

УДК 62-83-52: 62-573

С. С. Переверзев, А.В. Нестеровский

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ ГОРНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Применяемый в подавляющем большинстве горных и транспортных машин (ГТМ) серийный нерегулируемый электропривод оснащен асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором (АД). Особенностью пуска АД прямым подключением к сети является возникновение знакопеременных переходных электромагнитных моментов, амплитуда которых во многих случаях значительно превышает пусковой момент АД. Так как режим работы электропривода ГТМ характеризуется частыми пусками, то развиваемые АД знакопеременные электромагнитные моменты увеличивают уровень динамической нагрузки электропривода, вызывают удары и деформации в элементах трансмиссии с их интенсивным износом и поломками и являются одной из основных причин, снижающих надежность и ресурс ГТМ.

Одним из направлений повышения функциональной надежности электроприводов ГТМ является управление состоянием приводных электродвигателей при пуске, направленное на ограничение динамических воздействий со стороны электродвигателей на механическую часть ГТМ.

Основными элементами электротехнического комплекса горных и транспортных машин являются трансформатор, питающий кабель и приводные асинхронные электродвигатели. При этом питание электродвигателей осуществляется через протяженную кабельную сеть, в которой при пуске АД происходит увеличение падения напряжения со снижением напряжения на вторичной обмотке трансформатора. Помимо этого, на переходный процесс пуска АД также влияет характер момента сил сопротивления на валу электродвигателя, зависящий от нагрузки конкретного типа машины. Эти факторы необходимо учитывать при исследовании динамических процессов в электроприводе ГТМ при пуске и анализе эффективности способов управления пуском асинхронного электропривода.

Основным методом исследования динамических процессов в электроприводе ГТМ является компьютерное моделирование. Максимальное приближение результатов компьютерного моделирования к реальным динамическим процессам в электроприводе ГТМ, а, следовательно, получение правильной оценки эффективности способов управления пуском приводных электродвигателей возможно при использовании интегрированной математической модели электрических компонентов электротехнического комплекса ГТМ в составе:

трансформатора, кабельной сети, устройства управления пуском, асинхронного электродвигателя.

Переменные состояния первичной и вторичной цепи трехфазного трансформатора, а также кабельной сети определяются системами дифференциальных уравнений, приведенными в [1]:

$$\begin{aligned} u_{sTA} &= R_{sT}i_{sTA} + \frac{d\psi_{sTA}}{dt}; \\ u_{sTB} &= R_{sT}i_{sTB} + \frac{d\psi_{sTB}}{dt}; \\ u_{sTC} &= R_{sT}i_{sTC} + \frac{d\psi_{sTC}}{dt}; \\ -u_{rTA} &= R_{rT}i_{rTA} + \frac{d\psi_{rTA}}{dt}; \\ -u_{rTB} &= R_{rT}i_{rTB} + \frac{d\psi_{rTB}}{dt}; \\ -u_{rTC} &= R_{rT}i_{rTC} + \frac{d\psi_{rTC}}{dt}; \\ u_{kA} &= L_k \frac{di_{kA}}{dt} + R_k i_{kA}; \\ u_{kB} &= L_k \frac{di_{kB}}{dt} + R_k i_{kB}; \\ u_{kC} &= L_k \frac{di_{kC}}{dt} + R_k i_{kC}, \end{aligned}$$

где: R_{sT} , R_{rT} – активные сопротивления первичной и вторичной обмоток трансформатора; ψ_{sTA} , ψ_{sTB} , ψ_{sTC} – потокосцепления фаз первичной обмотки трансформатора; ψ_{rTA} , ψ_{rTB} , ψ_{rTC} – потокосцепления фаз вторичной обмотки трансформатора; u_{sTA} , u_{sTB} , u_{sTC} – фазные напряжения первичной обмотки трансформатора; u_{rTA} , u_{rTB} , u_{rTC} – фазные напряжения вторичной обмотки; i_{sTA} , i_{sTB} , i_{sTC} – фазные токи первичной обмотки трансформатора; i_{rTA} , i_{rTB} , i_{rTC} – фазные токи вторичной обмотки трансформатора R_k , L_k – активное и индуктивное сопротивления кабельной сети; u_{kA} , u_{kB} , u_{kC} – падения напряжения в фазах кабельной сети; i_{kA} , i_{kB} , i_{kC} – фазные токи кабельной сети.

Для формирования интегрированной математической модели электрических компонентов электротехнического комплекса ГТМ модель АД, приведенную в [1], удобно представить в виде системы, записанной в неподвижной относительно

но статора системе координат α, β :

$$\begin{aligned} \frac{di_{sA}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} (u_{sA} - R_s i_{sA} - e_{rA}); \\ \frac{di_{sB}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} (u_{sB} - R_s i_{sB} - e_{rB}); \\ \frac{di_{sC}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} (u_{sC} - R_s i_{sC} - e_{rC}); \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} &= R_r \frac{L_m}{L_r} i_{s\alpha} - \frac{R_r}{L_r} \psi_{r\alpha} - p\omega \psi_{r\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} &= R_r \frac{L_m}{L_r} i_{s\beta} - \frac{R_r}{L_r} \psi_{r\beta} + p\omega \psi_{r\alpha}; \\ M_{эм} &= \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} (\psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \psi_{r\beta} i_{s\alpha}), \end{aligned}$$

где: $i_{sA}, i_{sB}, i_{sC}, u_{sA}, u_{sB}, u_{sC}$ – фазные токи и напряжения статора; R_s, R_r – активные сопротивления обмоток статора и ротора; $\sigma = 1 - L_m / L_s L_r$ – коэффициент рассеяния; L_m – взаимная индуктивность между статорной и роторной обмотками; L_s, L_r – индуктивности обмоток статора и ротора; p – число пар полюсов; ω – частота вращения ротора; $M_{эм}$ – электромагнитный момент, развиваемый электродвигателем.

Составляющие тока статора ($i_{s\alpha}, i_{s\beta}$) и потокосцепления ротора ($\psi_{r\alpha}, \psi_{r\beta}$) по осям α, β , а также величины e_{rA}, e_{rB}, e_{rC} , определяющие ЭДС, наводимую вращающимся магнитным потоком ротора в фазах статора, определяются в соответствии с выражениями по [2]:

$$\begin{aligned} i_{s\alpha} &= \frac{2}{3} (i_{sA} - \frac{i_{sB} + i_{sC}}{2}); \\ i_{s\beta} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (i_{sB} - i_{sC}); \\ \frac{d\psi_{rA}}{dt} &= \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt}; \\ \frac{d\psi_{rB}}{dt} &= -\frac{1}{2} \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{d\psi_{r\beta}}{dt}; \\ \frac{d\psi_{rC}}{dt} &= -\frac{1}{2} \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{d\psi_{r\beta}}{dt}; \\ e_{rA} &= \frac{L_m}{L_r} \frac{d\psi_{rA}}{dt}; \quad e_{rB} = \frac{L_m}{L_r} \frac{d\psi_{rB}}{dt}; \\ e_{rC} &= \frac{L_m}{L_r} \frac{d\psi_{rC}}{dt}. \end{aligned}$$

При этом состоянии тиристорных коммутационных элементов (ТКЭ), а, следовательно, фаз статорной обмотки определяется разностью потенциалов между нулевыми точками звезды напряжений источника питания и звезды напряжений электродвигателя – u_0 :

$$\begin{aligned} \frac{di_{sA}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} (u_{sA} - u_0 - R_s i_{sA} - e_{rA}); \\ \frac{di_{sB}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} (u_{sB} - u_0 - R_s i_{sB} - e_{rB}); \\ \frac{di_{sC}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} (u_{sC} - u_0 - R_s i_{sC} - e_{rC}). \end{aligned}$$

При непроводящем состоянии ТКЭ, например фазы A , величина u_0 будет определяться выражением $(e_{rA} + u_B + u_C) / 2$, при непроводящем состоянии ТКЭ в двух фазах (A и B) – $u_0 = e_{rA} + e_{rB} + u_C$, где u_A, u_B, u_C – фазные напряжения источника питания.

Выразив уравнения, описывающие состояния первичной и вторичной обмоток трансформатора через составляющие потокосцепления первичной обмотки в неподвижных ортогональных осях α, β – $\psi_{sT\alpha}, \psi_{sT\beta}$ и фазные токи вторичной обмотки – $i_{rTA}, i_{rTB}, i_{rTC}$, после преобразования получим интегрированную математическую модель электрических компонентов электротехнического комплекса ГТМ, включающую в себя описание силового трансформатора, кабельной сети, устройства управления пуском и асинхронного электродвигателя:

$$\begin{aligned} \frac{di_{sA}}{dt} &= \frac{1}{\sigma_T L_{rT} + \sigma L_s + L_k} \\ &\times [u_0 - e_{sTA} - (R_{rT} + R_s + R_k) i_{sA} - e_{rA}]; \\ \frac{di_{sB}}{dt} &= \frac{1}{\sigma_T L_{rT} + \sigma L_s + L_k} \\ &\div [u_0 - e_{sTB} - (R_{rT} + R_s + R_k) i_{sB} - e_{rB}]; \\ \frac{di_{sC}}{dt} &= \frac{1}{\sigma_T L_{rT} + \sigma L_s + L_k} \\ &\times [u_0 - e_{sTC} - (R_{rT} + R_s + R_k) i_{sC} - e_{rC}]; \\ \frac{d\psi_{sT\alpha}}{dt} &= u_{sT\alpha} + R_{sT} \frac{L_{mT}}{L_{sT}} i_{s\alpha} - \frac{R_{sT}}{L_{sT}} \psi_{sT\alpha}; \\ \frac{d\psi_{sT\beta}}{dt} &= u_{sT\beta} + R_{sT} \frac{L_{mT}}{L_{sT}} i_{s\beta} - \frac{R_{sT}}{L_{sT}} \psi_{sT\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} &= R_r \frac{L_m}{L_r} i_{s\alpha} - \frac{R_r}{L_r} \psi_{r\alpha} - p\omega \psi_{r\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} &= R_r \frac{L_m}{L_r} i_{s\beta} - \frac{R_r}{L_r} \psi_{r\beta} + p\omega \psi_{r\alpha}; \\ M_{эм} &= \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} (\psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \psi_{r\beta} i_{s\alpha}), \end{aligned}$$

где: L_{sT}, L_{rT} – индуктивности первичной и вторичной обмоток трансформатора; L_{mT} – взаимная индуктивность между первичной и вторичной об-

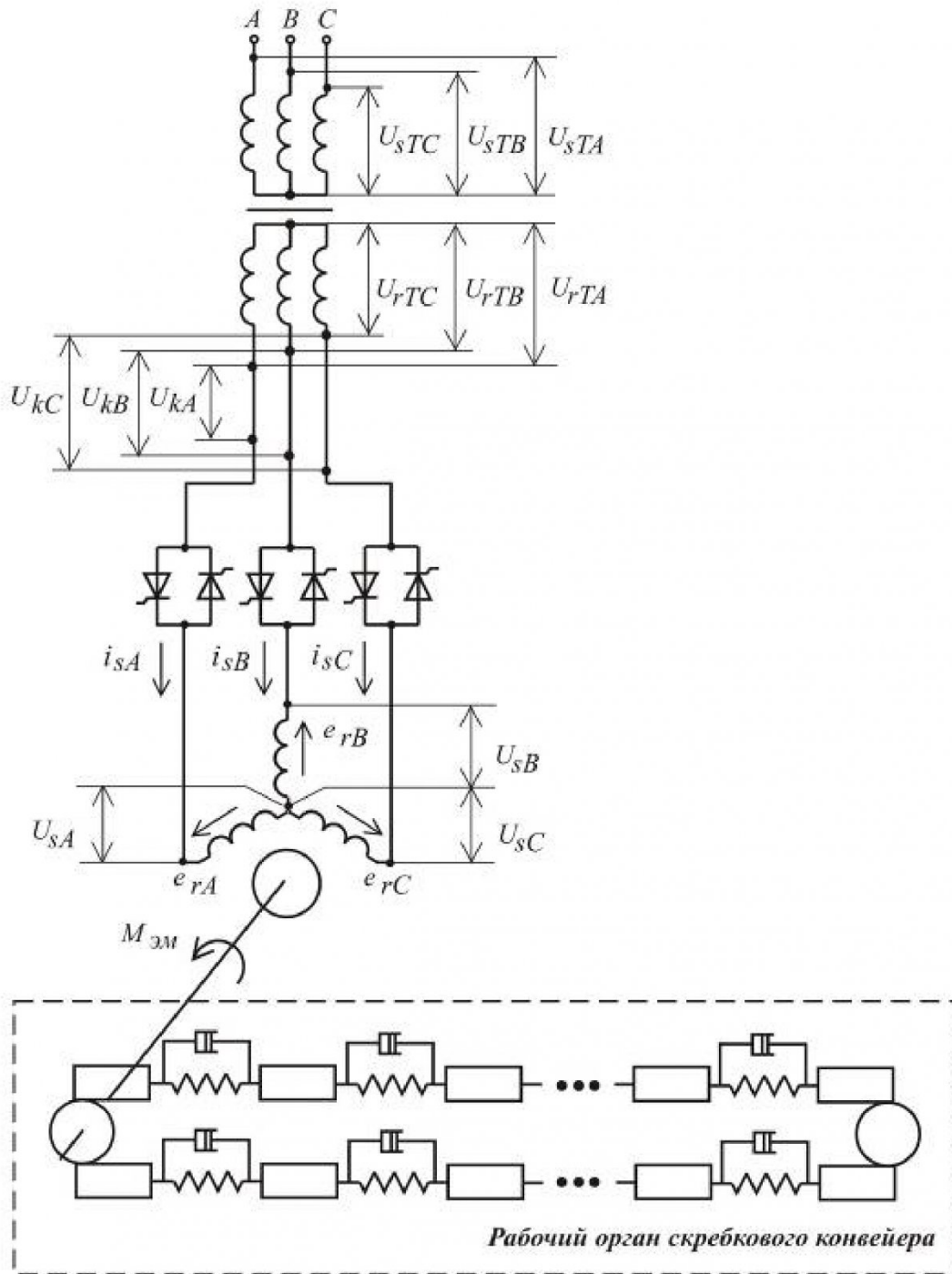


Рис. 1. К формированию математической модели системы: «трансформатор – кабельная сеть – устройство управления пуском – асинхронный электродвигатель – рабочий орган скрепового конвейера»

мотками трансформатора;
 $\sigma_T = 1 - L_{mT} / L_{sT} L_{rT}$ – коэффициент рассеяния трансформатора; u_{sTa} , u_{sTb} – составляющие напряжения первичной обмотки трансформатора по осям α и β ; u_0 – напряжение между нулевыми точками вторичной обмотки трансформатора и статорной обмотки электродвигателя.

Величина u_0 во всех фазах при проводящем состоянии тиристоров определяется в соответ-

вии с выражением: $u_0 = (e_{sTA} + e_{sTB} + e_{sTC}) / 3$, а при непроводящем состоянии тиристора в одной фазе, например в фазе A , справедливо:

$$u_0 = (e_{sTB} + e_{sTC} - e_{rA}) / 2.$$

Данная модель получена с учетом того, что напряжение на зажимах электродвигателя равно напряжению на зажимах вторичной обмотки трансформатора за вычетом падения напряжения в кабельной сети:

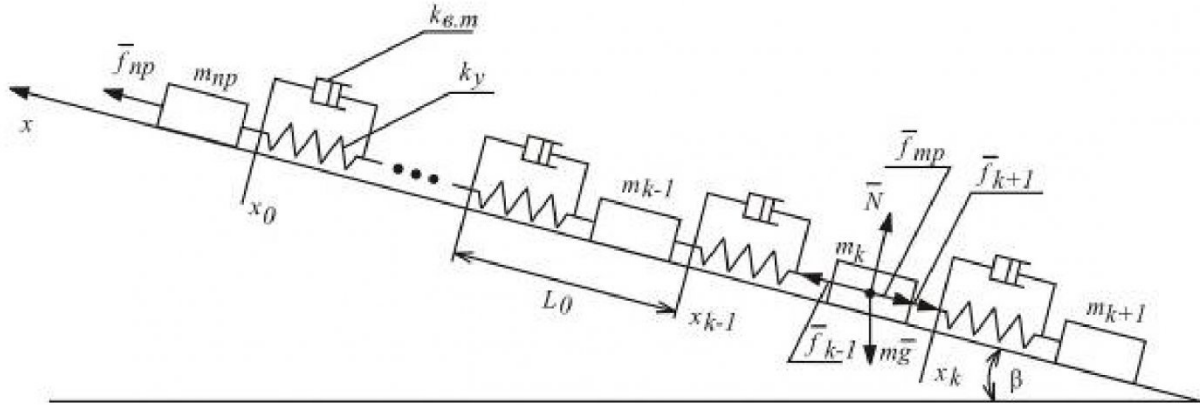


Рис. 2. Дискретное представление рабочего органа скребкового конвейера

$$u_{sA} = u_{rTA} - u_{kA}; u_{sB} = u_{rTB} - u_{kB};$$

$$u_{sC} = u_{rTC} - u_{kC},$$

а также с учетом равенства токов в фазах трансформатора, силового кабеля и электродвигателя:

$$i_{rTA} = i_{kA} = i_{sA}; i_{rTB} = i_{kB} = i_{sB};$$

$$i_{rTC} = i_{kC} = i_{sC}.$$

Величины e_{rA} , e_{rB} , e_{rC} и ток статора в осях α , β определяются в соответствии с вышеприведенными выражениями, а величины e_{sTA} , e_{sTB} , e_{sTC} – по выражениям:

$$e_{sTA} = \frac{L_{mT}}{L_{sT}} \frac{d\psi_{sT\alpha}}{dt};$$

$$e_{sTB} = \frac{L_{mT}}{L_{sT}} \left(-\frac{1}{2} \frac{d\psi_{sT\alpha}}{dt} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{d\psi_{sT\beta}}{dt} \right);$$

$$e_{sTC} = \frac{L_{mT}}{L_{sT}} \left(-\frac{1}{2} \frac{d\psi_{sT\alpha}}{dt} - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{d\psi_{sT\beta}}{dt} \right).$$

Данная модель справедлива не только для случая применения тиристорных коммутационных элементов, но и при использовании в силовой схеме полностью управляемых полупроводниковых приборов, так как состояние статорной обмотки определяется величиной u_0 , которая, в свою очередь, при компьютерном моделировании задается программно, в зависимости от условий переключения коммутационных элементов (условия существования тока в цепи с коммутационными элементами) и от выбранного типа управления (фазовое, квазичастотное, широтно-импульсное – при использовании полностью управляемых полупроводниковых приборов).

При дополнении интегрированной модели математической моделью рабочего органа конкретной машины (рис.1) появляется возможность исследовать эффективность выбранного способа пуска её приводных электродвигателей.

Рассмотрим вопрос управления пусковыми режимами электропривода скребкового конвейера (СК), для которого проблема благоприятного пуска является особенно острой. Для этой цели вос-

пользуемся описанием рабочего органа СК, приведенным в [3].

Математическая модель рабочего органа СК при этом представляется в виде совокупности отдельных элементарных звеньев, которые состоят из трех элементов: масса (m_k), упругий элемент с коэффициентом упругости равным k_y , демпфирующий элемент, обусловленный действием сил вязкого трения, с коэффициентом вязкого трения равным $k_{в.м}$. (рис.2).

На каждую массу элементарного звена (k -й элемент) действуют упругие силы со стороны соседних элементов $f_{k-1} = k_y(x_{k-1} - x_k - L_0)$ и $f_{k+1} = k_y(x_k - x_{k+1} - L_0)$, силы внешнего (сухого) трения $f_{mp}(v_k)$, зависящие от скорости перемещения звена v_k , тангенциальная составляющая силы тяготения $f_m = mg \cdot \sin \beta$, величина которой определяется положением конвейера (углом наклона става конвейера – β), а также сила реакции опоры N (става конвейера).

Правомерность подобного подхода к описанию рабочего органа СК обусловлена тем, что при движении рабочего органа происходит концентрация перемещаемого груза в районе скребков (рис. 3), поэтому принимаем, что суммарная масса m_k (цепь, скребок, груз) распределяется не равномерно по длине элементарного звена L_0 , а сосредоточена в одной его зоне.

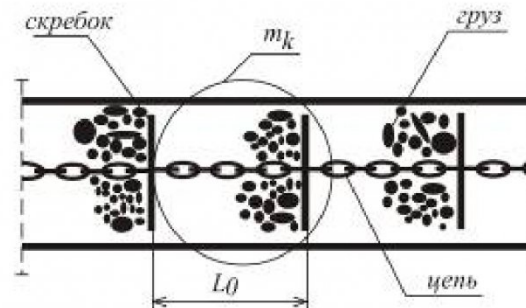


Рис. 3. Участок рабочего органа скребкового конвейера

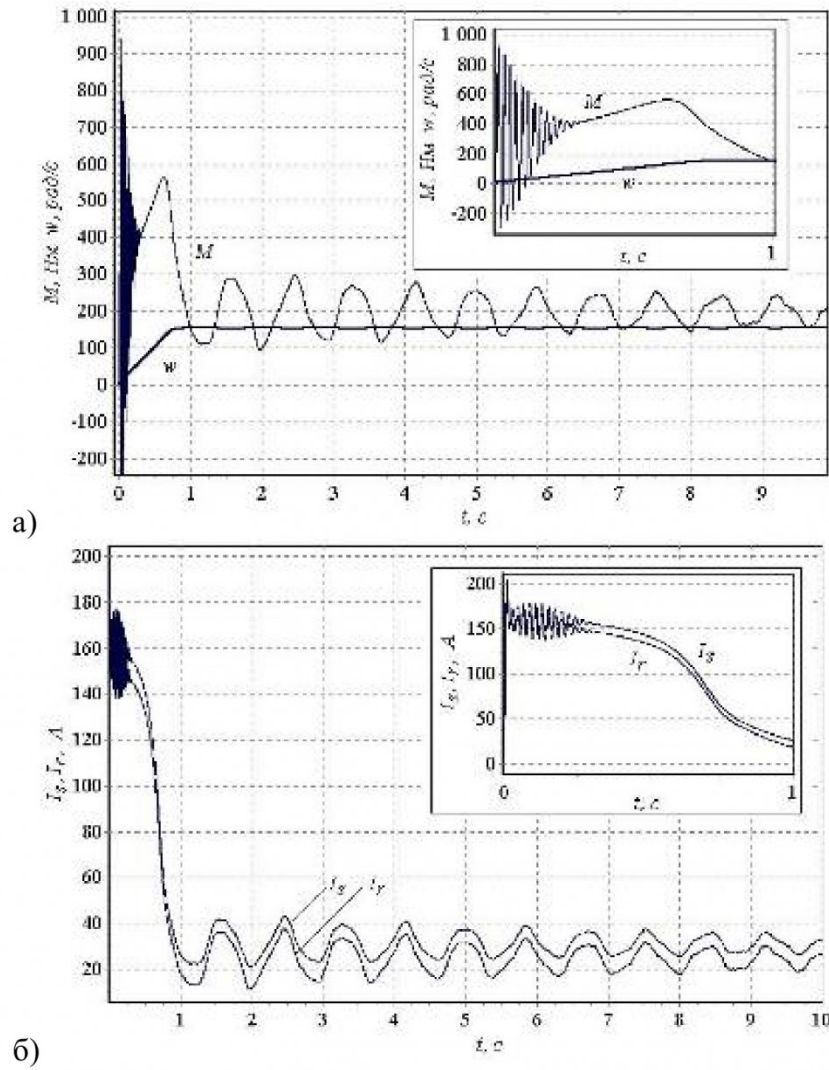


Рис. 4. Прямой пуск приводного электродвигателя скребкового конвейера:
 а) – электромагнитный момент (M) и частота вращения (ω); б) – токи в обмотках статора (I_s) и ротора (I_r)

При такой постановке задачи, уравнения движения рабочего органа скребкового конвейера будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dx_0}{dt} &= v_0; \\ \frac{dv_0}{dt} &= \frac{M_{эм} i_p}{R_{np} m_{np}} - (x_0 - x_1 - L_0) \frac{k_y}{m_{np}}; \\ \frac{dx_1}{dt} &= v_1; \quad \frac{dv_1}{dt} = [k_y (x_0 - x_1 - L_0) - \\ &- k_y (x_1 - x_2 - L_0) - f_{mp}(v_1) - f_m] / m_1; \\ \frac{dx_k}{dt} &= v_k; \quad \frac{dv_k}{dt} = [k_y (x_{k-1} - x_k - L_0) - \\ &- k_y (x_k - x_{k+1} - L_0) - f_{mp}(v_k) - f_m] / m_k; \\ \frac{dx_N}{dt} &= v_N; \quad \frac{dv_N}{dt} = [k_y (x_{k-1} - x_k - L_0) - \\ &- f_{mp}(v_k) - f_m] / m_N; \quad \frac{d\omega}{dt} = \frac{dv_0}{dt} \frac{i_p}{R_{np}}, \end{aligned}$$

где: x_k , v_k , m_k – координата, скорость движения и масса k -ого элемента (рис. 2 и рис. 3); L_0 – длина элементарного звена.

Усилие $f_{np} = \frac{M_{эм} i_p}{R_{np} m_{np}}$, передаваемое со

стороны приводного электродвигателя, задаётся через начальную координату x_0 системы. Здесь i_p – передаточное отношение редуктора; m_{np} – приведенная масса вращающихся частей привода; R_{np} – радиус приведения.

В этих уравнениях не представлено действие сил вязкого трения, так как в первом приближении их влиянием на характер протекания динамических процессов при управляемом пуске асинхронного электропривода ГТМ можно пренебречь.

На рис. 4 представлены графики изменения момента, частоты вращения ротора и тока в обмотках статора и ротора при пуске электродвигателя скребкового конвейера прямым подключением к сети, полученные при компьютерном моделировании. Использовались следующие па-

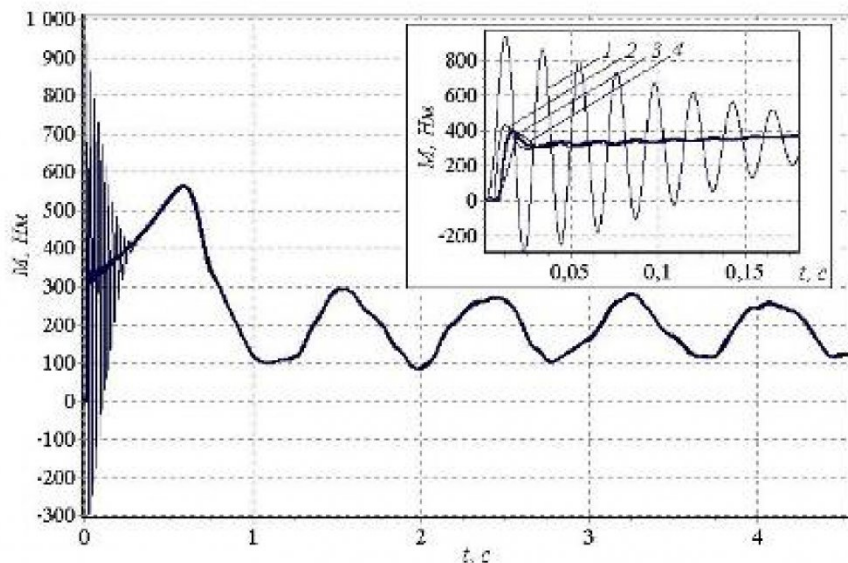


Рис. 5. Электромагнитные переходные моменты при прямом пуске (1), при квазиоптимальном пуске (2), при пофазной подаче напряжения (3), при ШИМ-пуске (4)

раметры: длина конвейера – 100 м, калибр цепи – 18х64, масса одного метра цепи со скребками – 18 кг, масса груза – до 50 кг/м, передаточное отно-

щую переходного электромагнитного момента, при этом достигается уменьшение ударных значений электромагнитного момента $M_{у.у.п}$ и пусково-

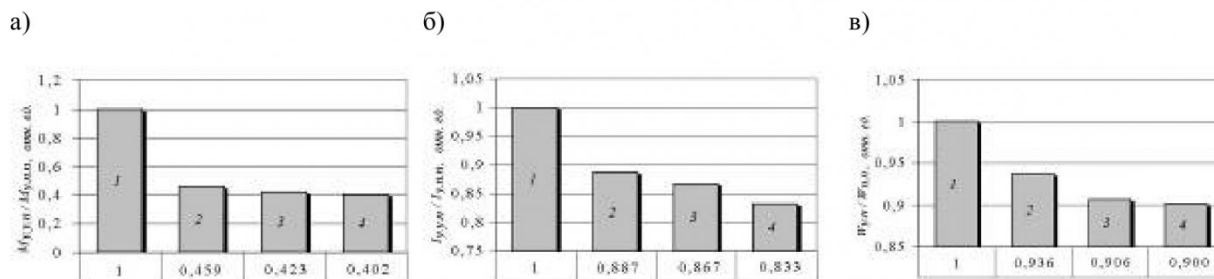


Рис. 6. Сравнение способов пуска приводного электродвигателя СК:

а) – ударное значение электромагнитного момента; б) – ударное значение пускового тока; в) – энергия электрических потерь

шение редуктора $i_p = 20$, рабочий орган приводится в движение асинхронным электродвигателем ДКВ45.

Как видно из рисунка, приводной электродвигатель развивает значительные по величине знакопеременные электромагнитные моменты, приводящие к опасным механическим напряжениям в трансмиссии и тяговой цепи конвейера. При этом пусковые токи в обмотках электродвигателя достигают величин, в несколько раз превосходящих номинальные значения, что негативным образом сказывается на состоянии лобовых частей статорной обмотки.

На рис. 5 приведены переходные моменты при моделировании управляемого пуска АД (пофазный пуск [4], квазиоптимальный пуск [5], ШИМ-пуск [6]). Очевидно, что управляемый пуск АД значительно снижает динамическую составляю-

го тока $I_{у.у.п}$ по сравнению с прямым пуском (см. рис. 6). Приведенные здесь номера соответствуют отмеченным способам пуска на рис. 5.

Результаты компьютерного моделирования управляемого пуска приводного электродвигателя СК также показали, что за счет ограничения пускового тока и уменьшения длительности переходного процесса достигается снижение энергии электрических потерь в АД (рис. 6, в).

Таким образом, повышение функциональной надежности асинхронных электроприводов ГТМ возможно при переходе к управляемому пуску. Для экспериментальной проверки нами было разработано универсальное транзисторное устройство управляемого пуска АД, испытания которого подтвердили приведенные здесь результаты компьютерного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Копылов, И.П.* Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2001. – 327 с.
2. Моделирование асинхронных электроприводов с тиристорным управлением / Л.П. Петров, В.А. Ладензон, Р.Г. Подзолов, А.В. Яковлев. – М.: Энергия, 1977. – 200 с.
3. *Бандурин, А.Н.* Моделирование динамики рабочего органа скребкового конвейера // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-та, 1999. – №2. – С. 46-49.
4. *Петров, Л.П.* Управление пуском и торможением асинхронного двигателя. – М.: Энергоиздат, 1981. – 184 с.
5. Способ пуска асинхронного электродвигателя / Е.К. Ешин, В.Г. Каширских, И.А. Соколов, С.С. Переверзев // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-18: Сб. трудов 18-й Международ. науч. конф.: в 10 т. Т.5. Секция 5 / Под общ. ред. В.С. Балакирева. – Казань: изд-во Казанского гос. технол. ун-та, 2005. – С. 200 – 204.
6. *Каширских, В.Г.* Формирование алгоритма управления плавным пуском асинхронного электродвигателя на основе метода скоростного градиента / В.Г. Каширских, В.М. Завьялов, С.С. Переверзев // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-та, 2005. – № 2 – С. 7 – 9.

□ Авторы статьи:

Переверзев
Сергей Сергеевич
- канд. техн. наук, доц. каф.
электропривода и автоматизации
КузГТУ, Email: pss1980@tut.by,
Тел.8(3842) 39-63-54.

Нестеровский
Александр Владимирович
- к канд. техн. наук, доц. каф.
электропривода и автоматизации
КузГТУ, Email: nsky@tut.by,
Тел.8(3842) 39-63-54.

УДК 628: 621.316.31.019.3

Г.И. Разгильдеев, Е.В. Ногин

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10-6-0,4 кВ

Из [1,2] известно, что распределительные электросети (РЭС) напряжением 10-6-0,4 кВ на территории нашей области общей протяженностью более 21 тыс. км (от 1,2 до 68,5 км) с подстанциями обслуживают три производственных сетевых предприятия: Северо-Восточные, Центральные, Южные электросети (соответственно СВЭС, ЦЭС, ЮЭС), входящие в состав “Кузбассэнерго – РЭС” – филиал ОАО “МРСК Сибири”, СВЭС обслуживает 71,7 % всех электросетей и подстанций, ЦЭС – 16,7 и ЮЭС – 12 %.

Статистика показывает, что при эксплуатации электрооборудования (ЭО) РЭС на территории Кемеровской области ежегодно в среднем имеет место до 18000 аварийных отключений линий электропередачи (ЛЭП) по разнообразным причинам с разной длительностью, а среднегодовой недоотпуск электроэнергии (ЭЭ) из-за этих отключений составляет около 295 тыс. кВт·ч.

Эти данные свидетельствуют об актуальности задачи исследования с целью повышения надежности РЭС и их ЭО.

Анализ аварийных отключений РЭС напряжением 10-6-0,4 кВ за пять лет показал, что они возникают по следующим причинам (в среднем в процентах от общего числа отключений):

- повреждение ЭО РЭС – 18,5;
- повреждение при грозах – 27,5;
- причины неизвестны – 54.

Повреждение ЭО РЭС проявляются в виде механических повреждений кабелей, в дефектах монтажа концевых и соединительных муфт, в разрушениях изоляторов воздушных линий электропередачи (ВЛЭП), в полочках деревянных и железобетонных опор, в повреждении коммутационной аппаратуры и трансформаторов питающих подстанций (ТП), в повреждении проходных изоляторов ТП и другого электрооборудования.

Пути повышения надежности электроснабжения из-за отказов ЭО известны:

- замена устаревшего ЭО на соответствующее современным требованиям по надежности и безопасности;

- повышение надежности ЭО РЭС за счет применения научно обоснованной периодичности и улучшения качества его технического обслуживания.

Реализация первого из этих направлений определяется состоянием экономики как отдельных предприятий – владельцев ЭО РЭС, так и общей экономической ситуацией в стране и в предмет обсуждения настоящей статьи не входит.