

налов, снижающего уровень диффузии в глубину кристалла. Поперечные и продольные размеры каналов увеличиваются примерно вдвое при изменении дозы облучения в два раза (от $5 \cdot 10^{18}$ до $1 \cdot 10^{19}$ ион/см²). В последнем случае длина каналов достигает величины порядка 1 мкм при ширине до 200 Å.

Полученные результаты приводят к заключению, что особенности ряда процессов, происходящих в облученном ионами кристалле NaCl в температурном интервале 150—180°C, обусловлены возникновением радиационных дефектов и их диффузией с энергией активации 1 эВ. Это подтверждается 1) структурой скола радиационно-поврежденной области — плотность нарушений в ней изменяется по глубине в соответствии с расчетным распределением радиационных дефектов с энергией активации диффузии 1 эВ; 2) картиной декорирования облученной поверхности, обнаруживающей резкое изменение концентрации радиационных дефектов на поверхности в этом температурном интервале [3]; 3) кинетикой ТСЭЭ, лимитируемой диффузией радиационных дефектов; 4) характером зависимости глубины радиационно-поврежденной области от угла облучения кристалла ионами. Специфическая эрозия приповерхностного слоя в радиационно-поврежденной области, несомненно, указывает на диффузионный механизм этого процесса: движение ионов вдоль щели приводит к углублению ее вследствие распыления, а диффузия дефектов к стенкам — к расширению щели.

В заключение авторы выражают благодарность А. А. Предводителю, В. Е. Юрасовой, Е. В. Колонцовой за интерес к работе и полезные обсуждения результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Babaev V. G., Bykov Yu. V., Guseva M. B. Effect of ion irradiation on the structure and properties of thin metal films.—Thin Solid Films, 1976, 38, N 1, p. 1—8. [2] Быков Ю. В., Гусева М. Б., Кеведео Х., Абдрашитова Д. Х. Эпитаксиальный рост пленок золота в условиях ионного облучения.—Изв. АН СССР, сер. физ., 1977, 41, № 5, с. 995—998. [3] Быков Ю. В., Бабаев В. Г., Гусева М. Б. Термостимулированная экзотемиссия и рост тонких пленок.—Письма в ЖТФ, 1979, 5, № 12, с. 722—724. [4] Bassett G. A. A new technique for decoration of cleavage and slip steps on ionic crystal surfaces.—Phil. Mag., 1958, 3, N 33, p. 1042—1054. [5] Wainer L. S., Bassett G. A. Electron microscope study of surface markings left by unsteady cleavage crack propagation in NaCl single crystals.—Phil. Mag., 1978, 38, N 6, p. 707—726. [6] Дистлер Г. И., Власов В. П., Герасимов Ю. М. и др. Декорирование поверхности твердых тел. М., 1976, 109 с. [7] Меламед М. М., Предводителев А. А. Влияние шероховатости поверхности, вызванной ионной бомбардировкой, на процессы вакуумного декорирования ШГК.—Кристаллография, 1975, 20, № 4, с. 807—811. [8] Абдрашитова Д. Х., Бабаев В. Г., Гусева М. Б. Эффективный ионный источник.—ЖТФ, 1974, 44, № 2, с. 424—428. [9] Hobbs L. W., Hughes A. E., Poolev D. A study of interstitial clusters in irradiated alkali halides using direct electron microscopy.—Proc. Roy. Soc. London, 1973, A332, N 1589, p. 167—185.

Поступила в редакцию
07.06.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, Т. 22, № 6

УДК 621.374.4

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВАРИАНТ НЕЛИНЕЙНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ДЕЛИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ В БОЛЬШОЕ ЧИСЛО РАЗ

Л. В. Балакин, М. Д. Карасев, В. И. Медведев

(кафедра физики колебаний)

В [1, 2, 3, 4] приведены результаты теоретического и экспериментального анализа колебательных процессов, происходящих в высокодобротных механических колебательных системах низкой частоты, на-

ходящихся под действием высокочастотной стабилизированной по частоте электрической силы, которые позволяют осуществить деление частоты в большое число раз ($m \leq 100$). Эти исследования позволили разобраться в физике колебательных процессов, происходящих в электромеханических делителях частоты, и в частности определить принципиальные ограничения верхнего предела кратности деления, которые обусловлены а) увеличением амплитуды баланса с ростом кратности деления [2]; б) увеличением частоты собственных колебаний нелинейной системы с ростом амплитуды колебаний, вследствие чего на высоких кратностях деления нарушается устойчивость стационарного режима деления [4], и в) высокой при больших кратностях деления чувствительностью делителя к фазе колебаний маятника (баланса) [4].

Кроме того, рассмотренные в [1, 2, 3, 4] механические делители частоты неудобны при настройке и запуске; имеют громоздкие механические детали; добротность колебательной системы делителя из-за трения в осях баланса меняется с течением времени, что приводит к изменению амплитудно-частотных характеристик систем. Указанные выше принципиальные и технические характеристики электромеханических делителей ограничивают возможности их применения. Эти обстоятельства стимулировали создание и исследование электрического варианта фазочувствительного нелинейно-параметрического делителя частоты, который, естественно, более удобен в обращении, может быть создан в миниатюрном исполнении, добротность его колебательной системы можно регулировать и поддерживать на необходимом уровне сколь угодно долго.

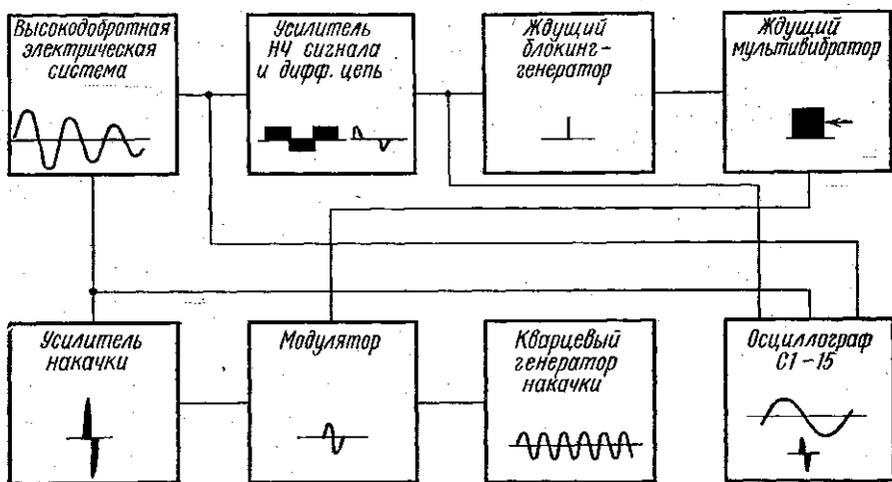


Рис. 1. Блок-схема электрического варианта фазочувствительного нелинейно-параметрического делителя частоты

На рис. 1 приведена блок-схема электрического делителя частоты. Основной его частью является высокочастотная колебательная система типа недовозбужденного RC -генератора с цепочкой Вина. Эта колебательная система низкой частоты ($\Omega_0/2\pi = 18,4$ Гц) содержит усилитель постоянного тока с коэффициентом передачи $K(U) \leq 3$. С целью стабилизации $K(U)$ усилитель охвачен сильной отрицательной обратной связью. Напряжение накачки делимой частоты от стабильного

кварцевого генератора подается в цепь недовозбужденного генератора НЧ через трансформатор, причем сопротивление вторичной обмотки трансформатора по низкой частоте выбирается много меньше сопротивлений элементов цепи Вина. При кратковременном возбуждении НЧ-колебаний высокодобротная система работает, как генератор в жестком режиме. Это сделано с тем, чтобы из-за неизбежной нестабильности коэффициента усиления не возбуждалось напряжение низкой частоты в генераторе при начальных данных, близких к нулевым.

Низкочастотное колебание подается на усилитель-ограничитель, который из синусоидального напряжения вырабатывает прямоугольные импульсы. Продифференцированные прямоугольные импульсы поступают на ждущий блокинг-генератор, который служит для запуска ждущего мультивибратора. С этого мультивибратора прямоугольные положительные импульсы, длительность каждого из которых $\tau \approx \pi/\omega$ (ω — частота кварцевого генератора), подаются на модулятор. Напряжение длительностью в полпериода накачки с выхода модулятора через усилитель накачки поступает на высокодобротную электрическую колебательную систему.

Ждущий мультивибратор необходим для получения строго прямоугольных импульсов постоянной амплитуды, ибо полученные из низкочастотного синусоидального напряжения импульсы не имеют должной формы. Ждущий блокинг-генератор служит для предотвращения возбуждения системы на высоких частотах (обратная связь включается на время импульса блокинг-генератора) и для надежного запуска ждущего мультивибратора. Наблюдение за процессом деления частоты осуществлялось с помощью двухлучевого осциллографа, на который подаются: напряжение с колебательной системы низкой частоты; напряжение, равное половине периода делимой частоты; синхронизирующие импульсы, снимаемые с дифференцирующей цепи.

При определенной частоте делимого колебания и некоторой его амплитуде, которая превышает минимальную амплитуду, необходимую для поддержания низкочастотных колебаний, в высокодобротной колебательной системе поддерживаются стационарные низкочастотные колебания, т. е. происходит процесс деления частоты. С помощью данного делителя частоты была реализована кратность деления $m \leq 53$.

Экспериментально исследована зависимость амплитуды низкочастотных колебаний от расстройки делимой частоты в области деления при различных кратностях деления. Одна из этих зависимостей для $m=53$ показана на рис. 2, а. Для всех значений m обнаружена однозначная монотонно убывающая зависимость амплитуды НЧ-колебаний от частоты делимого колебания в области деления, в отличие от электромеханического делителя, где зависимость либо имела монотонно возрастающий вид [2], либо обнаруживала неоднозначность амплитуды в зависимости от типа электромеханического делителя частоты [4].

Исследовалась также зависимость амплитуды низкочастотного поделенного колебания от напряжения накачки, которая, как и в случае электромеханического делителя частоты, показала, что в пределах ошибки измерений амплитуда НЧ не зависит от амплитуды делимой частоты (см. рис. 2, б).

Полученные в эксперименте значения кратности деления не являются предельными. Дело в том, что электрический нелинейно-параметрический делитель частоты очень чувствителен к изменению фазы колебания делимой частоты. Однако технически трудно осуществить запуск блокинг-генератора в строго определенный момент (фазе) низкочастотного колебания, т. е. обеспечить стабильность фазы подавае-

мого напряжения накачки относительно низкочастотного колебания. Кроме того, при больших m необходим значительный вклад энергии в высокочастотную систему для реализации необходимых амплитуд низкочастотных колебаний, ибо при малых амплитудах стабильный запуск блокинг-генератора осуществить нельзя. Однако при больших значениях накачки (значительном вкладе энергии в высокочастотную коле-

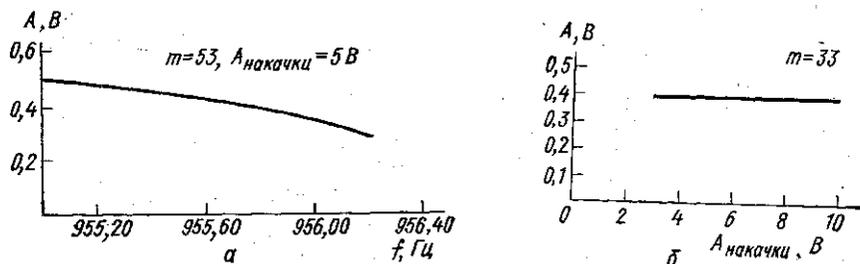


Рис. 2. Зависимость амплитуды низкочастотных (поделенных) колебаний от расстройки делимой частоты в области деления для $m=53$ (а). Зависимость амплитуды низкочастотных колебаний от напряжения накачки для $m=33$ (б)

бательную систему) возрастают напряжения внешних помех, и в частности промышленной частоты 50 Гц, которые накладываются на низкочастотное колебание и вызывают флуктуации времени запуска блокинг-генератора, что приводит к нарушению оптимальных фазовых соотношений между делимым и поделенным колебаниями.

Эквивалентная схема электрического фазочувствительного нелинейно-параметрического делителя частоты приведена на рис. 3. Здесь R_1, C_1, R_2, C_2 — элементы цепи Вина, $K(U)$ — коэффициент передачи усилителя постоянного тока, \mathcal{E} — ЭДС накачки. Рассмотрение схемы на основе законов Кирхгофа приводит к следующему уравнению:

$$\ddot{U} + \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1 - K(U)}{R_1 C_2} \right) \dot{U} - \frac{1}{R_1 C_2} \frac{dK(U)}{dU} U \dot{U} + \frac{1}{R_1 C_1 R_2 C_2} U = P(U, \dot{U}) \cos \omega t. \quad (1)$$

Обозначая

$$\alpha(U) = \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1 - K(U)}{R_1 C_2};$$

$$\beta(U) = \frac{1}{R_1 C_2} \frac{dK(U)}{dU}; \quad \Omega_0^2 = \frac{1}{R_1 C_1 R_2 C_2}$$

и полагая $C_1 = C_2 = C$; $R_1 = R_2 = R$; $\Omega = \omega/m$, $\Omega t = \tau$, получим уравнение (1) в виде

$$\ddot{U} + U = \frac{P(U, \dot{U}) \cos \omega t}{\Omega^2} - \frac{\alpha(U)}{\Omega} \dot{U} + \frac{\beta(U)}{\Omega} U \dot{U} + \frac{\Omega^2 - \Omega_0^2}{\Omega^2} U. \quad (2)$$

Решение уравнения (2) проведено методом медленно меняющихся амплитуды A и фазы φ в предположении, что усилитель постоянного тока работает в жестком режиме, т. е. $K(U) = K_0 + a_1 U + a_2 U^2$; $a_1 > 0$, $a_2 < 0$, $K_0 \leq 3$ (для данной схемы), а взаимодействие между колебаниями в высокочастотной системе и накачкой происходит вблизи $U=0$, тогда

$$P(U, \dot{U}) = P_0 [\sigma(\tau - \varphi) - \sigma(\tau - (\varphi + \Omega t'))],$$

где $t' = \pi/\omega$, что соответствует максимальному вкладу энергии в высокочастотную систему. В результате расчетов получается система укороченных уравнений

$$\begin{aligned} \dot{A} &= -\frac{(3-K_0)}{4} \Omega_0 A - \frac{P_0 \sin m\varphi}{\pi m \Omega} + \frac{3}{8} a_2 \Omega_0 A^3, \\ \dot{\varphi} &= -(\Omega_0 - \Omega) - \frac{P_0}{2Am^2\Omega} \sin m\varphi. \end{aligned} \quad (3)$$

Заметим, что при членах с P_0 отсутствует коэффициент «2», который имел место при расчете электромеханического делителя частоты [4]. Это свидетельствует о том, что в электрическом делителе частоты энер-

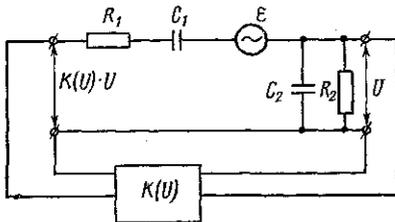


Рис. 3. Эквивалентная схема электрического фазочувствительного нелинейно-параметрического делителя частоты

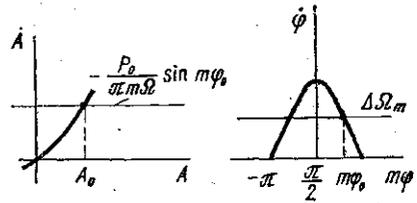


Рис. 4. Графики для определения стационарных ненулевых амплитуд A_0 и фаз φ_0

гия вкладывается один раз за период колебаний низкой частоты Ω , а в электромеханическом — два раза.

Решая систему (3) для $\dot{A} = \dot{\varphi} = 0$, найдем зависимость амплитуды стационарных колебаний низкой частоты от частоты делимого колебания

$$-\frac{3\pi a_2}{16m} \Omega_0 A_0^2 + \frac{\pi(3-K_0)\Omega_0}{8m} = \Omega_0 - \frac{\omega}{m}. \quad (4)$$

Из (4) следует, что амплитуда колебаний низкой частоты уменьшается с ростом делимой частоты в области деления, что подтверждается проведенными экспериментами (см. рис. 2, а).

Исследование устойчивости стационарных значений A_0 , φ_0 , определяемых из (3) при $\dot{A} = \dot{\varphi} = 0$, приводит к двум неравенствам, одно из которых определяет область устойчивых стационарных фаз

$$-\pi/2 < m\varphi_0 < 0, \quad (5)$$

второе неравенство определяет значения устойчивых стационарных ненулевых амплитуд

$$\left(\frac{3-K_0}{8} - \frac{9}{16} a_2 A_0^2 \right) > 0. \quad (6)$$

Графики для определения стационарных ненулевых амплитуд A_0 и φ_0 показаны на рис. 4, где кружками обозначены устойчивые значения амплитуд и фаз низкочастотного колебания.

Зависимость максимальной в области деления амплитуды стационарных низкочастотных колебаний от кратности деления m получается из соотношения (3) и имеет монотонно убывающий характер. Однако эта зависимость $A_0(m)$ имеет некоторый предел $A_{0\text{ мин}}$, который обус-

ловлен техническими особенностями схемы фазочувствительного делителя частоты. $A_{0\text{мин}}$ является минимальной амплитудой, обеспечивающей стабильный запуск электронной схемы для оптимальной подкачки энергии в систему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Карасев М. Д. Нелинейно-параметрическое деление частоты в большое число раз.— Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1974, 15, № 3, с. 365—368. [2] Белов А. А., Карасев М. Д., Медведев В. И. и др. Исследование нелинейно-параметрической колебательной системы для однократного деления частоты в большое число раз.— Тр. НИИЧаспрома, 1976, вып. 22, с. 29—37. [3] Карасев М. Д. Нелинейно-параметрическое деление частоты в большое число раз при фиксированном времени взаимодействия.— Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1977, 18, № 4, с. 109—111. [4] Балакин Л. В., Карасев М. Д., Медведев В. И. Исследование нелинейно-параметрического делителя частоты с фиксированным временем взаимодействия. — Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1981, 22, № 3, с. 3—9.

Поступила в редакцию
11.06.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, Т. 22, № 3

УДК 537.226.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИКРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ В КРИСТАЛЛЕ ТРИГЛИЦИНСЕЛЕНАТА ДИНАМИЧЕСКИМ ТЕПЛОВЫМ МЕТОДОМ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Б. А. Струков, И. Н. Поландов, В. А. Черненко, В. К. Новик

(Б.А.С. и В.К.Н. — физический факультет: кафедра общей физики для естественных факультетов; кафедра общей физики и волновых процессов. И. Н. П. и В.А.Ч. — химический факультет: кафедра физики и химии высоких давлений)

Введение. В литературе имеется несколько сообщений, касающихся необычного поведения кристаллов одноосного сегнетоэлектрика триглицинселената (ТГСел) при приложении гидростатического давления. Во-первых, в отличие от изоморфных ему кристаллов триглицинсульфата (ТГС) и триглицинфторбериллата (ТГФб) ТГСел на pT -диаграмме при $p=6-7$ кбар имеет новую фазу [1], ограниченную линией фазовых переходов первого рода с широкой областью метастабильных состояний [2]. Во-вторых, с ростом давления от 0 до 7 кбар в ТГСел обнаружено усиление «первородности» фазового перехода (ФП). На это, в частности, указывают следующие факты: а) уменьшение пика диэлектрической постоянной в точке ФП (ϵ^{max}) с ростом давления [3]; б) существование температурного гистерезиса ϵ при ФП и наличие двойных петель гистерезиса выше T_c при $p=5,28$ кбар [4]; в) появление отчетливо видимого скачка величины $1/\epsilon^{\text{max}}$ при $p=4$ кбар [5]. В связи с этим в работе [6] было высказано предположение, что ФП в ТГСел при давлении 4 кбар находится в непосредственной близости от трикритической точки (ТКТ). В то же время в других работах [4, 7] отмечается, что ТКТ лежит вблизи $p=1$ бар, где $B \cong 0$ [4] (B — коэффициент при P^4 в разложении свободной энергии).

Для выяснения вопроса о существовании ТКТ в ТГСел необходимо, на наш взгляд, прецизионные исследования какого-либо термодинамического параметра именно в широкой области температур, как это было сделано, например, для кристалла KDP [8, 9]. К сожалению, результаты температурных измерений продольной скорости звука вдоль