

УДК 621.3

Сельсины

Евдокимчик П.Е.

Научный руководитель – доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

В данной работе рассмотрены такие электрические микромашины как сельсины. Электрическая микромашина - это электрическая машина переменного или постоянного тока малой мощности (до 750 Вт), предназначенная для работы в системах регулирования и управления, гироскопических устройствах, бытовых приборах и т.д. Сами же сельсины представляют собой особый вид электрических машин переменного тока мощностью от нескольких ватт до нескольких сот ватт. Служит сельсин для дистанционной передачи механического угла поворота электрическим путем между устройствами, не имеющими между собой механической связи.

Сельсины имеют две обмотки: возбуждения и синхронизации. Различают одно- и трёх-фазные сельсины, обмотка синхронизации у обоих - трехфазная. В системах автоматики наибольшее распространение получили однофазные сельсины, которые бывают контактными и бесконтактными.

Однофазный сельсин представляет собой асинхронную машину, в которой обмотка возбуждения создает пульсирующий поток, индуцирующий в трех фазах обмотки синхронизации ЭДС. Величина этих ЭДС зависит от угла поворота датчика (ротора). При повороте ротора взаимдуктивность между обмоткой возбуждения и каждой из фаз обмотки синхронизации плавно изменяется по закону косинуса, вследствие чего ЭДС, индуцируемая в этих фазах пропорционально косинусу угла датчика. Все три индуцируемые ЭДС имеют одну и ту же временную фазу.

Различают два режима работы сельсинов: индикаторный и трансформаторный. Индикаторный режим используется при отсутствии другого исполнительного двигателя. Сельсин-датчик принудительно поворачивается на определённый угол, а сельсин-приёмник устанавливается в соответствующее ему положение. Появляющиеся при этом ЭДС обеспечивают протекание тока по обмоткам синхронизации датчика и приемника. В результате в сельсине-приёмнике возникает момент, старающийся повернуть его вал на угол равный углу поворота датчика. Из-за наличия механической нагрузки на валу приемника угол рассогласования, как правило, больше нуля.

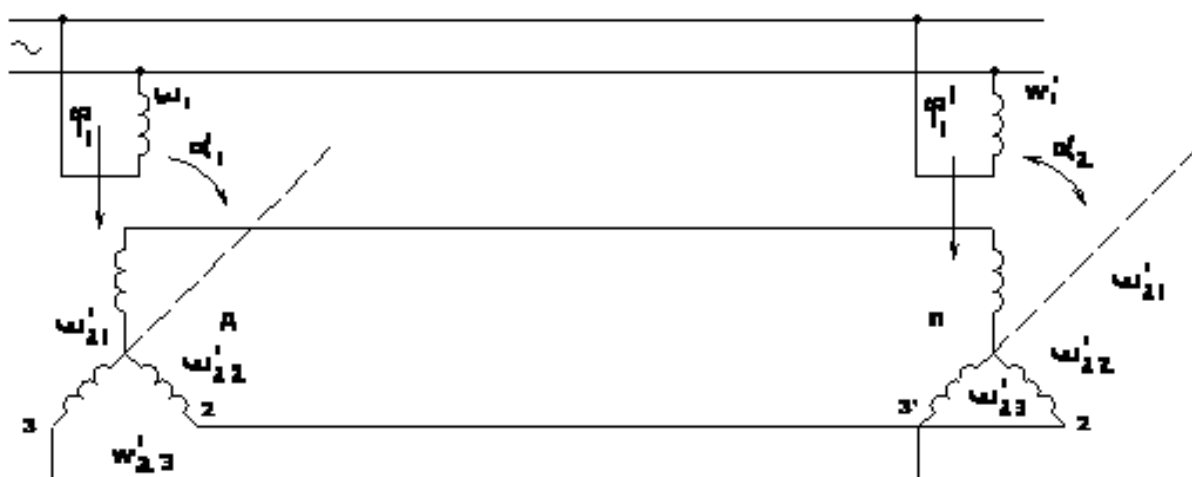


Рисунок 1 – Соединение сельсинов в индикаторном режиме

Сельсины в индикаторном режиме используются в системах автоматического управления, в дистанционных системах управления и контроля производства, в телеметрии, а вычис-

лительной технике и т.д. В настоящее время сельсины почти вытеснили все другие виды приборов синхронной связи. Это объясняется их весьма ценным свойством: способностью к самосинхронизации независимо от начального положения роторов датчика и приемника (отсюда и название самосин, сельсин, сельсин).

Все существующие сельсины можно подразделить на два типа: контактные и бесконтактные. В бесконтактных сельсинах однофазная первичная и трёхфазная вторичная обмотки уложены на статор. Ротор представляет собой магнитопровод специальной конструкции.

Контактные сельсины по своей конструкции могут быть подразделены на следующие типы:

1. Сельсины с распределённой однофазной обмоткой на роторе и распределённой трёхфазной обмоткой на статоре (сельсины типа СС-406).
2. Сельсины с сосредоточенной на двух явно выраженных полюсах однофазной обмоткой на статоре и трёхфазной обмоткой на роторе. К этому типу относятся сельсины СС-401, СС-402, СС-404, Д-500, СС-500, ДС-501, СС-501 и др.
3. Сельсины с сосредоточенной на двух явно выраженных полюсах однофазной обмоткой на роторе и трёхфазной обмоткой на статоре. В круглых пазах уложено, кроме того, два короткозамкнутых витка для улучшения характеристик сельсинов и для демпфирования колебания ротора приемника около заданного положения. К этому типу относится сельсины НС-401, НД-500, ВД-404, НД-501, НД-511, и др.

Сельсины с распределёнными обмотками (однофазной и короткозамкнутой) на роторе и распределённой трёхфазной обмоткой на статоре. В сельсинах этого типа короткозамкнутая обмотка наматывается как трёхфазная. Затем одна фаза замыкается накоротко, а две другие соединяются последовательно и параллельно. К данному типу относятся, например, сельсины НС-501.

Принцип действия сельсинов, независимо от особенностей их конструкции, одинаков. Как видно из рисунка 1, при подключении системы синхронной связи в индикаторном режиме к сети в однофазных обмотках датчика и приемника создаются пульсирующие магнитные потоки Φ_1 и Φ'_1 . Пересекая трёхфазные обмотки датчика и приемника, они индуцируют в них ЭДС.

Система уравнений ЭДС для датчика:

$$\begin{aligned} E_{21} &= E_2 * \cos \alpha_1, \\ E_{22} &= E_2 * \cos(\alpha_1 - 120^\circ), \\ E_{23} &= E_2 * \cos(\alpha_1 + 120^\circ) \end{aligned} \quad (1)$$

Система уравнения ЭДС для приемника:

$$\begin{aligned} E'_{21} &= E'_2 * \cos \alpha_2, \\ E'_{22} &= E'_2 * \cos(\alpha_2 - 120^\circ), \\ E'_{23} &= E'_2 * \cos(\alpha_2 + 120^\circ) \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь E_{21} , E_{22} , E_{23} - фазные ЭДС; E_2 и E'_2 - максимальные фазные ЭДС датчика и приемника, наводимые фазах в трехфазных обмотках при совпадении магнитной оси одной из фаз трехфазной обмотки с осью однофазной обмотки; α_1 - угол отклонения ротора датчика от начального положения (при котором магнитная ось однофазной обмотки совпадает с первой фазой трехфазной обмотки); α_2 - угол отклонения ротора приемника от начального положения.

Для сельсинов датчика и приемника в индикаторном режиме всегда $E_2 = E'_2$. Поэтому, если $\alpha_1 = \alpha_2$, то как следует из систем уравнения 1 и 2, при встречном включении фаз датчика и приемника все результирующие фазовые ЭДС ($\Delta E = E_{21} - E'_{21}$ и т.д.) равны нулю. Таким образом, при $\alpha_1 = \alpha_2$ уравнивающих токов в фазах трехфазных обмоток датчика и приемника не будет, и, следовательно, синхронизирующие моменты будут отсутствовать. Если ротор датчика перевести в другое положение (изменить на α_1), а затем закрепить (затормозить), то угол рассогласования $\theta = \alpha_1 - \alpha_2$ не будет равен нулю. В этом случае по линейным проводам трехфазных обмоток потекут уравнивающие токи, так как $\Delta E_1 \neq \Delta E_2 \neq \Delta E_3$. При взаимодействии потоков создаваемых уравнивающими токами, с первичным потоком ϕ_1 возникают синхронизирующие моменты на валах роторов датчика и приемника. И так как ротор сельсин - приемника не заторможен, то он будет стремиться повернуться в синфазное положение с ротором датчика (т.е. в положение, когда $\theta = \alpha_1 - \alpha_2 = 0$).

Из систем уравнений 1 и 2 следует также, что в пределах одного ротора датчика любому α , соответствует лишь одно единственное положение ротора приемника, при котором будут отсутствовать уравнивающие токи, а, следовательно, и синхронизирующие моменты. Это явление называется самосинхронизацией. Кроме явления самосинхронизации, положительным свойством индикаторной системы на сельсинах является то, что величина синхронизирующего момента зависит только от величины угла рассогласования θ и не зависит положения ротора датчика и приемника по отношению к начальному положению. Это следует из приведенных выше систем уравнений 1 и 2.

Электромагнитные процессы в бесконтактном сельсине аналогичны электромагнитным процессам, происходящим в контактном сельсине. Особенностью их является то, что однофазная и трехфазная обмотки неподвижны и находятся на статоре. На магнитный поток ϕ_1 однофазной обмотки ω_1 при повороте ротора сельсин поворачивается синхронно и синфазно с ним. Это достигается специальной конструкцией магнитопровода для потоков ϕ_1 (ротор имеет две магнитопроводящие части с продольной шихтовкой роторных пакетов, а также специальный внешний магнитопровод). Поскольку поток поворачивается вместе ротором, то при $\theta = 0$ возникают уравнивающие токи, и далее все происходит так, как описано выше для контактных сельсинов.

В трансформаторном режиме сельсин-датчик принудительно поворачивается на определенный угол, а на выходе сельсин-приёмника формируется напряжение, являющееся функцией угла рассогласования между ними. Сельсины могут работать в режиме поворота и в режиме вращения. В первом случае имеем статическую ошибку системы синхронной связи, а во втором ошибка рассогласования определяет динамическую точность системы.

Сельсины, работающие в трансформаторном режиме, конструктивно не отличаются от сельсинов, работающих в индикаторном режиме, и применяются в следящих системах. На рисунке 2 показана схема включения сельсинов, работающих в трансформаторном режиме. Отличие этой схемы от схемы включения сельсинов в индикаторном режиме, состоит в том, что однофазная обмотка ВП сельсина-приемника С-П не включается в сеть переменного тока, а подключается к управляющему блоку усилителя У. При подаче питания в обмотку возбуждения ВД сельсина-датчика С-Д в обмотках синхронизации потечет ток, который в сельсине-приемнике создаст пульсирующий магнитный поток.

В исходном положении ротор этого сельсина должен быть расположен так, чтобы его ось была ориентирована перпендикулярно оси пульсирующего магнитного потока, созданного обмотками синхронизации. В этом случае оси обмоток ВД и ВП будут сдвинуты в пространстве на 90° и напряжение на выводах обмотки ВП равно нулю. На усилитель СУ не будет подаваться сигнал, и он не будет давать питание на исполнительный двигатель ИД. Система будет неподвижна.

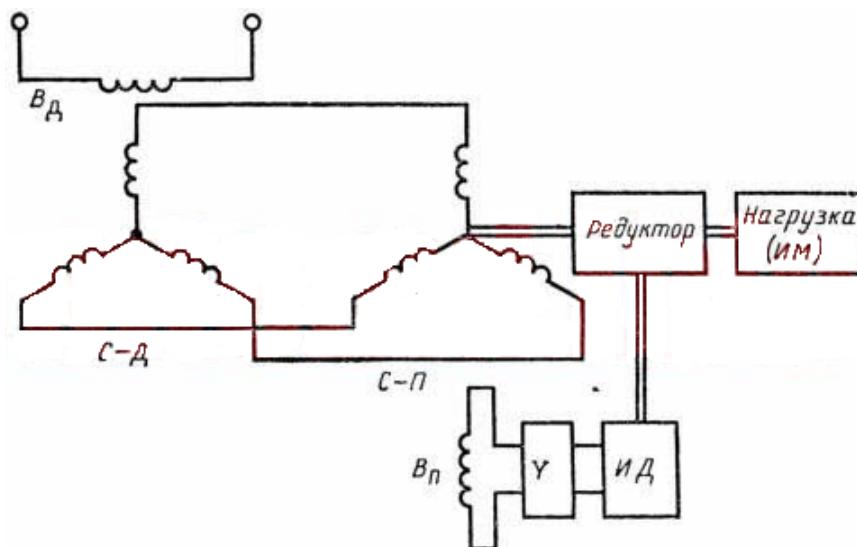


Рисунок 2 – Соединение сельсинов в трансформаторном режиме

Если теперь повернуть ротор сельсина-датчика С-Д на какой-либо угол α , то токи в обмотках синхронизации изменятся, и ось магнитного потока в сельсине-приемнике С-П повернется на тот же угол. При этом появится напряжение на обмотке ВП, пропорциональное $\sin \alpha$. На вход усилителя У поступит сигнал. Усиленный сигнал от усилителя У поступает на двигатель ИД, который приводит в действие исполнительный механизм ИМ и одновременно поворачивает ротор сельсина-приемника в такое положение, когда его обмотка ВП снова будет сдвинута на 90° относительно оси обмотки ВД. В этом положении подача сигнала на усилитель прекращается и привод останавливается. Таким образом, исполнительный механизм будет повторять повороты или вращение ротора сельсина-датчика (будет «следить» за поворотами ротора сельсина-датчика). Требования, предъявляемые к сельсинам: статическая и динамическая точность передачи угла; удельный синхронизирующий момент, т.е. момент, приходящийся на 10 поворота ротора; максимальный синхронизирующий момент при наибольшем угле рассогласования; максимальная скорость вращения сельсинов и время успокоения ротора приемника при скачке поворота ротора датчика.

В зависимости от класса точности статическая ошибка сельсинов составляет 0,25..2,50.

Однофазные сельсины, по существу, являются асинхронными машинами малой мощности. Они бывают явнополюсными (индикаторные) и неявнополюсными (трансформаторные). В явнополюсных сельсинах однофазная обмотка возбуждения располагается на явно выраженных полюсах ротора или статора. Обмотка синхронизации всегда выполняется распределенной и располагается в пазах статора или ротора; фазы её соединяются в звезду.

Сельсины выполняются двухполюсными, для того, чтобы обеспечить самосинхронизацию в пределах одного оборота.

Число контактных колец и щеток зависит от места расположения обмоток: сельсины с обмоткой возбуждения на роторе имеют два контактных кольца; с обмоткой возбуждения на статоре - три контактных кольца. В некоторых типах сельсинов применяются электрические или механические демпферы, обеспечивающие быстрое затухание собственных колебаний ротора при переходе его из одного положения в другое.

Для повышения надежности в настоящее время широко применяются бесконтактные сельсины с однофазной обмоткой возбуждения и трехфазной обмоткой синхронизации, расположенными на статоре, вследствие чего отпадает необходимость в скользящих контактах.

Однако за всей функциональностью сельсин они имеют ряд недостатков:

-Невысокая точность синхронизации, особенно когда на валу сельсина-приёмника действует существенный механический момент. Поэтому применяют следящие электромеханические связи — приёмный вал вращается вспомогательным электродвигателем включенным в контур авторегулирования, причём в этом случае сельсин приёмник является датчиком угла рассогласования поворотов ведущего и ведомого валов.

-Другой недостаток сельсинов — относительно невысокая точность передачи угла, обусловленная погрешностями изготовления магнитопровода сельсина. Для повышения точности применяют пару сельсинов — «грубый» и «точный» (последний установлен через редуктор и за один оборот основного вала делает несколько оборотов). Если сигнал с грубого сельсина слабее некоторого порога, автоматика передаёт в линию связи сигнал с точного сельсина.

-Не имеющий нагрузочного момента ротор сельсина колеблется с частотой питающего переменного тока, поэтому для подавления этих колебаний приходится использовать механические демпферы.

-В современных устройствах сельсины всё чаще заменяются энкодерами. И только там, где простота, надёжность и ремонтпригодность важнее точности (например, в авиации), сельсины всё ещё находят широкое применение.

Литература

1. <https://electrosam.ru>
2. <http://leg.co.ua>
3. <http://servomotors.ru>
4. http://stu.scask.ru/book_ar1.php?id=122