

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2019.01.08

用于飞机供电特性测试系统校准的波峰系数信号产生方法研究

柴艳丽, 程勤, 王剑昆

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 为实现飞机供电特性测试系统对交流电压波峰系数测量性能的校准, 保障飞机供电特性测试系统对该项参数测试结果的准确性, 研究了采用可编程电源配合相关硬件设备模拟产生具有指定波峰系数的交流电压信号的方法。针对其在飞机供电特性测试系统校准中应用的问题, 提出了抛物线拟合法产生具有指定波峰系数的交流电压信号方法。通过实际测量分析, 验证了抛物线拟合法模拟产生的交流电压信号的波峰系数具有更高的准确性, 更适用于实现飞机供电特性测试系统对交流电压波峰系数测量性能的校准。

关键词: 飞机供电特性; 校准; 波峰系数; 抛物线拟合法

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2019)01-0034-04

A Method for Generating Specified Crest Factor Signal for Calibration of Aircraft Electric Power Characteristic Test system

CHAI Yanli, CHENG Qin, WANG Jiankun

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: In order to calibrate the crest factor of the aircraft power supply characteristic test system, and to ensure the accuracy of the test results of the system, the programmable power supply and related hardware equipment were used to generate the specified crest factor. By analyzing and studying the common methods of time domain and frequency domain for generating AC voltage signals with specified crest factor, a parabolic fitting method was proposed to generate AC voltage signals with specified crest factor. Through the actual measurement analysis, it is verified that the parabolic fitting method has higher accuracy, and is more suitable for calibrating the crest factor of the aircraft power supply characteristic test system.

Key words: aircraft power supply characteristics; calibration; crest factor; parabolic fitting

0 引言

飞机供电特性测试系统是测量和评价飞机供电电源各项工作参数和性能的重要设备^[1-2], 为保障飞机供电特性测试系统对飞机供电电源各项工作参数测试结果的准确性, 需要定期对飞机供电特性测试系统进行校准。校准方法是通过与飞机供电特性测试系统相独立的硬件设备模拟产生符合校准规范要求的交流信号和直流信号, 并输入到飞机供电特性测试系统, 通过比较飞机供电特性测试系统的测量结果与校准信号的偏差, 实现对飞机供电特性测试系统的校准。

交流电压的波峰系数是飞机供电特性测试系统的一个重要的校准项目, 在一定程度上反映了飞机供电电源的输出品质, 以及机载用电设备对飞机供电电源的影响程度^[3]。为了实现飞机供电特性测试系统对交

流电压波峰系数测量性能的校准, 需要使用相关的硬件设备模拟产生具有指定波峰系数的交流电压信号。

1 波峰系数的交流电压信号的产生系统

产生具有指定波峰系数的交流电压信号的校准系统如图 1 所示。该系统主要由校准计算机、任意波形发生器、可编程三相交流功率电源、电子负载、信号调理模块、高速高精度数据采集系统等六个主要部分组成, 系统能够模拟产生具有指定波峰系数的交流电压信号, 同时也能实时的对该交流电压信号进行采集, 并监测在校准过程中该交流电压信号的波峰系数是否一直符合飞机供电特性的要求。

图 1 中, 校准计算机一方面用于实现具有指定波峰系数的交流电压信号波形的合成算法, 另一方面对

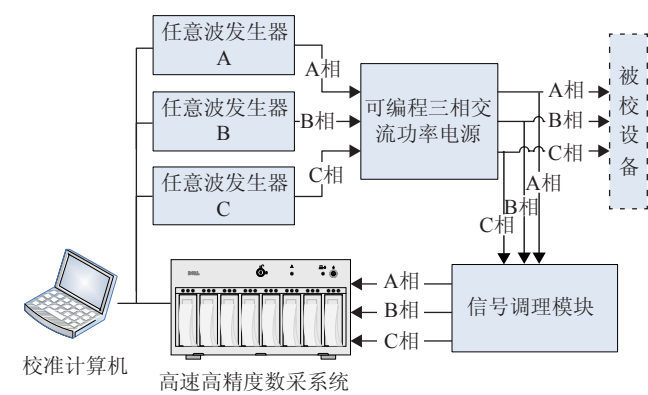


图1 校准系统原理图

高速高精度数据采集系统获取的交流电压信号进行分析并计算出相应的波峰系数；任意波发生器按照校准计算机合成的数据输出相应的交流信号的波形；可编程三相交流功率电源按着任意波发生器输出的波形产生相应的交流电压信号；电子负载用于模拟机载用电设备；信号调理模块将可编程三相交流功率电源输出的交流电压信号线性降压到高速高精度数据采集系统的输入范围；高速高精度数据采集系统采集信号调理模块输出的交流电压信号并传递给校准计算机进行处理和计算。

2 波峰系数的交流电压信号的产生方法

2.1 常用的方法及存在问题

校准飞机供电特性测试系统所需要的波峰系数的数值在1.2~1.6之间，且任意可调的交流电压信号，常用的模拟产生具有指定波峰系数的交流电压信号的方法有时域法和频域法。其中，时域法可以通过调整三角波的斜率以及将三角波削顶的方式，定量控制产生1.2~1.6之间的波峰系数的交流电压信号；频域法对于含有3个以下谐波的4频率波形而言，任意给定功率含量比，都可以直接计算出最小波峰系数，而最大波峰系数存在于峰值直接叠加状态，在最大和最小波峰系数之间的值，可以通过调整相位关系产生。

但实际测试中发现，使用上述方法生成的波峰系数校准信号，在飞机供电特性测试系统中无法得到正确的波峰系数，测量值与输出信号波峰系数数值偏差较大。这是由于在飞机供电特性测试中，波峰系数指的是稳态条件下，不小于1s的时间间隔内，所测量的交流电压信号的每个半波电压波形的峰值与其方均根植之比的极大值^[4]。依据GJB 5189-2003《飞机供电特性参数测试方法》标准，飞机供电特性测试系统波峰值是按照抛物线差值法拟合得出，导致像梯形波或者波

峰处不平滑的波形其波峰的计算值与实际采样数据不符。本文中的波峰系数的交流电压信号专用于实现对飞机供电特性测试系统校准，在实际飞机电源系统中各次谐波分量的幅值不可过大，且高次谐波含量较低，波形相对平滑，三角波和方波波形本身都包含不平滑的突变部分，相当于含有高频的谐波分量，故三角波削顶的方式和频域法都不符合飞机供电系统对交流电压波峰系数测试的规定。

2.2 抛物线拟合法

针对三角波削顶的方式和频域法存在的问题，提出抛物线拟合法用来模拟产生具有指定波峰系数的交流电压信号。飞机电源的输出波形最理想的情况是正弦波，也就是波峰系数无偏离的情况，使用抛物线拟合法正是在模拟正弦波特性的基础上，通过抛物线方程拟合出具有指定波峰系数的交流电压信号，其波峰系数在1.2~1.6之间，且任意可调。

如图2所示，以标准正弦波的波峰点和两个过零点确定三角形ABC，正弦波正半波与横轴交点为A，B，波峰点坐标C。在三角形ABC的一条边AC外侧取一点P1，P1的纵坐标恒定为1/2，横坐标取值范围是0~π/4，且不包括0和π/4两个值；同样在BC边的外侧对称取一点P2，纵坐标恒定为1/2，横坐标取值范围是3π/4~π。设定一个系数k₁，通过调节k₁的值可对称调整P1和P2两点的位置。

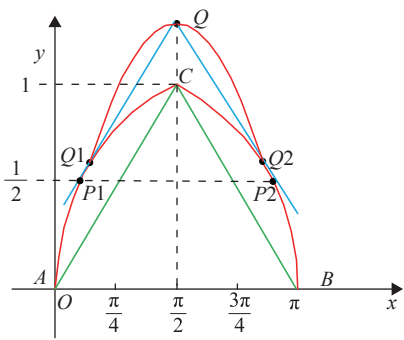


图2 抛物线拟合算法解析图

拉格朗日插值多项式为

$$L_n(x) = \sum_{i=0}^n y_i \prod_{j=0, j \neq i}^n \left(\frac{x - x_j}{x_i - x_j} \right) \quad (1)$$

当n=2时，函数y=f(x)在x₀, x₁, x₂，处的值分别为y₀, y₁, y₂，则

$$L_2(x) = y_0 \frac{(x - x_1)(x - x_2)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)} + y_1 \frac{(x - x_0)(x - x_2)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)} + y_2 \frac{(x - x_0)(x - x_1)}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_1)} \quad (2)$$

式(2)即过不在一条直线上三点的抛物线方程。由此可推导出分别过 $A(0, 0)$, $P1(\frac{k_1\pi}{4}, \frac{1}{2})$, $C(\frac{\pi}{2}, 1)$ 和 $C(\frac{\pi}{2}, 1)$, $P2(\pi - \frac{k_1\pi}{4}, \frac{1}{2})$, $B(\pi, 0)$ 的两条抛物线 $\varphi_1(x, k_1)$ 和 $\varphi_2(x, k_1)$, 其中 $0 < k_1 < 1$ 。

通过上述方法得到的这两条抛物线相交于点 C , 交点 C 附近的曲线并不是平滑连接的, 含有高次谐波, 因此将 C 点附近的曲线再用一条抛物线进行拟合。

如图 2 所示, 在抛物线 $\varphi_1(x, k_1)$ 和 $\varphi_2(x, k_1)$ 对称选取两点 $Q1, Q2$, 通过一个取值范围为 $(0, 1)$ 的参数 k_2 来调节两点位置坐标, 为防止拐点处不够平滑, 过两点分别做两条抛物线的切线, 那么两条切线的斜率分别为 $\frac{\partial \varphi_1(x, k_1)}{\partial x}$ 和 $\frac{\partial \varphi_2(x, k_1)}{\partial x}$ 。

切线相交于点 Q , 因为切点是对称选取, 交点 Q 的横坐标恒定为 $\frac{\pi}{2}$, 交点的纵坐标即对应波峰值。由式(2)可得出过三点 $Q1, Q, Q2$ 的抛物线 $\varphi_3(x, k_1, k_2)$, 将三条抛物线连接得到一条曲线 $\varphi(x)$, 横轴以下的半波可将正半波通过平移翻转获得。

$$\varphi(x) = \begin{cases} \varphi_1(x, k_1) & (0 \leq x \leq x_{Q1}) \\ \varphi_3(x, k_1, k_2) & (x_{Q1} < x < x_{Q2}, 0 < k_1 < 1, 0 < k_2 < 1) \\ \varphi_2(x, k_1) & (x_{Q2} \leq x \leq \pi) \end{cases} \quad (3)$$

波峰系数 F 是波峰值和电压有效值的比, 有效值 U_{rms} 为瞬时值在一个周期的平方根

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T g(t)^2 dt} \quad (4)$$

式中: $g(t)$ 为 t 时刻的瞬时电压; T 为电压周期。

波峰系数表示为

$$F = \frac{U_{pk}}{U_{rms}} = \frac{U_{pk}}{\sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi \varphi(x)^2 dx}} \quad (5)$$

式中: U_{pk} 为波峰值。

由此可见, 通过调节两个系数 k_1 和 k_2 可以得到不同波峰系数。

图 3 所示为使用抛物线拟合法和频域法得到的波形图, 自上而下的波峰系数是 1.2 ~ 1.6, 从波形图来看, 频域法在波峰系数为 1.5 和 1.6 时波形不平滑, 且波峰部分尖锐, 含有较高频率的谐波分量; 而抛物线拟合算法的波形更为平滑。

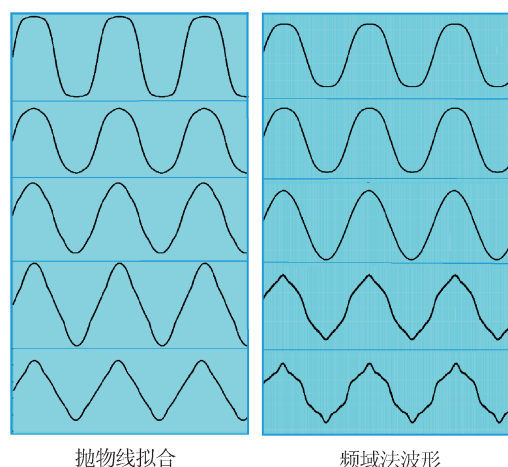


图 3 抛物线拟合算法和频域法波形图

3 波峰系数的计算与验证

使用高速高精度数据采集系统, 结合 GJB 5189 - 2003《飞机供电特性参数测试方法》中对波峰系数采集和测量的要求, 采用 400 kSample/s 的采样率采集使用抛物线拟合法模拟产生的交流电压信号, 根据波峰系数的定义, 计算采集获取的交流电压信号的波峰系数。

交流电压信号的每一半波的方均根值^[5]为

$$U_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m u_i^2} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中: U_j 为每半波交流电压信号的方均根值; m 为每半波包含的采样点数; n 为 1 s 内采样数据所包含的半波个数; u_i 为每半波内采样点的电压瞬时值。

通过抛物线插值获得每一半波的波峰值, 计算波峰系数, 经实测分析和计算, 比较了使用频域法和抛物线拟合法模拟产生的交流电压信号的波峰系数。两种方法的比较结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 频域法波峰系数测量结果

波峰系数标准值	波峰系数测量值	绝对误差	相对误差
1.1995	1.1941	-0.0054	-0.00450
1.3015	1.2991	-0.0024	-0.00180
1.3992	1.4019	0.0027	0.00190
1.4998	1.4770	-0.0228	-0.00152
1.5984	1.5642	-0.0342	-0.00214

表2 抛物线拟合法波峰系数测量结果

波峰系数标准值	波峰系数测量值	绝对误差	相对误差
1.2001	1.2019	0.0018	0.0015
1.2998	1.3023	0.0025	0.0019
1.3998	1.4014	0.0016	0.0011
1.5001	1.5025	0.0024	0.0016
1.5991	1.6011	0.0020	0.0013

如表2所示,使用抛物线拟合法模拟产生的交流电压信号的波峰系数相对误差更小,而且抛物线拟合法比频域法波形更平滑、更易实现,因此,抛物线拟合法更适用于实现飞机供电特性测试系统对交流电压波峰系数测量性能的校准。

4 结 论

通过分析和研究常用的模拟产生具有指定波峰系数的交流电压信号的时域法和频域法,发现常用的时域法和频域法都各有一些不适用于飞机供电特性测试系统校准的问题。针对飞机供电特性测试系统提出了抛物线拟合法模拟产生具有指定波峰系数的交流电压信号,并研制了基于可编程电源的相关硬件设备以实现抛物线拟合法。通过实际测量分析,验证了抛物线拟合法产生的交流电压信号的波峰系数具有更高的准

确性,更适用于实现飞机供电特性测试系统对交流电压波峰系数测量性能的校准。

参 考 文 献

[1] 任仁良,强喜龙.航空机载电源标准的发展研究[J].航空维修与工程,2011,12(3):23-26.

[2] 胡秋明,王景刚,鲍玲玲,等.基于数值分析法的试验测试数据的处理及分析[J].西南民族大学学报(自然科学版),2015,34(3):120-126.

[3] 马光辉,邱俊杰,程方舜.谈民机电源系统试飞参数采集与测试[J].科技风,2012,21(5):32-35.

[4] 刘妍.飞机变频交流特性供电参数测试技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2013.

[5] 吴丽媛.基于前视声纳的水下多目标探测技术研究[D].武汉:华中科技大学,2013.

收稿日期:2018-06-10

作 者 简 介

柴艳丽(1984-),女,工程师,硕士,参与多项电学计量科研课题研究,并长期从事自动测试软件开发工作。

