-2000 型轨道电路，峰值处的对应频率即为信号的载频频率，两条相邻边频对应频率之差的绝对值为信号的低频调制频率。

2 问题的提出

反映移频信号的参数有载频和低频调制频率。现场对以上参数进行检测，与预先设定的标准值进行比较，从而判断发送移频信号的设备是否工作正常。

检测参数达到的技术指标如下：

- (1) 载频：分辨率为 0.1 Hz，误差为 0.2 Hz ± 1 个分辨率。
- (2) 低频：分辨率为 0.01 Hz，误差为 0.03 Hz ± 1 个分辨率。

对移频信号做频谱分析时，频率分辨率 $df = f_s / N$ ，其中 f_s 为采样频率， N 为采样点数。提高频率分辨率的 2 种途径：增加采样点数 N 、降低采样频率 f_s 。但是增加采样点数的方法需要处理大量的数据，而且需要大量的存储空间，对硬件要求很高；而降低采样频率的方法会使信号的频谱产生混叠，不能保证频率的检测精度。采样时间（即使用的信号的长度） $T = N/f_s$ ，因此频率分辨率反比于采样时间，提高频率分辨率就意味着采样时间会增加，不能满足测试仪表的实时性要求。这就需要找到一种方法在提高频率分辨率和降低采样时间之间做一个平衡。

3 ZOOM-FFT 方法实质

研究发现，ZOOM-FFT 频谱细化分析能提高局部谱线的分辨率是相对而言的。

例如：采样频率为 f_s ，做 N 点的 ZOOM-FFT 频谱细化，如果细化倍数为 D ，频率分辨率为 $\Delta f_1 = f_s / (D * N)$ ，直接做 N 点的 FFT 变换，频率分辨率为 $\Delta f_2 = f_s / N$ ，这样 $\Delta f_1 / \Delta f_2 = 1/D$ ，相当于做 N 点 ZOOM-FFT 频谱细化比做 N 点 FFT 变换频率分辨率提高了 D 倍。注意到要做 N 点 ZOOM-FFT 实际中需要采样 $D * N$ 个点，实际上频率分辨率已经达到 $\Delta f_1 = f_s / (D * N)$ ，只是没有做 $D * N$ 点的 FFT 变换而已。因此，ZOOM-FFT 并没有提高频率分辨率，只是降低了计算的复杂程度。

4 计算机仿真验证

这里选用 3 个频率相近的正弦波叠加组成的

周期信号，分别采用 ZOOM-FFT 频谱细化和普通 FFT 处理，以下 3 组 MATLAB 仿真结果可以验证我们对 ZOOM-FFT 的看法。

(1) 第 1 组仿真参数设置及分析

3 个正弦波频率分别为： $f_1=7 \text{ Hz}$, $f_2=7.2 \text{ Hz}$, $f_3=8 \text{ Hz}$ 。采样频率 $f_s=200 \text{ Hz}$, 采样点数 $N=1024$, 细化倍数 $D=10$, 普通 FFT 长度为 $nfft=512$ 。

计算可知，以 200 Hz 的频率采样 1024 点，ZOOM-FFT 频率分辨率实际上可以达到 $\Delta f=f_s/N=200/1024=0.195$, 具备将 f_1 和 f_2 分开的能力。而作 $nfft=512$ 点普通 FFT 变换频率分辨率为 $\Delta f_2=f_s/nfft=200/512=0.391$, 显然不能分辨 f_1 和 f_2 。MATLAB 仿真结果如图 3。

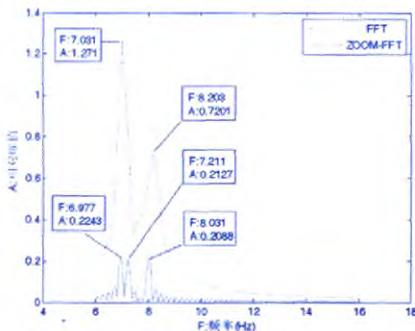


图 3 ZOOM-FFT 与普通 FFT 仿真结果 1

理论上信号的频谱有 3 个峰值，在图 3 中，普通 FFT 仿真后丢失了一个峰值，得到的 2 个峰值频率分别为 7.031 Hz 和 8.203 Hz，ZOOM-FFT 仿真后的 3 个峰值频率分别为 6.977 Hz、7.211 Hz 和 8.031 Hz。对比仿真结果可知普通 FFT 不能分辨 f_1 和 f_2 ，而 ZOOM-FFT 能分辨 f_1 和 f_2 ，与计算预想的结果相同。

(2) 第 2 组仿真参数设置及分析

3 个正弦波频率分别为： $f_1=7 \text{ Hz}$, $f_2=7.1 \text{ Hz}$, $f_3=8 \text{ Hz}$ 。采样频率 $f_s=200 \text{ Hz}$, 采样点数 $N=1024$, 细化倍数 $D=10$, 普通 FFT 长度为 $nfft=512$ 。

计算可知，以 200 Hz 的频率采样 1024 点，ZOOM-FFT 频率分辨率实际上可以达到 $\Delta f=f_s/N=200/1024=0.195$, 不具备将 f_1 和 f_2 分开的能力。而作 $nfft=512$ 点普通 FFT 变换频率分辨率为 $\Delta f_2=f_s/nfft=200/512=0.391$, 显然也不能分辨 f_1 和 f_2 。MATLAB 仿真结果如图 4。

理论上信号的频谱有 3 个峰值，在图 4 中，普

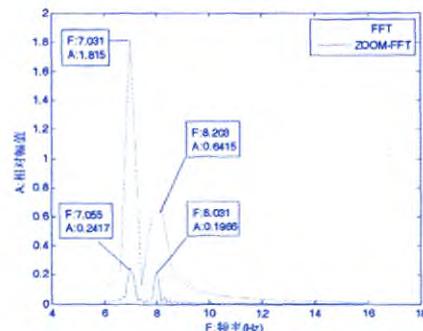


图 4 ZOOM-FFT 与普通 FFT 仿真结果 2

通 FFT 仿真后丢失了一个峰值，得到的 2 个峰值频率分别为 7.031 Hz 和 8.203 Hz，ZOOM-FFT 仿真后也丢失了一个峰值，得到的 2 个峰值频率分别为 7.055 Hz 和 8.031 Hz。对比仿真结果可知普通 FFT 不能分辨 f_1 和 f_2 ，而 ZOOM-FFT 也不能分辨 f_1 和 f_2 ，与计算预想的结果相同。

(3) 第 3 组仿真参数设置及分析

3 个正弦波频率分别为： $f_1=7 \text{ Hz}$, $f_2=7.1 \text{ Hz}$, $f_3=8 \text{ Hz}$ 。采样频率 $f_s=100 \text{ Hz}$, 采样点数 $N=1024$, 细化倍数 $D=10$, 普通 FFT 长度为 $nfft=512$ 。

计算可知，以 100 Hz 的频率采样 1024 点，ZOOM-FFT 频率分辨率实际上可以达到 $\Delta f=f_s/N=100/1024=0.098$, 具备将 f_1 和 f_2 分开的能力。而作 $nfft=512$ 点普通 FFT 变换频率分辨率为 $\Delta f_2=f_s/nfft=100/512=0.391$, 显然不能分辨 f_1 和 f_2 。MATLAB 仿真结果如图 5。

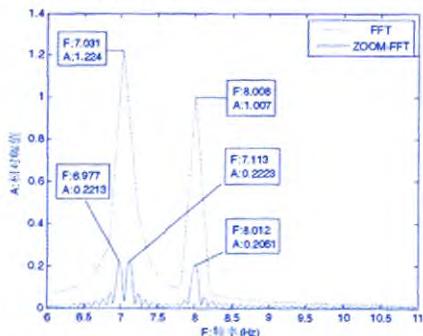


图 5 ZOOM-FFT 与普通 FFT 仿真结果 3

理论上信号的频谱有 3 个峰值，在图 5 中，普通 FFT 仿真后丢失了一个峰值，得到的 2 个峰值频率分别为 7.031 Hz 和 8.008 Hz，ZOOM-FFT 仿真后的 3 个峰值频率分别为 6.977 Hz、7.113 Hz 和 8.012 Hz。对比仿真结果可知普通 FFT 不能分辨 f_1 和 f_2 ，而 ZOOM-FFT 能分辨 f_1 和 f_2 ，与计算预

想的结果相同。

分析以上3组仿真结果可知, ZOOM-FFT的频率分辨率与实际的采样频率和采样点数有关系, 要达到与普通FFT相同的频率分辨率, 需要采样更多的点数, 这样采样持续时间很长。ZOOM-FFT只是在计算中处理少量的点数, 降低了计算的复杂程度。而在工程应用中, 现场测试设备对实时性有较高要求, 不能允许测试时间过长。如对ZPW-2000型轨道电路移频信号载频 $f_c=2000\text{ Hz}$, 低频 $f_l=10.3\text{ Hz}$ 来说, 要求载频分辨率为 0.1 Hz , ZOOM-FFT方法实际采样时间需要 10 s , 使用该方法也达不到实时性的要求。

5 结束语

本文在分析轨道电路移频信号的频谱特点的基础上, 研究发现ZOOM-FFT方法达不到工程中

现场测试设备对实时性的要求, 指出该方法在研究检测轨道电路移频信号参数中的误区。对研究移频信号的检测方法有一定的指导意义, 避免在设计移频信号参数测试仪时做重复的研究。同时也表明了理论研究和工程应用存在差距, 在做工程产品开发时要分析实际需求, 多考虑限制条件, 而不是只做理论上的分析。

参考文献:

- [1] 武中奇, 杨世武. ZFFT算法在铁路移频信号分析中的应用及其DSP实现[J]. 铁道通信信号, 2008, 44(7): 32-34.
- [2] 吕剑飞, 卢迪. ZOOMFFT算法在车载FSK信号高精度检测中的应用[J]. 自动化技术与应用, 2007, 26(1): 63-64.
- [3] 焦玮琦, 陈特放. 基于局部频谱细化的轨道移频信号高精度检测[J]. 机车电传动, 2009(2): 48-50.
- [4] 杨少军, 李杭生. 基于DSP的移频机车信号分析研究与实现[D]. 武汉大学硕士学位论文, 2005(4): 8-10.

责任编辑 陈蓉

(上接P46)

即设计天线支架, 提高设备增益。

2.2 天线支架设计

天线涉及到机车控制器天线、手持台天线和室内区长台天线。然而为避免机车进出炉下、桥涵等发生碰撞, 机车控制器天线通常为 $8\text{-}15\text{ m}$, 一般直接放置机车顶部; 手持电台天线是固定不变的; 区长台天线安装一般为 $10\text{-}20\text{ m}$, 放置在炉前值班室房顶的天线架上, 房顶高约 6 m , 天线架高 1 m 。显然区长台天线有较大的升高容量, 天馈线余量也很足。将天线支架加高至 6 m , 天线高度升高近一倍。满足天线支架的设计方案如下:

(1) 根据炉前值班室使用区长台的数量: 3台868区长台, 5台HI-IV区长台, 考虑今后天线的扩容情况, 需做一些余量确定制作天线支架固定点的个数为12; (2) 根据天线支架安装位置, 以天线安装稳定、可承载重量及安装便利为前提, 确定天线架的高度为 6 m 以及制作天线支架的材料; (3) 根据天线的安装工艺及技术要求, 确定每两根天线之间的直线距离不得小于 75 cm , 天线定点到避雷针的仰角需大于 45° ; (4) 平调天线架避雷针的制作与安装应严格按照规范要求, 避雷针采用镀锌材料制成, 并需在避雷针上焊接鼻子,

保证地线能够有效连接到避雷针上。

根据直立全向天线的增益估算式可知, 天线增高, 其增益提高, 增强了站场信号场强。

2.3 调整设备功率

功率过大将影响到无线对讲机和电台的工作稳定性, 不利于设备安全运行, 因此适当调大设备功率, 提高天线的效率, 增加弱场强信号。把机车控制器内置电台功率调整到 3.0 W , 调车对讲机功率调整到 $2.0\text{ W}\text{-}2.5\text{ W}$, 机车控制器电台和对讲机最大功率可调整 4.0 W 。

大钢炉前作业机车较多, 共有2种型号的8个区长台。把HT-VI型区长台的功率调整到最大功率状态 4.0 W ; 把TK868型区长台的低功率状态调整到最大功率输出 5 W , 高功率状态调整到最大功率输出可达 25 W 。

3 结束语

改造天线支架以及提高设备功率后, 经过现场试验后发现, 通信信号质量有了较大的提高。保证了铁路运输的安全运行。

责任编辑 陈蓉