

文章编号: 0253-2239(2010)09-2504-04

声光偏转多频信号同时探测互调现象研究

李小纳 何 宁 邓德迎

(桂林电子科技大学信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

摘要 声光偏转效应可用于信号载频相关信息的测量。但当多个射频信号同时加载到声光偏转器时,在布拉格条件下信号间将发生互调现象,给信号检测带来很大的困难,尤其是三阶互调光束的干扰尤为严重。针对这种声光衍射产生的互调干扰,从声光衍射相互作用原理出发,讨论了产生互调现象的条件、衍射分布和信号频谱图。通过理论分析,提出了减小互调现象的方法和措施。构建测试系统平台,对多路信号同时到达声光偏转器时产生互调干扰的程度进行了实验验证。在声光偏转器有效带宽内,衍射效率一定的情况下,通过适当控制射频驱动功率,保证声光偏转器工作在线性区域,可有效地减小互调干扰,从而有利于系统的信号检测。

关键词 衍射;光栅;多频互调;线性驱动;带宽

中图分类号 TN929 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20103009.2504

Research on Phenomenon of Intermodulation in Detection of Multi-Frequency Signals Based on Acousto-Optic Deflection

Li Xiaona He Ning Deng Deying

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology,
Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract The measurements of the information on the carrier frequency can be realized by the acousto-optic deflection effects. However, when the multi-radio frequency signals are simultaneously input to the acousto-optic deflector, the intermodulation between the signals will be generated in the Bragg regime. It causes great difficulties to signal detecting, especially interference from the third-order intermodulation is particularly serious. In response to the intermodulation interference coming from the acousto-optic diffraction, the conditions of generating intermodulation, diffraction distribution, and frequency spectrum are discussed on the basis of the principle of the interaction of the acousto-optic diffraction. Through theoretical analysis, the methods and measures by which the phenomenon of the intermodulation can be reduced are proposed. In order to verify the degree of intermodulation interference in the detection of multi-frequency signals, a test system is constructed. By way of experimental analysis, the conclusion that the intermodulation interferences can be reduced effectively by controlling drive power of radio frequency (RF) properly to ensure that acousto-optic deflector works in linear regions is drawn, when diffraction efficiency in the effective bandwidth of acousto-optic deflector is fixed.

Key words diffraction; grating; multi-frequency intermodulation; linear drive; bandwidth

1 引 言

随着信息技术的发展,对信息的有效传输与探测提出了更高的要求。利用声光技术进行信号处理,在宽瞬时带宽和大动态范围实现对多个同时到达信号的检测和识别的接收系统越来越受到关注^[1~5]。基于声光偏转技术的声光信号处理系统,

具有大瞬时带宽、大动态范围、高处理增益和实时并行处理能力,在现代通信侦察技术中具有广阔的应用前景。其中,声光频谱分析是应用最广泛和最具实用价值的光信号处理系统,它能检测和识别多个同时到达的信号,截获概率接近 100%,可实现信号的无缝测量,更加适合于日益复杂的信号环境^[2,4]。

收稿日期: 2009-12-07; 收到修改稿日期: 2010-01-20

基金项目: 国家 863 计划(2007AA0860)资助课题。

作者简介: 李小纳(1985—),女,硕士研究生,主要从事光通信方面的研究。E-mail: lxnfly@126.com

导师简介: 何 宁(1958—),男,研究员,硕士生导师,主要从事光通信方面的研究。E-mail: eicnhe@guet.edu.cn

然而,当多频信号同时探测时,由于各种非线性效应的作用,特别是多次声光衍射的影响,使声光频谱分析仪的检测性能受到很大的限制,多次声光衍射出现的互调光束成为系统最为主要的问题^[6]。本文对减小互调现象方法进行研究 and 实验,针对声光偏转器的工作状态给出相应的技术解决途径。

2 理论分析

2.1 布拉格衍射原理

由声光衍射原理可知,在满足布拉格条件的情况下,其声光偏转角为^[4,7~9]

$$\theta = 2\theta_B = \frac{\lambda_0}{n v} f, \quad (1)$$

式中 θ_B 为布拉格角; λ_0 为入射光波长; n 为声光介质折射率; v 为声速; f 为声波的频率。

多频声光衍射与单频声光衍射的原理相同,如图 1 所示^[1,9~11]。当有多个频率的信号同时加在换能器上时,则在介质中将同时得到对应于每个信号频率的一列超声波,此时声光介质相当于一个“复合光栅”,每一列超声波与入射光束相互作用产生相应的一级衍射光束,其方向偏离入射光束的角度为^[7,8]

$$\theta_i = \frac{\lambda_0}{n v} f_i. \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (2)$$

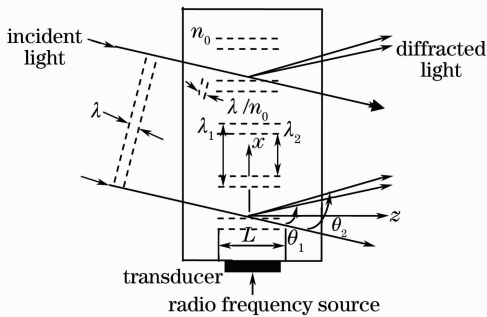


图 1 多频声光衍射

Fig. 1 Multi-frequency acousto-optic diffraction

但是由于“复合光栅”的作用,实际的多频衍射过程要比单频衍射复杂得多。当相互作用介质内存在多个频率的超声波时,入射光会发生多次衍射,从而出现方向对应于 $f = \sum_{i=1}^N n_i f_i$ ($n_i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots; N$ 是声信号数) 的互调光束,同时主衍射光也会因产生压缩和交叉调制而减小^[8,12,13]。

根据多频声光衍射原理可知,有 $N(N \geq 2)$ 个高频驱动信号同时加在声光偏转器上时,出现一系列互调光束。由于互调光束的强度随着阶数的增大而减弱,一般情况下,高阶互调光束的影响可以忽

略。对应于 $f_i \pm f_j$ 的二阶互调光束虽然有较大的强度,然而只有对应于 $f_i - f_j + f_k$ 的三阶互调光束出现在一级衍射光附近且强度比较大^[14]。 f_i, f_j, f_k 均为声波的频率。

当 N 的值变大,即同时加在声光偏转器上的高频信号越多时,则三阶互调的情况越复杂,三阶互调光束迭加在一级衍射光束上的强度越多,并且出现在一级衍射光束近旁的三阶互调光束也越来越密集,不利于信号探测。

2.2 多频互调仿真

为了便于分析,假设 $N = 2$,即有两个信号同时加在声光偏转器上,其幅度分别为 A_1 和 A_2 ,频率分别为 f_1 和 f_2 。由以上分析可知,此时产生的偏转光束除了包括各级衍射光外,还有对应于频率 $-(f_1 - f_2), (f_1 - f_2), (2f_1 - f_2), (2f_2 - f_1), (3f_1 - 2f_2), (3f_2 - 2f_1)$ 等的互调光束。只有三阶互调光束落在了主衍射光的附近,会以假点的形式出现,对一级衍射光形成空间干扰。

当两个信号幅度相等,即 $A_1 = A_2$ 时,在布拉格条件下,两个信号的一级衍射光强度均为^[11]

$$I = |J_1(V)|^2, \quad (3)$$

三阶互调光束的强度为

$$I_{2,1} = |J_3(V)|^2, \quad (4)$$

式中 V 为声致相移(与驱动功率成正比例关系), $J_1(V), J_3(V)$ 为贝塞尔函数。

由(3)式和(4)式作出一级衍射光强度、三阶互调光束强度与归一化驱动强度的关系曲线如图 2 所示。

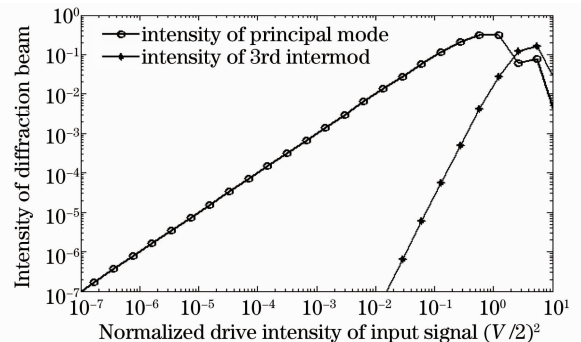


图 2 两路信号的三阶互调曲线

Fig. 2 Curves of the third-order intermodulation of two signals

由图可知:当归一化驱动强度小于 10^{-2} 时,不会出现三阶互调现象。但是,随着驱动强度的增大,会逐渐出现三阶互调现象,并且三阶互调光束强度的增长速率远远大于一级衍射光束强度的增长速率。当归一化驱动强度大于 1 时,三阶互调光束的

影响尤为严重。因此,为了实现信号的有效探测,必须使归一化驱动强度小于1。

当两个信号幅度不相等,即 $A_1 \neq A_2$, 且 $|V_i/2|^2 \ll 1, (i = 1, 2)$ 时,在布拉格条件下,其一级衍射光的强度为^[11]

$$I_1 = \left(\frac{V_1}{2}\right)^2 \left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{V_1}{2}\right)^2 - \frac{2}{3}\left(\frac{V_2}{2}\right)^2\right], \quad (5)$$

三阶互调光束的强度为

$$I_{2,1} = \frac{1}{36}\left(\frac{V_1}{2}\right)^4\left(\frac{V_2}{2}\right)^2, \quad (6)$$

式中 V_1 和 V_2 分别为频率为 f_1 和 f_2 的超声波所引起的声致相移。

由(5)式和(6)式可知,当一路信号功率固定时,随着另一路信号功率的增大,将会出现三阶互调现象,且三阶互调光束强度的增长速率比较大。

总之,为了能够有效地探测到多路信号,必须控制驱动功率,不能使驱动功率过大。

3 实验测试分析

在理论分析基础上搭建实验测试平台,将两路不同频率的信号(保证在声光偏转器带宽范围内)同时加载到声光偏转器,通过不同功率组合输入来观察衍射光斑位置图和信号频谱图的变化。

实验中用的声光偏转器中心频率为 400 MHz,带宽为 200 MHz,驱动功放增益为 35 dB,声光偏转器在饱和工作时驱动功率为 1 W,衍射效率达 3%,在线性工作时驱动功率小于 1 W,衍射效率小于 3%。功率驱动器的特性曲线如图 3 所示。由图可知,输入射频信号功率 $P_{in} < -15$ dBm 时,声光偏转器处于线性工作状态;输入射频信号功率在 $-15 \sim -10$ dBm 之间时,声光偏转器处于非线性工作状态;输入射频信号功率大于 -10 dBm 时,声光偏转器处于饱和工作状态。

实验中加载的信号频率分别为 400 MHz 和

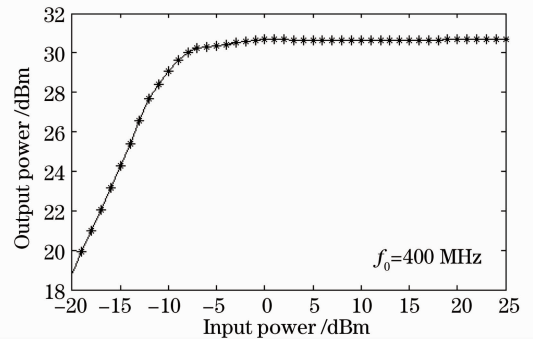


图 3 功率驱动器的特性曲线

Fig. 3 Characteristic curve of power driver

410 MHz,在满足布拉格条件的情况下,系统采用相干光探测方式完成对两路射频信号的频率和幅度探测,借助频谱仪观察有无互调信号频谱的变化情况。

通常,在多频信号探测时,需要保证声光偏转器在一定带宽范围内衍射效率的均匀性。在衍射效率不太大的情况下,衍射效率根据作用信号强度的不同而有所区别,衍射光的强度正比于该频率成分的功率,因此,当两路信号功率值相差不是很大时,实际频率信号的衍射效率最大,其余互调频率信号的衍射效率远小于主频率信号。

实验中同时改变加载到声光偏转器驱动功放中两路信号的强度,当 $P_{in} \leq -15$ dBm 时(线性工作),无互调现象出现;当 $P_{in} > -15$ dBm 时(非线性或饱和工作),出现互调现象,且随着信号功率的增大,互调光束的强度越来越大,互调光束的数目也越来越多。衍射光由相干光探测电路完成光电转换,在频谱仪上观察到互调现象,频谱中出现多个峰点,以 400 MHz 和 410 MHz 两输入信号为主频点,互调光束以 10 MHz 的间隔左右依次出现,但其强度随着偏离主频阶数的增大而减弱。当输入功率为 -15 dBm 和 -13 dBm 时,得到声光偏转器衍射光斑位置图和探测系统信号输出频谱图分别如图 4 和图 5 所示。

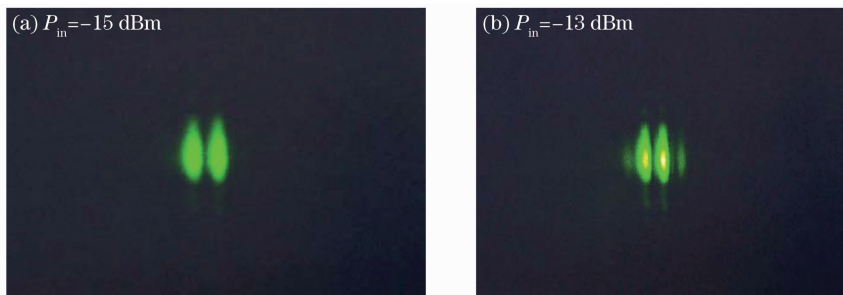


图 4 衍射光斑位置图

Fig. 4 Diffraction spot distribution

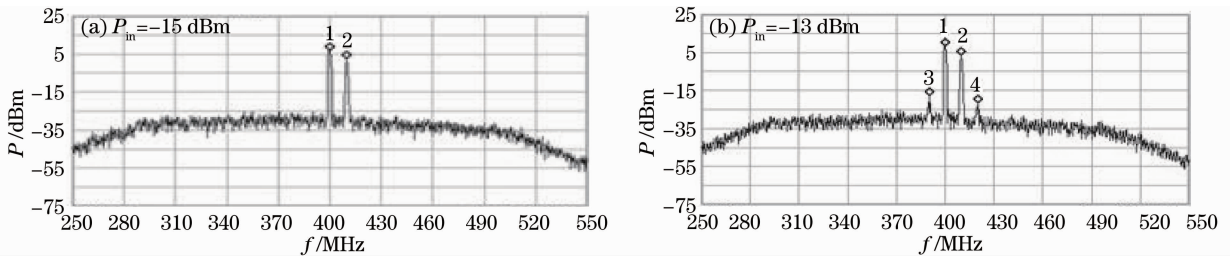


图 5 输出信号频谱图

Fig. 5 Frequency spectrum of output signal

可以看出,衍射光斑位置图与输出信号频谱图呈一一对应关系。将功率值为 -15 dBm的信号加在声光偏转器上时,衍射光斑图中只有主衍射光束,频谱图中也相应地只有主频信号,即无互调现象出现;将功率值设置为 -13 dBm时,衍射光斑图中出现三阶互调光束,频谱图中也对应地有互调频率信号的出现。

同时得出,任何一路加载到声光偏转器的信号功率逐渐大于 -15 dBm时,将在主衍射光斑两侧逐渐出现互调衍射光斑,其强度随着远离主频光斑而逐渐减弱,系统输出主频谱两侧也同样出现互调功率谱,且其功率幅度也随着远离主频谱而降低。

因此,要减少互调光束数目和削弱互调光束强度,应适当控制驱动功率,削弱非线性效应的作用效果,实验结果与理论分析基本一致。

4 结 论

声光偏转互调现象是由于多信号同时作用而产生的,在声光偏转器正常工作条件下,三阶互调现象是多频信号同时探测时最主要的问题之一,三阶互调产物会对一级衍射光造成干扰,给信号的探测和识别带来很大困难。选择声光偏转器合适的工作状态,适当控制加在声光偏转器上信号的功率范围是减小互调现象的关键,这将有利于后端信号的探测。通过理论仿真和相应的实验论证,对多路信号同时探测的实际应用提供了一定的理论和实验依据。

参 考 文 献

- Xu Haiquan, Jiang Yue. Measurement of radar carrier frequency via acoustooptic deflection effect [J]. *J. Air Force Radar Academy*, 2005, **19**(4): 17~18
徐海全, 蒋跃. 基于声光偏转效应的雷达载频测量方法 [J]. *空军雷达学院学报*, 2005, **19**(4): 17~18
- Jiang Yue. Acousto-optic spectrum analyzer based on Bragg diffraction [J]. *Piezoelectrics & Acoustooptics*, 2006, **28**(3): 269~271
蒋跃. 基于 Bragg 衍射的声光频谱分析仪 [J]. *压电与声光*, 2006, **28**(3): 269~271
- Liu Jingjuan, Zou Jian. Operation mode and application research

- of acoustooptic-deflector [J]. *Information & Communication*, 2008, (4): 20~23
- 刘婧娟, 邹建. 声光偏转工作模式及其应用研究 [J]. *信息通信*, 2008, (4): 20~23
- Cheng Naiping, Jiang Xiufu, Shao Dingrong *et al.*. *Acousto-Optic Signal Processing and Application* [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004. 8. 1~20, 51~58, 192~200
- 程乃平, 江修富, 邵定蓉等. *声光信号处理及应用* [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004. 8. 1~20, 51~58, 192~200
- He Dawei, Li Yefan, Xu Chengjie *et al.*. High dynamic range acousto-optic device [J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(12): 1711~1715
何大伟, 李也凡, 许承杰等. 高动态范围声光接收机 [J]. *光学学报*, 1998, **18**(12): 1711~1715
- Yingfan Liu, Zhiwei Lü, Yongkang Dong *et al.*. Research on stimulated Brillouin scattering suppression based on multi-frequency phase modulation [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2009, **7**(1): 29~31
- Liu Yangman, Peng Huashi. A study of multi-frequency acousto-optic diffraction and simultaneous multi-frequency modulation [J]. *J. Huazhong (Central China) University of Science and Technology*, 1981, **4**(9): 55~59
刘扬满, 彭华实. 声光多频衍射和多频同时调制的分析 [J]. *华中工学院学报*, 1981, **4**(9): 55~59
- Jiang Hongyan, He Ning, Gao Xinchao. Research on the phenomenon of the third order intermodulation during multi-frequency acousto-optic diffraction [J]. *Opt. Commun. Technol.*, 2009, **33**(5): 54~56
蒋红艳, 何宁, 高新朝. 声光多频衍射的三阶互调现象研究 [J]. *光通信技术*, 2009, **33**(5): 54~56
- Wen Tao, Wei Jibo, Ma Dongtang *et al.*. A novel method of increase acousto-optic deflector spatial resolution [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(12): 1631~1635
温涛, 魏急波, 马东堂等. 提高声光偏转器空间分辨率的方法研究 [J]. *中国激光*, 2005, **32**(12): 1631~1635
- D. L. Hecht, G. Petrie, S. Wofford. Multifrequency acousto-optic diffraction in optically birefringent media [C]. *IEEE Ultrasonics Symposium*, 1979. 46~50
- D. L. Hecht. Multifrequency acoustooptic diffraction [J]. *IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics*, 1977, **24**(1): 7~18
- Yu Kuanxin, Zhao Baosen, He Shiya *et al.*. Determination of optimum operating modes for multi-dimensional isotropic acousto-electro-optic effect [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(3): 370~376
俞宽新, 赵宝森, 何世雅等. 多维正常声光电效应最佳工作模式的确定 [J]. *光学学报*, 2003, **23**(3): 370~376
- Zhao Qida. A study of multifrequency acoustooptic interaction [J]. *Acta Optica Sinica*, 1989, **9**(2): 128~134
赵启大. 多频声光互作用的研究 [J]. *光学学报*, 1989, **9**(2): 128~134
- Xu Jieping. *The Principle, Design and Application of Acousto-Optic Device* [M]. Beijing: Science Press, 1982. 105~111
徐介平. *声光器件的原理、设计和应用* [M]. 北京: 科学出版社, 1982. 105~111