

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Кузбасский научный центр Сибирского отделения
Академии инженерных наук имени А.М. Прохорова
Кемеровское региональное отделение САН ВШ
АО «Евраз - Объединённый Западно-Сибирский
металлургический комбинат»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ
И ПРОИЗВОДСТВЕ
AS' 2017**

**ТРУДЫ XI ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
*(с международным участием)***

**Новокузнецк
2017**

С 409 Системы автоматизации в образовании, науке и производстве : Труды XI Всероссийской научно-практической конференции / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. - 475 с., ил.

ISBN 978-5-7806-0502-7

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам автоматизации управления технологическими процессами и предприятиями, социально-экономическими системами, образованием и исследованиями. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

Организации, поддержавшие конференцию:

ОК «Сибшахтострой» (г. Новокузнецк),
ЗАО «Стройсервис» (г. Кемерово),
ООО «Центр сварки и контроля» (г. Кемерово),
ООО «Научно-исследовательский центр систем управления» (г. Новокузнецк),
ООО «Синерго СОФТ СИСТЕМС» (г. Новокузнецк).

Конференция проведена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-07-20581.

ISBN 978-5-7806-0502-7

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2017

$$\frac{\omega(p)}{u_{Ri}(p)} = \frac{3U_{Sg}z_{II}L_{\mu}}{2JR_R R_S T_R p^2 + 2JR_R R_S p + 3\frac{\omega_g}{R_S \omega_0} U_{Sg}^2 z_{II} L_{\mu}^2} =$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{U_{Sg} L_{\mu} \omega_g}{R_S \omega_0} \right)} \cdot \frac{2JR_R R_S T_R}{3\frac{\omega_g}{R_S \omega_0} U_{Sg}^2 z_{II} L_{\mu}^2} p^2 + \frac{2JR_R R_S}{3\frac{\omega_g}{R_S \omega_0} U_{Sg}^2 z_{II} L_{\mu}^2} p + 1.$$

Введя механическую постоянную времени МДП $T_M = \frac{2JR_R R_S}{3\frac{\omega_g}{R_S \omega_0} U_{Sg}^2 z_{II} L_{\mu}^2}$,

и эквивалентный коэффициент передачи МДП $k_{\mathcal{E}} = \frac{1}{\left(\frac{U_{Sg} L_{\mu} \omega_g}{R_S \omega_0} \right)}$, получим:

$$\frac{\omega(p)}{u_{Ri}(p)} = \frac{k_{\mathcal{E}}}{T_M T_R p^2 + T_M p + 1}. \quad (5)$$

Передаточная функция момента с учетом введенных выше обозначений имеет вид:

$$\frac{M(p)}{u_{Ri}(p)} = \frac{T_M / J (T_R p + 1)}{T_M T_R p^2 + T_M p + 1}. \quad (6)$$

Из выражений (5) и (6) следует, что при принятых допущениях передаточные функции для скорости и электромагнитного момента машины имеют простой вид, удобный для применения в системе управления электроприводом.

Библиографический список

1. Онищенко Г. Б. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания [Текст] / Г. Б. Онищенко, И. Л. Локтева. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.
2. Островляничик В. Ю., Поползин И. Ю. Асинхронный электропривод шахтной подъемной установки, построенный по схеме машины двойного питания с комбинированным управлением [Текст] / В. Ю. Островляничик, И. Ю. Поползин // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. - №2. – С. 303-309.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В АСИНХРОННОМ РЕЖИМЕ

Островляничик В.Ю., Рыбаков А.И., Поползин И.Ю., Кучик М.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

На основании уравнений электрического равновесия обмоток машины двойного питания получены и проанализированы выражения для механической и электромеханической характеристик машины в асинхронном режиме.

Важнейшими характеристиками машины двойного питания (МДП) являются ее механические и электромеханические характеристики. Именно они определяют пригодность ее применения в технологическом процессе подъема и необходимые режимы работы машины.

В соответствии с [1], [2], [3] уравнения электрического равновесия обмоток машины относительно потокоцеплений обмоток запишутся как:

$$\begin{cases} \bar{U}_S = j\omega_0 \bar{\Psi}_S + \bar{I}_S R_S, \\ \bar{U}_R = j\omega_0 s \bar{\Psi}_R' + \bar{I}_R' R_R'. \end{cases} \quad (1)$$

где $\bar{U}_S, \bar{U}_R$ – комплексные значения напряжений на статоре и роторе соответственно;

$\bar{I}_S, \bar{I}_R'$ – комплексные значения тока статора и приведенного тока ротора соответственно;

$\bar{\Psi}_S, \bar{\Psi}_R'$ – комплексные значения потокоцепления статора и приведенного потокоцепления ротора соответственно;

R_S, R_R' – активное сопротивление статора и приведенное активное сопротивление ротора соответственно;

L_S, L_R, L_μ – индуктивности статора, ротора и намагничивания соответственно;

ω_0 – скорость вращения магнитного поля статора;

s – скольжение;

z_{II} – число пар полюсов машины;

M – электромагнитный момент машины.

Определим момент как функцию векторного произведения потокоцеплений обмоток статора и ротора:

$$M = -\frac{3}{2} z_{II} \frac{L_\mu}{L_S L_R - L_\mu^2} [\bar{\Psi}_S \times \bar{\Psi}_R] \quad (2)$$

Обозначим угол сдвига фаз между напряжением на статоре и напряжением, подведенным к ротору, как δ и примем, что начальная фаза вектора напряжения на статоре машины $\bar{U}_S$ равна 0. В этом случае комплексное значение напряжения на роторе определяется как:

$$\bar{U}_R = U_R e^{j\delta}. \quad (3)$$

Введем коэффициент рассеяния машины:

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_S L_R} \quad (4)$$

и запишем выражения для связи токов и потокоцеплений обмоток машины:

$$\begin{cases} \bar{I}_S = \frac{1}{\sigma L_S} \bar{\Psi}_S - \frac{k_R}{\sigma L_S} \bar{\Psi}_R \\ \bar{I}_R = -\frac{k_S}{\sigma L_R} \bar{\Psi}_S - \frac{1}{\sigma L_R} \bar{\Psi}_R, \end{cases} \quad (5)$$

где k_S, k_R – коэффициенты связи статора и ротора соответственно.

Подставив выражения для токов (5) и момента (2) в систему (1), получим:

$$\begin{cases} \bar{U}_S = \left(\frac{R_S}{\sigma L_S} + j\omega_0 \right) \bar{\Psi}_S - \frac{R_S k_R}{\sigma L_S} \bar{\Psi}_R, \\ \bar{U}_R = -\frac{R_R k_S}{\sigma L_R} \bar{\Psi}_S + \left(\frac{R_R}{\sigma L_R} + j\omega_0 s \right) \bar{\Psi}_R, \\ M = -\frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{L_{\mu}}{L_S L_R - L_{\mu}^2} [\bar{\Psi}_S \times \bar{\Psi}_R] \end{cases} \quad (6)$$

В большинстве случаев можно принять, что произведение σL_R , называемое эквивалентной индуктивностью машины, определится по соотношению [4]:

$$\sigma L_R = L_K,$$

где $L_K = L_R' + L_S$ - индуктивность машины в режиме короткого замыкания. Индуктивности L_K соответствует реактивное сопротивление короткого замыкания X_K :

$$X_K = 2\pi f_C L_K = X_{S|fc} + X_{R|fc},$$

где f_C - номинальная частота напряжения питающей сети.

Разделим обе части второго уравнения системы (6) на ω_0 :

$$\frac{\bar{U}_R}{\omega_0} = -\frac{R_R k_S}{\omega_0 \sigma L_R} \bar{\Psi}_S + \left(\frac{R_R}{\omega_0 \sigma L_R} + js \right) \bar{\Psi}_R$$

С учетом эквивалентной индуктивности выполнится равенство $\frac{R_R}{\omega_0 \sigma L_R} \approx \frac{R_R}{X_K} = s_{KP.H}$,

где $s_{KP.H}$ - критическое номинальное скольжение машины.

Пренебрегая активным сопротивлением статора, запишем первые два уравнения системы (6) в виде:

$$\begin{cases} \bar{\Psi}_S = \frac{\bar{U}_S}{j\omega_0}, \\ \bar{\Psi}_R = \frac{\bar{U}_R}{\omega_0 s_{KP.H} + js} + \frac{\bar{U}_S k_S}{j\omega_0 s_{KP.H} + js}, \\ M = -\frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{L_{\mu}}{L_S L_R - L_{\mu}^2} [\bar{\Psi}_S \times \bar{\Psi}_R] \end{cases} \quad (7)$$

Система (7) неудобна для анализа и применения на практике, так как идентификация потокоцеплений обмоток машины является сложной задачей.

Введем понятия относительного напряжения на роторе и уточненного относительного напряжения:

$$U_{ROTH} = \frac{U_R}{U_S},$$

$$U_R^* = U_{ROTH} / k_S.$$

где U_{ROTH} - относительное напряжение на роторе,

U_R^* - уточненное относительное напряжение на роторе.

С учетом уточненного относительного напряжения на роторе, а также вышеприведенного выражения для напряжения на роторе $\bar{U}_R = U_R e^{j\delta}$, получим выражение:

$$U_R = U_R e^{j\delta} = U_R^* k_S U_S e^{j\delta}. \quad (8)$$

Проекции потокоцеплений ротора и статора (7) на оси системы координат x - y , связанной с полем статора, определяются как:

$$\begin{cases} \Psi_{Sx} = 0, \\ \Psi_{Sy} = -\frac{U_S}{\omega_0}, \\ \Psi_{Ry} = \frac{R_R L_R \sigma k_S U_S}{R_R^2 + \omega_0^2 s^2 \sigma^2 L_R^2} \left(U_2^* \cos \delta + \frac{\omega_0 s \sigma L_R U_2^*}{R_R} - s \right), \\ \Psi_{Rx} = \frac{R_R L_R \sigma k_S U_S}{R_R^2 + \omega_0^2 s^2 \sigma^2 L_R^2} \left(U_2^* \sin \delta - \frac{\omega_0 s \sigma L_R U_2^*}{R_R} \cos \delta - s_{KP.H} \right). \end{cases} \quad (9)$$

В указанной системе координат выражение для момента примет вид:

$$M = \frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{k_S}{\sigma L_R} (\Psi_{Rx} \Psi_{Sy} - \Psi_{Ry} \Psi_{Sx}). \quad (10)$$

Подставив выражения (9) в выражение (10), получим:

$$M = \frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{k_S^2 U_S^2}{\omega_0^2 \sigma L_R} \frac{s_{KP.H} s}{s_{KP.H}^2 + s^2} \left[1 - \frac{U_2^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) \right]. \quad (11)$$

Значение критического номинального момента двигателя рассчитывается как:

$$M_{KP.H} = \frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{k_S^2 U_S^2}{\omega_0^2 \sigma L_R}. \quad (12)$$

Подставив (12) в (11), получим выражение, связывающее момент, развиваемый машиной, скольжение, фазу и относительную амплитуду напряжения в цепи ротора:

$$M = \frac{2M_{KP.H}}{s_{KP.H} / s + s / s_{KP.H}} \left[1 - \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) \right]. \quad (14)$$

Выражение (14) можно разбить на 2 компонента:

$M_E = \frac{2M_{KP.H}}{s_{KP.H} / s + s / s_{KP.H}}$ - момент, развиваемый асинхронным двигателем (формула Клосса);

$\left[1 - \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) \right]$ - множитель, связанный с питанием ротора от внешнего источника напряжения.

Выражение (14) определяет механические характеристики машины двойного питания. Задаваясь значениями U_R^* и δ и подставляя их в (14), возможно построить механические характеристики машины при различных значениях амплитуды и фазы напряжения на роторе.

Проанализируем механические характеристики МДП в асинхронном режиме. Как видно из уравнения (14), их вид определяется величиной и знаком компонента

$\left[1 - \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) \right]$. В частности, для реализации тормозного режима за счет управления амплитудой и фазой напряжения на роторе необходимо, чтобы выполнялось условие (15).

$$1 - \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) < 0 \text{ или } \frac{U_R^*}{s} \left(\cos \delta + \frac{s}{s_{KP.H}} \sin \delta \right) > 1. \quad (15)$$

Механические характеристики МДП на основе двигателя МТФ-111-Н6 при изменении амплитуды и фазы напряжения на роторе приведены на рисунках 1 и 2.

Из семейств характеристик, приведенных на рисунках 1 и 2 следует, что на величину развиваемого машиной момента влияют оба параметра, но в большей степени влияет амплитуда напряжения на роторе, в то время как его фаза позволяет изменять жесткость характеристик.

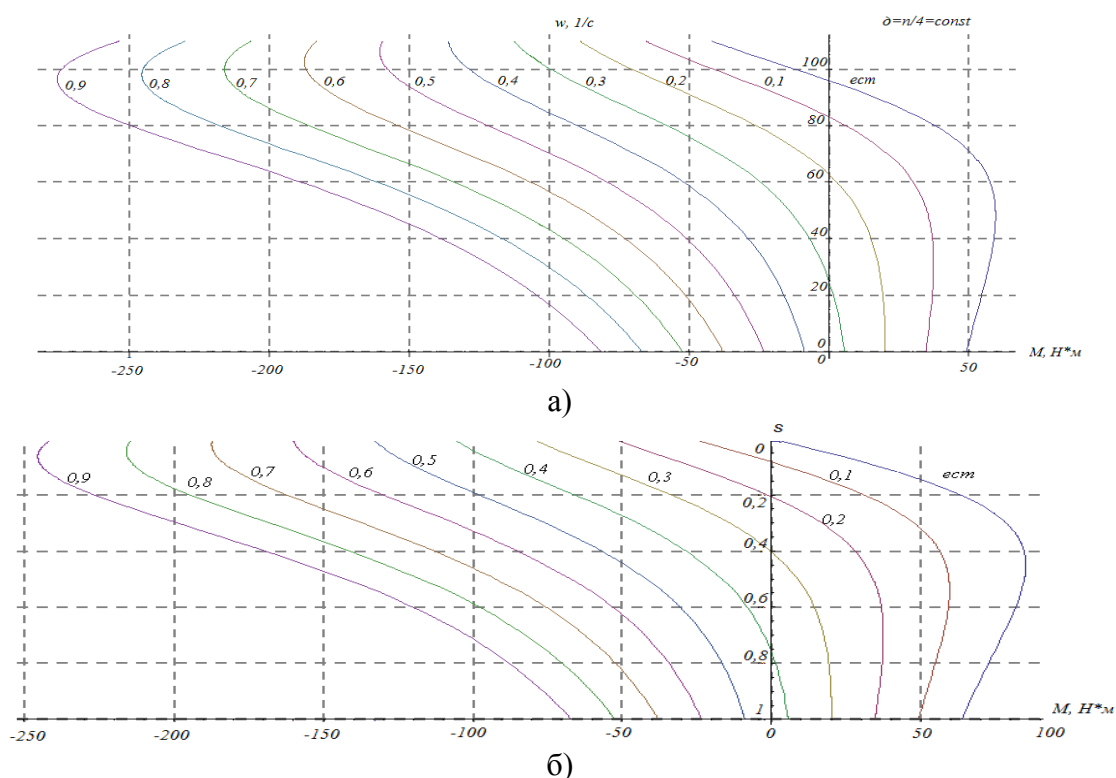


Рисунок 1 – Семейство механических характеристик МДП в асинхронном режиме

при $\delta = \frac{\pi}{4}$ и различных значениях U_R^* (а – зависимость момента машины

от скорости; б – от скольжения)

Таким образом, управляя амплитудой и фазой напряжения на роторе (путем регулирования проекций обобщенного вектора напряжения на роторе на оси прямоугольной системы координат), можно добиться работы машины на характеристике, отвечающей текущим условиям работы подъемной машины.

Кроме того, по характеристикам, приведенным на рисунке 1 видно, что при определенной величине амплитуды напряжения на роторе машина начинает развивать тормозной момент. Из характеристик, приведенных на рисунке 2, следует, что минимальный момент при фиксированной амплитуде достигается при $\delta = \frac{\pi}{4}$. Из характеристик на рисунке 2 видно, что

приемлемый тормозной момент машина развивает при $U_R^* = 0,3 \dots 0,4$. Было установлено, что оптимальными параметрами напряжения на роторе для торможения являются $U_R^* = 0,39$, $\delta = \frac{\pi}{4}$.

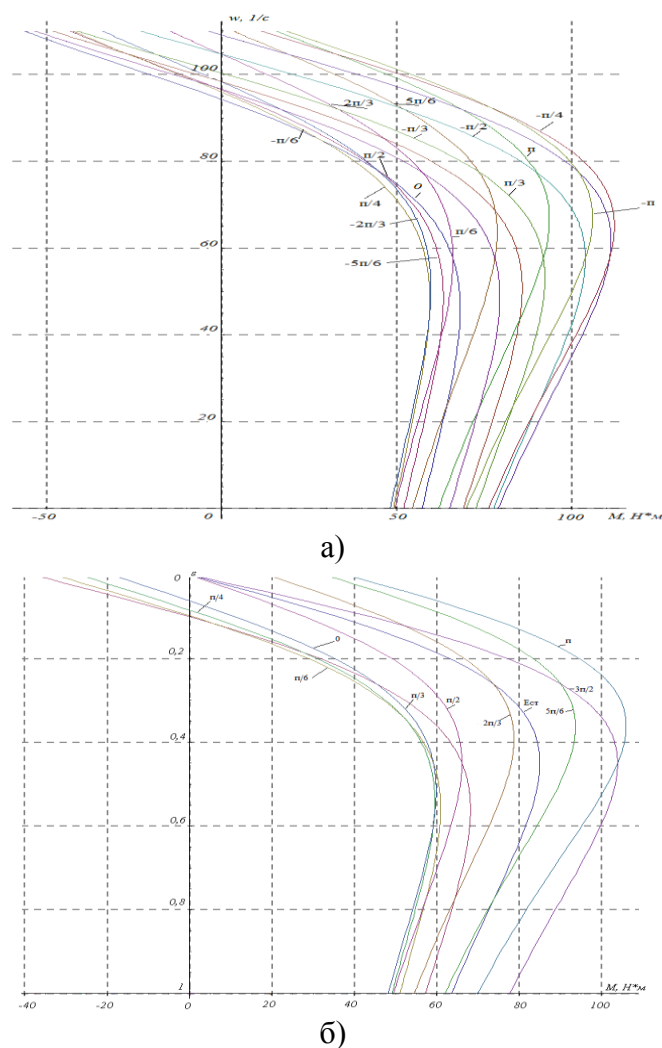


Рисунок 2 – Семейство механических характеристик МДП в асинхронном режиме при $U_R^*=0,1$ и различных значениях угла δ (а – зависимость момента машины от скорости; б – от скольжения)

При этом фактическая величина напряжения на роторе определится как $U_R = U_S U_{ROTH} = U_S U_R^* k_S$. Таким образом, для получения тормозного момента для двигателя МТФ111-6 величина напряжения на роторе должна составлять $U_R = U_S U_{ROTH} = U_S U_R^* k_S = 220 \cdot 0,39 \cdot 0,88 = 77,3 \text{ В}$ при его фазе $\delta = \frac{\pi}{4}$ (рисунок 4).

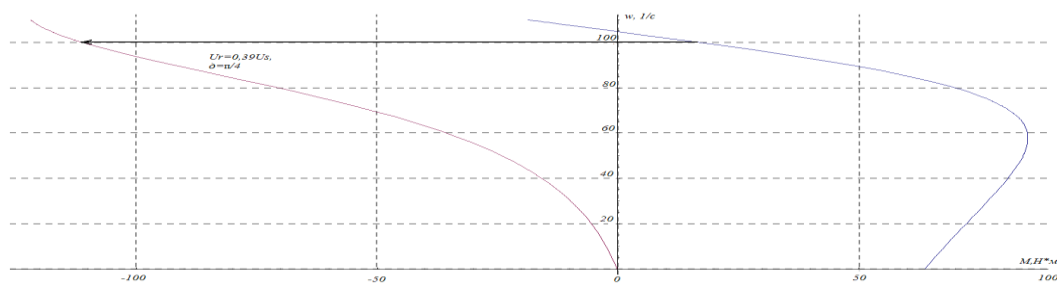


Рисунок 4 – Механические характеристики машины в режиме торможения полем ротора

Рассмотрим также работу МДП в асинхронном режиме при изменении чередования фаз напряжения на статоре (режим противовключения). Механические характеристики для данного режима приведены на рисунке 5. На рисунке 5 видно, что в режиме противовключе-

ния путем изменения напряжения на роторе можно добиться работы машины в III координатном квадранте.

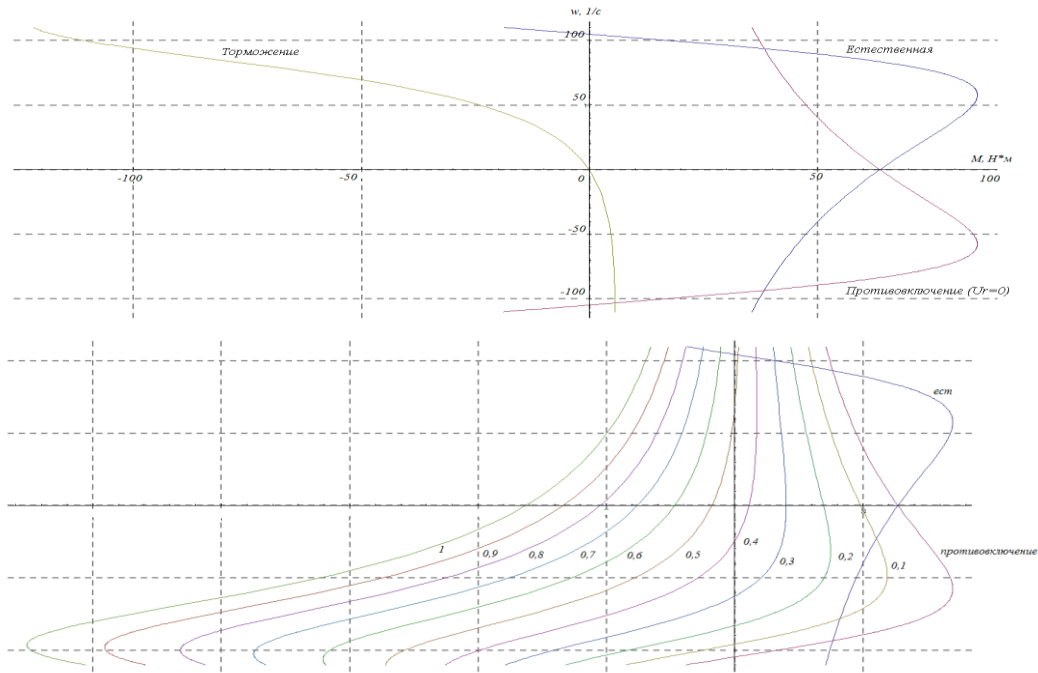


Рисунок 5 – а) Механическая характеристика МДП при изменении порядка чередования фаз напряжения на статоре; б) Механические характеристики МДП в режиме противовключения при изменении амплитуды напряжения на роторе и фиксированном угле $\delta = \frac{\pi}{4}$

Для получения зависимости тока ротора от скорости в асинхронном режиме рассмотрим уравнения электрического равновесия машины (7), (9) и выразим из них ток ротора с учетом соотношения для напряжения на роторе (8):

$$I_R = \frac{U_S k_S s}{\sqrt{R_R^2 + s^2 k_S^2 \sigma^2 X_R^2}}, \quad (16)$$

где $\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_R L_S}$ - коэффициент рассеяния машины, позволяющий в выражении (16) учесть индуктивное сопротивление статора.

По данным [4], в реальных схемах машин двойного питания из-за отличного от расчетного распределения токов по обмоткам, в расчеты токов необходимо вводить поправочный коэффициент:

$$\gamma_T = \sqrt{\frac{R_R^2}{R_R^2 + s^2 k_S^2 X_K^2} + \frac{R_R^2 + s^2 k_S^2 X_K^2}{s^2 k_S^2 X_\mu^2}}, \quad (17)$$

где X_μ – индуктивное сопротивление намагничивающей ветви Т-схемы замещения.

Объединив выражения (16) и (17), получим выражение (18) для уточненной зависимости активного тока ротора в асинхронном режиме:

$$I_{Ra} = \frac{U_S k_S s}{\sqrt{R_R^2 + s^2 k_S^2 \sigma^2 X_R^2}} \cdot \gamma_T = \frac{U_S k_S s}{\sqrt{R_R^2 + s^2 k_S^2 \sigma^2 X_R^2}} \cdot \sqrt{\frac{R_R^2}{R_R^2 + s^2 k_S^2 X_K^2} + \frac{R_R^2 + s^2 k_S^2 X_K^2}{s^2 k_S^2 X_\mu^2}}. \quad (18)$$

В соответствии с выражением (18) построим зависимости активного тока ротора в асинхронном режиме без учета зависимости индуктивных сопротивлений от скольжения и с учетом данной зависимости (рисунок 6).

Сравнив зависимости, приведенные на рисунке 6, с известными электромеханическими характеристиками асинхронного двигателя [3], [5], [6], можно прийти к выводу о том, что наличие добавочного напряжения на роторе значительно изменяет электромеханические характеристики машины. Например, видно, что в режиме противовключения МДП (IV координатный квадрант на рисунке 6) ток ротора превышает номинальный, но в меньших пределах, чем для асинхронного двигателя с фазным ротором в естественной схеме включения. Кроме того, на рисунке 6 хорошо виден участок работы машины в режиме неявнополусного синхронного двигателя в окрестностях синхронной скорости.

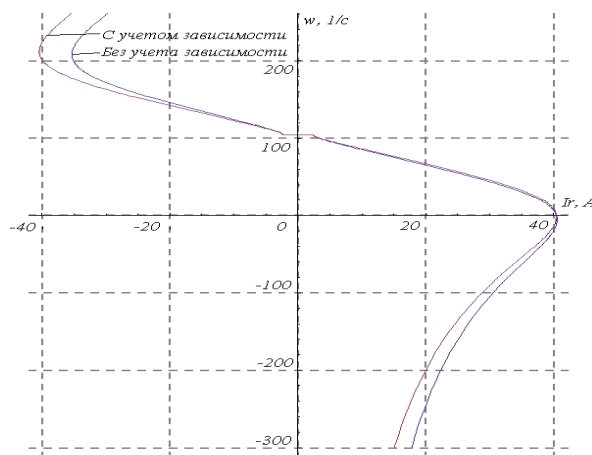


Рисунок 6 – зависимость активного тока ротора в асинхронном режиме

Исходя из проведенного анализа зависимости активного тока ротора в асинхронном режиме, можно прийти к следующим выводам:

- 1) В МДП возможно регулирование скорости при помощи изменения амплитуды и фазы напряжения, подведенного к ротору;
- 2) Изменяя величину амплитуды напряжения на роторе и его знаком (направлением), можно добиться как двигательных, так и тормозных режимов работы машины во всех четырех квадрантах координатной плоскости «момент – скольжение»;
- 3) Изменение фазы напряжения на роторе позволяет изменять жесткость механических характеристик МДП;
- 4) Жесткость рабочих участков механических характеристик МДП незначительно отличается от жесткости механических характеристик АД ФР с роторной станцией.

Библиографический список

1. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
2. Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. [Электронный ресурс]: Асинхронный электропривод шахтной подъемной установки, построенный по схеме машины двойного питания с комбинированным управлением / Сиб. гос. индустр. ун-т; сост.: В.Ю. Островлянич, И.Ю. Поползин. – Электронные данные. – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – Режим доступа: <http://library.sibsiu.ru>.
3. Ключев В. И. Теория электропривода / В.И. Ключев. – Москва: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
4. Онищенко Г.Б., Асинхронные вентильные каскады и машины двойного питания / Г.Б. Онищенко, И.Л. Локтева. – Москва: Энергия, 1979. – 200 с.
5. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
6. Основы автоматизированного электропривода / М.Г. Чиликин, М.М. Соколов, В.М. Терехов, А.В. Шинянский. – Москва: Энергия, 1974. – 568 с.

СЕКЦИЯ 4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	341
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВРЕМЯ-ЧАСТОТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СМЕСЕПРИГОТОВИТЕЛЬНЫМ АГРЕГАТОМ.....	342
Федосенков Д.Б., Симилова А.А. , Федосенков Б.А.	
АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТАТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ С ПЕРЕХОДОМ В ПРОСТРАНСТВО ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ.....	346
Гусев С.С.	
РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	351
Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Ивушкин К.А., Макаров Г.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППАМИ ОБЪЕКТОВ.....	355
Орлова А.С.	
ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ АЙ-ТРЕКЕРА «ФОКУС»	359
Ляховец М.В., Макаров Г.В., Куценко А.И.	
САМООБУЧАЮЩИЕСЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КОБОРГ - СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ.....	363
Соловьев В.И.	
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ.....	370
Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Цыганков Ю.А.	
МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С НЕЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ.....	372
Кунинин П.Н., Рыбаков А.И.	
ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ НАГРУЗОК СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.....	378
Новосельцева М.А., Гутова С.Г., Хорошева Т.А., Казакевич И.А.	
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МОДЕЛЬ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ.....	381
Островляничик В.Ю., Поползин И.Ю.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В АСИНХРОННОМ РЕЖИМЕ.....	385
Островляничик В.Ю., Рыбаков А.И., Поползин И.Ю., Кучик М.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В СИНХРОННОМ РЕЖИМЕ.....	393
Островляничик В.Ю., Рыбаков А.И., Поползин И.Ю., Кучик М.М.	
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «ИНЖИНИРИНГ-МЕТАЛУРГИЯ»	401
Рыбенко И.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА УГЛЯ УЧАСТКА БАРЗАСКИЙ 2 ГЛУШИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	405
Шестакова О.Е., Венгер М.К.	