

Секція: Нові технології транспортування, перетворення та зберігання енергії; впровадження енергоефективних, ресурсозберезувальних технологій; освоєння альтернативних джерел енергії; безпечна, чиста й ефективна енергетика

Назва проекту: Розробка енергозберігаючих структур регульованих електроприводів з двигунами, що мають номінальну напругу 6-10 кВ

Назва напрямку секції: 1. Нові технології транспортування, перетворення та зберігання енергії

Організація-виконавець: Криворізький національний університет

Адреса: 50011, м. Кривий Ріг, вул. XXII Партз'їзду, 11

Назва пріоритетного тематичного напрямку Конкурсу проектів наукових робіт та науково-технічних (експериментальних) розробок молодих учених: Рациональне природокористування

АВТОРИ ПРОЕКТУ:

Керівник проекту (П.І.Б.): Козакевич Ігор Аркадійович

Науковий ступінь: канд. техн. наук **вчене звання:** без звання

Місце основної роботи: Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»

Посада: старший викладач кафедри

Тел.: 098-588-33-86 **E-mail:** aepigor@gmail.com

Дата народження: 1986-11-02

Відповідальний виконавець проекту (П.І.Б., науковий ступінь, вчене звання, посада): Омельченко Олександр Володимирович, канд. техн. наук, без звання, доцент кафедри .

Тел.: 066-380-11-10 **E-mail:** eldrive@mail.ru

Дата народження: 1984-09-14

Проект розглянуто й погоджено рішенням вченої (наукової, науково-технічної) ради (Криворізький національний університет) від "15" червня 2016р., протокол № 1.

Керівник проекту:

_____ Козакевич І.А.

підпис

"__" "_____" 2016 р.

В.о. ректора

Криворізький національний університет

_____ М.І. Ступнік

підпис

"__" "_____" 2016 р.

МП

Секція: Нові технології транспортування, перетворення та зберігання енергії; впровадження енергоефективних, ресурсозберезувальних технологій; освоєння альтернативних джерел енергії; безпечна, чиста й ефективна енергетика

ПРОЕКТ

науково-технічної (експериментальної) розробки молодих учених, що виконуватиметься за рахунок коштів загального фонду державного бюджету

Назва проекту: Розробка енергозберігаючих структур регульованих електроприводів з двигунами, що мають номінальну напругу 6-10 кВ

Пропоновані строки виконання проекту: з 01.08.2016 по 31.07.2018

Обсяг фінансування: 576 тис. грн., зокрема на 1-й рік 260,58 тис. грн., на 2-й рік 315,42 тис. грн.

1. АНОТАЦІЯ

Регульований електропривод є одним з важливих ключів до енергозбереження, що в кінцевому рахунку безпосередньо впливає на енергонезалежність нашої країни. Виконання проекту в повному обсязі дозволить розробити енергоефективні системи частотно-регульованого електроприводу змінного струму з двигунами великої потужності, що мають номінальну напругу 6-10 кВ. На відміну від схем, що живлять двигуни з потужністю 380 В, де існує рішення, що є своєрідним промисловим стандартом, існує значна кількість схемних рішень багаторівневих перетворювачів, що передбачають використання різної кількості силових ключів, пасивних елементів та реалізують різні підходи до формування вихідної напруги. До основних з них відносяться схеми з фіксуючими діодами, «плаваючими» конденсаторами та схеми на базі послідовно з'єднаних Н-мостів. Усі ці схемні рішення, окрім останньої схеми, не задовольняють вимоги щодо модульності перетворювача, що є досить важливою вимогою, виходячи високих вимог щодо його надійності.

The regulated electric drive is one of the important keys to energy efficiency, which ultimately has a direct impact on the energy independence of our country. Implementation of the project in its entirety will develop energy-efficient system of variable frequency AC drive with heavy-duty engines with a rated voltage of 6-10 kV. In contrast to the circuits supplying motors with a voltage of 380 V, where there is the solution, which is a kind of an industry standard, there is a significant amount of circuitry multilevel converters, involving the use of different amounts of power switches, passive components, and implementing a variety of approaches for the formation of the output voltage. The main of them are schemes with clamping diodes, "floating" capacitors and circuits on the basis of cascaded connected H-bridges. All the schemes, except the last one, do not satisfy the requirements for modular converter, which are important enough, on the assumption of the high standards for its reliability.

2. ПРОБЛЕМАТИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Прикладна проблема, на вирішення якої спрямовано проект: Приводами великої потужності покривається діапазон потужностей від 0.1 МВт до 40 МВт при номінальних напругах від 2.3 кВ до 13.8 кВ. Діапазон аналізованих потужностей систем може бути розширений до 100 МВт, де в даний момент використовуються синхронні двигуни з веденими навантаженнями інверторами. З початку XXI століття кілька тисяч електроприводів середньої напруги введені в експлуатацію по всьому світу. Маркетингові дослідження показали, що близько 85% від усієї кількості встановлених приводів великої потужності складають насоси, вентилятори, компресори та конвеєри, тобто механізми, що допускають можливість економії електроенергії за рахунок зниження обертів двигуна при зміні продуктивності механізму. При цьому лише 3% цих електроприводів є регульованими. Коли вентилятори або насоси працюють у складі нерегульованого електроприводу, управління потоком рідини або повітря досягається, як правило, за допомогою звичайних механічних способів, таких як дроселювання, використання заслінок і

регулюючих клапанів потоку, в результаті чого спостерігаються значні втрати енергії. Робота присвячена розробці ефективних модульних схем багаторівневих перетворювачів для електроприводів великої потужності, що має великий потенціал енергозбереження.

2.2. Об'єкт наукової роботи, науково-технічної (експериментальної) розробки: є структури багаторівневих перетворювачів частоти для регулювання частоти обертів двигунів змінного струму з номінальною напругою 6-10 кВ.

2.3. Предмет наукової роботи, науково-технічної (експериментальної) розробки: є способи керування модульними схемами багаторівневих перетворювачів на базі інверторів напруги.

3. СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ І РОЗРОБОК ЗА ТЕМАТИКОЮ

3.1. Аналіз результатів, отриманих авторами проекту за даною проблемою, тематикою, об'єктом та предметом наукової роботи та науково-технічної (експериментальної) розробки; у чому саме полягає внесок згадуваних вчених та чому їх напрацювання потребують продовження, доповнення, вдосконалення: Авторами проекту отримано 3 патенти України та написано 22 публікацій за темою проекту. В результаті попередніх досліджень виконано аналіз умов функціонування схем багаторівневих інверторів при роботі зі зміною вихідної частоти у широких межах. Було виявлено, що в безтрансформаторних схемах, що є особливо привабливими з точки зору реалізації, таке керування призводить до суттєвих відхилень часткових напруг окремих рівнів перетворювача, що призводить до відхилень форми вихідної напруги та струму, а також може призводити до втрати стійкості перетворювачем. Були розглянуті апаратні та програмні рішення даної проблеми та розроблені відповідні рішення для схем з фіксуючими діодами та «плаваючими» конденсаторами. Слід зазначити, що схеми на базі багаторівневих інверторів вимагають використання великої кількості силових ключів. Це висуває підвищені вимоги щодо надійності таких рішень. Суттєво підвищити надійність таких схем можна за рахунок використання модульних перетворювачів, що складаються з однотипних комірок, що допускають шунтування комірки, що вийшла з ладу, з можливістю подальшої її «гарячої» заміни. Тому розвиток модульних схем багаторівневих перетворювачів для регульованого електроприводу великої потужності є актуальною задачею сьогодення.

3.2. Аналіз результатів, отриманих іншими вітчизняними та закордонними вченими за даною проблемою, тематикою, об'єктом та предметом наукової роботи та науково-технічної (експериментальної) розробки; окремо проаналізувати напрацювання цих учених за останні 5 років із посиланням на конкретні публікації: Проблемам створення ефективних схем частотних перетворювачів для електродвигунів з номінальними напругами 6-10 кВ присвячена достатня кількість публікацій вітчизняних та закордонних вчених. Проте, більшість з них присвячені вивченню схем з фіксуючими діодами [3, 5, 6], «плаваючими» конденсаторами [4, 8] або з послідовно з'єднаними Н-мостами [7]. Ці схеми мають обмежений діапазон зміни вихідної частоти, оскільки робота з низькою вихідною частотою (в граничному випадку – з нульовою для реалізації динамічного гальмування електроприводу змінного струму) призводить до суттєвих відхилень напруг на ділянках схеми. Застосування спеціальних схем вирівнювання напруг або алгоритмів керування перетворювачем дозволяє розширити діапазон зміни кутової швидкості, проте при цьому дані популярні схеми не задовольняють вимогам модульності перетворювача. Тому у даному дослідженні пропонується детальний аналіз існуючих схем модульних багаторівневих перетворювачів, виявлення їх переваг та недоліків, можливостей балансування часткових напруг можливостями самого перетворювача для подальшої розробки економічно доцільних варіантів перетворювачів частоти з номінальною напругою 6-10 кВ без необхідності використання трансформаторів

3.3. Перелік основних публікацій (не більше 10-ти) закордонних і вітчизняних вчених (окрім публікацій авторів, що наведені у доробку), які містять аналоги і прототипи та є основою для проекту:

№	Повні дані про статті
1	Терещенко Т.О. Багаторівневий інвертор напруги з амплітудною широтно-імпульсною модуляцією / Т.О. Терещенко, В.О. Беженар, М.Ю. Білошицький // Технічна електродинаміка. – 2014. -- № 4. – С. 81-83.
2	Василенко В.В. Аналіз багаторівневих інверторів напруги з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією / В.В. Василенко, В.М. Комаров, А.Е. Гречко // Механізація і електрифікація сільського господарства. – 2013. – Вип. 97 (2). – С. 221-227.
3	Левицький С.М. Система керування багаторівневим інвертором сонячної електричної станції / С.М. Левицький // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. -- № 5. – С. 55-58.
4	Шавьолкін О.О. Багаторівневий гібридний інвертор середньої напруги / О.О. Шавьолкін, Н.Л. Тютюнник // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Електротехніка і енергетика. – 2015. -- №1. – С. 18-24.
5	Mohamed Z. Youssef Design and development of an efficient multilevel DC/AC traction inverter for railway transportation electrification / Mohamed Z. Youssef, Konrad Woronowicz, Kunwar Aditya, Najath Abdul Azeez, Sheldon S. Williamson // IEEE Transactions on power electronics. – Vol. 31, iss. 4, 2016. – Pp. 3036-3042.
6	Qashaqai P. A general space-vector modulation technique for multilevel NPC inverter / P. Qashaqai, H. Vahedi, A. Sheikholeslami, K. Al-Haddad // IEEE International conference on industrial technology. – 2016. – Pp. 1202-1207.
7	Hajizadeh M. Selective harmonic elimination strategy for cascaded H-bridge five-level inverter with arbitrary power sharing among the cells / M. Hajizadeh, S. Hamid Fathi // IET Power electronics. – Vol. 9. – 2016. – Pp. 95-101.
8	Lago J. Synchronous optimal pulsewidth modulation digital implementation concept for multilevel converters / J. Lago, M. Lobo Heldwein // IEEE Applied power electronics conference and exposition. – 2016. – Pp. 2833-2839.
9	Kashif M.-F. A multilevel inverter topology with reduced number of switches / M.F. Kashif, A.K. Rashid // International conference on intelligent systems engineering. – 2016. – Pp. 268-271.

4. МЕТА, ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ТА ЇХ АКТУАЛЬНІСТЬ

4.1. Ідеї та робочі гіпотези проекту: Енергозбереження шляхом впровадження регульованих електроприводів уже довело свою доцільність для двигунів з номінальними напругами 220-660 В. Існуюче схемне рішення на базі некерованого випрямляча та автономного інвертора напруги стало своєрідним промисловим стандартом, що використовується усіма виробниками автоматизованих електроприводів. При цьому єдиного рішення щодо двигунів з номінальними напругами 6-10 кВ не існує, а запропоновані схемні рішення не здатні задовольнити широкий спектр механізмів, де застосовуються дані двигуни. Проте, оскільки дані установки мають високу потужність, то вони володіють великим потенціалом енергозбереження за рахунок зниження кутової швидкості двигуна при роботі механізму з неномінальною продуктивністю. Тому питання синтезу економічно обґрунтованих схемних рішень потужних багаторівневих перетворювачів є ключем до вирішення задачі енергозбереження в промисловості та комунальному господарстві.

4.2. Мета і завдання, на вирішення яких спрямовано проект: Мета роботи – пошук раціональних схемних рішень та розробка системи керування для модульного багаторівневого перетворювача частоти, призначеного для регулювання частоти обертів потужних асинхронних та синхронних двигунів з номінальними напругами

живлення 6-10 кВ.

Завдання проекту:

- 1) проаналізувати існуючі схемні рішення безтрансформаторних багаторівневих перетворювачів частоти з точки зору відповідності вимог до таких систем та вимог модульності;
- 2) виконати порівняльний аналіз існуючих алгоритмів широтно-імпульсної модуляції для формування вихідної напруги;
- 3) розробити схему багаторівневого перетворювача частоти, що складається з однотипних за схемою та параметрами комірок-модулів;
- 4) синтезувати систему керування перетворювачем, що забезпечить стійку роботу при зміні вихідної частоти у широких межах;
- 5) розробити заходи покращення електромагнітної сумісності перетворювача та мережі;
- 6) скласти технічне завдання на створення експериментальної моделі модульного багаторівневого перетворювача частоти.

4.3. Обґрунтування актуальності та/або доцільності виконання завдань:

Існуючі системи частотних перетворювачів для електроприводів з номінальною напругою 6-10 кВ можна класифікувати на схеми з двома трансформаторами та схеми на базі багаторівневих топологій. Схеми, що базуються на використанні двох трансформаторів, використовують понижуючий трансформатор на вході та підвищуючий на виході, що дозволяє застосовувати дворівневий перетворювач низької напруги. Проте, в даному випадку, існують значні проблеми, що пов'язані з протіканням струмів значної величини у силовій частині перетворювача. Використання двох трансформаторів також є недоцільним з економічної точки зору, оскільки їх вартість, на відміну від вартості напівпровідникових виробів, не знижується з рівнем розвитку науки та техніки. Продовжуючи тенденцію заміни «неінтелектуальної міді» на «інтелектуальний кремній» було розроблено спосіб побудови схем багаторівневих перетворювачів, що базуються на використанні широтно-імпульсної модуляції та не вимагають зниження рівня напруги. До основних таких схем відносяться: перетворювачі з послідовно з'єднаними Н-мостами, схеми з фіксуючими діодами та «плаваючими» конденсаторами. Використання послідовно з'єднаних Н-мостів, хоча й задовольняє умовам модульності перетворювача, проте вимагає живлення кожної окремої комірки від гальванічно ізольованого джерела напруги, що призводить до необхідності використання багатообмоткового трансформатора на вході схеми. Дані пристрої мають складну конструкцію через наявність великої кількості (від 36) вторинних обмоток, що повинні бути рівномірно розміщені для покращення форми споживаного з мережі струму, мають високу вартість, низьку ремонтпридатність та в даний час в Україні не виготовляються. Тому більш привабливим є застосування безтрансформаторних перетворювачів. Схеми з фіксуючими діодами не придатні для модульного використання, оскільки параметри діодів кожного наступного рівня відрізняються по рівню напруг, що повинен витримувати ключ у закритому стані. Крім того, при роботі на низьких вихідних частотах дані схеми не мають можливості вирівнювання напруг ланки постійного струму без застосування додаткових ланцюгів вирівнювання, що ускладнює структуру схеми. Схема з «плаваючими» конденсаторами позбавлена недоліку, що пов'язаний зі значним відхиленням напруг у ланці постійного струму від їх початкових значень, проте необхідність використання великої кількості конденсаторів призводить до зниження показників надійності, оскільки час напрацювання на відмову у електролітичних конденсаторів є значно меншим за аналогічний час для сучасних напівпровідникових приладів. Тому для побудови ефективних схем необхідно виконати наступні вимоги: 1) відсутність трансформаторів як на вході, так і на виході схеми; 2) модульна реалізація схеми, при цьому усі модулі перетворювача повинні бути рівнозначні, як за схемою, так і за параметрами, що дозволить виконувати «гарячу» заміну модуля, що вийшов з ладу; 3) можливість балансування напруг засобами самої схеми; 4) при збільшенні кількості рівнів перетворювача, кількість елементів, що використовується в ньому, зростає пропорційно.

5. ПІДХІД, МЕТОДИ, ЗАСОБИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ І РОЗРОБОК ЗА ПРОЕКТОМ

5.1. Визначення підходу щодо виконання наукової роботи та науково-технічної (експериментальної) розробки, обґрунтування її новизни: Електромеханічна система на базі багаторівневого перетворювача, що буде розроблятися в ході даного дослідження, буде базуватися на новому відносно існуючих схем підході, що передбачає підвищений рівень надійності за рахунок особливих вимог щодо модульності перетворювача. Він повинен складатися з рівнозначних за схемою та параметрами комірок, з можливістю виключення з роботи (шляхом шунтування) ушкоджених комірок без зупинки двигуна. При цьому повинні бути створені умови для «гарячої» заміни ушкодженої комірочки на нову без внесення жодних змін у режим роботи перетворювача та двигуна. Окрім того, особлива увага буде приділена безтрансформаторності схеми, що має суттєве відображення на його собівартості, оскільки вартість виробів, що містять мідь постійно зростає, в той час як вартість напівпровідникових елементів поступово знижується через впровадження нових технологій. Отже, проект цілком підтримує сучасну тенденцію витіснення «неінтелектуальної» міді «інтелектуальним» кремнієм.

5.2. Нові або оновлені методи та засоби, методика та методологія наукової роботи та науково-технічної (експериментальної) розробки, що створюватимуться авторами у ході виконання проекту: У ході виконання проекту буде розроблено новий підхід до керування багаторівневими напівпровідниковими перетворювачами, що відрізняється від існуючих тим, що окрім задачі формування необхідної величини вихідних напруг за допомогою широтно-імпульсної модуляції вирішуються питання балансування часткових напруг ланки постійного струму з обмеженням величини струмів перетоку. Балансування часткових напруг необхідне через те, що окремі рівні напруг перетворювача формуються конденсаторним подільником з загальної напруги ланки постійного струму. При цьому весь струм навантаження проходить через окремі конденсатори, призводячи до зміни величин їх напруг. Це в кінцевому рахунку викликає викривлення форм вихідних струмів, а в найгіршому випадку може призвести до виходу з ладу перетворювача. Тому необхідна розробка сучасних заходів вирівнювання часткових напруг без внесення змін у апаратну частину перетворювача.

5.3. Особливості структури та складових проведення наукової роботи та науково-технічної (експериментальної) розробки: В системному методі обрані структурно-функціональний та системно-діяльнісний підходи. Сутність структурно-функціонального підходу полягає у виділенні в системних об'єктах структурних елементів системи керування та їх вплив на енергоефективність і визначенні їхньої ролі (функцій) у системі. Елементи і зв'язки між ними створюють структуру системи. Кожний елемент виконує свої специфічні функції, які "працюють" на загальносистемні функції. Структура характеризує систему в статичній, функції - у динамічній. Між ними є певна залежність, що потребує вивчення.

У результаті структурно-функціонального підходу будуть створені моделі (описові, математичні, графічні) досліджуваної системи.

Також буде застосовуватися загальнонаукова методологія вивчення об'єкта дослідження - системно-діяльнісний підхід, який набув значного поширення в сучасних наукових розробках.

6. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ ТА ЇХ НАУКОВА НОВИЗНА

6.1. Докладно представити зміст очікуваних результатів, навести попередні описи методик, суспільних практик, положень, регламентів, пристроїв, технологій, обладнання, стандартів, проектів нормативно-технічних документів, творів, що створюватимуться, змінюватимуться та/або доповнюватимуться авторами: Основні очікувані результати проекту:

1) шляхом аналізу існуючих схемотехнічних рішень багаторівневих перетворювачів частоти та їх систем керування, виявлення їх переваг та недоліків буде розроблено

структуру силової частини та системи керування модульного багаторівневого перетворювача частоти, що буде відповідати наступним вимогам:

- а) відсутність трансформатора як на вході, так і на виході схеми;
- б) модульна реалізація схеми, при якій усі модуля перетворювача повинні бути рівнозначні, як за схемою, так і за параметрами, що дозволить виконувати шунтування модуля, що вийшов з ладу, без зупинки роботи електроустановки, з можливістю подальшої «гарячої» заміни;
- в) можливість балансування часткових напруг ланки постійного струму можливостями самого перетворювача;
- г) при збільшенні кількості рівнів перетворювача кількість використовуваних силових ключів повинна зростати пропорційно.

2) способи та алгоритми формування вихідної напруги багаторівневих перетворювачів за допомогою широтно-імпульсної модуляції, що дозволяють знизити рівень втрат енергії;

3) заходи підвищення електромагнітної сумісності багаторівневих перетворювачів частоти;

4) створення критеріїв вибору схемних рішень багаторівневих перетворювачів;

5) програмне забезпечення дослідження процесів у модульному багаторівневому перетворювачі

6.2. Вказати, які з очікуваних результатів можуть бути науково обґрунтованими та доведеними, спиратимуться на закономірності природи, а які - корисними практико-методичними напрацюваннями: Очікувані результати: 1) аналіз існуючих схемотехнічних рішень багаторівневих перетворювачів частоти та їх систем керування, виявлення їх переваг та недоліків буде розроблено структуру силової частини та системи керування модульного багаторівневого перетворювача частоти; 2) способи та алгоритми формування вихідної напруги багаторівневих перетворювачів за допомогою широтно-імпульсної модуляції, що дозволяють знизити рівень втрат енергії; 3) заходи підвищення електромагнітної сумісності багаторівневих перетворювачів частоти; можуть бути науково-обґрунтованими, що спираються на такі природні закономірності, як синергетичний ефект, закон збереження енергії, закон збереження речовини; результати 4) створення критеріїв вибору схемних рішень багаторівневих перетворювачів; 5) програмне забезпечення дослідження процесів у модульному багаторівневому перетворювачі; будуть корисними методичними і технічними напрацюваннями на основі практичного досвіду.

6.3. Довести наукову (науково-прикладну) новизну результатів наукової роботи та науково-технічної (експериментальної) розробки на основі їх змістовного порівняння з існуючими аналогами у світовій науці на основі посилань на конкретні публікації (таблиця 1 цієї Форми) та довести переваги отриманого над наявним: Існуючі варіанти багаторівневих безтрансформаторних перетворювачів передбачають використання схем на базі фіксуючих діодів [3, 5, 6], «плаваючих» конденсаторів [4, 8] або послідовно з'єднаних Н-мостів [7]. Дані схеми мають обмежений діапазон регулювання вихідної частоти, оскільки робота з низькою вихідною частотою (в граничному випадку – з нульовою для реалізації динамічного гальмування електроприводу змінного струму) призводить до суттєвих відхилень напруг на ділянці схеми. Застосування спеціальних схем вирівнювання напруг або алгоритмів керування перетворювачем дозволяє розширити діапазон зміни кутової швидкості, проте при цьому дані популярні схеми не задовольняють вимогам модульності перетворювача. Тому у даному дослідженні пропонується детальний аналіз існуючих схем модульних багаторівневих перетворювачів, виявлення їх переваг та недоліків, можливостей балансування часткових напруг можливостями самого перетворювача для подальшої розробки економічно доцільних варіантів перетворювачів частоти з номінальною напругою 6-10 кВ без необхідності використання трансформаторів.

При цьому існуючі перетворювачі, що представлені у [1-9], мають властивість непропорційної зміни кількості силових ключів при підвищенні кількості рівнів. Це

призводить до того, що кількість елементів значно зростає при незначній зміні кількості рівнів. У проекті особлива увага буде приділена можливостям зміни кількості рівнів перетворювача без непропорційного зростання кількості ключів.

7. ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ДЛЯ ЕКОНОМІКИ ТА СУСПІЛЬСТВА

7.1. Визначити та обґрунтувати використання очікуваних результатів для конкретної галузі суспільної практики, вирішення вітчизняних і світових проблем; довести відповідність потребам суспільства та економіки країни, за наявності - потребам світового ринку: Енергозбереження є однією із найактуальніших проблем розвитку України. Вирішення проблеми зниження енерговитрат у виробництві це шлях до підвищення конкурентоспроможності українських товарів як на закордонних, так і на внутрішньому ринках. Енерговитрати в структурі собівартості українського національного продукту складають сьогодні значний відсоток порівняно з економічно розвиненими країнами. Енергоємність українського валового внутрішнього продукту (ЕВВП) перевищує також аналогічні показники деяких країн-конкурентів відносно експортоорієнтованої продукції українського виробництва. Таким чином, підвищення конкурентоспроможності українських товарів внаслідок ефективного енергозбереження дозволить збільшити обсяги виробництва і експорту, що є важливим фактором створення нових робочих місць, зростання бюджетних відрахувань, тобто соціального розвитку. Крім того, зменшення енергоспоживання у натуральному вимірі призводить до економії енергоресурсів (вугілля, природний газ, ядерне паливо), що позитивно вплине на екологію довкілля.

7.2. Навести запланований перелік практичних методик, положень, регламентів, пристроїв, технологій, обладнання, стандартів, інформаційно-аналітичних матеріалів, творів, рекомендацій, пропозиції до органів влади та інших документів, що можуть бути передані потенційним замовникам для використання поза межами організації-виконавця: Основні результати будуть викладені у запланованих монографіях, статтях та тезах доповідей конференції. Потенційним замовникам буде передано:

- 1) принципова схема модульного багаторівневого перетворювача та його системи керування;
- 2) математична модель, що демонструє функціональність схеми;
- 3) технічне завдання на проектування експериментального модульного багаторівневого перетворювача частоти;
- 4) алгоритми та програмне забезпечення роботи мікропроцесорної системи керування перетворювачем;
- 5) технічна документація на розроблені заходи підвищення електромагнітної сумісності перетворювача та мережі.

7.3. Запланувати проведення маркетингових досліджень щодо просування науково-прикладних результатів на світовий ринок, визначити потенційних замовників, навести перелік реальних майбутніх користувачів, з якими вже встановлено договірні відносини (з підтвердженням листами підтримки від представників провідної наукової спільноти, потенційних інвесторів або реального сектору економіки): Результати дослідження можуть бути використані відомими світовими (ABB, Schneider Electric, Siemens, Lenze) або вітчизняними (ООО «Семіол» та ін.) виробниками електромеханічних систем при створенні високовольтних перетворювачів частоти для регулювання частоти обертання двигунів з середнім рівнем номінальної напруги (6-10 кВ).

7.4. Обґрунтувати цінність очікуваних результатів для світової та вітчизняної науки: Очікувані результати полягають у наступному:

- 1) Зниження рівня електроспоживання потужних насосних, вентиляторних, компресорних та конвеєрних установок, що працюють в гірничо-металургійній промисловості та комунальному господарстві.
- 2) Підвищення строку служби електромеханічного обладнання даних установок через забезпечення умов плавного пуску та зупинки шляхом забезпечення постійної величини електромагнітного моменту при пуску, реалізації функції струмообмеження,

що дозволяє усунути умови перегріву машини при тривалому пуску.

3) Усунення проблем у живлячій електромережі, що спостерігаються при прямому пуску потужних електроустановок.

4) Зниження рівня споживаної приводом реактивної потужності.

7.5. Довести цінність результатів для підготовки фахівців у системі освіти, зокрема вищої кваліфікації, навести прізвища, імена, по батькові та тематику магістрантів і докторантів, що братимуть участь у виконанні проекту: Цінність результатів для підготовки фахівців у системі освіти, зокрема вищої кваліфікації, полягає в можливості отримання практичного та теоретичного досвіду під час виконання розрахунків та прийманні участі магістрантів та докторантів у розробці технічних проектів та технічних рекомендацій перерахованих у п.п.7.5.

Магістранти і докторанти, що будуть брати участь у виконанні проекту:

1. Ільченко Роман.

2. Колеснік Віктор.

3. Біліма Ілля.

4. Іутін Іоанн

7.6. Довести, що задля одержання наведених науково-прикладних результатів варто витратити відповідні кошти державного бюджету, що соціально-економічний чи екологічний ефект від впровадження результатів проекту перевищить витрати: Зниження рівня електроспоживання потужних електроустановок з приводами змінного струму на 20-30%, що забезпечить строк окупності від впровадження регульованого електроприводу в межах 1.3-1.5 року. Тільки в умовах однієї електроустановки потужністю 2 МВт вартість електроенергії, що може бути зекономлена, сягає близько 900-1250 тис. грн. за рік.

Підвищення строку служби електричних машин в 1.2-1.4 рази.

Зниження рівня споживаної приводом реактивної потужності на 9-10%.

8. ФІНАНСОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИТРАТ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ

8.1. Обсяг витрат на заробітну плату (розрахунок за посадами та кількістю працівників, залучених до виконання, загальний та по роках):

на період виконання проекту обсяг витрат на оплату праці становить 346,4 тис. грн. Загальна кількість виконавців передбачає 5 осіб. На перший етап передбачено – 47,5 тис. грн. (3,5 ставки, середньомісячна заробітна плата провідного наукового співробітника - 4370 грн., наукового співробітника - 4025 грн., молодшого наукового співробітника - 3000 грн., техніка - 1900 грн; на II етап передбачено 185,1 тис. грн. на III етап передбачено 113,8 тис. грн.

Витрати за статтею «Нарахування на оплату праці» розраховані з урахуванням єдиного внеску в розмірі 22% відповідно до Закону України № 2464 «Про збір та облік єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування» (п.1 ч.1 ст.7) і становлять 76,2 тис. грн., в тому числі I етап – 10,5 тис. грн.; II етап – 40,7 тис. грн. III етап -25,1 тис. грн.

8.2. Обсяг витрат на матеріали, орієнтовний розрахунок за групами матеріалів (загальний та по роках):

Придбання матеріалів заплановано на період виконання НДР 5.7 тис.грн. у.т.ч. на I етап – 1.5 тис.грн. , на II етап – 2 тис.грн., на III етап – 2.2 тис.грн.

8.3. Обсяг витрат на енергоносії, інші комунальні послуги (за видами, на підставі порівняльного розрахунку попередніх періодів, загальний та по роках):

комунальні витрати оплачуються з накладних витрат.

8.4. Інші витрати (за видами, із обґрунтуванням їх необхідності, загальні та по роках):

Видатки на відрядження заплановані на період виконання НДР 2.9 тис.грн. у.т.ч. на I етап – 0.7 тис.грн. , на II етап – 1 тис.грн., на III етап – 1.2 тис.грн.

Послуги щодо друкування та популяризаційні заходи НДР 18 тис.грн. у.т.ч. на I етап – 6 тис.грн. , на II етап – 6 тис.грн., на III етап – 6 тис.грн.

До накладних (непрямих) витрат віднесені витрати на утримання працівників апарату управління науковою діяльністю, бухгалтерії та науково-виробничого відділу,

включаючи оплату комунальних послуг, енергоносіїв, витрати на ремонт і обслуговування комп'ютерної техніки та інші у відповідності до Постанови КМ України від 20.07.1996 №830 «Про затвердження Типового положення з планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт» (зі змінами). Непрямі витрати при виконанні проекту становитимуть 126,7 тис. грн., у тому числі на 1-й рік – 18,8 тис. грн., на 2-й рік – 66,2 тис. грн., на 3-й рік – 41.7 тис. грн.

8.5. Зведений кошторис проекту (загальний та по роках):

Загальний зведений кошторис проекту на період 01.01.2016 р. – 31.12.2018 р. становить 576 тис. грн. Виконання проекту за всіма статтями витрат на I етап – 85 тис.грн. , на II етап – 301 тис.грн., на III етап – 190 тис.грн.

8.6. Перелік обладнання (із зазначенням цін та виробників), необхідного для виконання наукової роботи, науково-технічної (експериментальної) розробки:

-

9. ДОРОБОК ТА ДОСВІД АВТОРІВ ЗА ТЕМАТИКОЮ ПРОЕКТУ (за попередні 5 років)

9.1. Зазначити h-індекс керівника проекту згідно з базою даних Scopus та веб-адресу його відповідного авторського профілю:

-

9.2. Зазначити сумарний h-індекс згідно з базою даних Scopus семи виконавців проекту (крім керівника проекту) та веб-адреси їх відповідних авторських профілів:

-

9.3. Перелік статей у журналах, що входять до наукометричних баз даних Web of Science та Scopus, Index Copernicus (для гуманітарного та соціоекономічного напрямів): -

9.4. Статті, що входять до наукометричних баз даних Web of Science, Scopus, Index Copernicus (для гуманітарного та соціоекономічного напрямів) та які не входять до пункту 9.3 цієї глави:

Таблиця 3

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії (позначити прізвища авторів) зі списку виконавців
1	-

9.5. Опубліковані за темою проекту статті у журналах, що входять до переліку фахових видань України та мають ISSN, статті у закордонних журналах, що не увійшли до пунктів 9.3, 9.4 цієї глави, а також матеріали англійською мовою доповідей на міжнародних конференціях у виданнях, що входять до наукометричних баз даних Web of Science, Scopus та/або Index Copernicus:

Таблиця 4

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; позначити прізвища авторів, які належать до списку виконавців
1	Осадчук Ю.Г., Сінчук І.О., >Козакевич І.А.< Алгоритм компенсації ефекту «мертвого часу» в трьохрівневих інверторах напруги // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Випуск 1/2010. – С.38-41.
2	Осадчук Ю.Г., >Козакевич И.А.< Сравнительный анализ способов гашения поля синхронных двигателей // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. Кременчук: КрНУ. – Випуск 2/2007.

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; позначити прізвища авторів, які належать до списку виконавців
	– С. 36-40.
3	Осадчук Ю.Г., >Козакевич І.А.<, Зиненко А.М., Алпатов О.В. Моделювання синхронних двигунів з масивним ротором // Вісник Криворізького технічного університету. – Випуск 19, 2007. – С. 115-119.
4	Осадчук Ю.Г., >Козакевич І.А.<, Зиненко А.Н. Исследование энергетических характеристик частотно-регулируемых электроприводов // Вісник Криворізького технічного університету. – Випуск 20, 2008. – С. 126-130.
5	Осадчук Ю.Г., >Козакевич І.А.< Синтез алгоритму векторного керування двома асинхронними двигунами, що живляться від одного інвертора // Вісник Криворізького технічного університету. Вип. 28. – 2011. – С. 150-154.
6	>Козакевич І.А.<, Гембарський Я.С. Система прямого керування моментом асинхронного двигуна, що живиться від багаторівневого інвертора напруги // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. – КрНУ, 2012. – С. 253-254.
7	Сінолиций А.П., Осадчук Ю.Г., >Козакевич І.А.< Підвищення якості компенсації «мертвого часу» автономного інвертора напруги для бездатчикового векторного керування на низькій швидкості // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика» науково-виробничого журналу. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012 (19). – С. 142-144.
8	Осадчук Ю.Г., >Козакевич І.А.<, Кулик О.М. Аналіз можливостей підтримання балансу часткових напруг в ланці постійного струму багаторівневого інвертора з фіксуючими діодами // Вісник Криворізького національного університету. – Вип. 30, 2012. – С. 128-131.
9	>Козакевич І.А.<, Кулик О.М. Підтримання балансу часткових напруг в ланці постійного струму багаторівневого інвертора з фіксуючими діодами // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. – КрНУ, 2012. – С. 124-125.
10	Осадчук Ю.Г., >Козакевич І.А.<, Удовенко О.А. Исследование многоуровневого инвертора напряжения, построенного по модульному принципу, при работе на низких частотах // Вісник Національного технічного університету «ХПІ», Збірник наукових праць. Серія: Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2013. -- №36 (1009). – С. 322-325.
11	>Козакевич І.А.< Дослідження системи бездатчикового керування асинхронними двигунами з використанням їх анізотропних властивостей // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 10-11 квітня 2014 р. – Кременчук, КрНУ, 2014. – С. 83-84.
12	>Козакевич І.А.< Адаптивний спосіб компенсації нелінійних властивостей інвертора напруги для бездатчикового векторного керування на низьких частотах обертів // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 1/2014 (25). – С. 19-25.
13	Сінчук О.М., >Козакевич І.А.<, Швидкий Д.О. Аналіз способів покращення динамічних властивостей асинхронних електроприводів зі скалярним керуванням // Качество минерального сырья. Сборник научных трудов. – Кривой Рог, 2014. – С. 553.
14	>Козакевич І.А.< Анализ работы автономного инвертора напряжения при

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; позначити прізвища авторів, які належать до списку виконавців
	низком выходном напряжении и способ улучшения его формы // Наука XXI века: теория, практика, перспективы: сборник статей Международной научно-практической конференции (3 ноября 2014 г., г. Уфа). – Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2014. – С. 196.
15	Осадчук Ю.Г., >Козакевич І.А.<, Сіянюк Р.В. Дослідження топологій багаторівневих інверторів з використанням «плаваючих» конденсаторів // Качество минерального сырья. Сборник научных трудов. – Кривой Рог, 2014. – С. 553.
16	Синчук О.Н., >Козакевич І.А.<, Музыка В.П. Модернизация инвертора, ведомого нагрузкой, для синхронных электроприводов большой мощности // Роль науки в развитии общества: сборник статей Международной научно-практической конференции (28 февраля 2015 г., г. Уфа). – Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2015. – С. 25-27.
17	Сіянюк Р.В., >Козакевич І.А.< Спосіб керування багаторівневим інвертором з «плаваючими» конденсаторами // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 8-9 квітня 2015 р. – Кременчук, КрНУ, 2015.
18	>Козакевич І.А.< Підвищення ефективності реалізації рекуперативного гальмування електроприводом транспортного засобу на базі безщіткової машини постійного струму // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства». Том 1. – ДВНЗ «Криворізький національний університет». – 2016. – С. 273.
19	>Козакевич І.А.<, >Ільченко Р.А.< Порівняльний аналіз асинхронних, синхронних машин з постійними магнітами та вентильних реактивних двигунів для гібридних транспортних засобів // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства». Том 1. – ДВНЗ «Криворізький національний університет». – 2016. – С. 286.
20	>Козакевич І.А., Бутенко А.В. Питання рекуперативного гальмування в приводах електромобілів з вентильними двигунами // Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні питання гірничо-металургійного виробництва»: Збірник тез доповідей. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ». – 2016. – С. 18.
21	>озакевич І.А.<, >Ільченко Р.А.< Порівняльний аналіз асинхронних, синхронних машин з постійними магнітами та вентильних реактивних двигунів для гібридних транспортних засобів // Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні питання гірничо-металургійного виробництва»: Збірник тез доповідей. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ». – 2016. – С. 16-17.
22	>Козакевич І.А.<, Полтавський О.С. Підвищення точності керування синхронним двигуном з постійними магнітами // Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні питання гірничо-металургійного виробництва»: Збірник тез доповідей. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ». – 2016. – С. 19-20.

9.6. Монографії та (або) розділи монографій, що опубліковані за темою проекту українськими видавництвами: -

9.7. Монографії та (або) розділи монографій, що опубліковані у закордонних виданнях офіційними мовами Європейського Союзу: -

9.8. Охоронні документи (патенти) на об'єкти права інтелектуальної власності, що отримані:

Таблиця 7

№	Назви документів та їх вихідні дані
1	Патент на корисну модель UA 95478 U Спосіб керування модульним багаторівневим інвертором напруги / Сінчук О.М., Осадчук Ю.Г., Козакевич І.А., Лісютенко І.Ю. – Опубл. 25.12.2014, Бюл. №24.
2	Патент на корисну модель UA 42582 U Спосіб визначення активних опорів, власних і взаємних індуктивностей статора й ротора асинхронних двигунів / Воробейчик О.С., Козакевич І.А., Топчієнко Ю.А., Урдін І.В. – Опубл. 10.07.2009, Бюл. 13, 2009.
3	Патент на корисну модель UA 48510 U Спосіб визначення ідентифікатора положення вектора потокозчеплення ротора, значень активної та намагнічуючої складових струму статора асинхронного двигуна / Воробейчик О.С., Козакевич І.А., Топчієнко Ю.А., Урдін І.В. – Опубл. 25.03.2010, Бюл. 6, 2010.

9.9. Дисертації кандидата наук (доктора філософії) та доктора наук, захищені виконавцями проекту:

Таблиця 8

№	Назви документів та їх вихідні дані
1	Козакевич І.А. Бездатчикове векторне керування асинхронними двигунами при роботі на низьких кутових швидкостях, 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи, к.т.н., доц. Осадчук Ю.Г., 2016, Вінницький національний технічний університет.

9.10. Індивідуальні гранти (стипендії) на наукові стажування в Україні та за кордоном, що фінансувалися за рахунок Державного бюджету України та/або закордонними організаціями (сумарна кількість місяців для керівника та семи виконавців проекту): -

9.11. Гранти на виконання наукових робіт/науково-технічних (експериментальних) розробок, за якими працювали виконавці, що фінансувались закордонними організаціями: -

9.12. Авторами проекту виконано робіт за договорами та грантовою тематикою на суму (вказується відповідно до підтвердних документів (довідка бухгалтерії ВНЗ, НУ) у рамках заявленого наукового напрямку): -

10. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ:

Таблиця 12

№	Назви показників очікуваних результатів	Кількість
1	Будуть опубліковані за темою проекту статті в журналах, що входять до наукометричних баз даних Web of Science, Scopus та/або Index Copernicus (для гуманітарного та соціоекономічного напрямів)	3
2	Заплановані статті у журналах, що входять до переліку фахових видань України і мають ISSN, статті у закордонних журналах, що не	6

№	Назви показників очікуваних результатів	Кількість
	увійшли до пункту 1 цієї таблиці, а також тези англійською мовою доповідей на міжнародних конференціях у виданнях, що входять до наукометричних баз даних Web of Science, Scopus та/або Index Copernicus	
3	Монографії та (або) розділи монографій, що будуть опубліковані за темою проекту українськими видавництвами (вказується кількість друкованих аркушів)	3
4	Монографії та (або) розділи монографій, що будуть опубліковані у закордонних виданнях офіційними мовами Європейського Союзу (вказується кількість друкованих аркушів)	0
5	Буде впроваджено наукові або науково-практичні результати шляхом укладання договорів, продажу ліцензій, грантових угод	0

11. ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ

Таблиця 13

Етапи роботи	Назва та зміст етапу	Очікувані результати етапу Звітна документація
1 етап (2016)	1. Аналіз існуючих безтрансформаторних схем багаторівневих перетворювачів. Вивчення можливостей модульної реалізації схем. 2. Алгоритми формування вихідної напруги.	Очікувані результати етапу: Технічні вимоги до модульного багаторівневого перетворювача. Принцип роботи системи керування, її структурна схема та математична модель. Енергетичні характеристики та розрахунок собівартості проекту створення високовольтного перетворювача частоти. Звітна документація: Буде опубліковано за темою етапу проекту одна стаття в журналі, що входять до науково-метричних баз Web of Science, Scopus Заплановано три статті у журналі, що входять до переліку фахових видань України і має ISSN. Заплановано дві монографії за темою етапу проекту
2 етап (2017)	Дослідження можливість реалізації нових структур модульних перетворювачів. Мінімізація кількості використовуваних силових ключів та пасивних елементів схеми. Математичне моделювання схем багаторівневих перетворювачів та дослідження основних енергетичних характеристик	Очікувані результати етапу: Технічні вимоги до модульного багаторівневого перетворювача. Принцип роботи системи керування, її структурна схема та математична модель. Енергетичні характеристики та розрахунок собівартості проекту створення високовольтного перетворювача частоти. Звітна документація: Буде опубліковано за темою етапу проекту одна стаття в журналі, що входять до науково-метричних баз Web of Science, Scopus Заплановано три статті у журналі, що входять до переліку фахових видань України і має ISSN. Заплановано дві монографії за темою етапу проекту
3 етап	Вивчення особливостей	Очікувані результати етапу:

Етапи роботи	Назва та зміст етапу	Очікувані результати етапу Звітна документація
(2018)	роботи схеми модульного багаторівневого перетворювача при роботі з низькою або нульовою вихідною частотою. Синтез алгоритмів вирівнювання часткових напруг ланки постійного струму без зміни структури силової частини перетворювача. Аналіз роботи отриманої електромеханічної системи. Розробка заходів покращення електромагнітної сумісності з мережею.	Структура електромеханічної системи на базі модульного багаторівневого перетворювача. Структура системи керування, що здатна виконувати баланс часткових напруг ланки постійного струму можливостями самого перетворювача. Технічне завдання на проектування фізичної моделі перетворювача. Звітна документація: Буде опубліковано за темою етапу проекту одна стаття в журналі, що входять до науково-метричних баз Web of Science, Scopus Заплановано дві статті у журналі, що входять до переліку фахових видань України і має ISSN. Запланована одна монографія за темою етапу проекту

12. ВИКОНАВЦІ ПРОЕКТУ

Молоді вчені до 35 років, з них:
кандидатів: 2, докторів: 0;
наукові працівники без ступеня: 1;
інженерно-технічні кадри: 0, допоміжний персонал: 0;
докторанти: 0; аспіранти: 0; студенти: 2.
Р а з о м : 5.

13. ОСНОВНІ ВИКОНАВЦІ ПРОЕКТУ (з оплатою в межах запиту):

Таблиця 14

№	Прізвище, ім'я, по батькові	Науковий ступінь	Вчене звання	Посада і місце основної роботи	Дата народження
1	Петриченко Андрій Андрійович	без ступеня	без звання	асистент кафедри . Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»	1990-07-07
2	Ільченко Роман Анатолійович	без ступеня	без звання	студент . Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»	1996-03-18
3	Колеснік Віктор Юрійович	без ступеня	без звання	студент . Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»	1996-07-01

Науковий консультант проекту (П.І.Б., науковий ступінь, вчене звання, посада): Осадчук Юрій Григорович, канд. техн. наук, доц., декан електротехнічного факультету.

Тел.: 380679009626 **E-mail:** dekan_etf@ktu.edu.ua