



**Кафедра Сверхвысокочастотной  
и Квантовой Радиотехники**

---

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ( ТУСУР )**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ ГЕНЕРАТОРА НА ДИОДЕ ГАННА**

Руководство к лабораторной работе по дисциплинам  
“Микроволновые приборы и устройства”, “Электронные СВЧ и  
квантовые приборы” “Основы СВЧ электроники”  
для специальности 210105 (200300) – «Электронные приборы и устройства»,  
210100 -«Электроника и микроэлектроника»,  
210302 – «Радиотехника»

2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ( ТУСУР )

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой  
радиотехники ( СВЧ и КР )

УТВЕРЖДАЮ  
заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ С. Н. Шарангович

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ ГЕНЕРАТОРА  
НА ДИОДЕ ГАННА**

Руководство к лабораторной работе по дисциплинам  
“Микроволновые приборы и устройства”, “Электронные СВЧ и  
квантовые приборы” “Основы СВЧ электроники”  
для специальности 210105 (200300) – «Электронные приборы и устройства»,  
210100 -«Электроника и микроэлектроника»,  
210302 – «Радиотехника»

Разработчики  
Доцент каф. СВЧ и КР  
Ж.М.Соколова

зав.лабораторией  
каф.СВЧ и КР  
А.Н.Никифоров

2011

## Содержание

Содержание .....	3
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ .....	4
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....	4
2.1. Устройство диода Ганна .....	4
2.2. Принцип действия диода Ганна .....	5
2.3 Режимы работы генератора на диоде Ганна (ГДГ).....	8
2.4. Устройство генератора на диоде Ганна (ГДГ) .....	14
2.5. Основные характеристики ГДГ .....	15
2.6. Расчетное задание .....	18
2.7. Основные параметры диода Ганна .....	19
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	19
3.1. Объект исследования и экспериментальная установка.....	20
3.2. Порядок выполнения работы .....	20
СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	22
ЛИТЕРАТУРА .....	23

# 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы состоит в ознакомлении с устройством и принципом действия диода Ганна и генератора на его основе, а также в экспериментальном исследовании основных характеристик ганновского генератора 3-х сантиметрового диапазона волн. Объектом исследования являются арсенидо-галлиевые диоды типа 3А703А, 3А703Б.

## 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 2.1. Устройство диода Ганна

Диоды Ганна (ДГ) находят широкое применение при создании маломощных генераторов (10÷500 мВт) и усилителей СВЧ с полосой пропускания порядка октавы.

Устройство ДГ представлено на рис.1, где 1 – катодный вывод; 2 – катодные токоподводящие проволочки, припаянные к омическому контакту кристалла; 3 – кристалл однородного полупроводника GaAs, представляющий по форме таблетку; 4 – керамический патрон; 5 – анодный стержень, к которому припаяна таблетка кристалла, выполняет роль теплоотвода. ДГ не содержит p-n –переходов.

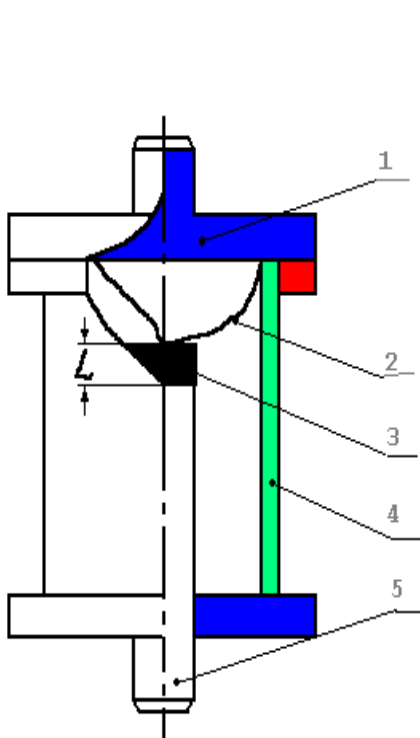


Рис. 1

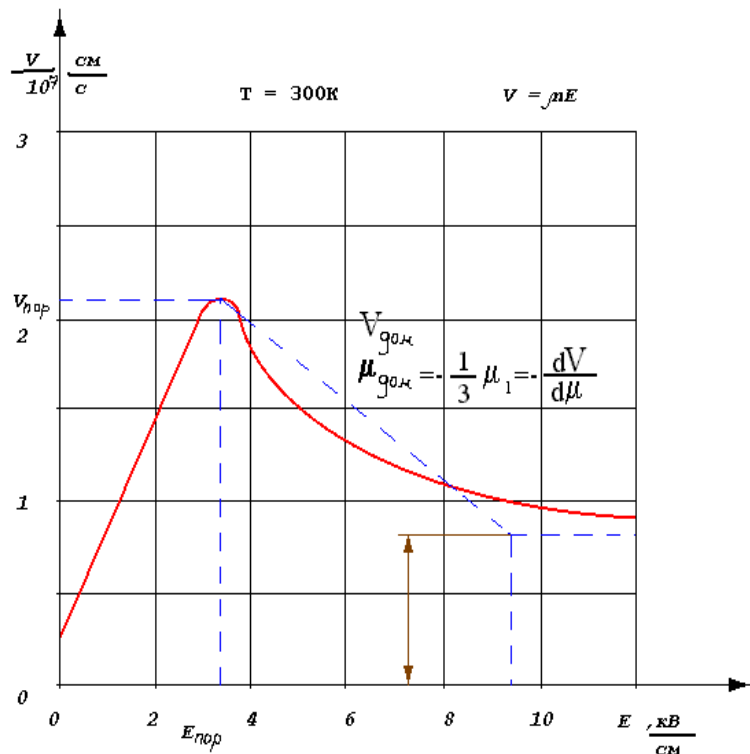


Рис. 2

Для объяснения процессов генерации и усиления колебаний СВЧ диапазона должна быть использована аномальная зависимость скорости электронов от напряженности электрического поля в двухдолинных проводниках (рис.2). При этом основную роль играют процессы, происходящие в объеме полупроводника, а не в p-n переходе.

## 2.2. Принцип действия диода Ганна

В основе принципа действия ДГ лежит явление перехода носителей из “центральной” энергетической долины в “боковую” с ростом поля  $E$  (рис.3а). В “центральной” энергетической долине электроны имеют большую эффективную массу  $m_{эф2}$  и малую подвижность  $\mu_2$ , а средняя дрейфовая скорость электронов (рис.2) меньше. Плотность тока проводимости для “центральной” долины можно выразить формулой

$$i_1 = e\mu_1 n E, \quad (2.1)$$

а при  $E > E_{max}$  все электроны перейдут в верхнюю (боковую) долину, и тогда плотность тока в диода будет иметь вид

$$i_2 = e\mu_2 n E_{max}, \quad (2.2)$$

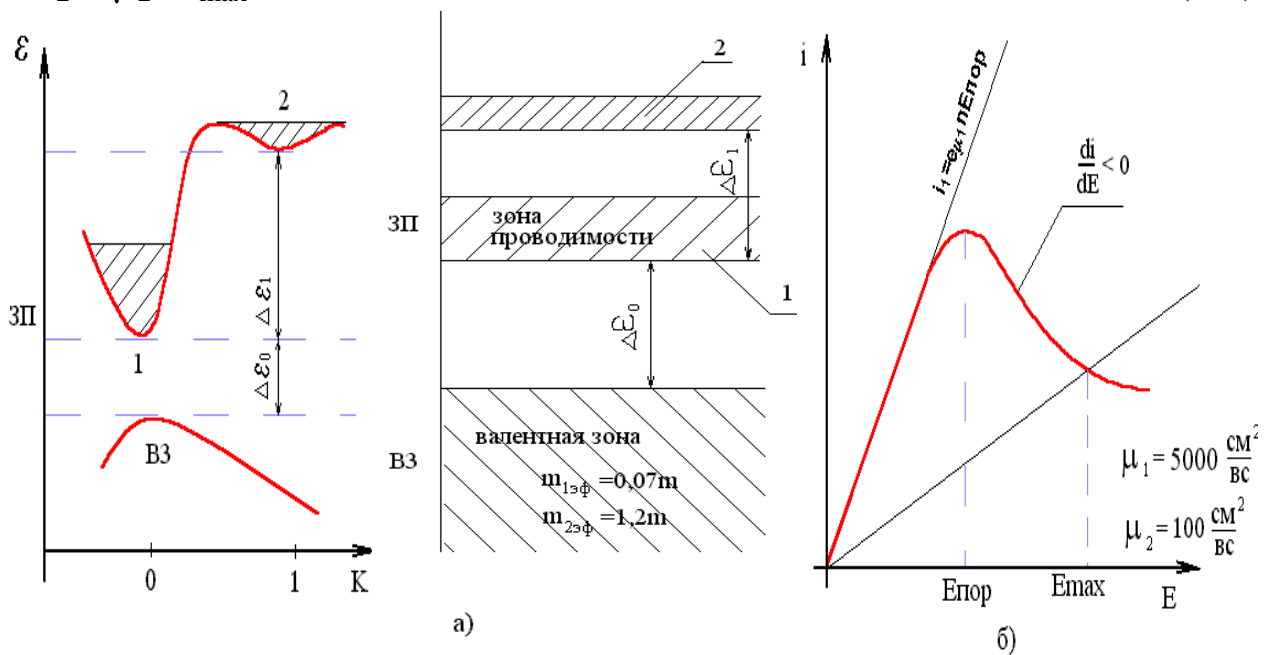


Рис.3

где  $n$  - концентрация носителей.

Очевидно, что в интервале значений  $E_{пор} < E < E_{max}$  на кривой рис.3б имеется участок, соответствующий отрицательной дифференциальной проводимости  $G = di/dE$ . Эти рассуждения справедливы для случая, когда переход электронов из нижней долины в верхнюю происходит одновременно и равномерно по всему объёму кристалла. Однако в действительности этот процесс сопровождается эффектом образования областей (доменов) сильного поля.

Действительно, в однородном полупроводнике, к которому приложено постоянное напряжение  $U_0 = E_0 L > E_{пор} L$ , возможно локальное повышение концентрации электронов приводит к появлению отрицательно заряженного слоя (рис.4), перемещающегося вдоль образца от катода к аноду.

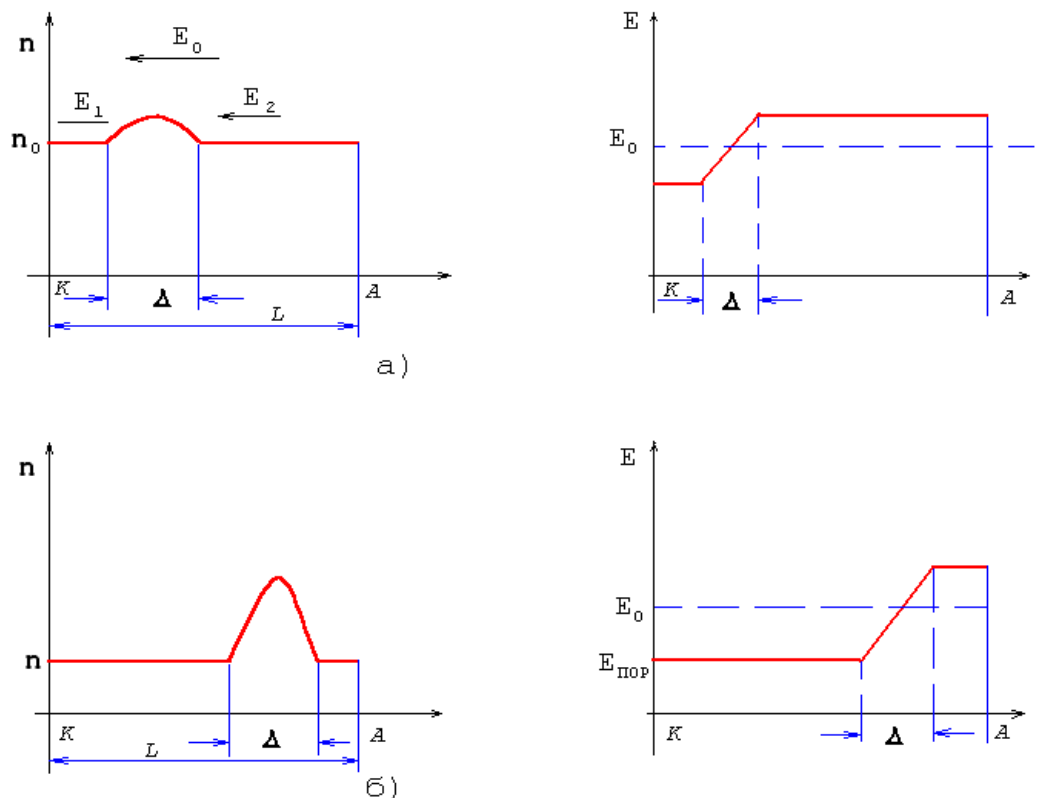


Рис. 4

Возникающие при этом внутренние электрические поля  $E_1$  и  $E_2$  накладываются на постоянное поле  $E_0$ , увеличивая поле справа от слоя и уменьшая его слева (рис.4а). Скорость электронов справа от слоя уменьшается (рис.2), а слева возрастает. Это приводит к дальнейшему нарастанию концентрации движущегося слоя

накопления и к дальнейшему перераспределению поля (рис.4б). Обычно слой объемного накопления зарождается у катода, т.к. там есть область повышенной концентрации электронов и малой напряженности поля. А любые флюктуации концентрации, возникающие вблизи анодного контакта, вследствие движения электронов к аноду не успевают развиваться.

Таким образом, при наличии в образце неоднородности в виде скачков концентрации, подвижности или температуры возникает домен сильного поля. Повышения электрического поля в части образца будет сопровождаться появлением объемного заряда на границах этого участка, отрицательного со стороны катода и положительного со стороны анода (рис.5).

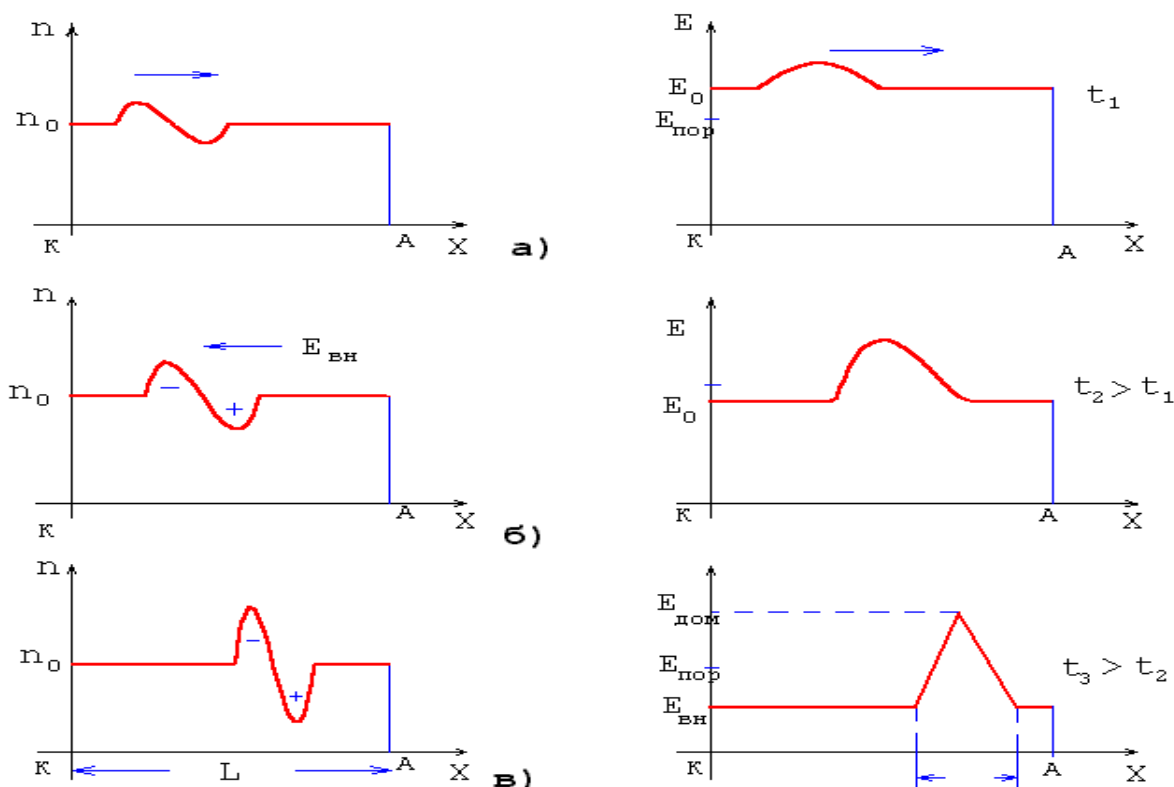


Рис.5. Процесс формирования дипольного домена

При этом скорость электронов внутри участка падает в направлении оси  $x$  в соответствии с рис.2. Быстрые электроны со стороны катода будут догонять электроны внутри этого участка, увеличивая отрицательный заряд. Электроны со стороны анода будут отставать, образуя обедненный слой, где  $n < n_0$ . Это приведет к дальнейшему увеличению поля в области флюктуации по мере движения заряда к аноду и к возрастанию протяженности дипольной области объемного заряда. Если напряжение, приложенное к диоду, поддерживается

постоянным, то с ростом дипольного домена поле вне его будет уменьшаться (рис.5б). Нарастание поля в домене прекратится, когда его скорость  $v_{\text{дом}}$  сравнивается со скоростью электронов вне домена. Очевидно,  $v_{\text{нас}} < v_{\text{дом}} < v_{\text{мах}}$ . Напряженность поля вне домена  $E_B$  (рис.5в) будет ниже пороговой напряженности  $E_{\text{пор}}$ , из-за чего становится невозможным междолинный переход электронов вне домена и образование другого домена вплоть до исчезновения сформировавшегося ранее на аноде. После образования домена сильного поля в течение времени его движение от катода к аноду ток через диод остается постоянным. После того, как домен исчезнет на аноде, напряженность поля в образце повышается, а когда она достигнет значения  $E_{\text{пор}}$ , начинается образование нового домена. При этом ток достигает максимального значения, равного

$$I_{\text{мах}} = S \cdot e \cdot n_0 v_{\text{мах}}. \quad (2.3)$$

Процесс будет повторяться периодически с периодом, примерно равным времени прохождения доменом образца

$$\tau = L/v_{\text{дом}} \quad , \quad (2.4)$$

где  $v_{\text{дом}} = v_{\text{нас}}$  (см. рис.2)

### 2.3 Режимы работы генератора на диоде Ганна (ГДГ)

Схема ГДГ образуется последовательным соединением

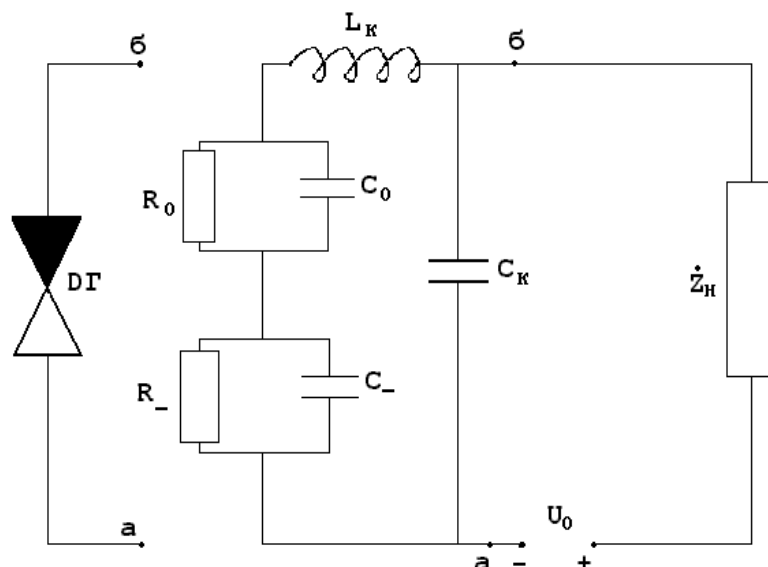


Рис.6.



эквивалентной схемы (рис.6) ДГ, сопротивления нагрузки  $Z_n$  и источника смещения  $U_0$ .

В зависимости от геометрических и электрических параметров кристалла, свойств нагрузки, температуры и напряжения  $U_0$  генератор может работать в одном из нескольких режимов, различающихся характером протекания электронных процессов внутри диода и, как следствие, характером тока во внешней цепи, который определяет входную мощность и КПД ГДГ. Диаграмма режимов ГДГ приведена на рис.7. Одной из характеристик диода, влияющей на тип режима, является произведение концентрации легирующей примеси  $n_0$  на длину кристалла  $GaAs-L$ .

В двух долинном полупроводнике постоянная времени релаксации объемного заряда (изменение заряда во времени) определяется величиной

$$\tau_d = \epsilon / \sigma = \epsilon_r \epsilon_0 / (en_0 \mu_{d(E)}) \quad , \quad (2.5)$$

где  $\mu_{d(E)} = d\nu(E)/dE$  - дифференциальная подвижность.

При  $\mu_d < 0$  (рис.2) величина  $\tau_d$  становится отрицательной величиной, что означает нарастание объемного заряда.

Очевидно, для полного формирования домена необходимо, чтобы время дрейфа носителей заряда в образце (2.4) превышало величину  $\tau_d$  (время релаксации)

$$\epsilon_r \epsilon_0 / (en_0 |\mu_d|) \leq L / v_{дом} \quad ,$$

Представим это неравенство в виде

$$n_0 L \geq \epsilon v_{дом} / (e |\mu_d|) \quad , \quad (2.6)$$

Неравенство (2.6) является условием существования домена и называется критерием Крамера .

Для  $GaAs$   $n$ -типа, параметры  $\epsilon_r = 12.5$ ;  $v_{дом} = 10^7$  см/с;  $|\mu_d| = 0.1$  м<sup>2</sup>/(В·с) и условие (2.6) принимает вид

$$n_0 L \geq 10^{12} \text{ [см}^{-2}\text{]} \quad . \quad (2.6a)$$

Если  $n_0L \ll 10^{12} \text{ см}^{-2}$ , то домен в GaAs не возникает ни при каких значениях приложенного напряжения, в случае  $n_0L \gg 10^{12} \text{ см}^{-2}$  домен будет образовываться при одном и том же пороговом значении приложенного поля  $E_{\text{пор}}$ .

Если  $n_0L$  лишь немного превышает  $10^{12} \text{ см}^{-2}$ , то время дрейфа сравнимо с характерным временем нарастания объемного заряда  $\tau_d$ . Образовавшийся домен занимает большую часть образца и поле внутри него в значительной степени определяется полным падением напряжения на образце. Снижение приложенного напряжения в этом случае может лишь тогда вызвать рассасывание домена, когда средняя напряженность поля  $E_0 = U_0/L$  достигнет значения, близкого к  $E_{\text{пор}}$ , хотя и несколько меньшего.

Если  $n_0L \gg 10^{12} \text{ см}^{-2}$ , то время дрейфа электронов от катода до анода значительно превышает время нарастания объемного заряда. Домен при этом будет иметь малую ширину  $\Delta$  по сравнению с длиной образца (рис.5в)  $\Delta \ll L$ . В полное падение напряжения на диоде существенный вклад дают участки вне домена.

При снижении напряжения смещения поле  $E_r$  (гашения) не будет изменяться и остается равным  $E_r$  вплоть до разрушения домена.

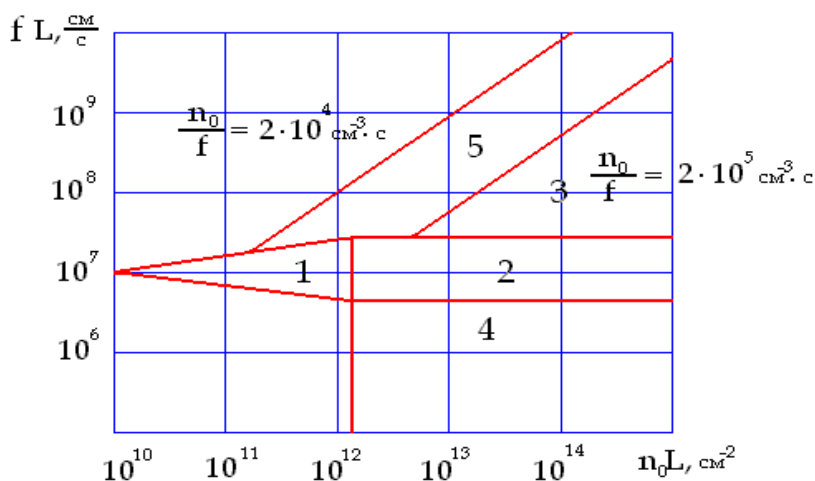


Рис.7. Диаграмма режимов работы ДГ

- 1 – область бездоменного режима, область устойчивого усиления;
- 2 – область пролетного режима. КПД генератора в этом режиме  $< 10\%$ , полоса частот мала. При перестройке частоты возможен переход в другие режимы;
- 3 – область режима с разрушением (гашением) домена;
- 4 – режим с задержкой домена;
- 5 – область режима ограничения накопления объемного заряда (ОНОЗ).

С другой стороны, величина  $\tau_d$  не должна превышать период колебания СВЧ поля. Отсюда возникает второе условие существования движущегося домена

$$\tau/T = Lf/v_{\text{дом}} \quad , \quad (2.7a)$$

При  $\tau = T$  получим второе условие, определяющее пролетный режим работы ДГ на GaAs

$$fL = 10^7 \text{ см/с} \quad , \quad (2.7)$$

Режим работы ДГ с учетом внешних и внутренних условий представлены на диаграмме (рис.7) .

Поясним особенности доменных режимов, для которых характерно наличие сформировавшегося дипольного домена в течение значительной части периода колебаний. Статическая ВАХ диода в доменных режимах может быть приближенно представлена в виде двух отрезков прямых (рис.8) . При малых напряжениях на диоде домена нет, и ток линейно растет вместе с приложенным напряжением. При  $U \geq U_{\text{пор}}$  происходит формирование домена, в результате чего ток падает от максимального значения  $I_m$  до величины  $I_n$ , отвечающей равенству  $v_{\text{дом}} = v_n$ . Особенностью ВАХ (рис.8a) является наличие гистерезисной зоны, появление которой обусловлено тем, что напряжение гашения домена  $U_r < U_{\text{пор}}$ . Этот нелинейный эффект объясняется влиянием сильного внутреннего поля домена, которое задерживает электроны в верхних долинах. Разница между  $U_r$  и  $U_{\text{пор}}$  зависит от  $n_0$  и  $L$ , увеличиваясь вместе с ними. Изменением сопротивления нагрузки можно переводить генератор из одного режима в другой.

**2.3.1. Пролетный режим** существует при работе на малую нагрузку ( $|Z_{\text{н}}| = R_0$ ,  $R_0$  – сопротивление ДГ в слабом поле) или низкую добротность колебательной системы. С повышением нарастающего напряжения предельная частота  $f_{\text{пр}}(\text{ГГц}) = 100/(\tau_{\text{пр}}L(\text{мкм}))$ , несколько падает из-за уменьшения скорости движения доменов.

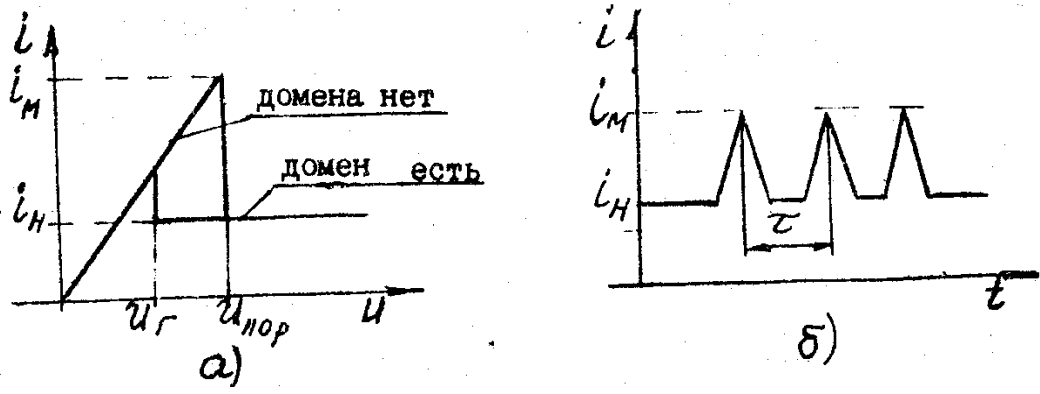


Рис.8.

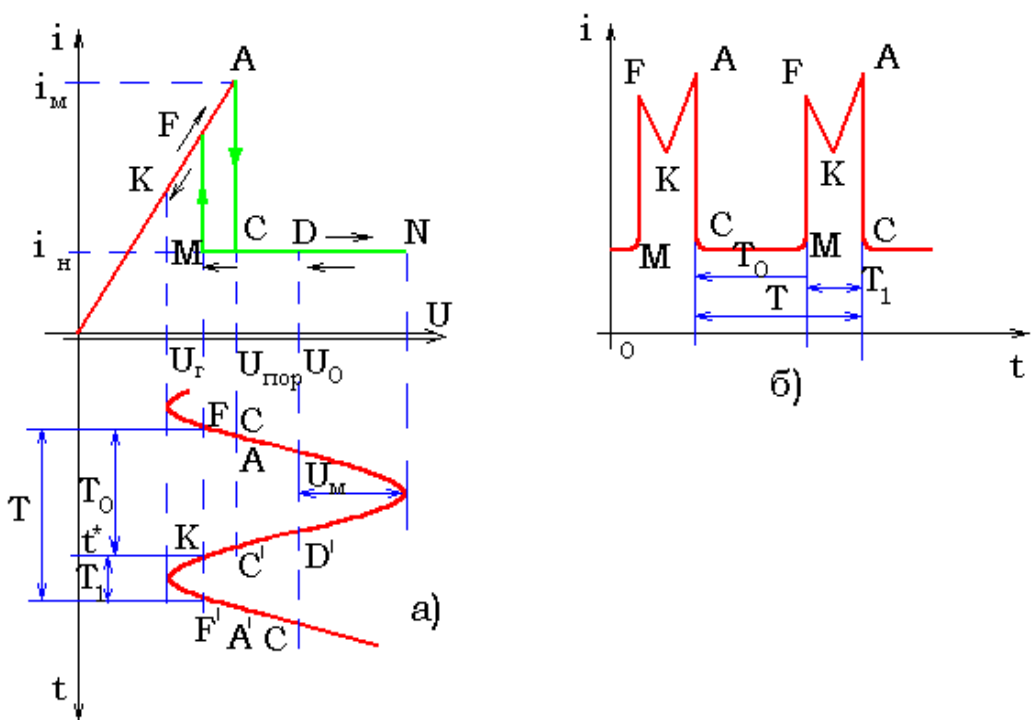


Рис.9

Ток через диод (рис.8б) определяется током насыщения, на который наложены узкие всплески, связанные с попаданием очередного домена. КПД ГДГ в пролетном режиме  $< 1\%$ . На практике он используется для определения  $f_{пр}$ .

**2.3.2 Режим с задержкой домена** реализуется, когда ДГ включен в параллельный резонансный контур, входное сопротивление которого велико (добротность колебательной системы велика), а также амплитуда переменного напряжения ( $U_m$ ) на аноде равна  $U_m = U_0$ . Амплитуда переменного напряжения не должна опускаться ниже  $U_{пор}$  (рис.9). Для работы ГДГ в этом режиме требуется, чтобы

домен достигал анода в тот момент  $t^*$ , когда мгновенное убывающее напряжение лежит между  $U_r$  (гашения) и  $U_{пор}$ , то есть  $U_r < U = (U_0 - U_m \cos \omega t^*) < U_{пор}$ .

При таких напряжениях образование нового домена будет задержано до тех пор, пока  $U = U_{пор}$ . Импульсы тока представлены там же (рис.9б). Асимметрия тока вызывается гистерезисом ВАХ и порождает реактивную компоненту первой гармоники тока, имеющую емкостный характер. Частота возможных колебаний заключена в пределах  $0.5f_{пр} < f < f_{пр}$

и определяется настройкой контура. Если  $U = 2U_{пор}$ :  $R_H/R_0 \approx 10$ ;  $f/f_{пр} \approx 0.8$ , то  $KПД \approx 7\%$  при  $i_m/i_H \approx 2$ . При уменьшении  $R_H$  – переход к пролетному режиму, а при увеличении  $R_H$  режим задержки домена переходит в режим с гашением домена.

**2.3.3. Режим с гашением домена** имеет место, когда в процессе движения домена к аноду мгновенное напряжение на диоде падает ниже напряжения гашения (рис.10а). При  $U_m > U_r$  домен рассасывается, и рабочая точка переходит на восходящую ветвь ВАХ. Далее все повторяется. На рис.10б показан процесс формирования

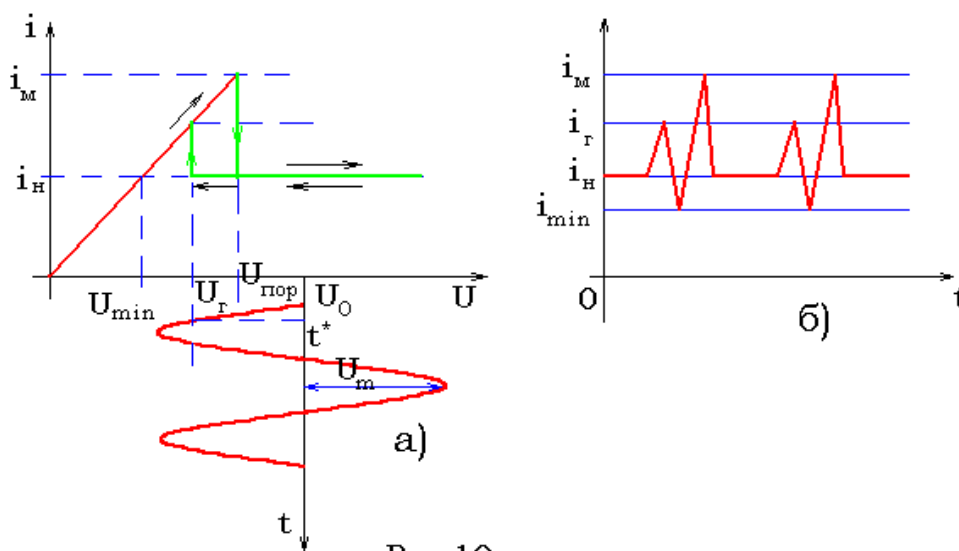


Рис.10

тока.

Провалы тока (рис.10б) увеличились по сравнению с током на рис.9б. Поэтому КПД уменьшится в 2.5 раза, а оптимальное сопротивление уменьшится в 4 раза. Область рабочих частот

отвечает неравенству  $0.5 f_{пр} < f < (2-3)f_{пр}$  . Амплитуда переменного напряжения почти равна напряжению смещения.

Этот режим реализуется при  $f=(1-2)ГГц$ .

**2.3.4. Режим ОНОЗ** (ограниченного накопления объемного заряда) наблюдается в ГДГ при  $R_H \gg R_0$  . Главное достоинство режима ОНОЗ в том, что частота генерации определяется исключительно настройкой колебательной системы и не связана с пролетной частотой. Это позволяет увеличить толщину активной области диода  $L$  , сохраняя импеданс диода при повышении частоты, или увеличить площадь сечения диода. Мощность, которую может давать ДГ в режиме ОНОЗ, на два порядка выше, чем мощность в других режимах. КПД (рис.11) примерно 17% при  $i_M/i_H=2$ ,  $U/U_{пор}=4-5$ ,  $R_H/R_0=20-30$ .

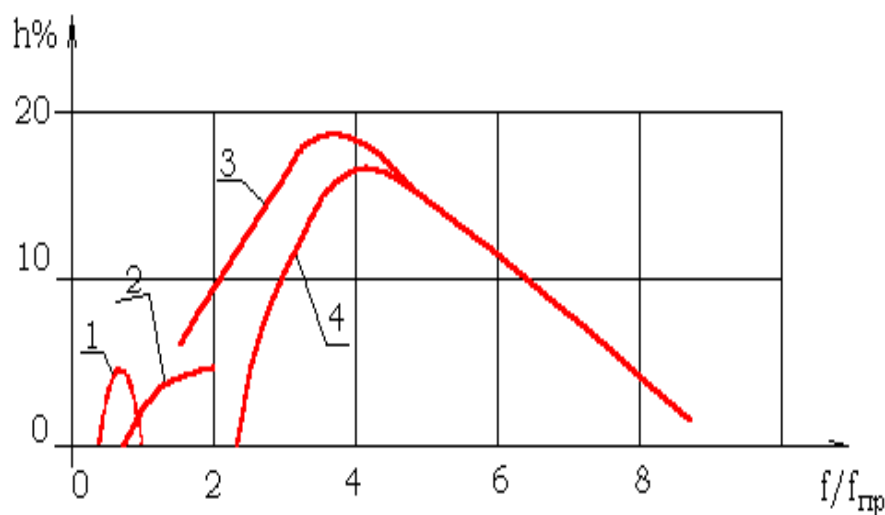


Рис.11. Электронный КПД ГДГ для разных режимов

- 1 – с задержкой формирования домена;
- 2 – с гашением домена;
- 3 – гибридный;
- 4 – ОНОЗ.

#### **2.4. Устройство генератора на диоде Ганна (ГДГ)**

Резонаторная система ГДГ может быть сформирована на основе любой длинной линии: коаксиальной, волноводной, полосковой. На рис.12 показаны схематично эскизы коаксиальной и волноводной

конструкции ГДГ. Где 1 – диоды; 2 – элементы блокировки источника напряжения от СВЧ колебаний; 3 – настроечный поршень-подвижные короткозамыкатели - служат для механической перестройки частот колебаний; 4 – вывод энергии.

На рис.13 показан в разрезе исследуемый в данной работе генератор сантиметрового диапазона на серийном диоде Ганна. В стандартном зауженном волноводе размеров  $23 \times 5 \text{ мм}^2$  между

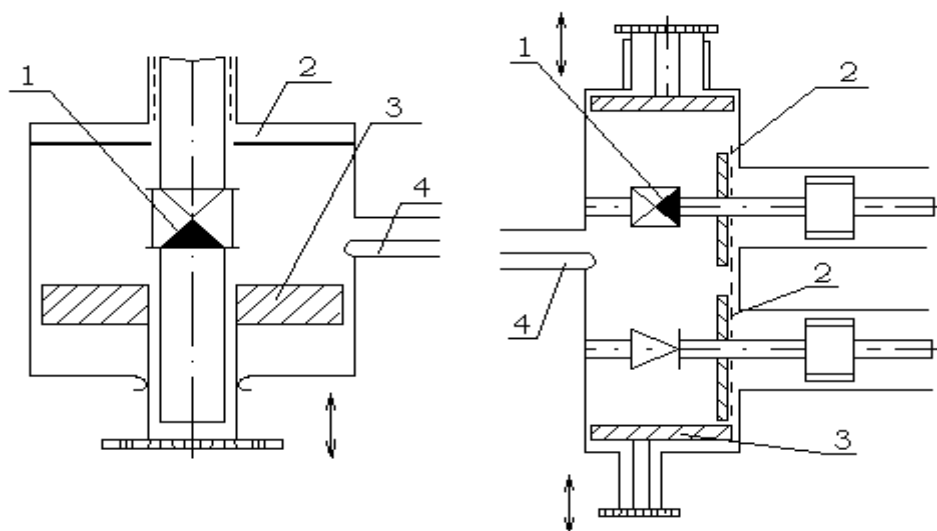


Рис.12

серединами широких стенок располагается диод 1. Положительный вывод диода посредством цангового устройства 2 соединяется с волноводом, который, кроме своего основного предназначения, выполняет функции радиатора. Для подключения источника постоянного напряжения во второй широкой стенке волновода имеется отверстие, через которое проходит вывод от катода диода. Для предотвращения попадания СВЧ сигнала в цепь питания применен фильтр высоких частот, состоящий из емкости 3 и индуктивности проводника 4. Перестройка частоты ГДГ осуществляется поршнем 5.

## 2.5. Основные характеристики ГДГ

К основным характеристикам генератора обычно относятся: **режимные, контурные и нагрузочные** характеристики.

**Режимные** – это зависимости мощности, отдаваемой в нагрузку, частоты колебаний и коэффициента полезного действия генератора от напряжения питания на ДГ при постоянной нагрузке и

фиксированном положении поршня. Для определения КПД используются показания вольтметра и амперметра в цепи диода.

**Контурные** - это зависимости мощности, отдаваемой в нагрузку, частоты колебаний и коэффициента полезного действия генератора от положения настроечного элемента в камере ГДГ при  $U_0 = \text{const}$  и постоянной нагрузке.

**Нагрузочные характеристики** - зависимости выходной мощности ГДГ и частоты от сопротивления нагрузки при  $U_0 = \text{const}$  и фиксированном положении поршня в камере диода. Сопротивление нагрузки изменяется двухшайбовым диэлектрическим трансформатором сопротивлений (ДДТС), который, вообще-то, является устройством, изменяющим комплексное сопротивление ( $Z_H = R_H + iX_H$ ). Шайбы трансформатора могут раздвигаться друг относительно друга на расстояние  $d_{ш}$  и перемещаться одновременно по волноводу. Раздвижение шайб изменяет коэффициент стоячей волны -  $K_{ст}$  (рис.14), т.е. активную величину нагрузки, а перемещение шайб вдоль волновода изменяет фазу стоячей волны в фиксированном сечении волновода, в том числе и в плоскости диода Ганна. Фаза нагрузки определяется в относительных единицах соотношением

$$\varphi_{отн} = (l - l_0) / \lambda_{в} \quad , \quad (2.8)$$

где  $l$  - положение шайб рассогласователя (ДДТС) в волноводе, при котором проводятся измерения;

$l_0$  - начало отсчета по трансформатору (это может быть и  $l_0 = 0$ );

$\lambda_{в}$  - волноводная длина волны типа  $H_{10}$ , находится из выражения

$$\lambda_{в} = c / (f^2 - f_{кр}^2)^{1/2} \quad , \quad (2.9)$$

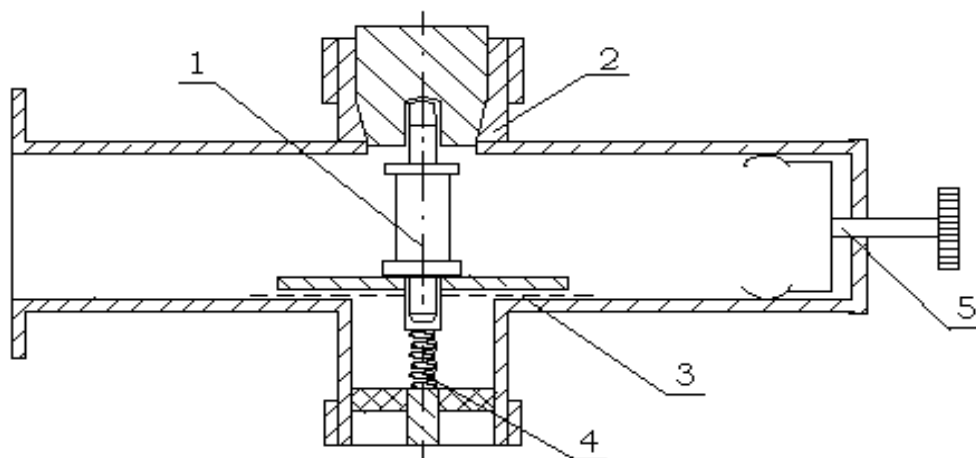


Рис.13



где  $C$  – скорость света;  $f$  – измеренная частота;  
 $f_{кр} = C/\lambda_{кр}$  – критическая частота;  $\lambda_{кр} = 2a$  для волны типа  $H_{10}$ ,  
 $a$  – размер широкой стенки волновода ( $a = 23\text{мм}$ );  
 $\lambda_{кр}$  – критическая длина волны;

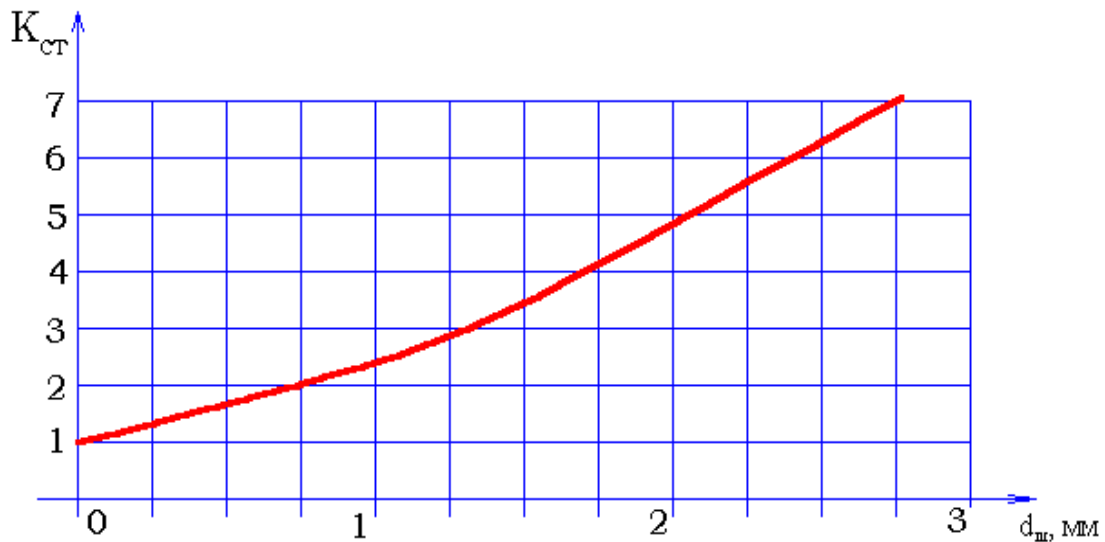


Рис.14. График зависимости величины  $K_{ct}$  от расстояния между шайбами трансформатора сопротивлений.

Типичный вид нагрузочных характеристик для мощности и частоты генерации от величины  $l$  приведен на рис.15.

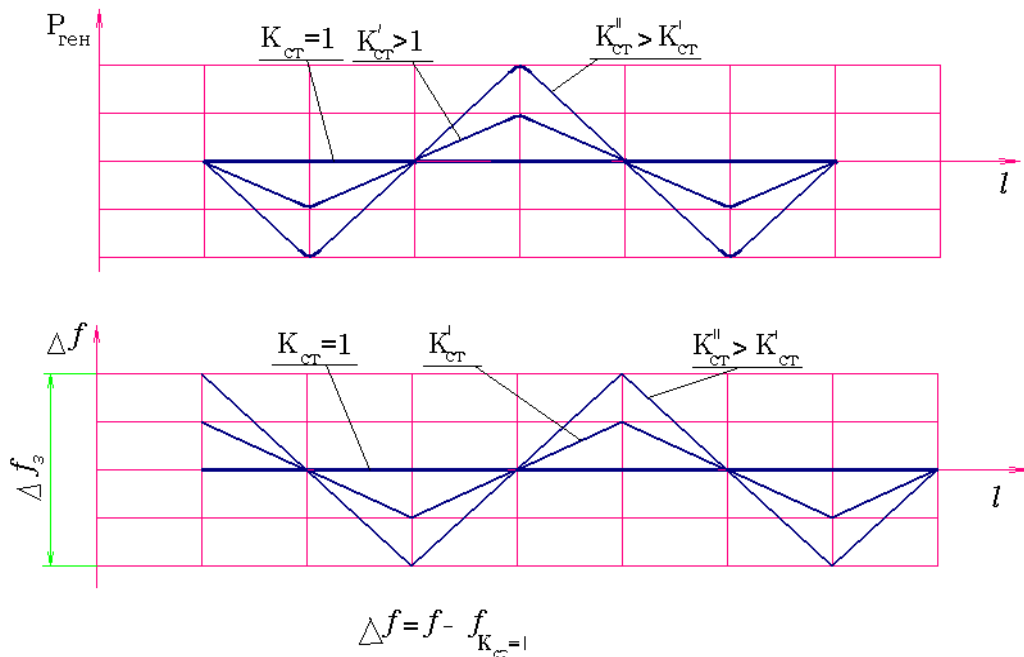


Рис.15

При изменении фазы нагрузки  $\varphi_{отн}$  (2.8) для некоторого постоянного значения  $K_{см}$  нагрузочные характеристики периодически изменяются между максимальными и минимальными значениями генерируемой мощности и частоты. Период нагрузочных характеристик соответствует половине длины волны в волноводе.

Максимальное значение частоты при полном изменении фазы нагрузки для некоторого значения  $K_{см}$  носит название затягивания частоты и зависит от  $K_{см}$ , внешней добротности  $Q_{вн}$  и резонансной частоты  $f$  резонатора, используемого в генераторе. Формула затягивания частоты в общем случае имеет вид

$$\Delta f_3 = f \cdot (K_{см}^2 - 1) / (Q_{вн} \cdot K_{см}) , \quad (2.10)$$

Во избежание затягивания частоты и изменения мощности генерации в реальных схемах между генератором и нагрузкой обычно используется развязывающее устройство, в качестве которого используется чаще всего ферритовый вентиль.

## 2.6. Расчетное задание

1. Рассчитать дисперсионную характеристику (2.9) волновода сечением  $23 \cdot 10 \text{ мм}^2$  в виде зависимости  $\lambda_v$  от частоты в пределах  $\Delta f = 8 \div 12$  ГГц для использования в формуле (2.8).

2. Определить затягивание частоты генератора. Значения внешней добротности,  $Q_{вн}$ , коэффициента стоячей волны и резонансной частоты  $f$  задаются преподавателем.

3. Рассчитать пределы частот для каждого режима (рис.6) исследуемый ДГ, параметры которого даны ниже.

4. Рассчитать величины токов  $I_1, I_2$  (2.1), (2.2), (рис.3), используя параметры ДГ и пользуясь данными (рис.2) для  $GaAs$ . Сравнить с экспериментально полученными значениями тока по ВАХ.

Примечание:  $I = S \cdot i$ , где  $S$  – площадь катодного контакта.

## 2.7. Основные параметры диода Ганна

### Электрические

1.	Омическое сопротивление при токе $I=10$ мА, Ом	3...20
2.	Рабочее напряжение, В	8...8,5
3.	Рабочий ток при температуре $25^0-60^0$ С, мА	320
4.	Мощность выходная, мВт	20
5.	Диапазон частот, ГГц	8,24...12,42
6.	Емкость корпуса $C_k$ , пФ	0,5
7.	Индуктивность корпуса $L_k$ , нГн	1,7

### Параметры кристалла

1.	Длина образца $L$ , м	$(1,0\div 1,2)\cdot 10^{-5}$
2.	Площадь катодного контакта $S$ , $m^2$	$1,13\cdot 10^{-8}$
3.	Концентрация носителей $n_0$ , $m^{-3}$	$(1,0\div 1,4)\cdot 10^{21}$
4.	Подвижность в слабом поле $\mu_0$ , $m^2/V\cdot c$	$0,5\div 0,6$
5.	Диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r$	12,5

## 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

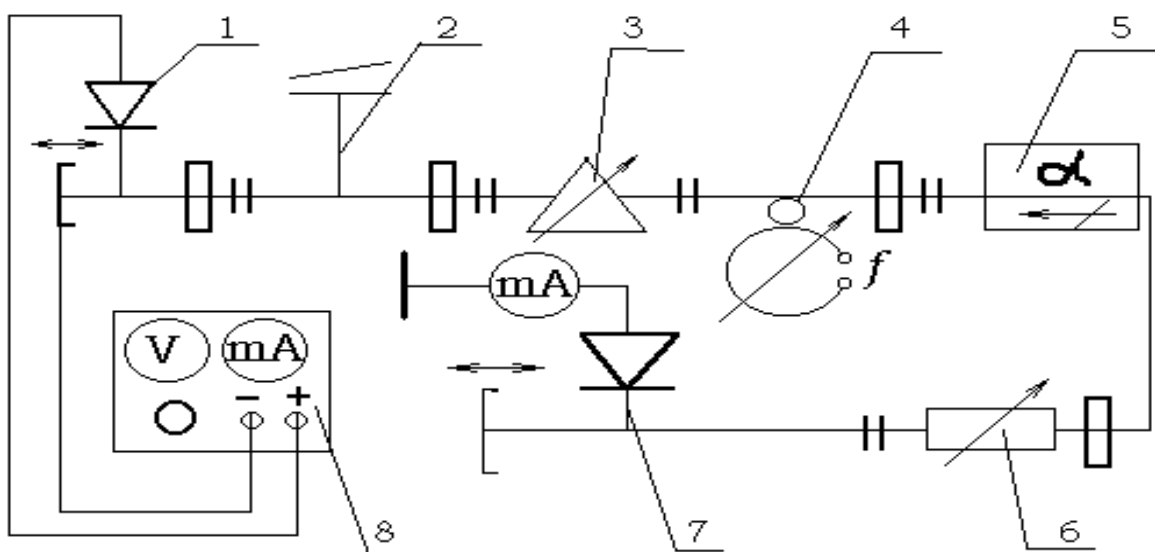


Рис.16 .

### **3.1. Экспериментальная установка и объект исследования.**

Объектом исследования является генератор, содержащий перестраиваемую волноводную секцию с ДГ на уплощенном волноводе 23\*5мм (рис.13). Схема экспериментальной установки для исследования характеристик ГДГ приведена на рис.16. Исследуемый ДГ (1), постоянное напряжение на который подается от стабилизированного блока питания (8), подключен к СВЧ тракту, в состав которого входят: переходник (2), трансформатор сопротивлений (3), частотомер (4), развязывающий вентиль (5), аттенюатор (6), детекторная настраиваемая секция (7) для регистрации СВЧ мощности. С устройством и принципом работы двухшайбового трансформатора сопротивлений, частотомера, аттенюатора, вентиля и детекторной секции можно познакомиться по [3]. Стабилизированный источник питания (8) состоит из двух блоков. На передней панели первого блока расположены два измерительных прибора: миллиамперметр на 400мА (справа) и вольтметр (слева). На втором блоке стабилизированного напряжения расположена ручка декадного переключателя «Установка выходного напряжения» (0 – 5 – 10 – 15 В) и тумблер «СЕТЬ» и ручка «ПЛАВНОЙ РЕГУЛИРОВКИ НАПРЯЖЕНИЯ».

### **3.2. Порядок выполнения работы**

1. Убедиться, что шайбы трансформатора сопротивлений сдвинуты вместе и начальное их положение  $l_0=0$ , что ручка «Установка выходного напряжения» (0 – 5 – 10 – 15 В) на блоке питания поставлена на минимальное положение.
2. Тумблер «СЕТЬ» поставить в положение «ВКЛ». Плавно изменяя напряжение ручкой «ПЛАВНАЯ РЕГУЛИРОВКА НАПРЯЖЕНИЯ», убедиться, что изменяется напряжение и увеличивается ток диода.
3. Снять вольтамперную характеристику диода, изменяя напряжение через 0,5В. Напряжение смещения не должно превышать предельно

допустимого значения для исследуемого диода (8,4 В). По полученной зависимости определить сопротивление в слабом поле –  $R_0$  (при  $U_0 \leq 2В$ ), среднюю пороговую напряженность электрического поля  $E_{пор}$ . Построить зависимость дифференциальной проводимости от напряжения и определить среднее значение отрицательной дифференциальной зависимости.

4. Снять **контурные зависимости** частоты генерируемых колебаний и мощности, отдаваемой согласованной нагрузке, от положения поршня генераторной камеры. Поршень изменять в пределах 0÷30 мм, напряжения смещения определены таблицей 1 для каждой бригады. По полученным данным определить режимы генератора, в которых работает диод (рис.7).

5. Снять **режимные зависимости** - частоты и мощности колебаний от напряжения смещения. Поршень генераторной камеры поставить в положение, соответствующее максимуму выходной мощности, полученному в п.4. Показания токового прибора в цепи детекторной секции при полном отклонении его и выключенном аттенуаторе соответствует мощности 1 мВт. Изменять напряжение через (0,3÷0,5 В) от начала генерации до 8,4 В, фиксировать ток диода при этом. Вычислить КПД в зависимости от приложенного к диоду напряжения. Определить величину пускового тока.

6. Снять **нагрузочные зависимости** - мощности и частоты колебаний от фазы нагрузки при трех значениях  $K_{ст}$ , заданных таблицей.

**Таблица 1.**

Номер бригады	1	2	3	4	5
Напряжение UB	8,1	8,2	8,3	8,4	8
$K_{ст}$	1,1 1,2 2	1,2 1,3 1,9	1,1 1,4 2,1	1,2 1,5 2,2	1,1 1,3 2,3
$Q_{вн}$	300	250	200	150	100

Положение поршня камеры ГДГ такое же, как в п.4, чтобы мощность была максимальной при заданном табл.1 напряжении смещения. Установить расстояние между шайбами  $d_{ш}$ , соответствующее значению  $K_{ст}$  (рис.14), и перемещая шайбы одновременно по волноводу фиксировать  $l$  и величины  $P$  и  $f$ . По результатам эксперимента определить  $Q_{вн}$  – внешнюю добротность камеры ГДГ в разных режимах (2.10).

7. Поставить регулятор (ручку и тумблер) напряжения в начальное положение и выключить сеть.

1. Привести схему измерительной установки.
2. Дать таблицу и график ВАХ. Указать величину  $R_0$  и  $U_{пор}$ ,  $E_{пор}$ , зависимость отрицательной дифференциальной проводимости  $G(U_0)$  и среднее значение отрицательной дифференциальной проводимости.
3. Привести таблицу и графики режимных и контурных характеристик при  $K_{ст}-const$  и  $l_{порш}-const$ . Указать величину пускового тока. Отметить  $l_{порш}$  при котором  $P_{max}$ .
4. Привести нагрузочные характеристики в виде зависимостей частоты и мощности генерации от фазы нагрузки для трех значений  $K_{ст}$  и постоянного напряжения питания  $U_0$ . Фазу нагрузки определять с помощью расчетной дисперсионной характеристики волновода.
5. По нагрузочным характеристикам построить зависимость затягивания  $\Delta f_z$  от величины  $K_{ст}$ . По кривой затягивания частоты определить внешнюю добротность резонатора  $Q_{вн}$  для трех экспериментальных значений  $K_{ст}$ .
6. Построить зависимости  $P=\varphi(l_{порш})$ ,  $f=\varphi(l_{порш})$  при постоянном напряжении  $U_0$ .
7. Сделать письменные выводы о проделанной работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить устройство и принцип действия генератора на ДГ.
2. Объяснить в схеме измерительной установки назначение ее элементов и принцип их работы.

3. Объяснить методику измерения нагрузочных характеристик генератора на ДГ и принцип измерения выходных параметров.
4. От чего зависят мощность и КПД генератора на ДГ?
5. От чего зависит частота генерации?
6. Объясните характер зависимостей тока, мощности и частоты генератора на ДГ от напряжения питания.
7. Почему затягивание частоты зависит от величины  $K_{ст}$ ?
8. Какие достоинства и недостатки генератора ДГ в сравнении с генератором на отражательном клистроне?
9. При изменении настройки генератора на ДГ поршнем поясните, какие изменения происходят и почему?
10. Дайте качественное объяснение эффекта Ганна на основе двухдолинной модели полупроводника.
11. Поясните смысл отдельных параметров эквивалентной схемы диода Ганна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соколова Ж.М. Микроволновые приборы и устройства.- Томск: Изд.-во ТМЦДО ТУСУР, 2009.-276с.
2. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника: Учебное пособие для вузов. / Ю.Л.Бобровский, С.А.Корнилов, И.А. Кратилов и др.; Под ред. Федорова Н.Д. - М: «Радио и связь», 2002.-560с.
3. Электронные приборы СВЧ: Учеб. Пособие для вузов спец. “Электронные приборы”/ Березин В.М., Буряк В.С., Гутцайт Э.М., Марин В.П. –М.: Высш.шк , 1985. –296с.
4. Описание аппаратуры к лабораторным работам / Под ред. Соколовой Ж.М.–Томск, ТИАСУР, 1977, ротапринт