

УДК 621.313.33

UDC 621.313.33

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

РЕГУЛИРУЕМОЕ БАЛЛАСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ В ОБКАТОЧНЫХ СТЕНДАХ

ADJUSTABLE BALLAST RESISTANCE FOR MOTORS WITH SLIP-RING MOTORS IN THE BREAK-STANDS

Таранов Дмитрий Михайлович
к.т.н., доцент кафедры ЭЭО и ЭМ
РИНЦ SPIN-код: 1411-9153

Taranov Dmitriy Mikhailovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor of EEE and EM
RSCI SPIN-Code: 1411-9153

Гуляев Павел Владимирович
к.т.н., доцент кафедры ЭЭО и ЭМ
РИНЦ SPIN-код: 4774-2615

Gulyaev Pavel Vladimirovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor of EEE and EM
RSCI SPIN-Code: 4774-2615

Лыткин Алексей Владимирович
аспирант кафедры ЭЭО и ЭМ
РИНЦ SPIN-код: 7028-2620

Lytkin Aleksey Vladimirovich
postgraduate student of EEE and EM
RSCI SPIN-Code: 7028-2620

Белоконова Светлана Сергеевна
к.т.н., доцент кафедры информатики Таганрогского
института имени А. П. Чехова (филиал) РГЭУ
(РИНХ)
РИНЦ SPIN-код: 9108-9766

Belokonova Svetlana Sergeevna
Cand.Tech.Sci., assistant professor of computer
science, Taganrog Institute Chekhov, branch RSEU
RSCI SPIN-Code: 9108-9766

*Азово-Черноморский Инженерный Институт
“Донской Государственный Агроинженерный Уни-
верситет”, г. Зерноград, Россия*

*Azov-Black Sea State Engineering Institute
“Don State Agrarian University”,
Zernograd, Russia*

В статье представлены общие сведения об обкатке и испытаниях двигателей внутреннего сгорания, проведён анализ обкаточно-тормозных стендов. Предложены рекомендации по целесообразности применения на современных стендах асинхронных двигателей с фазной обмоткой ротора, рассмотрены его преимущества по сравнению с асинхронным двигателем с короткозамкнутой обмоткой. В качестве альтернативы современным разработкам предлагается схема регулируемого балластного сопротивления в цепи ротора с использованием ШИМ модуляции тока. Рассмотрена работа регулируемого балластного сопротивления и реализация основных обкаточных режимов с использованием предлагаемого устройства

The article presents an overview of the run-in and testing of internal combustion engines, the analysis of break-brake-stands. We gave recommendations on expediency of the application of asynchronous motors with phase rotor winding on modern stands; we also considered its advantages over asynchronous motor with a short-circuited winding. As an alternative to the modern techniques, we have proposed a scheme of adjustable ballast circuit rotor using PWM modulation current. The process of adjustable ballast resistance and implementation of major break-regimes using the proposed device was also considered in this study

Ключевые слова: ОБКАТОЧНЫЙ СТЕНД, АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ФАЗНОЙ ОБМОТКОЙ РОТОРА, ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Keywords: BREAK-STAND, ASYNCHRONOUS MOTORS WITH SLIP-RING ROTOR WINDING, PULSE WIDTH MODULATION

Обкатка и испытание – завершающие операции в технологическом процессе ремонта машин, определяющие эффективность их работы при последующей эксплуатации. Основная приработка поверхностей трения происходит в первые часы работы двигателя, поэтому очень важно создать

в эти часы его работы условия, благоприятные для приработки поверхностей трения без задиров, заеданий и усиленных износов, а также подготовить их к восприятию без повреждений нормальных эксплуатационных нагрузок. Эта задача выполняется соответствующей обкаткой двигателя, во время которой:

- сглаживаются и подравниваются выступающие шероховатости на поверхностях трения, образовавшиеся при их механической обработке, в результате чего во много раз увеличиваются опорные площади соприкасающихся поверхностей и соответственно уменьшаются удельные давления между ними;

- устраняется вредное влияние неизбежно получающихся в результате механической обработки разного рода отклонений от правильной геометрической формы поверхностей трения на качество их прилегания за счет местного и постепенного износа этих поверхностей в местах соприкосновения; это также приводит к снижению удельных давлений между соприкасающимися поверхностями;

- повышается износостойкость поверхностей трения за счет тех изменений, которые претерпевают поверхностные слои металла в процессе обкатки. Это влияние обкатки на повышение износостойкости поверхностей трения подтверждается тем, что двигатели, одинаковые по конструкции, качеству изготовления, материалам отдельных деталей и узлов, в зависимости от режимов обкатки и применяемых при этом масел, изнашиваются затем в эксплуатации по-разному [1].

Таким образом, в результате обкатки создаются все необходимые условия для того, чтобы поверхности трения могли воспринимать и передавать нормальные эксплуатационные нагрузки. Поэтому обкатку следует рассматривать как неотъемлемую технологическую операцию всего ремонтного цикла, являющуюся последним и самым тонким процессом обработки поверхностей трения перед нормальной эксплуатацией двигателя.

Важным условием качественной приработки нового двигателя является правильный выбор скоростного, нагрузочного и температурного режима в начале работы, режима, при котором приработка происходит наиболее интенсивно, но то же время без схватывания и заедания поверхностей трения, без их повышенного износа [2].

Несмотря на важность этого вопроса, нет единых мнений и относительно методики эксплуатационной обкатки. Продолжительность эксплуатационной обкатки разнится от 20 до 80 часов, на некоторых моделях двигателей заводы рекомендуют заканчивать обкатку при 75-80% от $N_{e\text{ ном}}$, на других – при 100%. Лишь в некоторых инструкциях по эксплуатации двигателей указывается режим обкатки. В большинстве инструкций режимы вообще не указываются.

Приработку и испытание двигателей на ремонтных предприятиях производят на обкаточно-тормозных стендах, включающих устройство для вращения двигателя в период холодной обкатки и для поглощения мощности двигателя во время горячей обкатки и испытания, а также дополнительное оборудование, обеспечивающее двигатель топливом, охлаждающей жидкостью и смазкой. Стенд состоит из асинхронной электрической машины, которая при холодной обкатке работает в режиме двигателя. Во время горячей обкатки электрическая машина работает в режиме генератора, отдавая ток в электрическую сеть. Эффективную мощность двигателя на стенде определяют путём измерения крутящего момента, развиваемого двигателем при заданной частоте коленчатого вала. Для определения крутящего момента используют тормозное устройство. Для замера тормозного момента при обкатке двигателей под нагрузкой или крутящего момента при холодной обкатке используют весовой механизм [3].

Раньше на обкаточно-тормозных стендах активно использовались жидкостные реостаты для регулировки асинхронных двигателей с фазной обмоткой ротора. Сейчас их применение нецелесообразно. Развитие со-

временной электронной коммутационной техники открывает широкие возможности для создания устройств регулировки двигателей с фазным ротором с одновременным использованием их в качестве регулируемой нагрузки. В наше время в конструкциях стендов активно используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Их плюсы: жёсткая механическая характеристика, высокий начальный пусковой вращающий момент, постоянная скорость при разных нагрузках и возможность кратковременных механических перегрузок. Проблема же этих двигателей состоит в том, что трудно осуществлять плавное регулирование частоты вращения в широких пределах. Для уменьшения пусковых токов асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором необходимо использовать преобразователь частоты или устройство с плавным пуском. Такие устройства довольно дорогие и не позволяют осуществить некоторые режимы. Целесообразным является решение использовать на стендах асинхронный двигатель с фазным ротором, которому не нужен преобразователь частоты. Правильную работу двигателя можно осуществить на основе ШИМ регулирования [4, 5]. Плюсы же этого двигателя очевидны: большой начальный вращающий момент, постоянная скорость при различных перегрузках, меньший пусковой ток по сравнению с двигателями, оснащёнными короткозамкнутым ротором и возможность применения автоматических пусковых устройств.

Осуществить все вышеперечисленные режимы работы двигателя можно при помощи схемы, представленной на рисунке 1.

Схема работает следующим образом.

В режиме холодной обкатки двигатель внутреннего сгорания приводится во вращение асинхронным двигателем с фазной обмоткой ротора, подключенному к питающей сети через магнитный пускатель КМ1.

Регулировка частоты вращения АД с ФР осуществляется изменением величины тока в роторной обмотке при помощи широтно-импульсной

модуляции ключами VT1...3. Изменяя величину тока в роторной обмотке изменяется потокосцепление между ротором и статором, соответственно меняется скольжение и частота вращения.

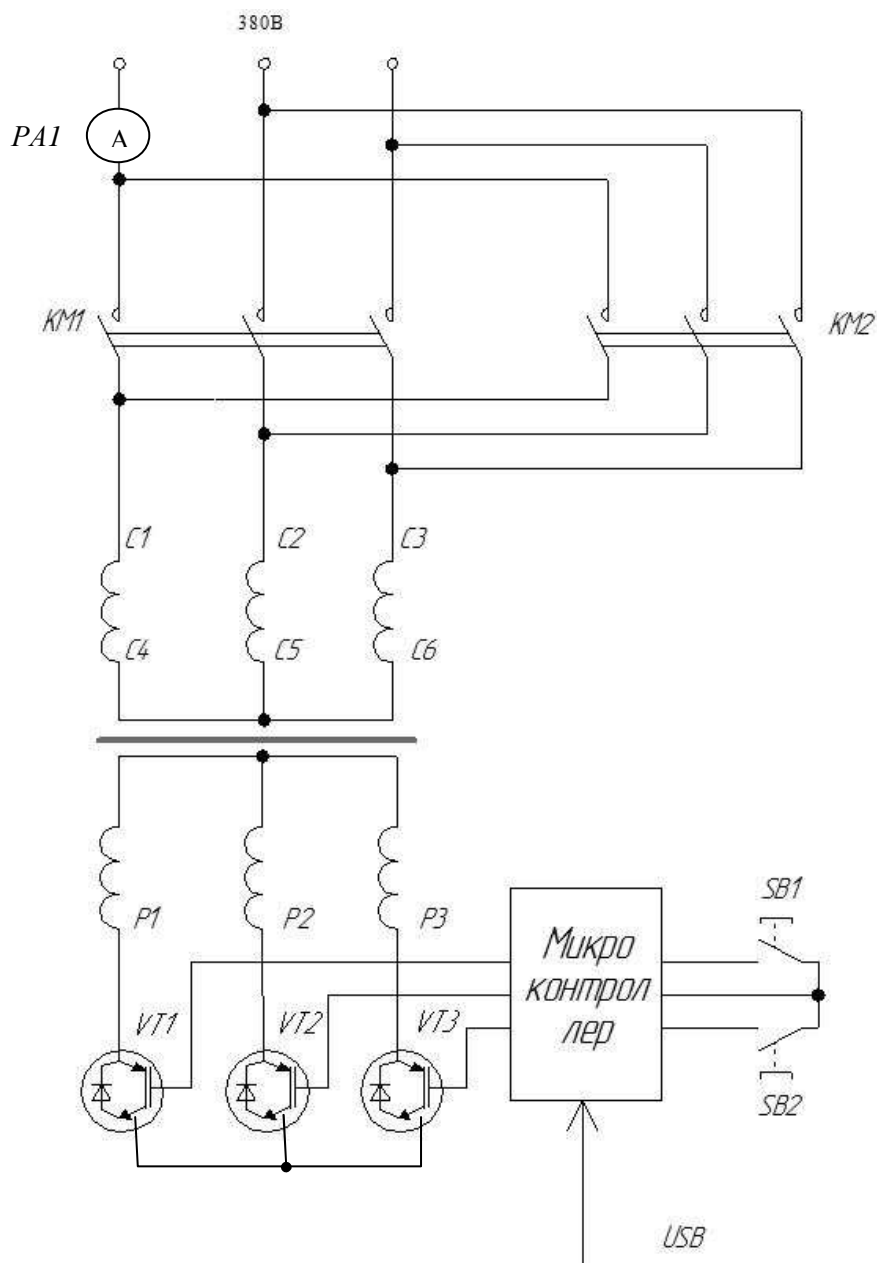


Рисунок 1 – Упрощённая схема управления обкаточным стендом.

Реализовать трёхфазное ШИМ регулирование двигателя с фазной обмоткой ротора можно, разместив во всех трёх фазах роторной обмотки ключевые элементы, закорачивающие их в “звезду” и разрезающие на импульсы положительную и отрицательную полуволны тока в роторных об-

мотках. Чем выше будет частота импульсов, на которые разрезается исходное напряжение в роторной обмотке, тем приближеннее к синусоиде будет результирующая токовая кривая [4, 5].

На рисунке 2 показан принцип ШИМ регулировки тока в роторной обмотке.

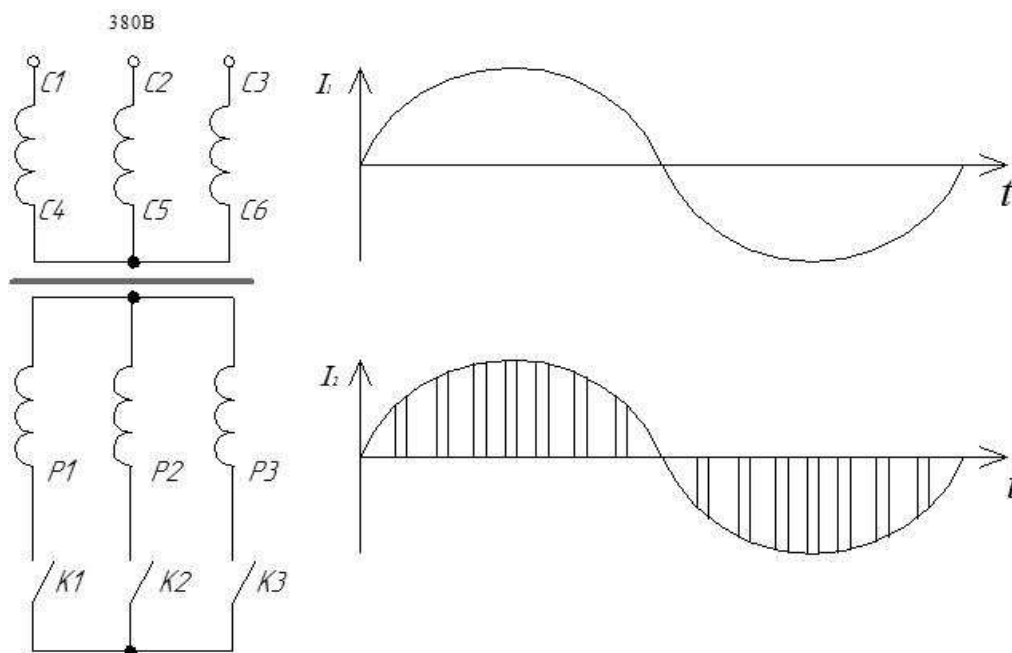


Рисунок 2 – Принцип ШИМ регулировки тока в роторной обмотке.

На рисунке 3 показана экспериментальная осциллограмма тока в роторной обмотке при ШИМ регулировке

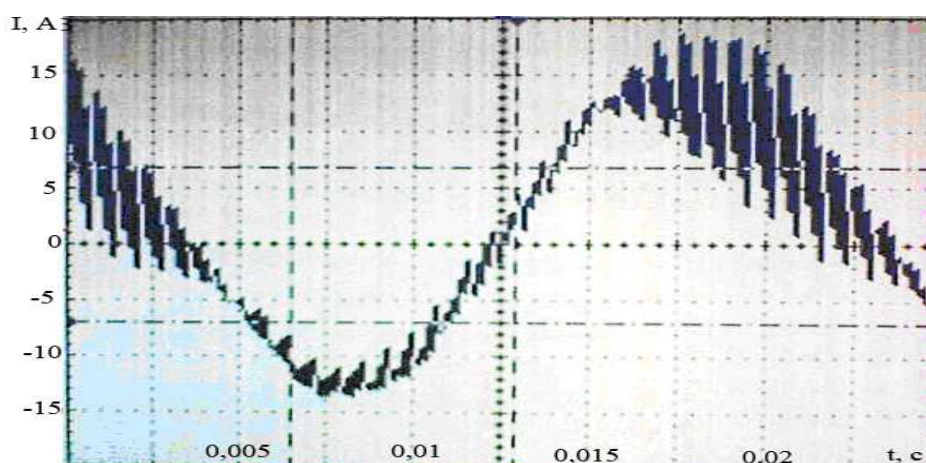


Рисунок 3 – Экспериментальная осциллограмма тока в роторной обмотке при работе ШИМ регулятора.

Осуществить такую коммутацию, особенно для нагрузок мощностью свыше 1кВт, способны только IGBT транзисторы (биполярные транзисторы с изолированным затвором). Выпускаемые промышленностью силовые IGBT ключи способны коммутировать токи до нескольких сотен ампер с частотой до 50...60кГц. Но для регулирования напряжения нет необходимости коммутировать ключи с такой высокой частотой, достаточно частоты 1...15кГц, тем более что чем выше частота коммутации, тем больше потери, выше температура нагрева ключа, и меньше его ресурс. При 15кГц несущей частоты синусоида напряжения в 50Гц будет разрезана на 300 импульсов. Этого более чем достаточно для того чтобы не оказывать существенного влияния на искажение формы токовой кривой.

Предположим, что для осуществления такой коммутации напряжения достаточно использовать только три ключа, симметрично расположенных по отношению к обмоткам. Каждый ключ будет «разрезать» только положительную полуволну тока своей фазы, а отрицательную будет отсекаать, но в таком случае ток в обмотках электродвигателя просто не будет протекать. Для того чтобы обеспечить циркуляцию тока в обмотках, достаточно зашунтировать транзисторы диодами, включенными встречнопараллельно по отношению к переходу транзистора.

Может сложиться мнение, что отрицательная полуволна тока в таком случае «разрезаться» не будет, поскольку она обходит транзистор через диод, но это не так. Например, отрицательная полуволна проходит через встречнопараллельный диод одного ключа, допустим фазы А, проходит через ключи фазы В и С, где она успешно «разрезается», поскольку для них она является положительной. Поэтому токи во всех фазах «режутся» равномерно в любой момент времени и круговое вращающееся поле в двигателе не искажается.

Регулировать частоту вращения можно как в ручном режиме, при помощи кнопок SB1 и SB2 (рисунок 1), так и в автоматическом при помо-

щи программы, прошитой в ШИМ котроллер, изменяющей величину скважности ШИМ. Диапазон регулировки частоты вращения двигателя от 0 до номинального значения.

В режим горячей обкатки ДВС можно перевести, подключив приводной асинхронный двигатель к питающей сети через магнитный пускатель КМ2. В этом режиме осуществляется реверсивное включение АД с ФР. ДВС запускается, выводится в обкаточный режим, а нагрузку на его валу плавно изменяют также при помощи ШИМ регулятора. АД с ФР создаёт регулируемый тормозящий момент на валу разогнанного ДВС.

Микроконтроллерное управление позволяет реализовать не только плавное изменение нагрузки на валу обкатываемого двигателя, но и пульсирующую или динамически изменяющуюся нагрузку (рисунок 4).

Такие режимы обкатки позволяют сократить энергетические и временные затраты ориентировочно на 15%. Причём величину нагрузочного момента для ДВС можно косвенно измерять при помощи амперметра РА1 включенного в цепь статорной обмотки (рисунок 1).

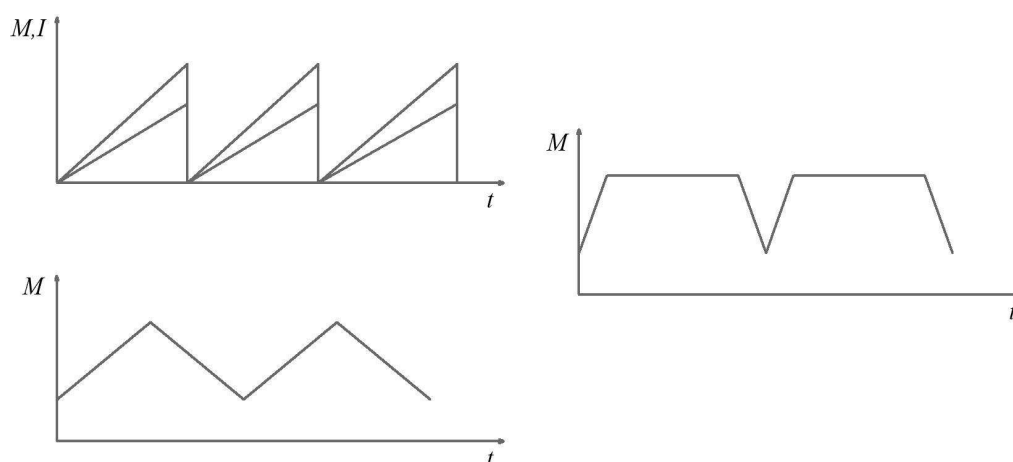


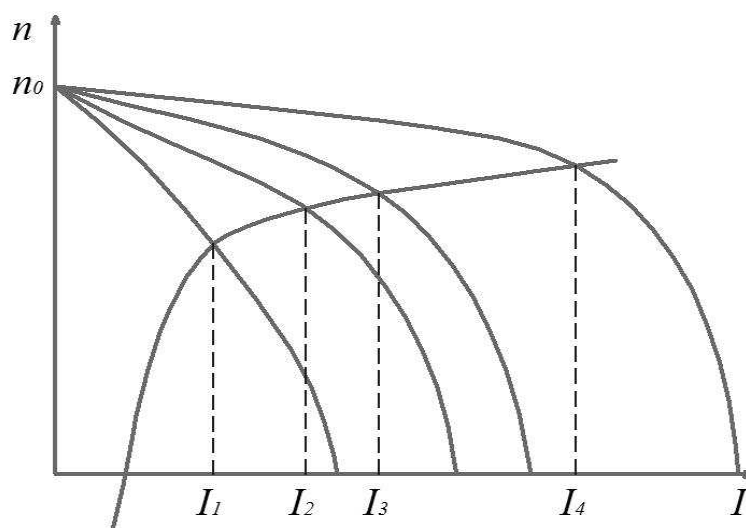
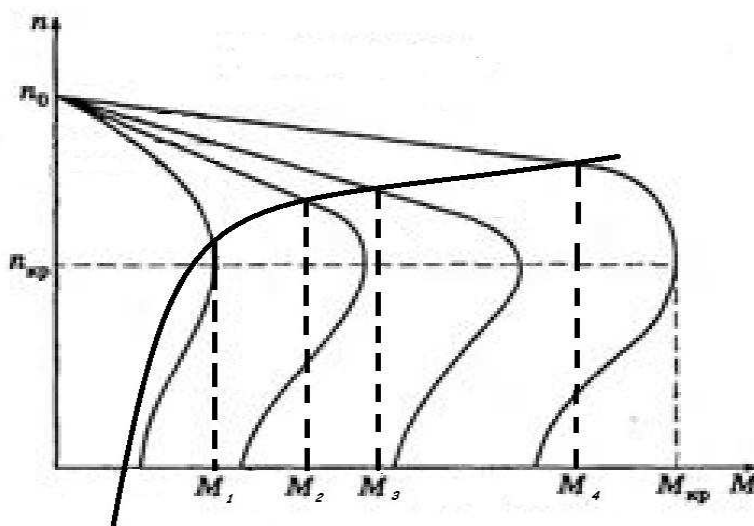
Рисунок 4 – Возможные нагрузочные характеристики ДВС в режиме горячей обкатки.

На рисунке 5 показаны механические и скоростные характеристики АД с ФР при ШИМ регулировке, а также показана регулировочная характеристика $M=f(I)$, полученная в результате их комбинации.

Ограничениями по максимальному тормозящему моменту являются момент соответствующий номинальному току АД с ФР.

Несмотря на то, что двигатель с фазным ротором в режиме горячей обкатки, принудительно вращается в сторону, противоположную направлению вращения его магнитного поля. Контроль величины тока, не превышающего номинального значения, позволит предотвратить перегрев АД с ФР, но только при условии, что частота вращения больше либо равна номинальной частоте вращения двигателя.

Если частота вращения двигателя меньше номинальной, то условия охлаждения ухудшаются и соответственно величина тока, а значит и нагрузочного момента, должны быть скорректированы в сторону уменьшения.



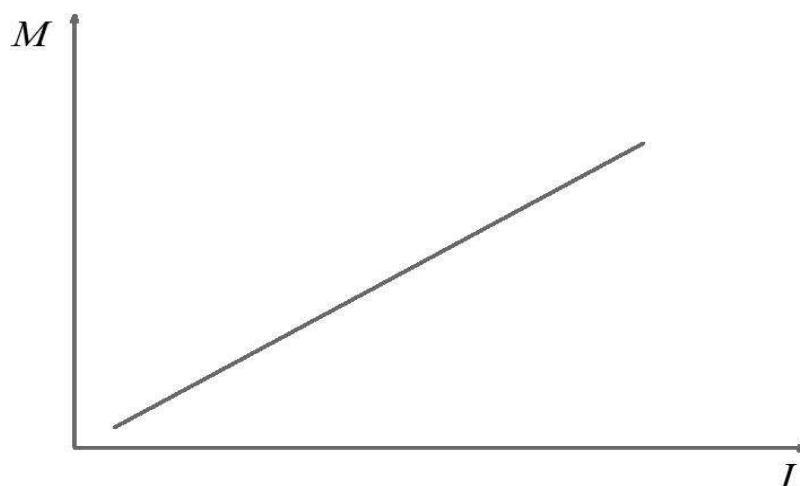


Рисунок 5 – Механические скоростные и регулировочные характеристики АД с ФР при ШИМ регулировке.

Необходимо отметить, что схема полупроводникового балластного сопротивления для АД с ФР, использующего ШИМ регулировку, лишена недостатков, присущих преобразователям частоты с ШИМ. А именно: в ней отсутствуют броски ЭДС самоиндукции при коммутации ключей. Это, в свою очередь, означает, что ресурс ключа повышается, а высокочастотные гармонические выбросы в питающую сеть будут минимальны.

Литература

1. Готтер Г. Нагревание и охлаждение электрических машин. – Москва.: Госэнергоиздат, 1961. – 480 с.
2. Борисенко А.И., Костиков О.Н., Яковлев А.И. Охлаждение промышленных электрических машин. – Москва.: Энергоатомиздат, 1983. – 296 с.
3. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. – Москва.: Энергия, 1980. – 491 с.
4. Трёхфазный регулятор напряжения для систем автоматического контроля воздухообмена в свинарниках / Гуляев П.В., Гуляева Т.В./ Меж. вуз. сбор.: Экономика, организация, технология и механизации животноводства.– Черноград, 2008. – С.310–317.
5. Автоматическое регулирование частоты вращения вала электродвигателя / Таранов М.А., Гуляев П.В., Гуляева Т.В./ Теоретический научно практический журнал «Механизация и электрификация сельского хозяйства». – Москва: ООО «Форенс», 2010. – вып. №7. – С. 5–7.

References

1. Gotter G. Nagrevanie i okhlazhdenie elektricheskikh mashin. – Moskva.: Gosenergoizdat, 1961. – 480 s.
2. Borisenko A.I., Kostikov O.N., Yakovlev A.I. Okhlazhdenie promyshlennykh elektricheskikh mashin. – Moskva.: Energoatomizdat, 1983. – 296 s.

3. Копылов И.Р. Проектирование электрических машин. – Москва.: Энергия, 1980. – 491 с.
4. Трёхфазный регулятор напряжения для систем автоматического контроля воздухообмена в свинарниках / Гulyaev P.V., Gulyaeva T.V./ Меж. вуз. сбор.: Экономика, организация, технология и механизация животноводства. – Зерноград, 2008. – С.310–317.
5. Автоматическое регулирование частоты вращения вала электродвигателя / Таранов М.А., Gulyaev P.V., Gulyaeva T.V./ Теоретический научно практический журнал «Механизация и электрификация сельского хозяйства». – Москва: ООО «Forens», 2010. – вып. №7. – С. 5–7.