

Тема 5. Датчики скорости и динамических величин

План занятия

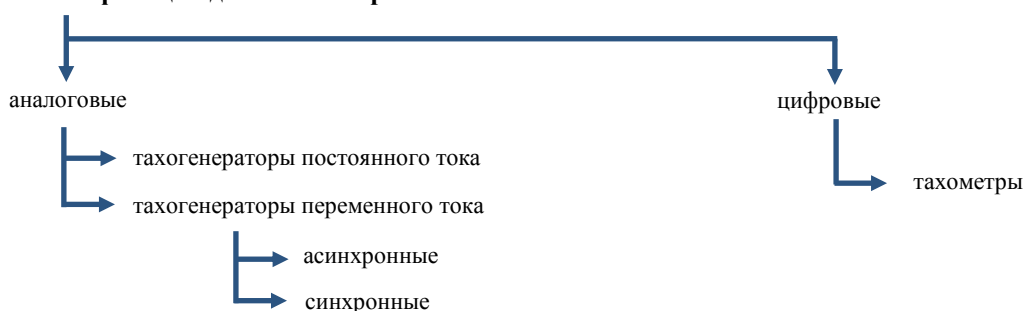
1. Основные положения
2. Датчики скорости
3. Датчики динамических величин
4. Акселерометры
5. Гироскопы

1. Основные положения

В робототехнике контроль скорости позволяет существенно повысить плавность хода и точностные характеристики приводов, является необходимым условием при построении систем управления позиционно-контурного типа.

2. Датчики скорости

Классификация датчиков скорости



Принцип действия большинства промышленных датчиков скорости основан на **законе Фарадея**, в соответствии с которым ЭДС индукции прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока Φ :

Тахогенераторы

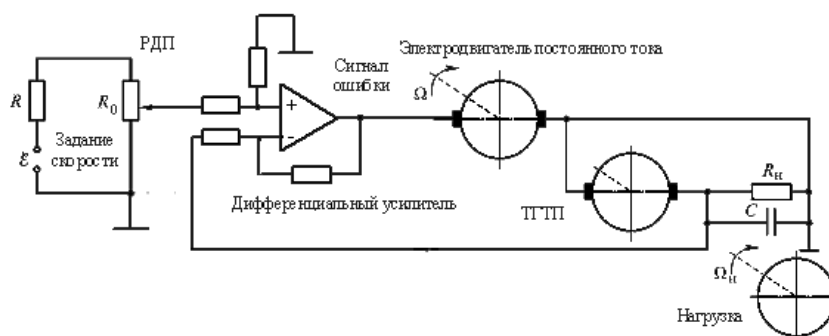
Тахогенераторы (ТГ) в отличие от ДПП не обладают высокими точностными характеристиками. Как правило, для них допустимая погрешность $\sim 0,1...0,5\%$.

Основные задачи ТГ: измерение угловой скорости вала, осуществление обратной связи по скорости, электромеханическое преобразование (интегрирование и дифференцирование).

Различают ТГ постоянного тока и асинхронные тахогенераторы.

По способу формирования потока возбуждения выделяют два типа **ТГ постоянного тока**:

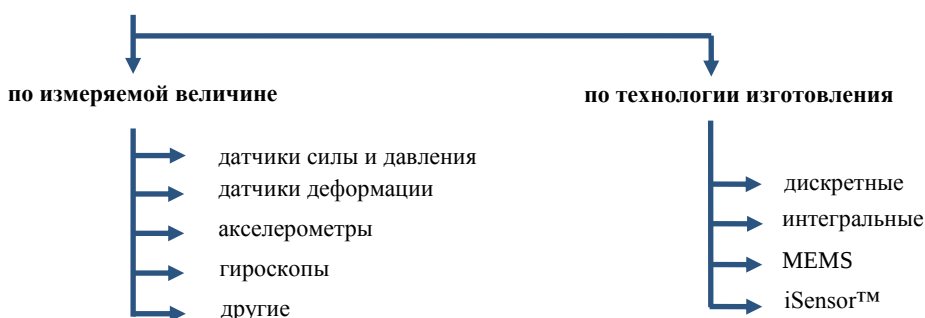
- коллекторный (с обмоткой возбуждения);
- бесколлекторный (с возбуждением от постоянных магнитов).



3. Датчики динамических величин

К датчикам динамических величин (ДДВ) относятся информационные устройства, преобразующие изменение динамических факторов (силы, ускорения и давления) в изменение электрического сигнала. Использование ДДВ в системах управления и робототехнике позволяет регулировать **момент** на валу привода или **ускорение** выходного вала и реализовывать сложные законы управления звеньями исполнительного механизма.

Классификация ДДВ



Эквивалентные схемы ДДВ на разных частотах: *a* – идеальная, *б* – замещения

Эквивалентная схема (схема замещения) ДДВ – это схема, составленная из простых элементов и наглядно представляющая сущность процессов в реальном устройстве.

Импеданс ДДВ является частотно зависимым параметром.

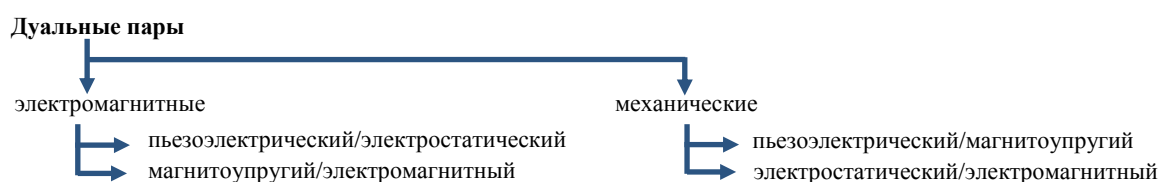
При вычислении импеданса **емкостного** и пьезоэлектрического ДДВ необходимо учитывать сопротивление утечки изоляции R_y , паразитную емкость $C_{\text{п}}$ между электродами и заземленными элементами, сопротивление R_k и индуктивность L_k проводящих кабелей.

Аналогично, в **индуктивном** и магнитоупругом ДДВ импеданс не является чисто реактивным L_d . Сопротивление потерь складывается из потерь в обмотках проводов R_d , $L_{\text{рас}}$ (индуктивность рассеяния), перемагничивании сердечника $R_{\text{п}}$, межвитковой емкости C , шума $U_{\text{ш}}$ и др.

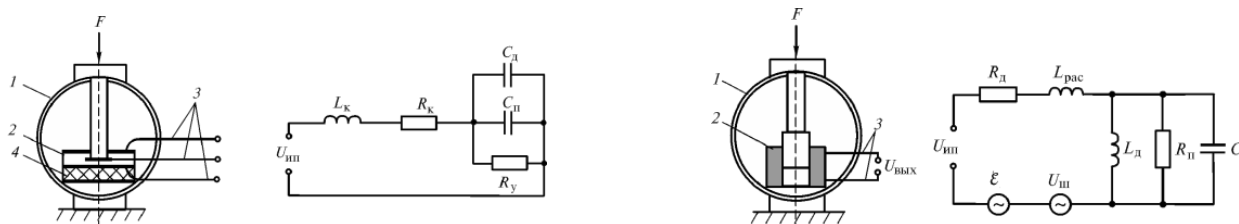
Магнитоупругие ДДВ предназначены для измерения динамических факторов и основаны на обратимом преобразовании энергии магнитного поля и механических колебаний. В основе работы датчиков этого типа лежит эффект магнитоупругости (эффект Виллари) — изменение намагниченности ферромагнетика при его деформации. Обратный эффект — магнитострикция, заключается в изменении размеров и формы тела при его намагничивании.

Датчики силы и давления

Конструктивной особенностью ДДВ этого типа является то обстоятельство, что при проектировании возможно использовать общие подходы, т.к. ДДВ представляют собой дуальные пары.



Конструктивные схемы датчиков силы



Электростатический и электромагнитный ДДВ фирмы Kistler и их эквивалентные схемы:

1 — упругий сферический корпус; 2 — ЧЭ; 3 — изоляционная прокладка; 4 — выходные электр

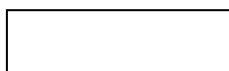
4. Акселерометры

Перемещение объекта, его скорость и ускорение являются взаимосвязанными величинами - ускорение является второй производной перемещения. Однако **производная** сильно зашумленного сигнала содержит очень большие погрешности. Поэтому, производную от перемещения целесообразно вычислять только в низкочастотной области измерений (не выше 1 Гц), в среднечастотной области (до 1 кГц) используют датчики скорости, а в высокочастотной, когда перемещения соизмеримы с шумом, используют датчики ускорения — **акселерометры**.

В состав **инерционных акселерометров** входит **подпружиненный массивный** элемент, движение которого под действием внешних силовых факторов отстает от движения корпуса. Измеряемым параметром является перемещение этого элемента (обычно не более 15...20 мкм), которое преобразуется в электрический сигнал.

Функцию преобразования емкостного акселерометра

можно представить в виде:



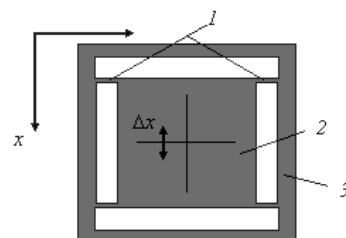
где S - чувствительность датчика, a — измеряемое ускорение.

5. Гироскопы

Гироскоп представляет собой навигационный прибор, предназначенный для определения углов ориентации подвижного объекта относительно инерциальной системы координат.

Различают следующие типы гироскопов: механический (роторный); монолитный (MEMS-гироскоп) и оптический.

Основным элементом **механического гироскопа** является быстро вращающийся ротор в карданном подвесе.



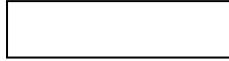
Емкостной одноосный дифференциальный MEMS акселерометр: 1 - кремниевые пружины, 2 - инерционная масса, 3 - корпус

Принцип действия монолитного MEMS-гироскопа вибрационного типа, также как и роторного гироскопа, основан на использовании эффекта Кориолиса.

В подвижной системе координат на тело действуют силы инерции. Во вращающейся системе координат, на тело, перемещающееся относительно этой системы, таких сил две:

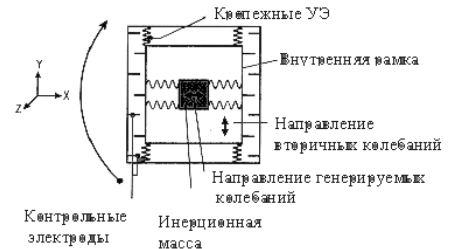
- центробежная;
- Кориолисова.

Сила Кориолиса, зависит от массы и скорости v_R тела относительно вращающейся системы и от угловой скорости вращения системы ω :



Принцип действия MEMS-гироскопа

Во внутренней рамке генерируются колебания с постоянной амплитудой, вследствие чего инерционная масса начинает вибрировать вдоль горизонтальной оси. Если при этом гироскоп будет совершать вращение с угловой скоростью ω вокруг оси Z, то сила Кориолиса заставит внутреннюю рамку вибрировать относительно внешней с частотой, равной частоте генерируемых колебаний и амплитудой, пропорциональной ω .



По факту твердотельный гироскоп является датчиком угловой скорости ω . Для определения угла сигнал интегрируют, что приводит к появлению возрастающей со временем ошибки.

6. Инерциальная навигация

Для измерения углового положения мобильного робота в пространстве необходимо использовать систему из трех MEMS-датчиков: гироскопа-акселерометра-магнетометра.

- **MEMS-гироскоп** измеряет значение угловой скорости; при этом величину углового отклонения можно вычислить только с возрастающей ошибкой.
- **MEMS-акселерометр** способен точно измерить угол наклона датчика относительно поверхности земли только при покое робота. Однако, если его повернуть вокруг одной оси, на него, кроме гравитации, подействует внешний момент силы, что приведет к ошибкам при расчете углов наклона.
- Для измерения азимута используют данные от **MEMS-магнетометра**.

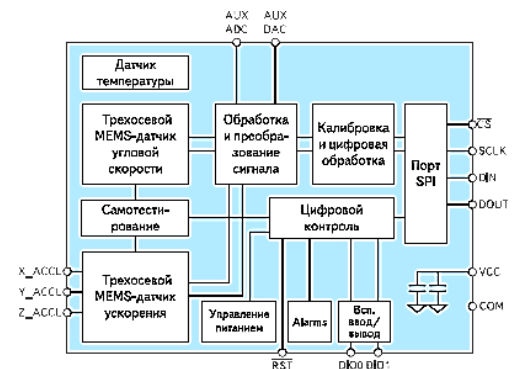


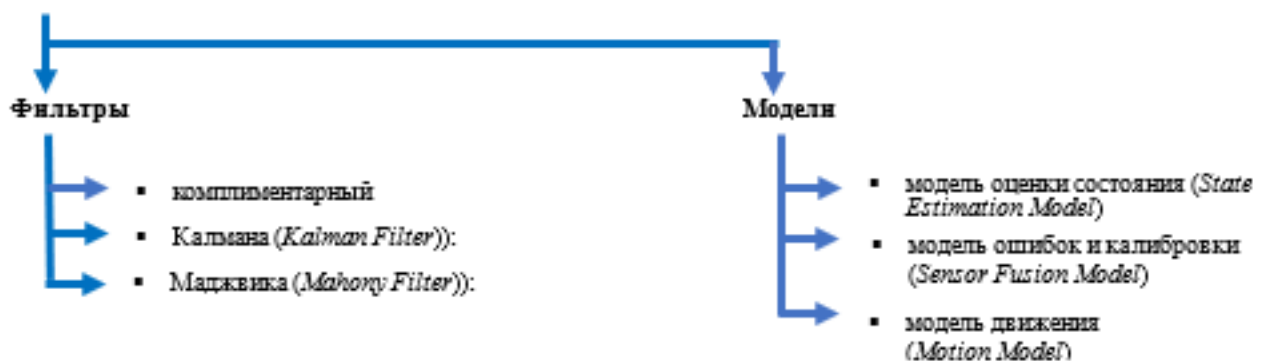
Схема трехосевого гироскопа-акселерометра

Все датчики сильно шумят, особенно на высоких частотах. Для уменьшения ошибки все сигналы обрабатывают совместно с помощью **фильтра Калмана**.

Фильтры и модели датчиков

IMU предоставляют информацию о ускорении и угловых скоростях объекта. Однако эти данные часто подвержены шумам и дрейфу, что приводит к неточностям в оценке ориентации и движении робота. Для улучшения точности и стабильности данных из IMU часто применяют фильтры и математические модели

Программные средства IMU



Для акселерометра характерна чувствительность к внешним воздействиям и шумам, а у гироскопа точность расчетов снижается из-за дрейфа нуля и ошибок интегрирования. Для уменьшения ошибки в определении угла объединяют показания акселерометра и гироскопа с помощью **комплемментарного фильтра**:

