МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет информационных технологий и электроники
наименование факультета

Кафедра *Нано – и микроэлектроника*
наименование кафедры

Направление подготовки *11.03.04. «Электроника и наноэлектроника»*
код и наименование

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ *02. 11.03.04. 013* ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Автоматизированный стенд для измерения параметров сегнетоэлектриков
тема бакалаврской работы

Студент группы 19ПД1 (номер группы) — подпись, дата 15.06. — Марков Д.А. (фамилия, иниц.)

Руководитель к.т.н., доцент (должность) — подпись, дата 15.06 — Метальников А.М (фамилия, иниц.)

НиМЭ ПГУ
наименование организации

Нормоконтролер ст. преподаватель (должность) — подпись, дата 16.06.23 — Рыжова Т.Н. (фамилия, иниц.)

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 15.06.23 № 11)

Заведующий кафедрой — подпись, дата 19.06.23 — Пронин И.А. (фамилия, иниц.)

Работа защищена с оценкой хор. (протокол ГЭК от 28.0623 № 16)

Секретарь ГЭК — подпись, дата 28.06.23 — Вольсков А.А. (фамилия, иниц.)

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка состоит из 52 страниц, 10 рисунков, 1 таблицы, списка использованных источников из 12 наименований и 6 приложений.

Ключевые слова: *Arduino*, программное обеспечение, АЦП, аналоговые входы, цифровые входы, сегнетоэлектрики, *Arduino Uno*, диэлектрическая проницаемость, сегнетоэлектрический гистерезис, метод Сойера-Тауэра, автоматизированный стэнд.

Цель: разработать автоматизированный стенд для измерения параметров сегнетоэлектриков и программу, позволяющую выполнять данную задачу. .

Задачи:

1. Провести анализ сред разработки программного обеспечения.
2. Провести анализ критериев выбора оптимального материала для изготовления тонкоплёночного конденсатора.
3. Разработать алгоритм расчёта параметров для проектирования тонкоплёночных конденсаторов простой формы
4. Разработать алгоритм последующего расчёта параметров высокоточного тонкоплёночного конденсатора с дискретной подгонкой, на основе конденсатора простой формы.
5. Разработать программное обеспечение для проектирования тонкоплёночных конденсаторов.
6. Сделать полное описание готовой программы.

Актуальность данной темы заключается в том, что для расчёта и проектирования тонкоплёночного конденсатора высокой точности вручную, понадобиться много времени. Программа будет анализировать, рассчитывать и проектировать конденсаторы, с абсолютно разными параметрами, моментально.

Объект исследования: тонкоплёночный конденсатор.

Предмет исследования: параметры сегнетоэлектриков.

Полученные результаты: разработан алгоритм для расчета параметров тонкоплёночных конденсаторов и на основе алгоритмов написана программа для расчёта конденсаторов высокой точности.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной темы заключается в том, что для измерения параметров сегнетоэлектриков и построения петли гистерезиса на основе измерений вручную потребуется много времени. С помощью автоматизации измерений программа будет снимать данные со схемы за очень короткий промежуток времени.

Цель: разработать проект автоматизированного стенда для измерения параметров сегнетоэлектриков с использованием микропроцессорной платформы *Arduino*.

Задачи:

1. Разработать схему автоматизированного стенда для измерения параметров сегнетоэлектриков схемы Сойера-Тауэра.
2. Провести анализ получившейся схемы для последующего применения платфомы*Arduino* в ней.
3. Разработать алгоритмрасчёта параметров сегнетоэлектриков для измерения сегнетоэлектрического гистерезиса
4. Разработать программное обеспечение для проведения измерения петли сегнетоэлектрического гистерезиса.
5. Сделать полное описание итоговой схемы и её программы.

Актуальность данной темы заключается в том, что проведения измерениипетли диэлектрического гистерезиса необходима автоматизация расчетов схемы, позволяющая упростить исследования в этой области.

Объект исследования:схема Сойера-Тауэра.

Предмет исследования: петля гистерезиса.

Полученные результаты: разработана схема автоматизированного стенда для измерения параметров сегнетоэлектриков и программа.которая позволяет генерировать необходимы сигнал на выводах платформы *ArduinoUno* для работы схемы в одном из двух режимов работы.

динамических элементов памяти и логических элементов электронных вы: числительных машин, электромеханических преобразователей, емкостных аналогов термисторов и уникальных термисторов с положительным температурным коэффициентом сопротивления, высоковольтных аккумуляторов, электретов, модуляторов излучения и регуляторов добротности оптических квантовых генераторов, сегнетоэлектрических преобразователей энергии, умножителей и делителей частоты, фильтров промежуточной частоты, диэлектрических усилителей, релаксационных генераторов, частотных модуляторов, диэлектрических устройств при адиабатическом методе охлаждения в области сверхнизких температур и при измерении этих температур, параметрических преобразователей в электрометрах, автостабилизаторов температуры. Сегнетоэлектрики применяются также в схемах формирования импульсов, управления свечением электролюминофоров, стабилизации напряжения и тока, систем зажигания автомобилей, дистанционной настройки радиоприемных устройств, ключевых схемах и схемах совпадения, реле времени и т. д. В связи с открытием в последнее время веществ, обладающих одновременно сегнетоэлектрическими и ферро- или антиферромагнитными свойствами, следует ожидать дальнейшего расширения области применения СЭ [3].

В последние десятилетия набирает популярность доменная инженерия, которая превратилась в одну из самых важных областей сегнетоэлектрической науки и технологии. Основной целью доменной инженерии является изготовление стабильных доменных структур с заданной геометрией в коммерчески доступных сегнетоэлектриках, обладающих характеристиками, важными для применений. Возможность пространственной модуляции электрооптических, фоторефрактивных, пьезоэлектрических и нелинейно-оптических свойств за счет создания периодической сегнетоэлектрической доменной структуры открывает широкие возможности для изготовления новых устройств с рекордными характеристиками [6].

1 Изучение основных свойств и характеристик сегнетоэлектриков

1.1 Общие сведения

Сегнетоэлектрики — полупроводники, в особенности с широкойзапрещенной зоной и малой подвижностью носителей, представляют собой сложный объект исследования, если подходить к ним с обычных позиций физики полупроводников. Неопределенность зонной структуры, наличие в запрещенной зоне сложной системы локальных уровней неизвестной природы и связанная с этим невозможность легирования, большие времена максвелловской релаксации, затрудняющие исследование кинетики неравновесных электронных процессов, — все это и многое другое делает эти материалы малоперспективным объектом в изучении элементарных процессов в полупроводниках [2].

Сегнетоэлектрики занимают особое место среди активных диэлектриков, потому что они обладают в определенном интервале температур спонтанной, т.е. самопроизвольно возникающей поляризацией, которая может быть переориентирована внешним воздействием, в частности, приложением к кристаллу электрического поля. Особое значение данных материалов связано с нелинейностью их свойств, которая дает возможность управления их характеристиками с помощью внешних воздействий.

Все сегнето-, антисегнето- и сегнетиэлектрики можно разделить на две труппы:

1) I — так называемые кислородно-октаэдрические и близкие к ним, в которых сегнетоактивный ион находится внутри кислородного октаэдра;

2) II — так называемые водородные и близкие к ним, в которых возникновение сегнетоэлектрических (антисегнетоэлектрических) свойств

возникновение сегнетоэлектрических (антисегнетоэлектрических) свойств связано с перемещением протонов в водородных связях, с вращением групп или другим механизмом [2].

В настоящее время насчитывается порядка 290 индивидуальных соединений, в которых обнаружены или которым приписываются сегнето- или антисегнетоэлектрические свойства и более 1500 материалов — твердых растворов, обладающих сегнето- или антисегнетоэлектрическими свойствами, сегнето- или антисегнетоэлектриков с различными добавками [3].

К отличительным признакам сегнетоэлектрических материалов относится факт реализации их полярного состояния в виде так называемой доменной структуры. Отдельный домен представляет собой макроскопическую область в кристалле, в пределах которой, в частности, в сегнетоэлектрике все элементарные ячейки поляризованы одинаковым образом. Направление спонтанной поляризации в соседних доменах составляет определенные углы друг с другом. Совокупность доменов с различной ориентацией вектора поляризации представляет собой доменную структуру [2].

1.2 Домены

Домен — это однородная область сегнетоэлектрика, в которой все дипольные моменты в соседних элементарных ячейках имеют одинаковое направление.

Наиболее важный момент в поляризации доменов связан с изменением спонтанной поляризации на неоднородностях. Линейное соотношение между электрической индукцией, полем и поляризацией выражается формулой:

$$D=\varepsilon_0 \cdot E+P, \quad (1)$$

где P – поляризованность, Кл/м^2; E – напряженность поля, В/м; ε_0 – электрическая постоянная.

Поляризованность P возникает как из-за поляризуемости материала при наличии поля, которое определяется формулой:

$$P = \chi E, \tag{2}$$

где χ – диэлектрическая восприимчивость.

Также поляризованность P от спонтанного упорядочения диполей в сегнетоэлектрике. Если существуют пространственные изменения D, то плотность свободных зарядов ρ должна удовлетворять уравнению Пуассона:

$$\operatorname{div} D = \rho, \tag{3}$$

так что

$$\operatorname{div} E = \frac{1}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot (\rho - \operatorname{div} P_S), \tag{4}$$

где P_s − распределение поляризованности, Кл/м^2; ε – диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м.

В идеальном бесконечном сегнетоэлектрике спонтанная поляризация однородна, так что $\operatorname{div} E = \rho/\varepsilon \cdot \varepsilon_0$, как в обычных диэлектриках. Однако на поверхности, где распределение поляризованности P_s уменьшается до нуля, или вблизи дефекта, где P_s может иметь другое значение, чем в совершенном кристалле, $\operatorname{div} P_s$ действует как источник деполяризующего поля. Это поле может быть скомпенсировано током свободных зарядов в кристалле (в отличие от магнитного аналога).

$$\rho = \int_0^1 \sigma \cdot E dt, \tag{5}$$

где σ − электропроводность кристалла.

С другой стороны, свободные заряды окружающей среды могут скомпенсировать деполяризующее поле на поверхности кристалла, но для воздуха этот процесс является обычно более медленным по сравнению с проводимостью кристалла. Накопление поверхностного заряда, обусловленное проводимостью, удовлетворяет требованиям компенсации

электрического поля как вне, так и внутри кристалла, но это не является обязательным для области кристалла непосредственно вблизи его поверхности.

Энергия, связанная с деполяризующим полем рассчитывается по формуле:

$$W_E = \frac{1}{2} \cdot \int_V D \cdot E dV \qquad (6)$$

Энергия, связанная с деполяризующим полем равна нулю для полностью скомпенсированного кристалла в равновесии. В кристалле-изоляторе (и в условиях изоляции от окружающей среды) это равновесие достигается очень медленно, и в течение короткого времени энергия W_E может приобрести очень большое значение, определяемое геометрией кристалла и распределением поляризации P_s в кристалле [5].

При охлаждении такого кристалла и переходе его из параэлектрической фазы в сегнетоэлектрическую в отсутствие внешнего поля возникают по крайней мере два эквивалентных направления, вдоль которых может быть направлена спонтанная поляризация. Для минимизации энергии W_E различные области кристалла поляризуются в одном из этих направлений, и каждая такая область однородной поляризации называется доменом. Деполяризующие поля, которые возникают при охлаждении, обычно достаточны для того, чтобы полностью скомпенсировать поляризацию в исходном кристалле. Вследствие этого такие кристаллы обнаруживают очень слабые пиро-и пьезоэффекты, что, вероятно, и объясняет их более позднее открытие по сравнению с несегнетоэлектрическими пироэлектриками [1].

Границы, которые разделяют домены, называются стенками доменными. Эти стенки имеют отличия от совершенного кристалла, поэтому с ними связана энергия W_ω, которая действует в них вместе с электростатической энергии W_E. Окончательная доменная конфигурация определяется минимумом, соответствующим минимумом свободной энергии,

включающей оба эти члена. В состоянии равновесия, когда деполяризующие поля в этой области скомпенсированы, при отсутствии каких-либо дефектов минимум энергии будет соответствовать однодоменной конфигурации, если учитывать в этой системе только электростатическую энергию W_E и W_ω. Действительно, в хорошо проводящих сегнетоэлектриках однодоменная структура оказывается предпочтительной. Однако такое равновесное состояние редко достигается в исходном кристалле при отсутствии внешних полей, и наблюдаемая доменная структура зависит от многих факторов, включая симметрию кристалла, электропроводность, конфигурацию дефектов, значения спонтанной поляризации и упругих и диэлектрических податливостей, а также предысторию кристалла и геометрию образцах [4].

В настоящее время существует ряд методов выявления доменной структуры. Выбор того или иного метода зависит от материала и геометрии кристалла, требуемой скорости и разрешения, а также от необходимости определения электрической полярности доменов [2].

1.3. Электропроводность сегнетоэлектриков

Основная особенность, отличающая сегнетоэлектрики от пироэлектриков, заключается в возможности переключения, по крайней мере частичного, поляризации под действием приложенного электрического поля. Впервые это было показано при наблюдении диэлектрического гистерезиса. Наблюдение петель гистерезиса с помощью схемы Сойера − Тауэра до сих пор часто используется для идентификации сегнетоэлектриков. Типичная петля гистерезиса показана на рисунке 1.1. В слабых и в очень сильных полях сегнетоэлектрик ведет себя подобно обычному диэлектрику (с большой диэлектрической проницаемостью), но при так называемом коэрцитивном поле E_c происходит переключение поляризации, сопровождаемое большой диэлектрической нелинейностью. Площадь петли является мерой энергии, необходимой для двойного переключения поляризации. В нулевых полях электрическая индукция в одном домене (индукция насыщения) имеет два

значения, отвечающие противоположным ориентациям спонтанной поляризации В многодоменном кристалле средняя индукция в нулевом поле может иметь любую величину между этими двумя крайними значениями [9].

С увеличением напряженности E внешнего электрического поля поляризованность P растет, достигая насыщения. Уменьшение P с уменьшением E происходит по кривой, и при $E = 0$ сегнетоэлектрик сохраняет остаточную поляризованность P_0, т.е. сегнетоэлектрик остается поляризованным в отсутствие внешнего электрического поля. Чтобы уничтожить остаточную поляризованность, надо приложить электрическое поле обратного направления ($-E_c$). Величина E_c называется коэрцитивной силой (удерживающая). Если далее E изменять, то P изменяется по кривой петли гистерезиса.

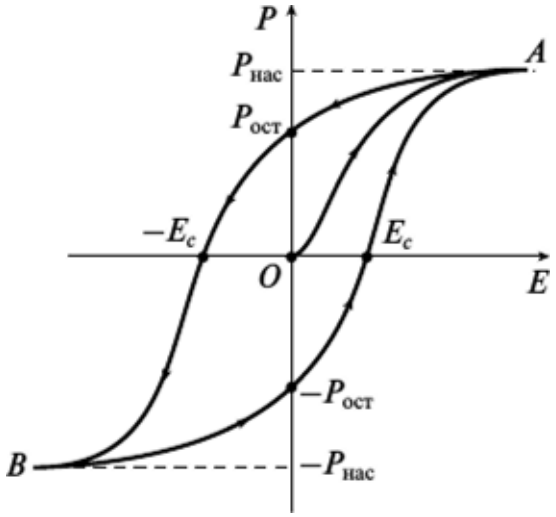


Рисунок 1.1 − Зависимость поляризации P от напряжённости электрического поля E в сегнетоэлектрике.

Спонтанная поляризация равна величине насыщения электрической индукции D, экстраполированной к нулевым полям, как это показано на рисунке 1.1., поскольку значение $\varepsilon_0 E$ в D по сравнению с P крайне незначительно.

2 Методы измерения сегнетоэлектрического гистерезиса

2.1 Общая характеристика методов

Существует несколько способов измерения петли диэлектрического гистерезиса:

1) метод Сойера-Тауэра;
2) метод шунта;
3) метод виртуальной земли.

Измерительная схема Сойера-Тауэра основана на определении заряда эталонного конденсатора, соединенного последовательно с сегнетоэлектрическим конденсатором.

Структурная схема Сойера-Тауэра показана на рисунке 2.1.

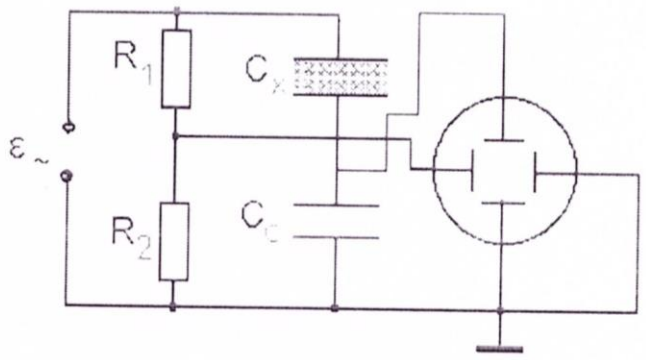


Рисунок 2.1 – Структурная схема Сойера-Тауэра

Пьезоэлектрические свойства проявляются в сегнетокерамическом материале после «полировки». Это означает, что домены переориентируются и выравниваются под действием сильного постоянного электрического поля, обычно при повышенной температуре чуть ниже температуры Кюри (рисунок 2.2).

Благодаря этой поляризационной (поляризующей) обработке домены.

					ПГУ.2.11.03.04. 013 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			
Разраб.		Марков			Методы измерения сегнетоэлектрического гистерезиса	Лит.	Лист 12 / Листов 52
Провер.		Метальников					
Н. Контр.		Рыжова		16.06		группа 19ПД1	
Утверд.							

Благодаря этой поляризационной (поляризующей) обработке домены, которые почти выровнены в направлении электрического поля, расширяются за счет доменов, которые не выровнены с полем. Когда электрическое поле снимается, большинство диполей фиксируются в конфигурации, в которой они выстраиваются в практически ровные ряды (рисунок 2.2). Теперь образец имеет постоянную поляризацию, называемую остаточной поляризацией [3].

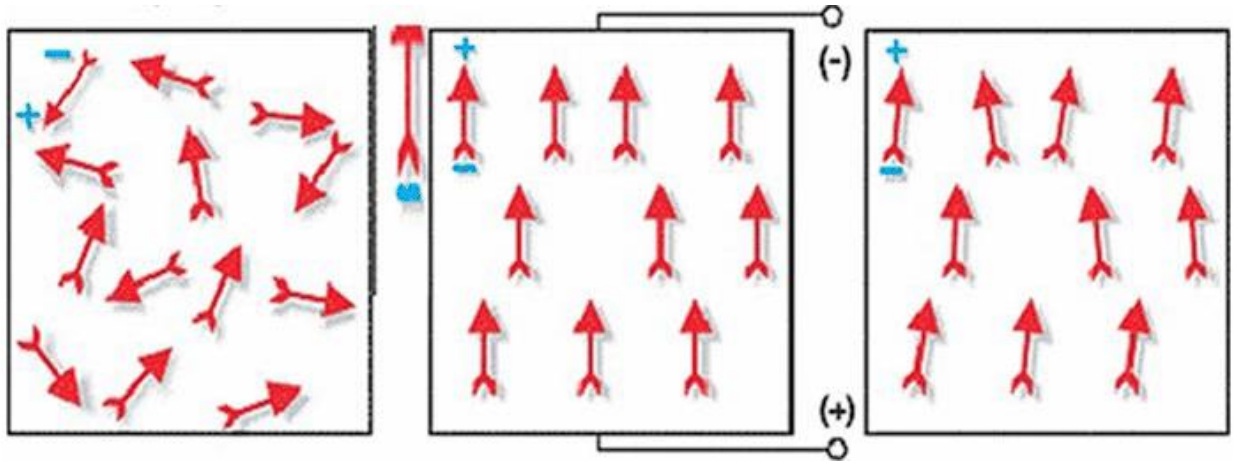


Рисунок 2.2 − Поляризация сегнетокерамики

Хотя оригинальная схема измерений, благодаря своей простоте, встречается довольно часто и в настоящее время, она имеет множество недостатков. Самый главный из них – сложность сбора данных. До массового распространения цифровых осциллографов единственным способом сохранения измеренных петель было фотографирование экрана осциллографа или перенос изображения на полупрозрачную бумагу (пленку).

Для измерения петли гистерезиса необходимо иметь как минимум один выходной канал аналогового напряжения и один входной.

Метод шунта основан на измерении тока. Переменный ток определяется на основе падения напряжения на эталонном резисторе ($U=R*I$), и затем интегрируется (например, численно), чтобы вычислить поляризационный заряд. Выбор эталонного резистора зависит не только от емкости сегнетоэлектрического образца, но и от частоты возбуждающего сигнала [6].

Схема для измерения параметров диэлектрического гистерезиса методом шунта показана на рисунке 2.3.

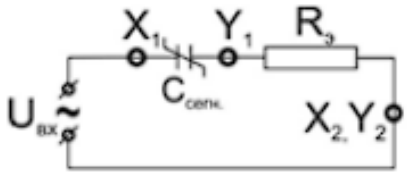


Рисунок 2.3 –Схема для измерения параметров диэлектрического гистерезиса методом шунта

Метод виртуальной земли использует преобразователь ток-напряжение, который основан на измерении тока с помощью операционного усилителя и резистора обратной связи. Выход преобразователя ток-напряжение соединяется с инвертирующим входом ОУ через резистор обратной связи, не инвертирующий вход соединяется с землей. Схема для измерения параметров диэлектрического гистерезиса методом виртуальной земли показана на рисунке 2.4.

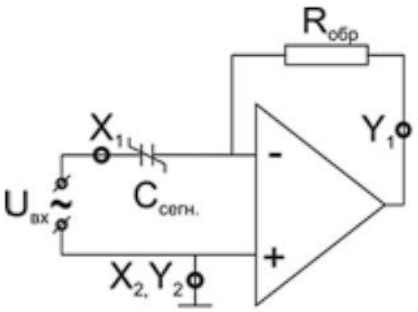


Рисунок 2.4 – Схема для измерения параметров диэлектрического гистерезиса методом виртуальной земли

В качестве недостатков методов шунта и виртуальной земли можно выделить необходимость интегрирования выходного сигнала. В методе Сойера-Тауэра, в отличие от них, интегрирование не требуется.

В отличие от метода Сойера-Тауэра, методы шунта и виртуальной земли чувствительны к изменению частоты возбуждающего напряжения. Под каждую частоту необходимо подбирать соответствующие шунтирующий

резистор или резистор обратной связи. Вдобавок при использовании аппаратного интегратора, возникают фазовые искажения выходного сигнала, связанные с параметрами интегратора, которые делают форму петли непригодной для измерения параметров образца. Таким образом, для измерения частотной зависимости методами шунта и виртуальной земли, необходимо либо для каждой частоты возбуждения подбирать параметры интегратора, либо пользоваться программным интегрированием выходного сигнала [6].

Метод Сойера-Тауэра не получится использовать для высоковольтных измерений. Ограничение вносит эталонный конденсатор. Для измерения параметров некоторых сегнетоэлектрических образцов понадобится конденсатор емкостью порядка 1 мкФ. Поскольку таким материалам, как пьезокерамика для возбуждения требуются напряжения порядка 1000 В и более, то подобрать конденсатор необходимой емкости, рассчитанный на такое напряжение становится проблематично, к тому же такие конденсаторы стоят дорого.

Для высоковольтных измерений лучше использовать метод шунта. Поскольку в измерительной схеме этого метода нет конденсатора, в отличие от схемы Сойера-Тауэра, то в ней отсутствуют ограничения по величине возбуждающего напряжения. Метод виртуальной земли также не вносит ограничений на величину возбуждающего напряжения, поскольку в данном методе также отсутствуют элементы, подверженные воздействию высокого напряжения, за исключением резисторов.

2.1 Метод Сойера-Тауэра

В схему Сойера-Тауэра были внесены некоторые изменения. Теперь схема может работать в двух режимах: в режиме прямого и переменного напряжения.

В первом режиме работы на высоковольтный усилитель подается переменное напряжение 1 В. На высоковольтном усилителе это напряжение увеличивается до 100 В. Оно размыкает ключ, поэтому напряжение протекает через резистор. Далее оно делится посредством нагрузки на двух параллельно соединенных резисторах и на образцовом и эталонном конденсаторах. Эталонный конденсатор должен выбираться из соображений, что его емкость должна быть гораздо больше емкости измеряемого конденсатора. Таким образом эталонный конденсатор должен быть адаптирован под каждый образец. С помощью повторителей на экране порта выводится петля гистерезиса. Каждый из двух повторителей отвечает за одну из осей координат. Первый повторитель строит график по оси *x* – на этой оси отображается напряженность *E*, которая считывается с нагрузки. С помощью второго повторителя на ось *y* выводятся значения поляризованности.

Во втором режиме схема работает, когда на вход усилителя подается прямое напряжение номиналом 1 вольт. В этом случае ключ, который соединен параллельно с резистором, размыкается и напряжение проходит по резистору. Далее в схеме происходит все тоже самое, что и при работе в первом режиме, с той лишь разницей, что в схеме прямое напряжение. Разница только в том, что в результате получается не общая петля гистерезиса, а локальная. Т.е. эта петля гистерезиса была выведена на основе данных с основной петли. По оси бралась только одна фиксированная точка для одного измерения, а по оси x петля оставалась в диапазоне 1 вольта.

В итоге получившийся график представляет собой петлю гистерезиса, которая состоит из точек, считанных с аналоговых входов *A*0 и *A*1, на которые подавался аналоговый сигнал с повторителей, и записанных в массив. После записи эти значения выводятся из массива на нужный нам график.

В классической схеме применяется синусоидальный или треугольный измерительный сигнал. В этом случае одной из главных проблем при измерении петель гистерезиса является поворот фазы измеряемого сигнала из-

за паразитных эффектов в образце, например, из-за высокой величины проводимости. Это выражается в искажении петли или вовсе в появлении петли у материала, у которого ее быть не должно, что подробно описано в работе. Решением проблемы является применение сложной формы измерительного сигнала, например, приложение пар импульсов каждой полярности. Этот метод носит название “*Positive up negative down*” (*PUND*); также в литературе встречается название “*Double wave method*” (*DWM*). В данном методе переключение поляризации происходит на первых импульсах (полуволнах), а на вторых измеряются все эффекты, не сохранившиеся при снятии внешнего электрического поля.

3Разработка структурнойсхемыизмерителяпараметровсегнетоэлектрического гистерезиса на базе микропроцессорного*Arduino*

3.1 Общая характеристика*Arduino*.*ArduinoUno*

Arduino – это платформа для разработки электронных устройств, точнее их прототипов и макетов. Включает в себя железо (платы) и софт (среда разработки).

ArduinoUno – это устройство на основе микроконтроллера *ATmega*328. В его состав входит все необходимое для удобной работы с микроконтроллером: 14 цифровых входов/выходов (из них 6 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов), 6 аналоговых входов, кварцевый резонатор на 16 МГц, разъем *USB*, разъем питания, разъем для внутрисхемного программирования (*ICSP*) и кнопка сброса. Для начала работы с устройством достаточно просто подать питание от /адаптера или батарейки, либо подключить его к компьютеру посредством *USB*-кабеля[10].

Объем флеш-памяти *ATmega*328 составляет 32 КБ (из которых 0.5 КБ используются загрузчиком). Микроконтроллер также имеет 2 КБ памяти *SRAM* и 1 КБ *EEPROM*.

С использованием функций pinMode(), digitalWrite() и digitalRead() каждый из 14 цифровых выводов может работать в качестве входа или выхода. Уровень напряжения на выводах ограничен 5В. Максимальный ток, который может отдавать или потреблять один вывод, составляет 40 мА. Все выводы сопряжены с внутренними подтягивающими резисторами (по умолчанию отключенными) номиналом 50 кОм. Помимо этого, некоторые выводы *Arduino* могут выполнять дополнительные функции:

1. Последовательный интерфейс: выводы 0 (*RX*) и 1 (*TX*). Используются для получения (*RX*) и передачи (*TX*) данных по последовательному интерфейсу. Эти выводы соединены с соответствующими выводами микросхемы *ATmega*8*U*2, выполняющей роль преобразователя *USBUART*.

2. Внешние прерывания: выводы 2 и 3. Могут служить источниками прерываний, возникающих при фронте, спаде или при низком уровне сигнала на этих выводах.

3. ШИМ: выводы 3, 5, 6, 9, 10 и 11. С помощью функции analogWrite() могут выводить 8 битные аналоговые значения в виде ШИМ-сигнала.

4. Интерфейс *SPI*: выводы 10 (*SS*), 11 (*MOSI*), 12 (*MISO*), 13 (*SCK*). С применением библиотеки *SPI* данные выводы могут осуществлять связь по интерфейсу *SPI*.

5. Светодиод: 13. Встроенный светодиод, подсоединенный к выводу 13. При отправке значения *HIGH* светодиод включается, при отправке *LOW* выключается [10].

Arduino Uno предоставляет ряд возможностей для осуществления связи с компьютером, еще одним *Arduino* или другими микроконтроллерами. В *ATmega*328 имеется приемопередатчик *UART*, позволяющий осуществлять последовательную связь посредством цифровых выводов 0 (*RX*) и 1 (*TX*). Микроконтроллер *ATmega*16*U*2 на плате обеспечивает связь этого приемопередатчика с *USB*-портом компьютера, и при подключении к ПК позволяет *Arduino* определяться как виртуальный *COM*-порт. Прошивка микросхемы 16*U*2 использует стандартные драйвера *USBCOM*, поэтому установка внешних драйверов не требуется. В пакет программного обеспечения *Arduino* входит специальная программа, позволяющая считывать и отправлять на *Arduino* простые текстовые данные. При передаче данных через микросхему-преобразователь

USB-UART во время *USB*-соединения с компьютером, на плате будут мигать светодиоды *RX* и *TX*. (При последовательной передаче данных посредством выводов 0 и 1, без использования *USB*-преобразователя, данные светодиоды не задействуются) [10].

Основные характеристики *Arduino Uno* указаны в таблице 1.

Таблица 1 − Характеристики *Arduino Uno*

Микроконтроллер	*ATmega*328
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	14 (из них 6 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов)
Аналоговые входы	6
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода	3.3 В
Flash-память	32 КБ (*ATmega*328) из которых 0.5 КБ используются загрузчиком
SRAM	2 КБ (*ATmega*328)
EEPROM	1 КБ (*ATmega*328)
Тактовая частота	16 МГц

Arduino Uno может быть запитан от *USB* либо от внешнего источника питания тип источника выбирается автоматически.

Чтобы каждый раз перед загрузкой программы не требовалось нажимать кнопку сброса, *Arduino Uno* спроектирован таким образом, который позволяет осуществлять его сброс программно с подключенного компьютера. Один из выводов *ATmega*8*U*2/16*U*2, участвующий в управлении потоком данных

(*DTR*), соединен с выводом *RESET* микроконтроллера *ATmega*328 через конденсатор номиналом 100 нФ.

Когда на линии *DTR* появляется ноль, вывод *RESET* также переходит в низкий уровень на время, достаточное для перезагрузки микроконтроллера. Данная особенность используется для того, чтобы можно было прошивать микроконтроллер всего одним нажатием кнопки в среде программирования *Arduino*. Такая архитектура позволяет уменьшить таймаут загрузчика [10].

3.2 Генерация сигнала и режимы работы схемы

В схеме на вход усилителя через реле подается напряжение 1 В. В зависимости от положения реле, напряжение подается либо постоянное, либо переменное. Это определяет режим работы схемы и то, какую петлю гистерезиса требуется получить в конце работы схемы.

Для усиления напряжение была использована схема с операционным усилителем, который может увеличить выходное напряжение до 100 вольт.

Так как напрямую сгенерировать необходимое напряжение нельзя, так как цифровые пины могут генерировать напряжение, равное либо нулю вольт, или *LOW* либо напряжение *HIGH*, которое равняется напряжение на опорном генераторе. В *Arduino Uno* напряжение на опорном генераторе может быть равно 3,3 вольта и 5,5 вольт. Поэтому для генерации одного вольта используется ШИМ-сигнал. ШИМ (широтно-импульсная модуляции или *PWM*) − это импульсный сигнал постоянной частоты, но переменной скважности (соотношение длительности импульса и периода его следования). Из-за того, что большинство физических процессов в природе имеют инерцию, то резкие перепады напряжения от 1 к 0 будут сглаживаться, принимая некоторое среднее значение. С помощью задания скважности можно менять среднее напряжение на выходе ШИМ.

Принцип работы широтно-импульсной модуляции показан на рисунке 3.1.

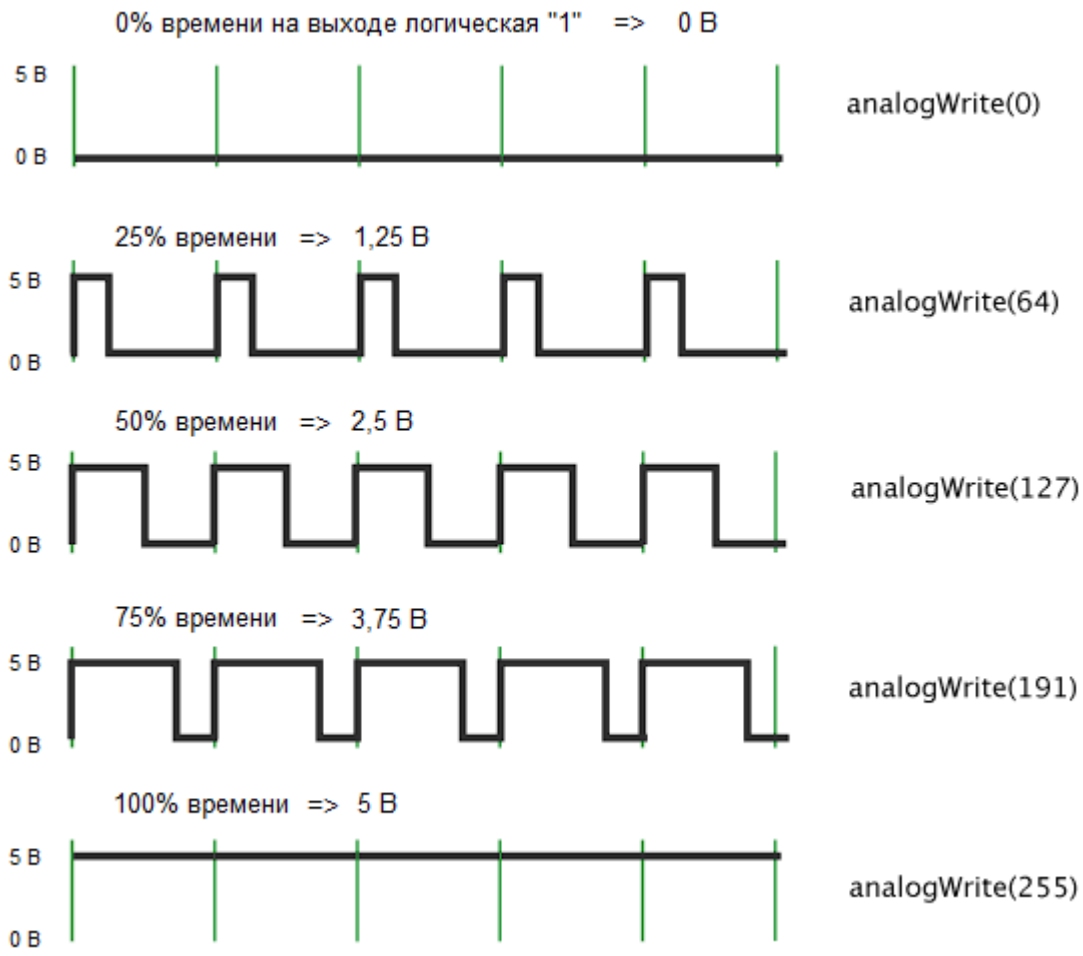


Рисунок 3.1 – Принцип работы широтно-импульсной модуляции

В программе скважность задаётся не в процентах, а числом от 0 до 255. Например, команда analogWrite(10, 51) даст микроконтроллеру команду подать на цифровой ШИМ выход *D*10 сигнал со скважностью 20%.

При стандартном задании ШИМ-сигнала он работает либо на частоте 488 Гц (пины *D*3, *D*9, *D*10 и *D*11), либо на частоте 976 Гц (пины *D*5 и *D*6). Частоту ШИМ-сигнала можно настроить через команду analogWriteFreq().

Этот способ подходит для первого режима работы, когда требуется переменное напряжение 1 В.

```
int pinLed1 = 6;  //
int pinLed2 = 11; //
```

```
uint8_t analog_ref = DEFAULT;

void setup()
{
  pinMode(pinLed1, OUTPUT);
  pinMode(pinLed2, OUTPUT);
  ADC_init(); // Все настройки АЦП вынесены в отдельную процедуру
}

void ADC_init()
{
  ADCSRA = 0;            // Сбрасываем регистр ADCSRA
  ADCSRB = 0;            // Сбрасываем регистр ADCSRB
  ADMUX |= (1 << REFS0);  // Задаем ИОН

  //ADMUX |= (1 << ADLAR);  // Меняем порядок записи бит, чтобы можно было читать только 8 бит регистра ADCH
  // В этом случае считывание данных с АЦП будет выглядеть так:
  //int result = ADCH;

  analog_ref = ADMUX;     // Запоминаем состояние регистра - из него мы будем формировать маску для смены входного пина

  ADMUX |= (0 & 0x07);    // Выбираем пин A0 для преобразования

  ADCSRA |= (1 << ADPS2) | (1 << ADPS0);
  ADCSRA &= ~ (1 << ADPS1);
  ADCSRA |= (1 << ADATE);
  ADCSRA |= (1 << ADIE);
  ADCSRA |= (1 << ADEN);
```

```
  ADCSRA |= (1 << ADSC);
}
volatile int currentSensorValue1 = 0;
volatile int currentSensorValue2 = 0;
long oldTime = 0;
void loop() {
  if (millis() - 10 > oldTime) {
    analogWrite(pinLed1, map(currentSensorValue1, 0, 1023, 0 , 255));
    analogWrite(pinLed2, map(currentSensorValue2, 0, 1023, 0 , 255));
    oldTime = millis();
  }
}
volatile int analogPin = A0;
volatile bool trueValue = false;
ISR(ADC_vect) {
  if (trueValue) {
    int result = ADCL | (ADCH << 8);
    if (analogPin == A0) {
      currentSensorValue1 = result;
    }
    else {
      currentSensorValue2 = result;
    }
    analogPin += 1;
    if (analogPin > A1)
      analogPin = A0;
    };

    int pin = analogPin;
    if (pin >= 14) pin -= 14;
```

```
    ADMUX = analog_ref | (pin & 0x07);
    trueValue = false;
  }
  else {
    trueValue = true;
  }
}
```

Для другого второго режима требуется постоянное напряжение 1 В, которое тоже просто так от *Arduino Uno* не получить. На этой платформе есть два пина, которые могут быть источниками напряжения на 3.3 вольта и на 5 вольт. Для данного режима лучше подходит использование мина 3.3*V*. Между выходом пина 3.3*V* и входом высоковольтного усилителя был подключен потенциометр. Настройка потенциометра происходит вручную, за пределами возможностей программы.

Часть программы, которая отвечает за генерирование напряжения на модуле *Arduino Uno*, переключение реле на высоковольтном усилителе в один из двух режимов и открывает или оставляет открытыми переключатели в схеме.

```
#define RELAYA_PIN 7
#define RELAYB_PIN 8
int REZ1, REZ2;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  analogReference(DEFAULT);
  analogWrite(3,51);
  pinMode(RELAYA_PIN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(RELAYB_PIN, INPUT_PULLUP);
  if (Serial.available(REZ1)) {
     digiatalWrite(RELAYA_PIN, HIGH);
  };
```

```
  if (Serial.available(REZ2)) {
     digiatalWrite(RELAYB_PIN, HIGH)
  };
}
```

Для регулировки всех реле схемы были выбраны цифровые пины *D*7 и *D*8. Реле переключаются в соответствии с выбором режима работы всего стенда. Также, все реле и переключатели в схеме были выбраны заменены на компоненты от *Arduino*, чтобы можно было переключать их положение с помощью программы на микроконтроллере. К тому же, механические реле имеют больше минусов по сравнению со своими аналогами из-за их ограниченного количества переключений, возможности залипания при большой нагрузке, очень большой наводки на всю линию питания при коммутации индуктивной нагрузки и относительно долгого переключения при невозможности поставить детектор ниже нуля.

```
        // Include Libraries
#include "Arduino.h"
#include "Relay.h"
#define RELAYMODULE1_1_PIN_SIGNAL 2
#define RELAYMODULE2_2_PIN_SIGNAL 3
#define RELAYMODULE3_3_PIN_SIGNAL 4
#define RELAYMODULE4_4_PIN_SIGNAL 5
#define RELAYMODULE5_5_PIN_SIGNAL 6
#define RELAYMODULE6_6_PIN_SIGNAL 7
Relay relayModule1_1(RELAYMODULE1_1_PIN_SIGNAL);
Relay relayModule2_2(RELAYMODULE2_2_PIN_SIGNAL);
Relay relayModule3_3(RELAYMODULE3_3_PIN_SIGNAL);
Relay relayModule4_4(RELAYMODULE4_4_PIN_SIGNAL);
Relay relayModule5_5(RELAYMODULE5_5_PIN_SIGNAL);
Relay relayModule6_6(RELAYMODULE6_6_PIN_SIGNAL);
```

```
const int timeout = 10000;
char menuOption = 0;
long time0;

void setup()
{
   Serial.begin(9600);
   while (!Serial) ;
   Serial.println("start");


   menuOption = menu();

}

void loop()
{


   if(menuOption == '1') {
   // Relay Module #1 - Test Code
   // The relay will turn on and off for 500ms (0.5 sec)
   relayModule1_1.on();       // 1. turns on
   delay(500);           // 2. waits 500 milliseconds (0.5 sec). Change the value in
the brackets (500) for a longer or shorter delay in milliseconds.
   relayModule1_1.off();      // 3. turns off.
   delay(500);           // 4. waits 500 milliseconds (0.5 sec). Change the value in
the brackets (500) for a longer or shorter delay in milliseconds.
   }
   else if(menuOption == '2') {
```

```
relayModule2_2.on();
delay(500);
relayModule2_2.off();
delay(500);
}
else if(menuOption == '3') {

relayModule3_3.on();        delay(500);
relayModule3_3.off
delay(500);
}
else if(menuOption == '4') {
relayModule4_4.on();      // 1. turns on
delay(500);
relayModule4_4.off();
delay(500);
}
else if(menuOption == '5') {

relayModule5_5.on();
delay(500);
relayModule5_5.off();
delay(500);
}
else if(menuOption == '6') {
relayModule6_6.on();      // 1. turns on
delay(500);
relayModule6_6.off();     // 3. turns off.
delay(500);
}
```

```
    if (millis() - time0 > timeout)
    {
        menuOption = menu();
    }
}
char menu()
{
    Serial.println(F("\nWhich component would you like to test?"));
    Serial.println(F("(1) Relay Module #1"));
    Serial.println(F("(2) Relay Module #2"));
    Serial.println(F("(3) Relay Module #3"));
    Serial.println(F("(4) Relay Module #4"));
    Serial.println(F("(5) Relay Module #5"));
    Serial.println(F("(6) Relay Module #6"));
    Serial.println(F("(menu) send anything else or press on board reset button\n"));
    while (!Serial.available());

    // Read data from serial monitor if received
    while (Serial.available())
    {
        char c = Serial.read();
        if (isAlphaNumeric(c))
        {
           if(c == '1')
          Serial.println(F("Now Testing Relay Module #1"));
        else if(c == '2')
          Serial.println(F("Now Testing Relay Module #2"));
        else if(c == '3')
          Serial.println(F("Now Testing Relay Module #3"));
        else if(c == '4')
```

```
        Serial.println(F("Now Testing Relay Module #4"));
      else if(c == '5')
        Serial.println(F("Now Testing Relay Module #5"));
      else if(c == '6')
        Serial.println(F("Now Testing Relay Module #6"));
        else
        {
          Serial.println(F("illegal input!"));
          return 0;
        }
        time0 = millis();
        return c;
      }
   }
}
```

Блок-схема для этой начальной части программы показана на рисунке 3.2.

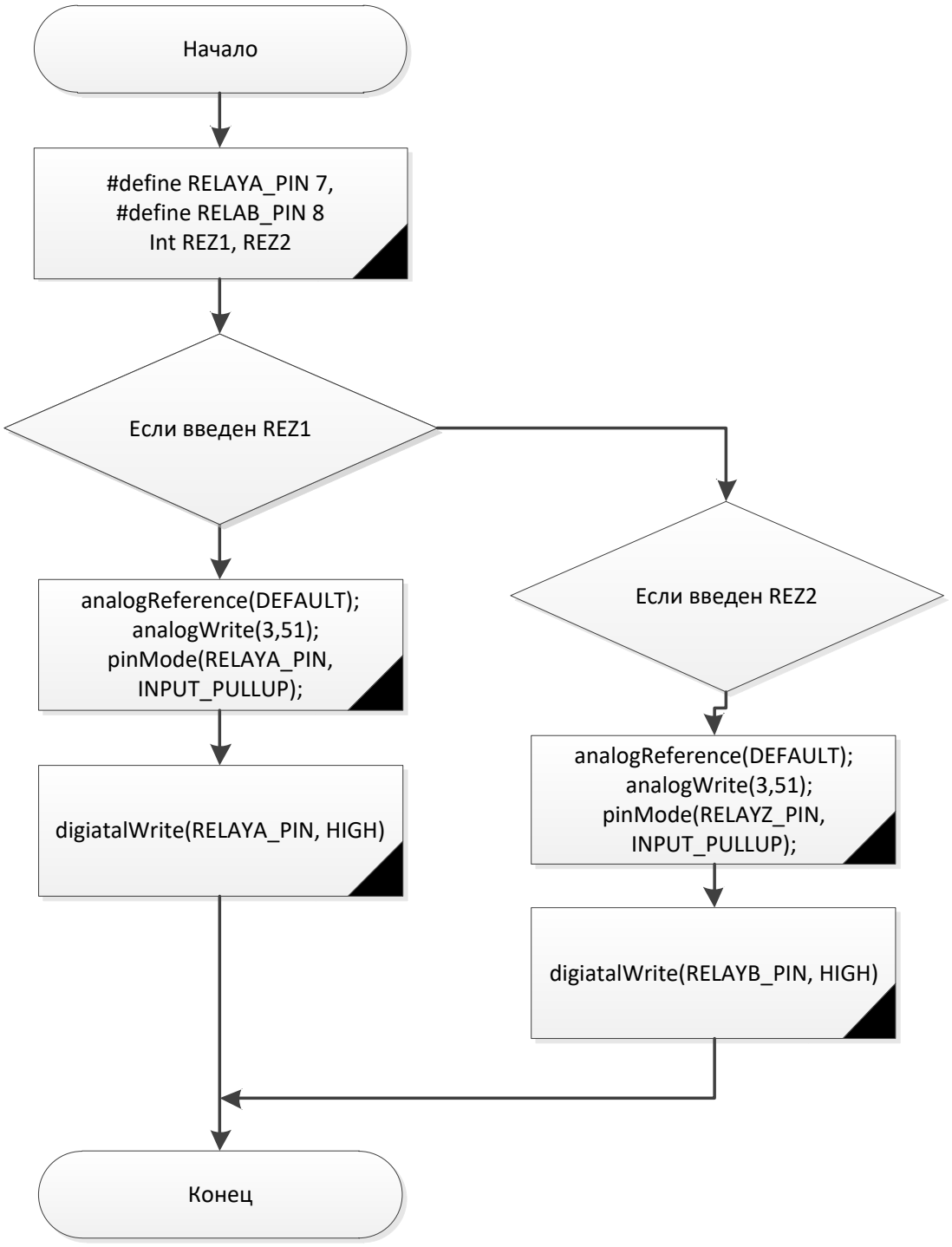


Рисунок 3.2 − Блок-схема программы, позволяющей выбирать режим работы и генерировать сигналов на входе высоковольтного усилителя.

После усиления напряжения на выходе высоковольтного усилителя сигнал, в соответствии с выбором режима работы схемы протекает либо через замкнутый ключ, либо через резистор.

Дальнейшая работа схемы связана с разделением напряжения с помощью делителя из двух резисторов и параллельно соединенных образцового и эталонного конденсаторов.

```
#define THERM_PIN 0
#define RELAY_PIN 2
#define SETPOINT 50.0
#define HYSTER 2
#include "thermistorMinim.h"
// GND --- термистор --- A0 --- 10к --- 5V
thermistor therm(THERM_PIN, 10000, 3950); // пин, сопротивление, бета-коэффициент
#include "GyverRelay.h"
// установка, гистерезис, направление регулирования
GyverRelay regulator;
// либо GyverRelay regulator(); без указания направления (будет REVERSE)
void setup() {
Serial.begin(9600);
pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT); // пин реле
regulator.k = 8.5; // коэффициент обратной связи (подбирается по факту)
regulator.setpoint = SETPOINT; // установка (ставим на SETPOINT градусов)
regulator.hysteresis = HYSTER; // ширина гистерезиса
}
void loop() {
regul();
debug();
}
void regul() {
static uint32_t tmr;
if (millis() - tmr > 500) {
tmr = millis();
```

```
regulator.input = therm.getTempAverage();
digitalWrite(RELAY_PIN, regulator.getResult());
}
}
void debug() {
static uint32_t tmr;
if (millis() - tmr > 50) {
tmr = millis();
Serial.print(regulator.input); // фактическая
Serial.print(',');
Serial.print(SETPOINT); // гистерезис
Serial.print(',');
Serial.print(SETPOINT + HYSTER); // гистерезис
Serial.print(',');
Serial.print(SETPOINT - HYSTER); // гистерезис
Serial.print(',');
Serial.println(regulator.output * 2 + 30); // сост. реле
}
}
```

Однако стоит учитывать один важный момент. При подключении к платформе *Arduino*, не важно какой, даже самой мощной в данный момент разработанной – *Arduino MEGA*, слишком большое кол-во управляемых с помощью программных команд элементов повредит работе схемы. Чтобы это исправить или не просто предупредить неполадки в схеме, нужно использовать фильтры при составлении программы, подключить внешний источник питания, а не использовать питание от *USB*-кабеля, потому что питание от него хоть и почти максимально возможное – 5,5 вольт (при практическом использовании немного меньше, примерно 5 вольт), но оно не слишком стабильное, что особенно заметно при работе программ, регулирующих большое число управляемых элементов.

Внешний источник питания более стабильный, особенно если использовать литий-ионные аккумуляторы. При смене источника питания также потребуется сменить референсное напряжение. Для этого достаточно использовать команду analogReference(INTERNAL). INTERNAL меняет стандартное значение внутреннего опорного источника напряжения DEFAULT на внешнее.

3.3 АЦП *Arduino Uno* и построение петли гистерезиса по точкам

В *Arduino IDE* есть возможность не составлять один код со множеством символов, а подключать библиотеки, т.е. другие программы, для использования их данных уже в новом коде. Достаточно ввести #include и название библиотеки в кавычках, чтобы нужная библиотека оказать подключена к определенной программе. Библиотека является файлом (набором файлов), содержащим точно такой же *C++* код, на котором можно написать скетч. У *Arduino* есть своя база библиотек (около 4000), которые можно устанавливать и обновлять прямо из *Arduino IDE* при помощи встроенного менеджера библиотек. Ручная установка библиотеки подразумевает перемещение папки с библиотекой в папку, в которой *Arduino IDE* будет эту библиотеку искать. Однако если *Arduino IDE* найдёт на компьютере несколько одинаковых библиотек, будет конфликт.

Несмотря на кажущуюся схожесть с другой парой функций digitalRead() и digitalWrite(), которые работают по одному механизму, только в разных направлениях, функции analogRead() и analogWrite() имеют в корне разную природу, в первую очередь на аппаратном уровне. Поэтому и рассматривать их нужно в отрыве друг от друга — функционал analogRead() целиком и полностью реализован на «железном уровне» в аналого-цифровом преобразователе (АЦП), analogWrite() — в регистрах выходного сравнения *OCR* (ШИМ-генераторам), работающим на одном из встроенных таймеров.

В отличие от остальных функций, ускорение функции analogRead() достигается не модификацией её исходного кода, а настройкой режима работы АЦП.

Микроконтроллер *Atmega* 328*P*, на котором построен *Arduino Uno* содержит встроенный 10-битный аналого-цифровой преобразователь (далее АЦП, англ. *ADC — Analog to Digital Converter*) последовательного приближения. Именно он, как видно из названия, отвечает за оцифровку входящего аналогового сигнала.

Для осуществления корректного преобразования, АЦП необходимо эталонное значение напряжения, с которым будет сравниваться входящий аналоговый сигнал. Это эталонное значение называется источником опорного напряжения (ИОН). Микроконтроллер *Atmega* 328*P* позволяет в качестве ИОН использовать:

1) напряжение питания микроконтроллера — 5 В;
2) внутренний опорный источник на 1,1 В (на Atmega8 — 2,56 В);
3) напряжение на выводе *AREF* (внешний ИОН, референсное напряжение).

По умолчанию, у *Arduino*, в качестве ИОН выступает напряжение пиитания МК — 5 В. Для использования в качестве ИОН других источников референсного внешнего напряжения у микроконтроллера есть дополнительный вход *AREF*. Перед преобразованием аналогового сигнала, при использовании внешнего ИОН необходимо вызвать функцию analogReference().

Сигнал, поданный на вход АЦП должен быть в границах заданного диапазона 0 (*GND*)...ИОН. 10-битный означает, что заданный диапазон будет разбит на 2^10 = 1024 значения, и входной сигнал будет оцифрован в соответствующее цифровое значение из диапазона 0...1023.

Процесс оцифровки аналогового сигнала сводится к последовательному подбору наиболее близкого напряжения с известным (референсным) значением к входному напряжению. Принцип действия АЦП показан на рисунке 3.3.

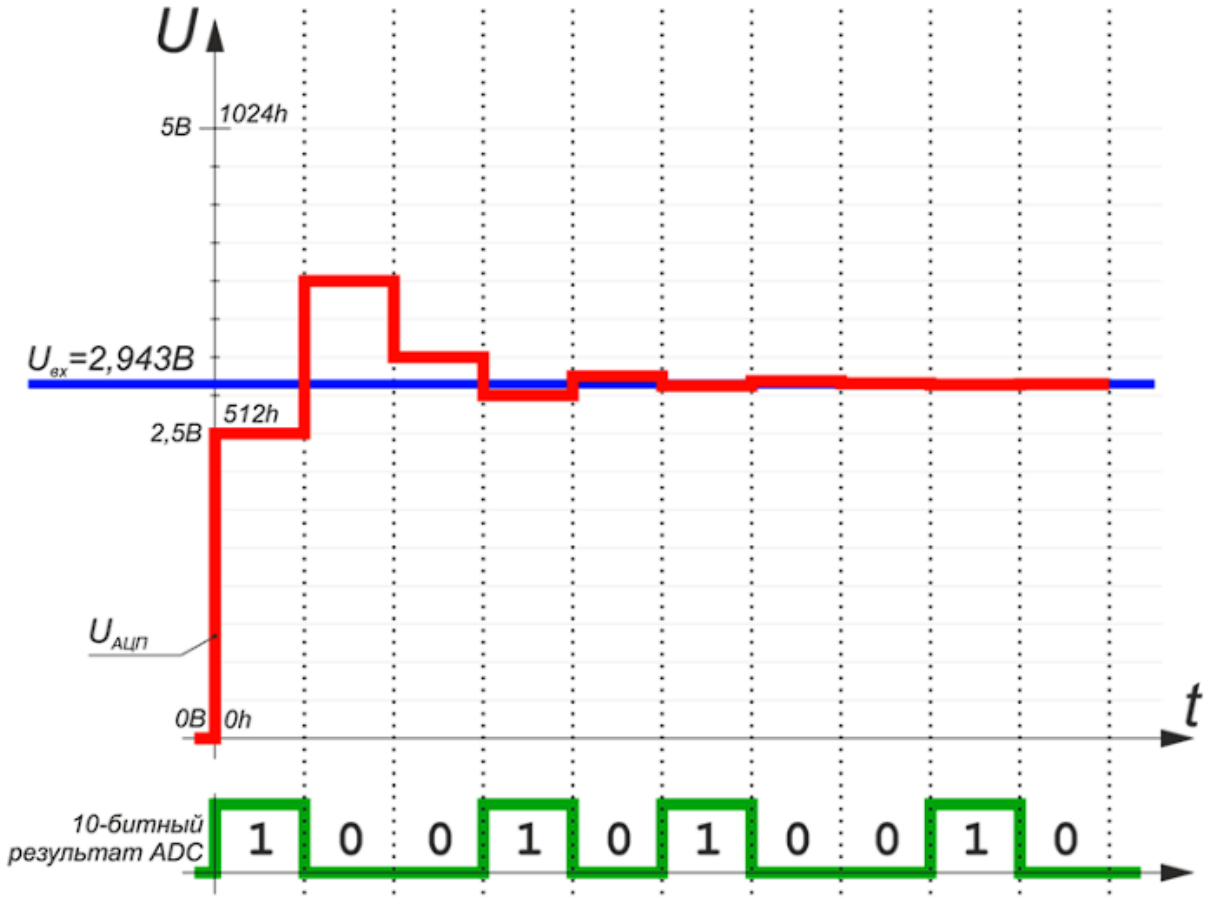


Рисунок 3.3 – Схема работы 10-битного АЦП последовательного приближения

Для использования АЦП в схеме Сойера-Тауэра необходимо сигнал, подаваемый на аналоговый вход, оцифровать с помощью обработки. Принцип действия обработки заключается в фиксации значений напряжения сигнала с частотой не менее 1 кГц.

Интегрированная среда разработки *Arduino IDE* разработана на основе языков программирования *C++* и *C*, поэтому в ней используются функции из этих языков. Только этими двумя языками программирование в *Arduino* не ограничивается. Если необходимо значительно увеличить скорость

выполнения можно заменить основные функции, например digitalRead(), на функции по низкоуровневому взаимодействию с пинами микроконтроллера *Atmega 328P* в обход стандартных функций. Скорость выполнения функции многократно увеличиться, но читать код без заметок будет практически невозможно. digitalRead() в таком случае будет иметь вид DDRD = B11111110, так как определенный порт управляется с помощью определенного регистра, и которому присваивается битовое значение, в котором каждый бит будет отвечать за отдельный пин-выход.

```
#include "Middle.h"
#include "Start.h"
float mass[50];  // 51 точка
int tmr,con, m;
float  analog_signal;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, INPUT);
  analogReference(DEFAULT);
}
void loop() {
  m=0; // пееременная, которая отвечает за вывод одного элемента массива
  if (micros() - tmr >= 10 && m<=50   ) {  // таймер 10 микросекунд
    tmr = micros(); //  (либо можно использовать +10)

    analog_signal = analogRead(A0); // значение аналогового сигнала
    analog_signal = analogRead(A1);
    analog_signal=analog_signal/1024;
    mass[m]=analog_signal; //заполнить один элемент массива
    Serial.println(mass[m]);
    m++; }// Переменная которая отвечает за количество циклов и за
```

записывание значения снятой точки в определенный элемент массива

```
}
```

Для фиксации значений напряжения подаваемого сигнала был использован массив. По точкам, которые считываются с определенным интервалом, данные циклично записываются в этот массив. Стандартная в таких случаях функция delay() не подходит, потому хоть она и позволяет записать значение в массив с заданном в параметре количеством миллисекунд (или микросекунд), но останавливает выполнение программы. В результате мы получаем небольшую, но оказывающую влияние на код программы переменную. Поэтому вместо этой команды была использован встроенный таймер micros() в микросекундах (можно использовать и millis() в миллисекундах) с использованием целочисленной переменной *tmr*. В результате получается команда micros()-*tmr*>=4, выполняемая с определенным интервалом времени, с оператором условия if, которая не останавливает работу программы, а просто выполняет команду через определенный интервал времени, фиксируя значение в массиве.

```
unsigned long _timeStart, _timeEnd;

int pins[] = {6, 5, 9, 11, 3, 10};

int count = 10000;

void setup() {
  Serial.begin(9600); // будем выводить информацию о тестировании
  for (int i = 0; i < 6; i++) {
    pinMode(pins[i], OUTPUT);
  }
}

void loop() {
  for (int i = 0; i < 6; i++) {
```

```
    testAWrite(pins[i]);
  }
  delay(1000);
}

//=============================================================
void testAWrite(int pin) {
  _timeStart = micros();
  for (int i = 0; i < count; i++) {
    analogWrite(pin, 100);
  }
  _timeEnd = micros();

  String funcname = "analogWrite(" + (String)pin + ")";
  showResult (funcname, count );
}

void showResult (String func, int iter) {
  unsigned long timeTotal = _timeEnd - _timeStart;
  unsigned long time1 = timeTotal / iter;

  String strToOut = func + ". Total time: " + String(timeTotal) + " microsec, AVG
time: " + String(time1) + " microseconds. (iterations " + String(iter) + ")";
  Serial.println(strToOut);
}
```

Блок-схема программы показана на рисункт 3.4.

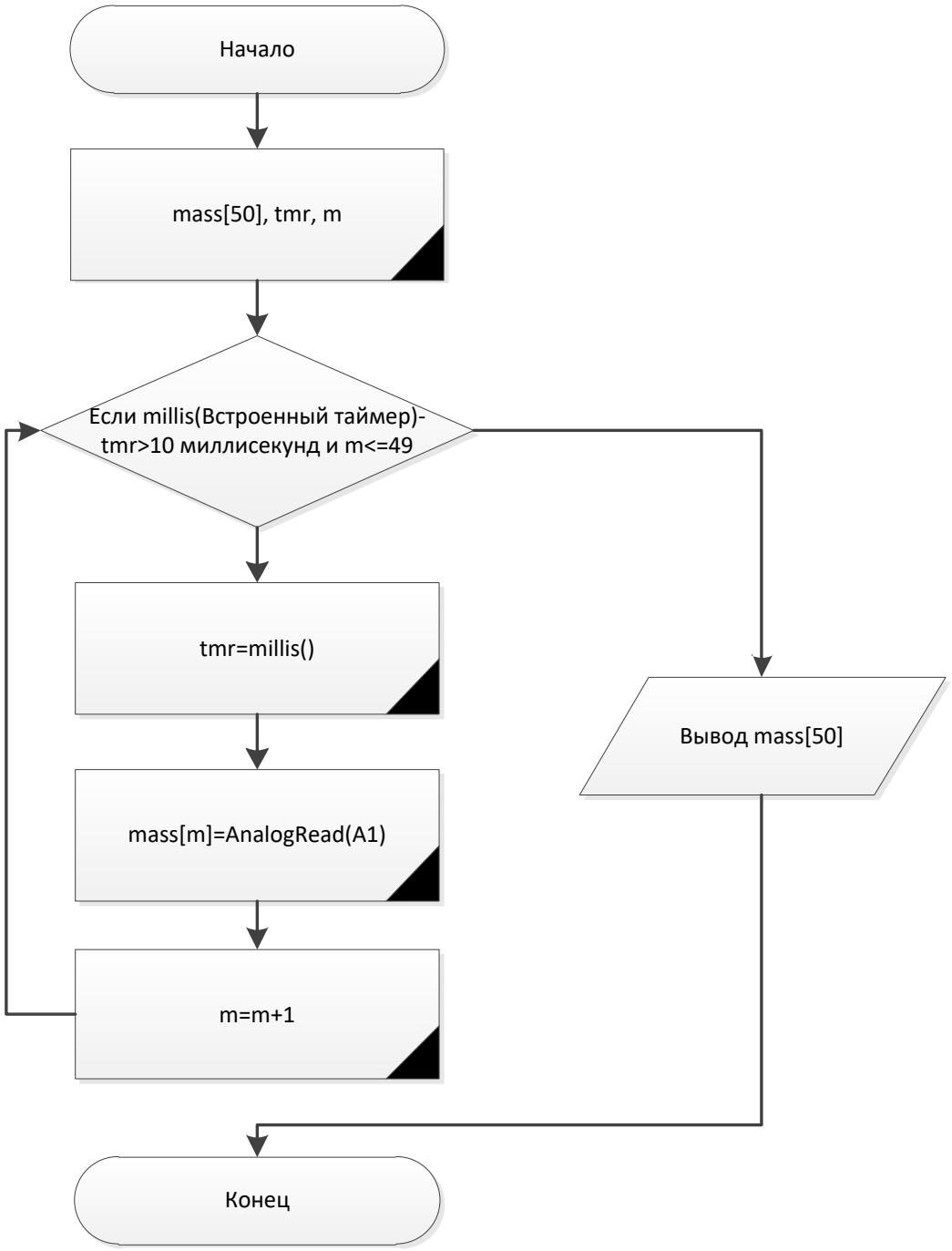


Рисунок 3.4 – Блок-схема программы, считывающей аналоговый сигнал

После заполнения массива программа начинает выводить из него данные, которые выводятся на экран в виде графика. Для того, чтобы график выглядел похожим на синусоиду, частота оцифровки, как уже было указано ранее, должна быть не менее 1 кГц.

Для проверки данной программы в онлайн-симуляторах схем *Wokwi* и *Tinkercard* была собрана схема, в состав которой вошли: микропроцессорный

модуль *Arduino*, генератор сигналов и осциллограф (рисунок 3.5). В генераторе сигналов была введена частота в 1 кГц и амплитуда в 2.5 В. Форма сигнала была выбрана синусоидальная.

Аналоговый пин *A*0 был настроен как ввод, поэтому с него считываются данные с генератора сигналов и записываются в массив.

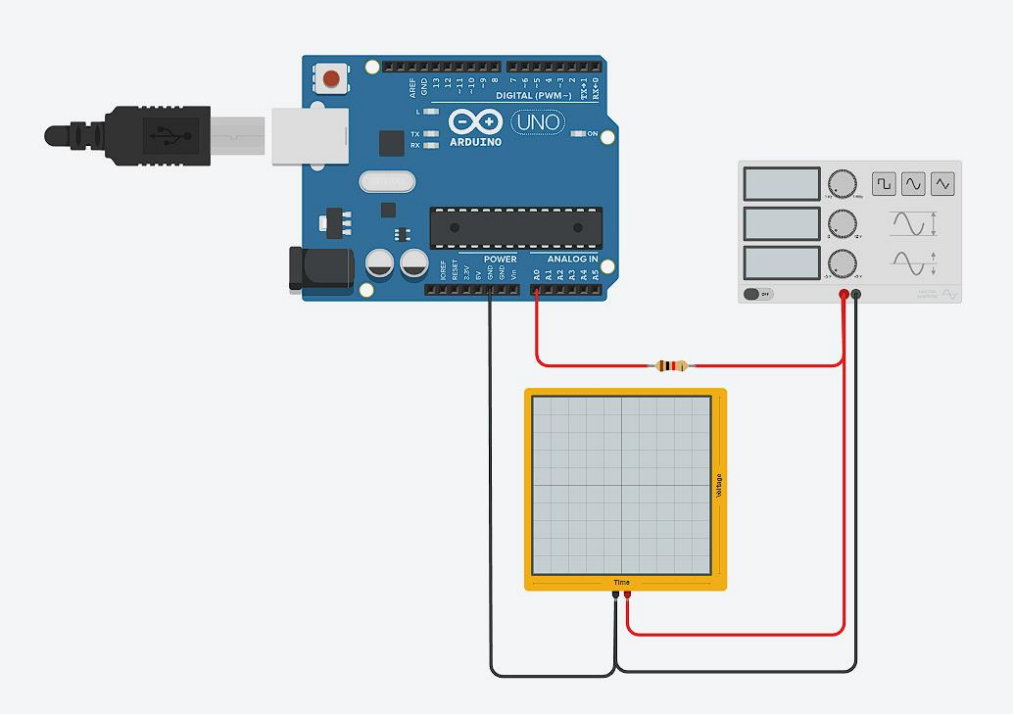


Рисунок 3.5 – Схема, смоделированная в онлайн-симуляторе *Tinkecard* для проверки программы

После запуска моделирования и заполнения массива был построен график из данных этого массива. График показан на рисунке 3.5.

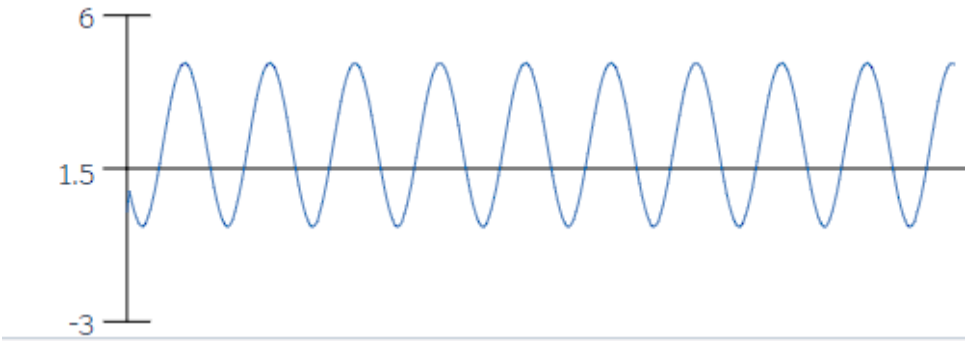


Рисунок 3.6 – График, построенный на основе данных из массива в онлайн-симуляторе *Tinkercad*

На рисунке 3.6 видно, что график имеет большое сходство с синусоидой. Причем он не похож на сигнал треугольной формы, так как интервал между точками достаточно небольшой, чтобы можно было безошибочно это определить.

После того, как сигнал пришел на аналоговые входы *A*0 и *A*1 АЦП и программа заполнила массив данными с этого сигнала, начинается построение петли гистерезиса из этих точек. Происходит это путем вывода из массива всех точек с помощью встроенной функции в *Arduino* IDE, позволяющей выводить данные в виде графиков.

Получившиеся в результате функционирования программы графики показаны на рисунке 3.7 .

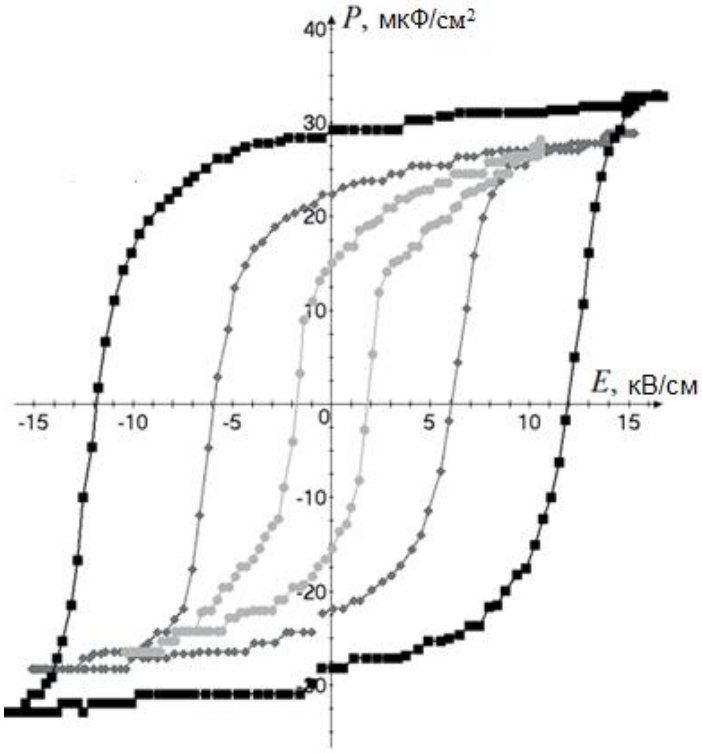


Рисунок 3.7 – Петли гистерезиса, измеренные при различной температуре образцового конденсатора см^2

4. Безопасные условия труда оператора ЭВМ при работе с измерительной системой

4.1 Общие положения

Работа оператора ПЭВМ относится к категории работ, связанных с опасными и вредными условиями труда. В процессе труда на оператора ПЭВМ оказывают действие следующие опасные и вредные производственные факторы:

а) физические:

1) повышенные уровни электромагнитного излучения;
2) повышенные уровни рентгеновского излучения;
3) повышенные уровни ультрафиолетового излучения;
4) повышенный уровень инфракрасного излучения;
5) повышенный уровень статического электричества;
6) повышенные уровни запыленности воздуха рабочей зоны;
7) повышенное содержание положительных аэроионов в воздухе рабочей зоны;
8) пониженное содержание отрицательных аэроионов в воздухе рабочей зоны;
9) пониженная или повышенная влажность воздуха рабочей зоны;
10) пониженная или повышенная подвижность воздуха рабочей зоны;
11) повышенный уровень шума;
12) повышенный или пониженный уровень освещенности;
13) повышенный уровень прямой блесткости;
14) повышенный уровень отраженной блесткости; повышенный уровень ослепленности;

15) неравномерность распределения яркости в поле зрения; повышенная яркость светового изображения;

16) повышенный уровень пульсации светового потока;

17) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

б) химические:

1) повышенное содержание в воздухе рабочей зоны двуокиси углерода, озона, аммиака, фенола, формальдегида и полихлорированных бифенилов;

в) психофизиологические:

1) напряжение зрения;
2) напряжение внимания;
3) интеллектуальные нагрузки;
4) эмоциональные нагрузки;
5) длительные статические нагрузки; монотонность труда;
6) большой объем информации обрабатываемой в единицу времени;
7) нерациональная организация рабочего места;

г) биологические:

1) повышенное содержание в воздухе рабочей зоны микроорганизмов.

К работам оператором, программистом, инженером и техником ПЭВМ, пользователем ПЭВМ и ВДТ допускаются: лица не моложе 18 лет, прошедшие обязательный при приеме на работу и ежегодные медицинские освидетельствования на предмет пригодности для работы на ЭВМ, ПЭВМ и ВДТ в соответствии с требованиями приказа Минздрава РФ № 90 и совместно с Госкомсанэпиднадзором РФ № 280/88;

1) прошедшие вводный инструктаж по охране труда;

2) прошедшие обучение безопасным приемам и методам труда по программе, утвержденной руководителем предприятия (работодателем), разработанной на основе Типовой программы, и прошедшие проверку знаний, в том числе по электробезопасности с присвоением 1-й квалификационной группы по электробезопасности;

3) прошедшие курс обучения принципам работы с вычислительной техникой, специальное обучение по работе на персональном компьютере с использованием конкретного программного обеспечения или инструктаж по охране труда на конкретном рабочем месте по данной инструкции.

4.2 Требования безопасности перед началом работы

Перед началом работы оператор обязан:

1) вымыть лицо и руки с мылом и одеть белый х/б халат;

2) осмотреть и привести в порядок рабочее место;

3) отрегулировать освещенность на рабочем месте, убедиться в достаточности освещенности, отсутствии отражений на экране, отсутствии встречного светового потока;

4) проверить правильность подключения оборудования в электросеть;

5) убедиться в наличии защитного заземления и подключения экранного проводника к корпусу процессора;

6) протереть специальной салфеткой поверхность экрана и защитного фильтра;
убедиться в отсутствии дискет в дисководах процессора персонального компьютера;

7) проверить правильность установки стола, стула, подставки для ног, пюпитра, положения оборудования, угла наклона экрана, положение клавиатуры и, при необходимости, произвести регулировку рабочего стола и кресла, а также расположение элементов компьютера в соответствии с

требованиями эргономики и в целях исключения неудобных поз и длительных напряжений тела.

4.3 Требования безопасности во время работы

Оператор во время работы обязан:

1) выполнять только ту работу, которая ему была поручена, и по которой он был проинструктирован;

2) в течение всего рабочего дня содержать в порядке и чистоте рабочее место;

3) держать открытыми все вентиляционные отверстия устройств; внешнее устройство «мышь» применять только при наличии специального коврика;

4) при необходимости прекращения работы на некоторое время корректно закрыть все активные задачи;

5) отключать питание только в том случае, если оператор во время перерыва в работе на компьютере вынужден находиться в непосредственной близости от видеотерминала (менее 2 метров), в противном случае питание разрешается не отключать;

6) выполнять санитарные нормы и соблюдать режимы работы и отдыха;

7) соблюдать правила эксплуатации вычислительной техники в соответствии с инструкциями по эксплуатации;

8) при работе с текстовой информацией выбирать наиболее физиологичный режим представления черных символов на белом фоне; соблюдать установленные режимом рабочего времени регламентированные перерывы в работе и выполнять в физкультпаузах и физкультминутках рекомендованные упражнения для глаз, шеи, рук, туловища, ног.

9) соблюдать расстояние от глаз до экрана в пределах 60 — 80 см.

Оператору во время работы запрещается:

1) касаться одновременно экрана монитора и клавиатуры; прикасаться к задней панели системного блока (процессора) при включенном питании;

2) переключение разъемов интерфейсных кабелей периферийных устройств при включенном питании; загромождать верхние панели устройств бумагами и посторонними предметами; допускать захламленность рабочего места бумагой в целях недопущения накапливания органической пыли;

3) производить отключение питания во время выполнения активной задачи; производить частые переключения питания; допускать попадание влаги на поверхность системного блока (процессора), монитора, рабочую поверхность клавиатуры, дисководов, принтеров и др. устройств;

4) включать сильноохлажденное (принесенное с улицы в зимнее время) оборудование;

5) производить самостоятельно вскрытие и ремонт оборудования;

превышать величину количества обрабатываемых символов свыше 30 тыс. за 4 часа работы

4.4 Требования безопасности в аварийных ситуациях

Оператор обязан:

1) во всех случаях обнаружения обрыва проводов питания, неисправности заземления и других повреждений электрооборудования, появления запаха гари немедленно отключить питание и сообщить об аварийной ситуации руководителю и дежурному электрику;

2) при обнаружении человека, попавшего под напряжение, немедленно освободить его от действия тока путем отключения электропитания и до прибытия врача оказать потерпевшему первую медицинскую помощь;

3) при любых случаях сбоя в работе технического оборудования или программного обеспечения немедленно вызвать представителя инженерно-технической службы эксплуатации вычислительной техники;

4) в случае появления рези в глазах, резком ухудшении видимости — невозможности сфокусировать взгляд или навести его на резкость, появлении боли в пальцах и кистях рук, усилении сердцебиения немедленно покинуть рабочее место, сообщить о происшедшем руководителю работ и обратиться к врачу;

5) при возгорании оборудования, отключить питание и принять меры к тушению очага пожара при помощи углекислотного или порошкового огнетушителя, вызвать пожарную команду и сообщить о происшествии руководителю работ.

4.5 Требования безопасности после окончания работы

По окончании работ оператор обязан соблюдать следующую последовательность выключения вычислительной техники:

1) произвести закрытие всех активных задач;

2) выполнить парковку считывающей головки жесткого диска (если не предусмотрена автоматическая парковка головки);

3) убедиться, что в дисководах нет дискет;

4) выключить питание системного блока (процессора);

5) выключить питание всех периферийных устройств; отключить блок питания.

Заключение

Широкое использование СЭ в микроэлектронике обусловлено их уникальными физическими свойствами. Так, переключение вектора спонтанной поляризации внешним электрическим полем используется для создания энергонезависимых ЗУ; высокая диэлектрическая проницаемость — для конденсаторных элементов запоминающих устройств с произвольной выборкой, СВЧ интегральных микросхем, а в перспективе и подзатворных диэлектриков ИМС; пироэлектрическая активность — для создания неохлаждаемых матричных приемников ИК-излучения; электромеханические свойства СЭ служат основой нового направления — сегнетоэлектрических микроэлектромеханических систем. Свойство сегнетоэлектрических материалов изменять величину диэлектрической проницаемости под действием электрического поля в 1,5...3 раза используется для создания электронно- перестраиваемых устройств СВЧ — диапазона. Нелинейные оптические свойства СЭ, такие как: электрооптический эффект (изменение показателя преломления под действием электрического поля), генерация второй и третьей гармоник, оптическое детектирование (появление статической поляризации диэлектрика под действием электрического поля лазерного луча), эффект образования суммарных и разностных частот, фоторефрактивный эффект (локальное изменение показателя преломления при облучении интенсивным светом), и т. п. — все эти эффекты интересны для создания устройств оптической обработки и записи информации.

Их используют в качестве рабочих тел и активных элементов схем и устройств в конденсаторах высокой и сверхвысокой удельной емкости, динамических элементов памяти и логических элементов электронных

Список использованных источников

1. Гуревич В.М. Электропроводность сегнетоэлектриков [Текст]. - Издательство комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1969 .— 383 с.

2. Сидоркин А.С. Доменная структура в ссегнетоэлектриках и родственных материалах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000. – 240 с.

3. Фридкин, В. М. Сегнетоэлектрики - полупроводники / В. М. Фридкин. - Москва : Наука, 1976. – 408 с.

4. Сегнетоэлектрики и анти-сегнетоэлектрики [Текст] : Динамика решетки : Пер. с англ. / Р. Блинц, Б. Жекш ; Под ред. д-ра физ.-мат. наук Л. А. Шувалова. - Москва : Мир, 1975. - 398 с.

5. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы / М. Лайнс, А. Гласс; Пер. с англ. под ред. В. В. Леманова, Г. А. Смоленского. - Москва : Мир, 1981. - 736 с.

6. Гречишкин Р. М. и др. Сравнительный анализ методик определения параметров петель диэлектрического гистерезиса сегнетоэлектриков //Научный журнал. – 2019. – №. 6 (40). – С. 6-10.

7. Вакуленко А. Ф. и др. Установка для измерения петельсегнетоэлектрического гистерезиса на основе модифицированного метода Сойера-Тауэра //Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2019. – Т. 12. – №. 4. – С. 89-96.

8. Ефремова О. С. Требования охраны труда при работе на персональных электронно-вычислительных машинах.–2-е изд., перераб. и доп //М.: Издательство «Альфа-Пресс. – 2008.

9. *Scott J. F. Prospects for ferroelectrics*: 2012–2022 //*International Scholarly Research Notices*. – 2013. – Т. 2013

10. *Stewart M., Cain M.* G., Hall D. A. F*erroelectric hysteresis measurement and analysis*. – *Teddington* : *National Physical Laboratory*, 1999. – С. 1-57.

11. *Arduino S. A. Arduino //Arduino LLC.* – 2015. – Т. 372

12. *LIN Y. Design and Experimental Verification of a Low Power Ferroelectric-Based Structural Health Monitoring System on Hot Spot Applications* : дис. – 2014.

Приложение А.

(обязательное)

Задание на выпускную квалификационную работу

«Утверждаю»
Зав. кафедрой НиМЭ
Пронин И.А.
(фамилия, инициалы)
«08» июня 2023 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

1. Студента гр. 19ПД1 факультета информационных технологий и электроники

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и наноэлектроника»
Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Метальников Алексей Михайлович
(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы Автоматизированный стенд для измерения параметров сегнетоэлектриков

Тема утверждена приказом ПГУ № 1353 с/о от «4» апреля 2023 г.

4. Техническое задание на бакалаврскую работу (вид работы: разработка, проектирование, исследование, и т.д.; назначение; основные параметры; условия функционирования и т.д.)
Анализ электрических характеристик сегнетоэлектриков
Обзор методов и средств измерения электрических параметров сегнетоэлектриков
Разработка проекта автоматизированного стенда для измерения параметров сегнетоэлектрического гистерезиса в частотном диапазоне от 1 кГц до 2 кГц при напряжении воздействия на образец до 100 В.
Разработать программного обеспечения для автоматизации измерений петли сегнетоэлектрического гистерезиса

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

Описание электрических свойств сегнетоэлектрических материалов, их измеряемых электрофизических и электрических параметров и характеристик, применения сегнетоэлектриков в электронных приборах и структурах; обзор методов и средств измерения петли диэлектрического гистерезиса и измерения диэлектрических характеристик сегнетоэлектриков; описание структуры автоматизированного измерительного стенда, обоснование и анализ характеристик его модулей: микропроцессорного модуля, высоковольтного усилителя.

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

	Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
1.	Анализ задания	5%	09.06.23	
2.	Составление схемы измерений	20%	10.06.23	
3.	Составление программы измерений	20%	11.06.23	
4.	Описание схемы измерений	10%	12.06.23	
5.	Описание программного обеспечения	15%	13.06.23	
6.	Графическая часть	15%	14.06.23	
7.	Оформление пояснительной записки	15%	15.06.23	

Руководитель бакалаврской работы _____ Метальников А.М
подпись фамилия, инициалы

Дата выдачи задания «8» июня 2023 г.

Задание к исполнению принял _____ Мирков Д. Ю
подпись фамилия, инициалы

«8» июня 2023г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

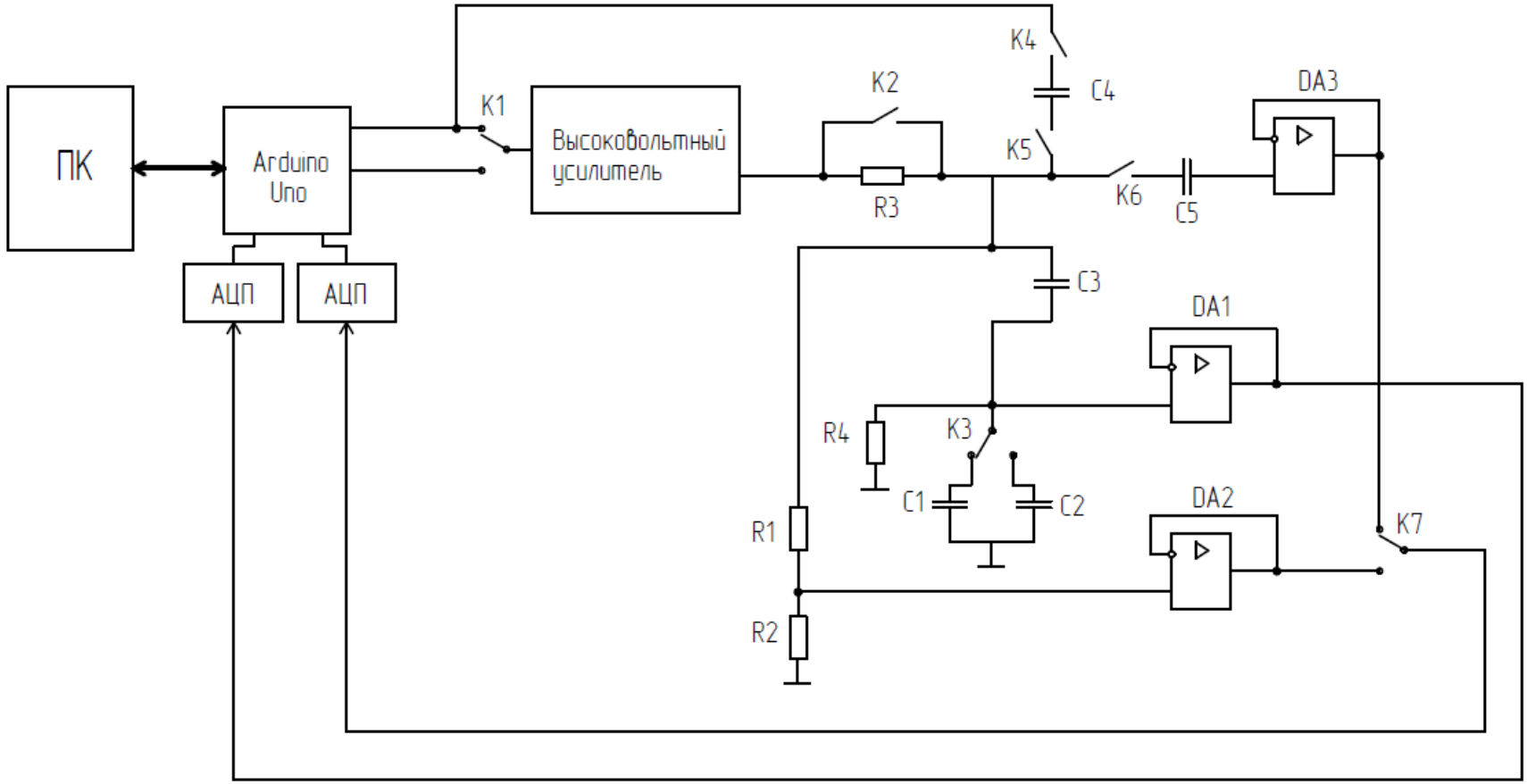
Декан факультета _____ Кревчик В.Д.
подпись фамилия, инициалы

«23» июня 2023 г.

Приложение Б.

(обязательное)

Функциональная схема автоматизированного стенда для измерения параметров сегнетоэлектриков



					ПГУ. 2. 11.03.04 013 Э2	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Автоматизированный стенд для измерения параметров сегнетоэлектриков Схема электрическая функциональная	Лит. / Масса / Масштаб: 1:1
Разраб.		Марков				Лист / Листов: 1
Пров.		Метальников				
Т.контр.						группа 19ПД1
Н.контр.		Рыжова				
Утв.						

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования" Россия. Все права защищены.

Не для коммерческого использования

Копировал

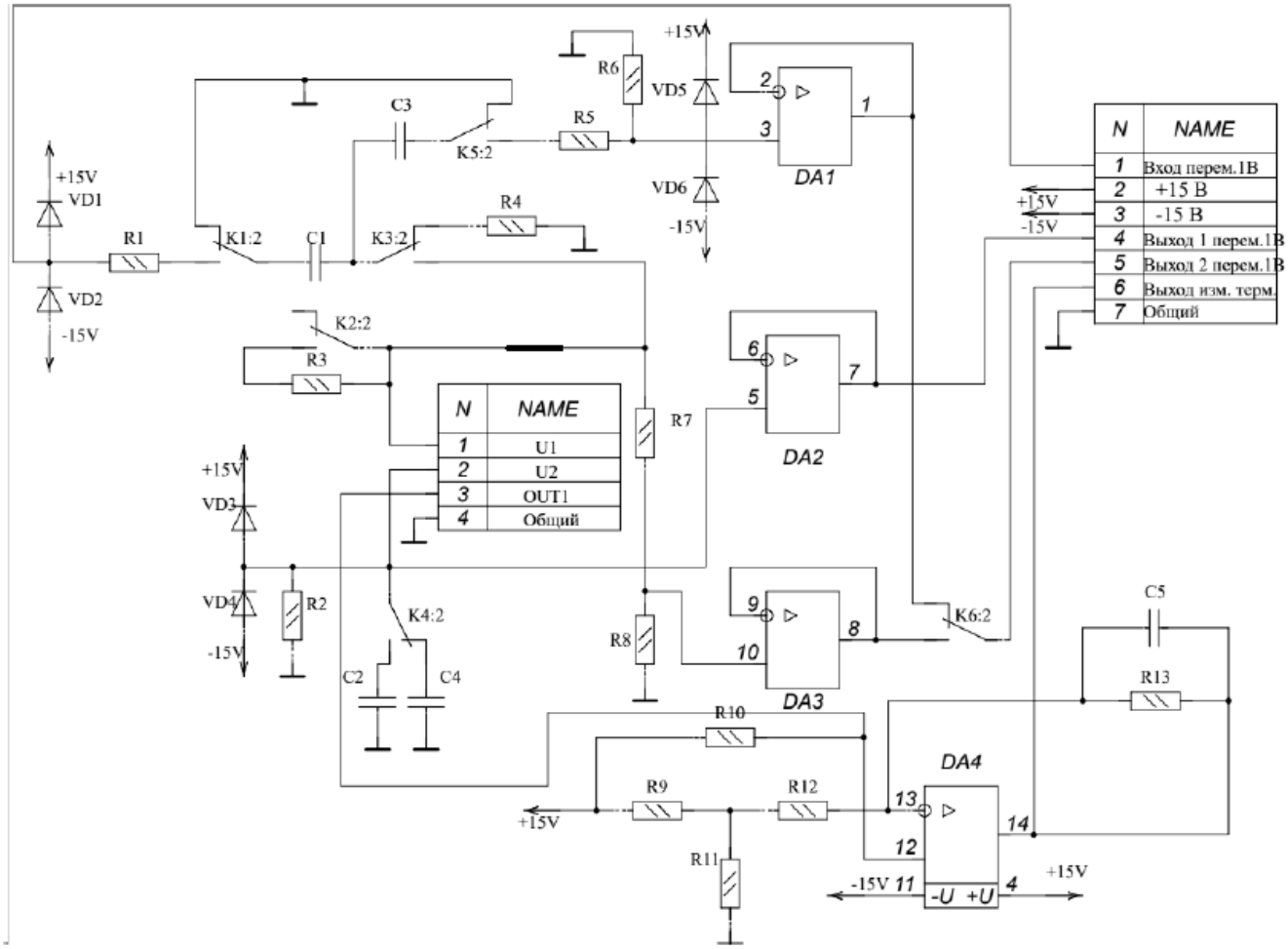
Формат А3

Приложение В.

(обязательное)

Схема принципиальная автоматизированного стенда для измерения параметров сегнетоэлектриков

ПГУ. 2. 11.03.04 013 ЭЗ



					ПГУ. 2. 11.03.04 013 ЭЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Автоматизированный стенд для измерения параметров сегнетоэлектриков схема электрическая принципиальная	Лит. / Масса / Масштаб: 1:1
Разраб.		Марков .				Лист / Листов: 1
Пров.		Метальников				
Т.контр.						группа 19ПД1
Н.контр.		Рыжова				
Утв.						

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования". Россия. Все права защищены

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А3

Приложение Г.

(обязательное)

Спецификация

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	На		Примечание
				Конденсаторы				
			C1, C3	К73-17 1 мкФ, 100 В, 5-10%,	2			
			C2, C4, C5	К50-35, 10 мкФ, 35 В, 105°С	3			
				Микросхемы				
			DA1:1, DA1:2, DA1:3, DA1:4	LM234	1			
				Реле				
			K1:2, K2:2, K3:2, K4:2, K5:2, K6:2	SRD-05VDC-SL-C	6			
				Резисторы				
			R1, R3, R4, R6	С2-10-0,25Вт- 1,1 МОм ±5%	4			
			R2, R7, R8, R13,	С2-10-0,125Вт- 4,2 кОм ±5%0	4			
			R5, R9, R10, R11, R12	С2-10-0,25Вт- 1,1 кОм ±5%	5			
				Диоды				
			VD1, VD2, VD3, VD4, VD5, VD6	КД521А	6			
				Плата контроллера				
				Arduino Uno R3	1			
				Разъемы				
				USB	1			

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Марков		
Пров.		Метальников		
Н.контр.		Рыжова		16.06
Утв.				

ПГУ. 2. 11.03.04 013 ПЭ

Автоматизированный стенд для измерения параметров сегнетоэлектриков
Спецификация

Лит.	Лист	Листов
		1

группа 19ПД1

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

Приложение Д.

(обязательное)

Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ»

Ректору Пензенского государственного университета Гулякову А.Д.
студента 4 курса ФИТЭ очной формы обучения
Маркова Даниила Александровича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Марков Даниил Александрович, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, профиля Микроэлектроника и твердотельная электроника, прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Автоматизированный стенд для обработки параметров сегнетоэлектриков», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.

_____ 22.06.23

ВКР представлена на проверку 22.06.23

Руководитель ВКР _____ Метальников Алексей Михайлович

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной бакалаврской работы на тему «Автоматизированный стенд для обработки параметров сегнетоэлектриков»

студента 4 курса Маркова Даниила Александровича

направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника,

профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Руководитель ВКР Метальников А.М. _____

АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Пензенский государственный университет

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Марков Даниил Александрович
Самоцитирование рассчитано для: Марков Даниил Александрович
Название работы: Автоматизированный стенд для измерения параметров сегнетоэлектриков
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	34.52%	СОВПАДЕНИЯ	31.68%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	47.81%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	50.64%
ЦИТИРОВАНИЯ	17.67%	ЦИТИРОВАНИЯ	17.67%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 22.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 22.06.2023 15:12

Структура документа: Проверенные разделы: содержание с.1, основная часть с.2-47, библиография с.48-49

Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley ; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич
ФИО проверяющего

Дата подписи: 22.06.23г.

Подпись проверяющего

Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

Руководитель ВКР

«19» июня 2023 год _____ Метальников А.М.
подпись *фамилия, инициалы*

АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Марков Даниил Александрович
Самоцитирование рассчитано для: Марков Даниил Александрович
Название работы: Автоматизированный стенд для измерения параметров сегнетоэлектриков
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ **ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ:** НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	34.52%		СОВПАДЕНИЯ	31.68%	
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	47.81%		ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	50.64%	
ЦИТИРОВАНИЯ	17.67%		ЦИТИРОВАНИЯ	17.67%	
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%		САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 22.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 22.06.2023 15:12

Структура документа: Проверенные разделы: содержание с.1, основная часть с.2-47, библиография с.48-49

Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley ; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 22.06.23г.

Подпись проверяющего

Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

Приложение Е.

(обязательное)

Презентация ВКР

Пензенский государственный университет

Автоматизированный стенд для измерения параметров сегнетоэлектриков

Презентация к выпускной квалификационной работе

Научный руководитель: к.т.н., Метальников А.М.

Выполнил: **Марков Д.А.**

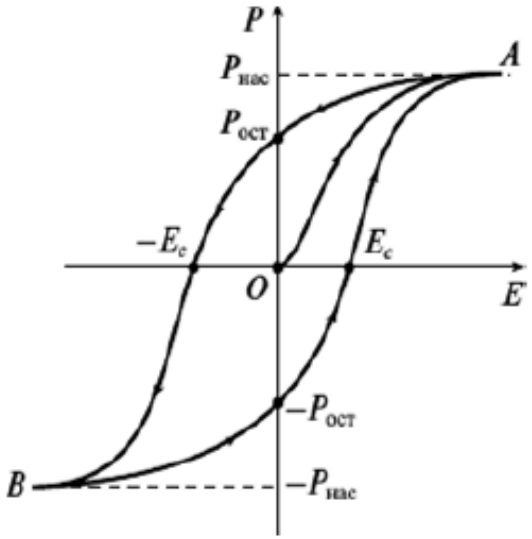
2023

Цель разработки проекта

Цель: разработать проект автоматизированного стенда для измерения параметров сегнетоэлектриков с использованием микропроцессорной платформы *Arduino* и программу, которая обеспечивает работу всей схемы в двух режимах.

Актуальность

Хотя оригинальная схема измерений, благодаря своей простоте, встречается довольно часто и в настоящее время, она имеет множество недостатков. Самый главный из них - сложность сбора данных. До массового распространения цифровых осциллографов единственным способом сохранения измеренных петель было фотографирование экрана осциллографа или перенос изображения на полупрозрачную бумагу.



Наиболее важный момент в поляризации доменов связан с изменением спонтанной поляризации на неоднородностях. Линейное соотношение между электрической индукцией, полем и поляризацией выражается формулой:

$$D=\varepsilon_0 \cdot E+P,$$

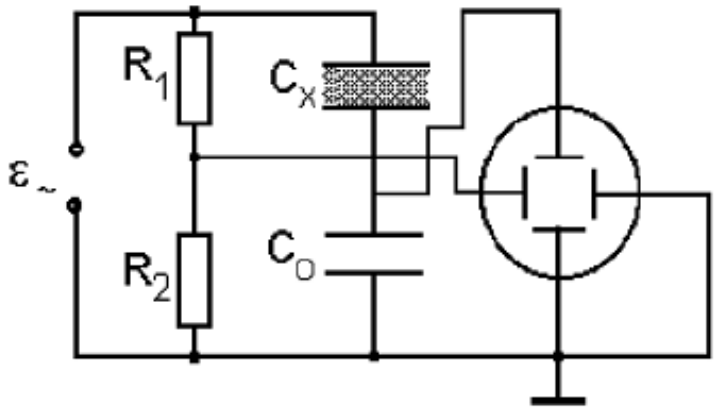
где P – поляризованность, Кл/м^2; E – напряженность поля, В/м; ε_0 – электрическая постоянная.

Поляризованность P возникает как из-за поляризуемости материала при наличии поля, которое определяется формулой:

$$P = \chi E,$$

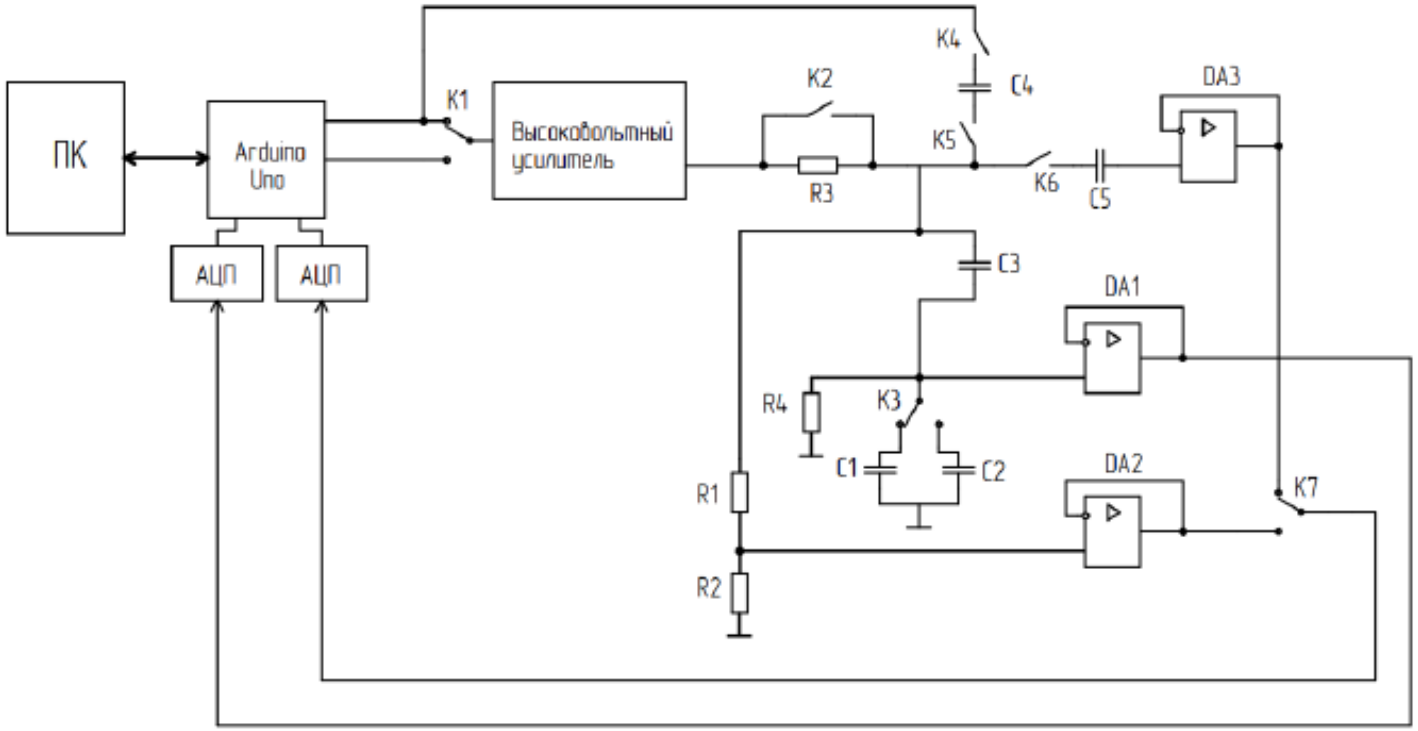
где χ – диэлектрическая восприимчивость.

Классическая схема Сойера-Тауэра

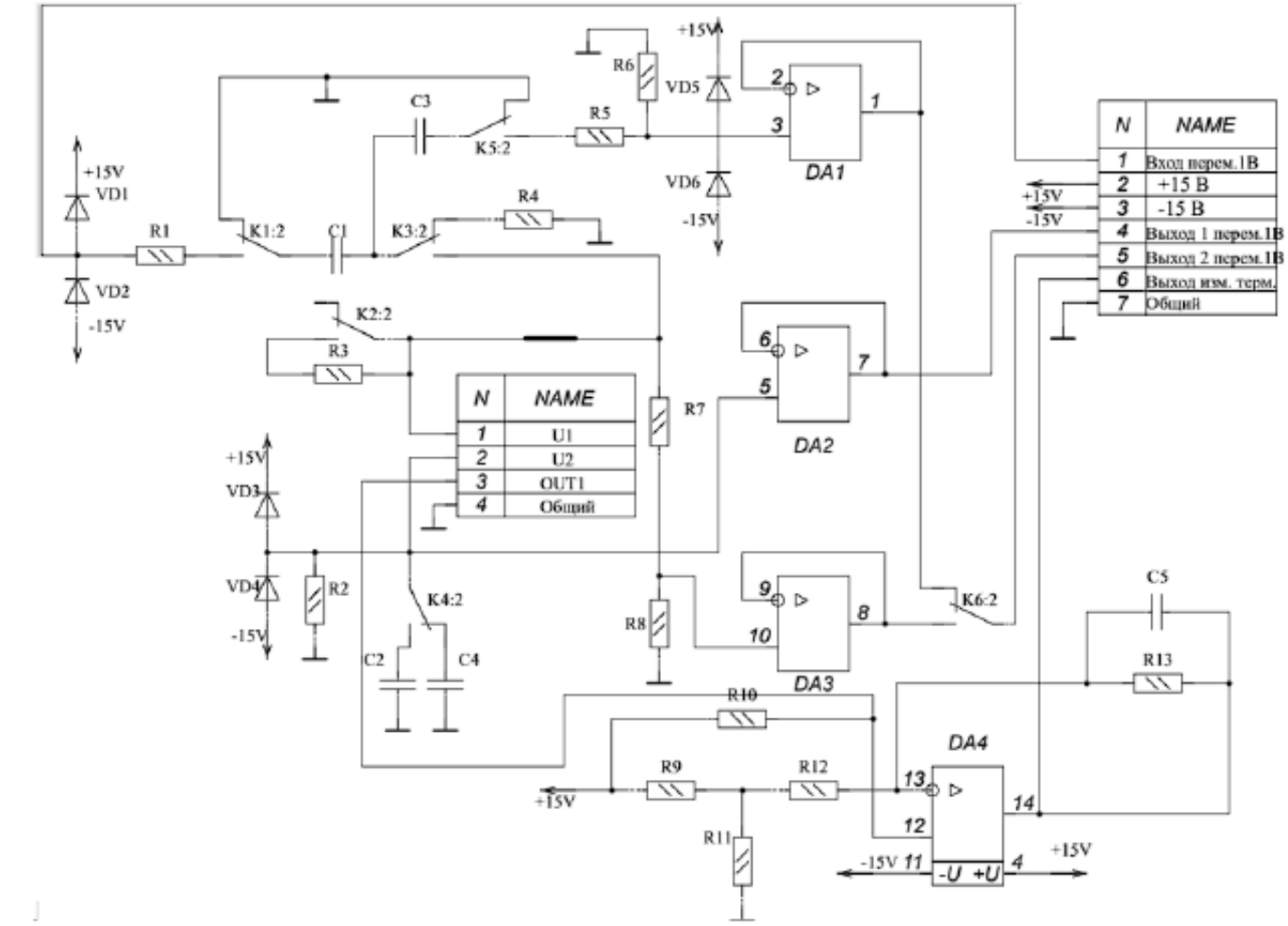


Заряд на эталонном конденсаторе C_0 равен заряду на образцовом C_X, а напряжение на конденсаторе C_0 пропорционально заряду на C_X. Напряжение на C_X пропорционально напряжению на резисторе R2.

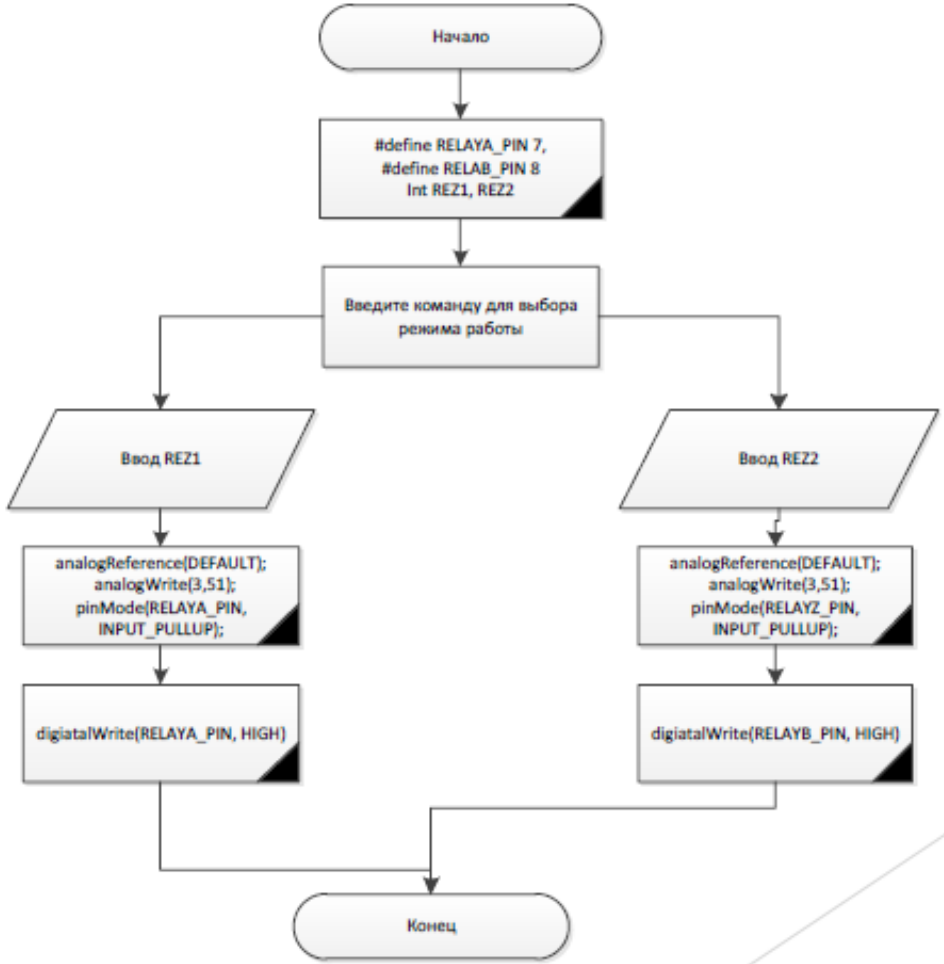
Функциональная схема автоматизированного стенда для измерения параметров сегнетоэлектриков



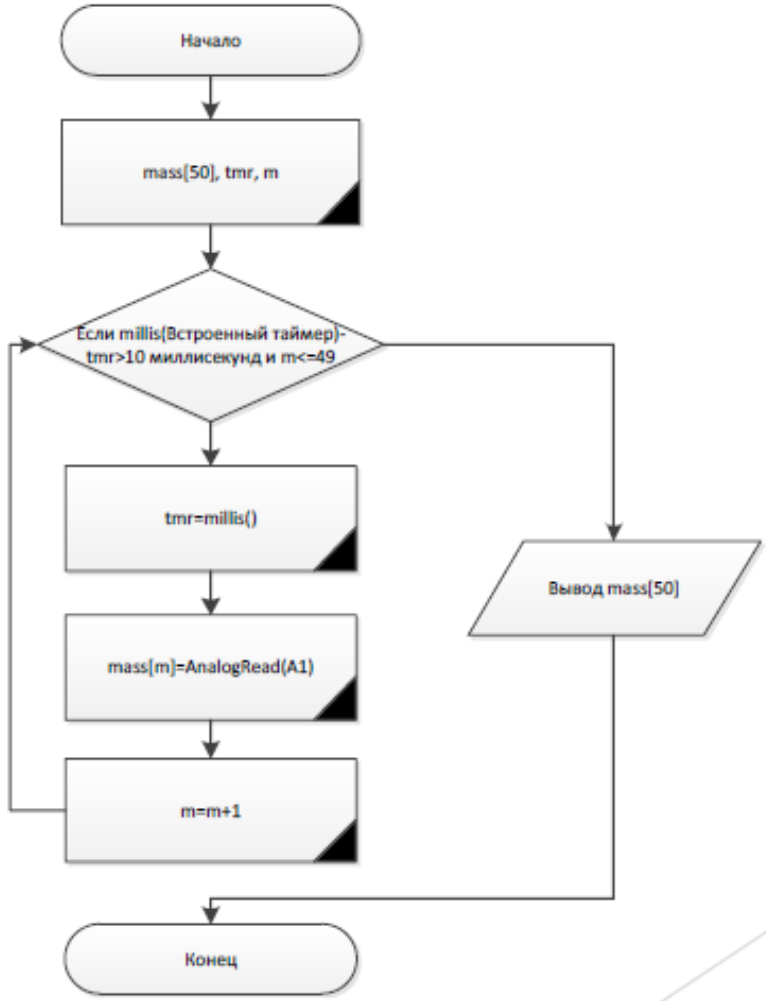
Принципиальная схема автоматизированного стенда для измерения параметров сегнетоэлектриков



Блок-схема начала программы



Блок-схема части программы, которая обрабатывает сигнал на АЦП



Основные правила для оператора ПЭВМ при работе с измерительной системой

- 1. Общие положения
- 2. Требования безопасности перед началом работы
- 3. Требования безопасности во время работы
- 4. Требования безопасности после окончания работы
- 5. Требования безопасности при аварийных ситуациях

Заключение

1) Разработан проект автоматизированного стенда для измерения параметров сегнетоэлектриков с использованием микропроцессорной платформы *Arduino*.
2) Разработана программа, которая обеспечивает работу всей схемы в двух режимах, каждый из которых позволяет снять с образцов данные и на основе этих данных построить петлю гистерезиса.

Спасибо за внимание!!