

УДК 621.8: 004.94

Субботин О. В., Бакузов М. А.

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА МОСТОВОГО КРАНА С ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ И ЖИВУЧЕСТЬЮ

В настоящее время для подавляющего большинства грузоподъемных кранов в электроприводах их механизмов рациональным является использование асинхронного электропривода, как наиболее простого, дешевого и надежного [1]. Однако на сегодня недостаточно уделено внимания разработкам по обеспечению живучести асинхронного электропривода мостовых кранов при отказах его элементов.

Электропривод механизма подъема является основным информативным техническим устройством, который характеризует нагрузку на кран, а также определяет связь между параметрами двигателя механизма подъема крана и массой поднимаемого груза.

В связи с этим актуальным является разработка структуры и исследование асинхронного электропривода механизма подъема мостовых кранов с повышенной безопасностью и живучестью, как единой электромеханической системы в комплексе с современной системой безопасности на базе микроконтроллерного устройства [2]. При этом микроконтроллер должен выполнять не только функции защиты электропривода от опасных производственных воздействий и регистрации параметров крана, но и функции управления электроприводом, диагностики состояния конструкций, ответственных узлов и агрегатов в процессе работы крана [3].

Цель работы состоит в исследовании асинхронного электропривода механизма подъема крана мостового типа и разработке практических рекомендаций по обеспечению его безопасности и живучести.

Сделан анализ технических решений и способов обеспечения безопасности и живучести нерегулируемых и частотно-регулируемых асинхронных электроприводов механизмов подъема крана [2, 3]. В результате определен способ управления с обеспечением живучести частотно-регулируемого электропривода механизма подъема мостового крана, обеспечивающий работу трехфазного асинхронного двигателя в аварийном двухфазном режиме на основе алгоритма восстановления. Разработана схема его реализации.

Предложенный способ управления позволяет также обеспечить пуск асинхронного двигателя в заданном направлении. Броски тока в обеих фазах в момент переключения структуры электропривода существенно зависят от времени диагностики аварийной ситуации, которое должно быть не более 10 мс.

Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода с обеспечением живучести в аварийном двухфазном режиме приведена на рис. 1.

Преобразователь частоты со звеном постоянного тока выполнен в виде отдельных полумостовых ячеек ПЯ_А, ПЯ_В, ПЯ_С. Контроль в фазах асинхронного двигателя обеспечивается датчиками токов ДТ1, ДТ2, ДТ3. Для выявления отказавшей фазы в схеме предусмотрен блок диагностики полумостовых ячеек, состоящий из датчиков состояния, которые вырабатывают три бита отказа *a*, *b*, *c*, поступающие в систему управления для отключения отказавшей фазы и реализации алгоритма восстановления, который предусмотрен в управляющем микроконтроллере. Микроконтроллер формирует задания на фазные токи I_A , I_B , I_C . Система управления позволяет стабилизировать частоту вращения вала асинхронного двигателя АД, вычислять массу поднимаемого груза, а также непрерывно вести диагностику подшипникового узла приводного двигателя и выявить начало разрушения металлоконструкции крана.

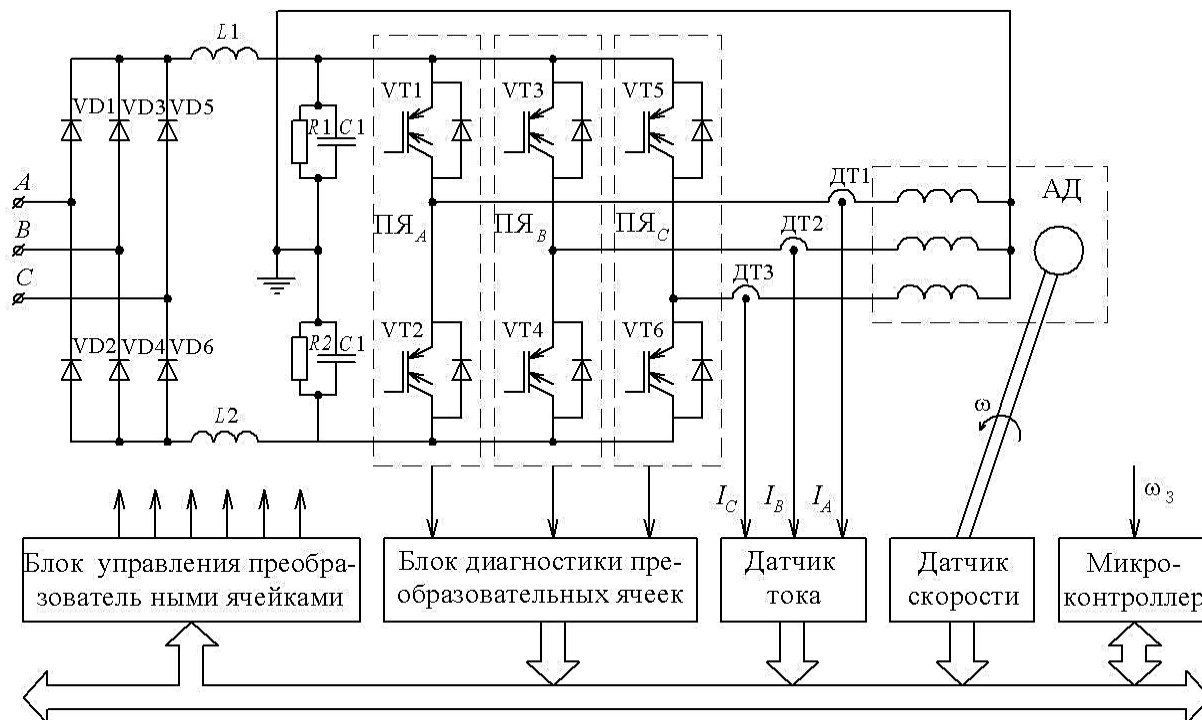


Рис. 1. Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода с обеспечением живучести

На рис. 2 приведена функциональная схема системы управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода с обеспечением живучести.

Задания на токи в фазах асинхронного двигателя (АД) формируются функциональным преобразователем (ФП), через соответствующие регуляторы тока (РТ) и поступают на свой канал регулирования преобразователя частоты (ПЧ), а заданная частота вращения вала двигателя контролируется датчиком скорости (ДС) и передается на элемент сравнения. Величина рассогласования скорости поступает на регулятор скорости (РС) [5].

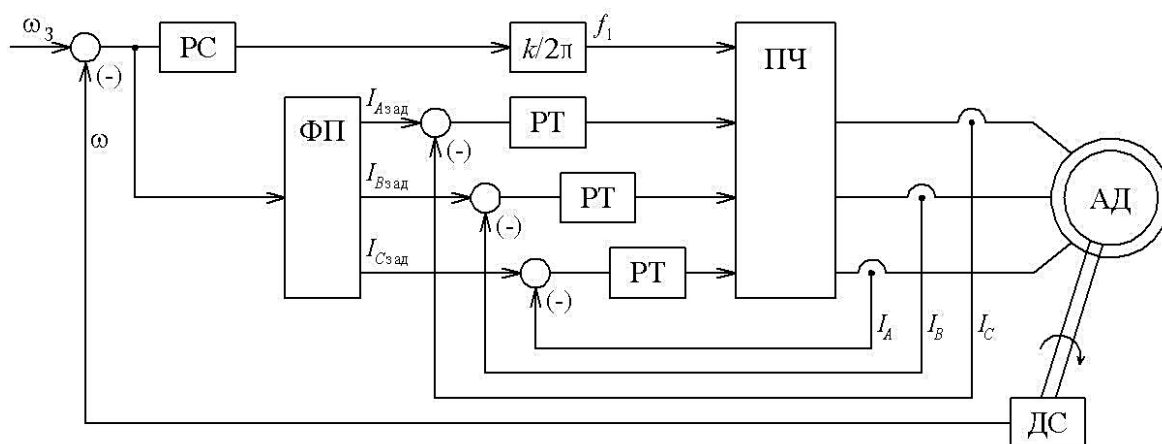


Рис. 2. Функциональная схема системы управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода с обеспечением живучести

Разработана математическая модель для исследования в различных режимах работы асинхронного электропривода механизма подъема крана. Модель отличается тем, что в ней учитываются: упругий характер механической части крана; насыщение асинхронного двигателя; наличие преобразовательного устройства.

При составлении математической модели были приняты следующие допущения: потери в стали пренебрежимо малы; фазные обмотки симметричны и сдвинуты на угол $2/3\pi$ рад; воздушный зазор равномерен; ротор симметричен; питающая сеть – бесконечно большой мощности. Также будем считать, что реальная распределенная обмотка заменяется сосредоточенной, а намагничивающая сила ее будет равна намагничивающей силе реальной обмотки [4].

Математическое описание асинхронного двигателя произведено в трехфазной неподвижной системе координат α, β, γ .

Система дифференциальных уравнений, описывающая электромагнитные процессы в статоре и роторе двигателя:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_A = R_s \cdot i_A + \frac{d\Psi_A}{dt}; \\ U_B = R_s \cdot i_B + \frac{d\Psi_B}{dt}; \\ U_C = R_s \cdot i_C + \frac{d\Psi_C}{dt}; \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 0 = R_r \cdot i_a + \frac{d\Psi_a}{dt} + (\Psi_b - \Psi_c) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3}; \\ 0 = R_r \cdot i_b + \frac{d\Psi_b}{dt} + (\Psi_c - \Psi_a) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3}; \\ 0 = R_r \cdot i_c + \frac{d\Psi_c}{dt} + (\Psi_a - \Psi_b) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где U_A, U_B, U_C – мгновенные значения фазных напряжений статора; $i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c$ – мгновенные значения токов фаз статора и ротора соответственно; R_s, R_r – активные сопротивления статора и ротора; p_n – число пар полюсов асинхронного двигателя; ω – частота вращения вала двигателя; $\Psi_A, \Psi_B, \Psi_C, \Psi_a, \Psi_b, \Psi_c$ – мгновенные значения потокосцеплений фаз статора и ротора.

Потокосцепления для всех фаз:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi_A = L_{SA}i_A - \frac{1}{2}L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C + L_m i_a - \frac{1}{2}L_m i_b - \frac{1}{2}L_m i_c; \\ \Psi_B = -\frac{1}{2}L_m i_A + L_{SB}i_B - \frac{1}{2}L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a + L_m i_b - \frac{1}{2}L_m i_c; \\ \Psi_C = -\frac{1}{2}L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B + L_{SC}i_C - \frac{1}{2}L_m i_a - \frac{1}{2}L_m i_b + L_m i_c; \\ \Psi_a = L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C + L_{RA}i_a - \frac{1}{2}L_m i_b - \frac{1}{2}L_m i_c; \\ \Psi_b = -\frac{1}{2}L_m i_A + L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a + L_{RB}i_b - \frac{1}{2}L_m i_c; \\ \Psi_c = -\frac{1}{2}L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B + L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a - \frac{1}{2}L_m i_b + L_{RC}i_c. \end{array} \right. \quad (2)$$

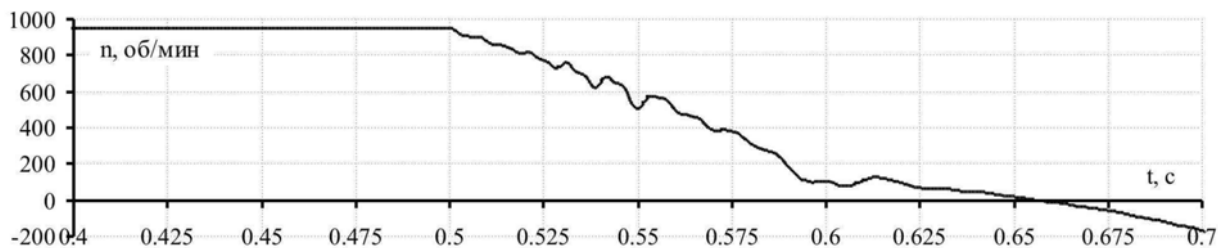
где L_m – максимальная приведенная взаимная индуктивность между фазами статора и ротора; $L_{SA}, L_{SB}, L_{SC}, L_{RA}, L_{RB}, L_{RC}$ – индуктивности фаз статора и ротора соответственно.

Результирующее выражение для электромагнитного момента в трехфазной системе координат примет вид:

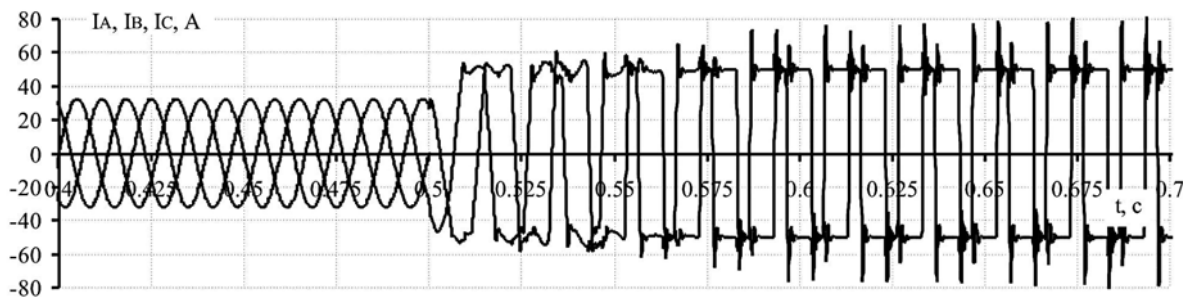
$$M = p_n \frac{\sqrt{3}}{2} L_m \left[(i_A i_c + i_B i_a + i_C i_b) - (i_A i_b + i_B i_c + i_C i_a) \right]. \quad (3)$$

Разработанная математическая модель асинхронного электропривода механизма подъема мостового крана позволила исследовать электропривод, как в нормальных, так и в аварийных режимах работы типа «обрыв фазы».

На рис. 3 показаны временные диаграммы переходных процессов скорости (а) и тока (б) аварийного режима работы асинхронного электропривода.



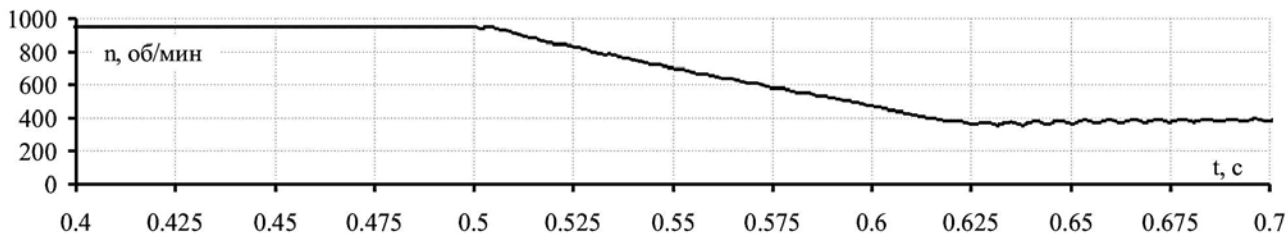
а



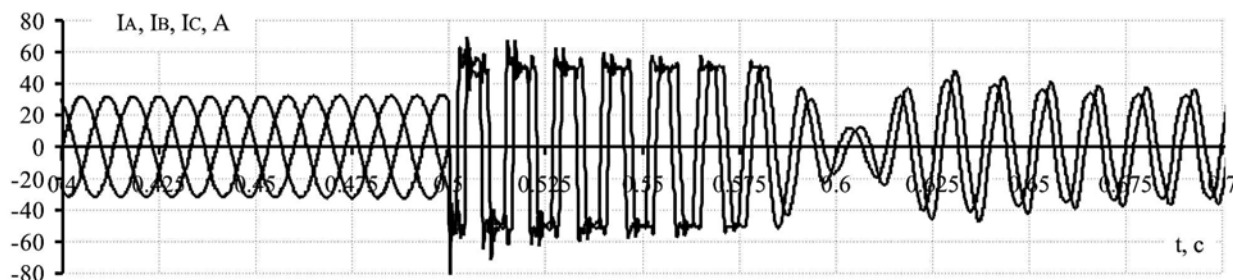
б

Рис. 3. Временные диаграммы переходных процессов скорости (а) и тока (б) аварийного режима работы асинхронного электропривода

На рис. 4 показаны временные диаграммы переходных процессов скорости (а) и тока (б) аварийного режима работы асинхронного электропривода с активизацией алгоритма восстановления



а



б

Рис. 4. Временные диаграммы переходных процессов скорости (а) и тока (б) аварийного режима работы асинхронного электропривода с активизацией алгоритма восстановления

В аварийном двухфазном режиме за счет активизации алгоритма восстановления частота двигателя стабилизируется на пониженной скорости и обеспечивает живучесть электропривода. Это позволяет избежать аварийной ситуации из-за возможного силового спуска, что видно из рис. 3, а.

Броски тока в обеих фазах в момент переключения структуры электропривода существенно зависят от времени диагностики аварийной ситуации, которое должно быть не более 10 мс.

Для устранения ошибки, вносимой отклонениями параметров питающей сети от номинальных, при определении массы поднимаемого груза, рекомендовано введение поправочных коэффициентов по напряжению k_u и по частоте k_f питающей сети.

Схема позволяет также обеспечить пуск двигателя в заданном направлении.

Результаты моделирования свидетельствуют об адекватности разработанной модели процессам, которые происходят в электромеханической системе.

ВЫВОДЫ

Разработана математическая модель асинхронного электропривода механизма подъема крана мостового типа, учитывающая упругий характер механической части крана, насыщение асинхронного двигателя, наличие преобразовательного устройства и позволяющая исследовать электропривод, как в нормальных, так и в аварийных режимах работы.

Выявлены и обоснованы информативные параметры асинхронного двигателя, характеризующие массу груза на крюке механизма подъема крана для контроля и ограничения его грузоподъемности.

Предложен способ управления и обеспечения живучести трехфазного частотно-регулируемого электропривода в аварийном двухфазном режиме за счет активизации алгоритма восстановления, позволяющий также обеспечить пуск двигателя в заданном направлении.

Разработана компьютерная программа, позволяющая исследовать нерегулируемый и частотно-регулируемый асинхронный электропривод механизма подъема мостового крана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключев В. И. *Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов* / В. И. Ключев, В. М. Терехов – М. : Энергия, 1980. – 244 с.
2. Дементьев Ю. Н. *Асинхронный электропривод кранового механизма с микроконтроллерным управлением* / Ю. Н. Дементьев, Г. И. Однокопылов, И. Г. Однокопылов // *Изв. Вузов. Электромеханика.* – 2006. – № 3. – С. 49–53.
3. *Система защиты мостового крана на основе мониторинга параметров электропривода механизма подъема* / Ю. А. Орлов, Ю. Н. Дементьев, Г. И. Однокопылов, Д. Ю. Орлов, И. Г. Однокопылов, Д. П. Столяров. // *Известия ТПУ, № 4, 2008.* – Томск : Изд-во ТПУ, 2008. – С. 119–124 с.
4. Ключев В. И. *Теория электропривода* / В. И. Ключев – М. : Энергоатомиздат, 2001 .
5. Соколовский Г. Г. *Электроприводы переменного тока с частотным регулированием* / Г. Г. Соколовский – М. : АСАДЕМА, 2006. – 358 с.