

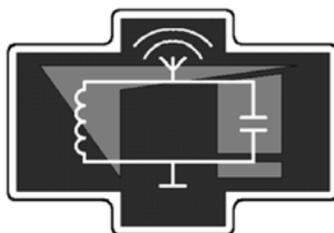
**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА**

Физический факультет

Практикум кафедры физики колебаний

Методическая разработка к задаче

**ДВУХКОНТУРНЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ
ГЕНЕРАТОР И ДЕЛИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ**



А. А. Белов

Москва 2012 г.

Исследуются колебательные процессы в двухконтурном параметрическом генераторе и делителе частоты, использующем нелинейную ёмкость полупроводникового диода.

Введение

Параметрический генератор — устройство, в котором колебания возбуждаются и поддерживаются изменением реактивного параметра. Мы далее будем считать, что таким параметром является ёмкость. Периодическое изменение ёмкости можно осуществить, используя нелинейную ёмкость запёртого полупроводникового диода, к которому приложено напряжение вспомогательного генератора, называемого генератором накачки. Генератор накачки является источником энергии, питающим параметрический генератор. Таким образом, параметрический генератор представляет собой устройство, преобразующее энергию колебаний накачки в энергию колебаний с другими частотами. Помимо генератора накачки в энергию колебаний с другими частотами.

Помимо генератора накачки и нелинейного реактивного элемента параметрический генератор содержит колебательную систему с одной, двумя или большим числом степеней свободы. Соответственно этому говорят об одноконтурном, двухконтурном или многоконтурном генераторах. Мы далее будем рассматривать только двухконтурные параметрические генераторы, которые, в отличие от более простых одноконтурных, позволяют генерировать регулируемые частоты при неизменной частоте накачки.

В двухконтурном генераторе в общем случае возбуждается колебание, спектр которого в первом приближении образован двумя частотами ω и ω , некратными друг другу и частоте накачки. Каждая из этих частот генерации близка к одной из собственных частот системы. Так как в общем случае отношение частот генерации равно иррациональному числу, то генерация в двухконтурном генераторе не является периодическим процессом, однако между частотами генерации и частотой накачки существует жесткое соотношение $\omega_n = \omega_1 + \omega_2$, обусловленное параметрической природой возбуждения генератора.

При определённой настройке двухконтурной колебательной системы, когда отношение частот генерации близко к рациональному числу, может произойти процесс взаимной синхронизации (или автосинхронизации)

возбужденных колебаний. В этом случае отношения частот генерации друг к другу и к частоте накачки становятся точно равными отношениям рациональных чисел, колебание в генераторе становится периодическим. Если частоты генерации ω_1 и ω_2 относятся как целые числа m_1 и m_2 ($m_2 > m_1$, при этом $m_1 + m_2 = n$), то говорят о делении частоты накачки в n/m_1 раз. Мы далее, говоря о делении частоты, будем рассматривать случай, когда $m_1 = 1$, то есть когда происходит деление частоты в n раз.

В параметрических генераторах с нелинейным полупроводниковым конденсатором может действовать несколько механизмов ограничения амплитуды колебаний. Одним из них может быть изменение среднего (за период колебаний) значения нелинейной емкости в зависимости от амплитуды, вследствие чего колебательная система рассматривается относительно частот возбужденных колебаний. В результате этого ухудшатся условия передачи энергии от генератора накачки к возбужденным колебаниям, и прекращается рост амплитуды. Этот механизм ограничения амплитуды возбужденных колебаний называют расстройным.

Полупроводниковый диод обладает не только нелинейной емкостью, но и нелинейной проводимостью. Вследствие этого с ростом амплитуды возбужденных колебаний может иметь место значительное увеличение мощности, рассеиваемой в нелинейной проводимости (рост потерь энергии), что также может привести к ограничению амплитуды возбужденных колебаний. Этот механизм ограничения амплитуды возбужденных колебаний называют диссипативным.

Нелинейная проводимость диода может также проявляться в том, что полупроводниковый диод будет выпрямлять возбужденные колебания, а полученное в результате выпрямления постоянное напряжение будет изменять напряжение смещения на диоде. Чем больше амплитуда возбужденных колебаний, тем сильнее смещается рабочая точка на вольт-кулоновой характеристике. Вследствие автосмещения рабочей точки изменяется средняя емкость диода, что приводит к расстройке резонансной системы и ограничению амплитуды колебаний. В этом случае говорят, что ограничение амплитуды колебаний вызвано автосмещением рабочей точки. Необходимо, однако, принимать во внимание, что на практике в реальных устройствах могут одновременно действовать несколько механизмов ограничения амплитуды генерации.

Анализ колебательных процессов в двухконтурном параметрическом генераторе.

1. Генерация некротных частот

Воспользуемся упрощенной принципиальной схемой генератора, показанной на рис. 1. Генератор состоит из двух колебательных контуров L_1, C_1, R_1 и L_2, C_2, R_2 , связанных через нелинейный конденсатор $C(U)$, последовательно с которым включен генератор напряжения накачки U_H . Будем считать, что напряжение накачки изменяется по гармоническому закону

$$U_H = A_H \cos(\omega_H t + \psi_H),$$

Добротности колебательных контуров много больше единицы: $Q_1 \gg 1$, $Q_2 \gg 1$, а их резонансные частоты существенно отличаются от частоты накачки. Тогда в первом приближении можно считать, что напряжения на колебательных контурах изменяются по гармоническому закону с частотами ω_1 и ω_2 , близкими к собственным частотам резонансной системы Ω_1 и Ω_2 :

$$u_1 = A_1 \cos(\omega_1 t + \psi_1) \quad (1)$$

$$u_2 = A_2 \cos(\omega_2 t + \psi_2)$$

Напряжение на линейном конденсаторе определяется суммой:

$$u_c = u_1 - u_2 + u_H \quad (2)$$

Используя правила Кирхгофа, получим уравнения для напряжений

$$\frac{1}{L_1} u_1 + \frac{1}{R_1} \dot{u}_1 + C_1 \ddot{u}_1 = -\ddot{q}_c \quad (3)$$

$$\frac{1}{L_2} u_2 + \frac{1}{R_2} \dot{u}_2 + C_2 \ddot{u}_2 = -\ddot{q}_c$$

Здесь q_C — заряд на нелинейном конденсаторе. Будем аппроксимировать зависимость $q_C(U_C)$ выражением

$$q_C = C_0 + \alpha' u_C^2 + \beta u_C^3. \quad (4)$$

Подставляя сюда соотношения (1), (2), убедимся, что спектра заряда q_C содержит большое количество различных комбинационных частот вида $n\omega_H \pm m\omega_1$; $n\omega_H \pm m\omega_2$ даже при аппроксимации зависимости $q_C(U_C)$ сравнительно простым выражением (4). Не претендуя пока на анализ явления деления частоты, учтём лишь простейшие комбинационные колебания, частоты которых попадают в полосы пропускания резонансной системы. С учётом соотношения $\omega_H = \omega_1 + \omega_2$, можно видеть, что такими частотами являются $\omega_H - \omega_2 = \omega_1$ и $\omega_H - \omega_1 = \omega_2$.

Принимая это во внимание и решая систему уравнений (3) методом медленно меняющихся амплитуд, можно найти частоты ω_1 , ω_2 и амплитуды A_1 , A_2 возбуждённых колебаний в стационарном режиме. В частности, для напряжения U_1 получим:

$$\omega_1 = \frac{\delta_1 \omega_H}{\delta_1 + \delta_2} + \frac{\nu_1 \delta_2 - \nu_2 \delta_1}{\delta_1 + \delta_2} + \frac{\delta_2 \beta_1 - \delta_1 \beta_2}{\delta_1 + \delta_2} [2A_H^2 + A_1 (1 + \frac{\beta_2 \delta_1}{\beta_1 \delta_2})] \quad (5)$$

$$A_1^2 = \frac{1}{\beta_1 (1 + \frac{2\alpha_2 \delta_1}{\alpha_1 \delta_2})} [\Delta_1 + 2\beta_1 A_H^2 \pm \delta_1 \sqrt{\frac{\alpha_1 \alpha_2}{\delta_1 \delta_2} A_H^2 - 1}] \quad (6)$$

$$\text{Здесь } \delta_l = \frac{1}{2R_l(C_l + C_0)}; \quad \nu_l^2 = \frac{1}{L_l(C_l + C_0)}; \quad \beta_l = \frac{3\beta \omega_l}{4(C_l + C_0)}; \quad (7)$$

$$\Delta_1 = \omega_1 - \nu_1; \quad \alpha_i = \frac{\alpha' \omega_i}{2(C_i + C_0)}$$

Аналогичный вид имеют выражения для ω_2 и A_2 .

Выражение (5) для ω_1 позволяет сделать некоторые полезные для приложений выводы.

Во-первых, частоты генерации ω_1 и ω_2 остаются постоянными при медленных коррелированных флуктуациях $\Delta \nu_1$ и $\Delta \nu_2$ парциальных частот, если выполняется условие $\delta_1 \Delta \nu_2 - \delta_2 \Delta \nu_1 = 0$. Это позволяет получать

стабильные частоты генерации подбором параметров колебательных контуров.

Во-вторых, при $\delta_1 \ll \delta_2$ нестабильность ω_1 значительно меньше нестабильности ω_H , т.к. $\Delta \omega_1 \approx \delta_1 \Delta \omega_H / \delta_2$ (при этом нестабильность частоты ω_2 примерно равна $\Delta \omega_H$). Следовательно, двухконтурный генератор позволяет получать колебания со стабильностью частоты большей, чем у генератора накачки.

В-третьих, при выполнении условия $\delta_1 \beta_2 - \delta_2 \beta_1 = 0$ частоты генерации не зависят от амплитуд накачки и генерируемых колебаний, что облегчает проблему получения высокой стабильности частоты генерируемых колебаний.

Исследуем теперь выражение (6) для A_1^2 . Из него видно, что колебания могут существовать только при выполнении условия

$$\alpha_1 \alpha_2 A_H^2 > \delta_1 \delta_2 \quad (8)$$

Из выражений (4) и (7) следует, что коэффициенты $\alpha_1 \alpha_2$ определяют крутизну зависимости ёмкости нелинейного конденсатора от приложенного к нему напряжения. Поэтому величина $\alpha_1 \alpha_2 A_H^2$ в левой части неравенства (8) пропорциональна квадрату коэффициента модуляции ёмкости под действием напряжения накачки. Таким образом, в соответствии с (8) параметрическая генерация возможна лишь при условии, что коэффициент модуляции ёмкости превышает некоторое пороговое значение, определяемое уровнем потерь энергии в колебательной системе генератора.

Зависимость квадрата амплитуды A_1^2 от расстройки Δ_1 для $\beta < 0$ показана на рис. 2 сплошными линиями. Неустойчивые состояния на этом рисунке помечены крестиками, устойчивые – кружками. Поскольку Δ_1 линейно растет с увеличением накачки, то аналогично выглядит и зависимость $A_1^2(\omega_H)$. Она представляет собой две параллельные прямые, наклонённые вправо. Случай $\beta < 0$ соответствует, как это следует из (4), уменьшению средней ёмкости нелинейного конденсатора с ростом амплитуды. На практике такой случай реализуется, когда полупроводниковый диод, используемый в качестве нелинейного конденсатора, работает с автоматическим смещением. Случай $\beta > 0$ реализуется на практике при использовании принудительного смещения. В этом режиме зависимость $A_1^2(\omega_H)$, как видно из (5), должна иметь вид двух параллельных прямых, наклоненных влево. Экспериментально, однако,

получается зависимость A_1^2 другого вида. Она показана на рис. 2 пунктиром и имеет вид наклоненной колоколообразной кривой, т.е. кривой, ограниченной сверху. Такое расхождение теоретического анализа и эксперимента объясняется тем, что в теоретическом рассмотрении мы учитываем лишь расстроечный механизм ограничения амплитуды возбужденных колебаний, тогда как в эксперименте всегда проявляется и диссипативный механизм ограничения, связанный с нелинейной проводимостью полупроводникового диода.

2. Параметрическое деление частоты

В п.1 мы ограничивали рассмотрение условием, согласно которому в первом контуре имеются колебания с частотой ω_1 , а во втором – только с частотой ω_2 . Учтём теперь, что под действием этих напряжений через нелинейный конденсатор в общем случае протекает ток, в спектре которого содержатся комбинационные частоты вида $m\omega_1 \pm n\omega_2$, где m и n равны $0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Если ни одна из этих частот не попадает в полосы пропускания резонансной системы генератора, то последний работает так, как описано в п.1. Если же какая-либо комбинационная частота $m\omega_1 \pm n\omega_2$ попадает в полосу пропускания одного из резонансных контуров, т.е. будет близка к резонансной частоте этого контура, то вследствие резонанса амплитуда этого комбинационного колебания будет иметь значительную величину. В этом случае пренебрегать существованием такого интенсивного комбинационного колебания нельзя и, как показывает анализ, наличие интенсивных комбинационных колебаний может привести к качественно новому режиму работы параметрического генератора, а именно к установлению режима деления частоты.

Пусть, например, комбинационная частота $\omega'_1 = m\omega_1 + n\omega_2$ приблизительно равна ω_1 . Тогда комбинационная частота $\omega_n - \omega'_1 = (1 - m)\omega_1 + (1 - n)\omega_2$ будет близка к ω_2 . Из-за присутствия в генераторе нелинейного конденсатора колебания комбинационных частот влияют на частоты генерации ω_1 и ω_2 , изменяя их таким образом, что частоты ω_1 и ω_2 сближаются с частотами комбинационных колебаний. Этот процесс называют частичным увлечением частоты. Он проявляется при действии внешней силы на автоколебательные системы, в частности, вблизи границ области захватывания.

Рассмотрим подробнее этот процесс применительно к автоколебательной системе томсоновского типа с одной степенью свободы, на которую действует внешняя органическая сила с частотой p . Наше рассмотрение поясняется рисунком 3, на котором показана зависимость частоты генерации ω от частоты p . Рассмотрим сначала область частот p , далёких от резонансной частоты ω_0 колебательного контура автоколебательной системы. Это имеет место, когда либо $p \ll \omega_0$, либо $p \gg \omega_0$. В обоих случаях амплитуда внешней силы в контуре генератора мала, и эта сила практически не влияет на работу генератора. Поэтому при этих значениях p частота генерации ω приблизительно равна ω_0 . Теперь обратимся к той области частот, где имеет место захватывание генератора внешней силой. В этой области частот ω и p связаны соотношением $\omega = p$. Наконец, исследуем области частот p , расположенные вблизи границ полосы частот, где имеет место захватывание, но вне этой полосы. В этих областях частот амплитуда внешней силы в колебательном контуре генератора оказывается недостаточной для захватывания, но, тем не менее, внешняя сила оказывает некоторое влияние на процесс генерации. Это влияние проявляется в том, что частота генерации ω сдвигается по направлению к p , и уменьшается расстройка $p - \omega$. Это изменение частоты генерации и называют частичным увлечением частоты. Чем ближе p к границам области захватывания, тем значительнее сдвиг частоты генерации и уменьшение расстройки $p - \omega$. Наконец, на границе области захватывания сдвиг частоты генерации достигает такой величины, что расстройка $p - \omega$ обращается в нуль и наступает захватывание.

В двухконтурном параметрическом генераторе аналогичные процессы происходят под действием не внешней силы, а комбинационных колебаний, возникших в самой системе. Вследствие частичного увлечения частоты комбинационные колебания сдвигают частоты генерации так, что разность частот комбинационных колебаний ω'_1, ω'_2 и близких к ним частот генерации ω_1, ω_2 уменьшается, но в данном случае процесс этим не исчерпывается. Изменение частот генерации сопровождается изменением и комбинационных частот, в результате чего они тоже сдвигаются так, что расстройки $\omega_1 - \omega'_1$ и $\omega_2 - \omega'_2$ уменьшаются ещё больше. Изменившиеся комбинационные частоты снова сдвигают частоты генерации и т. д. В результате взаимного сближения комбинационных частот и частот генерации при определенных условиях расстройки $\omega_1 - \omega'_1$ и $\omega_2 - \omega'_2$ обращаются в нуль, и наступает «автозахватывание» частоты, т. е. захватывание частоты комбинационными колебаниями, возникшими в самой системе.

Легче всего автозахватывание происходит, когда $\omega_2 \approx (N - 1) \omega_1$, т. е. частота ω_2 почти кратна ω_1 . Такая система в режиме автозахватывания является делителем частоты накачки в N раз. При этом $\omega_1 = \omega_n/N$; $\omega_2 = \omega_n(N-1)/N$. В этом режиме колебания с частотами ω_1 , ω_2 , и ω_n когерентны. На рис. 4 приведён спектр колебаний в двухконтурном генераторе для случая, когда ω'_1 и ω'_2 попадают в полосы пропускания резонансной системы генератора. Автозахватывание наступает, когда частота ω'_1 захватывает ω_1 , а частота ω'_2 захватывает ω_2 . Установившиеся в этом режиме частоты ω_n/N и $\omega_n(N-1)/N$ показаны на рис. 4 штриховыми линиями.

Описание экспериментальной установки.

Принципиальная схема параметрического генератора показана на рис. 5.

Составными частями генератора являются колебательные контуры, состоящие из индуктивностей L_1 , L_2 и конденсаторов C_1 , C_2 . Резонансная частота колебательного контура L_1C_1 в несколько раз выше резонансной частоты контура L_2C_2 и может изменяться с помощью конденсатора переменной ёмкости C_1 , ось которого выведена на переднюю панель экспериментальной установки и снабжена ручкой настройки и шкалой.

Колебательные контуры L_1C_1 и L_2C_2 связаны с помощью двух полупроводниковых диодов. Ёмкость этих диодов изменяется под действием напряжения накачки, подаваемого на диоды от клемм E_n через высокочастотный трансформатор Тр. В цепь вторичной обмотки трансформатора последовательно включены диоды D_1 , D_2 и конденсаторы C_3 , C_4 . Вторичная обмотка трансформатора имеет отвод от средней точки. Из рис. 5 видно, что вторичная обмотка трансформатора, диоды и конденсаторы образуют симметричную мостовую схему. Напряжение накачки приложено к одной диагонали моста (концы вторичной обмотки трансформатора), а колебательные контуры подключены ко второй диагонали (средняя точка вторичной обмотки трансформатора и общая клемма конденсаторов). Благодаря этому, при условии, что схема симметрична, напряжение накачки, приложенное к диодам, не проникает в колебательные контуры. Конденсаторы позволяют подать на диоды помимо высокочастотного напряжения ещё постоянное напряжение смещения.

Экспериментальная установка позволяет исследовать работу параметрического генератора в трех режимах:

- 1) На диоды D_1, D_2 подаётся принудительное напряжение смещения от внешнего стабилизированного источника. В этом случае ограничение амплитуды генерации обеспечивается за счет расстроечного механизма, обусловленного зависимостью эффективной емкости диодов D_1, D_2 от амплитуды генерации.
- 2) Напряжение смещения на диодах D_1, D_2 равно нулю. В этом случае ограничение амплитуды генерации обусловлено нелинейными потерями энергии вследствие зависимости активного сопротивления диодов от напряжения.
- 3) На диоды D_1, D_2 подаётся напряжение автоматического смещения, возникающее вследствие детектирования диодами D_1, D_2 переменного напряжения, появляющегося на этих диодах во время работы генератора. Ограничение амплитуды колебаний обеспечивается автосмещением рабочей точки по вольтфарадной характеристике диода.

Для того, чтобы обеспечить возможность исследования работы генератора в указанных режимах, в схему генератора введены сдвоенный переключатель П1А, П1Б, сдвоенный потенциометр R_3, R_4 и источник стабилизированного напряжения. Ручки переключателя и потенциометра выведены на переднюю панель установки.

Если переключатель находится в положении «П», исследуется первый из указанных выше режимов. В этом случае на диоды D_1, D_2 с потенциометров R_3, R_4 поступает напряжение принудительного смещения, величина которого может изменяться по желанию экспериментатора поворотом ручки сдвоенного потенциометра R_3, R_4 .

Если переключатель находится в положении «Н», то исследуется второй режим работы генератора. В этом случае те выводы D_1, D_2 , которые соединены с конденсаторами C_3, C_4 , замыкаются накоротко, а источник стабильного напряжения отключается. В результате напряжения смещения на диодах D_1, D_2 всегда равно нулю.

Если переключатель находится в положении «А», то выводы диодов, соединённые с конденсаторами C_3, C_4 , размыкаются, но источник стабильного напряжения по-прежнему остаётся отключённым. В этом случае диоды D_1, D_2 детектируют переменное напряжение, возникающее на этих диодах в процессе работы генератора, причём постоянная составляющая напряжения,

появляющегося при детектировании диодом D_1 , выделяется на сопротивлении R_3 и сглаживается конденсатором C_3 . Это постоянное напряжение и является в данном случае напряжением автоматического смещения диода D_1 . Аналогично возникает напряжение автоматического смещения для диода D_2 .

Блок-схема экспериментальной установки показана на рис.6.

Напряжение с низкочастотного контура параметрического генератора через буферный каскад и фильтр низких частот подаётся на выходные клеммы, расположенные на передней панели установки.

Напряжение накачки подаётся на параметрический генератор от внешнего источника с клеммы «Вход» через вспомогательный усилитель.

В экспериментальной установке предусмотрена возможность измерения частоты напряжения накачки и напряжения генерации на низкочастотном колебательном контуре с помощью частотомера. Для подключения частотомера на передней панели установки имеются клеммы и переключатель, подающий на эти клеммы либо напряжение накачки, либо напряжение генерации. Для исключения влияния помех со стороны частотомера на работу генератора в экспериментальной установке предусмотрены буферные каскады, через которые частотомер подключается к соответствующим цепям.

В экспериментальной установке имеется источник питания, обеспечивающий питание всех усилителей и буферных каскадов, а также напряжение принудительного смещения диодов параметрического генератора.

Методика измерения.

1. Для определения областей параметрической генерации на входные клеммы, расположенные на передней панели установки, подаётся сигнал накачки от высокочастотного генератора с выхода 0,1—1,0 В. Низкочастотный сигнал с выходных клемм параметрического генератора подаётся на вход Y осциллографа. Граничные частоты параметрической генерации определяются по показанию частотомера, подключенного к генератору накачки. Для этого переключатель П2 ставится в положение « f_n ». При работе системы в режиме принудительного смещения переключатель П1 ставится в положение

- «П». С работой измерительных приборов — осциллографа и генератора необходимо ознакомиться по отдельным описаниям.
2. Режим деления наблюдается по фигурам Лиссажу, образованным входным и выходным сигналами на экране осциллографа (Рис. 7). Для этого необходимо сигнал с выхода экспериментальной установки подать на вход X осциллографа. На вход Y подать сигнал накачки, снимаемый с входных клемм установки.
 3. Для измерения ширины полосы генерации и ширины полосы деления подать низкочастотный сигнал с выхода установки на вход X осциллографа. Сигнал накачки подать на вход Y осциллографа. Полоса параметрической генерации определяется граничными частотами накачки f_A и f_B , соответствующими возбуждению и срыву колебаний. Измерение граничных частот параметрической генерации f_A и f_B и деления f_a и f_b произвести по показаниям частотомера, подключенного к генератору накачки.
 4. Измерение зависимости частоты низкочастотного сигнала f_2 от частоты накачки f_n производится по показаниям частотомера. Для этого необходим тумблер П2 переключить, соответственно, в положение « f_2 » или « f_n ».
 5. Измерение амплитудно-частотных характеристик проводится для трёх режимов работы системы:
 - 1) На диоды подаётся принудительное смещение. Для этого переключатель П1 ставится в положение «П».
 - 2) На диоды подаётся нулевое смещение. Переключатель в положении «Н».
 - 3) Диоды работают в режиме автосмещения. Тумблер П1 в положении «А». Амплитуда колебаний определяется по величине полезного сигнала на экране осциллографа и измеряется в относительных единицах. Емкость высокочастотного контура C_1 подстраивается таким образом, чтобы область параметрической генерации не включала область деления.

Упражнения

1. Определение областей параметрической генерации. Изменяя частоту сигнала накачки в диапазоне 700 кГц — 1,3 МГц, необходимо определить граничные частоты параметрической генерации при изменении емкости высокочастотного контура C_1 от 10 до 80 делений. Измерение области параметрической генерации производится при

- работе системы в режиме с принудительным смещением ($U = -4.5$ В). Напряжение накачки на выходе генератора поддерживать равным 1.0 В. Результаты измерений представить графически.
2. Деление частоты. Перестраивая ёмкость высокочастотного контура C_1 , наблюдать по фигурам Лиссажу между входным и выходным сигналами режим деления в 7 ($C_1 \approx 30$ дел) и в 6 ($C_1 \approx 60$ дел) раз при амплитуде накачки $U_n = 0,1$ В. Подстраивая ёмкость вблизи значения $C_1 \approx 30$ дел, получить максимальную полосу деления в 7 раз.
 3. Изучение зависимости ширины полосы генерации и деления от амплитуды накачки. Измерить зависимость границ полосы параметрической генерации f_A, f_B и границ полосы деления f_a, f_b для коэффициента деления $N = 7$ от напряжения сигнала накачки при работе системы в режиме принудительного смещения ($U = -4,5$ В). Измерения проводить от напряжения накачки $U_n = 1,0$ В до порогового значения. Результаты измерений представить графически. По оси ординат отложить значение амплитуды накачки.
 4. Изучение частотной характеристики генератора. Измерить зависимость частоты низкочастотного сигнала f_2 от частоты накачки f_n в полосе генерации f_A, f_B . Необходимо выбрать параметры системы так, чтобы область параметрической генерации включала область деления в 7 раз ($C_1 \approx 30$ дел). Измерения проводятся как в области генерации, так и в области деления. Параметрический генератор работает в режиме с принудительным смещением ($U = -4,5$ В) при амплитуде напряжения накачки $U_n = 1,0$ В. Частотные характеристики представить графически.
 5. Исследование амплитудно-частотной характеристики генератора. Измерить зависимость амплитуды низкочастотного сигнала от частоты накачки для трех режимов работы генератора.
 - 1) Ограничение амплитуды колебаний обусловлено расстройным механизмом при работе системы в режиме с принудительным смещением. Смещение на диодах $U = -4.5$ В. Напряжение накачки $U_n = 0,4$ В.
 - 2) Ограничение амплитуды колебаний в генераторе происходит вследствие нелинейных потерь (диссипативный механизм). Напряжение накачки $U_n = 0,15$ В.

3) Ограничение амплитуды колебаний обусловлено расстройным механизмом при работе генератора в режиме автосмещения $U_n = 0,4$ В.

Амплитудно-частотные характеристики для трех режимов работы параметрического генератора представить графически.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается режим деления частоты от режима параметрической генерации в отсутствие деления частоты? Как с помощью осциллографа убедиться, что параметрический генератор работает в режиме деления частоты?
2. Как объясняется возможность осуществления режима деления частоты в двухконтурном параметрическом генераторе?
3. Что называется частичным увлечением частоты генератора под влиянием внешнего воздействия?
4. Какие механизмы ограничения амплитуды генерируемых колебаний могут действовать в параметрических генераторах, использующих нелинейную емкость полупроводникового диода?
5. При каком условии двухконтурный параметрический генератор позволяет получить колебание со стабильностью частоты более высокой, чем у генератора накачки?
6. Как выглядит зависимость амплитуды колебаний в каком-либо контуре генератора от парциальной частоты этого контура в режимах с принудительным и автоматическим смещением, а также в режиме ограничения амплитуды колебаний за счет нелинейной проводимости полупроводникового диода? Каковы причины различия этих графиков?

Литература

1. Каплан А. Е., Кравцов Ю. А., Рылов В. А. Параметрические генераторы и делители частоты. М., Сов. радио, 1966.
2. Берман А. С. Нелинейная ёмкость полупроводников. М., Физматгиз, 1986.
3. Мигулин В. В., Медведев В. И., Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Основы теории колебаний. М., Наука, 1978.

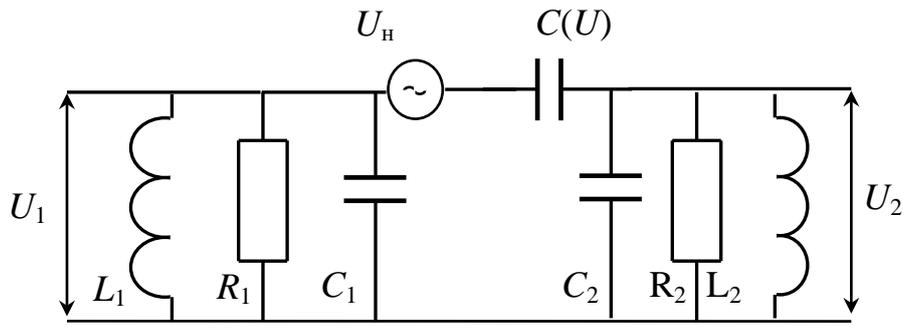


Рис. 1

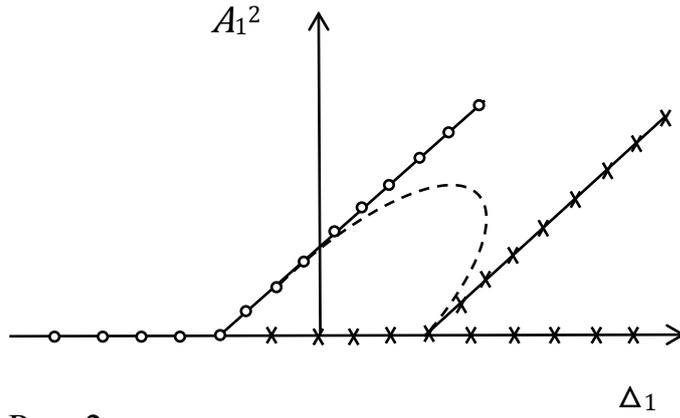


Рис. 2

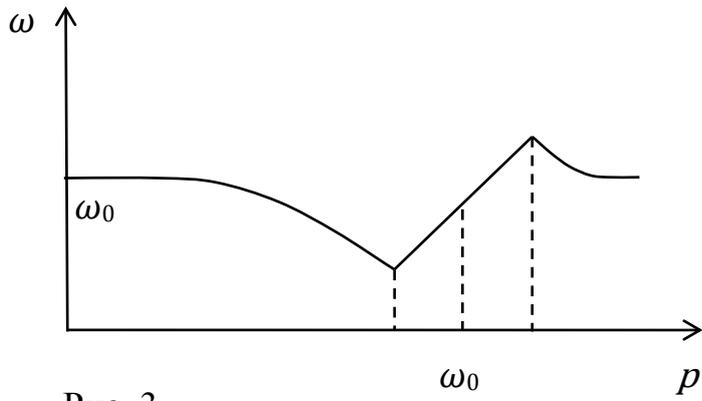


Рис. 3

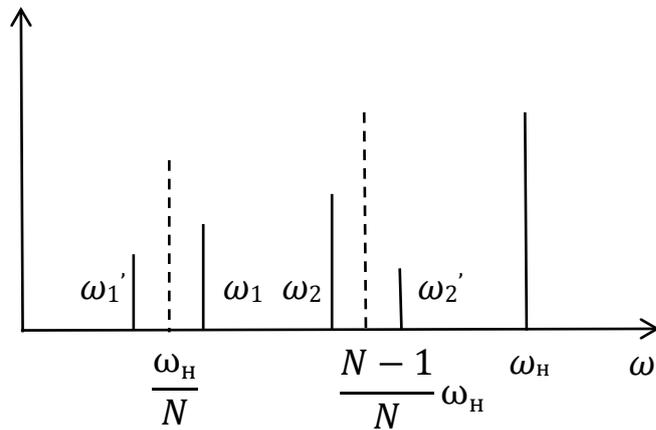


Рис. 4

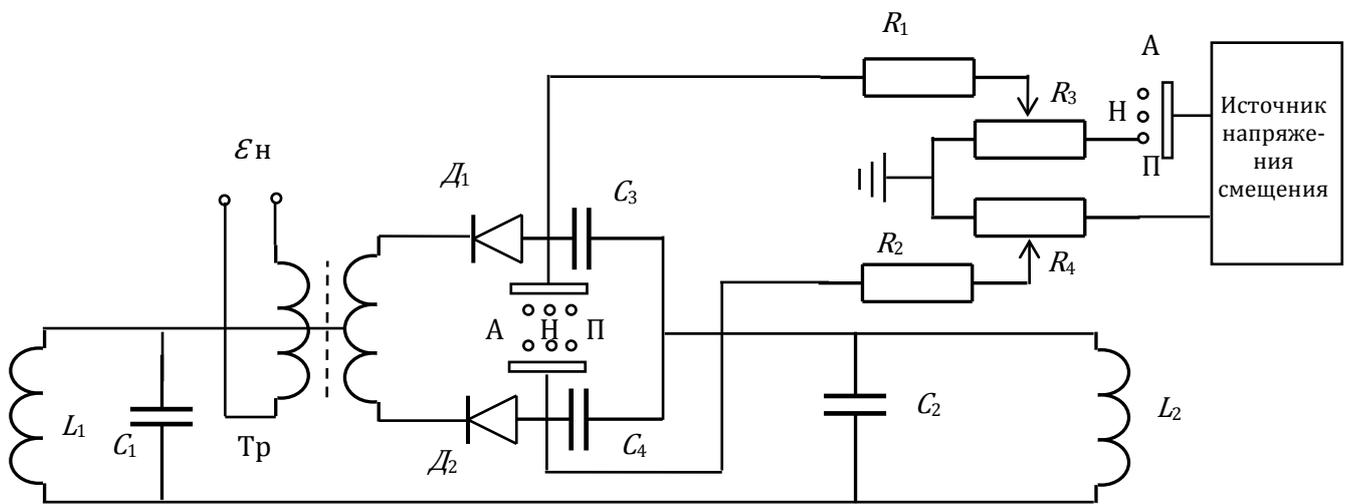


Рис. 5

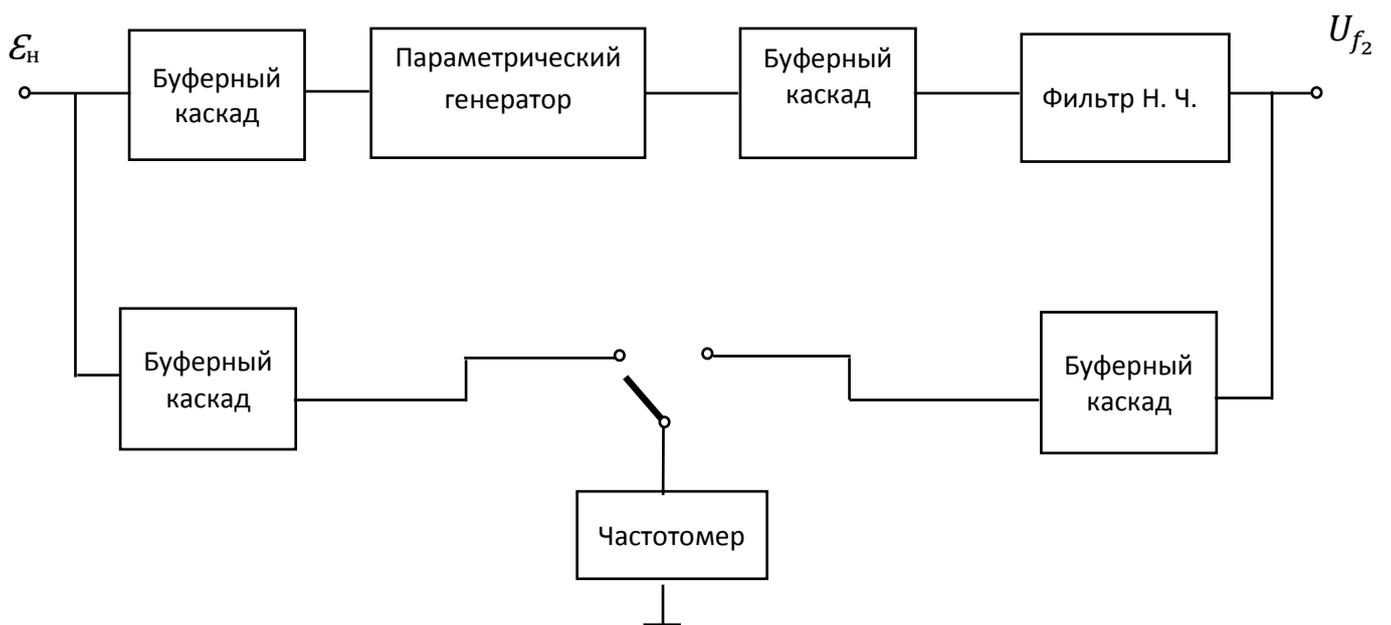


Рис. 6