**Занятие № 77-78**

**Тема: Общие сведения об электронных приборах.**

**Основной материал:**

Общие сведения об электронных приборах

1.1. Классификация

*Электронным прибором* (ЭП) называют устройство, в котором в результате взаимодействия свободных или связанных носителей заряда с электрическим, магнитным и переменным электромагнит­ным полем обеспечивается преобразование информационного сиг­нала или преобразование вида энергии.

Основными признаками классификации разнообразных по прин­ципу действия, назначению, технологии изготовления, свойствам и параметрам можно считать: вид преобразования сигнала; вид рабо­чей среды и тип носителей заряда; структуру (устройство) и число электродов; способ управления.

По виду преобразования сигнала все ЭП можно разбить на две большие группы. К первой группе относятся ЭП, в которых использу­ется преобразование одного вида энергии в другой. В эту группу вхо­дят электросветовые ЭП (преобразование типа электрический сигнал в световой), фотоэлектронные приборы (световой сигнал в электрический), электромеханические (электрический сигнал в ме­ханический), механоэлектрические ЭП (механический сигнал в элек­трический), оптопары (электрический сигнал в световой и затем сно­ва в электрический)и др.

Ко второй группе обычно относятся электропреобразователь­ные приборы, в которых изменяются параметры электрического сиг­нала (например, амплитуда, фаза, частота и др.).

По виду рабочей среды и типу носителей заряда различают сле­дующие классы электронных приборов: электровакуумные (вакуум, электроны), газоразрядные (разреженный газ, электроны и ионы), полупроводниковые (полупроводник, электроны и дырки), хемотронные (жидкость, ионы и электроны).

Электроды электронного прибора – это элементы его конструк­ции, которые служат для формирования рабочего пространства при­бора и связи его с внешними цепями. Число электродов и их потенциалы определяют физические процессы в приборе. Наиболее на­глядно это в электронных лампах: двухэлектродные (диоды), трех­электродные (триоды), четырехэлектродные (тетроды) и пятиэлект­родные (пентоды).

1.2. Режимы, характеристики и параметры электронных приборов

Совокупность условий, определяющих состояние или работу электронного прибора, принято называть *режимом электронного прибора,* а любую величину, характеризующую этот режим (к приме­ру, ток или напряжение), –*параметрами режима.* Говорят об усилительных, импульсных, частотных, шумо­вых, температурных и механических свойствах, о надежности и т.п. Количественные сведения об этих свойствах называют *параметра­ми прибора*. К ним, например, относят коэффициенты передачи токов, характеристические частоты, коэффициент шума, интенсивность отказов, ударную стойкость и др.

Вначале остановимся на понятиях статического и динамическо­го режимов приборов. *Статическим* называют режим, когда прибор работает при постоянных («статических») напряжениях на электро­дах. В этом режиме токи в цепях электродов не изменяются во вре­мени и распределения зарядов и токов в приборе также постоянны во времени. Другими словами, в статическом режиме все парамет­ры режима не изменяются во времени. Однако, если хотя бы один из параметров режима, например напряжение на каком-то электроде, изменяется во времени, режим называется *динамическим.*

В динамическом режиме поведение при­бора существенно зависит от скорости или частоты изменения воз­действия (например, напряжения).

У большинства приборов эта зависимость объясняется инерци­онностью физических процессов в приборе, например конечным временем пролета носителей заряда через рабочее пространство или конечным временем жизни носителей. Конечность времени пролета приводит к тому, что мгновенное значение тока электрода, к которому движутся носители, в выбранный момент времени бу­дет определяться не только значением напряжения на электроде в этот момент, но, естественно, и предысторией, т.е. всеми значени­ями напряжения от момента начала движения в приборе до прихо­да носителя заряда к рассматриваемому электроду. Следователь­но, связь мгновенных значений тока и напряжения в динамическом режиме должна отличаться от связи постоянных значений тока и напряжения в статическом режиме. Однако если время пролета значительно меньше периода изменения переменного напряже­ния, то это .отличие во взаимосвязи будет несущественным, т.е. связь мгновенных значений будет практически такой же, как посто­янных величин в статическом режиме. Указанная разновидность динамического режима называется *квазистатическим режимом*(«квази» – означает «как бы» или «как будто»).

Обычно динамический режим получается в результате внешнего воздействия, например входного сигнала. Входной сигнал может быть синусоидальным или импульсным. Малым называют такой сигнал, при котором наблюда­ется линейная связь (прямая пропорциональность) между амплиту­дами выходного и входного сигналов.

1.3. Модели электронных приборов

Как в статическом, так и динамическом режиме анализ основан на использовании системы дифференциальных уравнений, описы­вающих физические процессы: уравнения непрерывности, закон Пу­ассона, уравнения для плотностей токов, кинетическое уравнение Больцмана, учитывающее функцию распределения частиц по коор­динатам и импульсам. Систему этих уравнений принято называть *математической моделью приборов.*

Для анализа радиоэлектронных схем, содержащих электронные приборы, в большинстве случаев удобнее использовать электриче­ские модели (эквивалентные схемы, схемы замещения), составлен­ные из элементов электрической цепи.

Электрические модели, называемые также эквивалентными схемами, появились на основе анализа математических моделей. Поэтому каждый электрический элемент эквивалентной схемы при­ближенно описывается (представляется) соответствующими математическими выражениями.

Удобство электрических моделей состоит в том, что анализ ди­намических свойств (например, транзистора), особенно при малом сигнале, можно проводить по законам теории электрических цепей.

Эквивалентные схемы для малого сиг­нала обычно называют линейными или малосигнальными, а для большего – нелинейными эквивалентными схемами или нелиней­ными электрическими моделями.

Электрофизические свойства полупроводников

2.1. Концентрация носителей заряда в равновесном состоянии полупроводника

Полупроводниками, как прави­ло, являются твердые тела с регулярной кристаллической структурой. В твердом те­ле концентрация (объемная плотность) атомов велика, поэтому внешние электрон­ные оболочки соседних атомов сильно взаимодействуют, и вместо системы дискрет­ных энергетических уровней, характерной для одного изолированного атома, появля­ется система зон энергетических уровней. Эти зоны уровней называют *разрешенными*, а области между ними – *запрещенными зонами.* Верхняя разрешен­ная зона называется *зоной проводимости*, а первая под ней – *валентной зоной.*

В физике принята классификация твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики по *ширине запрещенной зоны https://studfile.net/html/1334/288/html_F3n5fwRZBY.cmBG/img-06Qz57.png,* от значения которой зависят концент­рация свободных носителей, удельное электрическое сопротивление и ток.

Ширина запрещенной зоны при абсолютной температуре Т=300 К у германия 0,66 эВ, кремния 1,12эВ и арсенида галлия 1,4 эВ.

Беспримесный (чистый) полупроводник без дефектов кристаллической структу­ры называют *собственным полупроводником* и обозначают буквой i. При температуре абсолютного нуля (T=0 К) в таком полупроводнике все энергетические уровни валентной зоны заполнены валентными электронами, а в зоне проводимости нет электронов. По мере увеличения температуры растет энергия колебательного движения атомов кристаллической решетки и увеличивается вероят­ность разрыва ковалентных (парных) связей атомов, приводящего к образованию *свободных электронов*, энергия которых соответствует уровням зоны проводимости. Отсутствие одного электрона в ковалентной связи двух соседних атомов, или «вакан­сия», эквивалентно образованию единичного положительного заряда, называемого *дыркой.*

появление одного свободного электрона сопровождается об­разованием одной дырки. Говорят, что идет *образование (генерация) пар электрон*– *дырка*с противоположными знаками заряда.

Если в собственный четырехвалентный кремний (или германий) ввести атом пятивалентного элемента, например фосфора (Р), то че­тыре из пяти валентных электронов введенного атома примеси вступят в связь с че­тырьмя соседними атомами Si (или Ge) и образуют устойчивую оболочку из восьми электронов, а пятый электрон оказывается слабо связанным с ядром атома примеси. Этот «лишний» электрон движется по орбите значительно большего размера и легко (при небольшой затрате энергии) отрывается от примесно­го атома, т.е. становится свободным. При этом неподвижный атом превращается в положительный ион. Свободные электроны «примесного» происхождения добавля­ются к свободным электронам исходного собственного полупроводника, поэтому электрическая проводимость полупроводника при большой концентрации примеси становится преимущественно электронной. Такие примесные полупроводники назы­ваются *электронными* или *п-типа* (от слова negative - отрицательный). Примеси, обусловливающие электронную проводимость, называют *донорными.*

Если в собственный полупроводник, например кремний, ввести примесный атом трехвалентного элемента, например бора (В), галлия (Ga) или алюминия (Аl), то все валентные электроны атома примеси включатся в ковалентные связи с тремя из четырех соседних атомов собственного полупроводника. Для образования устойчивой восьмиэлектронной оболочки (четыре парные связи) примесному атому не хватает одного элек­трона. Им может оказаться один из валентных электронов, который переходит от ближайших атомов кремния. В результате у такого атома кремния появится «вакансия», т.е. дырка, а неподвижный атом примеси превратится в ион с единичным отрицательным зарядом. Примеси, обеспечивающие получение боль­шой концентрации дырок, называют *акцепторными* («захватывающие» электроны).

Отрыв электрона от донорного атома и валентного электрона от атомов исходно­го (собственного) полупроводника для «передачи» его акцепторному атому требует затраты некоторой энергии, называемой *энергией ионизации* или активизации при­меси. При температуре абсолютного нуля ионизации нет, но в рабочем диа­пазоне температуры, включающем комнатную температуру, примесные атомы прак­тически полностью ионизированы. Энергия ионизации доноров *https://studfile.net/html/1334/288/html_F3n5fwRZBY.cmBG/img-kkuLCr.png* и акцепторов *https://studfile.net/html/1334/288/html_F3n5fwRZBY.cmBG/img-E1xFCT.png* составляет несколько сотых долей электронвольта (эВ), что значительно меньше ши­рины запрещенной зоны *https://studfile.net/html/1334/288/html_F3n5fwRZBY.cmBG/img-m__wM5.png.* Энергетические уровни электронов донорных атомов («примесные уровни») располагаются в запрещенной зоне вблизи нижней границы («дна») зоны проводимости на расстоянии, равном энергии ионизации *https://studfile.net/html/1334/288/html_F3n5fwRZBY.cmBG/img-4BzRhR.png*. Примесный уровень акцепторов находится в запрещенной зоне на не­большом расстоянии *https://studfile.net/html/1334/288/html_F3n5fwRZBY.cmBG/img-lquRFd.png* от верхней границы («потолка») валентной зоны.

В собственном полупроводнике концентрации электронов и дырок одинаковы. В примесных полупроводниках они отличаются на много порядков. Носите­ли заряда с большей концентрацией называют *основными,* а с меньшей – *неосновными.*В полупроводнике n-типа основные носители – электроны, а в полу­проводнике p-типа – дырки.

Значения концентраций свободных электронов и дырок устанавливаются (состо­яние равновесия) в результате действия двух противоположных процессов: процесса генерации носителей (прямой процесс) и *процесса рекомбинации* электронов и ды­рок (обратный процесс).

Рекомбинация означает, что свободный электрон восстанавливает ковалентную связь (устраняет вакансию). В состоянии равновесия скорость генерации носителей заряда равна скорости рекомбинации.