

双通道周期信号分离装置的设计与实现

曹 胜, 陈嘉强, 李佳豪, 高红霞, 薛 欣

(太原学院 智能与自动化系, 山西 太原 030032)

摘要: 基于解决现代工业生产中复杂信号分析难题的目标, 该研究采用了创新性的“双通道周期信号分离装置”。该装置在工业仪表、控制系统和传感器等领域广泛应用, 能高效精准地分离多频率、多波形混合信号。面对工业环境中频率和波形多样的挑战, 该研究结合 STM32 平台, 成功实现对周期信号 A 和 B 的准确分离和还原。装置工作原理简明清晰, 信号经过预处理模块消除直流成分后, 经 STM32 智能核心板时域离散采样和傅里叶变换等处理, 实现对信号频谱特征的识别。信号再构模块则采用频率相位可编程信号发生器, 对信号进行再构, 最终实现双通道周期信号的精确分离。经过实验测试, 装置在叠加信号测试中表现出色, 成功分离多种信号组合, 验证了其高效性与精确性。

关键词: 周期信号分离装置; 工业应用; STM32; 信号处理; 频谱分析

中图分类号: TP23

文章编号: 1000-0682(2024)01-0018-04

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.01.004

Design and implementation of a dual channel periodic signal separation device

CAO Sheng, CHEN Jiaqiang, LI Jiahao, GAO Hongxia, XUE Xin

(Department of Intelligence and Automation, Taiyuan University, Shanxi Taiyuan 030032, China)

Abstract: In the pursuit of addressing the intricate complexities in signal analysis within contemporary industrial manufacturing, this study introduces an innovative solution – the “Dual – Channel Periodic Signal Separation Device.” This apparatus finds widespread utility across industrial instrumentation, control systems, and sensing applications, efficiently and accurately dissecting amalgamated signals of diverse frequencies and waveforms. Confronting the multifaceted challenges posed by varying frequencies and waveforms in industrial contexts, this investigation synergizes the STM32 platform to successfully achieve precise separation and reconstitution of periodic signals A and B. The operational mechanism of the device is presented succinctly and lucidly: signals undergo a preprocessing stage to eliminate direct current (DC) components. Subsequently, via STM32’s intelligent core board, temporal – domain discrete sampling and Fourier transformation are employed to discern the spectral attributes of the signal. The signal reconstruction module capitalizes on a programmable frequency – phase signal generator, orchestrating signal reconstitution and ultimately attaining meticulous dual – channel periodic signal separation.

Keywords: periodic signal separation device; industrial applications; STM32; signal processing; spectrum analysis

0 引言

在现代工业生产中, 工业仪表、控制系统和传感器广泛应用, 产生了大量周期信号^[1]。这些信号可能具有不同的频率, 且常常需要被精确地分离和分析。

例如, 机械振动监测领域^[1-3], 不同部件的振动信号可能相互叠加, 需要准确分离以实现精准的故障诊断。在电力系统中, 电压和电流信号的分离能够帮助深入分析电力质量问题^[4-5]。因此, 信号分析与提取在实时监测^[6]、故障诊断^[7]以及精确控制^[8]等关键应用中扮演着不可或缺的角色。然而, 面对复杂的工业环境, 充斥着多种频率和波形的混合信号源, 信号分离技术在处理多频率、多波形混合信号时仍然存

收稿日期: 2023-08-12

第一作者: 曹胜(1997—), 男, 汉族, 山西太原人, 研究生, 助教, 研究方向为嵌入式开发、模拟集成电路设计。

在局限性^[9-10]。为解决这一难题,本文旨在介绍一种双通道周期信号分离装置的设计与应用,该装置的设计与实现能够高效地解析复杂的混合信号,成为工程师们强有力的工具,优化了工业系统的性能。

1 系统总体方案及工作原理

该系统通过采用同步采样信号复原技术,实现对混合信号源的高精度解析,将周期信号 A 和 B 的不同频率分离并精准复原输出。工作过程如图 1 所示,对于双通道周期信号,其由两个周期信号叠加而成,这可能包括正弦信号与正弦信号的叠加,或正弦信号与三角波的叠加,甚至是三角波与三角波的叠加。原始叠加信号经过分离装置处理,实现信号分离,进而实现通道一和通道二的独立输出。

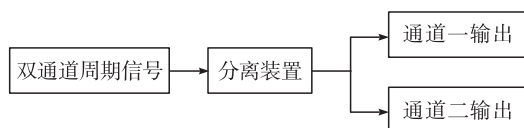


图1 双通道周期信号分离示意图

如图 2 所示,该系统由信号初步处理模块、STM32 智能核心板和信号再构模块组成。在 STM32 智能核心板内部,集成有信号时域离散采样模块、特征识别算法模块以及输出引发配置模块,这些构件协同工作以实现对复杂信号的精确解析和分离。整个装置的运行机制如下所述:信号初步处理模块首先对输入信号进行初步整理,将微弱信号放大,对强信号进行缩放,为下一阶段的 STM32 智能核心板处理提供适宜的信号范围。STM32 智能核

心板充当着整个系统的控制中枢,包含信号的时域离散采样、特征识别算法运算和输出配置驱动等关键功能模块。信号的时域离散采样通过使用 STM32F103ZET6 开发板的 AD 采样模块实现,将采样得到的时域数据存储在 STM32 数组中,为特征识别算法提供原始数据。特征识别算法基于傅里叶变换原理,将时域信号转变为离散频域特征,实现对信号成分的分析 and 识别,其中包括正弦信号和三角信号的辨认。算法运算结果返回至 STM32 智能核心板,通过分类处理,驱动配置信号输出电路。

信号再构模块采用频率相位可编程信号发生器,通过信号初步处理后,生成相应幅值和相位的信号,以供下游电路进一步处理。这一信号再构过程通过信号初步处理与信号再构模块的协同,实现对输入信号的同步采样信号复原,从而达到双通道周期信号的精确分离目的。

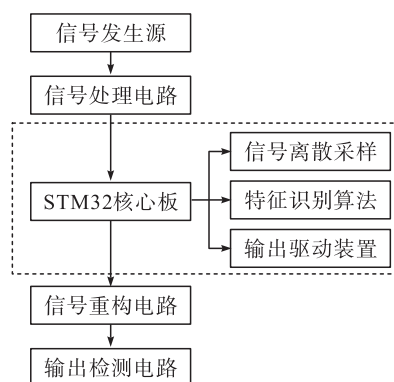


图2 信号分离装置整体结构图

2 硬件系统设

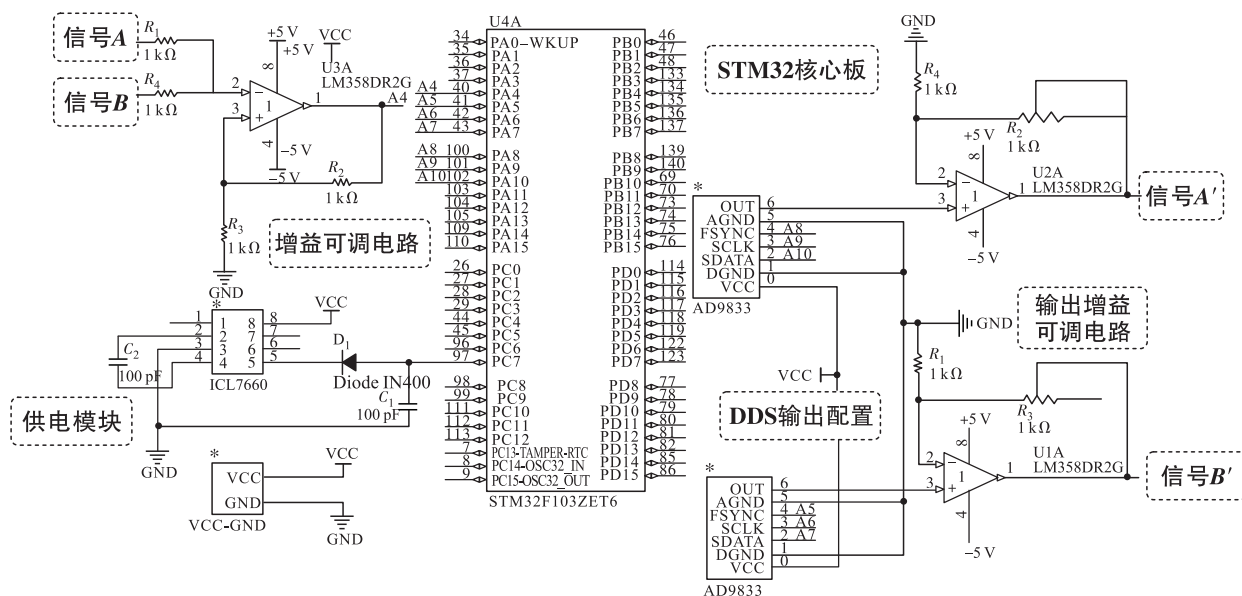


图3 信号分离装置原理框图

为确保该装置的持续稳定性与可靠性,硬件系统设计显得至关重要。本章将深入阐述双通道周期信号分离装置的硬件设计,系统结构如图 3 所示,涵盖了信号输入模块、同步分离模块,以及输出处理模块等核心构成。在处理双通道叠加周期信号的初阶段,我们引入了一种具备可调增益特性的电路,以对原始信号进行预处理。经过该电路处理后,信号被引导至 STM32 采样模块端口。借助一系列精心构建的识别算法,控制模块能够准确计算出叠加信号的频率和信号类型。接着,STM32 与 AD9833 信号发生器密切合作,实现对信号的精准复原。这一复原后的信号随后经由两路可调增益放大器,从而成功实现了分离后的信号输出。

2.1 信号预处理模块

在信号预处理模块中,我们首先考虑了叠加信号的处理以及 DDS(直接数字频率合成器)输出后的处理。在前置预处理阶段,我们采用了 LM358 芯片来构建一个具有可调增益的反向比例运算放大电路,该电路的详细示意图如图所示。为了保证 LM358 正常工作,我们使用了双电源供电方式,具体电源连接示意图如图 3 中的电源供电部分所示。在这个配置中,同相输入端接地,反相输入端与叠加信号相连,通过 $1\text{k}\Omega$ 电阻与反相输入端相连,同时连接到输出端通过一个可调电阻($5\text{k}\Omega$)。在输出部分,我们同样采用了类似的电路结构,以实现输入信号的高效预处理。

2.2 信号离散采样

在信号离散采样模块,使用 AD 模块,在定时器初始化中定时 $2\text{ }\mu\text{s}$,以实现 500 kHz 高速采样频率。对于 AD 来说,采用单通道 ADC 采集(DMA 读取)配置通道 11 端口 PC1。

2.3 STM32 核心板

STM32 F103VET6 是一款高性能的 32 位 ARM Cortex-M3 微控制器,由 ST 公司推出。它集成了丰富的外设,包括多个通用定时器、ADC、USART、SPI 和 I2C 接口,适用于工业控制、嵌入式系统和物联网应用。具备高速运算能力和丰富的存储器,可满足复杂任务需求。此外,其低功耗特性使之在电池供电系统中表现出色。STM32 F103VET6 以其稳定性、灵活性和广泛的开发生态成为嵌入式开发者的首选,推动了物联网和智能设备领域的创新。在这里对于 AD 模块采样的信号通过核心板进行算法处理,求得信号类型识别结果后以配置 DDS。

2.4 DDS 输出模块

AD9833 是一款高性能、低失真的直接数字频

率合成器(DDS),由 Analog Devices 推出。它能以极高精度产生正弦和三角波信号,广泛应用于信号发生、频谱分析等领域。AD9833 内置 12 位 DAC,可实现微小频率分辨率,输出频率范围从 0 Hz 到 12.5 MHz 。该芯片操作简便,通过 SPI 接口控制,适用于嵌入式系统。其紧凑的封装和低功耗特性使其成为便携式和电池供电设备的理想选择,推动了现代电子测量和通信技术的发展。在这里,DDS 用于对核心板得到的结果进行寄存器配置,以实现正确的输出。

3 软件系统设计

软件系统在信号分离过程中发挥着至关重要的作用。在本章节中,将介绍双通道周期信号分离装置的软件系统设计。通过合理的算法和数据处理流程,能够实现对信号的精确提取和同步展示,为工程师们提供直观的分析界面和数据支持。

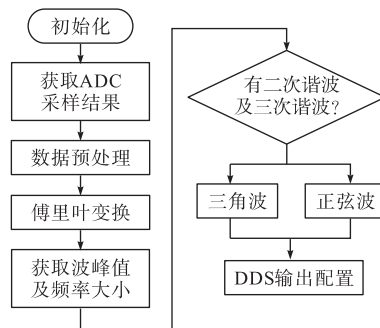


图4 系统软件设计流程图

3.1 数据预处理

采样电路前设置了偏置电路,以提高信号基准,因此,从 AD 采样结果中需要消除直流成分。这一过程通过将采样得到的数据减去直流成分来实现。

3.2 傅里叶变换

FFT 部分采用了 STM32F103 官方提供的基 4FFT 算法。由于采样频率高达 500 kHz ,便选择了最高的 1024 点来进行 FFT 分析。在这种设置下,FFT 后的频谱图上,频率间隔约为 500 Hz ,从而获得了高达 500 Hz 的分辨率

3.3 频谱特征识别

频谱的特征识别是算法的核心部分。在前述 FFT 得到的频谱结果中,实际上蕴含了周期信号的详细特征。其中包括频率成分、周期性、谐波结构、幅频响应、相位关系和频谱分布等。这些信息有助于深入了解信号的复杂时域特性和周期性特征。在此阶段,算法需要借助频谱峰值检测和谐波结构分析。首先,对最强的两个频谱峰值进行检测,以获取其对应的频率值。随后,逐一识别这些频谱峰值的类型,判断是否存在三次谐波和五次谐波。若存在,

则可确定该频谱峰值对应三角波;若不存在,则可确认其为正弦波。

4 实验测试与总结

为了验证双通道周期信号分离装置的性能和实用性,进行了一系列的实验测试。本章节将详细介绍实验设置、数据采集以及结果分析过程。

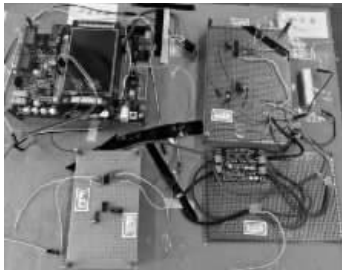


图5 信号分离装置实物图

表1 双通道周期信号分离装置测试结果

信号	频率/kHz			
信号 A	50 kHz 正弦波	90 kHz 正弦波	50 kHz 正弦波	30 kHz 三角波
信号 B	100 kHz 正弦波	100 kHz 正弦波	95 kHz 三角波	90 kHz 三角波
信号 A'	50 kHz 正弦波	90 kHz 正弦波	50 kHz 正弦波	30 kHz 三角波
信号 B'	100 kHz 正弦波	100 kHz 正弦波	95 kHz 三角波	90 kHz 三角波

4.2 总结

该研究基于 STM32 成功实现了双通道周期信号分离装置,该装置能够准确识别和还原双通道周期叠加信号。通过详细的实验数据展示,深入评估了该装置在不同工业场景下的应用潜力。综合分析以上论述,通过介绍该双通道周期信号分离装置的设计、工作原理以及实验验证,在解决信号混叠问题方面,取得了实质性的突破,为工业系统监测与故障诊断提供了新的工具和方法,为工业自动化与监测领域的发展提供了新的方向和思路。然而,该研究还存在一些局限性。例如,在处理非周期信号或高噪声环境中的性能表现尚待进一步改进。此外,在实际工业应用中的适用性和稳定性也需要更深入的研究和验证。未来的研究可以探索更复杂信号情景下的性能,以及进一步优化算法和硬件设计,以提升装置在实际工程中的可靠性和性能。

参考文献:

[1] 殷理杰,张文初,魏丽君. 一种周期信号波形识别及参数测量装置的设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2022(04):28-32.

[2] 李舜酩,郭海东,李殿荣. 振动信号处理方法综述[J]. 仪器仪表学报,2013,34(08):1907-1915.

4.1 频谱特征识别

下文将利用加法器模拟叠加信号,以评估分离装置的性能。这些叠加信号包括:50 kHz 正弦信号与 100 kHz 正弦信号的叠加、90 kHz 正弦信号与 100 kHz 正弦信号的叠加、50 kHz 正弦信号与 95 kHz 三角波信号的叠加,以及 30 kHz 三角波信号与 90 kHz 三角波信号的叠加。实验测试结果如表 1 所示。在该表中,信号 A 和信号 B 代表了原始信号,经加法器叠加后得到的叠加信号,为双通道周期信号。通过使用信号分离装置进行处理,可清晰地观察到测试结果能够有效地分离出原始信号的双通道成分,并且能够准确还原信号 A 和信号 B 的原始特征,得到的结果分别为信号 A' 和信号 B'。

[3] 陈是扞,彭志科,周鹏. 信号分解及其在机械故障诊断中的应用研究综述[J]. 机械工程报,2020,56(17):91-107.

[4] 杨子千,马锐,程时杰,等. 电力电子化电力系统稳定的问题及挑战:以暂态稳定比较为例[J]. 物理学报,2020,69(08):103-116.

[5] 袁小明,张美清,迟永宁,等. 电力电子化电力系统动态问题的基本挑战和技术路线[J]. 中国电机工程学报,2022,42(05):1904-1917.

[6] 闫永宝,刘健鹏,武翔,等. 雷达收发通道实时监测系统设计与实现[J]. 火力与指挥制,2021,46(06):131-134+140.

[7] 宋向金,赵文祥. 交流电机信号特征分析的滚动轴承故障诊断方法综述[J]. 中国电机工程学报,2022,42(04):1582-1596.

[8] 杨彤,姜晓峰,阳瑞霖,等. 基于时域特征参数与振动信号分析的有载分接开关故障诊断[J]. 湖南电力,2023,43(3):125-132.

[9] 宋进良,郭芳林,王玲,等. 基于独立分量分析的交流采样信号分离技术的研究[J]. 东北电力技术,2012,33(09):25-28.

[10] 李丽. 振动脉冲信号分离技术的研究与仿真分析[J]. 计算机仿真,2016,33(06):158-161.