

**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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В СИНХРОННОМ 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 характеристики машины в синхронном режиме, предложен режим динамического торможения по ротору.

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] 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:

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

Для асинхронного режима работы машины двойного питания независимо задаются амплитуда U_R и фаза δ напряжения, подведенного к ротору, а частота всегда равна частоте скольжения.

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 [3]:

$$\sigma L_R = L_K,$$

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

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

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:

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

Система (7) неудобна для анализа и применения на практике, поскольку идентификация потокосцеплений 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 потокосцеплений ротора и статора (7) на оси системы координат x - y , связанной с полем статора, определяются как:

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

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:

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

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

Выражение (14) определяет механические характеристики машины двойного питания.

При питании ротора машины постоянным напряжением $s=0$. В этом режиме выражение (14) с учетом выражения для критического скольжения примет вид:

$$M = -\frac{3}{2} p_{II} \frac{k_S U_S U_R}{\omega_0 R_R} \cos \delta. \quad (15)$$

Выражение (15) может быть записано и в другом виде. При питании ротора машины постоянным напряжением ток ротора является током возбуждения машины и определяется по выражению $I_R = I_B = \frac{U_R}{I_R}$. В этом случае магнитный поток, который создается током возбуждения в воздушном зазоре, очевидно, определится как $\Phi_B = L_\mu I_B$. Величина ЭДС, наводимой током возбуждения в обмотках статора, можно рассчитать по выражению $E_0 = \omega_0 \Phi_B$. Обозначив угол между вектором напряжения на статоре $\bar{U}_S$ и вектором ЭДС, наводимой в статоре током возбуждения $\bar{E}_0$, как θ , и принимая во внимание, что $\theta = -\left(\delta + \frac{\pi}{2}\right)$ [2],[3], получим выражение для угловой характеристики машины двойного питания, работающей в режиме неявнополюсного синхронного двигателя:

$$M = -\frac{3}{2} p_{II} \frac{U_S E_0}{\omega_0 X_S} \sin \theta. \quad (16)$$

Выражение (16) полностью аналогично выражению для угловой характеристики неявнополюсного синхронного двигателя.

В случае питания ротора от источника напряжения с независимым заданием частоты напряжения, подведенного к ротору, в выражении (14) скольжение и величина напряжения на роторе принимаются постоянными, и выражение (14) определяет угловую характеристику машины двойного питания в синхронном режиме.

В синхронном двигателе момент определяется углом θ , определяющим отставание поля ротора от поля статора и определяемым по выражению $\theta = \varphi_0 - \varphi_{ЭЛ}$, где $\varphi_0 = \omega_0 t$ - угол поля статора. В синхронном режиме работы машины двойного питания частота тока ротора в общем случае не равна 0, что влечет изменение угла сдвига между изображающими векторами напряжений на статоре и роторе под действием нагрузки и изменения скольжения. Поэтому угол между этими векторами φ_{RS} в общем случае не равен углу θ (равенство имеет место только при питании ротора машины постоянным напряжением, см. выше) [2].

В системе координат x-y, связанной с полем статора, уравнения МДП имеют вид (роторные координаты и параметры приведены к статорным):

$$\begin{cases} u_{Sx} = i_{Sx} R_S + \frac{d\psi_{Sx}}{dt} - \omega_0 \psi_{Sy}, \\ u_{Sy} = i_{Sy} R_S + \frac{d\psi_{Sy}}{dt} + \omega_0 \psi_{Sx}, \\ u_{Rx}' = i_{Rx}' R_R' + \frac{d\psi_{Rx}}{dt} - (\omega_0 - \omega) \psi_{Ry}, \\ u_{Ry}' = i_{Ry}' R_S' + \frac{d\psi_{Ry}}{dt} + (\omega_0 - \omega) \psi_{Rx}, \\ m = p_{II} \frac{L_\mu}{L_S} (\psi_{Sy} i_{Rx} - \psi_{Sx} i_{Ry}). \end{cases} \quad (17)$$

Рассмотрим статический режим работы машины ($d/dt=0$). При этом примем, что активное сопротивление статора мало по сравнению с активным сопротивлением ротора и реактивными сопротивлениями обмоток ($R_S=0$) [2].

Обобщенный вектор подведенного к ротору напряжения в системе координат d - q , связанной с ротором, раскладывается на две составляющих:

$$\begin{cases} u_{Rd} = -U_{R\max} \cos \omega t, \\ u_{Rq} = -U_{R\max} \sin \omega t. \end{cases} \quad (18)$$

Обобщенный вектор напряжения на статоре в системе координат, связанной со статором, в синхронном режиме МДП при $f_R \neq 0$, раскладывается на две составляющих:

$$\begin{cases} u_{S\alpha} = U_{S\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_{RS}), \\ u_{S\beta} = -U_{S\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_{RS}). \end{cases} \quad (19)$$

Используя формулы координатных преобразований [2] и опуская промежуточные преобразования, получим выражения для проекций обобщенных векторов напряжений на статоре и роторе на оси системы координат x - y , связанной с полем статора:

$$\begin{cases} u_{Sx} = U_{S\max} \sin \varphi_{RS}, \\ u_{Sy} = -U_{S\max} \cos \varphi_{RS}, \\ u_{Rx} = -U_{R\max}, \\ u_{Ry} = 0. \end{cases} \quad (20)$$

Осуществив подстановку (20) в (17), получим:

$$\begin{cases} U_{S\max} \sin \varphi_{RS} = -\omega_0 \Psi_{Sy}, \\ -U_{S\max} \cos \varphi_{RS} = \omega_0 \Psi_{Sx}, \\ -U_{R\max}' = I_{Rx}' R_R' - (\omega_0 - \omega) \Psi_{Ry}, \\ 0 = I_{Ry}' R_R' + (\omega_0 - \omega) \Psi_{Rx}, \\ M = p_{II} \frac{L_\mu}{L_S} (\Psi_{Sy} I_{Rx}' - \Psi_{Sx} I_{Ry}'). \end{cases} \quad (21)$$

Определим значения проекций обобщенных векторов потокосцеплений статора и ротора:

$$\begin{cases} \Psi_{Sx} = -\left(\frac{U_{S\max}}{\omega_0}\right) \cos \varphi_{RS}, \\ \Psi_{Sy} = -\left(\frac{U_{S\max}}{\omega_0}\right) \sin \varphi_{RS}, \\ \Psi_{Rx} = \frac{L_\mu}{L_S} \Psi_{Sx} + \frac{L_S L_R - L_\mu^2}{L_S} I_{Rx}', \\ \Psi_{Ry} = \frac{L_\mu}{L_S} \Psi_{Sy} + \frac{L_S L_R - L_\mu^2}{L_S} I_{Ry}'. \end{cases}$$

С учетом того, что $\frac{L_S L_R - L_\mu^2}{L_S} = \frac{X_S + X_R'}{\omega_0} = \frac{X_K}{\omega_0}$, выражение (21) примет вид:

$$\begin{cases} R_R' I_{Rx}' - s X_K I_{Ry}' = -U_{R\max}' - s \frac{L_\mu}{L_S} U_{S\max} \sin \varphi_{RS}, \\ s X_K I_{Rx}' + R_R' I_{Ry}' = s \frac{L_\mu}{L_S} U_{S\max} \cos \varphi_{RS}, \\ M = p_\Pi \frac{L_\mu}{L_S} \frac{U_{S\max}}{\omega_0} \left(-\cos \varphi_{RS} I_{Rx}' + \sin \varphi_{RS} I_{Ry}' \right) \end{cases} \quad (22)$$

Разрешив первые два уравнения системы (22) относительно проекций вектора приведенного к статору тока ротора и опустив промежуточные преобразования, получим выражение для момента МДП в синхронном режиме:

$$M = \left(\frac{L_\mu}{L_S} \right)^2 \frac{3s R_R' U_S^2}{\omega_0 (R_R'^2 + X_K^2 s^2)} + \frac{L_\mu}{L_S} \frac{3U_S U_R}{\omega_0 \sqrt{R_R'^2 + X_K^2 s^2}} \sin \theta, \quad (23)$$

где $\theta = \varphi_{RS} + \arctg \frac{s X_K}{R_R'}$.

В выражении для момента МДП, работающей в синхронном режиме, присутствует два компонента: компонент, определяющий естественную механическую характеристику асинхронного двигателя $M_e = \left(\frac{L_\mu}{L_S} \right)^2 \frac{3s R_R' U_S^2}{\omega_0 (R_R'^2 + X_K^2 s^2)}$, и компонент, определяющий синхрон-

ную составляющую момента МДП в синхронном режиме и зависящий от системы управления $M_c = \frac{L_\mu}{L_S} \frac{3U_S U_R}{\omega_0 \sqrt{R_R'^2 + X_K^2 s^2}} \sin \theta$.

Как видно из вышеприведенных соображений и в соответствии с [2], [3], работа МДП в синхронном режиме аналогична работе явнополюсного синхронного двигателя с той разницей, что демпфирующее действие асинхронной составляющей момента МДП в синхронном режиме при $-s_{KP.H} < s < s_{KP.H}$ значительно более выражено, чем таковое для явнополюсной синхронной машины. При $|s| > s_{KP.H}$ асинхронная составляющая момента оказывает раскачивающее воздействие на МДП [2].

В соответствии с полученным выражением для механической характеристикой МДП в синхронном режиме были построены синхронная составляющая момента от скольжения (рисунок 1) и зависимость момента МДП от частоты напряжения на роторе (рисунок 2).

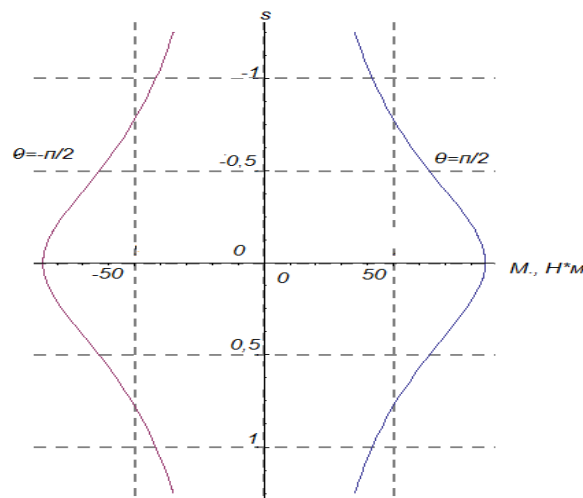


Рисунок 1 – Зависимость синхронной составляющей момента машины от скольжения при $U_R = U_S / k_T$

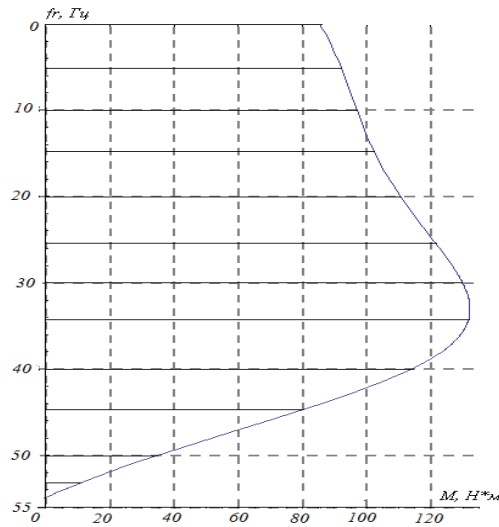


Рисунок 2 – Зависимость момента МДП в синхронном режиме от частоты напряжения на роторе

Видно, что, в отличие от синхронной машины, перегрузочная способность машины изменяется в зависимости от частоты (граница устойчивой работы определяется асинхронной составляющей момента и показана кривой на рисунке 2), и на частоте 50 Гц критический номинальный момент примерно равен номинальному моменту машины, что несколько ограничивает область применения МДП в синхронном режиме в качестве приводного двигателя.

Отдельным подвидом синхронного режима можно также считать динамическое торможение МДП по ротору. Запишем уравнения Кирхгофа для данного режима с учетом того, что статор отключен от сети ($U_S=0$, $\omega_0=0$):

$$\begin{cases} 0 = \bar{I}_S R_S - j\omega L_\mu \bar{I}_R, \\ U_R = \bar{I}_R R_R - j\omega L_R \bar{I}_R - j\omega L_\mu \bar{I}_R, \\ \bar{I}_R = \bar{I}_S + \bar{I}_\mu = \text{const.} \end{cases} \quad (24)$$

Выражения для режима динамического торможения АД по ротору примут вид:

$$\begin{aligned} M_{ДТККР} &= \frac{3(X_\mu I_{ДТ})^2}{2\omega_0(X_R + X_\mu)}, \\ s_{ДТККР} &= \frac{R_R}{X_R + X_\mu}, \\ s_{ДТК} &= \frac{\omega}{\omega_0}. \end{aligned} \quad (25)$$

Используя выражение (14) и полагая $U_R^*=0$ (т.к. $U_S=0$), получим выражение для электро-механической характеристики машины в режиме динамического торможения:

$$M_{ДТ} = \frac{2M_{ДТККР}}{s_{ДТК} / s + s / s_{ДТК}}. \quad (26)$$

Зависимость тормозного момента двигателя при динамическом торможении по ротору от тока динамического торможения приведена на рисунке 3.

Семейство механических характеристик МДП в режиме динамического торможения по ротору приведено на рисунке 4.

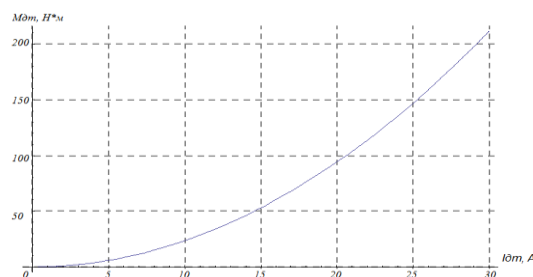


Рисунок 3 – Зависимость тормозного момента от тока динамического торможения

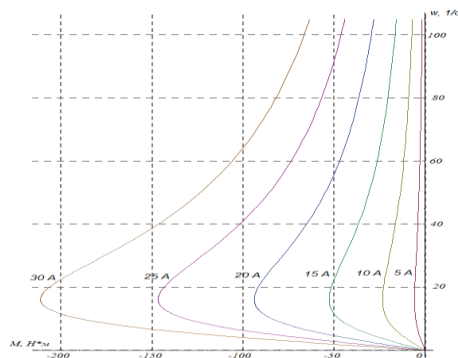


Рисунок 4 – Механические характеристики МДП в режиме динамического торможения

В целом данный режим аналогичен режиму динамического торможения асинхронного двигателя, однако более предпочтителен для МДП.

Таким образом, исходя из проведенного анализа электромеханических характеристик МДП в синхронном режиме, можно прийти к следующим выводам:

1. Реализация синхронного режима МДП осуществляется питанием цепи ротора постоянным напряжением либо напряжением фиксированной частоты, не равной частоте скольжения;
2. Скорость вращения ротора МДП в синхронном режиме определяется частотой напряжения на роторе;
3. Механические характеристики МДП в синхронном режиме в целом аналогичны механическим характеристикам синхронного двигателя, однако перегрузочная способность МДП зависит от частоты питающего ротор напряжения;
4. Демпфирующие свойства МДП в рабочем диапазоне скольжений асинхронной составляющей выше, чем у синхронного двигателя;
5. Для МДП в синхронном режиме возможен особый режим динамического торможения по ротору.

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. Ключев В. И. Теория электропривода / В.И. Ключев. – Москва: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
3. Онищенко Г.Б., Асинхронные вентильные каскады и машины двойного питания / Г.Б. Онищенко, И.Л. Локтева. – Москва: Энергия, 1979. – 200 с.
4. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.

СЕКЦИЯ 4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	341
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВРЕМЯ-ЧАСТОТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СМЕСЕПРИГОТОВИТЕЛЬНЫМ АГРЕГАТОМ.....	342
Федосенков Д.Б., Симикина 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
Кунигин 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-МЕТАЛЛУРГИЯ»	401
Рыбенко И.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА УГЛЯ УЧАСТКА БАРЗАСКИЙ 2 ГЛУШИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	405
Шестакова О.Е., Венгер М.К.	