

矢量信号发生器射频动态切换系统设计

买 华

(中国航空综合技术研究所 北京 100028)

摘要: 目前提出的矢量信号发生器射频动态切换系统射频动态切换时长过长,功率损耗较高。为解决上述问题,基于时分复用(TDM)技术对矢量信号发生器射频动态切换系统进行设计,应用 AV1443 矢量信号发生器作为矢量信号发生器,在设计的过程中应用程序发送芯片将矢量信号的信息统一化处理,并设计具有信息转换的数据输出与输入端口,在多途径的环境中进行射频状态的动态计算,引用离散傅里叶算法对矢量信号的射频动态进行表达分析。实验结果表明,基于 TDM 的矢量信号发生器射频动态切换系统能够缩短切换时长,降低功率损耗,所提系统切换时长在相同的工作频率状态下领先传统系统 0.02 s,且所提系统完成整套切换任务后的功率消耗始终控制在 1 W 以内。

关键词: 时分复用;矢量信号发生器;射频动态切换;离散傅里叶算法

中图分类号: TN391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

Design of vector signal generator RF dynamic switching system

Mai Hua

(China Aero-polytechnology Establishment, Beijing 100028, China)

Abstract: The current RF dynamic switching system of the vector signal generator proposed is too long and the power loss is high. In order to solve the above problems, the vector signal generator RF dynamic switching system is designed based on time division multiplexing (TDM) technology. The AV1443 vector signal generator is used as the vector signal generator. During the design process, the application program sends the chip to convert the vector signal information is processed in a unified manner, and data output and input ports with information conversion are designed. The dynamic calculation of the radio frequency state is performed in a multi-channel environment. The discrete fourier algorithm is used to express and analyze the radio frequency dynamics of the vector signal. The experimental results show that the TDM-based vector signal generator RF dynamic switching system can shorten the switching time and reduce the power loss. The switching time of the system in this paper is 0.02 s shorter than that of the traditional system under the same working frequency, and the power consumption of the system after completing the whole switching task is always controlled within 1 W.

Keywords: TDM; vector signal generator; radio frequency dynamic switching; discrete fourier algorithm

0 引言

在无线通信领域矢量信号发生器射频动态切换已经成为无线通信技术的重要组成部分,矢量信号发生器的射频动态能够合理安排通信技术的实现稳定性与通信合法性,为了满足发生器射频动态切换的精准性与稳定度,相关技术人员不断对射频动态切换系统进行设计与开发。

文献[1]中应用频率综合器对矢量信号发生器射频动态切换系统进行实现与调控,综合频率器是由多个参考系统频率数据源作为整体系统的调频整合元件,调频器中的数据处理芯片是由可控晶体为基础材料,能够容纳较多种类的数据类型与频率源,但是数据类型与数据类型的切换

过程时间较长。文献[2]中系统设计是基于 RF-M 的矢量信号发生器射频动态切换方式,此系统的实现方式主要是通过纯芯片数据处理结构,在芯片数据处理构架中建设射频动态切换模块,具有完整的射频控制功能、数据监测功能、矢量信号执行功能等,采用嵌入式芯片对矢量信号中发生器中采集射频数据进行逻辑计算,经过逻辑计算后系统中能够识别出矢量信号发生器中射频动态支持的模式,在一定程度上限制了射频的功率损耗最大量,基于 RF-M 系统的芯片具有自身调节功能,根据环境的不同切换动态矢量信号发生器程序,这种系统的运行功率受到射频状态的影响,相对其他系统产生较多的损耗。

本文基于时分复用(time division multiplexing, TDM)对矢

收稿日期:2020-10-31

量信号发生器射频动态切换系统进行设计,根据 TDM 的特点,拓展了矢量信号发生器的无线通信途径,在发生器射频动态切换的过程中应用 TDM 相关技术满足系统的数据传输功能,提升矢量信号发生器射频动态切换稳定性与高效性,设计对比实验将传统系统的运行模式与本文设计系统的运行模式进行对比,通过实验对比数据验证本文设计系统的有效性。

1 系统硬件设计

本文采用 AV1443 矢量信号发生器作为本文系统的矢量信号调频设备,此型号矢量信号发生器能够在 250 kHz~62 GHz 频率之间进行有效调频,控制优质的矢量信号性能^[3-4]。AV1443 矢量信号发生器结构简单、调节性能精准度高、满足矢量信号的多种形态且适应能力强、可拓展空间大等优点,如图 1 所示为 AV1443 矢量信号发生器结构。

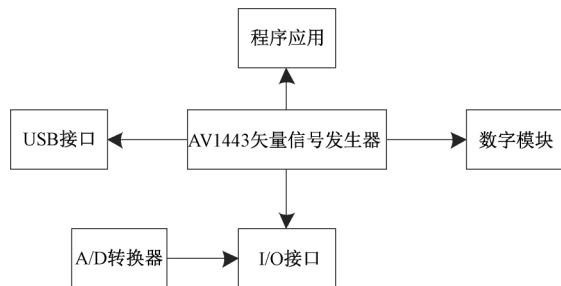


图 1 AV1443 矢量信号发生器结构

图 1 中的程序应用主要负责矢量信号的图形信号交互处理,在发生器中应用 AV1443 特有程序发送芯片,能够将图像矢量信号转换为文字矢量信号或将音频信号转换为文字矢量信号,解决矢量信号在即将进行的射频动态切换过程中的格式不匹配问题;发生器的 USB 接口主要采用硬件 U 盘、鼠标、键盘等接口使工作人员能够及时控制发生器矢量信号的空间位置以及射频状态;在发射模式下的矢量信号发生器需要通过控制 AV1443 新高信号基带以高速装换模式下通过射频天线向目标发送矢量信号,矢量信号发送途中经过 A/D 转换器的转换,A/D 转换器能够有效解析矢量信号的传输接口数据并根据 I/O 数据接口的功能性信号进行通信输入与输出^[5]。

矢量信号发生器收音机能够将不同射频状态下的矢量信号显示在 LCD 显示屏上,通过改变射频接收收音机的按钮可以改变 LCD 屏幕上的不同射频状态下的矢量信号信息,不同射频状态下的信息主要包含基带的生成时间、比特率为 85 kbit/s 和矢量信号文本信息等,本文设计射频收音机型号为 DAB 型,能够在矢量信号接收端口降低发射功率不稳定状态下的环境干扰因素,常规状态下的收音机在接收矢量信号的状态下常常会出现射频状态的不同而导致收音机内部的射频动态切换不稳定,出现掉帧问题^[6]。

本文还设计射频动态切换电路,电路基本原理如图 2 所示,此电路设计满足 TDM 的同时多途径的矢量信号传

输,在相同的电路传输功能中,此电路能够对相同功率的矢量信号发生器进行功率检测与主电路信号测试,设计的过程中降低主电路信号的干扰程度,实现主电路内的同一途径不同射频状态的矢量信号传输,电路中还应用耦合装置对电路的损耗和数据耦合灵敏度进行调节,耦合装置具有结构简单、布局面积小、适合各射频状态下的宽带等特点,耦合装置的主电路耦合量为 35 dB,射频信号输出端口与射频耦合信号的输出端口之差即为主电路的耦合量,应用电路仿真器可知耦合装置中的指标电阻大小为 60~300 Ω 之间。

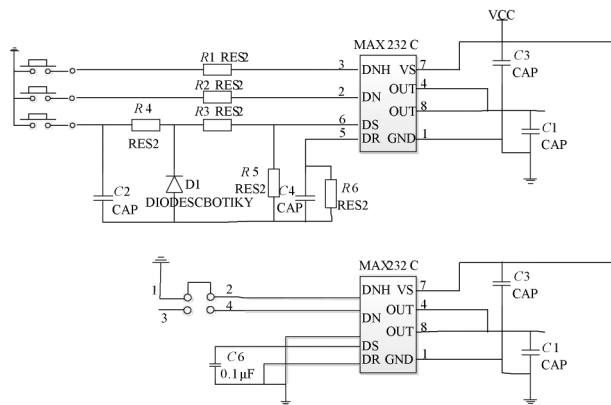


图 2 射频动态切换电路基本原理

基于 TDM 的矢量信号发生器射频动态切换电路中需要具有能够检测输出功率与输入功率的功能,且能够控制射频动态切换开关,在电路中进行的检测方法为二极管检测功率法,将发生器中有效功率引入放大器中,再通过各级的放大器对矢量信号信息进行逐级处理与压缩信号,最终经过电路的射频动态切换信号为电压信号,更方便被电路识别与处理,方法中应用的二极管在电路中具有精准度高、活动范围大、温度控制程度小等特点^[7-8]。设计二极管在射频动态切换系统中的应用环境电压为 6.38 V,支持电源供电范围在 3~12 V 之间,二极管中的放大器数据为 8 个,每一级放大器在运行的过程中均会出现 50 dB 左右的矢量信号浮动,整体电路中还设有 3 个检波器,对通过电路电流进行单元转换,平衡矢量信号的输入端口射频与输出端口射频,在矢量信号发生器中进行的芯片功率测定结果是根据芯片的功率检测数据和电路中耦合电阻,主电路插损共同决定的,具体计算过程为:

$$P_{\text{tot}} = P_m + 0.7 + P_{\text{IN}} \quad (1)$$

式中: P_{tot} 代表功率检测阈值; P_m 代表射频动态转换频率; P_{IN} 为耦合电路输入频率^[9-10]。如表 1 所示为基于功率检测下的电路频率。

2 系统软件设计

TDM 矢量信号在发生器编码程序中需要采用 MUSICAM 方式进行射频动态切换,矢量信号源需要携带具有子滤波器比例算法因子器的模型进行阈值限量信

表 1 基于功率检测下的电路频率

功率阈值	测试功率
0	0
-10	1
10	-1
-20	-1
20	-1

号掩盖,根据门限矢量信号特征对编码符号产生的各类射频模块信息结合,使相关内容与包含射频信号的信息能够输入到射频收音机中,针对不同的射频调节不同的采样频率,使矢量信号发生器射频动态切换的过程中符合 TDM 技术的同时多途径方式,如图 3 所示为基于 TDM 的矢量信号发生器信源编码结构。

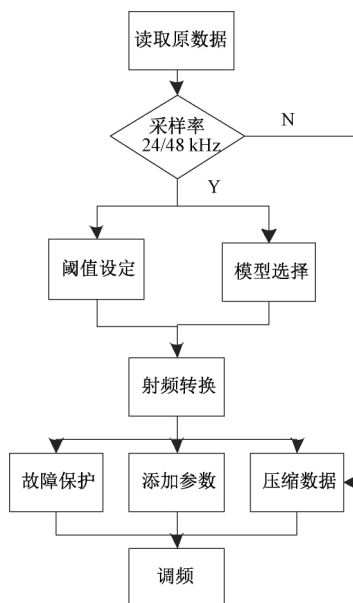


图 3 基于 TDM 的矢量信号发生器信源编码结构

在发生器中的矢量信号采样值达到 20 kHz 时,射频时间能够持续活动 30 ms 左右,矢量信号采样值达到 50 kHz 时,射频时间能够持续活动 60 ms 左右,符合在不同射频状态下的矢量信号能够在相同的无线信道进行矢量信号传输,虽然导致射频切换速度不一致,但是能够使相关矢量信号信息以相同的音频格式在信源编码软件程序中运行^[11-12]。

TDM 下的矢量信号发生器射频动态切换系统能够主动提升矢量信号的传输效率,由 TDM 技术控制下的矢量信号在经过信号源编码程序时连续产生 0 或 1 的传输系数,本文为了保障矢量信号的多途径高效性,在发生器的射频切换快关中添加矫正码元,这些矫正码元与不同射频下的信息元之间建立稳定的通信渠道,利用接收端与矢量信号的关系处理数据信息与编码信道信息^[13]。

本文还设计频谱调制方法对通信信道中不同射频下的矢量信号进行信道传输,其实现原理如图 4 所示。

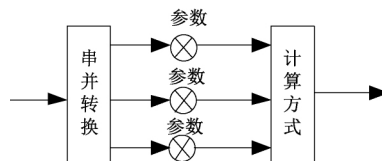


图 4 频谱调制方法的信道传输实现原理

根据矢量信号的传输宽带范围确定射频切换状态的路径性质,多路径干扰下的矢量信号传输机制可以通过离散傅里叶算法进行帧数领域的数据传输,矢量信号发生器内射频转换开关由不同种类符号的间隔子载波组成,因此在对矢量信号发生器射频转换开关识别切换的过程中应当复用离散傅里叶算法进行数学公式表达,其中主矢量信号的发生器射频转换状态识别计算表达式为:

$$S = R \left\{ \exp(2j) \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=0}^L t \right\} \quad (2)$$

式中: S 代表不同状态下的矢量信号发生器射频动态切换开关; R 代表离散傅里叶算法统一计算参数; j 代表不同种类符号的间隔子载波,为了保障射频状态切换的迅速与精准,本文在进行软件设计的过程中增加附带矢量信号的数学表达式:

$$g_{k,l}(t) = \begin{cases} 0, & l = 0 \\ \exp\left(\frac{2j(t-\Delta)}{T}\right) \cdot \text{Rect}\left(\frac{t}{T}\right), & l = 1, 2, \dots, L \end{cases} \quad (3)$$

式中: L 代表每个射频转换的开关符号帧数; T 代表射频的传输周期; Δ 代表射频传输周期持续时间; t 代表矢量信号发生器的中心频率; g 代表基于 TDM 的不同途径下的射频动态状态开关参数,具体参数值如表 2 所示。

表 2 基于 TDM 的不同途径下的射频动态状态开关参数

参数	状态 1	状态 2	状态 3
L	56	58	64
T	1563	1567	1236
t	365	298	320
l	16	19	15
j	154	236	247
Δ	846	452	548

由于 TDM 技术是使矢量信号建立在多条路径之上的射频动态切换,因此本文在一般状态下的链路节点中布置链路包装程序,当多种链路中一条链路节点受到光纤冲击而产生故障时,为了减少因故障维修而造成的状态动态切换时间停滞,本文将在多条路径中同时实现 3 种保护程序与传输指令程序,第 1 种功能程序是停止矢量信号在发生器中的流量传输,第 2 种功能程序是在发生器中交换矢量

信号的射频状态与光纤中的内容,使光纤信号处于被保护状态,第 3 种功能程序是将射频警告信息传输到相应的工作光纤中^[14]。

TDM 技术下的无线通信网络中矢量信号传输通道故障随着网络情况的复杂化而改变故障光纤中的故障射频,无线通信网络节点所进行的射频动态状态切换会根据故障消息的暂停而停止流量传输,当射频动态切换开关接收到同步的射频矢量信号时,新的计算程序将会正常工作,在无线通信的不同网络途径以及节点中进行相邻节点的配置处理^[15]。

3 实验研究

本文设计系统与文献中提供的传统系统进行各种性能方面的对比实验,通过实验的对比结果验证本文设计系统的有效性 & 稳定性。实验中首先确定多种系统下的对比实验环境,设在不同的矢量信号发生器射频动态切换的系统中采用相同的射频基础动态开关切换电路板如图 5 所示。

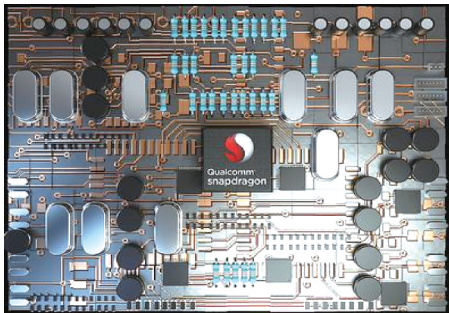


图 5 频基础动态开关切换电路板

设定电路板中采用晶振型号射频信息输入端口,使矢量信号源能够依赖信号的输入端口进行矢量信号种类分析与传输通道分析,并为实验测定过程中的频谱分析仪创建良好的矢量信号信息数据基础,信号输入端口需要预设矢量信号频率检测阈值,矢量信号的晶振阈值为 20 MHz,向信号输入端口中输入相应的功率,晶振中功率不断提升,观察频谱分析仪中的显示的射频大小并检测射频开关的状态是否处于动态,矢量信号输入端口的功率输入测试值如表 3 所示。

根据表 3 中的功率测定结果可知射频自动切换开关功率随着外部矢量信号的调节而变动,外部矢量信号调节功率最高能够 2 GHz,当矢量信号的频率设定超出输入端口阈值范围时可以实现从矢量信号输出端口向矢量信号的输入端口切换射频开关频率测定范围,使整体的电路信号能够自动减少插损,从而降低电路中的矢量信号输入端口与输出端口的总损耗,为对比实验创建稳定低损耗的环境。

本文所应用的系统基于 TDM 技术,能够在相同的时钟动态切换方法下进行时分复用技术,如图 6 所示为本文系统下的对比实验结构。

表 3 矢量信号输入端口的功率输入测试值 (MHz)

阈值	晶振频率	端口频率	常规频率
0	100	-1	21
		-1	20
0	100	0	-6.54
		0	-6.87
0	100	1	12.3
		1	12.0
1	120	1	4.2
		1	3.1
1	120	0	-1.6
		0	-1.2

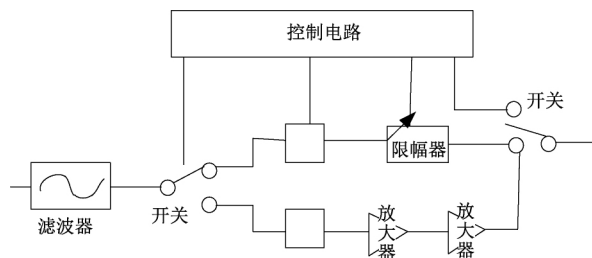


图 6 本文系统下的对比实验结构

本文系统的对比实验结构电路中含有多个单刀多掷开关、滤波放大器、控制电路以及限幅器等,这些装置能够使电路板中的芯片能够适应多种类型的组件,最终所对比的实验数据与实际的数据采集相差较小,单刀多掷开关能够切换电路中的射频测定电路使 TDM 技术能够实现在电路板中,通过矢量信号在电路中的多途径分析获取相关的信息。本实验首先对 3 种系统的矢量信号发生器射频动态切换速度进行对比,将相同的矢量信号由信号传输端口向系统中传输,应用频谱分析仪获取 3 种系统对动态射频的切换反应时间,对应的系统所用时间越短则证明该系统的射频动态切换反应越灵敏,对比实验结果如图 7 所示。

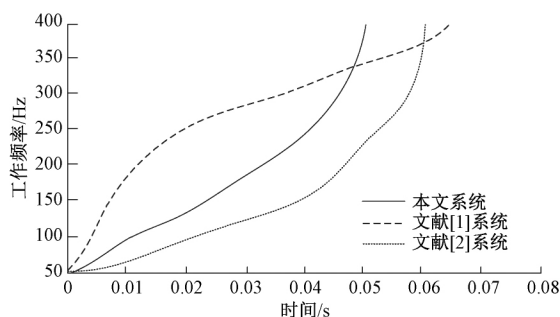


图 7 射频动态切换时长对比结果

根据图 7 中对比结果可知本文系统具有更加灵敏的射

频动态切换状态,随着实验环境中工作频率的不断变化,本文系统的适应能力更强,针对动态射频做出的切换时间更短,而文献[1]、[2]中系统针对动态射频切换时间越来越长,均超过 0.06 s,在 0.05 s 左右的时间状态下本文系统优先文献[1]、[2]系统的 20% 左右,工作频率达到 400 Hz。本文设计射频动态切换电路能够分散矢量信号的变化频率干扰,将矢量信号在相同的时间内完成多途径的射频状态切换,提升了整体系统效率。本文还对 3 种系统的射频动态切换功率损耗量进行对比,将相同的矢量信号传输至系统中,等待系统对矢量信号做出完整的射频动态切换动作记录 3 种系统所使用的功率量,具体对比结果如图 8 所示。

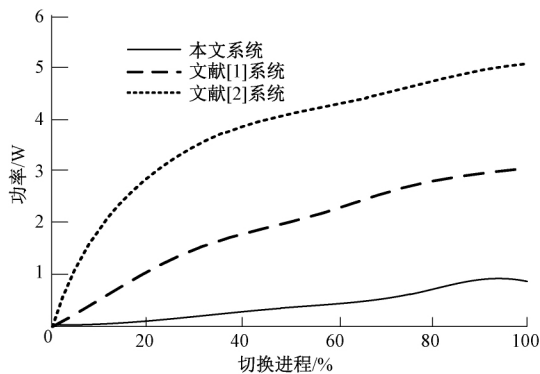


图 8 3 种系统下功率损耗对比结果

根据图 8 中的对比结果可知本文系统的功率损耗量最小,对相同的矢量信号处理完成,本文系统功率损耗控制在 1 W 内,文献[1]系统功率损耗达到 5 W,文献[2]系统功率损耗达到 3 W,本文系统设计的射频动态切换电路具有检测识别功率损耗元件,在矢量信号的输入端口与输出端口均设定了功率阈值,根据阈值的大小限制了矢量信号在 TDM 技术下的传输途径种类,进而减少了系统功率损耗。

4 结 论

本文应用 TDM 设计实现了一种低损耗、高效率的矢量信号发生器射频动态切换系统,借助 TDM 的多途径传输方法使矢量信号的传输一直处于可选择的状态,表现了系统的可拓展能力,本文通过芯片与电路结合的方法实现软硬件匹配,整体性地提升系统的稳定可靠性。

由于本文研究还未大批投放到实际应用中,其动态切换的兼容协调性仍有待研究。

参考文献

- [1] 吴钰浩,陶成,刘留,等. 基于 TDM 的大规模多天线信道测量系统的射频切换模块设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2018, 32(3):96-103.
- [2] 高伟,乔赫元,彭虎. 基于 AV1443 矢量信号发生器的 DAB 发射系统设计[J]. 现代电子技术, 2018, 41(18):41-44,48.
- [3] 许拓,刘成国,王晶,等. 无线信道的多参量自动化测量系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(10):14-18.
- [4] 朱诗孝,章增优. 低功耗射频微系统时钟动态切换方法[J]. 传感器与微系统, 2018, 37(1):65-67,70.
- [5] 钟良玉,郝时光,宋志操. 基于卫星测试的多路信号产生技术[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2019, 17(1):67-71.
- [6] 庞宇,袁鹏飞,阳妙. 基于 DDS 的超声驱动电源系统设计[J]. 现代电子技术, 2020, 43(10):18-20,24.
- [7] 杨敏,王利,张金时,等. 基于 FPGA 的 DDS 信号发生器设计[J]. 自动化仪表, 2019, 40(2):99-101,106.
- [8] 王磊,李翔,胡建荣. 基于 DDS 技术的电荷信号发生器设计[J]. 核动力工程, 2018, 39(6):186-189.
- [9] 朱才荣. 基于嵌入式的激光信号发生器高精度设计[J]. 激光杂志, 2018, 39(12):115-119.
- [10] 张君瑞. 基于数字媒体的船载微弱通信信号自动捕获系统设计[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(4):130-132.
- [11] 张晋项,任勇峰,单彦虎,等. 基于 FPGA 的可调节信号发生器的设计与实现[J]. 电子设计工程, 2019, 27(22):137-141.
- [12] 任明宇,陈万米,魏士皓. 基于 LabVIEW 的电能质量扰动信号发生器设计[J]. 电子测量技术, 2018, 41(22):135-141.
- [13] 张长勇,王艳芳. 基于动态时间间隔的超声波定位系统设计[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(35):174-178.
- [14] 冯学敏,蔡彧,陈小刚. 基于激光触发的播放器信号发生器设计[J]. 激光杂志, 2019, 40(2):161-166.
- [15] 路小超. 基于 FPGA 芯片的机载波形动态重构设计[J]. 电讯技术, 2019, 59(3):301-305.

作者简介

买华,硕士研究生,主要研究方向为电磁兼容仪器与测试技术、装备电磁兼容性等。

E-mail:mai_h@qq.com