

Туннелирование в полупроводниках

Шмаков Владимир — ФФКЭ Б04-105

Цель работы

- Исследовать принцип действия туннельного диода
- Измерить вольт-амперную характеристику
- Оценить положения уровней Ферми

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 1).

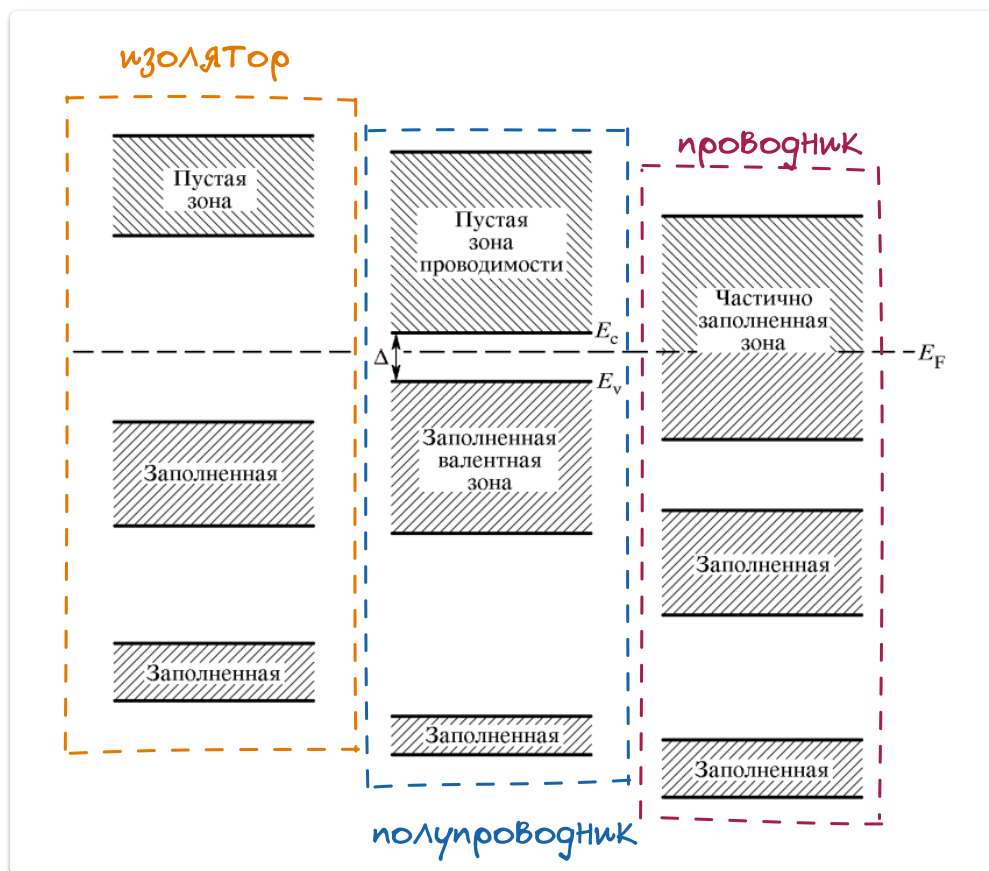


Рисунок 1. Диаграмма энергетических зон для различных материалов.

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***.

Создадим узкий $p - n$ переход. В сильно легированных полупроводниках в области узкого $p - n$ перехода становятся возможными туннельные переходы электронов. Обозначим $\xi = \mu_n - E_c$ - расстояние между уровнем Ферми полупроводника $n - типа$ и зоной проводимости. $\eta = \mu_p - E_v$ - расстояние между уровнем Ферми полупроводника $p - типа$ и валентной зоной.

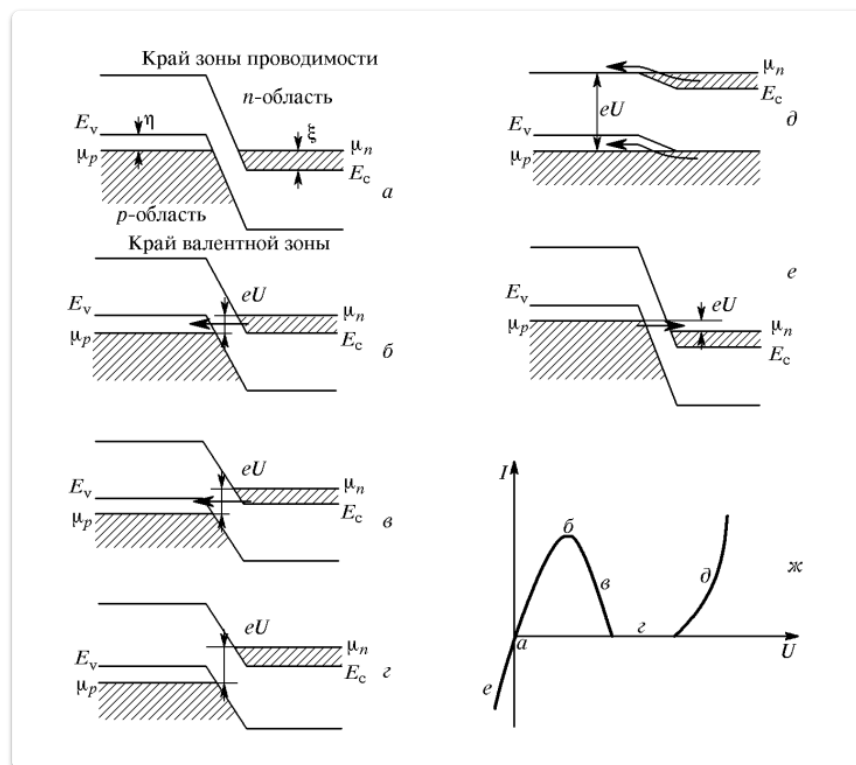


Рисунок 2. Схема энергетических уровней при различных напряжениях на туннельном диоде.

Рассмотрим, как изменяется схема энергетических уровней туннельного диода при приложении внешнего напряжения:

- При отсутствии внешнего поля уровни Ферми μ_n и μ_p лежат на одной горизонтали. Перекрывание свободных и занятых уровней отсутствует — через диод не протекает ток.

- По мере увеличения внешнего напряжения смещение зон уменьшается. Часть занятых состояний в n - области перекрывается с незанятыми состояниями в p - области (смотрите рисунок 2(б)). Ток возрастает.
- При дальнейшем увеличении напряжения перекрытие уровней достигает максимума. Затем состояния в n области перекрываются с запрещенными состояниями в p области. Ток через диод падает (смотрите рисунок 2(в)).
- Дно зоны проводимости n области перекрывается с запрещенной зоной p области (рисунок 2(г)). При напряжении $U = (\xi + \eta)/e$ ток полностью прекращается.
- При дальнейшем увеличении напряжения занятые уровни в n области перекрываются с незанятыми уровнями в p - области. Появляется диффузный ток.

Методика

Оборудование

- Туннельный и диффузный диод
- Амперметр
- Вольтметр
- Осциллограф
- Звуковой генератор
- Потенциометры
- Набор постоянных сопротивлений

Эксперимент 1 - наблюдение ВАХ на экране осциллографа

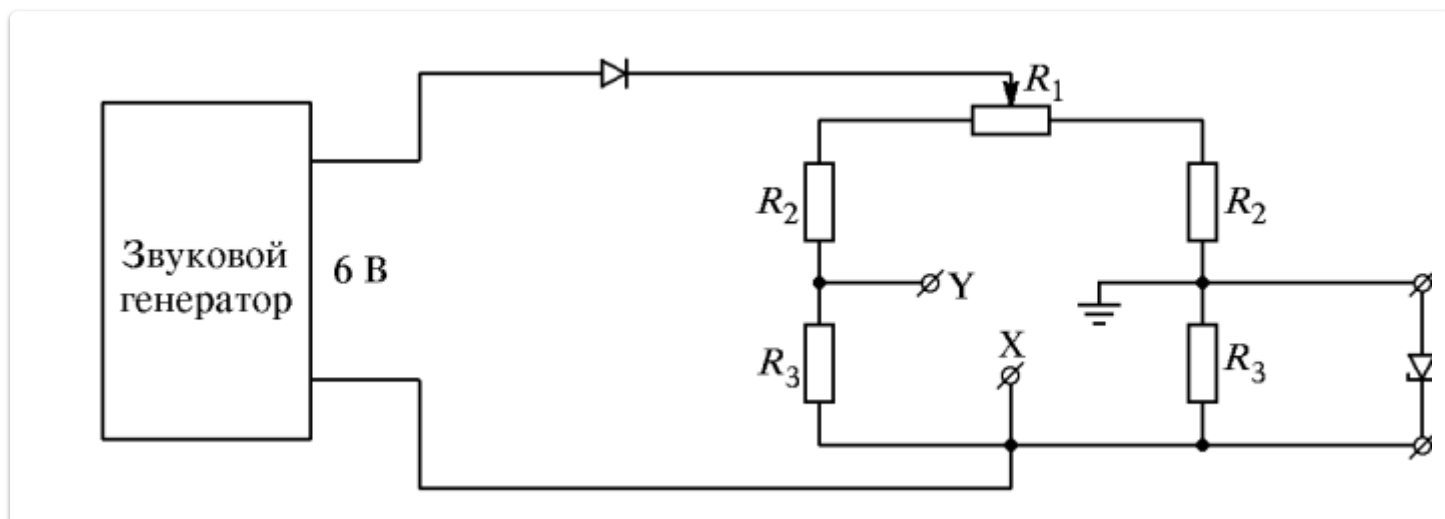


Рисунок 3. Схема наблюдения вольт-амперной характеристики на экране осциллографа.

Схема эксперимента изображена на рисунке 3. На вход «Y» осциллографа подаётся напряжение пропорциональное току, протекающему через диод. На вход «X» - падение напряжения на диоде.

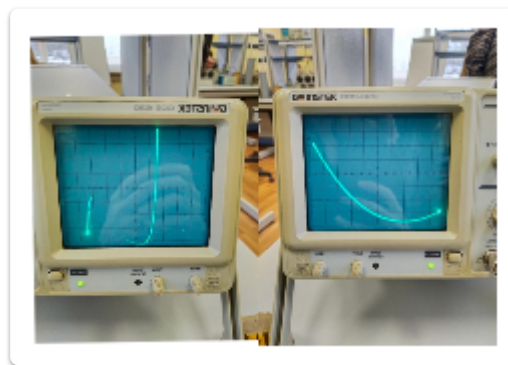
Подавая переменное напряжение на вход цепи получаем изображение ВАХ на экране осциллографа.

Эксперимент 2

Эксперимент 3

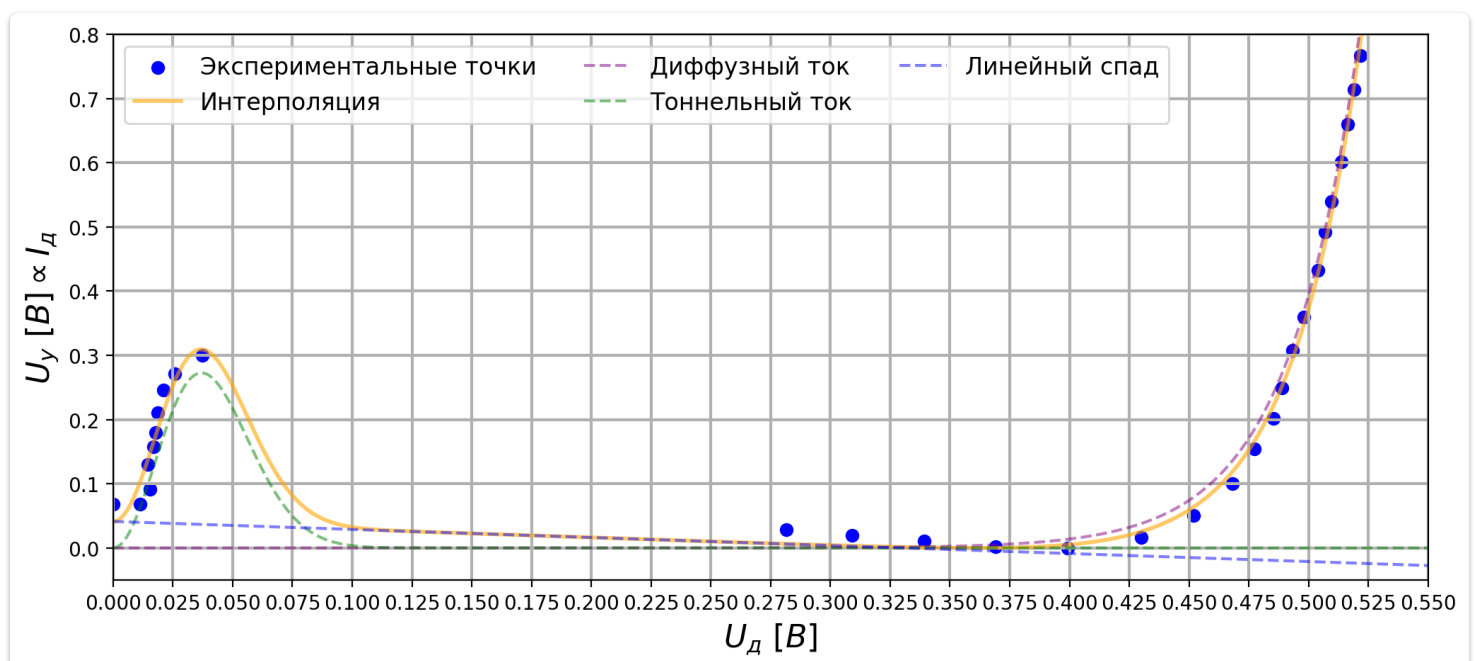
Обработка экспериментальных данных

Эксперимент 1 - наблюдение ВАХ на экране осциллографа



Осциллограммы полученные в ходе эксперимента.

При помощи программы «plotDigitalizer» оцифруем изображения осциллограмм.

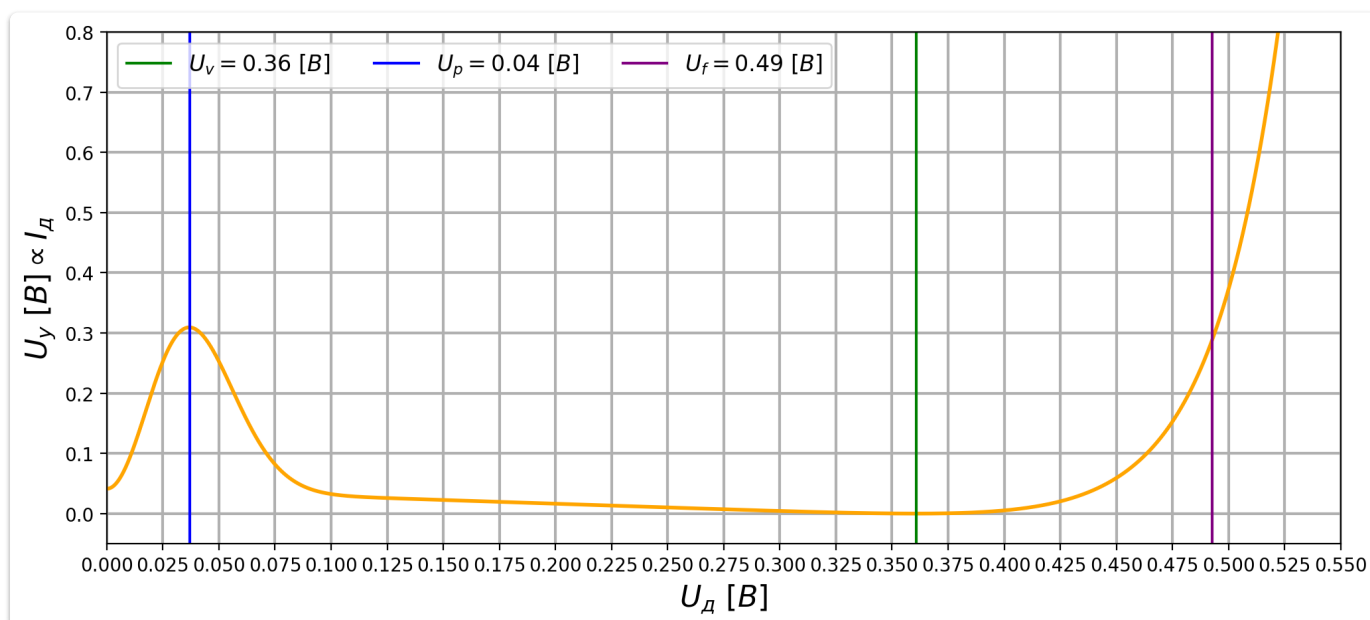


Экспериментальные данные можно приблизить суммой трёх функций:

- $A \exp(B \cdot x)$ - экспоненциально возрастающий диффузный ток
- $Dx^2 \cdot \exp(-Ex^2)$ - туннельный ток
- $F + G \cdot x$ - линейная функция(склейка токов посередине)

Результат приближения экспериментальных данных суммой трёх описанных выше функций изображен на рисунке(рисунке). Из интерполяции могут быть найдены ключевые напряжения U_p , U_v , U_f :

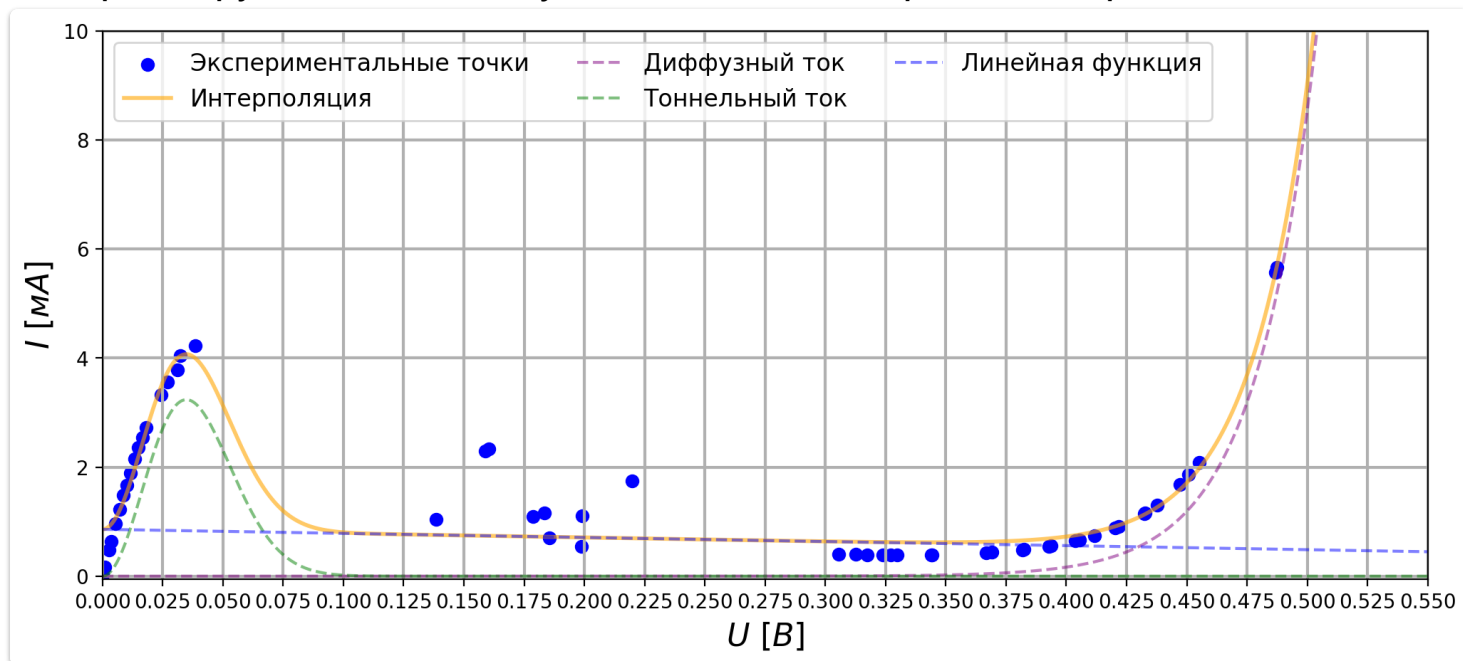
- U_p - `argmax` зеленой кривой
- U_v - `argmin` общей интерполяции
- U_f - положение где фиолетовая кривая достигает значения максимума зеленой кривой



Ключевые значения напряжений, найденные по данным первого эксперимента.

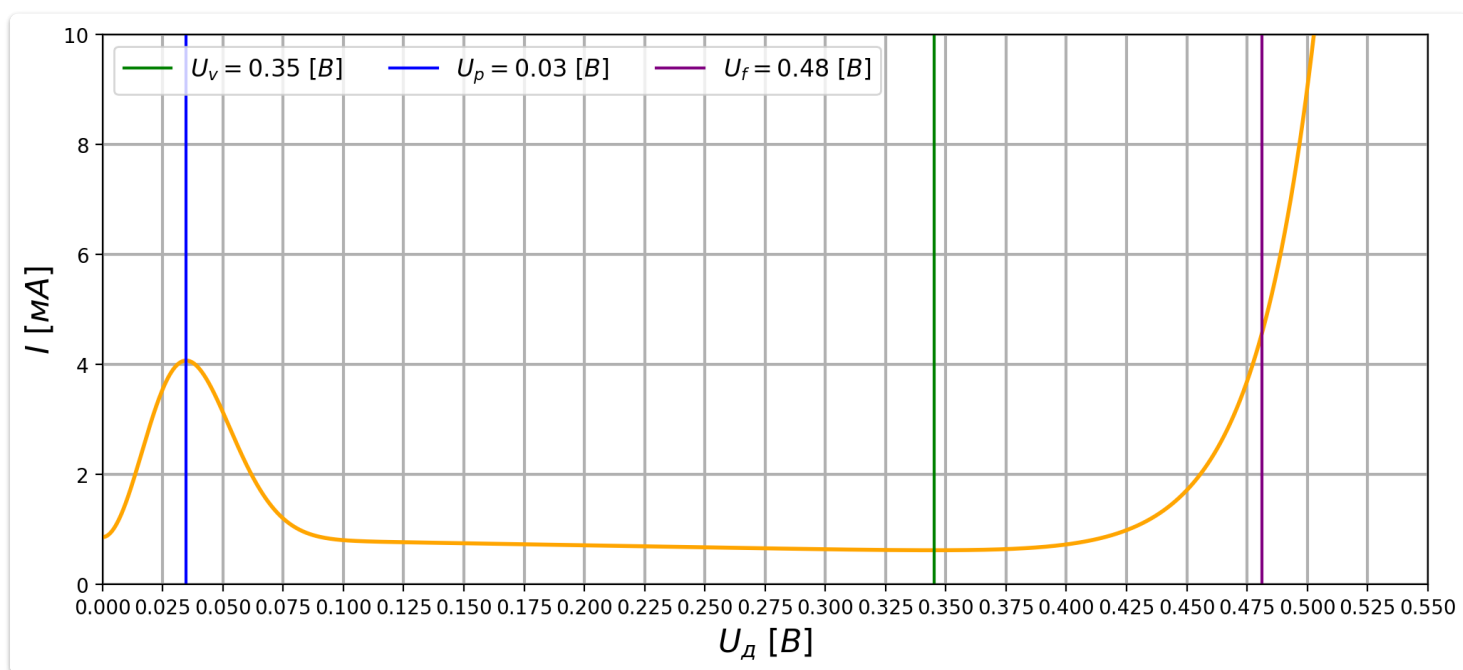
Эксперимент 2

Интерполируем данные полученные в ходе второго эксперимента:



Интерполяция экспериментальных данных второго эксперимента.

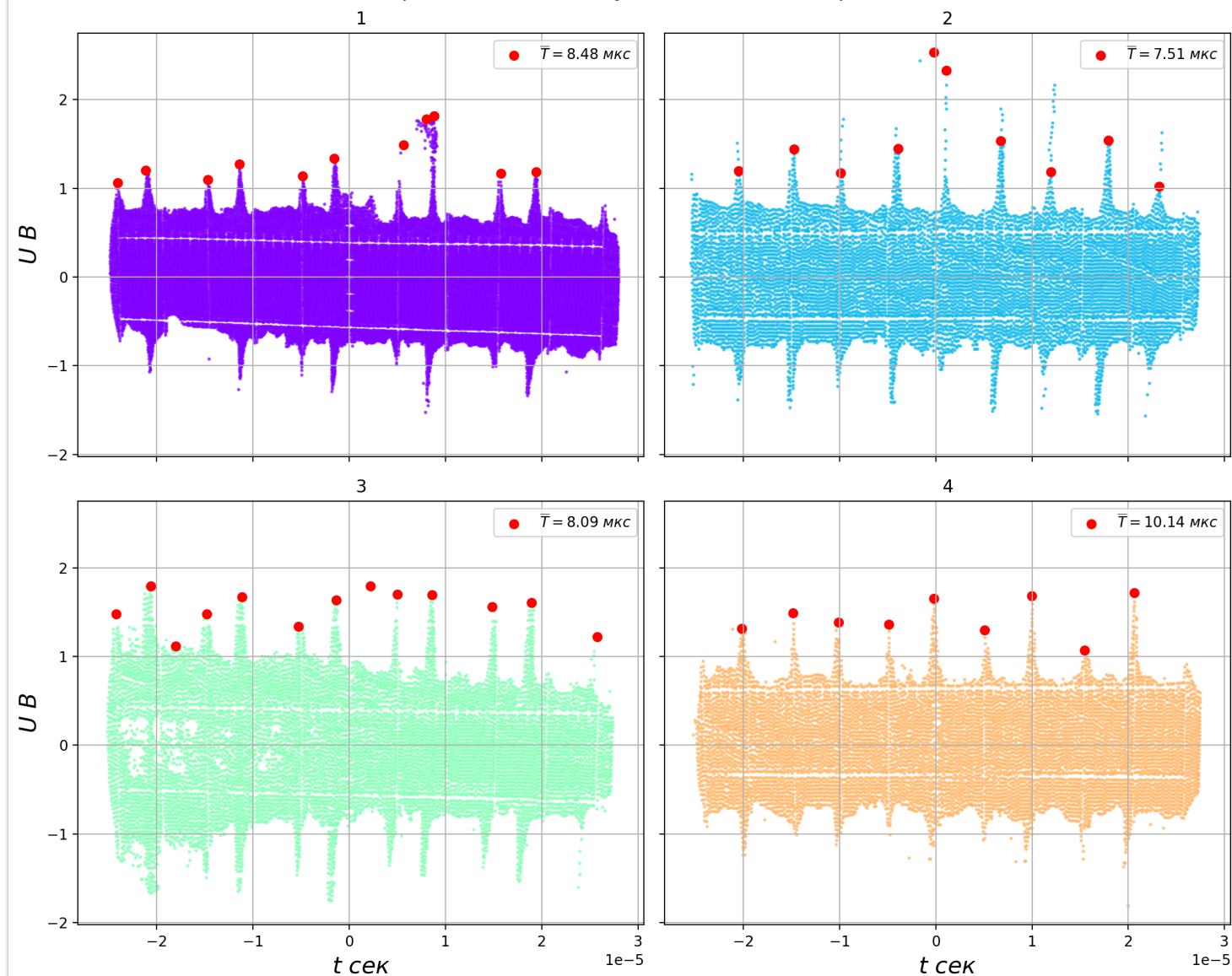
Можем найти ключевые значения напряжений:



Эксперимент 3

Соберем схему, изображенную на рисунке(рисунке).

Экспериментально полученные осциллограммы



Нахождение периода колебаний по оцифрованным осциллограммам.

Предложенная схема позволяет получать колебания в диапазоне $0.10 - 0.13 \text{ МГц}$.

Вывод