МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)**

Факультет И «Информационные и управляющие системы»

Кафедра И4 «Радиоэлектронные системы управления»

Дисциплина (модуль) «Устройства приёма и преобразования сигналов»

КУРСОВАЯ РАБОТА

«Квантовые генераторы, принцип работы, генератор на твердом диэлектрике»

Выполнил студент группы И443

Латушкин А.Л.

Научный руководитель

Тарасов А.И.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2017г.

**Оглавление**

26[.1. Введение 2](#_30j0zll)

26[.2. Квантовые генераторы. Принцип работы 3](#_1fob9te)

26[.3. Генераторы на твёрдом диэлектрике](#_3znysh7) 5

26[.4. Область применения](#_2et92p0) 8

26.5 Заключение 10

[Литература. 1](#_tyjcwt)1

**Введение**

Квантовые генераторы– электронные устройства для получения когерентных электромагнитных волн, работа которых основана на явлении вынужденного излучения. Излучение создают связанные электроны, входящие в состав атомов и молекул рабочего вещества. Их поведение подчиняется законам квантовой механики

Вынужденное излучение возникает в результате одновременного, согласованного по частоте и направлению испускания электромагнитных волн огромным количеством атомов или молекул вещества под действием внешнего поля. Оно может происходить в широком диапазоне частот – от радиоволн до ультрафиолета и гамма-излучения.

Понятие вынужденного излучения сформулировал в 1916 А.Эйнштейн и показал, что это излучение должно быть когерентным. Однако возможность применить его для усиления и генерации электромагнитных волн стали серьезно рассматривать только в начале 50-х

Первый квантовый генератор был построен в 1954 одновременно группами учёных Таунса и Басова-Прохорова. Его рабочим веществом служил пучок молекул аммиака NH3. Пучок возбужденных молекул пролетал через резонатор – полость, ограниченную металлическими стенками. Волна, которую испускают первые влетевшие в резонатор молекулы, отражается от его стенок и взаимодействует с поступающими молекулами. Возникает вынужденное излучение, распространяющееся поперек пучка. [1]

За разработку нового метода генерации электромагнитных волн и фундаментальные работы в области квантовой электроники Ч.Таунс, А.М.Прохоров и Н.Г.Басов были удостоены Нобелевской премии по физике.

**Квантовые генераторы. Принцип работы**

Квантовая механика, созданная в начале 20 в., показала, что электроны в атомах могут занимать только вполне определенные энергетические уровни *Е*0, *Е*1, *Е*2 …. Уровень *Е*0, соответствующий наименьшей энергии, называется основным, остальные – возбужденными. Под действием кванта электромагнитного излучения электрон может перейти с одного уровня на другой, причем *Е*2 – *Е*1 = *hn*, где *n* – частота излучения, *h* = 6,626Ч10–34 ДжЧс– постоянная Планка. Если переход осуществляется с низкого уровня на более высокий, происходит поглощение кванта излучения. Обратный переход сопровождается его испусканием, причем частота и фаза возникшей и первичной волн в точности совпадают. Это излучение называется вынужденным.

Таким образом, в результате вынужденного излучения каждый квант, действующий на возбужденный атом, молекулу или ион, удваивается. И если количество возбужденных атомов вещества больше, чем его атомов в основном состоянии (такое положение называется инверсной населенностью, а само вещество – активным), вещество начинает усиливать проходящую сквозь него электромагнитную волну.

Вещество не только может усиливать электромагнитные волны, но одновременно и поглощает их. Величина усиления зависит от соотношения между числом актов вынужденного излучения и величиной потерь. Чем оно больше, тем больше коэффициент усиления. Его можно повысить, если заставить электромагнитную волну проходить активное вещество многократно, увеличивая число излученных квантов. Для этого вещество помещают в полость, ограниченную отражающими стенками – резонатор. Волну вводят в резонатор через отверстие связи в его стенке, и сквозь нее же выводят усиленное излучение, увеличивая тем самым потери. Поэтому коэффициент усиления такого квантового усилителя будет расти при уменьшении отверстия связи.

Если отверстие связи и поглощение внутри резонатора сделать очень малыми, приращение энергии волны за счет усиления станет больше ее потерь. Тогда амплитуда любого случайно возникшего в резонаторе электромагнитного колебания станет быстро возрастать – квантовый усилитель превратится в квантовый генератор электромагнитного излучения. Квантовые генераторы оптического диапазона называются лазерами. Квантовые усилители, атомные и молекулярные генераторы, работающие в радиодиапазоне, нередко объединяют общим термином «мазеры», аббревиатурой английской фразы «Microwave amplification by stimulated emission of radiation» – усиление микроволн (волн сантиметрового диапазона) при помощи вынужденного излучения. [1]

**Генератор на твёрдом диэлектрике**

В квантовых генераорах на твердых телах используются кристаллические или аморфные (стекла) среды, в которые вводятся примеси некоторых элементов. Основной материал среды (матрицы) обычно не участвует непосредственно в физических процессах, приводящих к генерации. Индуцированное излучение и генерация происходят при переходах между энергетическими уровнями атомов или ионов примеси, называемой активатором. Содержание частиц примеси в матрице обычно составляет не более нескольких процентов. Атомы (ионы) примеси находятся в электрическом поле кристаллической решетки. Это приводит к расщеплению и уширению дискретных уровней энергии. Характер и величина внутрикристаллического поля сказываются как на ширине и положении полос поглощения примесных атомов (ионов), так и на величине вероятностей излучательных и безызлучательных переходов.

Из всего многообразия сред, принципиально пригодных для создания генераторов, на практике наиболее широко используются лишь некоторые из них. Это, во-первых, рубин – кристаллическая решетка Al2O3 c внедренными в нее трехзарядными ионами хрома Cr3+ (активатор). Во-вторых, стекло, иттрий-алюминиевый гранат Y3Al5O12, вольфрамат кальция CaWO4, активированные примесью неодима. Для получения инверсной населенности в твердотельных КГ обычно используется метод накачки. Поскольку в двухуровневой квантовой системе с помощью накачки невозможно создать условия инверсной заселенности из-за обратимости процессов поглощения и вынужденного излучения, оптические квантовые генераторы работают либо по трехуровневой, либо по четырехуровневой схемам.

**Трехуровневая схема**

Метод создания и поддержания избытка атомов в возбужденном состоянии для газов (метод трехуровневой системы) предложен Н.Г.Басовым и А.М.Прохоровым, а для твердых материалов - Н.Бломбергеном. Первый трехуровневый квантовый усилитель создали Д.Сковил, Дж.Феер и Г.Зайдель. Трехуровневая система схематически представлена на рис. 1.

Первоначально все атомы находятся на самом низком уровне E1, а уровни E2 и E3 не заполнены. Энергетическое расстояние между уровнями E2 и E3 не равно расстоянию между уровнями E1 и E2. Генератор "накачки" дает излучение с частотой, соответствующей переходу с нижнего уровня на верхний. Поглощая это излучение, атомы возбуждаются и переходят с нижнего уровня на верхний. Поскольку первоначально на промежуточном уровне E2 нет атомов, на уровне E3 их оказывается больше. Когда на уровне E3 накопится достаточно много атомов, начинается генерация на частоте, соответствующей переходу с верхнего уровня на промежуточный. Для того, чтобы квантовая генерация происходила непрерывно, уровень E2 должен быстро опустошаться, то есть атомы должны удаляться с него быстрее, чем они создаются за счет вынужденного излучения с уровня E3. Уровень E2 может опустошаться разными процессами, такими, как столкновения с другими атомами и передача энергии кристаллической решетке (если активная среда твердая). Во всех случаях энергия преобразуется в тепло, так что необходимо охлаждение прибора. [3]

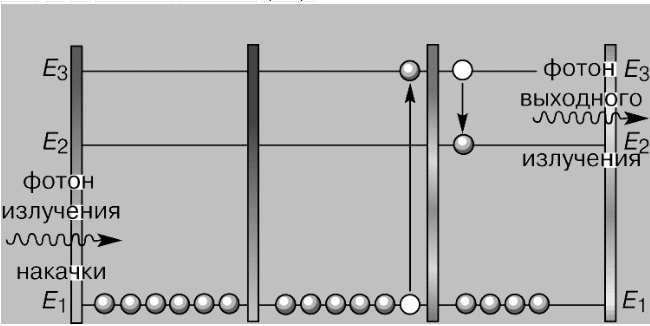
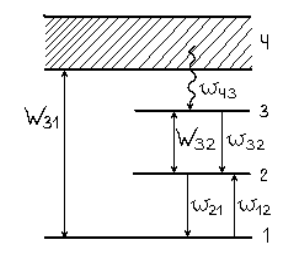


Рис. 1

Сначала все атомы находятся на нижнем уровне E1. Излучение накачки с соответствующей частотой заставляет атомы перескакивать на верхний уровень E3. При переходе атомов с верхнего уровня на промежуточный E2 происходит квантовая генерация на частоте, соответствующей этому переходу. Такая квантовая генерация, в отличие от двухуровневой, может осуществляться в непрерывном режиме, если систему охлаждать.

Накачкой можно перевести с уровня E1 на E3 не более половины атомов, так как далее эффект вынужденного излучения заставляет их возвращаться на нижний уровень. Но если вследствие столкновений или других процессов атомы с уровня E3 быстро переходят на уровень E2, то накачка их на верхний уровень с последующим переходом на промежуточный может продолжаться. Таким путем можно перекачать на уровень E3 больше половины атомов или даже все. Тогда на промежуточном уровне оказывается больше атомов, чем на нижнем, и начинается генерация на частоте, соответствующей переходу. Если квантовый генератор предполагается использовать в качестве эталона частоты, то резонансы должны быть к тому же острыми. Такие резонансы характерны для спектров свободных атомов и молекул в газах. Резонансы же твердых материалов обычно довольно широкие, хотя ионы редкоземельных элементов и переходных металлов, таких как хром, в кристаллах имеют подходящие спектры.У некоторых материалов такого рода отмечаются высокие и острые резонансы как в СВЧ-, так и в оптическом диапазоне. Например, рубин (оксид алюминия), в котором какая-то доля процента ионов алюминия заменена ионами хрома, может служить активной средой для трехуровневого квантового генератора СВЧ-диапазона. [5]

В трехуровневой схеме нужны большие мощности излучения накачки, причем значительная часть этой мощности расходуется лишь на уравнивание населенностей рабочих уровней. От такого недостатка свободна четырехуровневая схема генератора. [6]

**Четырехуровневая схема**  


В этой схеме нижним лазерным уровнем выступает не основное, а возбужденное состояние квантовой системы.

В этом случае нижний лазерный уровень (если Е2>>kT) до включения излучения накачки пуст, и, следовательно, нет необходимости расходовать мощность накачки на выравнивание населенностей. Для того, чтобы получить инверсию населенностей между состояниями 3 и 2, необходимо накопить на уровне 3 порядка exp( / ) 2 N E kT частиц. При E2 kT четырехуровневая схема переходит в трехуровневую. [6]

**Области применения**

Квантово-электронные приборы с атомарными и молекулярными системами в качестве активных сред используются в качестве усилителей и генераторов. Семейство квантово-электронных приборов уже сейчас может поспорить в отношении многочисленности и разнообразия с более старыми электронными. Квантово-электронные приборы нашли ряд применений, для которых другие электронные приборы подходят плохо или вообще не годятся. Это функции СВЧ-усилителей с низким уровнем шумов, первичных эталонов частоты и времени, а также генераторов и усилителей излучения инфракрасной и видимой области спектра.

**Малошумящие СВЧ-усилители.** При работе с крайне слабыми радиосигналами важно, чтобы усилитель вносил как можно меньше шума. Таковы радиосигналы, получаемые от небесных объектов, и радиолокационные сигналы, отраженные от предметов, удаленных на большие расстояния. В этих двух случаях сигнал наблюдается на фоне неба, которое вносит лишь незначительный шум. Это позволяет обнаружить очень слабый сигнал, если он не маскируется шумами самого приемника. Обычные усилители не отвечают требованиям такой задачи, и на помощь приходят квантовые усилители, почти не вносящие шума. Заменив на входе приемника усилитель на электронных лампах квантовым, можно повысить в сто раз чувствительность приемника в СВЧ-диапазоне. СВЧ-приемники с квантовыми усилителями столь чувствительны, что позволяют регистрировать тепловое излучение других планет и определять температуру их поверхности.

**Эталоны частоты и атомные часы.** Атомы и системы атомов могут поглощать и испускать излучение только с некоторыми определенными частотами или длинами волн. Эти резонансы нередко имеют форму пиков, что позволяет измерять их частоту с высокой точностью. Соответствующие частоты являются характеристическими для тех или иных атомов и молекул и, в отличие от построенных человеком эталонов, не изменяются со временем. Поэтому такие резонансы могут служить эталонами частоты, длины волны и времени. Частоту внешнего электронного генератора можно проверять для калибровки даже по резонансам поглощения. Квантовые же генераторы непосредственно дают излучение эталонной частоты. При правильной настройке квантового генератора частота на его выходе постоянна. Ее можно использовать для контроля за ходом точных часов или более сложного устройства, предназначенного для измерения с высокой точностью временных интервалов. [4]

**Заключение**

В заключение стоит сказать, что учёные, которые продолжили дело Энштейна в 50-60-ых годах прошлого столетия сделали огромный вклад в развитие всего спектра естественных наук.

Очень сложно переоценить всю пользу, которую они принесли, бросив свои силы в разработку нового метода генерации электромагнитных волн и создание фундаментальных работ в области квантовой электроники.

В наше время трудно представить мир без квантовых генераторов и приборов, созданных на его основе, поскольку такие изобретения оказывают положительное влияние на многие аспекты человеческой жизни.

**Список литературы**

1. Дунская И.М. *Возникновение квантовой электроники*. М., «Наука», 1974
2. Сигмен Э. *Мазеры.* М., 1966
3. Ярив А. *Квантовая электроника.* М., 1980
4. Рябов С.Г., Торопкин Г.Н., Усольцев И.Ф. *Приборы квантовой электроники.* М., 1985
5. Херман Й., Вильгельми Б. *Лазеры для генерации сверхкоротких световых импульсов.* М., 1986
6. Е.Ф. Ищенко, Ю.М. Климков. *Оптические квантовые генераторы.* М.: «Сов.радио», 1968г.