

3 Анализ исходных данных и основные технологические требования к разрабатываемой конструкции.

3.1 Анализ электрической схемы

В связи с развитием микроэлектронной техники цифровое измерительное управляющее устройство измерительного прибора создают на основе однокристальных микропроцессоров.

Основа прибора — экономичный микроконтроллер PIC16F873A. В его состав входят аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и делитель частоты с верхней рабочей частотой около 50 МГц.

Следует отметить, что погрешность возрастает при измерении конденсаторов емкостью менее 1 пФ.

Описание схемы прибора:

- Переменный резистор R33 и кнопки SB1—SB4 выполняют функции органов управления. При перемещении движка резистора R33 из нижнего по схеме положения в верхнее режимы работы меняются в следующей последовательности: "Калибровка", "L/C", "F1", "F2" и "U". Другие режимы выбирают нажатием на кнопки SB1, SB3, SB4. В зависимости от установленных режимов открываются ключи на транзисторных сборках VT2, VT5, подавая напряжение питания на тот или иной узел.

В качестве индикатора использован символьный ЖКИ модуль SL1602В с двумя строками по 16 символов. В первой строке отображается режим работы, а во второй — значение измеряемого параметра.

Для измерения частоты до 500 МГц сигнал подают на гнездо XW1.

При этом на частотах более 50 МГц использованы делители, входящие в состав сдвоенного синтезатора частоты LMX1600TM (DD1). Его работой управляет микроконтроллер DD3. Микросхема DD2 выполняет функции мультиплексора.

Сигнал, поступающий на гнездо XW1, усиливается каскадом на транзисторе VT1. В режиме "F1" сигнал дополнительно усиливается каскадом на транзисторе VT4 и через логические элементы DD2.2, DD2.4 и резистор R32 поступает на вход делителя частоты микроконтроллера DD3. Нажатием на кнопки SB3, SB4 переключают время измерения. В режиме "F2" сигнал с выхода усилительного каскада на транзисторе VT1 поступает на вход делителя частоты синтезатора DD1, а после деления на 24 сигнал с выхода (вывод 1 DD1) через логические элементы DD2.3, DD2.4 и резистор R32 также поступает на вход делителя частоты микроконтроллера DD3.

В режиме "F3" измеряемый сигнал подают на высокочастотное гнездо XW2, через разделительный конденсатор C4, защитные диоды VD3, VD4 и конденсатор

C14 сигнал поступает на вход второго делителя частоты синтезатора DD1. После деления на 96 выходной сигнал проходит через элементы DD2.3, DD2.4 и резистор R32 на вход делителя частоты микроконтроллера DD3. В режиме "F2" при однократном нажатии на кнопку SB3 прибор перейдет в режим "F3". При еще одном нажатии на кнопку SB3 прибор перейдет в режим проверки кварцевых резонаторов "ZQ_x", их подключают к разъему XS2.

Для измерения емкости конденсаторов до 0,1 мкФ и индуктивности катушек использован генератор на компараторе DA1 (LM311D). Измеряемый элемент подключают к гнезду XS1. Нормированными частотоподающими элементами генератора являются катушка индуктивности L1, конденсатор C6, а также коммутируемый реле эталонный конденсатор C1. В зависимости от режима работы катушка индуктивности L1 подключается к гнезду XS1 последовательно или параллельно. Сигнал с выхода генератора поступает на вход микроконтроллера, где измеряется его частота и вычисляется значение измеряемого параметра.

В данном приборе возможна корректировка значений параметров нормированных частотоподающих элементов. В режиме "Калибровка" определяется паразитная емкость кнопки SB1, гнезда XS1 и сохраняется в энергонезависимой памяти микроконтроллера DD3 для использования в дальнейших расчетах. При включении, переключении режимов и показаниях индикатора до 0,20 пФ микроконтроллер DD3 пересчитывает значения параметров элементов контура и вычисляет новое номинальное значение частоты генератора. В результате на индикаторе будут показания в пределах 0...0.09 пФ, избавляя пользователя от постоянных калибровок.

В программе для расчета значений элементов контура, состоящего из катушки индуктивности L1 и конденсатора C6, заложена математическая модель, предполагающая, что ТКЕ конденсатора и ТКИ катушки постоянны, кроме того, ТКИ катушки — положительный. Если при включении прибора показания индикатора отличны от нуля, это означает, что частота генератора изменилась и не равна "нулевой", значение которой было записано в EEPROM микроконтроллера при предыдущей калибровке. Используя указанную модель, корректируется значение элементов L1, C6 и вычисляется новое значение "нулевой" частоты. При расчетах используется коэффициент X6, учитывающий, какой вклад в изменение частоты генератора (в %) внесло изменение емкости конденсатора C6.

Измерение емкости конденсаторов от 0,1 мкФ до 10 мФ осуществляется с помощью узла на транзисторе VT3, который работает в данном случае в ключевом режиме. Сначала через резистор R22 с выхода микроконтроллера поступает низкий уровень, транзистор VT3 открывается и происходит зарядка проверяемого конденсатора, который подключают к контактам 8 и 9 гнезда XS1. Затем с выхода микроконтроллера поступает высокий уровень, транзистор VT3 закрывается и проверяемый конденсатор разряжается через резистор R13. Продолжительность

разрядки измеряет микроконтроллер, а поскольку она однозначно зависит от емкости этого конденсатора, то микроконтроллер вычисляет емкость на основе известных соотношений.

В режиме "L/C" при нажатии на кнопку SB3 прибор переходит в режим "C1" и во второй строке индицируется символ I (римская 1). В этом режиме измеряют емкость конденсаторов от 0,1 мкФ до 1 мФ. При повторном нажатии на кнопку SB3 во второй строке высветится символ II (римская цифра 2) и возможно измерение емкости конденсаторов от 0,1 мкФ до 10 мФ. Различие режимов в том, что в первом режиме показания индикатора обновляются чаще

Измеряемое постоянное напряжение от 0 до 15 В подают на гнездо XW1. При этом, если сначала войти в режим "U", а потом вращением движка резистора R33 — в режим "FT" или "F2", на индикаторе в верхнем правом углу отображается значение напряжения, кроме того, прибор может измерять одновременно и частоту входного сигнала.

Для включения режима "Генератор" необходимо в режиме "U" нажать на кнопку SB3. При этом транзистор VT3 работает в переключательном режиме и на выходе прибора "F_{вых}" (контакты 8 и 10 гнезда XS1) формируется сигнал с уровнем ТТЛ и частотой

$$F_{\text{вых}} = \frac{F_{\text{кв}}}{4 \cdot m \cdot n},$$

где $F_{\text{кв}}$ — частота кварцевого генератора микроконтроллера, n может принимать значения 1, 4, 16, а m — от 1 до 256. Значение n меняется циклически при нажатом переключателе "L/C", а m устанавливают нажатием на кнопки SB3, SB4. Значения n и m отображаются в верхнем правом углу индикатора, а во второй строке — частота выходного сигнала. Выход из режима "Генератор" осуществляют сменой режима. При этом последнее значение частоты сохраняется в памяти микроконтроллера DD3.

Питается устройство от батареи аккумуляторов GB1 «Крона». Напряжение питания всех узлов стабилизировано интегральным стабилизатором напряжения DA2. Можно также применить внешний стабилизированный блок питания напряжением 7...15 В, который подключают к гнезду XS3. В этом случае включится встроенная подсветка индикатора HG1. При питании от батареи на индикаторе отображается изображение гальванического элемента. Когда батарея разрядится, изображение элемента мигает. Для зарядки аккумуляторной батареи, не вынимая ее из устройства, используют блок питания с напряжением 12...15 В, а кнопочный выключатель SB2 устанавливают в положение "Вкл.". Когда батарея зарядится, на индикаторе изображение гальванического элемента сменяется символом "Z".

После программирования подборкой резистора R39 устанавливают контрастность изображения индикатора. В режиме "L/C" при нажатии на кнопку SB1 на выходе 7 микросхемы LM311D должен быть сигнал прямоугольной формы с частотой 750...850 кГц. В режиме "F1" при отсутствии входного сигнала подбором резистора R15 устанавливают низкий уровень на выходе элемента DD2.4. В режимах "F2" и "F3" при отсутствии входного сигнала происходит самовозбуждение делителей частоты микросхемы DD1 — это их особенность. При этом частотомер может показывать частоту несколько десятков или сотен мегагерц. Ток зарядки аккумуляторной батареи устанавливают подбором резистора R34, напряжение включения индикации об окончании ее зарядки — подбором резистора R31.

Для записать в память микроконтроллера числовые константы. Требуется при нажатой кнопке SB3 включить питание и затем кнопку отпускают — прибор входит в режим изменения констант. Вращением движка резистора R33 выбирают нужную константу, а нажимая на кнопку SB3 или SB4, меняют значение. Сохранение установленного значения происходит автоматически при смене константы. После изменения значения последней константы выбирают любую другую и выключают прибор.

Константу X0 первоначально устанавливают численно равной емкости конденсатора C1 (в пикофарадах), а затем это значение корректируют. Вращая движок резистора R33, устанавливают режим "L/C", а кнопкой SB1 — режим "C". Вращением движка резистора R33 устанавливают режим "Калибровка". После его окончания на индикаторе будут показания "0.00 pF". Затем подключают конденсатор с заранее измеренной с высокой точностью емкостью. Емкость конденсатора делят на показания прибора и умножают на константу X0. Полученный результат будет новым значением константы X0, которое необходимо внести в память микроконтроллера.

Для определения паразитной емкости кнопки SB1, гнезда XS1 и монтажа с последующей записью данных в память микроконтроллера выполняют следующие операции. После установки режима "L/C" нажатием на кнопку SB 1 входят в режим измерения индуктивности и в контакты 4 и 5 гнезда XS1 устанавливают короткую проволочную перемычку. Устанавливают режим "Калибровка", после ее завершения на индикаторе будут показания "0.000 mкH". Перемычку удаляют и переходят в режим измерения емкости нажатием на кнопку SB1. На индикаторе несколько секунд индицируется значение паразитной емкости и показания обнуляются. При нажатии на кнопку SB4 измеренное значение заносится в память микроконтроллера, а на индикаторе появится сообщение "OK".

Начальное значение константы X1 = 1.000, при необходимости с ее помощью корректируют показания в режиме измерения индуктивности.

Константы $X2 = 96$ (режим "F3") и $X3 = 24$ (режим "F2") задают коэффициент деления делителей частоты микросхемы LMX1600TM. Для микросхемы LMX1601TM устанавливают $X2 = 48$, $X3 = 24$.

$X4 = 0, 2, 4, 6$ для нерусифицированного индикатора.

$X4 = 1, 3, 5, 7$ для русифицированного индикатора.

$X4 = 0, 1, 4, 5$ для первоначального входа в режим "F1" со временем измерения 0,2 с.

$X4 = 2, 3, 6, 7$ для первоначального входа в режим "F1" со временем I измерения 1 с.

$X4 = 0, 1, 2, 3$, если ТКЕ конденсатора $C6$ положительный.

$X4 = 4, 5, 6, 7$, если ТКЕ конденсатора $C6$ отрицательный.

Например, устанавливают $X4 = 5$ для русифицированного индикатора, первоначальном входе в режим "F1" с временем измерения 0,2 с и отрицательном ТКЕ конденсатора $C6$.

Значение константы $X5$ равно частоте кварцевого генератора в Гц, ее можно изменять с шагом 4 Гц в пределах 3868934 — 4131068. Для ее точной установки на вход "0...500 МГц" подают сигнал с образцового генератора сигналов с частотой 20...40 МГц. Включают режим "F1" и, подстраивая конденсатор $C29$, а также изменяя константу $X5$, добиваются совпадения показаний прибора и индикатора частоты образцового генератора.

Значение константы $X6$ (в %) учитывает вклад нестабильности емкости конденсатора $C6$ в температурный уход частоты генератора. Остальное приходится на индуктивность. Не устанавливать значения $X6 = 0$, $X6 = 100$, а также $X6 = 50$ при отрицательном ТКЕ конденсатора $C6$.

С помощью константы $X7$ корректируют показания прибора при измерении емкости конденсаторов в режиме "C1", а константы $X8$ — при измерении постоянного напряжения. В режиме "C1" конденсатор с точно известной емкостью около 1 мкФ подключают к гнезду $XS1$, затем емкость делят на показания прибора и умножают на константу $X7$. Полученный результат будет новым значением константы $X7$. В режиме "U" подают напряжение 10... 12 В на разъем $XW1$, параллельно подключают образцовый вольтметр. Показания вольтметра делят на показания прибора и умножают на константу $X8$. Полученное значение будет новым значением константы $X8$.

3.2 Анализ климатических факторов

Изделие должно сохранять свои параметры в пределах норм, установленных техническим заданием, стандартами или техническими условиями в течение сроков службы и сохраняемости, указанных в техническом задании после или в процессе воздействия климатических факторов, значения которых установлены в **ГОСТ 15150-69**.

Разрабатываемый универсальный измерительный прибор на микроконтроллере предназначен для эксплуатации в районах с умеренным и холодным климатами.

Исходя из сказанного, контроллер будет изготавливаться в климатическом исполнении УХЛ.

Разрабатываемый универсальный измерительный прибор на микроконтроллере предназначен для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями, например, в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных и других помещениях (с отсутствием воздействия атмосферных осадков, прямого солнечного излучения, ветра, песка, пыли, наружного воздуха, отсутствие или существенное уменьшение воздействия рассеянного солнечного излучения и конденсации влаги), а конкретнее - в лабораториях, капитальных жилых и других подобного типа помещениях. Следовательно, устройство относится к категории исполнения **4.2**.

Нормальные значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации изделия принимают равными следующим значениям:

- верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации **+35°C**;
- нижнее рабочее значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации **+10°C**;
- верхнее предельное рабочее значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации **+40°C**;
- нижнее предельное значение рабочей температуры окружающего воздуха при эксплуатации **+1°C**;
- величина изменения температуры окружающего воздуха за **8 часов 40°C**;
- верхнее значение относительной влажности при **+ 25°C - 80%**;
- среднегодовое значение относительной влажности при **+20°C - 60%**;
- среднегодовое значение абсолютной влажности **10 г·м³**;
- верхнее рабочее значение атмосферного давления **106,7кПа (800 мм.рт.ст.)**;
- нижнее рабочее значение атмосферного давления **86,6кПа (650 мм.рт.ст.)**;

- нижнее предельное рабочее значение атмосферного давления **84,0** кПа (**630** мм.рт.ст.).

Указанное верхнее значение относительной влажности воздуха нормируется также при более низких температурах; при более высоких температурах относительная влажность ниже.

Так как нормированное верхнее значение относительной влажности 80% конденсация влаги не наблюдается. Рабочие значения параметров [7], характеризующих действие пыли, приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 - Рабочие значения параметров, характеризующих действие пыли

Наименование параметров	Нормы при воздействии пыли		
	Динамическом	Статическом	На проницаемость
Размеры частиц, мкм	Не более 200	—	Не более 50
Состав частиц пылевой смеси	Кварцевый песок не более 70%, остальные составляющие не нормируются	Устанавливаются в стандартах или в ТУ на группы изделий	Не нормируются
Концентрация, г/м			Не нормируются
Скорость, м/с	15	—	15

-

Изделия исполнения УХЛ 4.2, как правило, предназначаются для эксплуатации в атмосфере типов I и II. Содержание в атмосфере на открытом воздухе коррозионно-активных агентов приведено в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Содержание в атмосфере на открытом воздухе коррозионно-активных агентов

Тип атмосферы		Содержание коррозионно-активных агентов
Обозначение	Наименование	
I	Условно чистая	Сернистый газ не более 20 мг/м ² ·сут, хлориды менее 0,3 мг/м ² ·сут.
II	Промышленная	Сернистый газ от 20 до 250 мг/м ² ·сут, хлориды менее 0,3 мг/м ² ·сут.

Содержание коррозионно-активных агентов в атмосфере помещений категории 4 меньше указанного в таблице 3.2 и устанавливается на основании измерения. Но так как данные измерения отсутствуют, то содержание агентов принимаем равным 30 – 60% указанного в таблице.

За нормальное значение факторов внешней среды при испытании изделия принимаются следующие:

- температура **$+25\pm 5^{\circ}\text{C}$** ;
- относительная влажность воздуха **80%**;
- атмосферное давление (**630... 800**) мм.рт.ст. или **84,0...106,7** кПа.

Так как устройство предназначено для работы в нормальных условиях, в качестве номинальных значений климатических факторов принимают нормальное значение, указанное выше.

За эффективную температуру окружающей среды (при тепловых расчетах) принимается номинальное верхнее значение рабочей температуры.

За эффективные значения сочетания влажности и температуры при расчетах параметров изделия, изменения которых вызываются сравнительно длительными процессами, принимаются среднemesячные значения сочетаний влажности и температуры в наиболее теплый и влажный период. За эффективные значения концентрации агрессивной среды принимают среднее логарифмическое значение содержания коррозионно-активных агентов, соответствующих данному типу атмосферы. За эффективное значение давления воздуха принимается среднее значение давления.

Группа условий эксплуатации: по коррозионной активности атмосферы для металлов и сплавов без покрытий, а также с металлическими и неметаллическими покрытиями – I.

Условия хранения изделий определяются местом их размещения, микроклиматическим районом и типом атмосферы и характеризуется совокупностью климатических факторов, воздействующих при хранении на упакованные или законсервированные изделия. Согласно ГОСТ 15150-69, для проектируемого изделия удовлетворительными являются условия хранения в отапливаемых и вентилируемых складах или хранилищах с кондиционированием воздуха, расположенных в любых макроклиматических районах. Обозначение такого хранилища основное - 1, буквенное - Л, текстовое - "отапливаемое хранилище".

Климатические факторы, характерные для данных условий хранения:

- температура воздуха (**$+5...+40^{\circ}\text{C}$**);
- максимальное значение относительной влажности воздуха **80%** при **25°C** ;
- среднегодовое значение относительной влажности воздуха **60%** при **20°C** ;
- пылевое загрязнение незначительно;
- действие солнечного излучения, дождя, плесневых грибов отсутствует.

Условия транспортирования данного изделия являются такими же, как и условия хранения. Транспортировка осуществляется в закрытых транспортных средствах, где колебания температуры и влажности воздуха не существенно отличаются от колебаний на открытом воздухе.

Климатические факторы, характерные для данных условий транспортировки:

- температура воздуха (**-50...+50**)°C;
- максимальное значение влажности воздуха **100%** при **+25°C**;
- среднегодовое значение влажности воздуха **60%** при **+20°C**;
- пылевое загрязнение незначительно