

基于马赫-曾德尔调制器的 16 倍频光毫米波的产生研究

纪文珺¹, 刘开贤¹, 陈新桥²

(1. 中国传媒大学 理学院, 北京 100024; 2. 中国传媒大学 信息工程学院, 北京 100024)

摘要: 产生高倍频系数的光毫米波(MM-Wave)是一种前景广阔的技术, 它可以消除在中央站对高频率本机振荡器的需求。提出了一种通过级联马赫-曾德尔调制器(MZM)产生 16 倍频光毫米波的方法, 理论分析了该方法产生 16 倍频光毫米波的原理, 并采用 Optisystem 光子模拟软件验证了其可行性。该方法可省去光滤波器, 降低了系统成本, 且具有较高的光边带抑制比(OSSR)和射频寄生边带抑制比(RFSSR), 在毫米波光纤传输系统中具有广泛的应用前景。

关键词: 马赫-曾德尔调制器; 倍频; 光毫米波; 毫米波光纤传输

中图分类号: TN25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2019)01-0051-03

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.01.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on the generation of 16-tupling light millimeter wave based on Mach-Zehnder modulators

Ji Wenjun¹, Liu Kaixian¹, Chen Xinqiao²

(1. School of science, Communication University of China, Beijing 100024, China;

2. School of Information Engineering, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: Optical millimeter wave (MM-Wave) generation with the high frequency multiplication factor is one of the most promising technique which can eliminate the need of high frequency local oscillator at the central station. This paper proposes a method for generating 16-times-frequency millimeter wave by cascaded Mach-Zehnder modulator (MZM). It analyzes the principle of generating 16 times frequency light millimeter wave by this method, verifies the feasibility of the method by Optisystem photon simulation software. This method eliminates optical filters, reduces system cost, and has high optical sideband rejection (OSSR) and RF parasitic sideband rejection(RFSSR). It has broad applications in millimeter wave fiber transmission system.

Key words: Mach-Zehnder modulator(MZM); tupling; light millimeter wave; millimeter wave fiber transmission

0 引言

随着数据量的增加, 能实现大数据量传输的系统成为了研究的热点, 因此毫米波光纤传输成为了目前很有前景的传输方式。在光域中产生毫米波(即产生光毫米波)是毫米波光纤传输中的关键技术。目前产生光毫米波的主要方法有基于直接调制器、光外差、外部调制器、四波混频和布里渊散射等。其中, 采用基于倍频原理的外调制器产生 16 倍频光毫米波的方法

具有稳定性高、费用低等优点, 是国内外研究的热点。Yin X 等人提出了用双平行马赫-曾德尔调制器(MZM)的方法^[1], 但该方法获得的光边带抑制比(OSSR)和射频寄生边带抑制比(RFSSR)较低; Chen 等人提出了用两个级联的 MZM 和一个相移器, 通过前反馈技术达到 16 倍频的方法^[2], 但该方法使用了光滤波器, 导致系统的可调谐性受限, 并且费用昂贵、复杂度高; Li 等人提出了将双平行 MZM 进行偏振复用来达到 16 倍频的方法^[3], 该方法需要严格地控制偏振角和调制指数, 因此 OSSR 和 RFSSR 都较低; Zhu 等人提出了级联两个双平行 MZM 达到 16 倍频的方法^[4], 但该方法 OSSR 和 RFSSR 受调制指数的影响很大, 导致毫米波信号的纯度较低。

针对以上方法存在的问题, 本文提出一种采用双级联 MZM 产生 16 倍频光毫米波的新方法。

收稿日期: 2018-09-01。

作者简介: 纪文珺(1994-), 女, 天津市蓟州区人, 硕士研究生, 主要从事光器件与光通信方面的研究。研究生期间荣获校三等奖与校二等奖, 参与过中国科学院声学研究所关于声传感器项目的前期调研工作, 目前正在参与声学研究所关于管道自主探测智能机器人项目的后期图像处理工作。



1 16倍频光毫米波生成系统设计

1.1 MZM 工作原理

当激光输出光波的场强为 $E_0 \cos(\omega_0 t)$ 时,通过 MZM 后的输出场强为:

$$E(t) \propto E_0 \{ \cos[\omega_0 t + \beta \cos(\omega_m t + \phi) + \Phi] + \cos[\omega_0 t - \beta \cos(\omega_m t + \phi) + \Phi] \} \quad (1)$$

其中, ω_0 是光载波角频率, ω_m 是射频驱动信号的角频率, ϕ 是微波驱动信号的初始相位, Φ 是通过改变偏置电压得到的 MZM 两臂信号的额外相位差, β 是相位调制指数 ($\beta = \pi V / 2V_\pi$), V 是微波驱动信号的电压振幅, V_π 是半波电压。

利用贝塞尔函数的指数展开式对式 (1) 进行变形,可以得到输出场强由直流分量、奇次谐波分量和偶次谐波分量相加的形式。

1.2 系统设计

16 倍频光毫米波生成系统主要由 4 个 MZM 和 2 个 1×2 耦合器组成,分成上、下两个支路,如图 1 所示。设从连续波激光器出射的光载波场强为 $E_0 \exp(j\omega_c t)$,光载波经耦合器 1 分别注入到上、下 2 个支路;设每个 MZM 加入的射频调制信号为 $\cos\omega_m t$, MZM1~MZM4 的初始相位依次设置为 0° 、 90° 、 45° 和 135° ;各 MZM 都偏置在峰值传输点(PTP),此时 $\Phi=0$ 。

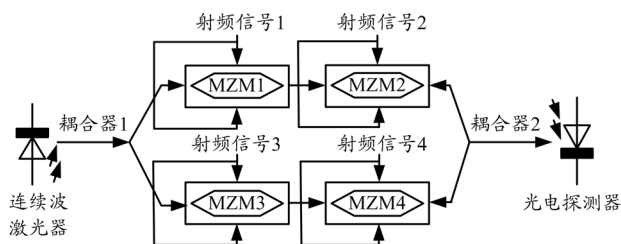


图 1 16 倍频光毫米波生成系统原理

因为 MZM1 偏置在峰值传输点,其输出为载波及各偶数阶边带,我们将该输出作为 MZM2 的输入,经计算后能够得到 4 的整数倍阶次边带。由于 MZM1 与 MZM2 之间的相位差为 90° ,将 $\phi_1=0^\circ$ 和 $\phi_2=90^\circ$ 代入到式 (1) 的贝塞尔函数的指数展开式中,可以看到载波也被消除了。同理,将 $\phi_3=45^\circ$ 和 $\phi_4=135^\circ$ 也代入到式 (1) 的贝塞尔函数的指数展开式中,则下侧支路的输出为不含载波的 4 的整数倍阶次边带,但它们与上支路边带的相位不同。

耦合器 2 的输出表示为上支路与下支路的输出之和。根据贝塞尔函数的特性可知,边带阶数越高强度越低,因此高阶边带可忽略,只考虑前 16 阶边带。

通过计算,上、下两支路中的第 4 阶边带和第 12 阶边带正负抵消。根据贝塞尔函数查表,通过控制 β 可以使第 16 阶边带强度降到极低,从耦合器 2 输出的信号为:

$$E_{out}(t) = 2\alpha^2 E_0 \{ J_4^2(\beta) \exp[j(\omega_c + 8\omega_m)t] + J_4^2(\beta) \exp[j(\omega_c - 8\omega_m)t] \} \quad (2)$$

从耦合器输出的光信号经过光电探测器实现光电转换,光电流可表示为: $I_{out} = R |E_{out}(t) \times E_{out}^*(t)|$,其中, R 是光电探测器的响应率,代入式 (2) 得到 $I_{out} = R 2\alpha^4 E_0^2 J_4^4(\beta) \cos 16\omega_m t$,该式清楚地表明探测到的信号包含调制在 MZM 上射频信号的 16 倍频信号。

2 仿真实验验证

2.1 16 倍频光毫米波的生成

本文参照图 1,采用 Optisystem 光子模拟软件,搭建 16 倍频光毫米波生成系统。设光载波频率为 193.1 THz,射频频率为 10 GHz, MZM 的分光比为 1,调制类型设为相移键控,偏置电压都设置为 0。

系统上、下支路的输出光信号频谱图如图 2 所示,可以看出只有 4 的倍数阶边带,没有载波。

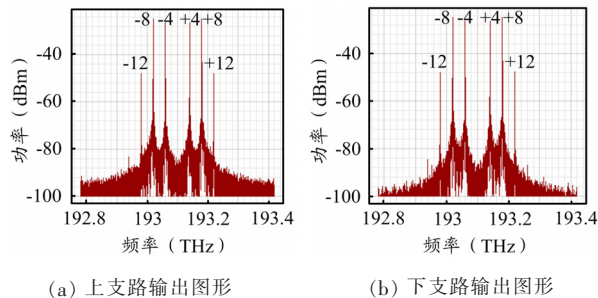


图 2 上、下支路输出光信号的频谱图

耦合器 2 输出光信号的频谱图如图 3 所示,可以看出第 8 阶边带非常明显, OSSR 为 59 dB。

光信号经过光电探测器拍频得到的输出电信号频谱图如图 4 所示,可以看出拍频后信号频率为

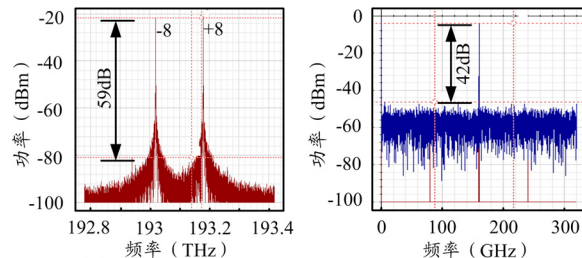


图 3 耦合器 2 输出光信号频谱图 图 4 光电探测器输出电信号频谱图

160GHz,为射频调制信号10GHz的16倍,系统的RFSSR为42dB。

射频本机振荡器参数的不理想会影响生成的毫米波品质。射频信号的初始相位从理想数值变化 $\pm 1^\circ$ 会导致OSSR从59dB降低到29dB,RFSSR从42dB降低到23dB。射频信号1~射频信号4的初始相位对OSSR和RFSSR的影响如图5所示。

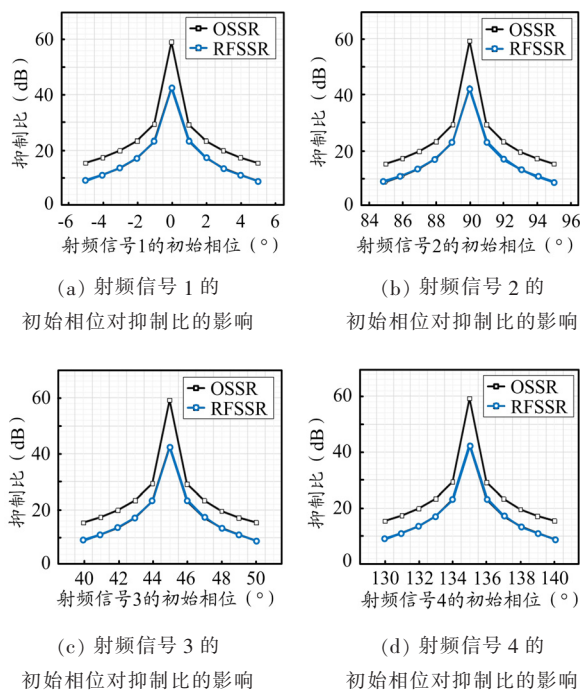


图5 各个射频信号的初始相位对OSSR和RFSSR的影响

由于较低的边带抑制比会增加不需要的谐波,为了让系统有更好的性能,OSSR和RSSFR应越高越好。从图5中可以看出,加在MZM1~MZM4上的射频信号的初始相位依次为 0° 、 90° 、 45° 和 135° 是最佳选择。

2.2 实验数据传输

为了验证所设计系统的数据传输性能,本文在图1所示系统中的输出耦合器2后加一个MZM,将2.5Gb/s信号调制到光毫米波上,通过10km的标准单模光纤进行传输后送入放大器、光电探测器和滤波器,得到调制了数据的160GHz毫米波信号。将该信号与160GHz的本振进行混频,恢复出2.5Gb/s的数据信号。将2.5Gb/s的数据调制到第8阶边带上得到的输出光谱图如图6所示,可以看到数据被调制到第8阶边带上。

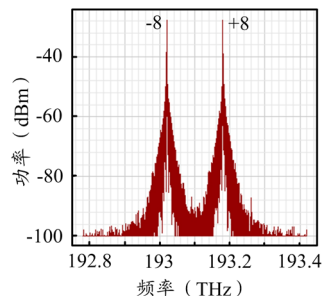


图6 经数据调制后的边带光谱图

经过光电探测器拍频得到的输出频谱图如图7所示。可以看出,在探测信号中包含了被调制在160GHz毫米波上的数据。系统的眼图如图8所示,眼图清晰,说明本文设计的16倍频光毫米波生成系统数据传输性能良好。

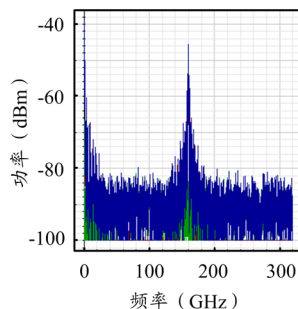


图7 经光电探测器拍频后的输出信号频谱

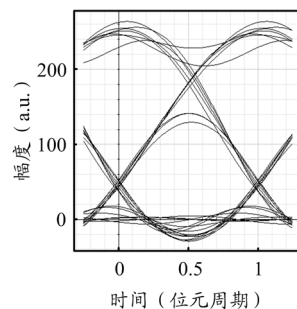


图8 16倍频光毫米波生成系统眼图

3 结束语

本文提出了采用级联MZM产生16倍频光毫米波的方法,理论分析了该方法的可行性。采用Optisystem光子模拟软件,设计了产生16倍频光毫米波的系统,获得了160GHz的光毫米波信号,OSSR为59dB,RFSSR达到42dB。仿真结果表明:该方法不需要应用滤波器,大大增加了系统的可调谐性,优于其它16倍频光毫米波生成方法,在毫米波光纤传输系统中具有重要的应用前景。

参考文献:

- [1] YIN X, WEN A, CHEN Y, et al. Studies in an optical millimeter-wave generation scheme via two parallel dual-parallel Mach-Zehnder modulators [J]. Journal of Modern Optics, 2011, 58 (8): 665-673.
- [2] CHEN H, NING T, JIAN W, et al. D-band millimeter-wave generator based on a frequency 16-tupling feed forward modulation technique [J]. Optical Engineering, 2013, 52(7): 761041-761044.
- [3] LI X, ZHAO S, ZHU Z, et al. An optical millimeter-wave generation scheme based on two parallel dual parallel Mach-Zehnder modulators and polarization multiplexing [J]. Journal of Modern Optics, 2015, 62 (18): 1502-1509.
- [4] ZHU Z, ZHAO S, CHU X, et al. Optical generation of millimeter-wave signals via frequency 16-tupling without an optical filter[J]. Optics Communications, 2015, 354: 40-47.
- [5] ESAKKIMUTHU K, SIVANANTHA RAJA A, SHANMUGAPRIYA G. Frequency 16-tupled optical millimeter wave generation using dual cascaded MZMs and 2.5Gbps RoF transmission [J]. Light Electron Opt., 2017, 140: 338-346.