

Практическая работа

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРНЫХ ДАТЧИКОВ

К генераторным датчикам относятся термоэлектрические, пьезоэлектрические и тахометрические датчики.

1. Термоэлектрические датчики

К числу термоэлектрических датчиков генераторного типа можно отнести термопары, в которых изменение температуры преобразуется в термоэлектродвижущую силу (термо-ЭДС) E . В основу работы термопары положено явление термоэлектрического эффекта, открытого в 1756 г. русским академиком Ф. У. Эпинусом. Это явление заключается в том, что если соединить концы двух разнородных по материалу проводников 1 и 2 (рис. 1, а) и места соединений поместить в среды с различными температурами t_1 и t_2 , то в цепи термопары появляется термо-ЭДС, которая будет тем больше, чем больше разность температур соединений (спаев) термопары $t_1 - t_2$.

Конец термопары, имеющий температуру t_1 , называется рабочим концом (горячим спаем), а конец термопары, находящийся при постоянной температуре t_2 , называется свободным концом (холодным спаем),

Проводники 1 и 2, с помощью которых образуется термопара, называются термоэлектродами.

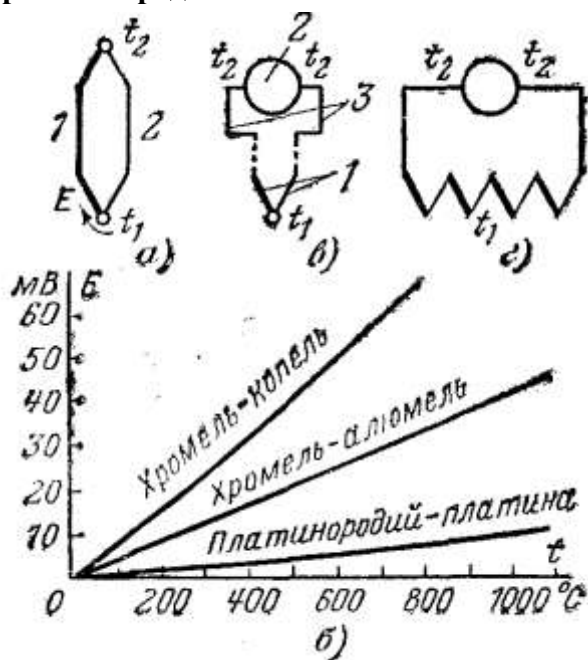


Рис. 1. Термопары:

- а) термоэлектрическая цепь; б) характеристики;
в) схема включения; г) последовательное включение термопар;
1 и 2 – термоэлектроды; 3 – соединительные провода

При соединении копеля с платиной при $t_1 = 100^\circ\text{C}$ и $t_2 = 0^\circ\text{C}$ на копеле образуется по отношению к платине отрицательный потенциал $E_{к.п.} = -4,0$ мВ.

Для повышения термо-ЭДС берут и соединяют положительные и отрицательные термоэлектроды. Так, при соединении железа и копеля при $t_1 = 100^\circ\text{C}$ и $t_2 = 0^\circ\text{C}$ потенциал железа по отношению к копелю определяется по формуле:

$$E_{ж.к} = E_{ж.п.} - E_{к.п.} = +1,75 - (-4,0) = +5,75 \text{ мВ.}$$

Термоэлектроды обычно изготавливаются из чистых металлов (платина, золото, никель, медь, железо, вольфрам, молибден), сплавов (константан, нихром, платинородий, чугун, алюминий, копель, хромель) и полупроводниковых материалов (уголь, карборунд). Термоэлектроды бывают термоположительными и термоотрицательными.

Термоположительный электрод — это такой термоэлектрод, на котором при соединении его с химически чистой платиной при $t_1 > t_2$ образуется положительный потенциал по отношению к платине.

Термоотрицательный электрод — это термоэлектрод, на котором при тех же условиях образуется отрицательный потенциал по отношению к платине.

Например, при соединении железа с платиной при температуре рабочего конца $t_1 = 100^\circ\text{C}$ и свободного конца $t_2 = 0^\circ\text{C}$ железо имеет по отношению к платине положительный потенциал, равный $E_{ж.п.} = +1,75$ мВ.

Термоэлектроды термопары соединяют между собой пайкой или сваркой.

Если термопару используют в качестве датчика, то ее сначала градуируют, т. е. определяют зависимость термо-ЭДС от температуры рабочего конца t_1 при температуре свободного конца $t_2 = 0^\circ\text{C}$ (температура таяния льда).

Предположим, что при измерении температура не равна температуре, при которой происходила градуировка термопары, тогда истинное значение термо-ЭДС $E_{ИСТ}$ необходимо определять с учетом поправки на температуру свободного конца:

$$E_{ИСТ} = E_{ИЗМ} + E_2 \quad (1)$$

где $E_{ИЗМ}$ — измеренная термо-ЭДС при $t_2 \neq 0^\circ\text{C}$
 E_2 — поправка на температуру свободного конца.

При точном определении температуры по величине термо-ЭДС необходимо пользоваться стандартными градуировочными таблицами. В табл. 1 приведены характеристики некоторых термопар при температуре свободных концов 0°C .

Таблица 1

Характеристики термопар

Материал термоэлектродов	Условное обозначение градуировки	Максимальная рабочая температура при длительном применении, $^\circ\text{C}$	Термо-ЭДС при максимальной рабочей температуре, мВ
Платинородий — платина	ПП-1	1300	13,13
Хромель — алюмель	ХА	1000	41,32
Нихром — никель	—	1000	36,70
Хромель — копель	ХК	600	49,02
Железо — копель	ЖК	600	37,40
Медь — копель	МК	400	23,13
Медь — константан	—	350	17,10

Примечание: В наименовании термопар первым указан положительный термоэлектрод

На рис. 1,б приведены характеристики трех термопар, которые представляют собой почти линейную зависимость термо-ЭДС от температуры рабочего спая.

Следует отметить, что любая термопара обладает следующими основными свойствами:

- 1) если не изменять температуру рабочего t_1 и свободного t_2 концов, то абсолютное значение термо-ЭДС остается постоянным при нагревании любой точки проводника термопары,
- 2) значение термо-ЭДС не изменится, если в разрыв термопары включить третий проводник, оба конца которого имеют одинаковую температуру.

Термопара 1 может включаться как непосредственно в цепь измерительного прибора 2 (рис. 1, в), так и по компенсационной схеме. Принцип компенсации основан на уравнивании термо-ЭДС термопары равным и противоположным по знаку напряжением. Этот принцип широко применяется в потенциометрах.

В технике часто измерительный прибор 2 расположен на значительном расстоянии от термопары 1. В этих случаях соединение измерительного прибора с термопарой осуществляется с помощью компенсационных проводов 3 (рис. 1, в). Если термопара изготовлена из дешевого материала (никель, медь, копель, алюмель и др.), то и компенсационные провода изготавливаются из того же материала.

Если термопара изготовлена из дорогих материалов (платина, золото, платинородий, вольфрам, молибден), то компенсационные провода изготавливаются из дешевых материалов, но имеющих в паре ту же термо-ЭДС, как и основные материалы. Основными достоинствами металлических термопар являются: простота и дешевизна, большое разнообразие конструктивных форм исполнения.

К недостаткам металлических термопар можно отнести:

- 1) наличие паразитных термо-ЭДС (за счет примесей в металлах);
- 2) тепловую инерционность (постоянная времени термопар колеблется от нескольких минут до десятых долей секунды).

В настоящее время промышленностью выпускаются термопары, изготовленные из полупроводникового материала, которые имеют термо-ЭДС, равную $1 \text{ мВ}/^\circ\text{С}$, т. е. в десятки раз большую, чем металлические термопары. Основными недостатками полупроводниковых термопар являются: сравнительно небольшой диапазон измерения температур (от $+200$ до $+400^\circ \text{С}$); малая прочность.

Термопары как металлические, так и полупроводниковые выполняются различных размеров и конфигураций. Термопары больших размеров, как правило, устанавливаются в промышленных печах, а миниатюрные термопары — в вакууме. Для длительного измерения высоких температур (около 2000°С) применяются вольфрамоиридиевые и вольфрамомолибденовые термопары.

В автоматике для измерения температур обычно используют не одиночные термопары, а несколько термопар (рис. 1, г), соединенных последовательно. Такое соединение термопар позволяет повысить значение термо-ЭДС и выходную мощность термоэлектрического датчика.

2. Пьезоэлектрические датчики

Пьезоэлектрические датчики основаны на использовании пьезоэлектрического эффекта. Пьезоэлектрический эффект бывает прямым и обратным.

Прямой пьезоэффект заключается в том, что некоторые материалы имеют способность образовывать на гранях своих поверхностей при воздействии на них механических нагрузок электрические заряды.

Обратный пьезоэффект состоит в том, что если к пьезоматериалам прикладывать электрическое поле, то они будут механически деформироваться.

Количественно пьезоэффект можно оценить пьезоэлектрическим модулем d , который устанавливает пропорциональность между значениями возникающего заряда Q и приложенной силы P :

$$Q = dP \quad (2)$$

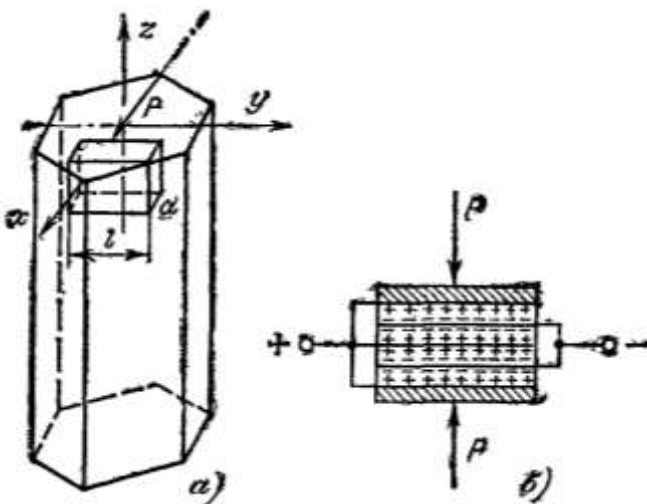


Рис. 2 Пьезоэлектрический датчик:

- а) вырез пластины из монокристалла кварца;
- б) схема многоэлементного датчика

К важнейшим природным материалам, которые обладают пьезоэлектрическим эффектом, можно отнести кварц и турмалин. В качестве материала для датчиков чаще применяется кварц, так как он имеет высокие пьезоэлектрические и изоляционные свойства, малую температурную зависимость и очень высокое сопротивление. Из монокристалла кварца вырезаются шайбы, диски или пластины таким образом, чтобы наибольшая плоскость была перпендикулярна кристаллографической оси x (рис. 2, а), которая называется электрической или пьезоэлектрической осью. При воздействии на пластину силы P по оси x на ее гранях возникает заряд, который зависит только от приложенной силы P и не зависит от геометрических размеров пластины:

$$Q_{ПР} = dP_x \quad (3)$$

В этом случае возникает так называемый продольный пьезоэффект.

Поперечный пьезоэффект можно получить, если пластину сжимать силами P по механической оси y . Тогда на тех же гранях возникает заряд, но противоположного знака. Значение этого заряда можно найти по формуле

$$Q_{II} = -d \frac{l}{a} P_y \quad (4)$$

где l — длина пластины;
 a — ширина пластины (рис. 2, а).

Из формулы (4) следует, что Q_{II} при поперечном пьезоэффекте зависит от отношения l/a . Изменяя данное отношение в определенных пределах, можно изменять чувствительность преобразователя.

При воздействии на пластину силы P по оптической оси z на ее гранях не возникает заряда.

Пьезоэлектрические датчики конструктивно, как правило, представляют собой набор нескольких шайб, дисков или пластин, которые механически соединяются последовательно, а электрически — параллельно (рис. 2, б). Суммарный заряд в этом случае определяется по формуле:

$$Q_{\Sigma} = n \cdot Q, \quad (5)$$

где n — число шайб, дисков или пластин;
 Q — заряд, возникающий на одной шайбе, пластине или на одном диске.

При использовании пьезоэлектрических датчиков обычно измеряют не заряд, а напряжение на емкости, образуемой обкладками шайбы, диска или пластины. Это напряжение находится по формуле

$$U = \frac{Q_{\Sigma}}{C_d} = \frac{n \cdot Q_{II}}{C_d} = \frac{n \cdot d P_x}{C_d} \quad (6)$$

где C_d — собственная емкость пьезоэлектрического датчика.

Для пьезоэлектрических датчиков, кроме природных материалов кварца и турмалина, применяются в технике также искусственные кристаллы: сегнетовая соль (КНТ), дигидрофосфат калия (КДР), дигидрофосфат аммония (АДР) и др. Пластины из искусственных кристаллов вырезаются под некоторым углом к полярным осям (обычно под углом 45°).

Сегнетовая соль имеет высокий пьезоэлектрический модуль d , который в 70 раз больше пьезоэлектрического модуля кварца, но она имеет очень низкую механическую прочность, а также большую зависимость характеристик от температуры и влажности.

В настоящее время в технике широко применяются сегнетоэлектрики в виде пьезокерамик титаната бария и его композиций, титаната свинца и др. Эти сегнетоэлектрики по сравнению с кварцем имеют больший пьезоэлектрический модуль и более высокую механическую прочность. Они изготавливаются любой формы и размеров.

Основным достоинством всех пьезоэлектрических датчиков является их безынерционность, а основным недостатком — малая выходная мощность. Поэтому для усиления выходной мощности пьезоэлектрических датчиков применяются усилители. Так как эти датчики имеют большое выходное (внутреннее) сопротивление, поэтому они включаются на вход усилителей, имеющих входное сопротивление около $10^8 \dots 10^{14}$ Ом. Пьезоэлектрический датчик и усилитель соединяются между собой с помощью экранированного кабеля. Пьезоэлектрические датчики очень часто применяются для измерения быстропротекающих процессов. Эти датчики могут, например, измерять давление газов в двигателях внутреннего сгорания и в стволах артиллерийских орудий, а также регистрировать удары метеорных частиц с массами в 10^{-9} г при средней скорости 40 км/ч на искусственных спутниках земли.

3. Тахометрические датчики

К тахометрическим датчикам можно отнести тахогенераторы, которые представляют собой маломощные электрические машины, преобразующие механическое вращение в электрический

сигнал. Тахогенераторы предназначены для получения напряжения, пропорционального частоте вращения, и применяются в качестве электрических датчиков угловой скорости. В зависимости от вида выходного напряжения и конструкции они делятся на тахогенераторы постоянного и переменного тока.

Тахогенераторы постоянного тока

Тахогенераторы постоянного тока конструктивно представляют собой электрогенераторы постоянного тока и выполняются с возбуждением от постоянных магнитов или электромагнитов. На рис. 3, а приведена схема тахогенератора постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов.

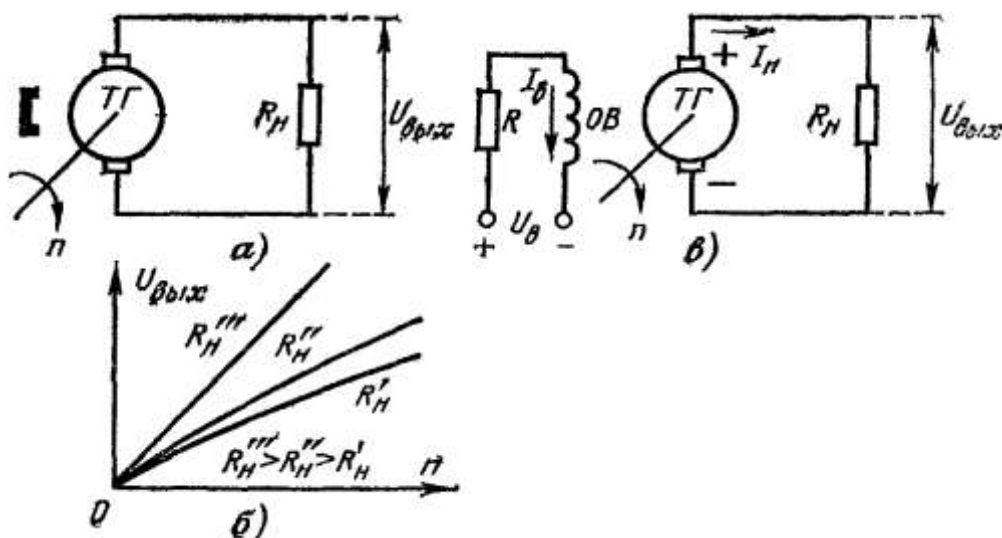


Рис. 3. Тахогенераторы постоянного тока

- а) схема, с возбуждением от постоянных магнитов; б) выходные характеристики
в) схема с независимым электромагнитным возбуждением

При вращении якоря тахогенератора с частотой n с его щеток снимается ЭДС, значение которой определяется по формуле:

$$E = k_{\text{я}} \cdot \Phi \cdot n, \quad (7)$$

где $k_{\text{я}} = \frac{p \cdot w}{2a \cdot \pi} 10^{-8}$ — коэффициент, зависящий от конструкции и схемы якоря (p — число

пар полюсов;

w — число витков обмотки якоря;

$2a$ — число параллельных ветвей обмотки якоря,

Φ — магнитный поток

Для данного типа тахогенератора магнитный поток Φ является величиной постоянной, так как он создается постоянными магнитами. Поэтому ЭДС зависит только от частоты вращения якоря тахогенератора n . Выходные характеристики рассмотренного тахогенератора для различных значений нагрузок $R_{\text{н}}$ приведены на рис. 3, б. Из этого рисунка следует, что с увеличением частоты вращения тахогенератора до определенного момента его выходное напряжение ($U_{\text{вых}}$) растет пропорционально и только при большой частоте линейность характеристики нарушается, причем чем больше сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$, тем больше крутизна характеристики и тем больше ее линейность.

В автоматике применяются также тахогенераторы постоянного тока с независимым электромагнитным возбуждением. В таких тахогенераторах магнитный поток возбуждения $\Phi_{\text{В}}$ создается специальной обмоткой возбуждения $ОВ$ (рис. 3, б), которая располагается на полюсах статора. В этом случае магнитный поток равен:

$$\Phi_{\text{В}} = k_{\Phi} \cdot I_{\text{В}} \quad (8)$$

где k_Φ — коэффициент пропорциональности;
 I_B — ток в обмотке возбуждения.

Для тахогенераторов с независимым электромагнитным возбуждением ЭДС можно найти следующим образом, для этого в формуле (7) вместо Φ подставить Φ_B :

$$E = k_\Phi \cdot \Phi_B \cdot n \quad (9)$$

Из выражения (9) следует, что ЭДС тахогенератора зависит не только от частоты вращения якоря n , но и от магнитного потока обмотки возбуждения Φ_B , т.е. тока в обмотке возбуждения I_B [см. формулу (8)]. При изменении направления вращения якоря меняется полярность выходного сигнала. Приведенные выше формулы для определения ЭДС тахогенератора справедливы только при работе его на холостом ходу.

При работе тахогенератора с нагрузкой R_H его выходное напряжение, снимаемое со щеток якоря, равно:

$$U_{\text{ВЫХ}} = E - I_H \cdot R_H \quad (10)$$

где $I_H = \frac{E}{R_H + R_\text{Я}}$ — ток нагрузки;

$R_\text{Я}$ — сопротивление цепи якоря, которое состоит из сопротивления самой якорной обмотки и сопротивления переходного контакта между коллектором и щетками;

Выходная характеристика тахогенератора с независимым электромагнитным возбуждением напоминает выходную характеристику тахогенератора постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов (рис. 3,б).

При частоте вращения якоря тахогенератора, близкой к нулю, возникает так называемая зона нечувствительности, в пределах которой выходное напряжение равно нулю.

Конструкции тахогенераторов с возбуждением от постоянных магнитов проще, чем конструкции тахогенераторов с независимым электромагнитным возбуждением, потому что отсутствует дополнительный источник питания.

Главное требование, предъявляемое к тахогенераторам, — это точность преобразования механического вращения в электрическое напряжение.

Основные причины погрешностей тахогенераторов постоянного тока:

1) в тахогенераторах с возбуждением от постоянных магнитов — изменение потока магнита за счет старения или вследствие влияния температуры;

2) в тахогенераторах с независимым электромагнитным возбуждением — изменение сопротивления обмотки возбуждения (тока возбуждения) при изменении температуры. Для уменьшения влияния температуры в цепь обмотки возбуждения (выполняется из медного провода) включается дополнительное сопротивление R (рис. 3, в), не зависящее от температуры;

3) в тахогенераторах обоих типов — зависимость выходного напряжения от сопротивления нагрузки R_H или тока нагрузки I_H как вследствие падения напряжения в обмотке его якоря и щеточных контактов, так и вследствие реакции якоря. Это особенно сильно сказывается при небольшом сопротивлении нагрузки.

Реакция якоря — это явление, заключающееся в том, что ток нагрузки I_H (см. рис. 3, в), протекая по обмотке якоря, создает вращающийся магнитный поток, который наводит противо-ЭДС в обмотке возбуждения OB . Вследствие этого ток возбуждения I_B уменьшается, что приводит к уменьшению магнитного потока возбуждения Φ_B тахогенератора, в результате чего напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ также уменьшается.

Основным недостатком тахогенераторов постоянного тока является наличие коллектора и щеток, имеющих нестабильное переходное контактное сопротивление. Это приводит к некоторой

нестабильности выходного напряжения тахогенераторов и к появлению зоны нечувствительности при частотах вращения якоря, близких к нулю.

В настоящее время наша промышленность выпускает тахогенераторы постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов марок ТПП-1А, ТПП-3, ТПП-3А и с независимым электромагнитным возбуждением марок ТГ-1, ТГ-2, ТД-101, ТД-102 и ТД-103.

Тахогенераторы переменного тока

Тахогенераторы переменного тока можно разделить на два вида: **синхронные** и **асинхронные**. Основными преимуществами тахогенераторов переменного тока по сравнению с тахогенераторами постоянного тока являются: отсутствие коллектора и щеток; синусоидальная форма выходной ЭДС; большая надежность; стабильность характеристик.

Упрощенная конструкция синхронного тахогенератора приведена на рис. 4,а. Тахогенератор синхронного типа состоит из неподвижного статора 1, в пазах которого размещена обмотка 2, и ротора 3 в виде постоянного магнита с несколькими полюсами (в данном случае четырьмя). При вращении ротора в обмотке статора наводится переменная ЭДС, имеющая синусоидальную форму, причем амплитуда и частота ЭДС пропорциональны частоте вращения ротора.

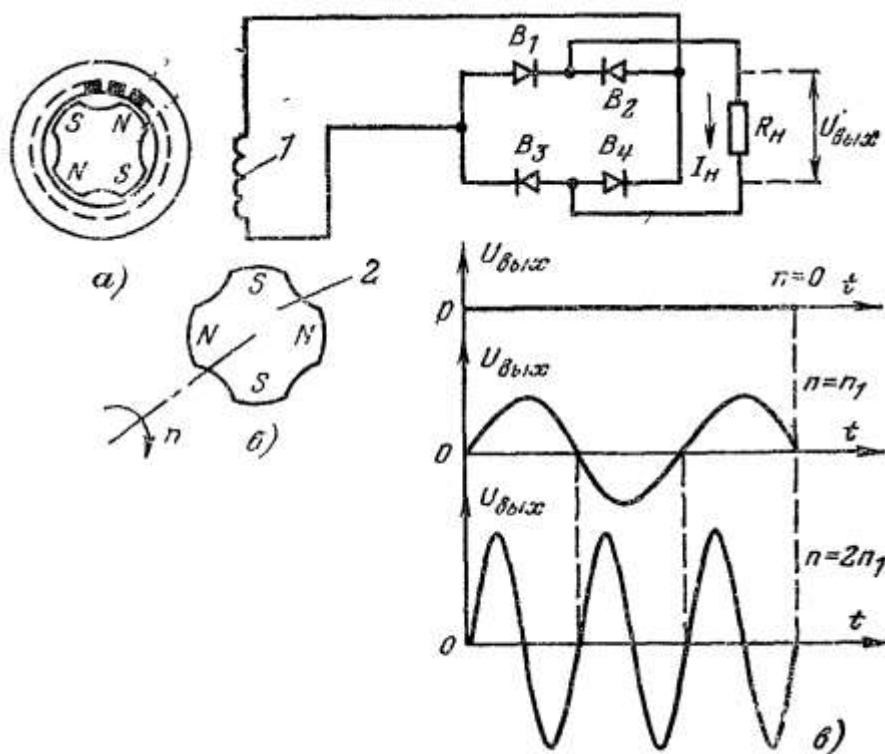


Рис. 4. Синхронный генератор. а) упрощенная схема; б) схема включения (1 - обмотка статора; 2 - ротор); в) зависимость выходного напряжения от частоты вращения ротора

Действующее значение этой ЭДС можно найти по формуле

$$E = 4k_f k_w f \cdot w \cdot \Phi = 4,44k_w \frac{p \cdot n}{60} w \cdot \Phi \quad (11)$$

где k_f — коэффициент формы (для синусоидального тока $k_f = 1,11$). Он позволяет судить о том, насколько несинусоидальный ток отличается от синусоидального;

k_w — обмоточный коэффициент статорной обмотки;

$f = p \cdot n / 60$ — частота напряжения источника питания (p — число пар полюсов, n — частота вращения ротора);

w — число витков статорной обмотки;

Φ — магнитный поток.

Схема включения синхронного тахогенератора показана на рис. 4,б. Для получения постоянной полярности выходного напряжения нагрузка R_H в схеме включена через выпрямители $B1—B4$.

На рис. 4,в показано, что при различных частотах вращения ротора ($n = 0$; $n = n_1$; $n = 2n_1$ и т.д.) изменяется не только амплитуда, но и частота выходного напряжения $U_{ВЫХ}$.

Синхронный тахогенератор на практике применяется редко, потому что имеет два основных недостатка:

- 1) при изменении частоты вращения ротора частота напряжения $U_{ВЫХ}$ изменяется, что затрудняет использование его в обычных схемах переменного тока;
- 2) фаза $U_{ВЫХ}$ не зависит от направления вращения ротора, т. е. он нечувствителен к изменению направления вращения.

Обычно синхронные тахогенераторы используются в качестве индикаторных тахометров, которые служат для непосредственного измерения частоты вращения различных механизмов. В этом случае нагрузкой синхронного тахогенератора является вольтметр, шкала которого отградуирована в числах оборотов в минуту.

Асинхронный тахогенератор не имеет указанных недостатков. Он широко применяется в автоматике и вычислительной технике. Конструкция его напоминает конструкцию двухфазного асинхронного двигателя с тонкостенным ротором (рис. 5, а).

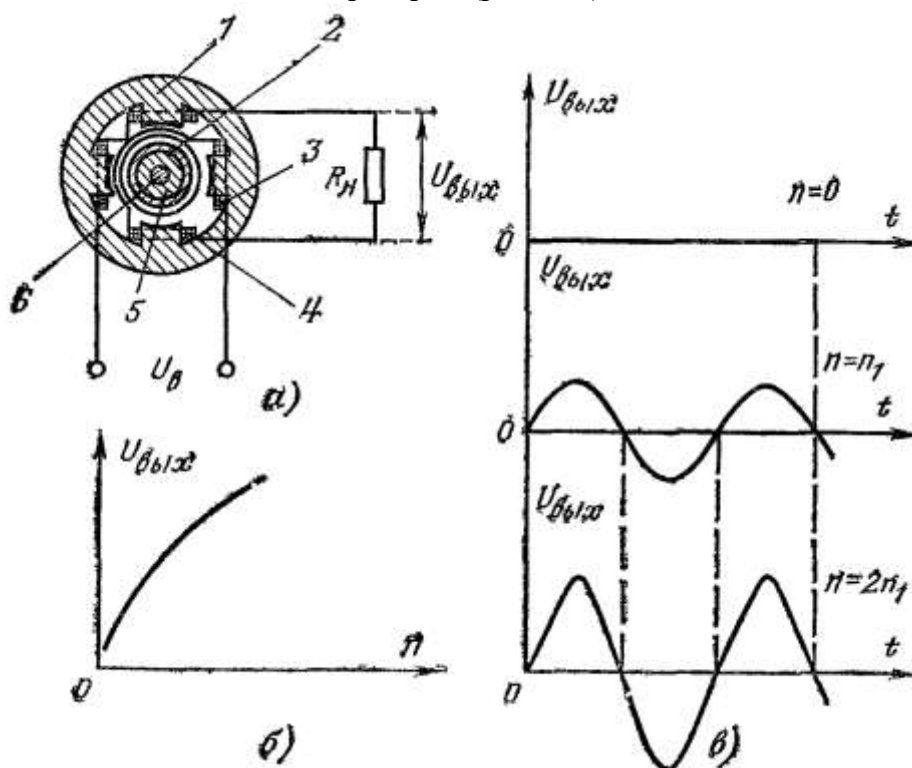


Рис. 5. Асинхронный тахогенератор: а) конструкция

б) статическая характеристика; в) к пояснению того, что частота вых. напряжения не изменяется от частоты вращения ротора

На статоре 1 располагаются продольная и поперечная обмотки, сдвинутые относительно друг друга на 90° . Одна из обмоток является обмоткой возбуждения 3, а другая — выходной (сигнальной) обмоткой 4. Ротор тахогенератора 2 укреплен на валу 6. Он представляет собой тонкостенный алюминиевый стакан, вращающийся в зазоре между статором 1 и неподвижным цилиндрическим сердечником 5. К обмотке возбуждения 3 подводится постоянное по амплитуде и частоте напряжение U_B , а к выходной обмотке подключается нагрузка R_H , с которой снимается выходное напряжение $U_{ВЫХ}$. При подаче на обмотку возбуждения напряжения переменного тока в тахогенераторе возникает пульсирующий магнитный поток возбуждения, который пересекает ротор в направлении, перпендикулярном оси выходной обмотки. Если ротор не вращается, то в выходной обмотке не наводится ЭДС переменного тока, так как оси обмоток 3 и 4 в этом случае

взаимно перпендикулярны. При вращении ротора в нем, кроме ЭДС трансформации, наводимой пульсирующим магнитным потоком, возникает также ЭДС вращения за счет пересечения ротором магнитных линий потока возбуждения, т. е. в роторе наводится суммарная ЭДС. Эта ЭДС создает в роторе токи, вызывающие появление переменного магнитного потока, совпадающего с осью выходной обмотки и наводящего в ней ЭДС, значение которой пропорционально частоте вращения ротора n . Следует отметить, что фаза наводимой ЭДС зависит от направления вращения ротора. Наводимая в выходной обмотке асинхронного тахогенератора ЭДС определяется по формуле

$$E_{\text{ВЫХ}} = k \cdot U_B \cdot n \quad (12)$$

где k — коэффициент пропорциональности.

На рис. 5,б показана статическая характеристика асинхронного тахогенератора $U_{\text{ВЫХ}} = f(n)$, которая нелинейна. Нелинейность характеристики обусловлена реакцией цепи выходной обмотки и возрастает с повышением частоты вращения ротора.

Основными достоинствами асинхронного тахогенератора по сравнению с синхронным тахогенератором являются: независимость частоты выходного напряжения от частоты вращения ротора n (рис. 5, в) и чувствительность тахогенератора к изменению направления вращения ротора.

Главным недостатком асинхронного тахогенератора является изменение выходной ЭДС при изменении температуры. В основном это вызвано тем, что при работе тахогенератора происходит нагрев ротора, в результате чего изменяется его сопротивление, которое во много раз больше сопротивления обмоток статора. Для уменьшения температурной погрешности асинхронных тахогенераторов большой точности роторы их часто выполняют из материалов с весьма малым температурным коэффициентом, например из марганцовистого алюминия, марганцовистой меди или фосфористой бронзы.

4. Фотоэлектрические датчики

Фотоэлектрические датчики (фотодатчики) используются в автоматике для преобразования в электрический сигнал различных неэлектрических величин: механических перемещений, скорости размеров движущихся деталей, температуры, освещенности, прозрачности жидкой или газовой среды и т. д. Фотодатчики (оптические датчики) применяются в автоматике для решения различных задач, например для измерения освещенности, мутности раствора, уровня жидких и сыпучих материалов, подсчета деталей на конвейере и для многих других целей.

По принципу кодирования информации фотодатчики можно разделить на две группы: с амплитудной модуляцией светового потока и с временной или частотной модуляцией. У датчиков с амплитудной модуляцией значение фототока пропорционально световому потоку, зависящему от управляемой (контролируемой) неэлектрической величины. У датчиков с временной или частотной модуляцией фототок изменяется дискретно за счет полного или частичного прерывания светового потока от воздействия неэлектрической величины. Информация об управляемом (контролируемом) параметре кодируется в этих датчиках в виде числа, частоты или длительности импульсов фототока.

Фотодатчик в общем случае состоит из фотоэлектрического чувствительного элемента (фотоэлемента) источника света и оптической системы. В некоторых случаях фотодатчики используют световое излучение объекта управления (контроля) и не содержат источника света (датчики астрономического компаса, температуры, освещенности и др.). Некоторые датчики с целью упрощения конструкции могут не содержать оптической системы.

В качестве источников световой энергии в некоторых фотодатчиках используется сам ОУ (при измерении температуры, освещенности и т.п.). Большинство же фотодатчиков нуждается в искусственном источнике светового потока. Наибольшее распространение в качестве такого источника в фотодатчиках получили недорогие и простые в эксплуатации лампы накаливания или

светодиоды. С целью повышения надежности и долговечности ламп рабочее напряжение снижают на 20—30 % по сравнению с номинальным.

В большинстве фотодатчиков преобразование входной неэлектрической величины в электрический сигнал осуществляется в два этапа: сначала происходит ее преобразование в изменение одного из параметров светового потока (силы света, освещенности, спектрального состава и т. п.), а затем это изменение преобразуется фотоэлементом в электрическую величину (фототок, падение напряжения, фото-ЭДС и т. д.).

Все фотодатчики по характеру формирования воздействия светового потока на фотоэлемент можно разделить на несколько видов.

1. Фотодатчики, у которых световой поток изменяется за счет перемещения объекта управления (контроля) или изменения размеров объекта (рис. 6).

В этих датчиках источник света 1 и оптическая система (конденсор) 2 формируют параллельный и равномерный световой поток Φ . В этом световом потоке помещается деталь 3, размеры которой нужно контролировать, или заслонка 4, связанная механически с объектом управления ОУ и перекрывающая часть светового потока. При изменении размера детали d или при перемещении заслонки x изменяется количество света (лучистой энергии), попадающего на фотоэлемент 5. Для повышения чувствительности световой поток Φ_1 , содержащий информацию о размерах детали (или о перемещении объекта), собирается оптической системой 6 и фокусируется на светочувствительную поверхность фотоэлемента. По такому принципу работают датчики фотоэлектрических микрометров, датчики длины, площади, деформаций и т. д. На этом принципе основана работа и дискретных фотодатчиков, таких, как фотоэлектрические датчики (преобразователи) «угол — код», датчики частоты вращения, фотосчитывающие датчики с перфолент, перфокарт, фотодатчики конца магнитной ленты, датчики размеров петли магнитной ленты, находящейся в кармане лентопротяжного механизма ЗУ на магнитной ленте, и т. д.

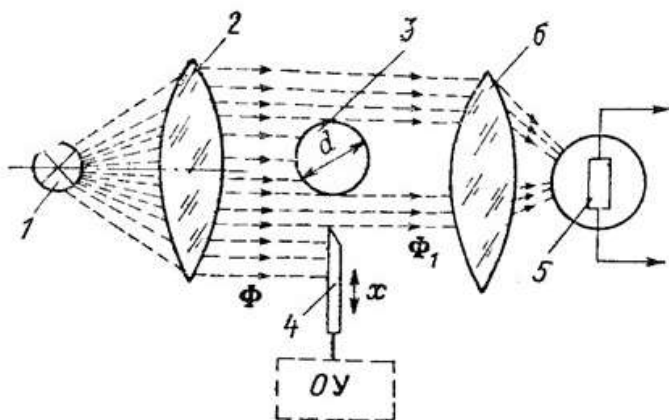


Рис. 6. Фотодатчик со световым потоком, прерываемым ОУ

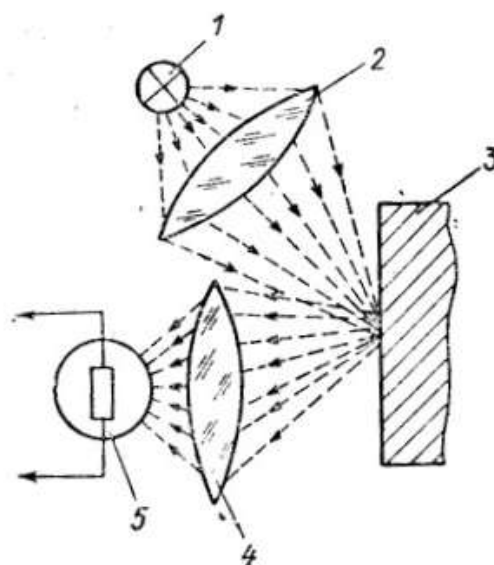


Рис. 7. Фотодатчик со световым потоком, отраженным от ОУ

2. Фотодатчики, у которых световой поток попадает на фото элемент после отражения от объекта управления (контроля) (рис. 7).

В этих фотодатчиках источник света 1 и оптическая система 2 формируют узкий световой луч, который после отражения от объекта 3 попадает через собирающую и фокусирующую оптическую систему 4 на фотоэлемент 5. Количество отраженного света, попадающего на фотоэлемент, зависит от отражательной способности поверхности объекта (чистоты обработки, блескости, наличия участков, покрытых краской, и т. п.). Такие фотодатчики используются в читающих автоматах, способных автоматически считывать и кодировать информацию с текстовых и графических документов, в измерителях чистоты поверхности, фотоэлектрических рефлектометрах, гигрометрах и пр.

3. **Фотодатчики, у которых световой поток создается объектом управления (контроля)** (рис. 8). В этих фотодатчиках световой поток, излучаемый ОУ, содержит информацию об управляемом (контролируемом) параметре объекта 1. Оптическая система 2 собирает и фокусирует световой поток на светочувствительную поверхность фотоэлемента 3. Подобные фотодатчики используются в фотоэлектрических измерителях температуры, дозиметрах лучистой энергии, приборах для эмиссионного спектрального анализа.

В качестве чувствительных элементов в фотодатчиках используются фотоэлементы с внешним, вентильным и внутренним фотоэффектом.

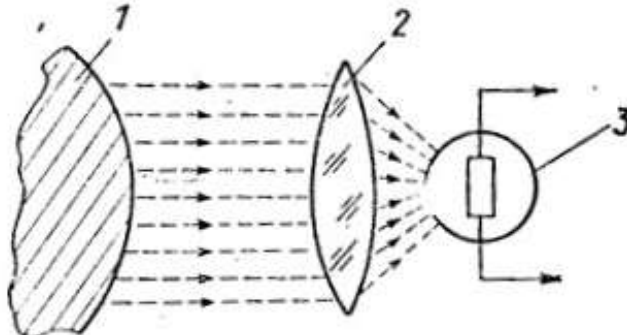


Рис. 8. Фотодатчик со световым потоком, излучаемым ОУ

Различают три типа фотоэлементов: с внешним фотоэффектом, с внутренним фотоэффектом и с запирающим слоем (вентильные).

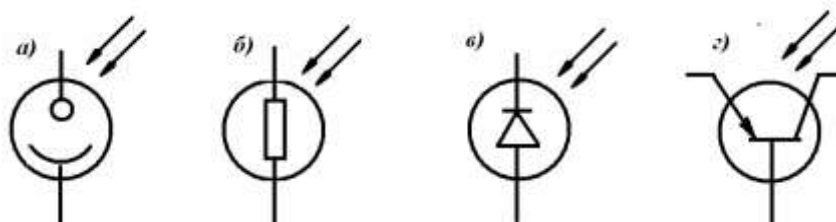


Рис. 9. Условные обозначения фото датчиков:
а) с внешним фотоэффектом; б) фоторезистор; в) фотодиод;
г) фототранзистор

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом

Это вакуумные и газонаполненные фотоэлементы (рис. 10), фотоумножители обладают высокой линейностью световой характеристики (зависимость фототока от светового потока), высокой температурной стабильностью характеристик. Однако они имеют и ряд существенных недостатков, ограничивающих их применение в устройствах автоматического управления и контроля: необходимость в повышенном напряжении питания (сотни и тысячи вольт); хрупкость стеклянного баллона и возможность деформации электродов при механических воздействиях; старение и утомляемость фотоэлементов (снижение чувствительности при сильной освещенности).

Фотоэлемент с внешним фотоэффектом (вакуумный) представляет собой наполненный инертным газом – аргоном стеклянный баллон или лампу, на внутреннюю часть которых нанесен светочувствительный слой из полупроводникового материала (сурьма, цезий), являющийся катодом (рис. 10). Внутри баллона установлен также второй электрод в виде кольца – анод. Световые лучи, попадая на поверхность катода, вызывают эмиссию (испускание) электронов, которые под действием напряжения питания $U_{пит}$ устремляются к аноду. Таким образом, в цепи анод-катод возникает электрический ток, сила которого зависит от величины светового потока.

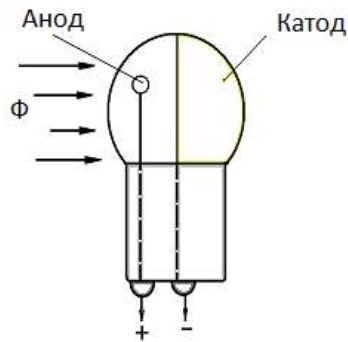


Рис. 10. Фотоэлемент с внешним фотоэффектом

Фоторезисторы наряду с фотодиодами и фототриодами находят широкое применение, причем в основном в фотодатчиках с дискретной световой характеристикой. Достоинством фоторезисторов является высокая чувствительность, стабильность параметров, большая надежность и долговечность, возможность работы, как на постоянном, так и на переменном токе, малые габариты. К их недостаткам следует отнести большую инерционность, сильное влияние окружающей температуры, нелинейность световой характеристики, большой разброс параметров у фоторезисторов одной партии.

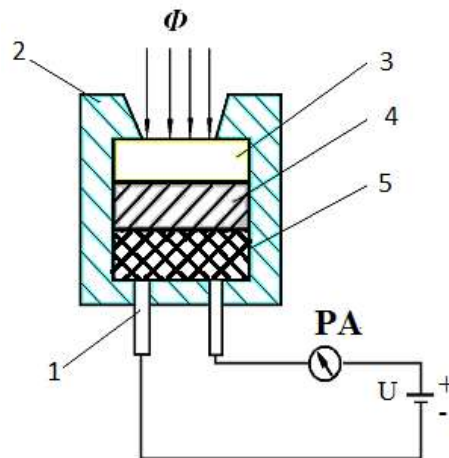


Рис. 11. Фотосопротивление:

1 – металлические электроды; 2 – корпус; 3 – стекло; 4 – светочувствительный полупроводниковый слой; 5 – стеклянная подложка

Конструктивно фотосопротивление (рис. 11) представляет собой пластмассовое основание 2, стеклянную пластину 5, на которую нанесен слой светочувствительного полупроводникового материала 4 (селена, кадмия сульфида, таллия сульфида, сернистого свинца и т.п.), металлические электроды 1 и стекло 3, через которое проходит световой поток на полупроводниковый слой.

При освещении некоторых полупроводников из имеющихся в них атомов выбиваются электроны и в веществе появляются свободные носители зарядов, а следовательно, увеличивается и электропроводность. Поэтому с увеличением освещенности электрическое сопротивление таких полупроводников падает. Наиболее распространены фоторезисторы серносвинцовые (ФС-А), сернистосвинцовые (ФС-Б), сернокадмиевые (ФС-К) и др.

При быстрых изменениях величины светового потока датчик не успевает полностью изменить свое сопротивление, т.е. проявляется инерционность физических процессов, происходящих в датчике. Поэтому при подборе датчиков важно учитывать не только статические, но и динамические свойства. Сигналы от фотодатчиков обычно имеют малую величину и недостаточны для срабатывания исполнительных механизмов. Для усиления и преобразования этих сигналов применяются усилители и реле.

Фотодиоды и фототриоды

Фотодиоды и фототриоды широко применяются в фотодатчиках различного типа. Они имеют линейную световую характеристику, высокую чувствительность, малую инерционность (частота прерывания светового потока может быть до нескольких килогерц), малые габариты. В зависимости от схемы включения различают вентильный и фотодиодный (фототриодный) режимы работы фотодиодов и фототриодов.

В **вентильном режиме** фотодиод является генератором фото тока и не нуждается в источнике питания. Фототриод в вентильном режиме можно рассматривать как комбинированный электронный прибор — фотодиод ($n-p$ -переход цепи база — эмиттер) и собственно триод, усиливающий фототок, который возникает в цепи база — эмиттер под действием светового потока. База фототриода в этом режиме замыкается накоротко с эмиттером. В вентильном режиме фотодиоды и фототриоды используются в фотодатчиках с пропорциональной световой характеристикой (измерение размеров, перемещений, температуры и т. д.).

Вентильные фотоэлементы отличаются высокой надежностью и долговечностью не нуждаются в источнике питания, имеют малую массу и габариты. Недостатками их являются: сильное влияние окружающей температуры; утомляемость и высокая инерционность, ограничивающая применение при частоте прерывания светового потока в несколько десятков герц.

В **фотодиодном режиме** к фотодиоду нужно приложить в обратном запирающем направлении внешнее напряжение. У фототриодов в фототриодном режиме в цепь базы подается напряжение смещения от внешнего источника. Фотодиодный (фототриодный) режим включения фотодиодов (фототриодов) используется в основном в фотодатчиках с дискретной световой характеристикой (фотосчитывающие устройства с перфолент, перфокарт, фотоэлектрические преобразователи «угол—код», читающие автоматы и т. д.). В фотодиодном (фототриодном) режиме фотодиоды и фототриоды имеют большую чувствительность, чем в вентильном (выходным сигналом в этом режиме является напряжение).

Для работы в инфракрасной области спектра применяют специальные излучатели в виде штифтов из жаропрочных полупроводниковых материалов. Менее распространены в фотодатчиках газоразрядные лампы. Они имеют высокую светоотдачу и потребляют при этом в 2—3 раза меньше энергии, чем лампы накаливания. Однако номенклатура этих ламп ограничена, габариты их больше, чем ламп накаливания.

Оптические системы фотодатчиков служат для перераспределения в пространстве потока лучистой энергии с целью повышения эффективности воздействия объектов управления (контроля) на параметры лучистого потока. Функции оптических систем фотодатчиков весьма разнообразны и требуют применения самых различных линз, зеркал, призм, диафрагм, дифракционных решеток, светофильтров и т. д.

С целью повышения помехоустойчивости в некоторых фотодатчиках размещается предварительный усилитель выходного сигнала фотоэлемента. Для этой цели в настоящее время в основном используют микроэлектронные операционные усилители.

В целом, оценивая **фотодатчики**, следует отметить их большую универсальность, отсутствие обратного воздействия на объект управления (контроля) — бесконтактность.

Недостатками фотодатчиков являются чувствительность к вибрациям, ударам, плохая работа в запыленной, загазованной и влажной среде, помехи от осветительных приборов общего освещения.