

Модуль 5 Датчики угловых перемещений

План лекции

- 5.1 Датчики угловых перемещений. Общие сведения
- 5.2 Тахогенераторы
- 5.3 Бесконтактное измерение угловых перемещений
- 5.4 Энкодеры инкрементальные и абсолютные
- 5.5 Выбор датчиков угловой скорости

5.1 Датчики угловых перемещений. Общие сведения

Датчики угловых перемещений – незаменимые компоненты современных систем автоматизации и управления технологическими процессами. Они позволяют измерять угловую скорость (частоту вращения) и контролировать угловое положение валов электродвигателей, исполнительных механизмов, подвижных частей станков и промышленного оборудования.

Известные датчики угловой скорости (частоту вращения) можно разделить на следующие группы:

- а) тахогенераторы;
- б) магнитные, магнитоиндукционные и магниторезистивные датчики;
- в) индуктивные и емкостные;
- г) оптические (фотоимпульсные) датчики;
- д) инкрементальные энкодеры (шифраторы приращения).

Известные датчики угла поворота можно разделить на следующие группы:

- а) потенциометрические или резистивные;
- б) емкостные и индуктивные;
- в) электромеханические (сельсины, вращающиеся трансформаторы и др.);
- г) оптические и фотоэлектрические;
- д) магнитные, магнитоиндукционные и магниторезистивные;
- е) абсолютные энкодеры (абсолютные шифраторы).

5.2 Тахогенераторы

Слово «тахогенератор» происходит от двух слов — от греческого «тахос», означающего «быстрый» и от латинского «генератор». Тахогенератор (далее – ТГ) представляет собой измерительную электрическую микромашину переменного или постоянного тока, которая монтируется на вал оборудования, и преобразует текущее значение частоты вращения вала в электрический сигнал, определенный параметр которого несет информацию о частоте вращения.

У большинства ТГ основной характеристикой является скоростная, которая дает зависимость среднего значения напряжения от частоты вращения вала:

$$U_{cp}=f(n); U_{cp}=\int_0^T (u/T)dt ,$$

где u – мгновенное значение пульсирующего или выпрямленного напряжения; T – время (период) одного оборота.

Выходной сигнал с тахогенератора может подаваться на средство визуального отображения (например, на дисплей) или на устройство автоматического управления частотой вращения вала, на котором работает данный тахогенератор.

Тахогенераторы бывают нескольких типов: с сигналом переменного напряжения или тока (асинхронные или синхронные тахогенераторы), с сигналом постоянного тока и индукторного типа. Более широко применяются ТГ постоянного тока.

Тахогенератор постоянного тока (рисунок 5.1) представляет собой коллекторную машину с возбуждением либо от постоянных магнитов (встречаются чаще), либо от обмотки возбуждения (встречаются реже), располагаемых на ее статоре. Измерительная ЭДС наводится на обмотке ротора тахогенератора и оказывается прямо пропорциональна угловой скорости вращения ротора, по сути — скорости изменения магнитного потока, в точном соответствии с законом электромагнитной индукции (рисунок 5.2).

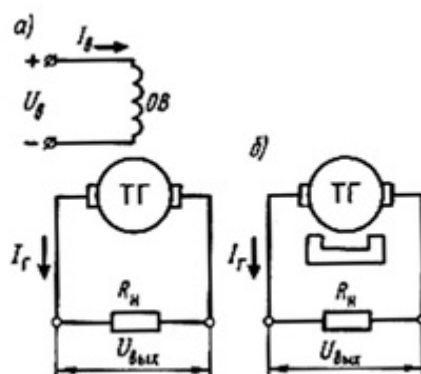


Рисунок 5.1 – Тахогенераторы постоянного тока: с независимым возбуждением (а) и с возбуждением на постоянных магнитах (б)*

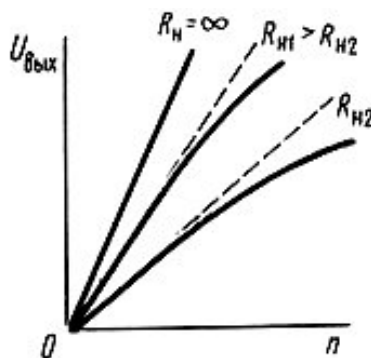


Рисунок 5.2 – Выходные характеристики тахогенератора постоянного тока*

Зарубежные фирмы изготавливают прецизионные ТГ постоянного тока широкой номенклатуры, отличающиеся конструкцией, способом крепления к приводу, массой и обмоточными данными. Показательными являются ТГ фирмы Baumer Hübner GmbH (рисунок 5.3) позволяют измерять скорость и направление вращения в режиме реального времени с точностью, превышающей 1:20000, при температурном режиме от -30 до +130 °С. Тахогенераторы изготавливаются как со сплошным цилиндрическим валом, так и с полым. Крепление тахогенераторов осуществляется либо при помощи фланцев, либо с помощью лап. Возможно исполнение в комбинации с энкодером и ограничителем скорости.

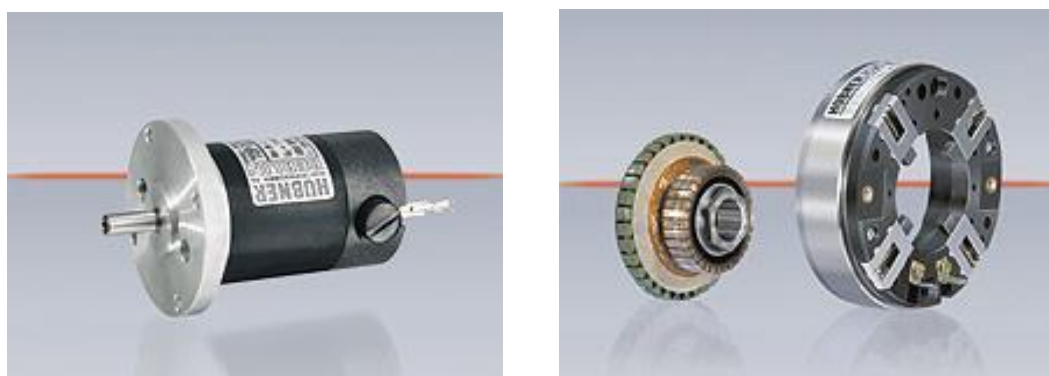


Рисунок 5.3 – Фланцевая TDP 0,03 и встраиваемая GT 9 модели тахогенераторов постоянного тока фирмы Baumer Hübner GmbH*

Большие габариты ТГ иногда обосновываются требованиями заказчиков или стремлением повысить выходное напряжение. Вместе с тем современные САР электроприводов четко работают при мощностях обратных связей до 1÷5 Вт. Поскольку от ТГ малого габарита можно получить достаточно высокое номинальное напряжение, то напряжение нельзя связывать с габаритами ТГ. Кроме того, электродвигатели больших мощностей, для которых применяют крупные ТГ, как правило, не требуют точного регулирования при низких скоростях, когда может сказаться низкое выходное напряжение постоянного тока. Верхние пределы номинальных скоростей ТГ снижаются при увеличении габаритов, но любой ТГ пригоден для использования при низких частотах вращения (10÷100 об/мин).

Щеточный контакт в коллекторных и униполярных машинах требует постоянного ухода, а главное, приводит к искажению сигнала. В целях исключения подвижных контактов и упрощения конструкции, а во многих случаях для получения специальных характеристик были разработаны асинхронные, синхронные и индукторные ТГ.

Асинхронные тахогенераторы переменного тока (рисунок 5.4) похожи по устройству на асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Ротор здесь изготавливается в виде полого цилиндра (обычно медного или алюминиевого), внутри ротора расположен цилиндр из шихтованной стали, а шихтованный статор содержит две обмотки, расположенные под прямым

углом друг к другу: возбуждения ОВ и генератора ОГ. Обмотка ОВ подключается к источнику переменного тока. В обмотке ОГ, являющейся выходной, при вращении ротора наводятся ЭДС трансформации и вращения. Под действием ЭДС вращения на выходе тахогенератора возникает напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$.

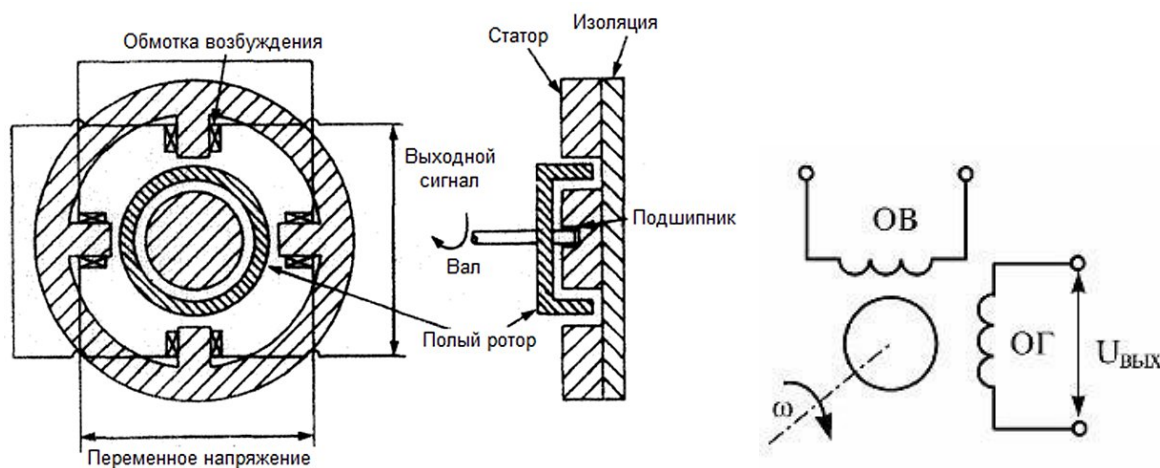


Рисунок 5.4 – Конструкция и схема включения асинхронного тахогенератора*

Статическая характеристика асинхронного ТГ нелинейна. При изменении вращения ротора фаза выходного напряжения изменяется на 180° .

Асинхронные ТГ используют в качестве датчиков угловой скорости (частоты вращения) и ускорений. В последнем случае обмотка возбуждения асинхронного тахогенератора подключается к источнику постоянного тока. В целях повышения активного сопротивления ротора некоторые фирмы изготавливают его цилиндр толщиной в доли миллиметра; для ротора применяется фосфористая бронза, обладающая достаточной прочностью, немагнитными свойствами и относительно высоким электрическим сопротивлением. Известны конструкции, в которых одна из обмоток статора располагается на внутреннем шихтованном сердечнике. Наличие двойного, внутреннего и наружного статоров позволяет подобрать оптимальный сдвиг обмоток, при котором начальная ЭДС (в неподвижном ТГ) равна нулю.

Достоинства асинхронных тахогенераторов: надежность, простота конструкции, малая масса подвижной части, что определяет малую инерционность, а также то, что независимо от скорости привода напряжение на выходе асинхронного ТГ имеет постоянную частоту. Недостатки – наличие на выходе остаточной ЭДС при неподвижном роторе, относительно большие габариты, а также малая мощность выходного сигнала (до 2...3 Вт), поэтому работать они должны с усилителями, которые вносят дополнительные погрешности и создают нелинейность сигнала.

Синхронные тахогенераторы представляют собой бесколлекторные машины переменного тока – однофазные синхронные микромашины с ротором в виде постоянного магнита (рисунок 5.5). Намагниченность ротора

создается постоянным магнитом, на статоре же присутствуют одна или более обмоток. В данном случае и амплитуда выходного сигнала, и его частота – будут пропорциональны частоте вращения вала. Поэтому данные о скорости можно измерять как по значению амплитуды (детектирование по амплитуде), так и непосредственно по частоте (детектирование по частоте). Однако направление вращения по выходному сигналу синхронного ТГ не определить.

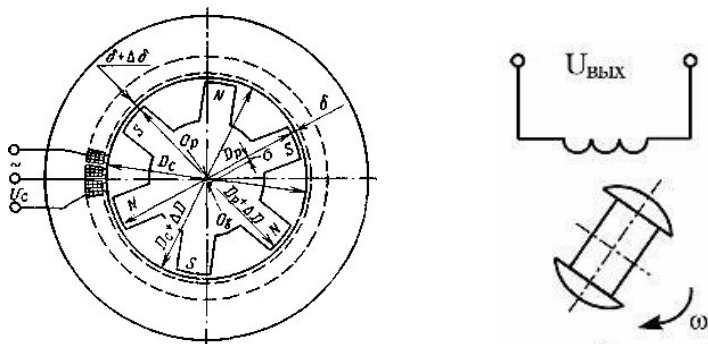


Рисунок 5.5 – Конструкция и схема включения синхронного тахогенератора*

В динамическом отношении синхронные тахогенераторы являются безынерционными элементами.

Вследствие большого реактивного сопротивления статора напряжение ТГ резко падает с увеличением нагрузки и поэтому они должны работать на потенциометр с неизменным сопротивлением.

Распространение получили ТГ с небольшим числом полюсов (6-12), однако имеются конструкции с числом полюсов 24, 72 и даже 500. Большое число полюсов и трехфазные схемы обмоток позволяют применять синхронные ТГ на тихоходных приводах. Известны конструкции синхронных ТГ с выпрямителями, закрепленными на корпусе машины.

Роторы и статоры бывают разнообразных конструкций, но всем им свойственна некоторая несимметрия, вызывающая низкочастотные пульсации напряжения статора. Обычно напряжение статора ТГ выпрямляется, а зубцовые пульсации сглаживаются при помощи RC-фильтра. Для снижения пульсаций выпрямленного напряжения ТГ изготавливают с полюсами специального профиля, позволяющими получить желаемую форму ЭДС.

При чисто активной и неизменной нагрузке скоростная характеристика имеет линейный характер, несмотря на большое падение напряжения в самом ТГ. Синхронные ТГ имеют малое внутреннее сопротивление, что позволяет получить от них достаточно большие мощности. При изменении частоты вращения у синхронных машин изменяется не только выходное напряжение, но и частота. Выходное напряжение обычно выпрямляется, но находят применение схемы, осуществляющие контроль по частоте сигналов, поступающих от ТГ. Благодаря механической устойчивости синхронные ТГ нашли применение в трамваях, поездах, шахтных машинах, на кранах и иных

агрегатах, подверженных значительной вибрации.

Индукторные ТГ трехфазного тока были созданы для крупных электроприводов металлургической и бумажной промышленности; впоследствии они нашли применение также в различных агрегатах быстродействующего регулирования средней мощности. По сравнению с ТГ иных систем они отличаются небольшой чувствительностью к температуре и изменению напряжения на обмотке возбуждения. Главное их достоинство состоит в низком уровне оборотных погрешностей, что играет решающую роль при строгом поддержании скорости безынерционных электроприводов.

Индукторные тахогенераторы (рисунок 5.6) представляют собой видоизмененные индукторные машины повышенной частоты. Впервые они были разработаны для приводов непрерывных прокатных станов.

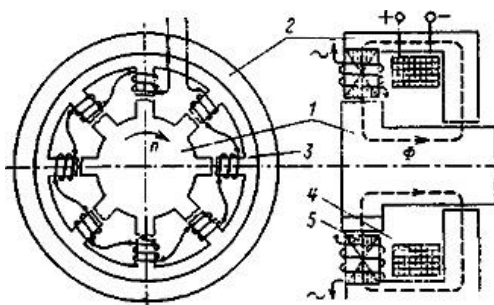


Рисунок 5.6 – Конструкция однофазного индукторного тахогенератора*

Необходимость в создании таких ТГ возникла при анализе работы действующих электроприводов; выяснилось, что применявшиеся ТГ постоянного тока имеют недопустимо большие оборотные и полюсные пульсации выходного напряжения.

Внешние характеристики ТГ, как и у обычных индукторных и синхронных генераторов, отличаются малой жесткостью, поэтому система электропривода должна быть построена таким образом, чтобы сопротивление нагрузки ТГ в процессе управления не изменялось. В случае изменения сопротивления нагрузки и перехода на другую скоростную характеристику ТГ требуется изменять добавочные резисторы в цепи таховольтметров.

В последние годы тахогенераторы постепенно вытесняются цифровыми инкрементальными энкодерами.

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009. – 150 с.

5.3 Бесконтактное измерение угловых перемещений

Существует несколько основных способов бесконтактного (немеханического) преобразования углового перемещения в электрический сигнал:

– электрический – с использованием тахометрических мостов постоянного или переменного тока;

- оптический (фотоимпульсный или оптоэлектронный), обеспечивающий регистрацию прохождения светового потока через риску или отражатель;
- магнитный с использованием датчика Холла;
- магнитоиндукционный, на основе изменения индуктивности при перемещении подвижного элемента конструкции магнитопровода;
- магниторезистивный – на основе закона Фарадея.

Тахометрический мост постоянного тока представляет собой специальную мостовую схему (рисунок 5.7, а), в одно из плеч которой включен якорь двигателя $R_{\text{я}}$, а в другие – резисторы R_1 , R_2 , $R_{\text{н}}$. К диагонали питания моста ab подводится напряжение, питающее якорь двигателя, а с измерительной диагонали cd снимается напряжение $U_{\text{вых}}$ пропорциональное угловой скорости ω .

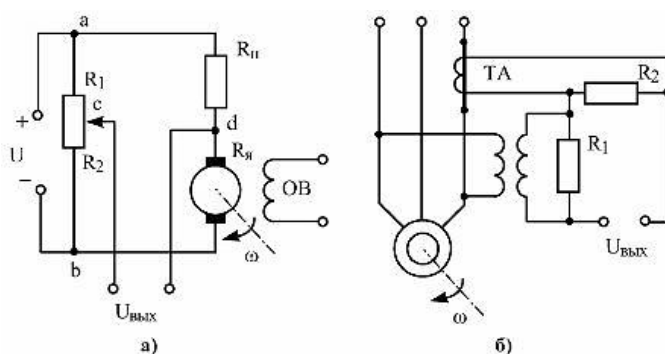


Рисунок 5.7 – Тахометрический мост постоянного тока (а) и бесконтактное измерительное устройство частоты вращения асинхронного двигателя (б)*

*Использованы иллюстрации из источника: <https://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/2112-tahogeneratory-vidy-ustroystvo-i-princip-raboty.html> (дата обращения: 19.07.2026).

Погрешность тахометрического моста составляет $\pm(2\div5) \%$. В динамическом отношении тахометрические мосты постоянного тока являются безынерционным звеном.

Способ косвенного измерения угловой скорости асинхронного электродвигателя, основанный на определении значения угловой скорости с помощью контроллера по паспортным данным двигателя и измеряемым величинам (фазные токи и напряжения), является относительно простым по реализации и имеет повышенную точность измерений. Для этого применяют бесконтактное измерительное устройство (рисунок 5.7, б), содержащее измерительные трансформаторы тока и напряжения. Однако при использовании косвенного метода определения угловой скорости возникают проблемы, связанные с изменением параметров электродвигателя при его нагреве.

Для генерации световых импульсов необходим источник света, обычно светодиод. Преобразование света в электрические импульсы выполняется фототранзистором или фотодиодом, преобразующим свет в электрические сигналы (импульсы) (рисунок 5.8).

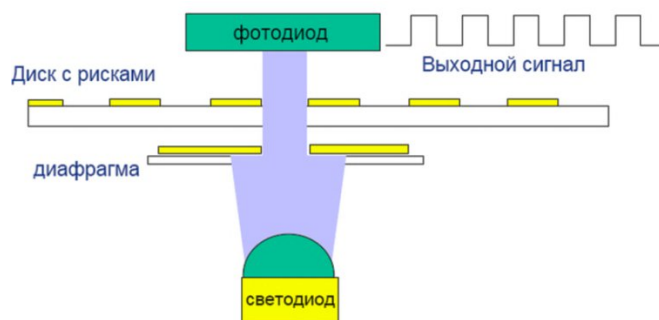


Рисунок 5.8 – Оптический (фотоимпульсный или оптоэлектронный) способ измерения углового перемещения*

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009.

Эффект Холла заключается в возникновении поперечной разности потенциалов (напряжения Холла) в проводнике или полупроводнике с током, помещённом в поперечное магнитное поле, при протекании тока, перпендикулярного этому полю. Датчик Холла фиксирует прохождение магнитных полюсов и измеряет угловую скорость и направление вращения объекта (рисунок 5.9).

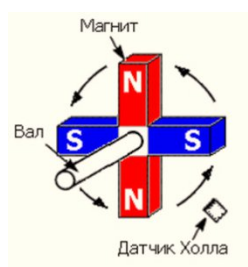


Рисунок 5.9 – Магнитный способ измерения углового перемещения с использованием датчика Холла*

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009.

Импульсы магнитоиндукционных датчиков создаются под влиянием пульсирующего или знакопеременного магнитного потока. В качестве тела, модулирующего поток, служат специальные зубчатые колеса либо вращающиеся магнитопроводящие (ферромагнитные) детали машин (рисунок 5.10).

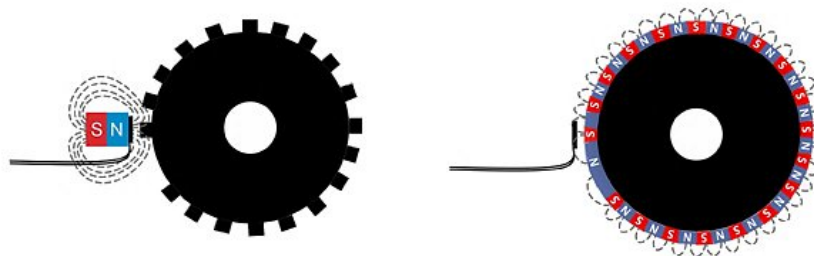


Рисунок 5.10 – Магнитоиндукционный способ измерения углового перемещения*

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009.

При использовании магниторезистивного способа наводимая, согласно закона Фарадея, ЭДС и ток в катушке будут меняться в зависимости от поворота вала контролируемого объекта (рисунок 5.11).

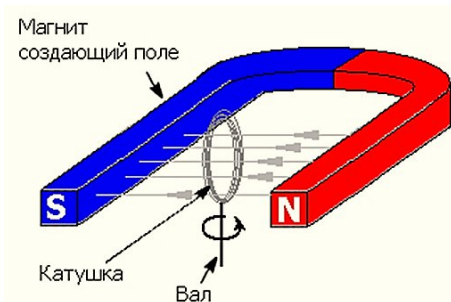


Рисунок 5.11 – Магниторезистивный способ измерения углового перемещения*

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009. – 150 с.

5.4 Энкодеры инкрементальные и абсолютные

Энкодеры являются устройствами для измерения угловых перемещений. Они широко используются в системах автоматизации, робототехнике и сервоприводах для определения положения и скорости вращающихся объектов (рисунок 5.12).

Энкодеры делят на абсолютные и инкрементальные.

Абсолютные энкодеры фиксируют истинное угловое положение вала. Каждому положению соответствует уникальный код, что позволяет энкодеру выдавать точные данные о положении даже после отключения питания.

Инкрементальные энкодеры измеряют изменения углового положения, генерируя импульсы при каждом перемещении. Для определения текущего положения необходимо подсчитывать количество импульсов, что требует установки устройства в начальное положение перед началом работы. У них более низкая стоимость по сравнению с абсолютными энкодерами.



Рисунок 5.12 – Энкодеры компаний Kuebler и SICK AG*

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009. – 150 с.

Оптический энкодер (рисунок 5.14) включает в себя источник излучения (как правило, инфракрасного) с линзой, приемника излучения и вращающийся диск с прорезями, который соединен с осью двигателя.



Рисунок 5.14 – Конструкция оптического энкодера*

*Использованы иллюстрации из источника: <https://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/3057-absolyutnyy-i-inkrementalnyy-ekoder-otlichie.html> (дата обращения: 23.07.2026).

На вращающемся диске инкрементального энкодера имеется дорожка с прорезями и промежутками, которые попеременно пропускают либо блокируют свет от светодиода к фототранзистору (рисунок 5.15). Одна дорожка требует лишь одной пары светодиод-фототранзистор (оптическая пара).

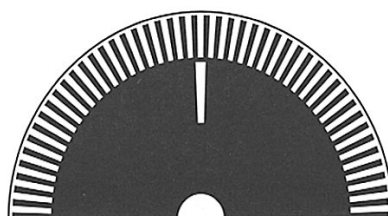


Рисунок 5.15 – Участок кодирующего диска инкрементального энкодера*

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009. – 150 с.

Логический выход датчика высокий, когда свет проходит через прорезь и попадает на фототранзистор с другой стороны вращающейся пластины. Когда путь между светодиодом и фототранзистором блокируется промежутком между двумя прорезями, логический выход низкий (рисунок 5.16). Во время вращения кодирующего диска генерируется последовательность прямоугольных импульсов с частотой, пропорциональной как количеству окон прерывания, так и скорости вращения диска/вала. Количество импульсов отражает угол поворота.

При использовании инкрементальных энкодеров в управлении объектами часто необходимо определять начальное положение и направление вращения.

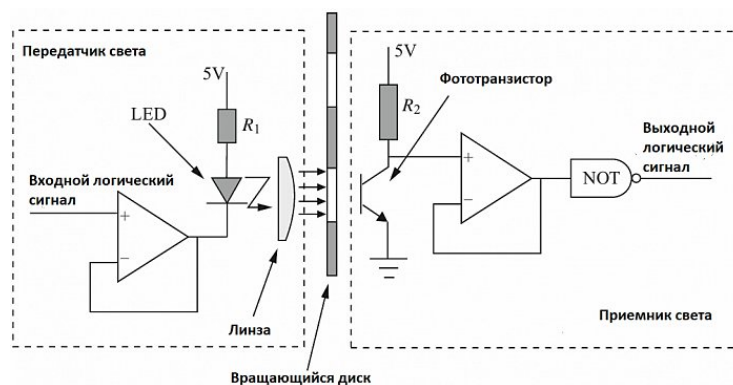


Рисунок 5.16 – Схема оптического энкодера*

*Использованы иллюстрации из источника: <https://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/3057-absolyutnyy-i-inkrementalnyy-encoder-otliche.html> (дата обращения: 23.07.2026).

Проблема начального положения решается добавлением дополнительной эталонной прорези на диске. Эта эталонная прорезь смещена радиально относительно прорезанной дорожки, измеряющей угловое положение. Для обнаружения начального положения требуется дополнительная оптическая пара.

Проблема определения направления вращения также решается с помощью другой пары светодиод-фототранзистор. Эта дополнительная оптическая пара смещена тангенциально и радиально от первой оптической пары.

Такое техническое решение, известное как квадрантурное декодирование, позволяет увеличить разрешение измерения в четыре раза по сравнению с номинальным разрешением энкодера. В этом случае система отслеживает изменения в двух сигналах, что позволяет фиксировать более мелкие изменения в положении вала.

Оптический абсолютный энкодер имеет диск прерывания с концентрическими окнами на разных радиусах, относительные размеры которых определяются двоичным кодом, и которые считываются одновременно, давая кодированный выходной сигнал для каждой угловой позиции (рисунок 5.17).

При простом двоичном кодировании ошибка из-за неопределённости считывания, равная единице младшего разряда кода, может вызвать для ряда чисел перенос единицы в старший разряд, вследствие чего минимальная ошибка трансформируется в максимальную.

Для уменьшения указанной погрешности используют помехозащищенный код Грея, в котором расстояние Хэмминга (кодированное расстояние для измерения различий между двумя строками одинаковой длины) между соседними кодовыми комбинациями равно 1 (рисунок 5.18).

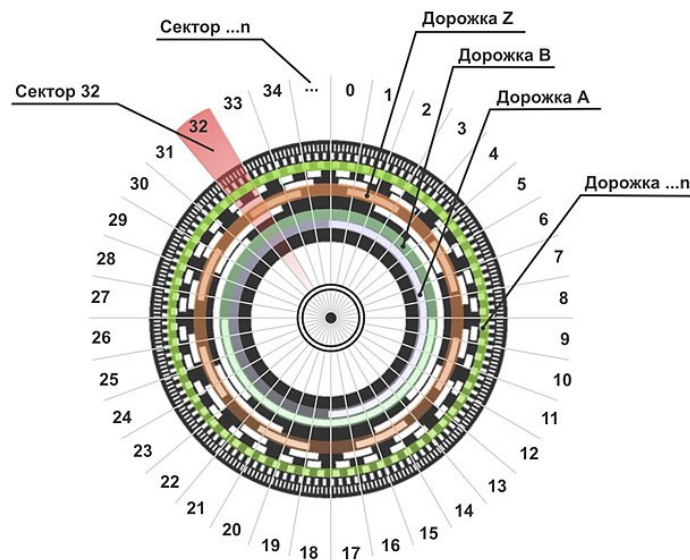


Рисунок 5.17 – Оптический кодирующий диск абсолютного энкодера*

*Использованы иллюстрации из источника: <https://servotechnica.ru/catalog/sistemy-upravleniia-srupkhmi/absolyutnye-enkodery/info> (дата обращения: 23.07.2026).



Рисунок 5.18 – Сравнение кодирующих масок с кодом Грея и двоично-десятичным кодом*

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009. – 150 с.

Данный код формируют индивидуальные последовательности меток или рисок, нанесенные на диске энкодера. Считывание сигналов происходит при помощи приемной матрицы, имеющей множество приемных фотоэлементов (рисунок 5.19).

У абсолютного энкодера всегда можно определить, на какой угол относительно нулевого сектора повернут диск энкодера в каждый конкретный момент, так как, при любом повороте диска абсолютный энкодер выдает индивидуальные значения номеров секторов. Достигнув максимального значения, абсолютный энкодер переходит снова в ноль и процесс расчета углового положения повторяется снова.

Если вал абсолютного энкодера вращать в другую сторону, то он начнет формировать значения (коды) в обратной последовательности, таким образом можно определить направление вращения вала энкодера.

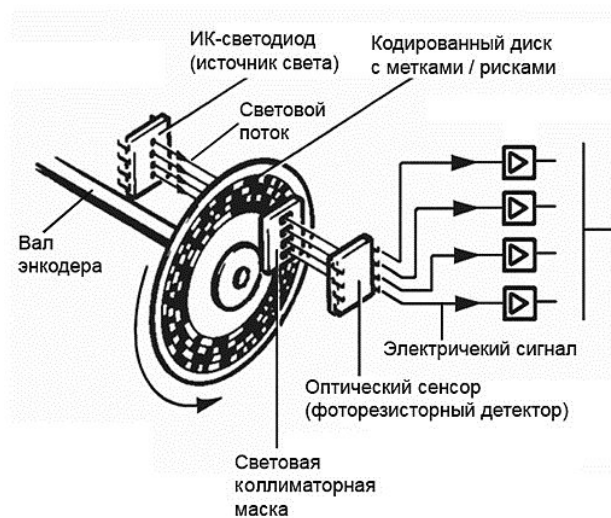


Рисунок 5.19 – Считывание сигналов с кодирующего диска при помощи приемной матрицы в абсолютном энкодере*

*Использованы иллюстрации из источника: <https://servotechnica.ru/catalog/sistemy-upravleniia-sruplkhmi/absolyutnye-enkodery/info> (дата обращения: 23.07.2026).

За единицу вращения диска (цикл) абсолютного энкодера для однооборотных моделей энкодеров принят один оборот диска. Существуют модели абсолютных энкодеров, в которых цикл считывания кодов происходит за два и более оборотов дисков, в специальном механическом узле, представляющем их себя редуктор с низким механическим сопротивлением, состоящий из нескольких шестерен с нанесенными рисками/метками (рисунок 5.20).

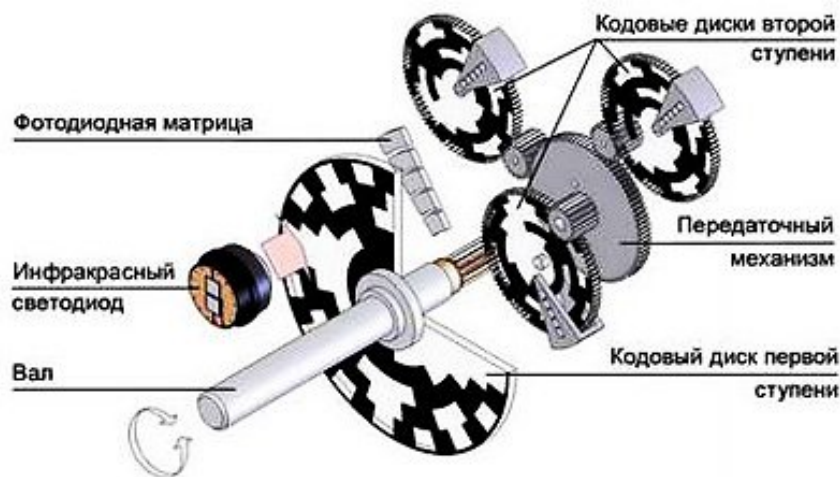


Рисунок 5.20 – Конструкция многооборотного абсолютного энкодера*

*Использованы иллюстрации из источника: <https://servotechnica.ru/catalog/sistemy-upravleniia-sruplkhmi/absolyutnye-enkodery/info> (дата обращения: 23.07.2026).

Как отмечалось ранее, распространение получили также магнитные энкодеры, построенные на магнитном или магниторезистивном способах преобразования. Магнитные энкодеры предназначены для обеспечения

надежной цифровой обратной связи в тяжелых условиях эксплуатации: широкого температурного диапазона, устойчивости к ударам, вибрации, пыли, влаге, значительным загрязнениям. Это сталелитейные, целлюлозно-бумажные и деревообрабатывающие производства, краново-подъемное оборудование, морское оборудование, строительная и горнодобывающая техника. Одним из главных недостатков магнитных энкодеров является их уязвимость к внешним магнитным полям. К недостаткам таких энкодеров относят также определённые ограничения по температурному диапазону при работе в экстремальных условиях (очень высокая или очень низкая температура).

5.5 Выбор датчиков угловой скорости

Рассмотрим выбор датчика угловой скорости (частоты вращения) для системы автоматического регулирования электропривода технологической машины. Подобные задачи приходится решать достаточно часто как разработчикам нового оборудования, так и системным интеграторам – проектировщикам автоматизированных систем управления технологическими процессами.

В настоящее время для измерения угловой скорости вращающихся объектов широко используются измерительные преобразователи, созданные на основе различных физических принципов. Условно их можно разделить на аналоговые датчики с выходной ЭДС постоянного либо переменного тока и датчики с цифровым выходным сигналом.

К первой группе преобразователей относят, в том числе, тахогенераторы постоянного тока, индукторные, синхронные и асинхронные. Тахогенераторы в последние годы в значительной мере вытесняются энкодерами (шифраторами) инкрементальными и абсолютными. И все же в тех случаях, когда нет необходимости в высокой точности (точность измерения с помощью тахогенераторов лежит в диапазоне $0,5 \div 2,5$ %; для прецизионных тахогенераторов ошибка может составлять $0,05 \div 0,1$ %, дополнительная погрешность от изменения температуры в широком диапазоне – $0,4$ %) и повышенной чувствительности (для тахогенераторов постоянного тока чувствительность составляет $15 \div 25$ мВ/(об/мин), для асинхронных – $2 \div 5$ мВ/(об/мин)), а динамические свойства объекта сопоставимы с соответствующими характеристиками тахогенераторов, можно рекомендовать применение относительно недорогих тахогенераторов переменного тока. К преимуществам измерительных электрических машин следует отнести большую величину выходного напряжения, что позволяет обходиться без дополнительного усилителя при передаче сигнала на значительные расстояния. Так, выходное напряжение тахогенераторов постоянного тока достигает 50 В, а асинхронных тахогенераторов в зависимости от типа – $10 \div 60$ В. Кроме того, на показания тахогенераторов практически не оказывает влияния внешнее электромагнитное поле,

исходящее от объекта, что в значительной степени определяет их помехоустойчивость.

Однако при регулировании угловой скорости в автоматизированном электроприводе технологической машины, где важно обеспечить малую погрешность измерений, высокую чувствительность, стабильность характеристик во времени и минимальную инерционность, следует рекомендовать использование современных инкрементальных энкодеров (шифраторов приращений), которые характеризуются, в том числе, небольшими габаритными размерами (серия энкодеров *BRIV 30R – EcoMag* компании *Baumer Group* (рисунок 5.21) с полым тупиковым валом имеет корпус диаметром фланца 30 мм, масса датчика не превышает 100 г, рабочий диапазон температуры $-40...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$). Обладая значительным диапазоном измерения (до 6000 об), энкодеры имеют высокое разрешение (2...1024 импульсов на 1 оборот вала для *BRIV 30R – EcoMag*), малую инерционность, которая определяется только массой вала. Кроме того, отсутствие подшипников и каких-либо трущихся деталей позволяют использовать энкодер с двигателями с высокими динамическими характеристиками, они могут быть установлены на шпиндели любых металлорежущих и деревообрабатывающих станков. Выпускаются оптические инкрементальные энкодеры с разрешением, достигающим 320000 имп. на один оборот вала (энкодер *BDT* той же компании *Baumer Group*).



Рисунок 5.21 – Инкрементальный энкодер BRIV 30R – EcoMag Baumer*

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Датчики и измерительные преобразователи. Часть 2: учебное пособие / Г. А. Эм, В. В. Каверин. – Караганда: Изд-во КарТУ им. А. Сагинова, 2024.

Таким образом, выбор датчика угловой скорости для системы автоматического регулирования электропривода технологической машины во многом определяется характеристиками объекта, требованиями к выходному сигналу датчика и ограничениями к измерительной системе по стоимости, включающей в себя, в том числе, затраты на средства измерения и средства передачи измерительной информации.

Список рекомендуемой литературы

1. Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: Учеб. пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009. – 150 с.
2. Эм Г.А. Датчики и измерительные преобразователи. Часть 2: учебное пособие / Г. А. Эм, В. В. Каверин. – Караганда: Изд-во КарТУ им. А. Сагинова, 2024. – 78 с.
3. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
4. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник / Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2006. – 592 с.
5. Тахогенераторы. Виды, устройство и принцип работы. – URL: <https://electricalschool.info/spravochnik/machinery/2112-tahogenerator-vidy-ustroystvo-i-princip-raboty.html> (дата обращения: 19.07.2026).
6. Абсолютные энкодеры. – URL: <https://servotechnica.ru/catalog/sistemy-upravleniya-spravlkhmi/absolyutnye-encodery/info> (дата обращения: 23.07.2026).
7. Инкрементальные и абсолютные энкодеры. – URL: <https://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/3057-absolyutnyy-i-inkrementalnyy-encoder-otliche.html> (дата обращения: 23.07.2026).