

Сравнение частотно-токового и частотно-напряженческого способов релейно-векторного управления асинхронными электроприводами с автономным инвертором тока

Выполнен сравнительный анализ частотно-токового и частотно-напряженческого способов релейно-векторного управления асинхронными электроприводами с автономным инвертором тока с широтно-импульсной модуляцией.

В последние годы наблюдается повышенный интерес к асинхронному электроприводу (ЭП) с автономным инвертором тока (АИТ) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), что вызвано его существенными достоинствами [1–4]: во-первых, – простотой реализации режима рекуперации энергии в питающую сеть (осуществляется посредством одного комплекта не-реверсивного управляемого выпрямителя); во-вторых, – пониженной крутизной фронтов статорных напряжений двигателя (в сравнении с ЭП на основе автономного инвертора напряжения с ШИМ), что позволяет исключить недопустимые перенапряжения на обмотках двигателя (которые, как известно, отрицательно влияют на их изоляцию) и заметно продлить общий срок его службы в эксплуатации [5]; в-третьих, – отсутствие электролитического конденсатора в звене постоянного тока преобразователя частоты (ПЧ), что упрощает защиту преобразователя в аварийных режимах и повышает надежность работы электропривода в целом.

Анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы показал, что при построении систем автоматического регулирования асинхронного ЭП с АИТ-ШИМ используются схемы с явными модуляторами [6, 7] или прогнозирующим релейно-векторным управлением [2–4]. Схемам с явными модуляторами присущи недостатки, связанные со сложностью формирования близких по форме к синусоидальной статорных напряжений и токов двигателя и устранением резонансных явлений, возникающих в цепях между емкостями (установленными на выходе АИТ) и двигателем. Применение же прогнозирующего релейно-векторного управления в настоящее время является наиболее перспективным, так как позволяет исключить упомянутые резонансные явления (за счет релейного алгоритма работы системы регулирования), повысить быстродействие и улучшить качество регулирования электромеханических процессов электропривода.

Известное в настоящее время построение систем автоматического управления (САУ) в ЭП с прогнозирующим релейно-векторным управлением базируется на регулировании статорного тока [3] или статорного напряжения [2, 4]. При этом управление, при котором для частотно-регулируемой машины непосредственно задаются фазные статорные напряжения (с соответствующим им обобщенным вектором статор-

ного напряжения \bar{U}_s) общепринято называть «частотно-напряженческим» управлением (ЧНУ), а при котором задаются непосредственно фазные токи (с соответствующим вектором статорного тока \bar{I}_s) – «частотно-токовым управлением» (ЧТУ) [8].

К сожалению, в известной научно-технической литературе отсутствует сравнительный анализ электро-механических процессов асинхронного ЭП с АИТ-ШИМ при применении частотно-токового и частотно-напряженческого способов прогнозирующего релейно-векторного управления, что затрудняет проектирование САУ для указанных ЭП, актуально и востребовано практикой.

Целью данной статьи является сравнение электро-механических процессов асинхронного ЭП с АИТ-ШИМ, формируемых при частотно-токовом и частотно-напряженческом способах прогнозирующего релейно-векторного управления.

Электрическая силовая схема преобразователя частоты (ПЧ) с АИТ-ШИМ показана на рис. 1 и содержит в своем составе: токоограничивающие реакторы L_1 – L_3 ; управляемый выпрямитель (УВ), выполненный в виде трехфазной мостовой схемы на тиристорах V_1 – V_6 ; сглаживающий реактор L_d ; шунт и датчик тока выпрямителя ДТВ; автономный инвертор тока (АИТ), выполненный в виде трехфазной мостовой схемы на запираемых тиристорах V_7 – V_{12} ; блок конденсаторов C_1 – C_3 .

На рис. 2, а, б представлены функциональные схемы рассматриваемого ЭП для ЧТУ и ЧНУ (подробно рассмотренные в [3, 4] соответственно), которые содержат: асинхронный двигатель АД; регуляторы положения РП, скорости РС, потокосцепления ротора РПС и токов РТ, РТ1, РТ2, РТ3; блок регуляторов БР; системы векторного регулирования тока СВРТ и напряжения СВРН; системы управления выпрямителем СУВ и инвертором тока СУИ; датчик положения ДП; блок датчиков БД фазных статорных напряжений и токов; вычислитель модуля ВМ; блок компенсации БК; координатный преобразователь КП и блок идентификации.

Для разработанных функциональных схем, представленных на рис. 2, а, б, созданы имитационные модели асинхронного ЭП с АИТ-ШИМ для частотно-токового и частотно-напряженческого способов управления с прогнозирующим релейно-векторным регулированием, которые учитывают фактическую дискрет-

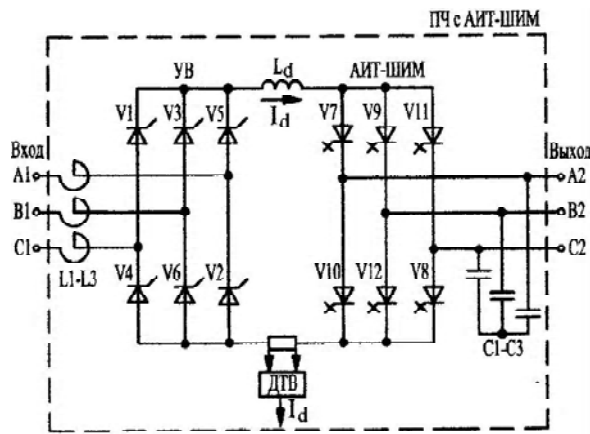
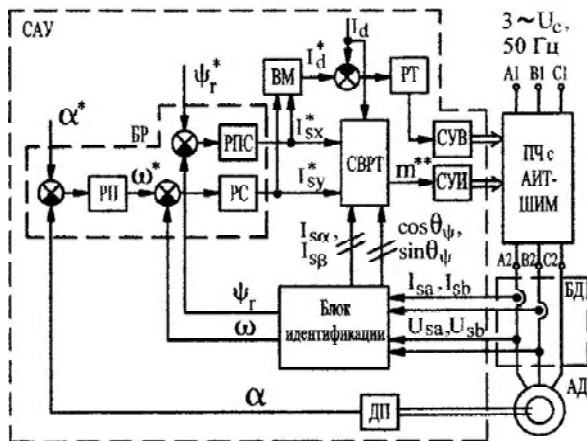
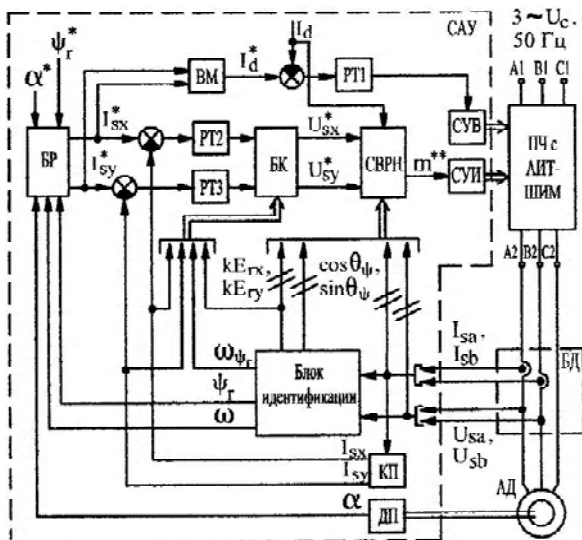


Рис. 1. Схема ПЧ с АИТ-ШИМ



а)



б)

Рис. 2. Функциональные схемы асинхронного ЭП с АИТ-ШИМ: а) – для ЧТУ, б) – для ЧНУ

ность работы силовых ключей управляемого выпрямителя и инвертора. Посредством данных имитационных моделей рассчитаны (для двигателя 4А132S6У3 мощностью 5,5 кВт) стационарные электромагнитные и переходные электрохимические процессы (разгона, наброса и сброса номинальной нагрузки, реверса, торможения, отработки двукратного значения статорного тока, а также больших, средних и малых перемещений вала ротора АД) рассматриваемого ЭП, которые показаны на рис. 3 – рис. 10. На данных диаграммах приняты следующие обозначения: U_{sa}, I_{sa} и Ψ_{ra} – фазные значения статорных напряжения и тока, потокосцепления ротора соответственно; U_d, U_u и I_d – соответственно напряжения на выходе выпрямителя и входе инвертора тока, ток в звене постоянного тока; I_{sa}^*, I_{sb}^* и I_{sa}, I_{sb} – соответственно проекции (на оси неподвижной координатной системы « $\alpha - \beta$ ») заданного \bar{I}_s^* и фактического \bar{I}_s значений обобщенных векторов статорного тока; U_{sa}^*, U_{sb}^* и U_{sa}, U_{sb} – соответственно проекции заданного \bar{U}_s^* и фактического \bar{U}_s значений обобщенных векторов статорного напряжения; M и ω – электромагнитный момент и угловая скорость АД; I_s и Ψ_r – соответственно модули обобщенных векторов статорного тока и потокосцепления ротора; α^* и α – заданное и фактическое значения угла поворота вала.

Из анализа функциональных схем ЭП с АИТ-ШИМ и полученных для них диаграмм электрохимических процессов при ЧТУ и ЧНУ сделаем следующие выводы.

Выводы

1. При прогнозирующем релейно-векторном регулировании для частотно-токового и частотно-напряженческого способов управления достигается высокое быстродействие регулирования статорного тока (характеризующееся временем нарастания (7–10) мс при отработке двукратного задания на активную составляющую обобщенного вектора статорного тока).

2. В техническом отношении схема САУ при частотно-токовом управлении заметно проще, чем при ЧНУ, это объясняется следующим:

- отсутствием блока компенсации внутренних перекрестных связей двигателя, а также дополнительных (как в случае с ЧНУ) регуляторов тока, что в совокупности заметно упрощает техническую реализацию рассматриваемой системы с ЧТУ и повышает её быстродействие [4];

- простотой реализации системы прогнозирующего релейно-векторного регулирования статорного тока (СВРТ), что достигается упрощением математических зависимостей при определении оптимальной комбинации открытых силовых ключей АИТ [3].

3. Частота переключения силовых ключей АИТ при обоих рассматриваемых способах управления является примерно одинаковой и составляет: для динамических режимов – не более 3,5 кГц, а для стационарных режимов – не более 2 кГц. Однако, при

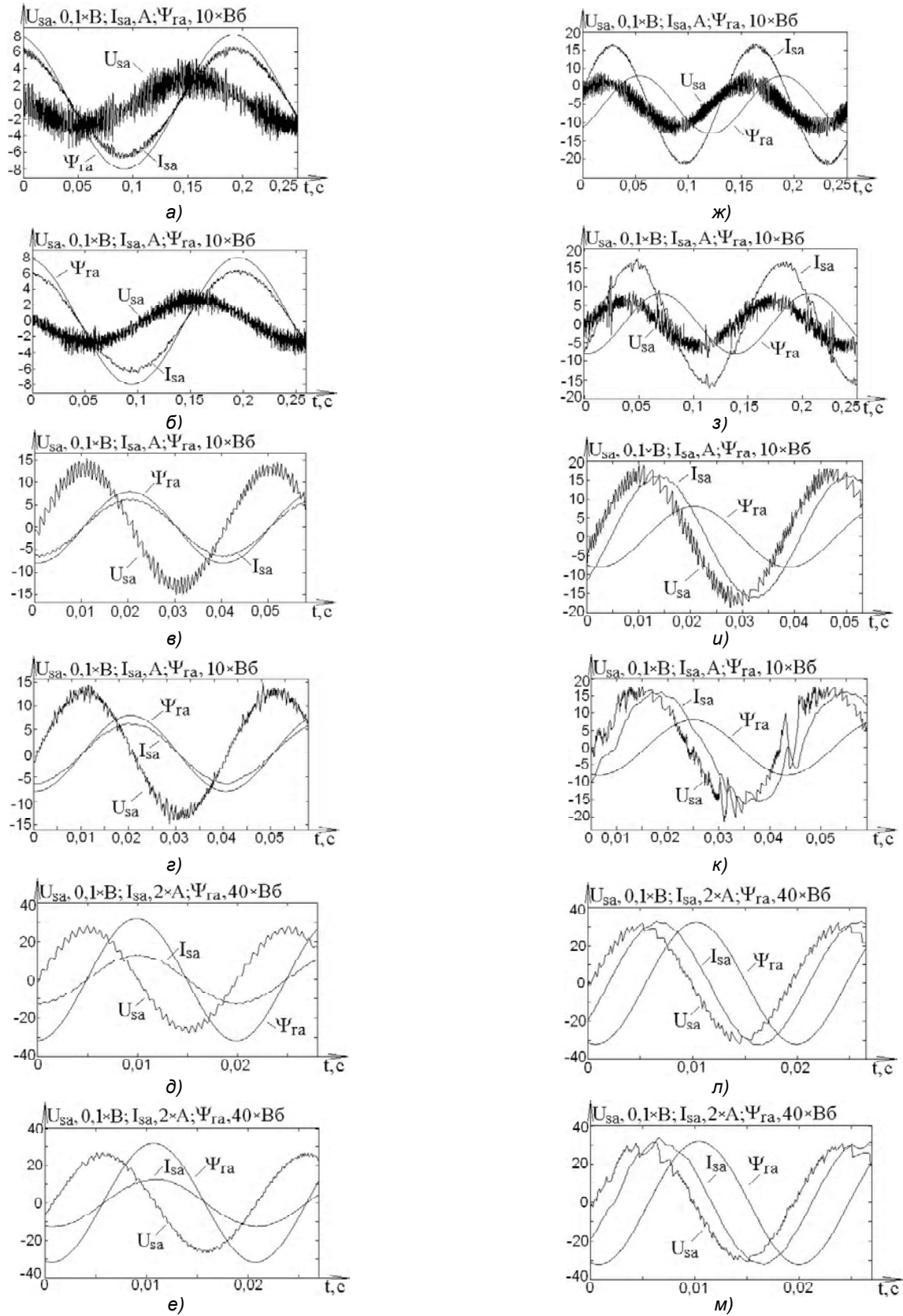


Рис. 3. Стационарные электромагнитные процессы асинхронного ЭП с АИТ-ШИМ: а, б, в, г, д, е – на холостом ходу; ж, з, и, к, л, м – с номинальной нагрузкой; а, в, д, ж, и, л – для ЧТУ; б, г, е, з, к, м – для ЧНУ (при скоростях: а, б, ж, з – $\omega = 0,1\omega_H$; в, г, и, к – $\omega = 0,5\omega_H$; д, е, л, м – $\omega = \omega_H$)

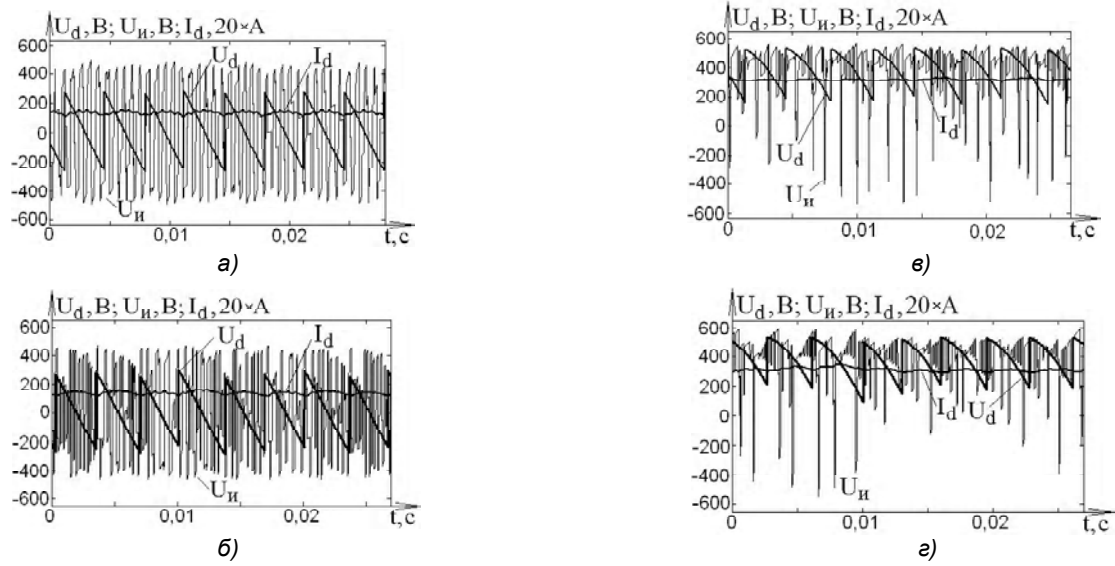


Рис. 4. Стационарные электромагнитные процессы асинхронного ЭП с АИТ-ШИМ при номинальной скорости: а, в – для ЧТУ; б, г – для ЧНУ (а, б – на холостом ходу; в, г – с номинальной нагрузкой)

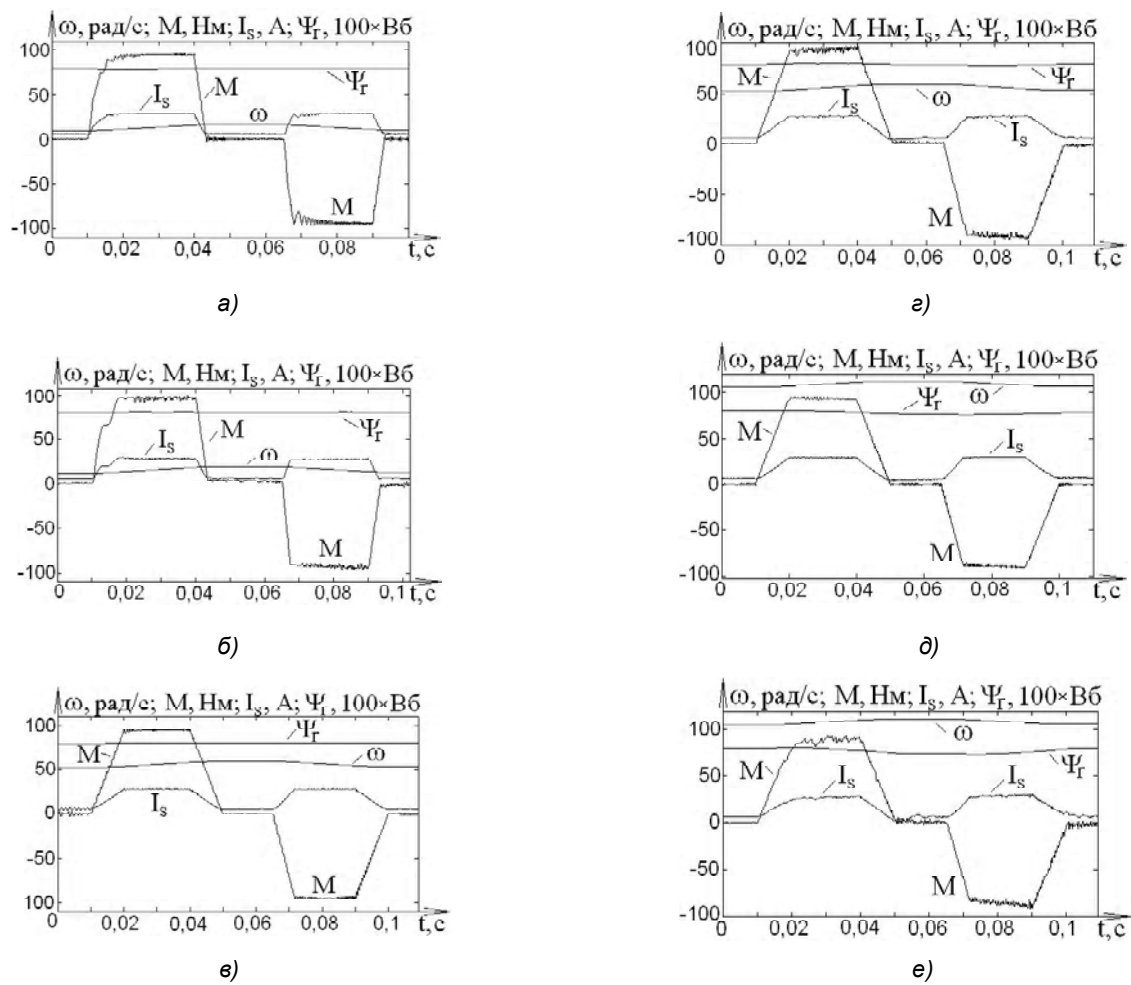


Рис. 5. Переходные процессы обработки ступенчатого задания на активную составляющую I_{s*} статорного тока в асинхронном ЭП с АИТ-ШИМ: а, в, д – для ЧТУ; б, г, е – для ЧНУ (при скоростях: а, б – $\omega = 0,1\omega_n$; в, г – $\omega = 0,5\omega_n$; д, е – $\omega = \omega_n$)

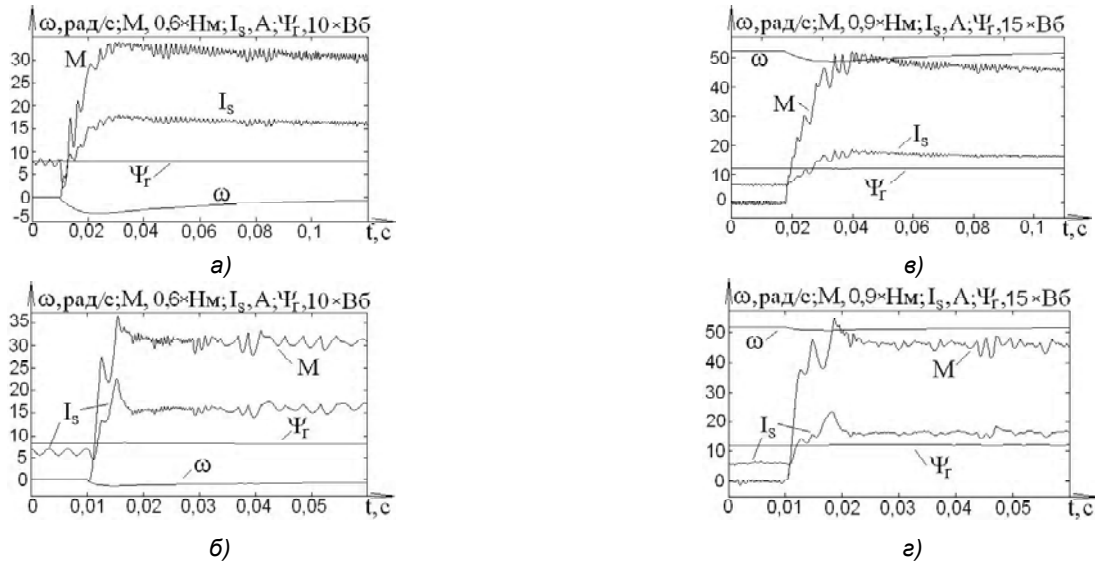


Рис. 6. Электромеханические процессы при ударном приложении номинальной нагрузки: а, в – для ЧТУ; б, г – для ЧНУ (при скоростях а, б – $\omega = 0$; в, г – $\omega = 0,5\omega_H$)

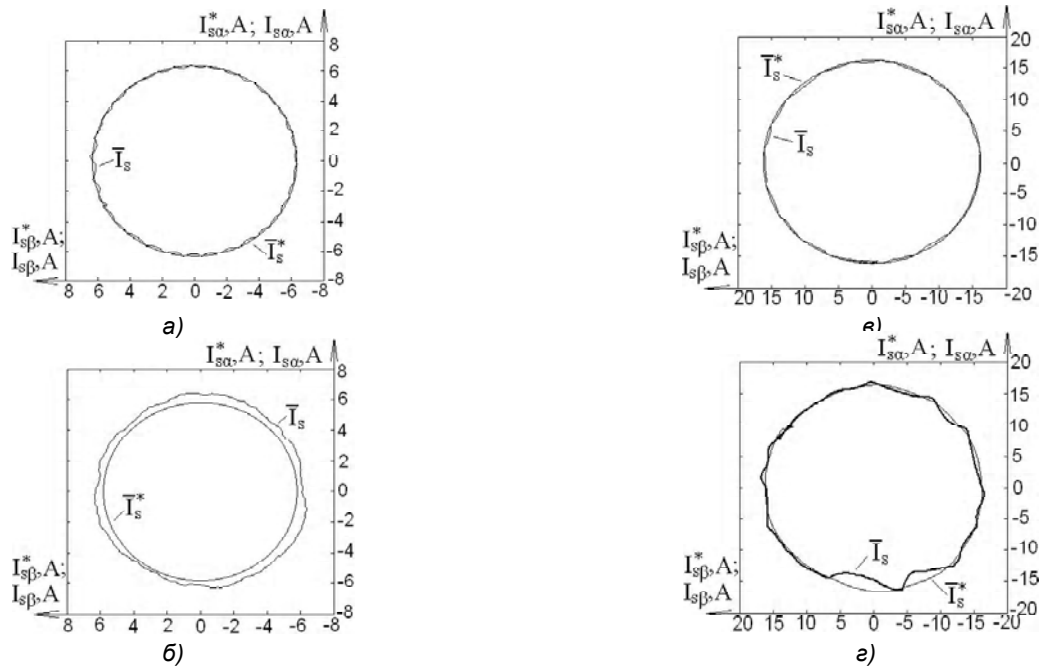


Рис. 7. Годографы изменения заданного \bar{I}_s^* и фактического \bar{I}_s обобщенных векторов статорного тока в стационарных режимах работы ЭП: а, в – для ЧТУ; б, г – для ЧНУ (а, б – на холостом ходу; в, г – с номинальной нагрузкой)

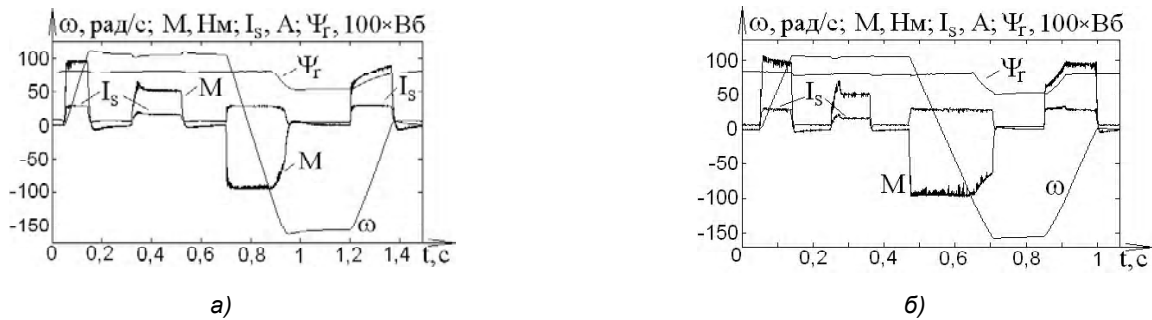


Рис. 8. Переходные электромеханические процессы асинхронного ЭП с АИТ-ШИМ: а – для ЧТУ; б – для ЧНУ

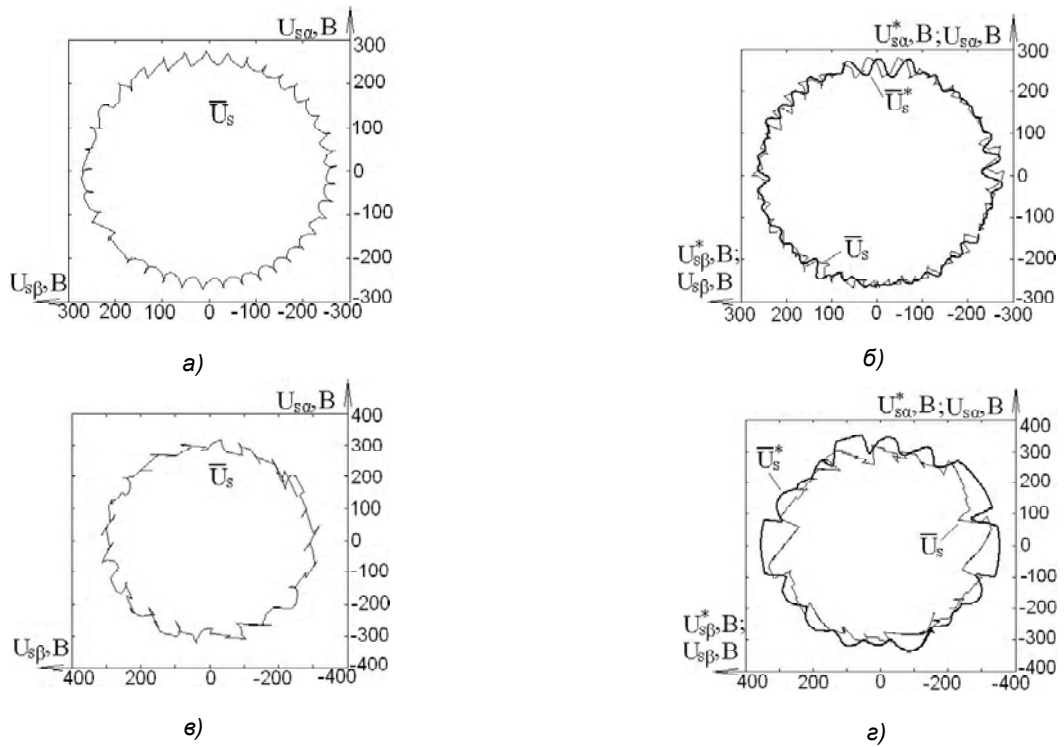


Рис. 9. Голографы изменения заданного \bar{U}_s^* и фактического \bar{U}_s обобщенных векторов статорного напряжения в стационарных режимах работы ЭП: а, в – для ЧТУ; б, г – для ЧНУ (а, б – на холостом ходу; в, г – с номинальной нагрузкой)

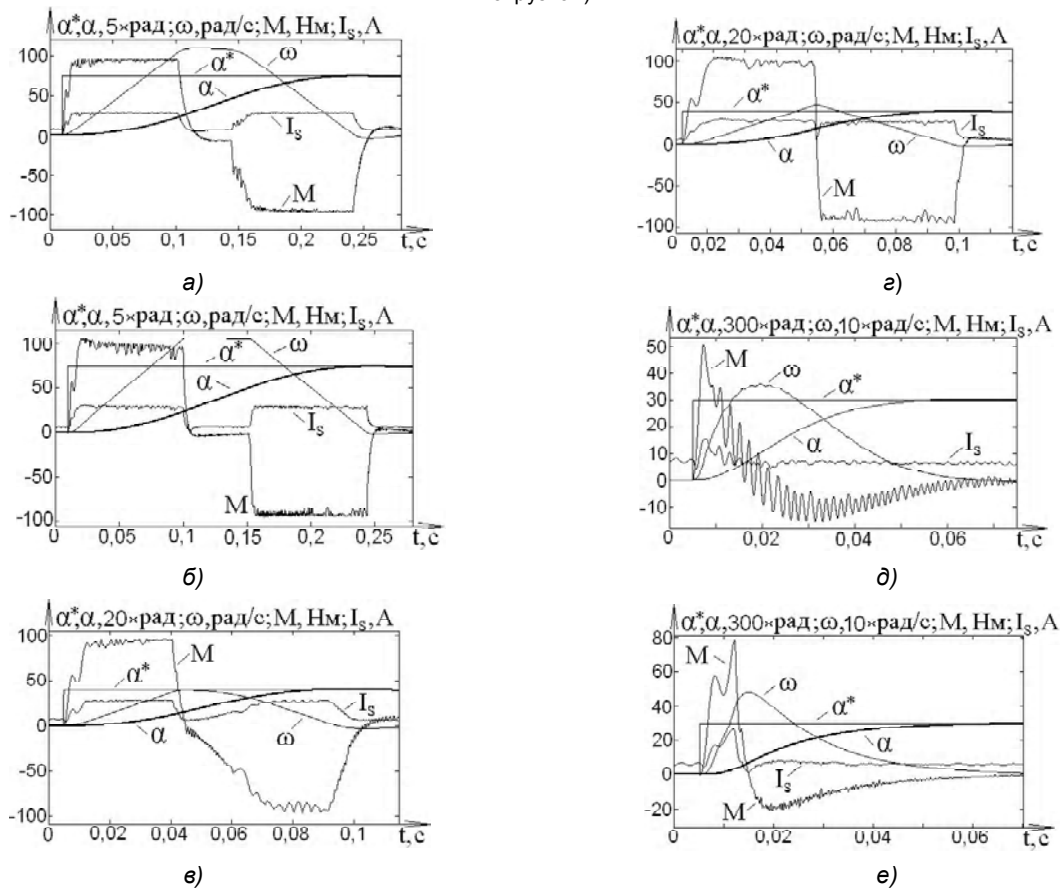


Рис. 10. Переходные электромеханические процессы регулирования положения: а, в, д – для ЧТУ; б, г, е – для ЧНУ (при отработке перемещений: а, б – больших; в, г – средних; д, е – малых)

этом система с ЧНУ обеспечивает функционирование АИТ-ШИМ с относительно большими значениями (100мкс и выше) длительностей межкоммутационных интервалов силовых ключей инвертора, тогда как с ЧТУ работа осуществляется с намного меньшими длительностями упомянутых интервалов (менее 20 мкс). Это требует применения при ЧТУ более быстродействующих силовых ключей инвертора и уменьшенной дискретности цифровой системы управления, чем при ЧНУ.

4. Сравнение полученных электромеханических процессов при обработке перемещений асинхронного ЭП с АИТ-ШИМ с применением ЧТУ и ЧНУ показали, что размах пульсаций электромагнитного момента АД в ЭП с ЧНУ значительно ниже, чем с ЧТУ, что является предпосылкой создания на основе САУ с ЧНУ широкодиапазонного и следящего асинхронного ЭП с АИТ-ШИМ.

5. Для обоих рассматриваемых способов релейно-векторного управления получено высокое качество (соответствующее общепринятым стандартным настройкам) регулирования асинхронного ЭП с АИТ-ШИМ в динамических и стационарных режимах, что предполагает возможность широкого использования данного ЭП в общепромышленном автоматизированном электроприводе при ЧТУ и ЧНУ.

Перечень ссылок

1. Leonhard W. Control of electrical drives. – Springer Verlag, 1996. – 420 p.
2. Шрейнер Р. Т., Ефимов А. А., Мухаматшин И. А. Прогнозирующее релейно-векторное управление активными токовыми преобразователями частоты

- в системах электроснабжения и электропривода // Электроприводы переменного тока: Труды XIII научно-технической конф. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ. – 2005. – С. 137–140.
3. Волков А. В., Косенко И. А. Асинхронный электропривод на основе автономного инвертора тока с широтно-импульсной модуляцией // Техн. електродинаміка. Тем. вип.: Проблеми сучасної електротехніки. – Київ. – 2008. – Ч. 1. – С. 81–86.
 4. Волков А. В., Косенко И. А. Прогнозирующее релейно-векторное регулирование в асинхронных электроприводах с инвертором тока // Вісник КДПУ. – Кременчуг. – 2008. – № 3. – С. 98–102.
 5. Рехенберг К. Влияние частоты пульсаций напряжения преобразователей частоты на срок службы изоляции обмоток частотно-управляемых трехфазных асинхронных двигателей // Техн. електродинаміка. – Киев. – 2000. – № 2. – С. 56–58.
 6. Nonaka S., Neba Y. A PWM GTO current-source converter-inverter system with sinusoidal inputs and outputs // IEEE Trans. IA. – 1989. – Vol. 25. – № 1. – P. 76–85.
 7. Nonaka S., Neba Y. Quick regulation of sinusoidal output current in PWM in converter-inverter system // IEEE Trans. IA. – 1991. – Vol. 27. – № 6. – P. 1055–1062.
 8. Пивняк Г. Г., Волков А. В. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией. – Дніпропетровськ: НГУ, 2006. – 470 с.

Поступила в редакцию 27.06.08

Виконано порівняльний аналіз частотно-струмового і частотно-напругового способів релейно-векторного керування асинхронними електроприводами з автономним інвертором струму з широтно-імпульсною модуляцією.

The comparative analysis of frequency-current and frequency-voltage relay-space vector control methods by asynchronous electric drives based on current source inverter with pulse-width modulation is carried out.