

Факультет Авионики, энергетики и инфокоммуникаций
Кафедра Электроники и биомедицинских технологий

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
по направлению 12.03.04 Биотехнические системы и технологии**

НА ТЕМУ: Тромбоэластограф

К защите допущен

Зав. кафедрой

Жернаков С.В. (_____) (_____)
(фамилия, инициалы) (подпись)

« 22 » июня 2020 г.

Обучающийся

Юсупова А.И. (_____) (_____)
(фамилия, инициалы) (подпись)

Руководитель выпускной квалификационной работы

к.т.н., доцент Уразбахтина Ю.О. (_____) (_____)
(фамилия, инициалы) (подпись)

Консультант выпускной квалификационной работы

ст. преподаватель Абдуллина Э.Ю. (_____) (_____)
(фамилия, инициалы) (подпись)

АННОТАЦИЯ

Пояснительная записка 78 с., 26 рис., 1 табл., 14 источников, 15 прил.

ТРОМБОЭЛАСТОГРАФ, КРОВЬ, КОАГУЛЯЦИЯ, ГЕМОСТАЗ, ФИБРИНОЛИЗ, СВЁРТЫВАЕМОСТЬ, АНАЛИЗАТОР, ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ.

Объектом исследования является устройство для неинвазивного измерения свертываемости крови - тромбоэластограф.

Цель работы – разработать блоки, которые требуют улучшения и дать объяснение в выборе того или иного решения модернизации.

В выпускной квалификационной работе рассмотрена обобщенная информация, полученная при проведении анализа литературных источников, рассмотрены теоретические основы метода измерения: образование тромба, основные функции, свойства и состав, представлено подробное описание патентного поиска устройства и его техники безопасности. Приведено описание схемы электрической структурной устройства, ее модернизация, описание схемы электрической принципиальной, описание и расчеты всех функциональных блоков. Произведен расчет потребляемой мощности для дальнейшего построения блока питания устройства.

Разработаны чертежи печатной и монтажной электрических плат.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Обзор методов и технических средств для измерения свертываемости крови	6
1.1. Образование тромба	6
1.2. Метод тромбоэластографии.....	8
1.3. Обзор серийно выпускаемых технических средств для измерения свертываемости крови .	11
1.3.1. Тромбоэластометр четырехканальный ROTEM delta (Германия).....	11
1.3.2. Тромбоэластограф TEG 5000 (США)- аппарат для комплексного анализа системы гемостаза	13
1.4. Обзор патентов технических средств для измерения свертываемости крови	15
1.4.1. Безруков А.В. и др. Патент №2070371 РФ. Устройство для исследования времени свертывания крови	15
1.4.2. Тютрин И.И., Стеценко Ю.А и другие. Патент №98251 РФ. Устройство для исследования крови; опубликованный 10.10.2010	18
1.4.3. Кудрявцев А.А., Кузнецов Н.Н. и другие. Патент №2645081 РФ. Анализатор коагуляции – тромбоэластограф, опубликованный 15.02.2018.....	20
1.5. Основная техника безопасности при использовании данного типа устройства	21
2. Расчетно – конструкторская часть предлагаемого устройства	22
2.1. Структурная схема тромбоэластографа	22
2.2. Описание принципиальной схемы.....	26
2.3. Расчет функциональных узлов принципиальной схемы	28
2.3.1. Подбор трансформаторного датчика угла вращения.....	28
2.3.2. Подбор усилителя.....	32
2.3.3. Расчет фазового детектора.....	34
2.3.4. Расчет генератора	37
2.3.5. Дифференциальный усилитель	40
2.3.6. Микроконтроллер	42
2.3.7. Расчет потребляемой мощности разрабатываемого устройства.....	45
2.3.8. Проектирование блока питания	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	50
ПРИЛОЖЕНИЕ А Технические характеристики операционного усилителя AD815	52
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Технические характеристики трансформатора LN-NP-1002	54
ПРИЛОЖЕНИЕ В Технические характеристики диодного моста DB102S	56
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Технические характеристики генератора колебаний AD9833.....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Технические характеристики дифференциального усилителя SSM2141.....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Технические характеристики микроконтроллера ATmega328p.....	63

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Технические характеристики дисплея LCD1602A	67
ПРИЛОЖЕНИЕ И Технические характеристики программатора USBasp v2.0	69
ПРИЛОЖЕНИЕ К Технические характеристики трансформатора ТА-55-127/220-50 ШЛ20x20	70
ПРИЛОЖЕНИЕ Л Технические характеристики линейного преобразователя L7805CV	72
ПРИЛОЖЕНИЕ М Технические характеристики стабилизатора AMS1117 – 3.3	74
ПРИЛОЖЕНИЕ Н Технические характеристики стабилизатора КН1157ЕН15А	76
ПРИЛОЖЕНИЕ П Технические характеристики стабилизатора КН1168ЕН15А	77
ПРИЛОЖЕНИЕ Р Технические характеристики предохранителя ПР – 2	78
ПРИЛОЖЕНИЕ С Технические характеристики разъема Micro-Match-5	79

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время значимость проблемы внутрисосудистого тромбообразования значительно возросло. Поэтому возникает вопрос о лечении претромботических и тромбоэмболических состояний и их диагностике. Определение отдельных факторов свертывания крови не может отражать общий конечный эффект сложной функции тромбоза, которая зависит от многих важных компонентов.

Из существующих методов изучения состояния свертывания крови тромбоэластография (ТЭГ) распространяется в качестве наиболее объективного графического метода, который позволяет оценивать все факторы системы свертывания крови пациента (плазму, тромбоциты и фибринолизную систему) в одном тесте. Используя ТЭГ, можно обнаружить ранние признаки гиперкоагуляции и гипокоагуляции, вызванные дефицитом факторов коагуляции, а также диагностировать нарушения агрегации тромбоцитов и оценить эффективность антикоагулянтной терапии. Тромбоэластография впервые была описана немецким профессором Хартнером в 1948 году, как оптическая регистрация эластичности и прочности тромба с момента его образования.[1]

Метод тромбоэластографии (ТЭГ) известен многие годы. Этот метод и некоторые другие методы, подобные ему, оценивающие вязко-эластические свойства сгустка крови используются в нескольких современных приборах для диагностики состояния гемостаза

В настоящее время, классический принцип тромбоэластографии реализуется в двухканальном компьютеризированном приборе TEG® 5000 – Hemoscope, USA и прикладной диагностической программе.[2]

1. Обзор методов и технических средств для измерения свертываемости крови

1.1. Образование тромба

Тромбоциты образуются из крупных клеток красного костного мозга – мегакариоцитов. В костном мозге они плотно прижаты к промежуткам между фибробластами и эндотельными клетками, через которые их цитоплазма выступает наружу и служит материалом для образования тромбоцитов. В кровотоке тромбоциты имеют круглую или слегка овальную форму, диаметр которых не превышает 2 – 3 микрометра. У тромбоцита нет ядра, но имеется большое количество гранул различного строения. При контакте с поверхностью, тромбоцит активируется и у него появляется до 10 зазубрин и отростков, превышающие диаметр тромбоцита в 5 – 10 раз. Для остановки кровотечения наличие отростков необходимо. Для мужчин нормой считается 200 – 400 Ед/мкл, а для женщин 180 – 320 Ед/мкл. [3]

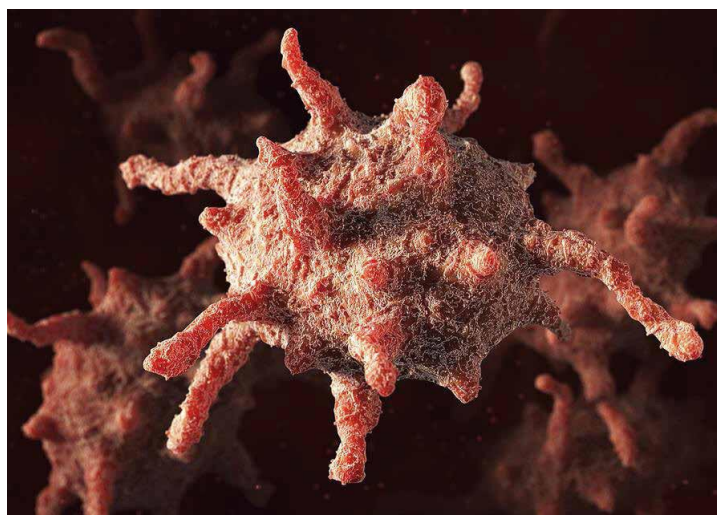


Рисунок 1.1. – Тромбоцит под микроскопом

Показателями состояния крови являются:

1. свёртываемость:

- гемокоагуляция;
 - коагуляция;
 - плазменный гемостаз;
 - вторичный гемостаз.
2. вязкость (связанная со сгущением или разжижением крови);
 3. способность клеток крови к агрегации (слипанию).

В месте какого-либо повреждения сосуда (разрыва, шероховатости) собираются клетки крови – тромбоциты, в соответствии с рисунком 1.2.а. Они прилипают к дефекту, соединяются между собой и образуется первичный тромбоцитарный тромб – пробка. На этой стадии тромб рыхлый и слипание тромбоцитов еще обратимо.



Рисунок 1.2. – а) повреждение сосуда, б) образование тромба

Затем тромбоциты и поврежденные ткани начинают выделять особое вещество, запускающее цепь биохимических реакций. В результате нормальный растворимый белок крови – фибриноген превращается в нерастворимый – фибрин, который в виде нитей прилипает к стенке сосуда в месте ее повреждения, образуя сетку, как это показано на рисунке 1.2.б. На этой сетке осаждаются и еще больше слипаются друг с другом эритроциты, тромбоциты, а позже и лейкоциты. Таким образом, формируется более

плотный тромб, который продолжает расти и уже прочно «заклеивает» дефект. То есть тромбообразование – защитная реакция организма.

В местах сужения кровеносных сосудов, на атеросклеротических бляшках тромбообразование начинает играть отрицательную роль. Тромб может еще больше сузить кровоснабжения какого-то участка органа и привести к смерти. В результате (относительно локализации) возникают инфаркты миокарда или инсульты. Поэтому способность крови к тромбообразованию, особенно в пожилом возрасте, надо держать под контролем и при необходимости снижать.

В начале образования тромба происходит скопление тромбоцитов, которые прилипают к стенке сосуда – адгезия, а затем слипаются между собой – агрегация. При этом формируется первичный тромб.[4]

В связи с опасностью появления тромбоза возникает необходимость диагностики тромбообразования, тромбоэластографии.

1.2. Метод тромбоэластографии

Метод тромбоэластографии (ТЭГ) известен многие годы. Этот метод и некоторые другие методы, подобные ему, оценивающие вязко – эластические свойства сгустка крови используются в нескольких современных приборах для диагностики состояния гемостаза

В настоящее время, классический принцип тромбоэластографии, описанный и примененный профессором Хартнером в 1948 году реализуется в двухканальном компьютеризированном приборе Coagulation Analyser (TEG® 5000 – Hemoscope, USA) и прикладной диагностической программе. Принцип ТЭГ основан на измерении физических вязкоэластических свойств кровяного сгустка. ТЭГ оценивает коагуляцию не только путем определения кинетики начала и конца образования сгустка, но также путем продолжительной записи состояния стабильности сгустка. Устойчивость сгустка является важным функциональным параметром для оценки гемостаза *in vivo*, так как сгусток

должен выдерживать кровяное давление и операционный стресс в случаях повреждения сосудов. Устойчивость сгустка является результатом множества взаимозависимых процессов: активации свертывания, генерации тромбина, образования и полимеризации фибрина, активации тромбоцитов и фибрин – тромбоцитарных взаимодействий, и может нарушаться при активации фибринолиза, которая также определяется с помощью ТЭГ.

Принцип ТЭГ заключается в оценке системы гемостаза путем изучения вязко – эластических свойств тромба. В соответствии с рисунком 1.3., рабочим элементом является цилиндрическая чашка(кювета) с образцом крови. Крышка рабочего элемента зафиксирована в датчике движений, то есть источник и датчик разделены образцом крови. Чашка совершает вращательные движения вокруг своей оси на угол $4^{\circ}45'$, каждый цикл которого длится около 10 секунд. Стержень с якорем, погруженный в образец крови, подвешен на скручивающейся нити. Крутящий момент чашечки передается на погруженный в образец стержень только после того, как образовавшийся за счет фибрино-тромбоцитарных связей сгусток начинает соединять чашечку и стержень вместе. Таким образом, источник и датчик движений разделены образцом крови, то есть пока кровь жидкая они механически изолированы друг от друга. Выпадение нитей фибрина связывает их и по мере роста сгустка и увеличения его плотности увеличивается и степень передачи движений с источника на датчик. Как только сгусток начинает сжиматься или разрушаться (лизис), связи рвутся, взаимодействие между чашечкой и стержнем ослабевает, передача движения чашечки на стержень уменьшается.

Вращательное движение стержня преобразуется из механического в электрический сигнал, который фиксируется с помощью компьютера. В результате, после компьютерной обработки описание жизненного цикла тромба принимает вид характерной кривой.

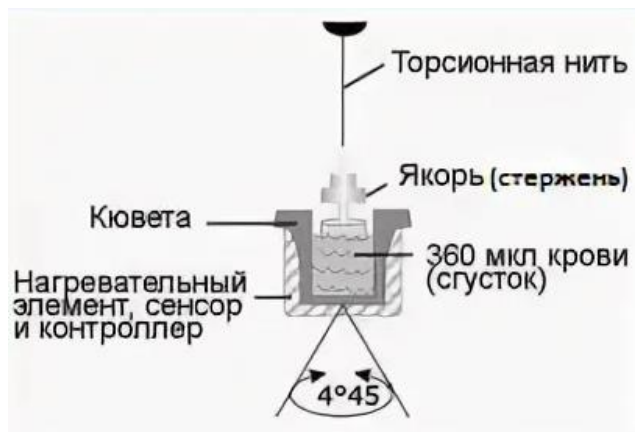


Рисунок 1.3. – Принцип работы тромбоэластографии с TEG® 5000

Кривую по рисунку 1.4. описывают порядка 20 показателей. Основными являются: интервалы r (от старта теста до появления признаков тромбообразования – достижения амплитуды кривой 2 мм) и k (время начального тромбообразования), угол α (между касательной к кривой, проведенной из ее начала и горизонтальной плоскостью), МА (максимальная амплитуда кривой) и LY30 (процент убывания площади под кривой за 30 минут). Показатели r , k и α отражают динамику свертывания крови, МА характеризует свойства образовавшегося тромба, а LY30 – скорость его лизиса.[4]

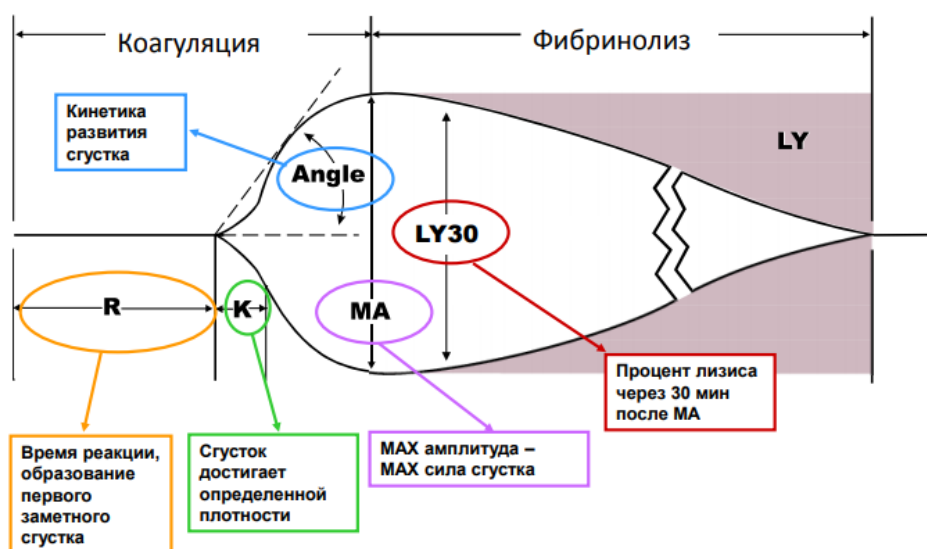


Рисунок 1.4. – Схема тромбоэластограммы

Данная группа показателей отражает функцию коагуляционного каскада с учетом вклада тромбоцитов. Собственные свойства тромба определяются фибрином и тромбоцитами, из которых он построен. Поэтому показатель МА характеризует состояние фибриногена и тромбоцитов.

1.3. Обзор серийно выпускаемых технических средств для измерения свертываемости крови

1.3.1. Тромбоэластометр четырехканальный ROTEM delta (Германия)

Анализатор Rotem особенно полезен в случаях, когда врачу необходимо быстро принять правильное решение относительно функционального состояния гемостаза пациента, например, перед и после операции и даже во время операции. Такой тест дает точную информацию о текущем состоянии всех основных процессов гемостаза – коагуляции, образования фибринового сгустка, ретракции сгустка и фибринолиза. Следует отметить, что традиционные методы исследования гемостаза оценивают время образования сгустка, но не дают прямой информации о самом процессе и о качестве образовавшегося сгустка.

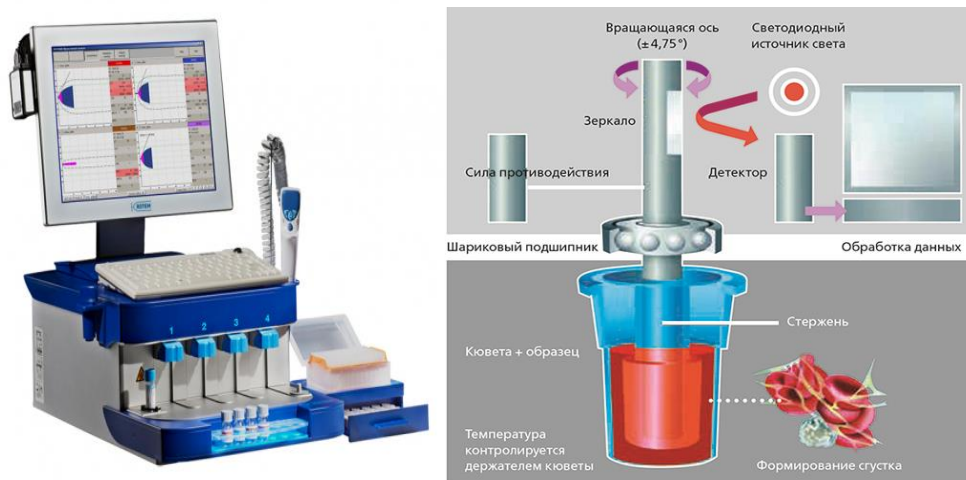


Рисунок 1.5. - а) четырёхканальный ТЭГ – Rotem delta; б) схематичный принцип работы ТЭГ

Определяемые параметры:

- оценка функционального состояния всего гемостаза в течение 10-15 мин;
- взаимодействие всех факторов и модуляторов гемостаза в цельной крови;
- механическая стабильность и упругость сгустка;
- кинетика стабилизации сгустка и его растворения;
- Гиперфибринолиз (практически не определяем классическими тестами);
- оценка действия различных лекарств и эффекта разведения;
- оценка действия антикоагулянтов и антифибринолитиков.

Преимущества:

- более чувствительная детекция;
- прямое торсионное измерение эластичности сгустка;
- нечувствительность метода измерения по отношению к вибрациям;
- четыре измерительных канала в одном компактном приборе;
- встроенная электронная пипетка для автоматического старта

измерения;

- внешний управляющий компьютер для контроля над всем ходом анализа;
- автоматический расчет всех параметров результата по полученному графику, наличие дополнительных вычислительных возможностей и новых параметров, встроенная помощь в интерпретации данных;
- автоматическая архивация результатов и графиков в памяти компьютера.[5]

1.3.2. Тромбоэластограф TEG 5000 (США)- аппарат для комплексного анализа системы гемостаза

Система анализа гемостаза TEG 5000 представляет собой диагностический прибор для комплексной оценки гемостаза цельной крови с целью определения риска кровотечений и тромбозов, а также для мониторинга антитромботической терапии. Система TEG создает более полное представление о гемостазе пациента и облегчает оценку геморрагического и тромботического риска для оказания более целенаправленного лечения.

Применение теста PlateletMapping дает возможность получить представление о потенциальной реакции пациента на антиагрегантную терапию в зависимости от исходного состояния гемостаза.



Рисунок 1.6. – Двухканальный ТЭГ 5000

Благодаря двум независимым каналам для измерения для проведения различных типов тестов, графическому и числовому выводу данных, возможности удаленного просмотра информации и т. д., система TEG стала новым стандартом в области контроля гемостаза, входит в стандарты оказания медицинской помощи.

Возможности системы TEG 5000:

- тест с каолином (контактный активатор): для рутинного использования;
- RapidTEG - комбинация каолина и тканевого фактора: результат виден менее чем за 10 минут;
- функциональный фибриноген - оценка уровня функционального фибриногена;
- тест с гепариназой (если пациент на гепарине);
 - тест PlateletMapping - оценка влияния антиагрегантов на функцию свёртывания.

Преимущества системы TEG 5000:

- работа с образцом цельной крови;
- оценка вклада факторов свертывания и тромбоцитов;
- время получения результата оценки гемостаза 20 минут;
- графическое изображение теста, компьютерная обработка результатов, вывод на любой монитор компьютерной сети ЛПУ;
- новый интегральный анализатор гемостаза с использованием классического принципа тромбозластографии – принципа Hartert и современным электромагнитным датчиком.[4]

1.4. Обзор патентов технических средств для измерения свертываемости крови

1.4.1. Безруков А.В. и др. Патент №2070371 РФ. Устройство для исследования времени свертывания крови

Изобретение для измерения времени свертывания крови относится к области медицины, может быть использовано как измеритель времени свертывания (ИВС) крови, например для исследования характеристик крови, в частности ее свертываемости.

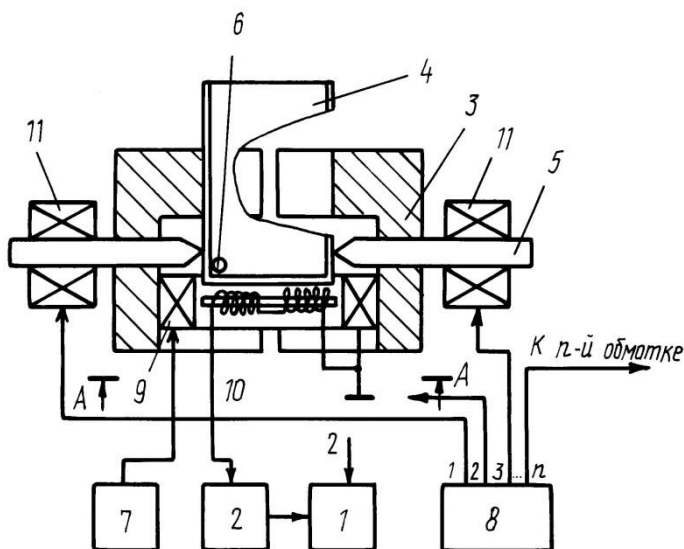


Рисунок 1.7. – Структурная схема устройства для измерения времени свертываемости крови

Устройство, в соответствии с рисунком 1.7., содержит счетчик времени 1, анализатор 2 выходного сигнала, термостатируемый корпус 3, ампулу 4, полюсные сердечники 5 электромагнитов, шар 6 из ферромагнитного материала, первый генератор 7 переменного тока, второй генератор 8 импульсов постоянного тока, передающая 9 и приемная 10 катушки индуктивности и обмотки 11 электромагнитов. Следует пояснить, что на рисунке 1.7. плоскости сечения проведены вертикально через центральные оси

полюсных наконечников и затем развернуты во фронтальную плоскость для удобства изображения.

Работа устройства основана на перемагничивании шара 6 из ферромагнитного материала магнитным переменным полем передающей катушки 9 и соответствующем индуцированному ЭДС в приемной катушке 10. Шар совершает круговое движение по дну ампулы 4 под действием вращающегося магнитного поля полюсных наконечников 5 электромагнитов. Эффект вращения поля обусловлен тем, что обмотки 11 электромагнитов запитываются импульсами постоянного тока, поочередно последовательно распределенными во времени на выходах второго генератора 8. Поэтому шар 6 притягивается к намагниченному в данный момент полюсному наконечнику 5, прокатывается мимо него по инерции. Затем генератор 8 импульсов постоянного тока подключается к следующей по ходу движения шара 6 обмотке 11 электромагнита и шар 6 перекатывается к следующему полюсному наконечнику 5, совершая в результате непрерывное движение по круглому плоскому дну ампулы 4.

Когда шар 6 находится у края приемной катушки 10, то создаваемый им переменный поток магнитного поля пронизывает ее в одном направлении, приводя к формированию индуцируемой ЭДС. Когда шар 6 перемещается к средней части приемной катушки 10, его магнитный поток симметрично пронизывает ее части в противоположных направлениях, что, очевидно, приводит к компенсации формируемых в ней ЭДС и обнулению результирующего сигнала приемной катушки 10. Таким образом, при движении шара 6 по дну ампулы 4 выходной сигнал непрерывно изменяется по амплитуде. С образованием сгустка (тромба) шар 6, встретив препятствие, останавливается, и амплитуда выходного сигнала перестает изменяться, что фиксируется блоком 2 анализа выходного сигнала как окончание исследуемого процесса и сопровождается поступлением импульса окончания счета по входу

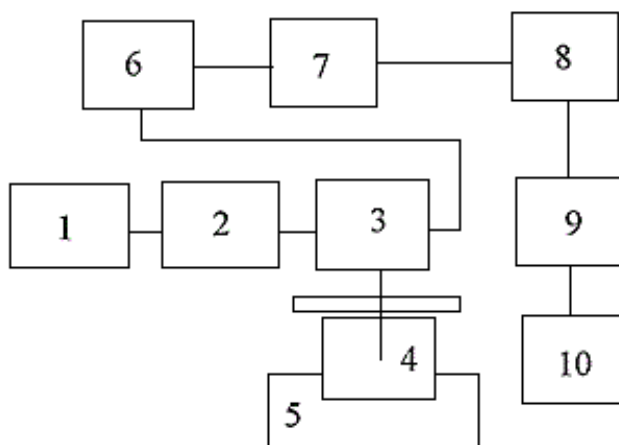
1 счетчика времени 1. Запуск счетчика 1 производится внешним сигналом по входу 2.

Чувствительность такого устройства определяется способностью реагировать на появление достаточно малых сгустков. Она может оцениваться, например, соотношением объемов плотной (вязкой) и жидкой фазы, при котором происходит остановка шара 6 и срабатывание устройства (остановка счетчика времени 1). Отметим, что в отличие от прототипа, где успевший осесть на дно сгусток не фиксировался, в предлагаемом устройстве как раз дно ампулы 4 является зоной наибольшей чувствительности. При этом за счет частичного увлечения движением шара 6 раствор в ампуле вовлекается во вращательное движение и образовавшийся сгусток за счет центробежных сил вытесняется из центральных участков дна на окраинные, контролируемые шаром 6. При этом допускается регулировка чувствительности выбором силы тока, запитывающего обмотки 11 электромагнитов, подбором длительности этих импульсов и частоты их следования. Так, уменьшение намагниченности полюсных наконечников 5 при понижении тока обмоток 11 электромагнита уменьшает силу магнитного притяжения шара 6 и, следовательно, приведет к его остановке сгустком меньшего размера, т.е. сделает устройство более чувствительным.

Точность устройства определяется временем его реагирования на изменение свойств исследуемой жидкости. Точность, очевидно, тем выше, чем больше частота вращения шара 6 в ампуле 4, чем чаще происходит переход шара из области, где выходной сигнал минимален, в область с его максимальным значением. Кроме того, повышение точности обеспечивается за счет повышения уровня модуляции выходного сигнала, т.е. за счет увеличения разности между максимальным и минимальными значениями выходного сигнала. Это объясняется тем, что при меньшем уровне модуляции требуется большее время, чтобы с определенной достоверностью принять решение об остановке шара 6.

При изготовлении устройства используется простая традиционная технология намотки катушек, все его элементы достаточно компактны, что позволяет обеспечить приемлемые габариты устройства.[6]

**1.4.2. Тютрин И.И., Стеценко Ю.А и другие. Патент №98251 РФ.
Устройство для исследования крови; опубликованный 10.10.2010**



1 – генератор импульсов, 2 – блок регистрации, 3 – измерительный блок, 4 – пробное тело продольной формы, 5 – термостатирующая камера с кюветой, 6 – предварительный ОУ, 7 – амплитудный детектор, 8 – выходной ОУ, 9 – цифровой преобразователь, 10 – ПК.

Рисунок 1.8. – Структурная схема устройства для исследования свертываемости крови

В соответствии с рисунком 1.8. принцип работы устройства следующий:

Производят забор венозной крови по общепринятой в коагулологии методике сухой силиконизированной иглой большого диаметра без наложения жгута в непосредственной близости от прибора. Кровь помещают в кювету прогретую до 37°C. Кювету с исследуемой кровью устанавливают в термостатирующую камеру 5, отмечая время, прошедшее от начала забора до начала исследования. Затем погружают пробное тело 4 в кювету. Сигнал в виде импульсов с частотой от генератора 1, соответствующей резонансной

частоте пьезофильтра 2, подается на контакт пьезоэлектрического датчика и запускает его колебания с определенной резонансной частотой и амплитудой.

Пробное тело 14 датчика помещают в кювету с исследуемой кровью/плазмой, температура которой поддерживается термостатирующей камерой 5.

Пьезоэлектрический датчик колеблется с постоянной частотой, а снимаемый выходной сигнал имеет изменяющуюся амплитуду, которая зависит от агрегатного состояния исследуемой среды, в которую помещено пробное тело 13. После усиления с помощью предварительного операционного усилителя (ПОУ) 6 и преобразования с помощью выходного операционного усилителя 8 и аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) 9 в цифровой вид выходное напряжение поступает в персональный компьютер (ПК) 10 для дальнейшей обработки. Таким образом, производят непрерывную регистрацию и запись показателей вязкости крови (гемовискозигramму). Продолжительность записи варьируется в зависимости от целей исследования от 15 до 60 минут. [7]

**1.4.3. Кудрявцев А.А., Кузнецов Н.Н. и другие. Патент №2645081 РФ.
Анализатор коагуляции – тромбоэластограф, опубликованный 15.02.2018**

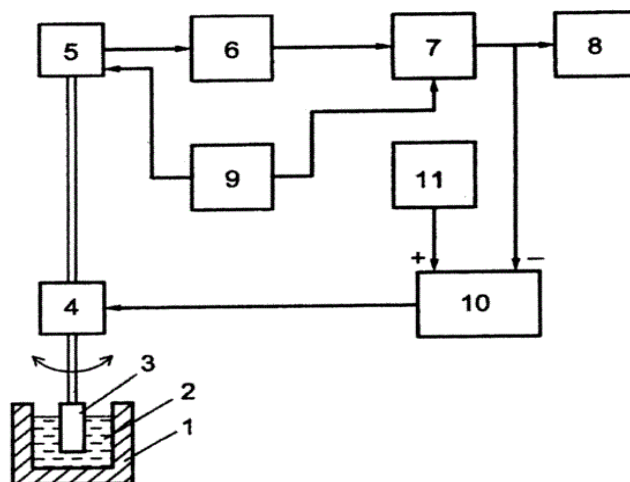


Рисунок 1.9. – Схема анализатора коагуляции

Анализатор коагуляции – тромбоэластограф, содержащий кювету 1 с исследуемой жидкостью 2, погруженный в кювету поплавок 3, установленный на штоке с возможностью совершения возвратно-поворотного перемещения, датчики угла поворота 5 и вращающего момента 4, последовательно соединенные усилитель 6, фазовый детектор 7 и регистрирующее устройство 8, генератор синусоидальных колебаний 9, связанный с датчиком угла поворота и фазовым детектором. Фазовый детектор отличается тем, что он снабжен вычитателем с дополнительным генератором 11, подключенным к одному из входов вычитателя 10, причем другой вход вычитателя подключен к фазовому детектору.

Выход вычитателя подключен к датчику вращательного момента, при этом регистрирующее устройство выполнено с возможностью фиксации разности сигналов датчика угла поворота: сигнала максимальной амплитуды поворота поплавка в начальный период проведения анализа и сигнала текущей амплитуды поворота поплавка в процессе проведения анализа.

1.5. Основная техника безопасности при использовании данного типа устройства

По требованиям электробезопасности и по защите от опасности поражения электрическим током аппарат соответствует нормам ГОСТ Р 50267.0, ГОСТ РМЭК 60601-1-1 для изделий класса I с рабочей частью типа В. Блок питания Модель АС-220-Si-20-12-1000 (12В 1.0А) (адаптер питания) по степени защиты от поражения электрическим током соответствует приборам класса II по 12.2.007-87 (МЭК 60065-2005).

Для работы с комплексом и его обслуживанием допускаются лица, ознакомившиеся с техническим описанием и руководством по эксплуатации, а также прошедшие инструктаж по технике безопасности.

В адаптере питания аппарата имеются напряжения, опасные для жизни, поэтому категорически запрещается разбирать адаптер, работать с ним и с аппаратом в разобранном виде. Аппарат должен быть заземлен.

Подготовка аппарата к работе в помещениях с различной степенью опасности такая же, как в помещениях с нормальными условиями эксплуатации.

При подключении аппарата к питающей сети и установке тумблера питания в положение «ВКЛЮЧЕНО», на передней панели загорается светодиодное табло индикатора температуры «Термостабилизация».

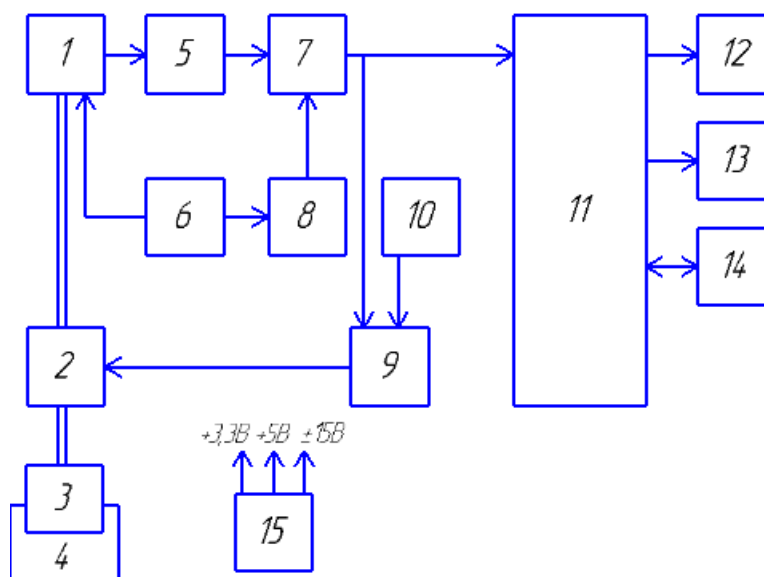
Все перепайки следует делать только при снятии напряжения с аппарата.

Запрещается вставлять и вынимать вилку сетевого кабеля из сети при включенном аппарате.

Предварительно необходимо установить тумблер питания в положение «ВЫКЛЮЧЕНО».[8]

2. Расчетно – конструкторская часть предлагаемого устройства

2.1. Структурная схема тромбоэластографа



1 – датчик угла поворота, 2 – датчик вращающего момента, 3 – поплавков, 4 – кювета с исследуемой жидкостью, 5,8 – предварительный усилитель, 6 – генератор синусоидальных колебаний, 7 – фазовый детектор, 9 – вычитатель на базе ОУ, 10 – дополнительный генератор, 11 – микроконтроллер, 12 – дисплей, 13 – устройство ввода, 14 – USB интерфейс, 15 – блок питания

Рисунок 2.1. – Структурная схема устройства тромбоэластографа

Анализатор коагуляции – тромбоэластограф – содержит неподвижную кювету 4 с исследуемой жидкостью, в которую погружен поплавок 3, установленный на штоке, жестко связанном с датчиком вращающего момента 2 – электромагнит с поворотным якорем и датчиком угла поворота 1 – дифференциально трансформаторный датчик угла поворота, которые конструктивно объединены. Датчик угла соединен с последовательно установленными усилителем, фазовым детектором и регистрирующим устройством, представляющим собой персональный компьютер, а также с

генератором 6 , питающим обмотку возбуждения датчика 1 и фазовый детектор 7. Устройство также содержит вычитатель 9 , выполнен на базе операционного усилителя, к первому входу которого подключен выход дополнительного генератора. Ко второму входу вычитателя подключен выход фазового детектора 10. Выход вычитателя 9 подключен к датчику вращающего момента 2.

Регистрирующее устройство выполнено с возможностью фиксации разности сигналов датчика угла поворота: сигнала максимальной амплитуды поворота поплавок в начальный период проведения анализа и сигнала текущей амплитуды поворота поплавок в процессе проведения анализа.

Анализатор коагуляции - тромбозластограф - работает следующим образом.

В кювету заливается проба, например кровь, в которую опускают поплавки.

Подвижная часть прибора выполнена так, что поплавки может совершать только возвратно-поворотные движения в пределах ограниченного угла.

Пусть в исходном положении датчик угла поворота занимает среднее положение (из-за отсутствия противодействующих пружин датчик может занимать произвольное положение).

В этом случае выходное напряжение датчика будет равно 0, соответственно, на выходе фазового детектора и на втором входе вычитателя также будет отсутствовать напряжение.

На первый вход вычитателя от генератора поступает циклически изменяющийся сигнал.

По мере нарастания сигнала генератора от нуля до определенной амплитуды на выходе вычитателя появляется сигнал, приложенный к датчику вращающего момента. Под действием сигнала датчик передает поплавку вращающийся момент, пропорциональный выходному сигналу вычитателя. Поплавки поворачивается, на выходе датчика угла, соответственно, на выходе

усилителя, выходе фазового детектора и на втором входе «вычитателя» появляется сигнал, пропорциональный углу поворота поплавка. Поплавок поворачивается до тех пор, пока сигнал положительной полярности выхода фазового детектора не уравновесит сигнал генератора.

Таким образом, при отсутствии сопротивления жидкости в кювете, например, в начальном периоде проведения анализа, поплавок совершает возвратно-поворотное движение в пределах угла, определяемого амплитудой сигнала генератора.

С целью сохранения идентичности протекания процесса коагуляции в пробе закон изменения сигнала генератора совпадает с функцией угла поворота кюветы от времени известных аналогов.

Принципиально можно создать любой закон изменения сигнала генератора, что расширяет возможности прибора в лабораторной практике.

По мере коагуляции жидкости поплавок испытывает тормозящий момент упругости пробы в кювете, соответственно, поплавок поворачивается на меньший угол.

Регистрирующее устройство фиксирует классическую гемокоагулограмму как функцию модуля упругости крови от угла поворота поплавка относительно кюветы.

На величину угла поворота датчика угла влияет также систематическая ошибка от таких факторов, как сопротивление сил трения в опорах подвижной части прибора, текущее значение параметров элементов устройства.

Для компенсации указанной ошибки в регистрирующем устройстве уровень амплитуды сигнала датчика угла на выходе фазового детектора в начальном периоде анализа принимается за опорный сигнал, который фиксируется в памяти регистрирующего устройства.

Все последующие сигналы амплитуды датчика угла вычитаются из опорного, а регистрирующее устройство отмечает разность указанных сигналов как точки огибающей известной гемокоагулограммы.

Таким образом, до начала коагуляции производится автоматическая установка нуля в регистрирующем устройстве, а общепринятые параметры гемокоагулограммы рассчитываются относительно опорного сигнала.

Вращение и противодействующий момент поплавку обеспечивают датчик момента без применения каких-либо механических устройств.

Повышение точности анализа достигается тем, что из результатов измерения автоматически исключается систематическая ошибка, связанная с силами трения подвижной части прибора и изменением параметров элементов.

Вероятность изменения параметров от дестабилизирующих факторов в течение одного анализа меньше, чем за время эксплуатации прибора, а незначительное повышение вязкости пробы, например, при гипокоагуляции сравнительно легко выделяется на фоне опорного сигнала. [9]

Данные с устройства обрабатываются с помощью АЦП микроконтроллера, где выполняются все математические вычисления.

Управляется устройство с помощью модуля ввода-вывода, а вывод показаний измерения может осуществляться с помощью дисплея, USB интерфейса с любым внешним устройством, имеющим данный тип шины.

2.2. Описание принципиальной схемы

Датчик угла поворота представляет собой дифференциально – трансформаторный датчик угла вращения Т1, который под влиянием входного сигнала изменяет взаимные индуктивности обмоток, что приводит к изменению вторичного выходного напряжения.

В роли генератора DD2 была выбрана микросхема AD9833 (Приложение Г), представляющий генератор колебаний, управляемый по интерфейсу SPI. AD9833 генерирует сигнал синусоидальной формы амплитудой равной 0,6В, при смещении сигнала на выходе конденсатора С11 амплитуда сигнала лежит в диапазоне от минус 0,3В до 0,3В. Так как сигнала для возбуждения обмоток трансформатора Т3 недостаточно, усилили его с помощью драйвера трансформатора. В качестве усилителей DA1, DA2 выбрали микросхему AD815 (Приложение А).

Сигнал после усилителя DA1 поступает на фазовый детектор, построенный по схеме двуполупериодного фазочувствительного выпрямителя, представляющего собой диодный мост VD1-VD4, в качестве которого выбрали микросхему DB102S (Приложение В), и трансформаторы Т2, Т3. В качестве трансформаторов Т2, Т3 выбрали микросхемы LN-NP-1002 (Приложение Б), которые представляют согласующие трансформаторы со средней точкой с коэффициентом трансформации один к одному. В течение положительного полупериода опорного напряжения диоды VD1 и VD2 открыты, ток протекает через верхнюю полуобмотку Т2 и правую полуобмотку трансформатора Т3 и нагрузку R18, а при отрицательном полупериоде диоды VD3 и VD4 открыты, ток протекает через нижнюю полуобмотку Т2 и левую полуобмотку трансформатора Т3 и нагрузку R18. Во время обоих полупериодов направление тока через нагрузку не изменяется. Таким образом, суть схемы фазового детектора в том, чтобы сравнить было ли изменение фазы или нет. К фазовому детектору подключаем дифференциальный усилитель DA3, в качестве

которого выбрана микросхема SSM2141 (Приложение Д) для подачи сигнала, под действием которого датчик Т1 передает поплавку вращающий момент, пропорциональный выходному сигналу.

После дифференциального усилителя сигнал поступает на микроконтроллер DD3, в качестве которого выбрана микросхема ATmega328p (Приложение Е). Микроконтроллер имеет Usb-вход (USBasp v2.0, Приложение И) для подключения к дисплею DD4, построенного на микросхеме LCD1602A (Приложение Ж), на котором отображаются результаты измерения. Клавиатура, представляющая коммутационное устройство взаимодействует с дисплеем, на ней расположены кнопки SW1 – SW3, отвечающие за включение/выключение устройства, и служащие для подачи сигнала к микроконтроллеру.

Для подключения аналогового и цифрового питания на схеме используются разъемы XS1 и XS2 (Micro-Match-5, Приложение С).

Для правильного функционирования разрабатываемого электронного устройства подобран блок питания на трансформаторе Т4 (ТА-55-127/220-50 ШЛ20х20, Приложение К) и стабилизаторах напряжений DA4, DA5, DA6, DA7 (AMS1117 – 3.3, Приложение М; КН1157ЕН15А, Приложение Н; КН1168ЕН15А, Приложение П; L7805CV, Приложения Л), необходимых для выдачи определенных питающих напряжений. Для бесперебойной работы блока питания в него встроен предохранитель FU1 (ПР – 2, Приложение Р).

2.3. Расчет функциональных узлов принципиальной схемы

2.3.1. Подбор трансформаторного датчика угла вращения

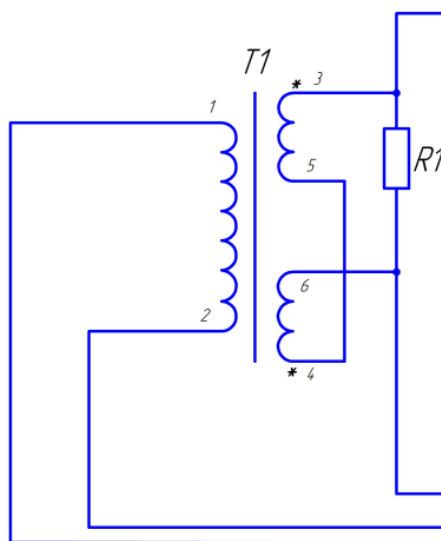


Рисунок 2.2. – Дифференциально – трансформаторный датчик угла вращения

Трансформаторный датчик угла в соответствии с рисунком 2.3. с перемещающимся ротором представляет собой устройство, выходной электрический сигнал которого пропорционален перераспределению магнитного потока возбуждения, вызванному перемещением ротора. Датчики такого типа иногда называют следящими трансформаторами.

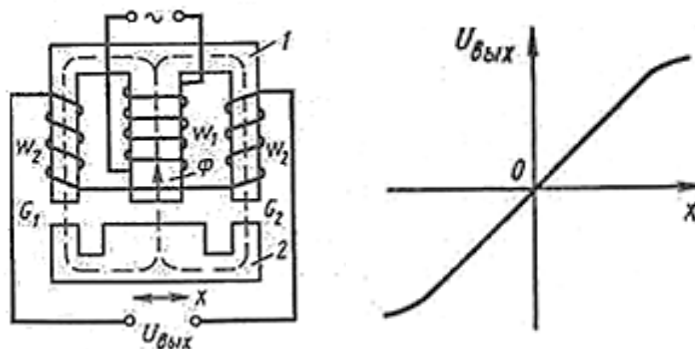


Рисунок 2.3. – Дифференциальный датчик угла поворота

Статор большинства однокоординатных датчиков представляет собой Ш-образный магнитопровод, на среднем стержне которого расположена катушка возбуждения. На двух крайних стержнях размещены две одинаковые встречно включенные выходные катушки. Ротор датчика выполняется в виде магнитопроводящего сектора или сегмента без обмоток.

Магнитный поток, создаваемый катушкой возбуждения, индуцирует в каждой выходной катушке электродвижущей силы, пропорциональную магнитной проводимости магнитопровода статора соответственно с одной или другой стороны от его оси симметрии. При симметричном расположении ротора относительно статора электродвижущей силы в выходных катушках равны между собой и поэтому электрический сигнал на выходе датчика теоретически равен нулю. Такое положение ротора называется нулевым. [10]

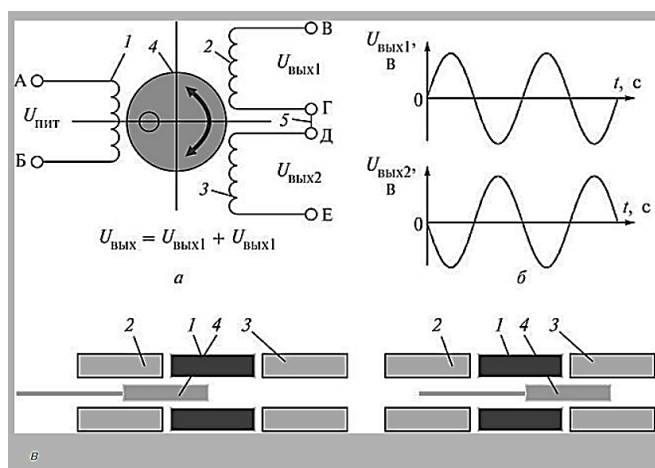


Рисунок 2.4. – Примеры работы датчика трансформаторного типа

Ток в первичной обмотке датчика вызывает ток во вторичной обмотке протекающий через резистор R_1 и этот ток пропорционален углу поворота ротора трансформаторного датчика.

Зависимость напряжения на выходе трансформаторного датчика выражена следующей формулой:

$$U_2 = U_1 \times \frac{W_2}{W_1} \times \frac{G''_{II} - G''_{II}}{G''_{II} + G''_{II}}, \quad (1)$$

где $G'_II = \frac{G' \times G_0}{G' + G_0}$, $G''_{II} = \frac{G'' \times G_0}{G'' + G_0}$, G_0, G', G'' – магнитные проводимости зазоров.

Так как готового датчика нет, используем формулу (1) для описания выходных характеристик датчика.

Магнитная проводимость G_0 не изменяется при перемещении якоря.

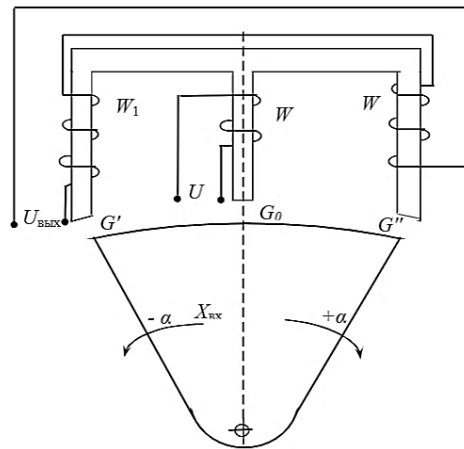


Рисунок 2.5. – Схема дифференциально – трансформаторного датчика

Исходя из формулы (1), приведённой выше если якорь датчика расположен симметрично то напряжения на его выходе нет, так как магнитные проводимости зазоров равны между собой (обмотки датчика включены противофазно)

Также из этой формулы можно сделать вывод, что напряжение на дифференциально трансформаторных датчиках может изменяться в диапазоне:

$$U_1 \times \frac{W_2}{W_1} \times (-1) < U_2 < U_1 \times \frac{W_2}{W_1} \times 1, \quad (2)$$

где $K_T = \frac{W_2}{W_1}$ – коэффициент трансформации.

То есть

$$U_1 \times K_T \times (-1) < U_2 < U_1 \times K_T \times 1, \quad (3)$$

Для питания датчика выбрали двуполярное напряжение 15В. Частота питающего напряжения может измениться программно, что будет описано ниже.

Коэффициент трансформации принимаем равным 3:

$$\frac{W_2}{W_1} = 3 \quad (4)$$

Таким образом, напряжение на выходе датчика может изменяться в диапазоне от минус 5В до плюс 5В, так как коэффициент трансформации (5) взяли равным одному.

$$K_u = \frac{15}{3} = 5 \quad (5)$$

Включение резисторов необходимо, так как трансформатор – устройство которое передает сигнал с помощью магнитного потока, а магнитный поток возбуждается током, проходящим через обмотки. Для того чтобы ток не был огромным, так как обмотка – проводник, ставим токоограничивающий резистор.

Необходимо изолировать ток во вторичной обмотке, поэтому весь ток падает на R_1 .

Из ряда E96 приняли:

$$R_1 = 100 \text{ Ом}$$

Таким образом, ток через вторичную обмотку равен:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_1} = \frac{5}{100} = 50 \text{ мА} \quad (6)$$

2.3.2. Подбор усилителя

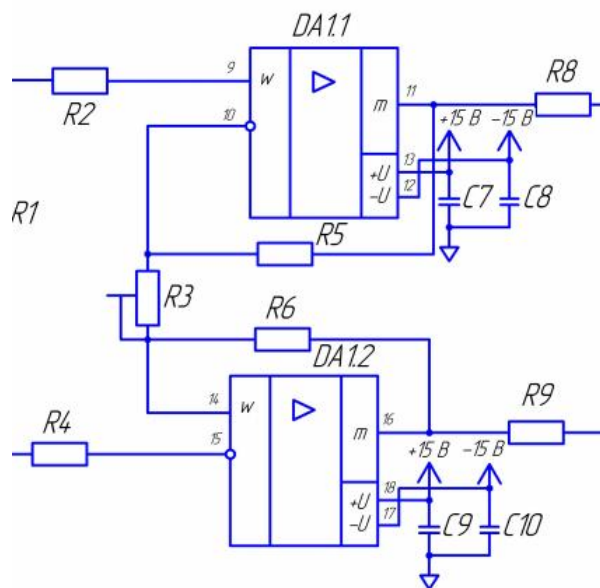


Рисунок 2.6. – Схема включения усилителя

В роли усилителя выбрана микросхема AD815 (Приложение А).

Данный усилитель подключили по схеме драйвера трансформатора в соответствии с рисунком 2.6.

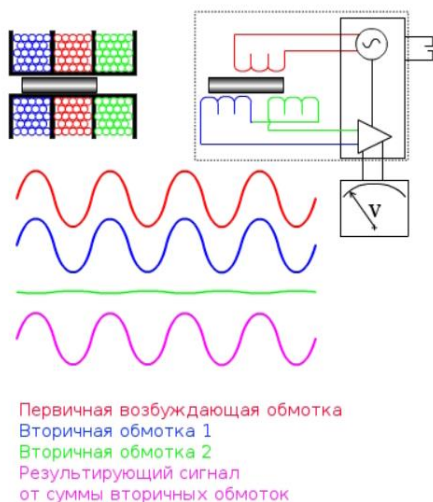


Рисунок 2.7. – Сигналы на входе и выходе датчика

Рассчитаем данный усилитель, чтобы на его выходе формировался дифференциальный сигнал равный 30В при входном напряжении равном 5В для питания обмотки трансформатора фазового детектора.

Рассчитаем коэффициент усиления верхнего плеча:

$$K_u = \frac{R_5}{R_3} + 1 \quad (7)$$

Из ряда E96 приняли:

$$R_5 = 499 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 100 \text{ Ом}$$

Таким образом:

$$K_u = \frac{R_5}{R_3} + 1 = \frac{499}{100} + 1 = 5.99 \quad (8)$$

Коэффициент усиления нижнего плеча будет равен также 5,99.

Из ряда E96 приняли:

$$R_6 = 499 \text{ Ом}$$

Таким образом, дифференциальное напряжение на выходе усилителя будет вычисляться по формуле (8):

$$U_{\text{вых.диф}} = (K_1 \times \varphi_1 - K_2 \times \varphi_2) \quad (9)$$

Было принято что $K_{u_1} = K_{u_2}$

$$U_{\text{вых.диф}} = (K_{u_1} \times \varphi_1 - K_{u_2} \times \varphi_2) = K_{u_1} \times (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (10)$$

Если на входе у нас напряжение 5В, то коэффициент усиления равен 6. Другой сигнал дифференциально поступает на вход схемы, то есть не 5В относительно земли, а, например, 2,5В на первой обмотке трансформатора и минус 2,5В на второй обмотке. В итоге, в сумме выхода верхнего усилителя получаем 15В, а с выхода нижнего минус 15В и разность даст 30В.

Таким образом, при входном напряжении равно 5В на драйвере мы получим 30В.

AD815 допускает на своем выходе сигнал уровня 15В, так как имеет Rail to Rail выход.

Также стоит отметить, что в роли R_3 мы взяли подстроечный резистор с помощью которого коэффициент усиления можно изменить.

Из ряда E96 приняли:

$$R_2 = R_4 = 100\text{Ом}$$

2.3.3. Расчет фазового детектора

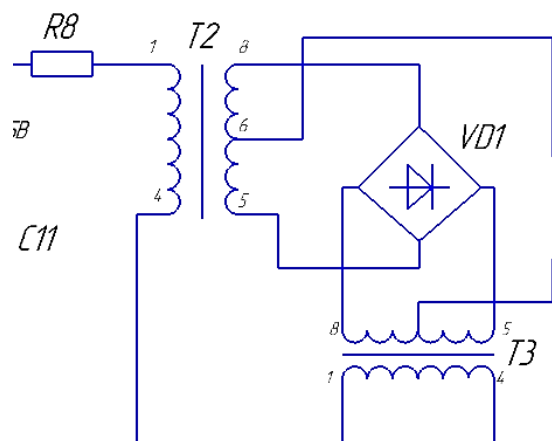


Рисунок 2.8. – Схема фазового детектора

Фазовый детектор построен по схеме двухполупериодного фазочувствительного выпрямителя.

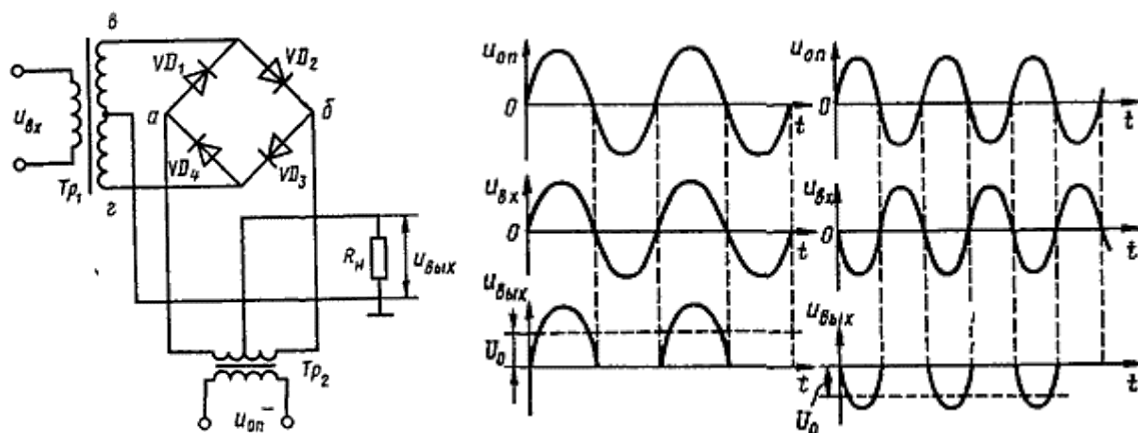


Рисунок 2.9. – Схема и диаграмма работы двухполупериодного фазочувствительного выпрямителя

В течение положительного полупериода опорного напряжения (+ в точке а, - в точке б) диоды VD1, VD2 открыты.

Если фаза входного переменного сигнала совпадает с фазой опорного сигнала, то ток протекает через верхнюю полуобмотку трансформатора Tr_1 , диод VD2, правую полуобмотку трансформатора Tr_2 и нагрузку R_n .

В отрицательный полупериод опорного напряжения диоды VD3, VD4 открыты. Ток протекает через нижнюю полуобмотку трансформатора Tr_1 , диод VD4, левую полуобмотку трансформатора Tr_2 и нагрузку R_n .

В течение обоих полупериодов направление тока, протекающего через нагрузку, не изменяется, оно изменяется лишь только при изменении фазы входного сигнала по отношению к опорному сигналу.

В роли трансформаторов выбрали LM-NP-1002(Приложение Б), которые представляют из себя согласующие трансформаторы со средней точкой с коэффициентом трансформации 1:1.

В роли диодного моста выбрали DB102S(Приложение В)

Из ряда E96 приняли:

$$R_8 = R_9 = 50 \text{ Ом}$$

Таким образом максимальный ток через первичную обмотку трансформатора равен:

$$I_1 = \frac{30}{R_8 + R_9} = 300 \text{ мА} \quad (11)$$

Таким образом, максимальный ток во вторичной обмотке должен составлять ровно столько же.

Из ряда E96 приняли

$$R_{10} = 100 \text{ Ом}$$

Резисторы R_{22} , R_{23} для подключения питания обмоток трансформатора датчика угла и обмотки опорного напряжения трансформатора фазочувствительного выпрямителя приняли:

Из ряда E96 приняли

$$R_{22} = R_{23} = 50 \text{ Ом}$$

Так как трансформатор используется также с коэффициентом передачи один к одному.

2.3.4. Расчет генератора

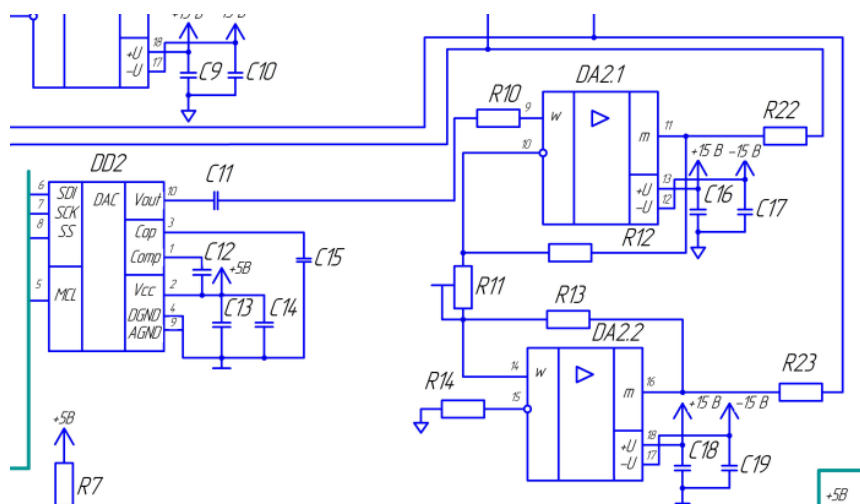


Рисунок 2.10. – Схема включения генератора

В роли генератора синусоидальной частоты выбрана микросхема AD9833(Приложение Г). Которая представляет из себя программируемый генератор колебаний,управляемый по итерфейсу SPI.

Тактирование генератора осуществляется с помощью вывода микроконтроллера.

Для простоты организации системы тактирования от кварцевого генератора контроллера выберем частоту тактирования равной 8МГц. Следовательно контроллер также должен работать на частоте 8МГц.

Для датчиков трансформаторного типа желательно чтобы частота питающего сигнала не превышала 500кГц

Согласно рекомендации на проектирование датчиков трансформаторного типа необходимо, чтобы частота генерации изменялась в диапазоне от 1 Гц до 500000 Гц. Определим диапазон значений регистра FREQREG.

$$FREQREG = \frac{2^{28} \cdot vout}{clock} = \frac{2^{28}}{8 \cdot 10^6} = 33,554432 \approx 33 \quad (12)$$

$$FREQREG = \frac{2^{28} \cdot vout}{clock} = \frac{500000 \cdot 2^{28}}{8 \cdot 10^6} = 16\,777\,216 \quad (13)$$

Таким образом, FREQREG изменяется в диапазоне от 33 до 16777216.

В регистр фазы записываем нуль, так как по ТЗ изменение фазы не требуется.

Микросхема подключена согласно схеме, приведённой в паспорте на микросхему.

Из ряда E96 приняли

$$C_{15} = 10 \text{ нФ}$$

$$C_{13} = 100 \text{ нФ}$$

$$C_{17} = 20 \text{ пФ}$$

C_{13} необходимы для того чтобы сдвинуть синусоиду вниз (сделать сигнал двуполярным) и убрать из спектра сигнала постоянную составляющую.

Для сглаживания пульсаций по питанию выбрали.

Из ряда E96 приняли:

$$C_8 = 0,1 \text{ мкФ}$$

$$C_{16} = 4,7 \text{ мкФ}$$

AD9833 генерирует синусоидальный сигнал амплитудой равной 0.6В. При смещении сигнала на выходе конденсатора C_{13} амплитуда сигнала составляет уже 0.3В и сигнал лежит в диапазоне от минус 0.3В до 0.3В.

Данного сигнала недостаточно для возбуждения обмоток трансформатора с этой целью его нужно усилить с помощью драйвера трансформатора аналогичного рассмотренному в пункте 2.3.2.

В роли усилителя выбрали микросхему AD815 (Приложение А).

Данный усилитель подключили по схеме драйвера трансформатора.

Рассчитаем данный усилитель чтобы на его выходе формировался дифференциальный сигнал равный 15В при входном напряжении равном 0.3В для запитывания обмоток датчика и фазового детектора.

Рассчитаем коэффициент усиления верхнего плеча:

$$K_u = \frac{R_{13}}{R_{18}} + 1 = 50 \quad (14)$$

Из ряда E96 приняли:

$$R_{13} = 4020\text{Ом}$$

$$R_{18} = 100\text{Ом}$$

Таким образом:

$$K_u = \frac{R_{13}}{R_{18}} + 1 = \frac{4020}{100} + 1 = 50.2 \quad (15)$$

Коэффициент усиления нижнего плеча будет равен также 50.2 .

Из ряда E96 приняли:

$$R_{22} = 4020\text{Ом}$$

Таким образом, дифференциальное напряжение на выходе усилителя будет вычисляться по следующей формуле:

$$U_{\text{вых.диф}} = (K_1 \times \varphi_1 - K_2 \times \varphi_2) \quad (16)$$

Было принято, что $K_{u1} = K_{u2}$

$$U_{\text{вых.диф}} = (K_1 \times \varphi_1 - K_2 \times \varphi_2) = K_{u1} \times (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (17)$$

Таким образом при входном напряжении равно 0.3В на драйвере мы получим 15В.

Также стоит отметить, что в роли R_{11} мы взяли подстроечный резистор с помощью которого коэффициент усиления можно изменить.

Из ряда Е96 приняли:

$$R_{12} = R_{14} = 100\text{Ом}$$

2.3.5. Дифференциальный усилитель

Схема дифференциального усилителя построена на операционном усилителе SSM2141 (Приложение Д) и предназначена для передачи сигнала, под действием которого датчик передает поплавку вращающий момент, пропорциональный выходному сигналу.

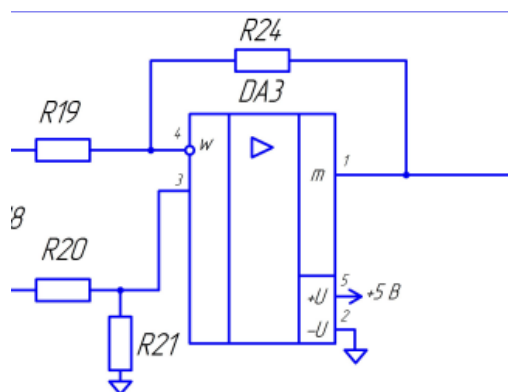


Рисунок 2.11. – Схема дифференциального усилителя

Выходное напряжение усилителя $U_{\text{вых}}$, которое получается при подаче сигнала $U_{\text{вх}2}$, характеризуется следующими уравнениями [11]:

$$U_{\text{инв}} = U_{\text{вх}2} \times \frac{R_{21}}{R_{20} + R_{21}} \quad (18)$$

$$U_{\text{вых}1} = U_{\text{вх}2} \times \frac{R_{21}}{R_{20} + R_{21}} \times \left(\frac{R_{19} + R_{24}}{R_{19}} \right) \quad (19)$$

Для определения выходного напряжения дифференциального усилителя при подаче сигнала на его инвертирующий вход воспользуемся уравнением для расчета коэффициента усиления инвертирующего усилителя:

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}1} \times \left(\frac{R_{24}}{R_{19}} \right) \quad (20)$$

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}1} \times \left(\frac{R_{24}}{R_{19}} \right) + U_{\text{вх}2} \times \left(\frac{R_{21}}{R_{20} + R_{21}} \right) \times \left(\frac{R_{19} + R_{24}}{R_{19}} \right) \quad (21)$$

Если резисторы $R_{19} = R_{20}$ и $R_{21} = R_{24}$, то выражение (21) для дифференциального усилителя примет следующий вид (22):

$$U_{\text{вых}} = (U_{\text{вх}2} - U_{\text{вх}1}) \times \frac{R_{24}}{R_{19}} \quad (22)$$

где $\frac{R_{24}}{R_{19}}$ - коэффициент усиления дифференциальных сигналов.

В данном случае нам необходимо единичное усиление, поэтому $R_{19} = R_{20} = R_{21} = R_{24}$.

Из ряда E96 приняли:

$$R_{19} = 25 \text{ кОм}$$

$$R_{20} = 25 \text{ кОм}$$

$$R_{21} = 25 \text{ кОм}$$

$$R_{24} = 25 \text{ кОм}.$$

2.3.6. Микроконтроллер

Микроконтроллер (или микропроцессорный блок управления) является сложным программно-управляемым устройством и электронным прибором (микросхемой), который позволяет гибко управлять различными электронными и электрическими устройствами, в частности осуществляет настройку разрабатываемого устройства, управление, запись и считывание полученных данных.

В качестве микроконтроллера используем микросхему ATmega328P семейства AVR (Приложение E). Выбрали именно эту микросхему, потому что там есть необходимые параметры и встроенный АЦП, что позволит уменьшить габариты устройства и лишние затраты, так как чем меньше аналоговых микросхем, меньше помех.

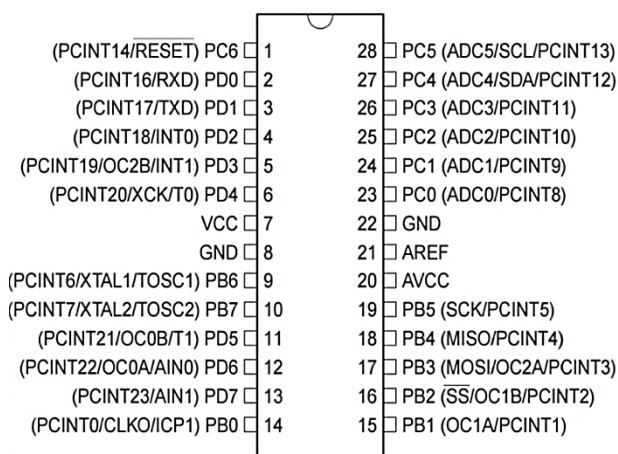


Рисунок 2.12. – Цоколевка Atmega328P

К микроконтроллеру подключен дисплей LCD1602A (Приложение Ж), представляющий из себя электронный модуль основанный на драйвере HD44780 от Hitachi.

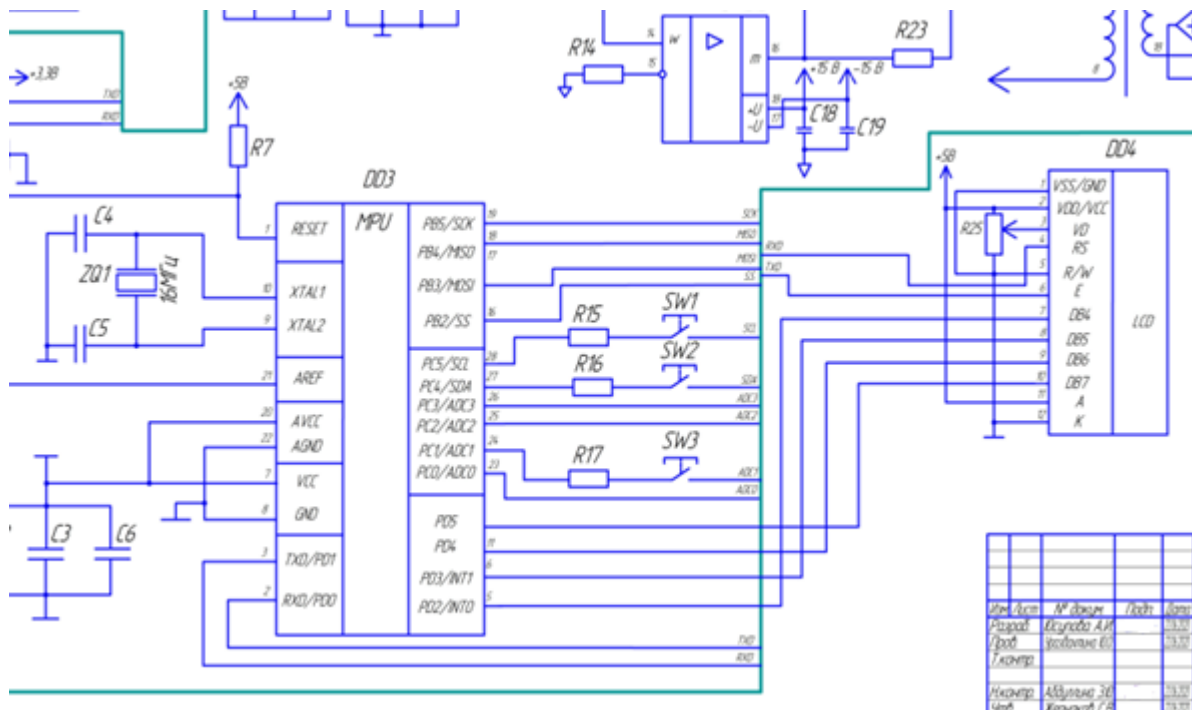


Рисунок 2.13. – Схема включения дисплея LCD1602A

Потенциометр номиналом 10кОм используется для регулировки контрастности дисплея.

Блок ввода реализован с помощью коммутационных устройств PMB-0112, подключенных к микроконтроллеру по следующей схеме включения (рисунок 2.14.).

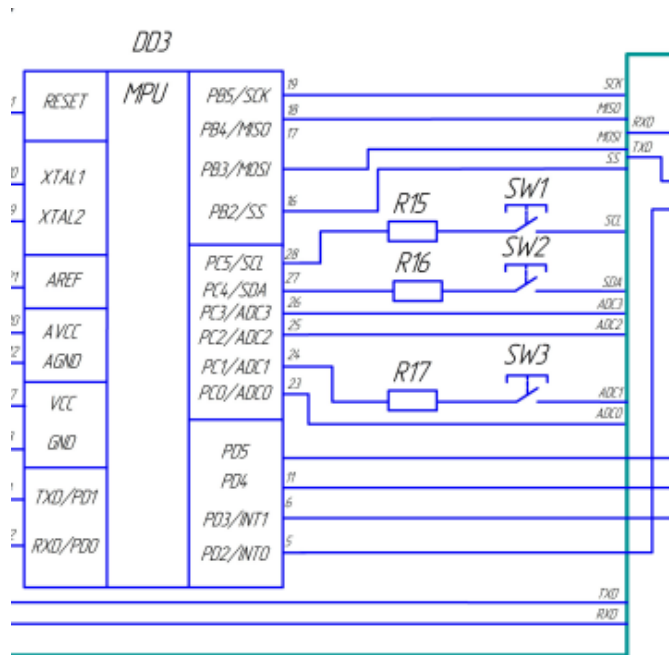


Рисунок 2.14. – Схема включения блока управления

Номиналы резисторов R_{15} , R_{16} , R_{17} выбираем равным 1 кОм из ряда номиналов сопротивлений E96.

Также к микроконтроллеру подключили USBasp(Приложение И), который позволяет программировать AVR через последовательный интерфейс SPI. Для этого он имеет 10 – пиновый разъем SPI. Подключение программатора сводится к соединению разъема ICSP, в котором сгруппированы выводы для внутрисхемного программирования: MOSI, MISO, SCK, RST, GND и VCC.

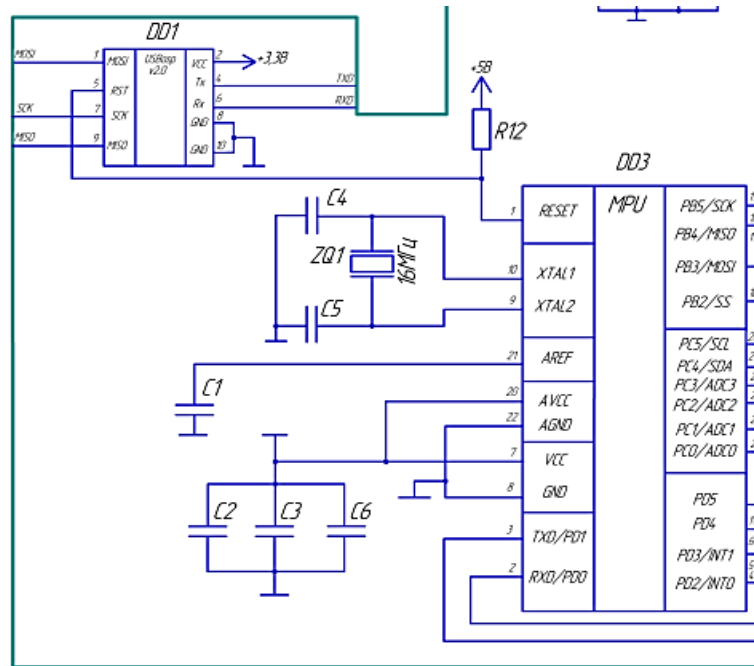


Рисунок 2.15. – Схема включения USBasp

2.3.7. Расчет потребляемой мощности разрабатываемого устройства

Таблица 2.1. – Расчет потребляемой мощности

Обозначение микросхемы	Название	Количество, шт	$I_{\text{потр}}$, мА	$U_{\text{пит}}$, В	$P_{\text{потр}}$, мВт
DA1,DA2	AD815	2	40 мА	±15 В	600 мВт
DA3	SSM2141	1	2,5	±15 В	37,5 мВт
DD1	AD9833	1	2,5 мА	+5 В	12,65 мВт
DD2	Atmega328P	1	0,2 мА	+ 5 В	1 мВт
DD3	LCD1602A	1	1,2 мА	+ 5 В	6 мВт
Σ			46,4 мА		736,15 мВт

Суммарный потребляемый ток равен $I_{\text{потр}} = 46,4$ мА.

Суммарная потребляемая мощность равна $U_{\text{потр}} = 736,15$ мВт.

2.3.8. Проектирование блока питания

Так как блок питания должен питаться от сети переменного тока $220\text{В} \pm 10\%$ и частотой 50 Гц, то использовали трансформатор ТА-55-127/220-50 (Приложение К) мощностью 40 Вт.

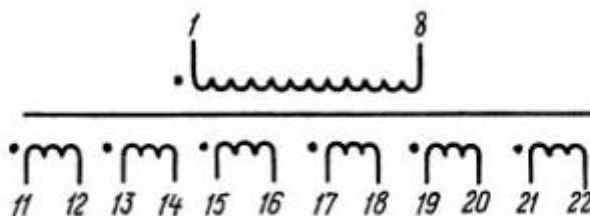


Рисунок 2.16. - Трансформатор ТА-55-127/220-50 ШЛ20х20

- Сердечник: ШЛ20х20
- Мощность: 40 Вт
- Ток первичной обмотки: 0,4/0,22 А
- Масса: 1,2 кг

На входе трансформатора для защиты разрабатываемого устройства от превышения напряжения, неправильного включения или отказа трансформатора установили электрический предохранитель ПР-2 (Приложение Р).

В качестве выпрямителя будем использовать диодный мост DB102S (Приложение В), а за счет стабилизаторов напряжений будем использовать микросхемы:

- L7805CV (Приложение Л) для выдачи напряжения + 5 В;
- AMS1117 – 3.3 (Приложение М) для выдачи напряжения + 3,3 В.
- КН1157ЕН15А (Приложение Н) для выдачи напряжения +15 В.
- КН1168ЕН15А (Приложение П) для выдачи напряжения -15 В.

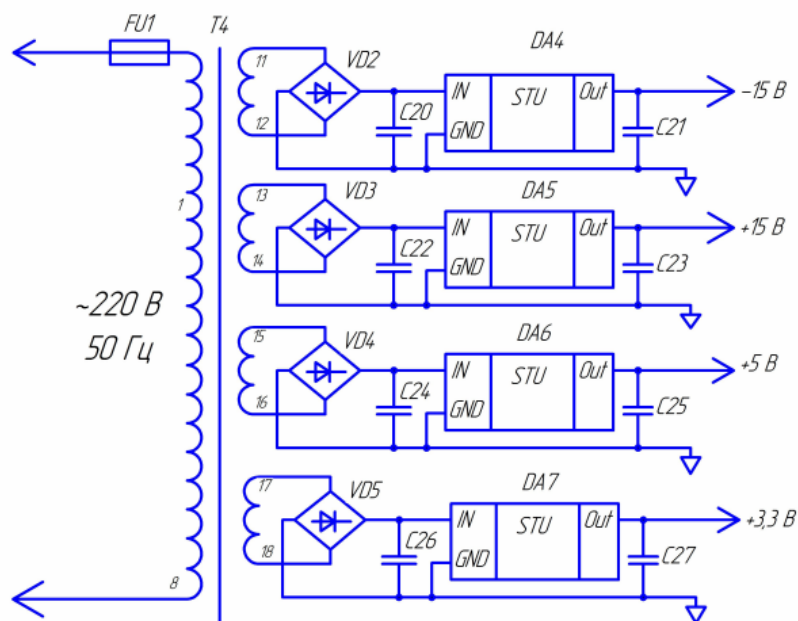


Рисунок 2.17. – Блок питания

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение свертывающей системы крови чрезвычайно актуальный аспект диагностики экстренных состояний, востребованный в первую очередь в таких областях медицины как хирургия с массивной кровопотерей, а также акушерство, реанимация, анестезиология, кардиология, неврология и другие.

В системе гемостаза принимают участие факторы свертывающей, противосвертывающей и фибринолитической систем крови. Нарушение функциональных взаимосвязей может привести к тяжелым патологическим состояниям организма, заключающиеся или в повышенной кровоточивости или во внутрисосудистом тромбообразовании. [12]

Таким образом, метод тромбоэластографии позволяет подобрать целевую терапию и определить связано ли кровотечение с избытком гепарина, факторов свертывания крови, уровнем фибриногенов, недостаточности функциональности тромбоцитов.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была модернизирована структурная схема устройства для измерения свертываемости крови, и на ее основе разработана принципиальная схема. Тромбоэластограф состоит из дифференциально–трансформаторного датчика угла вращения; усилителей; генератора синусоидальных колебаний; фазового детектора, состоящего из трансформатора и диодного моста; дифференциального усилителя; микроконтроллера, к которому подключен дисплей для вывода информации, и клавиатура для ввода данных и USB интерфейса. По принципиальной схеме произведен расчет функциональных узлов, произведен расчет потребляемой мощности для дальнейшего построения блока питания устройства, спроектированы схемы монтажной и печатной плат с помощью системы автоматизированного проектирования и выполнены в соответствии с ГОСТ Р 53429 – 2009.

Спроектированное устройство полностью соответствует техническому заданию. Преимуществом разработанного устройства является использование современного микроконтроллера семейства AVR с низким энергопотреблением. Тромбоэластограф востребован в сфере медицины и используется практически во всех медицинских лабораториях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интраоперационные изменения свертываемости крови и тромбоэластографического мониторинга/ Ю.Канг, Дж. Мартин и др.//Анестезия и Анальгезия. – 2000. – Т.64. – С.88. (дата обращения: 24.03.2020)
2. CompanyHaemonetics [Электронный ресурс] – <https://haemonetics.com/ru/products/devices/surgical-and-diagnostic-devices/teg-5000> (дата обращения: 24.03.2020)
3. Vitaomed[Электронный ресурс]– <http://vitaomed.com/tromboelastograf-analizator-gemost/> (дата обращения: 08.12.19)
4. Ярец Ю.И./ Тромбоэластография: основные показатели, интерпретация результатов/ Ю.И. Ярец – Гомель: ГУ «РНПЦ РМиЭЧ», 2018. – 26 с. (дата обращения: 26.03.2020)
5. Свертывание крови: методы исследования и механизмы регуляции/ М.А. Пантелеев, Ф.И. Атауллаханов, 2008-177 с. (дата обращения: 28.03.2020)
6. Безруков А.В. и др. Патент №2070371 РФ. Устройство для исследования времени свертывания крови; заявл. 25.12.96; опубл. 10.12.98. (дата обращения: 29.11.19)
7. Техническое описание и руководство по эксплуатации. www.mednord-t.ru
8. TomskPolytechnicUniversity [Электронный ресурс] <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/29773/1/TPU200584.pdf> (дата обращения:18.12.19)
9. Кудрявцев А.А., Кузнецов Н.Н. и др. Патент №2645081 РФ. Анализатор коагуляции – тромбоэластограф; опубл. 15.08.18, Бюл.№5 (дата обращения:29.11.19)

10. Vuzlit [Электронный ресурс] https://vuzlit.ru/2077531/induktsionnyy_datchik_ugla_transformatornogo_tipa_s_podvizhnym_yakorem (дата обращения: 29.03.20)

11. Мирина Т. В., Мирин Н. В. Функциональные электронные узлы измерительных и диагностических систем: учебное пособие / Т. В. Мирина, Н. В. Мирин; Уфимск. гос. авиац. техн. Ун-т. – Уфа, 2009, 2011. – 303 с.

12. Диагностика, лечение и профилактика тромбозов и тромбоэмболий / Под ред. Каирова Г.Т. – Томск 2011 – 130 с. (дата обращения: 18.12.19)

13. Гусев В.Г., Мулик А.В. Аналоговые измерительные устройства: Учебное пособие УГАТУ, Уфа, 1996. 147 с.

14. Правило оформления документации – СТО УГАТУ 016-2007, ГОСТ 2.105-95, ГОСТ 7.32-2001

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Технические характеристики операционного усилителя AD815

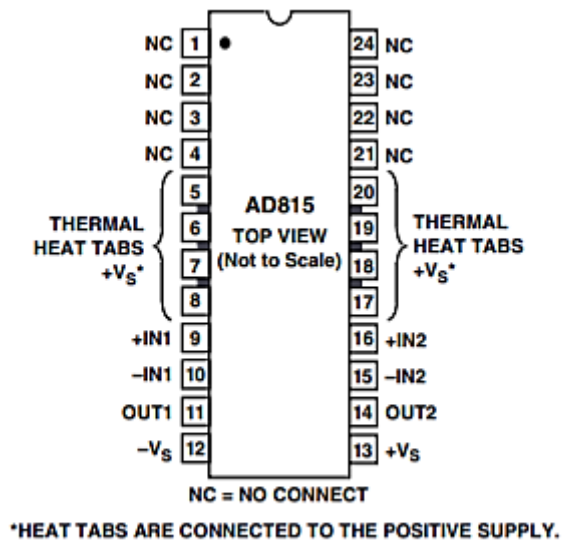


Рисунок А.1 – Цоколевка микросхемы AD815

Таблица А.2 – Технические характеристики AD815

Model	Conditions	V _S	AD815A			Units
			Min	Typ	Max	
DYNAMIC PERFORMANCE						
Small Signal Bandwidth (-3 dB)	G = +1	±15	100	120		MHz
	G = +1	±5	90	110		MHz
Bandwidth (0.1 dB)	G = +2	±15		40		MHz
	G = +2	±5		10		MHz
Differential Slew Rate	V _{OUT} = 20 V p-p, G = +2	±15	800	900		V/μs
Settling Time to 0.1%	10 V Step, G = +2	±15		70		ns
NOISE/HARMONIC PERFORMANCE						
Total Harmonic Distortion	f = 1 MHz, R _{LOAD} = 200 Ω, V _{OUT} = 40 V p-p	±15		-66		dBc
Input Voltage Noise	f = 10 kHz, G = +2 (Single Ended)	±5, ±15		1.85		nV/√Hz
Input Current Noise (+I _{IN})	f = 10 kHz, G = +2	±5, ±15		1.8		pA/√Hz
Input Current Noise (-I _{IN})	f = 10 kHz, G = +2	±5, ±15		19		pA/√Hz
Differential Gain Error	NTSC, G = +2, R _{LOAD} = 25 Ω	±15		0.05		%
Differential Phase Error	NTSC, G = +2, R _{LOAD} = 25 Ω	±15		0.45		Degrees
DC PERFORMANCE						
Input Offset Voltage		±5		5	8	mV
		±15		10	15	mV
	T _{MIN} - T _{MAX}				30	mV
Input Offset Voltage Drift				20		μV/°C
Differential Offset Voltage		±5		0.5	2	mV
		±15		0.5	4	mV
	T _{MIN} - T _{MAX}				5	mV
Differential Offset Voltage Drift				10		μV/°C
-Input Bias Current		±5, ±15		10	90	μA
	T _{MIN} - T _{MAX}				150	μA
+Input Bias Current		±5, ±15		2	5	μA
	T _{MIN} - T _{MAX}				5	μA
Differential Input Bias Current		±5, ±15		10	75	μA
	T _{MIN} - T _{MAX}				100	μA
Open-Loop Transresistance		±5, ±15	1.0	5.0		MΩ
	T _{MIN} - T _{MAX}		0.5			MΩ
INPUT CHARACTERISTICS						
Differential Input Resistance	+Input	±15		7		MΩ
	-Input			15		Ω
Differential Input Capacitance		±15		1.4		pF
Input Common-Mode Voltage Range		±15		13.5		±V
		±5		3.5		±V
Common-Mode Rejection Ratio	T _{MIN} - T _{MAX}	±5, ±15	57	65		dB
Differential Common-Mode Rejection Ratio	T _{MIN} - T _{MAX}	±5, ±15	80	100		dB
OUTPUT CHARACTERISTICS						
Voltage Swing	Single Ended, R _{LOAD} = 25 Ω	±15	11.0	11.7		±V
		±5	1.1	1.8		±V
	Differential, R _{LOAD} = 50 Ω	±15	21	23		±V
	T _{MIN} - T _{MAX}	±15	22.5	24.5		±V
Output Current ¹						
RB-24	R _{LOAD} = 10 Ω	±15	400	500		mA
Short Circuit Current		±15		1.0		A
Output Resistance		±15		13		Ω
MATCHING CHARACTERISTICS						
Crosstalk	f = 1 MHz	±15		-65		dB
POWER SUPPLY						
Operating Range ²	T _{MIN} - T _{MAX}			±18		V
Quiescent Current		±5		23	30	mA
		±15		30	40	mA
	T _{MIN} - T _{MAX}	±5		40		mA
		±15		40		mA
		±15		55		mA
Power Supply Rejection Ratio	T _{MIN} - T _{MAX}	±5, ±15	-55	-66		dB

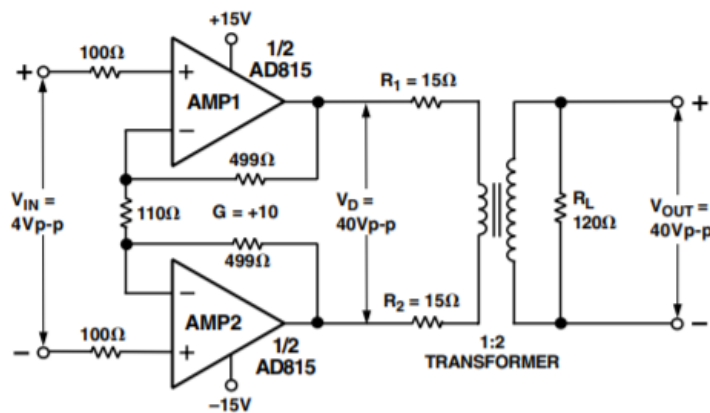


Рисунок А.2 – Схема включения AD815

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Технические характеристики трансформатора LN-NP-1002

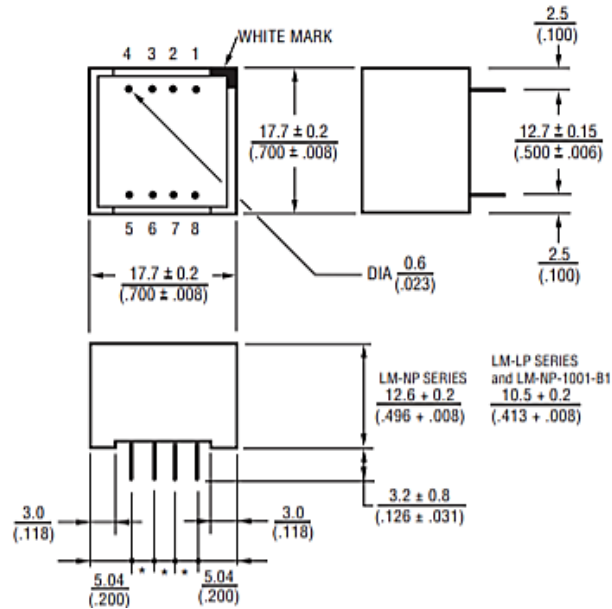


Рисунок Б.1 – Внешний вид и габаритные размеры LN-NP-1002

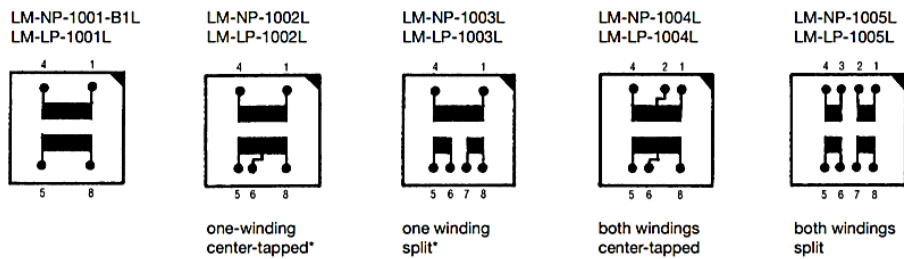


Рисунок Б.2 – Назначение выводов и конфигурация обмоток

Таблица Б.1 – Технические характеристики Ln-np-1002

Parameters	Unit	LM-NP 1001-B1L	LM-NP 1002L	LM-NP 1003L	LM-NP 1004L	LM-NP 1005L	LM-LP 1001L	LM-LP 1002L	LM-LP 1003L	LM-LP 1004L	LM-LP 1005L	
Ref. Temperature Data	°C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Impedance (min./at 1.0 kHz)	Primary	Ω	600	600	600	600 (150, 150)	600 (150+150)	600	600	600	600 (150, 150)	600 (150+150)
	Secondary	Ω	600	600 (150,150)	600 (150+150)	600 (150,150)	600 (150+150)	600	600 (150,150)	600 (150+150)	600 (150,150)	600 (150+150)
Inductance (min./at 0.2 kHz)	Primary	H	2.8	2.8	2.8	2.8 (0.7, 0.7)	2.8 (0.7+0.7)	2.8	2.8	2.8	2.8 (0.7, 0.7)	2.8 (0.7+0.7)
	Secondary	H	2.8	2.8 (0.7, 0.7)	2.8 (0.7+0.7)	2.8 (0.7, 0.7)	2.8 (0.7+0.7)	2.8	2.8 (0.7, 0.7)	2.8 (0.7+0.7)	2.8 (0.7, 0.7)	2.8 (0.7+0.7)
DC-Resistance (typical/±10 %)	Primary	Ω	66	66	66	66 (33,33)	66 (33+33)	90	90	90	90 (45,45)	90 (45+45)
	Secondary	Ω	66	66 (33,33)	66 (33+33)	66 (33,33)	66 (33+33)	90	90 (45,45)	90 (45+45)	90 (45,45)	90 (45+45)
Turns Ratio (± 2 %)	—	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	
Winding Configurations	—	—	one winding center tapped	one winding split	both windings center tapped	both windings split	—	one winding center tapped	one winding split	both windings center tapped	both windings split	
Insertion Loss (at 2.0 kHz)	dB	≤ 1.5					≤ 2.0					
Return Loss Transformer (0.2 - 4.0 kHz) In Networks	dB	≥ 10.0					≥ 8.0					
		≥ 21.0					≥ 20.0					
Shunt Loss (typical)	kΩ	9.0					9.0					
Frequency Response (typ./0.2 - 3.5 kHz)	dB	- 0.3					- 0.5					
Wide Band Response (0.2 - 10.0 kHz)	dB	-2.5					-4.5					
Power Level	dBm	- 45.0 to + 3.0					- 43.0 to + 3.0					
Longitudinal Balance (0.3 - 4.0 kHz)	dB	-80.0					- 70.0					
Distortion (0 dB/at 1.0 kHz)	%	≤ 0.1					≤ 0.25					
Leakage Induction (typical)	mH	14.0					14.0					
Dielectric Strength (P/S)	kVDC	6.5					6.5					
Temperature Range	Operation	°C -10 to +60					°C -10 to +60					
	Storage	°C -20 to +70					°C -20 to +70					
Specifications Met	BS 6204: Construction and flammability (UL 94V0) BS 6301: Isolation BS 6305: Return loss (1982/paragraph 4.3.2.2/b)					CCITT: Rec. T/CD 1-1 (Sept. 1982)						

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Технические характеристики диодного моста DB102S

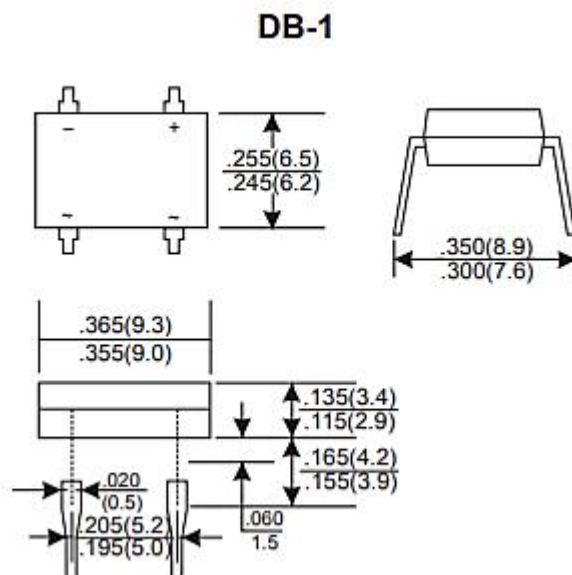
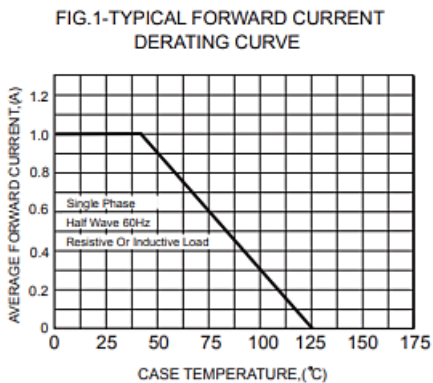


Рисунок В.1 – Внешний вид и габаритные размеры DB102S

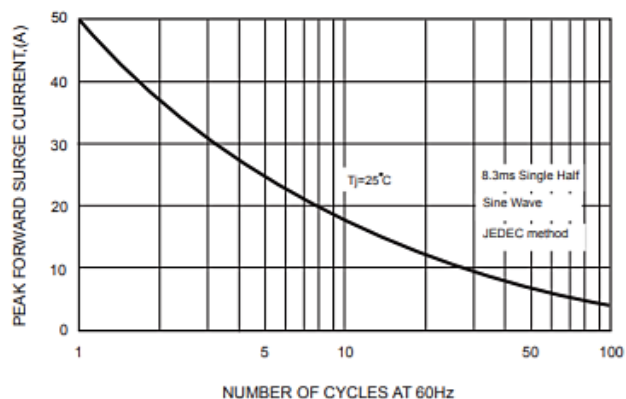
Таблица В.1 – Электрические характеристики DB102S

TYPE NUMBER	DB101	DB102	DB103	DB104	DB105	DB106	DB107	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current .375"(9.5mm) Lead Length at Ta=40°C	1.0							A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	50							A
Maximum Forward Voltage Drop per Bridge Element at 1.0A D.C.	1.1							V
Maximum DC Reverse Current Ta=25°C	10							μA
at Rated DC Blocking Voltage Ta=125°C	500							μA
Operating Temperature Range, Tj	-65 — +125							°C
Storage Temperature Range, Tstg	-65 — +150							°C

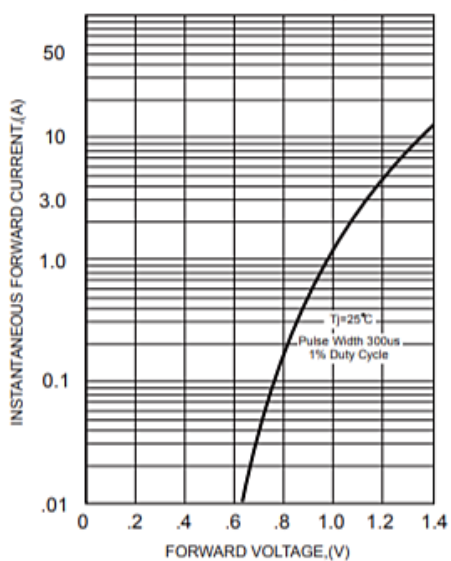
а)



б)



в)



г)

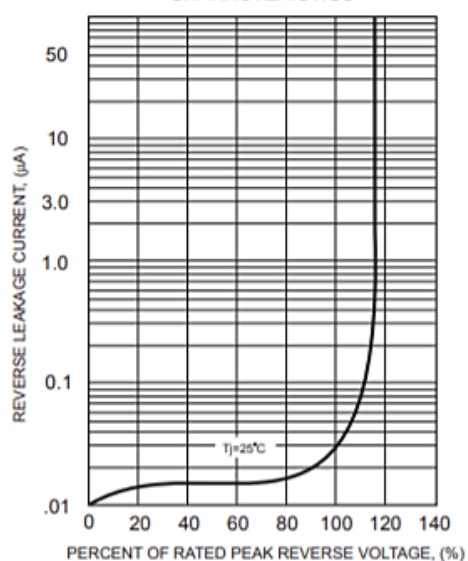


Рисунок В.2 – График зависимости – а) прямого тока от температуры, б) мгновенное значение прямого тока от количества циклов при 60Гц, в) мгновенное значение тока от напряжения, г) обратный ток утечки от номинального мгновенного обратного напряжения

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

Технические характеристики генератора синусоидальных колебаний AD9833

AD9833 – это малопотребляющий, программируемый генератор колебаний, способный формировать синусоидальные, треугольные и прямоугольные выходные колебания. Генерация колебаний заданной формы требуется в различных задачах измерения, возбуждения приводов и рефлектометрии (определения коэффициента отражения). Частота и фаза выходного колебания управляются программно, что упрощает настройку генератора. Для работы генератора не требуется применение внешних компонентов. Регистры частоты имеют разрядность 28 бит; при частоте тактового сигнала 25 МГц может быть достигнуто разрешение настройки по частоте 0.1 Гц. При частоте тактового сигнала 1 МГц разрешение настройки AD9833 составляет 0.004 Гц.

Программирование AD9833 осуществляется через трехпроводной последовательный интерфейс, который работает с частотой тактового сигнала до 40 МГц и совместим со стандартными портами цифровых сигнальных процессоров и микроконтроллеров. Компонент работает с напряжением питания в диапазоне от 2.3 В до 5.5 В.

AD9833 имеет функцию пониженного энергопотребления (SLEEP), которая позволяет отключать питание отдельных частей компонента, не используемых в отдельно взятый момент времени, для минимизации потребляемого тока. Так, например, при формировании тактового сигнала можно отключить питание ЦАП.

- Цифровое программирование частоты и фазы
- Потребляемая мощность 12.65 мВт при напряжении 3 В
- Диапазон выходных частот от 0 МГц до 12.5 МГц
- Разрешение 28 бит (0.1 Гц при частоте опорного сигнала 25 МГц)
- Синусоидальные, треугольные и прямоугольные выходные колебания
- Напряжение питания от 2.3 В до 5.5 В
- Не требует применения внешних компонентов
- Трехпроводной интерфейс SPI
- Расширенный температурный диапазон: от -40°C до $+105^{\circ}\text{C}$
- Опция пониженного энергопотребления
- 10-выводный корпус MSOP
- Сертифицирован для применения в автомобильной промышленности.

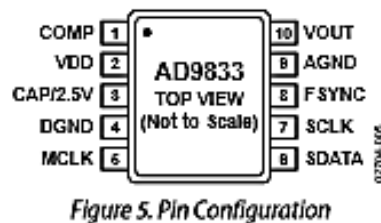


Рисунок Г.1 – Цоколевка микросхемы AD9833

Таблица Г.1 – Распиновка и описание выводов микросхемы

Pin No.	Mnemonic	Description
1	COMP	DAC Bias Pin. This pin is used for decoupling the DAC bias voltage.
2	VDD	Positive Power Supply for the Analog and Digital Interface Sections. The on-board 2.5 V regulator is also supplied from VDD. VDD can have a value from 2.3 V to 5.5 V. A 0.1 μ F and a 10 μ F decoupling capacitor should be connected between VDD and AGND.
3	CAP/2.5V	The digital circuitry operates from a 2.5 V power supply. This 2.5 V is generated from VDD using an on-board regulator when VDD exceeds 2.7 V. The regulator requires a decoupling capacitor of 100 nF typical, which is connected from CAP/2.5V to DGND. If VDD is less than or equal to 2.7 V, CAP/2.5V should be tied directly to VDD.
4	DGND	Digital Ground.
5	MCLK	Digital Clock Input. DDS output frequencies are expressed as a binary fraction of the frequency of MCLK. This clock determines the output frequency accuracy and phase noise.
6	SDATA	Serial Data Input. The 16-bit serial data-word is applied to this input.
7	SCLK	Serial Clock Input. Data is clocked into the AD9833 on each falling edge of SCLK.
8	FSYNC	Active Low Control Input. FSYNC is the frame synchronization signal for the input data. When FSYNC is taken low, the internal logic is informed that a new word is being loaded into the device.
9	AGND	Analog Ground.
10	VOUT	Voltage Output. The analog and digital output from the AD9833 is available at this pin. An external load resistor is not required because the device has a 200 Ω resistor on-board.

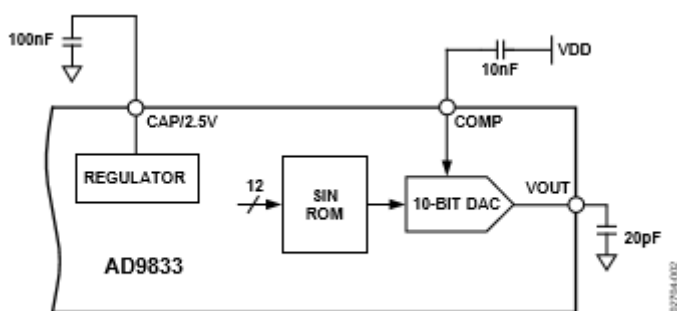


Figure 2. Test Circuit Used to Test Specifications

Рисунок Г.2 – Схема, используемая для проверки технических характеристик

Таблица Г.2 – Технические параметры

Parameter	Rating
VDD to AGND	-0.3 V to +6 V
VDD to DGND	-0.3 V to +6 V
AGND to DGND	-0.3 V to +0.3 V
CAP/2.5V	2.75 V
Digital I/O Voltage to DGND	-0.3 V to VDD + 0.3 V
Analog I/O Voltage to AGND	-0.3 V to VDD + 0.3 V
Operating Temperature Range	
Industrial (B Version)	-40°C to +105°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Maximum Junction Temperature	150°C
MSOP Package	
θ_{JA} Thermal Impedance	206°C/W
θ_{JC} Thermal Impedance	44°C/W
Lead Temperature, Soldering (10 sec)	300°C
IR Reflow, Peak Temperature	220°C

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

Технические характеристики дифференциального усилителя SSM2141

Таблица Д.1. – Технические характеристики SSM2141

Parameter	Symbol	Conditions	SSM2141			Units
			Min	Typ	Max	
OFFSET VOLTAGE	V_{OS}	$V_{CM} = 0\text{ V}$	-1000	25	1000	μV
GAIN ERROR		No Load, $V_{IN} = \pm 10\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$		0.001	0.01	%
INPUT VOLTAGE RANGE	IVR	(Note 1)	± 10			V
COMMON-MODE REJECTION	CMR	$V_{CM} = \pm 10\text{ V}$	80	100		dB
POWER SUPPLY REJECTION RATIO	PSRR	$V_S = \pm 6\text{ V to } \pm 18\text{ V}$		0.7	15	$\mu\text{V/V}$
OUTPUT SWING	V_O	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	± 13	± 14.7		V
SHORT-CIRCUIT CURRENT LIMIT	I_{SC}	Output Shorted to Ground	+45/-15			mA
SMALL-SIGNAL BANDWIDTH (-3 dB)	BW	$R_L = 2\text{ k}\Omega$		3		MHz
SLEW RATE	SR	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	6	9.5		V/ μs
TOTAL HARMONIC DISTORTION	THD	$R_L = 100\text{ k}\Omega$		0.001		%
		$R_L = 600\ \Omega$			0.01	
CAPACITIVE LOAD DRIVE CAPABILITY	C_L	No Oscillation		300		pF
SUPPLY CURRENT	I_{SY}	No Load		2.5	3.5	mA

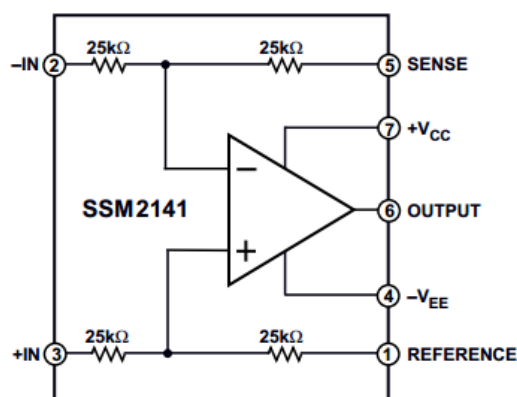


Рисунок Д.1. – Схема включения SSM2141

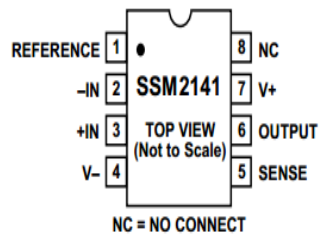


Рисунок Д.2. – Цоколевка микросхемы SSM2141

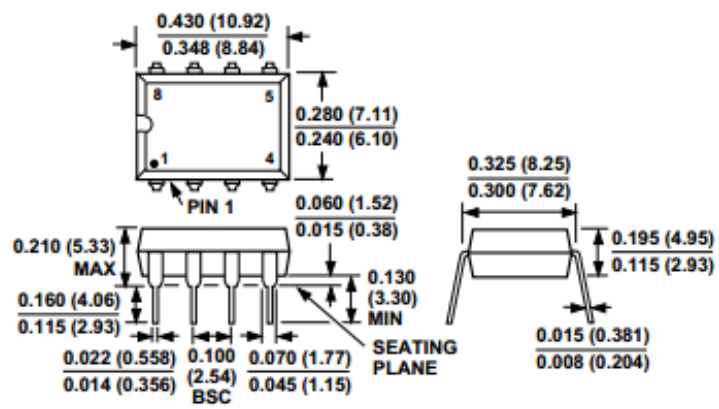


Рисунок Д.3. – Габаритные размеры микросхемы SSM2141

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(справочное)

Технические характеристики микроконтроллера ATmega328p

Память:

- 32 кВ Flash (память программ, имеющая возможность самопрограммирования);

- 2 кВ ОЗУ

- 1 кВ EEPROM (постоянная память данных)

Периферийные устройства:

- Два 8-битных таймера/счетчика с модулем сравнения и делителями частоты

- 16-битный таймер/счетчик с модулем сравнения и делителем частоты, а также с режимом записи

- Счетчик реального времени с отдельным генератором

- Шесть каналов PWM (аналог ЦАП)

- 6-канальный ЦАП со встроенным датчиком температуры

- Цифровые входы – 14 (из них 6 могут использоваться в качестве

ШИМ-выходов)

- Аналоговые входы – 6

- Максимальный ток одного вывода – 40мА

- Максимальный выходной ток вывода – 50мА

- Тактовая частота 16МГц

- Программируемый последовательный порт USART

- Последовательный интерфейс SPI

- Интерфейс I2C

- Внутренняя схема сравнения напряжений

- Блок обработки прерываний и пробуждения при изменении напряжений на выводах микроконтроллера

Специальные функции микроконтроллера:

- Сброс при включении питания и программное распознавание снижения напряжения питания

- Внутренний калибруемый генератор тактовых импульсов

- Обработка внутренних и внешних прерываний

- 6 режимов сна (пониженное энергопотребление и снижение шумов для более точного преобразования АЦП)

Напряжения питания и скорость процессора:

- Рабочее напряжение 5В

- Напряжение питания(рекомендуемое) 7 – 12 В

- Напряжение питания (отдельное) 6 – 20 В

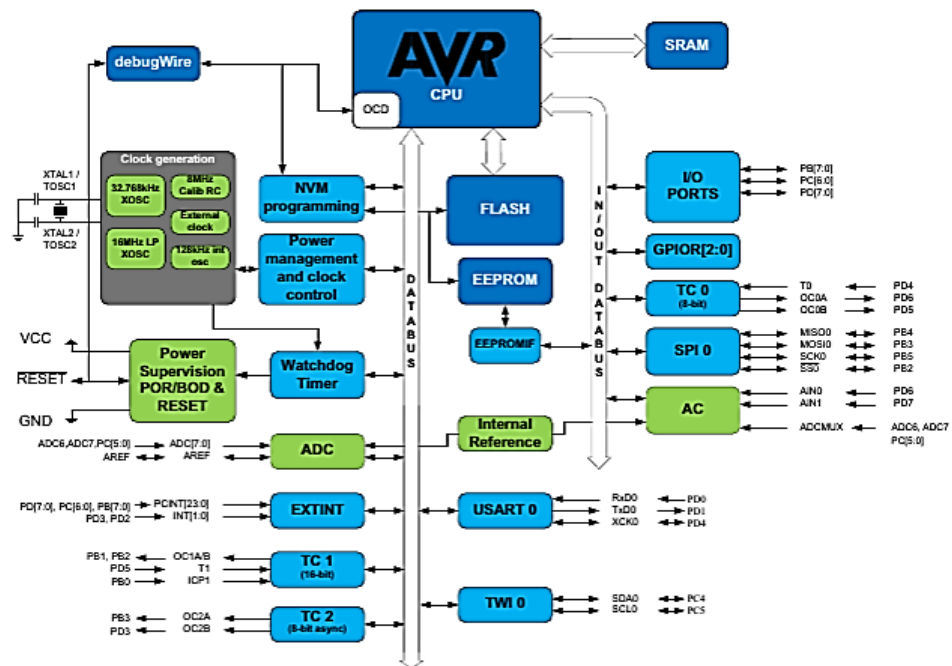


Рисунок Е.1. – Блок схема АТмега328р

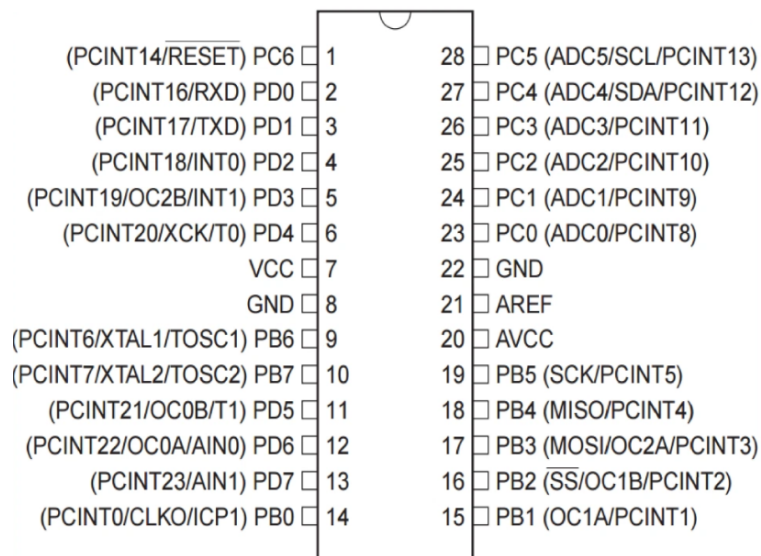
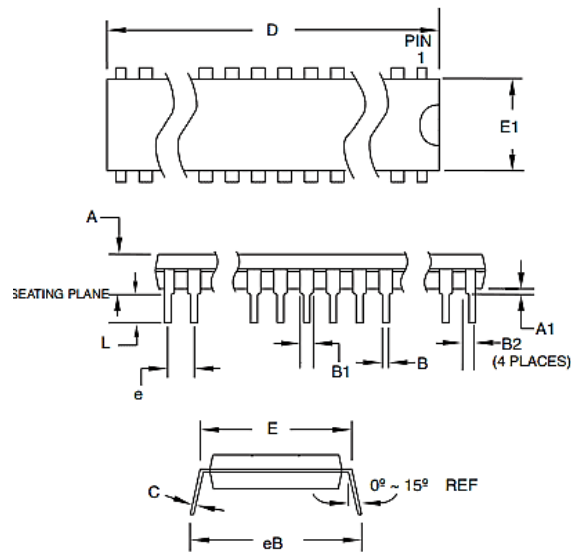


Рисунок Е.2. – Цоколевка АТмега328р



COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	-	-	4.5724	
A1	0.508	-	-	
D	34.544	-	34.798	Note 1
E	7.620	-	8.255	
E1	7.112	-	7.493	Note 1
B	0.381	-	0.533	
B1	1.143	-	1.397	
B2	0.762	-	1.143	
L	3.175	-	3.429	
C	0.203	-	0.356	
eB	-	-	10.160	
e	2.540 TYP			

Рисунок Е.3. – Габаритные размеры АТmega328р

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(справочное)

Технические характеристики дисплея LCD1602A

Таблица Ж.1. – Технические параметры LCD1602A

Напряжение питания	5В
Размер дисплея	2,6 дюйма
Тип дисплея	2 строки по 16 символов
Цвет подсветки	Синий
Цвет символов	Белый
Габаритные размеры	80мм x 35мм x 11мм

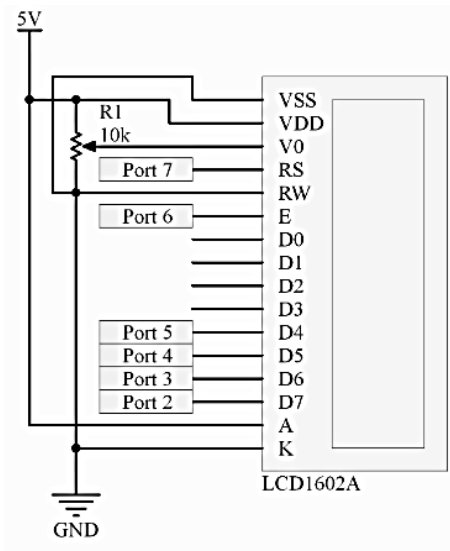


Рисунок Ж.1. – Схема включения LCD1602A

Таблица Ж.2. – Назначение контактов LCD 1602A

VCC	«-» питание модуля
VDD	«+» питание модуля
VO	Вывод управления контрастом
RS	Вывод регистра
RW	Вывод режима записи или чтения (при подключении к земле, устанавливается режим записи)
E	Строб по спаду
DB0 – DB7	Биты интерфейса
A	«+» питание подсветки
K	«-» питание подсветки

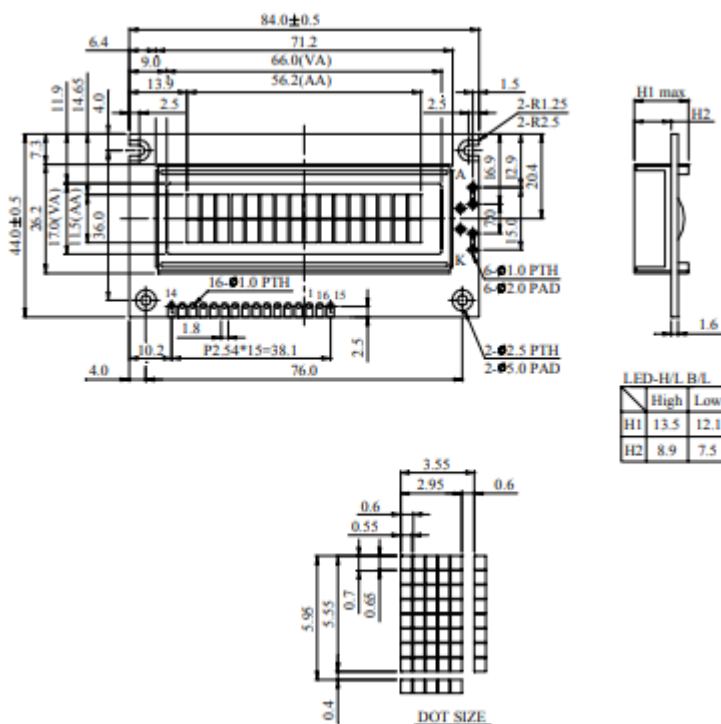


Рисунок Ж.2. – Габаритные размеры LCD1602A

ПРИЛОЖЕНИЕ И

(справочное)

Технические характеристики программатора USBasp v2.0

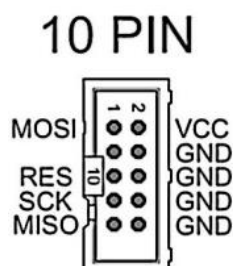


Рисунок И.1. – Цоколевка USBasp v2.0

- | | |
|--------------------|--|
| 1 - MOSI | (Выход данных для последовательного программирования) |
| 2 - VCC +5V | (Выход +5В, для питания внешнего устройства от шины USB, max=*200mA !!!) |
| 3 - NC | (Не используется) |
| 4 - GROUND | (Общий или минус питания) |
| 5 - RESET | (Подключается к выводу RESET микроконтроллера) |
| 6 - GROUND | (Общий или минус питания) |
| 7 - SCK | (Выход тактирования данных) |
| 8 - GROUND | (Общий или минус питания) |
| 9 - MISO | (Вход данных для последовательного программирования) |
| 10 - GROUND | (Общий или минус питания) |

**Слишком высокий ток потребления может вывести из строя USB порт компьютера.
Не превышайте допустимый предел (200mA)!!!*

Рисунок И.2. – Назначение контактов USBasp v2.0

ПРИЛОЖЕНИЕ К

(справочное)

Технические характеристики трансформатора ТА-55-127/220-50 ШЛ20х20

- Сердечник: ШЛ20х20
- Мощность: 40 Вт
- Ток первичной обмотки: 0,4/0,22 А
- Масса: 1,2 кг

Таблица К.1. – Электрические параметры трансформатора

Выводы обмоток	Напряжение, В	Допустимый ток, А
11-12	28	0,35
13-14	28	0,35
15-16	28	0,29
17-18	28	0,29
19-20	6	0,35
21-22	6	0,35

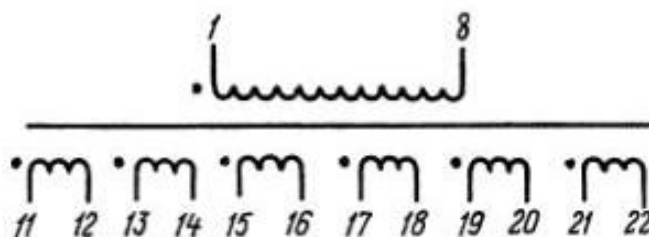


Рисунок К.1. – Электрическая принципиальная схема анодного трансформатора

ТА – 55 – 127/220 – 50

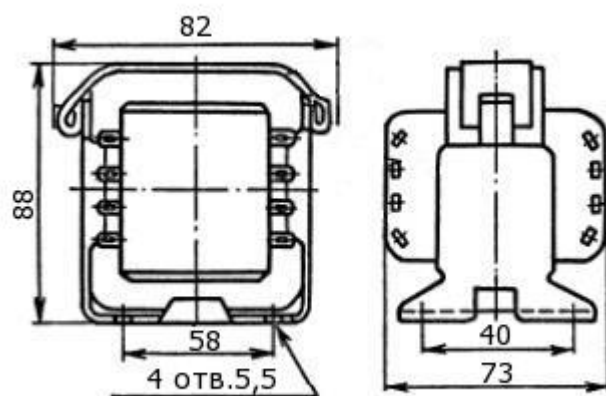
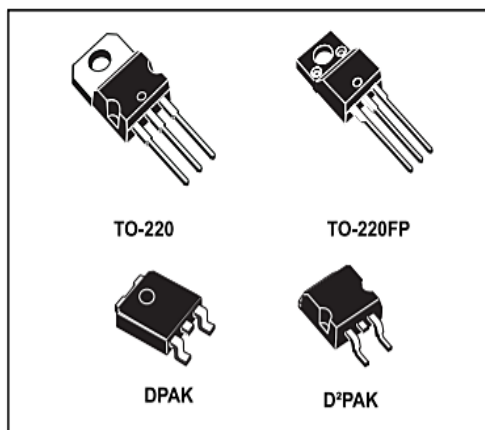


Рисунок К.2. – Габаритные размеры трансформатора

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

(справочное)

Технические характеристики линейного преобразователя L7805CV



Description

The L78 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, D²PAK and DPAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications.

These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type embeds internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1 A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

Features

- Output current up to 1.5 A
- Output voltages of 5; 6; 8; 8.5; 9; 12; 15; 18; 24 V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection
- 2 % output voltage tolerance (A version)
- Guaranteed in extended temperature range (A version)

Рисунок Л.1 – Цоколевка микросхемы

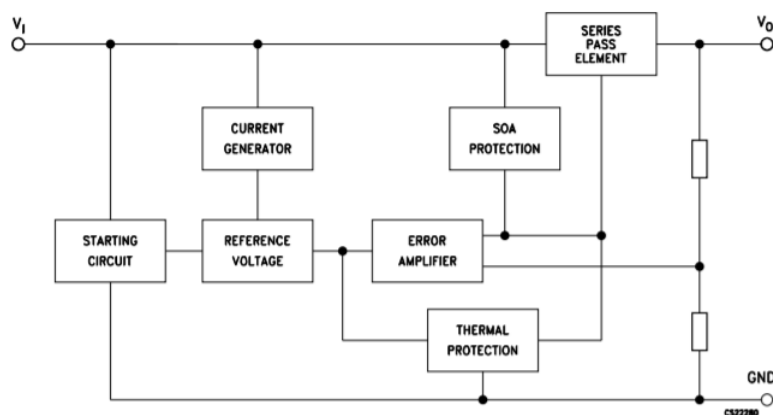


Рисунок Л.2 – Структурная схема L7805CV

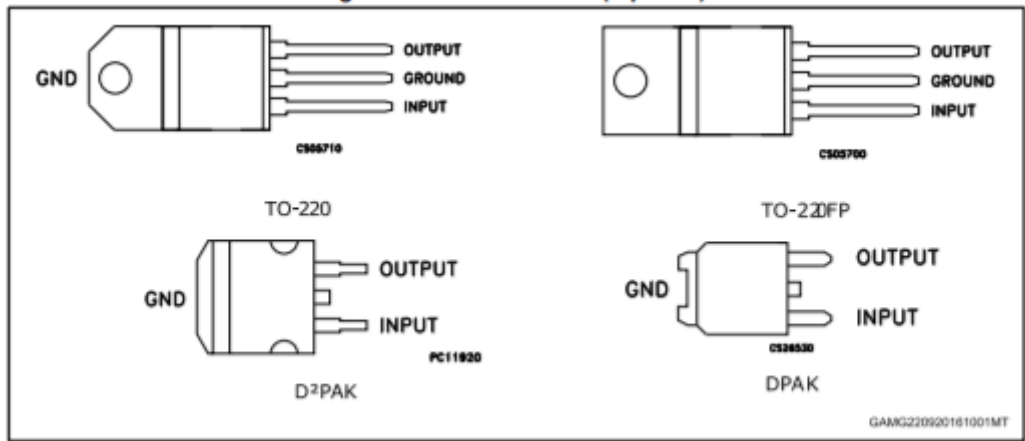


Рисунок Л.3 – Распиновка L7805CV

Таблица Л.1 – Максимальные номиналы

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V_i	DC input voltage	for $V_o = 5$ to 18 V	35	V
		for $V_o = 20, 24$ V	40	
I_o	Output current	Internally limited		
P_D	Power dissipation	Internally limited		
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to 150	°C	
T_{OP}	Operating junction temperature range	for L78xxC, L78xxAC	0 to 125	°C
		for L78xxAB	-40 to 125	

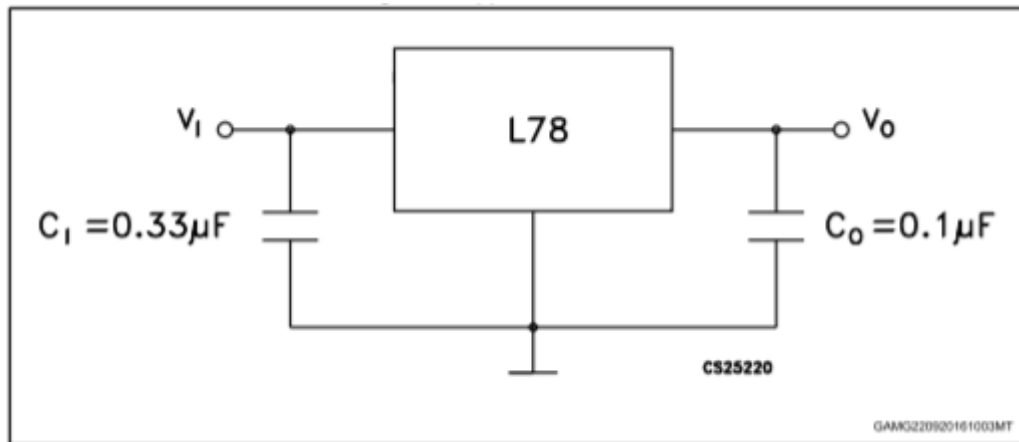


Рисунок Л.4. – Внешний вид L7805CV

ПРИЛОЖЕНИЕ М

(справочное)

Технические характеристики стабилизатора AMS1117 – 3.3

FEATURES

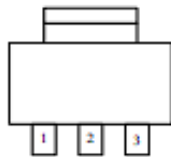
- Three Terminal Adjustable or Fixed Voltages*
1.5V, 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V and 5.0V
- Output Current of 1A
- Operates Down to 1V Dropout
- Line Regulation: 0.2% Max.
- Load Regulation: 0.4% Max.
- SOT-223, TO-252 and SO-8 package available

APPLICATIONS

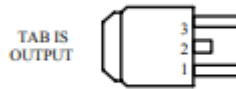
- High Efficiency Linear Regulators
- Post Regulators for Switching Supplies
- 5V to 3.3V Linear Regulator
- Battery Chargers
- Active SCSI Terminators
- Power Management for Notebook
- Battery Powered Instrumentation

Рисунок М.1. – Характеристика AMS1117 – 3.3

SOT-223 Top View



TO-252 FRONT VIEW



- 1- Ground/Adjust
- 2- V_{OUT}
- 3- V_{IN}

Рисунок М.2. – Вывода AMS1117 – 3.3

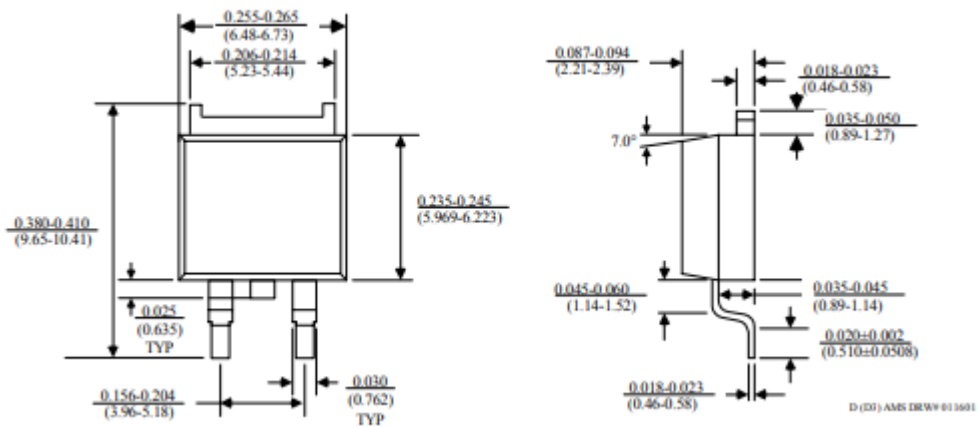


Рисунок М.3. – Габаритные размеры AMS1117 – 3.3

Таблица М.1 – Электрические характеристики AMS1117 – 3.3

Parameter	Device	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Reference Voltage (Note 2)	AMS1117	$I_{OUT} = 10 \text{ mA}$ $10 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}, 1.5 \text{ V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 12 \text{ V}$	1.238	1.250	1.262	V
			1.225	1.250	1.270	V
Output Voltage (Note 2)	AMS1117-1.5	$0 \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}, 3.0 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	1.485 1.476	1.500 1.500	1.515 1.524	V V
	AMS1117-1.8	$0 \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}, 3.3 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	1.782 1.773	1.800 1.800	1.818 1.827	V V
	AMS1117-2.5	$0 \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}, 4.0 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	2.475 2.460	2.500 2.500	2.525 2.560	V V
	AMS1117-2.85	$0 \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}, 4.35 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	2.82 2.79	2.850 2.850	2.88 2.91	V V
	AMS1117-3.3	$0 \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}, 4.75 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	3.267 3.235	3.300 3.300	3.333 3.365	V V
	AMS1117-5.0	$0 \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}, 6.5 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	4.950 4.900	5.000 5.000	5.050 5.100	V V
Line Regulation	AMS1117	$I_{LOAD} = 10 \text{ mA}, 1.5 \text{ V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 12 \text{ V}$		0.015 0.035	0.2 0.2	% %
	AMS1117-1.5	$3.0 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.3 0.6	5 6	mV mV
	AMS1117-1.8	$3.3 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.3 0.6	5 6	mV mV
	AMS1117-2.5	$4.0 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.3 0.6	6 6	mV mV
	AMS1117-2.85	$4.35 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.3 0.6	6 6	mV mV
	AMS1117-3.3	$4.75 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.5 1.0	10 10	mV mV
	AMS1117-5.0	$6.5 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.5 1.0	10 10	mV mV
Load Regulation (Notes 2, 3)	AMS1117	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 3 \text{ V}, 10 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}$		0.1 0.2	0.3 0.4	% %
	AMS1117-1.5	$V_{IN} = 5 \text{ V}, 0 \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}$		3 6	10 20	mV mV
	AMS1117-1.8	$V_{IN} = 5 \text{ V}, 0 \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}$		3 6	10 20	mV mV
	AMS1117-2.5	$V_{IN} = 5 \text{ V}, 0 \leq I_{OUT} \leq 1 \text{ A}$		3 6	12 20	mV mV

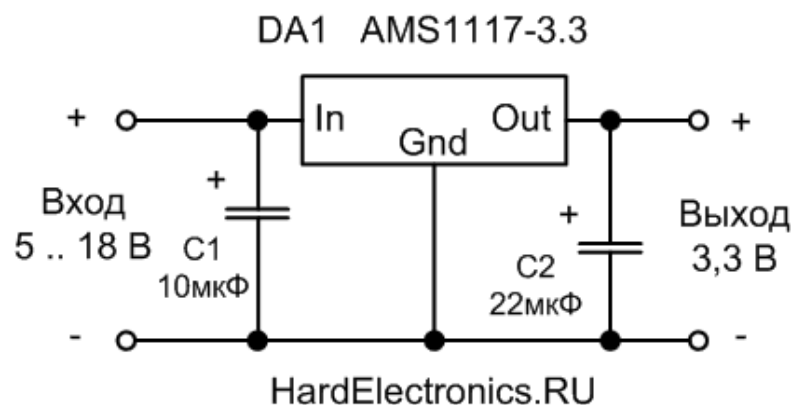


Рисунок М.4. – Схема включения AMS1117 – 3.3

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

(справочное)

Технические характеристики стабилизатора КН1157ЕН15А

Таблица Н.1. – технические параметры стабилизатора

Полярность	Положительная
Тип выхода	Фиксированный
Количество выходов	1
Выходное напряжение, В	15
Максимальный ток нагрузки, А	0,1
Максимальное входное напряжение, В	35
Рабочая температура	-10...+70
Корпус	КТ – 26
Вес, г	1

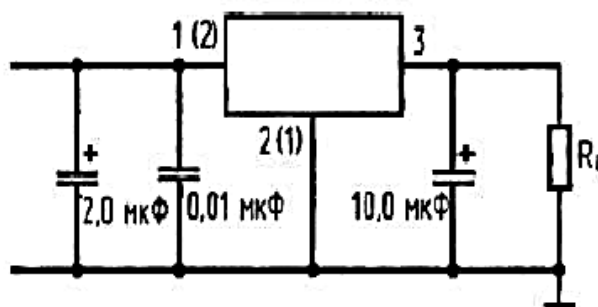


Рисунок Н 1. – Схема включения стабилизатора

ПРИЛОЖЕНИЕ П

(справочное)

Технические характеристики стабилизатора КН1168ЕН15А

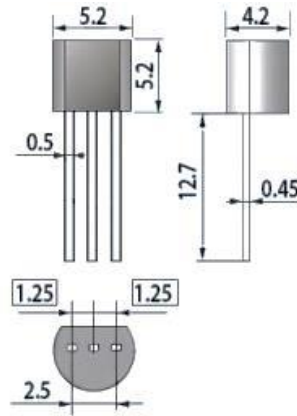


Рисунок П.1 – Габаритные размеры КН1168ЕН15А

Микросхемы КР1168ЕН15А представляют собой стабилизатор напряжения с фиксированным отрицательным выходным напряжением -15В. Имеют защиту от перегрузок, перенапряжений и перегрева. Корпус типа КТ-26, масса не более 1 г.

Таблица П.1 Основные технические параметры микросхемы КР1168ЕН15А:

Выходное напряжение	-15 ±0,3 В
Выходной ток	0,1 А
Входное напряжение	30 В
Диапазон рабочих температур	-10...+70°C

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

(справочное)

Технические характеристики предохранителя ПР – 2

Процесс гашения дуги в плавком предохранителе ПР-2 происходит следующим образом. При отключении сгорают суженные перешейки плавкой вставки, после чего возникает дуга. Под действием высокой температуры дуги фибровые стенки патрона выделяют газ, в результате чего давление в патроне за доли полупериода поднимается до 4—8 МПа. За счет увеличения давления поднимается вольт-амперная характеристика дуги, что способствует ее быстрому гашению.

Плавкая вставка предохранителя ПР-2 может иметь от одного до четырех сужений в зависимости от номинального напряжения. Суженные участки вставки способствуют быстрому ее плавлению при коротком замыкании и создают эффект токоограничения.

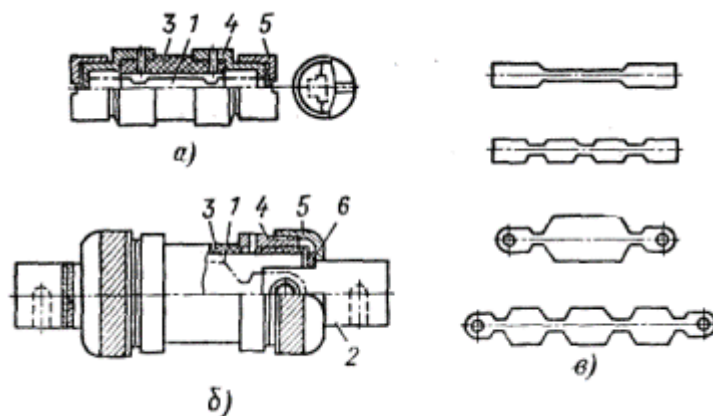


Рисунок Р.1. – Предохранитель ПР-2

Поскольку гашение дуги в плавком предохранителе ПР-2 происходит очень быстро (0,002 с), можно считать, что уширенные части вставки в процессе гашения остаются неподвижными.

ПРИЛОЖЕНИЕ С

(справочное)

Технические характеристики разъема Micro-Match-5

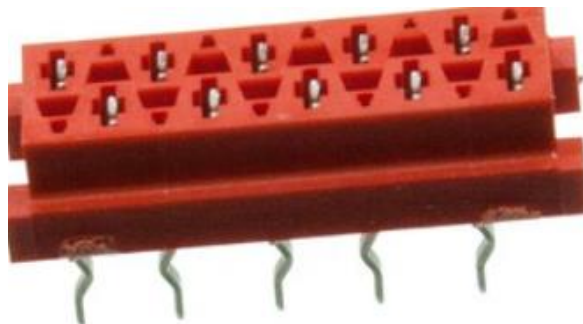


Рисунок С.1 – Внешний вид разъема

Технические параметры

Функциональное назначение: розетка

Серия: Micro-Match

Способ монтажа: пайка на плату

Форма контактов: прямые

Шаг контактов, мм: 1.27

Количество контактов: 5

Материал изолятора: полиэстер

Сопротивление изолятора не менее, Мом: 1000

Материал контактов: фосфористая бронза

Покрытие контактов: луженые

Сопротивление контактов не более, Ом: 10

Предельный ток, А: 1.4

Предельное напряжение не менее, В: 230

Рабочая температура, °С: -40...105