



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42807 (13) C2

(51) 7 H01S3/13

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ОПТИЧНОГО АБО НВЧ-СИГНАЛУ З КАЛІБРОВАНИМИ ЧАСТОТНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

(21) 97062991

(22) 23.06.1997

(24) 15.11.2001

(46) 15.11.2001, Бюл. № 10, 2001 р.

(72) Бойченко Віктор Дмитрович

(73) Бойченко Віктор Дмитрович, UA

(56) Д.А. Дженингс, К.М. Эвенсон, Д. Дж. Э. Найт. Измерение частот в оптическом диапазоне. ТИИЭР, 1986, т. 74, № 1, с. 189-199

(57) Способ формирования оптического или СВЧ-сигнала с калиброванными частотными параметрами (значение, стабильность, величина изменения), в котором формируют высококогерентный оптический или СВЧ-сигнал методами, в которых частота сигнала определяется эффективной (оптической) длиной резонатора генератора, управляют частотой этого сигнала посредством измерения эффективной (оптической) длины резонатора генератора, выделяют сигнал, частота кото-

рого лежит в радиочастотном диапазоне, отличающийся тем, что формируют двухмодовый или с большим числом мод оптический или СВЧ-сигнал, причем частота одной из его мод V'_m известна с абсолютной погрешностью, не превышающей половины частоты межмодовых биений f , выделяют сигнал межмодовых биений, калибруют его требуемые частотные параметры, а точные параметры $m^{\text{й}}$ моды сигнала определяют, используя связь $V_m = mf$, где m - целое, положительное число, причем для определения частоты $m^{\text{й}}$ моды сигнала вначале определяют приближенное значение $m' = \frac{V'_m}{f}$, округляют его до целочисленного

значения m и, используя это значение m , рассчитывают точное значение частоты $m^{\text{й}}$ моды сигнала по вышеприведенной формуле.

Изобретение относится к измерительной технике, конкретнее к частотным измерениям оптических и СВЧ колебаний и может быть использовано для создания квантовых стандартов частоты, а также в технике измерения расстояний и перемещений.

Известен способ формирования стабилизированного по частоте оптического сигнала путем привязки частоты лазера к линии поглощения в каком-либо веществе, например в йоде [1], в котором управляет оптической длиной резонатора генератора.

Известен способ калибровки стабильности частоты межмодовых биений лазеров путем управления оптической длиной резонатора [2].

Эти способы не позволяют определить значение частоты сигналов.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению по достигаемой цели является способ формирования оптических колебаний с калиброванным значением частоты и ее стабильности, использованный в устройстве, предназначенном для измерения частоты линии поглощения йода [3]. До момента создания этого устройства и проведения эксперимента, частота линии погло-

щения йода была известна со сравнительно большой погрешностью.

Способ характеризуется следующими операциями:

1. Формируют высококогерентный одномодовый оптический сигнал, частота которого V_5 близка к частоте линии поглощения йода, с помощью ОКГ.

2. Стабилизируют частоту этого сигнала по линии поглощения йода путем управления длиной резонатора ОКГ.

3. Формируют высококогерентный одномодовый сигнал частотой V_4 с помощью ОКГ. Частота V_4 примерно в 2 раза меньше чем V_5 .

4. Умножают частоту этого сигнала V_4 в 2 раза на кристалле LiNbO_3 .

5. Смешивают эту удвоенную частоту с частотой V_5 на фотодиоде.

6. Выделяют сигнал биений радиочастотного диапазона частотой равной $\Delta_3 = V_5 - 2V_4$ с помощью фотодиода.

7. Формируют дополнительный сигнал с калиброванной частотой, равной также Δ_3 .

8. Стабилизируют частоту V_4 путем управления длиной резонатора генератора с помощью системы автоподстройки частоты, которая сравни-

(13) C2

(11) 42807

(19) UA

вает частоту сигнала биений Δ_3 с калиброванной частотой дополнительного сигнала.

9. Формируют высококогерентный одномодовый сигнал частотой V_3 с помощью ОКГ. Частота V_3 примерно в 2 раза меньше частоты V_4 .

10. Умножают частоту V_3 в 2 раза на кристалле LiNbO_3 .

11. Смешивают удвоенную частоту $2V_3$ с частотой V_4 на фотодиоде.

12. Выделяют сигнал биений радиочастотного диапазона частотой, равной $\Delta_2 = V_4 - V_3$ с помощью фотодиода.

13. Формируют дополнительный сигнал с калиброванной частотой Δ_2 .

14. Стабилизируют частоту V_3 путем управления длиной резонатора ОКГ с помощью системы автоподстройки частоты, которая сравнивает частоту сигнала биений Δ_2 с калиброванной частотой Δ_2 дополнительного сигнала.

15. Формируют высококогерентный одномодовый сигнал частотой с помощью ОКГ.

16. Формируют высококогерентный одномодовый сигнал со стабильной калиброванной частотой V_1 . Причем значения частот V_1 и V_2 близки друг другу и подобраны так, что $3V_1 + 2V_2$ близки по значению V_3 .

17. Смешивают частоты V_1 , V_2 и V_3 на нелинейном МДМ диоде.

18. Выделяют частоту $V_B = V_3 - (3V_1 + 2V_2)$ на этом же МДМ диоде. Частота V_B лежит в радиодиапазоне.

19. Измеряют значение частоты V_B .

20. Формируют сигнал частотой V_μ близкой разности $V_2 - V_1$ с помощью клистрона стабильной частоты. Частота V_μ примерно равна 62 ГГц.

21. Измеряют частоту V_μ .

22. Определяют калиброванное значение частоты V_5 по формуле:

$$\begin{aligned} V_5 &= 2V_4 + \Delta_3 = 2\{2V_3 + \Delta_2\} + \Delta_3 = \\ &= 2\{2[3V_1 + 2V_2 + V_B] + \Delta_2\} + \Delta_3 = \\ &= 2\{2[3V_1 + 2(V_1 + V_\mu + \Delta_1) + V_B] + \Delta_2\} + \Delta_3. \end{aligned}$$

Недостатком способа является сложность процесса калибровки частоты сигнала V_5 и невозможность плавного изменения частоты на заданную величину.

Задачей настоящего предложения является упрощение процесса формирования, а также обеспечение плавного изменения частоты на заданную величину.

Согласно предложению формируют высококогерентный оптический или СВЧ сигнал методами, у которых частота сигнала определяется эффективной (оптической) длиной резонатора генератора, управляют частотой этого сигнала посредством изменения эффективной (оптической) длины резонатора генератора, выделяют сигнал, частота которого лежит в радиочастотном диапазоне, формируют двухмодовый или с большим числом мод оптический или СВЧ сигнал, причем частота одной из его мод V'_m известна с абсолютной погрешностью, не превышающей половины частоты межмодовых биений f , выделяют сигнал межмодовых биений, калибруют его требуемые частотные параметры, а точные параметры $m^{\text{й}}$ моды сигнала определяют, используя связь $V_m = mf$, где m - целое положительное число, причем для определения частоты $m^{\text{й}}$ моды сигнала

вначале определяют приближенное значение

$$m' = \frac{V'_m}{f}, \text{ округляют его до целочисленного значения } m \text{ и затем, используя это значение } m, \text{ рассчитывают точное значение частоты } m^{\text{й}} \text{ моды сигнала по приведенной формуле.}$$

Такое усовершенствование позволяет упростить процесс формирования оптического или СВЧ сигнала с калиброванными частотными параметрами (значение, стабильность, величина изменения), а также обеспечивает плавное изменение частоты на заданную величину.

Предлагаемый способ характеризуется следующими операциями:

1. Формируют высококогерентный двухмодовый или с большим числом мод сигнал, например, с помощью ОКГ. Частота V'_m одной из мод сигнала известна с погрешностью, меньшей чем половина частоты межмодовых биений $f/2$. (Например, измерена длина волны одной из мод с помощью интерферометра Фабри-Перо).

2. Выделяют частоту межмодовых биений.

3. Формируют дополнительный сигнал со стабильной калиброванной частотой f близкой частоте межмодовых биений.

4. Стабилизируют частоту межмодовых биений путем управления длиной резонатора ОКГ с помощью системы ФАПЧ по дополнительному с калиброванной частотой f сигналу, и тем самым калибруют частоту биений и стабилизируют частоту мод.

5. Уточненное значение частоты $m^{\text{й}}$ моды определяют, используя связь между частотой биений f и частотой V_m $m^{\text{й}}$ моды $V_m = mf$. Перед этим вычисляют отношение $\frac{V'_m}{m}$, округляют результат

до ближайшего целого числа и по полученному целочисленному значению m вычисляют значение V_m по приведенной формуле.

6. При необходимости изменения частоты V_m на калиброванную абсолютную величину ΔV_m или на относительную величину $\delta V_m = \frac{V_m + \Delta V_m}{V_m}$

изменяют частоту межмодовых биений на абсолютную величину $\Delta f = \frac{\Delta V_m}{m}$ или на относитель-

ную $\delta f = \frac{f + \Delta V_m}{f}$ путем изменения длины резонатора, что достигается изменением в системе ФАПЧ частоты дополнительного сигнала на те же величины Δf или δf .

Приведена структурная схема устройства, реализующего данный способ:

1 - двухмодовый (двухчастотный) He-Ne оптический квантовый генератор - ОКГ (лазер);

2 - преобразователь частоты;

3 - узел фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ);

4 - генератор сигнала радиочастотного диапазона.

С помощью оптического квантового генератора 1 формируют высококогерентный двухмодовый оптический сигнал, частота которого известна с

погрешностью $\Delta V_m \leq \frac{V_{m+1} - V_m}{2}$. (Например, длина

волны измерена с помощью интерферометра Фабри-Перо. Основной сигнал оптического квантового генератора 1 используют для внешних измерений, а сигнал с другого конца резонатора, прошедший через "глухое" зеркало, используют для калибровки частотных параметров сигнала ОКГ. Этот сигнал направляют на преобразователь частоты 2. В этом преобразователе 2 выделяется сигнал межмодовых биений частотой $f' = V'_{m+1} - V'_m$. Здесь V'_{m+1} и V'_m - частоты $(m+1)^{\text{й}}$ и $m^{\text{й}}$ мод, соответственно, до момента срабатывания системы ФАПЧ. Сигнал с частотой межмодовых биений подают на одно плечо узла ФАПЧ-3, на другое плечо ФАПЧ-3 подают сигнал от генератора 4. Частоту генератора 4 устанавливают такой, какой хотят получить частоту межмодовых биений. На выходе узла ФАПЧ-3 формируется управляющий сигнал соответствующий по знаку и величине разности фаз между сигналом генератора 4 и сигналом межмодовых биений, поступающего с преобразователя частоты 2. Управляющий сигнал с выхода узла ФАПЧ подают на пьезокерамический элемент резонатора ОКГ 1. Под действием управляющего сигнала, длина резонатора ОКГ 1 устанавливается такой, при которой частота межмодовых биений равна частоте генератора 4.

Перед началом измерений калибруют стабильность и значение частоты f генератора 4.

После срабатывания ФАПЧ происходит калибровка значения частоты межмодовых биений.

Определяют приблизительное значение отношения $\frac{V'_m}{f} = m'$. Округляют его до целочисленного значения m и рассчитывают значение частоты $m^{\text{й}}$ моды, используя формулу $V_m = mf$.

Если в процессе работы возникла необходимость изменить частоту сигнала ОКГ на калиброванную величину ΔV_m (или в калиброванное число раз $\delta V = \frac{V_m \pm \Delta V_m}{V_m}$, то меняют частоту межмодовых биений путем изменения частоты генератора 4 на абсолютную величину $\Delta f = \frac{\Delta V_m}{m}$ (или в

$$\delta f = \frac{f \pm \frac{\Delta V_m}{m}}{f} \text{ число раз}).$$

Пример

Допустим, что значение частоты одной из мод, измеренное известными способами $V_m = 500000244000000$ Гц. При этом частота генератора 4 и соответственно частота межмодовых биений $f = 500000000$ Гц. Тогда приблизительное значение $m' = 500000244000000 : 500000000 = 1000000,4$. Поскольку m - целое число, то, округлив m' , получим истинное значение $m = 10^6$; и калиброванное значение $V_m = 500000000 \times 10^6 = 5 \times 10^{14}$

Гц с относительной погрешностью, близкой к погрешности калибровки частоты f .

Обоснуем приведенный способ. Вначале покажем, что частоты лазерных мод кратны частоте межмодовых биений.

Одним из необходимых условий возникновения колебаний в генераторах на длинных линиях, например, в газовых ОКГ [4] является кратность длины резонатора половине длины волны. То есть, колебания в резонаторе длиной d возникают с такой длиной полуволны $\lambda_m/2$, которая укладывается в резонаторе целое число раз.

Реально колебания в резонаторе возникают в том диапазоне частот, который способен генерировать активный элемент для СВЧ устройств, а в газовых ОКГ - в "Доплеровском контуре".

Допустим, что колебания в резонаторе возникли на длине полуволны $\lambda_m/2$, которая укладывается в резонаторе m раз. Можно записать:

$$d = m \frac{\lambda_m}{2}; \text{ или } 2d = m\lambda_m.$$

Для соседней более высокой моды, длину волны которой обозначим λ_{m+1} , справедливо равенство $2d = (m+1) \lambda_{m+1}$. Правые части можно приравнять $m\lambda_m = (m+1)\lambda_{m+1}$; учитывая, что $\lambda_m = \frac{c}{V_m}$ и

$$\lambda_{m+1} = \frac{c}{V_{m+1}}, \text{ где } c - \text{ скорость распространения}$$

электромагнитных волн в резонаторе, V_m и V_{m+1} - частоты $m^{\text{й}}$ и $(m+1)^{\text{й}}$ мод, соответственно, можно

$$\text{записать: } m \frac{c}{V_m} = (m+1) \frac{c}{V_{m+1}}; \text{ } m \cdot V_{m+1} = (m+1)V_m \text{ и}$$

получаем $V_m = m(V_{m+1} - V_m)$.

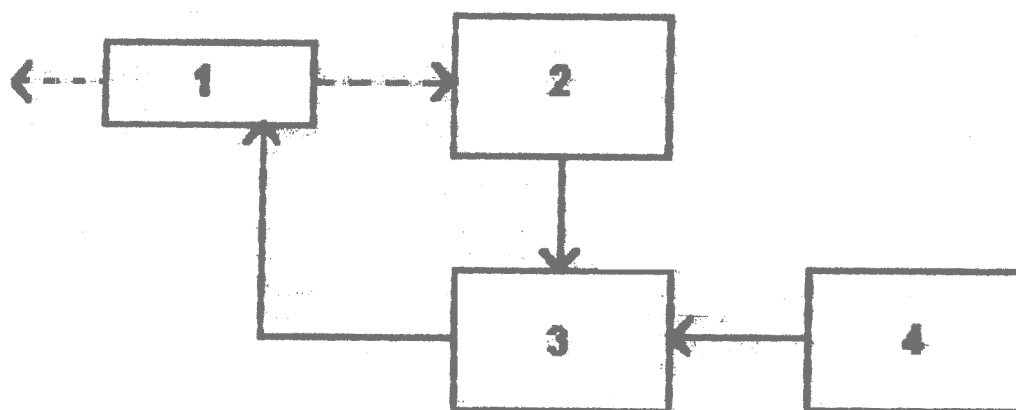
Так как $V_{m+1} - V_m$ есть частота межмодовых биений f , то можно записать $V_m = mf$.

Отсюда следуют важные выводы:

1. Частоты мод кратны частоте межмодовых биений.
2. Во сколько раз увеличится частота межмодовых биений, во столько раз увеличатся частоты мод.
3. Застабилизировав частоту межмодовых биений, получают стабильные частоты мод.

Источники информации

1. Авторское свидетельство СССР № 1364187, кл. H01S3/13. Стабилизированный газовый лазер, автор Е.В. Голикова.
2. Андрусенко А.М., Данильченко В.П., Прокопов А.В. и др. Методы и средства лазерной прецизионной дальнометрии. - М.: Изд-во стандартов, 1987. - С. 12-14.
3. Д.А. Дженингс, К.М. Эвенсон, Д. Дж. Э. Найт. Измерение частот в оптическом диапазоне. ТИИЭР Труды институтов по электронике и радиотехнике, 1986, № 1, т. 74, с. 189-199.
4. Ищенко Е.Ф., Климков Ю.М. Оптические квантовые генераторы. - М.: "Советское радио", 1968. - С. 88-89.



Фиг.

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2002 р. Формат 60x84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22
