

文章编号: 2095-4980(2016)03-0417-04

多路全相位微波数控移相器控制技术

卓红艳, 张家如, 邓浩, 黄华, 戈弋

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621999)

摘要: 通过对多路 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 的全相位数控移相器的控制技术的研究, 采用一种基于“串口服务器+时序控制器”的方法实现了多路全相位的微波移相控制。实验测试表明: 这种控制方法是可行的, 便于多路控制的工程化实现。同时实际的应用中发现, 在不同频段和较大的相移情况下, 存在移相精确度非线性变化的问题, 并提出了基于软件编程的改进方法。

关键词: 数控移相器; 串口服务器; 光纤

中图分类号: TN623

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201603.0417

Control technology of multiplex all-phase digital phase shifter

ZHUO Hongyan, ZHANG Jiaru, DENG Hao, HUANG Hua, GE Yi

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: The control technical research on multi-channel $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ digital phase shifter is conducted. A multiplex all-phase phase shifter is implemented by using serial device server and scheduling controller. The testing results indicate that the proposed method is feasible, which is convenient for the engineering realization of multi-path control. It is found that there is a non-linear change of phase-shift accuracy under different bandwidths and large phase shift conditions. To solve the problem, an improved method based on software programming is put forward.

Key words: digital phase shifter; serial device server; optical fiber

数字式移相器广泛用于雷达系统和微波通信系统, 尤其是相控阵雷达、相控阵天线馈电系统等。作为相控阵雷达系统的基本单元和核心组件, T/R 组件直接关系到整个相控阵雷达的优劣, 而数控移相器又是 T/R 组件的重要组成部分, 因此对于数控移相器的研究显得非常迫切和重要^[1]。在载波相干测量或通信系统中, 常需要使用移相器对信号进行精确程控移相操作。移相器最主要的技术指标为移相能力, 与数控移相器相比, 现有的大多数移相器电路主要采用模拟器件实现移相, 再利用数模变换器控制变容管或者半导体开关实现数控接口^[2]。由于模拟电路所固有的温漂属性, 这类电路的温度稳定性不高, 因此相位一致性随环境温度的变化而变化, 且不可控。数控移相器主要以 DDS(Direct Digital Synthesizer)为核心, 实现相位的高精确度调节, 与传统模拟移相器相比, 不易产生温漂, 性能稳定。美国海军研究办公室斥巨资开发的数字阵列雷达中应用了数据移相器, 它采用全数字结构, 具有精确的频率分辨力、快速频率转换时间和低相位噪声等突出优点, 为相控阵雷达技术的发展注入活力。将数控移相技术引入相控阵雷达系统中, 以其为核心组成全数字的 T/R 模块代替原来由移相器、不等功率分配器、微波衰减器等构成的模拟 T/R 模块, 既可方便产生各种雷达波形, 如线性与非线性调频脉冲压缩波形、二相及多相编码脉冲压缩波形和相参脉冲串波形等, 又可快捷控制波形捷变和宽带频率捷变, 更可以灵活对天线阵列进行相位和幅度加权, 简化雷达系统结构, 缩小雷达整机体积^[1]。

1 问题描述

基于移相器的实现原理, 模拟式移相器相移连续可调, 数字式移相器的相移则是量化的, 即其相位只能阶跃变化。因此数控移相器位数越多, 对信号的控制越精细, 但数控移相器本身及其控制也越复杂^[3]。目前常规的数控移相器主要用于低频场合, 线性度较好, 对数控移相器的计算机控制过程也相对简单。但随着数控移相器应用频段范围和相移范围不同, 尤其是在高频段和大范围的移相, 也会出现移相精确度非线性变化的问题, 给通过

控制数控移相器来实现精确相移带来较大的难度。为在高频实现 $0^\circ \sim 360^\circ$ 大范围的移相, 且移相精确度小于 2.5° , 本文采用多路 8 位高精度数控移相器进行移相。在移相器功能结构固化的前提下, 要实现这种宽频带、高精度、大范围的移相器的精确控制, 只有通过移相器外部的精确控制来解决不同频段的大范围移相, 满足精确度指标要求。

2 数控移相器控制原理

数控移相器的数字移相器一般由微波开关、传输线或电抗元件构成。通过改变微波开关的控制偏压, 移相器电路呈现 2 种不同状态, 信号因开关 2 种不同状态而产生相移^[2]。本文采用 8 位数控移相器, 控制原理见图 1。通过计算机控制输出 $D_0 \sim D_7$, 8 位二进制数字组合形成需要移相的角度, 数字控制信号输入到 D/A, 并经过变换后形成 2 路正交信号, 作为射频矢量调制器的调制信号, 从而完成数字控制信号所确定的相移, 实现数控移相器的可控移相功能。由此可见, 通过改变输入数字控制信号, 即可利用数控移相器实现 $0^\circ \sim 360^\circ$ 全相位的移相功能^[3-4]。

对于多路移相器的控制, 采用多路相同的外部控制单元分别控制。

3 控制系统设计

根据 8 位高精度的微波数控移相器的控制原理, 采用“串口服务器+时序控制器”的方式设计多路移相器的控制系统, 其控制结构见图 2。

8 位多路移相器控制系统的设计采用分布式控制体系结构, 由远程端的上位计算机通过光纤收发器(或光纤交换机)与本地端的光纤收发器(或光纤交换机)互联, 由上位计算机通过控制软件设置需要移相的角度, 通过网络发送给本地端的串口服务器, 再由串口服务器通过多路串口发送给时序控制器, 由时序控制器根据设置的移相角度数转化为 TTL 电平, 分别控制数控移相器进行移相。在控制系统工程实现上还需考虑 2 个因素: 一是网络传输的介质; 二是针对多路数字移相器的串口设计。

由于本地端的现场设备存在较强的辐射干扰, 为避免较强辐射对控制系统的影响, 网络采用单模光纤介质传输。多路数控移相器通过串口与外部通信, 每一个移相器对应一个串口。如果采用常规设计, 串口与外部线缆较多, 因此, 在工程实现上采用串口服务器的形式, 串口服务器正是通过这类串口与多个串口设备连接并能将串口数据流进行选择和处理, 把来自互联网的 TCP/IP 协议的数据包^[3], 解析为串口数据流发送到各时序控制器, 通过一路网络输出控制多路串口, 这样外部的接口线只有一对光纤网线, 大大简化了布线, 尤其是在十多路的串口控制中, 这种布线方式显得更简便。同时省去了许多中间的转换环节, 极大地提高了通信的可靠性^[5-6]。

软件设计界面见图 3。软件设计主要实现对每一个移相器的移相角度的设置和输出, 既可以设置角度, 通过软件变换为对应的 TTL 电平输出值, 也可以直接根据每一位输出高低电平直接输出。

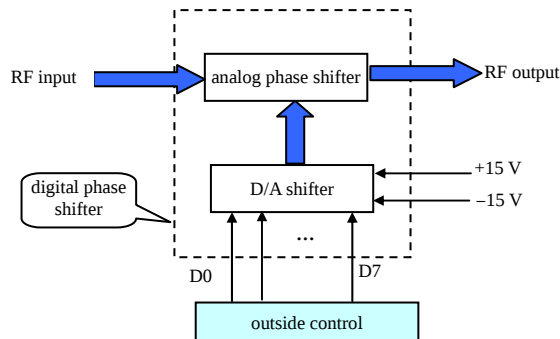


Fig.1 Control theory of 8-bit digital phase shifter
图 1 8 位数控移相器控制原理

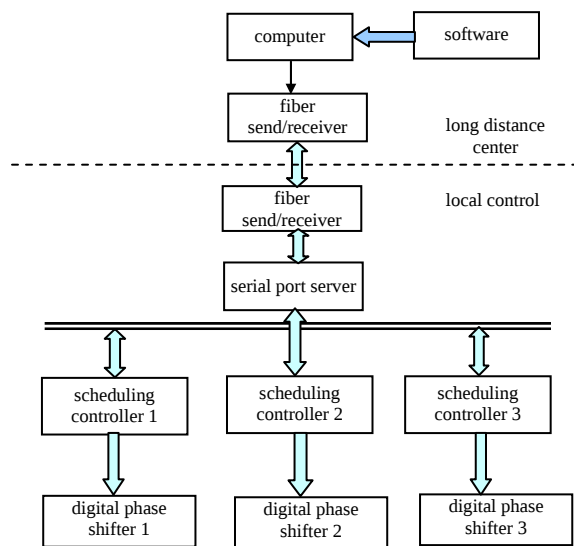


Fig.2 Control structure
图 2 控制结构图

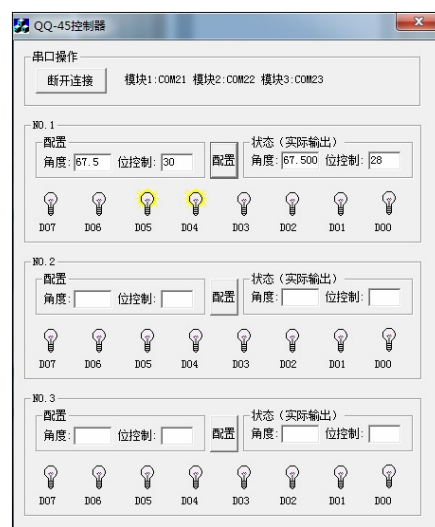


Fig.3 Control software
图 3 控制软件界面

4 系统测试

通过矢量网络分析仪对 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 移相范围、不同频段的移相进行实验测试, 其中某高频段测试结果如图 4~图 7 所示。

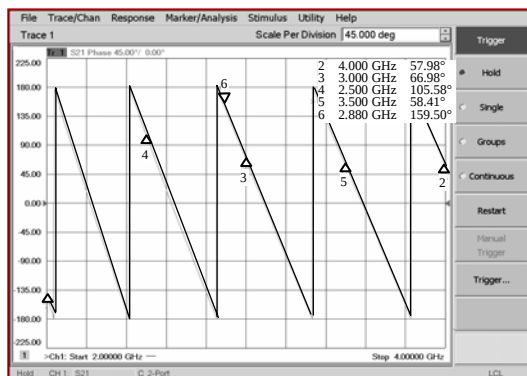


Fig.4 Initial phase of 95.4°
图 4 初相 95.4°

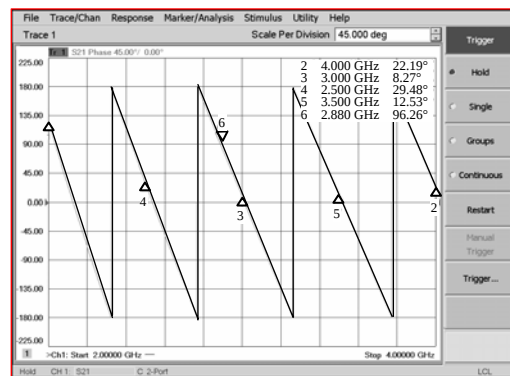


Fig.5 Shift phase of 45°
图 5 移相 45°

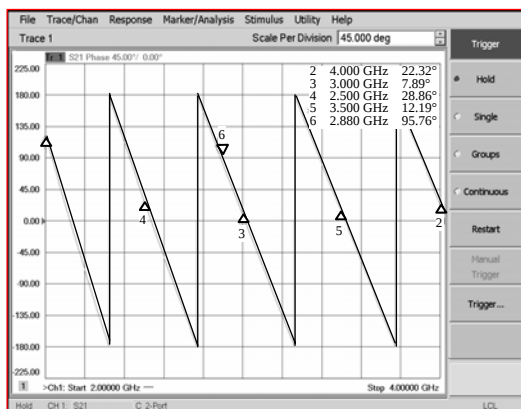


Fig.6 Shift phase of 180°
图 6 移相 180°

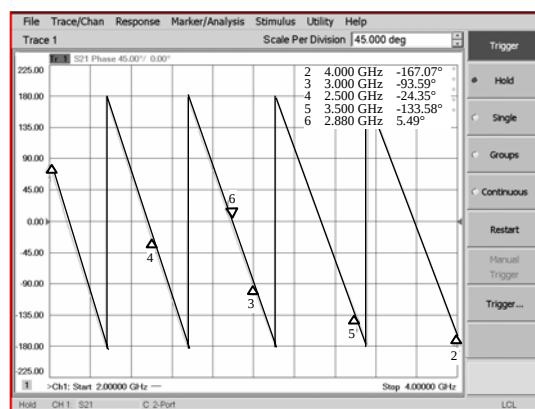


Fig.7 Shift phase of 360°
图 7 移相 360°

初相为 95.4° 时, 多次测试后的平均数据见表 1。

5 结论及改进

从实验测试数据和结果分析可以得出以下结论:

- 1) 每组相移重复性较好, 重复精确度不大于 0.2° , 但在 180° 反向时每组差异较大;
- 2) 每次移相可以很好地重复一个周期, 回到初相, 但在 180° 之前相位精确度约为 2.3° , 在 180° 之后相位精确度变小, 存在非线性变化。

从数据分析可以看出, 该数控移相器移相的分辨力是非线性变化的, 尤其是在大范围的相位调节和高频及低频不同频段之间的移相, 相移精确度的非线性变化更为突出。基于这种特点, 对数控移相器和控制系统提出了新的设计思路: 该数控移相器尽量在某一固定频段内, 进行线性

表 1 测试数据表

Table1 Test results

	setting shift phase/(°)	actual phase/(°)	actual shift phase/(°)
group 1	11.2	112.9	17.5
	22.5	129.2	33.8
	45.0	159.4	64.0
	90.0	-138.0	-126.6
	180.0	4.2	184.2
	220.0	44.2	222.2
group 2	360.0	95.4	360.1
	11.2	112.8	17.6
	22.5	129.1	33.7
	45.0	159.5	64.1
	90.0	-137.6	-127.0
	180.0	6.0	186.0
group 3	220.0	44.1	222.1
	360.0	95.4	360.0
	11.2	112.8	17.6
	22.5	129.1	33.7
	45.0	159.4	64.0
	90.0	-137.8	-126.8
group 3	180.0	5.0	185.0
	220.0	44.2	222.2
	360.0	95.4	360.0
	11.2	112.8	17.6

于这种特点, 对数控移相器和控制系统提出了新的设计思路: 该数控移相器尽量在某一固定频段内, 进行线性

化处理。对控制系统而言,在不改变硬件结构的前提下,要实现高精度的移相控制,采用多次重复测试建立对应的移相度数,应用时通过软件的快速查表实现,目前该新的改进设计已通过了实验验证,在高频段满足了相移精确度的线性变化,证明了该方法的可行性。

参考文献:

- [1] 王霄峻,赵洪新,殷晓星,等. 高精度数控微波移相器设计[J]. 微波学报, 2009,25(3):80-82. (WANG Xiaojun,ZHAO Hongxin,YIN Xiaoxing,et al. Design of a high resolution digital microwave phase shifter[J]. Journal of Microwaves, 2009, 25(3):80-82.)
- [2] 安士全,郭本青. 一种 X 波段五位数字移相器的研究与设计[J]. 雷达与对抗, 2013,33(4):28-31. (AN Shiquan, GUO Benqing. Research and design of an X-band 5-bit digital phase shifter[J]. Radar & Ecm, 2013,33(4):28-31.)
- [3] 马召红,刘茂国. 利用数控移相器实现连续移频技术研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2005,16(4):95-98. (MA Zhaohong, LIU Maoguo. Study on the technology of the continuous frequency shift using digital phase shifter[J]. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology, 2005,16(4):95-98.)
- [4] 何明坤. 用数控移相器实现对脉冲多普勒雷达的干扰[J]. 舰船电子对抗, 2011,34(5):27-29. (HE Mingkun. Jamming pulse Doppler radar by using digital control phase shifter[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2011,34(5):27-29.)
- [5] 陈平,郝继飞,周晓飞,等. 基于串口服务器组网的自来水厂供水监控系统[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2011,26(2):79-83. (CHEN Ping,HAO Jifei,ZHOU Xiaofei,et al. Drum water monitoring system of waterworks based on serial device server[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology(Natural Science Edition), 2011,26(2):79-83.)
- [6] 陈培容. 基于新型串口服务器的自动化组网新方案[J]. 中国高新技术企业, 2009(23):36-37. (CHEN Peirong. New type auto design based on serial device server[J]. China High Technology Enterprises, 2009(23):36-37.)

作者简介:



卓红艳(1972-),女,昆明市人,硕士,研究员,主要从事实时测控技术研究.
email:526756092@qq.com.

张家如(1967-),男,安徽省六安市人,研究员,主要从事测控技术研究.

邓浩(1981-),男,四川省泸州市人,工程师,主要从事测控技术研究.

黄华(1970-),男,重庆市人,研究员,主要从事高功率微波产生与应用技术研究.

戈弋(1982-),男,重庆市人,工程师,主要从事微波参数测试与控制技术研究.

2016(第三届)全国信号处理技术应用大会预告

由中国电子学会主办的“全国信号处理技术应用大会”已成功举办了两届,得到了业界的广泛关注和支持。今年的第三届会议较前两届大会报告内容更加丰富,更加全面,热点更加集中,旨在进一步加强信号处理技术应用领域中企业之间、高校与企业之间、研发工程师与应用工程师之间的交流和沟通,有力推动信号处理技术的进步与应用水平的提高,以满足各个行业的发展需求。大会将秉承“拓宽研发思路 提高应用能力”的宗旨,邀请国内信号处理技术领域的著名专家,就业界技术的应用和最新动态做特邀报告;邀请相关科研单位和高科技企业,宣传展示他们的研究成果、新产品和市场化内容;发表的新成果、新产品、新技术及研究报告。

一、时间地点:2016年7月23-24日 地点:北京

二、大会组织机构:

主办单位:中国电子学会

承办单位:中国电子学会会员与组织机构服务中心

中国电子学会信号处理分会

三、大会名誉主席:谢维信 原深圳大学校长

大会主席:龙腾 北京理工大学信息与电子学院院长

四、大会交流

1.特邀演讲:大会将邀请国内信号处理技术领域的著名专家,就信号处理技术的应用和最新动态做特邀报告。

2.宣传展示:邀请信号处理技术相关科研单位和高科技企业,宣传展示他们在信号处理技术领域的研究成果、新产品和市场化内容。

3.大会发表的新成果、新产品、新技术及研究报告。

五、邀请参会人员

1.国内外知名企业研发和工程技术人员

2.国内外大、专院校科研技术人员

3.行业组织、研究机构、应用工程单位等

4.新闻媒体代表

六、收费标准:1980元/人,会议期间食宿统一安排,费用自理。

七、联系方式

联系人:骆阳 电话:010-8368-7512

传真:010-8368-7513

手机:15311186901

email: ly_job@163.com