

基于频域合成和时域合成的光学函数波形产生技术

贺永娇,李晶*,鲍莹莹,董淑慧

(北京交通大学 光波技术研究所,北京 100044)

摘要:具有特殊时域波形的信号产生是微波光子学领域的一项重要研究内容,在军用、民用等各种领域具有广泛的应用。简单介绍了几种具体的基于频域合成和时域合成的光学函数波形产生技术,对比分析了频域合成法和时域合成法各自的优缺点;同时,从信号发生器生成波形重复频率的调谐能力、波形占空比、倍频因子、系统应用以及系统结构等方面,对比总结了介绍的几种技术的性能。

关键词:微波光子;光学函数波形生成;频域合成;时域合成

中图分类号:TN929.1 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2019)12-0055-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.12.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Optical function waveform generation technology based on frequency-domain synthesis and time-domain synthesis

HE Yongjiao, LI Jing*, BAO Yingying, DONG Shuhui

(Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Signal generation with special time domain waveforms is an important research content in the field of microwave photonics and has been widely used in various fields such as military and civilians. This paper briefly introduces several specific optical function waveform generation technology based on frequency-domain synthesis and time-domain synthesis. The advantages and disadvantages of the frequency-domain synthesis and time-domain synthesis are compared and analyzed. At the same time, several introduced technology are compared and summarized from the tuning ability of the waveform repetition frequency, the waveform duty ratio, the multiplication factor, the system application and the system structure of the signal generator.

Key words: microwave photon; optical function waveform generation; frequency-domain synthesis; time-domain synthesis

0 引言

矩形波、三角波和锯齿波等函数波形的产生可广泛应用于军用电子对抗、雷达系统和卫星遥感中,在民用中也可用于宽带无线通信和信号处理^[1-5]。从技术类型的角度可以将函数波形的产生技术分为2大类:电子学函数波形产生技术和光子学函数波形产生技

术。传统电子学技术产生的函数信号频率很低,使得波形带宽受到了很大程度的限制,从而会出现“电子瓶颈”的问题,很难满足现代高速通信以及大数据传输处理的需求。采用光子学的方法,相比传统电子学方法,其优势在于大带宽、低损耗和抗电磁干扰,且与光纤系统天然兼容,可以有效突破电子技术中“电子瓶颈”的制约,在光域直接实现高重复频率函数波形的生成。在光电融合技术越发成熟的今天,研究函数波形信号光学生成具有十分重要的意义。

本文主要对生成光学函数波形的频域合成法和时域合成法2种方法进行详细介绍和总结。

1 光学函数波形产生技术

光学函数波形产生技术大致可以分为频域合成法和时域合成法2种。频域合成法是一种从频域操纵

收稿日期:2019-06-05。

基金项目:国家自然科学基金(61827817)资助;中央高校基本科研专项资金(NO. 2018JBM006)资助。

作者简介:贺永娇(1993-),女,山西朔州人,硕士生,现就读于北京交通大学电子信息工程学院通信与信息系统专业,主要从事微波光子的研究。在校期间,曾获得北京交通大学“一等学业奖学金”、“三好学生”和“‘慧光杯’研究生学术文化节三等奖”等奖项。

*通信作者:李晶(E-mail: lijing@bjtu.edu.cn)。



正余弦函数波形的幅度和相位来合成所需函数波形的的方法,其基本步骤如图 1(a)所示;时域合成法是通过直接调制获得特定形状的信号包络,再控制包络功率和相位等,使其叠加产生理想波形的的方法,时域合成法的基本步骤如图 1(b)所示。2 种方法都各有其优、缺点,本文对其优、缺点进行了简单的对比分析,对比情况如表 1 所示。

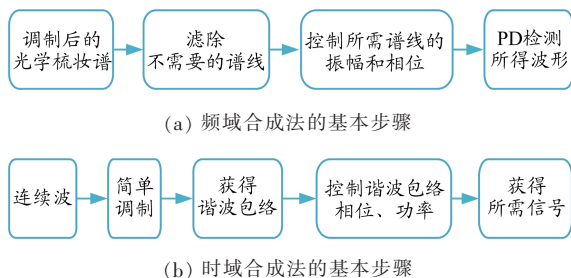


图 1 光学函数波形产生技术的基本步骤

表 1 2 种光学函数波形产生技术的优缺点对比情况

优、缺点	频域合成法	时域合成法
优点	可以精确地合成所需的波形	信号包络振幅及相位不易受外界影响,控制方便;光子波形效果好且稳定性强
缺点	很难同时控制无穷阶函数;波形的相位控制较困难	产生的波形从频谱合成上看不能严格控制各阶边带的参数,只能近似

1.1 频域合成法产生光学函数波形方案

1.1.1 基于逐一谱线操纵的光学函数波形产生技术

2007 年,Jiang Z 等人通过处理 100 多条光谱梳状线生成了光学函数波形^[6]。光学函数波形生成原理如图 2 所示。连续波激光器由 2 个相位调制器 (PM) 调制,通过 20 GHz 和 5 GHz 余弦信号同步驱动,得到的信号先后通过 2 个 5 GHz 频谱整形器进行整形,达到操纵各谱线的目的,从而实现光学函数波形的生成。该方案提供了 1000 多条频率稳定的谱线,可用于未来的光学函数波形研究中,并且可以进一步实现非线性光谱展宽。

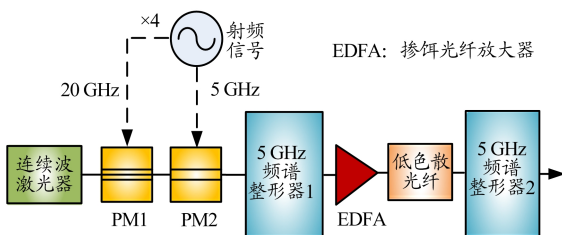


图 2 光学函数波形生成原理图

1.1.2 基于相位调制和可调色散的光子波形产生技术

2016 年,Gao Y 等人提出了一种具有可调谐波形和重复频率的光子波形发生器^[7],其原理图如图 3 所示。来自激光二极管的连续光波 (CW) 通过光环行器 (OC) 发送到偏振分束器。在激光二极管之后调整 PC1, 将偏振分束器输出处的 2 个光波设置为相等的功率。PM 沿顺时针方向放置,其输入输出尾纤到偏振分束器的 2 个输出端口。在 Sagnac 回路中,沿顺时针方向的光波由线路输出 (LO) 信号进行相位调制,而沿逆时针方向的光波可由于速度失配可以忽略。然后,这 2 个光波正交偏振到达偏振分束器。光检偏器耦合偏振复用的 2 个光波,最后使用光电探测器来检测波形。PM 可以控制相位调制信号载波的强度和相位,可调色散补偿模块将相移引入光学边带。这种方案结构简单,易于实现。

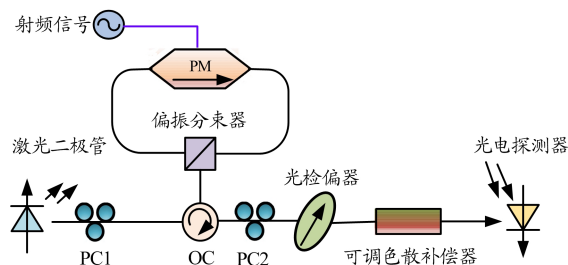


图 3 基于相位调制和可调色散的光学函数波形发生原理图

1.1.3 基于 2 个级联单驱动马赫-曾德尔调制器 (MZM) 的光学函数波形产生技术

2018 年,Yutong He 等人提出了基于 2 个级联单驱动 MZM 的光学函数波形产生技术^[8],其原理图如图 4 所示。2 个级联的单驱动铌酸锂 MZM 用作脉冲整形器,通过设置入射光的偏振态,分别在 2 个正交偏振分量上实现 2 个不同的光谱,最后通过在光电探测器上叠加 2 个正交信号的光电流,可以获得 3 GHz 重复频率的矩形波形、三角波形和锯齿波形 (或反锯齿波形)。

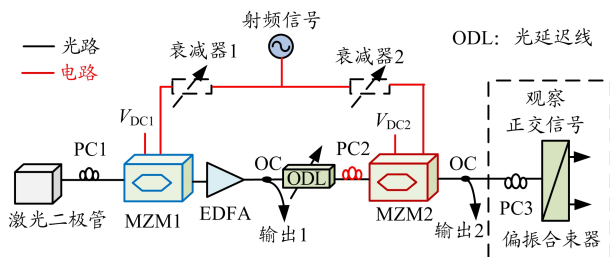


图 4 基于 2 个级联单驱动 MZM 的光学函数波形产生技术原理图

1.2 时域合成法产生光学函数波形方案

1.2.1 注入锁模技术结合时域包络叠加产生三角波

2015年,Jiang Y等人提出了一种新的三角波产生技术,利用注入锁模技术让2个包络时域叠加出三角波^[9]。三角波发生器的原理图如图5所示。分布反馈(DFB)激光器输出的连续波采用正弦信号进行调制,然后利用MZM在光域中产生信号包络。从MZM出来的信号被分成上、下2路,调整上、下2路信号间的功率和相对时间延迟之后,通过检测重组信号的包络可以实现9 GHz、10 GHz和12 GHz重复频率的三角波信号的生成。该技术利用注入锁定技术不仅可以很容易地获得高阶频率分量,也可以单独控制谐波信号,这2个特性为实现函数波形生成提供了巨大的潜力。基于该技术,可以通过添加更多倍频单元与现有技术(利用注入锁模技术时域叠加出波形)协同工作来实现函数波形的生成。

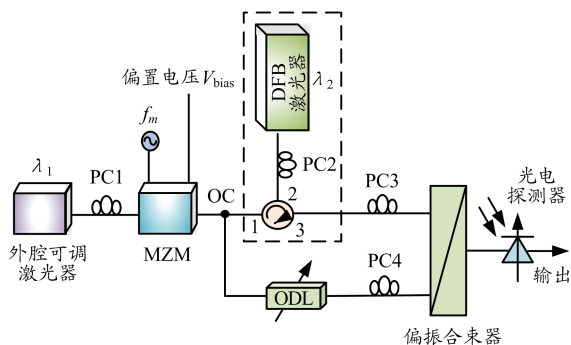


图5 三角波形发生器的原理图

1.2.2 基于双偏振调制器的时域波形产生技术

2016年,ZHANG Fangzheng等人提出了一种基于双偏振调制器的时域波形合成技术^[10],其原理图如图6所示。激光二极管产生的连续波被均分成2个分支,然后发送到MZM中。之后,偏振旋转器(PR)将上支路的信号极化旋转90°。因此,在上、下支路中获得一对正交极化的光信号。将它们在偏振合束器中组合

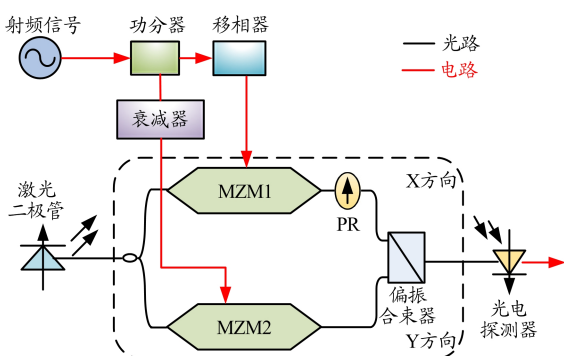


图6 时域波形合成器的原理图

之后,实现偏振复用光信号。通过实验,本文成功获得了5 GHz和10 GHz重复频率的三角波、矩形波和锯齿波,实验证明可以通过调整射频的频率来改变生成波形的频率。该技术仅使用单个激光源和单个调制器,结构简单且易于实现。

1.2.3 基于时域处理的函数光学波形产生技术

2018年,WU Tingwei等人提出了一种基于级联MZM和光电振荡器的光学波形产生技术^[11],其原理图如图7所示。通过控制偏振调制光电振荡器中的谱线,可以生成3 GHz和6 GHz重复频率的三角波。其中,MZM1的最佳调制轴的并行部分在偏振调制光电振荡器中执行载波抑制,而其正交部分未经调制,通过在正交点直接调制MZM2来产生3 GHz重复频率的矩形波形。另外,利用时域合成方法可以产生具有

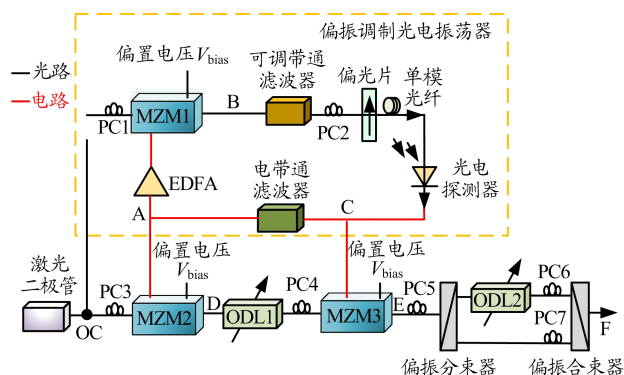


图7 时域处理产生函数波形的原理图

表2 频域合成法的3种技术对比结果

对比项目	性能		
	1.1.1 节技术	1.1.2 节技术	1.1.3 节技术
波形重复频率的调谐能力	调谐能力不足	波形重复率具有良好的可调谐	有限的调谐能力
波形占空比	能生成全占空比的波形	生成的波形具有全占空比	产生的波形具有完整占空比
系统应用	函数波形生成	可以生成三角波和矩形波	能生成三角波、矩形波和锯齿波或反锯齿波
系统结构	产生的波形准确度高,但由于光路限制,操作难度高	波形易于实现且无偏置漂移,但稳定性差,生成波形不理想	除调制器外不需额外的光学滤波或色散元件,从而系统简化

50%和100%占空比、3 GHz 重复频率的锯齿波或反锯齿波(其中100%占空比锯齿波在F点生成)。该技术具有效率高、灵活、多功能和操作简便等优点。

2 光学函数波形产生技术比较

本文提到的光学函数波形产生技术中,前3种技术属于频域合成法(1.1.1节技术、1.1.2节技术和1.1.3节技术),后3种技术属于时域合成法(1.2.1节技术、1.2.2节技术和1.2.3节技术)。本文分别对这2种方法的几种技术进行了简单的对比分析,结果分别如表2和表3所示。

表3 时域合成法的3种技术对比结果

对比项目	性能		
	1.2.1节技术	1.2.2节技术	1.2.3节技术
波形重复频率的调谐能力	较好的调谐能力	有限的调谐能力	光学滤波器的中心频率可调时,将实现可调谐
波形占空比	生成具有完整占空比的波形	产生的函数波形都具有完整占空比	产生具有完整占空比的三角波和矩形波以及具有50%和100%占空比的锯齿波或反锯齿波
倍频因子	生成波形的倍频因子为1	生成波形的倍频因子为1	生成波形的倍频因子为1
系统应用	只能生成三角波信号,通过添加倍频单元生成函数波	可以生成三角波、矩形波和锯齿波	能生成三角波、矩形波以及锯齿波或反锯齿波
系统结构	结构复杂且对设备要求高,尤其是被注入激光器的稳定性要好	使用单个激光源和单个调制器,结构简单且易于实现	结构较复杂但效率高、灵活、多功能、操作简便

3 结束语

根据函数光学波形的生成原理,可以将光学函数波形产生技术分为频域合成法和时域合成法。本文主

要从信号发生器生成波形重复频率的调谐能力、波形占空比、倍频因子、系统应用以及系统结构等方面,对比分析了现有的一些成熟的基于频域处理和时域处理产生光学函数波形的技术。下一步,研制出一种结构简单、性能优越的高倍频因子的函数波形产生技术是我们努力的方向。

参考文献:

- [1] PARMIGIANI F, IBSEN M, Ng T T, et al. Efficient Optical Wavelength Conversion Using Triangular Pulses Generated Using a Superstructured Fiber Bragg Grating[C]//Optical Fiber Communication Conference, February 24–28, 2008, San Diego, USA. San Diego: Optical Society of America, 2008.
- [2] KAMINOW I P, RAMASWAMY V, SCHMIDT R V, et al. Lithium niobate ridge waveguide modulator [J]. Applied Physics Letters, 1974, 24 (12): 622–624.
- [3] BHAMBER R S, LATKIN A I, BOSCOLO S, et al. All-optical TDM to WDM signal conversion and partial regeneration using XPM with triangular pulses [C]//European Conference on Optical Communication, September 21–25, 2008, Brussels, Belgium. Piscataway: IEEE, 2008.
- [4] LATKIN A I, BOSCOLO S, BHAMBER R S, et al. Doubling of optical signals using triangular pulses[J]. Journal of the Optical Society of America B, 2009, 26(8): 1492–1496.
- [5] 汪东,戴博,任栋亲,等.基于马赫曾德调制器产生24 GHz波段超宽带信号毫米波[J].光子学报,2015,44(9):157–161.
- [6] JIANG Z, HUANG C B, LEAIRD D E, et al. Optical arbitrary waveform processing of more than 100 spectral comb lines [J]. NATURE PHOTONICS, 2007, 1(8): 463–467.
- [7] GAO Y, WEN A, ZHENG H, et al. Photonic microwave waveform generation based on phase modulation and tunable dispersion [J]. Optics Express, 2016, 24(12): 12524–12533.
- [8] HE Yutong, JIANG Yang, ZI Yuejiao, et al. Photonic microwave waveforms generation based on two cascaded single-drive Mach-Zehnder modulators[J]. Optics Express, 2018, 26 (6): 7829–7842.
- [9] JIANG Y, MA C, BAI G, et al. Photonic Generation of Triangular Waveform Utilizing Time-Domain Synthesis [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2015, 27(16): 1725–1728.
- [10] ZHANG Fangzheng, GAO Bindong, PAN Shilong, et al. Time-Domain Waveform Synthesis Using a Dual-Polarization Modulator [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2016, 28(23): 2689–2692.
- [11] WU T, ZHANG C, ZHOU H, et al. Photonic Microwave Waveforms Generation Based on Frequency and Time-Domain Synthesis [J]. IEEE Access, 2018(6): 34372–34379.

欢迎投稿,欢迎订阅,欢迎刊登广告!