

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ЧАСТОТНОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ В ЦЕПИ РОТОРА

В. В. САРВ

Распространение и практическое применение различных принципиально возможных способов регулирования электродвигателей зависит от того, насколько последние просты, надежны и экономичны. Это, конечно, справедливо и по отношению к асинхронным дроссельным электроприводам. Уже более десяти лет в Советском Союзе и за границей ведется успешная работа по созданию практических схем таких электроприводов. При этом существуют еще некоторые возможности дальнейшего усовершенствования этих схем в случае использования асинхронных двигателей с фазным ротором. Так, в принципе возможно использовать энергию неизбежных потерь в цепи ротора для создания дополнительной вентиляции, питания регулятора, а также создания дополнительного вращающего момента на валу. Далее, зависимость между скольжением и частотой тока ротора позволяет заменить непосредственное регулирование скорости вращения регулированием частоты тока ротора и использовать для этой цели простые и надежные измерительные элементы.

В настоящей статье рассматривается асинхронный дроссельный электропривод с питанием регулятора за счет потерь роторной цепи и с применением частотночувствительных статических измерительных элементов для автоматического регулирования скорости вращения.

Питание промежуточного магнитного усилителя от цепи ротора

Регуляторы большинства описанных в литературе асинхронных дроссельных электроприводов снабжены промежуточным магнитным усилителем (ПМУ). Относительная мощность ПМУ зависит от коэффициента усиления дросселя насыщения, включенного в силовую цепь регулируемого двигателя. Во избежание чрезмерного запаздывания дросселя насыщения, его коэффициент усиления относительно невелик, а поэтому мощность ПМУ может достигать до нескольких процентов от мощности двигателя. Соответственно на такую же величину возрастают общие потери электропривода по сравнению с потерями в цепях двигателя.

При осуществлении питания ПМУ от цепи ротора асинхронного двигателя увеличения потерь не наблюдается. В этом случае энергия подмагничивания дросселя насыщения входит в сумму неизбежных роторных потерь, определяемых скоростью и моментом. Наряду с уменьшением общих потерь электропривода, питание ПМУ от цепи ротора способствует некоторому увеличению жесткости механических характеристик, соответствующих постоянным значениям тока подмагничивания ПМУ. Объясняется это тем, что при питании ПМУ от цепи ротора.

уменьшение скольжения и вместе с тем напряжения на кольцах ротора вызывает некоторое уменьшение выходного тока ПМУ при постоянном токе подмагничивания. С увеличением коэффициента положительной обратной связи это явление усиливается. Как известно, при питании ПМУ от отдельного источника неизменному току подмагничивания соответствует неизменный выходной ток ПМУ.

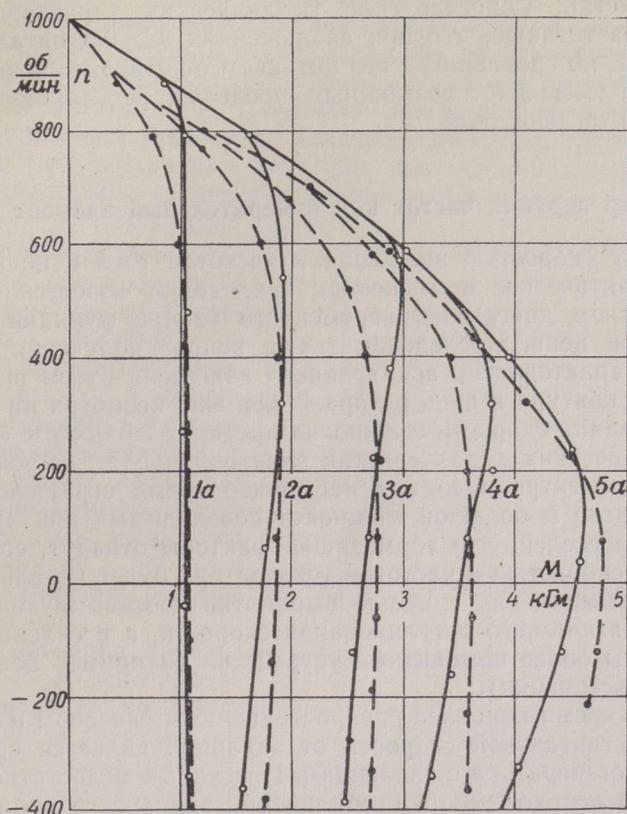


Рис. 1. Сравнение механических характеристик разомкнутых систем при неизменном токе подмагничивания дросселя насыщения (—○—) и при неизменном токе подмагничивания магнитного усилителя, питаемого от цепи ротора (—●—). У кривых отмечена сила тока подмагничивания дросселя насыщения в случае заторможенного двигателя.

На рис. 1 приведены механические характеристики асинхронного двигателя с дросселем насыщения в цепи ротора при различных постоянных значениях тока подмагничивания, питаемого от колец ротора ПМУ, а также при постоянных токах подмагничивания дросселя насыщения. Пары механических характеристик определены экспериментально так, что при заторможенном двигателе токи подмагничивания дросселя насыщения для сопоставляемых случаев были равны.

Как видно из рис. 1, по сравнению с питанием ПМУ от отдельного источника, питание ПМУ от цепи ротора при больших скольжениях увеличивает момент двигателя. Причиной этого является, как указано выше, то обстоятельство, что потери на подмагничивание дросселя на-

сыщения во втором случае входят в неизбежные роторные потери и, таким образом, участвуют в создании вращающего момента.

Экспериментальные механические характеристики на рис. 1 соответствуют двигателю типа МКМАР—14/6 при коэффициенте обратной связи ПМУ примерно 0,5. Повышение коэффициента обратной связи ПМУ увеличит зависимость выходного тока от скольжения и тем самым будет способствовать дальнейшему увеличению жесткости механических характеристик. Сопоставление механических характеристик на рис. 1 показывает также, что при скольжениях $s > 0,3$ питание ПМУ от колец ротора, по сравнению с его питанием от отдельного источника, практически не уменьшает возможных пределов регулирования вращающего момента двигателя.

Фильтр верхних частот как измерительный элемент

Связь между скоростью вращения и частотой тока в цепи ротора уже нашла практическое применение. Так, давно известен принцип управления пуском двигателей переменного тока в функции частоты тока в роторной цепи. Исследован также вопрос получения жестких механических характеристик асинхронного двигателя путем включения колебательного контура в цепь ротора.^[1] Однако, несмотря на возможность регулирования скорости в широких пределах со значительной жесткостью механических характеристик электропривода, широкое применение такого электропривода в настоящее время ограничено из-за больших габаритов и большой мощности необходимых при этом конденсаторов и дросселей. Эти тормозящие факторы отпадут, если зависимость между скоростью и частотой тока ротора будет использоваться во вспомогательных цепях с целью выработки соответствующего сигнала для автоматического регулирования скорости, а в силовых цепях будут применены более компактные устройства (например контакторы или дроссели насыщения).

В настоящее время наиболее распространенным способом измерения отклонения действительной скорости от заданной является сравнение напряжения тахогенератора с задающим. Некоторым недостатком этого метода является необходимость стабилизации задающего напряжения, а также наличие дополнительной, часто коллекторной, машины. Кроме того, в литературе встречаются схемы автоматического регулирования асинхронных двигателей с использованием обратных связей по току и напряжению^[2], а также новая схема с использованием мостового датчика^[3].

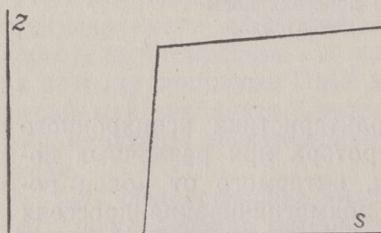


Рис. 2.
Желательная зависимость регулирующего сигнала z от скольжения s .

При осуществлении всех этих принципов превышение скольжения s регулируемого двигателя над заданным s_3 сопровождается возникновением регулирующего сигнала z . Желательный характер зависимости $z = f(s)$ для осуществления автоматического регулирования скорости асинхронного двигателя изображен на рис. 2.

Такую зависимость сигнала от скольжения можно получить на выходе фильтра верхних частот, подключенного к контактным кольцам регулируемого двигателя. Действительно, если не учитывать колебания частоты f_1 питающей сети, то частота тока в цепи ротора $f_2 = sf_1$ является линейной функцией скольжения. Так как составные части фильтра представляют собой простые статические элементы, то измерительный элемент в виде фильтра верхних частот является вполне надежным устройством. Поскольку плавное изменение индуктивности и емкости низкочастотных дросселей и конденсаторов довольно затруднительно, то фильтры верхних частот особенно целесообразно использовать в том случае, когда требуется работа двигателя на некоторых фиксированных скоростях, как это бывает, например, у многих электроприводов подъемных устройств. Конечно, при очень низких частотах изготовление малогабаритных фильтров достаточной мощности сопровождается некоторыми трудностями. Однако при частотах $f_2 > 10-15$ гц это уже вполне осуществимо.

Применение фильтра верхних частот с одновременным использованием питания промежуточного усилителя от цепи ротора полностью устраняет необходимость в дополнительных источниках питания (рис. 3). Питание усилителя от цепи ротора может быть, конечно, и однофазным, но в этом случае при колебании нагрузки нельзя добиться вполне симметричного режима работы двигателя.

Опытная проверка предложенного способа регулирования осуществлялась по схеме рис. 4, которая в принципе не отличается от схемы рис. 3. Применение в схеме рис. 4 транзисторного усилителя (ТУ) позволяет уменьшить мощность применяемого фильтра верхних частот (ФВЧ). Дополнительная цепь, состоящая из выпрямителя V_1 , сопротивления R и конденсатора C , служит для выработки стабилизирующего сигнала, зависящего от ускорения двигателя. Применение этой цепи позволяло увеличить жесткость механических характеристик примерно в 2 раза.

На рис. 5 приведен ряд экспериментальных механических характеристик, полученных при регулировании двигателя типа МКМАР—14/6 по схеме рис. 4. Полученные механические характеристики обладают в рабочей области достаточной жесткостью. Регулирование возможно как в I, так и в IV квадрантах.

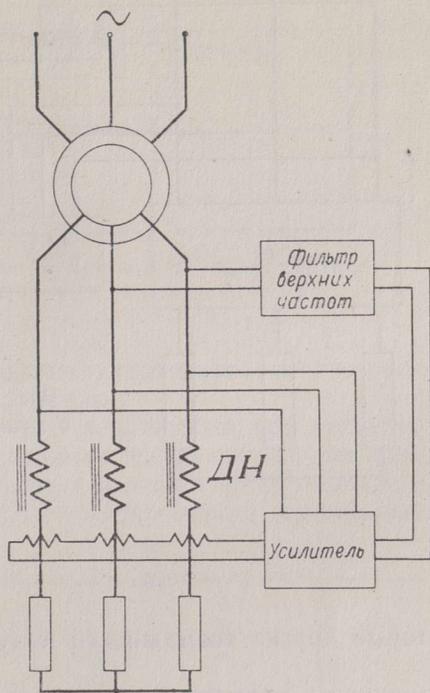


Рис. 3. Принципиальная схема питания частотночувствительного регулятора от цепи ротора.

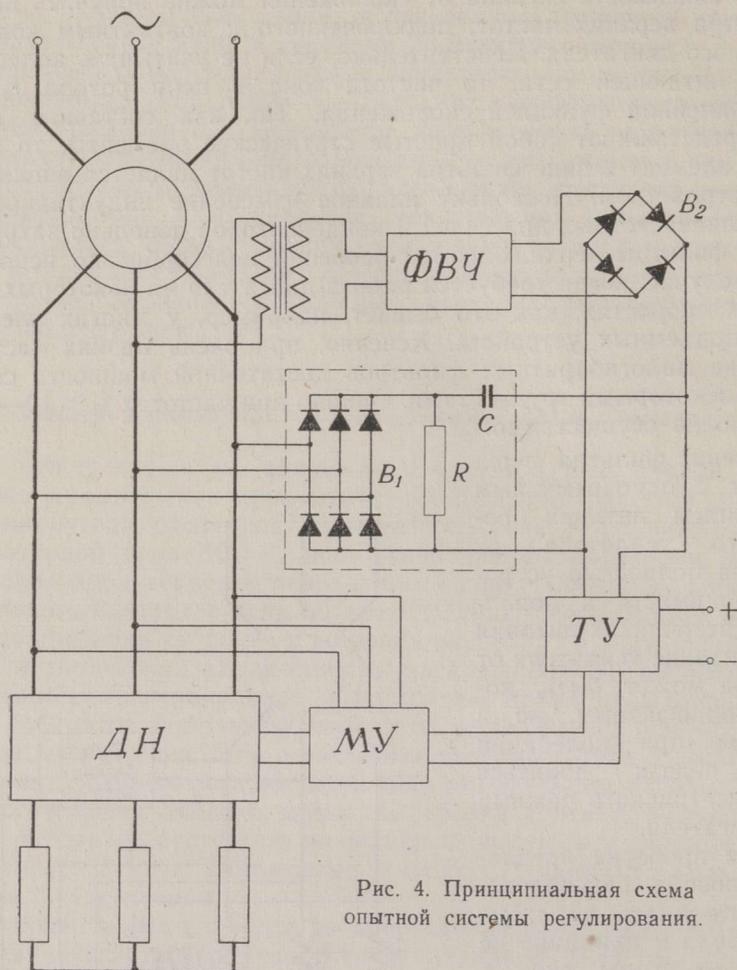


Рис. 4. Принципиальная схема опытной системы регулирования.

Некоторые другие возможности получения регулирующего сигнала

Возможность применения фильтра верхних частот для автоматического регулирования скорости асинхронного двигателя с фазным ротором вытекает непосредственно из задачи измерительного элемента. Но вместо фильтра в качестве измерительного элемента можно использовать и другие устройства, вырабатывающие сигнал согласно рис. 2. Так, для получения подобной зависимости сигнала от скольжения оказывалось возможным применить различные фазочувствительные схемы. При этом в последовательном резонансном контуре при переходе через резонансную частоту использовалось быстрое изменение фазы между питающим напряжением и напряжением на дросселе, а в параллельном резонансном контуре — между питающим напряжением и суммарным током. Хорошие результаты дала также схема со сравнением падений напряжений на дросселе и конденсаторе в последовательном резонансном контуре (рис. 6). Конечно, при осуще-

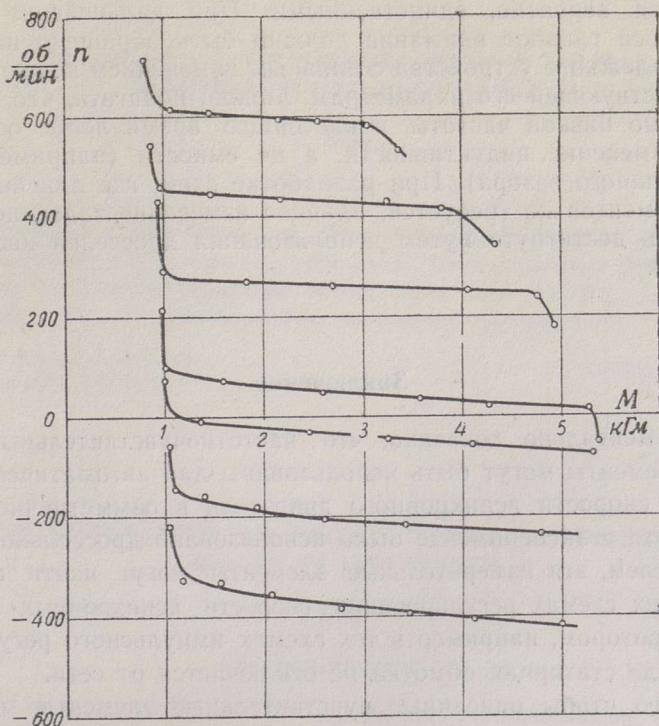


Рис. 5. Экспериментальные механические характеристики замкнутой системы.

ствлении этого принципа вместо однополупериодного выпрямления возможно и двухполупериодное выпрямление.

В схемах, основанных на сравнении напряжений, при частотах ниже резонансной получаем на выходе отрицательный сигнал, так как падение напряжения на емкости превышает в этом случае падение напряжения на индуктивности. Это обстоятельство можно использовать для

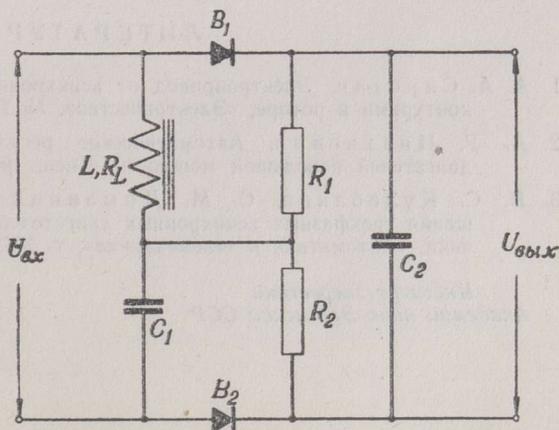


Рис. 6.

Схема сравнения падений напряжений.

управления работой тормозного устройства и тем самым для уничтожения нерегулируемой области асинхронных дроссельных электроприводов при малых нагрузках.

Указанные выше возможности получения регулирующего сигнала

не являются, вероятно, единственными. При дальнейшем изучении этого вопроса главное внимание должно быть обращено на создание простого надежного устройства с плавным изменением задающей частоты, соответствующей его параметрам. Можно полагать, что вследствие сравнительно низкой частоты в настоящее время легче осуществить плавное изменение индуктивности, а не емкости (например, изменением воздушного зазора). При разработке схем, где линейность реактивных элементов не требуется, плавное изменение задающей частоты может быть достигнуто путем использования дросселей насыщения и варикондов.

Заключение

Экспериментально доказано, что частоточувствительные измерительные элементы могут быть использованы для автоматического регулирования скорости асинхронного двигателя в симметричном режиме работы. Хотя в эксперименте было использовано дроссельное управление двигателем, эти измерительные элементы могут найти применение и при других схемах регулирования скорости асинхронных двигателей с фазным ротором, например в тех схемах импульсного регулирования скорости, где статорная обмотка не отключается от сети.

Для того чтобы описанные чувствительные элементы могли быть применены также при несимметричном режиме работы двигателя, на вход чувствительного элемента следует направить только напряжение прямой последовательности от цепи ротора. В том случае, когда регулирование двигателя осуществляется только в I квадранте, последнее может быть достигнуто путем включения фильтра нижних частот между ротором и чувствительным элементом. Частота среза фильтра должна равняться частоте в питающей сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Сиротин, Электропривод от асинхронного двигателя с колебательными контурами в роторе, «Электричество», № 7, 1952.
2. А. Г. Ивахненко, Автоматическое регулирование скорости асинхронных двигателей небольшой мощности, Киев, 1953.
3. В. С. Кулебакин, С. М. Доманцкий, Регулирование скорости вращения трехфазных асинхронных двигателей с использованием мостового датчика, «Автоматика и телемеханика», т. XVIII, № 2, 1957.

*Институт энергетики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
19 IX 1958

ASÜNKROONMOTORI ROOTORIAHELASSE LÜLITATUD SAGEDUSTUNDLIKU REGULAATORIGA

V. Sarv

Resümee

Artiklis esitatakse mõned täiustamise võimalused eelmagneeditavate paispoolide abil juhitavate asünkroonmotorite reguleerimislülitustele. Uksikasjalisemalt käsitletakse regulaatori toitmist rootoriahela vältimatute kadude arvel ning staatiliste sagedustundlike mõõteelementide kasutamist pöörlemiskiiruse automaatsel reguleerimisel.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Energeetika Instituut

Saabus toimetusse
19. IX 1958

INDUKTIONSMOTOR MIT EINEM FREQUENZEMPFINDLICHEN REGLER IM LÄUFERKREIS

V. Sarv

Zusammenfassung

Der Artikel bringt einige Möglichkeiten zur weiteren Vervollkommnung von Reglungsschaltungen für Induktionsmotoren, die mittels vormagnetisierter Drosselspulen gesteuert werden. Eingehender wird die Speisung eines Reglers mit der Energie der unvermeidlichen Verluste des Läuferkreises, sowie die Verwendung statischer frequenzempfindlicher Messorgane für die automatische Regelung der Drehgeschwindigkeit behandelt.

Institut für Energetik
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR

Eingegangen
am 19. Sept. 1958