

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Для всех информационно-вычислительных систем и, в частности, для аэрокосмических приборов и комплексов, характерно наличие блоков или подсистем, выполняющих первичные преобразования аналоговых сигналов, поступающих от датчиков, а также преобразования этих сигналов в форму, пригодную для использования в большой системе и для их непосредственного измерения. Цель курсового проекта – построить функционально законченную подсистему данного типа, используя достаточно широкий, но не слишком большой, ассортимент электронных узлов и блоков.

Характеристиками аналогового сигнала от датчика являются амплитудные (непосредственно амплитуда, а также экстремальные значения, значение модуля, мгновенное значение – выборка и др.), временные (частота или период, длительность импульса или паузы между импульсами и др.) и фазовые. Ограничимся амплитудными и временными характеристиками. Первичное преобразование сигнала включает в себя получение напряжения по заданному току датчика или получение тока по заданному напряжению, усиление (инверсное и неинверсное) токов и напряжений, суммирование, ограничение и детектирование сигналов, сравнение сигнала с заданным уровнем или нескольких сигналов друг с другом, формирование сигналов заданной формы из входных сигналов, генерация сигналов и т. д. Вторичное преобразование включает в себя преобразование аналогового сигнала в цифровой код (двоичный, двоично-десятичный и др.); преобразование в последовательность импульсов, длина которой пропорциональна какому-либо параметру аналогового сигнала, и другие виды. Полученные сигналы могут быть непосредственно измерены или организованы тем или иным образом для формирования потоков данных, поступающих на вычислительный конвейер. Таким образом, с точки зрения электроники проектируемая подсистема должна быть выполнена на основе смешанной схемотехники, включающей как аналоговые, так и цифровые и цифроаналоговые узлы.

2. ТИПОВЫЕ ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

В исходных данных обычно задаются характер или форма выходного сигнала, диапазон измеряемых амплитуд, параметры источника сигнала (внутреннее сопротивление и др.). Для импульсного сигнала задаются длительность импульса, период или скважность импульсов, вид индикации (например, светодиодная, семисегментная), число индицируемых разрядов и (или) требуемая точность представления информации.

Тема 1. Спроектировать устройство для цифрового измерения амплитуды аналогового сигнала

Для получения результата измерения в виде двоичного кода проще всего использовать аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Основными характеристиками АЦП являются:

- разрешающая способность;
- точность;
- быстродействие.

Разрешающая способность определяется разрядностью и максимальным диапазоном входного напряжения; точность определяется абсолютной погрешностью полной шкалы и нелинейностью преобразования; быстродействие АЦП определяется временем преобразования.

Другой способ измерения амплитуды эквивалентен методу последовательного счета, используемому в АЦП. При этом сигнал выборки подают на один из входов компаратора, в то время как на другой вход подают входной сигнал цифроаналогового преобразователя (ЦАП), преобразующего коды счетчика импульсов тактового генератора. При равенстве обоих сигналов счет останавливается. Выходным сигналом служит код счетчика, который можно рассматривать как непосредственный результат измерения и индицировать тем или иным способом, либо как преобразованный аналоговый сигнал. Для построения схемы требуется знание схемотехники тактовых генераторов, счетчиков, а также знание микросхемы ЦАП и способов их включения.

Еще один способ измерения амплитуды можно использовать в том случае, если исходный аналоговый сигнал представлен в виде последовательности импульсов. В этом случае необходимо измерять частоту следования импульсов, т. е. число импульсов в секунду. Для этого необходимы счетчик и таймерная (стробирующая) схема.

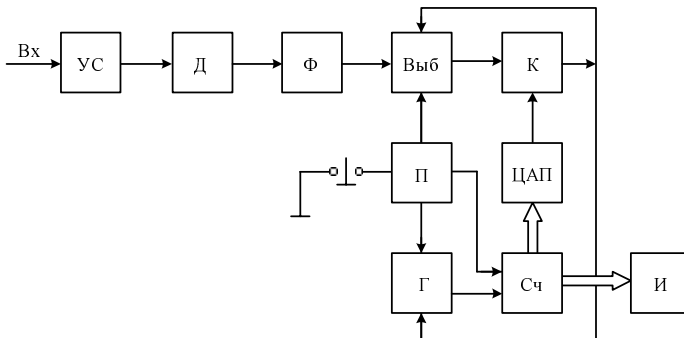


Рис. 1

В качестве примера на рис. 1 показан возможный вариант функциональной схемы устройства.

Входной сигнал после усиления *УС*, детектирования *Д*, формирования *Ф* и выборки *Выб* подается на один из входов компаратора *К*; выборка осуществляется сигналом «ПУСК» *П*, который обнуляет счетчик и разблокирует генератор *Г* тактовых импульсов; код счетчика *Сч* преобразуется в аналог *ЦАП* и подается на другой вход компаратора; после срабатывания компаратора сбрасывается выборка и останавливается счет путем блокировки генератора. Результат высвечивается на индикаторе *И*. Пусковую схему можно выполнить на основе *RS*-триггера и набора комбинационных вентилей.

Тема 2. Спроектировать устройство для цифрового измерения длительности импульсного сигнала или длительности паузы

Для измерения или представления в цифровой форме длительности импульса, длительности паузы между импульсами и периода следования импульсов заполняют соответствующий временной интервал последовательностью коротких импульсов тактового генератора и производят счет числа импульсов в этой последовательности.

Для этого необходимо сформировать пару сигналов, совпадающих с началом и окончанием счета (старт-стопная комбинация) и построить простую комбинационную схему для коммутации этих сигналов. Например, при измерении длительности импульса короткий стартовый импульс, по времени соответствующий фронту анализируемого импульса, должен обнулить счетчик, предварительно записав его содержимое в буферный регистр и обеспечить подачу импульсов тактового генератора на вход счетчика; импульс, соответствующий срезу анализируемого импульса, должен оборвать счет (например, путем блокирования сигналов тактового генератора). Эти простые приемы будут разъяснены позднее при обсуждении принципиальных схем конкретных заданий. Функциональная схема устройства показана на рис. 2.

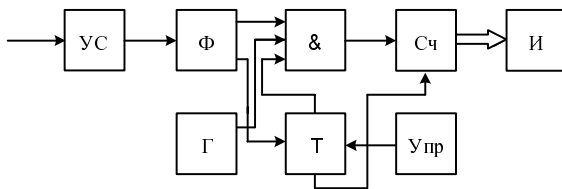


Рис. 2

Предполагается одноразовое измерение с пульта управления *Упр* путем, например, нажатия кнопки; триггерная схема или одиночный *RS*-триггер *T* обеспечивает обнуление счетчика и разблокирование генератора. Окончание импульса изменяет состояние триггера и блокирует генератор.

Тема 3. Спроектировать устройство для цифрового измерения частоты следования импульсов

Для измерения или представления в цифровой форме частоты следования импульсов необходимо, как и при измерении амплитуды подсчитать число импульсов в единицу времени (секунду). Схемотехническая основа этой процедуры – счетчик и таймер, уже рассмотренные выше.

Функциональная схема устройства показана на рис. 3

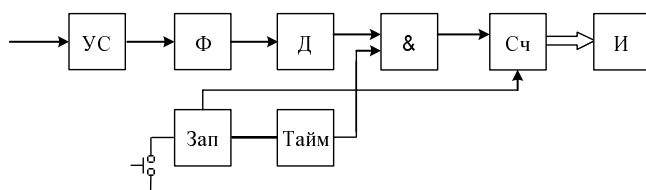


Рис. 3

Схема запуска *Зап* используется для обнуления счетчика и старта формирования временного интервала таймером *Тайм*; измерение может быть однократным, но также и периодическим.

Задание на курсовое проектирование выдается каждому студенту индивидуально. Вариант задания выбирается по последней цифре студенческого шифра (табл. 1)

3. ТИПОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА

Предварительная обработка аналогового сигнала производится с помощью блоков на основе операционного усилителя (ОУ). Схемотехника типовых блоков показана на рис. 4

Схема на рис. 4, а представляет собой инвертирующий усилитель напряжения с коэффициентом передачи, равным $(-R2/R1)$, причем $R1$ представляет собой внутреннее сопротивление источника сигнала; в схеме на рис. 4, б неинверсный коэффициент передачи определяется как величина, обратная глубине отрицательной обратной связи; схема на рис. 4, в есть частный случай предыдущей схемы и называется повторителем напряжения. В схеме на рис. 4, г выходное напряжение получается из входного тока, а резистор обратной связи R_{oc} выполняет роль

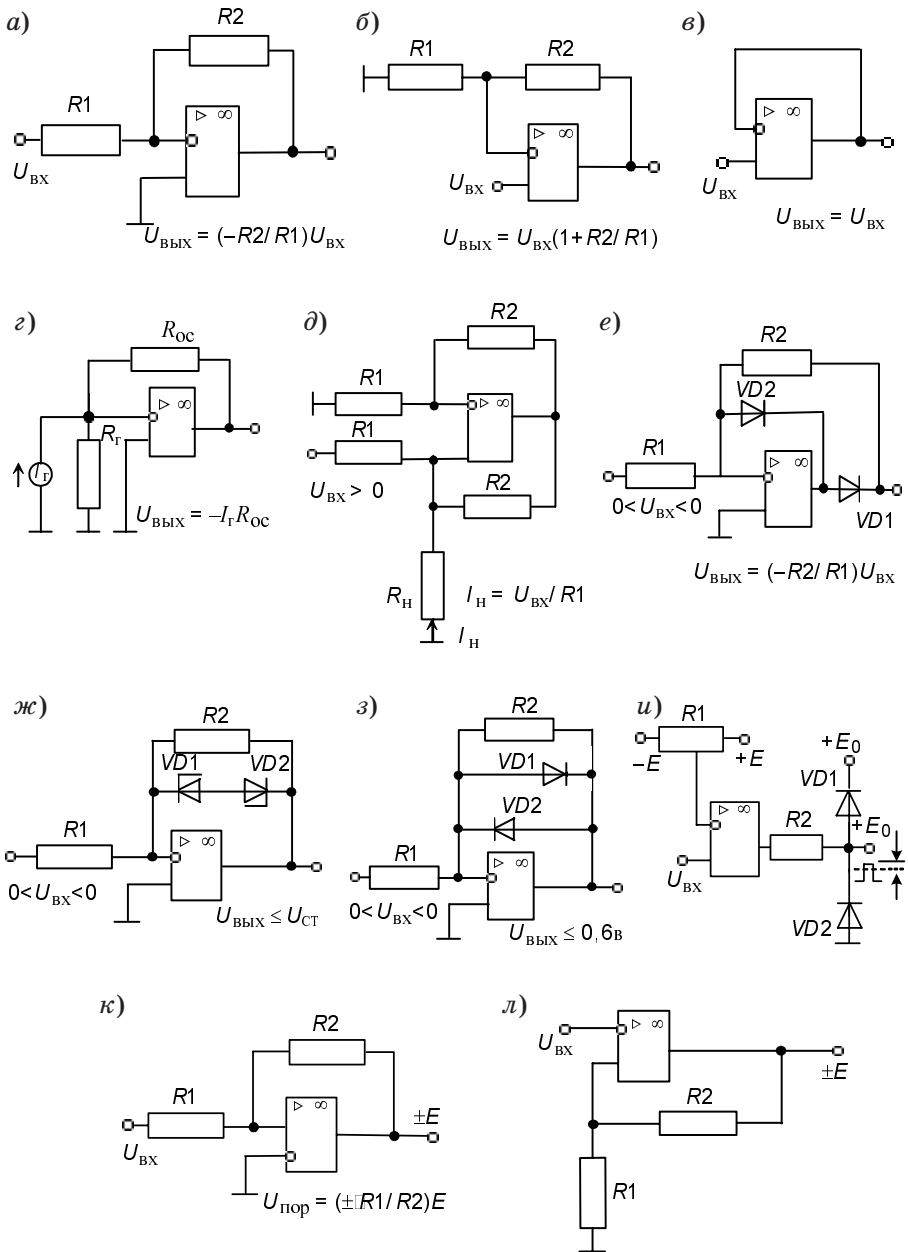


Рис. 4

нагрузки; кроме того, очевидно, должно быть $R_{\Gamma} \gg R_{oc}$ и $R_{\Gamma} \gg R_{вх}$ ($R_{вх}$ – входное сопротивление ОУ). В схеме на рис. 4, *д* выходной ток получается из входного напряжения; заметим, что в схеме присутствует положительная обратная связь, глубина которой $R1 \parallel |R_{н}/(R2+R1) \parallel |R_{н}|$ меньше глубины отрицательной обратной связи $R1/(R2+R1)$; в противном случае можно было бы ожидать самовозбуждения усилителя. В схеме детектора рис. 4, *е*. из знакопеременного входного напряжения выделяются положительные импульсы напряжения; диод *VD2* используется для снижения коэффициента передачи почти до нуля при положительном входном напряжении. Схемы на рис. 4, *ж*, *з* представляют собой ограничители сигнала с использованием двух стабилитронов с напряжением $U_{ст}$, включенных встречно-последовательно, или двух кремниевых диодов во встречно-параллельном включении. Схемы на рис. 4, *и*, *к*, *л*, называемые иногда триггерами Шмитта, используются как компараторы и дискриминаторы уровня входного напряжения. Основные параметры некоторых часто используемых ОУ приведены в табл. 2

Таблица 2

Микросхема	$K_u \cdot 10^3$	$U_{см}$, мВ	$I_{вх}$, нА	f_1 , МГц	V_u , В/мкс	$\pm U_{ип}$, В	$U_{вых}$, В	$I_{пот}$, мА
КР140УД1	?	10	$8 \cdot 10^3$	5	0,5	12,6	6	8
КР140УД5	1	5	10^4	14	6	12,6	6,5	12
К140УД7	50	6	200	0,8	1	15	11,5	2,8
КР140УД8	50	20	0,2	1	5	15	10	2,8
К140УД12	200	5	10	1	0,3	(1,5...18)	1...10	0,1
КР140УД17	200	0,1	10	0,4	0,1	15	12	5
К153УД3	35	5	350	1	2	12,6	10	8
КР544УД1	10	9	200	10	80	15	12	7
КР544УД1	50	30	0,15	1	5	15	10	3,5
КР544УД2	20	50	0,6	15	20	15	12	7
КР574УД2	100	25	1,0	3	25	15	10	10

В табл. 2 приведены значения: K_u – коэффициента усиления напряжения; $U_{см}$ – напряжения смещения нуля; $I_{вх}$ – входного тока; f_1 – частоты единичного усиления; V_u – скорости нарастания входного напряжения; $U_{ип}$ – напряжения источника питания; $U_{вых}$ – максимального выходного напряжения; $I_{пот}$ – потребляемого тока. Как следует из таблицы, эти параметры могут существенно различаться. Можно отметить быстродействующие ОУ (К154УД3, КР544УД2), ОУ с предельно

низким потреблением тока (К140УД12), ОУ с высоким входным сопротивлением (КР140УД3 и др.). Таким образом, выбор ОУ необходимо тщательно сопоставить с условиями задания на проектирование.

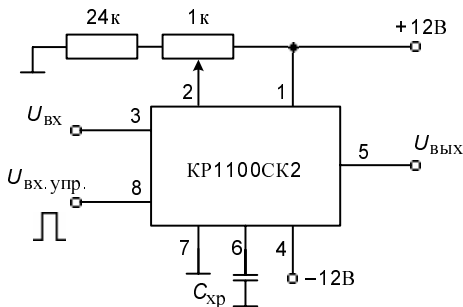


Рис. 5

Для выборки и запоминания мгновенного значения аналогового сигнала в процессе преобразования его в цифровую форму используются устройства выборки-хранения, представляющие собой аналоговое запоминающие устройство. Обычно такое устройство представляет собой высокоомный интегрирующий ОУ и несколько ключей на основе полевых транзисторов. На рис. 5 показана микросхема выборки-хранения типа КР1100СК2, содержащая два ОУ с входным сопротивлением более 10 МОм и ключевую схему управления. Анализируемое напряжение сохраняется на емкости $C_{хр} = 20 \dots 1000$ пФ; время выборки находится в пределах 5...10 мкс., а скорость спада сохраняемого напряжения за счет разряда $C_{хр}$ не удается сделать ниже $0,2 \text{ Вс}^{-1}$; отсюда нетрудно оценить требуемую скорость преобразования. Например, если время аналого-цифрового (АЦ) преобразования напряжения 1В составляет 100 мкс, то величина спада напряжения составит не менее $0,2 \times 10^{-4} \text{ В}$, что соответствует погрешности 0,002%. Для управления используется положительный импульс напряжения амплитудой 3...7 В (стадия выборки).

Аналоговый сигнал постоянного уровня или выборку меняющегося во времени сигнала можно преобразовать в последовательность импульсов определенной частоты, зависящей от уровня сигнала. Рис. 6 а, б, в поясняет общий принцип преобразования напряжения-частота ($U-F$) (а), а также включение микросхемы КР1108ПП1 в качестве преобразователя $U-F$ (б) и обратного преобразователя $F-U$ (в). При зарядке интегрирующей емкости $C_{и}$ до уровня опорного напряжения $U_{опор}$ срабатывает компаратор K , после чего запускается моностабильный формирователь (одновибратор) $MФ$, выходной импульс которого используется как преобразованный сигнал, а также для разрядки емкости $C_{и}$. Мик-

росхема КР1108ПП1 преобразовывает положительное напряжение $0...10$ В в частоту $0...10$ кГц с крутизной преобразования $1 \text{ кГц} \times \text{В}^{-1}$ и нелинейностью характеристики преобразования не более 10^{-8} ; при этом $R1 = 34 \text{ кОм}$; $R2 = 560 \text{ Ом}$; $C1 = 10 \text{ нФ}$; $C2 = 36 \text{ нФ}$ (рис. 6, б).

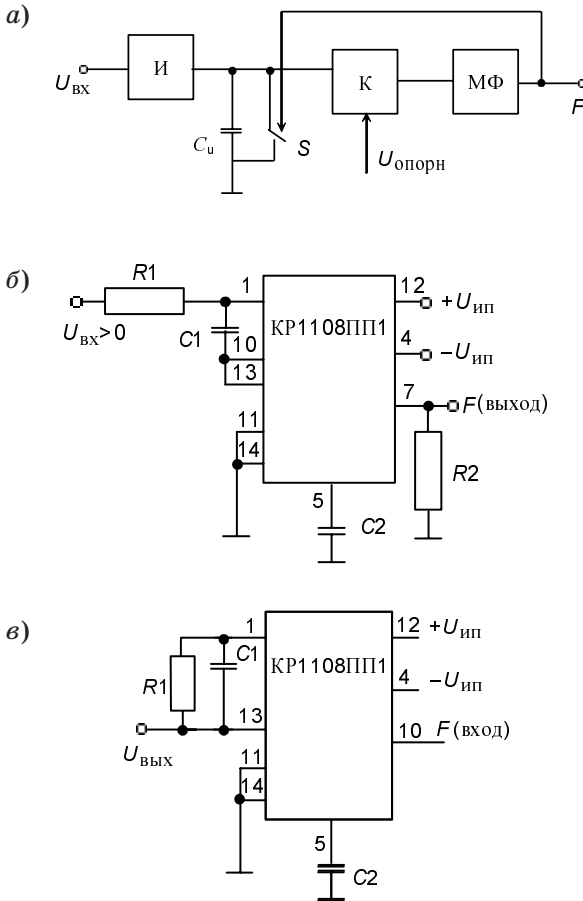


Рис. 6

Обратное преобразование (рис. 6, в) с крутизной характеристики $1 \text{ В} \times \text{кГц}^{-1}$ осуществляется при $R1 = 34 \text{ кОм}$; $C1 = 20 \text{ пФ}$, $C2 = 3,6 \text{ нФ}$; понятно, что оба включения микросхемы имеют разные выходные точки. Питание $U_{\text{ип}} = \pm(12...19) \text{ В}$, потребляемый ток $I_{\text{пот}} = 8 \text{ мА}$, амплитуда выходного сигнала до $U_{\text{ип}}$.

4. ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДЫ СИГНАЛА

В измерительной технике процедура измерения амплитуды сигнала предполагает преобразование ее значения в цифровой код с целью дальнейшего его использования либо в вычислительных устройствах (накопление информации, вычисление средних значений, формирование сигналов управления объектом и т. д.), либо для предъявления пользователю в виде показаний цифровых индикаторов.

В заданиях на курсовое проектирование предполагаются следующие варианты решений:

цифровая индикация результатов измерений с использованием преобразования «напряжение–частота» (U/f) или посредством интегральных схем цифровых вольтметров;

формирование двоичного кода, пропорционального значению амплитуды сигнала с использованием аналого-цифровых преобразователей.

В первом случае аналоговый сигнал представляется в виде последовательности импульсов, частота следования которых, пропорциональна его амплитуде.

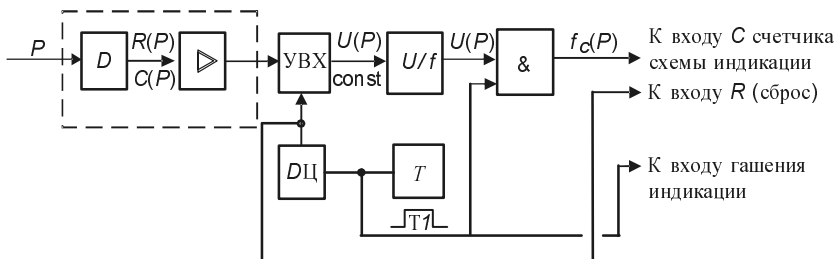


Рис. 7

Функциональная схема подобного измерителя изображена на рис. 7. Здесь D – датчик, преобразующий значение измеряемого параметра P в некую электрическую величину $R(P)$ или $C(P)$, \triangleright – преобразовательная схема, формирующая выходной сигнал в виде аналогового напряжения $U(P)$, линейно зависящего от P (в требуемых пределах измерения). Устройство выборки хранения $УВХ$ обеспечивает постоянство значения $U(P)$ в заданном временном интервале $T1$. Значение $U(P)$ посредством преобразователя U/f преобразуется в последовательность прямоугольных импульсов частотой $f_c(P)$, подводимых через ключ $\&$ к счетному входу схемы индикации.

Управление работой схемы измерения осуществляется посредством таймера T , формирующего некую временную последовательность $T1$, $T2$ (рис. 8).

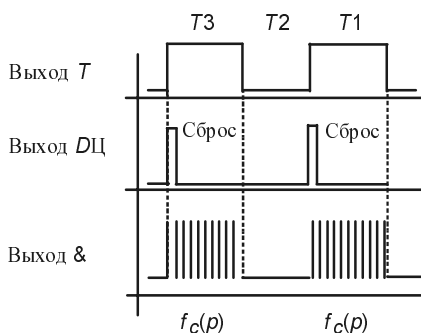


Рис. 8

Дифференцирующая цепь ДЦ формирует кратковременный импульс, обеспечивающий запуск УВХ и сброс счетчиков схемы индикации. В промежутке времени $T1$ (когда на выходе таймера T присутствует напряжение высокого уровня) ключ $\&$ открыт, и импульсы последовательности $f_c(P)$ поступают на вход счетчика младшего разряда схемы индикации, увеличивая его содержимое. Одновременно высокий уровень $T1$ запрещает засветку индикаторов. В промежутке времени $T2$ низкий уровень на выходе таймера запирает ключ $\&$ (счет прекращается) и разрешает засветку индикаторов, т. е. содержимое счетчиков выводится на индикацию.

Выбор времени $T1$ определяется, с одной стороны, зависимостью f_c от $U(P)$ и тем значением параметра P , которое необходимо представить в виде результата измерения. Например, измеряемой величиной P является давление воздуха и посредством датчика D и усилительно-преобразовательной схемы получено значение $U(P) = 10$ В, соответствующее давлению 700 мм рт.ст., причем $U(P)$ линейно изменяется в пределах изменение давления от 600 до 800 мм рт.ст. Схема преобразователя U/f обеспечивает частоту $f_c(P) = 10$ кГц при подаче на вход $U(P) = 10$ В. Период сигнала $T(P) = 1/f_c(P) = 0,1$ мс и линейно зависит от соответствующих значений $U(P)$, т. е. от значений давления в заданных пределах его измерения. Для индикации значения P в мм рт. ст. необходимо задать время счета $T1$, равное $T1 = 700 T_c(P) = 700 \cdot 0,1$ мс = 70 мс; при этом за время $T1$ в счетчиках схемы индикации накопится двоично-десятичное число, соответствующее 700 (в десятичных единицах) и в период $T2$ обеспечится засветка указанной величины. При необходимости обеспечить показания в миллибарах необходимо соответствующим образом изменить (увеличить) длительность $T1$. Так как давление воздуха зависит от высоты, приведенная схема может служить основой для построения цифрового высотомера, когда посредством выбора зна-

чения T_1 можно получить показания в единицах высоты, например метрах. Время T_2 , т. е. время наблюдения показаний выбирается из эргономических соображений, т. е. частота предъявления показаний наблюдателю должна превышать значение 40 Гц.

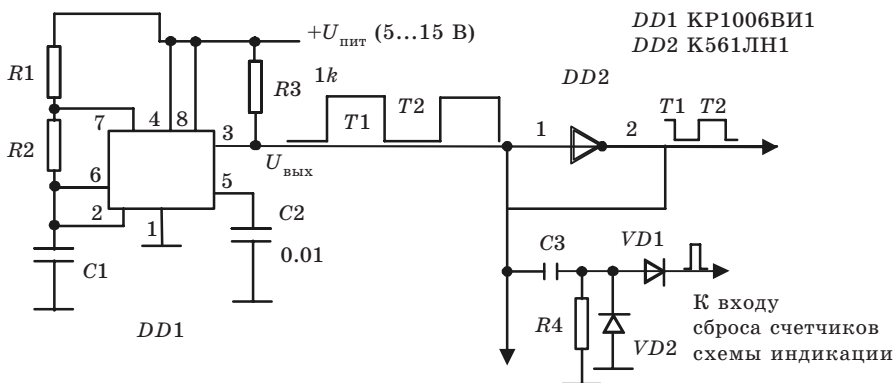


Рис. 9

Для построения таймера разумно воспользоваться микросхемой КР1006ВИ1, схема включения которой в режиме генератора последовательности T_1, T_2 приведена на рис. 9. Значения $T_1 = 0,69(R_1 + R_2)C_1$ и $T_2 = 0,69 R_2 C_1$ можно задавать в широких пределах. Как видно $T_1 > T_2$; для получения последовательности $T_2 > T_1$ следует инвертировать выходной сигнал таймера посредством инвертора DD2. Амплитуда выходного сигнала лежит в пределах (5–15)В в зависимости от напряжения питания. Формирование сигнала сброса счетчиков схемы индикации осуществляется посредством цепи C_3, R_4, VD_1, VD_2 . Обычно его длительность составляет величину порядка 10 мкс и определяется значениями C_3, R_4 ; VD_1, VD_2 – маломощные кремниевые диоды.

Для выборки и запоминания мгновенного значения аналогового сигнала в процессе преобразования его в частоту можно использовать микросхему УВХ КР1100СК2 (см. рис. 5).

Преобразование напряжения $U(P)$ в частоту $f_c(P)$ можно осуществить посредством микросхемы КР1108ПП1 или ее аналогов (см. рис. 6).

Другим способом представления амплитуды сигнала в виде показаний цифровых индикаторов является применение для этой цели микросхем цифровых вольтметров, примерами которых являются отечественные КР572ПВ2 или КР572ПВ5 или их зарубежные аналоги.

Схема включения КР572ПВ2, предназначенной для работы со светодиодами (LED) индикаторами с общим анодом (ОА), изображена представлена на рис. 10.

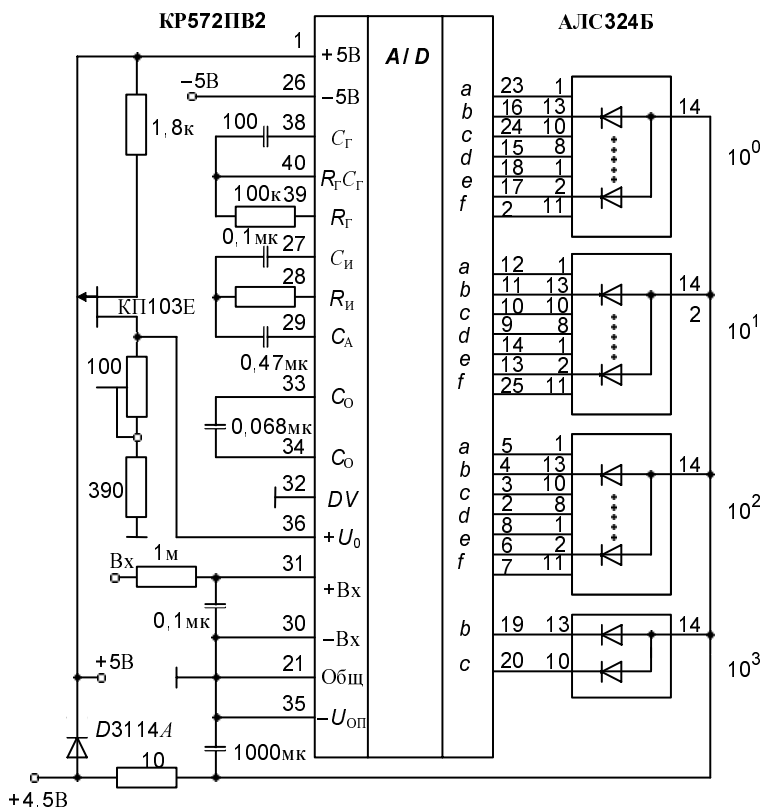


Рис. 10

Назначения входов микросхемы следующие: $C_{\text{и}}$ – емкость интегратора; $C_{\text{г}}$ – емкость генератора; $R_{\text{г}}$ – резистор генератора; $R_{\text{и}}$ – резистор интегратора; $C_{\text{о}}$ – опорный конденсатор; $\pm U_{\text{вх}}$ – входы преобразуемого напряжения. Вместо $R_{\text{г}}$, $C_{\text{г}}$ между выводами 39 и 40 можно включить кварцевый резонатор. Внешний генератор подключается к выводу 40. Частота внутреннего или внешнего генератора равна 50 кГц. Цифровой отсчет производится на 3,5-декадном индикаторе в семисегментном коде. Шкалы измеряемого сигнала от 1,999 до 1999 мВ определяются величиной опорного напряжения. Стабильное опорное напряжение задается как потенциал стока транзистора КП103Е, использующегося как параметрический стабилизатор тока; для значений резисторов, указанных на схеме, стоковый потенциал равен 200 мВ (подстраивается резистором 100 Ом), а предел измерения 199,9 мВ. Цепь, содержащая резистор на 10 Ом и емкость 1000 мкФ, предназначена для задержки

подачи напряжения на индикаторы относительно микросхемы. Предусмотрено сетевое и батарейное питание. Входное сопротивление аналогового входа – 20 Мом; время преобразования – 300 мкс (может быть уменьшено путем увеличения тактовой частоты); дифференциальная нелинейность шкалы – $\pm 1\%$.

При увеличении $U_{\text{оп}}$ до 2,0 В предел измерения увеличивается до 1999 мВ. При превышении $U_{\text{вх}}$ верхнего предела измерений (например, значения 1999 мВ) показания индикаторов не изменяются; при $U_{\text{вх}}$ меньших 999 мВ старший разряд (10^3) индикатора гаснет.

При использовании схем цифровых вольтметров необходимо учитывать следующее. Если, как и в предыдущем случае, значение измеряемого параметра P составляет 700 мм рт. ст., то для получения показаний в требуемых единицах измерения подводимое ко входу напряжение $U(P) = 700$ мВ, а $U_{\text{оп}} = 2,0$ В; при этом старший разряд индикатора можно не подключать (если $U(P)$ лежит в пределах 600...800 мВ и соответствует изменению давления в пределах 600...800 мм рт. ст.). Таким образом при измерениях физических параметров (давления, температуры, влажности и т. д.) посредством цифровых вольтметров необходимо при синтезе измерительной схемы обеспечить точное соответствие между значениями измеряемого параметра P в заданных единицах измерения, значений $U(P)$, подводимого ко входу микросхемы, $U_{\text{оп}}$ и разрядности индикаторов, подключаемых к ее выходам.

Время преобразования для микросхемы КР572ПВ2 определяет целесообразность использования УВХ для запоминания значения $U(P)$. Микросхема КР572ПВ5 является аналогом КР572ПВ2, но предназначается для использования с жидкокристаллическими (LCD) индикаторами.

Для формирования кода, пропорционального значению амплитуды сигнала с целью ввода его значений в вычислительные (микропроцессорные) устройства целесообразно использовать функционально завершенные АЦП, способные работать в автономном режиме, т. е. не требующие дополнительных внешних устройств и имеющие приемлемые значения времени преобразования ($t_{\text{нр}}$), разрядность выходного кода (n) и его уровни. Оптимальным сочетанием этих параметров обладает микросхема К1113ПВ1, выполняющая функцию 10-разрядного аналого-цифрового преобразования одно или биполярного входного сигнала с представлением результатов преобразования в параллельном двоичном коде (рис. 11).

Запуск процедуры преобразования осуществляется при подаче на вывод 11 низкого уровня сигнала от внешнего таймера (t_1). Через время, необходимое для преобразования t_2 ($t_{\text{нр}} \sim 30$ мкс), на выводе 17 появляется сигнал низкого уровня и информация поступает на цифро-

вые выводы и в интервале времени $t_2...t_3$ разрешается чтение выходного кода. В момент времени t_3 (высокий уровень на 11) информация стирается и АЦП подготавливается к новому циклу (рис. 12).

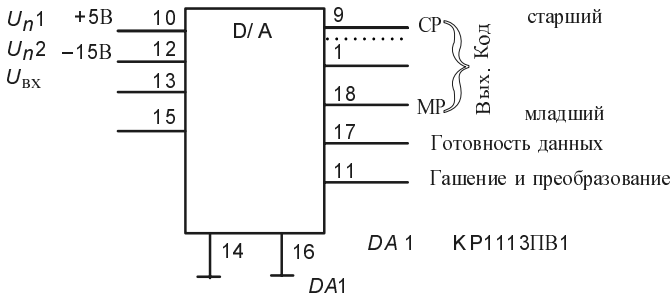


Рис. 11

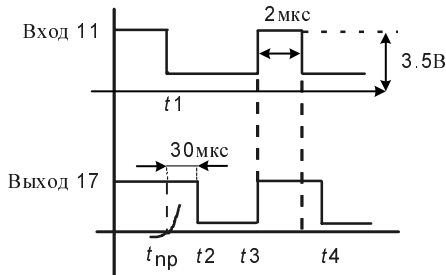


Рис. 12

Преобразователь может работать с однополярными (положительными) входными сигналами $U_{вх\ max} \leq 11$ В и двухполярными ($\pm 5,5$ В). В первом случае вход 15 не используется, во втором заземляется. Особенностью микросхемы КР1113ПВ1 является соответствие уровней выходных (выводы 1...9, 18 и 17) и входных (вывод 11) сигналов ТТЛ ИС.

5. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ

Ряд заданий на курсовое проектирование предполагает разработку схем, обеспечивающих представление в цифровой форме с последующим выводом на индикацию некоторых временных характеристик импульсных или периодических сигналов. Например, требуется произвести подсчет числа импульсов, поступающих с соответствующих датчиков в заданном временном интервале. Такая задача возникает при опре-

деления числа оборотов вала двигателя, крыльчатки измерителя скорости потока воздуха посредством фото- или магнитных датчиков (магниторезисторов, датчиков Холла) и т. д. Частным случаем является измерение частоты сигнала. В других случаях требуется представление в виде цифрового кода периода следования сигнала, длительности импульса или паузы между соседними сигналами.

В заданиях на КП приводятся, как правило, параметры исходного сигнала, такие как:

- диапазон амплитуд и полярность сигнала;
- наличие постоянной составляющей в сигнале и его форма;
- диапазон длительности и/или частота следования;
- значение выходного сопротивления источника сигнала.

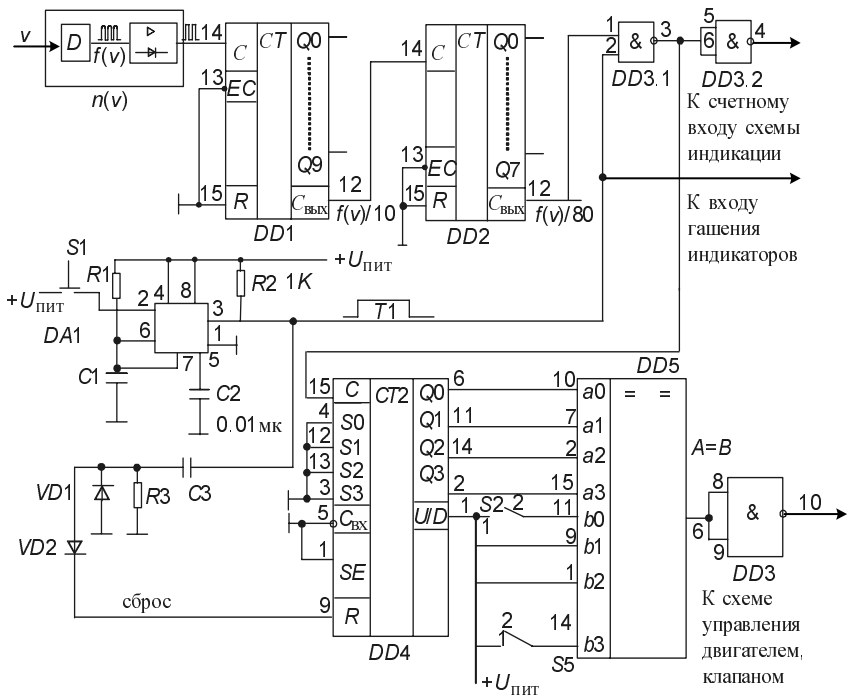


Рис. 13

На начальном этапе проектирования необходимо произвести синтез схемы (и расчет ее параметров), обеспечивающей преобразование исходного сигнала в «цифровую» форму, т. е. преобразованный сигнал должен представлять собой последовательность импульсов (временных

интервалов) прямоугольной формы, положительной полярности, амплитуда которых должна изменяться в строго определенном интервале. Максимальное U_{\max} и минимальное U_{\min} значения амплитуды определяются типом (технологией) микросхем, на которых выполняется цифровая часть схемы, а именно для ТТЛ-технологии (серии 155, 555 или 74) $U_{\max} = U_B \geq 3,5 \text{ В}$, что соответствует уровню лог.1, $U_{\min} = U_H \leq 0,35 \text{ В}$ (уровень лог.0). Соответственно для КМОП-технологии (серии 176, 561, CD4000) эти значения составляют $U_{\max} = U_B - U_{\text{пит}}$, а $U_{\min} = U_H = 0$, где $U_{\text{пит}} = +9 \dots 15 \text{ В}$.

На рис. 13 показана принципиальная схема измерения скорости v потока воздуха, регистрируемой посредством датчика D .

Выходным сигналом датчика является последовательность импульсов, число которых $n(v) = 80$ соответствует 1 л прошедшего через него объема воздуха. По условиям задания требуется обеспечить индикацию скорости потока V в л/мин (запуск процедуры измерения – однократный) и возможность прокачки заданного объема воздуха в пределах 0...15 л, причем цифровая часть схемы должна быть выполнена на микросхемах КМОП-серий при напряжении питания $U_{\text{пит}} = 10 \text{ В}$.

В соответствии с условиями задания выходной сигнал датчика посредством усилительно-преобразовательной схемы преобразуется в последовательность прямоугольных импульсов, с частотой $f(v)$ и амплитудой 0...10 В, которые поступают на вход делителя частоты, выполненного на микросхемах $DD1$, $DD2$. $DD1$ (микросхема К561ИЕ8) выполняет функцию деления частоты $f(v)$ на 10, сигнал которой $f(v)/10$ появляется на выходе переноса $C_{\text{вых}} DD1$ и поступает на счетный вход $DD2$ (микросхема К561ИЕ9), обеспечивающей деление частоты на 8. Таким образом на выходе переноса $C_{\text{вых}} DD2$ частота следования составит $f(v)/80$, т. е. один период этого сигнала соответствует 1 л прокачанного воздуха. Для измерения скорости потока в л/мин необходимо сформировать временной интервал $T1 = 1 \text{ мин}$, что обеспечивается таймером $DA1$ на основе микросхемы КР1006ВИ1, запуск которого производится замыканием кнопки $S1$. Значение $R1$, $C1$ рассчитываются исходя из соотношения $T1 = 1,1R1C1$. Схема «И», выполненная на $DD3.1$ и $DD3.2$ (микросхема 561ЛА7) обеспечивает прохождение на вход схемы индикации числа периодов $f(v)/80$ в течение времени $T1$, что в свою очередь обеспечивает показания индикаторов в единицах скорости потока (л/мин).

Данная схема фактически является измерителем частоты сигнала: если цифровой сигнал, частота f_x которого измеряется, подвести ко входу 1 $DD3.1$, а длительность «временных ворот» $T1$ задать равной 1 с, то показания индикаторов будут равными числу периодов $1/f_x$ в секундном интервале, что соответствует частоте сигнала.

На элементах $DD4$ и $DD5$ выполнена схема задания объема прокачиваемого воздуха. $DD4$ (счетчик 561ИЕ11) производит подсчет импульсов, частоты $f(v)/80$, а его выходной код $Q_0...Q_3$ подается на входы $a_0...a_3$ четырехразрядного цифрового компаратора $DD5$ (микросхема К561КП2), где сравнивается с заданной величиной $B = b_3b_2b_1b_0$. Значения B задаются переключателями $S2...S5$; положению 1 переключателя соответствует подача лог.1 на соответствующий вход; положение 2 определяет уровень лог.0 (например, $B = 1001 = 9_{10}$). При замыкании $S1$ импульсы $f(v)/80$ поступают на вход $DD4$ и увеличивают его содержимое. Одновременно посредством цепочки $C3, R3, VD1, VD2$ формируется импульс сброса $DD4$. Пока выходной код $DD4$ ($A = a_3a_2a_1a_0 < B$) выход $A = B$ $DD5$ содержит лог.0, соответственно выход 10 инвертора $DD3.3$ – лог.1, что обеспечивает работу двигателя воздуходувки, клапана и т. д. При $A = B$, что при $B = 1001$ соответствует 9 литрам прокачанного воздуха выход $A = B$ $DD5$ устанавливается в 1, а выход 10 $DD3.3$ в 0, что может служить управляющим сигналом для останова двигателя, закрытия клапана и т. д. При необходимости разрядность A и B может быть увеличена посредством наращивания разрядности счетчика и компаратора.

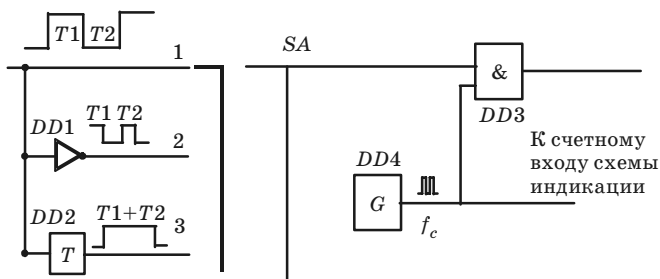


Рис. 14

Принцип «временных ворот» лежит и в основе процедуры измерения длительности, периода следования и паузы цифрового сигнала, роль которых в этом случае выполняет сам сигнал. На рис. 14 показана функциональная схема устройства, позволяющая в зависимости от положения переключателя (SA) измерить длительность $T1$, паузу $T2$ и период следования $T1+T2$ цифрового сигнала: Здесь открытое состояние ключа $\&$ $DD3$ обеспечивается:

- в течение времени $T1$ в положении 1;
- в течение времени $T2$ в положении 2 ($DD1$ – инвертор);
- в течение периода $T1+T2$ в положении 3 ($DD2$ – счетный триггер – делитель частоты).

Открытый ключ $DD3$ разрешает прохождение на счетный вход схемы индикации счетной частоты f_c , вырабатываемой генератором $DD4$. Период f_c ($T_c = 1/f_c$) определяется или требуемой точностью или заданной единицей измерения, как правило $T_c = 1$ мкс или 1 мс. Разрядность схемы индикации зависит от значений $T1$ и/или $T2$ и T_c .

При составлении принципиальных схем измерителей необходимо, как и в предыдущих случаях, обеспечить сброс счетчиков в начале цикла счета и гашение индикаторов в его течении.

При разработке схем селекции, например селекции импульсов по длительности, можно применить ранее рассмотренную схему с использованием цифровых компараторов.

6. КОММУТАТОРЫ СИГНАЛОВ

В ряде заданий на курсовое проектирование ставится задача синтеза многоканальных измерительных схем, например, предназначенных для измерения каких-либо параметров в различных точках объекта. В этом и целом ряде других случаев подразумевается последовательная передача данных от нескольких источников на общий выход, подключаемый к приемнику данных, что достигается применением различных коммутационных схем.

Для коммутации цифровых и аналоговых сигналов применяют в первую очередь микросхемы ключей, выполненные по КМОП-технологии. Так, практически аналогичные микросхемы $K176KT1$ и $K561KT3$ представляют собой коммутаторы, выполненные в виде четырех отдельных ключей, каждый из которых имеет вход и выход сигнала и вход управления, высокий уровень сигнала на котором обеспечивает замкнутое состояние ключа. Канал проводимости ключей двунаправленный и пропускает цифровые уровни с амплитудой до напряжения питания U_n либо аналоговые с амплитудой $\pm U_n/2$. Микросхема $K561KP2$ (рис. 15) представляет собой 8-канальный цифроаналоговый демультиплексор.

Управление передачей сигналов с выходов $0...7$ на выход, осуществляется трехразрядным двоичным кодом $A = a_2 a_1 a_0$; при этом, если $A = 000$, на выход передается сигнал с выхода 0 ; при $A = 001$ с выхода 1 и т. д. Вход EI выполняет функцию разрешения работы: при $EI = 1$ все каналы (независимо от значения A) размыкаются. При подаче положительного напряжения питания $+U_n = +15$ В допускается коммутация сигналов с амплитудой до $+15$ В; если дополнительно подать $-U_{пит} = -15$ В (вывод 7 микросхемы), то допускается коммутация двухполярных сигналов амплитудой до $\pm 7,5$ В.

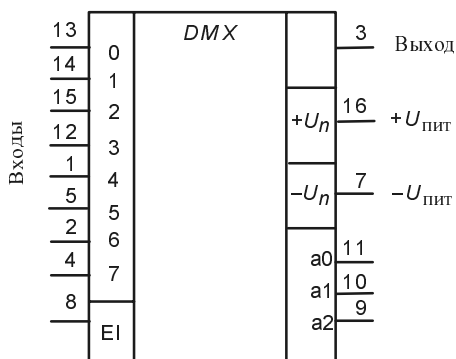


Рис. 15

Микросхемы серий 590, 591 так же представляют собой цифроаналоговые демультиплексоры, предназначенные для коммутации сигналов амплитудой $\pm 5 \dots \pm 20$ В с различными вариантами организации ключей. На рис. 16 приведена функциональная схема коммутатора на основе микросхемы К591КНЗ.

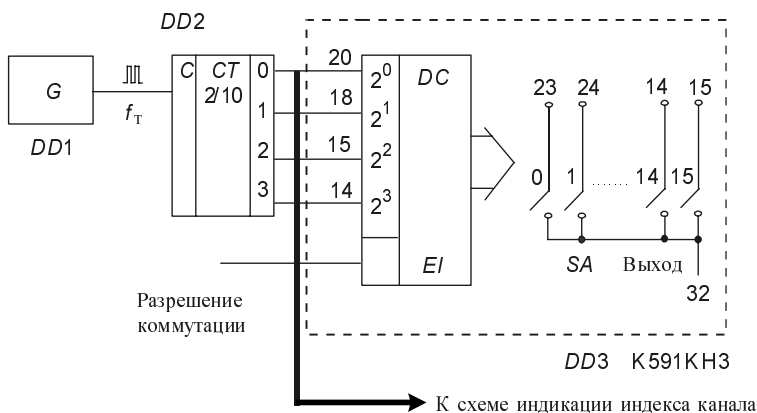


Рис. 16

Здесь G – генератор тактовой последовательности f_T , период которой обуславливает периодичность замыкания ключей и соответственно коммутации источников сигналов; CT – счетчик, выходной код которого используется для управления коммутатором, $DD3$ – коммутатор, состоящий из дешифратора (DC) и шестнадцати цифроаналоговых ключей ($0 \dots 15$), имеющих общий выход (вывод 32). При использовании

четырёхразрядного двоичного счетчика обеспечивается управление всеми шестнадцатью ключами, т. е коммутация шестнадцати источников сигналов; если счетчик работает в десятичном формате, осуществляется управление ключами с индексами $0...9$, соответственно число коммутируемых каналов уменьшается до 10. В последнем случае выходной код счетчика можно непосредственно использовать для цифровой индикации индекса канала, подключаемого к выходу.

7. СХЕМЫ ИНДИКАЦИИ

Для представления результатов измерений параметров сигналов (амплитуды, частоты, длительности и т. д.) используют семисегментные декадные светодиодные (*LED*) или жидкокристаллические (*LCD*) индикаторы. Схема индикации одного десятичного разряда содержит три функциональных элемента, а именно: десятичный счетчик, дешифратор, т.е преобразователь выходного кода счетчика (4 разряда) в код управления индикатором (7 сегментов), и индикаторы.

Среди светодиодных наибольшее распространение получили индикаторы с общим анодом (ОА), подключаемые непосредственно к источнику питания с напряжением +5 В, например АЛС324Б, АЛС342Б.

При решении схемы управления индикатором в ТТЛ-технологии можно использовать счетчик 155ИЕ6 и дешифратор 514ИД2, при этом в цепь каждого сегмента включается токоограничивающий резистор величиной 68 Ом (рис. 17).

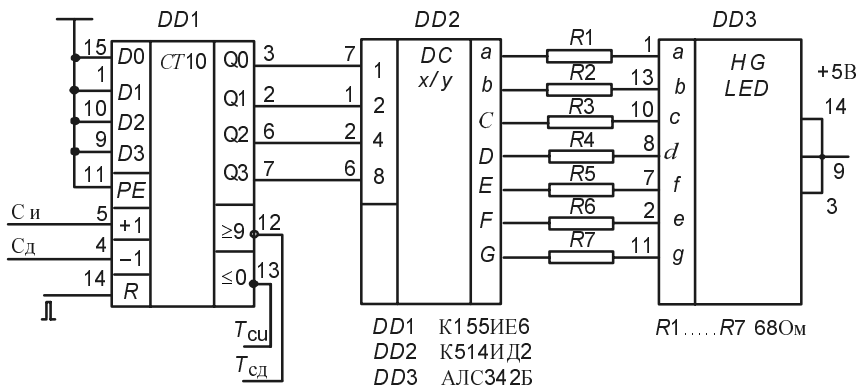


Рис. 17

Здесь входы предустановки счетчика *DD1* ($D0...D3$) и вход разрешения ее записи (*PE*) не используются. Входы $C_{и}$ и $C_{д}$ предназначены для подачи счетных импульсов, увеличивающих $C_{и}$ или уменьшающих $C_{д}$

содержимое счетчика, выходы $T_{\text{си}}$ и $T_{\text{сд}}$ служат для увеличения разрядности индикации.

Для управления работы индикаторов с токами сегментов не более 5 мА можно использовать микросхемы, выполненные по КМОП-технологии, например 176ИЕ4, которая включает в себя как десятичный счетчик, так и дешифратор, что упрощает схему узла индикации (рис. 18).

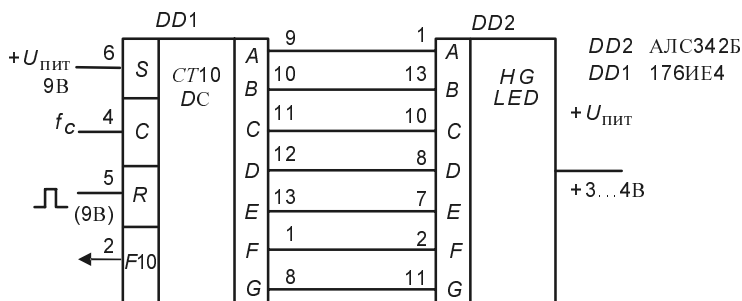


Рис. 18

На вход S счетчика подается напряжение питания $U_{\text{пит}} = +9 \text{ В}$, что обеспечивает его работу с LED индикаторами с общим анодом. В качестве индикаторов можно использовать АЛС342Б, АЛС324Б при пониженном до 3...4 В напряжении питания, что, однако, снижает яркость их засветки. Счетная последовательность f_c подается на вход C счетчика $DD1$, сброс обеспечивается подачей сигнала высокого уровня на вход R , а выход $f/10$ служит для увеличения разрядности путем подключения к входу C счетчика следующего десятичного разряда.

Большой нагрузочной способностью обладает микросхема дешифратора К176 ИД2 (рис. 19), допускающая применение индикаторов с общим анодом при номинальном (+5 В) напряжении питания.

Вход K микросхемы используется для разрешения индикации: при подаче напряжения высокого уровня индикатор гаснет; низкий уровень на входе K разрешает индикацию. При подаче на дополнительный вход C низкого уровня происходит запоминание сигналов на входах, т. е. показания индикатора не изменяются; высокий уровень разрешает работу дешифратора. Для формирования кода управления в схеме на рис. 19 применен счетчик К176ИЕ2, работающий как десятичный; возможно применение других десятичных счетчиков, выполненных по КМОП-технологии. Наряду со счетным входом C , куда подаются счетные импульсы f_c , схема содержит вход разрешения счета EC (счет разрешается при подаче высокого уровня), который позволяет производить счет в

заданном временном интервале T . Выход $f/10$ счетчика, как и в предыдущих случаях, используются для увеличения разрядности индикации.

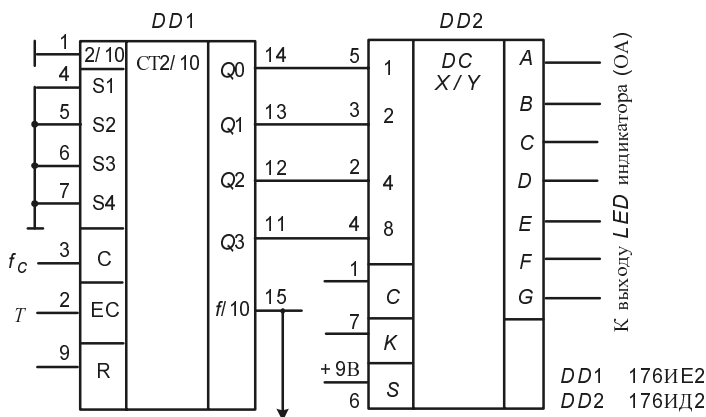


Рис. 19

Для управления работой жидкокристаллических (*LCD*) индикаторов допускается использование микросхем 176IE3, 176IE4 и дешифраторов 564ИД4 и 564ИД5 без каких-либо дополнительных согласующих элементов.

8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Ряд заданий на курсовое проектирование содержит требование разработки блока питания, обеспечивающего работу схемы от сети 220 В, 50 Гц или 110 В 400 Гц. Функционально такие блоки питания состоят из понижающего трансформатора; выпрямителей переменных напряжений, снимаемых с его вторичных обмоток; сглаживающих фильтров; стабилизаторов постоянного напряжения и выходных емкостных накопителей.

В качестве понижающих целесообразно использовать стандартные трансформаторы типа ТПП-220-50 или ТПП-110-400. Особенностью трансформаторов этого типа является наличие нескольких секций вторичной обмотки, каждая из которых обеспечивает определенное значение напряжений $U_{\text{ном}}$ и тока $I_{\text{ном}}$. При последовательном соединении секций обеспечивается сложение напряжений, т. е. $U = U_{\text{ном1}} + U_{\text{ном2}}$; при этом «конец» предыдущей секции (старшая цифра ее индекса) должен соединяться с «началом» следующей (младшая цифра индекса), а значение $U_{\text{ном}}$ секций могут быть любыми. При параллельном соедине-

нии секций, обеспечивающих одинаковые $U_{\text{ном}}$, объединяются начала и концы обмоток и обеспечивается сложение токов $I_{\text{ном}}$. Суммарная выходная мощность трансформатора выражается параметром $P_{\text{ном}}$; при этом $P_{\text{ном}} \geq P_{\text{потр}}$, где $P_{\text{потр}}$ – мощность, потребляемая питаемой схемой.

Для питания аналоговых и цифровых микросхем используют стандартные стабилизированные значения питающих напряжений: симметричное $\pm 15\text{В}$ и униполярные $(+5, +9, +12, +15)\text{В}$ при токах нагрузки, лежащих в пределах $(0,2 - 1,5)\text{А}$. В качестве стабилизаторов напряжения можно использовать микросхемы серии КР142ЕН5 – ЕН9, обеспечивающие указанные значения питающих напряжений с коэффициентом стабилизации не ниже $0,05\%$ В. Параметры микросхем серии КР142ЕН и схемы их включения приведены в справочной литературе. Следует отметить, что для питания узлов индикации, усилителей мощности и т. п. стабилизация питающего напряжения, как правило, не требуется, что упрощает схемное решение блока питания.

Рассмотрим пример схемы блока питания, обеспечивающего на выходах:

а) стабилизированное напряжение $\pm 15\text{ В}$ при токе нагрузки 80 мА , предназначенное для питания микросхем ОУ;

б) стабилизированное (униполярное) напряжение $+9\text{ В}$ при токе нагрузки 60 мА , предназначенное для питания цифровых микросхем;

в) нестабилизированное напряжение $+5\text{ В}$, предназначенное для питания цифровых индикаторов; максимальный ток нагрузки составляет 210 мА (при полной засветке индикаторов).

Питание осуществляется от сети переменного тока 220 В , 50 Гц . Стабилизированные напряжения ($\pm 15\text{ В}$ и 9 В) относятся к стандартным, и в качестве стабилизаторов можно воспользоваться микросхемами КР142ЕН6 и КР142ЕН8А, основные параметры которых приведены в табл. 3.

Таблица 3

Тип микросхемы	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	$I_{\text{н}}, \text{max}, \text{А}$	$I_{\text{вх}}, \text{max}, \text{В}$	$K_{\text{ст}}, \%$	$I_{\text{потр}}, \text{мА}$	$(U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}})_{\text{min}}, \text{В}$
КР142ЕН6	$(\pm 15) \pm 0,3$	0,2	± 30	0,002	$\pm 7,5$	$\pm 2,2$
КР142ЕН8А	$(+9) \pm 0,27$	1,5	35	0,05	10	2,5

Здесь: $K_{\text{ст}}$ – коэффициент стабилизации; $I_{\text{потр}}$ – ток, потребляемый самой микросхемой (без учета тока, отдаваемого в нагрузку); $U_{\text{вх max}}$ – максимальное значение входного (постоянного) напряжения; $(U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}})_{\text{min}}$ – минимальное падение напряжения на микросхеме.

Учитывая требование задания (значение токов в нагрузке) и значение входных напряжений микросхем стабилизаторов, выбираем трансформатор типа ТПП – 235 -220 – 50, электрические параметры которого приведены в табл. 4.

Таблица 4

$P_{\text{ном}}, \text{ВА}$	$I_{\text{ном}}, \text{мА}$	Напряжение на выводах секций вторичной обмотки					
		11–12	13–14	15–16	17–18	19–20	21–22
9	105	20	20	20	20	5	5

Здесь: 11–12, 13–14 и т. д. – индексы секций вторичной обмотки (младшая цифра индекса – начало, старшая – конец секции). Для обеспечения симметричного напряжения $\pm 15 \text{ В}$ посредством микросхемы КР142ЕН6 соединим последовательно две секции, рассчитанные на $U_{\text{ном}} = 20 \text{ В}$ (например, 15–16 и 17–18); при этом их общий вывод (16 и 17) образует среднюю точку. Для подключения микросхемы КР142ЕН8А достаточно одной секции с $U_{\text{ном}} = 20 \text{ В}$ (например, 11–12). Нестабилизированное напряжение $+5 \text{ В}$ при токе нагрузке $I_{\text{н}} = 210 \text{ мА}$ можно получить посредством параллельного соединения секций 19–20 и 21–22; при этом обеспечивается ток, отдаваемый в нагрузку, равный удвоенному номинальному значению.

Для выпрямления напряжений, снимаемых со вторичных обмоток трансформатора, воспользуемся диодными сборками КЦ407А и КЦ412А, данные которых предоставлены в табл. 5.

Таблица 5

Тип сборки	$U_{\text{вх max}}, \text{В}$	$U_{\text{кз}}, \text{В}$	$I_{\text{выпр}}, \text{мА}$
КЦ407А	300	2,5	300
КЦ412А	50	1	1500

Здесь: $U_{\text{вх max}}$ – максимальное значение переменного входного напряжения, $U_{\text{кз}}$ – падение напряжения на сборке при токе в нагрузке 200 мА , $I_{\text{выпр}}$ – максимальное значение выпрямленного тока, отдаваемого в нагрузку. Обе сборки, представляющие собой матрицы из диодов, соединенных по схеме двухполупериодного выпрямителя, удовлетворяют исходным данным как по $U_{\text{вх max}}$, так по $I_{\text{выпр}}$, однако для питания индикаторов разумно использовать сборку КЦ412А, имеющую запас по току.

Принципиальная схема блока питания приведена на рис. 20. Значения емкостей $C3$ и $C4$ определяются типовой схемой включения

КР142ЕН6; значения накопительных емкостей $C5$, $C6$, $C8$ определяются характером тока в соответствующей нагрузке и обычно выбираются в пределах $10...100$ мкФ (пиковый характер тока требует больших значений накопительных емкостей во избежания выхода из строя микросхем стабилизаторов). Емкости $C1$, $C2$, $C7$, а также $C3$ образуют сглаживающие фильтры и предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленных напряжений. Их значения, в частности, зависят от величины тока, отдаваемого в нагрузку, и обычно лежат в пределах $100...1000$ мкФ при токах, не превосходящих 1 А.

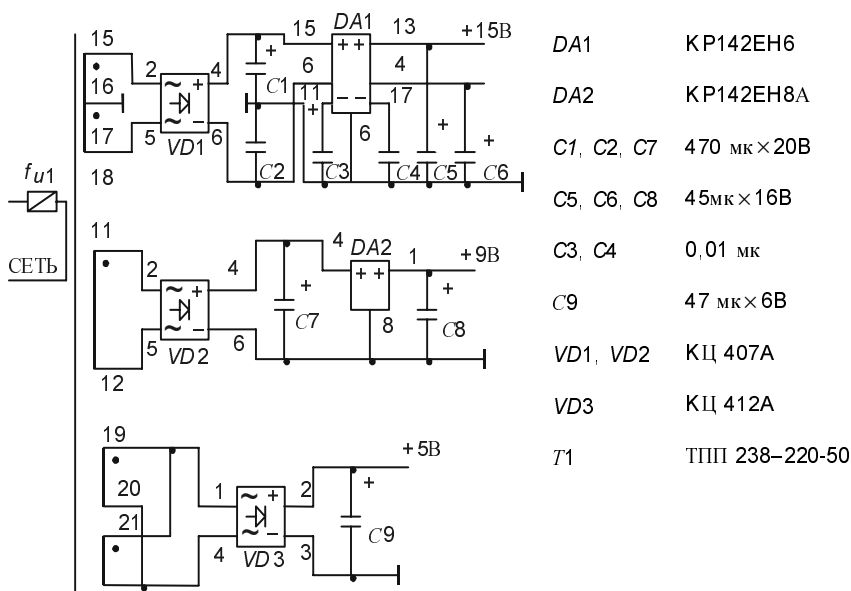


Рис. 20

Для получения стабилизированных напряжений питания, значения которых отличаются от стандартных, можно использовать микросхемы КР142ЕН1 – ЕН4, $U_{\text{НОМ}}$ которых регулируется в пределах $(3-30)$ В при токах нагрузки $I_{\text{НОМ}} = (0,15-1)$ А, или схемами параметрических стабилизаторов с повышенной нагрузочной способностью. Отметим также, что для получения симметричного питания соответствующая обмотка трансформатора может не иметь средней точки, подключаемой к общему выходу. В этом случае искусственная средняя точка обеспечивается емкостями фильтра ($C1$, $C2$, рис. 21). Пример схемного решения с использованием параметрических стабилизаторов приведен на рис. 21.

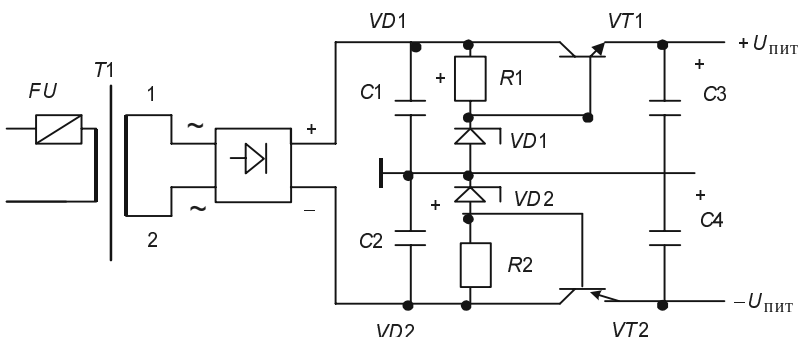


Рис. 21

На рисунке обозначено: 1–2 вторичная обмотка трансформатора $T1$; $C1 = C2$ – емкости фильтра, общий вывод которых образует искусственную среднюю точку; $VD1$ и $VD2$ – стабилитроны, обеспечивающие равные значения напряжений стабилизации $U_{ст}$; $R1 = R2$ – балластные резисторы; $VT1$ и $VT2$ – комплементарные транзисторы (например, КТ815 и КТ814), обеспечивающие заданный ток нагрузки; при этом значении $\pm U_{пит} = \pm U_{ст}$, а коэффициент стабилизации определяется как $K_{ст} = (U_{вх}/U_{пит}) = 10 \dots 100$.

9. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Проект должен содержать пояснительную записку и графические материалы, выполненные в соответствии с требованиями ЕСКД и нормоконтроля.

Пояснительная записка должна быть написана от руки черными или фиолетовыми чернилами на обеих сторонах листа белой нелинованной бумаги формата 210×297 мм. Ориентировочный объем пояснительной записки 15–30 страниц. Она должна содержать:

- титульный лист;
- задание на курсовой проект;
- список принятых сокращений;
- введение;
- выбор и обоснование функциональной схемы;
- выбор и расчет узлов принципиальной схемы;
- диаграммы напряжений и токов в контрольных точках схемы;
- полную принципиальную электрическую схему устройства;
- спецификацию элементов принципиальной схемы;
- заключение;
- библиографический список.

Рисунки и схемы можно выполнять на миллиметровой бумаге.

Библиографический список

1. *Опадчий Ю. Ф.* и др. Аналоговая и цифровая электроника: Учебник для вузов. М.: Горячая Линия–Телеком, 2002. 768 с.
2. *Аш Ж.* и др. Датчики измерительных систем: В 2 кн.: Пер. с фр. М.: Мир, 1992. 480 с.
3. *Угрюмов Е. П.* Цифровая схемотехника. СПб.: БХВ–Санкт-Петербург, 2000. 528 с.
4. *Нефедов А. В.* Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги: Справочник: В 12 т., М.: ИП Радиоспорт, 2001.
5. *Медведев Б. Л., Пирогов Л. Г.* Практическое пособие по цифровой схемотехнике. М.: Мир, 2004. 408 с.
6. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника. М.: Мир, 1983. 512 с.
7. *Токхейм Р.* Основы цифровой электроники. М.: Мир, 1988. 392 с.
8. *Алексеев А. Г., Коломбет Е. А., Стародуб Г. И.* Применение прецизионных аналоговых микросхем. М.: Радио и связь, 1985. 256 с.
9. Расчет электронных схем. Примеры и задачи / *Г. И. Изъюрова, Г. В. Королев, В. А. Терехов* и др.; М.: Высшая школа, 1987. 335 с.
10. *Вениаминов В. Н., Лебедев О. Н., Мирошниченко А. И.* Микросхемы и их применение: Справочное пособие. М.: Радио и связь, 1989. 240 с.
11. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / Под ред. *С. В. Якубовского*. М.: Радио и связь, 1989. 496 с.
12. *Воробьев Н. И.* Проектирование электронных устройств. М.: Высшая школа, 1989. 223 с.
13. *Шило В. Л.* Популярныe цифровые микросхемы: Справочник. М.: Радио и связь, 1989. 352 с.
14. *Федорков Б. Г.* и др. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение, М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.
15. *Сидоров И. Н.* Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник. М.: Радио и связь, 1985.

Содержание

1. Цель и содержание курсовой работы	3
2. Типовые варианты заданий	3
3. Типовые преобразователи аналогового сигнала	6
4. Измерение амплитуды сигнала	12
5. Измерение временных параметров сигналов	17
6. Коммутаторы сигналов	21
7. Схемы индикации	23
8. Проектирование схем источников питания	25
9. Оформление курсовой работы	29