

УДК 621.313

УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ С АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ ПРИ ПРОВАЛЕ СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*Волков А.В., д.т.н., проф., Антонов Н.Л., ассистент
Запорожский национальный технический университет
69063, г. Запорожье, ул. Жуковского, 64
E-mail: nickanto@zntu.edu.ua*

Запропоновано та досліджено автоматичне керування частотно-регульованими асинхронними електроприводами, які містять активний випрямляч, при провалах напруги мережі.

Ключові слова: асинхронний електропривод, провал напруги мережі.

Automatic frequency control of asynchronous drives with active rectifier for voltage lowering are proposed and researched.

Key words: asynchronous drive, voltage lowering.

Введение. В ведущих промышленно-развитых странах мира и в Украине проводятся работы по созданию новых видов статических преобразователей частоты (ПЧ) на быстродействующих силовых полупроводниковых ключах (IGBT, IGCT, GTO, MOSFET и др.) и частотно-регулируемых асинхронных электроприводах (ЧРАЭП) на их основе [1]. Одними из наиболее перспективных ПЧ является автономный инвертор напряжения (АИН) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), получающий питание от активного выпрямителя (АВ), а также – упрощенный двухзвенный непосредственный преобразователь частоты (УДНПЧ). Данные преобразователи частоты обладают следующими особенностями: возможностью двухстороннего обмена энергией с питающей сетью, улучшенными динамическими свойствами, уменьшенными массогабаритными и стоимостными показателями.

Электрическая схема АИН-ШИМ с АВ (рис. 1) содержит токоограничивающие реакторы L , трехфазный активный выпрямитель АВ и автономный инвертор напряжения АИН, пусковые резисторы R (шунтированные контактами контактора K). УДНПЧ, выполненный на 12-ти силовых ключах [2], показан на рис. 2, а) и содержит в своем

составе идентичные по структуре активный выпрямитель АВ и автономный инвертор напряжения АИН. Для работы УДНПЧ необходим входной сетевой фильтр Φ [3], пример схемы которого показан на рис. 2, б). На практике наблюдается широкое применение ЧРАЭП в различных отраслях хозяйства, где питающие сети нестабильны и характеризуются провалами сетевого напряжения. Данные режимы требуют от разработчиков ЧРАЭП учета данных особенностей при управлении, в противном случае, без принятия особых мер, работа ЧРАЭП с АИН-ШИМ с АВ или УДНПЧ становится невозможной. Это объясняется возникновением на практике аварийных режимов в преобразователе (перенапряжений, сверхтоков) и двигателе (ударного электромагнитного момента), что, в свою очередь, вызывает выход из строя силовых элементов ПЧ, редуктора, двигателя [4]. Кроме этого, на практике зачастую требуется осуществлять автоматическое повторное включение (АПВ) указанных электроприводов после кратковременных провалов сетевого напряжения, что особенно важно для необслуживаемых объектов (например, насосных станций), функционирующих без постоянного обслуживающего персонала.

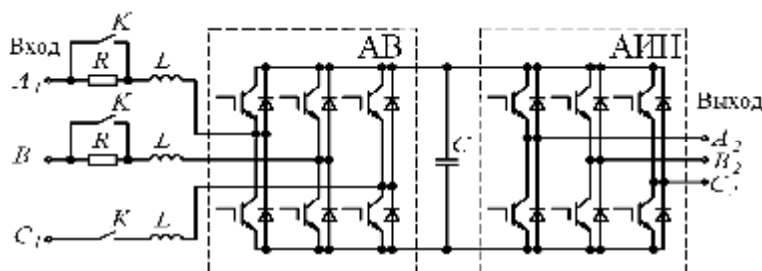


Рисунок 1 – Электрическая схема АИН-ШИМ с АВ

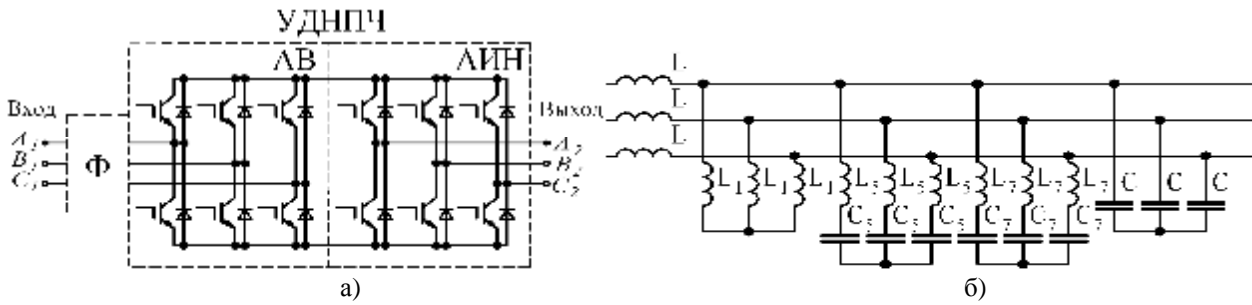


Рисунок 2 – Электрическая схема УДНПЧ (а) и вариант реализации сетевого фильтра Ф (б)

Анализ предыдущих исследований. Способы автоматического управления ЧРАЭП при провале сетевого напряжения в научно-технической литературе рассмотрены недостаточно, а применительно к АИН-ШИМ с АВ или УДНПЧ – вообще отсутствуют. Однако, их разработка и исследование востребованы практикой и актуальны.

Цель работы – разработка и исследование способов автоматического управления, обеспечивающих функционирование ЧРАЭП на основе АИН-ШИМ с АВ или УДНПЧ при провалах сетевого напряжения без выхода из строя силовых элементов, а также – осуществление автоматического повторного включения (АПВ) данных электроприводов после восстановления питающего напряжения.

Материал и результаты исследования. Под провалом сетевого напряжения, согласно нормативным документам, понимается его снижение менее 0,85 от номинального сетевого напряжения. Указанный контроль сетевого напряжения для АИН-ШИМ с АВ или УДНПЧ предложено осуществлять непосредственно на входе АВ.

Для нормальной работы рассматриваемых ПЧ как в рабочем режиме, так и при провалах сетевого напряжения, предложен алгоритм управления переключением силовых ключей АВ. Согласно данному алгоритму в любой момент времени открываются по одному силовому ключу в катодной и анодной группах АВ в тех его фазах, в которых в данный момент времени текущие сетевые фазные напряжения на входе АВ (на конденсаторах С фильтра Ф на рис. 2) максимальны и минимальны соответственно.

При этом для безаварийного переключения силовых ключей АВ (с одной фазы на другую, либо с катодной группы на анодную группу или обратно) необходимо обеспечить бестоковую паузу на выходе АВ. Это обусловлено тем, что при функционировании АВ возникают режимы не только потребления тока из сети, но и – рекуперации энергии в питающую сеть. При снижении разности потенциалов в двух соседних фазах АВ менее, чем на 3 %, формируется бестоковая пауза на выходе АВ (путем замыкания трех силовых ключей в одном полюсе

АИН). При этом никакие переключения полупроводниковых силовых ключей в АВ не производятся до тех пор, пока не наступит указанная бестоковая пауза. После возрастания разности потенциалов двух соседних фаз более, чем на 3%, производится открытие силового ключа в соответствующей фазе АВ (и только после этого разрешается выход АИН из режима формирования бестоковой паузы).

Способ управления при провалах сетевого напряжения (с блок-схемой на рис. 3) характеризуется следующими этапами: отключением ЧРАЭП (после возникновения провала сетевого напряжения) и автоматическим повторным включением (при восстановлении напряжения питающей сети).

Рассмотрим режим отключения ЧРАЭП, осуществляемый при снижении напряжения в звене постоянного тока ниже 0,85 от его номинального значения (поскольку далее нет возможности полноценного управления асинхронным двигателем). Энергии, запасенной в конденсаторах фильтров рассматриваемых ПЧ, оказывается недостаточно для поддержания нормальной работы электропривода при продолжительном провале сетевого напряжения. Поэтому предложено (аналогично используемому в ЧРАЭП с АИН-ШИМ при питании инвертора от диодного или тиристорного выпрямителя [4]) обнулить активную составляющую статорного тока, а энергию, запасенную фильтрами, использовать для поддержания магнитного потока асинхронного двигателя (что впоследствии поможет с максимальным быстродействием восстановить скорость асинхронного двигателя). При этом напряжение в звене постоянного тока после обнуления активной составляющей статорного тока АД будет снижаться с меньшей интенсивностью.

Одновременно с этим осуществляется постоянный контроль соотношения между напряжением U_d в звене постоянного тока (контролируемым через разность текущих максимального и минимального напряжений на входе АВ) и ЭДС ротора E_r двигателя. Поддержание рабочего значения магнитного потока асинхронного двигателя возможно осуществить лишь при условии, что выходное напряжение

активного выпрямителя превышает значение ЭДС ротора двигателя:

$$U_d > \sqrt{3}E_r. \quad (1)$$

При этом во всех возможных режимах работы обязательным остается применение рассмотренного алгоритма обеспечения бестоковой паузы при переключении ключей в АВ (в том числе – при полном отключении силовых ключей АИН).

Рассмотрим алгоритм осуществления АПВ после восстановления сетевого напряжения (которое контролируется при увеличении входного напряжения АВ выше 0,9 от номинального напряжения сети). При этом в УДНПЧ (где фильтр Ф подключен непосредственно к питающей сети) заряд конденсаторов фильтра происходит очень быстро. В отличие от УДНПЧ, в АИН-ШИМ с АВ процесс заряда конденсатора С в звене постоянного тока не может быть настолько быстрым. Это обусловлено тем, что конденсатор в звене постоянного тока необходимо заряжать плавно с использованием пусковых сопротивлений R (чтобы избежать перенапряжений на

входе АИН, которые могут вызвать выход из строя силовых полупроводниковых ключей инвертора). Для приводов малой мощности это время может составлять от десятых долей секунд, а для большой мощности – до 5÷10 с и более. В последнем случае указанное увеличенное время заряда конденсатора С фильтра существенно влияет на продолжительность общего времени восстановления нормальной работы ЧРАЭП с АИН-ШИМ с АВ после окончания провала сетевого напряжения.

После восстановления сетевого напряжения производится намагничивание двигателя до номинального магнитного потока (путем разрешения работы силовых полупроводниковых ключей АИН и функционирования контуров регулирования намагничивающей составляющей статорного тока и потокосцепления). При восстановлении магнитного потока до рабочего значения, прекращает обнуляться активная составляющая статорного тока двигателя и осуществляется разгон до необходимой скорости, заданной технологическим процессом.

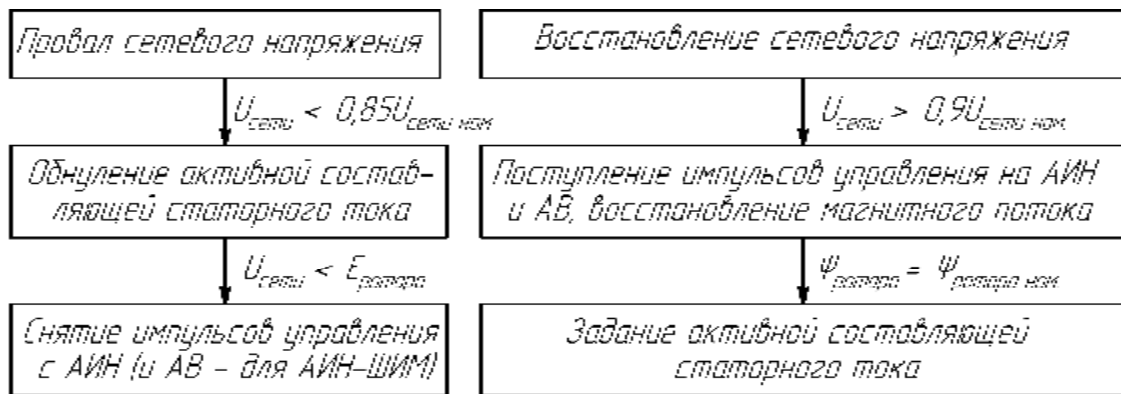


Рисунок 3 – Блок-схема способа управления ЧРАЭП при провале сетевого напряжения

Рассмотренное автоматическое управление в режимах кратковременных провалов сетевого напряжения позволяет без увеличения установленной мощности силовых ключей (следовательно, завышения стоимостных и массогабаритных показателей) преобразователей частоты реализовать надежное и без выхода из строя элементов функционирование ЧРАЭП на основе АИН-ШИМ с АВ или УДНПЧ при провалах сетевого напряжения.

С использованием разработанного способа автоматического управления при провалах питающего напряжения и с применением имитационной модели ЧРАЭП указанными ПЧ [6] осуществлены расчеты электромеханических процессов в рассматриваемом ЭП для электродвигателя 4А132S6У3 (мощностью 5,5 кВт). При этом реализовывалось релейное векторное управление в заданных токовых «коридорах»

для намагничивающей и активной составляющих обобщенного вектора статорного тока [5].

Результаты данных расчетов приведены на диаграммах на рис. 4 и рис. 5, где: ω – частота вращения (скорость) ротора двигателя; M – электромагнитный момент; Ψ_r – модуль потокосцепления ротора двигателя; E_r – модуль ЭДС ротора; U_{SA} – фазное статорное напряжение двигателя; I_{SA} – фазный статорный ток двигателя; U_d – напряжение звена постоянного тока; I_A – сетевой фазный ток; U_A – сетевое фазное напряжение. Упомянутыми диаграммами иллюстрируются следующие режимы работы ЧРАЭП: на рис. 4 – провал (до нуля) сетевого напряжения длительностью $t=0,5$ с для УДНПЧ (а) и для АИН-ШИМ с АВ (б); на рис. 5 – провал (до нуля) сетевого напряжения длительностью $t=0,9$ с для УДНПЧ (а) и для АИН-ШИМ с АВ (б).

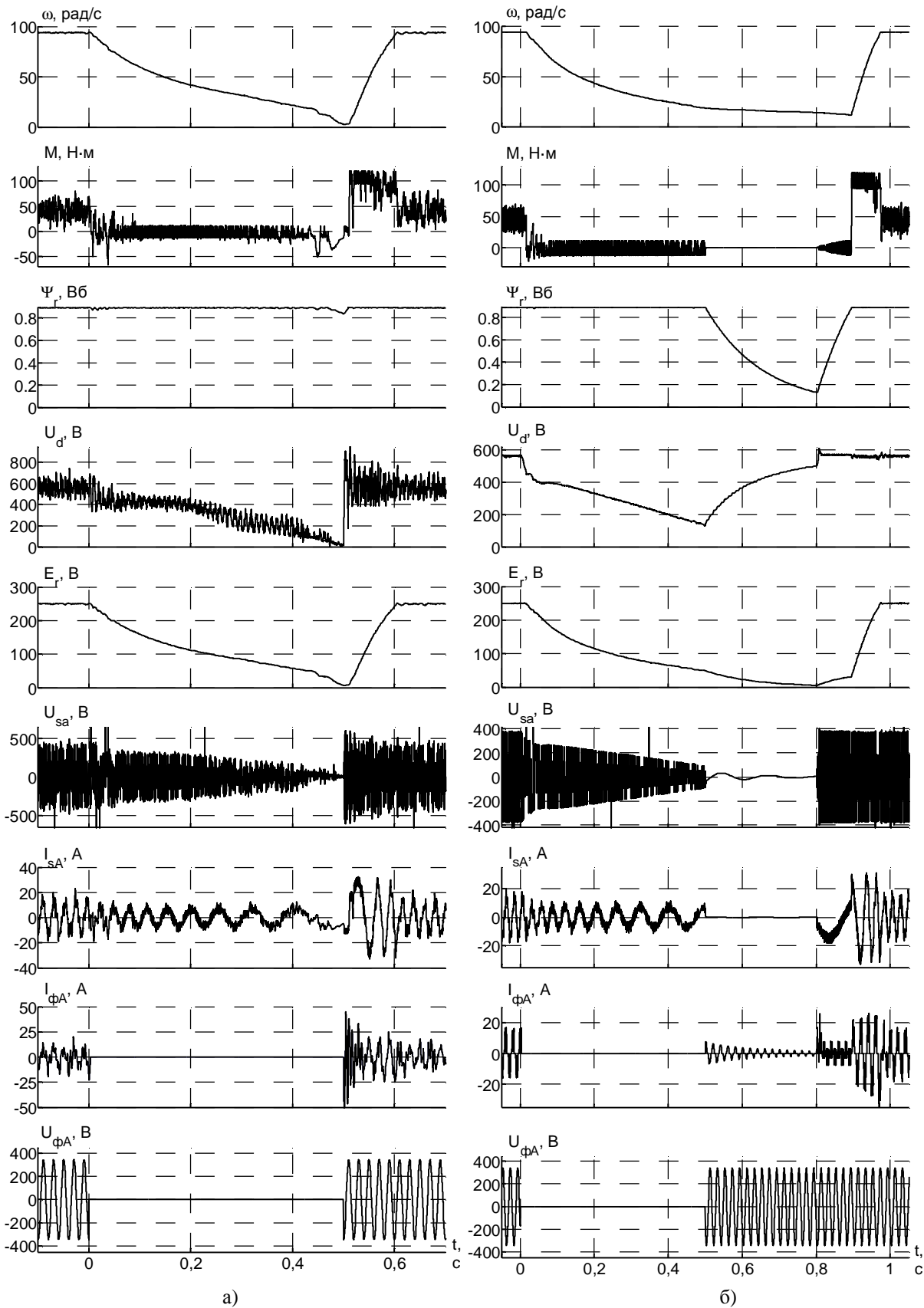


Рисунок 4 – Електромагнітні та електромеханічні процеси при провалі мережного напруги тривалістю 0,5 с. (а – для УДНПЧ, б – для АИН-ШИМ при питанні от АВ)

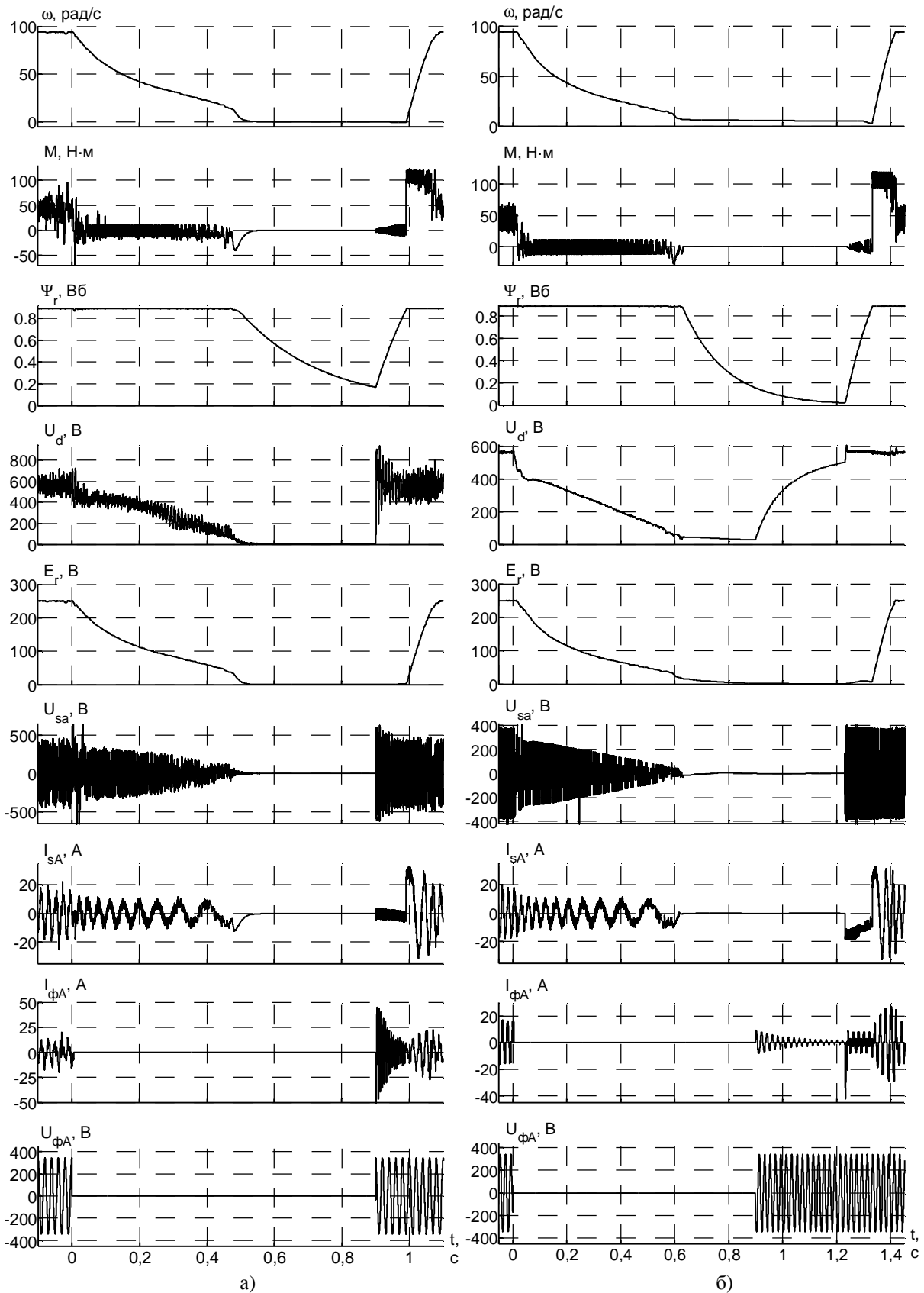


Рисунок 5 – Електромагнітні та електромеханічні процеси при провалі мережевого напруги довільністю 0,9 с. (а – для УДНПЧ, б – для АИН-ШИМ при питанні от АВ)

Выводы. Применение разработанных алгоритмов позволяет исключить выход из строя силовых элементов ЧРАЭП, выполненных на основе АИН-ШИМ с АВ и УДНПЧ, при провалах сетевого напряжения, а также – осуществить автоматическое повторное включение этих электроприводов после восстановления сетевого напряжения с максимально возможным быстродействием.

В результате исследования режимов провалов сетевого напряжения для ЧРАЭП с УДНПЧ и АИН-ШИМ установлено, что при малых длительностях времени провалов (менее 0,5 с) электропривод с АИН-ШИМ при питании от АВ дольше сохраняет свою работоспособность. При средних значениях длительности провалов (от 0,5 до 1 с) время выхода в рабочий режим у ЧРАЭП с УДНПЧ и ЧРАЭП с АИН-ШИМ примерно одинаковы. При больших длительностях провалов сетевого напряжения (более 1 с) более быстрое восстановление рабочих режимов (по окончании провала сетевого напряжения) наблюдается для ЧРАЭП с УДНПЧ (поскольку в ЧРАЭП с АИН-ШИМ при питании от АВ продолжительнее время затрачивается на заряд конденсатора фильтра в звене постоянного тока).

ЛИТЕРАТУРА

1. Хрисанов В.И., Бржезинский Р. Анализ состояния и перспектив развития силовой электроники и электропривода (по материалам международной конференции ЕРЕ-РЕМС'2002) // Электротехника. –

2003. – №6. – С. 10-15.

2. Пивняк Г.Г., Волков А.В. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией. – Днепропетровск: НГУ. – 2006. – 470 с.

3. Антонов Н.Л. Улучшение коэффициента мощности асинхронного электропривода с упрощенным ДНПЧ-ШИМ // Электротехника и электроэнергетика. – 2007. – №1. – С. 43-52.

4. Метельский В.П., Лохматов А.Г. Управление частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами при просадках и провалах питающего напряжения // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2005. – Вип. № 4(33). – С. 57-59.

5. Волков А.В., Антонов Н.Л. Усовершенствованное релейное векторное регулирование статорного тока в асинхронном электроприводе с ДНПЧ-ШИМ // Сборник научных трудов Днепропетровского государственного технического университета (технические науки). Тем. вып. «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – 2007. – С. 344-345.

6. Волков А.В., Антонов Н.Л. Цифровая модель двухзвенного непосредственного преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией, нагруженного на асинхронный двигатель // Электротехніка та електроенергетика. – 2003. – Вип. №2. – С. 67-71.

Стаття надійшла 19.04.2008 р.