

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

**СХЕМА ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ЧАСТОТЫ КВАРЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА
С ЧАСТОТОЙ МОЛЕКУЛЯРНОГО ГЕНЕРАТОРА**

Г. А. Васнева, В. В. Григорьянц, М. Е. Жаботинский, Д. Н. Клышко,
Ю. Л. Свердлов, Е. И. Сверчков

Описана схема, позволяющая проводить сравнение частоты кварцевого генератора с частотой молекулярного генератора с погрешностью не более $5 \cdot 10^{-11}$ при длительности измерения 1 сек.

Как показали исследования [1], абсолютное значение частоты молекулярного генератора при соблюдении определенных требований при его изготовлении и эксплуатации устанавливается с погрешностью, не превышающей 10^{-9} . В дальнейшем эта погрешность может, по-видимому, быть уменьшена. Относительные уходы частоты двух молекулярных генераторов за секундные интервалы меньше указанной величины еще на $4 \div 5$ порядков. Поэтому молекулярный генератор может служить основой для построения эталонов частоты (времени) и для контроля частоты вторичных эталонов.

Нашей целью являлось построение схемы, позволяющей сравнивать частоту мегагерцевого генератора с частотой молекулярного генератора и устанавливать значение частоты кварцевого генератора с погрешностью, не превышающей 10^{-9} от избранного номинала. С этой целью нами был изготовлен молекулярный генератор с пучком молекул аммиака. Чертежи молекулярного генератора, полученные нами из ФИАН, существенно облегчили эту часть работы. При этом нами были введены лишь некоторые конструктивные изменения.

Схема сравнения состоит из следующих блоков: умножителя частоты (общая кратность умножения 23868), смесителя со вспомогательным гетеродином, усилителя промежуточной частоты, усилителя частоты 2,13 мгц и измерительного блока (рис. 1).

Умножитель частоты должен давать на выходе 23868 гармонику измеряемого генератора с достаточно чистым спектром. Для достижения этого необходимо принять ряд мер, имеющих целью уменьшение регулярной фазовой модуляции, возникающей обычно в умножительных трактах, и уменьшение хаотической модуляции, которая также может оказаться существенной. Анализ действия умножителей частоты проведен в работе [2].

Для получения чистого спектра постоянная времени сеточной цепи каждого каскада должна быть связана с добротностью анодного контура предыдущего каскада и частотой соотношением

$$\omega RC = 2Q,$$

что обеспечивает относительную неизменность амплитуды и ширины импульсов, возбуждающих анодный контур рассматриваемого каскада. Настройка контуров умножительных каскадов, во избежание возникновения фазовой модуляции, должна производиться с точностью, недоступной при обычных методах настройки. Поэтому настройку следует производить с помощью анализатора спектра по виду спектра выходного сигнала. Спектры сигналов, полученных с одного и того же умножителя при правильной и неправильной настройке, приведены соответственно на рис. 2а и 2б.

Фазовая нестабильность обычных высококачественных умножительных трактов (отнесенная ко входу) составляет $10-4$ радиан [3], что при умножении на $2,4 \cdot 10^4$ приводит к недопустимым вариациям фазы на выходе тракта.

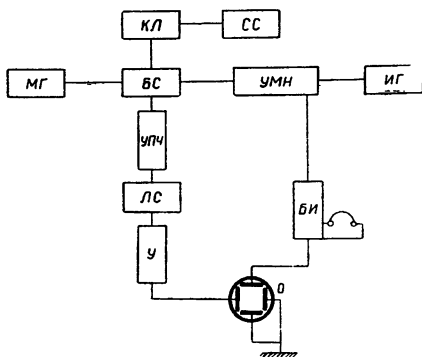


Рис. 1. Блок-схема установки:

ИГ — измеряемый мегагерцовый генератор; УМН — умножитель; БС — балансный смеситель; МГ — молекулярный генератор; КЛ — клистрон; СС — схема стабилизации; УПЧ — усилитель промежуточной частоты; ЛС — ламповый смеситель; У — усилитель на 2,13 мгц; О — осциллограф; БИ — блок индикации.

Исследование показывает, что флюктуации фазы $\Delta\varphi$ выходного сигнала в основном определяются флюктуациями (в том числе и медленными дрейфами) резонансной частоты контура первого каскада, причем имеет место следующая зависимость:

$$\Delta\varphi \approx \frac{N}{n_1} \frac{2Q_1}{1 - \frac{n_1\pi}{f}} \frac{\Delta f}{f},$$

где N — полный коэффициент умножения тракта,
 n_1 — коэффициент умножения первого каскада,
 Q_1 — добротность контура этого каскада,

$\frac{\Delta f}{f}$ — флюктуации резонансной частоты первого контура.

Эта функция имеет минимум при $n_1 = \frac{Q_1}{\pi}$, что при $Q = 50$ дает $n_1 \approx 16$. Такой выбор кратности умножения в первом каскаде дает уменьшение флюктуаций почти на порядок по сравнению со случаем, когда первым каскадом является удвоитель частоты.

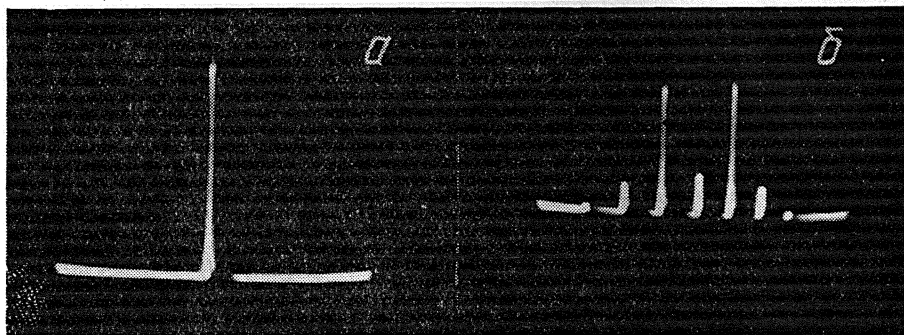


Рис. 2. Спектр умноженного сигнала:
 а — при правильной настройке; б — при неправильной настройке.

Дальнейшее увеличение кратности, связанное с уменьшением Q , возможно лишь в двухканальных умножителях с гетеродинированием. В этом случае целесообразно применять в первом каскаде кратности порядка 200 [4]. Однако в данном случае это, естественно, невозможно.

В нашем тракте применялись следующие кратности умножения:

$$13 \times 3 \times 3 \times 3 \times 68 = 23\,868.$$

Последнее умножение осуществлялось германиевым диодом ДГ—С4. Мощность выходного сигнала порядка 10^{-8} вт.

Выходной сигнал умножителя подается на один из детекторов балансного смесителя. На балансный смеситель подается сигнал молекулярного генератора и гетеродинный сигнал, мощность которого равна $2-5 \cdot 10^{-4}$ вт. В балансном смесителе образуются промежуточные частоты $9,5$ мГц от сигнала молекулярного генератора и $11,63$ мГц от гармоники измеряемого кварцевого генератора. Эти сигналы усиливаются широкополосным каскадом, после которого включены два узкополосных УПЧ с усилением порядка $2 \cdot 10^4$. Сигналы с этих УПЧ подаются на ламповый смеситель, на котором выделяется сигнал $2,13$ мГц, соответствующий разностной частоте между частотой молекулярного генератора и гармоникой кварцевого генератора (нестабильность частоты гетеродина при этом исключается). Этот сигнал, после усиления, подается на измерительный блок.

В измерительном блоке из сигнала измеряемого мегагерцевого генератора путем деления и сложения образуется сигнал с частотой $2,13$ мГц, который сравнивается на осциллографической трубке с сигналом этой же частоты, полученным, как указано выше.

Если получаемый таким путем эллипс делает один оборот в секунду, то соответствующая погрешность измеряемого генератора составляет $5 \cdot 10^{-11}$. Для грубой настройки в схеме имеются телефонные трубки, позволяющие без труда подвести измеряемый генератор к нулевым биениям, что соответствует погрешности порядка $5-8 \cdot 10^{-10}$. В случае необходимости измерения более низкокачественных генераторов в схеме предусмотрена возможность получения более грубых шкал с помощью декадных делителей, включаемых в каналы обоих сигналов $2,13$ мГц.

Следует отметить, что сигнал $2,13$ мГц, получаемый из гармоники кварцевого генератора, содержит фазовую модуляцию с частотами, кратными частоте сети.

Это препятствует получению чистого эллипса на экране измерительного блока. Нами применено стробирование путем модуляции яркости индикаторной трубки короткими импульсами с частотой 50 гц. Это дает возможность наблюдения эллипса, несмотря на наличие указанной модуляции.

С помощью описываемой установки проведены измерения мегагерцевых генераторов, собранных по осцилляторной схеме и по мостовой схеме с регулированием амплитуды в общем тракте [5].

Процесс настройки с помощью телефонных трубок и наблюдения фигуры на экране осциллографа очень прост и занимает несколько секунд. Однако фактическое установление частоты требует большего времени, определяемого в основном свойствами кварцевого резонатора и связью между частотой и амплитудой генерируемых колебаний.

Аналогичная схема может быть применена для построения эталона частоты (времени) на основе молекулярного генератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. P. Gordon, H. J. Zeiger, C. H. Townes, Phys. Rev., 1955, 99, 1264; Н. Г. Басов, РЭ, 1956, 1, 752.
2. Отчет ИРЭ АН СССР № 120—01—56—II.
3. J. M. Shaul, Tele—Tech., 1955, 14, 86.
4. М. Е. Жаботинский, Е. И. Сверчков, ПТЭ, 1956, 3, 74.
5. М. Е. Жаботинский, Д. А. Лисичкин, ДАН СССР, 1954, 95, 1197.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР

Поступила в редакцию
25 ноября 1957 г.

К ВОПРОСУ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА ГЭС С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ УРАВНИТЕЛЬНЫМ РЕЗЕРВУАРОМ

Я. К. Любимцев

В [1] при помощи прямой методы Ляпунова найдены условия устойчивости стационарного режима ГЭС с дифференциальным уравнительным резервуаром. В предлагаемой заметке решение вопроса об устойчивости в малом стационарного режима сводится к исследованию невозмущенного движения в критическом случае двух нулевых корней. Полученные условия устойчивости стационарного режима ГЭС полностью совпадают с условиями, найденными в [1]. Доказывается также, что сама граница области устойчивости является „опасной“.

Пусть имеется система, состоящая из питающего резервуара, напорной штольни постоянного сечения, уравнительного резервуара дифференциального типа и питающего трубопровода, на выходе которого регулятором турбины поддерживается постоянство потребляемой мощности (см. рис. 1).

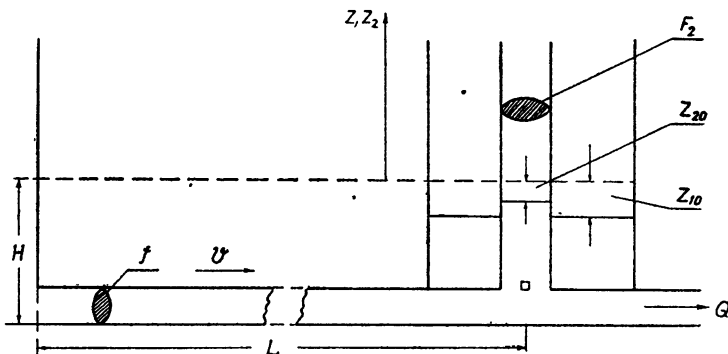


Рис. 1.

Система дифференциальных уравнений возмущенного движения при ограничениях, принятых в [1], записывается следующим образом:

$$\frac{d\eta}{dt} = -\varepsilon(2\eta + \sigma + \varepsilon + \eta^2),$$