

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Борцов Олександр Васильович

УДК 621.35.035: 621.365

**ЗБІЛЬШЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗМІНИ ІМПУЛЬСІВ
НАПРУГ І СТРУМІВ У ВИСОКОВОЛЬТНИХ
УСТАНОВКАХ**

Спеціальність 05.09.13 – Техніка сильних електричних та магнітних полів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Науково-дослідному та проектно-конструкторському інституті (НДПКІ) “Молнія” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Харків

Науковий керівник

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Бойко Микола Іванович,
НДПКІ “Молнія” Національного технічного університету
“Харківський політехнічний інститут”,
головний науковий співробітник

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Бржезицький Володимир Олександрович,
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”,
завідувач кафедри техніки та електрофізики високих напруг

доктор технічних наук, професор
Кононов Борис Тимофійович,
Харківський університет Повітряних Сил,
професор кафедри електротехнічних зразків озброєння
і військової техніки

Захист відбудеться “ **02** ” квітня 2009 р. о **12 год. 30 хв.** на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.08 при Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”

Автореферат розісланий “ 18 ” лютого 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.Ю. Юр’єва

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сильні імпульсні електромагнітні поля використовуються для обробки різних матеріалів, продуктів харчування і біологічних об'єктів: у промисловості – для очищення газоподібних і рідких відходів, для магнітно-імпульсної обробки металів (МІОМ), в новітніх методах зміцнення металів, для стикової електроконтактної зварки металів безперервним оплавленням; у харчовій промисловості – для обробки продуктів харчування з метою збільшення терміну їх зберігання; у медицині – для електрофізіотерапії.

Створення електрофізичних установок, які дозволяють отримувати і використовувати високу напругу, великі струми і сильні електромагнітні поля, є актуальним завданням для багатьох електротехнологій і фізичних досліджень.

Електрофізичні технології, в основі яких лежить імпульсний коронний розряд, знаходять широке застосування для очищення газоподібних і рідких продуктів, підготовки питної води, для надійного з'єднання по великій поверхні металевої фольги із різними ізоляційними плівками, для лікування різних захворювань.

Використання електродинамічних сил тяжіння до індуктора плосколистових і циліндричних заготовок істотно розширює технологічні можливості МІОМ. При цьому перспективним є формування в розрядному колі магнітно-імпульсної установки імпульсів струму спеціальної форми – «зрізаних» імпульсів. Проте відомі рекомендації щодо параметрів «зрізаних» імпульсів носять загальний характер, а експерименти з варіацією моменту «зрізу» не проводилися.

Для нових фізичних досліджень – впливу надсильних електромагнітних полів на різні матеріали – необхідно отримати в низькоімпедансному навантаженні (газовий розряд) імпульси струму амплітудою до 2 МА, з тривалістю фронту імпульсу струму до 500 нс при робочій напрузі до 500 кВ.

Джерела високих напруг і сильних струмів, такі як генератори імпульсної напруги (ГІН) і генератори імпульсних струмів (ГІС), є головними частинами високовольтних електрофізичних установок, які визначають їх основні технічні дані.

Проте, відомі високовольтні імпульсні джерела не завжди відповідають сучасним вимогам, що пред'являються до електрофізичних установок. Вони були розроблені на застарілій елементній базі та не задовольняють вимогам, насамперед, до форми, часових і частотних параметрів. Розробка і масове виробництво в кінці ХХ і початку ХХІ сторіч сучасних напівпровідникових приладів, таких як потужні швидкодіючі високовольтні *IGBT*- і *MOSFET*-транзистори, тиристори і оптотиристори, *HEXFRED*-діоди, драйвери керування *IGBT*- і *MOSFET*-транзисторами, сучасних феромагнітних матеріалів (аморфні сплави, високочастотні ферити для сильних магнітних полів), дозволяють не тільки значно поліпшити техніко-економічні показники існуючих джерел, але і запропонувати нові схемотехнічні рішення, що складає напрямок дисертаційних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалась в рамках наукових досліджень, що проводились у науково-дослідному

та проектно-конструкторському інституті (НДПКІ) “Молнія” НТУ “ХП”. Дослідження виконувались у період з 1998 року по 2008 рік у відповідності з науково-дослідними роботами, що фінансуються з держбюджет МОН України: “Дослідження процесів при обробці рідких продуктів і систем за допомогою комплексу високовольтних імпульсних дій (КВІД)” (шифр “ПЗ-9024”), (ДР № 0198U000383); “Розробка та дослідження нових методів високовольтних імпульсних дій при обробці продуктів та генеруванні озону”, (ДР № 0103U003740); “Розробка методів генерування високоінтенсивних обробляючих факторів в коронному розряді з розширеною зоною іонізації”, (ДР № 0105U008735); а також в рамках робіт за договором “Розробка апарату для ширококугової електромагнітної імпульсної терапії” (Державне українське об’єднання “Политехмед”, м. Київ), у міжнародному проєкті Науково-технологічного центру в Україні (НТЦУ) № 1120 “Розробка високоефективної технології обробки рідких харчових продуктів, у тому числі молока, соків, вина, а також води, біопрепаратів та інших рідин і збільшення строків їх зберігання на базі комплексу високовольтних імпульсних дій (КВІД)”, де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є удосконалення високовольтних установок, що створюють сильні електричні та магнітні поля, шляхом збільшення швидкості зміни імпульсів напруг і струмів.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі задачі:

1) створити низьковольтний генератор «зрізаних» імпульсів струму з електронним регулюванням моменту «зрізу», з його допомогою експериментально дослідити проникнення «зрізаних» імпульсів зовнішнього магнітного поля в циліндричну провідну оболонку і розробити рекомендації для магнітно-імпульсної обробки металів силами тяжіння до індуктора;

2) дослідити електромагнітні процеси у силовому контурі імпульсного трансформаторного джерела з емнісним навантаженням, встановити залежність часових параметрів імпульсу напруги на навантаженні від часу комутації напівпровідникового ключа і власних параметрів кола;

3) сформулювати рекомендації для удосконалення, зниження масо-габаритних показників і підвищення ефективності електромагнітної дії на різні матеріали апарату ширококугової електромагнітної імпульсної терапії (АШЕМІТ) і високовольтної електрофізичної установки на основі імпульсного коронного розряду (ІКР);

4) дослідити електромагнітні процеси в секції з двох генераторів Фітча, що паралельно працюють на загальне навантаження, встановити критерій синхронності роботи генераторів і створити систему автоматичного запуску розрядників секції, що забезпечує синхронність роботи генераторів.

Об’єкт дослідження – електромагнітні процеси в імпульсних джерелах високих напруг і сильних струмів для електрофізичних установок.

Предмет дослідження – особливості електромагнітних процесів при збільшенні швидкості зміни напруг і струмів, форми, амплітудних і часових параметрів імпульсів напруг і струмів.

Методи дослідження. Для розв'язання задач дисертації та досягнення поставленої мети використано загальні положення теорії електромагнітного поля, методи теорії електричних кіл. Для дослідження електромагнітних процесів використовувався математичний апарат інтегро-диференціальних рівнянь, фізичне і математичне моделювання із застосуванням прикладних комп'ютерних програм. Експериментальні дослідження проводилися на повномасштабних зразках джерел з використанням експериментальних високовольтних стендів, розроблених і традиційних засобів вимірювань.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Теоретично та експериментально встановлено, що для досягнення найбільших електродинамічних зусиль, що розширюють металеву оболонку за допомогою зовнішнього індуктора, у випадку, якщо критерій $\tau^* \sim 0,1$, «зріз» частини першої напівхвилі зовнішнього магнітного поля слід здійснювати у момент максимального значення розрядного струму. У тих випадках, коли момент часу, в який досягається амплітудне значення прониклого поля, близький до тривалості напівперіоду розрядного струму, має сенс «зріз» першої напівхвилі.

2. Теоретично обґрунтована залежність тривалості фронту імпульсу напруги на навантаженні високовольтного трансформаторного джерела від часу комутації напівпровідникових приладів і власних параметрів джерела.

3. Експериментально встановлено, що збільшення в 2 рази швидкості наростання імпульсу напруги на навантаженні трансформаторного джерела у вигляді багатозазорного формуючого пристрою, веде до розширення частотного діапазону та підвищенні стабільності спрацьовування формуючого пристрою більш ніж в 5 разів.

4. Теоретично та експериментально доказано, що необхідною умовою для отримання в навантаженні низькоіндуктивної секції з двох паралельно працюючих удосконалених генераторів за схемою Фітча імпульсів струму з розкидом у часі тривалості фронту та спадом амплітуди не більш ніж (3 – 6) % розкид у часі спрацьовування генераторів Фітча не повинен перевищувати 200 нс.

5. Теоретично та експериментально встановлено, що можливо збільшення швидкості наростання напруги на навантаженні низькоіндуктивної секції з двох паралельно працюючих удосконалених генераторів за схемою Фітча за рахунок поєднання ємнісних нагромаджувачів генераторів Фітча і Аркадьєва – Маркса.

Практичне значення одержаних результатів для господарства України складатиметься в оцінці та впровадженні дії сильних електромагнітних полів на виробі електротехнічної галузі, у медицині, промисловості, фізиці та полягає в наступному:

1) запропоновано практичні рекомендації з вибору часу «зрізу» розрядного струму установок МІОМ для здійснення технологічної операції «роздача» за допомогою зовнішнього індуктору;

2) отримано аналітичну залежність тривалості фронту імпульсу напруги на навантаженні високовольтного трансформаторного джерела від часу комутації напівпровідникового ключа і коефіцієнта згасання силового контуру, що дає змогу оцінити перевагу сучасних напівпровідників над традиційними;

3) із застосуванням сучасних швидкодіючих напівпровідникових приладів та феромагнітних матеріалів удосконалено генератор високовольтних імпульсів напруги медичного апарату АШЕМІТ, створено малогабаритне високовольтне джерело напруги електротехнологічних установок для конверсії газоподібних відходів у промисловості за допомогою імпульсного коронного розряду;

4) розроблена секція з двох паралельно працюючих удосконалених генераторів за схемою Фітча, що дає можливість створення високовольтного джерела великих імпульсних струмів для фізичних досліджень;

5) надані практичні рекомендації щодо захисту електронних блоків систем керування і захисту електротехнологічних установок від дії сильних електромагнітних завод.

Результати досліджень впроваджені при виконанні науково-дослідних робіт в науковій лабораторії електродинамічних досліджень підприємства «Протон-21» (м. Київ), на підприємстві «Елга» (м. Шостка, Сумська обл.), в НДПКІ «Молнія» НТУ «ХП».

Особистий внесок здобувача. Всі основні положення дисертації розроблені здобувачем особисто. Серед них:

- створено низьковольтний генератор імпульсних струмів для фізичного моделювання проникнення «зрізаних» імпульсів магнітного поля в циліндричну оболонку;

- теоретично та експериментально досліджено вплив часу комутації напівпровідникових приладів і власних параметрів розрядного кола імпульсного трансформаторного джерела на форму імпульсів напруги на навантаженні і сформульовано практичні рекомендації по збільшенню швидкості наростання імпульсів;

- створено малогабаритні імпульсні джерела високої напруги, системи керування і захисту для сучасних електрофізичних установок;

- теоретично досліджено електромагнітні процеси у низькоіндуктивній секції з двох паралельно працюючих удосконалених генераторів Фітча та отримано критерій синхронності роботи генераторів;

- запропоновано систему автоматичного запуску комутаторів низькоіндуктивної секції з двох паралельно працюючих удосконалених генераторів Фітча;

- розроблено та виготовлено нестандартне високовольтне вимірювальне обладнання, що використовується при експериментальному дослідженні роботи створених електрофізичних установок.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи апробовано на: міжнародній конференції “*Euro Electromagnetics*” (Магдебург, Німеччина, 2004); міжнародних симпозіумах *SIEMA* (Харків, 2004, 2006, 2007); міжнародній конференції “Высокоинтенсивные физические факторы в биологии, медицине, сельском хозяйстве и экологии” (Саров, Росія, 2004); міжнародній науковій школі-семінарі “Физика импульсных разрядов в конденсированных средах” (Миколаїв, 2005); міжнародній конференції “Співробітництво для

вирішення проблеми відходів” (Харків, 2007); міжнародній конференції “*ULTRAWIDEBAND AND ULTRASHORT IMPULSE SIGNALS*” (Севастополь, 2006); міжнародній конференції “Проблеми сучасної електротехніки – 2008” (Київ, 2008); 30-ому Всеросійському семінарі “Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологи” (Москва, 2008).

Публікації. За результатами проведених досліджень було опубліковано 17 статей, серед них 11 – у фахових виданнях ВАК України.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновку, 5 додатків та списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 156 сторінок, з них: 54 ілюстрації по тексту, 5 ілюстрацій на окремих 3 сторінках; 6 таблиць по тексту; 5 додатків на 29 сторінках; список використаних джерел із 67 найменувань на 7 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, зазначено зв'язок дисертації з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мета і задачі досліджень, показано наукова новизна і практична цінність одержаних результатів.

У першому розділі наведено огляд, аналіз і класифікацію імпульсних джерел високих напруг і сильних струмів для сучасних електрофізичних установок, таких як установки для магнітно-імпульсної обробки металів, електрофізіотерапевтичні установки, установки на основі імпульсного коронного розряду, генератори надсильних імпульсних струмів.

Аналіз довів, що подальше удосконалення цих установок можливе шляхом збільшення швидкості зміни імпульсів напруг і струмів, а саме:

- в установках МІОМ регульованій «зріз» імпульсів зовнішнього магнітного поля істотно розширює функціональні можливості установок;

- в апаратах широкосмугової імпульсної терапії збільшення швидкості наростання імпульсів напруги на пристрої формування підвищує стабільність роботи і розширює частотний діапазон апарату;

- в установках на основі імпульсного коронного розряду збільшення швидкості наростання імпульсів напруги і струму в розрядному контурі розширює частотний діапазон, підвищує робочу напруженість, зменшує масу і габарити установки;

- збільшення швидкості наростання імпульсів напруги на навантаженні, загальному для декількох паралельно працюючих генераторів, шляхом синхронізації цих генераторів, дозволяє створити високовольтне імпульсне джерело надсильних струмів.

У другому розділі досліджені електромагнітні процеси в системі «зовнішній соленоїд – циліндрична заготовка» (технологічна операція «роздача» при МІОМ), встановлені критерії «зрізу» імпульсів магнітного поля і запропоновані практичні рекомендації по удосконаленню установок МІОМ. Для цього створена фізична модель магнітно-імпульсної установки, що генерує «зрізані» імпульси магнітного поля, – генератор імпульсних струмів з електронним регулюванням моменту «зрізу»

(НГІС) і досліджено електромагнітні процеси в системі «зовнішній соленоїд – циліндрична оболонка». НГІС має покращені характеристики та широкі функціональні можливості. До них відносяться, перш за все, формування «зрізаного» імпульсу струму у вигляді тільки першої напівхвилі експоненційно згасаючої синусоїди або її частини, а також створення імпульсів струму з частотою до 100 кГц при амплітуді до 1 кА.

На рис. 1, 2 представлено електрична схема силового контуру НГІС та осцилограми імпульсів розрядного струму (магнітного поля) в індукторі.

Рис. 1. Електрична схема силового контуру НГІС.

а) в)

б) д)

Рис. 2. Розрахункові імпульси розрядного струму НГІС: а) експоненційно згасаюча синусоїда; б) аперіодичний імпульс; в) перша напівхвиля експоненційно згасаючої синусоїди; д) «зрізана» перша напівхвиля експоненційно згасаючої синусоїди.

За допомогою НГІС проведено експериментальні дослідження проникнення «зрізаних» імпульсів магнітного поля у циліндричну оболонку товщиною d , з внутрішнім радіусом R ($d \ll R$) із немагнітного матеріалу з постійною питомою електропровідністю γ . Основні характеристики оболонок, які використовували в експериментах, приведені в таблиці.

Основні характеристики оболонок

Матеріал оболонки	γ , См/м	R , мм	d , мм	τ , с
Нержавіюча сталь	$1,15 \cdot 10^6$	20,5	0,6	$0,889 \cdot 10^{-5}$
Бронза	$4,58 \cdot 10^6$	20,0	1,0	$0,576 \cdot 10^{-4}$
Алюмінієвий сплав	$0,27 \cdot 10^8$	19,85	1,25	$0,421 \cdot 10^{-3}$

На рис. 3 показано осцилограми падіння напруги на вимірювальному шунті (криві 1), напруги $u_{\text{вх}}(t)$ на вході електронного осцилографу після RC -інтегратора (криві 2) і після схеми узгодження для вимірювання напруженості електричного поля (криві 3).

а)

д)

б)

е)

а), б), в) 50 мкс/поділ.; 1 – 0,2 В/поділ.;
2 – 0,5 В/поділ., 3 – 2,0 В/поділ.; д) 100
мкс/поділ.; 1 – 0,2 В/поділ., 2 – 0,5
В/поділ.; е) 50 мкс/поділ.; 0,2 В/поділ.

в)

Рис. 3. Осцилограми при розряді НГІС на соленоїд с оболонкою із: а), б), в) нержавіючій сталі (а, б «зріз» першої напівхвилі розрядного струму, в «зріз» частини першої напівхвилі); д) бронзи («зріз» частини першої напівхвилі розрядного струму); е) алюмінієвого сплаву («зріз» першої напівхвилі розрядного струму).

Аналіз форми отримуваних імпульсів напруженості зовнішнього магнітного поля $H(0,t)$ (розрядного струму) показав, що їх «зрізані» частини можуть бути апроксимовані відповідними ділянками експоненціально згасаючої синусоїди

$$H(0,t) = H_0 e^{-\alpha t} \sin \omega t, \quad (1)$$

де H_0 , α , ω – постійні.

Для аналізу імпульсного електромагнітного поля системи соленоїд – оболонка використані такі критерії подібності: $t^* = \omega t$, $\alpha^* = \alpha / \omega$, $t_c^* = \omega t_c$, $\tau^* = \omega \tau$ де t_c – момент часу «зрізу» імпульсу зовнішнього магнітного поля; τ – постійна часу першого наближення;

$$\tau = \mu_0 \gamma R d / 2; \quad (2)$$

μ_0 – магнітна постійна.

Розрахункові дані, які отримано за допомогою моделі першого наближення, приведено на рис. 4. Розбіжності між експериментальними та розрахунковими значеннями основних параметрів не перевершують похибок вимірювань (~10%), а характер зміни в часі напруженостей електромагнітного поля відповідає осцилограмам розрядного струму.

а)

в)

а) «зріз» першої напівхвилі (нержавіюча сталь); 1 – $H^*(0, t^*)$, 2 – $H^*(d, t^*)$, 3 – $5\eta^*$; б) $p^*(t^*)$, 3 – «зріз» першої напівхвилі, 4 – «зріз» частини першої напівхвилі (нержавіюча сталь); в) ідеальний «зріз» частини першої напівхвилі; 1 – $H^*(0, t^*)$, 2 – $H^*(d, t^*)$ (нержавіюча сталь); 3 – $H^*(0, t^*)$, 4 – $H^*(d, t^*)$ (бронза).

б)

Рис. 4. Розрахункові залежності для системи з оболонками з нержавіючої сталі та бронзи у разі «зрізу» першої напівхвилі зовнішнього поля і її частини.

Аналіз рис. 3, 4 дозволив виробити рекомендації для «зрізу» імпульсу магнітного поля системи «зовнішній соленоїд – циліндрична оболонка» для отримання максимальних електродинамічних зусиль, що розширюють оболонку:

- 1) «зріз» частини першої напівхвилі $\tau^* \sim 0,1; t_c^* \approx t_{m1}^*$;
 2) «зріз» першої напівхвилі $t_{mi} \approx T/2; t_c^* = \pi$.

У третьому розділі досліджено вплив швидкості наростання імпульсів напруги на навантаженні високовольтного імпульсного трансформаторного джерела, що є основою для електрофізіотерапевтичних установок і установок на основі імпульсного коронного розряду, на технічні характеристики цих установок.

Трансформаторне імпульсне джерело для електрофізичних установок містить такі вузли (рис. 5): джерело енергії – однофазна або трифазна мережа, мережний випрямлювач, фільтр, однотактний або двотактний інвертор напруги, імпульсний трансформатор, система керування та захисту, навантаження.

Для дослідження перехідних процесів в силовому контурі високовольтного імпульсного джерела використана схема заміщення, яка відрізняється від відомих тим, що в ній разом з параметрами схеми заміщення імпульсного трансформатора враховується час комутації електронного ключа.

Рис. 5. Блок-схема трансформаторного імпульсного джерела: ДЕ – джерело енергії; В – мережний випрямлювач; Ф – фільтр; ІН – інвертор напруги; ІТ – імпульсний трансформатор; Н – навантаження; СКЗ – система керування та захисту.

Перехідний процес у силовому контурі високовольтного імпульсного джерела описується безрозмірним інтегро-диференціальним рівнянням

$$\frac{d^2 v}{d\tau^2} + 2\xi \frac{dv}{d\tau} + [1 - k_R (\frac{1}{k_L} - 1)]v + \eta \int_0^\tau v d\tau = g(\tau), \quad (3)$$

$$g(\tau) = \begin{cases} 0, & \tau < 0; \\ \tau / \tau_{\text{вмик}}, & 0 < \tau < \tau_{\text{вмик}}; \\ 1, & \tau_{\text{вмик}} < \tau < \tau_I - \tau_{\text{вмик}}; \\ (\tau_I - \tau) / \tau_{\text{вмик}}, & \tau_I - \tau_{\text{вмик}} < \tau < \tau_I; \\ 0, & \tau > \tau_I, \end{cases}$$

з початковими умовами

$$v(0) = v'(0) = 0, \quad (4)$$

де E – напруга джерела енергії; $T_1, t_{\text{вмик}}, t_{\text{вимк}}$ – часові параметри імпульсу; r, R, C, L_S, L_μ – параметри схеми заміщення силового контуру; $v(\tau) = u(\tau)/(k_R E)$ – безрозмірна

напруга на навантаженні; $\tau = t / \theta_e$ – безрозмірний час; $k_R = R / (r + R)$ – коефіцієнт передачі напруги по опорах; $k_L = L_\mu / (L_\mu + L_S)$ – коефіцієнт передачі напруги по індуктивностях; $\xi = 0,5\sqrt{k_R}(r / \rho + \rho / R)$ – коефіцієнт згасання контуру; $\rho = \sqrt{R_S / C}$ – характеристичний опір контуру; $\theta_e = \sqrt{R_R L_S C}$ – високочастотна постійна часу контуру; $\theta_n = L_\mu(r + R) / (rR)$ – низькочастотна постійна часу контуру; $\eta = \theta_e / \theta_n$.

За допомогою рівняння (3) досліджено вплив часу комутації електронного ключа на тривалість фронту імпульсу напруги на навантаженні. Для цього використано пакет прикладних програм *Electronics Work Bench Pro*. Розрахункові значення тривалості фронту імпульсів T_ϕ^* , що визначена на рівні 0,1 – 0,9, приведені на рис. 6. Час комутації ключа $t_{\text{вмик}}^*$ змінювався в діапазоні 0 – 10, а коефіцієнт згасання ξ відповідав трьом режимам роботи силового контуру: коливальний режим ($\xi = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$); критичний аперіодичний режим ($\xi = 1,0$); аперіодичний режим ($\xi = 1,5; 2,0$).

Графічні залежності $T_\phi^*(t_{\text{вмик}}^*, \xi)$, з погрішністю тієї, що не перевищує 7 %, описуються аналітичним виразом, отриманому за допомогою методу найменших квадратів

$$T_\phi^* \approx 1,2 + 2 \cdot \xi^2 + 0,454 \cdot t_{\text{вмик}}^* + 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot t_{\text{вмик}}^{*2}. \quad (5)$$

Якщо, згідно досліджень Я.С. Іццоки, Л.М. Гольденберга та інших вчених, прийняти $\xi = \xi_{\text{опт}} = 0,7$, з (5) можливо отримати критерій застосування ключа

$$t_{\text{вмик}}^* \leq 0,4. \quad (6)$$

Рис. 6. Залежність тривалості фронту T_ϕ від часу вмикання напівпровідникового ключа $t_{\text{вмик}}^*$ та коефіцієнта згасання ξ : 1 – $\xi=0,2$; 2 – $\xi=0,4$; 3 – $\xi=0,6$; 4 – $\xi=0,8$; 5 – $\xi=1,0$; 6 – $\xi=1,5$; 7 – $\xi=2,0$.

Умові (6) задовольняють сучасні напівпровідникові прилади – потужні високочастотні швидкодіючі *MOSFET*- і *IGBT*-транзистори. Ці транзистори використані нами при удосконаленні імпульсних джерел високої напруги для АШЕМІТ і установок ІКР.

Застосування швидкодіючих напівпровідникових приладів і сучасних феромагнітних матеріалів дозволило:

– в АШЕМИТ підвищити швидкість наростання імпульсів напруги на навантаженні в 2 рази. В результаті розширено частотний діапазон і підвищено стабільність роботи формуючого пристрою більш ніж в 5 разів;

– в електротехнологічній установці ІКР робочу напруженість підвищити з 10 кВ/см до 15 кВ/см, частотний діапазон розширити з 2000 імп./с до 15000 імп./с, а масу установки зменшити з 50 кг до 10 кг (при збереженні основної характеристики установки ІКР – концентрація озону $\sim 10 \text{ г/м}^3$ при протоці неосушеного повітря $\sim 0,5 \text{ м}^3/\text{год.}$).

У четвертому розділі приведено результати по створенню високовольтного імпульсного джерела струму з параметрами:

- робоча напруга 440 кВ;
- амплітуда розрядного струму 2 МА;
- gfe1049fe1049 тривалість фронту імпульсу струму, не більш
500 нс.

Джерело містить шість низькоіндуктивних секцій з двох модифікованих модулів за схемою Фітча (рис. 7), що працюють на загальне навантаження у вигляді газового розряду.

Рис. 7. Електрична схема низькоіндуктивної секції на основі вдосконалених

генераторів Фітча.

За основу вдосконалених генераторів Фітча взята класична схема генератора Фітча з такими доопрацюваннями:

– «розв’язка» паралельно працюючих генераторів здійснюється за допомогою котушок індуктивності;

– у генераторі ініціювання Аркадьєва – Маркса використані керовані розрядники;

– ємнісні нагромаджувачі нижніх ступенів генераторів Фітча і Аркадьєва – Маркса об’єднані.

Експериментальні дослідження і моделювання перехідних процесів у низькоіндуктивної секції за допомогою *Electronics Work Bench Pro* показали принципову можливість створення високовольтного джерела струму мегаамперного діапазону (рис. 8).

а)

б)

Рис. 8. Розрахункові (а) та експериментальні (б) імпульси напруги (1, 3) на секції і струму в навантаженні секції (2): а) ціна поділки: 1 мкс/поділ., 100 кВ/поділ., 100 кА/поділ.

Оцилограми рис. 8 отримані при синхронному спрацьовуванні модулів секції. Дослідження показали, що критерієм синхронності роботи модулів секції є розкид у часі спрацьовування $\Delta t \leq 200$ нс. При цьому розкид тривалості фронту і спад амплітуди імпульсу струму в навантаженні не перевищує декількох відсотків (рис. 9, а). При $\Delta t > 200$ нс форма імпульсу струму в навантаженні спотворюється (рис. 9, б, в).

Для виконання умови синхронного спрацьовування модулів необхідно забезпечити високу швидкість наростання імпульсу напруги на секції. Висока швидкість наростання забезпечується застосуванням керованих розрядників, об’єднанням ємнісних нагромаджувачів генераторів Фітча і Аркадьєва – Маркса, спеціальною системою синхронізації. Паралельно одному з головних розрядників секції (на рис. 7 – P3) підключене інтегруюче RC-коло, конденсатор C1 якого зашунтовано вимірювальним кульовим розрядником P4. Напруга на конденсаторі RC-інтегратора наростає згідно із законом близьким до лінійного, якщо постійна інтегрування значно більше тривалості вихідної напруги (рис. 9, д). Це дозволяє з

високою точністю налаштувати кульовий розрядник на необхідну напругу спрацьовування і, отже, на необхідний час запуску головного розрядника.

При досягненні напруги на $P3$ значення близького до максимального, конденсатор $C1$ інтегруючого кола $R1C1$ заряджається до напруги спрацьовування кульового розрядника $P4$. На резисторі $R5$ з'являється імпульс напруги полярності, що протилежна вихідному імпульсу модуля. У модулі $A1$ електричний імпульс перетворюється у світловий імпульс, який по світлопроводу поступає в модуль $B1$, де відбувається зворотне перетворення світлового імпульсу в електричний. На виході модуля $B1$ формується сигнал керування розрядного тиристора у високовольтному модулі запуску розрядників $C1$. З виходу модуля $C1$ негативний імпульс напруги амплітудою ~ 40 кВ і крутим фронтом запускає розрядник $P8$. На резисторі $R14$ з'являється імпульс напруги амплітудою близькою до E (рис. 7), але протилежної полярності. Цей імпульс по лініях зв'язку з високовольтного кабелю РК-50-17-17 однакової довжини подається на запуск усіх головних розрядників.

а)

в)

б)

д)

Рис. 9. Осцилограми імпульсів напруги (1, 3) і струмів (2), що характеризують роботу системи синхронізації: ціна поділки: 1 мкс/поділ., 100 кВ/поділ., 100 кА/поділ.

Створене високовольтне джерело імпульсних струмів мегаамперного діапазону, що працює на нелінійне навантаження (газовий розряд), дозволило в науковій лабораторії електродинамічних досліджень підприємства «Протон-21» (м. Київ) синтезувати довгоживучі нові надважкі трансуранові елементи та наблизитися до створення принципово нових, екологічно безпечних енергетичних установок.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано науково-практичне завдання – удосконалення високовольтних електрофізичних установок, що створюють сильні електричні та магнітні поля, шляхом збільшення швидкості зміни імпульсів напруг і струмів у цих установках.

1. На основі новітніх досягнень в області напівпровідникових приладів створено генератор «зрізаних» імпульсів струму (НГІС) з електронним регулюванням моменту «зрізу». Експериментальні дослідження за допомогою НГІС показали, що:

– для досягнення найбільших електродинамічних зусиль, що розширюють циліндричну провідну оболонку шляхом розряду ємнісного нагромаджувача на зовнішній індуктор і «зрізу» частини першої напівхвилі розрядного струму, необхідно забезпечити таку кругову частоту початкового імпульсу ω , щоб критерій τ^* не перевершував величину, що близька до 0,1. При цьому амплітудні значення напруженостей зовнішнього магнітного поля та магнітного поля, що проникло всередину оболонки, $H(0,t)$, $H(d,t)$ відрізняються незначно, зсув фаз ψ_n між ними вельми малий і «зріз» частини першої напівхвилі імпульсу слід здійснювати у момент максимального значення розрядного струму;

– у тих випадках, коли момент часу t_{mi} , в який досягається амплітудне значення $H(d,t)$, близький до $T/2$, має сенс «зріз» першої напівхвилі.

2. Теоретично та експериментально досліджені електромагнітні процеси у силовому контурі, що включає ємнісний нагромаджувач енергії, напівпровідниковий ключ (тиристор, транзистор), імпульсний трансформатор, що працює на ємнісне навантаження. При цьому враховано час вмикання та вимкнення напівпровідникового ключа. Отримана залежність тривалості фронту імпульсу напруги на навантаженні від часу комутації напівпровідникового ключа і коефіцієнта згасання силового кола, встановлено критерій застосування напівпровідникового ключа в імпульсних джерелах – час комутації ключа $t_{вмик}^* \leq 0,4$.

3. Вдосконалено генератор високовольтних імпульсів напруги субнаносекундної тривалості фронту, що використовується в АШЕМІТ. Застосування швидкодіючих напівпровідникових приладів і сучасних феромагнітних матеріалів дозволило підвищити швидкість наростання імпульсів напруги на навантаженні в 2 рази в порівнянні з прототипом. В результаті розширено частотний діапазон і підвищена стабільність роботи формуючого пристрою більш ніж у 5 разів.

4. Розроблено малогабаритне високовольтне джерело напруги для електротехнологічної установки на основі імпульсного коронного розряду (ІКР). Застосування створеного джерела в електротехнологічній установці ІКР дозволило робочу напруженість підвищити з 10 кВ/см до 15 кВ/см, частотний діапазон

розширити з 2000 імп./с до 15000 імп./с, а масу установки зменшити з 50 кг до 10 кг (при збереженні основної характеристики установки ІКР – концентрація озону ~ 10 г/м³ при протоці неосушеного повітря ~ 0,5 м³/год.).

5. Теоретично та експериментально доказано, що необхідною умовою для отримання в навантаженні низькоіндуктивної секції з двох паралельно працюючих вдосконалених генераторів за схемою Фітча імпульсів струму з розкидом тривалості фронту і спадом амплітуди не більш (3 – 6) % розкид у часі спрацьовування генераторів Фітча не повинен перевищувати 200 нс. Створена система автоматичного запуску генераторів Фітча, що забезпечує необхідний часовий розкид.

6. Теоретично та експериментально встановлено, що можливе збільшення швидкості наростання напруги на навантаженні низькоіндуктивної секції з двох паралельно працюючих генераторів за схемою Фітча за рахунок об'єднання ємнісних нагромаджувачів генераторів Фітча і Аркадьєва – Маркса.

7. На основі комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень електромагнітних процесів у низькоіндуктивній секції з двох паралельно працюючих модулів за схемою Фітча створено високовольтне джерело імпульсних струмів мегаамперного діапазону для фізичних досліджень.

8. Результати дисертації впроваджені при виконанні науково-дослідних робіт в науковій лабораторії електродинамічних досліджень підприємства «Протон-21» (м. Київ), на підприємстві «Елга» (м. Шостка, Сумська обл.), в НДПКІ «Молнія» при виконанні держбюджетних і госпдоговірних робіт у 1998 – 2008 р.р., міжнародного проекту НТЦУ № 1120, а також у навчальному процесі на кафедрі інженерної електрофізики НТУ «ХПІ» при підготовці фахівців із спеціальностей «Техніка і електрофізика високих напруг» і «Нетрадиційні джерела енергії».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бойко Н.И. Средства измерения напряжений и токов в установках для обработки веществ комплексом высоковольтных импульсных воздействий / Борцов А.В., Сафронов И.А., Тур А.Н. // Технічна електродинаміка. – Київ. – 2004. – № 5. – С. 63 – 69. *Здобувач виконав комп'ютерне моделювання схем дільників напруги і струмових шунтів. Брав участь у виготовленні і експериментальних дослідженнях розроблених вимірювальних засобів.*

2. Бойко Н.И. Импульсный коронный разряд с расширенной зоной ионизации: физические основы получения и перспективные области применения / Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Иванов В.М., Иванькина А.И., Тур А.Н. // Електротехніка і Електромеханіка. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2004. – № 3. – С. 98 – 104. *Здобувач розробив на сучасній елементній базі високовольтні імпульсні генератори для нових електротехнологічних установок з імпульсним коронним розрядом. Провів експериментальні дослідження електромагнітних процесів в імпульсному коронному розряді.*

3. Бойко Н.И. Низкоиндуктивная секция генератора мощных высоковольтных

імпульсов по схемі Фітча / Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Зароченцев А.И., Иванов В.М., Рудаков В.В., Тур А.Н., Артюх В.Г. // Приборы и техника эксперимента. – Москва. – 2005. – № 4. – С. 57 – 65. *Здобувач теоретично досліджував електромагнітні процеси в низькоіндуктивній секції генератора потужних високовольтних імпульсів за схемою Фітча. Розробив схему синхронізації високовольтних комутаторів.*

4. Бойко Н.И. Высоковольтные импульсные трансформаторы в технологических установках / Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Зароченцев А.И., Иванов В.М. // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2006. – № 36. – С. 8 – 13. *Здобувач розробив імпульсні джерела напруг для нових технологічних установок.*

5. Бойко Н.И. Метод обеззараживающей обработки текучих продуктов в потоке при помощи сильных импульсных электрических полей и искровых разрядов / Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Зароченцев А.И., Иванов В.М. // Технічна електродинаміка. – Київ. – 2006. – Тем. випуск. – С. 83 – 86. *Здобувач провів експериментальні дослідження електромагнітних процесів в імпульсних джерелах напруг.*

6. Борцов А.В. Генератор высоковольтных импульсов / Бойко Н.И. // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – №24. – С. 22 – 26. *Здобувач удосконалив схеми генератора високовольтних імпульсів і системи керування до нього.*

7. Борцов А.В. Влияние измерительной цепи на согласованный делитель напряжения // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – №34. – С. 24 – 29.

8. Бойко Н.И. Использование импульсного коронного разряда с расширенной зоной ионизации для конверсии токсичных газообразных отходов / Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Зароченцев А.И., Иванов В.М. // Електротехніка і Електромеханіка. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – № 4. – С. 64 – 65. *Здобувач розробив на сучасній елементній базі високовольтний імпульсний генератор для нової електротехнологічної установки.*

9. Борцов А.В. Генератор для физического моделирования импульсных электромагнитных полей // Електротехніка і Електромеханіка. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – № 1. – С. 63 – 66.

10. Борцов А.В. Физическое моделирование проникновения «срезанных» импульсов магнитного поля в цилиндрическую проводящую оболочку / Лютенко Л.А., Михайлов В.М. // Технічна електродинаміка. – Київ. – 2008. – Тем. Випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 5. – С. 90 – 95. *Здобувач провів експериментальні дослідження проникнення «зрізаних» імпульсів магнітного поля в циліндричну провідну оболочку.*

11. Борцов А.В. Учет влияния времени коммутации полупроводниковых приборов на форму импульсов напряжения на нагрузке импульсного трансформаторного источника напряжения // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – №21. – С. 20 – 26.

12. Бойко Н.И. Модуль генератора импульсов тока по схеме Фитча / Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Зароченцев А.И., Иванов В.М., Покладов О.В., Рудаков В.В., Тур А.Н. // Материалы XII Международной научной школы-семинара «Физика импульсных разрядов в конденсированных средах», Николаев, Украина. – Николаев: КП «Николаевская областная типография», 2005. – С. 151 – 154. *Здобувач теоретично досліджував електромагнітні процеси в модулі генератора імпульсів струму за схемою Фітча.*

13. Бойко Н.И. Установки для осуществления комплекса высоковольтных импульсных воздействий / Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Зароченцев А.И., Иванов В.М., Тур А.Н. // Труды международной конференции «Высокоэффективные физические факторы в биологии, медицине, сельском хозяйстве и экологии», Саров, Россия. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ. – 2005. – С. 441 – 448. *Здобувач розробив на сучасній елементній базі високовольтні імпульсні генератори для нових електротехнологічних установок.*

14. Boyko N.I. Generator of Short High-Voltage Pulses / Bortsov A.V., Evdoshenko L.S., Zarochentsev A.I., Ivanov V.M., Arkhipov N.I. // Materials of Third International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, Sevastopol, Ukraine. – Proc. IEEE Electronics Power Science and General. – 2005. – Vol. 111, № 4. – P. 194 – 196. *Здобувач розробив імпульсне джерело напруги для генератору.*

15. Бойко Н.И. Электрофизические установки и технологии для решения проблемы отходов / Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Зароченцев А.И., Иванов В.М. // Мир техники и технологий. – Харків. – 2006. – №3 (52). – С. 63 – 65. *Здобувач розробив джерела для високовольтних імпульсних генераторів нових електрофізичних установок.*

16. Бойко Н.И. Установка для конверсии токсичных газообразных промышленных отходов / Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Зароченцев А.И., Иванов В.М., Евсеев И.М. // Материалы IV Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов», Харьков, Украина. – Харьков: Экоинформ. – 2007. – С. 152 – 154. *Здобувач розробив на сучасній елементній базі високовольтні імпульсні генератори для нових електротехнологічних установок.*

17. Бойко Н.И. Установка для конверсии газовых выбросов при помощи импульсного коронного разряда с расширенной зоной ионизации / Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Евсеев И.М., Зароченцев А.И., Иванов В.М. // Материалы 30-го Всероссийского семинара «Озон и другие, экологически чистые окислители», Москва, Россия. – М: МАКС Пресс. – 2008. – С. 148 – 152. *Здобувач розробив на сучасній елементній базі високовольтний імпульсний генератор для електротехнологічної установки.*

АНОТАЦІЇ

Борцов О.В. Збільшення швидкості зміни імпульсів напруг і струмів у високовольтних установках. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.13 – Техніка сильних електричних та магнітних полів. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2008.

Дисертація присвячена удосконаленню високовольтних електрофізичних установок, що створюють сильні електричні і магнітні поля. Для удосконалення необхідно збільшити швидкість зміни імпульсів напруг і струмів у цих установках.

У роботі теоретичні та експериментальні дослідження на фізичній моделі процесу проникнення «зрізаних» імпульсів магнітного поля в циліндричну провідну оболонку дозволили виробити вимоги до моменту «зрізу» зовнішнього магнітного поля для досягнення найбільших електродинамічних зусиль, що розширюють оболонку за допомогою зовнішнього індуктора.

Досліджено вплив часу комутації напівпровідникового ключа, разом з власними параметрами розрядного контуру, на форму вихідних імпульсів у установках для ширококутної електромагнітної дії та установках на основі імпульсного коронного розряду. Результати досліджень дозволили удосконалити ці установки.

Створення високовольтних джерел імпульсних струмів мегаамперного діапазону для фізичних досліджень можливо на основі паралельної роботи декількох генераторів Фітча на загальне навантаження. Аналіз показав, що для синхронної роботи генераторів у секції необхідно удосконалити класичну схему генератора Фітча, встановити критерій синхронності та створити систему автоматичного запуску генераторів, що забезпечує виконання цього критерію.

Ключові слова: сильні електричні та магнітні поля, МІОМ, імпульсний трансформатор, імпульсний коронний розряд, генератор Фітча.

Борцов А.В. Увеличение скорости изменения импульсов напряжений и токов в высоковольтных установках. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.13 – Техника сильных электрических и магнитных полей. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2008.

Диссертация посвящена усовершенствованию высоковольтных электрофизических установок, создающих сильные электрические и магнитные поля, таких как установки для магнитно-импульсной обработки металлов, установки для широкополосного электромагнитного воздействия, установки на основе импульсного коронного разряда и источники больших импульсных токов для физических исследований. Для этого необходимо увеличить скорость изменения импульсов напряжений и токов в этих установках.

В установках МИОМ «срез» импульса внешнего магнитного поля, проникающего в цилиндрическую оболочку, позволяет осуществить технологическую операцию «раздача» при помощи внешнего индуктора, что существенно расширяет возможности установок МИОМ. В работе теоретически и экспериментально на физической модели исследовано проникновение «срезанных» импульсов магнитного поля в цилиндрическую оболочку из 3-х материалов с различными электрофизическими свойствами (нержавеющая сталь, бронза и алюминиевый сплав). Для экспериментальных исследований, на базе новейших достижений в области полупроводниковых приборов, создан генератор импульсных токов с регулируемым моментом «среза». Исследования позволили выработать требования к моменту «среза» внешнего магнитного поля для достижения наибольших электродинамических усилий, расширяющих оболочку при помощи внешнего индуктора.

Установки для широкополосного электромагнитного воздействия и установки на основе импульсного коронного разряда содержат силовой контур с высоковольтным импульсным трансформатором, с емкостной нагрузкой во вторичной обмотке. Увеличение скорости нарастания импульсов напряжений и токов в этих установках позволяет расширить частотный диапазон, повысить стабильность выходных импульсов, повысить рабочую напряженность, уменьшить массогабаритные показатели. Это стало возможным при использовании современных ферромагнитных материалов (аморфные магнитомягкие сплавы, высокочастотные ферриты) и мощных высоковольтных быстродействующих *IGBT*- и *MOSFET*- транзисторов. В работе исследовано влияние времени коммутации полупроводникового ключа, наряду с собственными параметрами силового контура, на форму выходных импульсов. Получено аналитическое выражение для длительности фронта импульса напряжения на нагрузке в зависимости от времени коммутации полупроводникового ключа и собственных параметров силового контура, установлен критерий применимости полупроводникового ключа. Результаты исследований позволили усовершенствовать аппарат для широкополосной электромагнитной импульсной терапии (АШЭМИТ) и разработать малогабаритные источники для установок на основе импульсного коронного разряда. Установка ИКР для конверсии газовых выбросов внедрена на предприятии «Элга» (г. Шостка, Сумская обл.).

Создание высоковольтных источников импульсных токов мегаамперного диапазона для физических исследований возможно на основе параллельной работы нескольких источников на общую нагрузку. В работе предложено в качестве структурной единицы такого источника использовать низкоиндуктивную секцию из двух усовершенствованных генераторов по схеме Фитча. Разработана схема низкоиндуктивной секции и исследованы переходные процессы в ней. Анализ показал, что для синхронной работы генераторов в секции (высокой скорости нарастания импульса тока в нагрузке) необходимо усовершенствовать классическую схему генератора Фитча, установить критерий синхронности и создать систему автоматического запуска генераторов, обеспечивающую

выполнение этого критерия. Источник, состоящий из шести низкоиндуктивных секций, параллельно работающих на нелинейную нагрузку (газовый разряд), позволил в научной лаборатории электродинамических исследований предприятия «Протон-21» (г. Киев) синтезировать долгоживущие новые сверхтяжелые трансурановые элементы и приблизиться к созданию принципиально новых, экологически безопасных энергетических установок.

Ключевые слова: сильные электрические и магнитные поля, МИОМ, импульсный трансформатор, импульсный коронный разряд, генератор Фитча.

Bortsov A.V. Increasing of the Rate of Change of Pulses of Voltages and Currents in High-Voltage Plants. – Manuscript.

PhD thesis in field 05.09.13 – Technique of high electric and magnetic fields. – National Technical University “Kharkiv Politechnical Institute”, Kharkiv, 2008.

The thesis is devoted to improvement of high-voltage electrophysical plants creating high electric and magnetic fields. For this purpose, it is necessary to increase the rate of change of pulses of voltages and currents in these plants.

In this work, theoretical and experimental investigations of physical model of penetration process of “cut” pulses of magnetic field into cylindrical conducting shell allowed to work out the requirements to the moment of “cutting” of external magnetic field with the goal to obtain maximal electrodynamic forces expanding the shell with help of external inductor.

Influence of commutation time of semiconductor switch together with intrinsic parameters of discharging loop on form of output pulses in plants for wideband electromagnetic effect and plants on the base of pulsed corona discharge has been investigated. The results of the investigations allowed to improve these plants.

Creation of high-voltage sources of pulsed currents of megavolt range for physical investigations is possible on the base of parallel work of several Fitch generators into common load. Analysis showed that, for synchronous work of the generators, it is necessary to improve classical circuit of Fitch generator, to establish criterion of synchronism, and to create system of automatic triggering of the generators which provides fulfillment of this criterion.

Key words: high electric and magnetic fields, MPTM, pulsed transformer, pulsed corona discharge, Fitch generator.

Підп. до друку 04.11.2008 р. Формат 60x90 1/16. Папір офсетний. Друк лазерний. Надруковано на цифровому видавничому комплексі Rank Xerox DocuTech 135. Ум. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим.

Видавничий центр НТУ «ХП»
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня ТОВ «Сучасний друк», Харків, вул. Лермонтовська, 27 а
