Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 5

ФИЗИКА

Б. Д. ОСИПОВ и А. М. ПРОХОРОВ

ЛИНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ АММИАКА (3,3) КАК ЭТАЛОН ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТ В ДИАПАЗОНЕ 5—20 Мгц С ТОЧНОСТЬЮ 10^{-6}

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 26 II 1955)

Резонансная частота линий поглощения газов мало зависит от внешних условий, что позволяет применить линии поглощения в качестве эталонов частоты ([1]). Однако в обычном радиоспектроскопе достигается относительная ширина линии не меньшая 10^{-5}, и для получения точности измерения резонансной частоты линии, например 10^{-7}, необходимо измерить резонансную частоту с точностью до 10^{-2} от ширины линии поглощения. В настоящее время разработаны методы уменьшения ширины линий до 10^{-6}, но они приводят к значительному уменьшению интенсивности поглощения и не дают заметного увеличения точности при сильном усложнении аппаратуры ([2,3]). Задачей данной работы была разработка прибора для измерения частот в диапазоне 5—20 Мгц с высокой точностью. Как показали наши расчеты и эксперимент, сравнительно просто получается точность 10^{-6} при использовании в качестве эталона линии 3,3 инверсионного спектра аммиака.

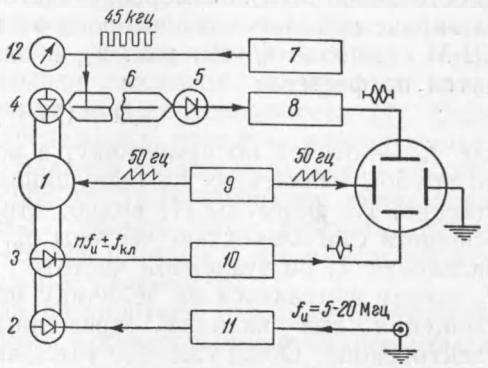


Рис. 1. Блок-схема прибора. *1* — клистрон, *2* — умножительный кристалл, *3* — смесительный кристалл, *4* — умножительный кристалл, *5* — приемный детектор, *6* — поглощающая ячейка спектроскопа, *7* — модулятор, *8* — усилитель, *9* — блок развертки, *10* — интерполяционный радиоприемник типа КВ-М, *11* — ламповый умножитель частоты, *12* — контроль напряжения модуляции

За основу прибора была выбрана схема, изображенная на рис. 1. Здесь линия поглощения наблюдается на спектроскопе с электрической молекулярной модуляцией (штарк-эффект), дающем наибольшую чувствительность. Особенно просто осуществление такого спектроскопа с модуляцией малой по сравнению с шириной линии поглощения; сигнал, наблюдаемый на экране осциллоскопа, имеет при этом вид, изображенный на рис. 2 (наблюдение на частоте модуляции).

На рис. 3 показана форма напряжения модуляции. В качестве эталона мы приняли частоту f_0 «опорного нуля» (точка O, рис. 2), а не резонансную частоту линии поглощения. Использование опорного нуля, а не максимума поглощения, обладает двумя преимуществами: 1) благодаря увеличению крутизны по частоте возрастает чувствительность, ограниченная шумами детектора спектроскопа (крутизна по частоте в максимуме линии поглощения равна нулю); 2) исключается ошибка, возникающая вследствие зависимости мощности на детекторе от частоты клистрона.

Как видно из рис. 1, для сравнения гармоник измеряемой частоты с частотой $f_и$ применена обычная схема визуального наблюдения, широко распространенная в радиоспектроскопии. Гармоники от измеряемой частоты получаются умножением на лампах до частоты порядка 100 Мгц и умножением на кристаллическом детекторе до частоты 8000 Мгц. Использование в качестве генератора клистрона К-20, работающего на частоте около 8000 Мгц, потребовало дополнительного умножения частоты в 3 раза для получения частоты линии 3,3 ($\sim$ 24000 Мгц), но

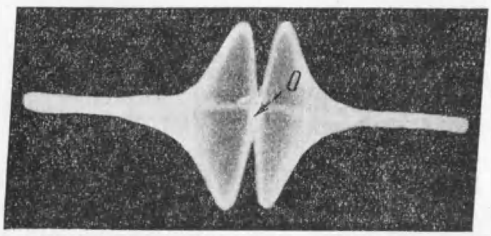


Рис. 2. Выходной сигнал спектроскопа

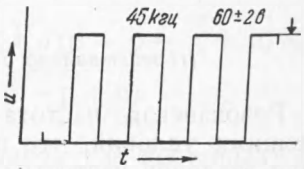


Рис. 3

зато облегчило умножение измеряемой частоты $f_и$ (до 8000 Мгц вместо 24000 Мгц). Измерение частоты $f_и$ производится совмещением на экране осциллоскопа выброса от интерполяционного приемника типа КВ-М с точкой f_0 (см. рис. 2), и значение измеряемой частоты находится по формуле

$$f_н = (f_0 \pm f_{пр})/n, \qquad (1)$$

где $f_{пр}$ — отсчет по приемнику, а номер гармоники n определяется по грубому значению $f_и$, измеренному тем же приемником непосредственно. Из формулы (1) видно, что точность метода определяется в основном стабильностью частоты f_0. Экспериментальная проверка стабильности f_0 по эталонной частоте радиостанции РВ-71 показала, что f_0 может изменяться на величину порядка 20% от ширины линии поглощения при наличии отраженных волн в поглощающей ячейке спектроскопа. Обнаруженное отклонение обусловлено в нашем случае дисперсией вблизи резонансной частоты линии (5) и дается формулой *

$$\delta\nu = \Delta\nu \mid k_1 k_2 \mid \sin(4\pi f_0 l/c), \qquad (2)$$

где $\Delta\nu$ — полуширина линии поглощения; k_1 и k_2 — коэффициенты отражения от концов поглощающей ячейки; c — фазовая скорость в ячейке; l — эффективная длина.

Из формулы (2) видно, что если добиться устранения отражений хотя бы от одного конца поглощающей ячейки, т. е. получить $k_1 = 0$ или $k_2 = 0$, то величина сдвига будет равна нулю. Другой путь — это подбор эффективной длины l таким образом, чтобы $\sin(4\pi f_0 l/c) = 0$, тогда ошибка $\delta\nu = 0$. Для получения наибольшей точности l таким образом и подбиралась, причем величина $\mid k_1 k_2 \mid \sin(4\pi f_0 l/c)$ оценивалась по зависимости f_0 от ширины линии $\Delta\nu$ при изменении давления газа в ячейке. Оказалось возможным установить постоянство f_0 с точностью до 10 кгц, что соответствует относительной точности 10^{-6}.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
8 II 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] C. H. Townes, J. Appl. Phys., 22, 1365 (1951). [2] G. Newell, R. H. Dicke, Phys. Rev., 83, 1064 (1951). [3] R. H. Johnson, M. Strandberg, Phys. Rev., 85, 503 (1952). [4] Б. Д. Осипов, ЖЭТФ, 27, 115 (1954). [5] Koichi Shimoda, J. Phys. Soc. Jap., 9, 378 (1954).

* Аналогичная формула получена в работе [5].