



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Автоматизация производственных процессов»

Практикум
по дисциплине
«Средства автоматизации и управления»

**«Емкостные датчики
перемещений
и пример проектирования
преобразователя
сигналов»**

Автор
Самосудов А.П.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

В практикуме рассмотрены функциональные возможности, принцип действия, конструктивные исполнения и технические характеристики емкостных датчиков, а также пример проектирования преобразователя аналогового изменения емкости датчика в дискретный электрический сигнал требуемых параметров и схема электрическая принципиальная электронного преобразователя.

Практикум предназначен для студентов очной и заочной форм обучения направлений 15.03.04. «Автоматизация технологических процессов и производств» и 27.03.04. «Управление в технических системах».

Авторы

к.т.н., доцент Самосудов А.П.



Оглавление

1. Емкостные датчики перемещений	4
2. Пример проектирования преобразователя сигналов ..	11
3. Варианты индивидуальных заданий	19
Приложение 1. Диэлектрическая проницаемость некоторых материалов и веществ	22
Литература.....	23

1. ЕМКОСТНЫЕ ДАТЧИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Качественное функционирование автоматических систем управления техническими объектами и технологическими процессами (АСУ ТО и ТП) невозможно без наличия достоверной информации о состоянии объекта управления, определяемом величинами его соответствующих параметров в каждый текущий момент времени. Таким образом, для управления, регулирования, контроля и защиты машин и оборудования используют чувствительные элементы, регистрирующие текущее состояние устройства или технологического процесса; при этом, в зависимости от вида сенсорных сигналов, различают аналоговые, двоичные и цифровые сенсоры.

В настоящее время благодаря простоте, высокой надёжности, низкой стоимости и другим достоинствам, продолжают находить широкое применение аналоговые датчики, которые позволяют преобразовывать механические параметры, например, длину пути в электрические сигналы. После соответствующей калибровки, т.е. установления связи между измеряемой величиной и индикацией, выходной сигнал возможно представить в физических величинах, например, у измерительных датчиков перемещений – в миллиметрах.

Среди всего многообразия измеряемых параметров значительное место занимают датчики измерения угловых и линейных перемещений, пути. Возможностью измерения в широком диапазоне (от долей мм до 2 м) и с достаточной точностью измерений обладают емкостные датчики [1, 2].

Емкостные датчики обладают целым рядом преимуществ по сравнению с датчиками других типов. К их достоинствам относятся:

- простота изготовления, использование недорогих материалов для производства;
 - малые габариты и вес;
 - низкое потребление энергии;
 - высокая чувствительность;
 - отсутствие подвижных токосъёмных контактов (в некоторых случаях – один токосъём);
 - долгий срок эксплуатации;
 - отсутствие влияния выходной цепи на измерительную;
 - простота приспособления формы датчика к различным задачам и конструкциям;
- высокое быстродействие, возможность получения необхо-

димого закона преобразования за счет выбора соответствующих конструктивных параметров;

-потребность весьма малых усилий для перемещения подвижной части емкостного датчика.

Наиболее ценными качествами емкостных датчиков являются малая величина механического усилия, необходимого для перемещения его подвижной части, возможность регулировки выхода следящей системы и высокая точность работы – делают емкостные датчики незаменимыми в приборах, в которых допускаются погрешности лишь в сотые и даже тысячные доли процента.

Наибольшая чувствительность емкостного преобразователя имеет место, когда его пластины максимально близки друг к другу. Однако принято считать, что расстояние между ними не может быть менее чем 100 мкм, поскольку в реальности пластины могут быть непараллельными и не плоскими и обладать излишней шероховатостью. Поэтому существует опасность их соприкосновения. В результате оказывается предпочтительным иметь большие по площади пластины даже с большим зазором между ними.

Для измерений смещений менее 1 мм применяются емкостные преобразователи с изменяющимся расстоянием между пластинами. Для измерения смещений, превышающих 1 мм, чаще всего используются преобразователи с изменяющейся площадью перекрытия пластин. В современных емкостных преобразователях обеспечивается возможность измерения перемещений порядка долей микрона. Роль одной из пластин конденсатора может выполнять само изделие, перемещение которого подлежит измерению.

Емкостные преобразователи применяются главным образом в стационарных условиях для проведения стендовых исследований и для прецизионных измерений физических величин. Эти датчики чувствительны к температурным колебаниями и изменению влажности. Они могут давать ошибочный или искаженный сигнал, если соединительные провода имеют большую длину и собственные емкость и индуктивность. Калибровка таких датчиков должна производиться вместе с кабелем.

Для подключения емкостных датчиков особенно важно использовать бифилярную обмотку, которая в общем случае представляет собой витки из уложенных рядом, но обеспечивающих противоположное направление протекания тока проводников. Такая обмотка обеспечивает не только

электрический контакт, но и взаимное уничтожение полей, создаваемых противоположно протекающими токами: эти поля ведут к созданию реактивного сопротивления соединительных кабелей. Таким образом, можно считать, что бифилярная обмотка обладает чисто активным омическим сопротивлением.

По способу исполнения все емкостные измерительные преобразователи можно разделить на одноемкостные и двухъемкостные датчики. Последние бывают дифференциальными и полудифференциальными.

Одноемкостный датчик прост по конструкции и представляет собой один конденсатор с переменной емкостью. К его минусам относится значительное влияние внешних факторов, таких как влажность и температура. Для компенсации указанных погрешностей применяют дифференциальные конструкции. Недостатком таких датчиков по сравнению с одноемкостными является необходимость как минимум трех (вместо двух) экранированных соединительных проводов между датчиком и измерительным устройством для подавления так называемых паразитных емкостей. Однако этот недостаток окупается существенным повышением точности, стабильности и расширением области применения таких устройств.

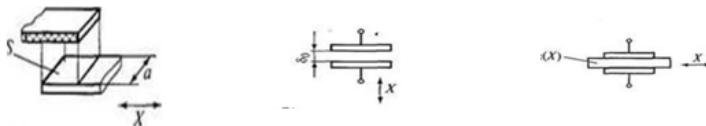
В некоторых случаях дифференциальный емкостный датчик создать затруднительно по конструкторским соображениям (особенно это относится к дифференциальным датчикам с переменным зазором). Однако, если и при этом образцовый конденсатор разместить в одном корпусе с рабочим, выполнить их по возможности идентичными по конструкции, размерам, применяемым материалам, то будет обеспечена значительно меньшая чувствительность всего устройства к внешним дестабилизирующим воздействиям. В таких случаях можно говорить о полудифференциальном емкостном датчике, который, как и дифференциальный, относится к двухъемкостным.

Специфика выходного параметра двухъемкостных датчиков, который представляется как безразмерное соотношение двух размерных физических величин (в нашем случае – емкостей), дает основание именовать их датчиками отношения. При использовании двухъемкостных датчиков измерительное устройство может вообще не содержать образцовых мер емкости, что способствует повышению точности измерения.

Принцип действия емкостных датчиков основан на преобразовании линейных или угловых перемещений в изменение емкости конденсатора. Так как сила электростатического взаимодействия между пласти-

нами очень мала, то рассматриваемые датчики находят широкое применение и тех случаях, когда недопустимы большие измерительные усилия. Большинство емкостных датчиков работают на частотах 400 Гц и выше.

Емкость конденсатора, $C = \epsilon \epsilon_0 S / \delta \dots (1)$, или $C = \epsilon \epsilon_0 X / \delta \dots (2)$, где ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика; ϵ_0 - диэлектрическая



проницаемость вакуума; S - площадь пластины; δ - толщина диэлектрика или расстояние между пластинами.

a - ширина пластин конденсатора; X - длина перекрытия электродов.

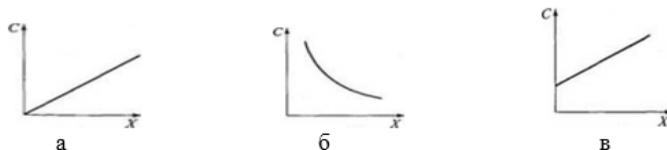


Рис.1. Схемы и характеристики емкостных датчиков с различными изменяемыми параметрами:

a — площади перекрытия пластин; b — расстояния между пластинами; b - диэлектрической проницаемости вещества в зазоре.

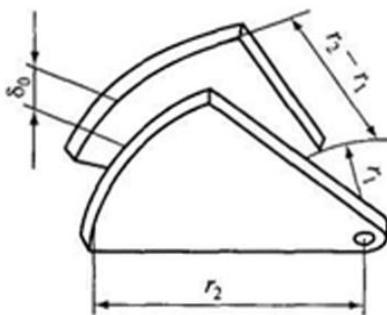


Рис. 2. Емкостный датчик для измерения угловых величин

Из приведенного соотношения видно, что на емкость конденсатора можно влиять изменением площади перекрытия пластин S (рис.1.а), расстояния между ними δ (рис. 1.б), диэлектрической проницаемости ϵ вещества, находящегося в зазоре между

обкладками конденсатора (рис. 1. *в*). Выбор того или иного изменяемого параметра зависит от характера измеряемой величины. Емкостные датчики (преобразователи) используют для измерения угловых и линейных перемещений, линейных размеров, уровня, усилий, влажности, концентрации и др. Конструктивно они могут быть выполнены с плоскопараллельными, цилиндрическими, штыревыми электродами, с диэлектриком между пластинами и без него. Емкостные преобразователи перемещения с переменной площадью перекрытия (рис. 2) используют и для измерения угловых величин. В этом случае емкость измерительного преобразователя

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0(r_2^2 - r_1^2)}{2\delta} (\varphi_0 - \varphi),$$

$$K_s = \varepsilon\varepsilon_0(r_2^2 - r_1^2)/2\delta,$$

а чувствительность

где r_2 , r_1 - соответственно наружный и внутренний радиусы пластин; φ , φ_0 - соответственно текущий (измеряемый) и начальный углы перекрытия пластин.

Из приведенных здесь и выше выражений (1) и (2) видно, что все входящие в них величины, кроме измеряемых X или φ , постоянны, т.е. статическая характеристика такого емкостного датчика линейна (см. рис.1.*а*). Преобразователи такого типа применяют для измерения сравнительно больших (до десятков сантиметров, а при использовании специальных конструкций – до 2 метров) перемещений. Погрешности емкостных преобразователей в основном определяются влиянием температуры и влажности на геометрические размеры и диэлектрическую проницаемость среды. Уменьшить погрешности можно, используя конструкционные материалы с малым температурным коэффициентом линейного расширения, или с помощью герметизации датчиков. Наиболее часто емкостные датчики применяют для точных измерений механических перемещений, измерений меняющихся давления или уровня, и т. п.

Сравнительно новыми приборами, доведенными до широко промышленного применения в последние годы, стали малогабаритные емкостные инклинометры (датчики крена) с электрическим выходным сигналом, пропорциональным углу наклона датчика.

В качестве основных можно считать следующие области применения инклинометров:

- определение величины прогибов и деформаций различного рода опор и балок;

Средства автоматизации и управления

- использование в системах «горизонтирования» платформ;
- определение углового перемещения различного рода вращающихся объектов
 - валов, колес, механизмов редукторов как на стационарных, так и подвижных объектах.
 - контроль углов наклона автомобильных и железных дорог при их строительстве, ремонте и эксплуатации;
 - определение крена автомобилей, кораблей и подводных роботов, подъемников и кранов, экскаваторов, сельскохозяйственных машин;

Инклинометр (датчик крена) представляет собой дифференциальный емкостной преобразователь наклона, включающий в себя чувствительный элемент в форме капсулы.

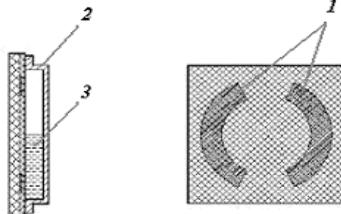


Рис. 3. Устройство емкостного инклинометра

Капсула состоит из подложки с двумя планарными электродами 1, покрытыми изолирующим слоем, и герметично закрепленным на подложке корпусом 2. Внутренняя полость корпуса частично заполнена проводящей жидкостью 3, которая является общим электродом чувствительного элемента. Общий электрод образует с планарными электродами дифференциальный конденсатор. Выходной сигнал датчика пропорционален величине емкости дифференциального конденсатора, которая линейно зависит от положения корпуса в вертикальной плоскости. Инклинометр спроектирован так, что имеет линейную зависимость выходного сигнала от угла наклона в одной – так называемой рабочей плоскости и практически не изменяет показания в другой (нерабочей) плоскости, при этом его сигнал слабо зависит от изменения температуры. Для определения положения плоскости в пространстве используется два, расположенных под углом 90° друг к другу инклинометра. Малогабаритные инклинометры с электрическим выходным сигналом, пропорциональным углу наклона датчика, являются сравнительно новыми приборами. Их высокая точность, миниатюрные размеры, отсутствие подвижных механических узлов, простота крепления на объекте и низкая стоимость делают

Средства автоматизации и управления

целесообразным использовать их не только в качестве датчиков крена, но и заменять ими угловые датчики, причем не только на стационарных, но и на подвижных объектах.

В реальных условиях часто возникает необходимость передачи аналоговой электрической информации от емкостных датчиков на значительные расстояния. В этих случаях целесообразно аналоговый сигнал преобразовать в дискретный, при этом возможны различные технические решения – одним из простейших является использование мультивибратора.

2. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СИГНАЛОВ

Выбор типа и исполнения емкостного датчика
Для контроля угла поворота в заданном диапазоне 20°...60° выбираем из каталога производителя датчиков Regal [3] емкостной датчик углового положения, серия 9800, наименование: 9807 R5K L2.0. Название продукта: Датчик углового положения. Каталожный номер ELFA: 64-900-72,¹

Производитель: Regal

Технические параметры

- Short Description: Датчик углового положения 5 кОм 85 °
- Допуск, сопротивление: ± 20 %
- Импеданс: 5 к Ω ; 5 кOhm
- Линейность: ± 2 %
- Подключение: Штекер
- Рабочая температура, мин.: -40 °C
- Рабочее напряжение: 1...25 V
- Рабочее напряжение, макс.: 25 V
- Рабочее напряжение, мин.: 1 V
- Срок службы: 1×10^6 циклов
- Угол, электрический: 85 °
- Угол, механический: 120°
- Уровень нагрузки: 0.15 W
- Условное обозначение сопротивления: 5K
- Рабочая температура: -40...+135 °C
- Описание: Плоская головка
- Рабочая температура, макс.: +135 °C
- Степень защиты: IP 66/67

Доп. наименование: Angular-position sensor 5 кOhm 85 deg

1. Датчик углового положения с высоким классом защиты
2. Исключительная надежность, длительный срок службы и высокая точность

3. Различные драйверы, все с возвратной пружиной

4. Направление вращения вправо
5. Устанавливается в корпуса машин или электрические инструменты.

Учитывая простоту и высокую надёжность, в качестве электронного устройства для преобразования аналогового изменения ёмкости датчика в длительность импульса напряжения прямоугольной формы выберем мультивибратор в автоколебательном режиме.

Мультивибратором называется импульсный генератор релаксационного типа с глубокой положительной обратной связью на цепях RC, форма выходных импульсов близка к прямоугольной.

В автоколебательном режиме мультивибратор генерирует периодические колебания — автоколебания. Для их возникновения не требуются внешние воздействия, достаточно подключения источника питания.

Мультивибраторы применяются в устройствах автоматики, вычислительной и измерительной техники (в том числе в реле времени, задающих устройствах и формирователях ЭВМ), в устройствах радиотехники в качестве задающих генераторов и формирователей импульсов, делителей частоты, бесконтактных переключателей тока и прочих.

Параметры выходного сигнала мультивибратора - длительность импульса существенно зависит от величин ёмкостей конденсаторов в цепи обратной связи. Поэтому, используя в качестве одного из конденсаторов ёмкостной датчик, возможно реализовать преобразование аналогового изменения ёмкости датчика в длительность выходных импульсов.

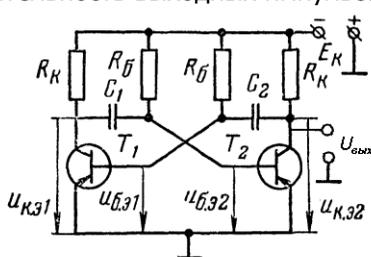


Рис. 2а. Схема мультивибратора на $p-n-p$ транзисторах.

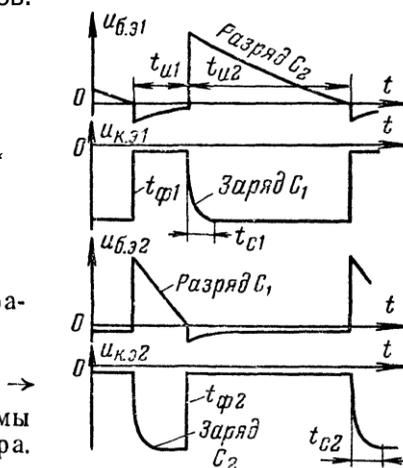


Рис. 2б. Временные диаграммы напряжений мультивибратора.

Схему мультивибратора возможно реализовать на биполярных и униполярных транзисторах, на операционном усилителе, логических элементах, на рисунке 2а показана наиболее распространенная схема мультивибратора на транзисторах с емкостными коллекторно-базовыми связями.

Качественные характеристики работы преобразователя существенно зависят от стабильности питающего напряжения. Для повышения стабильности питающего напряжения целесообразно использовать стабилизатор напряжения.

Основным показателем, характеризующим работу стабилизатора, является коэффициент стабилизации напряжения $K_{ст}$, показывающий, во сколько раз относительное изменение напряжения на выходе стабилизатора $\Delta U_{вых}/U_{вых}$ меньше относительного изменения напряжения на его входе $\Delta U_{вх}/U_{вх}$.

На рис.3 изображены схемы параметрических стабилизаторов напряжения с кремниевыми стабилитронами (СТ). Для стабилизации напряжения в них используется свойство стабилитрона, состоящее в том, что при значительных изменениях тока через стабилитрон $I_{ст}$ напряжение на нем $U_{ст}$ изменяется незначительно.

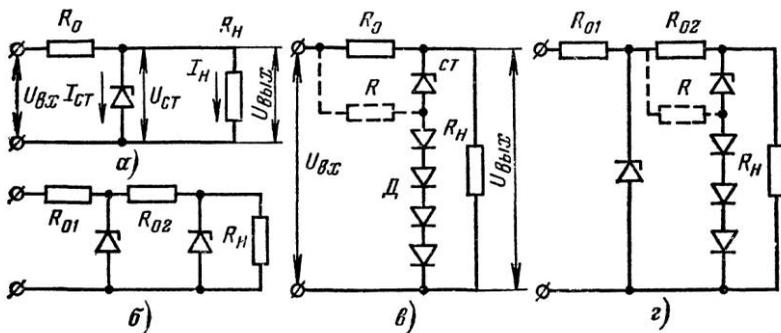


Рисунок 3. Схемы параметрических стабилизаторов напряжения. б – двухкаскадного; в – однокаскадного с температурной компенсацией; г - двухкаскадного с температурной компенсацией

Диоды, имеющие при включении в прямом направлении отрицательный температурный коэффициент напряжения (ТКН), служат для температурной компенсации напряжения стабилитрона, имеющего при обратном включении положительный ТКН. При этом необходимо, чтобы суммарный ТКН диодов был равен значению ТКН стабилитрона. ТКН диодов можно менять в небольших пределах, изменяя при помощи резистора R ток через диоды.

Протекание дополнительного тока через диоды уменьшает динамическое сопротивление диодов, что способствует уменьшению общего динамического сопротивления $R_{до}$ и увеличению коэффициента стабилизации $K_{ст}$.

Из-за увеличения сопротивления $R_{до}$ за счет сопротивления диодов в стабилизаторах с термокомпенсацией ухудшается стабилизация напряжения в 2—4 раза по сравнению со схемой без термокомпенсации, которую применяют при постоянной температуре окружающей среды. Коэффициент стабилизации однокаскадной параметрической схемы составляет около 10—20.

Для получения большего коэффициента стабилизации применяются двухкаскадные стабилизаторы (рис.3.г). Их коэффициент стабилизации равен произведению коэффициентов стабилизации каждого каскада $K_{ст} = K_{ст1} K_{ст2}$. В двухкаскадных стабилизаторах температурная стабилизация осуществляется во втором каскаде.

Стабилизаторы обладают также сглаживающим действием. Коэффициент пульсации выпрямленного напряжения на выходе стабилизатора уменьшается в $K_{ст}$ раз по сравнению с коэффициентом пульсации на его входе: $K_{п.вых} = K_{п.вх} / K_{ст}$.

В двухкаскадном стабилизаторе можно получить сравнительно большой коэффициент стабилизации, но в нем возрастают потери напряжения на стабилизаторе. Потери напряжения на каждом каскаде возрастают с увеличением тока нагрузки. Параметрические стабилизаторы применяются при токах, не превышающих максимально допустимого тока стабилитрона, указанного в справочнике.

Более высокие показатели работы обеспечивают транзисторные компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения.

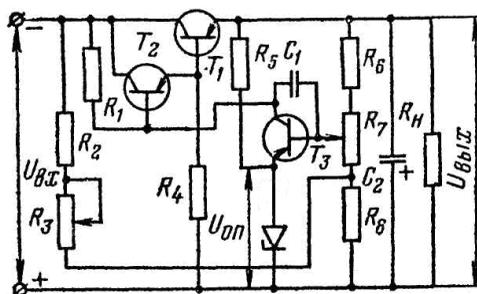
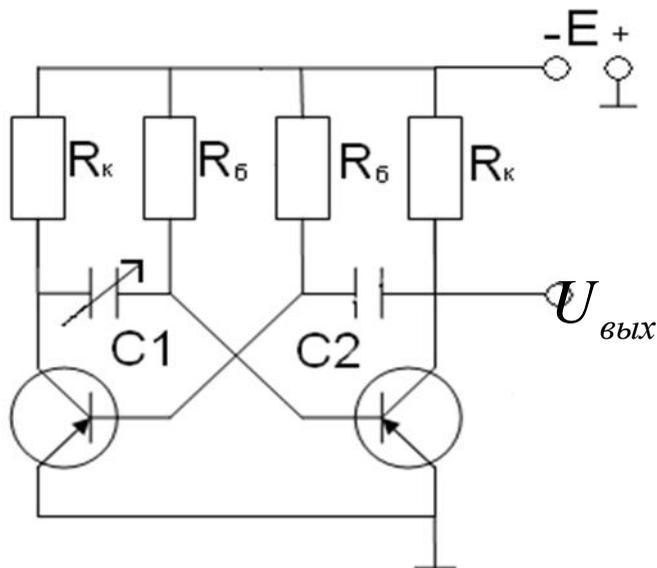


Рисунок 4. Схема компенсационного транзисторного стабилизатора напряжения

На рис. 4 изображена одна из практических схем транзисторного стабилизатора. Схема содержит три основных элемента: регулирующий элемент на транзисторах T_1 и T_2 , усилительный элемент (усилитель постоянного тока) на транзисторе T_3 и источник опорного напряжения на стабилитронах. Собственно регулирующим элементом является транзистор T_1 а транзистор T_2 является согласующим элементом между большим выходным сопротивлением усилителя постоянного тока и малым входным сопротивлением регулирующего транзистора T_1 .

Достоинством транзисторных стабилизаторов является возможность получения большого тока нагрузки и регулировки выходного напряжения, а также малое выходное сопротивление (не более 10 Ом). Выходное напряжение регулируется путем изменения сопротивления резистора R_7 . Следовательно, учитывая входные характеристики мультивибратора и параметры стабилизаторов, в разрабатываемом устройстве будем использовать схему компенсационного транзисторного стабилизатора напряжения.

Расчёт электрический мультивибратора в автоколебательном режиме



1. Выбор типа транзистора. Транзистор выбирают по предельной частоте $f_{h21б}$, максимально допустимому напряжению $U_{кб_max}$ и статическому коэффициенту передачи по току $h_{21э}$.

Транзистор должен иметь коэффициент передачи по току

$$h_{21э} \geq \frac{Q-1}{0,23} \cdot k_{нас}.$$

Необходимое значение предельной частоты выбираемого транзистора $f_{h21б} \geq 5 \cdot \frac{Q-1}{t_{н1}}$,

где Q – скважность ($Q = \frac{T}{t_{н1}}$, в данном случае $Q = 2$,

т.к. $T = t_{н1} + t_{н2}$, $t_{н1} = t_{н2}$);

$k_{нас}$ – коэффициент насыщения (выбирают $k_{нас} = 2 \div 3$);

$$h_{21э} \geq \frac{2-1}{0,23} \cdot 2 = 8,6.$$

Необходимое напряжение источника питания для обеспечения амплитуды выходного сигнала 9 В: $E_k = (1,1 \div 1,2) U_k$,
 $E_k = (1,1 \div 1,2) \cdot 9 = 9,9 \div 10,8 В$

Принимаем $E_k = 10 В$, тогда $U_{кб\text{Lmax}} \geq 2E_k = 20 В$.

По рассчитанным параметрам выбираем по справочнику транзистор *2Т104А*, у которого максимально допустимое напряжение коллектор-база $U_{кб\text{max}} = 30 В$; импульсный ток коллектора $I_{ки} = 50 \text{ мА}$; обратный ток коллектора $I_{кб0} = 1 \text{ мкА}$; предельная частота $f_{h21б} = 5 \text{ МГц}$; статистический коэффициент передачи по току $h_{21э} = 7-40$; наибольшая температура коллекторного перехода $T_{\text{max}} = 60^\circ \text{C}$

2. Выбор резистора R_k .

$$\text{Сопrotивление резистора } R_k \geq \frac{U_k}{I_{к.нас.}}$$

Ток коллектора насыщения $I_{к.нас.}$ определяется с учетом температуры окружающей среды по выражению

$$I_{кнас} \geq I_{ки} \sqrt{\frac{T_{\text{max}} - T_{окр}}{T_{\text{max}} - 20}} = 50 \cdot \sqrt{\frac{150 - 25}{150 - 20}} = 48,8 \text{ мА.}$$

$$R_k \geq \frac{9}{0,05} = 180 \text{ Ом.}$$

Минимально допустимое значение R_k выбирать не следует, так как при этом будет неэкономичным режим работы, в то же время при малом значении R_k уменьшается длительность среза импульса и увеличивается нагрузочная способность схемы.

Выбираем $R_k = (0,1 \div 0,2)R_H$.

$$R_k = (0,1 \div 0,2) \cdot 4400 = (440 \div 880) \text{ Ом}$$

Принимаем $R_k = 680 \text{ Ом}$.

Ток коллектора найдем из выражения $I_k = \frac{U_{\text{бкх}}}{R_k}$

$$I_k = \frac{9}{680} = 0,01324 \text{ А}$$

Рассчитаем мощность $P_{Rk} = I_k^2 \cdot R_k = 0,01324^2 \cdot 680 = 0,1191 \text{ Вт}$

Выберем тип резистора по справочнику [2] : *МЛТ-0,125-680 Ом ±5%*.

3. Выбор резистора R_6 .

Сопротивление резистора R_6 определяем из условия режима насыщения открытого транзистора.

$$R_6 = \frac{h_{21} \cdot R_k}{k_{\text{НАС}}} = \frac{30 \cdot 680}{2} = 10 \text{ кОм}$$

Принимаем $R_6 = 10 \text{ кОм}$.

Ток базы найдем из выражения

$$I_6 = \frac{I_k}{h_{21}} = \frac{0,01324}{30} = 0,000441 \text{ А}$$

Рассчитаем мощность

$$P = I_6^2 \cdot R_6 = 0,000441^2 \cdot 10^4 = 0,00195 \text{ Вт}$$

Выберем тип резистора по справочнику [2] : *МЛТ- 0.125Вт-10 кОм, ±5%*.

4. Проверяем выполнения условия температурной стабильности схемы.

$$I_{k60 \text{ max}} = I_{k60} \cdot 2 \frac{T_{\text{окр}} - 20}{10} = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \frac{25 - 20}{10} = 1 \text{ мкА}$$

$$\frac{I_{к60\max} \cdot R_6}{E_k} = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4}{10} = 0.00102 \ll 1$$

На основании полученного равенства можно не учитывать влияние обратного тока коллектора на длительность импульса и период следования.

5. Вычислим длительность $t_{н1\max}$ и $t_{н1\min}$.

$$t_n = 0,7 \cdot R_6 \cdot C$$

$$t_{н1\max} = 0,7 \cdot 10^4 \cdot 820 \cdot 10^{-12} = 5,8548 \text{ мкс}$$

$$t_{н1\min} = 0,7 \cdot 10^4 \cdot 430 \cdot 10^{-12} = 3,0702 \text{ мкс}$$

Учитывая заданные граничные значения емкости, выберем C_2 в их пределах (430÷820). Принимаем $C_2 = 620 \text{ пФ}$.

$$t_{n2} = 0,7 \cdot R_6 \cdot C_2 = 0,7 \cdot 10^4 \cdot 620 \cdot 10^{-12} = 4,4625 \text{ мкс.}$$

Выберем тип конденсатора по справочнику: *К40У-9-620пФ±20%*.

6. Уточним необходимое значение предельной частоты выбранного транзистора,

$$f_{h21} \geq 5 \cdot \frac{Q-1}{t_{n2}} = 5 \cdot \frac{2-1}{4,46 \cdot 10^{-6}} = 1,12 \text{ МГц} < 5 \text{ МГц}$$

следовательно транзистор выбран *правильно*.

7. Рассчитаем длительность фронта и среза импульсов $t_{\varphi 2}$ и t_{c2} :

$$t_{\varphi 2} = 2 \cdot \frac{0.16}{5 \cdot 10^6} = 0.064 \text{ мкс};$$

$$t_{c2} = 2.3 \cdot R_k \cdot C_2 = 2.3 \cdot 680 \cdot 650 \cdot 10^{-12} = 0,9775 \text{ мкс.}$$

3. ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Шифр	01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
	21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
	41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
	61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00
Вариант задания	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

Для определения своего варианта найдите последние две цифры номера своей зачетной книжки (шифр) и по вертикали определите номер задания.

Выбрать принципиальную схему емкостного датчика, выбрать и рассчитать схему электронного устройства для преобразования аналогового изменения ёмкости датчика в длительность импульса напряжения прямоугольной формы, разработать меры, способствующие повышению стабильности его работы, если задано:

№ варианта	Измеряемый параметр	Ёмкость, С _{min} , пФ	Ёмкость, С _{max} , пФ	Амплитуда вых. сигн. Ивых., В	Нагрузка	
					Rн, кОм	Iн, А
1	Перемещение в диапазоне 0.3 – 0.6 мм	80	180	5	1.8	0.5
2	- « -	90	200	6	2.0	1.0

Средства автоматизации и управления

3	Перемещение в диапазоне 0.5 – 0.9 мм	100	220	7	2.2	0.7 5
4	- « -	110	210	8	2.4	1.2 5
5	Перемещение в диапазоне 1.5 – 3.6 мм	120	240	9	2.6	1.5
6	- « -	130	260	10	2.8	0.5
7	Перемещение в диапазоне 3.0 – 4.6 мм	140	280	11	3.0	1.0
8	- « -	150	300	12	3.2	0.7 5
9	Перемещение в диапазоне 4.5 – 6.0 мм	160	320	13	3.4	1.2 5
10	- « -	170	340	14	3.6	1.5
11	Перемещение в диапазоне 450 – 600 мм	300	660	12	3.8	0.5
12	- « -	360	780	11	4.0	1.0
13	Перемещение в диапазоне 650 – 1200 мм	470	800	10	4.2	0.7 5
14	- « -	480	820	9	4.4	1.2 5
15	Угол поворота в диапазоне 20° – 60°	190	440	8	4.6	1.5
16	- « -	200	460	7	4.8	0.5

Средства автоматизации и управления

17	Угол поворота в диапазоне 40° – 90°	210	480	6	5.0	1.0
18	- « -	220	500	5	5.2	0.7 5
19	Угол поворота в диапазоне 10° – 160°	230	520	10	5.4	1.2 5
20	- « -	240	540	15	5.6	1.5

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ НЕКОТОРЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ

Аммиак.....	16	Поливинилхлорид.....	2,9
Аралдит.....	3,6	Полипропилен.....	2,3
Бакелит.....	3,	Полистирол.....	3,0
Бензол.....	2,3	Полиэтилен.....	2,3
Бумага.....	2,3	Резина мягкая.....	2,5
Бумага промасленная.....	4,0	Резина силиконовая.....	2,8
Вода.....	80	Слюда.....	6,0
Винипласт.....	4,0	Скипидар.....	2,2
Воздух.....	1,0	Спирт этиловый.....	25,8
Гетинакс.....	4,5	Стеклотекстолит.....	5.1
Древесина.....	2-7	Стекло.....	5,0
Компаунд кабельный.....	2,5	Тальк.....	1,6
Керосин.....	2,2	Текстолит.....	7,5
Мрамор.....	8,0	Фторопласт	
Масло трансформаторное.....	22,	(Тефлон).....	2,0
Нефть.....	2,2	Фарфор.....	4,4
Оргстекло.....	3,2	Целлулоид.....	3,0
Полиамид.....	5,0	Цемент.....	2,0
Парафин.....	2,2	Эбонит.....	4,0
Кварцевое стекло.....	3,7	Электрокартон.....	4,0
Кварцевый песок.....	4,5	Толуол.....	2,4
		Фанера.....	4,0

ЛИТЕРАТУРА

1. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации: учебник для студ.высш. учеб. Заведений / Б.В.Шандров, А.Д.Чудаков. – М.: Изд. Центр «Академия», 2007. – 368 с.
2. Д.Шмид. Управляющие системы и автоматика. Пер. с нем. Л.Н.Казанцевой. – М.: Техносфера, 2007. – 582 с.
3. www.devicesearch.ru/article/3648
4. Edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/NTS/VAGON/SIS_ ANT_ PR/METHOD/GAMNOV/frame/3_ 5.htm