

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Кафедра мехатроники и электронных систем автомобилей

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Информационно-измерительные устройства»

«Промышленные датчики механических величин»
ПДМВ-ПО

Владимир, 2017г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа № 1	
«Исследование датчиков углового перемещения»	3
1.1 .Цель работы	3
1.2 .Содержание работы	3
1.3 .Теоретические сведения	3
1.4 .Практическая часть	23
1.5 Контрольные вопросы для подготовки к защите.....	29
2. Лабораторная работа № 2	
«Исследование датчиков частоты вращения».....	31
2.1 Цель работы	31
2.2 Содержание работы	31
2.3 Теоретические сведения	31
2.4 Практическая часть	41
2.5 Контрольные вопросы для подготовки к защите.....	45
3. Лабораторная работа №3	
«Изучение бесконтактных датчиков (выключателей)».....	47
3.1 Цель работы	47
3.2 Теоретическая часть.....	47
3.3 Практическая часть	57
4 Лабораторная работа №4	
«Датчики линейного перемещения»	59
4.1 Цель работы	59
4.2 Теоретическая часть.....	59
4.3 Практическая часть	71

1. Лабораторная работа № 1 «Исследование датчиков углового перемещения»

1.1 Цель работы

Изучение датчиков углового положения

1.2 Содержание работы

В лабораторной работе будут исследоваться следующие датчики:

- потенциометрический датчик ПТП5К1 (однотактная схема включения);
- одинарный потенциометрический датчик с коррекцией ПТП5К1 (двухтактная схема включения);
- синусно-косинусный вращающийся трансформатор ВТМ-1М;
- инкрементальный энкодер E50S8.

1.3 Теоретические сведения

Потенциометрические измерительные преобразователи

Потенциометрический измерительный преобразователь или датчик, представляет собой электрическое сопротивление, величина выходного напряжения которого зависит от положения токосъемного контакта.

Потенциометрические датчики предназначены для измерения и преобразования линейных и угловых перемещений в электрический сигнал, а также для воспроизведения простейших функциональных зависимостей в автоматических и вычислительных устройствах непрерывного типа. Иногда потенциометр применяется как преобразовательный элемент. В этом случае он сопрягается с каким-нибудь чувствительным элементом.

Измерительные преобразователи углового перемещения с изменяющимся активным сопротивлением находят широкое применение в конструкциях приборов и средств автоматизации. В качестве реохордов вторичных измерительных приборов, реостатов обратной связи исполнительных механизмов, в устройствах дистанционной передачи показаний и устройствах дистанционного управления, а также в качестве преобразователей перемещения различных механизмов и устройств, например, гироскопах, автопилотах, гирокомпасах.

Принцип действия датчика углового перемещения с непрерывной намоткой состоит в следующем: к зажимам потенциометра прикладывается напряжение: постоянного или переменного тока неизменной величины. При перемещении движка потенциометра выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ меняется пропорционально входной величине α . Каркас углового потенциометрического датчика имеет тороидальную форму (Рис. 1.3.1).

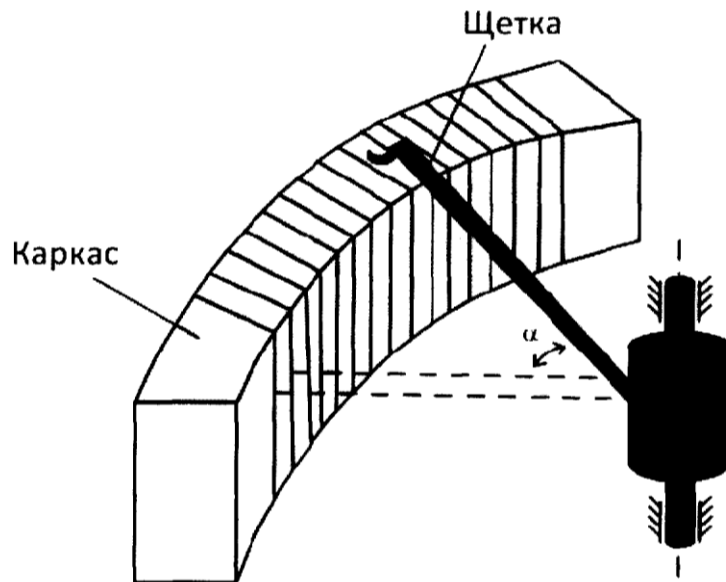


Рис. 1.3.1 Потенциметрический преобразователь углового перемещения.

Такие потенциметрические датчики по траектории движения скользящего контакта относятся к круговым, т.е. $\alpha_{max} < 360^\circ$.

Для режима холостого хода статическая характеристика датчика линейна, т.к. справедливо соотношение:

$$U_{вых0} = \frac{U}{R} \cdot r$$

где U - напряжения питания потенциометра, R - сопротивление обмотки, r - сопротивление части обмотки, приходящейся угол поворота α движка потенциометра (рис. 1.3.2 а).

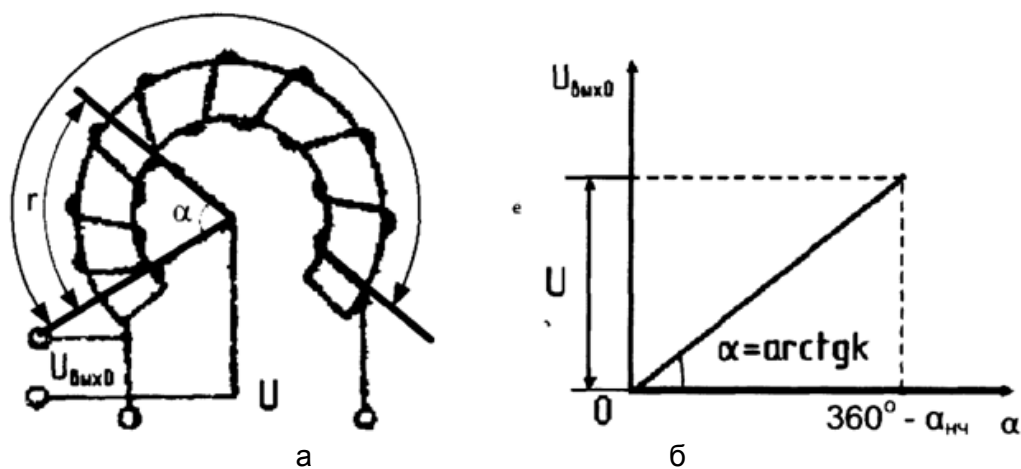


Рис. 1.3.2 Потенциметрический датчик:
а - углового перемещения, б - его статическая характеристика.

Полученное выражение показывает, что статическая характеристика угловых потенциометров при отсутствии нагрузки представляет прямую, проходящую через начало координат, с коэффициентом наклона k (рис. 1.3.2 б). При приближении к 360° возникает падение сопротивления, обусловленное началом нового оборота вращения токосъемника, за счет чего возникает $\alpha_{нч}$.

Приведенная статическая характеристика позволяет заключить, что рассмотренные потенциометрические измерители - преобразователи, не реагируют на знак входного сигнала, т.е. они относятся к классу одноктактных элементов. Однако на основе одноктактных потенциометров можно построить двухтактные измерители - преобразователи, реагирующие на знак входного сигнала.

Существует несколько схем включения потенциометров, образующих двухтактный потенциометрический датчик (рис. 1.3.3).

Рассмотрим статические характеристики этих датчиков при отсутствии нагрузки.

Для схем (рис. 1.3.3, а, б) статическая характеристика представляет прямую I, а для схем (рис. 1.3.3, в, г) - прямую II (Рис. 1.3.4). Отличие характеристик состоит в их крутизне, которая определяется тем, что при изменении входного сигнала последний обрабатывается в схемах в и г двумя движками, отклоняющимися от нейтрального положения в противоположные стороны на величину α . При этом потенциал точки γ возрастает на величину U_γ , а потенциал точки β получает приращение, равное по абсолютной величине приращению потенциала точки γ , но обратное по знаку.

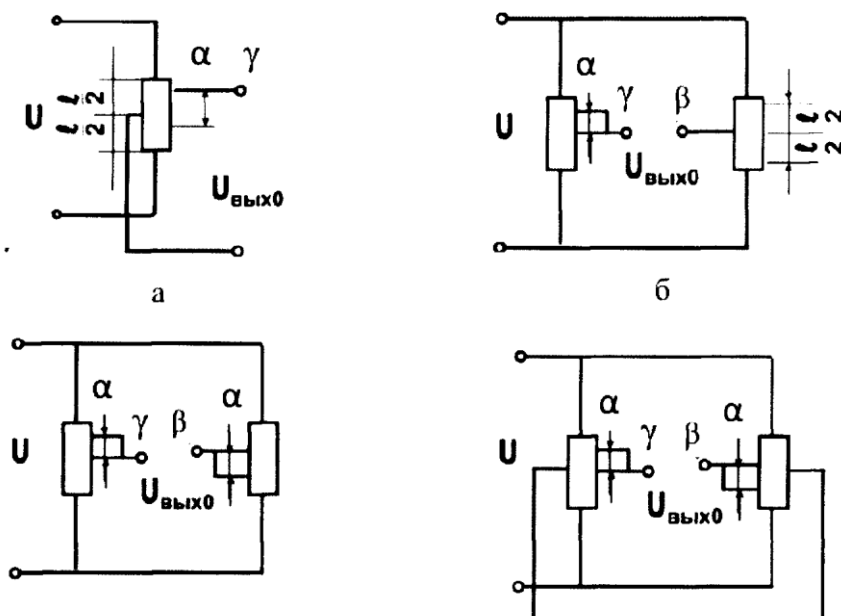


Рис. 1.3.3. Схемы двухтактных потенциометрических измерителей преобразователей.

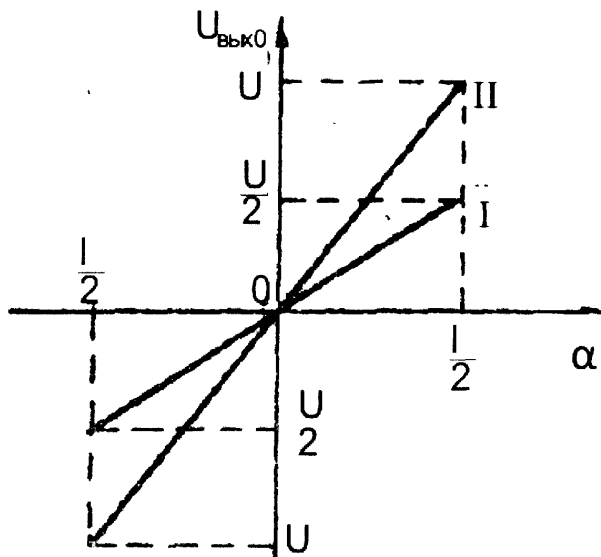


Рис. 1.3.4. Статическая характеристика двухтактных потенциметрических измерителей преобразователей.

В результате разность потенциалов $U_\gamma - U_\beta$ увеличивается вдвое по сравнению со схемами (рис. 1.3.3 а и б), где потенциал одной из точек все время сохраняет постоянное значение. Отсюда следует, что схемы с двумя щетками имеют при тех же параметрах вдвое больший коэффициент преобразования сигнала по сравнению со схемами с одной щеткой.

Идеальные характеристики потенциметрических датчиков могут сильно отличаться от реальных за счет наличия различного рода погрешностей, которые необходимо учитывать при проектировании систем автоматизации. Различают следующие погрешности датчиков:

- Зона нечувствительности;
- Неравномерность статической характеристики;
- Погрешность от люфта;
- Погрешность от трения;
- Погрешность от нагрузки (при схеме включения, показанной на рис. 1.3.5

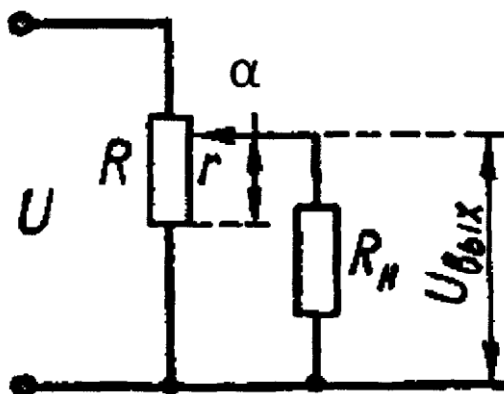


Рис. 1.3.5. Схема нагруженного потенциметра.

Напряжение на выходе потенциометрического датчика при наличии нагрузки:

$$U_{\text{вых}} = \frac{Ur}{R + \frac{R}{R_H}r - \frac{r^2}{R_H}}$$

Абсолютная погрешность от нагрузки вычисляется по формуле:

$$\Delta U = U_{\text{вых}0} - U_{\text{вых}} = U \frac{r^2(R-r)}{R^2R_H + (R^2r - Rr^2)}$$

Относительная погрешность от нагрузки вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U} = \frac{r^2(R-r)}{R^2R_H}$$

К достоинствам потенциометрических датчиков следует отнести простоту построения измерительных схем, высокий уровень выходного сигнала и малые габаритные размеры. Следует также отметить, что они обладают радиационной стойкостью и низкой стоимостью. Недостатками являются нелинейность характеристики при нагрузке, наличие зоны нечувствительности и малая износостойкость. Для них характерны также сравнительные невысокие допустимые значения угловых скоростей (до 2..3 об/с), а также чувствительность к вибрациям и загрязнению.

Оптические энкодеры

На практике в средствах автоматизации, промышленной робототехнике, средствах числового программного управления и других промышленных системах управления и контроля широко используются оптические угловые (поворотные) энкодеры (шифраторы). Ведь точное измерение скорости, ускорения и положения ротора электродвигателя - неременное условие нормальной работы систем управления электродвигателями. В петле управления в качестве сигнала обратной связи могут использоваться, например, потребляемый двигателем ток или противо-ЭДС обмотки. Однако, для высокоточного управления скоростью или положением ротора электродвигателя лучше всего использовать энкодеры, механически связанные с валом ротора.

Существует два основных типа оптических угловых кодирующих устройств:

- относительные (инкрементальные) энкодеры, в которых происходит последовательный счет меток перемещения;
- абсолютные энкодеры, когда для каждого положения вала существует индивидуальный бинарный код

Принцип работы оптического кодирующих устройств основан на пересечении светового луча оптопары (светодиоды и фототранзисторы) с размеченным диском, установленным на валу (рис. 1.3.6).

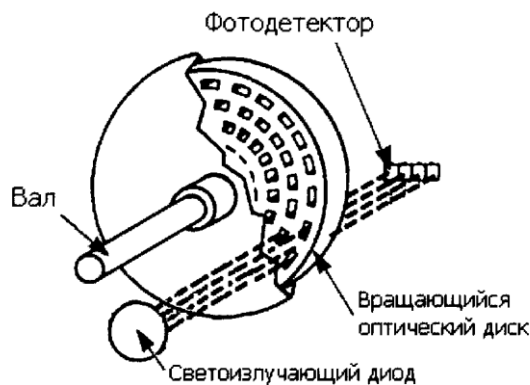


Рис. 1.3.6. Принцип действия оптического инкрементального энкодера.

В зависимости от частоты разметки диска определяется разрешающая способность датчика и, как следствие, точность измерения перемещения.

В абсолютных энкодерах углового положения используется электромеханический способ аналого-цифрового преобразования, предполагающий непосредственное преобразование угла поворота вала в соответствующий цифровой выходной сигнал, который может быть использован для обработки и интерпретации информации любым измерительным комплексом.

Абсолютные шифраторы применяются в тех случаях, когда устройство бездействует в течение продолжительных интервалов времени или перемещается с небольшой скоростью. Примерами таких устройств могут быть задвижки управления, телескопы, грузовые краны и т. д.

В традиционном абсолютном шифраторе маска на диске состоит из ряда концентрических дискретных дорожек с числом периодов на один оборот, удвоенным на каждой следующей дорожке увеличенного радиуса. Каждая дорожка имеет собственные фотодетекторы, и расположены дорожки так, что показания всех детекторов генерируют параллельный двоичный код (рис. 1.3.7), обычно код Грея, преимущество которого заключается в изменении только одного разряда при переходе в последовательном счёте от одного числа к другому. Например, шифратор с 12 дорожками будет генерировать 4096 слов за один оборот вала. Оптомеханика и электроника считывания кода такого шифратора являются значительно более сложными и дорогостоящими, чем у шифратора приращений. Тем не менее, он имеет существенное преимущество: предоставление информации тотчас же после запуска, без процедуры возврата в исходное положение.

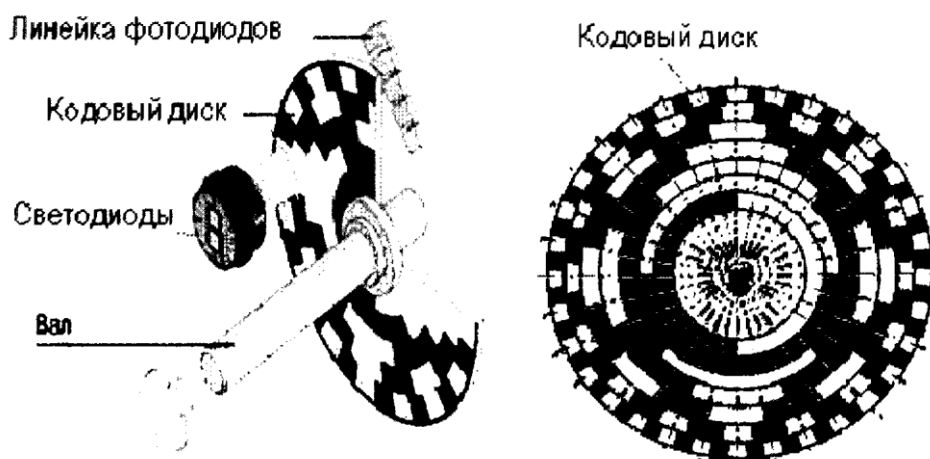


Рис. 1.3.7. Кодированный диск для генерации 7 разрядного кода Грея и упрощенная схема абсолютного энкодера

Алгоритм построения кода Грея может быть формально представлен как результат сложения по модулю два исходной комбинации двоичного кода с такой же комбинацией, но сдвинутой на один разряд вправо.

Двумя другими характерными свойствами абсолютных шифраторов являются следующие:

1) так как шифратор генерирует параллельный двоичный код, просто и непосредственно обеспечивается сопряжение с любым микропроцессорным оборудованием или устройством индикации;

2) так как шифратор «запоминает» данные о положении посредством кодированной маски диска, нет необходимости постоянно накапливать данные с его выхода; данные просто считываются всякий раз, когда необходимо определить текущее положение.

Абсолютный энкодер относится к типу энкодеров, который имеет уникальный код для каждой позиции вала. Счетчик импульсов в таком энкодере не нужен, т.к. угол поворота всегда известен. Абсолютный энкодер формирует сигнал, как во время вращения, так и в режиме покоя. Диск абсолютного энкодера, отличается от диска пошагового энкодера, так как имеет несколько концентрических дорожек (рис. 1.3.7). Каждой дорожкой формируется уникальный двоичный код для конкретной позиции вала.

Абсолютный энкодер не теряет своего значения при потере питания и не требует возвращения в начальную позицию. Сигнал абсолютного энкодера не подвержен помехам и для него не требуется точная установка вала. Кроме того, даже если кодированный сигнал не может быть прочитан энкодером, если, например, вал вращается слишком быстро, правильный угол вращения будет зарегистрирован, когда скорость вращения уменьшится. Абсолютный энкодер устойчив к вибрациям.

Инкрементальные оптические энкодеры используются в тех случаях, когда сохранение абсолютного углового положения вала при выключении питания не требует-

ся. Например, для контроля скорости вращения или для точного позиционирования ротора двигателя. Внешний вид инкрементального энкодера, исследуемого в лабораторной работе показан на рис. 1.3.8.

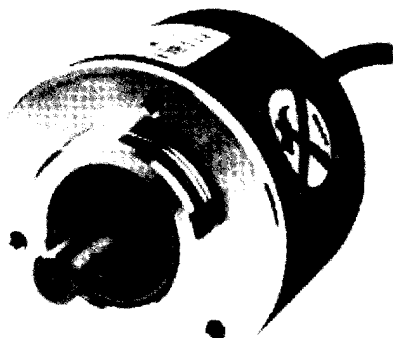


Рис. 1.3.8. Внешний вид инкрементального оптического энкодера E50S8.

Инкрементальный оптический энкодер, как правило, состоит из пяти компонентов: источника света, пошагового диска, маски, фотодетекторной сборки, и сигнального процессора. Внутри энкодера жестко с валом закреплен прозрачный диск с темными рисками. Количество рисок определяет количество импульсов за поворот. К примеру, если на диске нанесено 1000 отметок, тогда после 250 импульсов вал должен повернуться на 90 градусов. Источник света и фотоприемник расположены по разные стороны от диска. Количество света, приходящего на фотоприемник, меняется в зависимости от положения рисок. Электронная плата преобразует сигнал с фотоприемника в дискретный выходной сигнал.

Шифраторы приращений могут быть классифицированы следующим образом.

Одноканальные (тахометрические шифраторы), применяемые для измерения скорости или частоты, не могут быть использованы для определения направления перемещения.

Выходной сигнал обычно представляет собой периодическую импульсную последовательность (рис. 1.3.9).

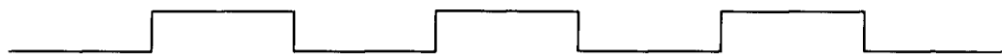


Рис. 1.3.9. Выходной сигнал одноканального шифратора.

Двухканальные (квадратурные) энкодеры, генерирующие сдвинутые относительно друг друга по фазе на 90° (рис. 1.3.10) выходные периодические импульсные последовательности, позволяют с помощью внешних логических цифровых устройств определять направление вращения вала и таким образом делают возможным двунаправленное позиционирование. Сигнальные последовательности, предоставляющие

информацию, закодированную в соотношении фаз двух выходных сигналов, называются квадратурными сигналами.

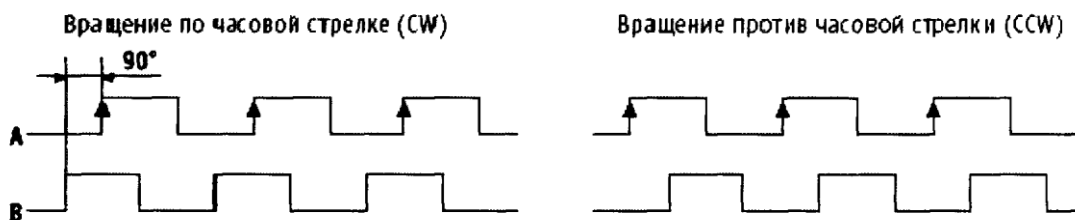


Рис. 1.3.10. Выходные сигналы двухканального шифратора

Направление вращения определяется по наличию опережения или отставания по фазе сигнала канала А относительно сигнала канала В. В случае применения шифратора тахометрического типа может возникнуть ошибка, если шифратор остановится на границе чувствительного элемента. В результате воздействия сил вибрации устройство будет пересекать эту границу в прямом и обратном направлениях счётчик будет подсчитывать каждый переход, даже несмотря на фактическую остановку системы (явление позиционного дрожания). В двухканальном шифраторе, благодаря использованию квадратурного определения и выявлению изменений взаимного состояния противоположных каналов, генерируется достоверная информация о направлении вращения. Величина скорости определяется посредством измерения либо интервала времени между импульсами, либо числа импульсов в пределах временного интервала.

Квадратурное измерение обеспечивает получение одно (1X), двукратной (2X) или четырёхкратной (4X) разрешающей способности диска абсолютного кода.

Трёхканальные энкодеры приращений генерируют так называемый нулевой импульс, который вырабатывается один раз за оборот вала и который также называется сигналом реперной точки, маркерным сигналом, сигналом исходной точки, Z-сигналом (рис. 1.3.11). Он используется как опорный сигнал в процессе обслуживания оборудования или для запуска его после выключения энкодера.

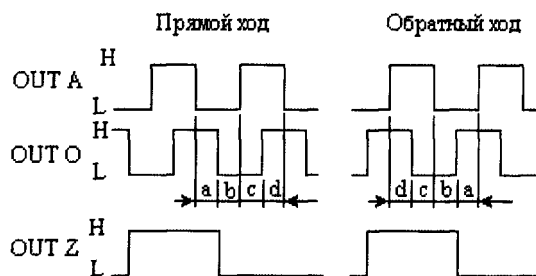


Рис. 1.3.11. Выходные сигналы трехканального инкрементального энкодера

Дифференциальные выходы применяются для надёжной передачи информационной посылки между достаточно удалёнными устройствами и/или в условиях помех

(рис. 1.3.12). Энкодер с комплиментарными выходами и схемой управления на операционных усилителях может минимизировать влияние внешнего шума. Когда сигнал канала А находится в высоком состоянии, его комплиментарный канал А переключается в низкое состояние. Электрический шум будет влиять на оба канала одинаково, поэтому легко вычищается дифференциальными операционными усилителями.

Число измерительных интервалов может быть удвоено посредством выполнения операции сложения по модулю 2 (исключающее ИЛИ) сигналов А и В (рис. 1.3.13). Это создаёт возможность для увеличения разрешающей способности в 2 раза.

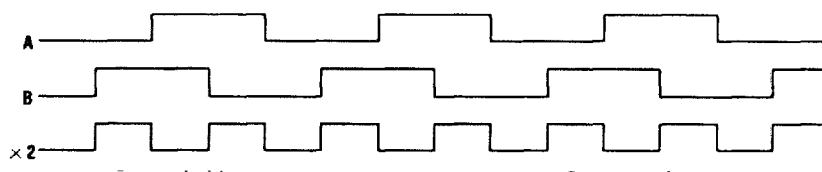


Рис. 1.3.13. Увеличение разрешающей способности в 2 раза.

Увеличение разрешающей способности в 4 раза может быть выполнено посредством измерений нарастающих и спадающих фронтов периодических импульсных последовательностей каналов А и В (рис. 1.3.14). В рамках проведённой классификации покажем отдельные особенности шифраторов.

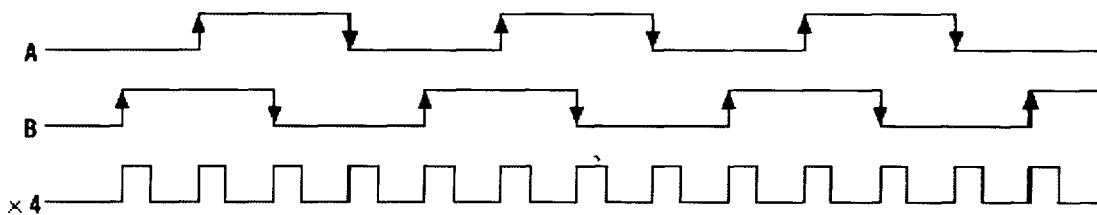


Рис. 1.3.14. Увеличение разрешающей способности в 4 раза

Обработка сигналов энкодеров

Для получения параметров вращений (угол поворота, частота вращения, ускорение) при помощи оптических энкодеров необходимо использовать вспомогательные цифровые устройства обработки сигналов.

Так при определении углового перемещения ротора с помощью одноканального энкодера, необходимо устройство подсчитывающее количество импульсов и, учитывая разрешающую способность, переводящее это количество импульсов в измеряемое перемещение.

Для измерения угловой скорости и ускорения с помощью квадратурных энкодеров можно, например, подсчитывать число импульсов за определенный промежуток времени. При этом точность измерений, очевидно, будет определяться числом импульсов за один полный оборот и длительностью интервала измерений по сравнению с ожидаемым периодом вращения. Скорость вращения будет составлять [об/мин]:

$$V = \frac{n/dT}{N}$$

где n — число импульсов за промежуток времени dT (измеренный в минутах), а N — число импульсов на один полный оборот ротора (pulses per revolution).

Для измерения ускорения требуется подсчет импульсов в двух последовательных одинаковых интервалах времени и вычисляется по формуле:

$$A = \frac{(n_i - n_{i-1})/N}{dT^2}$$

где n_i и n_{i-1} — количество импульсов текущих и предыдущих измерений.

В случае реверсивного движения ротора для обработки сигналов с квадратурных шифраторов можно использовать метод, основанный на обнаружении фронта. Нарастающие и спадающие фронты сигналов, поступающих с шифраторов, служат своего рода спусковым крючком, вызывающим формирование отсчёта счетчика. По каждому фронту электронная схема не только генерирует одиночный импульс счёта, но и определяет направление перемещения (что, определяет знак счёта), используя информацию о текущем направлении отсчёта (прямое или обратное), о характере перепада сигнала и состоянии сигнала другого канала. На рис. 1.3.15 дано пояснение метода обнаружения фронта при помощи микропроцессорного устройства. При определении восходящего фронта на одном канале энкодера, например, настроив, пользовательское прерывание на срабатывание по восходящему фронту, в обработчике прерывания анализируется логическое состояние в другом канале. Если там низкий уровень - то счетчику сообщается +1, если высокий, то -1.

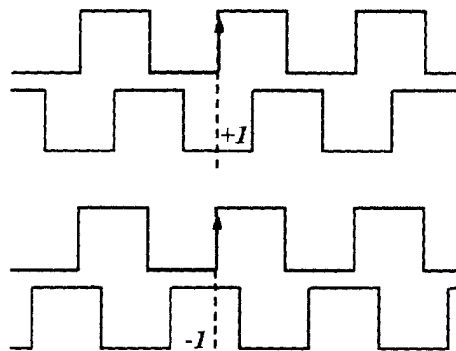


Рис. 1.3.15. Пояснение к обработке сигналов с квадратурного энкодера.

В современных цифровых устройствах чаще используются не фронты, а изменения логических состояний. Как правило, цифровые счётные устройства имеют в своём составе высокоскоростной генератор тактовых сигналов, и постоянно производится опрос состояний сигналов каналов А и В. В случае, когда обнаруживается изменение, счётное устройство выбирает прямое или обратное направление счёта по логике, показанной в табл. 1.3.1. Вместо того чтобы ожидать запускающий фронт от шифратора,

цифровое устройство генерирует собственный сигнал запуска, исходя из результатов анализа изменения состояния каналов шифратора.

Таблица 1.3.1.

Перемещение направленное вперед		Перемещение в обратном направлении	
Канал А	Канал В	Канал А	Канал В
Счёт в прямом направлении	Высокий уровень (логическая 1)	Счёт в прямом направлении	Низкий уровень (логический 0)
Счёт в обратном направлении	Низкий уровень (логический 0)	Счёт в обратном направлении	Высокий уровень (логическая 1)
Низкий уровень (логический 0)	Счёт в прямом направлении	Высокий уровень (логическая 1)	Счёт в прямом направлении
Высокий уровень (логическая 1)	Счёт в обратном направлении	Низкий уровень (логический 0)	Счёт в обратном направлении

Наряду с этими восемью разрешёнными изменениями состояний (А, В), существуют также четыре комбинации, которые означают возникновение ошибки: (0,0) → (1,1), (1,1) → (0,0), (0,1) → (1,0), (1,0) → (0,1). Данные ошибки означают, что, по крайней мере, одно состояние было пропущено. Схема пользователя должна вырабатывать сигнал, предупреждающий о подобных ошибках.

Так как существуют четыре различных состояния (или фронта) за период, то обычно используют преимущества собственной разрешающей способности шифратора. В настоящее время есть готовые микросхемы, осуществляющие квадратурное декодирование, поэтому пользователям нет необходимости синтезировать собственную цифровую схему.

Вращающиеся трансформаторы

Вращающиеся трансформаторы - это индукционные электрические машины, предназначенные для преобразования механического перемещения (угла поворота ротора) в электрический сигнал - выходное напряжение, амплитуда которого находится в определенной функциональной зависимости от угла поворота ротора.

Вращающиеся трансформаторы применяются в аналого-цифровых преобразователях, системах передачи угла высокой точности, в качестве датчиков обратной связи в следящих системах, бортовой аппаратуре.

В настоящее время наибольшее распространение получили двухполюсные вращающиеся трансформаторы, изготовленные аналогично двухфазным асинхронным двигателям с фазным ротором и контактными кольцами (рис. 1.3.16 а). Пакеты стали статоров и роторов таких вращающихся трансформаторов (ВТ) изготавливают из тщательно изолированных листов электротехнической стали, изготовленных с высокой точностью. В пазах статора и ротора располагаются двухфазные обмотки, сдвинутые на 90°, друг от друга (рис.16 б, где S_1-S_2 - главная статорная обмотка; K_1-K_2 - вспо-

могательная статорная обмотка; A_1-A_2 синусная роторная обмотка; B_1-B_2 - косинусная роторная обмотка).

Обычно обе обмотки статора, K и S , имеют одинаковое число витков ($w_K=w_S$) и одинаковые сопротивления. Обмотки ротора A и B также выполняются одинаковыми ($w_A=w_B$, $z_A=z_B$, $X_A=X_B$).

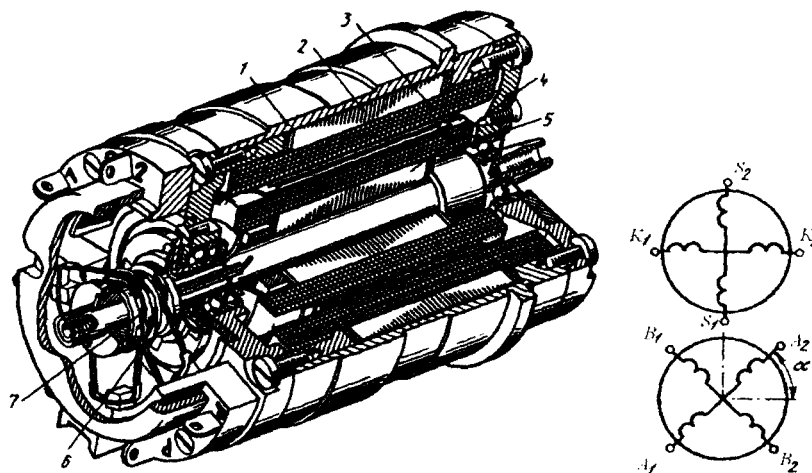


Рис. 1.3.16. Устройство вращающегося трансформатора:

- 1 - корпус; 2 - статор; 3 - обмотка статора; 4 - ротор; 5 - обмотка ротора;
6 - контактные кольца; 7 - щетки.

У большинства вращающихся трансформаторов концы обмотки ротора присоединяются к контактными кольцам, по которым скользят щетки. Кольца и щетки обычно изготавливаются из сплавов серебра. В некоторых ВТ, предназначенных для работы с ограниченным углом поворота ротора, кольца и щетки заменяются спиральными пружинами из латуни (аналогично токосъему в измерительных приборах). В ряде случаев бесконтактные ВТ изготавливаются с кольцевыми трансформаторами (по типу сельсинов).

Взаимная индуктивность между первичными обмотками (статора) ВТ и вторичными обмотками (ротора) изменяются строго по синусоидальному или косинусоидальному закону угла поворота α , что при выполнении некоторых условий обеспечивает такой же закон изменения амплитуды ЭДС.

В зависимости от того, какой функцией угла поворота ротора является выходное напряжение U , ВТ можно разделить на:

- синусно-косинусные ВТ, у которых выходное напряжение одной обмотки пропорционально синусу угла поворота ротора, а другой обмотки - косинусу угла поворота ротора (СКВТ);
- линейные ВТ, у которых выходное напряжение пропорционально углу поворота ротора (ЛВТ);
- масштабные ВТ, у которых выходное напряжение пропорционально входному, и коэффициент пропорциональности (масштаб) определяется углом поворота ротора;

- датчики и приемники трансформаторных дистанционных передач угла (ВТДП), выполняющие функции, аналогичные трансформаторным сельсинам;
- преобразователи координат, осуществляющие поворот осей декартовой системы координат или переход к полярной системе координат (построители);
- индукционные фазовращатели, осуществляющие преобразование пространственного угла во временной.

Последние четыре функции могут быть реализованы с помощью четырехобмоточных ВТ, имеющих по две обмотки на статоре и роторе. Один и тот же ВТ практически может выполнить различные функции в зависимости от схемы соединения обмоток.

Синусный вращающийся трансформатор (рис. 1.3.17а) может работать при наличии всего двух обмоток: обмотки статора S , подключенной к сети переменного тока (обмотка возбуждения) и обмотки ротора A , являющейся вторичной выходной обмоткой (рис. 1.3.17а).

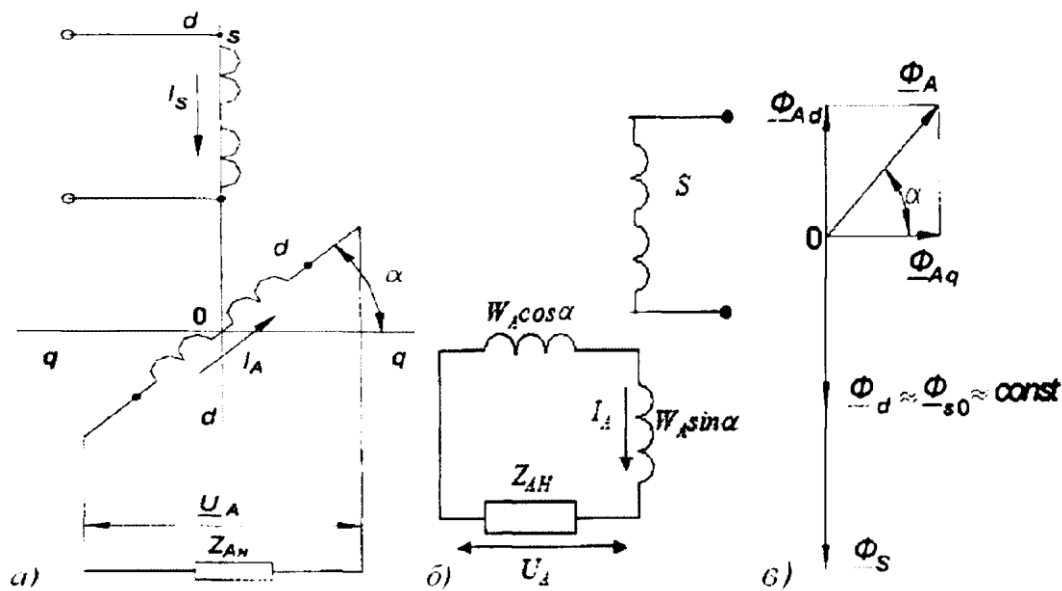


Рис. 1.3.17. Синусный вращающийся трансформатор:
 а - схема включения, б - эквивалентная схема, в - векторная диаграмма

При холостом ходе, когда $Z_{AH} \rightarrow \infty$ и $I_A = I_H = 0$, вследствие того, что взаимная индуктивность между обмотками статора и ротора изменяется по синусоидальному закону от угла поворота ротора α , ЭДС E_{A0} выходной обмотки, наводимая потоком первичной обмотки Φ_s , будет синусоидальной функцией угла α :

$$E_{AO} = E_{Am} \sin \alpha$$

где E_{Am} максимальная ЭДС обмотки A , наводимая в ней в случае совпадения осей обмоток A и S ($\alpha = 90^\circ$).

Максимальную ЭДС E_{Am} можно выразить через ЭДС E_s , наводимую потоком Φ_s в первичной обмотке статора S и отношение эффективных чисел витков w_s и w_A .

Эффективные числа витков, по сравнению с истинными, равны соответственно:

$$W_S = W'_S k_{обS}, W_A = W'_A k_{обA}$$

где $w'_s, w'_A, k_{обs}, k_{обA}$ - истинные числа витков обмоток S и A и обмоточные коэффициенты.

Как и в обычном трансформаторе так как $E_{Am} = \frac{W_A}{W_S} E_S$, то коэффициент трансформации равен

$$\frac{U_A}{U_S} = \frac{E_{Am}}{E_S} = \frac{W_A}{W_S} = K_m$$

причем w_A/w_s - максимальный коэффициент трансформации.

Выражение ЭДС при холостом ходе имеет вид:

$$E_{A0} = E_S k_m \sin \alpha = E_S k(\alpha)$$

Отсюда

$$k(\alpha) = \frac{E_{A0}}{E_S}$$

Полное число витков обмотки w_A можно рассматривать как геометрическую сумму «продольных витков» ($w_A \sin \alpha$), ось которых совпадает с осью обмотки S, и «поперечных витков» ($w_A \cos \alpha$), ось которых перпендикулярна оси обмотки S, что позволяет заменить схему (рис 1.3.17а) на эквивалентную (рис 1.3.17б).

Если не учитывать падения напряжения на обмотке возбуждения S

$$E_{A0} \approx U_S k_m \sin \alpha = U_S k(\alpha)$$

где $k(\alpha) = (w_A/w_s) \sin \alpha$.

При подключении роторной обмотки к нагрузке, тогда $Z_{AH} \neq \infty$, по вторичной обмотке протекает ток I_A , величина определяется величиной ЭДС обмотки A, а также суммой собственного сопротивления обмотки A и сопротивления нагрузки Z_{AH} :

$$I_A = \frac{E_A}{Z_A + Z_{AH}}$$

Ток I_A создает поток Φ_A , направленный по оси обмотки A (Рис. 1.3.17в), который можно разложить на два потока: поток Φ_{Ad} , размагничивающий ВТ, образованный током I_A , протекающим по «продольным виткам» и направленный против потока статора Φ_S , и поток $\Phi_{A\phi}$, образованный током I_A , протекающим по «поперечным виткам» и направленный по поперечной оси:

$$\Phi_{Ad} = \Phi_A \sin \alpha, \Phi_{A\phi} = \Phi_A \cos \alpha$$

Размагничивающее действие потока Φ_{Ad} компенсируется увеличением тока I_s в статорной обмотке. Суммарный поток по продольной оси, как при холостом ходе, так и при нагрузке остается практически постоянным ($\Phi_d \sim \Phi_{S0} = \text{const}$). Этот поток наво-

дит в обмотке А («продольных витках») ЭДС самоиндукции E_{AM} , приблизительно равную ЭДС холостого хода:

$$E_{Am} = E_{A0} = E_S k_m \sin \alpha = E_S k(\alpha)$$

Поперечный поток Φ_{Aq} в ВТ с двумя обмотками ничем не компенсируется, он является потоком самоиндукции для «поперечных витков» и наводит в них ЭДС самоиндукции E_{Aq} , значение которой можно определить следующим образом:

$$E_{Ad} = -jI_A \omega L_{aq} = -jI_A \omega w_{aq}^2 \Lambda_m = jI_A jI_A \omega w_{aq}^2 \cos^2 \alpha \Lambda_m =$$

$$-j \frac{E_A}{Z_A + Z_{AH}} \omega w_A^2 \cos^2 \alpha \Lambda_m = -j \frac{\omega w_A^2 \Lambda_m}{Z_A + Z_{AH}} E_A \cos^2 \alpha = -a E_A \cos^2 \alpha$$

где $a = \frac{j\omega w_A^2 \Lambda_m}{Z_A + Z_{AH}}$ - комплексный коэффициент, зависящий от параметров ВТ и

частоты сети, I_A - ток, Λ_m - магнитная проводимости, которая при равномерном воздушном зазоре не зависит от угла поворота α .

Таким образом, ЭДС E_A обмотки А может быть определена как сумма ЭДС взаимной индукции E_{Am} и ЭДС самоиндукции E_{Aq} :

$$E_A = E_{AM} = E_{Aq} = E_S k_m \sin \alpha - a E_A \cos^2 \alpha$$

Следовательно:

$$E_A = \frac{E_S k_m \sin \alpha}{1 + a \cos^2 \alpha}$$

ЭДС E_A обмотки А при нагрузке не является синусоидальной функцией угла поворота α , что связано с наличием поперечного потока Φ_{A0} . На рис. 1.3.18 представлены ЭДС E_{A0} при холостом ходе, ЭДС E_A при нагрузке и ΔE_A - погрешность, вносимая поперечным Φ_{Aq} как функции угла поворота ротора. Величина погрешности ΔE_A зависит от значения α , поэтому в реальных ВТ она значительно ниже, чем на рис. 1.3.18, где $\alpha=1$.

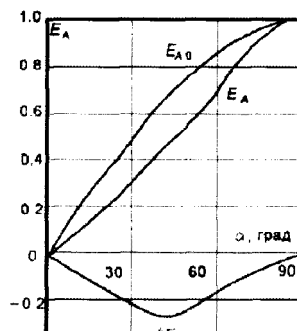


Рис. 1.3.18. Зависимости ЭДС обмотки А при холостом ходе E_{A0} , ЭДС при нагрузке E_A погрешности ΔE_A от угла поворота ротора α

Из-за наличия погрешности такие ВТ применяются лишь в тех случаях, когда режим их работы близок к холостому ходу. Чаще всего применяются СКВТ.

Синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы

Синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы имеют четыре обмотки (рис. 1.3.19 а) и $Z_S = Z_K$, $Z_A = Z_B$. При подключении обмотки S статора к сети переменного тока, ее магнитный поток, сцепляясь с витками обмоток А и В ротора, наводит в них ЭДС. Так как обмотка S сдвинута в пространстве на 90° , относительно обмотки А, то ЭДС обмотки В изменяется по закону $\cos \alpha$. ЭДС обмотки В равна при холостом ходе:

$$E_{B0} = E_S \frac{w_B}{w_S} \cos \alpha = E_S k_m \cos \alpha,$$

а ток равен

$$I_B = \frac{E_B}{Z_B + Z_{BH}}$$

Этот ток создает магнитный поток Φ_B , направленный по оси обмотки В. Данный поток, как и ранее, можно разложить на продольную Φ_{Bd} и поперечную Φ_{Bq} составляющие (рис. 1.3.19б):

$$\Phi_{Bq} = \Phi_B \cos \alpha$$

$$\Phi_{Bd} = \Phi_B \sin \alpha$$

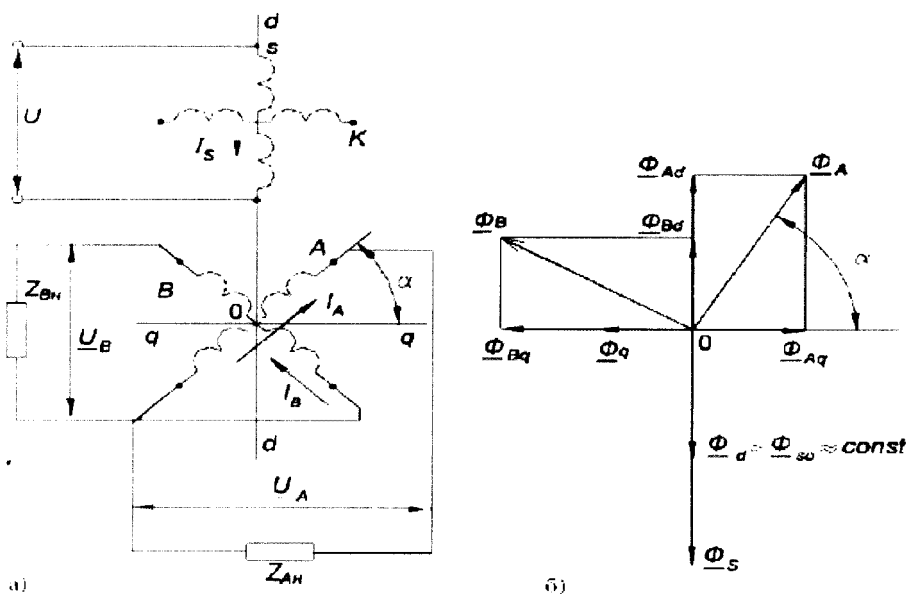


Рис. 1.3.19. Схема включения синусно - косинусного вращающегося трансформатора (а) и векторная диаграмма его магнитных потоков (б).

$$E_{Bq} = -bE_B \sin^2 \alpha; E_B = E_{Bn} + E_{Bq}; E_B = E_S k_m \cos \alpha - bE_B \sin^2 \alpha;$$

$$E_B = \frac{E_S k_m \cos \alpha}{1 + bE_B \sin^2 \alpha}$$

ЭДС E_B , как и ЭДС E_A , не является гармонической функцией угла α . Отклонение от этой функции в обеих обмотках объясняется наличием потока Φ_{Aq} .

Из диаграммы (рис. 19б) видно, что поперечные потоки Φ_{Aq} и Φ_{Bq} направлены встречно. Это значит, что при наличии двух обмоток суммарный поток будет меньше, чем при наличии одной обмотки. Выполняя определение определенные условия $\Phi_{Aq} = -\Phi_{Bq}$ можно устранить вызванную этими потоками погрешность.

Симметрирование синусно-косинусных вращающихся трансформаторов (СКВТ) - это подбор сопротивления цепей статорных или роторных обмоток, при котором амплитуды ЭДС выходных обмоток изменяются строго по гармоническому закону от угла поворота α . Цель любого симметрирования - компенсация поперечного потока Φ_q , вносящего погрешность в выходную характеристику. Симметрирование СКВТ осуществляется либо со стороны ротора - вторичное симметрирование, либо со стороны статора - первичное симметрирование.

Вторичное симметрирование состоит в подборе цепей роторных обмоток, при которых $\Phi_q = 0$. Для этого необходимо, чтобы нулю была равна сумма МДС, создаваемых «поперечными витками обмоток», т.е. чтобы $F_{Aq} + F_{Bq} = 0$ или $F_{Aq} = -F_{Bq}$.

Согласно рис. 1.3.19 имеем:

$$I_A w_A \cos \alpha = -I_B w_B \sin \alpha$$

или, выражая токи через ЭДС и сопротивления, получим:

$$\frac{E_S k_m \sin \alpha \cos \alpha}{Z_A + Z_{AH}} = -\frac{E_S k_m \sin \alpha \cos \alpha}{Z_B + Z_{BH}}$$

$$\frac{E_A}{Z_A + Z_{AH}} w_A \cos \alpha = \frac{E_B}{Z_B + Z_{BH}} w_B \sin \alpha$$

так как $w_A = w_B$. Следовательно, условием вторичного симметрирования является равенство полных сопротивлений цепей обмоток ротора:

$$Z_A + Z_{AH} = Z_B + Z_{BH}$$

Так как обычно $Z_A = Z_B$, то для осуществления вторичного симметрирования необходимо, чтобы сопротивление нагрузки обмотки А было равно сопротивлению нагрузки обмотки В:

$$Z_{AH} = Z_{BH}$$

Особенностью вторичного симметрирования является то, что входное сопротивление Z_{BX} и потребляемым из сети ток $I_S = \frac{U_S}{Z_S}$ при постоянном напряжении U_s не зависит от угла поворота и равен соответственно:

$$I_S = \frac{E_S k_m^2}{Z_R + Z_{RH}} \approx \frac{U_S k_m^2}{Z_R + Z_{RH}} = \frac{U_S}{Z_{BX}} = const$$

где $Z_{BX} = \frac{Z_R + Z_{RH}}{k_m^2}$ входное сопротивление ВТ,

$$Z_R = Z_A = Z_B, \text{ а } Z_{RH} = Z_{BH} = Z_{AH}.$$

Однако при вторичном симметрировании выходное сопротивление зависит от угла поворота, что ограничивает применение СКВТ с вторичным симметрированием.

Наличие вторичного симметрирования проверяется либо с помощью амперметра, включенного в цепь обмотки S, либо с помощью вольтметра, включенного на зажимы обмотки K статора.

Метод амперметра основан на том, что входное сопротивление $Z_{вх}$ при вторичном симметрировании не зависит от α . Это значит, что при повороте ротора ток (в пределах погрешности) не изменяется.

Метод вольтметра основан на том, что при вторичном симметрировании отсутствует поперечный поток, то есть ЭДС квадратурной обмотки, а, следовательно, и показания вольтметра, при этом равны нулю (в пределах погрешности).

Первичное симметрирование СКВТ сводится к включению в цепь квадратурной обмотки K определенного сопротивления Z_{KH} . Условием первичного симметрирования является равенство полных сопротивлений цепей обмоток статора S и K.

$$Z_{ист} + Z_L + Z_S = Z_K + Z_{KH}$$

где $Z_{ист}$, Z_L , Z_S - соответственно сопротивления источника питания, линии передачи и сопротивления, сопротивление, подключаемое к обмотке K.

Обычно сопротивление линии весьма мало ($Z_K \approx 0$), собственные сопротивления обмоток S и K равны, поэтому условием первичного симметрирования является равенство: $Z_{ист} = Z_{KH}$.

В этом случае, если СКВТ питается от источника большой мощности, сопротивление которого равно $Z_{ист} = 0$, то и $Z_{KH} = 0$, то есть для осуществления первичного симметрирования необходимо замкнуть накоротко квадратурную обмотку.

При первичном симметрировании выходное сопротивление не зависит от угла поворота ротора ($Z_{вх} = const$). Однако входное сопротивление зависит от угла поворота α

На практике, там, где это возможно, применяют и первичное, и вторичное симметрирование.

Основным требованием, предъявляемым к ВТ, является точность воспроизведения тех или иных функциональных зависимостей. ВТ, как и любые другие информационные машины, имеют погрешности, которые в зависимости от физической природы делятся на четыре группы:

1) принципиальные погрешности ВТ - это отклонение выходных характеристик от синусоидальной и косинусоидальной вследствие неточности симметрирования; у линейных - отклонение выходной характеристики от линейной вследствие неточности аппроксимации;

2) конструктивные погрешности вызываются в основном несинусоидальностью распределения МДС обмоток вдоль окружности машины, изменением магнитного сопротивления воздушного зазора вследствие наличия пазов на поверхности статора и ротора, нелинейностью кривой намагничивания и явлением гистерезиса. Уменьшение этих погрешностей достигается путем применения специальных «синусных» схем обмоток, за счет скоса пазов статора и ротора, выполнения магнитопровода ВТ ненасыщенным из пермаллоя с узкой петлей намагничивания;

3) основными источниками технологических погрешностей являются эксцентриситет расточек статора и ротора, асимметрия магнитопровода, неточность расположения и скоса пазов, наличие короткозамкнутых витков в обмотках и листов в магнитопроводе, ошибки при выполнении обмотки. Для уменьшения этих погрешностей устанавливаются жесткие технологические допуски. Влияние технологических погрешностей можно представить как появление некоторой добавочной ЭДС $E_{доб}$ в выходных обмотках. ЭДС $E_{доб}$ имеет в общем случае две составляющие: ЭДС (напряжение) ошибки $E_{ош}$, совпадающую по фазе с выходной ЭДС, и остаточную ЭДС $E_{ост}$, сдвинутую по фазе на 90° . При этом в расчетных точках с нулевым выходным напряжением (нулевых положениях) ЭДС становится отличной от нуля. ЭДС ошибки $E_{ош}$ может быть скомпенсирована основной выходной ЭДС путем дополнительного поворота ротора на угол, при котором $E_{вых} = -E_{ош}$, т.е. обуславливает асимметрию нулевых положений. Остаточная ЭДС $E_{ост}$ не компенсируется дополнительным поворотом ротора. Поэтому во вращающихся трансформаторах выходное напряжение не обращается в нуль в пределах оборота, а лишь приобретает некоторое минимальное значение. Остаточная ЭДС приводит к изменению фазы выходной ЭДС при изменении угла поворота ротора. Технологические погрешности приводят также к тому, что поток возбуждения наводит ЭДС в квадратурной обмотке ВТ;

4) к эксплуатационным погрешностям относятся, например, температурная погрешность, связанная с изменением активных сопротивлений обмоток при изменении температуры. Колебание частоты напряжения питания вызывает изменение индуктивных сопротивлений.

В лабораторном стенде для изучения применяется отечественный синусно-косинусный вращающийся трансформатор типа ВТМ-1М.

1.4 Практическая часть

Описание лабораторной установки

Прежде, чем приступить к экспериментальному исследованию потенциметрического датчика, необходимо ознакомиться с принципом их действия и схемой расположения обмоток и гнезд по мнемограмме на стенде. Необходимо также изучить назначение элементов стенда.

Блок «Датчики положения» лабораторного стенда представлен на рис. 1.4.1.



Рис. 1.4.1. Блок для исследования датчиков углового положения

Данный блок представляет собой ВТ, оптический энкодер и потенциметрический датчик угла поворота, соединенные ременными передачами. Кроме того, на валу энкодера жестко закреплена ручка с меткой для грубого определения угла поворота.

Гнезда А, В и \perp - необходимы для подключения выходов оптического энкодера к измерителю.

В левой части функционального блока «Датчики положения» установлены переключатели магазинов сопротивлений, позволяющие ступенчато изменять сопротивления нагрузочных резисторов $R_{нагр1}$ и $R_{нагр2}$.

На панели также расположены гнезда В1 и В2, К1 и К2, U_{\cos} и U_{\sin} , соединенные соответственно с концами первичной, компенсационной, косинусной и синусной обмоток ВТ для сборки схемы эксперимента и подключения вольтметра или осциллографа.

Исследуемый потенциметрический датчик включен по схеме делителя напряжения. На панели расположены гнезда $U_{\text{вых}}$, соединенные соответственно с общим выводом и выводом движка потенциметрического датчика для сборки схемы эксперимента и подключения вольтметра. При этом вольтметр и нагрузка включаются параллельно нижнему плечу потенциометра.

На положительный и общий выводы потенциометра подано постоянное напряжение 5В.

Для питания ВТ в схеме стенда предусмотрен встроенный генератор синусоидальных колебаний амплитудой 10 В и частотой 400 Гц. Конструкцией ВТ и лабораторного стенда предусмотрено первичное и вторичное симметрирование.

Лабораторная установка для исследования потенциметрических измерителей-преобразователей в двухтактном режиме работы собрана на типовом лабораторном столе и содержит наборное поле с гнездами для коммутации элементов схемы при помощи гибких проводников, измерительные элементы PV1 и PV2, расположенные на наборном поле, блок источник питания.

Измерительные приборы PV1 и PV2 предназначены соответственно для измерения входного и выходного напряжений. Потенциометры RP1, RP2 углового перемещения применяются для исследования двухтактной схемы, а потенциометр RPS углового перемещения применяется для исследования одноактной схемы потенциметрических измерителей-преобразователей. Резисторы $R1 = 1 \text{ кОм}$, $R2 = 50 \text{ кОм}$ представляют собой нагрузку потенциметрических измерителей - преобразователей.

Рекомендации к выполнению исследования

Перед выполнением исследования необходимо ознакомиться с лабораторной установкой, изучить паспортные данные исследуемых в лабораторной работе датчиков. Повторить следующие разделы теории соответствующих дисциплин:

- физика (электромагнетизм): заряды и токи в магнитном поле; магнетики; электромагнитная индукция;
- электротехника: законы Ома и Кирхгофа; цепи постоянного и переменного тока, теория трансформаторов и машин переменного тока;
- информатика: системы счисления, логические функции и элементы;
- метрология: оценка погрешности результатов измерения.

Далее необходимо изучить теорию из данной лабораторной работы и дополнительную литературу.

Порядок выполнения исследования

1.4.1. Снятие и построение передаточной характеристики инкрементального оптического энкодера.

Для снятия экспериментальной передаточной характеристики энкодера подключить Входы А, В и \perp индикатора рF2 соответственно к выходам А, В и \perp энкодера. Вращая ручку от 0° до 360° , снять не менее 20 точек через равные промежутки, как по часовой стрелке, так и против нее, обязательно включая 0-90-180-360. При этом фиксировать значения угла поворота на индикаторе в режиме « α , град» и тут же фиксиро-

вать число импульсов на том же индикаторе, переключившись режим «имп». Данные занести в табл. 1.4.1.1.

Таблица 1.4.1.1

α , град				
N, число импульсов				

По итогам эксперимента построить передаточную характеристику $N=f(\alpha)$. По формуле $N_0 = N/\alpha$ определить разрешающую способность оптического энкодера.

Подключив электронный осциллограф к выходам А, В и \perp энкодера, наблюдать за разностью фаз выходных сигналов А и В при вращении в разные направления. Зарисовать эпюры сигналов.

Сравнить полученные данные с паспортными.

1.4.2. Снятие и построение характеристики холостого хода для синусной обмотки.

Для снятия экспериментальной характеристики подключить вольтметр к зажимам обмотки U_{sin} . Входы А, В и \perp индикатора PF2 подключить соответственно к выходам А, В и \perp энкодера. Установить тумблером режим индикации « α , град». Вращая ручку от 0° до 360° , снять $U_{sin} = E_{Ao}$ и $E_5(B_1$ и $B_2)$ и α в не менее чем 20 точках через равные промежутки, как по часовой стрелке, так и против нее, обязательно включая 0-90-180-270-360. Отметить положение ручки (α_{min}) при котором U_{sin} минимально. В дальнейших экспериментах учитывать $\Delta\alpha = \alpha_{min}$ как постоянную погрешность и определить фактическое значение угла поворота ротора. Данные занести в табл. 1.4.2.1.

Таблица 1.4.2.1

Измерение	α , град			
	E_{Ao} , В			
	E_s , В			
Расчет	α , град			
	$k(\alpha)$			

Найти коэффициент трансформации K_m для максимального значения E_{Ao} и ЭДС E_s , наводимой в первичной обмотке статора. Построить зависимость $E_{Ao} = f(\alpha)$. Эта зависимость должна практически не отличаться от идеальной синусоиды.

1.4.3. Снятие и построение характеристики холостого хода для косинусной обмотки.

Для снятия экспериментальной характеристики подключить вольтметр к зажимам обмотки U_{cos} . Дальнейшие действия производятся согласно последовательности, пред-

ставленной в п.3 ($U_{cos} = E_{BO}$) и заносятся в табл. 1.4.3.1 Значение K_m необходимо определить для $E_{BO\ max}$ и $\alpha=0$.

Таблица 1.4.3.1

Измерение	α , град			
	E_{BO} , В			
	E_s , В			
Расчет	α , град			
	$k(\alpha)$			

Следует убедиться в равенстве коэффициентов K_m для обеих обмоток.

1.4.4. Снятие характеристик синусной обмотки при нагрузке.

Для этого подключить нагрузку $R_{нагр}=1000, 470$ Ом к синусной обмотке, установив соответствующие переключки. Вольтметр подключается к гнездам U_{sin} . Вращая ручку, изменять угол α в диапазоне $0-360^\circ$, снять значения $E_A = U_{sin} = f(\alpha)$ при нагрузке. Результаты занести в табл. 1.4.4.1.

Таблица 1.4.4.1

Измерение	α , град				
	Е, В				
	R_H , Ом				
Расчет	E_{A0} , В				
	ΔE_A , В				
	ΔE_A %, %				

По данным табл. 5 построить опытную кривую $E_A = f(\alpha)$ также расчетные кривые E_{A0} , ΔE_A , $\Delta E_A\%$. Для наглядности, аналогично рис. 1.3.18 построить в диапазоне $\alpha=0-90^\circ$.

1.4.5. Снятие характеристик косинусной обмотки при нагрузке.

Для этого подключить нагрузку $R_{нагр1}=1000, 470$ Ом к косинусной обмотке, установив соответствующие переключки. Вольтметр подключается к гнездам U_{cos} .

Характеристики снимаются аналогично 4. Результаты занести в табл. 1.4.5.1.

Таблица 1.4.5.1

Измерение	α , град				
	E_B , В				
	R_H , Ом				
Расчет	E_{BO} , В				
	ΔE_B , В				
	ΔE_B %, %				

1.4.6. Снятие характеристик ВТ при первичном симметрировании

Собрать при помощи переключателей схему ВТ с первичным симметрированием, соединив коротко гнезда К1 и К2.

Вращая ручку в диапазоне $\alpha=0-360^\circ$ снять характеристики $E_A, E_B = f(\alpha)$. Результаты свести в табл. 1.4.6.1.

Таблица 1.4.6.1

Измерение	α , град				
	E_A , В				
	E_B , В				
Расчет	E_{Ao} , В				
	E_{Bo} , В				
	ΔE_A , В ΔE_B , В				

1.4.7. Снятие характеристик ВТ при вторичном симметрировании

Собрать при помощи переключателей схему ВТ с вторичным симметрированием, установив $R_{нарп1} \sin = R_{нарп2} \cos = 1000=470 \text{ Ом}$.

Вращая ручку в диапазоне $\alpha=0-360^\circ$ снять характеристики $E_A, E_B = f(\alpha)$. Результаты свести в табл. 1.4.7.1.

Таблица 1.4.7.1

Измерение	α , град				
	E_A , В				
	E_B , В				
Расчет	E_{Ao} , В				
	E_{Bo} , В				
	ΔE_A , В				
	ΔE_B , В				

Убедиться в близости полученных характеристик к синусоидальным, построив $E_A, E_B, \Delta E_A, \Delta E_B = f(\alpha)$.

1.4.8. Снятие и построение характеристики холостого хода потенциометрического датчика угла поворота (однотактная схема включения)

Для снятия экспериментальной характеристики подключить вольтметр PV1 к клеммам потенциометрического датчика $U_{вых}$. Вращая ручку от 0° до 360° снять не менее 20 точек через равные промежутки по часовой стрелке и после этого против нее, обязательно включая 0-90-180-360. Данные занести в табл. 1.4.8.1.

Таблица 1.4.8

По часовой стрелке	α , град				
	$U_{\text{вых0}}$, В				
Против часовой стрелки	α , град				
	$U_{\text{вых0}}$, В				

Построить зависимость $U_{\text{вых0}} = f(\alpha)$. Эта зависимость должна быть практически линейная. На одном графике зависимость, полученная при вращении рукоятки по часовой стрелке. На другом - против часовой.

1.4.9. Снятие и построение характеристики однотактного потенциометрического датчика угла поворота под нагрузкой (однотактная схема включения).

Для снятия экспериментальной характеристики подключить вольтметр PV1 к зажимам обмотки $U_{\text{вых}}$. К этим же клеммам подключить нагрузочное сопротивление $R_{\text{нагр1}}$, величина которого изменяется с помощью галетного переключателя от 100 до 10000 Ом. Вращая ручку от 0° до 360° снять не менее 20 точек через равные промежутки по часовой стрелке и после этого против нее, обязательно включая 0-90-180-360. Данные занести в табл. 1.4.9.1.

Таблица 1.4.9.

Нагрузка, Ом	470	По часовой стрелке				
		Против часовой стрелки				
		По часовой стрелке				
		Против часовой стрелки				
	10000	По часовой стрелке				
		Против часовой стрелки				

Построить зависимости $U_{\text{вых}} = f(\alpha)$ на тех же графиках, что и зависимости $U_{\text{вых0}} = f(\alpha)$. По построенным экспериментальным характеристикам $U_{\text{вых}} = f(\alpha)$ определить абсолютные и относительные погрешности, обусловленные только нелинейностью характеристик $U_{\text{вых}} = f(\alpha)$, соответствующих $R_{\text{нагр1}} \neq \infty$, при этом за идеальную характеристику $U_{\text{вых}} = f(\alpha)$ необходимо принять характеристику, соответствующую $R_{\text{нагр1}} \neq \infty$ (10000 Ом).

Рассчитать и построить графики теоретических характеристик преобразования $U_{\text{вых}} = f(\alpha)$. Эти графики следует построить на тех же графиках, что и экспериментальные. Сравнить теоретические и экспериментальные характеристики.

Рассчитать значения погрешности.

1.4.10. Снятие и построение характеристик потенциометрического датчика угла поворота (двухтактная схема включения)

Собрать последовательно схемы двухтактных потенциометрических измерителей-преобразователей на базе потенциометров RP1 и RP2 (см. рис. 3) типового лабораторного стенда см. описание лабораторной установки. Включить тумблер "сеть".

Выполнить действия согласно последовательности описанной в п.8 и п.9. В качестве сопротивления нагрузки использовать резисторы R_1 и R_2 .

Построить табл. 1.4.8.1 и табл. 1.4.9.1 для каждой из схем включения, и сопротивлений нагрузки.

Требования к оформлению и содержанию отчета об исследовании

В отчете должны быть представлены:

1. Схемы включения вращающегося трансформатора (в рассматриваемых режимах работы), потенциометрического датчика (однотактного и двухтактных).
2. Таблицы результатов измерений по п. 1.4.1-1.4.10 и соответствующие графики.
3. Оценка метрологических характеристик
4. Эпюры выходных напряжений по п. 1.4.1.
5. Выводы (со ссылками на результаты измерений) по точности преобразования, удобству использования и согласованию датчиков с последующими каскадами управления.

Контрольные вопросы для подготовки к защите

1. Расскажите о конструктивном устройстве потенциометрического датчика, о схемах его включения.
2. Как снимаются передаточные характеристики на холостом ходу и под нагрузкой? Поясните причины их различия.
3. Какие существуют погрешности потенциометрических измерительных преобразователей? Назовите способы их устранения.
4. Какова зависимость погрешности потенциометрических измерительных преобразователей от коэффициента нагрузки?
5. Какой вид передаточных функций имеют исследуемые потенциометрические измерительные преобразователи с активной и индуктивной нагрузкой?
6. Каковы преимущества и недостатки рассматриваемых потенциометрических измерительных преобразователей?
7. Расскажите о конструктивном устройстве ВТ, о схемах включения обмоток и принципах действия в синусно-косинусном и линейном режимах работы, об областях применения.

8. Перечислите возможные причины погрешности измерений ВТ. Какие применяются меры для уменьшения погрешности?

9. С какой целью применяется симметрирование ВТ?

10. Каким образом осуществляется первичное (со стороны статора) и вторичное (со стороны ротора) симметрирование ВТ?

11. Как снимаются синусно-косинусные и линейная характеристики ВТ? Поясните вид этих характеристик.

12. Объясните отличия в виде характеристик в случаях отсутствия и наличия нагрузок на выходных обмотках ВТ.

13. Как устроен инкрементальный оптический энкодер?

14. Какой алгоритм определения угла поворота с помощью энкодера?

2. Лабораторная работа № 2 «Исследование датчиков частоты вращения»

2.1 Цель работы

Изучение датчиков частоты вращения.

2.2 Содержание работы

В лабораторной работе будут исследоваться:

- тахогенератор постоянного тока ТГП-3;
- инкрементальный энкодер E50S8.

2.3 Теоретические сведения.

Оптические энкодеры

На практике в средствах автоматизации, промышленной робототехнике, средствах числового программного управления и других промышленных системах управления и контроля широко используются оптические угловые (поворотные) энкодеры (шифраторы). Ведь точное измерение скорости, ускорения и положения ротора электродвигателя -непрерывное условие нормальной работы систем управления электродвигателями. В петле управления в качестве сигнала обратной связи могут использоваться, например, потребляемый двигателем ток или противо-ЭДС обмотки. Однако для высокоточного управления скоростью или положением ротора электродвигателя лучше всего использовать энкодеры механически связанные с валом ротора.

Существует два основных типа оптических угловых кодирующих устройств:

- относительные (инкрементальные) энкодеры, в которых происходит последовательный счет меток перемещения;
- абсолютные энкодеры, когда для каждого положения вала существует индивидуальный бинарный код.

Принцип работы оптического кодирующих устройств основан на пересечении светового луча оптопары (светодиоды и фототранзисторы) с размеченным диском, установленным на валу (рис. 2.3.1).

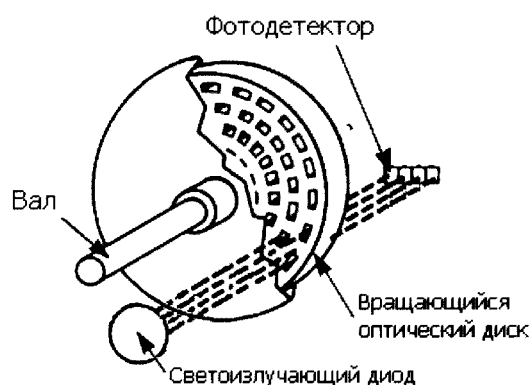


Рис. 2.3.1. Принцип действия оптического инкрементального энкодера.

В зависимости от частоты разметки диска определяется разрешающая способность датчика и, как следствие, точность измерения перемещения.

В абсолютных энкодерах углового положения используется электромеханический способ аналого-цифрового преобразования, предполагающий непосредственное преобразование угла поворота вала в соответствующий цифровой выходной сигнал, который может быть использован для обработки и интерпретации информации любым измерительным комплексом.

Абсолютные шифраторы применяются в тех случаях, когда устройство бездействует в течение продолжительных интервалов времени или перемещается с небольшой скоростью. Примерами таких устройств могут быть задвижки управления, телескопы, грузовые краны и т. д.

В традиционном абсолютном шифраторе маска на диске состоит из ряда концентрических дискретных дорожек с числом периодов на один оборот, удвоенным на каждой следующей дорожке увеличенного радиуса. Каждая дорожка имеет собственные фотодетекторы, и расположены дорожки так, что показания всех детекторов генерируют параллельный двоичный код (рис. 2.3.2), обычно код Грея, преимущество которого заключается в изменении только одного разряда при переходе в последовательном счёте от одного числа к другому. Например, шифратор с 12 дорожками будет генерировать 4096 слов за один оборот вала. Оптомеханика и электроника считывания кода такого шифратора являются значительно более сложными и дорогостоящими, чем у шифратора приращений. Тем не менее, он имеет существенное преимущество: предоставление информации тотчас же после запуска, без процедуры возврата в исходное положение.

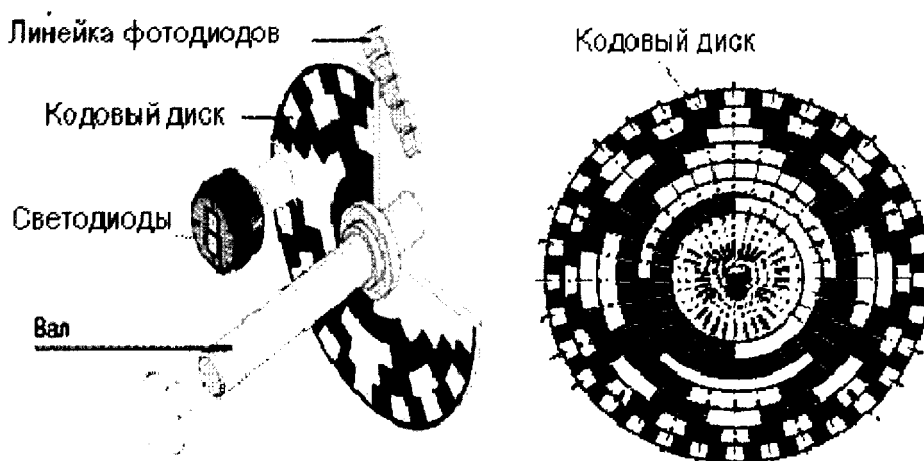


Рис. 2.3.2. Кодированный диск для генерации 7 разрядного кода Грея и упрощенная схема абсолютного энкодера

Алгоритм построения кода Грея может быть формально представлен как результат сложения по модулю два исходной комбинации двоичного кода с такой же комбинацией, но сдвинутой на один разряд вправо.

Двумя другими характерными свойствами абсолютных шифраторов являются следующие:

1) так как шифратор генерирует параллельный двоичный код, просто и непосредственно обеспечивается сопряжение с любым микропроцессорным оборудованием или устройством индикации;

2) так как шифратор «запоминает» данные о положении посредством кодированной маски диска, нет необходимости постоянно накапливать данные с его выхода; данные просто считываются всякий раз, когда необходимо определить текущее положение.

Абсолютный энкодер относится к типу энкодеров, который имеет уникальный код для каждой позиции вала. Счетчик импульсов в таком энкодере не нужен, т.к. угол поворота всегда известен. Абсолютный энкодер формирует сигнал, как во время вращения, так и в режиме покоя. Диск абсолютного энкодера, отличается от диска шагового энкодера, так как имеет несколько концентрических дорожек (рис. 1.3.7). Каждой дорожкой формируется уникальный двоичный код для конкретной позиции вала.

Абсолютный энкодер не теряет своего значения при потере питания и не требует возвращения в начальную позицию. Сигнал абсолютного энкодера не подвержен помехам и для него не требуется точная установка вала. Кроме того, даже если кодированный сигнал не может быть прочитан энкодером, если, например, вал вращается слишком быстро, правильный угол вращения будет зарегистрирован, когда скорость вращения уменьшится. Абсолютный энкодер устойчив к вибрациям.

Инкрементальные оптические энкодеры используются в тех случаях, когда сохранение абсолютного углового положения вала при выключении питания не требуется. Например, для контроля скорости вращения или для точного позиционирования ротора двигателя. Внешний вид инкрементального оптического энкодера, исследуемого в лабораторной работе показан на рис. 2.3.3.

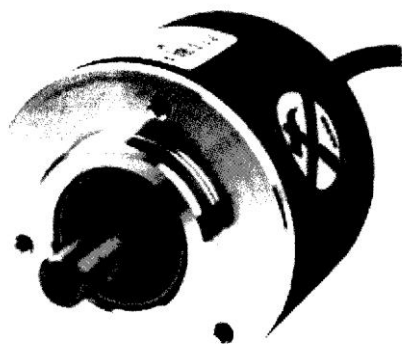


Рис. 2.3.3. Внешний вид инкрементального оптического энкодера E50S8.

Инкрементальный оптический энкодер, как правило, состоит из пяти компонентов: источника света, пошагового диска, маски, фотодетекторной сборки, и сигнального процессора. Внутри энкодера жестко с валом закреплен прозрачный диск с темными рисками. Количество рисок определяет количество импульсов за поворот. К примеру, если на диске нанесено 1000 отметок, тогда после 250 импульсов вал должен повернуться на 90 градусов. Источник света и фотоприемник расположены по разные стороны от диска. Количество света, приходящего на фотоприемник, меняется в зависимости от положения рисок. Электронная плата преобразует сигнал с фотоприемника в дискретный выходной сигнал.

Шифраторы приращений могут быть классифицированы следующим образом.

Одноканальные (тахометрические шифраторы), применяемые для измерения скорости или частоты, не могут быть использованы для определения направления перемещения. Выходной сигнал обычно представляет собой периодическую импульсную последовательность (рис. 2.3.4).

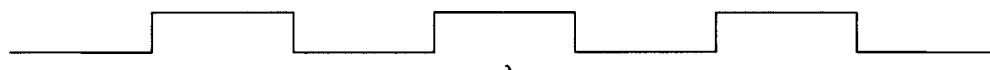


Рис. 2.3.4. Выходной сигнал одноканального шифратора.

Двухканальные (квадратурные) энкодеры, генерирующие сдвинутые относительно друг друга по фазе на 90° (рис. 2.3.5) выходные периодические импульсные последовательности, позволяют с помощью

внешних логических цифровых устройств определять направление вращения вала и таким образом делают возможным двунаправленное позиционирование. Сигнальные последовательности, предоставляющие информацию, закодированную в соотношении фаз двух выходных сигналов, называются квадратурными сигналами.

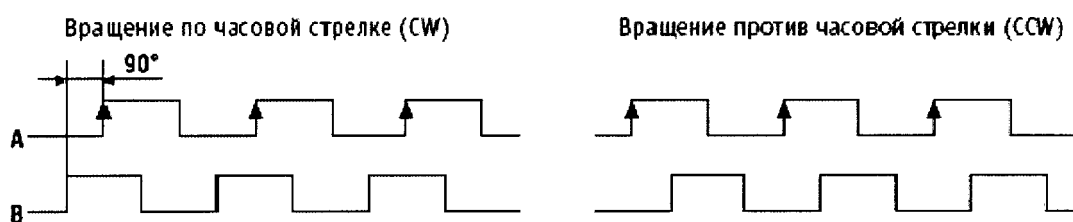


Рис. 2.3.5. Выходные сигналы двухканального шифратора

Направление вращения определяется по наличию опережения или отставания по фазе сигнала канала А относительно сигнала канала В. В случае применения шифратора тахометрического типа может возникнуть ошибка, если шифратор остановится на границе чувствительного элемента. В результате воздействия сил вибрации устройство будет пересекать эту границу в прямом и обратном направлениях счётчик будет

подсчитывать каждый переход, даже несмотря на фактическую остановку системы (явление позиционного дрожания). В двухканальном шифраторе, благодаря использованию квадратурного определения и выявлению изменений взаимного состояния противоположных каналов, генерируется достоверная информация о направлении вращения. Величина скорости определяется посредством измерения либо интервала времени между импульсами, либо числа импульсов в пределах временного интервала.

Квадратурное измерение обеспечивает получение одно (1X), двукратной (2X) или четырёхкратной (4X) разрешающей способности диска абсолютного кода.

Трёхканальные энкодеры приращений генерируют так называемый нулевой импульс, который вырабатывается один раз за оборот вала и который также называется сигналом реперной точки, маркерным сигналом, сигналом исходной точки, Z-сигналом (рис. 2.3.6). Он используется как опорный сигнал в процессе обслуживания оборудования или для запуска его после выключения энкодера.

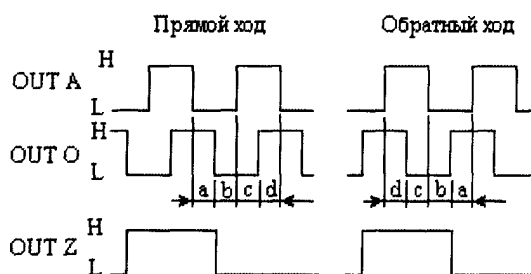


Рис. 2.3.6. Выходные сигналы трехканального инкрементального энкодера

Дифференциальные выходы применяются для надёжной передачи информационной посылки между достаточно удалёнными устройствами и/или в условиях помех (рис. 2.3.7). Энкодер с комплиментарными выходами и схемой управления на операционных усилителях может минимизировать влияние внешнего шума. Когда сигнал канала А находится в высоком состоянии, его комплиментарный канал А переключается в низкое состояние. Электрический шум будет влиять на оба канала одинаково, поэтому легко вычищается дифференциальными операционными усилителями.

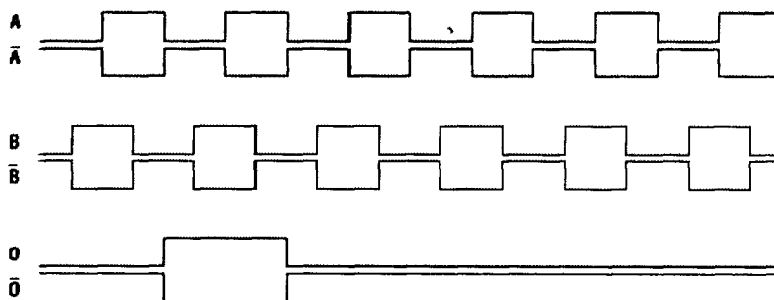


Рис. 2.3.7. Дифференциальные выходы шифратора.

Число измерительных интервалов может быть удвоено посредством выполнения операции сложения по модулю 2 (исключающее ИЛИ) сигналов А и В (рис. 2.3.8). Это создаёт возможность для увеличения разрешающей способности в 2 раза.

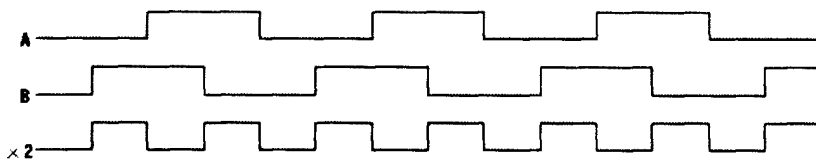


Рис. 2.3.8. Увеличение разрешающей способности в 2 раза.

Увеличение разрешающей способности в 4 раза может быть выполнено посредством измерений нарастающих и спадающих фронтов периодических импульсных последовательностей каналов А и В (рис. 2.3.9). В рамках проведённой классификации покажем отдельные особенности шифраторов.

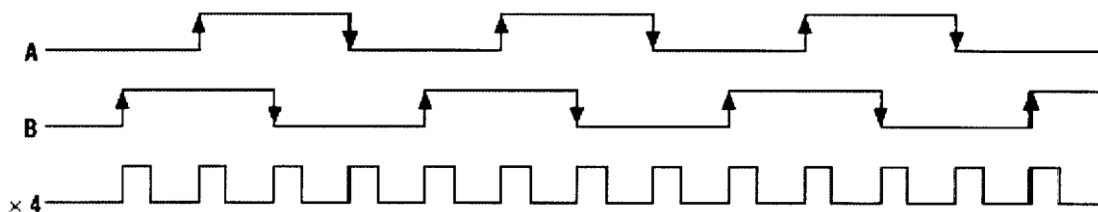


Рис. 2.3.9. Увеличение разрешающей способности в 4 раза

Обработка сигналов энкодеров

Для получения параметров вращений (угол поворота, частота вращения, ускорение) при помощи оптических энкодеров необходимо использовать вспомогательные цифровые устройства обработки сигналов.

Так при определении углового перемещения ротора с помощью одноканального энкодера необходимо устройство подсчитывающее количество импульсов и, учитывая разрешающую способность, переводящее это количество импульсов в измеряемое перемещение.

Для измерения угловой скорости и ускорения с помощью квадратурных энкодеров можно, например, подсчитывать число импульсов за определенный промежуток времени. При этом точность измерений, очевидно, будет определяться числом импульсов за один полный оборот и длительностью интервала измерений по сравнению с ожидаемым периодом вращения. Скорость вращения будет составлять [об/мин]:

$$V = \frac{n/dT}{N}$$

где n — число импульсов за промежуток времени dT (измеренный в минутах), а N — число импульсов на один полный оборот ротора (pulses per revolution).

Для измерения ускорения требуется подсчет импульсов в двух последовательных одинаковых интервалах времени и вычисляется по формуле:

$$A = \frac{(n_i - n_{i-1})/N}{dT^2}$$

где n_i и n_{i-1} — количество импульсов за текущий и предыдущий измерений.

В случае реверсивного движения ротора для обработки сигналов с квадратурных шифраторов можно использовать метод, основанный на обнаружении фронта. Нарастающие и спадающие фронты сигналов, поступающих с шифраторов, служат своего рода спусковым крючком, вызывающим формирование отсчёта счетчика. По каждому фронту электронная схема не только генерирует одиночный импульс счёта, но и определяет направление перемещения (что определяет знак счёта), используя информацию о текущем направлении отсчёта (прямое или обратное), о характере перепада сигнала и состоянии сигнала другого канала. На рис. 2.3.10 дано пояснение метода обнаружения фронта при помощи микропроцессорного устройства. При определении восходящего фронта на одном канале энкодера, например, настроив, пользовательское прерывание на срабатывание по восходящему фронту, в обработчике прерывания анализируется логическое состояние в другом канале. Если там низкий уровень - то счетчику сообщается +1, если высокий, то -1.

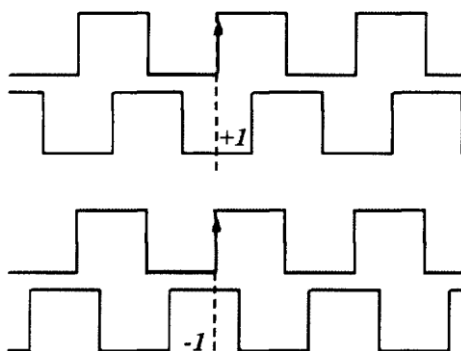


Рис. 2.3.10. Пояснение к обработке сигналов с квадратурного энкодера.

В современных цифровых устройствах чаще используются не фронты, а изменения логических состояний. Как правило, цифровые счётные устройства имеют в своём составе высокоскоростной генератор тактовых сигналов, и постоянно производится опрос состояний сигналов каналов А и В. В случае, когда обнаруживается изменение, счётное устройство выбирает прямое или обратное направление счёта по логике, показанной в табл. 2.3.1. Вместо того чтобы ожидать запускающий фронт от шифратора,

цифровое устройство генерирует собственный сигнал запуска, исходя из результатов анализа изменения состояния каналов шифратора.

Таблица 2.3.1.

Перемещение направленное вперед		Перемещение в обратном направлении	
Канал А	Канал В	Канал А	Канал В
Счёт в прямом направлении	Высокий уровень (логическая 1)	Счёт в прямом направлении	Низкий уровень (логический 0)
Счёт в обратном направлении	Низкий уровень (логический 0)	Счёт в обратном направлении	Высокий уровень (логическая 1)
Низкий уровень (логический 0)	Счёт в прямом направлении	Высокий уровень (логическая 1)	Счёт в прямом направлении
Высокий уровень (логическая 1)	Счёт в обратном направлении	Низкий уровень (логический 0)	Счёт в обратном направлении

Наряду с этими восемью разрешёнными изменениями состояний (А, В), существуют также четыре комбинации, которые означают возникновение ошибки: (0,0) —>(1,1), (1,1) —> (0,0), (0,1) —> (1,0), и (1,0) —> (0,1). Данные ошибки означают, что, по крайней мере, одно состояние было пропущено. Схема пользователя должна вырабатывать сигнал, предупреждающий о подобных ошибках.

Так как существуют четыре различных состояния (или фронта) за период, то обычно используют преимущества собственной разрешающей способности шифратора. В настоящее время есть готовые микросхемы, осуществляющие квадратурное декодирование, поэтому пользователям нет необходимости синтезировать собственную цифровую схему.

Тахогенератор постоянного тока

Тахогенератор постоянного тока .это машина постоянного тока с независимым электромагнитным возбуждением или возбуждением постоянными магнитами, работающая в генераторном режиме.

Тахогенераторы используются для измерения и преобразования скорости вращения валов рабочих механизмов, а также в качестве корректирующих элементов выполняющих функции электромеханического дифференцирования, если за входной сигнал принять угол поворота ротора или введения обратной связи по скорости. Помимо тахогенераторов постоянного тока существуют тахогенераторы переменного тока, или асинхронные тахогенераторы.

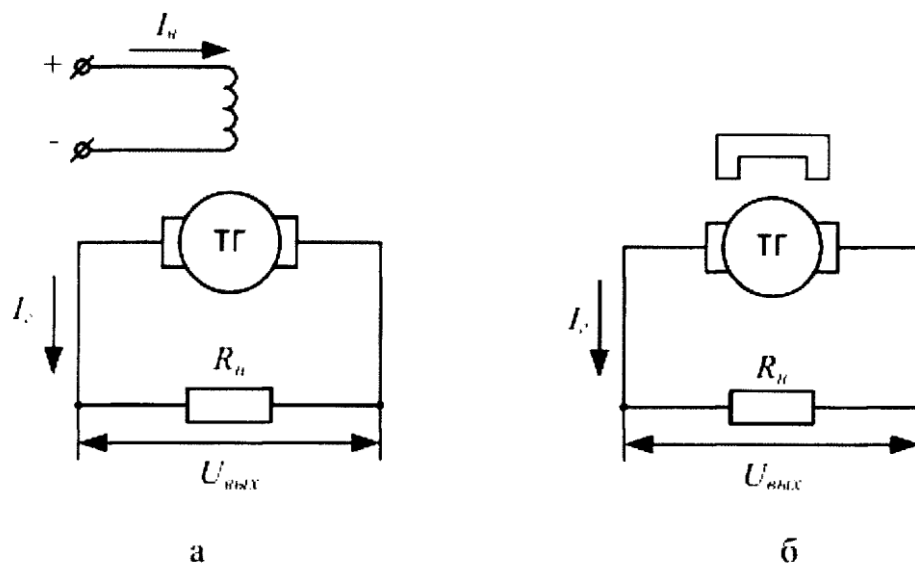


Рис. 2.3.11. Схемы тахогенераторов постоянного тока

Особенность работы тахогенератора состоит в том, что якорь обычно включен на постоянное сопротивление R_h . Ток в цепи якоря

$$I_r = \frac{E}{R_{вн} + R_H} = \frac{c \cdot n \cdot \Phi_B}{R_{вн} + R_H},$$

где $R_{вн}$ - внутреннее сопротивление тахогенератора; c - конструктивная постоянная тахогенератора; n - скорость вращения якоря; Φ_B — поток возбуждения. Выходное напряжение тахогенератора

$$U_{вых} = \frac{c \cdot R_H \cdot \Phi_B}{R_{вн} + R_H} \cdot n = \frac{c \cdot R_H \cdot \Phi_B}{R_{вн} + R_H} \cdot \frac{30}{\pi} \omega$$

Главное требование, предъявляемое к тахогенераторам, заключается в линейности статической характеристики (Рис. 2.3.12), задаваемой уравнением. Статическая характеристика тахогенератора линейна, если $\Phi_B = const$. Однако, магнитный поток возбуждения может изменяться под действием реакции якоря. Отклонение характеристики от линейного закона вызвано тем, что с увеличением скорости вращения возрастает ток якоря, поперечные ампер-витки якоря под сбегающим краем полюса увеличивают индукцию, которая при $\omega > \omega_0$ достигает стадии насыщения, т.е. в дальнейшем изменяется непропорционально ампер-виткам.

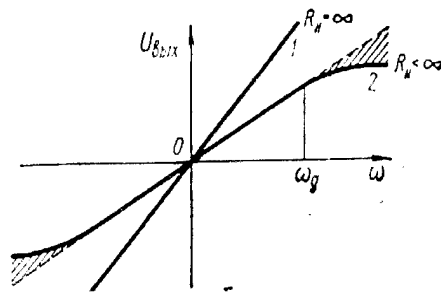


Рис. 2.3.12. Статическая характеристика тахогенератора

Кроме того, на линейность статической характеристики влияет погрешность от наличия переходного контакта щеток. Особенно заметно искажение при малых скоростях. Появляется нелинейность типа зоны нечувствительности (рис. 2.3.13). Для уменьшения зоны нечувствительности применяют щетки с малым переходным сопротивлением.

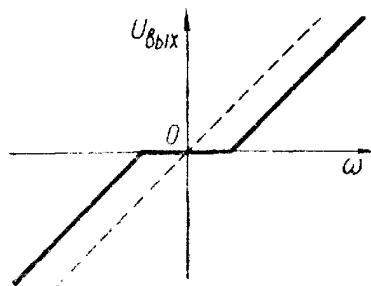


Рис. 2.3.13. Статическая характеристика тахогенератора

При использовании тахогенераторов помимо погрешности от зоны нечувствительности и влияния якоря необходимо учитывать следующие погрешности:

1. *Температурная погрешность* связана с изменением сопротивления обмотки якоря и особенно обмотки возбуждения, если последняя имеется. (При увеличении температуры меди на 50°C , ее сопротивление увеличивается на 20%). При увеличении сопротивления обмотки возбуждения уменьшается ток, магнитный поток и выходное напряжение тахогенератора. Температурную погрешность можно уменьшить различными путями. Например, включением последовательно с обмоткой возбуждения терморезистора, стабилизирующего сопротивление всей цепи. Достаточно эффективный способ – сильное насыщение магнитной цепи. В этом случае даже значительные колебания тока возбуждения весьма слабо отражаются на колебаниях магнитного потока возбуждения.

В тахогенераторах с постоянными магнитами подобной проблемы практически не существует, а изменение сопротивления обмотки якоря приводит к очень небольшим погрешностям.

2. *Асимметрия выходного напряжения* в тахогенераторах возникает из-за смещения щеток с геометрической нейтрали (при сдвиге щеток с нейтрали, возникает про-

дольная реакция якоря, которая носит намагничивающий характер при одном направлении вращения и размагничивающий при другом. Для устранения этой погрешности надо очень точно устанавливать и надежно закреплять щеточный узел, не допускать люфтов в щеткодержателях.

3. *Пульсация выходного напряжения* является специфической погрешностью тахогенератора постоянного тока. Различают зубцовые, якорные и коллекторные пульсации.

Зубцовые пульсации обуславливаются зубчатым строением якоря, что приводит к периодическому изменению проводимости воздушного зазора. С целью устранения зубцовых пульсаций выполняют скос пазов, выбирают такую ширину полюсного наконечника, в пределах которой укладывается целое число зубцовых делений (рис. 2.3.14). Иногда применяют магнитные клинья.

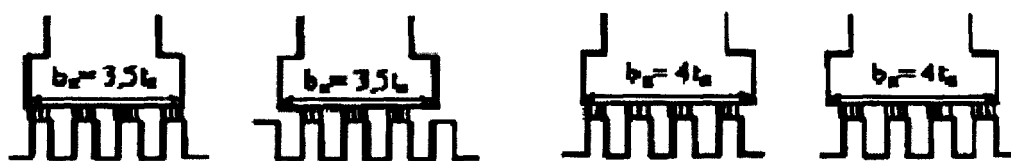


Рис. 2.3.14. Зубцовые пульсации тахогенераторов постоянного тока.

Якорные пульсации обуславливаются неравномерным воздушным зазором, неодинаковой магнитной проводимостью вдоль и поперек проката. Для ослабления этой причины выполняют относительно большой зазор, по высокому классу точности обрабатывают посадочные поверхности, применяют высококачественные подшипники, выполняют веерообразную шихтовку сердечника якоря.

Коллекторные пульсации возникают из-за конечного числа коллекторных пластин, неплотного прилегания щеток, вибраций щеточного узла. Для их устранения выполняют максимально возможное число коллекторных пластин, тщательно подбирают ширину щеток, улучшают качество изготовления щеткодержателей, коллектора и т.д.

В лабораторной работе №2 будет исследоваться тахогенератор постоянного тока ТГП-1.

2.4 Практическая часть

Описание лабораторного стенда

Прежде, чем приступить к экспериментальному исследованию тахогенератора постоянного тока и оптического энкодера, необходимо ознакомиться с принципом их действия и схемой расположения обмоток и гнезд по мнемограмме на стенде. Необходимо также изучить назначение элементов стенда.

Блок «Датчики частоты вращения» лабораторного стенда представлен на рис. 2.4.1.

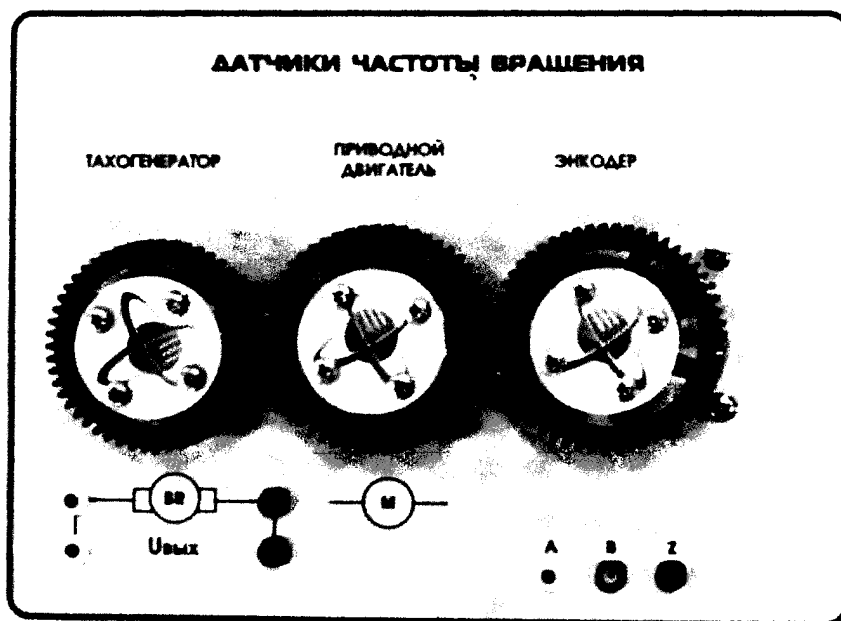


Рис. 2.4.1. Блок для исследования датчиков частоты вращения

Данный блок представляет собой двигатель постоянного тока, оптический энкодер и тахогенератор постоянного тока, соединенные ременными передачами. Кроме того, в субблоке расположен потенциометр для плавного регулирования скорости приводного двигателя от 0 до 2500-3000 об/мин.

Индикация скорости вращения осуществляется с помощью индикатора «п, об/мин», расположенного в блоке индикации.

Индикация скорости вращения осуществляется при помощи вспомогательного прибора цифрового тахометра.

Гнезда А, В и \perp необходимы для подключения выходов оптического энкодера к измерителю PF2 или осциллографу. Гнезда $U_{\text{вых}}$ необходимы для подключения выхода тахогенератора к измерителю PV1, работающему в режиме измерения постоянного напряжения или осциллографу.

В ходе лабораторной работы необходимо будет использовать переключатели магазинов сопротивлений, позволяющие ступенчато изменять сопротивления нагрузочных резисторов $R_{\text{нагр}1}$ и $R_{\text{нагр}2}$ и установленные в левой части функционального блока «Датчики положения».

Для питания системы управления приводного электродвигателя, самого электродвигателя, а также оптического энкодера осуществляется от встроенного импульсного источника питания.

Для проверки работоспособности необходимо;

- подключить стенд с помощью сетевого кабеля к сети 220 В, 50 Гц; включить стенд выключателем «Пит»;

- подключить вольтметр в режиме измерения постоянного напряжения к выходам тахогенератора, а входы А, В и ± индикатора импульсов и расстояния - к выходам оптического энкодера. Изменяя скорость вращения приводного двигателя, необходимо наблюдать изменение показаний вольтметра в диапазоне 0,01... 15 В, а на индикаторе импульсов и расстояния - изменение количества отсчитываемых энкодером импульсов.

После включения питания цепь готова к работе.

Рекомендации к выполнению исследования

Перед выполнением исследования необходимо ознакомиться с лабораторной установкой, с паспортными данными исследуемых устройств и повторить следующие разделы теории соответствующих дисциплин:

- электротехника: законы Ома и Кирхгофа; цепи постоянного и переменного тока, теория машин постоянного тока;
- метрология: оценка погрешности результатов измерения.

Далее необходимо изучить теорию из данной лабораторной работы и дополнительную литературу.

Порядок выполнения исследования

2.4.1 Снятие и построение передаточной характеристики холостого хода тахогенератора постоянного тока

Для снятия экспериментальной характеристики подключить вольтметр к выходным клеммам $U_{\text{вых0}}$ тахогенератора. Плавно изменяя скорость приводного двигателя с помощью ручки регулятора скорости, снять не менее 20 точек через равные промежутки, как в сторону увеличения скорости, так и в сторону ее уменьшения.

Данные занести в табл. 2.4.1.1.

Таблица 2.4.1.

n , об/мин				
$U_{\text{вых}}$, В				

Построить зависимость $U_{\text{вых}} = f(n)$. Эта зависимость должна быть практически линейной.

2.4.2. Снятие и построение передаточной характеристики тахогенератора постоянного тока при нагрузке

Для снятия передаточной характеристики при нагрузке на выходе тахогенератора необходимо подключить к выходам тахогенератора нагрузку $R_{\text{нагр1}}$ (100 - 470 -1000 - 4700 -10000 Ом). Плавно изменяя скорость приводного двигателя с помощью ручки

регулятора скорости, снять не менее 20 точек через равные промежутки, как в сторону увеличения скорости, так и в сторону ее уменьшения. Данные занести в табл. 2.4.2.1.

Таблица 2.4.2.1

Нагрузка, Ом	100	n , об/мин			
		$U_{\text{ВЫХ}}$, В			
	...	n , об/мин			
		$U_{\text{ВЫХ}}$, В			
	10000	n , об/мин			
		$U_{\text{ВЫХ}}$, В			

Построить зависимости $U_{\text{вых}} = f(n)$ на тех же графиках, что и зависимости $U_{\text{вых}0} = f(n)$.

По построенным экспериментальным характеристикам $U_{\text{вых}} = f(n)$. определить абсолютные и относительные погрешности, обусловленные только нелинейностью характеристик $U_{\text{вых}} = f(n)$., соответствующих $R_{\text{нагр}1} \neq \infty$, при этом за идеальную характеристику $U_{\text{вых}} = f(n)$. необходимо принять характеристику, соответствующую $R_{\text{нагр}1} \neq \infty$ (10000 Ом).

Проанализировать паспортные данные исследуемого тахогенератора, изучить его характеристики.

2.4.3. Определение частоты вращения при помощи инкрементального энкодера

Для нахождения частоты вращения ротора при помощи энкодера необходимо подключить к выходам А, В и \perp энкодера щупы цифрового осциллографа.

Далее необходимо пригласить преподавателя для того чтобы настроить осциллограф на измерение частоты по двум каналам.

После настройки осциллографа можно наблюдать последовательности импульсов, частота которых зависит от скорости вращения приводного двигателя. С помощью частотомера встроенного в осциллограф сделать 3 измерения частоты импульсов обоих каналов, одновременно измеряя частоту вращения при помощи цифрового тахометра (Не выставлять частоту вращения более 3000 об/мин). Занести данные в табл. 2.4.3.1. Используя описание принципа действия инкрементального энкодера, определить количество импульсов за один оборот (pulse per revolution), т.е. разрешающую способность. По техническому описанию инкрементального энкодера подтвердить марку энкодера, зная, что выход у него дифференциальный. После определения разрешающей способности вычислить и занести в таблицу частоту вращения ротора дви-

гателя, вычисленную по энкодеру. Сравнить показания частоты вращения, получаемые с энкодера и тахометра. Заполнить таблицу 2.4.3.1.

Таблица 2.4.3.1

Частота вращения по тахометру, об/мин	Частота появления импульсов энкодера (выход А), Гц	Частота появления импульсов энкодера (выход В), Гц	Разрешающая способность, от-счетов/оборот	Частота вращения ротора двигателя вычисленная по энкодеру, об/мин

Подключившись с помощью щупа осциллографа к выходу Z энкодера пронаблюдать появление нулевого импульса на малых частотах вращения одновременно с импульсами канала А. С разрешения преподавателя сделать скриншоты осциллограмм, с каналами А и В, и с каналами А и Z и записать их на съемные flash-накопители.

Требования к оформлению и содержанию отчета об исследовании

В отчете должны быть представлены:

1. Схема включения тахогенератора
2. Таблицы результатов измерений по п.1.5.1-1.5.3.
3. Графики статических характеристик по п.1.5.1 и п.1.5.2.
4. Оценка диапазона нелинейности тахогенератора
5. Оценка метрологических характеристик и влияния нагрузки на выходное напряжение тахогенератора датчика
6. Эпюры напряжений по п. 1.5.3.
7. Выводы (со ссылками на результаты измерений) по точности преобразования и об источниках возникновения погрешностей исследуемых датчиках и об особенностях применения.

Контрольные вопросы для подготовки к защите

1. Какие приборы и субблоки необходимо использовать при исследовании работы тахогенератора и энкодера;
2. Опишите порядок проведения лабораторной работы. Какие эксперименты необходимо провести. Какие характеристики датчиков нужно снять?

3. Опишите, какой вид, на ваш взгляд, должны иметь экспериментальные характеристики тахогенератора и энкодера.
4. Какие машины называются тахогенераторами, каков принцип их работы?
5. Назовите основные погрешности ТГ постоянного тока, их причины и пути снижения.
6. Какие характеристики имеют тахогенераторы? Что они означают?
7. Каковы причины нелинейности передаточных характеристик ТГ при нагрузке?
8. Выведите передаточную функцию тахогенератора постоянного тока.
9. Приведите примеры использования тахогенераторов в системах автоматизации (со схемами).
10. Какие устройства называют энкодерами? Объясните принцип работы абсолютного и инкрементального оптических энкодеров?
11. Каковы преимущества абсолютных и инкрементальных энкодеров?
12. За счет чего удваивается разрешающая способность в квадратурном энкодере по сравнению с одноканальным?
13. Что такое квадратурный декодер?
14. Как определяются параметры вращения (угол поворота, частота вращения) при помощи абсолютных и инкрементальных энкодеров с использованием микропроцессорных систем? Привести при-меры.
15. Постройте код Грея для десятичных чисел от 0 до 15. Покажите его преимущества по сравнению с двоичным кодом при измерении перемещений с помощью абсолютного энкодера.
16. Как можно увеличить разрешающую способность энкодера?
17. Определите линейную скорость перемещения заданной точки ременной передачи (по заданию преподавателя).

3. Лабораторная работа №3 «Изучение бесконтактных датчиков (выключателей)»

3.1 Цель работы.

Ознакомление с устройством бесконтактных датчиков, изучение принципов работы и схем включения.

3.2 Теоретическая часть

Бесконтактным выключателем (БВ) называется датчик, приводимый в действие внешним объектом без механического контакта выключателя и объекта. Коммутация нагрузки производится полупроводниковыми элементами узла коммутации БВ. Всё это обеспечивает высокую надёжность работы БВ.

В системах управления они, как правило, выполняют функцию датчиков обратной связи, сигнализируя о завершении выполнения конкретным элементом оборудования команды на перемещение. Но этим их применение не ограничивается. Датчики используются практически во всех отраслях промышленности, в первую очередь в металлургической, машиностроительной, горнодобывающей, нефтегазовой и других отраслях промышленности. Упрощённая функциональная схема ВВ состоит из трёх блоков (рис. 3.2.1).

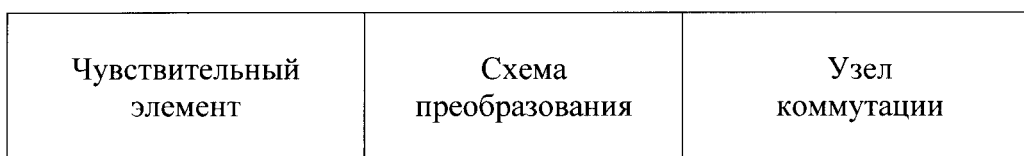


Рис. 3.2.1. Функциональная схема бесконтактного выключателя

Входя в зону чувствительности БВ, движущийся объект вызывает срабатывание датчика. При его срабатывании полупроводниковый узел коммутации включает или отключает ток нагрузки (до 400 мА постоянного или до 500 мА переменного тока). В качестве нагрузки могут быть использованы входы контроллера, электронной схемы или непосредственно обмотка реле, контактора.

Электрическая часть ВВ помещена в корпус из пластмассы или никелированной латуни. Для обеспечения работоспособности в экстремальных условиях эксплуатации электрическая часть герметизируется компаундом.

В основе классификации БВ - их основные характеристики, по которым и строится система обозначений. БВ классифицируются:

1. По принципу действия чувствительного элемента - индуктивные, ёмкостные, оптические, ультразвуковые, магниточувствительные на герконе, магниточувствительные на эффекте Холла.

2. По условиям установки в конструкцию. Индуктивные и ёмкостные БВ выпускаются утапливаемого и неутапливаемого исполнения. Последним необходимо наличие вокруг чувствительного элемента зоны, свободной от демпфирующего материала.

3. По возможностям коммутационного элемента. БВ различаются по коммутационной функции и по типу выхода (схемам подключения).

4. По особенностям конструктивного исполнения. БВ различаются по форме корпуса и по способу подключения.

Бесконтактные индуктивные выключатели (БИВ) имеют чувствительный элемент в виде катушки индуктивности с открытым в сторону активной поверхности магнитопроводом (рис. 3.2.2).

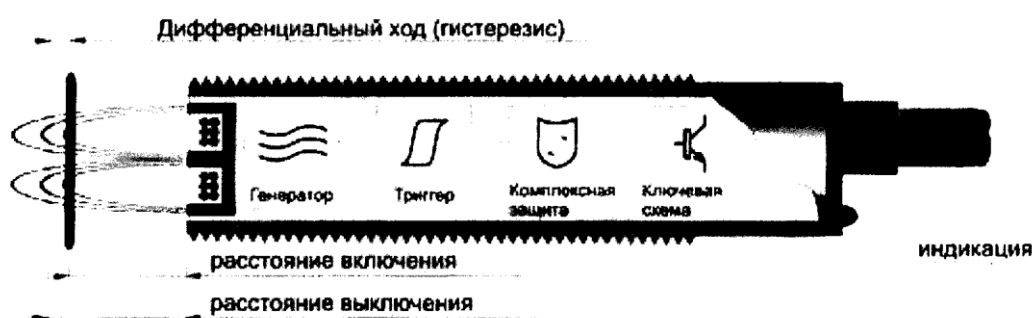


Рис. 3.2.2. Функциональная схема БИВ

Генератор создает переменное магнитное поле.

Триггер переключает состояние логического выхода при изменении параметров генератора.

Комплексная защита предохраняет датчик от переплюсовки, импульсных помех по напряжению и перегрузки по току.

Ключевая схема создает выходной сигнал датчика.

Перед активной поверхностью БИВ образуется магнитное поле. При внесении металлического объекта в это поле колебания генератора затухают, демодулированное напряжение падает, триггер опрокидывается, коммутационный элемент переключается.

БИВ выпускаются в пластмассовых или в латунных никелированных корпусах различной формы с расстоянием срабатывания от 1 до 150 мм.

Обычно объект воздействия для ВБИ изготавливается в виде стальной пластины необходимых размеров, соединённой с движущейся деталью механизма, положение которой надо контролировать.

Если объект воздействия имеет размеры меньше стандартных, то расстояние срабатывания может измениться. Представление о характере этого изменения даёт график (рис. 3.2.3) зависимости отношения S/S_n от K - отношения площади использу-

емого объекта (толщиной примерно 1 мм) к площади стандартного объекта воздействия.

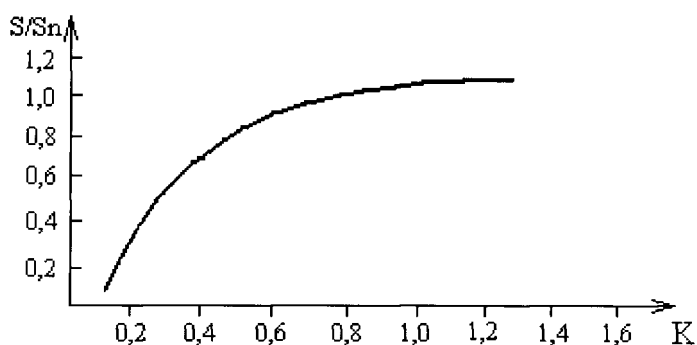


Рис. 3.2.3. Зависимость расстояния срабатывания от площади используемого объекта воздействия

При работе с объектами, изготовленными из различных металлов и сплавов, расстояния срабатывания могут уменьшаться. Тогда для предварительных расчётов следует применять поправочные коэффициенты. Например: сталь - 0,8; никром - 0,9; латунь - 0,5; алюминий - 0,5; медь - 0,48.

Для надёжного и однозначного переключения БИВ расстояние срабатывания и расстояние отпускания при обратном ходе объекта делаются разными. Параметр «Дифференциальный ход» характеризует и нормирует эту разницу.

В процессе эксплуатации приближение объекта к БИВ, как правило, производится не вдоль относительной оси, а перпендикулярно к ней. При этом точка срабатывания в пределах гарантированного интервала срабатывания зависит от удаления объекта от активной поверхности. При наличии люфтов в механизмах это нужно учитывать располагать пластину на минимально возможных расстояниях от активной поверхности с учётом люфтов.

БИВ наиболее широко используются в качестве конечных выключателей в станках с ЧПУ, автоматических поточных линиях, в разного рода приводных устройствах и т.п.

БИВ с напряжением питания 20 - 250 В переменного тока не требуют специального блока питания и часто применяются в простых схемах управления.

Бесконтактный герконовый выключатель (БГВ) - магниточувствительный выключатель с расширенным температурным диапазоном (рис. 3.2.4) позволяет автоматизировать процессы в тяжёлых температурных условиях и агрессивных средах (крайний север; холодильные установки, подвижные составы, автокраны, бульдозеры, снегоборочные машины; химическое и металлургическое производство).

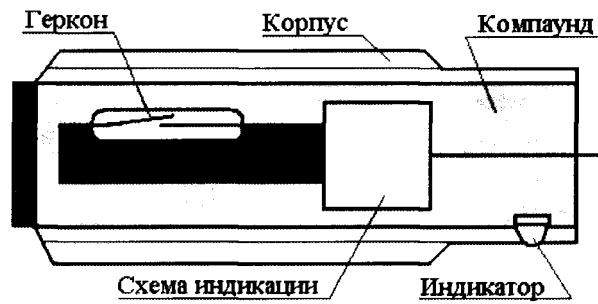


Рис. 3.2.4. Функциональная схема БГВ

С помощью герконовых датчиков можно контролировать угловое положение заслонок, положение шиберов, наличие и количество объектов на конвейере. Герконовые выключатели нашли применение в системах охраны, где требуется простой и надёжный датчик с большим диапазоном рабочих температур, выходом типа «сухой контакт» и не потребляющий электроэнергии.

Принцип работы и устройство БГВ. Геркон реагирует на изменение напряженности поля постоянного магнита и производит коммутацию внешней электрической цепи. Схема индикации со светодиодным индикатором обеспечивает работу индикатора при срабатывании геркона, показывает состояние выключателя и обеспечивает контроль работоспособности. Компаунд защищает геркон от механических воздействий и влаги. Корпус, выполненный из латуни, полиамида или пластмассы, при помощи метизных изделий облегчает монтаж выключателя.

К достоинствам ВБГ следует отнести:

- простота конструкции;
- возможность работы при переменном и постоянном напряжении до 300 В;
- низкое (близкое к нулю) падение напряжение на контактах.

Ёмкостной бесконтактный выключатель - электронное устройство, которое создает электрическое поле в зоне чувствительности, реагирует на приближение к активной поверхности объектов из любого материала и имеет полупроводниковый коммутационный элемент.

Принцип действия

Активная поверхность ёмкостного выключателя состоит из двух электродов, которые образуют обкладки конденсатора. Приближение объекта из любого материала к активной поверхности ведет к изменению ёмкости конденсатора. Генератор начинает создавать колебания, амплитуда которых возрастает по мере приближения объекта к активной поверхности. Последующая схема оценивает амплитуду и в конечном итоге приводит к переключению ключевой схемы.

Для нормальной работы ёмкостной выключатель защищен от ложных воздействий, которые вызваны атмосферными осадками (налипание снега, капли дождя), пылью при производстве строительных материалов случайным прикосновением исполнителя. Для устранения срабатывания ёмкостного выключателя серии Е при ложных

воздействиях, предусмотрена регулировка чувствительности встроенным потенциометром.

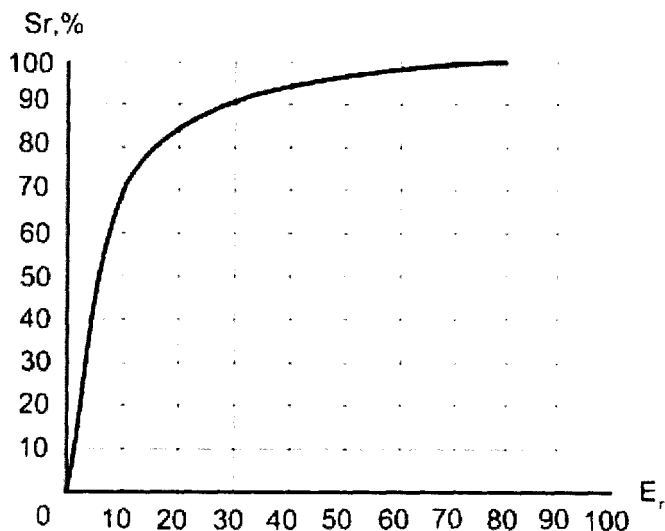


Рис. 3.2.6. Зависимость расстояния переключения от диэлектрической проницаемости материала.

Оптический бесконтактный выключатель - электронное устройство с оптической системой, обнаруживающее объекты, при прерывании или отражении видимого или невидимого оптического излучения, и имеющее полупроводниковый коммутационный элемент.

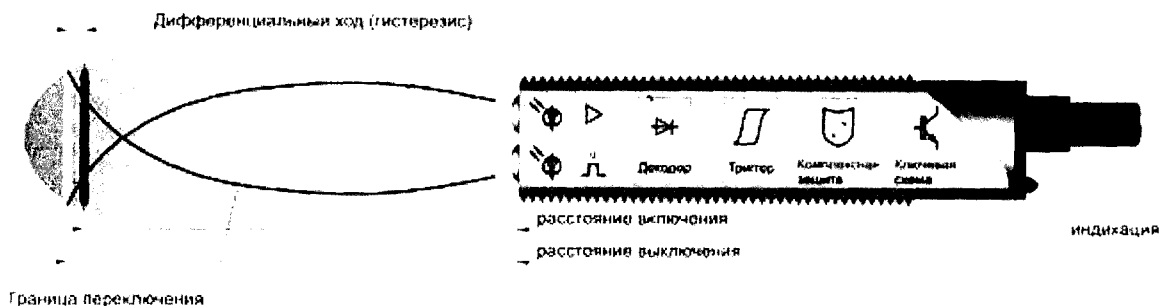


Рис. 3.2.7. Схема функциональная оптического выключателя с комплексной защитой.

Генератор создает модулированный сигнал поступающий на ИК светодиод.

Декодер анализирует поступающие модулированные сигналы и управляет триггером.

Триггер переключает состояние логического выхода при изменении параметров генератора.

Комплексная защита предохраняет датчик от переплюсовки, импульсных помех по напряжению и перегрузки по току.

Ключевая схема создает выходной сигнал датчика.

Оптический бесконтактный выключатель серии О - отражение потока излучения от объекта. Диффузный. Тип D.

Принцип действия.

Оптические выключатели серии О состоят из приемника и излучателя расположенных в одном корпусе. Активный поток излучения отражается от контролируемого объекта и возвращается в приемник.

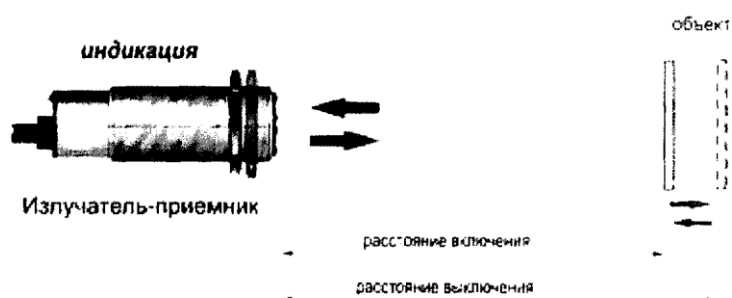
Настройка номинального расстояния переключения выключателей серии О. выполняется от листа белой бумаги с размерами 150x150 мм. Для корректировки расстояния переключения от объектов с другой отражающей способностью, которая зависит от материала, выбирается поправочный коэффициент из таблицы 3.2.2.

Таблица 3.2.2.

Зависимость коэффициента отражения от материала

Белая бумага	1,0
Картон.....	0,8
Прозрачный пластик..	0,6
Дерево.....	0,4
Черный пластик.....	0,2
Металл чистый	1,4

Рис. 3.2.8. Оптический бесконтактный выключатель серии О.



Излучатель-приемник в одном корпусе

Оптический бесконтактный выключатель серии ОС - отражение потока излучения от светоотражателя. Рефлекторный. Тип R.

Принцип действия.

Оптические выключатели серии ОС состоят из приемника и излучателя, расположенных в одном корпусе. Активный поток излучения отражается от светоотражателя и возвращается в приемник. При пересечении или прерывании потока контролируемым объектом, происходит переключение выключателя. При этом допускается два способа применения выключателей серии ОС:

- контролируемый объект пересекает луч при стационарном положении светоотражателя;
- светоотражатель закрепляется на контролируемом объекте.

Поставка выключателей серии ОС осуществляется в комплекте со светоотражателем. Оптические выключатели серии ОС имеют следующие качественные показатели:

- дальность излучения до 6000 мм;
- высокая помехоустойчивость от внешних воздействий, которые могут быть вызваны освещенностью, атмосферными осадками, пылью.

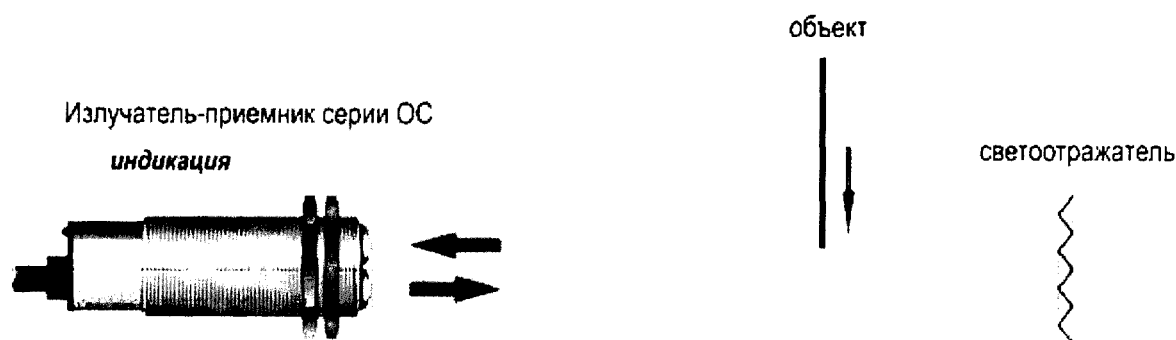


Рис. 3.2.9. Оптический бесконтактный выключатель серии ОС - излучатель-приемник в одном корпусе.

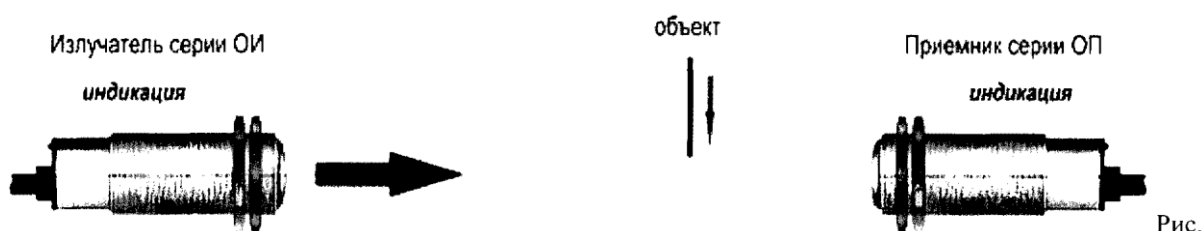
Оптический бесконтактный выключатель серии ОИ-ОП - прямой поток излучения. Барьерный. Тип Т.

Принцип действия.

Оптические выключатели серии ОИ-ОП состоят из приемника и излучателя расположенных в отдельных корпусах. При эксплуатации они располагаются друг против друга. Направленный поток излучения оценивается приемником, который переключается, при появлении в зоне чувствительности контролируемого объекта.

Оптические выключатели серии ОИ-ОП имеют следующие качественные показатели:

- дальность излучения до 16000 мм;
- помехоустойчивость от воздействия внешних факторов сопоставима с выключателями рефлекторного типа серии ОС.



3.2.10. Оптический бесконтактный выключатель серии ОИ-ОП - излучатель-приемник в отдельных корпусах.

Ультразвуковые датчики (бесконтактные выключатели)

Существуют следующие типы ультразвуковых датчиков:

Тип Т. Барьерный (на прямом луче)

Тип Д. Диффузный.

Тип Т. В этом типе излучатель посылает ультразвуковые импульсы, улавливаемые приемником. При прерывании звукового потока объектом изменяется состояние выхода приемника.

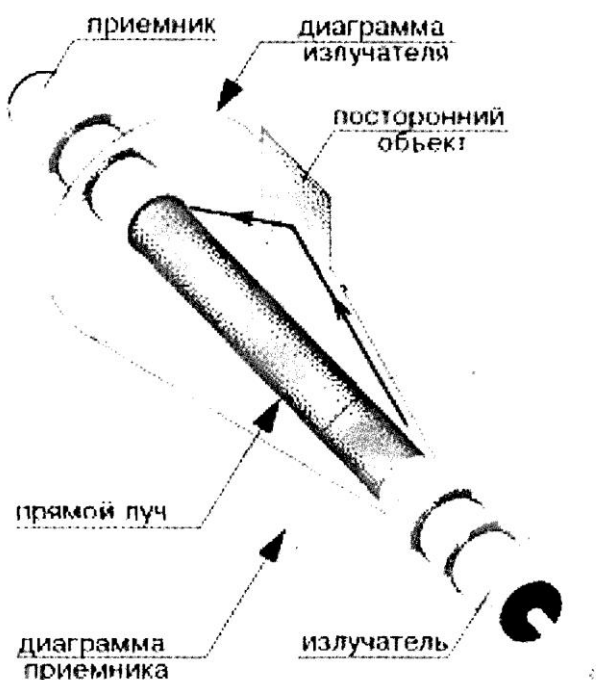


Рис. 3.2.11 Принцип работы датчика типа Т.

Тип D. Диффузный датчик.

Выключатель излучает ультразвуковые импульсы и детектирует отраженный от объекта сигнал. Время прохождения сигнала соответствует расстоянию до объекта. Выключатель изменяет коммутационное состояние при нахождении объекта в области переключения.

Благодаря использованию ультразвука выключатели этого типа способны распознавать объекты любой структуры - жидкости, порошкообразные материалы, прозрачные объекты из стекла и пластика.

Ультразвуковые выключатели выполняют свои функции в условиях запыленности, задымленности, тумана. Они не чувствительны к постороннему свету и звуку.

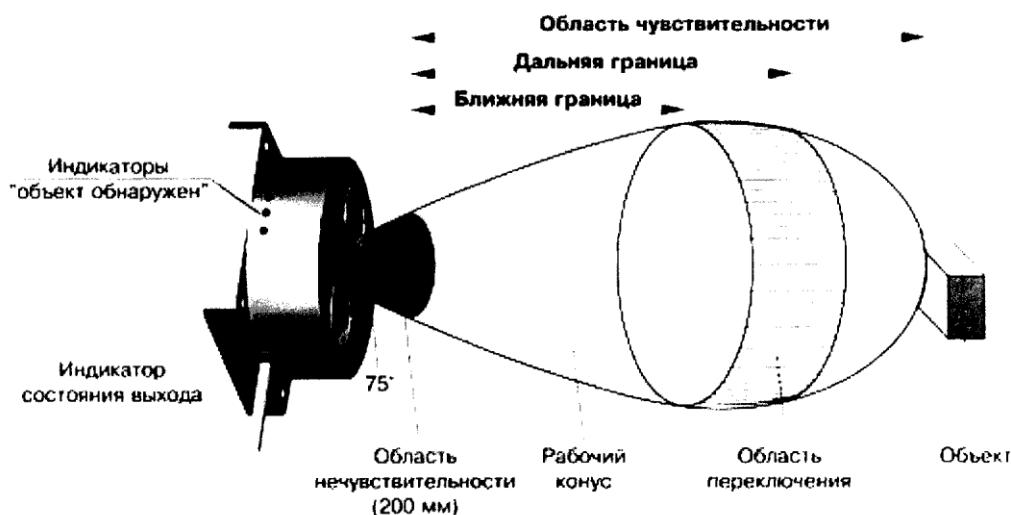


Рис. 3.2.12 Принцип работы датчика типа D.

Наибольший эффект достигается при определении уровня и высоты резервуаров, измерении расстояний, определении диаметра рулонов, контроле провиса, разрыва, использовании ультразвуковых барьеров для распознавания прозрачных объектов (стекло, пластиковые бутылки).

Почти не существует материалов, которые не смог бы обнаружить ультразвуковой датчик. Поэтому интеллектуальные ультразвуковые измерители - идеальный вариант для решения задач автоматизации технологических процессов и определения положения и удаленности объекта в различных промышленных областях. Дополнительное преимущество, которым обладает ультразвуковой датчик - устойчивость к любым видам загрязнения окружающей среды. Благодаря этим преимуществам ультразвуковые датчики часто используются, как датчики измерения уровня сыпучих и жидких материалов. В зависимости от области применения, выпускаются сенсоры с цифровым и аналоговым выходами.

Магниточувствительный концевой выключатель на эффекте Холла.

1. Чувствительный элемент на эффекте Холла воспринимает изменение магнитного поля.
2. Триггер обеспечивает необходимую крутизну фронта сигнала переключения и значение гистерезиса.
3. Усилитель увеличивает выходной сигнал до необходимого значения.
4. Светодиодный индикатор показывает состояние выключателя, обеспечивает контроль работоспособности, оперативность настройки.

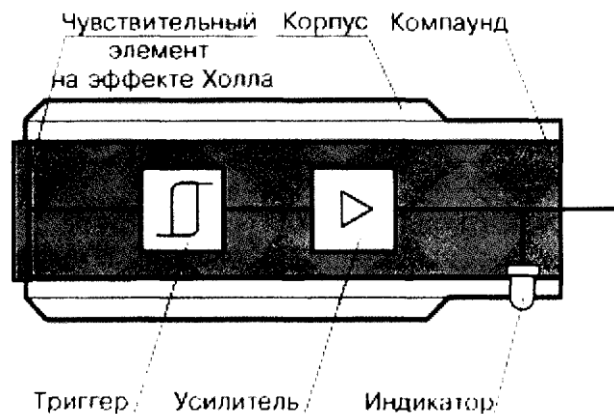


Рис. 3.2.13 Магниточувствительный концевой выключатель на эффекте Холла

Компаунд обеспечивает необходимую степень защиты от проникновения твердых частиц и воды.

Корпус обеспечивает монтаж выключателя, защищает от механических воздействий. Выполняется из латуни или полиамида, комплектуется метизными изделиями.

Принцип работы магниточувствительного бесконтактного выключателя (в т.ч. на эффекте Холла) основан на изменении характеристик чувствительного элемента при воздействии внешнего магнитного поля.

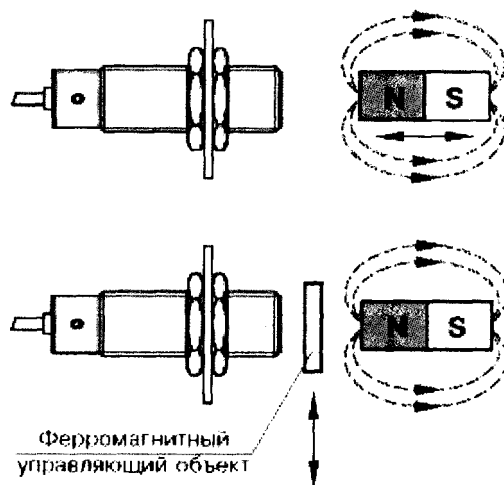


Рис. 3.2.14

При этом возможны два случая:

1. При увеличении напряженности внешнего магнитного поля до некоторого значения, происходит срабатывание триггера и изменение коммутационного состояния выключателя.

Дальнейшее увеличение напряженности магнитного поля не влияет на состояние выключателя. При уменьшении напряженности магнитного поля происходит обратный процесс, и выключатель возвращается в исходное состояние.

2. При входе в чувствительную зону управляющего объекта из ферромагнитного материала, уменьшается напряженность внешнего магнитного поля до некоторого

значения, происходит срабатывание триггера и изменение коммутационного состояния выключателя. Дальнейшее уменьшение напряженности магнитного поля не влияет на состояние выключателя.

При выходе управляющего объекта из чувствительной зоны, напряженность магнитного поля возрастает и происходит обратный процесс - выключатель возвращается в исходное состояние.

Преимущества магниточувствительных бесконтактных выключателей с герконом:

- простота
- возможность работы при переменном и постоянном напряжении до 300 В
- низкое (близкое к нулю) падение напряжения.

Преимущества магниточувствительных бесконтактных выключателей на эффекте Холла:

- большой ресурс срабатывания из-за отсутствия механических контактов.
- большая частота коммутации.

3.3 Практическая часть

Используемое оборудование лабораторного стенда:

Лабораторный стенд состоит из фиксированной стойки для крепления концевых выключателей, передвижного механизма с комплектом мишеней, модуль питания и измерений.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Изучить теоретический материал, достаточный для выполнения работы.
2. Установить датчик (индуктивно, емкостной, оптический, магниточувствительные, ультразвуковой). Соединить с выходные кабели датчика в клеммы.
3. Установить на передвижной механизм мишень.
4. Медленно приближать мишень к датчику до момента срабатывания.
5. Замерить расстояние срабатывания.
6. Занести в таблицу показания.
7. Заменить мишень повторить пункты 4-6.
8. Собрать схему (рис. 3.3.1) для исследования индуктивного датчика.

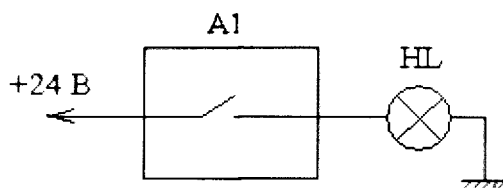


Рис. 3.3.1. Электрическая схема для исследования индуктивного датчика

При этом используется дополнительный внешний источник питания (не входит в состав лабораторного стенда).

9. Плавно поднести имитатор объекта к датчику, измерив расстояние срабатывания и последующего отпускания. Результаты занести в таблицу 3.3.1.

Таблица 3.3.1

Таблица срабатывания датчиков

Пластина (имитатор объекта)	концевой выключатель	
	Срабатывание	Расстояние, мм
Магнитный материал		
Постоянный магнит		
Немагнитный материал		

10. Собрать схему (рис.3.3.2) для исследования герконового датчика типа MS AF2A. Исследования проводить аналогично исследованию индуктивного датчика.

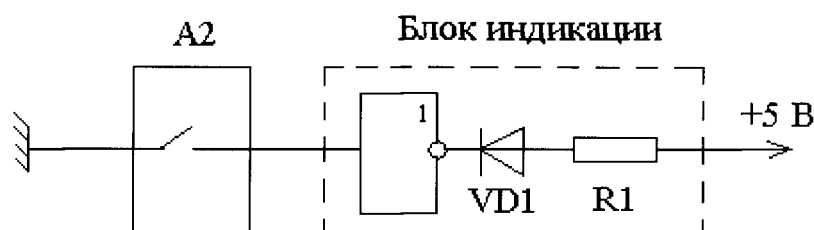


Рис. 3.3.2. Электрическая схема для исследования датчика на герконе

11. После оформления черновика, содержащего принципиальные электрические схемы, описание хода выполнения лабораторной работы, и проверки результатов преподавателем необходимо выключить стенд, разобрать схему, предоставить стенд в полной комплектности и исправности преподавателю.

4 Лабораторная работа №4 «Датчики линейного перемещения»

4.1 Цель работы

Изучение датчиков линейного перемещения.

4.2 Теоретическая часть

Датчик перемещения — это прибор, предназначенный для определения величины линейного или углового механического перемещения какого-либо объекта. Разумеется, подобные приборы имеют колоссальное количество практических применений в самых разнообразных областях, поэтому существует множество классов датчиков перемещения, которые различаются по принципу действия, точности, цене и прочим параметрам. Следует сразу отметить, что все датчики перемещения можно разделить на две основных категории — датчики линейного перемещения и датчики углового перемещения (энкодеры). В рамках данного обзора основное внимание будет уделено именно датчикам линейного перемещения.

По принципу действия датчики перемещения могут быть:

- Емкостными
- Оптическими
- Индуктивными
- Вихретоковыми
- Ультразвуковыми
- Магниторезистивными
- Потенциометрическими
- Магнитострикционными
- На основе эффекта Холла

Емкостные датчики перемещения

В основе работы датчиков данного типа лежит взаимосвязь ёмкости конденсатора с его геометрической конфигурацией. В простейшем случае речь идёт об изменении расстояния между пластинами вследствие внешнего физического воздействия (рис. 4.2.1). Поскольку ёмкость конденсатора изменяется обратно пропорционально величине зазора между пластинами, определение ёмкости при прочих известных параметрах позволяет судить о расстоянии между пластинами. Изменение ёмкости можно зафиксировать различными способами (например, измеряя его импеданс), однако в любом случае конденсатор необходимо включить в электрическую цепь.

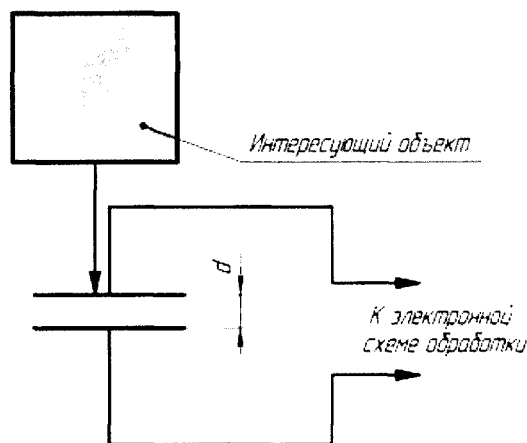


Рис. 4.2.1. Емкостной датчик линейного перемещения с изменяющейся величиной зазора.

Другой схемой, где выходным параметром является электрическая ёмкость, является схема, содержащая конденсатор с подвижным диэлектриком (рис. 4.2.2). Перемещение диэлектрической пластины между обкладками конденсатора также приводит к изменению его ёмкости. Пластина может быть механически связана с интересующим объектом, и в этом случае изменение ёмкости свидетельствует о перемещении объекта. Кроме того, если сам объект обладает свойствами диэлектрика и имеет подходящие габариты — он может быть использован непосредственно в качестве диэлектрической среды в конденсаторе.

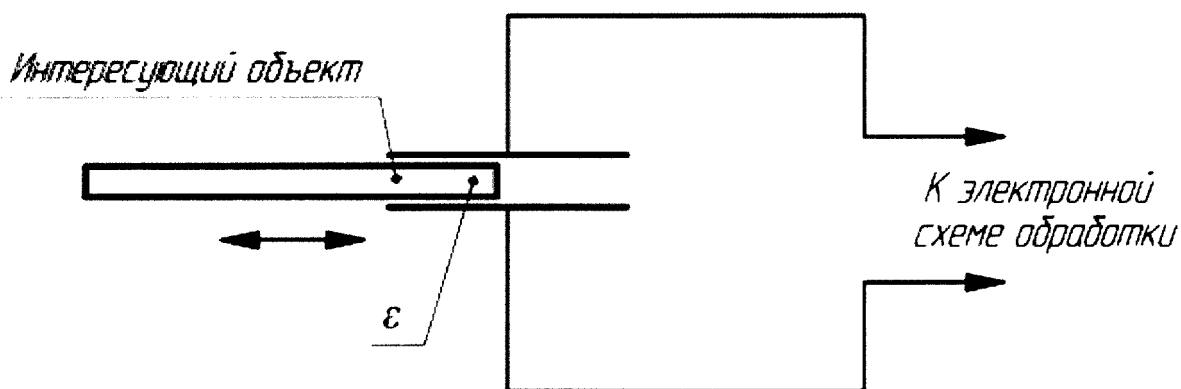


Рис. 4.2.2 Емкостной датчик линейного перемещения с подвижным диэлектриком.

Оптические датчики перемещения

Существует множество вариаций схем датчиков перемещения, основанных на различных оптических эффектах. Пожалуй, наиболее популярной является схема оптической триангуляции — датчик положения является, по сути, дальномером, который определяет расстояние до интересующего объекта, фиксируя рассеянное поверхностью объекта излучение и определяя угол отражения, что даёт возможность определить длину d — расстояние до объекта (рис. 4.2.3). Важным достоинством большин-

ства оптических датчиков является возможность производить бесконтактные измерения, кроме того такие датчики обычно довольно точны и имеют высокое быстродействие.

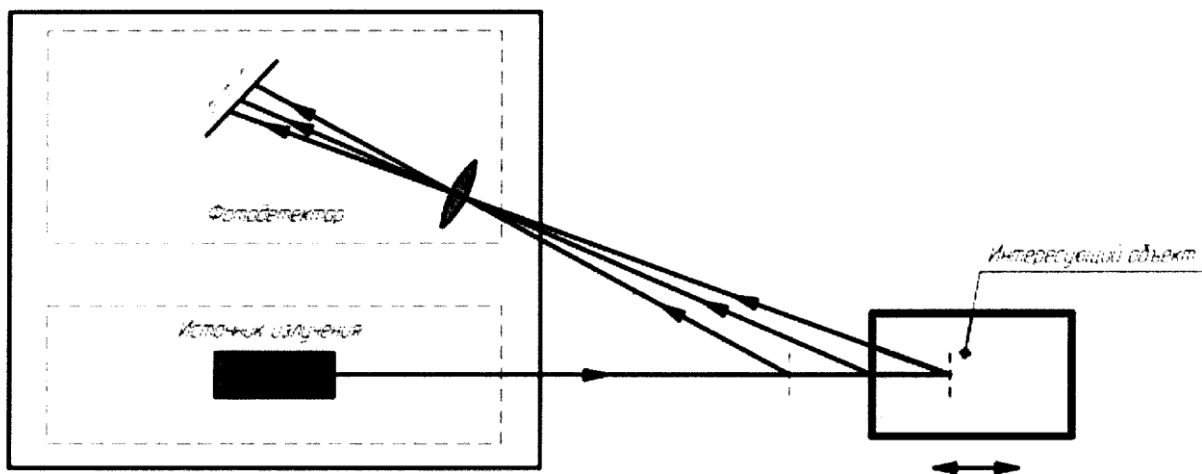


Рис. 4.2.3. Оптический датчик перемещения на основе схемы оптической триангуляции.

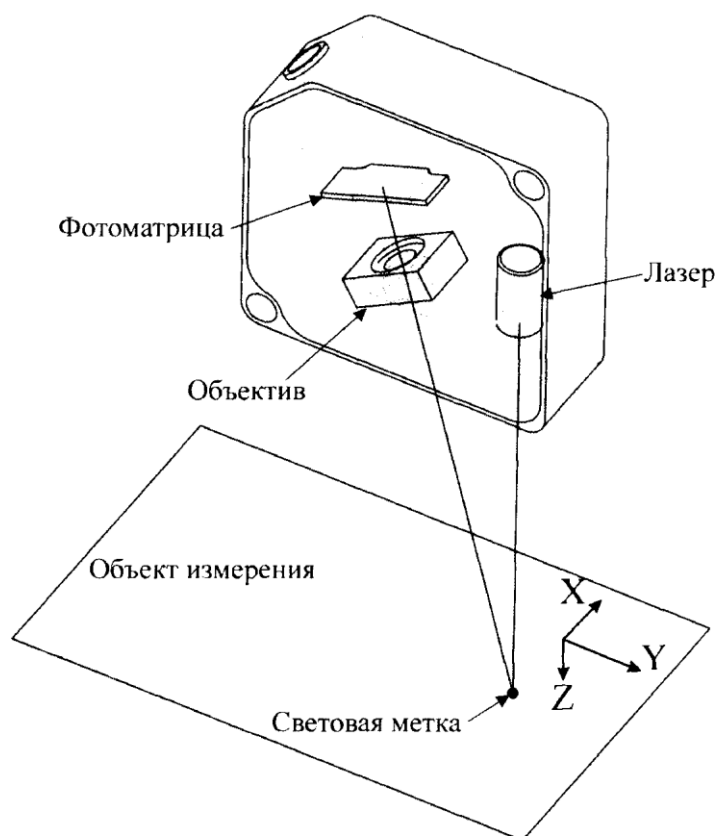


Рис. 4.2.4 Общий вид датчика.

В другой реализации оптического датчика, предназначенной для регистрации и определения параметров малых перемещений и вибраций, используется двойная решётчатая конструкция, а также источник света и фотодетектор (Рис. 4.2.4). Одна решётка неподвижна, вторая подвижна и может быть механически закреплена на инте-

ресующем объекте или каким-либо способом передавать датчику его движение. Малое смещение подвижной решётки приводит к изменению интенсивности света, регистрируемой фотодетектором, причём с уменьшением периода решётки точность датчика возрастает, однако сужается его динамический диапазон.

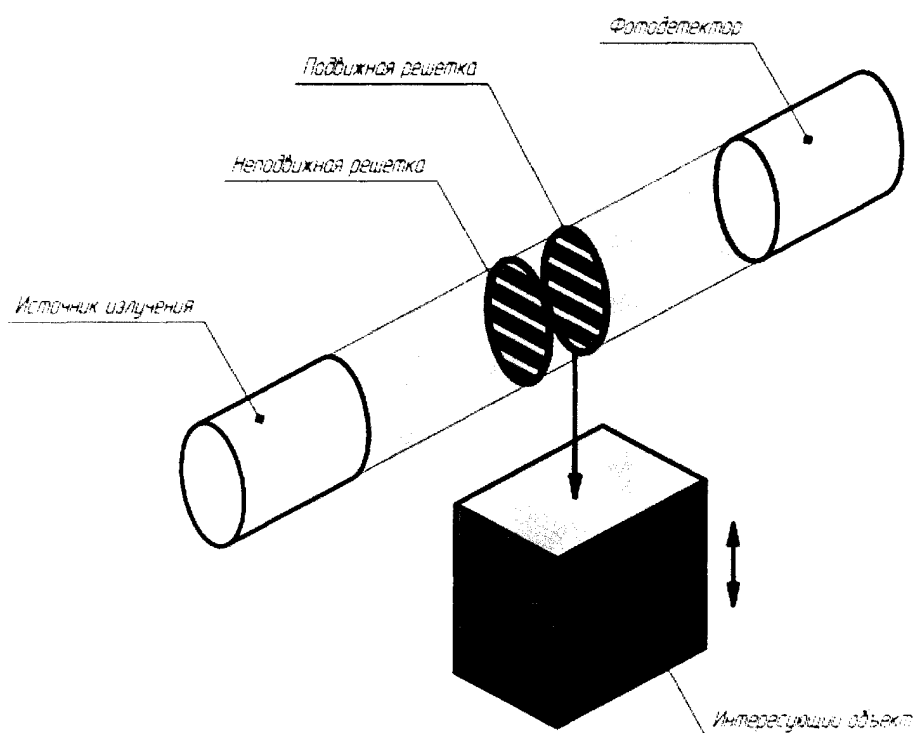


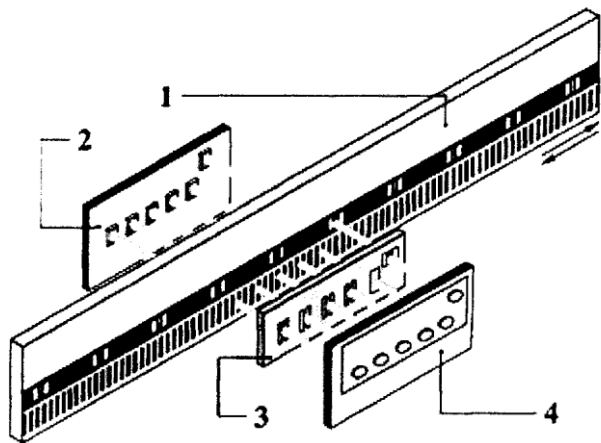
Рис. 4.2.4. Оптический датчик перемещения на основе дифракционных решеток

Дополнительными возможностями применения обладают оптические датчики, учитывающие поляризацию света. В таких датчиках может быть реализован алгоритм селекции объектов по отражательным свойствам поверхности, т.е. датчик может «обращать внимание» только на объекты с хорошей отражающей способностью, прочие объекты игнорируются. Разумеется, чувствительность к поляризации негативно сказывается на стоимости подобных устройств.

Принцип действия преобразователей линейных перемещений.

Метод оптоэлектронного сканирования штриховых растров является базой работы преобразователей перемещения. При относительном перемещении шкалы 1 и анализатора 3 сопряжения регулярного раstra шкалы с растрами анализатора создают проходящие через них потоки излучения, которые воспринимаются подходящими фотоприемниками. Растровая шкала состоит из двух параллельных информационных дорожек: референтных меток и регулярного раstra.

Растровый анализатор имеет четыре окна А, А, В, В инкрементного считывания и окно референтной метки Б. Эти четыре окна позиционно сбалансированы с дорожкой регулярного раstra шкалы. Шаги растров в окнах соответствуют шагам регулярного раstra шкалы (20 мкм или 40 мкм).



- Считывающий узел**
- 2 плата фотоприемников (кремниевые фотодиоды)
 - 3 растровый анализатор (пластина индикаторная)
 - 4 плата осветителей (инфракрасные излучатели)

Рис. 4.2.5

При этом каждая пара окон растры смещена относительно друг друга на величину, которая равняется половине их шага, а взаимный пространственный сдвиг растров между парами окон составляет четверть шага растров. Последовательно с растровыми окнами располагается прозрачное окно Г. Референтная метка Б позиционно сбалансирована с дорожкой референтных меток шкалы.

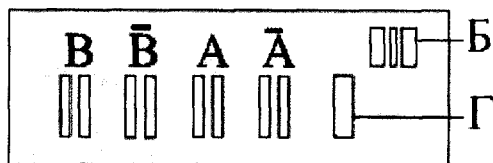


Рис. 4.2.6

Считывающий узел, или как его еще называют считывающая головка, преобразователя перемещений выполняет задачу оптических растровых и кодовых сопряжений, которые информативно равняются величине линейного перемещения, а также выполняют считывание, обработку и анализ данных значений оптически информативных параметров указанных в сопряжении.

Первую задачу выполняет каретка, крепко связанная с анализатором, которая через подшипники качения находится в постоянном контакте со шкалой. Это дает возможность относительно перемещению шкалы и анализатора. Вторую задачу выполняют платы фотоприемников 2 и осветителей 4, которые устанавливаются на ту же каретку. В корпусе считывающей головки расположена плата электрической схемы выделения и обработки информации о перемещении. Плата осветителей имеет шесть излучающих светодиодов, которые обеспечивают засветку соответствующих окон анализатора и пространственно согласовывают с ними приемные площадки шести фотодиодов платы 2.

Построенный канал считывания информации разрешает модулировать два ортогональных периодических сигнала IA и IB, отбрасывая из них постоянную составляющую. Двусторонний характер модификации указанных сигналов позволяет узнать направление перемещения, в число их периодов при этом перемещении его величину. Специальные методы обработки сигналов IA и IB дают возможность контролировать перемещения с прерывностью, намного меньшей периода регулярного растра.

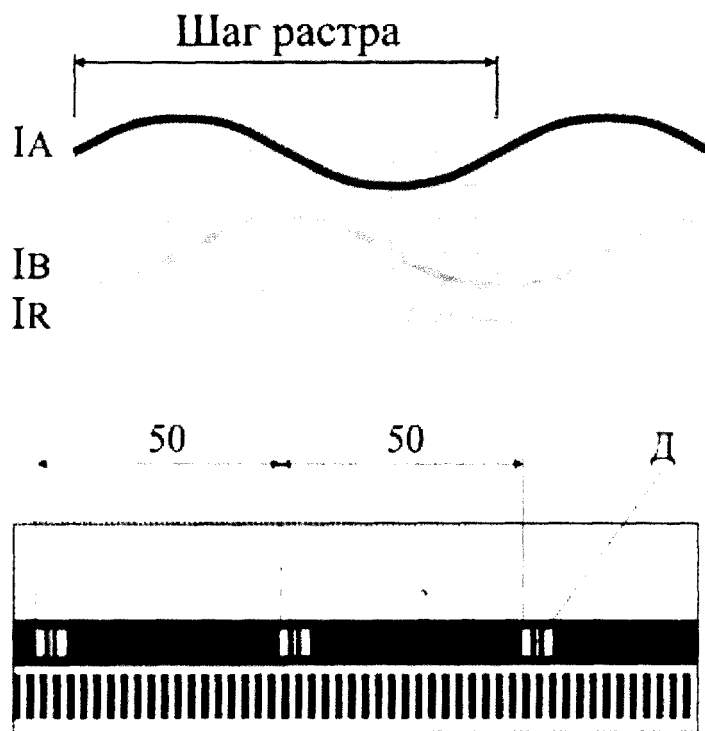


Рис. 4.2.7 Количество и координаты функционирующих Р.М.Д.

В преобразователях перемещения для задания собственного начала отсчета используются референтные метки, которые имеют минимум одну функционирующую референтную метку, которая представляет собой специальный растр, с заданной функцией расположения их ширины и штрихов.

В процессе соответствующего перемещения шкалы и считывающей головки при совпадении полей Д шкалы и поля Б анализатора с фотоприемника, совпадающего с полем Б, снимается идентичный сигнал координатно - зависимой величины с ярко выраженным максимумом. Данный сигнал применяется устройством обработки для координатной привязки считывающего узла к началу отсчета преобразователя. В данном случае будет считаться значение опорного сигнала, который задается фотоприемником, подходящим окну Г анализатора.

В преобразователях перемещений перемещающимся элементом в процессе эксплуатации может быть как считывающая головка, так и шкала. Выбор делает потребитель при монтаже преобразователя на изделии.

В преобразователях шкала жестко связана со штоком, который получает рабочее перемещение относительно анализатора неподвижного считывающего узла через контакт его наконечника с изделием потребителя.

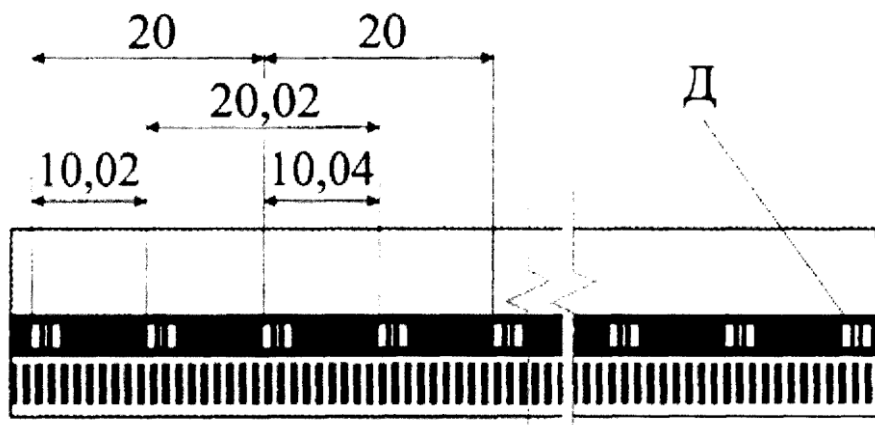


Рис. 4.2.8 Координатно-кодированное расположение референтных меток Д.

Координатно-кодированное расположение референтных меток Д применяется для координатной привязки считывающего узла к началу отсчета преобразователя перемещений. Референтные метки Б анализатора аналогичны референтным меткам шкалы. В процессе совмещения референтных меток с фотоприемника, который оптически сопряжен с референтной меткой Б, снимает аналоговый сигнал координатно-зависимой величины с хорошо выраженным максимумом. Данный сигнал или сигналы (если прохождение считывающим узлом, как минимум, двух координатно-кодированных референтных меток), применяются устройством обработки для координатной привязки считывающего узла к началу отсчета преобразователя. При этом учитывается значение опорного сигнала, который задается фотоприемником, подходящим прозрачному окну Г анализатора.

Появлению квазиабсолютных датчиков (датчики в которых дорожка референтных меток заменилась кодовой дорожкой) послужило развитие функциональных возможностей преобразователей перемещения, которые использовали последовательность координатно-кодированных референтных меток. Таким образом, можно определить координату положения считывающего узла относительно шкалы после включения питания при их относительном сдвиге, который не превышает 0,5 мм, что дает ему свойство абсолютного датчика положения на протяжении всего цикла работы до выключения.

Индуктивные датчики перемещения

В одной из конфигураций датчика данного типа чувствительным элементом является трансформатор с подвижным сердечником. Перемещение внешнего объекта приводит к перемещению сердечника, что вызывает изменение потокосцепления между первичной и вторичной обмотками трансформатора (рис. 4.2.9). Поскольку амплитуда сигнала во вторичной обмотке зависит от потокосцепления, по величине амплитуды вторичной обмотки можно судить о положении сердечника, а значит и о положении внешнего объекта.

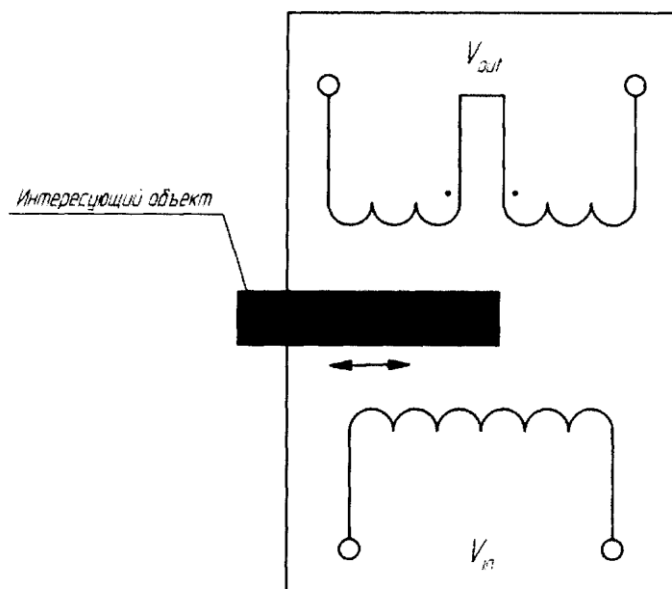


Рис. 4.2.9. Индуктивный датчик перемещения на трансформаторе.

Другая конфигурация имеет более простую схему, однако она пригодна лишь для небольшого количества приложений, где требуется определять незначительные перемещения или вибрации объектов, состоящих из ферромагнитного материала. В данной схеме интересующий ферромагнитный объект играет роль магнитопровода, положение которого влияет на индуктивность измерительной катушки (рис. 4.2.10).

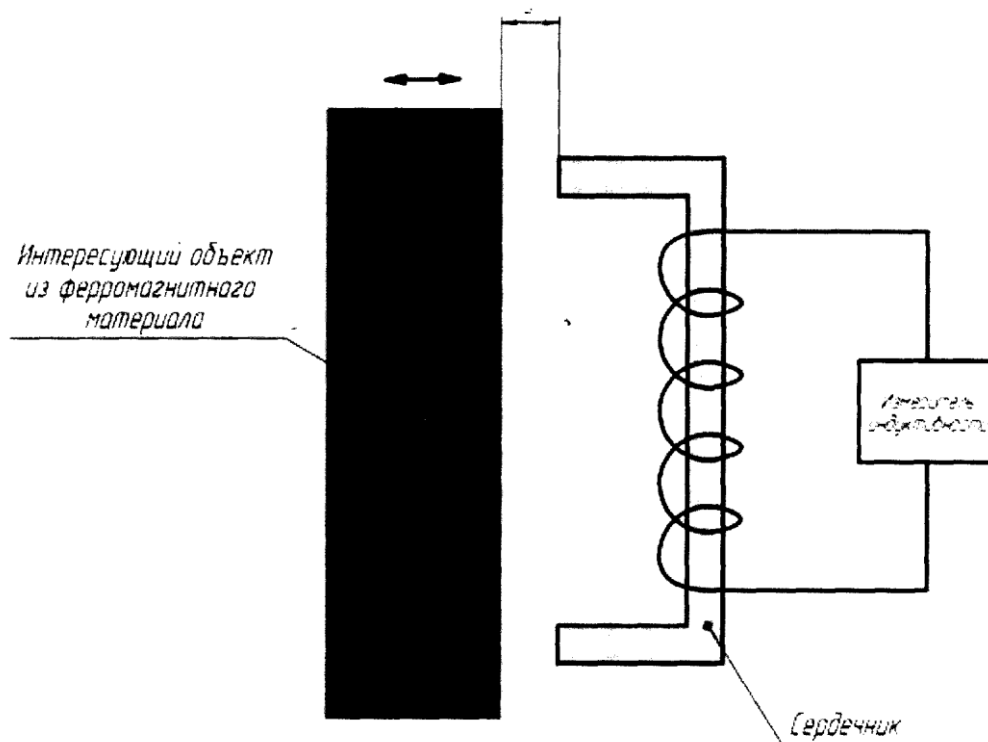


Рис. 4.2.10. Индуктивный датчик перемещения для объектов из ферромагнитных материалов. Вихретоковые датчики перемещения

Датчики данного типа содержат генератор магнитного поля и регистратор, с помощью которого определяется величина индукции вторичных магнитных полей. Вблизи интересующего объекта генератор создаёт магнитное поле, которое, пронизывая материал объекта, порождает в его объёме вихревые токи (токи Фуко), которые, в свою очередь, создают вторичное магнитное поле (Рис. 4.2.11). Параметры вторичного поля определяются регистратором, и на их основании вычисляется расстояние до объекта, так как чем объект ближе, тем больший магнитный поток будет пронизывать его объём, что усилит вихревые токи и индукцию вторичного магнитного поля. Подобный принцип используется и в вихретоковых дефектоскопах, однако там на параметры вторичного магнитного поля влияет не расстояние до объекта, а наличие в его внутренней структуре скрытых несовершенств. Метод является бесконтактным, однако может применяться только для металлических тел.

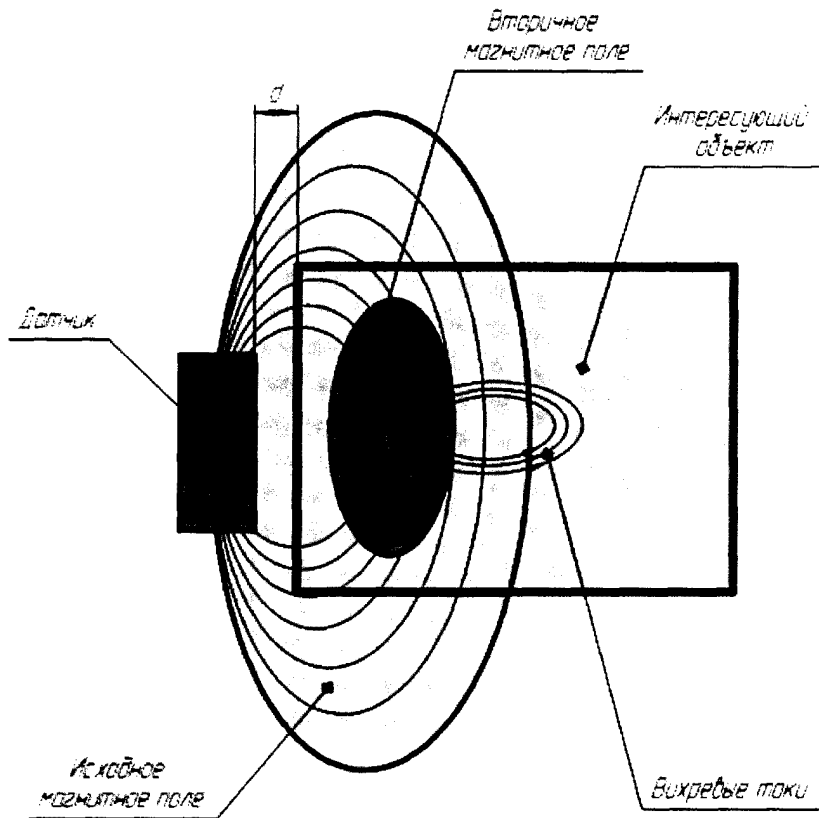


Рис. 4.2.11. Вихретоковый датчик перемещения.

Ультразвуковые датчики перемещения

В ультразвуковых датчиках реализован принцип радара - фиксируются отражённые от объекта ультразвуковые волны, поэтому структурная схема обычно представлена источником ультразвуковых волн и регистратором (рис. 4.2.12), которые обычно заключены в компактный корпус.

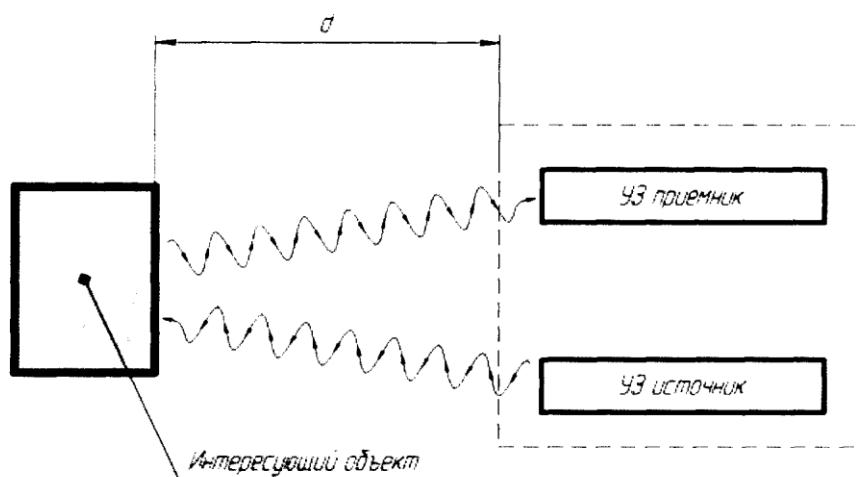


Рис. 4.2.12. Ультразвуковой датчик перемещения.

Определение временной задержки между моментами отправки и приёма ультразвукового импульса позволяет измерять расстояние до объекта с точностью, достигающей до десятых долей миллиметра. Наряду с оптическими, ультразвуковые датчики на сегодняшний день являются, пожалуй, наиболее универсальным и технологичным бесконтактным средством измерения. Использование этого принципа измерений опять же можно найти в детекторах обнаружения дефектов, только на этот раз уже в ультразвуковых дефектоскопах.

Магниторезистивные датчики перемещения

В магниторезистивных датчиках перемещения используется зависимость электрического сопротивления магниторезистивных пластинок от направления и величины индукции внешнего магнитного поля. Датчик, как правило, состоит из постоянного магнита и электрической схемы, содержащей включённые по мостовой схеме магниторезистивные пластинки и источник постоянного напряжения (рис. 4.2.13). Интересующий объект, состоящий из ферромагнитного материала, перемещаясь в магнитном поле, изменяет его конфигурацию, вследствие чего изменяется сопротивление пластинок, и мостовая схема регистрирует рассогласование, по величине которого можно судить о положении объекта.

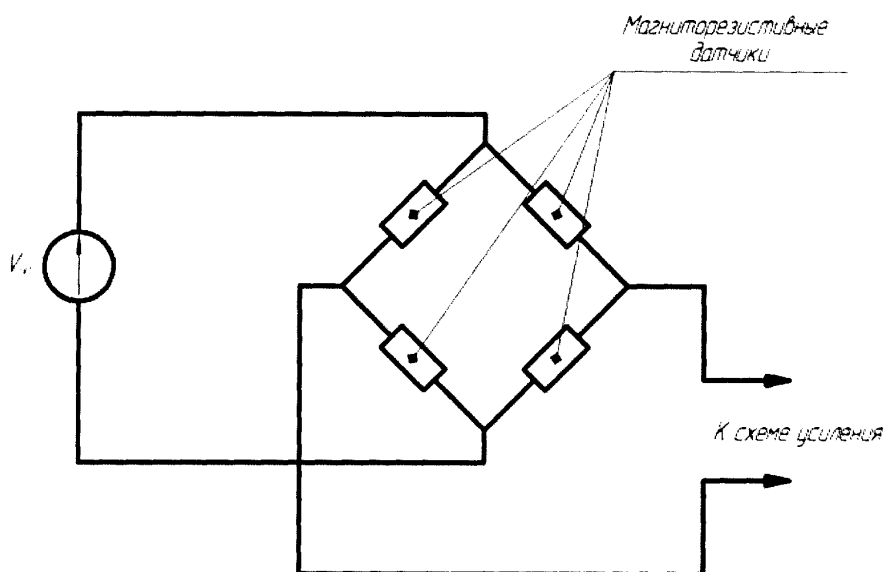


Рис. 4.2.13. Магниторезистивный датчики перемещения.

Потенциометрические датчики перемещения

Датчик данного типа в своей основе имеет электрический контур, содержащий потенциометр (рис. 4.2.14). Линейное перемещение объекта приводит к изменению сопротивления потенциометра (переменного резистора). Если через потенциометр пропускать постоянный ток, то падение напряжения на нём будет пропорционально величине сопротивления, и, следовательно, величине линейного перемещения интересующего объекта.

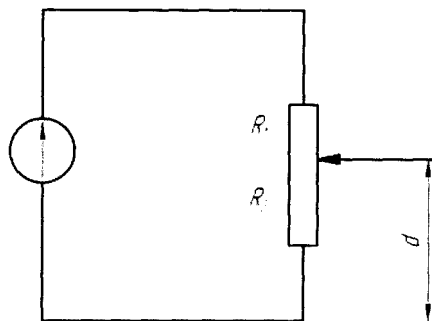


Рис. 4.2.14. Потенциометрический датчик перемещения.

Наряду с механическими датчиками перемещения, потенциометрические датчики получили наиболее широкое распространение в силу своей простоты и низкой стоимости, однако для универсальных, прецизионных и бесконтактных измерений в последнее время всё чаще используются датчики на основе оптических эффектов.

Датчики на основе эффекта Холла

Датчики этого типа имеют конструкцию подобную конструкции магниторезистивных датчиков, однако в основу их работы положен эффект Холла — прохождение тока через проводник, на который воздействует внешнее магнитное поле, приводит к возникновению разности потенциалов в поперечном сечении проводника.

Магнестрикционные датчики перемещения

Как правило, магнестрикционный датчик представляет собой протяжённый канал - волновод, вдоль которого может свободно перемещаться постоянный кольцевой магнит. Внутри волновода содержится проводник, способный при подаче на него электрических импульсов создавать магнитное поле вдоль всей своей длины (рис. 4.2.14). Полученное магнитное поле складывается с полем постоянного магнита, и результирующее поле создаёт момент вращения канала, содержащего волновод (эффект Вайдемана). Импульсы вращения распространяются по каналу в обе стороны со скоростью звука материала канала. Регистрация временной задержки между отправкой электрического импульса и приёма импульса вращения позволяет определить расстояние до постоянного магнита, т.е. определить его положение. Канал может иметь довольно большую длину (до нескольких метров), а положение магнита может быть определено с точностью до нескольких микрометров. Магнестрикционные датчики обладают отличной повторяемостью, разрешением, устойчивостью к неблагоприятным условиям и низкой чувствительностью к температурным изменениям.

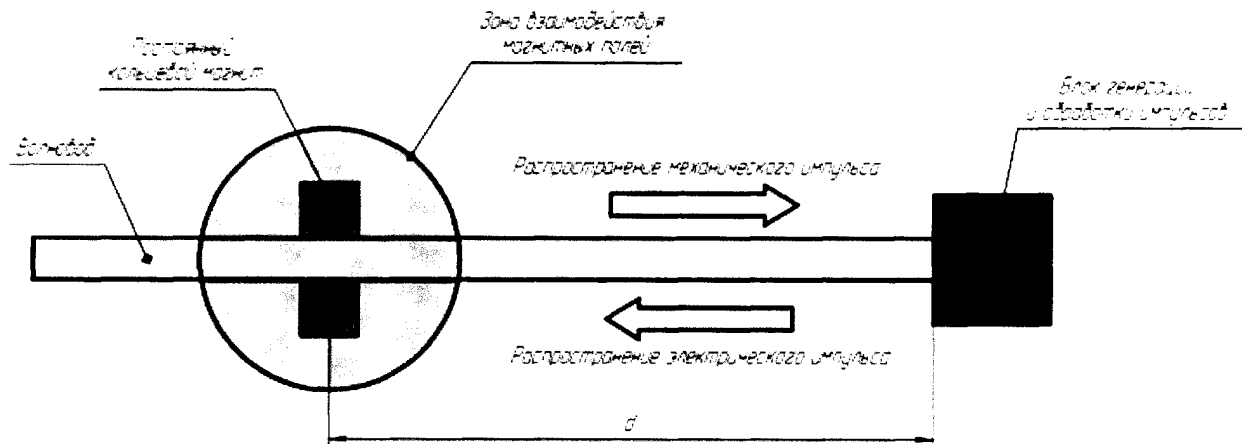


Рис. 4.2.14. Магнитострикционный датчик перемещения.

Дифференциальный магниторезистивный датчик (AMR) детектирует градиент магнитного поля над магнитной лентой и преобразует его в аналоговые сигналы синус и косинус. Эти аналоговые сигналы потом внутри считывающей головки преобразуются с помощью интерполятора, который обеспечивает диапазон разрешений до 1 мкм.

Надежные и достоверные измерения обеспечены только, когда зазор между сенсором и лентой не превышает s дистанции от северного до южного полюса магнитной ленты. Внутри такого зазора амплитуда синус и косинус сигнала стабильная, с допуском 10%.

Датчик детектирует градиент магнитного поля и таким образом является практически нечувствительным к внешним/случайным магнитным полям.

Прибор для установки масштабной ленты монтируется рядом с считывающей головкой, причем движение оси помогает правильно установить ленту. В случае необходимости на магнитную ленту можно также установить защитную полосу.

4.3 Практическая часть

Перед выполнением исследования необходимо ознакомиться с лабораторной установкой, изучить паспортные данные исследуемых в лабораторной работе датчиков. Повторить следующие разделы теории соответствующих дисциплин.

Порядок выполнения исследования.

Для снятия экспериментальных характеристик магнитного датчика линейного перемещения подключить входы А, В и \perp индикатора PF2 соответственно к выходам А, В и \perp магнитного датчика линейного перемещения согласно рисунку.



Рис. 4.2.15

4.3.1. Включить стенд используя кнопку «Пит.». Также необходимо включить штангенциркуль нажатием кнопки «ON» и выставить его в положение 0 используя кнопку «ZERO».

4.3.2. Путем перемещения подвижной каретки необходимо передвигать ее по 10мм руководствуясь индикацией штангенциркуля. Заносить в таблицу значения импульсов и расстояния. Импульсы будут выводиться на блоке индикаций переключив тумблер в положение «n». Занести показания в таблицу.

4.3.3. По итогам эксперимента построить передаточную характеристику. По формуле $N = n/l$ определить разрешающую способность магнитного датчика линейного перемещения.

l , мм	10			
n , число импульсов				

Для проведения экспериментов с оптической линейкой необходимо выполнить с 1 по 3 пункт описанный выше.