

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ В РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ С УЧЕТОМ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

Пеньков О.В., Мельник А.А.

Донецкий национальный технический университет

office@mail.ru

Среди автоматизированных общепромышленных и специальных электроприводов все более широкое распространение получают электроприводы переменного тока с исполнительный асинхронной машиной. Это обусловлено известными преимуществами машин данной конструкции. Основная сложность, сдерживающая широкое применение асинхронного привода, связана с построением системы, реализующей необходимые соотношения между регулирующими переменными. Эта сложность возрастает при использовании асинхронных двигателей с малой величиной номинального скольжения. К таким двигателям относится общепромышленный двигатель серии 4А. В электроприводах переменного тока существует связь между входными и выходными электромагнитными характеристиками. Выяснение этих связей является одной из наиболее важных и актуальных задач теории и практики [1].

В зависимости от требований технологического процесса для точной и быстрой остановки приводов на базе асинхронного двигателя могут применяться следующие тормозные режимы: рекуперативное торможение, торможение противовключением, гашением выработанной электрической энергии в цепи ротора (динамическое торможение). Во всех перечисленных режимах электромагнитный момент, развиваемый асинхронной машиной, воздействует на ротор в направлении, противоположном частоте вращения n_2 . В настоящее время в специальной литературе изложены основы методик расчета тормозных режимов при постоянных электромагнитных параметрах схемы замещения асинхронной машины [2, 3].

Техническая реализация режима динамического торможения, представленная на рис. 1, требует отключения обмоток статора от сети переменного тока контактами контактора КМ1, а затем две или три его фазы подключаются контактами КМ2 к источнику постоянного тока. При этом в машине появляется постоянный магнитный поток возбуждения, индуцирующий в обмотках ротора переменную ЭДС. Чтобы создать тормозной момент, к обмотке ротора подключают активное сопротивление $R_{2доб}$, в котором гасится энергия, возникающая в результате торможения приводного механизма.

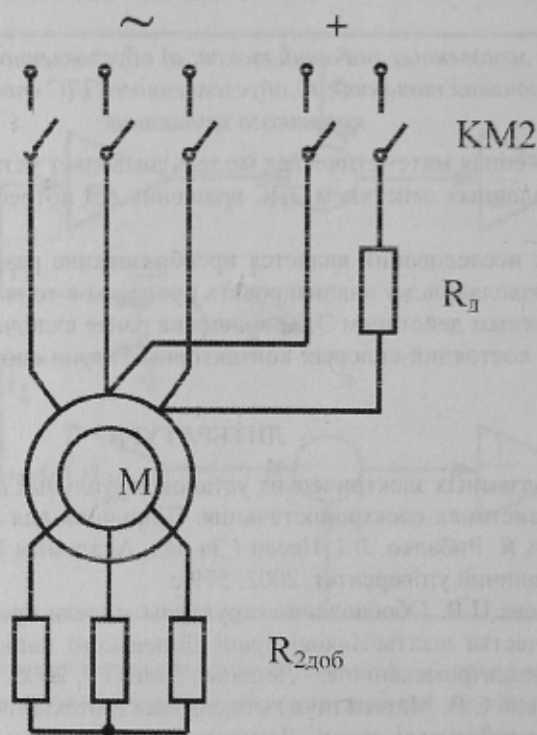


Рисунок – 1 Схема включения АД в режиме динамического торможения

Анализ работы асинхронной машины в рассматриваемом режиме инициирует замену постоянного тока возбуждения, определяемого соотношением $I_n = U/R_{1\text{экв}}$, проходящего по обмотке статора, эквивалентным переменным током $I_{\text{экв}}$. Данный ток создает ту же МДС $F_{\text{экв}} = F_n$. В общем случае $I_{\text{экв}} = K I_n$, где коэффициент пропорциональности K зависит от схемы соединения фаз обмотки статора и числа витков в фазе. Расчетные соотношения для различных схем соединения обмоток АД в режиме динамического торможения представлены в табл. 1.

Таблица – 1 Основные схемы соединения обмоток статора АД при динамическом торможении

$R_{\text{экв}} = 2R_s$	$R_{\text{экв}} = 1.5R_s$	$R_{\text{экв}} = 0.66R_s$	$R_{\text{экв}} = 0.5R_s$	$R_{\text{экв}} = 3R_s$
$I_{\text{экв}} = 0.816 I_n$	$I_{\text{экв}} = 0.707 I_n$	$I_{\text{экв}} = 0.471 I_n$	$I_{\text{экв}} = 0.408 I_n$	$I_{\text{экв}} = 0.942 I_n$

Из табл. 1 следует, что величина тока $I_{\text{экв}}$ при заданном I_n не зависит от частоты вращения ротора и скольжения S , а значение $R_{\text{экв}}$ влияет на жесткость механической характеристики, время динамического торможения и потери в обмотке статора и ротора. Следовательно механические характеристики АД, работающего в режиме динамического торможения, могут быть рабочими при различных частотах вращения и стабильном статическом моменте.

Тем не менее механические характеристики при динамическом торможении имеют неустойчивую часть, на которой возможна работа двигателя. С увеличением частоты вращения, когда наблюдается превышение критического момента, тормозной момент двигателя резко снижается. Переход на неустойчивую часть характеристики происходит:

- при возрастании внешнего статического момента выше критического, соответствующего той характеристике, на которой работает двигатель;
- при ошибочном управлении двигателем в режиме замедления.

Для устранения неустойчивой части характеристики АД или увеличения развиваемого двигателем тормозного момента на этих частях характеристик необходимо обеспечить рост тока возбуждения. Это позволяет повысить значение тормозных моментов. При этом неустойчивая часть характеристик в пределах тормозных режимов практически исчезает или обладает высокими критическими моментами. Возможность подачи постоянного тока в обмотку статора позволяет формировать требуемые механические характеристики в режиме динамического торможения. При низких скоростях для обеспечения заданного значения тормозного момента необходим весьма большой ток в обмотке статора и как следствие магнитная цепь асинхронной машины оказывается сильно насыщенной.

Влияние степени насыщения магнитопровода статора на основные характеристики асинхронной машины при данном режиме работы базируется на схеме замещения АД и векторной диаграмме, определяющих соотношения между эквивалентным током статора $I_{\text{экв}}$, приведенным током ротора I_2 и намагничивающим током I_μ .

$$(I_\mu^2 K1^2 - I_{\text{экв}}^2 K2) S^2 = I_{\text{экв}}^2 - I_\mu^2, \quad (1)$$

где $K1$ и $K2$ коэффициенты, зависящие от электромагнитных параметров АД $K1 = (X_2' + X_\mu)/R_2$, $K2 = X_2'/R_2$, S – скольжение в режиме динамического торможения.

Расчет основных механических характеристик был произведен для двигателя 4A200L4 со следующими данными: $P_{2н} = 45$ кВт, $I_n = 81.36$ А, $R1 = 0.091$ Ом, $R2 = 0.045$ Ом, $X2 = 0.386$ Ом, $X_\mu = 10.1$ Ом, $I_{\mu н} = 22.6$ А. На основании аппроксимации по методу наименьших квадратов кривой намагничивания $\Psi_\mu = F(I_\mu)$ получена зависимость $X_2 = F(S)$, представленная на рис. 2. При изменении условий насыщения магнитопровода асинхронной машины были определены зависимости изменения критического скольжения и механической характеристики. Значение критического скольжения при постоянстве электромагнитных параметров асинхронного двигателя описывает следующее соотношение:

$$S_{кр} = \frac{R_2}{X_\mu + X_2}$$

Графическая зависимость, определяющая характер изменения критического скольжения с учетом изменения насыщения магнитопровода АД, приведена на рис. 3. Из анализа рис. 3 следует, что с ростом значения тока I_μ , $S_{кр}$ смещается в область больших скольжений и как следствие изменяется жесткость механических характеристик асинхронного двигателя, приведенных на рис. 4 и рис. 5. Для двигателя 4А200L4, работающего при токе $I_{эв} = 3.7 I_{нп}$, критический момент снижается более 60%. В области скольжений близких к 1 влиянием насыщения на механические характеристики можно пренебречь, так как значение X_μ практически не отличается от своей номинальной величины. Следовательно при выборе значения тока динамического торможения необходимо учитывать и вызываемое им насыщение магнитной цепи, и характер изменения нагрузочного момента, приложенного к валу двигателя.

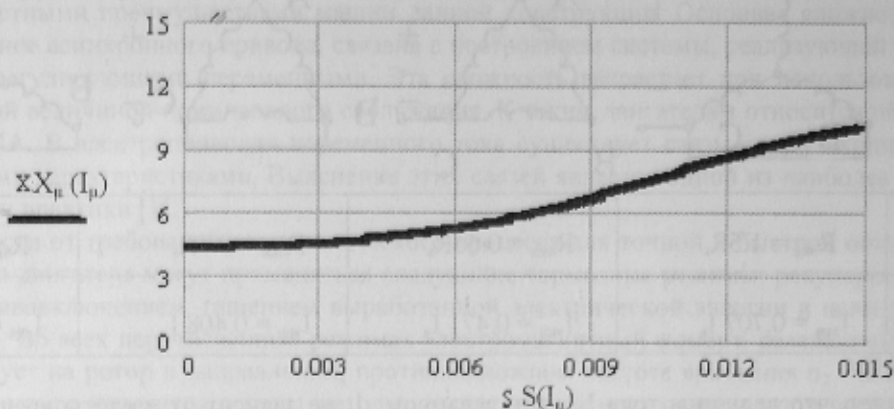


Рисунок – 2 Расчетная зависимость индуктивного сопротивления магнитной цепи АД

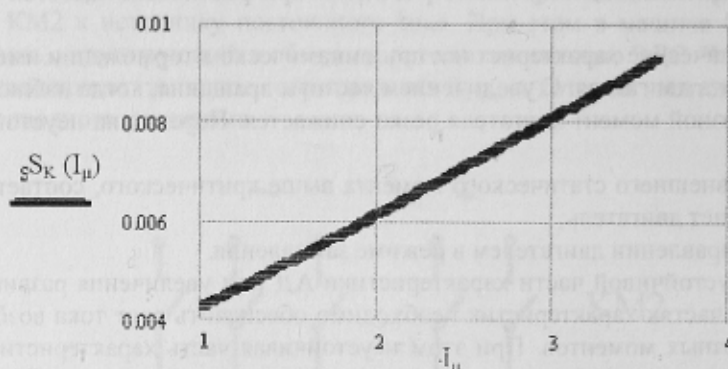


Рисунок – 3 Изменение критического скольжения АД в режиме динамического скольжения

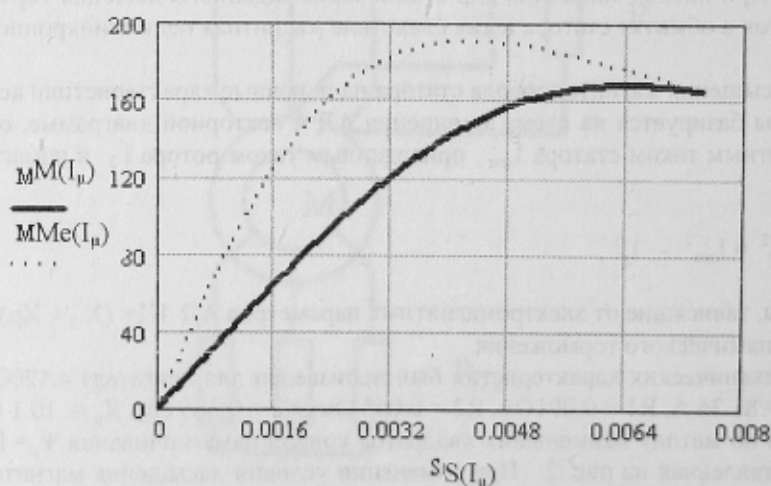


Рисунок 4 Механические характеристики АД в режиме динамического торможения при $I_{эв} = 2 I_{нп}$: (--- без учета насыщения магнитопровода АД; — с учетом насыщения магнитопровода АД)

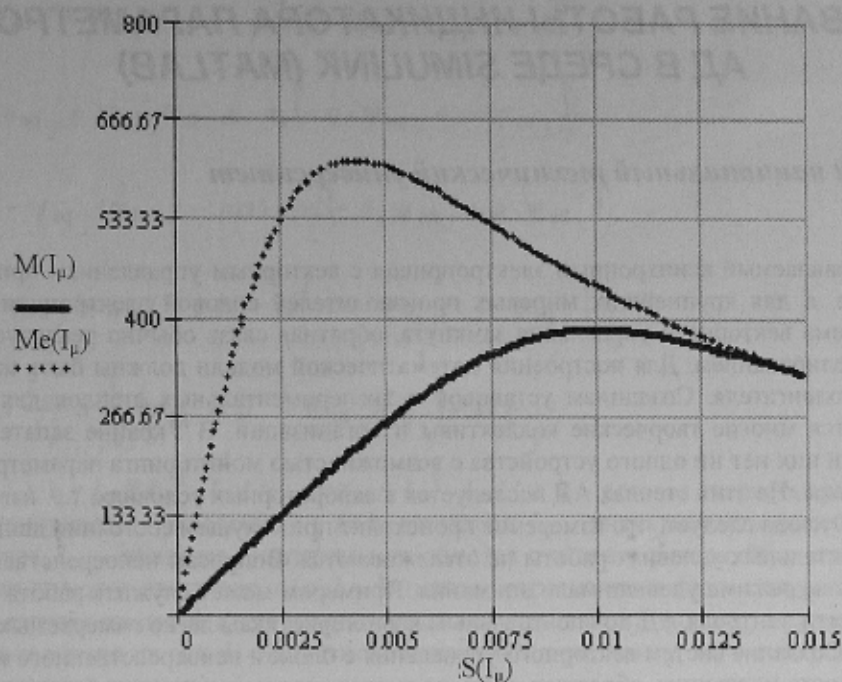


Рисунок 5 – Механические характеристики двигателя в режиме динамического торможения при $I_{\text{от}} = 3.7 I_{\text{н}}:$
 (--- без учета насыщения магнитопровода АД; — с учетом насыщения магнитопровода АД)

ЛИТЕРАТУРА

1. Домбровский В. В. и др. Асинхронные машины. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 360с.
2. Власов Г. В. и др. Взрывозащищенный тиристорный электропривод переменного тока. – М.: Энергия, 1977. – 160 с
3. Радин В. И., Брускин А. Э. Электрические машины. Асинхронные двигатели. - М.: Высшая школа, 1988 – 328 с.