

Диод в качестве контролируемой напряжением ёмкости

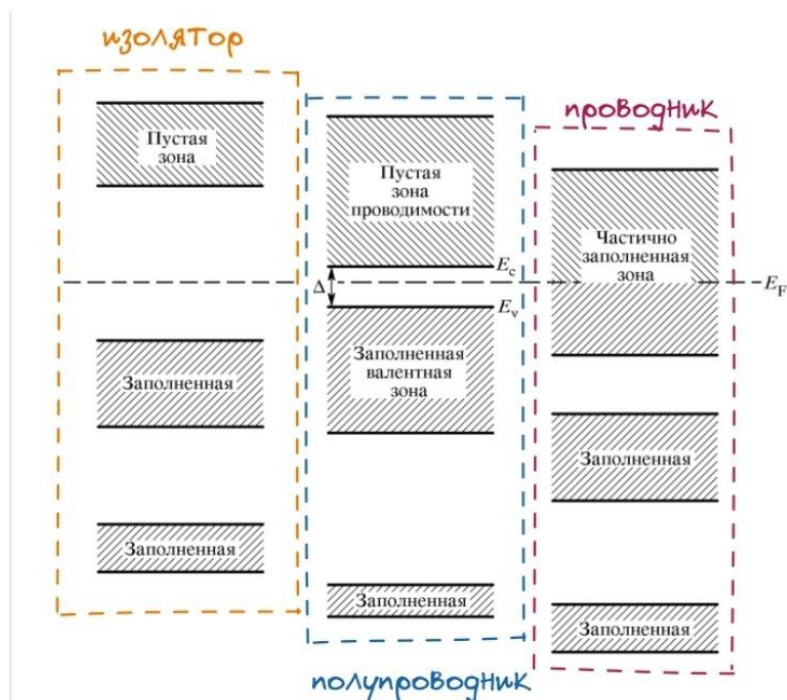
Шмаков Владимир Евгеньевич - ФФКЭ гр. Б04-105

5 июня 2024 г.

Цель работы

- Разработать методику измерения зависимости ёмкости полупроводникового диода от величины обратного напряжения.
- Измерить зависимость ёмкости от напряжения.

Теоретические сведения



Полупроводник — материал, занимающий промежуточное место между изоляторами и проводниками. При нулевой температуре, зона проводимости полупроводника оказывается пустой (это «роднит» полупроводники и изоляторы). Однако расстояние между валентной зоной и зоной проводимости у полупроводника значительно меньше чем у изолятора (смотрите рисунок слева).

Введение в полупроводник примесей приводит к появлению разрешенных уровней в запрещенной зоне. Примеси, которые приводят к образованию в полупроводнике уровней вблизи нижнего края зоны проводимости называются **донорными**. Примеси, приводящие к появлению уровней вблизи границы валентной зоны называются **акцепторными**. Если концентрация акцепторов в полупроводнике превышает концентрацию доноров, то говорят что полупроводник является проводником **p - типа**. В противном случае, говорят что полупроводник является проводником **n - типа**.

Соединим проводник p-типа с полупроводником n-типа. Из полупроводника n - типа электроны устремятся в область p - типа. Дырки, в свою очередь, устремятся из области p-типа в

область n - типа. При возникновении равновесия уровни Ферми контактирующих полупроводников сравниваются, а в месте контакта возникнет обеднённая область (смотрите рисунок 1).

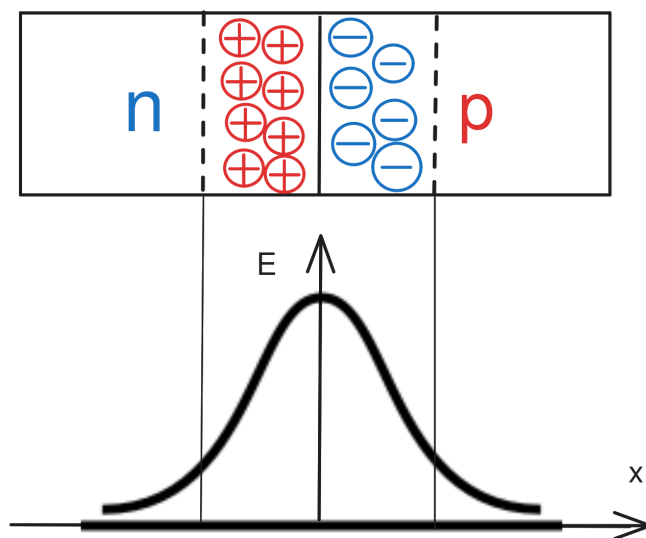


Рис. 1: Обеднённая зона в месте контакта (сверху). Распределение электрического поля (снизу). Поле направлено из n -области в p -область.

Такой pn переход может рассматриваться как конденсатор. Обкладками конденсатора служат границы области обеднения. Зона обеднения выступает в качестве диэлектрика. На обкладках содержатся носители заряда - электроны и дырки.

При приложении обратного напряжения, ширина обеднённой зоны увеличивается, что приводит к уменьшению ёмкости рассматриваемого конденсатора.

Зависимость ёмкости от напряжения выражается формулой 1. m принимает значения от $1/2$ до $1/3$. V_0, K - постоянные, зависящие от степени легирования полупроводников.

$$C = \frac{K}{(V_0 - V)^m} \quad (1)$$

Методика

Оборудование

- Катюшка
- Набор ёмкостей
- Полупроводниковый диод
- Диод Шоттки
- Набор резисторов
- Операционный усилитель TL072

- Две девятивольтовые батарейки
- Аудиокарта
- Интерпретатор Python и библиотеки `scipy`, `numpy`, `matplotlib`

Экспериментальная установка

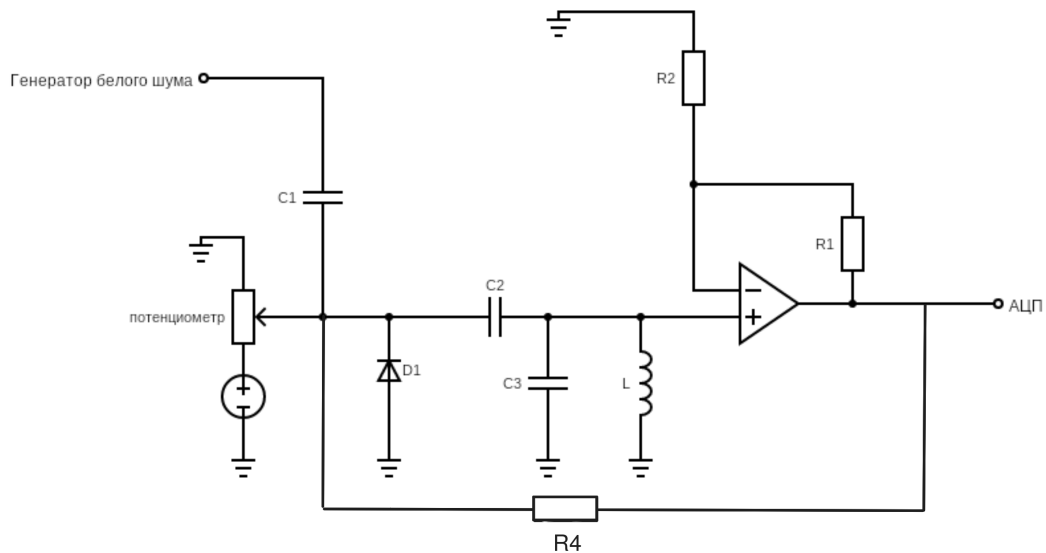


Рис. 2: Схема для измерения зависимости ёмкости диода от величины обратного напряжения.

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2. Напряжение на диоде D1 задаётся при помощи потенциометра. В качестве источника напряжения используется батарейка «крона». Конденсаторы C1 и C2 используются для отделения переменного сигнала (белого шума) от постоянного напряжения, задаваемого потенциометром.

Выходной сигнал усиливается при помощи ОУ, работающего в режиме неинвертирующего усилителя. Для последующего анализа, усиленный сигнал оцифровывается.

Конденсатор C3, катушка L и диод D1 соединены параллельно и образуют LC контур. Меняя величину обратного напряжения на диоде, изменяется суммарная ёмкость. Изменение ёмкости приводит к изменению частоты.

Конденсатор C3 имеет ёмкость $20\mu F$ и был подобран экспериментально для получения резонансной частоты в области звуковых частот. Резисторы R1 и R2 имеют сопротивления 4.7 кОм и 100 кОм соответственно. Таким образом, коэффициент усиления равен $K = 1 + 100/4.7 \sim 22$.

Для повышения добротности и большего усиления резонансной частоты используем обратную связь - соединяем выход схемы со входом через сопротивление $R4 \sim 220\Omega$.

Обработка экспериментальных данных

Найдём индуктивность катушки. Для этого отключим диод от схемы, и запишем сигнал. Разложив сигнал в ряд Фурье и найдя в нём частоту резонансной гармоники - рассчитаем индуктивность по формуле Томпсона. В результате «калибровочного» эксперимента получили индуктивность

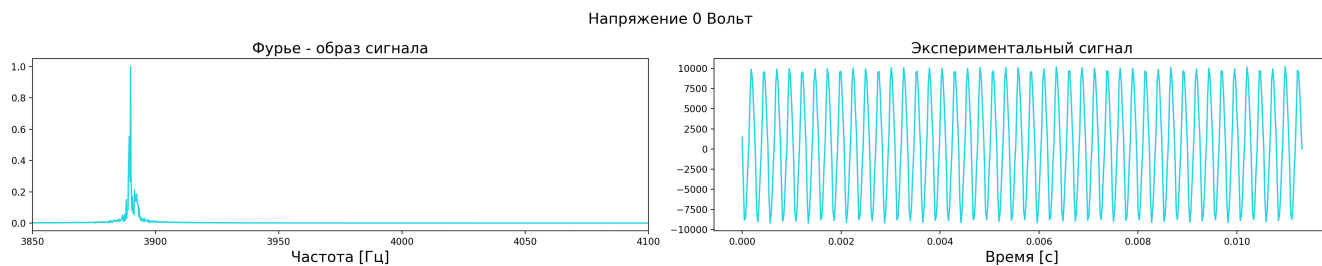


Рис. 3: Сигнал записанный при напряжении 0 Вольт. Резонансная частота 3889.86 Гц

В качестве диода D1 подключим 6 параллельно соединённых полупроводниковых диодов. Вращая ручку потенциометра, наблюдаем изменение резонансной частоты.

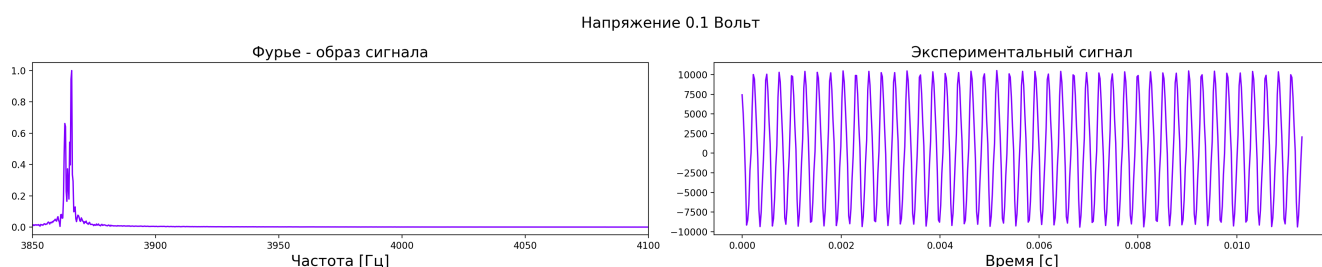


Рис. 4: Сигнал записанный при напряжении 0.1 Вольт. Резонансная частота 3865.94 Гц

Зная индуктивность катушки L, можем рассчитать ёмкость LC контура(см. формулу 2).

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{\text{сумм}}}} \rightarrow C_{\text{сумм}} = \frac{1}{4\pi^2 L f^2} \quad (2)$$

Суммарная ёмкость складывается из ёмкости шести диодов и ёмкости конденсатора C3. Тогда:

$$C_{\text{диод}} = \frac{C_{\text{сумм}} - C_3}{6} \quad (3)$$

Построим график зависимости ёмкости диода от величины обратного напряжения(рисунок 5).

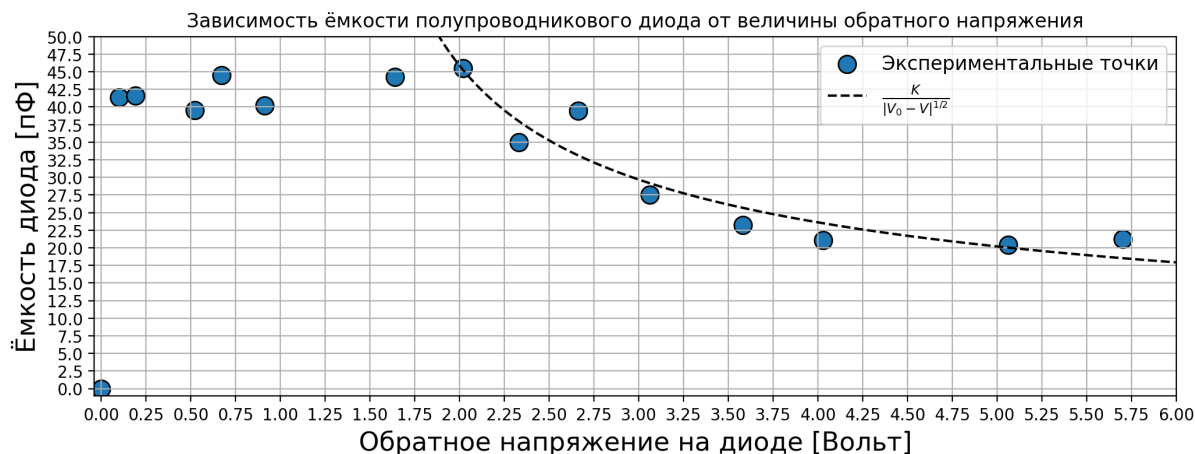


Рис. 5: Вольт - фарадная характеристика диода.

Как видно на рисунке 5. Ёмкость диода при нулевом напряжении оказалась равной нулю. Частоты колебаний цепи без диода D1 и с диодом совпали.

При повышении напряжения, ёмкость резко увеличивается и остаётся постоянной до напряжения $V \sim 1.75$ Вольт. При последующем увеличении напряжения ёмкость начинает падать. Спад хорошо аппроксимируется формулой 1: $V_0 \sim 1.3$ В, $K \sim 39$ пФ · В^{1/2}

Вывод

Удалось экспериментальной найти зависимость ёмкости диода от величины обратного напряжения.

Описанный в работе эффект может применяться для построения генераторов с возможностью модуляции частоты. Для построения фильтров с возможностью изменения частоты среза при помощи внешнего сигнала.

Для описанных выше задач, был разработан специальный тип диодов. Варикап диоды обладают большей ёмкостью и более предсказуемой вольт-фарадной характеристикой.