

一种新型的量子放大器——跃迁 拍频放大器

赵宏志 董太乾

(北京大学无线电电子学系)

1986年12月8日收到

提 要

本文报道一种利用跃迁拍频现象制成的新型微波量子放大器。在室温下,接收带宽为 2kHz 时,接收灵敏度为 $5 \times 10^{-15} \text{W}$ 。

激光器和微波量子放大器都是利用了量子放大现象,要观察到这种量子放大现象的必要条件是对应于跃迁的上能级粒子数必须大于下能级粒子数,即存在着粒子数反转^[1]。本文报道的是一种新型的量子放大器——跃迁拍频放大器,在这里粒子数反转是不必要的。

文献[2]曾报道了⁸⁷Rb原子光抽运实验中的拍频现象,跃迁拍频放大器正是利用了这种拍频现象。下面简要地重复叙述文献[2]中的实验:在该实验中用两个微波同时作用在被⁸⁷Rb灯抽运的⁸⁷Rb原子上;(见文献[2]图1)。其中微波I的频率 ν_1 是固定的,它精确地等于⁸⁷Rb原子基态0—0跃迁的中心频率 ν_0 ,其功率为 P_1 ;微波II的频率 ν_2 是围绕 ν_0 被调制的,调制频率为20Hz,其功率为 P_2 , $P_2 \ll P_1$,这时就能观察到跃迁拍频信号。当满足适当的物理条件时,就可以得到文献[2]中图2的信号,当时观察到跃迁拍频信号比微波II单独存在时的共振信号大5倍。

有关的理论分析也已经在文献[2]中给出。

由文献[2]中的(9)式和(15)式均可看出跃迁几率中的相干项或光检测信号中的相干项均与作用在⁸⁷Rb原子上的微波II的磁场强度振幅 H_{10} 成正比,在同样的输入功率下微波谐振腔内的 H_{10}^2 与腔的 Q 值成正比,所以 H_{10} 与腔的 Q 值的平方根成正比。我们在原有实验的基础上,为了加强微波与⁸⁷Rb原子的相互作用,提高信噪比,把原来做实验用的球形吸收泡改成圆柱形吸收泡,吸收泡的尺寸基本上与腔的尺寸相同,这样微波谐振腔的无载品质因数 Q_0 由原来的几十增加到8000。我们利用一个制作⁸⁷Rb原子频标的物理部份(泵体)重新做这个实验,光抽运方案用⁸⁷Rb灯经⁸⁵Rb滤光泡抽运⁸⁷Rb吸收泡中的⁸⁷Rb原子。这时单频共振信号和跃迁拍频信号都比原来增强了许多,如图1所示。图1(a)是只有微波II时得到的⁸⁷Rb原子基态0—0跃迁共振信号,此时 ν_2 围绕 ν_0 被调制,信噪比约为1:1,相应的输入功率 $P_2 = 5 \times 10^{-12} \text{W}$ 。图1(b)是同时存在微波I和微波II,并且 ν_1 固定等于 ν_0 , ν_2 仍然围绕 ν_0 被调制时观察到的跃迁拍频信号,信噪比为30:1,相应的

输入功率 P_2 仍为 $5 \times 10^{-12} \text{W}$, 此时 $P_1 = 2 \times 10^{-9} \text{W}$. 由于信号强度与 $\sqrt{P_2}$ 成正比, 所以这相当于 $P_2 \cong 5 \times 10^{-15} \text{W}$ 时, 跃迁拍频信号的信噪比为 1:1, 也就是说利用这个方法可以检测到 $5 \times 10^{-15} \text{W}$ 的微弱微波功率. 实验中用的信号放大器带宽为 2kHz. 如果在实验中把 ν_2 也固定, 但与 ν_0 有一个频差 $\Delta\nu$, 而 ν_1 还是精确等于 ν_0 , 则这时能观察到呈正弦形的拍频信号, 如图 1(c) 所示, 拍频的频率等于 $\Delta\nu$, 这时仍然是 $P_2 = 5 \times 10^{-12} \text{W}$, $P_1 = 2 \times 10^{-9} \text{W}$, 信噪比是 30:1, $\Delta\nu \cong 50 \text{Hz}$.

这种跃迁拍频放大器的实质是: 可以用比较小的微波功率通过跃迁拍频来实现对比较大的微波功率的控制. 跃迁拍频放大器有以下几个特点:

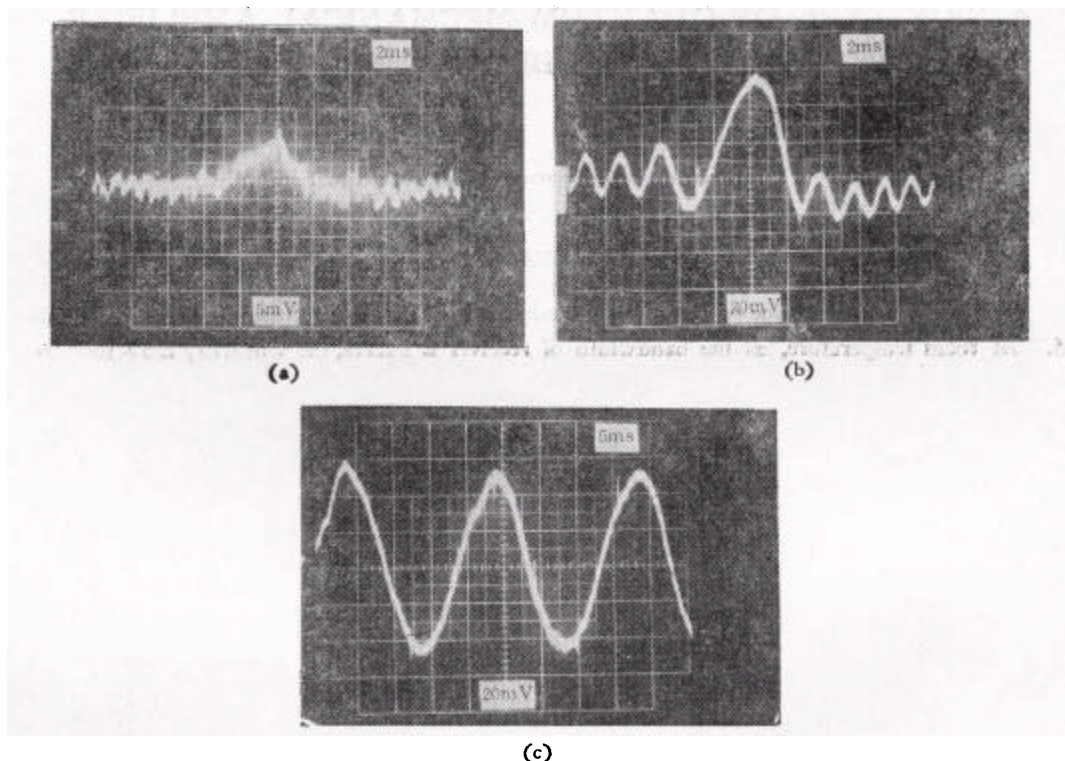


图 1

1. 与一般的放大器不同, 在这里被控制的微波功率的频率与输入频率不同, 存在着一个频差 $\Delta\nu$.

2. 被控制的微波功率的变化量不与输入功率成正比, 而是与输入功率的平方根成正比. 所以当输入功率减小时, 被控制的微波功率的变化量减小得较慢, 因而对于检测小功率特别有利.

3. 检测这个被控微波功率的变化量是用光检测来实现的, 它比一般微波检测的灵敏度高得多.

4. 这种跃迁拍频放大器的带宽就是跃迁谱线的线宽, 在我们的实验中是 500Hz.

原则上跃迁拍频放大现象对于任何跃迁都是存在的, 所以只要能找到合适的工作物质, 特别是凝聚态物质, 保留光检测的特点, 估计可以得到更强的共振信号和跃迁拍频信

号。若再进一步把工作物质放在低温下进一步降低热噪声,可望能够作成一种非常灵敏的微波检测装置。另外,在光频段观察到这种跃迁拍频现象原则上也是可能的。

参 考 文 献

- [1] K. Shimoda, T. C. Wang, C. H. Townes, *Phys. Rev.*, **102** (1956), 1308.
- [2] 刘淑琴、董太乾, *物理学报*, **33**(1984), 1673.

A NEW TYPE OF QUANTUM MECHANICAL AMPLIFIER —TRANSITION BEAT AMPLIFIER

ZHAO HONG-ZHI DONG TAI-QIAN

(*Department of Radio-Electronics, Peking University*)

ABSTRACT

In this paper, a new type of quantum mechanical amplifier using transition beat is described. At room temperature, as the bandwidth of receiver is 2 KHz, the sensitivity is 5×10^{-15} W.