

3. Принцип работы устройства кода "да-нет"

Передаточная функция разомкнутой системы в операторной форме определяется выражением:

$$W_{раз}(\rho) = \frac{k_{раз}}{\rho(1 + \rho T_{дв})}, \quad (1)$$

где: $k_{раз}$ – коэффициент передачи разомкнутой системы, представляющий собой произведение коэффициентов передачи входящих в неё звеньев;

$T_{дв}$ – постоянная времени двигателя.

Передаточная функция (1) содержит множитель ρ в знаменателе, свидетельствующий о том, что система астатическая первого порядка, т.е. не имеет ошибки по положению в установившемся состоянии (участок cd графика фиг.4). Следовательно, сигнал рассогласования $\varepsilon(t)$ в установившемся состоянии равен нулю, а в неустановившемся – не равен нулю. Этот принцип и используется для получения кода "да-нет".

При подаче сигнала $u(t)$ на вход устройства на выходе усилителя U_c появляется напряжение $u_{упр}(t)$, которое является управляющим для преобразователя (Пр) и для двигателя в цепи отрицательной обратной связи (ОС). Если входной сигнал $u(t)$ не изменяется, то сигнал обратной связи

$$u_{oc}(t) = u(t) - const. \quad (2)$$

И следовательно, сигнал рассогласования

$$\varepsilon(t) = u(t) - u_{oc}(t).$$

на выходе сравнивающего устройства C_p и напряжение $U_{ср}(t)$ равны нулю. В этом случае на выходе Pr существует код "да", т.е. код "да" появляется при достижении контролируемым параметром своего установившегося значения, любого уровня, как снизу, так и сверху.

При изменении $U(t)$ (рост или уменьшение по любому закону), за счёт запаздывания АСС на выходе усилителя существует напряжение $K_y \cdot \varepsilon(t)$, не равное нулю, под действием которого Pr выдаёт код "нет".

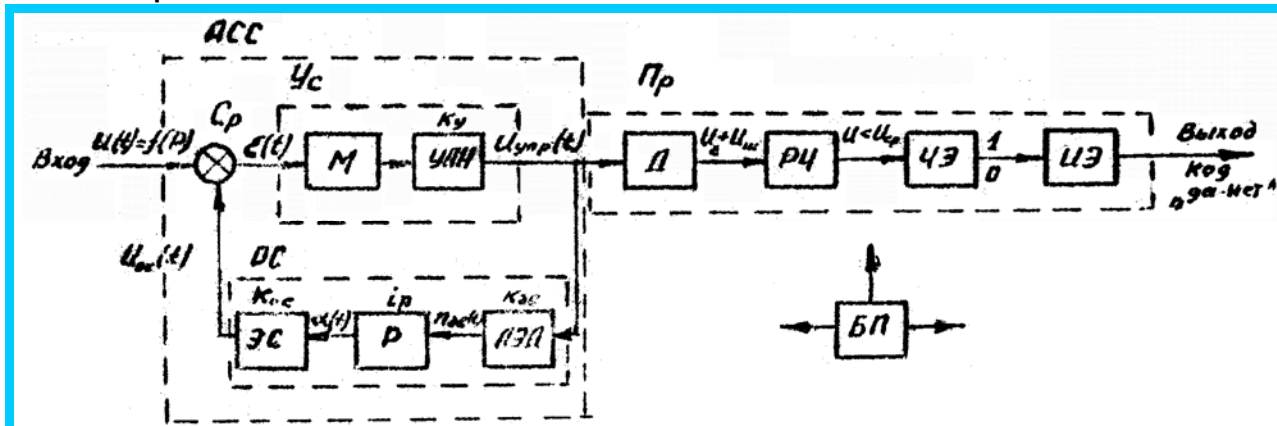
Следовательно, устройство выдаёт код "да-нет" независимо от величины входного сигнала. Выдача кода зависит только от формы процесса. Неопределённость характера сигнала не играет роли. Полоса пропускания системы перекрывает спектр входного сигнала.

Таким образом, независимо от величины входного сигнала на выходе устройства, выдаётся код "да", когда $U(t) - const$ - установившийся режим параметра, и код "нет" - при $U(t) - var$ - переходный процесс.

4. Обоснование основных узлов устройства и рекомендации по выбору их схем

На фиг.6 представлена функциональная схема устройства, отражающая техническую сторону получения кода "да-нет". В случае, если сравнение ведётся на переменном токе, то усиление малой медленно-меняющейся величины $\varepsilon(t)$ осуществляется с помощью усилителя переменного напряжения УПН. На практике часто приходится иметь дело с сигналами постоянного тока. $U_{ос}(t)$ является также напряжением постоянного тока. В этом случае необходимо использовать преобразование величины с помощью модулятора M .

См. также стр. 34 / 29 /.



Фиг. 6. Функциональная схема сигнализатора / устройства кода "да-нет". К стр. / 13, 24-25 /

Модулятор. Частота преобразования, зависящая от частоты входного сигнала, составляет обычно 50 гц или 400 гц. Согласно теореме амплитудного преобразования В.А.Котельникова такая величина вполне достаточна для точной передачи всех градаций функции $\varepsilon(t)$. Качество работы устройства кода "да-нет" во многом зависит от правильного выбора модулятора [6,7] .

В качестве модулятора М с точки зрения классификации по типу используемых элементов могут быть применены электромеханические, магнитные и электронные преобразователи. Электромеханические включают вибропреобразователи, рамочные магнитоэлектрические преобразователи, преобразователи на угольных сопротивлениях и, в известной степени, динамические конденсаторы. К магнитным относятся различные типы магнитных модуляторов. К электронным - преобразователи на вакуумных и газонаполненных лампах, фотоэлементах (фотосопротивлениях), полупроводниковых (полупроводниковых нелинейных сопротивлениях, элементах Холла, полупроводниковых диодах и триодах и др.) и криотронных приборах.

Сравнение указанных типов модуляторов показывает [8] , что для работы устройства кода "да-нет" наиболее подходят магнитные и полупроводниковые преобразователи. Они отличаются от вибропреобразователей большей надёжностью и долговечностью, не требуют обслуживания и регулировки в процессе эксплуатации и обеспечивают достаточную точность и стабильность. Всё это в значительной степени улучшает качество работы устройства. Кроме того, полупроводниковые преобразователи экономичны, имеют лучшее быстроедействие, низкий порог чувствительности и малые размеры и вес. Полупроводниковые модуляторы не имеют гистерезисного сползания нуля и менее чувствительны к перегрузкам, чем магнитные. Чувствительность транзисторов к температуре и радиоактивному облучению может быть скомпенсирована соответствующим выбором схемы модулятора.

Из различных полупроводниковых преобразователей наиболее перспективными являются диодные и ключевые триодные модуляторы, а также модуляторы на управляемых сопротивлениях. Триодные модуляторы являются наиболее универсальными из перечисленных видов.

Приведённые соображения позволяют рекомендовать для применения в устройстве кода "да-нет" в первую очередь ключевые модуляторы на полупроводниковых триодах, расчёт которых можно найти, например, в [9].

Усилитель переменного напряжения. УПН должен удовлетворять основным требованиям, предъявляемым к линейным измерительным усилителям переменного тока, и, кроме того:

1. В большинстве случаев УПН должен усиливать сигнал напряжением порядка сотен $\mu\text{кВ}$, отдавая на выходе $U_{\text{вых}}(t) > U_{\text{г.гб}}$ ($U_{\text{г.гб}} = (2 \div 5)/6$ - напряжение трогания двигателя), т.е. иметь большой коэффициент усиления по напряжению ($K_u \approx 10^4$).

2. в то же время количество каскадов должно быть минимальным с целью обеспечения надёжности и экономичности, а также для исключения самовозбуждения по паразитным цепям;

3. необходимо предусмотреть развязку между последним каскадом усилителя и двигателем.

Исходя из этих требований, УПН целесообразно строить на реостатных каскадах, имеющих простую схему, малые размеры, небольшую стоимость, малое потребление энергии питания и нечувствительных к магнитным наводкам. Наряду с использованием транзисторов это позволяет получить высокую надёжность и качество работы усилителя. В качестве выходного каскада целесообразно использовать трансформаторную схему, обеспечивающую развязку и усиление по мощности. Для расчёта УПН наиболее подходит графо-аналитический метод, основанный на использовании статических характеристик триодов и эквивалентной схемы с

n - параметрами [10].

Двигатель. В общем случае в устройстве кода "да-нет" возможно применение как двигателя постоянного, так и переменного тока. Однако, с целью получения большей полосы пропускания (диапазона изменения частоты входного сигнала) необходимо иметь двигатель с малой электромеханической постоянной времени. Поэтому наиболее рационально использовать мало инерционный двух-фазный индукционный двигатель переменного тока с полым ротором, не промышленной частоты 50 гц, а частоты 400-500 гц.

Несмотря на то, что применение асинхронного двигателя из-за нелинейности его механической характеристики несколько усложняет коррекцию следящей системы, связанную с обеспечением устойчивости работы, такие электродвигатели имеют большое преимущество по сравнению с двигателями постоянного тока. К их числу относятся:

1. отсутствие коллектора и щётчного контакта, что в значительной мере повышает надёжность и упрощает эксплуатацию, уменьшает в несколько раз статический момент трения [6] ;

2. отсутствие искрения на щётках, неблагоприятно влияющего на работу электронных устройств, особенно при наличии таких низко частотных сигналов, для которых предназначено устройство кода "да-нет".

3. более простое сопряжение усилителя мощности с предварительными каскадами;

4. лучшее соотношение между полезной мощностью и мощностью управления.

Поэтому в качестве исполнительного элемента отработки рассогласования служит асинхронный электродвигатель с полым ротором (АЭД).

Выбор двигателя производится из условия данных о параметре контроля (динамический диапазон, скорость изменения и т.п.) и предполагаемой нагрузке на валу. Для устройства кода "да-нет"

диапазон изменения частоты входного сигнала составляет доли герц (0,01-0,1 гц). Нагрузкой двигателя является статический момент датчика обратной связи (ОС). Обычно этот момент составляет не более 100 гсм. На основании этих данных определяется мощность двигателя. Обычно она выбирается для эквивалентного синусоидального режима работы.

$$P \approx (1,2 \div 1,5) \frac{M_{ст} \cdot n_{max}}{0,975} ,$$

где: P - мощность двигателя [Вт] ;

$M_{ст}$ - момент статического сопротивления нагрузки [кгм];

n_{max} - максимальная скорость вращения исполнительной оси.

Редуктор. Для устройства кода "да-нет" особенно важное значение имеет правильный выбор редуктора. Он должен обеспечивать обратимость хода, малую инерционность, практически не иметь люфта на выходной оси и, что очень важно, движение его должно быть плавным, без рывков. Как известно, неравномерность скорости движения является результатом неодинакового момента трения, возникающего в зубчатых передачах во время зацепления и в подшипниках, нагруженных передаваемым окружным усилием и весом колёс и валов.

В этом смысле предпочтительнее применение цилиндрических зубчатых передач, а не червячных, т.к. в червячных передачах значительно больше потери на трение, а, следовательно, ниже к.п.д. и большая возможность заклинивания. Наиболее лучшими качественными показателями обладает эвольвентный профиль зацепления. Он нарезается более точным способом (обкаткой) и при сборке колёс даёт возможность уменьшить зазор между зубьями. Для уменьшения зазора возможно также применение разрезных шестерён с натягом.

Датчик обратной связи. Сравнение входного сигнала и сигнала обратной связи в устройстве кода "да-нет" осуществляется в электрических величинах. Роль преобразователя неэлектрической величины (угла поворота) в электрическую выполняет элемент (датчик) обратной связи (ЭС). При выборе датчиков обратной связи необходимо учитывать вид входного сигнала (на переменном или постоянном токе) с тем, чтобы избежать возможных дополнительных преобразований. Так, если суммирование входного сигнала и сигнала обратной связи происходит на постоянном токе, то в качестве датчика обратной связи целесообразно использовать датчик с выходным сигналом на постоянном токе. В устройстве кода "да-нет" входной сигнал — медленно-меняющееся (почти постоянное) напряжение, меняющееся по произвольному закону во времени.

В этом случае в качестве датчика обратной связи наиболее целесообразно применить датчик потенциометрического типа. При выборе потенциометра обратной связи необходимо учитывать ступенчатость его характеристики, влияющую на точность работы устройства кода "да-нет", т.к. именно скачки напряжения при перемещении контакта потенциометра определяют чувствительность устройства. Желательно использовать потенциометр с малым шагом намотки, многооборотный (прецизионный).

Чувствительный элемент. Для управления исполнительным элементом кода "да-нет" (ИЭ) служит чувствительный элемент (ЧЭ), выдающий сигнал ноль или единица. В некоторых случаях выходной сигнал ЧЭ может быть непосредственно сигналом кода "да-нет". Запуск ЧЭ осуществляется усиленным в УПН и демодулированным сигналом $\varepsilon(t)$. Чувствительным элементом, реагирующим на сигнал $k_y \cdot \varepsilon(t)$, может служить электромагнитное реле или электронное реле, выполненное на электронных лампах или полупроводниковых элементах.

С точки зрения обеспечения высокой чувствительности и надёжности работы предпочтительнее использовать электронное реле на полупроводниковых элементах. При малых габаритах и весе и малом потреблении энергии применение полупроводникового реле позволяет получить мощный управляющий сигнал, который может быть непосредственно использован в цепях управления устройств, работающих совместно с устройством кода "да-нет".

Кроме того, в электронных реле сравнительно простыми средствами достигается регулировка чувствительности (РЧ), в то время как в электромагнитных реле она как правило отсутствует.

В качестве чувствительного элемента наиболее целесообразно использовать бесконтактное полупроводниковое реле, принцип работы которого аналогичен работе триггера Шмитта.

Устройство обладает высокой чувствительностью. Применение регулятора чувствительности (РЧ) позволяет положительно использовать внутренние шумы ($U_{ш}$) устройства, приносящие в ряде других устройств много неприятностей. Это достигается путём выставки за счёт шумов выходного напряжения РЧ, несколько меньшего порога срабатывания ЧЭ, при нулевом сигнале на входе устройства (короткое замыкание). Целесообразно использовать регулятор чувствительности потенциометрического типа.

5. Методика расчёта устройства

Следящие системы являются предметом изучения теории автоматического регулирования, в которой их расчёт разработан довольно глубоко. [4, 5, 6] .

Приведём здесь только некоторые соображения по расчёту устройства кода "да-нет".

Коэффициент усиления усилителя K_y определяется из выражения:

$$U_{упр}(t) = K_y \cdot \varepsilon(t) \geq U_{г.гв} . \quad (3)$$

Значение K_y уточняется после построения частотных и фазовых характеристик.

Величина управляющего сигнала через параметры двигателя выражается следующим образом:

$$U_{упр}(t) = \frac{1}{K_{гв}} \cdot n(t), \quad (4)$$

Число оборотов электродвигателя n через угол поворота α имеет зависимость:

$$n(t) = \frac{d\alpha(t)}{dt}, \quad (5)$$

Астатическая следящая система обработки угла имеет следующую зависимость между входной и выходной величинами:

$$\alpha(t) = K_0 U(t), \quad (6)$$

где: $U(t) = K_{пр} P(t)$ — преобразованный в электрическую величину контролируемый параметр P ,

K_0 — коэффициент передачи замкнутой системы.

С учётом выражений (5) и (6) из (3) получим:

$$U_{упр}(t) = K \frac{dU(t)}{dt} = K' \frac{dP(t)}{dt}, \quad (7)$$

где: $K = \frac{K_0}{K_{гв}}$; $K' = \frac{1}{1 + K_{пр} K_0}$.

Из выражения (7) видно, что управляющий преобразователем кода сигнал не зависит от величины контролируемого параметра, а определяется только скоростью его изменения. При $U(t) = const$ величина $U_{упр}(t)$ равна нулю (код "да"). При $U(t) = var$ даже при малой величине производной (медленно-меняющийся процесс) за счёт правильного выбора коэффициента K можно добиться такого управляющего напряжения, что на выходе устройства будет код "нет".

Очевидно, что чем больше κ , тем при меньшей величине производной срабатывает устройство, т.е. тем меньше статическая зона срабатывания, тем выше точность. Причём как при подходе к установившемуся значению, так и при отклонении от него. При этом уровень срабатывания может быть любым, и, следовательно, устройство выдаёт сигнал управления в программное устройство независимо от того, известен уровень установления параметра или он не определён.

Разрешающая способность устройства зависит от релейных свойств ЧЭ. Однако влияние релейной характеристики в пересчёте на вход устройства сказывается в κ раз уменьшенным по сравнению с пороговыми устройствами.

По известной величине управляющего (запускающего) сигнала, необходимого для уверенного срабатывания ($U_{ср}$) и отпущения ($U_{отп}$) чувствительного элемента находится величина коэффициента κ . Следовательно, минимальное значение коэффициента (κ_{min}) определяется допустимой погрешностью выхода контролируемого параметра в установившийся режим.

Верхний предел коэффициента (κ_{max}) определяется допуском на отклонение контролируемого параметра от порогового значения, либо флуктуациями (дисперсией) этого значения около своего среднего установившегося значения. В противном случае за счёт высокой чувствительности устройства будет происходить преждевременное (ложное) его срабатывание (код "нет", хотя переходной процесс отсутствует.) Иными словами величина κ определяется компромиссом между устойчивостью системы и её чувствительностью.

При $\kappa < \kappa_{min}$ на выходе устройства может отсутствовать код "нет", хотя будет уже существовать переходной процесс (пропуск кода). При $\kappa > \kappa_{max}$ может произойти ложное срабатывание устройства (выдача кода "да") даже при наличии переходного режима. В то^{же} время, как следует из принципа работы устройства, по сравнению с пороговыми оно даёт меньшую вероятность пропуска кода. В этом смысле устройство кода "да-нет" даёт меньшую общую вероятностную ошибку.

Таким образом, оптимальный выбор коэффициента κ позволяет получить наилучшие качественные характеристики устройства.