НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

На правах рукопису

ФЕДОРОВСЬКИЙ Михайло Олександрович

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПРОМИСЛОВОЇ ЧАСТОТИ У СКЛАДІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ВВЕДЕННЯ ТА ВИВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ МАГНІТНИХ СИСТЕМ

05.09.03 - Електротехнічні комплекси та системи, включаючи їх управління та регулювання

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Київ - 1997

Дисертація є рукопис

Робота виконана у відділі № 1 Інституту електродинаміки НАН України, м. Київ

Науковий керівник — доктор технічних наук, професор Чехет Едуард Михайлович

Офіційні опоненти : доктор технічних наук, с.н.с. Новосельцев Олександр Вікторович,

кандидат технічних наук, с.н.с. Новський Володимир Олександрович

Провідна установа — Інститут металофізики НАН України, м. Київ

Захист відбудеться 22 квітня 1997 р. о 14 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.98.02 при Інституті електродинаміки НАН України, за адресою : 252680, м.Київ-57, пр.Перемоги, 56.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту електродинаміки НАН України.

Автореферат розіслано "21" 03 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Федій В.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми та ступінь дослідження тематики дисертації. Відкриття високотемпературної надпровідності (НП) призвело до того, що новий імпульс отримали також дослідження в галузі створення та удосконалення пристроїв, які є надпровідними при температурі рідкого гелія. Визначилося коло завдань електротехніки, які доцільно, а іноді і єдино можливо вирішити при застосуванні систем з НП елементами і пристроями (МГД-генератори, перетворювачі, трансформатори, магнітні системи, лінії електропередач, кабелі, транспорт на магнітній подушці, реактори, прискорювачі).

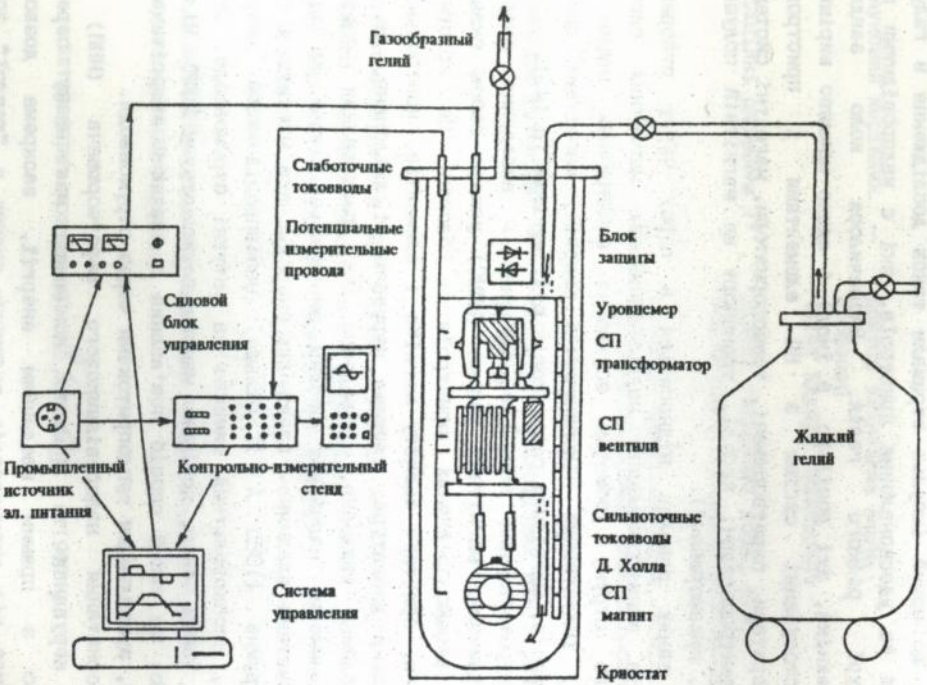
До таких завдань відноситься в першу чергу створення комплексів електроживлення надпровідникових магнітних систем постійного струму (обмоток збудження електричних машин та апаратів, індуктивних накопичувачів енергії, магнітних систем прискорювачів, магнітних сепараторів руд, вугілля та ін.).

Електротехнічний комплекс введення - виведення енергії надпровідникових магнітних систем (НПМС) уявляє собою складну систему взаємопов'язаних пристроїв і блоків. Це кріогенне обладнання, пристрої захисту магніта і елементів, контрольно - вимірювальна апаратура, система керування і живлення, та ін.

Проблема введення, виведення та регулювання енергії надпровідникових магнітних систем вирішується зараз на рівні прямої системи введення- виведення енергії, яка містить у собі великострумне (1000 А і більше) напівпровідникове джерело живлення, високовольтний вимикач та потужні струмовводи. Струм джерела, таким чином, дорівнює максимальному струму НПМС. Цілком зрозуміло, що такий спосіб пов'язаний з значними енергітичними втратами, зумовленими теплопритоками через струмовводи.

Використання надпровідникового перетворювача (НПП) як системи керування та живлення комплекса має низку переваг порівняно з прямим введенням енергії, заокрема дозволяє звільнитися від струмовводів великого струму з "теплої" зони. Енергія від напівпровідникового джерела живлення з "теплої" зони передається в кріостат на первинну обмотку НП трансформатора при малому струмі. Завдяки цьому втрати енергії мінімальні.

На мал.1 зображено електротехнічний комплекс введення і виведення енергії надпровідникової магнітної системи з надпровідниковими перетворювачами. В кріостаті, який охолоджується рідким


Газообразный гелий
Слаботочные токовводы
Потенциальные измерительные провода
Силовой блок управления
Промышленный источник эл. питания
Контрольно-измерительный стенд
Система управления
Блок защиты
Уровнемер
СП трансформатор
СП вентили
Сильноточные токовводы
Д. Холла
СП магнит
Криостат
Жидкий гелий

Мал. 1

гелієм, знаходиться НП магніт і надпровідниковий випрямляч на НП вентилях з НП трансформатором, а також давач рівня й блок захисту НП магніта і елементів. В "теплій" зоні знаходиться напівпровідникова система керування і живлення, контрольно - вимірювальний стенд і гелієве обладнання.

Дослідження в цій галузі проводилися в Нідерландах Л. ван дер Клундертом і Х. тен Катє, в США, в Японії. В Росії - І.А.Глєбовим, В.Н.Шахтаріним, Ю.В.Скобаріхіним, В.Р.Карасіком та іншими. В Україні- в інститутах НАН України - ХФТІ, ФТІНТ, в ІМФ, під керівництвом В.М. Пана, в ІПЕ в лабораторії А.В.Новосельцева.

В Інституті електродинаміки НАН України дослідженння проблеми використання надпровідних елементів в електротехнічних пристроях проводилися під керівництвом Г.Г. Счастливого, а також І.В. Волкова.

В більшості робіт мова йде про НПП з повітряним (без осердя) НП трансформатором і НП вентилями, які працюють на частотах порядка 1- 5 Гц. Це призводить до збільшення реактивної складової енергії НПП та обумовлює необхідність створення достатньо складного напівпровідникового пристрою керування з перетворювачем частоти.

В лабораторії надпровідникових перетворювачів Інституту електродинаміки під керівництвом М.В.Марковського була розроблена концепція побудови принципово нового типу НПП, яка полягає в застосуванні НП трансформатора з феромагнітним осердям і теплокерованими НП вентилями періодичної дії, які працюють на частоті електричної мережі. Це дозволило значно зменшити реактивну складову енергії НПП і суттєво спростити напівпровідниковий блок керуванння. М.В.Марковським і О.О. Шевченком була закладена основа створення елементної бази надпровідникових перетворювачів промислової частоти, а саме НП трансформатора та НП вентилів.

Виникло завдання проектування та дослідження надпровідникових перетворювачів промислової частоти, створення схемотехнічних рішень їх реалізації і способів керування. Оскільки експериментальні дослідження електронних схем з надпровідниковими елементами достатньо трудомісткі і дорого коштують, то на етапі проектування особливий інтерес викликає фізичне і математичне моделюванння надпровідникових елементів і пристроїв, а також створенння на основі цих моделей методик розрахунку і програмних

засобів, які дозволяють здійснити розрахунок перехідних і усталених процесів в НП пристроях і автоматизоване проектування НП перетворювачів.

Метою роботи є розробка методики розрахунку перехідних електромагнітних процесів в НП пристроях з урахуванням теплових процесів в НП елементах, з її допомогою розробка та дослідження схемотехнічних рішень і способів керування надпровідниковими перетворювачами промислової частоти і на цій основі підвищення швидкодії, ефективності і надійності роботи електротехнічного комплексу введення і виведення енергії надпровідникових магнітних систем.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні основні завдання :

- розробка методики розрахунку перехідних електромагнітних процесів в НП пристроях за обліком теплових процесів в НП елементах;
- проведення та аналіз результатів числових і фізичних експериментів з метою вибору оптимальних параметрів НП елементів, схемотехнічної реалізації і способів керування НП перетворювачів;
- розробка принципа побудови НП перетворювачів промислової частоти;
- створення та дослідження фізичних і математичних моделей НП елементів і НП пристроїв, сумісних з програмним комплексом автоматизованого проектуванння електронних схем;
- створення, теоретичне і експериментальне дослідження НП перетворювача, який працює від джерела сиусоідальної напруги промислової частоти без перетворення частоти і форми сигналу первинного джерела в режимах введення і виведення енергії.

Наукова новизна досліджень : Обгрунтована доцільність розрахунку перехідних електромагнітних процесів в НП пристроях за обліком теплових процесів в НП елементах. Встановлена залежність величини первинного струму НП трансформатора від величини струму в навантаженні НП перетворювача при введенні енергії і в кріотроні під час комутації. Сформульован принцип побудови НП перетворювачів промислової частоти. Запропонований підхід до класифікації алгоритмів керування НП перетворювачів. Створені та досліджені фізичні і математичні моделі НП елементів, які сумісні з програмним комплексом автоматизованого проектування нелінійних електронних схем.

Теоретична та практична цінність досліджень : Розроблена методика розрахунку електромагнітних і теплових перехідних процесів в електричних схемах з НП елементами за допомогою стандартного програмного комплексу автоматизованого проектування нелінійних електронних схем. Розроблено алгоритм керування НП перетворювачем з феромагнітним НП трансформатором, який забезпечує його роботу на лінійній ділянці кривої намагнічення шляхом подачі першого скороченого імпульсу керування. Запропоновано спосіб керування НП перетворювачем з індуктивною комутацією по величині первинного струму НП трансформатора. Проведено ряд розрахунків та аналіз результатів числових і фізичних експериментів НП пристроїв, що дозволило здійснити вибір оптимальної схемотехнічної реалізації та алгоритмів керування НП перетворювачем і параметрів НП елементів. Розроблено і досліджено фізичні і математичні моделі НП елементів і НП пристроїв.

Реалізація наукових розробок. Результати роботи були використані при проектуванні і створенні додаткового джерела стабілізації струму надпровідникової системи електроживлення магнітного сепаратора в НДІ "Механобрчормет", м.Кривий Ріг. Дисертаційна робота проводилася в рамках господарсько - договірних і науково-дослідницьких робіт, які виконувалися в лабораторії НПП з 1989 року: "Домінанта", "Сепаратор", г/д 1711, "Джерело- П", "Базис" і "Вентиль", а також комплексних програм, фінансованих ДКНТ і міністерствами.

Апробація. Основні положення і результати роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародній науковій конференції "International Cryogenic Engineering Conference", Київ, 1992 р., на науковому семінарі в Харківському фізико-технічному інституті НАН України, а також на об'єднаних наукових семінарах Інституту електродинаміки НАН України, м.Київ, 1989 - 1996 г.

Публікації. По результатам роботи опубліковано 12 друкованих робіт.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновку, списку літератури з 102 найменувань. Робота налічує 140 стор. основного тексту і 50 малюнків. Загальний обсяг роботи - 190 стор.

Конкретний особистий внесок дисертанта у розробку наукових результатів, що виносяться на захист, полягає :

- розроблена методика розрахунку перехідних електромагнітних і теплових процесів в НП елементах і НП пристроях;

- запропоновано спосіб керування НП перетворювачем з НП трансформатором с феромагнітним осердям;

- обгрунтована можливість використання способу керування НП перетворювачем з індуктивною комутацією по первинному струму НП трансформатора;

- проведені розрахунки і аналіз результатів числових і фізичних експериментів НП пристроїв з метою вибору оптимальної схемотехнічної реалізації і алгоритмів керування НП перетворювачем і параметрів НП елементів ;

- сформульовано принцип побудови НП перетворювачів, що працюють на промисловій частоті;

- запропоновано підхід до класифікації алгоритмів керування НП перетворювачами;

- розроблені математичні моделі НП елементів і НП пристроїв, які сумісні з програмним комплексом автоматизованого проектування нелінійних електронних схем і дозволяють розраховувати перехідні електромагнітні процеси в пристроях з урахуванням теплових процесів в елементах.

Предмет та об'єкт дослідження. В дисертації досліджується надпровідниковий перетворювач промислової частоти у складі комплексу електротехнічного обладнання з метою вибору схеми та способу керування перетворювача для підвищення швидкодії, надійності та ефективності роботи електротехнічного комплексу введення - виведення енергії магнітних систем.

Методи досліджень. В роботі використовувалися математичний апарат теорії звичайних диференційних рівнянь і теорії електричних кіл, методи моделювання електронних схем і обчислювальної математики, а також метод електро-теплових аналогій.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність і ступінь досліджень теми дисертації, сформульовано мету та основні завдання, відображено наукову новизну, практичну цінність та рівень впровадження наукових досліджень, структуру роботи і конкретний особистий внесок автора у розробку.

Перший розділ присвячений особливостям побудови і керування електротехнічного комплексу введення і виведення енергії

магнітних систем з надпровідниковими перетворювачами.

Розглянуті особливості побудови і функціонування надпровідникових перетворювачів, задачі їх керування і алгоритми роботи. Алгоритми роботи НПП класифікуються перш за все по способу комутації струмів в кріотронах - розрізняють індуктивну, резистивну і змішану комутації; по типу первинного джерела живлення - джерело напруги або струму; по формі і величині первинної напруги (струму); по типу системи керування - розімкнена або замкнена; і по частотно - часовим параметрам сигналів керування. В існуючих способах розрахунку перехідних електромагнітних процесів в надпровідникових перетворювачах в більшості випадків використовуються традиційні математичні методи в поєднанні з максимально спрощеними моделями надпровідникових елементів, або ж застосовуються спеціалізовані програми для аналіза теплових процесів в надпровіднику, без урахування процесів в електричній схемі. Сформульован принцип побудови надпровідникових перетворювачів промислової частоти, який полягає у використанні в перетворювачі НП трансформатора з феромагнітним осердям і випрямляча на швидкодіючих термокерованих кріотронах, напівпровідникового первинного джерела напруги, а також спеціальних способів керування перетворювачем.

<u>В другому розділі</u> розроблена методика розрахунку перехідних процесів в надпровідникових перетворювачах, яка полягає в використанні моделей надпровідникових елементів і перетворювача трьох рівнів точності, які використовуються на різних етапах аналізу: з допомогою різницевих рівнянь та спрощеної моделі надпровідникового вентиля обчислюються енергетичні параметри надпровідникових перетворювачів, струм і напруга в електричних колах і навантаженні на N- ому циклі роботи без розрахунку попередніх циклів, що дозволяє здійснити початковий вибір схемотехнічного виконання перетворювача і/або алгоритм його керування. Струм в навантаженні в кінці n-го циклу введення енергії має наступний вигляд:

$$i_H[(n+1)T'] = I_m \cdot (1-a^n) \ ,n = 1, 2, 3, \ldots$$

де I_m - максимальний струм навантаження, $a = \alpha_1+\alpha_2 \exp(\lambda_1 \Delta t_H)$, T- період вхідної напруги, $T' = T/2$, Δt_H- тривалість інтервала введення, α, λ - величини, визначаються параметрами НПП.

Енергія в індуктивному навантаженні наприкінці n - го циклу :

$$W_L[(n+1)T'] = L_H\left[i_H[(n+1)T']\right]^2/2 = L_H I_m^2(1-a^n)^2/2,$$

L_H - власна індуктивність НП навантаження.

Сумарні втрати енергії за n циклів :

$$W_R^*[(n+1)T'] = \sum_{j=1}^{n} W_R[(j+1)T'] = n\beta_1 - \beta_2\frac{1-a^n}{1-q} + \beta_3\frac{1-a^{2n}}{1-q^2}$$

де $\beta_1 = r_K(0,5\tau_1 I_m^2 + I_{УТ}^2 \Delta t_H)$; $\beta_2 = r_K\tau_1 I_m$; $\beta_3 = 0,5\, r_K\tau_1 I_m$,

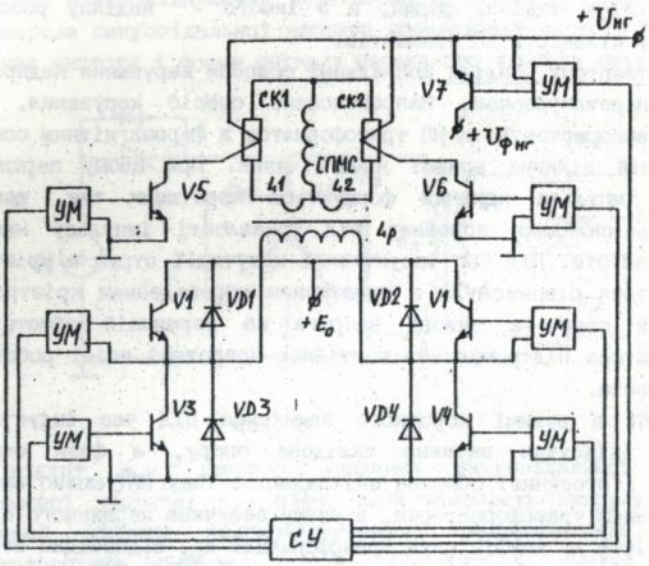
$\tau_1 = 1/|\lambda_1|$, r_K- опір кріотрона, $I_{УТ}$- струм утрати.

К.к.д. системи введення енергії (НПП+ навантаження) на n+1-ому етапі роботи визначається як відношення величини енергії, накопиченої в магнітному полі індуктивного навантаження, $W_L[(n+1)T']$ до повної енергії, яка включає $W_L[(n+1)T']$ та енергію втрат

$$\eta[(n+1)T'] = 1/\left(1 + \frac{W_R^*[(n+1)T']}{W_L[(n+1)T']}\right).$$

Нелінійні моделі надпровідникових елементів з зосередженими і з розподіленими параметрами використовуються при проектуванні НП елементів і дозволяють отримувати узагальнені параметри надпровідникових елементів для подальшого розрахунку. Моделі, які базуються на методі електротеплових аналогій дозволяють одночасно розраховувати перехідні електромагнітні процеси в надпровідниковій і напівпровідниковій частинах НП перетворювача с урахуванням теплових процесів в НП елементах, використовуючи стандартні програмні комплекси аналіза нелінійних електронних схем типу NAP2, ПРАМ, PSPISE. Температура кріотрона приймається постійною по всьому його об'єму і визначається з рівнянь теплопровідності для нуль-мірної моделі. Вольт-амперна характеристика кріотрона визначає опір кріотрона як функцію його температури і струму через нього.

<u>В третьому розділі</u> проведено теоретичне і експериментальне дослідження перехідних процесів в надпровідникових перетворювачах для різних схем і режимів роботи. Проведений аналіз показав задовільний збіг параметрів нуль-мірної моделі кріотрона на основі метода електро-теплових аналогій з вольт- амперною характеристикою реального елемента. Докладно досліджено однофазний НП перетворювач (мал.2) з транзисторним мостовим інвертором напруги V1-V4 і двохпівперіодним кріотронним випрямлячем на кріотронах СК1, СК2 і трьохобмоточному НП трансформаторі НПТ з нульовим виводом. Теплове керування кріотронів здійснюється блоком керування на транзисторах V5-V7, який підводить до нагрівачів напругу робочого $U_{НГ}$ або форсованого



Мал. 2

нагріву $U_{ф\ нг}$. Імпульси керування, які подаються через підсилювачі потужності УМ на транзистори V1 - V7 формує система керування СУ. Порівняння результатів експериментального дослідження роботи цього НП перетворювача та розрахунку по методиці, яка викладена в розділі 2, демонструє незначну відміну між ними з розходженням числових значень не більш ніж на 7,5 %. Результати розрахунку дали можливість повніше зрозуміти результати фізичного експерименту, скорегувати параметри моделі.

Використання многофазної схеми НП перетворювача створює можливість збільшення робочої частоти при відсутності викидів напруги на кріотронах і навантаженні. Важливо зазначити, що загальні характеристики надпровідникового перетворювача покращуються при двохфазній схемі в порівнянні з однофазною, а при подальшому збільшенні числа фаз знову погіршуються. Таким чином, двохфазна схема НПП є оптимальною.

Проведений порівняльний аналіз різних схем пристроїв імпульсного виведення енергії НП магнітної системи в зовнішнє

навантаження дозволив вибрати схему, яка забезпечує з одного боку вихідний струм заданої форми, а з іншого - надійну роботу і мінімальну кількість НП елементів.

В четвертому розділі досліджені способи керування надпровідниковим перетворювачем. Запропоновано спосіб керування, який дозволяє використовувати НП трансформатор з феромагнітним осердям на лінійній ділянці кривої намагнічення. При цьому перший та останній імпульси накачки формуються коротшими так, щоб їх тривалість складала половину від тривалості імпульсу накачки робочої частоти. Під час індуктивної комутації струм в кріотроні підтримується рівним нулю з одночасним переведенням кріотрона в нормальний стан, а силова напруга на первинній обмотці НП трансформатора підтримується постійною напротязі всієї роботи НП перетворювача.

В НПТ в режимі короткого замикання під час індуктивної комутації відсутня активна складова опору, а фази струмів первинної і вторинної обмоток співпадають. Тому НПТ можна вважати вимірювальним трансформатором, в якому величина первинного струму I_p з точністю до коефіцієнта трансформації $k_{тр}$ відповідає струмам в кріотроні $I_к$ і НПМС $I_{мс}$, при умові, що амплітуда струму намагнічування $I_{нм}$ постійна. На етапі охолодження, коли $I_{к1} = I_{мс}$, $I_{к2} = 0$, а СК2 ще в нормальному стані, можна записати:

$$I_p = I_{нм} + I_{мс} / k_{тр}$$

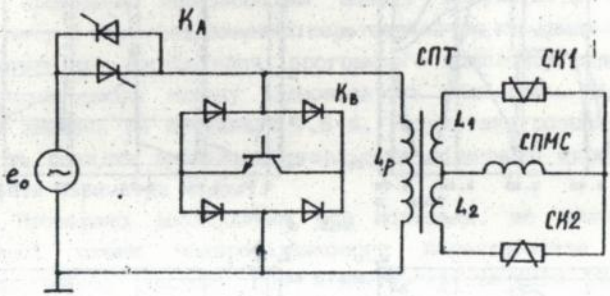
В момент закінчення підігріву кріотрона, безпосередньо перед початком чергового етапу накачки для первинного струму буде справедливий такий вираз:

$$I_p(t_{нг}) = \pm (I_{мс} / k_{тр} - I_{нм\ max}),$$

"Плюс" відповідає непарним півперіодам роботи НПП, коли $I_p >> 0$, а "мінус"- парним, коли $I_p < 0$. Струм $I_p(t_{нг})$ відповідає величині $I_к = 0$ (струму в нагріваємому кріотроні) і, таким чином, момент закінчення комутації можна визначити не по струму в кріотроні або іншим параметрам вторинного кола перетворювача, а по первинному струму НПТ, що істотно збільшує надійність і зменшує вартість системи керування. Аналогічно по величині I_p визначається момент припинення роботи НПП (введення енергії) при досягненні заданого струму навантаження $I_{мс} \geq I_{мс\ max}$. Все це можливо при $|I_{нм\ max}| = const$, що забезпечується при використанні вищенаведеного способу керування.

В Лабораторії під керівництвом М.В.Марковського було

створений надпровідниковий перетворювач, працюючий безпосередньо від джерела синусоідальної напруги промислової частоти без перетворення частоти і форми сигналу первинного джерела (мал.3).

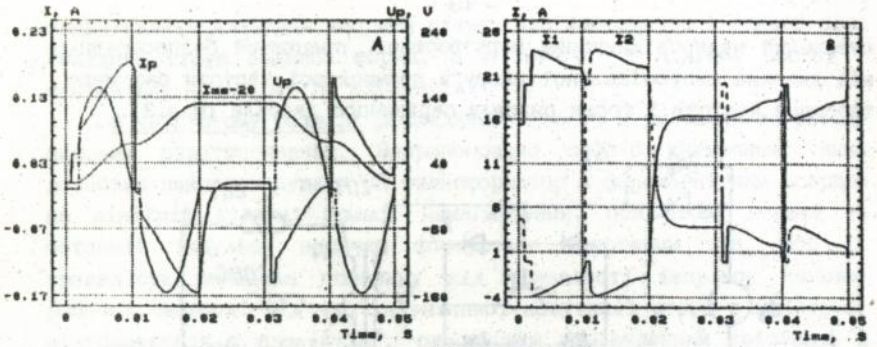


Мал. 3

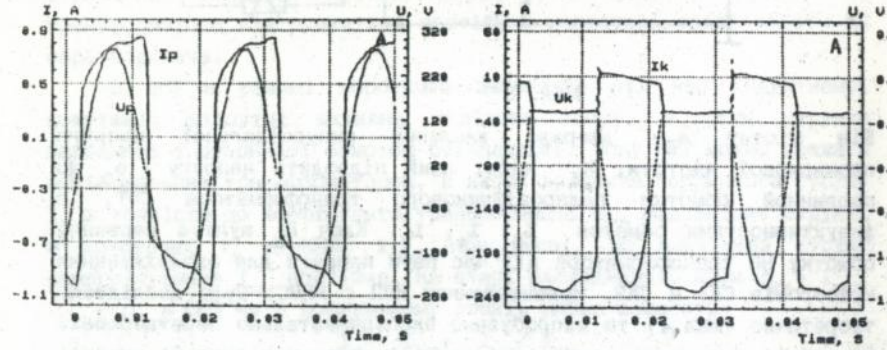
Він містить e_0- джерело живлення синусоідальної напруги промислової частоти; K_A- ключ, який підводить напругу e_0 до первинної обмотки надпровідникового трансформатора СПТ, з індуктивностями обмоток L_p, L_1, L_2. Ключ K_B шунтує первинну обмотку НП трансформатора під час пауз напруги для охолоджування кріотронів СК1 и СК2. Навантаженням НПП є НПМС. Було досліджено теоретично (мал.4) та випробувано експериментально перетворювач, що працює в режимах введення (мал.5) і виведення (мал.6) енергії індуктивного навантаження, з параметрами : первинна напруга U_p= 220 В; первинний струм I_p= 0,9 А; частота джерела f = 50 Гц; максі- мальний струм навантаження $I_{MC\ max}$= 300 А; напруга на кріотроні U_K = 1,5 В; опір кріотрона у нормальному стані $R_{K\ max}$= 0,4 Ом; індуктивність навантаження L_H = 0,5 Гн. Таким чином була доведена можливість роботи надпровідникового перетворювача при живленні від джерела синусоідальної напруги промислової частоти.

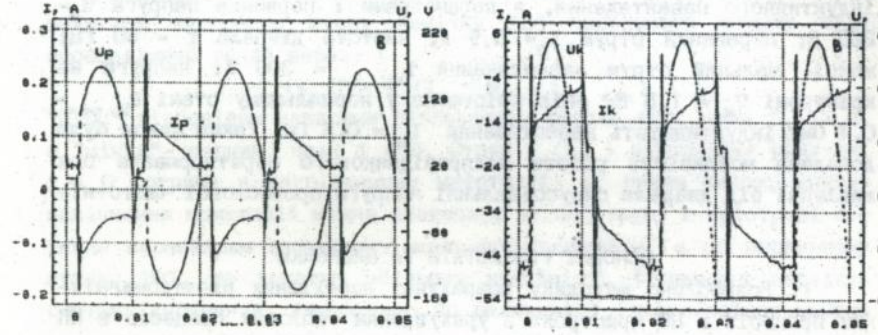
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Розроблено методику розрахунку перехідних електромагнітних процесів в НП пристроях з урахуванням теплових процесів в НП елементах, яка полягає в використанні моделей надпровідникових елементів і перетворювача трьох рівнів точності, які використовуються на різних етапах аналізу: з допомогою різницевих рівнянь та спрощеної моделі надпровідникового вентиля, нелінійних моделей надпровідникових елементів з зосередженими і з



Мал. 4





Мал. 5

Мал. 6

розподіленими параметрами, та моделей, які базуються на методі електротеплових аналогій, використовуючи стандартні програмні комплекси аналізу нелінійних електронних схем.

2. Проведено порівняльний аналіз результатів фізичного експерименту з надпровідниковим перетворювачем та даних числового експерименту при застосуванні програмного комплексу моделювання, який показав добру якісну відповідність між ними. Відмінність числових значень не перевищує 7,5 %. Результати розрахунку дали можливість повніше зрозуміти результати фізичного експерименту, скорегувати параметри моделі.

3. Проведено дослідження, які показали, що використання многофазної схеми надпровідникового перетворювача дозволяє збільшити робочу частоту при відсутності викидів напруги на кріотронах і навантаженні, при чому загальні характеристики надпровідникового перетворювача кращі в двохфазній схемі в порівнянні з однофазною, а потім погіршуються при збільшенні числа фаз, таким чином двохфазна схема НПП є оптимальною.

4. Виконано порівняльний аналіз різних схем пристроїв імпульсного виведення енергії надпровідникової магнітної системи у зовнішнє навантаження, який дозволив вибрати схему, що забезпечує вихідний струм заданої форми і поряд з цим надійну роботу і мінімальну кількість надпровідникових елементів.

5. Сформульовано принцип побудови надпровідникового перетворювача промислової частоті, який полягає у використанні в перетворювачі НП трансформатора з феромагнітним осердям і випрямляча на швидкодіючих термокерованих кріотронах, напівпровідникового первинного джерела напруги, а також спеціальних способів керування перетворювачем.

6. Запропоновано спосіб керування надпровідниковим перетворювачем з трансформатором з феромагнітним осердям, який забезпечує його роботу на лінійній ділянці кривої намагнічення, з індуктивною комутацією по первинному струму трансформатора, на основі математичного виразу залежності величини первинного струму від величини струму в навантаженні при введенні енергії і в кріотроні під час комутації.

7. Досліджено теоретично та експериментально надпровідниковий перетворювач, який працює безпосередньо від джерела синусоідальної напруги промислової частоти без перетворення частоти і форми сигналу первинного джерела, в режимах введення і

виведення енергії, що дозволяє максимально спростити напівпровідникову систему керування й живлення і, тим самим, підвищити швидкодію, надійність та ефективність роботи електротехнічного комплексу введення- виведення енергії магнітних систем, до складу якого входить перетворювач.

8. Результати роботи були використані при проектуванні і створенні додаткового джерела стабілізації струму надпровідникової системи електроживлення магнітного сепаратора в НДІ "Механобрчормет", м.Кривий Ріг.

Публікації по темі дисертації :

1. Markovsky N.V., Shevchenko O.A., Fedorovsky M.A., Karasik V.R., Vysotsky V.S. Analysis of superconducting converter operation for charging and discharging of superconducting magnets. // ASC'90, paper LTP-17, p.152-154.

2. Федоровский М.А., Шевченко О.А., Марковский Н.В., Иваночок И.Н. Алгоритм и техническая реализация системы управления СПП содержащего СПТ с ферромагнитным сердечником. // Труды конференции "Криогеника-90" Кошице (ЧССР), с.161-162.

3. Марковский Н.В., Шевченко О.А., Грош О.А., Дяк И.Б., Федоровский М.А. Математическое и программное обеспечение автоматизированного проектирования СПП электроэнергии. // Труды конференции "Криогеника - 90" Кошице (ЧССР), с.163-164.

4. Markovsky N.V.,Shevchenko O.A.,Fedorovsky M.A., Djak I.B. Computer Analysis of Two-Phase in Series Superconducting Converter for Supreroonducting Magnet Current Input-Output. // Procedeengs of a International Simposium on AC Superconductors and Devices. March 1991, Smolenice. p. 154-161.

5. Diak I.B.,Shevchenko O.A.,Markovsky N.V., Fedorovsky M.A. The engineering method of superconducting rectifiers computation.//Cryogenics.-1992.-V.32, ICEC Supplement.-p.473-476.

6. Shevchenko O.A., Fedorovsky M.A., Markovsky N.V., Mulder G.B.J., Ten Kate H.H.J. Simulation in complex electric circuits with superconducting elements. // Cryogenics 1992, Vol.32, p. 493-496 ICEC Supplement.

7. Shevchenko O.A., Mulder G.B.J., Markovsky N.V., Fedorovsky M.A. and Ten Kate H.H.J. Nb Ti foil thermally controlled switches for superconducting converters with operation frequency up to 50 Hz. Part 2. // Cryogenics 1992, Vol.32, ICEC Supplement.

8. Markovsky N.V., Fedorovsky M.A., Bondar A.I., Shevchenko O.A. and Ten Kate H.H.J. The Control Method of a Superconducting Rectifier with an Iron Core Transformer. // MT, Victoria, Canada, September 1993.

9. Shevchenko O.A., Ten Kate H.H.J., Krooshoop H.J.G., Fedorovsky M.A.. Transformer and Switch Characteristics of a 50 Hz Superconducting Rectifier. // Cryogenics 1994, Vol 34, ICEC Supplement.

10. Shevchenko O.A., Ten Kate H.H.J., Krooshoop H.J.G., Fedorovsky M.A.. Development of a 1 kA, 50 Hz Superconducting Converter. // Applied Superconductivity Conference, Boston, Massachusetts, USA, October 1994.

11. Shevchenko O.A., Ten Kate H.H.J., Fedorovsky M.A. Modelling high frequency (50Hz) superconducting converters. // European Conference on Applied Superconductivity, Edinburg, Scotland, July 1995.

12. Марковский Н.В., Шевченко О.А., Дяк И.Б., Федоровский М.А. Исследование на ПЭВМ сверхпроводникового преобразователя с термоуправляемыми криотронами и ферромагнитным трансформатором. // Энергосбережение и проблемы сверхпроводимости, Тезисы докладов и сообщений на семинаре, г.Яремча, 1990 г.

Особистий внесок автора в роботах, написаних в співавторстві полягає у наступному : розрахунок перехідних електромагнітних і теплових процесів в НПП [1, 5, 8]; розробка методики розрахунку перехідних процесів в НПП, яка сумісна з програмним комплексом аналізу нелінійних електронних схем [2, 4, 6, 7, 12]; способи керування НПП [3, 9]; розробка НП трансформатора і НП магніта [10, 11].

M.A.Fedorovsky. Development of a mains frequency Superconducting Converter in Electrical engineering complex for pumping up and down magnet systems energy.

The manuscript of the thesis to compete the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences on specialities 05.09.03- "Electrical engineering complexes and systems including their control and regulating", Institute for Electrodynamics of National Academy of Sciences in Ukraine, Kiev, 1997.

12 scientific works are maintained which contain theoretical and experimental studies of a superconducting converter with cold iron core transformer, thermally activated switches rectifier and semiconducting source of voltage including their control mode and the calculation methods for electrical and thermal processes. The use of the converter allows to raise quickness, reliability and efficiency of Electrical engineering complex for pumping up and down magnet systems energy.

М.А.Федоровский. Исследование сверхпроводниковых преобразователей промышленной частоты в составе электротехнического комплекса ввода - вывода энергии магнитных систем.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 - "Электротехнические комплексы и системы, включая их управление и регулирование". Институт электродинамики НАН Украины, Киев, 1997.

Защищается 12 научных работ, в которых содержатся результаты по теоретическим и экспериментальным исследованиям сверхпроводниковых преобразователей промышленной частоты с первичным источником напряжения, СП трансформатором с ферромагнитным сердечником и выпрямителем на быстродействующих термоуправляемых криотронах, включая способы их управления и расчет переходных процессов. Использование таких преобразователей в составе электротехнического комплекса ввода - вывода энергии магнитных систем позволяет повысить быстродействие, эффективность и надежность работы комплекса.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Надпровідниковий перетворювач промислової частоти, електротехнічний комплекс введення та виведення енергії магнітних систем, надпровідниковий вентиль, кріотрон, розмикач.

Пошукач

ПІдписано до друку 19.03.97р. Формат 60х84/16
ПапІр офсетний. Умовн.-друк.аркуш. 1,0.
Об.-вид.аркуш 1,0. Тираж 100 . Замовл. 88 .

ПолІграф. ДІльн. Інституту електродинамики АН УкраІни,
252680, КиІв-57, проспект Перемоги,56