

• Вычислите емкость конденсатора без диэлектрика  $C_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ . Площадь  $S$  указана на верхней пластине конденсатора 2355, а расстояние между пластинами  $d$  равно толщине диэлектрика, указанной на испытываемом образце.

• Вычислите относительную диэлектрическую проницаемость испытываемого диэлектрика и сопротивление последовательной схемы замещения

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}, R = \frac{tg \delta}{\omega C}$$

• Занесите результаты измерений в табл. 3.1 и повторите измерения для других образцов диэлектриков.

• Выключите питание блока G1 (218).

Таблица 3.1

| Образец | C, пФ | $tg d$ | $e$ | R, Ом |
|---------|-------|--------|-----|-------|
|         |       |        |     |       |
|         |       |        |     |       |
|         |       |        |     |       |

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Что называется диэлектрическими потерями?
2. Какие виды потерь Вы знаете?
3. Что характеризует относительная диэлектрическая проницаемость?
4. Согласно проведенным испытаниям определите, какой из изоляционных материалов обладает наилучшими свойствами?

## **Лабораторная работа №4. Снятие поляризационной характеристики диэлектрика и её зависимости от температуры**

**Цель работы:** Снять экспериментально кулон-вольтовую характеристику нелинейного конденсатора  $q(u)$  при различных температурах. При одном из значений температуры рассчитать и построить поляризационную характеристику диэлектрика  $P(E)$ , и зависимость относительной диэлектрической проницаемости от напряжённости электрического поля  $\epsilon(E)$ , приняв площадь поверхности обкладки конденсатора  $S = 300 \text{ мм}^2$  и толщину изоляции  $d = 0,01 \text{ мм}$ .

### **Основы теории:**

Обратимое поглощение энергии диэлектриком при создании электрического поля связано с определенным состоянием, которое характеризуется изменением формы орбит электронов в атомах или ионах (в зависимости от структуры диэлектрика). В электрическом поле электроны будут испытывать притяжение со стороны положительных зарядов одного из электродов и отталкивание со стороны отрицательных зарядов другого, в силу чего произойдет некоторое смещение их по направлению к положительному электроду. Это смещение электронов внутри атомов или ионов называется электронной поляризацией. Она превращает каждый атом или ион в диполь, так как центры положительного и отрицательного зарядов уже не будут совпадать и между ними появится некоторое расстояние  $l$ .

Большинство диэлектриков характеризуется линейной зависимостью электрического смещения от напряженности электрического поля, созданного в диэлектрике. Особую группу составляют диэлектрики, в которых с изменением напряженности поля смещение меняется нелинейно, обнаруживая насыщение при некотором значении напряженности поля. Такие диэлектрики называются *сегнетоэлектриками*. Наименование «сегнетоэлектрик» связано с тем, что нелинейность поляризации впервые была обнаружена у сегнетовой соли.

Поляризованная частица будет обладать элементарным электрическим моментом, определяющим уравнением  $\mu = q \cdot l$ , где  $q$ - элементарный заряд

Сумма элементарных электрических моментов в единице объема данного поляризованного диэлектрика численно определяет собой так называемую интенсивность поля-

ризации и называется *поляризацией*, которая в большей степени зависит от плотности тела.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

В газах, обладающих очень малой плотностью, электронная поляризация сравнительно слаба. Этим объясняется тот факт, что у всех газов диэлектрическая проницаемость

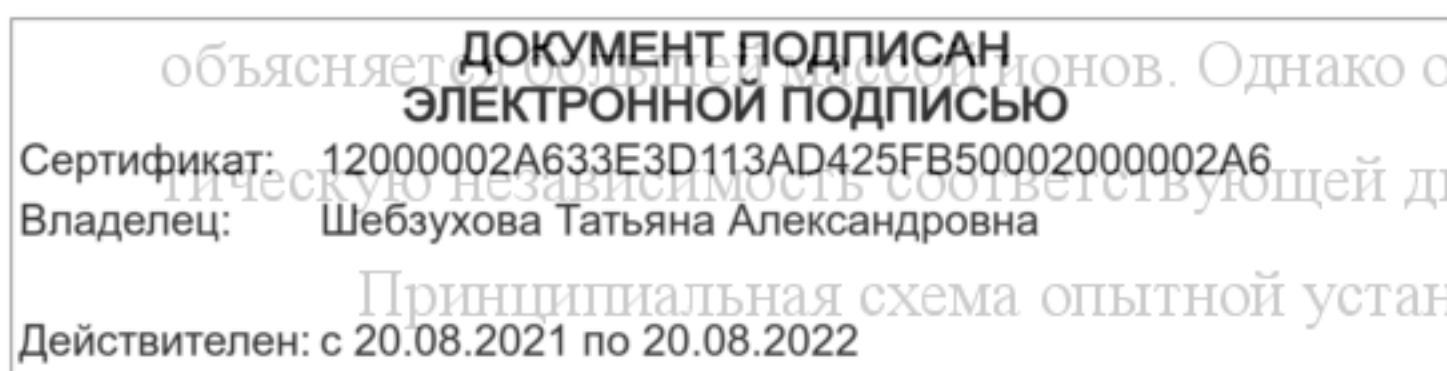
очень мало отличается от единицы и в небольшой степени зависит от плотности. В жидких и твердых телах интенсивность электронной поляризации значительно выше.

С увеличением температуры поляризованность при электронной поляризации уменьшается за счет расширения тела.

Диэлектрическая проницаемость при электронной поляризации не зависит от частоты: даже при очень малой продолжительности половины периода электроны успевают сместиться до предела, поэтому для завершения поляризации требуется очень небольшое время, порядка  $10^{-15}$ - $10^{-16}$  сек. Смещение электронов при электронной поляризации носит чисто упругий характер, и при исчезновении электрического поля – при разрядке конденсатора – электроны возвращаются в свое исходное состояние, причем весь процесс происходит без необратимого поглощения энергии. Энергия, израсходованная при создании электрического поля за счет электронной поляризации, т.е. энергия заряженного конденсатора, вся освобождается в процессе разряда – в процессе распада электрического поля.

Кроме электронной поляризации, в некоторых твердых диэлектриках может быть и другой вид поляризации – ионная характерна для ионных кристаллов. Сущность данной поляризации заключается в смещении ионов электрическим полем: положительных в сторону отрицательного электрода, отрицательных – в сторону положительного иона. Это смещение происходит на незначительные расстояния от положения равновесия при отсутствии электрического поля и носит упругий характер. Однако, в ионных кристаллах с рыхлой структурой, т.е. с неплотной упаковкой частиц, когда расстояние между ионами в узлах кристаллической решетки велики по сравнению с радиусами самих ионов, смещение последних может быть довольно велико. При этом возникают значительные суммарные электрические моменты в единице объема и наблюдается значительное возрастание емкости. Следовательно, такой диэлектрик будет иметь диэлектрическую проницаемость, намного превосходящую ее значение, обусловленное одной электронной поляризацией. Г.И. Сканави, изучая явление ионной поляризации, обнаружил у минерала перовскита диэлектрическую проницаемость, равную 160. Позднее им же были получены керамические материалы, у которых вследствие интенсивной поляризации ионного смещения диэлектрическая проницаемость имеет еще большее значение. Указанные материалы представляют большой интерес для практики, так как дают возможность получать конденсаторы с большой удельной емкостью в единице объема.

Время установления ионной поляризации несколько больше, чем электронной, что



объясняет уменьшение диэлектрической проницаемости с частотой. Однако оно достаточно мало, чтобы обеспечить практическую независимость соответствующей диэлектрической проницаемости от частоты.

Принципиальная схема опытной установки изображена на рис. 4.1.

Синусоидальное напряжение подаётся через повышающий трансформатор на цепь, состоящую из последовательно соединённых линейного конденсатора  $C_1$  и нелинейного конденсатора  $C_0$  типа K10-17 с изоляцией из сегнетоэлектрика. (Повышающий трансформатор необходим для достижения насыщения диэлектрика.) Заряды на этих конденсаторах одинаковы и пропорциональны напряжению  $u_1$ :

$$q = C_1 u_1.$$

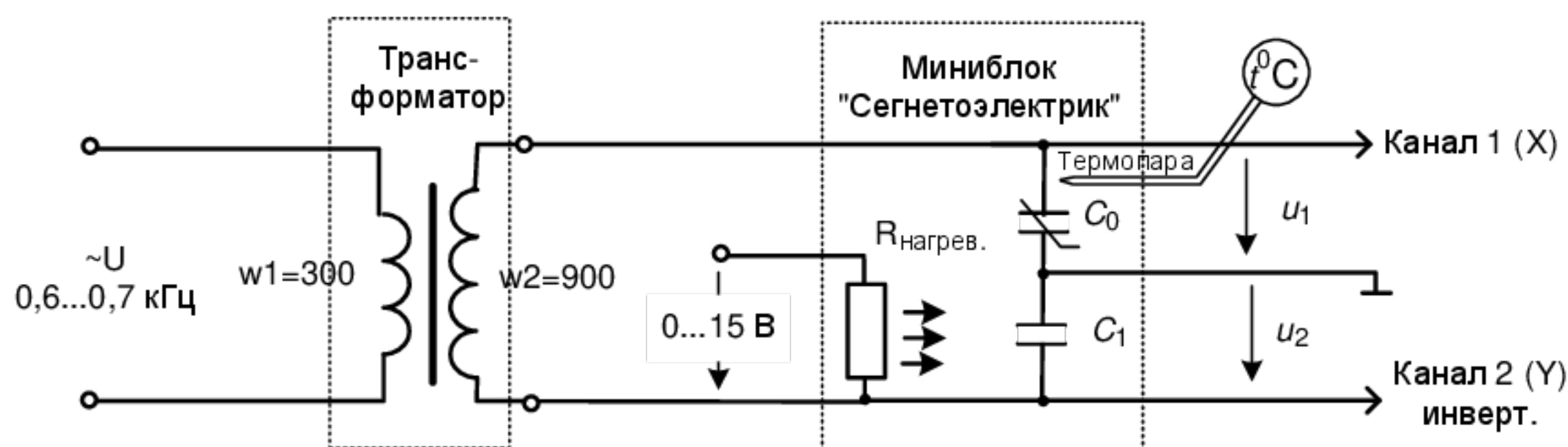
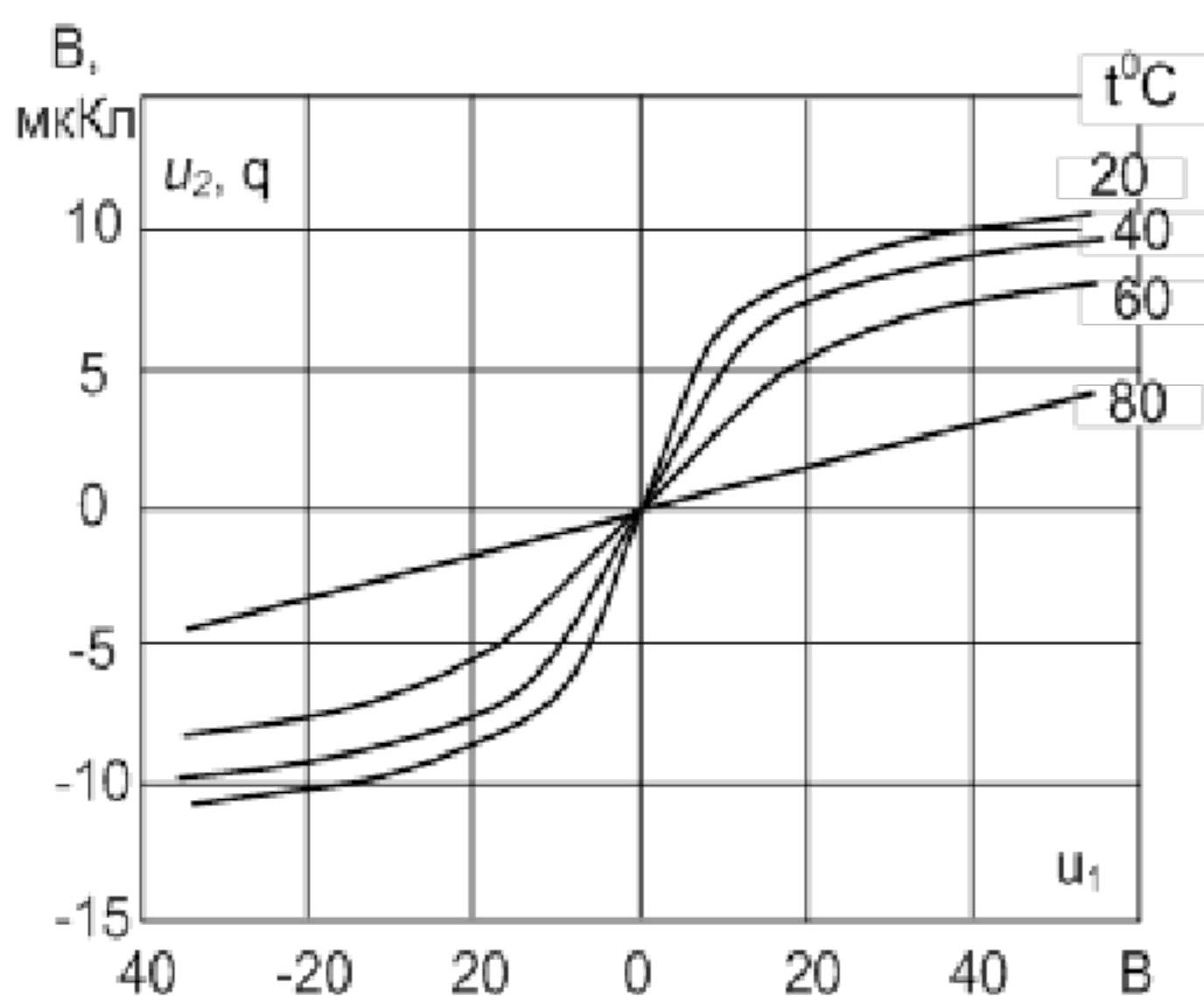


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема для снятия кулон-вольтовой характеристики конденсатора

Напряжение  $u_1$  подаётся на вертикальный вход осциллографа, а  $u_2$  - на горизонтальный. Сигнал  $u_1$  на осциллографе необходимо инвертировать, чтобы положительному напряжению соответствовало отклонение луча на дисплее вверх. На экране осциллографа появляется зависимость  $q(u)$  для нелинейного конденсатора, примерный вид которой для разных температур показан на рис. 4.2. По ней можно рассчитать поляризационную характеристику  $P(E)$ .



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Примерный вид кулон-вольтовой характеристики нелинейного конденсатора при разных температурах

Нагревание конденсатора осуществляется специальным резистором  $R_{\text{нагрев}}$  от регулируемого источника постоянного напряжения. Измерение температуры производится с помощью термопары мультиметром МУ60Т.

Точка Кюри диэлектрика конденсатора К10-17 лежит в области отрицательных температур, поэтому в данной работе она не определяется.

Для сборки схемы используется наборная панель блока генераторов напряжений, как показано на монтажной схеме (рис. 4.3).

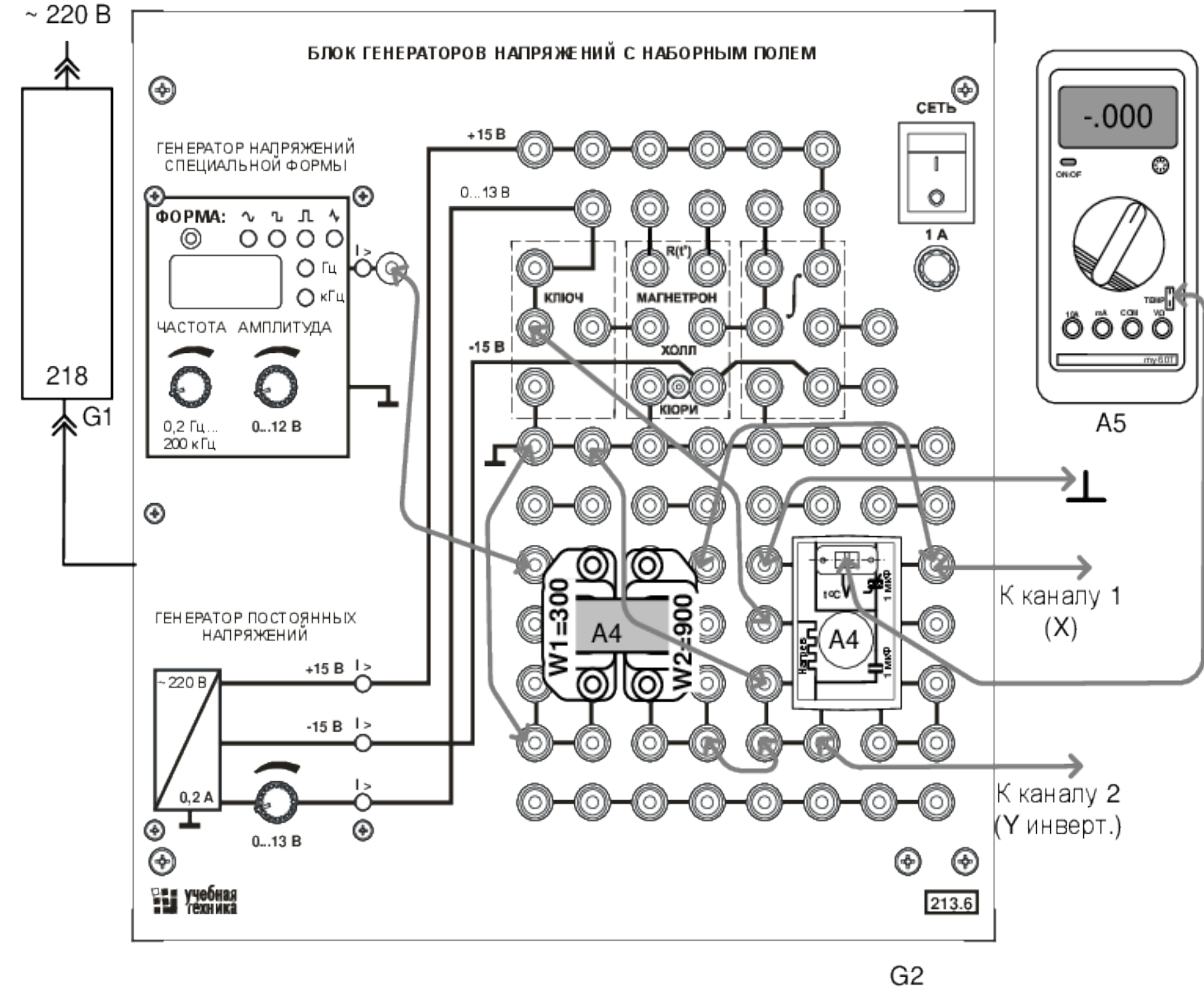


Рисунок 4.3 – Монтажная схема для снятия кулон-вольтых характеристик нелинейного конденсатора при разных температурах

| Обозначение | Наименование                                    | Тип    | Параметры                                                             |
|-------------|-------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания                     | 218    | ~ 220 В / 16 А                                                        |
| G2          | Блок генераторов напряжений                     | 213.6  | $\pm 15$ В, 0...+13 В, ~0...12 В, Л 12В. 0,2 Гц...200 кГц             |
| A4          | Набор миниблоков «Электротехнические материалы» | 600.18 | Миниблоки «Сегнетоэлектрик» и «Трансформатор с разъемным сердечником» |
| A5          | Мультиметр                                      | 1416   | Цифровой мультиметр МУ60Т                                             |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### **Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

### **Указания по выполнению лабораторной работы:**

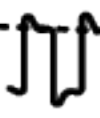
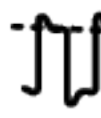
- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рис. 3.2.3). **При подключении осциллографа аттенюаторы пробников-делителей установите в положение '10. Для подключения пробников-делителей к цепи используйте подпружиненные щипцы из комплекта аксессуаров.**

- Ручку регулирования выходного напряжения  $0 \dots 15\text{В}$  генератора постоянного напряжения G2 (213.2) поверните против часовой стрелки до упора.

- Подключите кабель USB к осциллографу и к ноутбуку. При работающем компьютере подключайте кабель USB **сначала** к осциллографу а, **затем**, к ноутбуку. Включите ноутбук и активизируйте программу осциллограф. (Ярлык  DSO-2090USB на рабочем столе).

- Установите на дисплее по каждому каналу осциллографа множители  $\times 10$  и чувствительность  $20\text{ В/дел}$  по первому каналу и  $5\text{ В/дел}$  – по второму.

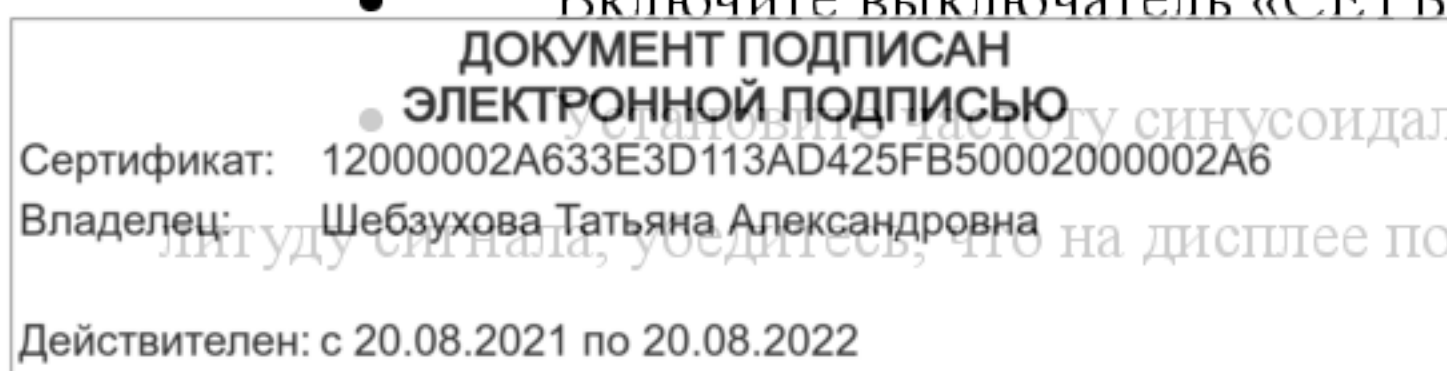
- Активизируйте полный комплект инструментов настройки осциллографа, используя пункты меню: View – Complete Tools и уберите верхние дополнительные линейки инструментов, щёлкнув на пунктах меню: View –Top Toolbar 1 и Top Toolbar 2. (*Top Toolbar Left оставьте*).

- С помощью левой вертикальной линейки инструментов настройки «включите» измерение амплитуд напряжения по первому и второму каналам (пункты меню: Ch1 -- , Ch2 --  ). Результат отображается в окне «Measurement» в виде надписей CH1: Top=\*\*\*\* и CH1: Top=\*\*\*\*. Появившиеся лишние позиции в этом окне сотрите. (*Top – положительная средневзвешенная амплитуда периодического сигнала*).

- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

- Включите выключатель «СЕТЬ» блока генераторов напряжений G2

- Подключите осциллограф к выходу синусоидального сигнала  $0,6 \dots 0,7\text{ кГц}$  и, регулируя амплитуду сигнала, убедитесь, что на дисплее появилось изображение двух кривых.



- Отрегулируйте развёртку так, чтобы на дисплее было изображение одного – двух периодов кривых. (Чувствительность по горизонтали 0,2 мс/дел.). Выведите кривые в центр экрана, сделайте инвертирование второго канала (пункты меню: Channel – CH2 Settting – Invert Off).
- Убедитесь, что сигналы совпадают по фазе, что при регулировании подаваемого синусоидального напряжения они не выходят за пределы экрана, что измеряются «CH1 Top» и «CH2 Top».
- Включите режим X – Y и убедитесь, что на экране появилось изображение кулон-вольтной характеристики конденсатора (узкой петли гистерезиса).
- Уменьшите синусоидальное напряжение до нуля и, увеличивая его шаг за шагом до максимально возможного напряжения генератора, записывайте в табл. 4.1 амплитуды напряжений на нелинейном конденсаторе -  $U_1$  (CH1) и на линейном -  $U_2$  (CH2).
- Рассчитайте поляризационную характеристику диэлектрика  $P(E)$  и дифференциальную зависимость  $\epsilon(E)$ . Выберите масштабы и постройте графики.
- При максимальном значении амплитуды приложенного напряжения сохраните изображение в желаемом формате (пункт меню File), или перерисуйте её в отчёт.
- Выберите значения температуры, при которых Вы хотите снять кулон-вольтную характеристику. Рекомендуется, кроме комнатной температуры, снять характеристику при 40, 60, и 80°C.
- Включите на мультиметре режим измерения температуры и, подайте напряжение нагрева 15 В на миниблок, повернув ручку регулятора 0...15 В вправо до упора. Убедитесь, что в миниблоке загорелась сигнальная лампочка и температура начала увеличиваться. Скорость нагрева можно регулировать, увеличивая и уменьшая напряжение нагрева.
- По мере нагревания миниблока сохраняйте или перерисовывайте кривую в отчёт при выбранных значениях температуры.
- После достижения температуры 80°C отключите нагрев и выключите все используемые блоки.
- Закройте окно виртуального осциллографа, нажав на кнопку '.
- Закройте все окна и выключите ноутбук, используя кнопку «ПУСК».
- Разберите цепь

Таблица 4.1

| $U_1$ , В<br>(горизон-<br>тальный ка-<br>нал) | $U_2$ , В<br>вертикаль-<br>ный канал) | $E$ , В/м | $D = \frac{C_1 u_1}{S}$<br>Кл/м <sup>2</sup> | $P = D - \varepsilon_0 E$<br>Кл/м <sup>2</sup> | $\varepsilon = \Delta D / (\varepsilon_0 \Delta E)$ | $E_{\text{ср}}$ , В/м |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------|-----------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| 0                                             |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                       |
| 10                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                       |
| 20                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                       |
| 30                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                       |
| 40                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                       |
| 50                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                       |
| 60                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                       |

**Содержание отчета:**

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

**Контрольные вопросы:**

1. Что называется поляризацией диэлектрика?
2. Назовите виды поляризации, и в каких веществах они встречаются?
3. От каких факторов зависит поляризация диэлектрика?
4. Из какой зависимости нелинейного конденсатора можно рассчитать поляризационную характеристику?

5. Дайте определение температуры поляризованности диэлектрика уменьша-

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

6. Дайте определение сегнетоэлектрику?

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## ***Лабораторная работа №5. Снятие петли гистерезиса ферромагнитного материала с помощью осциллографа и построение основной кривой намагничивания***

**Цель работы:** Получить на осциллографе петлю гистерезиса ферромагнетика, снять экспериментально основную кривую намагничивания, рассчитать и построить зависимость относительной магнитной проницаемости от напряжённости магнитного поля.

### ***Основы теории:***

Все вещества при рассмотрении магнитных свойств принято называть магнетиками, когда они способны под действием магнитного поля приобретать магнитный момент (намагничиваться). По своим магнитным свойствам магнетики подразделяются на три основные группы: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики.

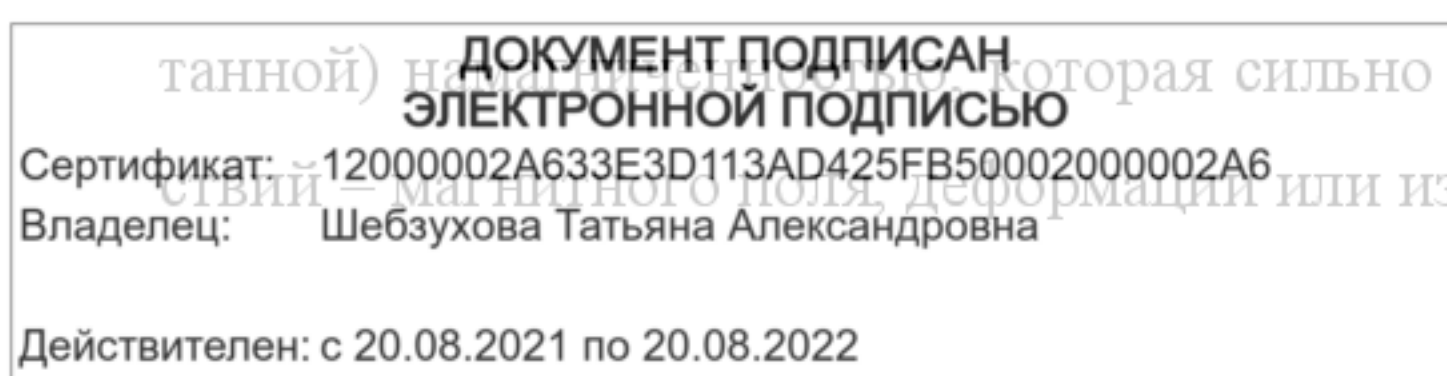
Количественной характеристикой намагничённого состояния вещества служит векторная величина – намагничённость  $J$ .

Диамагнетиками называются вещества, которые намагничиваются во внешнем магнитном поле в направлении, противоположном направлению вектора магнитной индукции поля, т.е. магнитные моменты атомов, ионов или молекул в отсутствие внешнего магнитного поля равны нулю. К диамагнетикам относятся: инертные газы, молекулярный водород и азот, цинк, медь, золото, висмут, парафин и многие другие органические и неорганические соединения.

Парамагнетики – вещества намагничивающиеся во внешнем магнитном поле по направлению поля. При внесении парамагнетиков во внешнее магнитное поле устанавливается преимущественная ориентация магнитных моментов атомов по полю (полной ориентации препятствует тепловое движение атомов). Таким образом, парамагнетик намагничивается, создавая собственное магнитное поле, совпадающее по направлению с внешним полем и усиливающее его. При ослаблении внешнего магнитного поля до нуля ориентация магнитных моментов вследствие теплового движения нарушается и парамагнетик размагничивается.

Особый класс магнетиков образуют вещества, обладающие намагничённостью в отсутствие внешнего магнитного поля. По своему наиболее распространённому представлению (железо) их называют ферромагнетиками. Ферромагнетиками называются твердые вещества, обладающие при не слишком высоких температурах самопроизвольной (спон-

танной) намагничённостью, которая сильно изменяется под влиянием внешних воздействий – магнитного поля, деформаций или изменения температуры. Ферромагнитные ве-



щества в отличие от слабомагнитных диа – и парамагнетиков являются сильномагнитными средами: внутреннее магнитное поле в них может в сотни и тысячи раз превосходить внешнее поле. Так как внешнее магнитное поле ориентирует магнитные моменты не отдельных атомов, как в парамагнетике, а целые области спонтанной намагниченности, поэтому с ростом напряженности магнитного поля намагниченность  $J$  и магнитная индукция  $B$  уже в слабых полях растет довольно быстро до достижения определенной точки в которой наступает магнитное насыщение. Описанный процесс намагничивания ферромагнитного материала во внешнем магнитном поле, более наглядно показывает кривая намагничивания, представляющая собой зависимость магнитной индукции в материале от напряженности магнитного поля (рисунок 5.1). Из рассмотрения этой кривой видно, что магнитная проницаемость с ростом напряженности магнитного поля проходит через максимум.

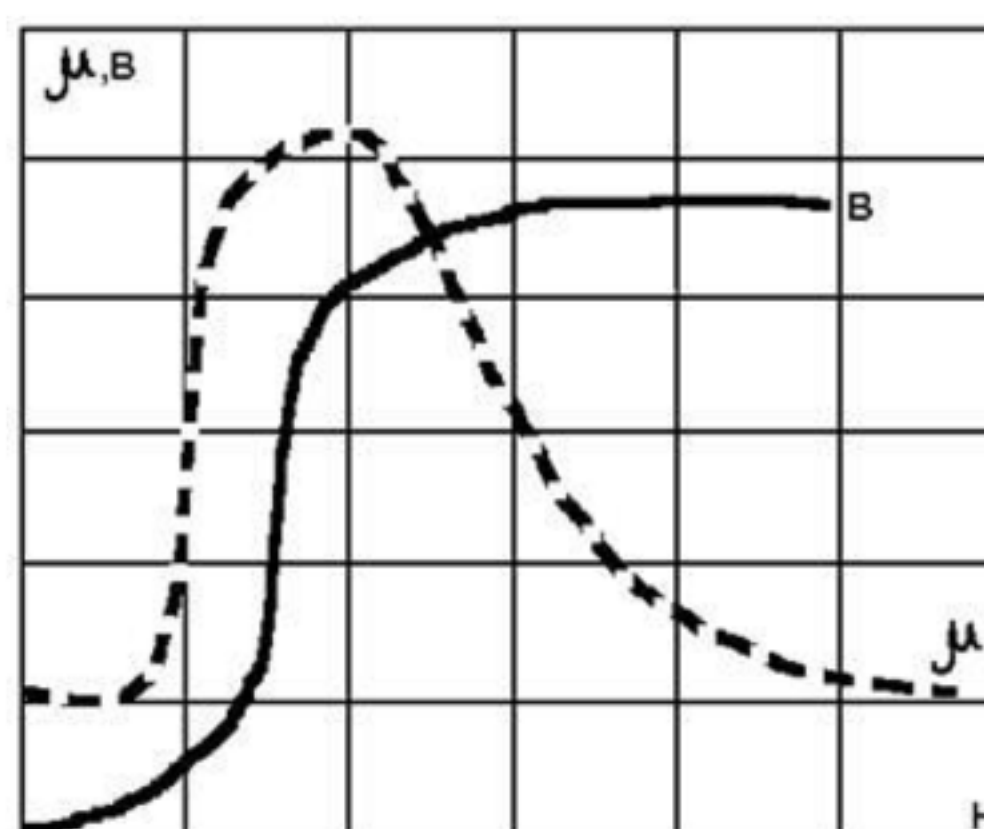


Рисунок 5.1 – Основная кривая индукции и магнитной проницаемости ферромагнитного материала

Кольцевой магнитопровод из ферромагнитного материала не намагничен и тока в витках катушки нет, т.е.  $B=0$  и  $H=0$  (начало координат на рисунке 5.2). При постепенном увеличении намагничивающего тока, т.е. магнитодвижущая сила МДС, а, следовательно, и напряженности поля от нуля до некоторого наибольшего значения магнитная индукция увеличивается по кривой начального намагничивания и достигает соответствующего максимального значения  $B_m$ . Если затем ток и напряженность поля уменьшаются, то и магнитная индукция уменьшается, при соответствующих значениях напряженности магнитная индукция несколько больше, чем при увеличении напряженности. Кривая изменения магнитной индукции располагается выше кривой начального намагничивания. При нулевых значениях тока и напряженности поля магнитная индукция имеет некоторое значение

Таким образом, магнитная индукция в ферромагнитном материале зависит не только от напряженности поля, но и от предшествующего состояния ферромагнетика. Это явление называется гистерезисом. Оно обусловлено как бы внутренним трением, возникающим при изменении ориентации магнитных моментов доменов.

При изменении направления напряженности поля и постепенном увеличении тока обратного направления напряженность поля достигает значения  $H_c$ , называемого коэрцитивной силой, при котором магнитная индукция  $B=0$ . При дальнейшем увеличении тока и напряженности поля магнитопровод намагничивается в противоположном направлении и при напряженности поля  $-H_m$  магнитная индукция достигнет значения  $-B_m$ . Затем при уменьшении тока и напряженности поля до нуля магнитная индукция становится равной  $-B_0$ . Наконец при следующем увеличении напряженности поля до прежнего значения  $H_m$  магнитная индукция увеличится также до прежнего значения  $B_m$ . Рассмотренный цикл перемагничивания ферромагнетика по кривой называется гистерезисным циклом (петлей гистерезиса).

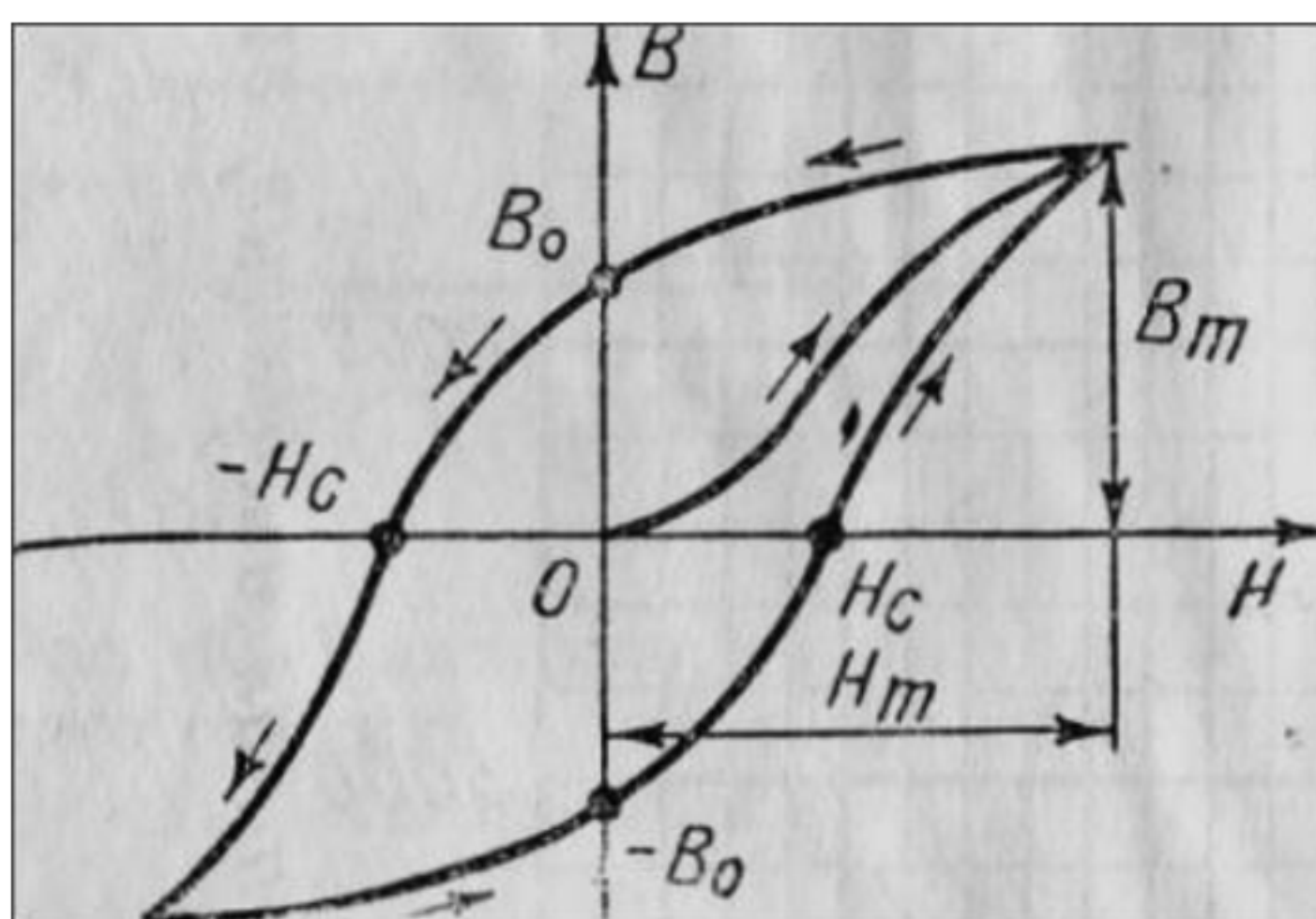


Рисунок 5.2 - Петля гистерезиса

Такая симметричная замкнутая петля гистерезиса получается в действительности только после нескольких перемагничиваний. При первых циклах перемагничивания петля несимметричная и незамкнутая. Наибольшая замкнутая петля, которая может быть получена для данного ферромагнитного материала, называется предельной.

Периодическое перемагничивание связано с затратой энергии, которая, превращаясь в тепло, вызывает нагрев магнитопровода. Площадь петли гистерезиса пропорциональна энергии, затраченной при одном цикле перемагничивания. Эта энергия называется

потерями на гистерезис. Потери выражаются в ваттах на килограмм, зависят от материала, мак-

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН**

**ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### Перечень используемого оборудования:

В работе снимается петля гистерезиса сердечника из феррита М2000НМ (миниблок «Трансформатор тороидальный») и сердечников из аморфных ферромагнитных материалов ГМ11ДС и ГМ14ДС (одноимённые миниблоки).

Зависимость  $B(H)$  - кривая намагничивания ферромагнитного материала при циклическом перемагничивании имеет вид петли. Она может быть снята с помощью осциллографа.

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 5.3.

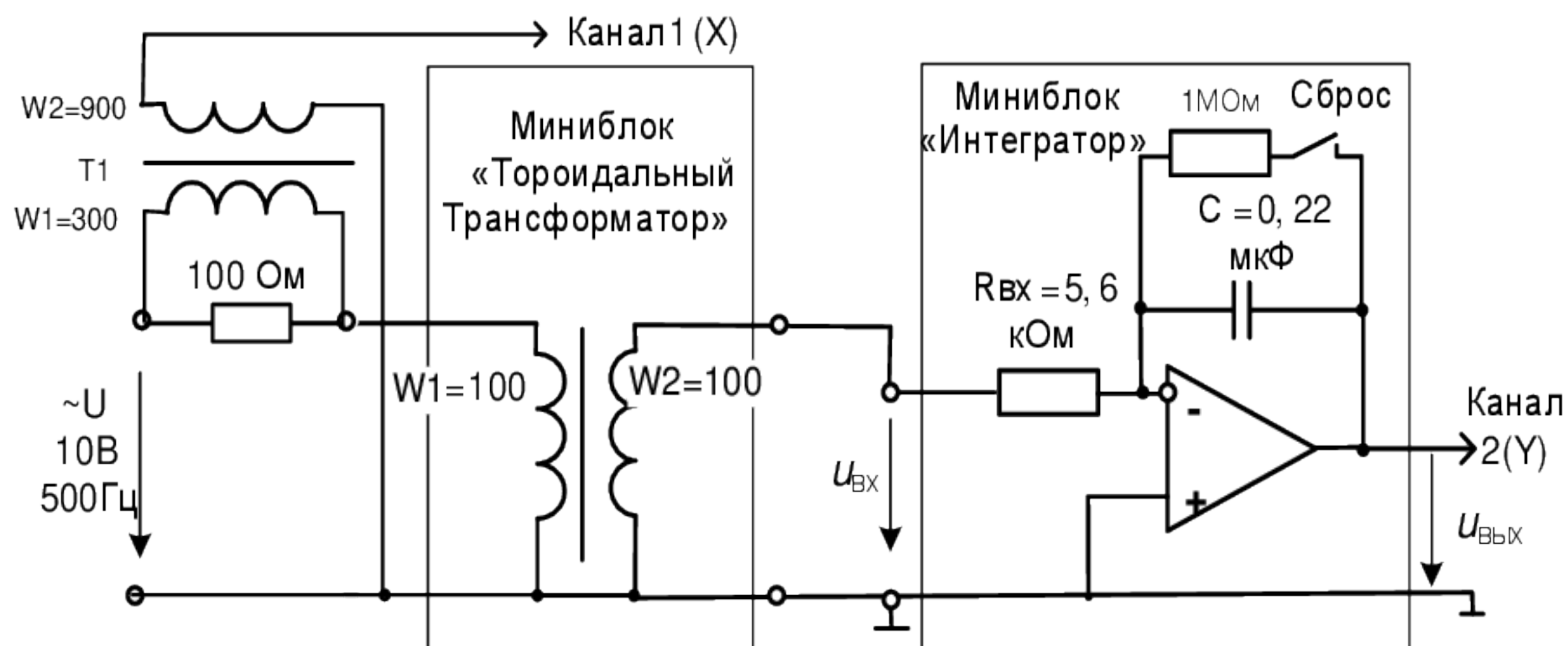
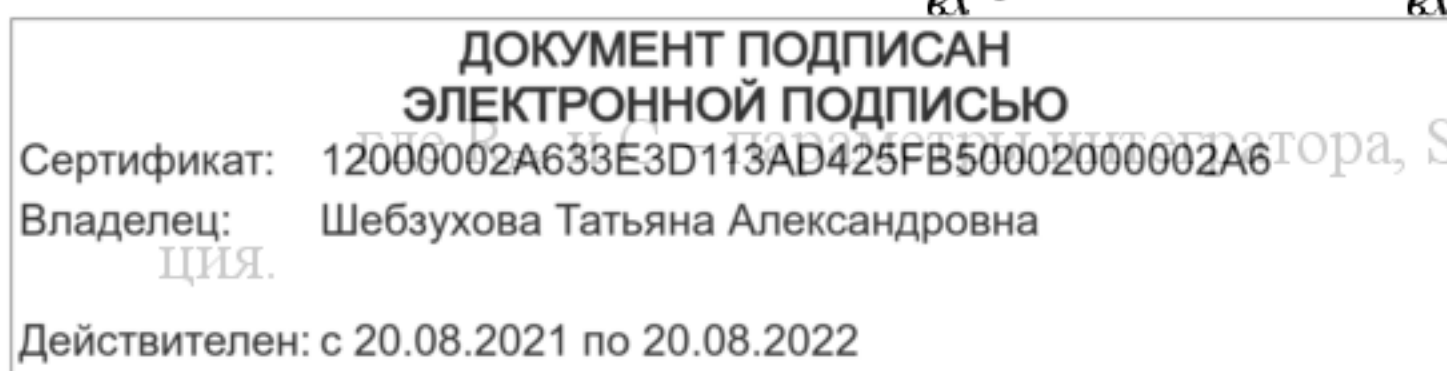


Рисунок 5.3 – Принципиальная схема для снятия петли гистерезиса

Исследуемые образцы ферромагнетиков представляют собой кольцевые сердечники, на которые намотаны по 2 обмотки 100 витков каждая. Они заключены в миниблоки: «Трансформатор тороидальный» (феррит М2000НМ), «ГМ14ДС» и «ГМ11ДС» (по обозначению марки ферромагнетика). Аналогично может сниматься петля гистерезиса кольцевого сердечника из феррита М6000НМ, который помещён в миниблоке «Точка Кюри». Этот опыт с дополнительным определением точки Кюри описан в разделе 7. Сечение магнитопровода и длина средней линии указаны на этикетках миниблоков. Первичная обмотка подключается к источнику синусоидального напряжения и служит для создания переменного магнитного потока в сердечнике. К вторичной обмотке подключён интегратор для измерения магнитного потока.

Выходное напряжение интегратора:

$$u_{вых} = \frac{1}{R_{ex}C} \int u_{ex}(t) dt = \frac{1}{R_{ex}C} \int w_2 \frac{d\Phi}{dt} dt = \frac{w_2}{R_{ex}C} \Phi = \frac{w_2}{R_{ex}C} BS,$$



— сечение сердечника а В – магнитная индук-

Для исключения интегрирования постоянной составляющей входного сигнала переключатель «Сброс» интегратора должен находиться в замкнутом состоянии.

Из рассмотренного выражения магнитная индукция в сердечнике:

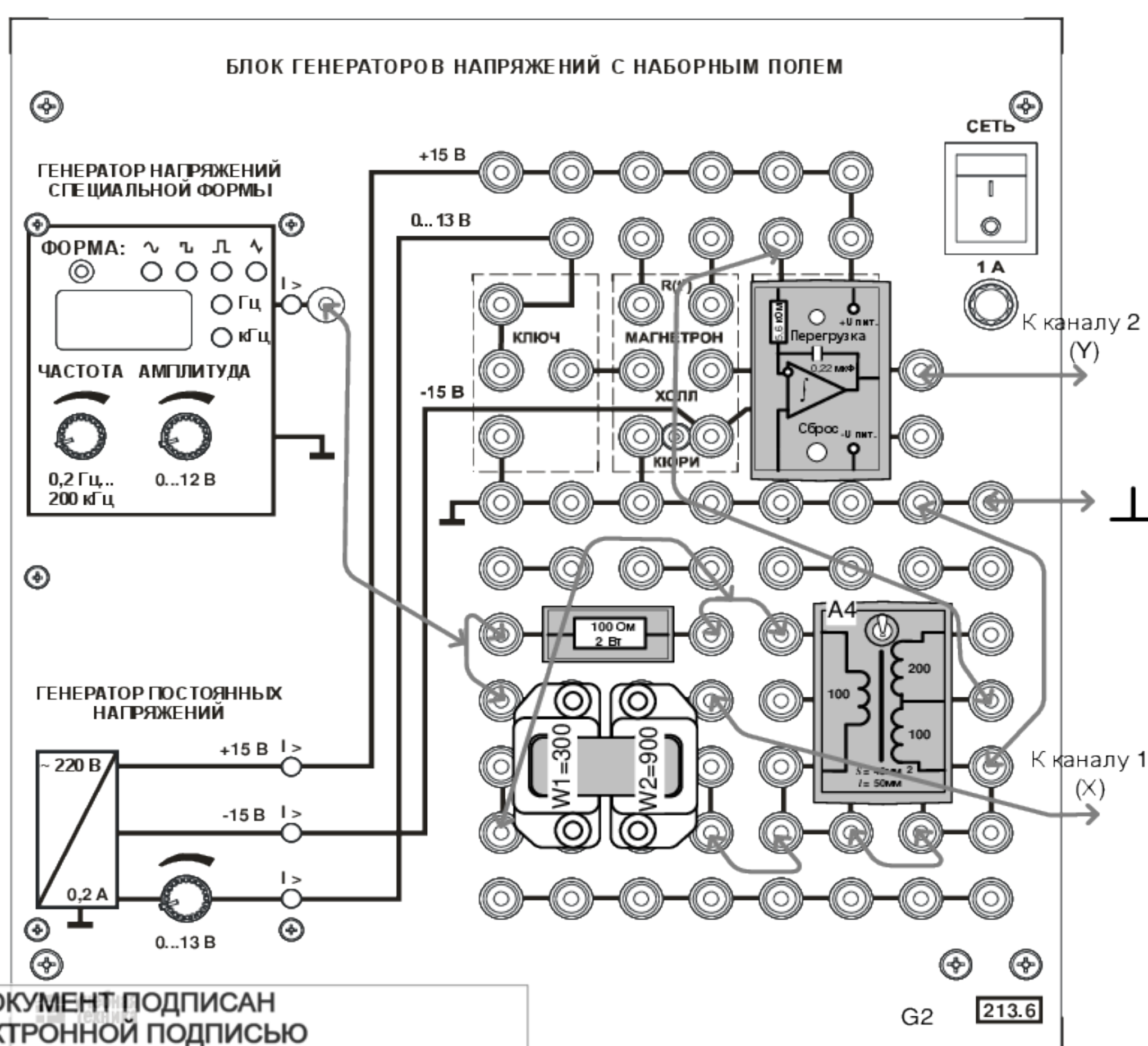
$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{R_{\text{вх}} C}{w_2 S} u_{\text{вых}}$$

Напряжённость магнитного поля в сердечнике вычисляется по закону полного тока:

$$H = \frac{i w}{l}$$

где  $l$  – длина средней линии сердечника.

Напряжение с шунта 100 Ом через трансформатор гальванической развязки Т1 подаётся на горизонтальный вход осциллографа, а напряжение  $u_{\text{вых}}$  с выхода интегратора подаётся на вертикальный вход. Поскольку первое пропорционально напряжённости магнитного поля, а второе – магнитной индукции, экране осциллографа отображается в определённом масштабе зависимость  $B(H)$ . Цепь собирается на наборном поле блока генераторов напряжений как показано на монтажной схеме (рис. 5.4). Причём, интегратор устанавливается в наборную панель точно на отведённое для него место. Тогда к нему автоматически подводятся напряжения питания «+» и «–» 15 В.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 5.4 – Монтажная схема для снятия петли гистерезиса

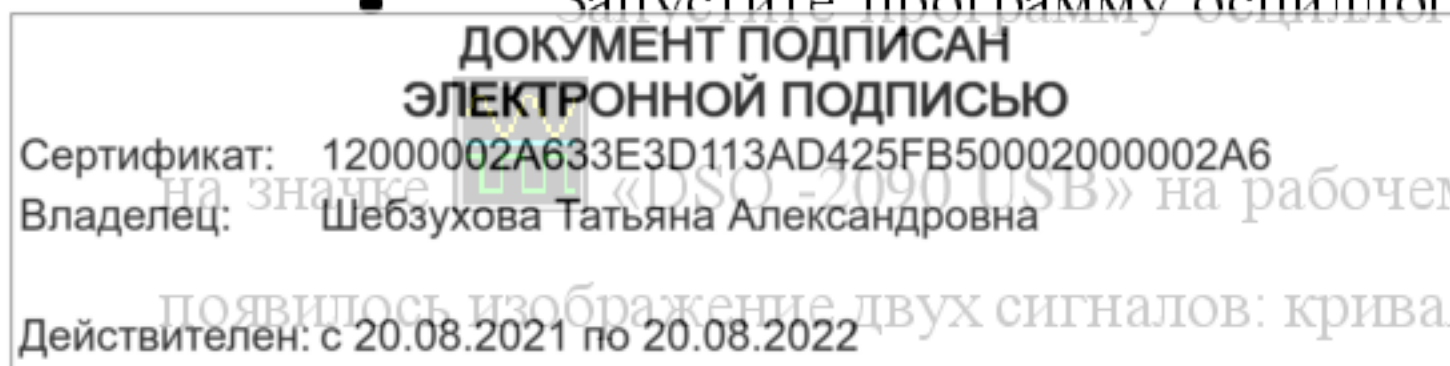
| Обозначение | Наименование                                    | Тип    | Параметры                                                                                                                                |
|-------------|-------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания                     | 218    | $\sim 220 \text{ В} / 16 \text{ А}$                                                                                                      |
| G2          | Блок генераторов напряжения                     | 213.6  | $\pm 15 \text{ В}, 0 \dots +13 \text{ В},$<br>$\sim 0 \dots 12 \text{ В}, \text{ Л } 12 \text{ В}, 0,2 \text{ Гц} \dots 200 \text{ кГц}$ |
| A4          | Набор миниблоков «Электротехнические материалы» | 600.18 | Миниблоки: «Трансформатор торроидальный», Трансформатор с разъемным сердечником, «Интегратор», «ГМ11ДС», «ГМ14ДС», «Резистор 100 Ом»     |
|             | USB осциллограф                                 | 1419   |                                                                                                                                          |
|             | Ноутбук                                         | 1420   |                                                                                                                                          |

**Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рис. 5.3). **При подключении осциллографа аттенюаторы пробников-делителей установите в положение '1. Для подключения пробников-делителей к цепи используйте подпружиненные щипцы из комплекта аксессуаров.**
- Подключите кабель USB к осциллографу и к ноутбуку. При работающем компьютере подключайте кабель USB **сначала** к осциллографу а, **затем**, к ноутбуку. Включите ноутбук.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1 (218).
- Включите блок генераторов напряжений, установите на генераторе напряжений специальной формы синусоидальный сигнал частотой 500 Гц максимальной амплитуды.
- Запустите программу осциллографа двойным щелчком левой кнопки мыши



на рабочем столе Windows и убедитесь, что на дисплее появилось изображение двух сигналов: кривая изменения тока и кривая магнитного потока.

Отрегулируйте развёртку так, чтобы на дисплее было 1...2 периода сигналов. Отрегулируйте чувствительность по каналам так, чтобы кривые не выходили за пределы экрана осциллографа.

- Активизируйте полный комплект инструментов настройки осциллографа, используя пункты меню: **Wiew – Complete Tools** и уберите верхние дополнительные линейки инструментов, щёлкнув на пунктах меню: **Wiew –Top Toolbar 1** и **Top Toolbar 2**. (**Top Toolbar Left оставьте**).

- С помощью левой вертикальной линейки инструментов настройки «включите» измерение амплитуд напряжения по первому и второму каналам (пункты меню: Ch1 -- , Ch2 -- ). Результат отображается в окне «Measurement» в виде надписей CH1: Top=\*\*\*\* и CH1: Top=\*\*\*\*. Появившиеся лишние позиции в этом окне сотрите. (*Top – положительная средневзвешенная амплитуда периодического сигнала*).

- Включите режим X-Y (канал 1 – X, канал 2 – Y) и убедитесь, что на экране появилось изображение петли гистерезиса. Отрегулируйте намагничивающий ток таким образом, чтобы максимальная магнитная индукция несколько превышала границу области насыщения. При необходимости измените чувствительность.

- Запишите в табл. 5.1 исходные значения амплитуды напряжения на шунте (CH1) и амплитуды выходного напряжения интегратора (CH2).

- Уменьшая шаг за шагом намагничивающий ток до нуля, снимите зависимость амплитуды выходного напряжения интегратора от амплитуды тока (Ток определяется как  $U_{\text{шунта}}/R_{\text{шунта}}$ ).

- Рассчитайте соответствующие значения магнитной индукции, напряжённости магнитного поля и постройте график  $B(H)$  на рис. 5.3. Вычислите относительную магнитную проницаемость по двум соседним в таблице значениям:

$$\mu = \frac{1}{\mu_0} \frac{B_{n+1} - B_n}{H_{n+1} - H_n},$$

где  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  – магнитная проницаемость пустоты

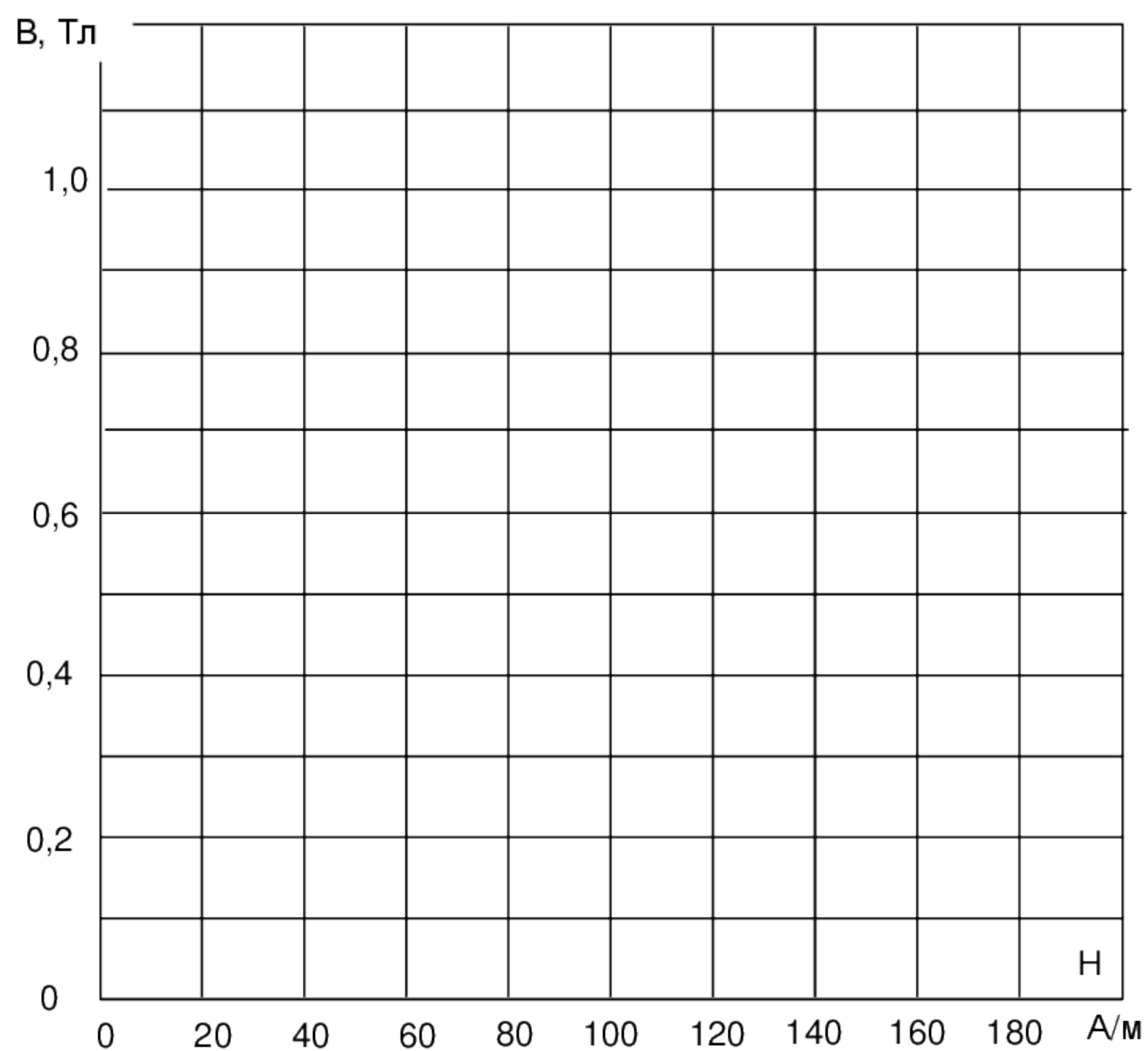


Рисунок 5.5

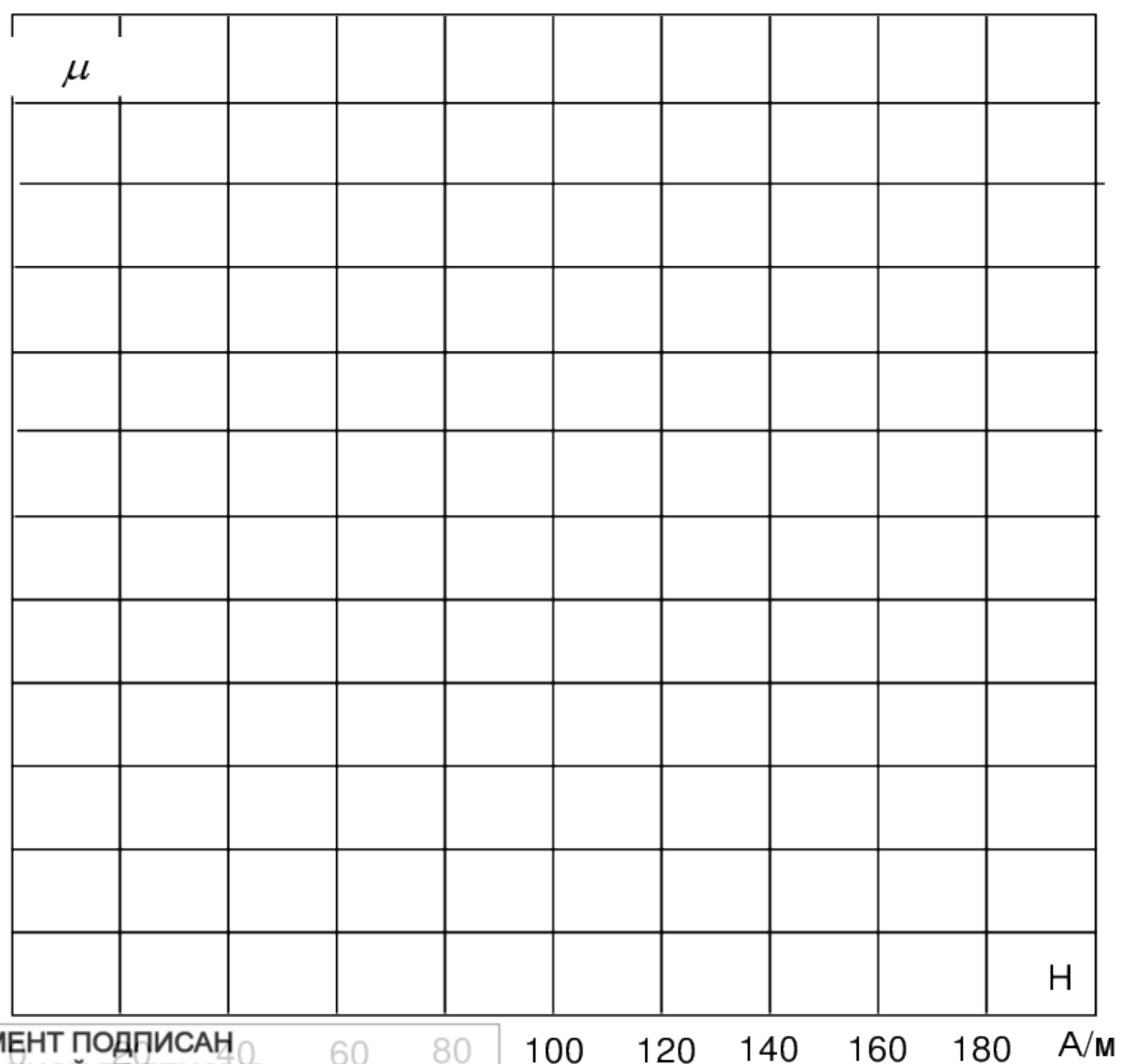


Рисунок 5.6

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
 ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
 Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
 Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Таблица 5.1

| $I_{\text{макс}}, \text{мА}$ | $U_{\text{макс}}, \text{мВ}$ | $H, \text{А/м}$ | $B, \text{Тл}$ | $\mu$ | $H_{\text{ср}}, \text{А/м}$ |
|------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|-------|-----------------------------|
| 10                           |                              |                 |                |       |                             |
| 20                           |                              |                 |                |       |                             |
| 30                           |                              |                 |                |       |                             |
| 40                           |                              |                 |                |       |                             |
| 50                           |                              |                 |                |       |                             |
| 60                           |                              |                 |                |       |                             |
| 70                           |                              |                 |                |       |                             |
| 80                           |                              |                 |                |       |                             |
| 90                           |                              |                 |                |       |                             |
| 100                          |                              |                 |                |       |                             |

- На рис. 5.5. постройте график  $m(H)$ , относя каждое вычисленное значение  $m$  к среднему значению напряжённости:

$$H_{\text{ср}} = \frac{H_{n+1} + H_n}{2}.$$

- Повторите опыт, вычисления и построения для трансформаторов «ГМ11ДС» и «ГМ14ДС». При замене миниблока с трансформатором не забудьте соединить вторичную обмотку с интегратором в соответствии с рисунком на этикетке миниблока.
- Закройте окно виртуального осциллографа, нажав на кнопку **х**.
- Закройте все окна и выключите ноутбук, используя кнопку «ПУСК».
- Разберите цепь.

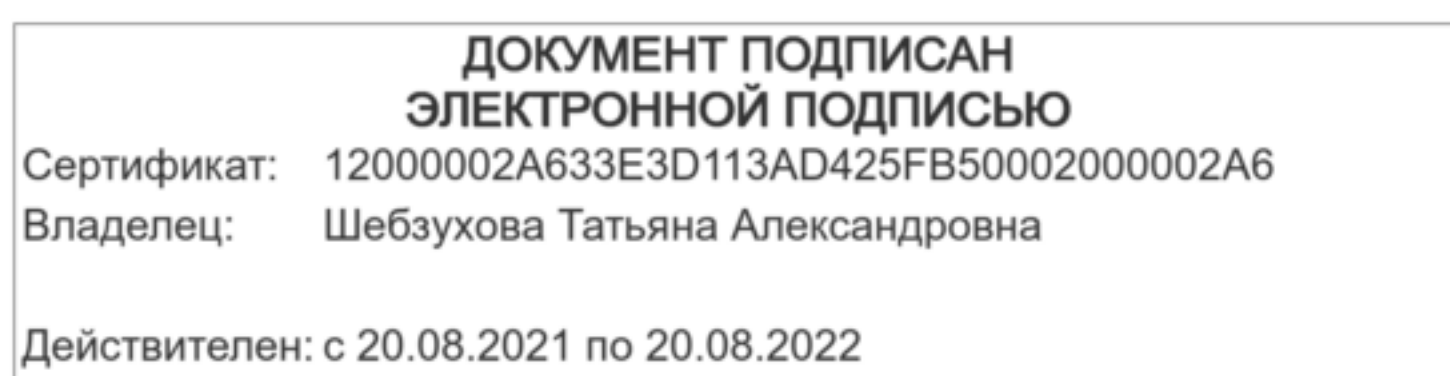
***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Как классифицируются магнетики?
2. Каковы основные свойства ферромагнетиков?
3. Как и от чего зависит вектор магнитной индукции в веществе до и после насыщения.
4. Что такое магнитная проницаемость и от чего она зависит.
5. Нарисуйте петлю гистерезиса ферромагнетика. Объясните механизм намагничивания ферромагнетика с помощью доменной структуры.
6. Объясните, что называется коэрцитивной силой.
7. Каким образом можно объяснить остаточную намагниченность.



## *Лабораторная работа №6. Снятие петли гистерезиса ферромагнитного материала с помощью осциллографа и определение точки Кюри*

**Цель работы:** Снять экспериментально петлю гистерезиса ферромагнетика при различных температурах, определить температуру Кюри и намагниченность насыщения.

### **Основы теории:**

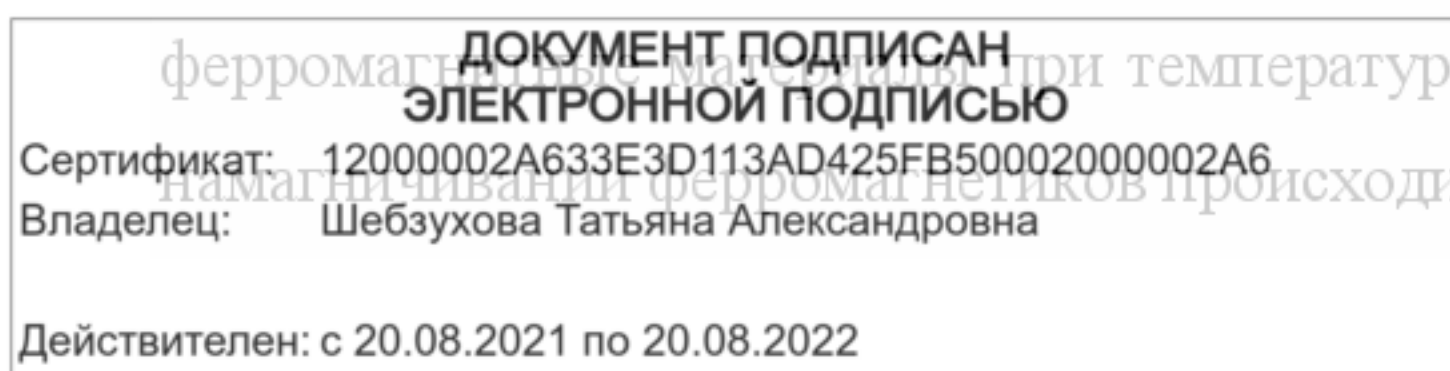
Точка Кюри, или температура Кюри, – температура фазового перехода II рода, связанного со скачкообразным изменением свойств симметрии вещества (например, магнитной – в ферромагнетиках, электрической – в сегнетоэлектриках, кристаллохимической – в упорядоченных сплавах). Названа по имени французского физика Пьера Кюри открывшего в 1895 году для железа существование температуры, выше которой у него исчезают ферромагнитные свойства и скачкообразно изменяются некоторые другие свойства, например удельная электропроводность и теплоемкость (1895). При температуре  $T$  ниже точки Кюри  $Q$  ферромагнетики обладают самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью и определённой магнитно-кристаллической симметрией.

В точке Кюри ( $T = Q$ ) интенсивность теплового движения атомов ферромагнетика оказывается достаточной для разрушения его самопроизвольной намагниченности («магнитного порядка») и изменения симметрии, в результате ферромагнетик становится парамагнетиком. Таким образом, во всех случаях фазовых переходов II рода (типа точки Кюри) при  $T = Q$  в веществе происходит исчезновение того или иного вида атомного «порядка» (упорядоченной ориентации магнитных или электрических моментов, дальнего порядка в распределении атомов по узлам кристаллической решётки в сплавах и т. п.). Вблизи точки Кюри в веществе происходят специфические изменения многих физических свойств (например, теплоёмкости, электропроводности, магнитной восприимчивости и др.), достигающие максимума при  $T = Q$ , что обычно и используется для точного определения температуры фазового перехода.

Для разных материалов точка Кюри различна, например, для чистого железа она составляет  $768^{\circ}\text{C}$ , для никеля  $358^{\circ}\text{C}$ , для кобальта  $1131^{\circ}\text{C}$ . Значения точки Кюри приводятся в специальных справочниках и являются характеристикой магнитного материала.

Ферромагнетики при температурах ниже точки Кюри обладают спонтанной намагниченностью независимо от наличия внешнего намагничивающего поля. Однако многие

ферромагнитные материалы при температурах ниже точки Кюри не намагничены. При намагничивании ферромагнетиков происходит небольшое изменение их линейных разме-



ров, т.е. увеличение или уменьшение их длины с одновременным уменьшением или увеличением поперечного сечения. Это явление называется магнитострикцией, оно зависит от строения кристаллической решетки ферромагнетика. Характеристикой магнитострикции материала является константа магнитострикции  $\lambda_s$ , выражаемая следующей формулой:

$$\lambda_s = \frac{\Delta l}{l}$$

где  $\Delta l$  – увеличение (или уменьшение) длины образца  $l$  в направлении поля  $H$  при увеличении напряженности поля от нуля до величины, вызывающей техническое насыщение.

Константа магнитострикции может быть положительной или отрицательной. Ферромагнитные материалы в большей или меньшей степени обладают магнитной анизотропией.

#### *Перечень используемого оборудования:*

При выполнении работы испытывается кольцевой сердечник из феррита М6000НМ.

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 6.1.

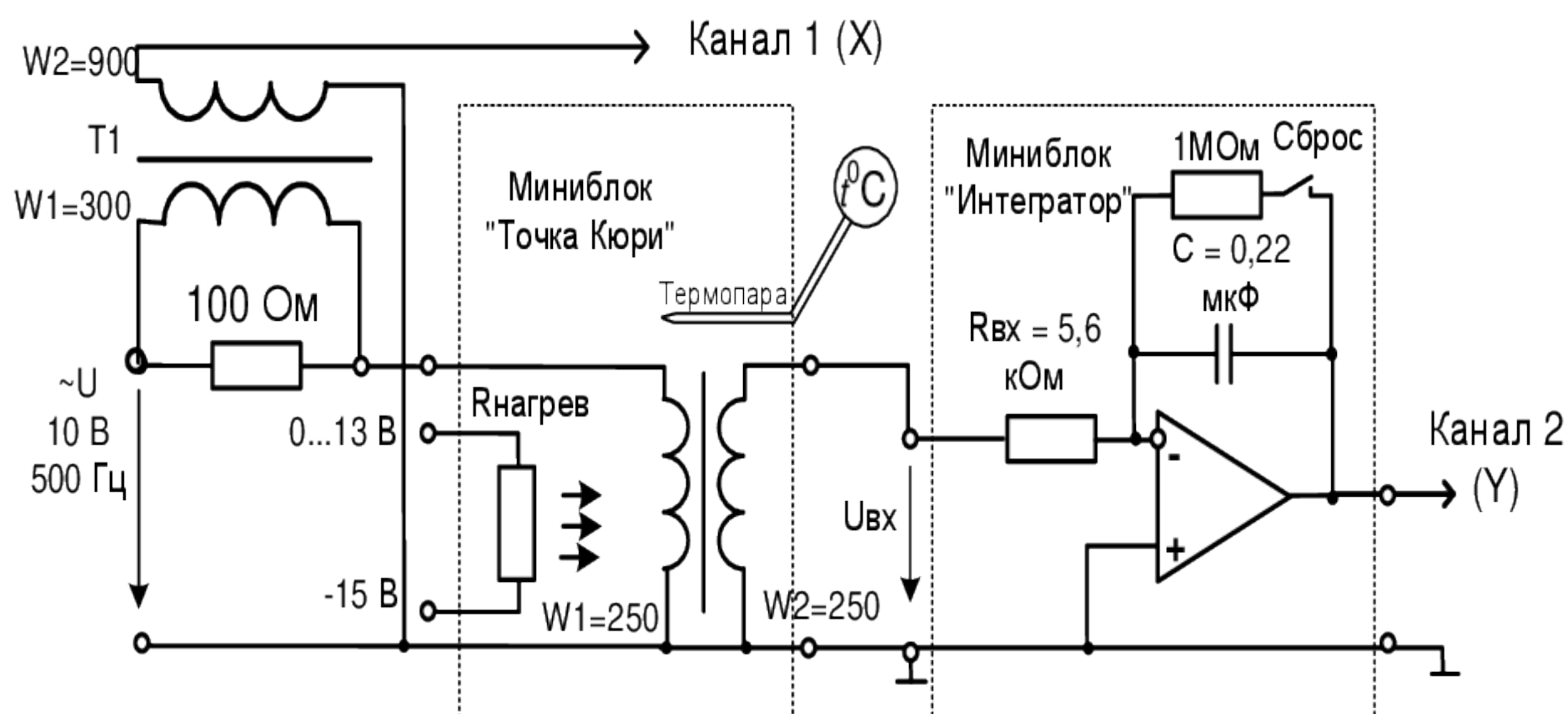


Рисунок 6.1 – Принципиальная схема для снятия петли гистерезиса и определения точки Кюри

Исследуемый образец ферромагнетика представляет собой кольцевой сердечник из феррита, сечение и длина средней линии которого указаны на этикетке миниблока «Точка

Кюри». На сердечнике намотаны две одинаковых катушки по 250 витков. Одна из них подключается к источнику синусоидального напряжения и служит для создания переменного

магнитного потока в сердечнике. К другой катушке подключён интегратор для измерения магнитного потока.

Выходное напряжение интегратора:

$$u_{\text{вых}} = \frac{1}{R_{\text{ex}} C} \int u_{\text{ex}}(t) dt = \frac{1}{R_{\text{ex}} C} \int w_2 \frac{d\Phi}{dt} dt = \frac{w_2}{R_{\text{ex}} C} \Phi = \frac{w_2}{R_{\text{ex}} C} BS,$$

где  $R_{\text{ex}}$  и  $C$  – параметры интегратора,  $S$  – сечение сердечника, а  $B$  – магнитная индукция.

Для исключения интегрирования постоянной составляющей входного сигнала переключатель «Сброс» интегратора должен находиться в замкнутом состоянии.

Из рассмотренного выражения магнитная индукция в сердечнике:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{R_{\text{ex}} C}{w_2 S} u_{\text{вых}}.$$

Напряжённость магнитного поля в сердечнике вычисляется по закону полного тока:

$$H = iw/l,$$

где  $l$  – длина средней линии сердечника.

Напряжение с шунта 100 Ом подаётся на горизонтальный вход осциллографа, а напряжение  $u_{\text{вых}}$  с выхода интегратора – на вертикальный вход. Поскольку первое пропорционально напряжённости магнитного поля, а второе – магнитной индукции, экране осциллографа отображается в определённом масштабе зависимость  $B(H)$ .

Нагревание образца осуществляется встроенным в миниблок «Точка Кюри» резистором  $R_{\text{нагрев}}$ . Напряжение на нём можно регулировать от 15 до 30 В с помощью ручки управления регулируемого источника постоянного напряжения. С увеличением напряжения увеличивается яркость свечения сигнальной лампочки, встроенной в миниблок.

Цепь собирается на наборном поле блока генераторов напряжений как показано на монтажной схеме (рис. 6.2). Причём, миниблоки «Интегратор» и «Точка Кюри» устанавливаются в наборную панель точно на отведённое для них место. Тогда к интегратору автоматически подводятся напряжения питания «+» и «–» 15 В, а к нагревателю миниблока «Точка Кюри» подаётся напряжение – 15В. Кроме того, вторичная катушка трансформатора, встроенного в миниблок соединяется с входом интегратора. Это существенно уменьшает количество внешних соединений.

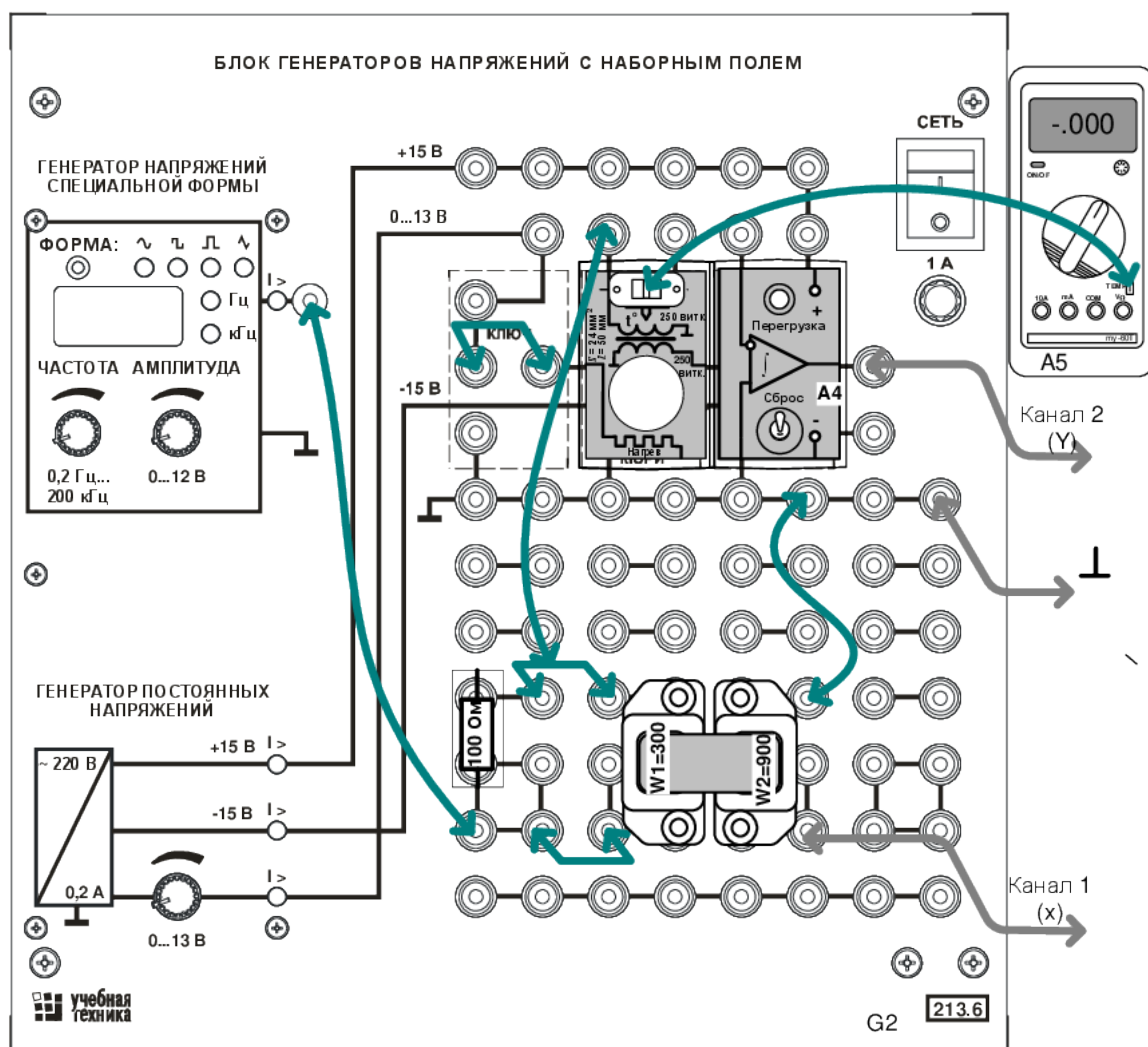


Рисунок 6.2 – Монтажная схема для снятия петли гистерезиса и определения точки Кюри

| Обозначение | Наименование                                         | Тип    | Параметры                                                                                                       |
|-------------|------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания                          | 218    | ~ 220 В / 16 А                                                                                                  |
| G2          | Блок генераторов напряжения                          | 213.2  | $\pm 15$ В, 0...+13 В,<br>~0...12 В, Л 12В.<br>0,2 Гц...200 кГц                                                 |
| A4          | Набор миниблоков «Электро-<br>технические материалы» | 600.18 | Миниблоки: «Точка<br>Кюри», «Интегратор»,<br>Трансформатор с разъем-<br>ным сердечником, «Рези-<br>стор 100 Ом» |
| A5          | Мультиметр                                           | 1416   | Цифровой мультиметр<br>MY60T                                                                                    |
|             | USB осциллограф                                      | 1419   |                                                                                                                 |
|             | Ноутбук                                              | 1420   |                                                                                                                 |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### **Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

### **Указания по выполнению лабораторной работы:**

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рис. 6.2). *При подключении осциллографа аттенюаторы пробников-делителей установите в положение '1. Для подключения пробников-делителей к цепи используйте подпружиненные щипцы из комплекта аксессуаров.*
- Подключите кабель USB к осциллографу и к ноутбуку. При работающем компьютере подключайте кабель USB **сначала** к осциллографу а, **затем**, к ноутбуку. Включите ноутбук.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1 (218).
- Установите минимальное выходное напряжение генератора постоянных напряжений блока генераторов А1 (213.2). Для этого ручку регулирования выходного напряжения 0...15В генератора постоянного напряжения поверните против часовой стрелки до упора.
- Включите блок генераторов напряжений, установите на генераторе напряжений специальной формы синусоидальный сигнал частотой 500 Гц максимальной амплитуды.
- Запустите программу осциллографа двойным щелчком левой кнопки мыши на значке  «DSO -2090 USB» на рабочем столе Windows и убедитесь, что на дисплее появилось изображение двух сигналов: кривая изменения тока и кривая магнитного потока. Отрегулируйте развёртку так, чтобы на дисплее было 1...2 периода сигналов. Отрегулируйте чувствительность по каналам так, чтобы кривые не выходили за пределы экрана осциллографа.
- Настройте осциллограф и убедитесь, что на дисплее появилось изображение двух сигналов: кривая изменения тока и кривая магнитного потока. Отрегулируйте развёртку так, чтобы на дисплее было 1...2 периода сигналов.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
образом, чтобы максимальная магнитная индукция несколько превышала границу области  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

– X, канал 2 – Y) и убедитесь, что на экране появилось изображение петли гистерезиса. Отрегулируйте намагничивающий ток таким образом, чтобы максимальная магнитная индукция несколько превышала границу области

насыщения. Для этого уменьшайте ток до тех пор, пока не исчезнут однолинейные концы петли гистерезиса. При необходимости сместите изображение в центр экрана.

- Сохраните изображение петли гистерезиса в желаемом формате (пункт меню File), или перерисуйте её в отчёт.
- Включите на мультиметре режим измерения температуры и, подайте напряжение нагрева 15 В на миниблок, повернув ручку регулятора 0...15 В вправо. Убедитесь, что в миниблоке загорелась сигнальная лампочка и температура начала увеличиваться. *Скорость нагрева можно регулировать, увеличивая и уменьшая напряжение нагрева.*
- По мере нагревания миниблока сохраняйте или перерисовывайте кривую при выбранных значениях температуры.
- Дождитесь нагрева до температуры точки Кюри (примерно 110...120°C) и сразу же отключите или убавьте нагрев. Снова сохраните изображение петли гистерезиса в желаемом формате (пункт меню File), или перерисуйте её в отчёт. Запишите температуру точки Кюри.

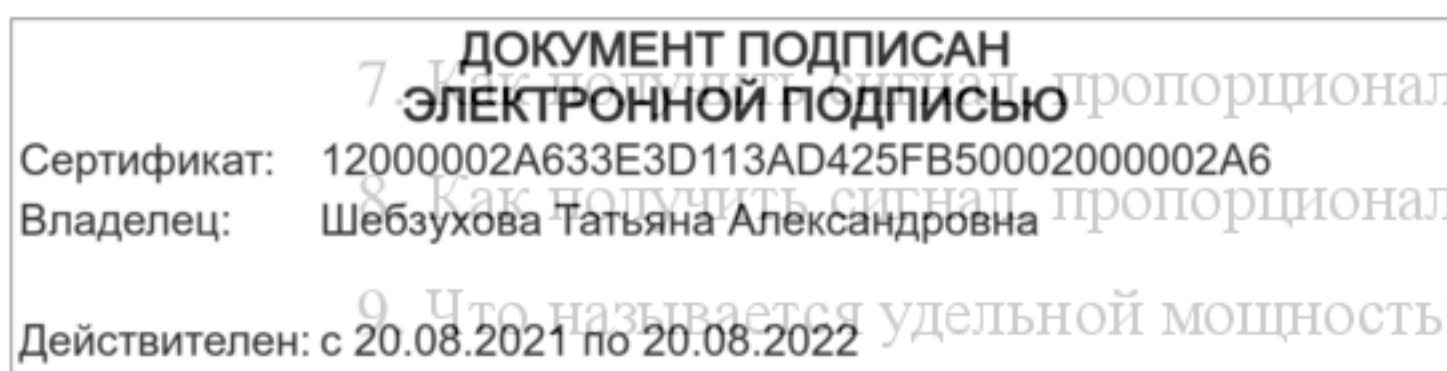
#### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

#### ***Контрольные вопросы:***

1. Что называется магнитной проницаемостью вещества?
2. Классическая теория ферромагнетизма Вейса.
3. Квантовая природа ферромагнетизма.
4. Как происходит процесс перемагничивания?
5. В чем заключается явление гистерезиса?
6. Как объясняется остаточная намагниченность?
7. Как получить пропорциональный напряженности магнитного поля  $H$ ?
8. Как получить пропорциональный магнитной индукции  $B$ ?
9. Что называется удельной мощностью электромагнитных потерь?



## **Лабораторная работа №7. Снятие начальной кривой намагничивания ферромагнитных материалов и определение магнитной проницаемости**

**Цель работы:** Снять экспериментально начальную кривую намагничивания ферромагнетика, рассчитать и построить графики  $B(H)$  и  $\mu(H)$ .

### **Основы теории:**

В технике используется несколько видов магнитной проницаемости в зависимости от конкретных применений магнитного материала.

Протекание процессов намагничивания ферромагнитного материала практически характеризуют кривыми намагничивания  $B(H)$ , имеющими сходный характер для всех ферромагнетиков. Относительная магнитная проницаемость определяется по основной кривой намагничивания как отношение индукции  $B$  к напряженности магнитного поля  $H$  в данной точке кривой намагничивания с учетом магнитной постоянной  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м:

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 \cdot H}$$

Относительная магнитная проницаемость связана с магнитной восприимчивостью следующим образом:

$$\mu = 1 + c \text{ (в единицах СИ)}$$

где  $c$  – магнитная восприимчивость.

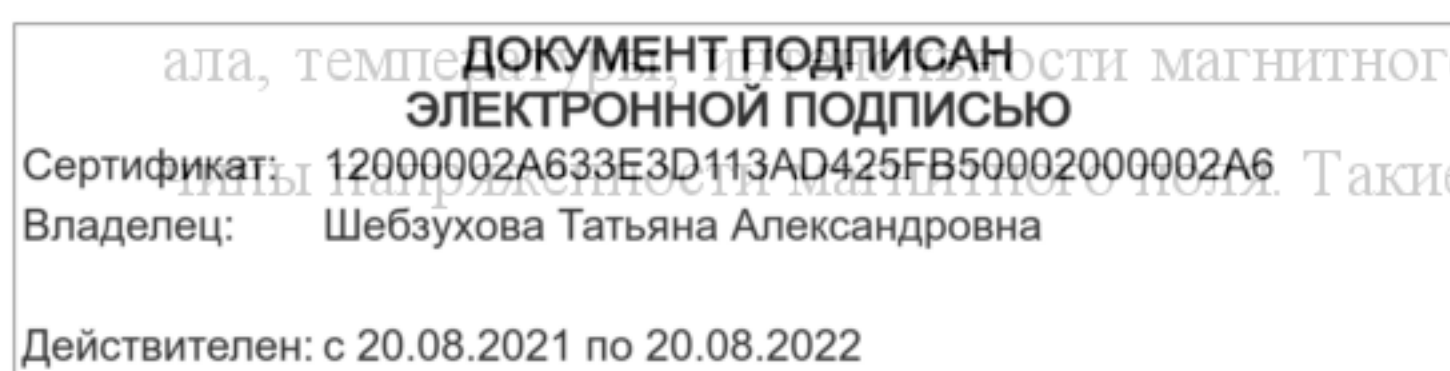
Магнитная проницаемость физического вакуума  $\mu = 1$ , так как  $c = 0$ .

Относительную магнитную проницаемость (далее просто магнитная проницаемость) при напряженности магнитного поля  $H \approx 0$  называют начальной проницаемостью  $\mu_{\text{н}}$ . Эта характеристика имеет важнейшее значение при техническом использовании многих магнитных материалов. Экспериментально ее определяют в слабых магнитных полях с напряженностью порядка 0,1 А/м. Наибольшее значение магнитной проницаемости носит наименование максимальной проницаемости и обозначается  $\mu_{\text{г макс}}$ .

Магнитная проницаемость – отвлеченное число.

Для диамагнитных материалов магнитная проницаемость меньше единицы, а у парамагнетиков не намного больше единицы. У тех и у других магнитная проницаемость не зависит от напряженности внешнего поля. Ферромагнетики – материалы, у которых магнитная проницаемость значительно больше единицы и зависит от магнитных свойств матери-

ала, температуры и напряженности магнитного поля, т.е. величины индукции или от величины напряженности магнитного поля. Такие материалы в электротехнике применяются в



качестве магнитных материалов. К числу ферромагнетиков относятся железо, никель, кобальт и многие их сплавы и соединения; ферромагнитными свойствами обладают также некоторые сплавы и соединения содержащие алюминий, хром, марганец, медь, серебро.

Для характеристики изменения магнитной проницаемости при изменении температуры пользуются температурным коэффициентом магнитной проницаемости ( $K^{-1}$ )

Характеристикой ферромагнетиков в переменных магнитных полях является динамическая магнитная проницаемость, представляющая собой отношение наибольшего значения индукции к наибольшему значению напряженности магнитного поля. С увеличением частоты переменного поля динамическая магнитная проницаемость уменьшается из-за инерционности магнитных процессов.

Абсолютная магнитная проницаемость равна произведению относительной магнитной проницаемости на магнитную постоянную:

$$\mu_a = \mu_r \cdot \mu_0$$

Абсолютную магнитную проницаемость различных материалов и сред сравнивают с магнитной постоянной

В работе снимается начальная кривая намагничивания сердечника из феррита М2000НМ (миниблок «Трансформатор тороидальный»).

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 7.1.

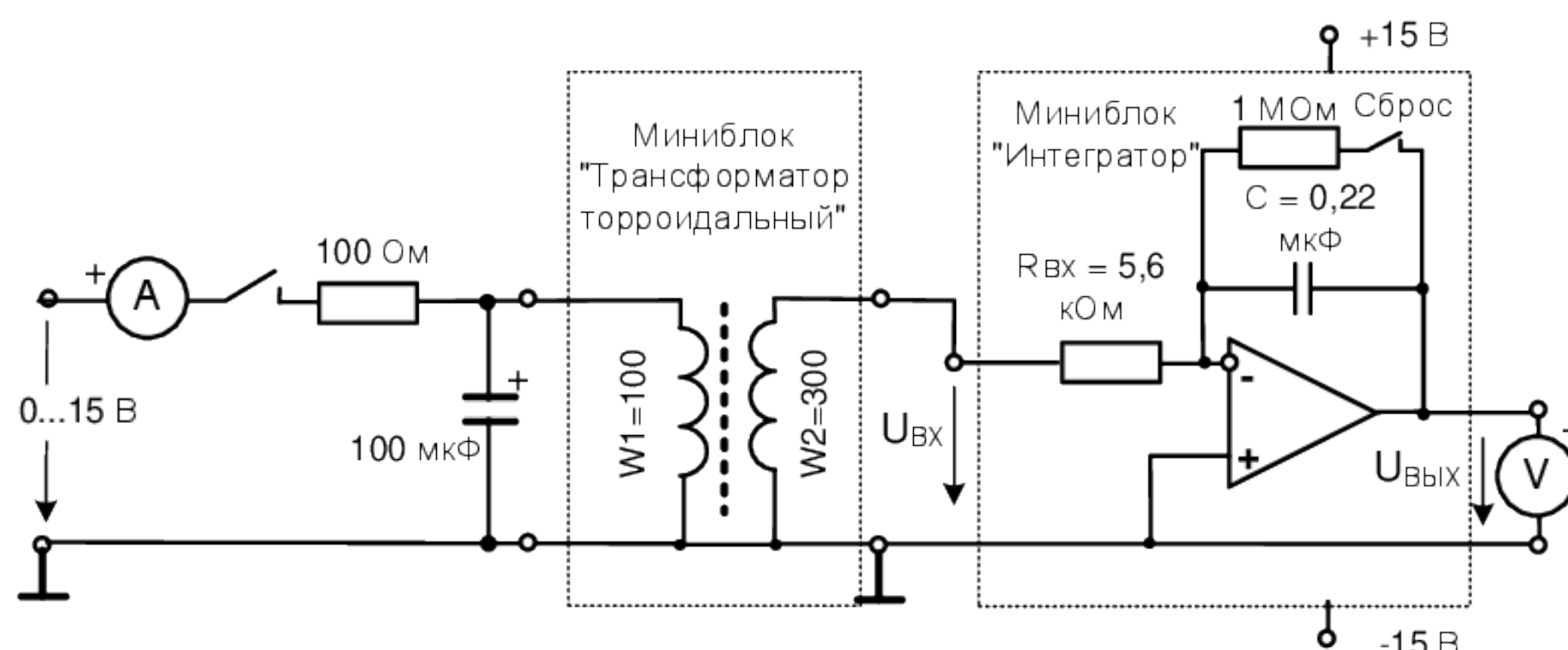


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема для снятия начальной кривой намагничивания

Исследуемый образец ферромагнетика представляет собой кольцевой сердечник из феррита, сечение и длина средней линии которого указаны на этикетках миниблока «Трансформатор тороидальный». На сердечнике имеются две катушки. Катушка  $w_1=100$  витков подключается к источнику регулируемого постоянного напряжения и служит для создания

тока можно изменять тумблером на миниблоке. К другой катушке ( $w_2=300$  витков) подключён интегратор для измерения магнитного

Начальная кривая намагничивания снимается путём включения катушки  $w_1$  на различные по величине постоянные токи. Ток регулируется величиной подаваемого напряжения и ограничивается резистором 100 Ом на входе. Конденсатор 100 мкФ, включённый параллельно катушке, служит для ограничения перенапряжений и создания колебательного контура при отключении цепи. При выключении цепи в катушке возникает затухающий колебательный процесс и сердечник размагничивается.

При включении цепи магнитный поток изменяется от 0 до  $+\Phi$  и в процессе этого изменения во вторичной катушке наводится ЭДС

$$e(t) = w_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Выходное напряжение интегратора:

$$u_{\text{вых}} = \frac{1}{R_{\text{ex}} C} \int_0^t u_{\text{ex}}(t) dt + u_{\text{вых}}(0).$$

где  $R_{\text{ex}}$  и  $C$  – параметры интегратора, а  $u_{\text{ex}}(t) = e(t)$ .

На интеграторе имеется переключатель «Сброс», с помощью которого перед началом интегрирования устанавливается  $u_{\text{вых}}(0)=0$ . Поэтому:

$$u_{\hat{a}\hat{o}} = \frac{1}{R_{\hat{a}\hat{o}} C} \int_0^t w_2 \frac{d\hat{O}}{dt} dt = \frac{1}{R_{\hat{a}\hat{o}} C} \int_0^{\hat{O}} d\hat{O} = \frac{w_2}{R_{\hat{a}\hat{o}} C} \hat{O} = \frac{w_2}{R_{\hat{a}\hat{o}} C} BS,$$

где  $S$  – сечение сердечника а  $B$  – магнитная индукция.

Отсюда магнитная индукция в сердечнике:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{R_{\hat{a}\hat{o}} C}{w_2 S} u_{\hat{a}\hat{o}}$$

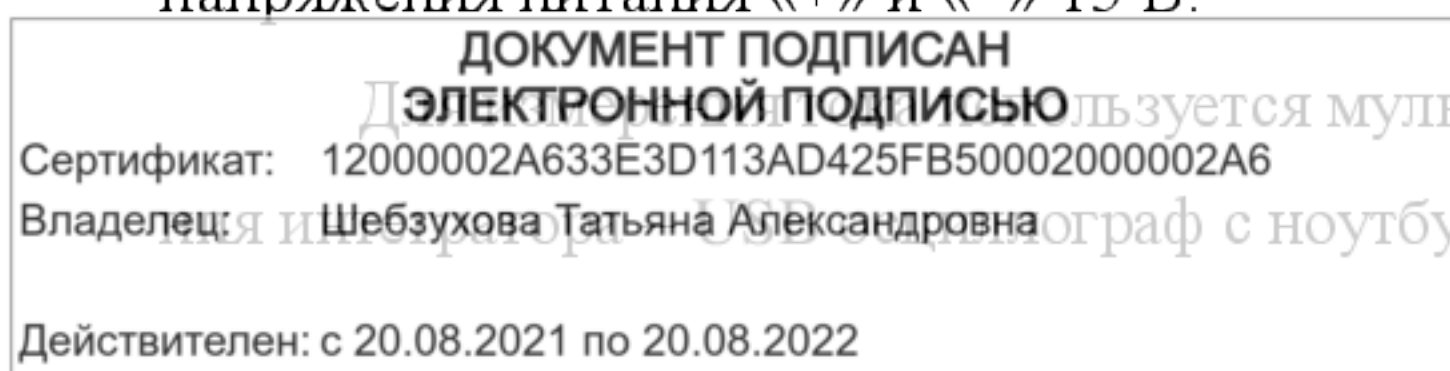
Напряжённость магнитного поля определяется по закону полного тока:

$$H = \frac{I_1 w_1}{l},$$

где  $l$  – длина средней линии сердечника.

Включая катушку на различные по величине токи и измеряя выходное напряжение интегратора  $u_{\text{вых}}$  и ток  $I_1$ , можно вычислить начальную кривую намагничивания  $B(H)$ .

Цепь собирается на наборном поле блока генераторов напряжений как показано на монтажной схеме (рис. 7.2). Причём, миниблок «Интегратор» устанавливается в наборную панель точно на отведённое для его место. Тогда к интегратору автоматически подводятся напряжения питания «+» и «-» 15 В.



Для измерения тока используется мультиметр, а для измерения выходного напряжения – осциллограф с ноутбуком.

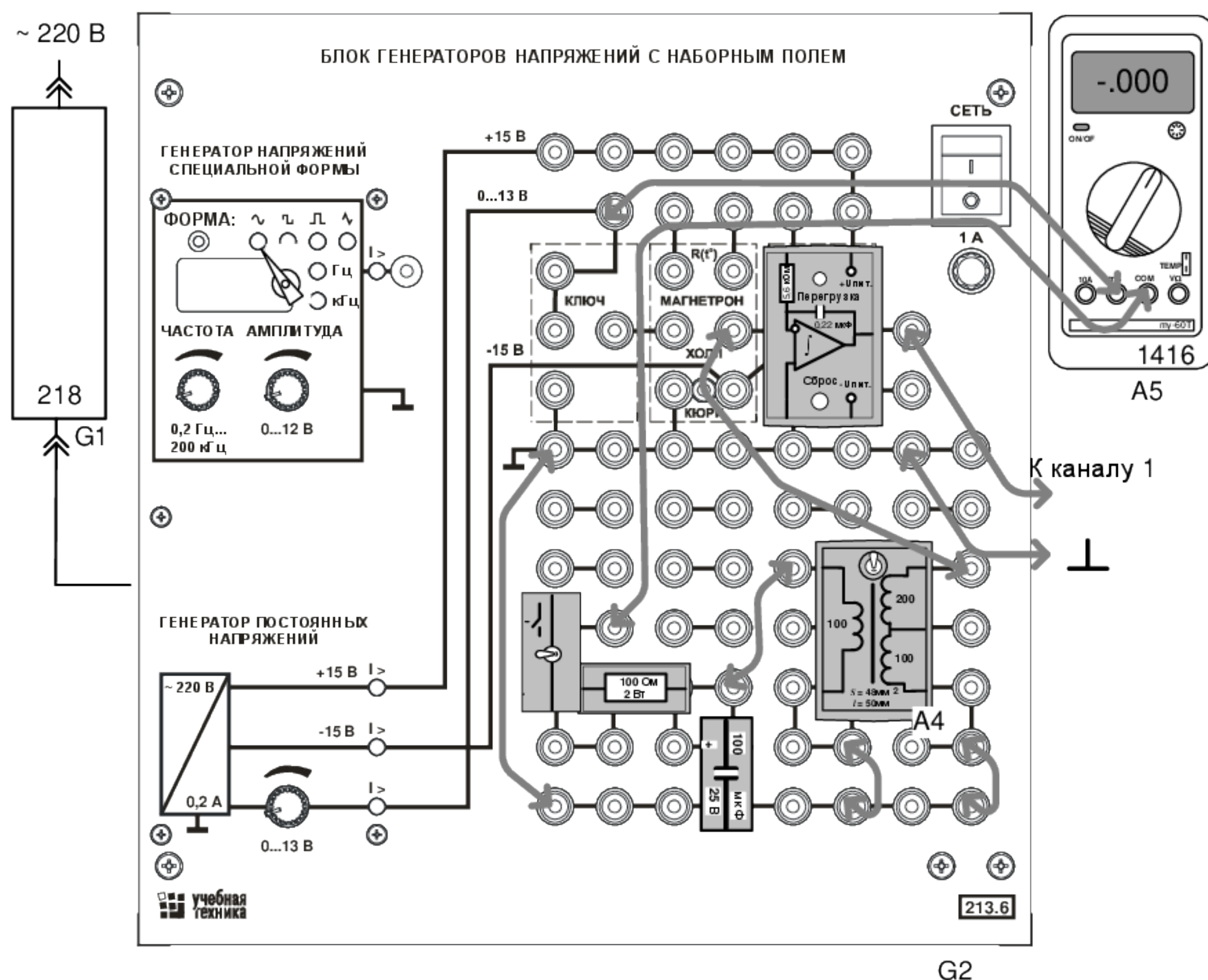


Рисунок 7.2 – Монтажная схема для снятия начальной кривой намагничивания

| Обозначение | Наименование                                    | Тип    | Параметры                                                                                                                                            |
|-------------|-------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания                     | 218    | $\sim 220 \text{ В} / 16 \text{ А}$                                                                                                                  |
| G2          | Блок генераторов напряжения                     | 213.2  | $\pm 15 \text{ В}$ , $0 \dots +13 \text{ В}$ , $\sim 0 \dots 12 \text{ В}$ , Л $12 \text{ В}$ , $0,2 \text{ Гц} \dots 200 \text{ кГц}$               |
| A4          | Набор миниблоков «Электротехнические материалы» | 600.18 | Миниблоки: «Трансформатор тороидальный», «Интегратор», «ГМ11ДС», «ГМ14ДС», «Резистор $100 \text{ Ом}$ », «Конденсатор $100 \text{ мкФ}$ », «Тумблер» |
| A5          | Мультиметр                                      | 1416   | Цифровой мультиметр MY60T                                                                                                                            |
|             | USB осциллограф                                 | 1419   |                                                                                                                                                      |
|             | Ноутбук                                         | 1420   |                                                                                                                                                      |
|             |                                                 |        |                                                                                                                                                      |

**Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### **Указания по выполнению лабораторной работы:**

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рис. 7.2). *При подключении осциллографа аттенюаторы пробника-делителя установите в положение '1. Для подключения пробника-делителя к цепи используйте подпружиненные щипцы из комплекта аксессуаров.*
- Подключите кабель USB к осциллографу и к ноутбуку. При работающем компьютере подключайте кабель USB **сначала** к осциллографу а, **затем**, к ноутбуку. Включите ноутбук.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1 (218).
- Установите минимальное выходное напряжение генератора постоянных напряжений блока генераторов A1 (213.2). Для этого ручку регулирования выходного напряжения 0...15В генератора постоянного напряжения поверните против часовой стрелки до упора и включите генератор. Переключатель на интеграторе должен быть в положении «Сброс».
- Запустите программу осциллографа двойным щелчком левой кнопки мыши на значке  «DSO -2090 USB» на рабочем столе Windows. Установите развёртку по горизонтали 10 мс/дел., включите инвертирование первого канала (пункты меню: Channel – CH1 Setting – Invert Off) и переключите первый канал на «открытый вход» (с постоянной составляющей). Второй канал можете отключить.
- Включите тумблер на входе исследуемой цепи и установите первое значение тока  $I_1$ , например, 5 мА. Включая и выключая тумблер, убедитесь по осциллографу, что на выходе появляется напряжение, причём, при включении и отключении цепи возникает колебательный процесс.
- Отрегулируйте чувствительность по оси Y так, чтобы броски напряжения при включении и выключении не выходили за пределы экрана.
- При выключенном токе переведите переключатель «Сброс» в нижнее положение и сразу же включите ток тумблером на входе цепи. На выходе интегратора произойдёт бросок напряжения, который нужно сразу зафиксировать (записать, запомнить или измерить с

помощью осциллографа по вертикальной оси, как описано в Руководстве пользователя). В дальнейшем напряжение будет медленно меняться в ту или другую сторону вследствие интег-

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

рирования токов утечки и неточности балансировки усилителя. Для большей достоверности повторите этот опыт несколько раз и запишите в табл. среднее, либо наиболее часто повторяющееся значение выходного напряжения. Переведите тумблер в положение «Сброс»

- Установите следующее значение тока, выключите ток и повторите опыт при новом значении тока. При этом возможно понадобится изменение масштаба по оси  $Y$ .
- Постепенно увеличивайте ток намагничивания и повторяйте опыт при каждом его значении, записывая результаты в табл. 7.1.
- Вычислите магнитную индукцию и напряжённость магнитного поля.
- Вычислите магнитную проницаемость по двум соседним в таблице значениям:

$$\mu = \frac{1}{\mu_0} \frac{B_{n+1} - B_n}{H_{n+1} - H_n},$$

где  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  – магнитная проницаемость пустоты.

- Постройте графики  $B(H)$  и  $\mu(H)$ , относя каждое вычисленное значение  $\mu$  к среднему значению напряжённости

$$H_{cp} = \frac{H_{n+1} + H_n}{2}.$$

Таблица 7.1

| $I$ , мА                                                                                                                                                                                                                                                       | $U_{\text{вых}}$ мВ | $H$ , А/м | $B$ , Тл | $\mu$ | $H_{\text{ср}}$ , А/м |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------|----------|-------|-----------------------|
| 2                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |           |          |       |                       |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |           |          |       |                       |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |           |          |       |                       |
| 8                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |           |          |       |                       |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |           |          |       |                       |
| 15                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |           |          |       |                       |
| 20                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |           |          |       |                       |
| <div> <div>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН</div> <div>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</div> <div>Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6</div> <div>Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна</div> <div>50</div> <div>Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022</div> </div> |                     |           |          |       |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |           |          |       |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |           |          |       |                       |

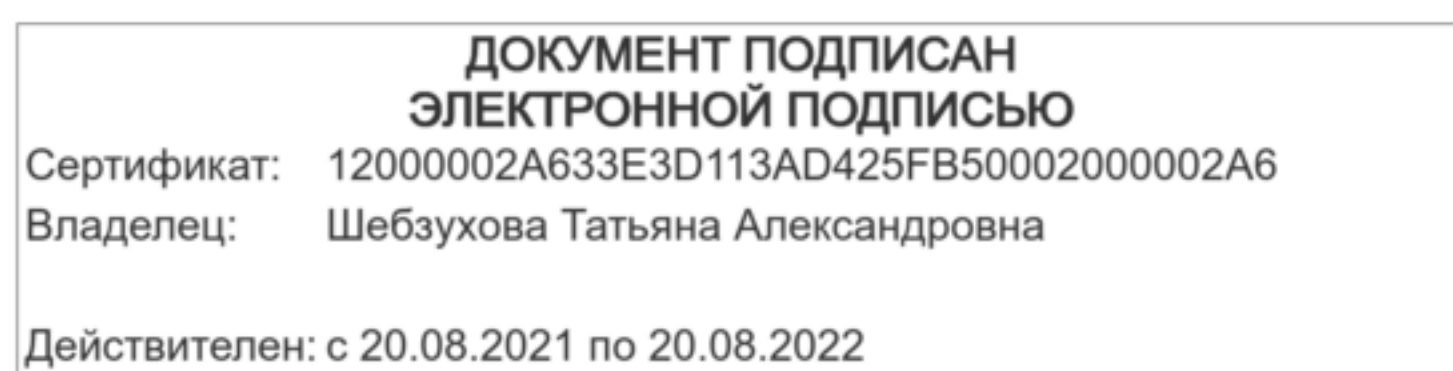
***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Опишите магнитное поле в веществе.
2. Охарактеризуйте вещества по их магнитным свойствам.
3. Какой формулой определяется магнитная проницаемость вещества?
4. Что такое домены?
5. Как получается петля гистерезиса?



## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **5.1.2 Перечень основной литературы:**

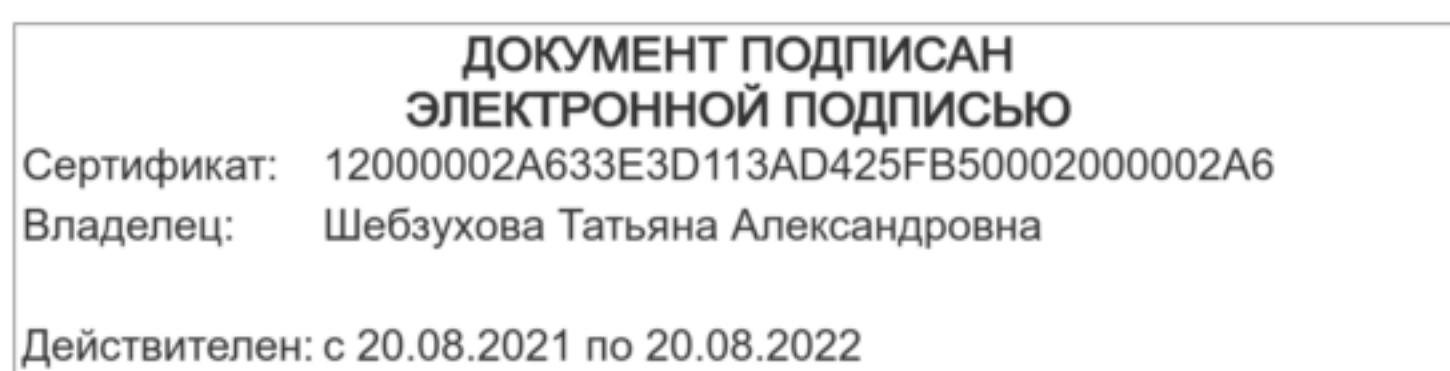
1. Бондаренко, Г. Г. Основы материаловедения : учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко ; под редакцией Г. Г. Бондаренко. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 761 с. — ISBN 978-5-00101-755-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/37076.html>
2. Электроматериаловедение : учеб. Пособие / А.С. Красько, С.Н. Павлович, Е.Г. Пономоренко. — 2-изд., стер. — Минск : РИПО, 2015. — 212 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=463625](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=463625)
3. Привалов, Е. Е. Электротехнические материалы систем электроснабжения: учебное пособие / Е.Е. Привалов. — М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. — 266 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=436753](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436753)

#### **5.1.3 Перечень дополнительной литературы:**

1. Основы материаловедения: учебное пособие / Е.А. Астафьева, Ф.М. Носков, В.И. Аникина — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. — 152 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=364047](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364047)

### **5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
2. Методические рекомендации по проведения лабораторных работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
3. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
4. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».



***5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> - ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

**Указание по технике безопасности**

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

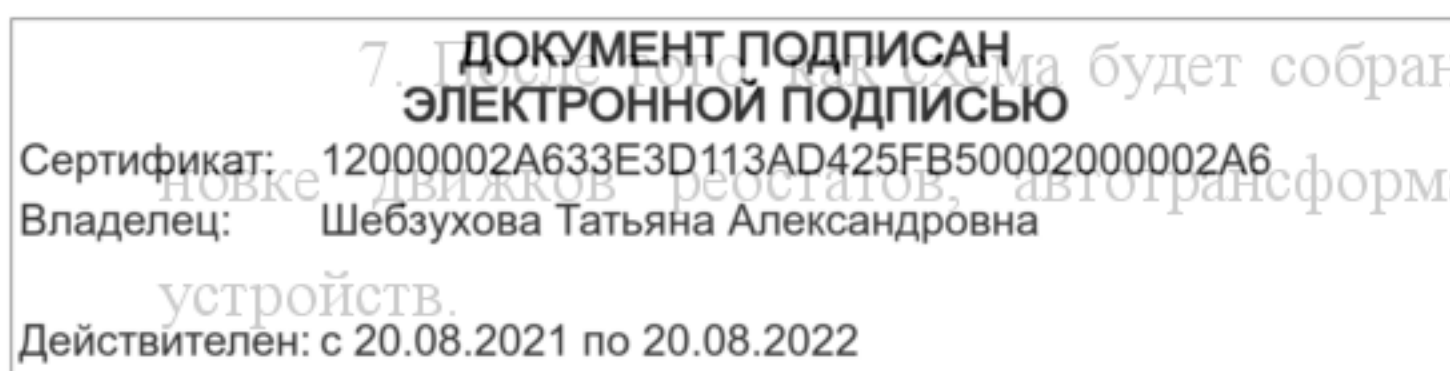
3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.



8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан, не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

13. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## **Методические указания**

по выполнению контрольной работы  
по дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕ-  
ДЕНИЕ»  
для студентов направления подготовки  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Содержание

| №<br>п/п |                                                                                                         | Стр. |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|          | Введение                                                                                                |      |
| 1.       | Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины                                                       |      |
| 2.       | Формулировка задания и ее объем                                                                         |      |
| 3.       | Общие требования к написанию и оформлению работы                                                        |      |
| 4.       | Рекомендации по выполнению задания                                                                      |      |
| 5.       | План-график выполнения задания                                                                          |      |
| 6.       | Критерии оценивания работы                                                                              |      |
| 7.       | Порядок защиты работы                                                                                   |      |
| 8.       | Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины                                             |      |
| 8.1      | Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины                      |      |
| 8.2      | Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине              |      |
| 8.3      | Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины |      |

## Введение

Одним из основных видов занятий по курсу дисциплины «Электротехническое и конструкционное материаловедение» является выполнение контрольной работы. Предлагаемые в методическом указании задания охватывают весь основной материал курса и соответствуют утвержденной программе.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## 1. Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины

Целью дисциплины является изучение состава и свойств конструкционных и электротехнических материалов в зависимости от их химического состава, структуры и той среды, в которой им предстоит находиться или работать.

Задачами изучения дисциплины являются:

- знакомство с основными достижениями в области электротехнического и конструкционного материаловедения;
- понимание процессов и явлений, которые происходят в электротехнических и конструкционных материалах при различных воздействиях;
- умение влиять на свойства материалов с помощью технологических процессов, позволяющих предотвращать вредные воздействия окружающей среды в процессе работы соответствующего оборудования.

При выполнении контрольной работы реализуются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

| Код, формулировка компетенции                                                                                                                               | Код, формулировка индикатора                                                                                                                                                                                                                                                         | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-5 Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности | ИД-1 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик и методов исследования конструкционных материалов, выбирает конструкционные материалы в соответствии с требуемыми характеристиками для использования в области профессиональной деятельности. | Знает современные способы получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств, классификацию современных конструкционных электротехнических материалов по их назначению, составу и свойствам, основные характеристики электротехнических материалов для эффективного использования электротехнического оборудования, организации его технического обслуживания и ремонта, а также для технической диагностики и прогнозирования оставшегося ресурса работы. |
|                                                                                                                                                             | ИД-2 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик и методов исследования                                                                                                                                                                        | Умеет работать со справочной литературой, отражающей характеристики материалов, правильно выбрать или оценить                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

|  |                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>электротехнических материалов, выбирает электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками.</p> | <p>материал для элемента, изделия, устройства, для работы в электроэнергетике в тех или иных условиях.</p> <p>Владеет методами оценки свойств и способами подбора материалов для проектируемых систем, методиками выполнения расчетов применительно к использованию электротехнических и конструкционных материалов, навыками проведения стандартных испытаний и входного контроля материалов и комплектующих электроэнергетического и электротехнического оборудования.</p> |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

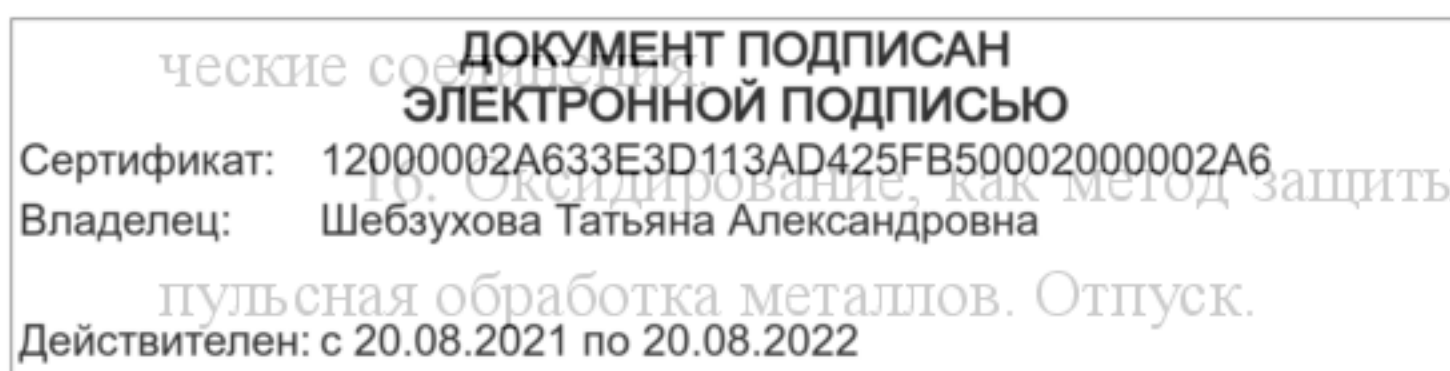
## 2. Формулировка задания и ее объем

Задание на контрольную работу состоит из двух частей соответственно по разделам «Конструкционное материаловедение» и «Электротехническое материаловедение». Вариант задания выбирается по списку группы.

### Задание №1

Дать ответ на следующие теоретические вопросы (по варианту):

1. Исследование точечных дефектов. Исследование линейных дефектов. Исследование поверхностных дефектов.
2. Твердые растворы. Химические соединения. Фазы внедрения.
3. Отжиг. Нормализация. Закалка.
4. Отпуск. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Закалка.
5. Оксидирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Электроискровая обработка металлов. Электроимпульсная обработка металлов.
6. Анодно – механическая обработка металлов. Электрохимическая обработка металлов. Ультразвуковая обработка металлов.
7. Фазы внедрения. Особенности применения сварки плавлением и давлением. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии.
8. Плакирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Закалка. Исследование поверхностных дефектов.
9. Нормализация. Анодно-механическая обработка металлов. Образование сварного соединения.
10. Отжиг. Электрохимическая обработка металлов. Твердые растворы.
11. Исследование точечных дефектов. Химические соединения. Особенности применения сварки плавлением и давлением.
12. Фазы внедрения. Исследование поверхностных дефектов. Нормализация.
13. Ультразвуковая обработка металлов. Отжиг. Анодно – механическая обработка металлов.
14. Исследование линейных дефектов. Нормализация. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии.
15. Плакирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Закалка. Хими-



17. Ультразвуковая обработка металлов. Твердые растворы. Исследование точечных дефектов.

18. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Исследование поверхностных дефектов. Закалка.

19. Особенности применения сварки плавлением и давлением. Ультразвуковая обработка металлов. Фазы внедрения.

20. Твердые растворы. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Закалка.

21. Фазы внедрения. Особенности применения сварки плавлением и давлением. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии.

22. Нормализация. Химические соединения. Образование сварного соединения.

23. Анодно-механическая обработка металлов. Образование сварного соединения. Отжиг.

24. Плакирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Закалка. Исследование поверхностных дефектов.

25. Твердые растворы. Электроимпульсная обработка металлов. Отжиг.

26. Исследование точечных дефектов. Исследование линейных дефектов. Исследование поверхностных дефектов.

27. Ультразвуковая обработка металлов. Твердые растворы. Исследование точечных дефектов.

28. Нормализация. Анодно-механическая обработка металлов. Образование сварного соединения.

29. Отжиг. Электрохимическая обработка металлов. Твердые растворы.

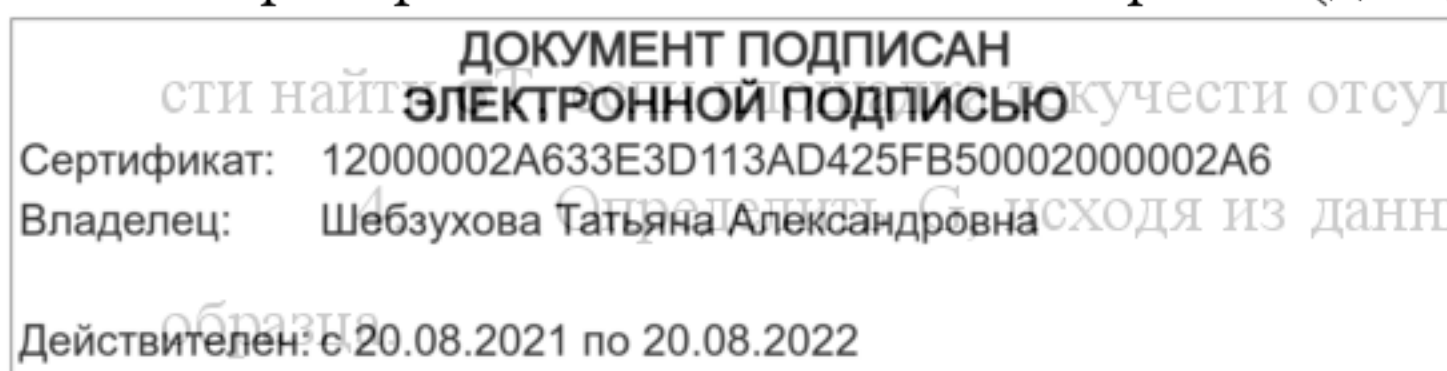
30. 3 Фазы внедрения. Особенности применения сварки плавлением и давлением. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии.

### **Задание №2**

В соответствии с данными таблицы 2 требуется:

1. Определить  $E$ ,  $\nu$  и  $G$  – параметры упругих свойств материала.
2. Определить  $\delta$  и  $\psi$  – параметры пластических свойств материала.
3. По заданной диаграмме рисунок 2 определить  $\sigma_{\text{ПЦ}}$ ,  $\sigma_{\text{В}}$ ,  $\sigma_{\text{Т}}$  (или  $\sigma_{0,2}$ ) – параметры прочностных свойств материала (для диаграммы с выраженной площадкой текучести найти  $\sigma_{\text{ПЦ}}$  и  $\sigma_{\text{В}}$ , для диаграммы с выраженной площадкой текучести отсутствует – оценить величину  $\sigma_{0,2}$ ).

Отразить в исходных данных, полученных в эксперименте на кручение



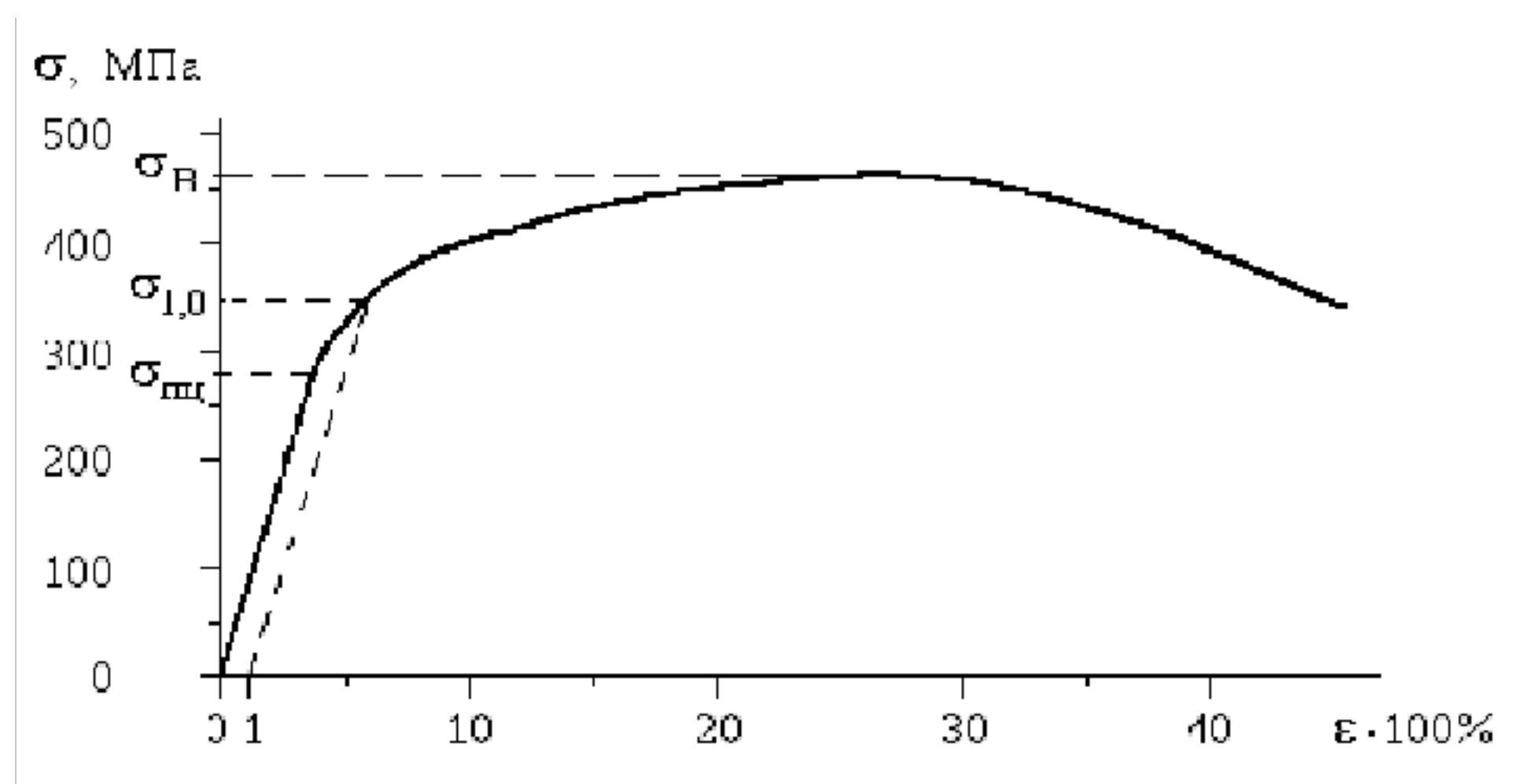


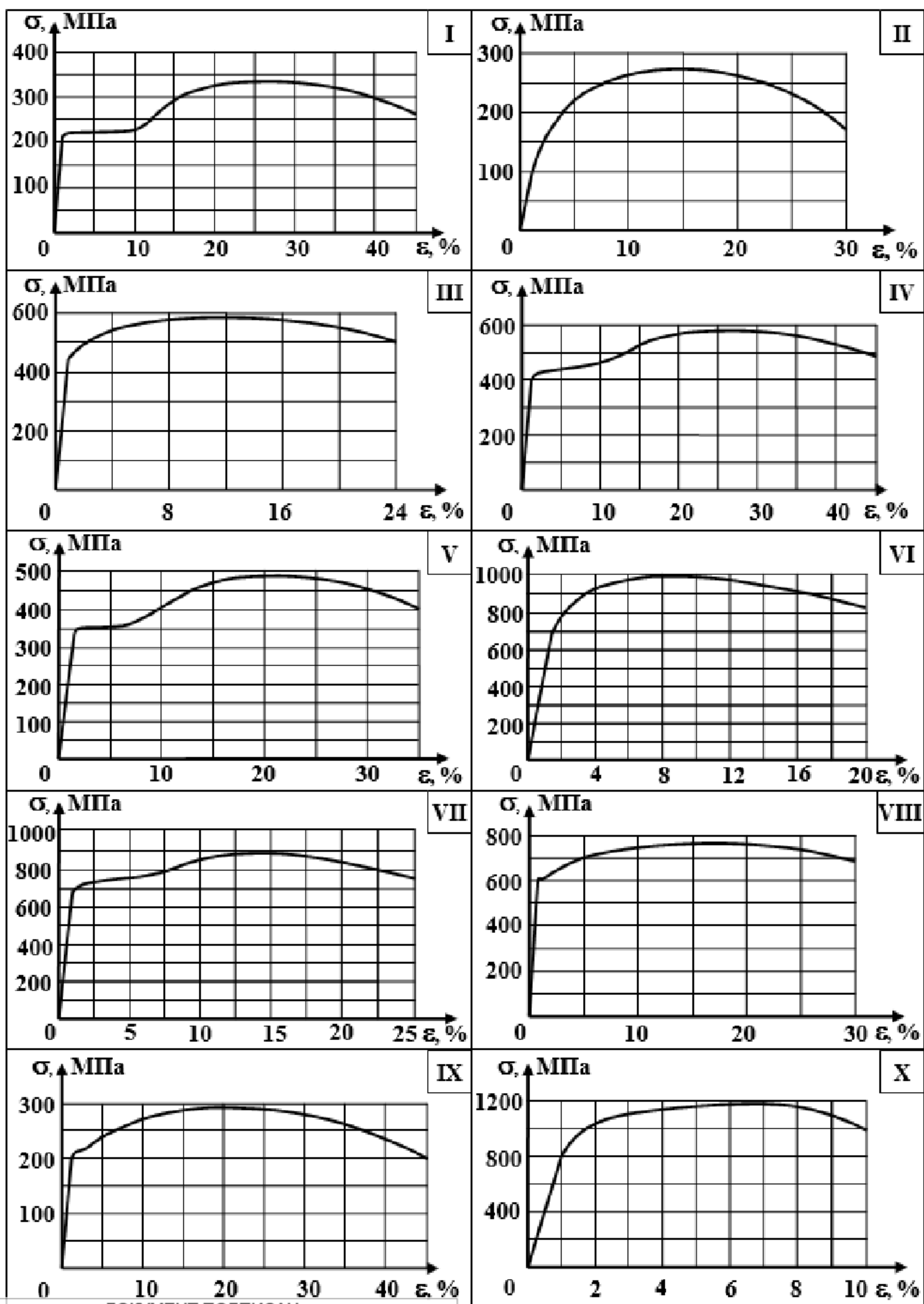
Рисунок 1 – Пример диаграммы растяжения

Таблица 1 – Исходные данные к заданию 2

| Номер строки | $l_0$ , мм | $A_0$ , мм <sup>2</sup> | $F$ , Н | $l \cdot 10^3$ , мм | $A_k$ , мм <sup>2</sup> | $l_k$ , мм | $\epsilon'$ , % | $\epsilon$ , % | $M$ , Н·м | $\alpha$ , рад | $d$ , мм | Номер диаграммы рисунок |
|--------------|------------|-------------------------|---------|---------------------|-------------------------|------------|-----------------|----------------|-----------|----------------|----------|-------------------------|
| 1            | 100        | 320                     | 1680    | 2,5                 | 272                     | 130        | 0,06            | -0,25          | 90        | 0,005          | 24       | I                       |
| 2            | 80         | 180                     | 810     | 2,0                 | 135                     | 104        | -0,02           | 0,25           | 80        | 0,003          | 22       | II                      |
| 3            | 75         | 80                      | 530     | 2,6                 | 57                      | 84         | 0,08            | -0,35          | 60        | 0,014          | 15       | III                     |
| 4            | 50         | 50                      | 360     | 1,7                 | 35                      | 56         | -0,15           | 0,38           | 50        | 0,03           | 18       | IV                      |
| 5            | 40         | 30                      | 190     | 1,6                 | 24                      | 50         | 0,05            | -0,40          | 30        | 0,02           | 16       | V                       |
| 6            | 30         | 20                      | 160     | 1,2                 | 18                      | 39         | -0,13           | 0,32           | 20        | 0,009          | 20       | VI                      |
| 7            | 25         | 12                      | 82      | 1,0                 | 10                      | 35         | -0,09           | 0,37           | 10        | 0,01           | 10       | VII                     |
| 8            | 20         | 10                      | 72      | 0,6                 | 7,5                     | 24         | 0,14            | -0,33          | 8         | 0,008          | 25       | VIII                    |
| 9            | 15         | 8                       | 24      | 0,5                 | 6,2                     | 18         | -0,13           | 0,31           | 6         | 0,009          | 12       | IX                      |
| 10           | 125        | 490                     | 3090    | 3,7                 | 392                     | 150        | -0,05           | 0,3            | 100       | 0,004          | 25       | X                       |
| 11           | 100        | 320                     | 1680    | 2,5                 | 272                     | 130        | 0,05            | -0,40          | 60        | 0,014          | 15       | III                     |
| 12           | 80         | 180                     | 810     | 2,0                 | 135                     | 104        | -0,13           | 0,32           | 50        | 0,03           | 18       | IV                      |
| 13           | 75         | 80                      | 530     | 2,6                 | 57                      | 84         | -0,09           | 0,37           | 30        | 0,02           | 16       | V                       |
| 14           | 50         | 50                      | 360     | 1,7                 | 35                      | 56         | 0,14            | -0,33          | 20        | 0,009          | 20       | VI                      |
| 15           | 40         | 30                      | 190     | 1,6                 | 24                      | 50         | -0,13           | 0,31           | 10        | 0,01           | 10       | VII                     |
| 16           | 30         | 20                      | 160     | 1,2                 | 18                      | 39         | -0,05           | 0,3            | 8         | 0,008          | 25       | VIII                    |
| 17           | 25         | 12                      | 82      | 1,0                 | 10                      | 35         | 0,06            | -0,25          | 6         | 0,009          | 12       | IX                      |
| 18           | 20         | 10                      | 72      | 0,6                 | 7,5                     | 24         | -0,02           | 0,25           | 100       | 0,004          | 25       | X                       |
| 19           | 15         | 8                       | 24      | 0,5                 | 6,2                     | 18         | 0,08            | -0,35          | 90        | 0,005          | 24       | I                       |
| 20           | 125        | 490                     | 3090    | 3,7                 | 392                     | 150        | -0,15           | 0,38           | 80        | 0,003          | 22       | II                      |
| 21           | 100        | 320                     | 1680    | 2,5                 | 272                     | 130        | 0,05            | -0,40          | 60        | 0,014          | 15       | III                     |
| 22           | 80         | 180                     | 810     | 2,0                 | 135                     | 104        | -0,13           | 0,32           | 50        | 0,03           | 18       | IV                      |
| 23           | 75         | 80                      | 530     | 2,6                 | 57                      | 84         | -0,09           | 0,37           | 30        | 0,02           | 16       | V                       |
| 24           | 50         | 50                      | 360     | 1,7                 | 35                      | 56         | 0,14            | -0,33          | 20        | 0,009          | 20       | VI                      |
| 25           | 40         | 30                      | 190     | 1,6                 | 24                      | 50         | -0,13           | 0,31           | 10        | 0,01           | 10       | VII                     |
| 26           | 30         | 20                      | 160     | 1,2                 | 18                      | 39         | -0,05           | 0,3            | 8         | 0,008          | 25       | VIII                    |
| 27           | 25         | 12                      | 82      | 1,0                 | 10                      | 35         | 0,05            | -0,40          | 6         | 0,009          | 12       | IX                      |
| 28           | 20         | 10                      | 72      | 0,6                 | 7,5                     | 24         | -0,13           | 0,32           | 100       | 0,004          | 25       | X                       |
| 29           | 15         | 8                       | 24      | 0,5                 | 6,2                     | 18         | -0,09           | 0,37           | 60        | 0,014          | 15       | III                     |
| 30           | 125        | 490                     | 3090    | 3,7                 | 392                     | 150        | 0,14            | -0,33          | 10        | 0,01           | 10       | VII                     |

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

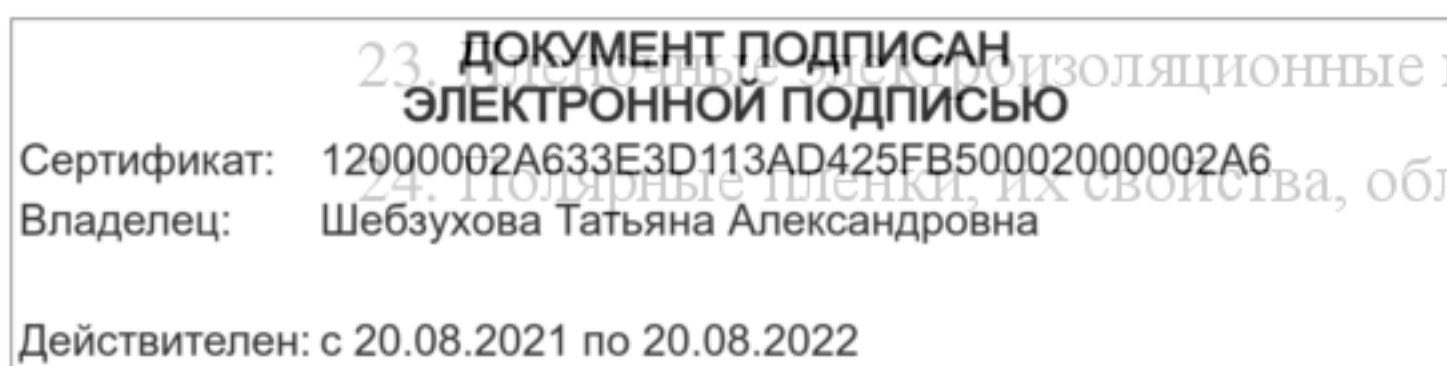
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### Задание №3

Дать ответ на следующие теоретические вопросы (по варианту):

1. Классификация материалов по электрическим свойствам. Сущность зонной теории проводимости.
2. Классификация материалов по магнитным свойствам.
3. Классификация проводниковых материалов. Основные свойства и характеристики проводниковых материалов.
4. Материалы с высокой проводимостью. Медь и ее сплавы. Свойства, области применения.
5. Материалы с высокой проводимостью. Алюминий и его сплавы. Свойства и области применения.
6. Материалы с высоким сопротивлением. Проводниковые резистивные материалы. Области применения.
7. Проводниковые материалы. Благородные материалы. Область применения.
8. Тугоплавкие металлы. Вольфрам, титан, молибден, их свойства и область применения.
9. Сверхпроводники, их свойства, области применения.
10. Криопроводники, их свойства, области применения.
11. Материалы для электроугольных изделий. Графит. Основные характеристики и области применения.
12. Материалы для подвижных контактов, их свойства.
13. Припой. Область применения, свойства. Твердые и мягкие припои.
14. Обмоточные провода, марки, область применения, виды изоляции проводов.
15. Монтажные провода, марки, виды изоляции, область применения.
16. Полупроводниковые материалы. Свойства полупроводников.
17. Электропроводность полупроводников, виды электропроводности.
18. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках.
19. Полимеризационные синтетические полимеры, их свойства, области применения.
20. Поликонденсатные синтетические полимеры, их свойства области применения.
21. Электроизоляционные пластмассы, их состав, свойства, области применения.
22. Слоистые пластики, их виды, состав, области применения.
23. Электроизоляционные материалы, их виды, области применения.
24. Полимерные пленки, их свойства, области применения.



25. Электроизоляционные материалы на основе каучука, их виды, свойства, области применения.

26. Лаки и эмали, их виды, свойства, области применения.

27. Компаунды, их виды, свойства, области применения.

28. Твердые неорганические диэлектрики, их виды, свойства, области применения.

29. Жидкие диэлектрики, их виды, свойства, области применения.

30. Газообразные диэлектрики, их виды, свойства, области применения.

#### Задание №4

Опорный стержневой керамический изолятор ОНС изолирует и поддерживает шины контактных деталей в открытом распределительном устройстве. Изолятор представляет собой сплошной круглый стержень с выступающими ребрами. На торцевых частях изолятора закреплены металлические фланцы (колпаки), являющиеся электродами (рис.2).

Определить полный ток утечки, протекающий в изоляторе, емкость и диэлектрические потери в нем, если известны: номинальное напряжение на нем  $XH$  частота электрического поля  $f$  размеры и основные электрические параметры диэлектрика, из которого изготовлен изолятор -  $P_s$ ,  $P_v$ ,  $tg\delta$  и др. Исходные данные приведены в табл. 2.

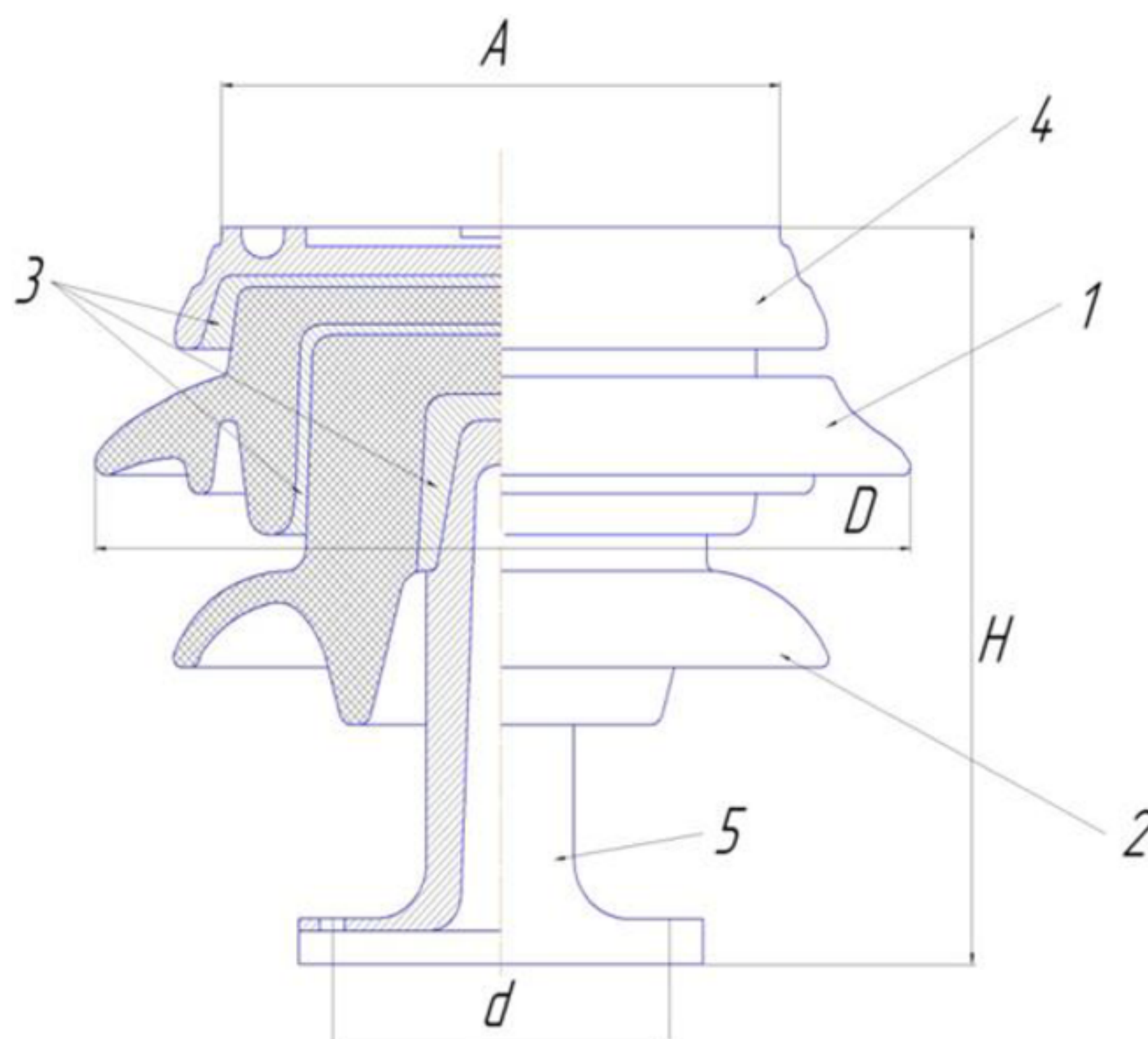


Рисунок 2 – Опорно-стержневой изолятор наружной установки

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022  |                                        |

1 – верхняя часть изолятора, 2 – нижняя часть изолятора,  
3 – цементно-песчаная связка, 4 – чугунный колпак, 5 – чугунный штырь

Таблица 2 – Исходные данные к задаче 4

| Параметры                                  | Варианты и исходные данные |           |                   |                   |                   |                   |                   |           |                   |                   |
|--------------------------------------------|----------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|
|                                            | 1                          | 2         | 3                 | 4                 | 5                 | 6                 | 7                 | 8         | 9                 | 10                |
| Предпоследняя цифра шифра                  |                            |           |                   |                   |                   |                   |                   |           |                   |                   |
| Материал изолятора                         | электрофарфор              | ультра    | стеатит           | ультрафарфор      | электрофарфор     | стеатит           | электрофарфор     | стеатит   | ультрафарфор      | электрофарфор     |
| Уд. объёмное сопротивление $\rho_v$ , Ом м | $7 \cdot 10^{10}$          | $10^{12}$ | $10^{13}$         | $10^{13}$         | $2 \cdot 10^{11}$ | $5 \cdot 10^{13}$ | $8 \cdot 10^{10}$ |           | $5 \cdot 10^{12}$ | $4 \cdot 10^{11}$ |
| Уд. поверхн.                               | $10^{12}$                  | $10^{13}$ | $5 \cdot 10^{10}$ | $5 \cdot 10^{13}$ | $5 \cdot 10^{12}$ | $8 \cdot 10^{13}$ | $10^{13}$         | $10^{14}$ | $10^{14}$         | $3 \cdot 10^{12}$ |
| Отн. диэл. прониц, $\epsilon$              | 6                          | 8,6       | 6,3               | 8                 | 7                 | 6,8               | 6                 | 7         | 8,5               | 7                 |
| Тангенс угла по-                           | 0,025                      | 0,001     | 0,001             | 0,0005            | 0,03              | 0,002             | 0,035             | 0,003     | 0,0008            | 0,032             |
| Последняя цифра шифра                      |                            |           |                   |                   |                   |                   |                   |           |                   |                   |
| Напряжение U, кВ                           | 10                         | 35        | 20                | 10                | 35                | 10                | 20                | ПО        | 35                | 10                |
| Высота и зол. А, мм                        | 170                        | 420       | 315               | 1050              | 500               | 210               | 360               | 1060      | 420               | 240               |
| Диаметр Д, мм                              | 160                        | 180       | 170               | 220               | 225               | 170               | 180               | 220       | 200               | 180               |
| Диаметр А, мм                              | 140                        | 160       | 150               | 200               | 200               | 150               | 160               | 200       | 180               | 160               |
| Частота                                    | 50                         | 50        | 50                | 50                | 50                | 50                | 50                | 50        | 50                | 50                |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### **3. Общие требования к написанию и оформлению работы**

#### **Основные требования к работе**

При выполнении и оформлении контрольной по ГОСТу надо учитывать общие требования, которые предъявляются к работе:

- студент должен придерживаться заданной тематики;
- запрещено менять тему самостоятельно без обращения к преподавателю;
- при оформлении работы нужно учитывать нормы и ГОСТы;
- контрольная выполняется на основании не менее семи источников, выбранных автором;
- работа должна быть авторской, в ней должны содержаться собственные выводы студента;
- текст контрольной должен иметь объем не менее 7 листов.

#### **Оформление по ГОСТу текста контрольной**

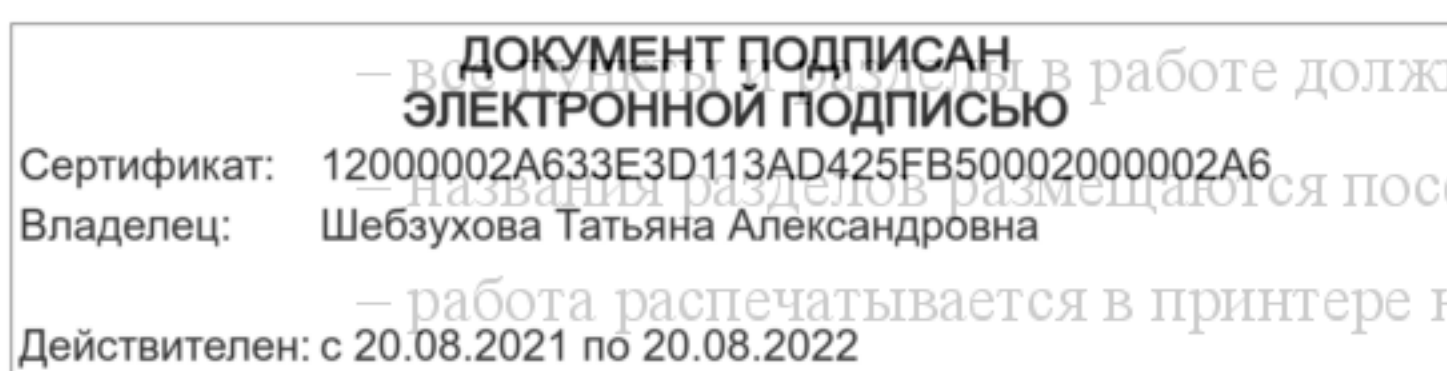
Когда работа выполнена, ее необходимо привести в соответствующий вид согласно ГОСТам:

- контрольную набирают в Word или другом текстовом редакторе с аналогичным функционалом;
- при наборе нужно использовать шрифт Times New Roman;
- интервал между строк — полуторный;
- размер шрифта — 14;
- текст выравнивается по ширине;
- в тексте делают красные строки с отступом в 12,5 мм;
- нижнее и верхнее поля страницы должны иметь отступ в 20 мм;
- слева отступ составляет 30 мм, справа — 15 мм;
- контрольная всегда нумеруется с первого листа, но на титульном листе номер не ставят;
- номер страницы в работе всегда выставляется в верхнем правом углу;
- заголовки работы оформляются жирным шрифтом;
- в конце заголовков точка не предусмотрена;
- заголовки набираются прописными буквами;

– все заголовки и подзаголовки в работе должны быть пронумерованы арабскими цифрами;

– названия разделов размещаются посередине строки, подразделы – с левого края;

– работа распечатывается в принтере на листах А4;



– текст должен располагаться только на одной стороне листа.

**Работа имеет такую структуру:**

1. Титульный лист;
2. Оглавление и введение;
3. Основной текст и расчет контрольной;
4. Заключительная часть работы;
5. Перечень использованной литературы и источников;
6. Дополнения и приложения.

Если в работе есть приложения, о них надо упоминать в оглавлении.

Ссылки нумеруются арабскими цифрами, при этом учитывают структуру работы (разделы и подразделы).

#### 4. Рекомендации по выполнению задания

В данном разделе приведены основные положения и расчетные формулы, необходимые для решения задач в данной контрольной работе.

##### Указание к решению задачи №1

Дать развернутый ответ на теоретический вопрос.

##### Указание к решению задачи №2

Основные положения и расчетные формулы. Прочность материала, его твердость, упругость, пластичность, вязкость, ползучесть относятся к механическим свойствам. Они являются основными свойствами конструкционных материалов и определяются по результатам испытаний. Наиболее важными из них являются статические испытания на растяжение. Пример диаграммы такого испытания приводится на рисунке 2. Здесь по оси абсцисс откладывается продольная относительная деформация образца  $\varepsilon = (l - l_0) / l_0 = \Delta l / l_0$ , выраженная в процентах. По оси ординат откладывается нормальное напряжение в поперечном сечении образца  $\sigma = F/A_0$  Па. В формулах использованы следующие обозначения:  $l_0$ , м – длина ненагруженного измеряемого участка,  $l$  – его длина при действии нагрузки  $F$ , Н и  $A_0$ , м<sup>2</sup> – площадь поперечного сечения ненагруженного образца.

Основные механические свойства материалов при нормальных температурах характеризуются параметрами упругости, пластичности и прочности.

К упругим параметрам относятся:

Модуль упругости при растяжении (сжатии), или модуль Юнга I рода:

$$E = \sigma / \varepsilon = F l_0 / (\Delta l A_0), \text{ Па};$$

Коэффициент Пуассона:

$$\nu = |\varepsilon' / \varepsilon|, \quad 0 < \nu < 0,5,$$

где  $\varepsilon$  – поперечная относительная деформация;

Модуль сдвига, или модуль Юнга II рода,

$$G = M l_0 / (\varphi l_p), \text{ Па},$$

Определяемый при испытаниях образцов на кручение, здесь  $M$ , Н\*м – величина крутящего момента,  $\varphi$  – угол поворота сечения под действием момента  $M$ ;  $l_p = \pi d^4 / 32 \approx 0,1 d^4$  м<sup>4</sup> – полярный момент инерции поперечного сечения образца.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Для изотропного материала упругие параметры связаны следующей зависимостью:

Для изотропного материала упругие параметры связаны следующей зависимостью:

$$G = E / [2 (1 + \nu)] .$$

Пластичность материала характеризуют следующие параметры: относительное остаточное удлинение:

$$\delta = [(l_k - l_0) / l_0] 100\% ,$$

где  $l_k$  – длина измеряемого участка после разрыва образца;

Относительное остаточное сужение:

$$\psi = [(A_0 - A_k) / A_0] 100\% ,$$

где  $A_k$  – минимальная площадь поперечного сечения измеряемого образца после его разрыва.

Прочность материала определяют параметры:

предел пропорциональности:

$$\sigma_{пц} = F_{пц} / A_0 ,$$

Наибольшее напряжение, до которого материал следует закону Гука:

Предел текучести:

$$\sigma_T = F_T / A_0 ,$$

Напряжение, при котором рост деформации происходит без заметного увеличения нагрузки (для диаграмм I, IV, V, VII, VIII, и IX с выраженной площадкой текучести).

Условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  – величина напряжения, при котором остаточная деформация  $\epsilon_{ост} = 0,002$  или 0,2% для диаграмм II, III, VI, и X, на которых площадка текучести отсутствует;

Предел прочности (или временное сопротивление) –

$$\sigma_B = F_B / A_0 ,$$

Отношение максимальной нагрузки  $F_B$ , которую способен выдержать образец, к его начальной площади поперечного сечения.

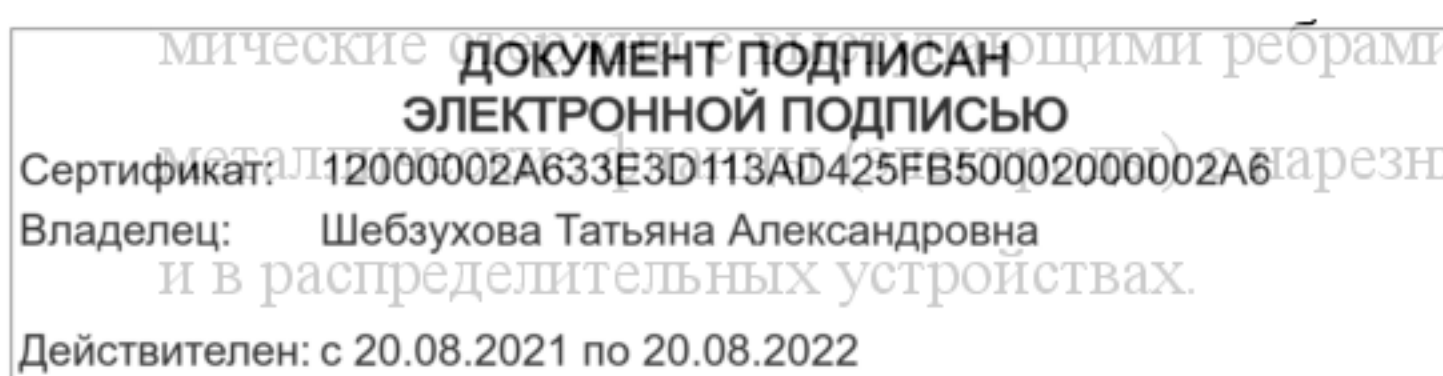
### **Указание к решению задачи №3**

Дать развернутый ответ на теоретический вопрос.

### **Указание к решению задачи №4**

Опорные стержневые изоляторы, как правило, представляют собой сплошные кера-

мические стержни, укрепленные ребрами. На торцевых частях изоляторов закреплены металлические фланцы, имеющие сквозные отверстия для крепления на аппаратах и в распределительных устройствах.



В обозначениях типов опорных стержневых изоляторов буквы и цифры обозначают: О - опорный; Н - наружной установки; С - стержневой; 1-я цифра - нормальное напряжение, кВ; 2-я цифра — минимальная разрушающая нагрузка на изгиб.

Например, ОНС-35-2000 (опорный стержневой изолятор наружной установки на напряжение 35 кВ, разрушающая нагрузка его 2000 Па). Опорный стержневой изолятор типа ОНС (см. рис. 2) имеет следующие основные размеры можно выразить диэлектрические потери в изоляционных материалах?

$h$  - высота, мм;

$A$  - диаметр керамического стержня, мм;

$D$  — диаметр, учитывающий величину выступающих ребер, которые увеличивают длину пути утечки тока по поверхности изолятора, мм.

Последовательность решения задачи:

1. Для определения полного тока утечки следует учитывать ток утечки через объем изолятора и ток утечки по его поверхности, а для этого надо определить полное электрическое сопротивление опорного изолятора по формуле

$$\frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_s}$$

где  $R_n$  - полное сопротивление изолятора, им;  $R_v$  - объемное сопротивление, Ом;  $R_s$  - поверхностное сопротивление, Ом;

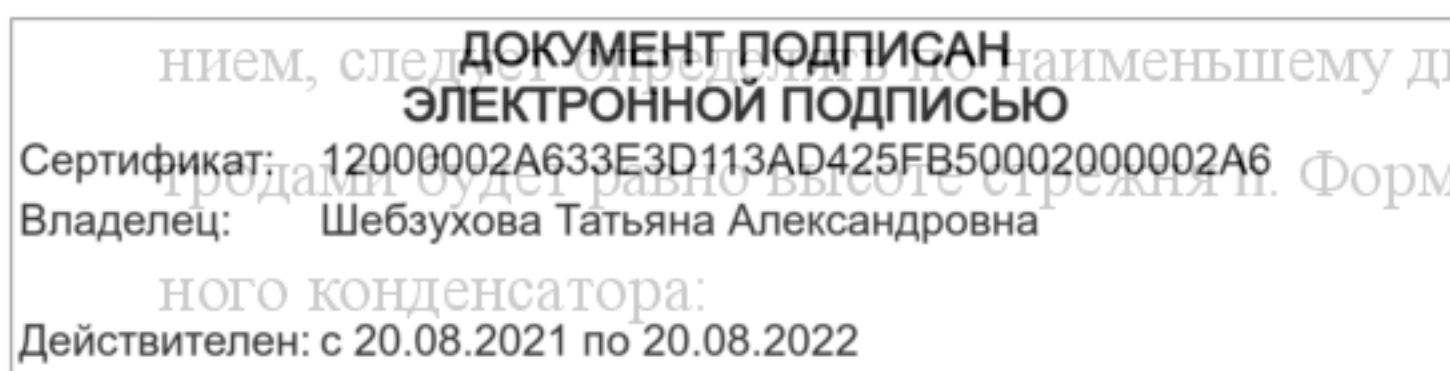
Чтобы упростить решение задачи, длину пути прохождения тока по поверхности изолятора следует принять равной  $1,75 l$ , т.е. считать её в 1,75 раза больше длины прохождения тока по объему.

Длину электрода (фланца), соприкасающегося с поверхностью, рассчитать по диаметру  $A$ . Помнить, что объемное электрическое сопротивление зависит от удельного объемного сопротивления и размеров изолятора ( $\rho_v$ ,  $S$ ,  $h$ ), а поверхностное сопротивление зависит от удельного поверхностного сопротивления, длины окружности стержня, соприкасающегося с электродом, и высоты стержня - изолятора ( $\rho_s$ ,  $b$ ,  $H$ ).

$$R_v = \rho_v \cdot \frac{H}{S} \text{ где } S = \frac{\pi A^2}{4};$$

$$R_s = \rho_s \cdot \frac{H_s}{l_A} \text{ где } l_A = \pi A, H_s = 1,75 \cdot H$$

2. При расчете емкости изолятора площадь электрода, находящегося под напряже-



нием, следует использовать наименьшему диаметру стержня  $A$ , а расстояние между электродами будет равно высоте стержня  $H$ . Формулой пользоваться для расчета емкости обыч-

ного конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 S}{h}$$

где  $C$  — ёмкость конденсатора,  $\Phi$ .

3. Диэлектрические потери в опорном изоляторе складываются из потерь на поляризацию в материале стержня и из потерь, обусловленных сквозной проводимостью, то есть это активная мощность, рассеиваемая в изоляторе, которая вызывает его нагрев  $P_a$ :

$$P_a = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta$$

4. Все величины в расчетные формулы надо подставлять в единицах СИ.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### 5. План-график выполнения задания

Работа над контрольной работой может быть представлена в виде выполнения следующих этапов:

| №<br>п/п | Наименование этапа                           | Сроки выполнения                     |
|----------|----------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1.       | Получения задания                            | На первом<br>практическом занятии    |
| 2.       | Первичная консультация с преподавателем      | На первом<br>практическом занятии    |
| 3.       | Работа с информационными источниками         | В течении сессии                     |
| 4.       | Написание контрольной работы                 | В течении сессии                     |
| 5.       | Предоставление контрольной работы на кафедру | В течении сессии                     |
| 6.       | Защита контрольной работы                    | На последнем<br>практическом занятии |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## 6. Критерии оценивания работы

В целях повышения качества выполняемых контрольных работ преподаватель руководствуется следующими критериями оценивания письменных работ студентов.

### **Оценка «зачтено (отлично)» выставляется, если студент:**

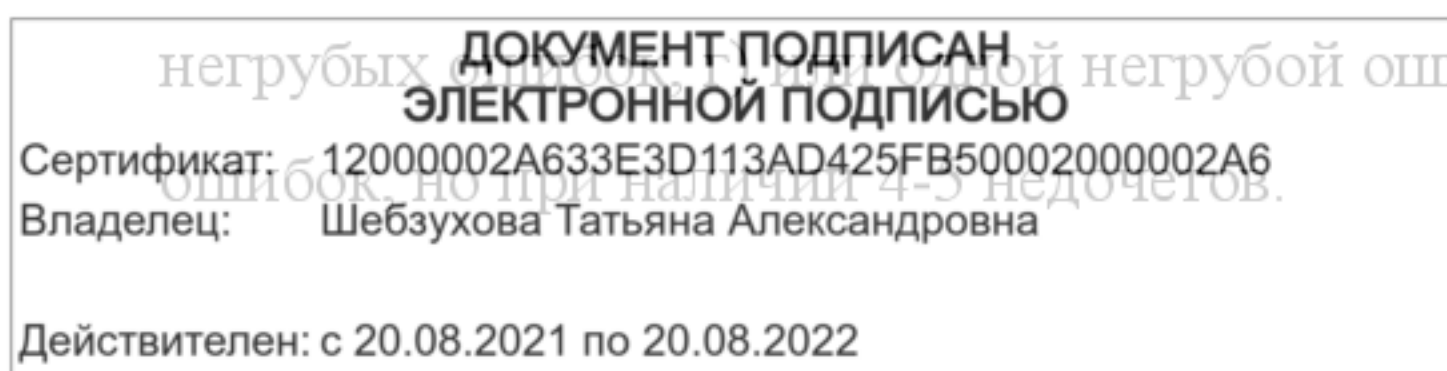
- представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в строгом соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную учебную и страноведческую литературу;
- при выполнении упражнений показал высокий уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, проявил творческий подход при ответе на вопросы, умение глубоко анализировать проблему и делать обобщающие выводы;
- выполнил работу грамотно с точки зрения поставленной задачи, т.е. без ошибок и недочетов или допустил не более одного недочета.

### **Оценка «зачтено (хорошо)» выставляется, если студент:**

- представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную литературу;
- при выполнении упражнений показал хороший уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, практически правильно сформулировал ответы на поставленные вопросы, представил общее знание информации по проблеме;
- выполнил работу полностью, но допустил в ней: а) не более одной негрубой ошибки и одного недочета б) или не более двух недочетов.

### **Оценка «зачтено (удовлетворительно)» выставляется, если студент:**

- представил работу в установленный срок, при оформлении работы допустил незначительные отклонения от изложенных требований;
- показал достаточные знания по основным темам контрольной работы;
- использовал рекомендованную литературу;
- выполнил не менее половины работы или допустил в ней а) не более двух грубых ошибок, б) или не более одной грубой ошибки и одного недочета, в) или не более двух-трех негрубых ошибок, г) или не более одной грубой ошибки и трех недочетов, д) или при отсутствии



**Оценка «незачтено (неудовлетворительно)» выставляется:**

- когда число ошибок и недочетов превосходит норму, при которой может быть выставлена оценка «зачтено (удовлетворительно)» или если правильно выполнено менее половины работы;
- если студент не приступал к выполнению работы или правильно выполнил не более 10 процентов всех заданий.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## 7. Порядок защиты работы

Написанная студентом контрольная работа сдается на кафедру в срок для рецензирования. Студент защищает расчетно-графическую работу до экзамена (зачета) перед преподавателем. Без защиты КР студент к экзамену (зачету) не допускается.

Работа не допускается к защите, если она не носит самостоятельного характера, списана из литературных источников или у других авторов, если основные вопросы не раскрыты, изложены схематично, фрагментарно, в тексте содержатся ошибки, научный аппарат оформлен неправильно, текст написан небрежно.

В ходе защиты контрольной работы задача студента — показать углубленное понимание вопросов конкретной темы, хорошее владение материалом по теме.

Защита расчетно-графической работы может проходить в различных формах по усмотрению преподавателя:

- в форме индивидуальной беседы студента с руководителем по основным положениям работы;
- в форме индивидуальной защиты в присутствии всей группы студентов;
- в форме групповой защиты – одновременной защиты контрольной работы по одному направлению. В этом случае каждый следит за ходом рассуждений товарищей, дополняет, уточняет их, что, несомненно, усиливает работу мысли и способствует развитию экономического мышления.

Любая форма защиты контрольной работы учит отстаивать свою точку зрения, убедительно аргументировать ее, что способствует перерастанию знаний в убеждения.

|                                                   |                                        |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br/>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</b> |                                        |
| Сертификат:                                       | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                         | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022          |                                        |

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **8.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **8.1.2 Перечень основной литературы:**

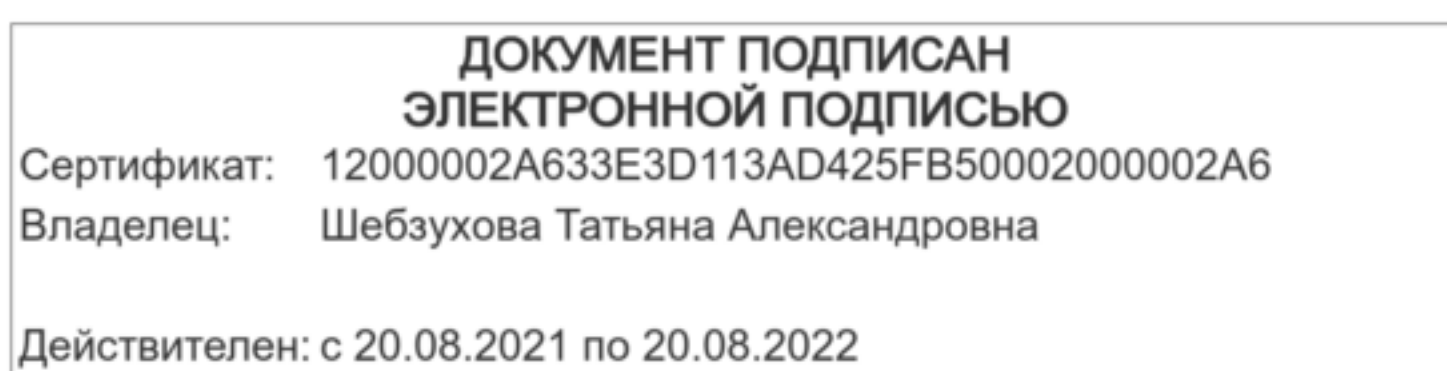
1. Бондаренко, Г. Г. Основы материаловедения : учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко ; под редакцией Г. Г. Бондаренко. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 761 с. — ISBN 978-5-00101-755-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/37076.html>
2. Электроматериаловедение : учеб. Пособие / А.С. Красько, С.Н. Павлович, Е.Г. Пономоренко. — 2-изд., стер. — Минск : РИПО, 2015. — 212 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=463625](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=463625)
3. Привалов, Е. Е. Электротехнические материалы систем электроснабжения: учебное пособие / Е.Е. Привалов. — М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. — 266 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=436753](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436753)

#### **8.1.3 Перечень дополнительной литературы:**

1. Основы материаловедения: учебное пособие / Е.А. Астафьева, Ф.М. Носков, В.И. Аникина — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. — 152 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=364047](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364047)

### **8.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
2. Методические рекомендации по проведения лабораторных работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
3. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
4. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».



**8.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет,  
необходимых для освоения дисциплины**

1. <http://www.biblioclub.ru> - ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## **Методические указания**

по организации самостоятельной работы обучающихся  
по дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕ-  
ДЕНИЕ»

для студентов направления подготовки  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Содержание

- Введение
- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электротехническое и конструкционное материаловедение»
  - 2 План-график выполнения самостоятельной работы
  - 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
  - 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
  - 5 Методические указания по подготовке к контрольной работе
  - 6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

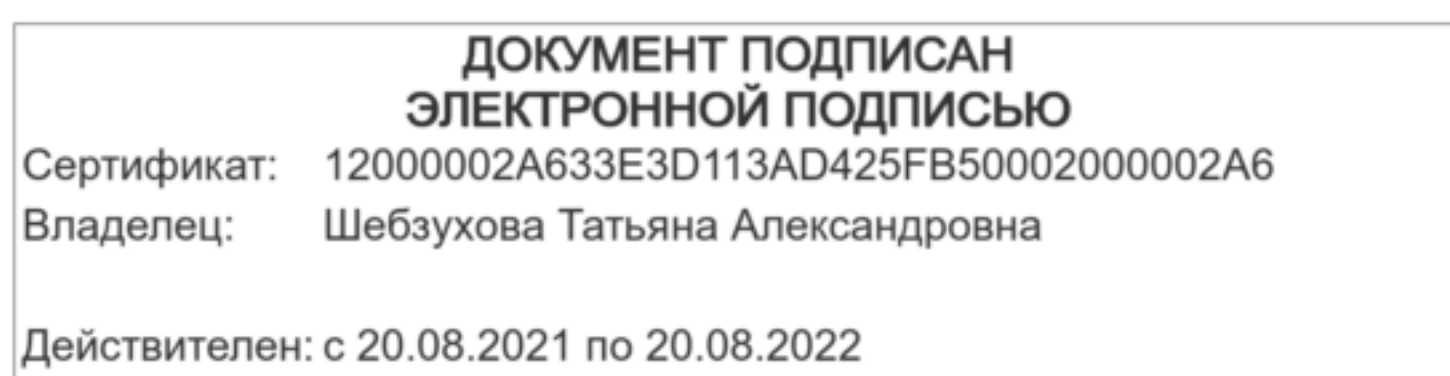
## Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.



## Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электротехническое и конструкционное материаловедение»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

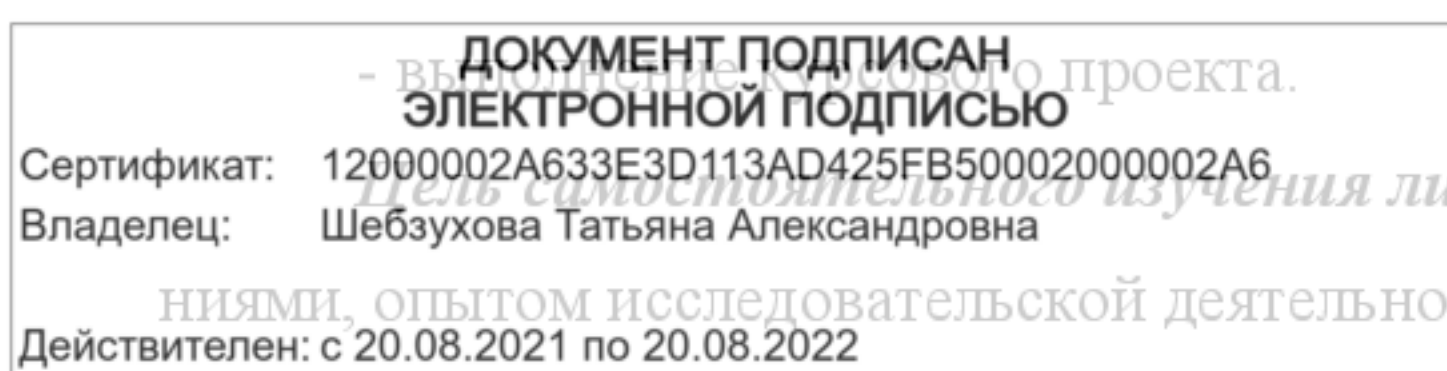
Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;



- в выполнении заданий проекта.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

**Задачами** самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

**Цель самостоятельного решения задач** - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

**Задачами** самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

**Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы** по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

**Задачами** данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

| Код, формулировка компетенции                                                                                                                               | Код, формулировка индикатора                                                                                                                                                                                                                                                         | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-5 Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности | ИД-1 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик и методов исследования конструкционных материалов, выбирает конструкционные материалы в соответствии с требуемыми характеристиками для использования в области профессиональной деятельности. | Знает современные способы получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств, классификацию современных конструкционных электротехнических материалов по их назначению, составу и свойствам, основные характеристики электротехнических материалов для эффективного использования электротехнического оборудования, организации его технического обслуживания и ремонта, а также для технической диагностики и прогнозирования оставшегося ресурса работы.                                                                                       |
|                                                                                                                                                             | ИД-2 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик и методов исследования электротехнических материалов, выбирает электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками.                                                     | Умеет работать со справочной литературой, отражающей характеристики материалов, правильно выбрать или оценить материал для элемента, изделия, устройства, для работы в электроэнергетике в тех или иных условиях.<br>Владеет методами оценки свойств и способами подбора материалов для проектируемых систем, методиками выполнения расчетов применительно к использованию электротехнических и конструкционных материалов, навыками проведения стандартных испытаний и входного контроля материалов и комплектующих электроэнергетического и электротехнического оборудования. |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### План-график выполнения самостоятельной работы

| Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)            | Вид деятельности студентов                         | Средства и технологии оценки                             | Объем часов, в том числе |                                    |       |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|
|                                                         |                                                    |                                                          | СРС                      | Контактная работа с преподавателем | Всего |
| 4 семестр                                               |                                                    |                                                          |                          |                                    |       |
| ОПК-5<br>ИД-1 <sub>ОПК-5</sub><br>ИД-2 <sub>ОПК-5</sub> | Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18 | Собеседование                                            | 54,18                    | 6,02                               | 60,2  |
|                                                         | Подготовка к лекциям                               | Собеседование                                            | 0,27                     | 0,03                               | 0,3   |
|                                                         | Подготовка к практическим занятиям                 | Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач | 0,54                     | 0,06                               | 0,6   |
|                                                         | Подготовка к лабораторным работам                  | Собеседование                                            | 0,81                     | 0,09                               | 0,9   |
|                                                         | Выполнение контрольной работы                      | Собеседование                                            | 9                        | 1                                  | 10    |
| Итого за 4 семестр:                                     |                                                    |                                                          | 64,8                     | 7,2                                | 72    |
| Итого:                                                  |                                                    |                                                          | 64,8                     | 7,2                                | 72    |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### **Контрольные точки и виды отчетности по ним**

В рамках рейтинговой системы успеваемость студентов по каждой дисциплине оценивается в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

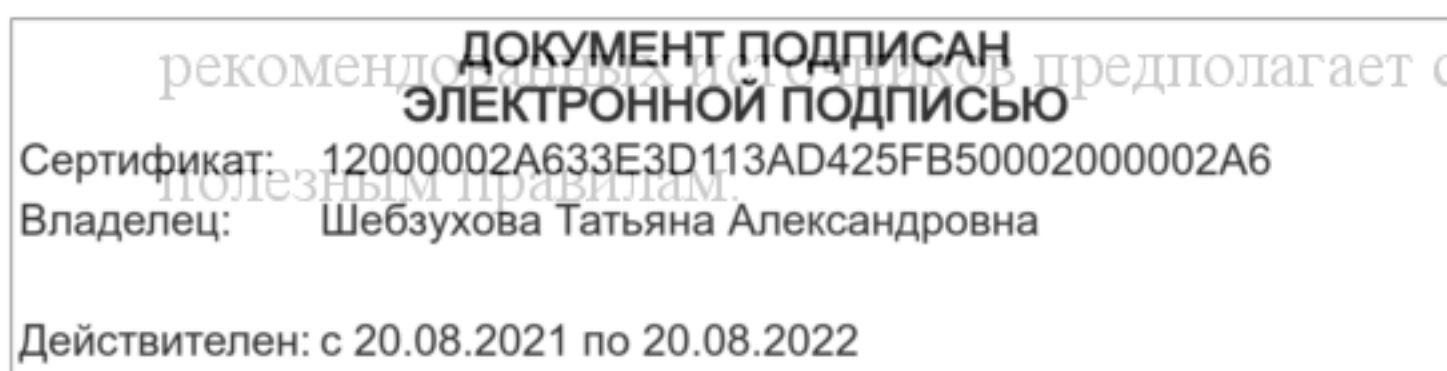
Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение

рекомендованной литературы предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.



Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

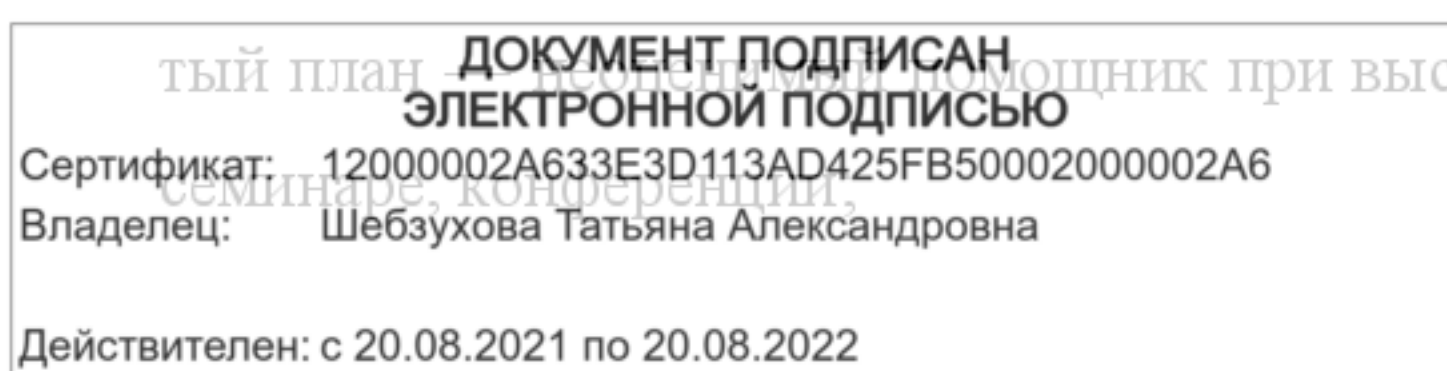
Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Разверну-

тый план — это документ, который используется при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции.



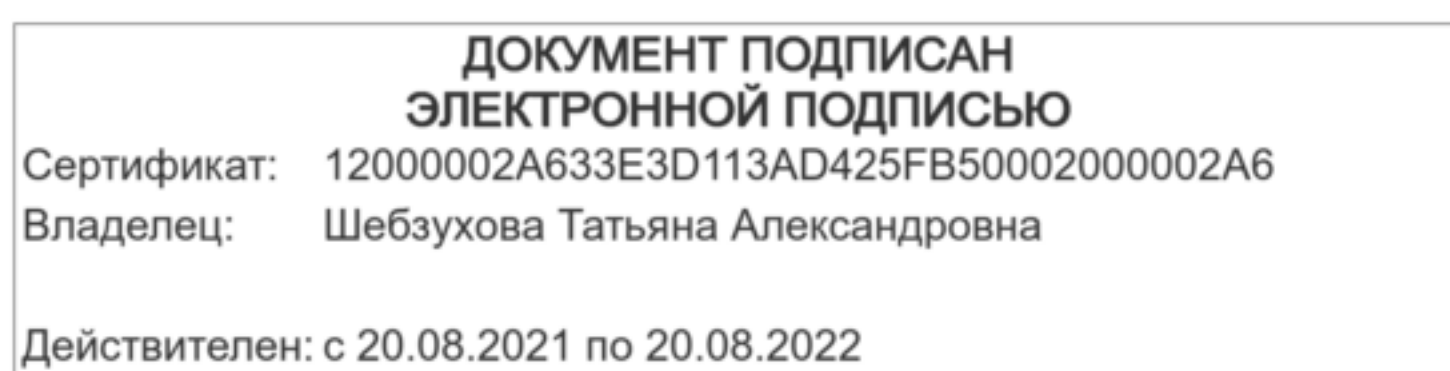
— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

#### Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.



## *Методические указания по подготовке к контрольной работе*

Контрольная работа – это самостоятельная письменная работа студента, которая должна показать не только его владение теоретическим материалом, но и продемонстрировать практические умения проводить расчеты.

Цели выполнения контрольной работы заключаются:

- закрепить и систематизировать теоретические знания и практические навыки студента;
- научить работать с литературой – изучать, анализировать информацию из научных источников;

При выполнении контрольной работы реализуются следующие компетенции:

| Код, формулировка компетенции                                                                                                                               | Код, формулировка индикатора                                                                                                                                                                                                                                                         | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-5 Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности | ИД-1 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик и методов исследования конструкционных материалов, выбирает конструкционные материалы в соответствии с требуемыми характеристиками для использования в области профессиональной деятельности. | Знает современные способы получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств, классификацию современных конструкционных электротехнических материалов по их назначению, составу и свойствам, основные характеристики электротехнических материалов для эффективного использования электротехнического оборудования, организации его технического обслуживания и ремонта, а также для технической диагностики и прогнозирования оставшегося ресурса работы. |
|                                                                                                                                                             | ИД-2 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик и методов исследования электротехнических материалов, выбирает электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками.                                                     | Умеет работать со справочной литературой, отражающей характеристики материалов, правильно выбрать или оценить материал для элемента, изделия, устройства, для работы в электроэнергетике в тех или иных условиях.<br><br>Владеет методами оценки свойств и способами подбора материалов для проектируе-                                                                                                                                                                                   |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | <p>МЫХ СИСТЕМ, МЕТОДИКАМИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ И КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАВЫКАМИ ПРОВЕДЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ИСПЫТАНИЙ И ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.</p> |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

***Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины***

***Перечень основной литературы:***

1. Бондаренко, Г. Г. Основы материаловедения : учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко ; под редакцией Г. Г. Бондаренко. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 761 с. — ISBN 978-5-00101-755-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/37076.html>
2. Электроматериаловедение : учеб. Пособие / А.С. Красько, С.Н. Павлович, Е.Г. Пономоренко. — 2-изд., стер. — Минск : РИПО, 2015. — 212 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=463625](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=463625)
3. Привалов, Е. Е. Электротехнические материалы систем электроснабжения: учебное пособие / Е.Е. Привалов. — М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. — 266 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=436753](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436753)

***Перечень дополнительной литературы:***

1. Основы материаловедения: учебное пособие / Е.А. Астафьева, Ф.М. Носков, В.И. Аникина — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. — 152 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=364047](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364047)

***Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине***

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
2. Методические рекомендации по проведения лабораторных работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
3. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
4. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».

***Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> - ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022