

О ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В. В. САРВ

Скорость движения целого ряда исполнительных механизмов должна поддаваться регулировке, причем часто необходимо, чтобы эта регулируемая скорость не зависела от нагрузки и поддавалась плавному изменению в широких пределах.

Эти задачи легче всего решаются при помощи соответствующих электроприводов постоянного тока. Однако, во многих случаях электропривод переменного тока является более предпочтительным, так как в этом случае: 1) отпадает необходимость в преобразовании переменного тока в постоянный, а, следовательно, и в соответствующих преобразователях; 2) отсутствуют неизбежные потери при преобразовании энергии и 3) бесколлекторный асинхронный двигатель значительно дешевле и надежнее, чем двигатель постоянного тока.

В последние годы заметно возрос интерес к регулированию асинхронных двигателей с помощью дросселей насыщения. Объясняется это тем, что последние являются статическими устройствами простой конструкции. Такие приводы сравнительно дешевы и при правильном проектировании исключительно надежны в действии.

Но обыкновенные системы автоматического регулирования асинхронных двигателей с помощью дросселей насыщения, в которых единственным регулирующим фактором является симметричное изменение индуктивных сопротивлений во всех фазах цепи статора или ротора, не позволяют осуществлять регулирование скорости при отсутствии нагрузки или при малых ее значениях. Эти схемы не обеспечивают также возникновения тормозных моментов при переходе на пониженную скорость, что сократило бы продолжительность переходных процессов.

Поэтому такие сравнительно простые и надежные схемы не всегда отвечают предъявленным требованиям.

Для устранения вышеуказанных недостатков на валу двигателя, начиная с некоторого нагрузочного момента, можно создать дополнительно к движущему моменту еще тормозной. Если дополнительный тормозной момент или движущий момент поддается регулированию, то, уравнивая их алгебраическую сумму с нагрузочным моментом, можно сохранить постоянную скорость вращения двигателя при сколь угодно малых нагрузочных моментах.

На практике для регулирования скорости асинхронного двигателя применяются различные способы создания тормозных моментов на валу. Создание тормозного момента с помощью асимметричного режима работы вызывает наибольшие потери в двигателе. Но с другой стороны, этот способ создания тормозного момента не требует большого количества дополнительной аппаратуры. Так, например, в простейшем случае, когда тормозной момент возникает вследствие перехода на однофазное включение, нужен всего лишь один контактор.

Когда асимметричное включение применяется только при малых нагрузках и при холостом ходе, в цепь ротора можно ввести сравнительно большое сопротивление и тем самым уменьшить потери при работе по асимметричной схеме. В этом случае потери в асимметричном режиме не больше потерь, возникающих в симметричной схеме при средних нагрузках. Кроме того, длительность работы при малых нагрузках и, соответственно, при асимметричном включении бывает зачастую небольшой.

То обстоятельство, что асимметричные режимы асинхронного двигателя позволяют создавать тормозной момент простыми и дешевыми средствами и является причиной того, что за последние 25 лет возрос интерес к изучению и практическому применению асимметричных режимов асинхронного двигателя [1—3].

В Институте энергетики Академии наук Эстонской ССР осуществлено теоретическое и экспериментальное исследование возможности распространения регулирования асинхронного с фазным ротором двигателя при помощи дросселей насыщения на область малых моментов (включая отсутствие нагрузки) путем сочетания симметричного и асимметричного режимов работы регулируемого двигателя. Ниже приводятся основные результаты этой работы.

Выбор принципиальной схемы

Из-за увеличенных потерь асимметричный режим работы приемлем в области малых моментов, а при средних и больших нагрузочных моментах предпочтительнее иметь симметричный режим работы. Таким образом, в основном двигатель будет работать в симметричном режиме. Поэтому прежде всего необходимо выяснить, какая принципиальная схема регулирования асинхронного двигателя в симметричном режиме может обеспечить более высокие энергетические показатели привода при минимальных габаритах дросселей насыщения.

Для ответа на этот вопрос следует прежде всего сравнить два основных способа соединения силовых цепей: включение дросселей насыщения в цепь ротора и включение их в цепь статора.

Дроссели насыщения, включенные в цепь ротора, имеют меньшие габариты, чем включенные в цепь статора, так как в первом случае расчетная мощность их меньше.

При сравнении указанных способов включения дросселей насыщения с точки зрения к. п. д. и коэффициента мощности выяснились следующие обстоятельства.

1. Так как при определенных значениях скорости вращения и момента двигателя активные потери в цепи ротора, связанные с первыми гармониками тока и потока, имеют вполне определенную величину, то увеличить к. п. д. двигателя путем уменьшения активных потерь в цепи ротора невозможно. Поэтому наличие потерь в стали и в меди дросселей насыщения, включенных в цепь ротора, не уменьшает к. п. д. электропривода по сравнению с использованием идеальных беспотерных дросселей насыщения. Наоборот, при включении дросселей насыщения в цепь статора возникающие в них активные потери уменьшают к. п. д. привода вследствие увеличения общего количества потерь.

2. Шунтированием включенных в цепь ротора дросселей насыщения активным сопротивлением можно с точки зрения энергетических показателей приблизить регулирование при помощи дросселей насыщения к регулированию путем изменения активного сопротивления. Так как в последнем случае соответствующие определенным значениям скорости вращения и момента двигателя потери в роторе достигаются при меньших значениях токов, чем при использовании в цепи ротора регулирующих дросселей насыщения, то энергетические показатели привода возможно улучшить путем шунтирования дросселей активным сопротивлением.

Сравнивая способы включения дросселей насыщения, следует иметь в виду еще то, что при включении дросселей насыщения в цепь статора увеличение их индуктивного сопротивления сопровождается уменьшением напряжения на зажимах двигателя и, следовательно, уменьшением потребляемой двигателем реактивной мощности.

Поэтому в реальных условиях, начиная с некоторой относительной величины тока холостого хода двигателя, включение дросселей насыщения в цепь статора может обеспечить более высокие энергетические показатели привода по сравнению с их включением в цепь ротора.

Но даже в том случае, когда критерием выбора того или иного способа включения дросселей насыщения является только получение более высокого коэффициента мощности, нельзя выбирать способ включения на основании одних лишь данных двигателя. Выбор места включения зависит еще от скорости двигателя и диапазона изменения момента в процессе регулирования.

Вследствие большого количества факторов, влияющих на выбор места включения дросселей насыщения, дать в аналитическом или графическом виде какой-нибудь общий критерий для выбора весьма затруднительно. Сравнение двух возможных способов симметричного включения дросселей насыщения для конкретных случаев показывает, что в зависимости от параметров двигателя и пределов регулирования иногда более высокие энергетические показатели привода в симметричном режиме работы обеспечивает один, а иногда другой способ. При этом преимущество включения дросселей насыщения в цепь ротора тем значительнее, чем больше сопротивление намагничивающего контура схемы замещения двигателя по сравнению с сопротивлением роторной ветви.

В некоторой степени можно влиять на к. п. д. электропривода также путем соответствующего выбора схемы регулятора. Так, питание промежуточного магнитного усилителя с цепи ротора, кроме улучшения вида механических характеристик разомкнутой схемы, позволяет продуктивно использовать часть неизбежных роторных потерь для подмагничивания дросселей насыщения^[4]. В некоторых схемах регуляторов, где напряжение тахогенератора сравнивается с напряжением в цепи ротора, часть роторных потерь, подобно каскаду с постоянной мощностью, через работающий в режиме двигателя тахогенератор превращается в полезный дополнительный момент^[4]. В асимметричном режиме работы эти принципы пока еще трудно осуществить.

Для создания тормозных моментов существует ряд асимметричных схем асинхронного двигателя. На практике из всех этих принципиально возможных схем следует, естественно, отдать предпочтение более простым. Желательно, кроме того, чтобы выбранная схема обеспечивала плавное изменение степени асимметрии, а также простой переход от асимметричного режима к симметричному и обратно.

Лучше всего этим требованиям отвечает схема, при которой асимметрия достигается путем включения в один из линейных проводов асинхронного двигателя регулируемого сопротивления. Работоспособность такой схемы подтверждена и на практике^[3]. Этот принцип и был положен в основу первоначальных попыток расширить область регулирования асинхронного дроссельного электропривода.

Когда дополнительным сопротивлением в одном линейном проводе служит дроссель насыщения, то его индуктивное сопротивление поддается изменению в несколько десятков раз. Однако получить бесконечно большое сопротивление дросселя насыщения практически невозможно. Поэтому, как показывает анализ, в тех случаях, когда в качестве дополнительного сопротивления используется только дроссель насыщения, неизбежно сохраняется некоторая нерегулируемая область при пониженных скоростях. Чтобы добиться полного уничтожения нерегулируемой области и увеличения возможных тормозных моментов при наличии регулируемого сопротивления в одном линейном проводе, можно использовать в качестве дополнительного сопротивления параллельное соединение дросселя насыщения и конденсатора. В этом случае можно добиться того, что в зависимости от степени подмагничивания дросселя насыщения полное сопротивление дополнительной цепи для основной гармоника окажется или емкостным, или индуктивным, или даже актив-

ным со значительной величиной. Последнее имеет место при резонансе токов. Анализ показывает, что когда полное сопротивление дополнительной цепи является чисто емкостным, то при условии

$$\left| b_c \right| < \frac{2}{3} \left| b_{дв} \right|, \quad (1)$$

где b_c — емкостная проводимость дополнительной цепи в одном линейном проводе,

$b_{дв}$ — индуктивная проводимость одной фазы двигателя,

пусковой момент двигателя является уже отрицательным. Этим объясняется возможность полного уничтожения нерегулируемой области в двигательном режиме применением конденсатора.

При полном уничтожении нерегулируемой области в двигательном режиме напряжение на дополнительном сопротивлении в полтора раза превышает величину фазного напряжения регулируемого двигателя. Далее, ток статора является геометрической суммой намагничивающего тока двигателя и приведенного тока ротора. Поэтому, хотя дополнительный дроссель насыщения для создания асимметрии будет применяться только при малых нагрузках, мощность и габариты дополнительного дросселя насыщения будут все же примерно такого же порядка, как и у одного из симметрично включенных дросселей насыщения.

Можно обойтись и без дополнительного дросселя насыщения, если для создания асимметричного режима дроссели насыщения, которые при средних и больших моментах двигателя включены симметрично, при малых моментах и при отсутствии нагрузки переключить в одну фазу двигателя. Одновременно в целях уменьшения потерь следует увеличить активное сопротивление в цепи ротора. В этом случае при средних и больших моментах мы имеем обыкновенную симметричную схему с дросселями насыщения, включенными в цепь ротора или статора, а в области малых моментов схему, описанную в [3].

Преимущество схемы с переключением дросселей насыщения перед схемой, предложенной в [3], состоит в том, что асимметричный режим применяется только в области малых моментов, вследствие чего общее количество потерь уменьшается. Большим недостатком ее является, однако, наличие значительного количества переключающихся контактов, что снижает надежность работы такой схемы по сравнению с обыкновенными электроприводами с дроссельным управлением.

Но и при отсутствии дополнительного дросселя насыщения можно ограничиться только одним силовым контактом для перехода от симметричного режима работы двигателя к асимметричному и наоборот, если при этом в качестве дополнительного регулируемого индуктивного сопротивления применить не обмотки переменного тока дросселей насыщения, а часть соединенных по определенной схеме обмоток подмагничивания. В этом случае, независимо от режима работы регулируемого двигателя, обмотки переменного тока дросселей насыщения включаются симметрично в соответствующую цепь двигателя. Такая принципиальная схема с регулирующими дросселями насыщения, включенными в цепь ротора двигателя, изображена на рис. 1.

Эта схема отличается от обыкновенных схем дроссельного управления наличием низковольтных конденсаторов C_1 и C_2 , контактора K и дополнительных соединительных проводов. В этой схеме обмотки управления ω_y и ω_{y_2} вместе с конденсаторами C_1 и C_2 составляют уравновешенный мост. Когда контакт K закрыт, работа изображенной на рис. 1

схемы не отличается от работы обыкновенных симметричных схем с дросселями насыщения, включенными в цепь ротора двигателя. Когда контакт K открывается, обмотки управления ω_{y_1} и ω_{y_2} оказываются включенными в качестве дополнительных индуктивных сопротивлений в один линейный провод цепи статора.

Ток с частотой, равной частоте сети, в цепи обмоток переменного тока ω_{-1} и ω_{-2} , дросселя насыщения не индуцируется, так как каждая обмотка переменного тока состоит из двух соответственно соединенных полуобмоток.

Применения дополнительных конденсаторов можно избежать, если уравновешенное для постоянного и переменного токов мостовое соединение образовать из частей обмоток управления дросселя насыщения согласно рис. 2.

Однако применение мостового соединения с конденсаторами согласно рис. 1 имеет то преимущество, что падение напряжения на конденсаторах частично компенсирует падение напряжения на индуктивном сопротивлении. Вследствие этого уменьшается суммарное остаточное падение напряжения на дополнительном сопротивлении, включенном в линейный провод цепи статора.

Далее, в случае использования конденсаторов обмотки управления ω_{y_1} и ω_{y_2} дросселей насыщения соединены относительно источника постоянного тока последовательно, а в случае схемы по рис. 2 — параллельно. Вследствие этого в схеме по рис. 1 величина тока управления уменьшается в два раза по сравнению со схемой на рис. 2. Это позволяет при использовании современных полупроводниковых выпрямителей с повышенными обратными напряжениями уменьшить габариты выпрямителей.

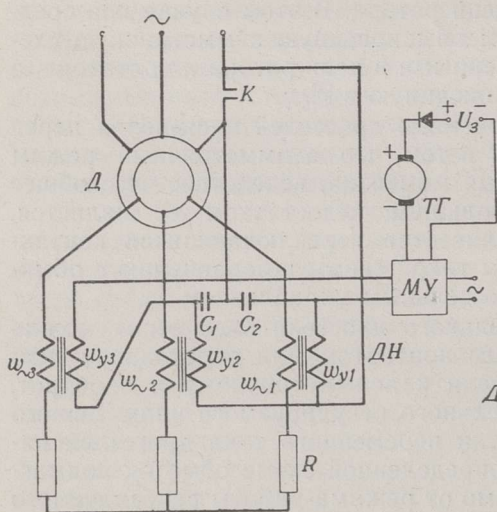


Рис. 1. Принципиальная схема для сочетания симметричного и асимметричного режимов работы регулируемого асинхронного двигателя.

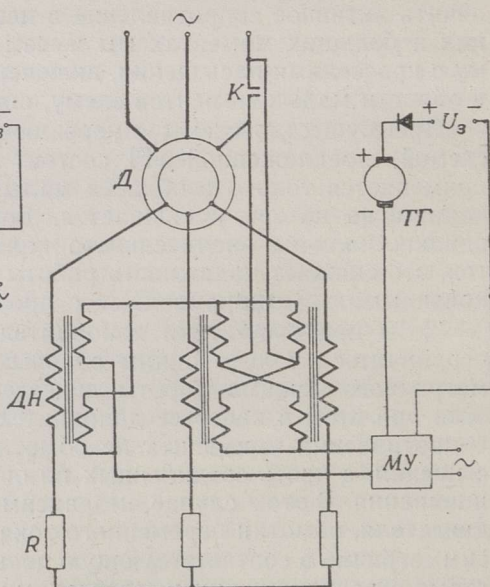


Рис. 2. Принципиальная схема с мостовым соединением обмоток управления дросселей насыщения.

Вариант дросселя насыщения с совместными обмотками для переменного и постоянного токов

Рассмотрим свойства мостового соединения двух дросселей с конденсаторами, на котором основана работа предложенной на рис. 1 схемы.

Такое мостовое соединение в качестве простого магнитного усилителя изображено на рис. 3, где

Z_n — нагрузочное сопротивление,
 $C_1 = C_2$ — низковольтные конденсаторы,
 ω_I и ω_{II} — одинаковые обмотки двух дросселей.

Так как дроссели со стальным сердечником представляют собой нелинейные сопротивления, то при синусоидальном питающем напряжении переменный ток i_- через нагрузочное сопротивление содержит основную и высшие гармоники. Если нагрузочное сопротивление Z_n является линейным, то i_- содержит только нечетные гармоники. Эти же гармоники имеются в токах дросселей i_I и i_{II} . Независимо от того, имеются ли в токе i_- четные гармоники или нет, при подмагничивании постоянным током они в токах дросселей i_I и i_{II} появляются. Кроме того, в обмотках ω_I и ω_{II} протекает постоянный ток I_0 .

Обозначим действующие значения токов i_- , i_I и i_{II} соответственно I_- , I_I и I_{II} .

Как известно из теории магнитных усилителей, при параллельном соединении обмоток переменного тока и последовательном соединении обмоток постоянного тока

$$I_{-cp} \omega_- \approx 2I_0 \omega_0, \tag{2}$$

где I_{-cp} — среднее значение переменного тока;
 ω_- — число витков обмотки переменного тока;
 ω_0 — число витков обмотки постоянного тока.

Так как в рассматриваемом случае переменный и постоянный токи протекают в одних и тех же обмотках, то

$$\omega_- = \omega_0 = \omega_I = \omega_{II}. \tag{3}$$

Имея в виду, что $I_- = \kappa_\Phi I_{-cp}$, где κ_Φ — коэффициент формы, в данном случае вместо (2) можно написать

$$I_- \approx 2\kappa_\Phi I_0. \tag{4}$$

Действующее значение переменных составляющих токов i_I и i_{II} без учета четных гармоник составляет

$$I_{-I} = I_{-II} = \frac{I_-}{2} \approx \kappa_\Phi I_0. \tag{5}$$

Действующее значение токов в обмотках ω_I и ω_{II} при пренебрежении четными гармониками и учете (5) следующее:

$$I_I = I_{II} = \sqrt{I_0^2 + \left(\frac{I_-}{2}\right)^2} \approx I_0 \sqrt{1 + \kappa_\Phi^2}. \tag{6}$$

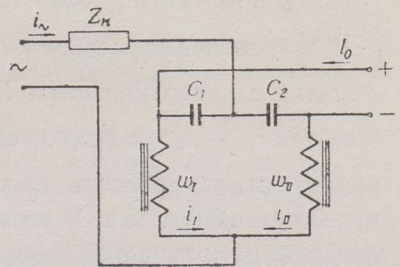


Рис. 3. Вариант магнитного усилителя с едиными обмотками для переменного и постоянного токов.

Если активное сопротивление обмоток ω_I и ω_{II} равно R , то джоулевые потери в обмотке ω_I

$$P_1 = I_1^2 R = I_0^2 R + \left(\frac{I_-}{2}\right)^2 R. \quad (7)$$

Член $I_0^2 R$ равен джоулевым потерям, возникающим в том случае, когда в обмотке ω_I течет только постоянная составляющая I_0 , а член $\left(\frac{I_-}{2}\right)^2 R$ равен джоулевым потерям, возникающим в том случае, когда в обмотке с сопротивлением R протекает только переменная составляющая тока $\frac{I_-}{2}$. Для того чтобы токи I_0 и $\frac{I_-}{2}$ могли протекать в отдельных обмотках, дроссели, изображенные на рис. 3, должны быть снабжены двумя обмотками. В этом случае отпадает необходимость в конденсаторах и получается схема обыкновенного дроссельного магнитного усилителя. Для того же, чтобы на прежний сердечник поместить две обмотки вместо одной, надо уменьшить сечение обмоточного провода в 2 раза. Вследствие этого и сопротивление каждой обмотки увеличивается в 2 раза, а потери в них при прежних значениях токов I_0 и $\frac{I_-}{2}$ также увеличиваются в 2 раза.

Прежнее значение потерь и, следовательно, прежнее значение установившейся температуры перегрева получается при токах, уменьшенных в $\sqrt{2}$ раз. Поэтому можно полагать, что применение совместных обмоток для переменного нагрузочного и постоянного подмагничивающего токов позволяет при прежних габаритах дросселей увеличить их мощность в $\sqrt{2}$ раз. При неменяющейся мощности описанный прием должен дать уменьшение веса дросселей примерно в $\sqrt{2}$ раз. Приведенные выводы подтверждаются опытами.

На основе вышеизложенного можно утверждать, что использование обмоток управления, включенных в цепь ротора дросселей насыщения, в качестве дополнительных индуктивных сопротивлений в цепи статора для создания асимметрии при малых нагрузках не требует увеличения габаритов дросселей насыщения. Применение конденсаторов вызывает, однако, некоторое увеличение веса всего устройства.

Конденсаторы в описанной схеме должны иметь достаточную емкость, чтобы не возникало феррорезонанса напряжений в том случае, когда величина подмагничивающих ампервитков меньше их максимальной величины. С другой стороны, номинальное напряжение этих конденсаторов может быть относительно низким, вследствие чего мощность применяемых конденсаторов сравнительно невелика.

Достоинством последовательного соединения конденсаторов с дросселями является приближение максимально возможного напряжения на нагрузке к величине питающего напряжения.

Экспериментальное исследование

Для экспериментальной проверки предложенного способа регулирования асинхронного двигателя в целях устранения нерегулируемой области при малых нагрузках была собрана опытная система автоматического регулирования по принципу схемы, изображенной на рис. 1.

Был применен способ включения регулирующих дросселей насыщения в цепь ротора, который по сравнению со способом включения в цепь статора, кроме уменьшения габаритов дросселей насыщения, дает следующие преимущества:

1) при малых нагрузках в симметричном режиме легче получить такие механические характеристики двигателя, при которых с уменьшением скорости момент увеличивается;

2) индуктивное сопротивление мостового соединения под влиянием тока в обмотках переменного тока дросселя насыщения снижается в меньшей степени, причем с увеличением скорости ток в обмотках переменного тока (а следовательно, и его влияние) уменьшается быстрее.

Согласно схеме, желаемая скорость определяется величиной задающего напряжения U_3 , которое сравнивается с напряжением тахогенератора $U_{тг}$. Когда вследствие нагрузки на валу регулируемого двигателя скорость вращения понижается и становится меньше задающего значения скорости n_3 , то $U_{тг} < U_3$. Это обуславливает появление в обмотке управления магнитного усилителя (МУ) тока, который после усиления вызывает появление подмагничивающего тока в обмотках управления дросселя насыщения (ДН). Это приводит к уменьшению индуктивного сопротивления обмоток переменного тока ω_{-1} , ω_{-2} и ω_{-3} , увеличению тока в цепи ротора и увеличению развиваемого двигателем момента.

Автоматическое регулирование скорости как в симметричном, так и в асимметричном режиме происходит путем соответствующего перехода с одной механической характеристики разомкнутой системы на другую при изменении нагрузочного момента. В симметричном режиме работы контактор K закрыт. Если скорость вращения возрастает до такой величины, что при дальнейшем ее увеличении регулятор не в состоянии больше повысить жесткость механической характеристики при симметричном режиме работы двигателя, контакт K открывается.* С открытием контакта K регулируемый двигатель переходит на асимметричный режим работы. В один линейный провод статора включается дополнительное регулируемое сопротивление, которое состоит из описанного мостового соединения части обмоток управления с конденсаторами.

Обратный переход с асимметричного режима на симметричный осуществляется путем закрытия контакта K . Это происходит тогда, когда нагрузочный момент возрастает до такой величины, что регулятор в состоянии увеличить жесткость механических характеристик в симметричном режиме работы двигателя.

Опыты были проведены на двигателе типа МКМАР-14/6. Для создания тормозного момента на валу регулируемый двигатель был соединен муфтой со вторым двигателем такого же типа. Нагрузочный двигатель работал в режиме противовключения. Изменение нагрузочного момента происходило путем изменения напряжения на зажимах нагрузочного двигателя с помощью регулируемого автотрансформатора.

* В наших опытах управление контактором K осуществлялось в зависимости от тока подмагничивания магнитного усилителя. Но возможно, что более совершенным является управление непосредственно в зависимости от скорости или нагрузки.

Экспериментальные механические характеристики исследуемой системы при отсутствии обратной связи по скорости приведены на рис. 4. Как видно из рисунка, семейства механических характеристик в симме-

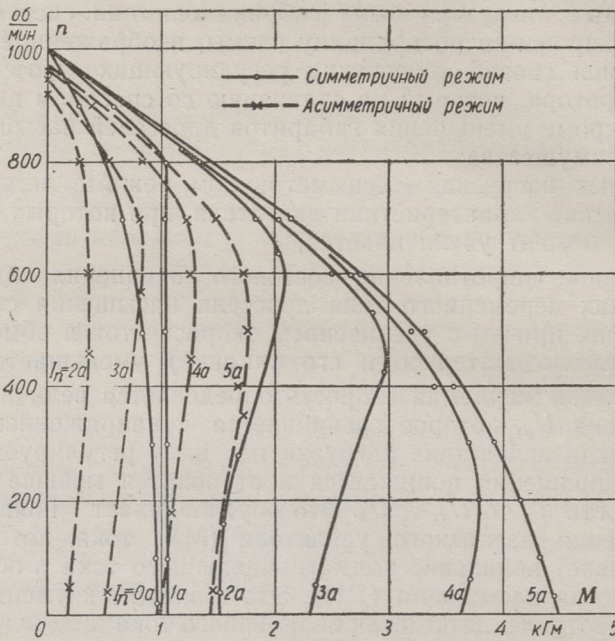


Рис. 4. Экспериментальные механические характеристики разомкнутой системы.

тричном и в асимметричном режимах частично перекрывают друг друга. Это дало возможность сочетать симметричный и асимметричный режимы работы регулируемого двигателя без повторных включений и выключений контактора K .

На рис. 5 приведены экспериментальные механические характеристики замкнутой системы при различных значениях задающего напряжения U_3 для симметричного и асимметричного режимов работы регулируемого двигателя. Кривая 1 является естественной механической характеристикой, а кривая 2 — механической характеристикой двигателя без дросселей насыщения, но с включенными в цепь ротора дополнительными активными сопротивлениями. Механические характеристики замкнутой системы определены также расчетным путем по методике, изложенной в [5]. Из рис. 5 видно, что результаты расчета и эксперимента близки друг к другу.

Как видно из того же рисунка, переход от симметричного режима работы регулируемого двигателя к асимметричному должен произойти при скорости, равной примерно скорости вращения двигателя в асимметричном режиме при отсутствии нагрузки. Момент перехода от асимметричного режима работы к симметричному зависит от характера нагрузочного момента. Так, при вентиляторном нагрузочном моменте переход от асимметричного режима к симметричному может произойти при меньшей нагрузке, чем при нагрузочном моменте, не зависящем от скорости.

Из механических характеристик замкнутой системы видно, что в нашем конкретном случае и при постоянном нагрузочном моменте

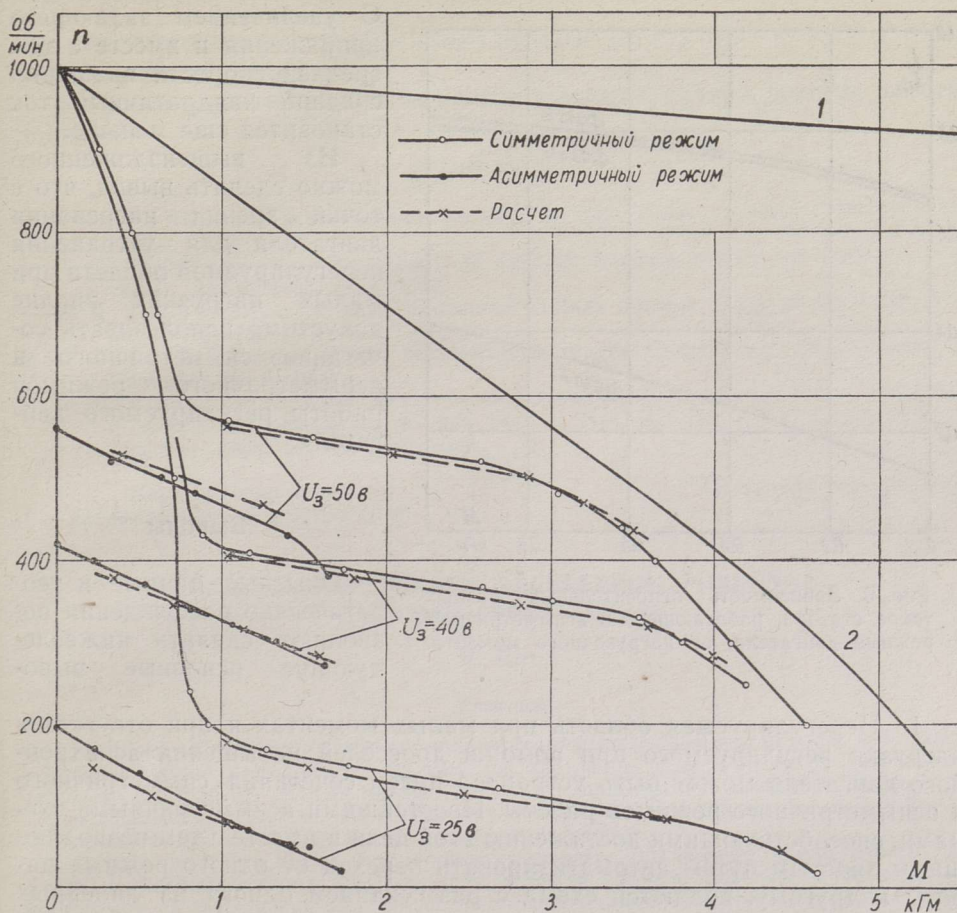


Рис. 5. Экспериментальные и расчетные механические характеристики замкнутой системы.

$M = \text{const}$ переход от асимметричного режима к симметричному может произойти при $M = 1$ кгм. Именно такой нагрузочный момент соответствует уже жесткой части механической характеристики при симметричном режиме работы.

Вследствие того, что асимметричный режим работы регулируемого асинхронного двигателя нужен только при малых нагрузках, токи в обмотках двигателя в асимметричном режиме меньше номинальных.

На рис. 6 приведены величины токов статора в относительных единицах при изменении нагрузочного момента M в пределах

$$0 \leq M \leq 1 \text{ кгм}$$

и при задающем напряжении $U_3 = 25$ в.

Как видно из рис. 6, при максимальном нагрузочном моменте, соответствующем асимметричному режиму работы регулируемого двигателя, средний квадратичный ток в относительных единицах равен

$$\sqrt{\frac{0,83^2 + 0,82^2 + 0,41^2}{3}} = 0,715.$$

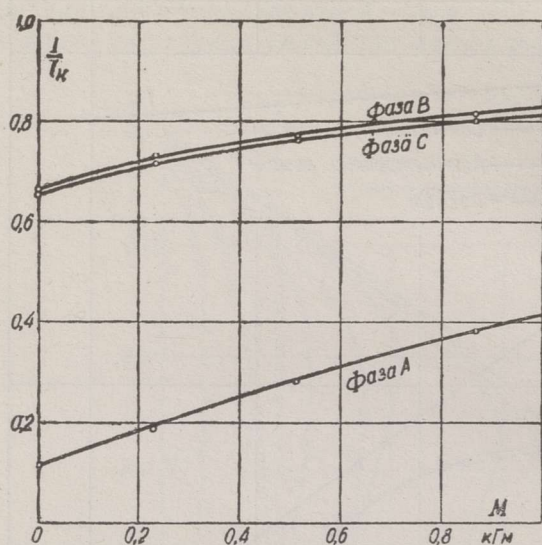


Рис. 6. Зависимость относительных фазных токов статора, работающего в асимметричном режиме двигателя, от нагрузочного момента.

С увеличением задающего напряжения и вместе с тем средней скорости вращения средний квадратичный ток становится еще меньше.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что с точки зрения нагревания двигателя для устранения нерегулируемой области при малых нагрузках вполне допустимо использовать сочетание симметричного и асимметричного режимов работы регулируемого двигателя.

Выводы

Опытные данные и теоретические рассуждения позволяют сделать нижеследующие основные выводы.

1. Нерегулируемая область при малых моментах и при отсутствии нагрузки регулируемого при помощи дросселей насыщения асинхронного двигателя может быть устранена путем сочетания симметричного и асимметричного режимов работы. Простейшими асимметричными схемами, способствующими достижению этой цели и вместе с тем позволяющими простым путем автоматизировать переход от одного режима работы к другому, являются схема с размыканием одного из линейных проводов статора и схема с регулируемым сопротивлением в одном линейном проводе.

2. В качестве дополнительного сопротивления для создания регулируемой асимметрии можно использовать обмотки управления основных дросселей насыщения.

3. При использовании обмоток управления основных дросселей насыщения одновременно в качестве регулируемого индуктивного сопротивления в одном линейном проводе статора предпочтительным оказывается включение обмоток переменного тока этих дросселей насыщения в цепь ротора.

Для улучшения технических и энергетических показателей предлагаемых схем необходимо исследовать следующие вопросы:

1) увеличение жесткости механических характеристик системы регулирования при сохранении надежности и простоты регулятора, что одновременно является предпосылкой дальнейшего увеличения пределов регулирования скорости;

2) анализ возможных способов автоматизации переходов регулируемого двигателя от одного режима работы к другому;

3) питание обмоток управления дросселей насыщения за счет неизбежных роторных потерь регулируемого двигателя;

4) усовершенствование регулятора путем применения в измерительном элементе вместо тахогенератора и источника задающего напряже-

ния соответствующих электрических фильтров, питаемых от цепи ротора регулируемого двигателя;

5) увеличение тормозных моментов в асимметричном режиме работы двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. П. Губенко, Индукционная машина в тормозном режиме, Диссертация, Львов, 1955.
2. П. И. Дехтяренко, К вопросу об однодроссельном магнитном приводе (Резюме), Автоматика, № 1, 1956.
3. W. R. Wickerham, Variable Unbalanced Voltage Control, Trans. of the AIEE, Vol. 64, pp. 98—102, 449—450, 1945.
4. V. Sarv, Asünkroonmootorite reguleerimine magnetvõimendajate abil, Tehnika ja Tootmine, nr. 5, 1957.
5. В. В. Сарв, Определение механических характеристик асинхронного двигателя с дросселями насыщения в цепи ротора, Изв. АН Эст. ССР. Серия техн. и физ.-мат. наук, т. VII, № 2, 1958.

*Институт энергетики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
17 II 1958

ASÜNKROONMOTORITE REGULEERIMISPIIRKONNA LAIENDAMISVÕIMALUSEST

V. Sarv

Resümee

Tavalised asünkroonmootorite automaatse reguleerimise lülitused, milleles kasutatakse eelmagneeditavaid paispoole, ei sobi väikestel koormustel ning tühijooksul, sest ainsaks reguleerivaks teguriks on neis induktiivtakistuste sümmeetriline muutumine staatori- või rootoriahela kõigis faasides. Ka ei teki väiksematele kiirustele üleminekul neis lülitustes pidurdusmomenti, mis lühendaks siirdeprotsesside kestust.

Artiklis esitatakse lülitus, mis mootori automaatse üleviimisega sümmeetrilisest töörežiimist ebasümmeetrilisse ning vastupidi laiendab reguleerimispiirkonda ka väikestele koormustele ja tühijooksule ning kutsub üleminekul väiksematele kiirustele esile pidurdusmomenti. Avaldatakse uue lülituse katselise ning teoreetilise uurimise tulemused.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Energeetika Instituut*

Saabus toimetusse
17. II 1958

MÖGLICHKEITEN EINER ERWEITERUNG DES REGULUNGSBEREICHS VON ASYNCHRONMOTOREN

V. Sarv

Zusammenfassung

Gewöhnliche Schaltungen für die automatische Regelung von Asynchronmotoren mit vormagnetisierten Drosselspulven ermöglichen nicht die Regelung bei kleinen Belastungen und beim Leerlauf, da in diesen Schaltungen die einzige regelnde Wirkung in der symmetrischen Veränderung der Reaktanzen in allen Phasen des Ständer- oder Läuferkreises liegt. Auch entsteht bei diesen Schaltungen kein Bremsmoment beim Übergang auf kleinere Drehzahlen.

Im Artikel wird eine Schaltung vorgeschlagen, die diese Mängel durch den automatischen Übergang des Motors vom symmetrischen Arbeitsregime zum asymmetrischen (und umgekehrt) beseitigt. In zusammenfassender Form werden die Ergebnisse der experimentellen und theoretischen Untersuchungen dieser Schaltung gegeben.

*Institut für Energetik
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR*

Eingegangen
am 17. Febr. 1958