

УДК 621.313.333

Кулагін Д.О., аспірант Запорізького національного технічного університету, м. Запоріжжя
Качур О.С., аспірант Запорізького національного технічного університету, м. Запоріжжя
Андрієнко П.Д., д-р тех. наук, НДІ «Перетворювач», м. Запоріжжя

Розробка моделі модернізованого частотно-керованого тягового електроприводу зі змінним алгоритмом керування дизель-потяга ДЕЛ-02

Розроблено модель системи асинхронного електропривода дизель-потяга з додатковим внутрішнім зворотнім зв'язком за частотою поля двигуна.

Разработана модель системы асинхронного электропривода дизель-поезда с дополнительной внутренней обратной связью по частоте поля двигателя.

The model of system for diesel- locomotive asinhronical drive with additional internal back connection on motor field frequency is elaborated.

В даний час дизель-потяг ДЕЛ-02 (моторні вагони) обладнаний електропередачею змінного струму. Живлення асинхронних двигунів (АД) індивідуальне - від свого автономного інвертора напруги. При рушанні й розгоні поїзда регулювання напруги АД проводиться методом широтно-імпульсної модуляції з наступним переходом на амплітудне регулювання, що забезпечує мінімальні енерговитрати в електропередачі й малі пульсації моменту при розгоні. Мікропроцесорний блок керування забезпечує роботу електропередачі в режимах тяги й гальмування за оптимальними законами.

Схема керування АД, що зараз використовується в дизель-потязі ДЕЛ-02(рис.1) складається з дизель-генератора ДГ, некерованого випрямляча НВ, блоку фільтрів БФ, автономного інвертора напруги АІН, синхронного генератора СГ. Окрім того в каналі керування інвертором міститься комплексний пристрій автоматики КУА, до якого приходять сигнали зворотного зв'язку за швидкістю та активним струмом з АД, та сигнал датчика завантаження дизеля ДЗД. До складу КУА входить задатчик інтенсивності та регулятор швидкості. Сигнали, що приходять в КУА подаються на регулятор швидкості, який в свою чергу через задатчик інтенсивності формує частоту перемикання ключів та коефіцієнт модуляції для автономного інвертора напруги, які подаються в мікропроцесорну систему управління (МПСУ). МПСУ обробляє завдання на частоту перемикання ключів АІН і

коефіцієнт модуляції та безпосередньо подає імпульси щодо керування ключами АІН.

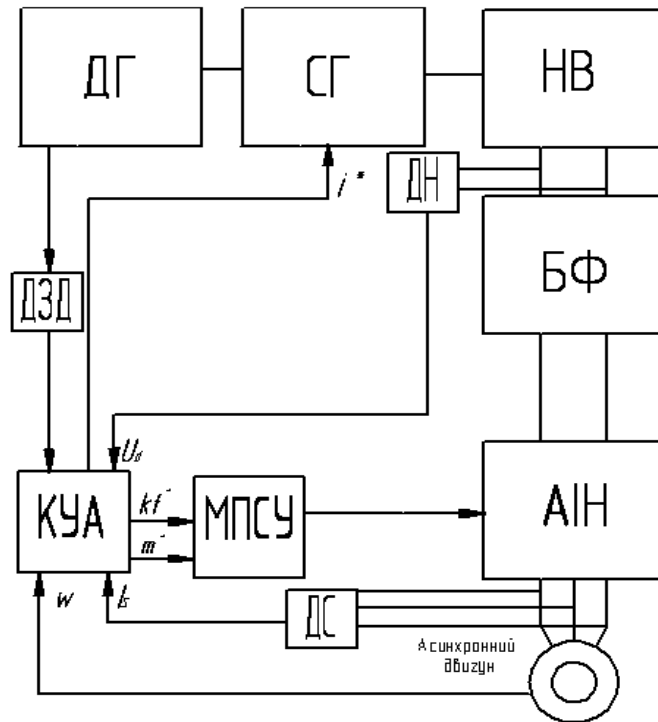


Рис.1 Функціональна схема системи керування тяговим електроприводом дизель-потяга ДЕЛ-02

Даній системі притаманна велика пульсація струму(рис.2) в системі та, як наслідок, тягового моменту, що призводить до необхідності її модернізації.

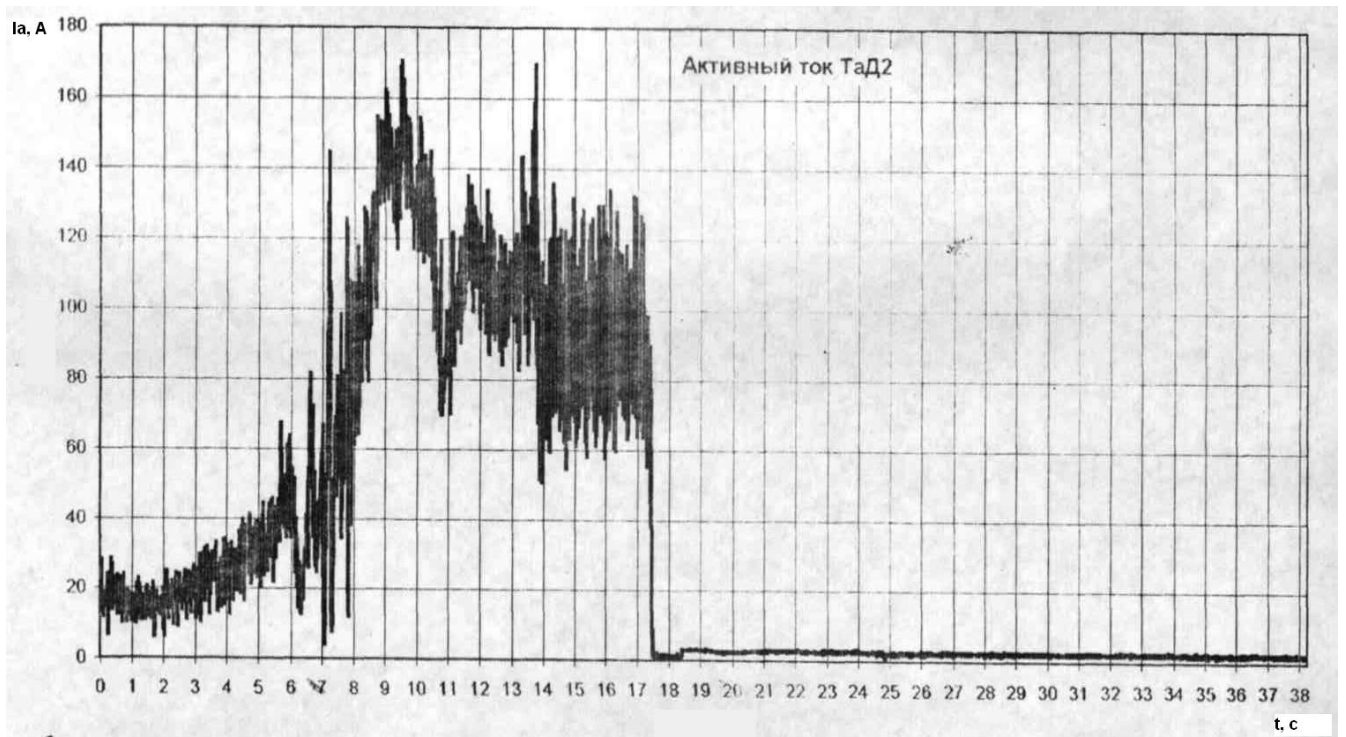


Рис.2 Осцилограма активного струму АД при розгоні існуючої системи керування тяговим електроприводом дизель-потяга

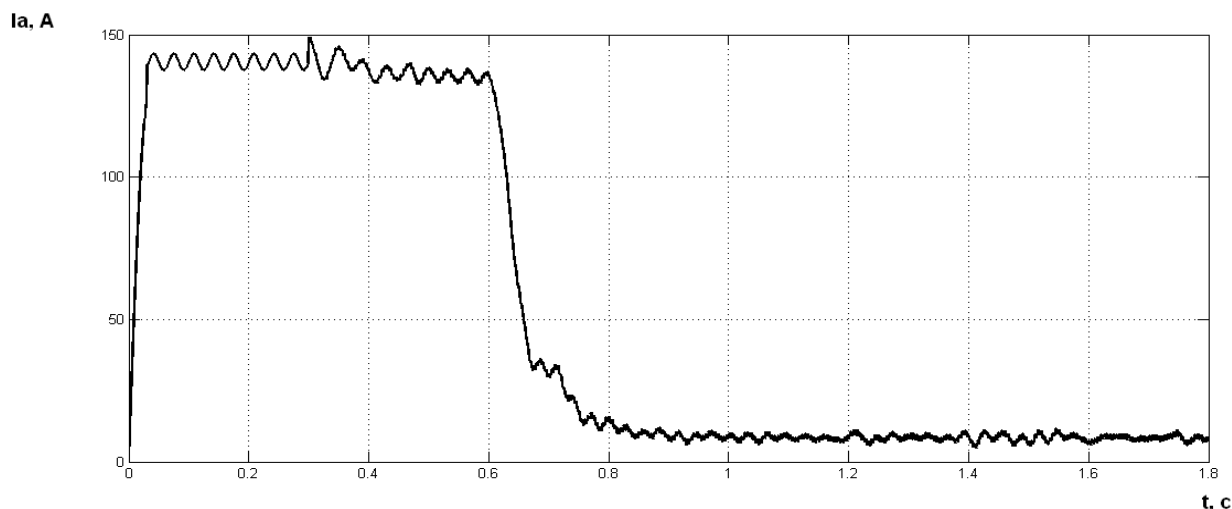


Рис.3 Осцилограма активного струму АД при розгоні модернізованої системи керування тяговим електроприводом дизель-потяга

Проаналізувавши існуючу систему, було виявлено ряд її слабких місць, за рахунок покращення яких можна отримати більш якісні перехідні характеристики роботи частотно-керованого тягового електроприводу (ЧКТЕ) (рис.3):

- некомпенсованість ЕРС обертання, що призводить до суттєвого погіршення роботи ЧКТЕ під час різкої зміни навантаження (проковзування колісної пари, рух потяга в гору та згори);

- наявність в системі МПСУ додаткового задатчика інтенсивності призводила до пульсацій активної складової струму та тягового моменту.

Метою роботи є модернізація системи керування тягового електроприводу дизель-потягу ДЕЛ-02 за рахунок використання системи з комбінованим типом керування, спрямоване на підвищення енергетичних та динамічних характеристик системи ЧКТЕ.

Процес моделювання модернізованої системи проводився за певних припущень. Маховий момент вагонів не враховувався, адже це дозволяло перевірити якість перехідних процесів без згладжування їх дією махового моменту вагонів. Напруга дизель-генератора задавалася функцією, бо моделювання та модернізація дизель-генератора не є необхідними. В процесі дослідження модернізується тільки канал управління інвертором.

Моделювання проводилося при повному пусковому моменті. Не використовувалася система виходу на повний пусковий момент шляхом переходу на певні позиції командоконтролером машиніста (на рис.2 активний струм наростає поступово), що дозволяло в первинній системі зменшувати перерегулювання струму при пуску.

Функціональна система модернізованого ЧКТЕ показана на рис.4, в якій до існуючої системи КУА-МПСУ додано внутрішній контур регулювання. Ця модернізація відповідає

принципу декомпозиції по відношенню до складеної системи КУА-МПСУ[1]. Дана схема містить: регулятор швидкості РШ, задатчик руху поїзда ЗРП, регулятор частоти РЧ, подвійний регулятор струму ПРС, що складається з першого регулятора струму РС1, та другого регулятора струму РС2, блоку обмеження БО, системи керування інвертором СКІ, датчика напруги ДН, датчика активного струму ДАС, датчика ЕРС ДЕ, дизель-генератора ДГ, некерованого випрямляча НВ, блоку фільтрів БФ та автономного інвертора напруги АІН, синхронний генератор СГ.

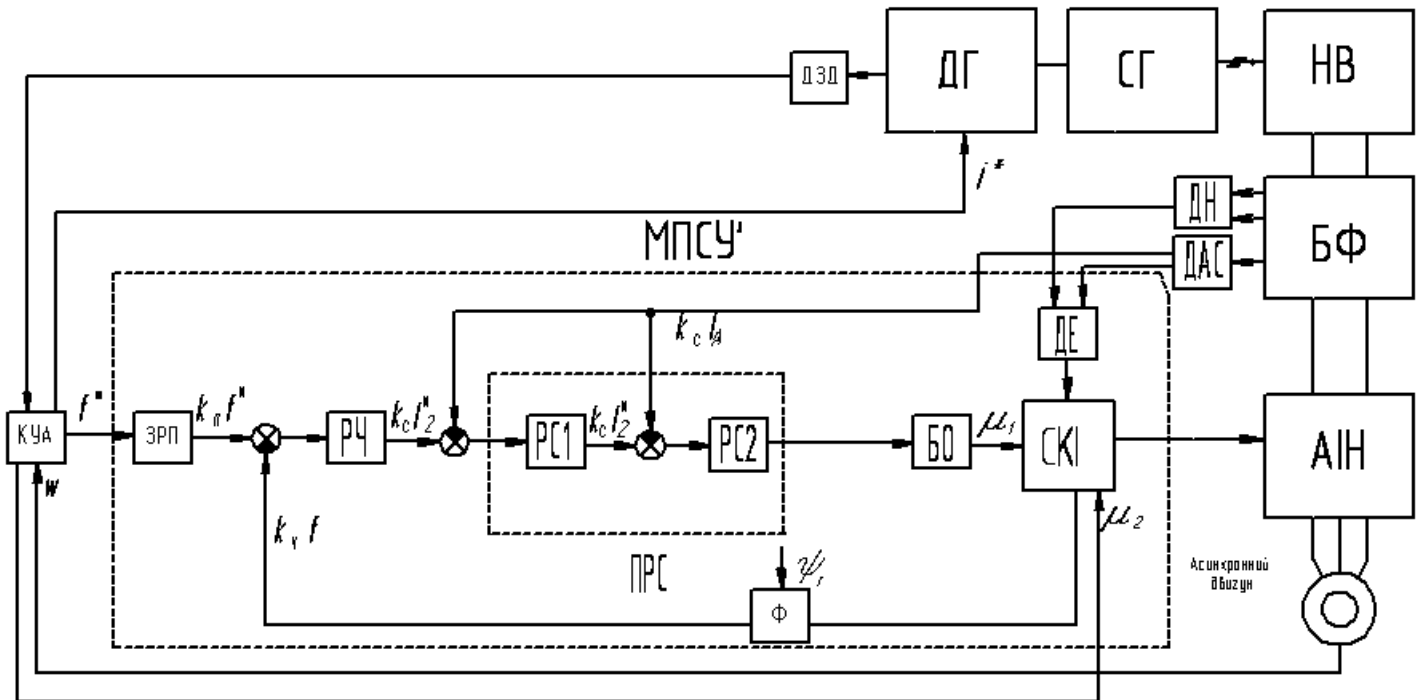
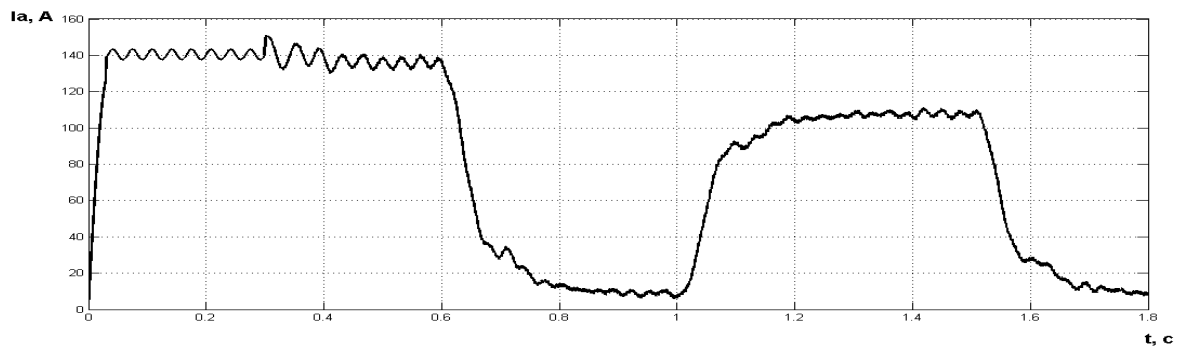


Рис.4 Функціональна схема ЧКТЕ з АІН-ШІМ

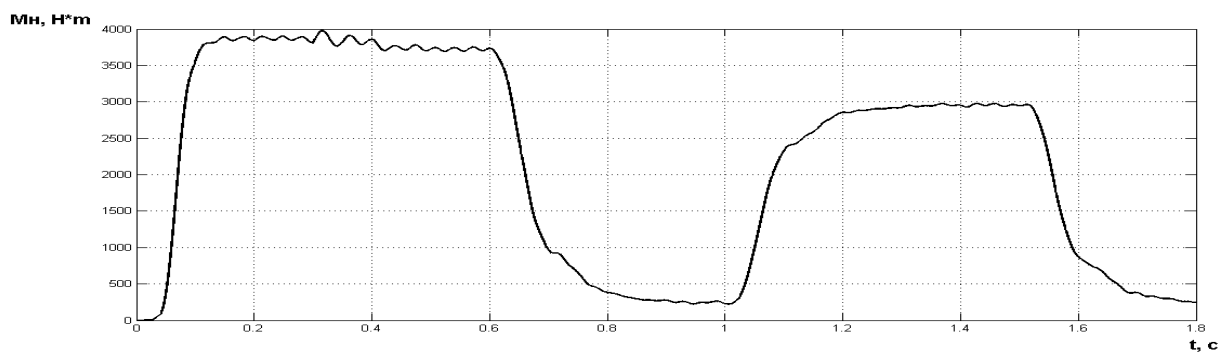
Особливістю модернізованої системи є розімкненість системи за частотою обертання вала АД [2]. Оскільки внутрішній зв'язок за ЕРС викликає погіршення якості регулювання струму та швидкості двигуна, то повстає завдання її компенсації. Тому використовується система компенсації ЕРС за допомогою подвійного регулятора струму ПРС, який синтезовано з врахуванням можливості компенсації ЕРС обертання та припущення сталості потокозчеплення ротора АД [2]. До системи керування інвертором входять два значення коефіцієнта скважності μ_1 та μ_2 . Перший є коефіцієнтом скважності, що сформовано модернізованим МПСУ. Другий μ_2 , що сформовано КУА, використовувався первинною системою для керування ключами, а в модернізованій системі ЧКТЕ він сприймається як сигнал переходу до двозонного керування(при досягненні $\mu_2=1$), яке буде введено до системи згодом.

Для проведення дослідження, згідно з функціональною схемою (рис.4), було використано модель в обчислювальному середовищі Simulink Matlab [3]. Аналіз проводився за умов використання автономного джерела живлення (дизель-генератора) та тягового двигуна АД906У1 ($P_{ном}=240$ кВт, $n=982$ об/хв, $I_{ном}=135$ А, $f_{ном}=33,8$ Гц). На рис.5 представлено результати моделювання електромеханічних процесів ЧКТЕ. Моделювання проводилося за зниженої опорної частоти 300 Гц, що, з точки зору проектування перетворювачів з опорною частотою до 1 кГц, дозволяє уніфікувати встановлену потужність обладнання (конденсаторів, дроселів, напівпровідникових приладів) ряду схем АІН, адже ці потужності незначним чином відрізняються одне від одного для даних частот. Процес моделювання проводився для режимів розгону дизель-потяга(0-0,6 с.) та подачі-зняття навантаження на двигун(1-1,6 с.).

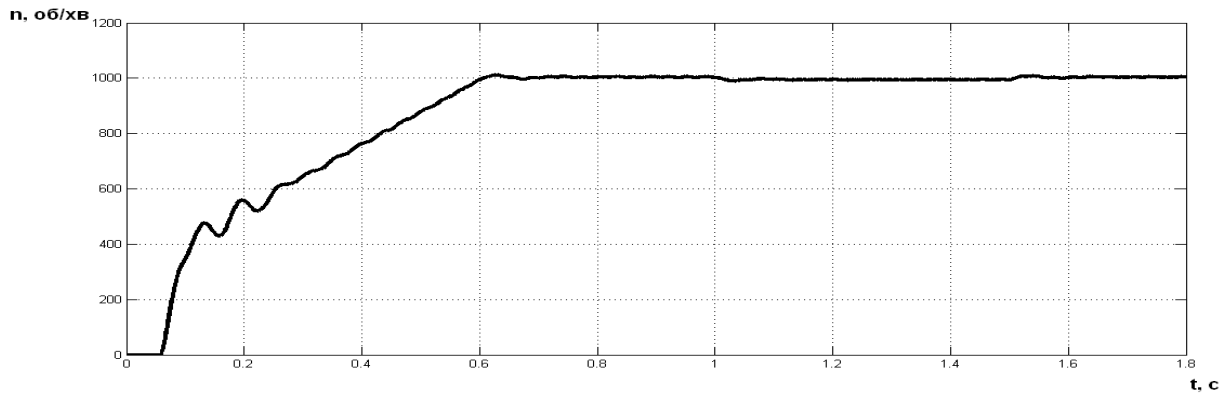
Було проведено моделювання з використанням імітації електромагнітного гальма потяга. Потяг не набирає швидкість доти, доки його момент не сягнув $0,4M_{ном}$.



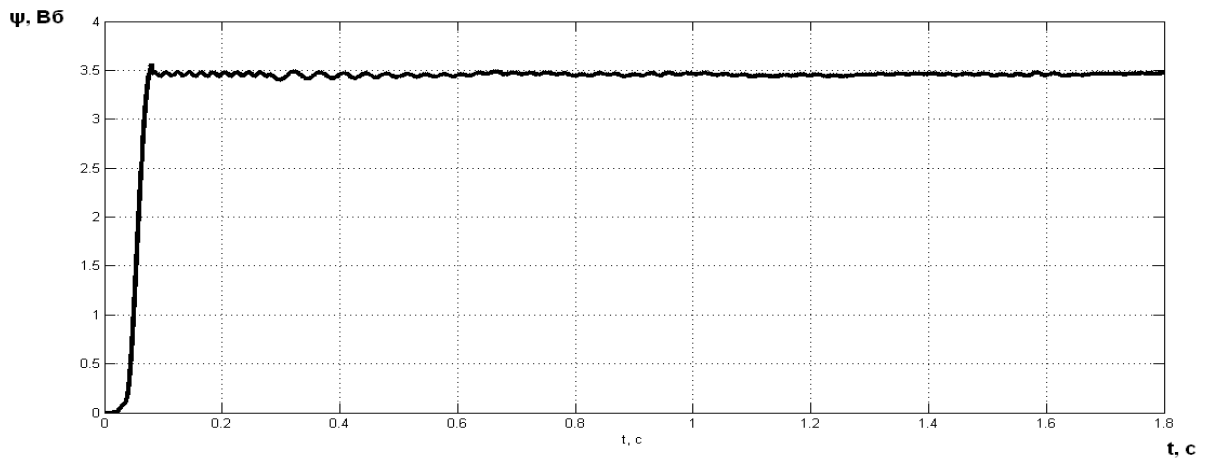
а)



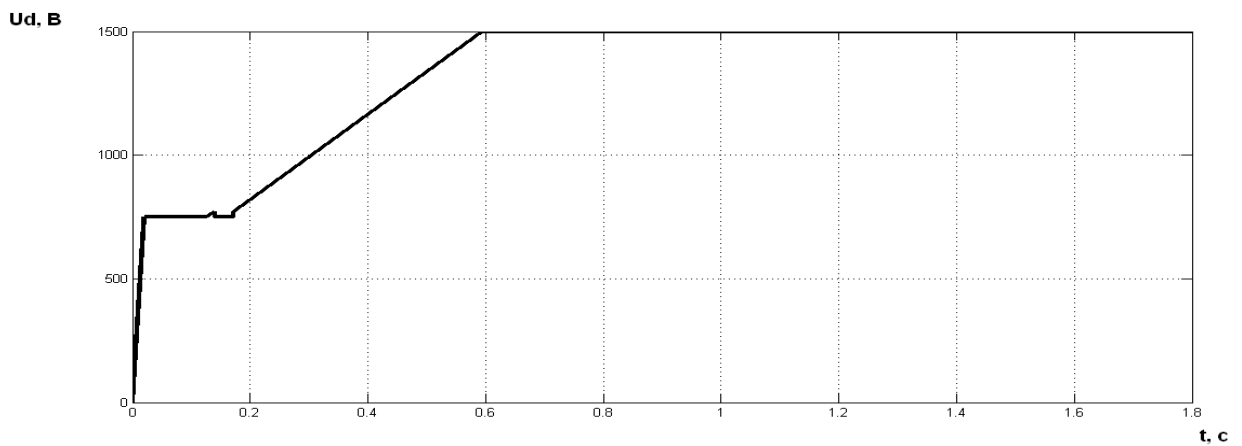
б)



в)



г)



д)

Рис.5 Перехідні процеси активного струму(а), тягового моменту(б), швидкості обертання вала двигуна(в), потокозчеплення ротора(г) та напруги у ланці постійного струму(д) запропонованої системи ЧКТЕ з АІН-ШІМ

Передавальні функції регуляторів частоти, що відповідають налаштуванню контурів регулювання частоти на модульний та симетричний оптимум, визначаються виразами [3]:

$$W_{p.c.1}(p) = \frac{\kappa_c \cdot J}{4 \cdot T_\mu \cdot \psi_r \cdot \kappa_c \cdot \kappa_r} \quad (1)$$

$$W_{p.c.2}(p) = \frac{(8 \cdot T_\mu \cdot p + 1) \cdot \kappa_c \cdot J}{32 \cdot T_\mu^2 \cdot \psi_r \cdot \kappa_c \cdot \kappa_r \cdot p} \quad (2)$$

де κ_c та κ_r – коефіцієнти передачі за струмом та частотою обертання; T_μ – стала часу випрямляча; J – приведений момент інерції приводу; p – оператор Лапласа; ψ_r – модуль вектора потокозчеплення ротора АД.

Настройка регулятора частоти виконувалася по симетричному оптимуму. Мала стала струмового контуру складала 8 мс.

Синтезовані методом підпорядкованого керування передаточні функції регуляторів струму мають вигляд:

$$W_{p.c.1}(p) = \frac{1}{4 \cdot T_\mu} \quad (3)$$

$$W_{p.c.2}(p) = \frac{k}{T_s \cdot p + 1} \quad (4)$$

де T_s – постійна часу обмотки статора; k – коефіцієнт, що враховує модуль комутаційної функції АІН, опори фільтрів, параметри об'єкта керування та коефіцієнт передавання вентильного перетворювача за напругою.

Отримані результати моделювання показують можливість ефективної реалізації системи ЧКТЕ зі змінною структурою на базі АІН з ШІМ, що будуть забезпечувати високі вимоги до даних систем. Система підтримує стабільний тяговий момент та активний струм, має мінімальне власне запізнення за часом.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Горбачев В.А., Волк М.А., Бабаев А.П. Методы декомпозиции моделей непрерывных систем для моделирования в условиях распределенных ресурсов // Радиоэлектроника и информатика.-1998.- №1. - С.35-38.

2. Андриенко П.Д., Шрейнер Р.Т., Волков А.В. Динамика двухконтурной системы регулирования скорости асинхронного двигателя с обратной связью по частоте // ЭП. Электропривод. – 1982. - №9. – с. 5-8.

3. Кулагін Д.О., Качур О.С., Андриенко П.Д. Моделювання квазівекторної системи частотно регульованого електроприводу асинхронного двигуна без давача швидкості // Сборник материалов XV международной научно-технической конференция «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». - Украина: Крым. - 2008. - с. 168-170.