УДК 621.373

Л.М. Мирошниченко, М.В. Турти
Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України (Миколаїв)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ГІС ЯК СКЛАДОВА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

© Мирошниченко Л.М., Турти М.В., 2003

Проаналізовані специфічні аспекти моделювання процесів та елементів генераторів імпульсних струмів, зарядний пристрій яких містить ланку проміжної високої частоти. Розглянуто взаємозв'язок суперечливих вимог до автоматизованої системи проектування вторинних джерел живлення з оптимізацією параметрів.

Specific aspects of modelling processes and elements of generators of pulse current, which have charger with middle circle high frequency has been analysed. Connection of variant needs to automated system for construction of secondary power sausage with parameters optimization has been seen.

Постановка проблеми. Автоматизація проектування генераторів імпульсних струмів (ГІС) передбачає оптимізацію параметрів процесів та елементів вторинних джерел живлення. При наявності в потужному ГІС зарядного пристрою (ЗП) з ланкою проміжної високої частоти виникають специфічні проблеми.

По-перше, дослідження ГІС на математичній моделі являє собою аналіз складної системи з блоками, що мають постійні часу, які різняться на декілька порядків, тобто виникає проблема забезпечення достатньої точності опису "швидких" і "повільних" процесів. По-друге, на підвищених частотах важливу роль грають власні (паразитні) параметри елементів ГІС. Виникає задача виявлення елементів, власні параметри яких можуть впливати на параметри перехідного процесу в схемі; задача визначення діапазонів можливих значень власних параметрів різних елементів ГІС (зокрема різних конструктивних виконань одного елемента, наприклад, високовольтного високочастотного підвищувального трансформатора); задача розробки схем заміщення для конкретних умов і методик розрахунку їхніх параметрів, задача синтезу елементів із заданими власними параметрами. По-третє, у теперішній час залишається не вирішеним питання про доцільність використання апарата розподілених параметрів при побудові моделей елементів ГІС з ланкою високої частоти. По-четверте, необхідно забезпечувати електромагнітну сумісність як окремих вузлів ЗП ГІС, так і установки в цілому, визначити оптимальні схемні рішення з погляду різних параметрів (маси, габаритів, вартості, надійності, КПД, стійкості тощо).

Аналіз останніх досліджень. При математичному моделюванні багатоконтурних систем з різними постійними часу в цьому випадку доцільно робити декомпозицію задачі, контролюючи при цьому найістотніші моменти, властиві кожному окремому вузлу, і з міркувань взаємовпливів у складній структурі. Проведення досліджень спеціальними методами (наприклад, методом обвідних) вимагає створення відповідних методик автоматизованого розрахунку і технічних засобів для їхньої реалізації, а при декомпозиції комплексної задачі на низку підзадач, що описує процеси в блоках з однаковими постійними часу, розв'язання можна здійснювати з використанням стандартних програмних продуктів.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Задачі досліджень. Метою роботи є створення автоматизованої системи проектування ЗП потужних високовольтних ГІС, що містить блоки оптимізації та узгодження окремих ланок та елементів ГІС.

Науковою новизною роботи є створення ітераційного алгоритму проектування, який враховує технологічні, конструктивні, електричні і магнітні, екологічні і теплові характеристики, надійність та електромагнітну сумісність ланок і дозволяє отримати науково-обгрунтовані схемотехнічні і оптимізовані конструктивні рішення з врахуванням власних параметрів елементів.

Автоматизація проектування реактивних елементів вторинних джерел електроживлення ускладнюється наявністю різноманітних вимог замовників з різним рівнем матеріального забезпечення. Сучасна елементна база дозволяє реалізовувати численні варіанти виконання, оцінити які, враховуючи різнохарактерні вимоги і критерії оцінки, стає все важче.

Наприклад, якщо необхідно створити джерело живлення потужністю 10 кВт, напругою 20 кВ для зарядки ємнісного накопичувача, то можливі такі варіанти реалізації пристрою:

– обладнання, яке працює на частоті 50 Гц (в цьому випадку матеріалом магнітного осердя звичайно є електротехнічна сталь, масогабарити такого приладу можуть становити сотні кілограмів);

– обладнання з використанням проміжного перетворювача частоти на 20 кГц і більше, магнітні осердя в якому виконуються на феритах, а масогабаритні показники обладнання при цьому зменшуються ще приблизно в п'ять разів.

Природно, наукоємність, а, отже, і вартість цих розробок буде різною.

Для замовника іноді не важливо, з яких елементів будуть виготовлені джерела живлення, але його завжди цікавлять такі показники, як:

– вартість:

– надійність:

– ремонтопридатність:

– ресурс:

– зручність обслуговування і необхідний рівень кваліфікації персоналу;

– масогабаритні показники.

Досвідченіші замовники цікавляться такими показниками, як:

– коефіцієнт корисної дії;

– коефіцієнт потужності;

– вплив на мережу живлення (гармоніки, несиметрія завантаження фаз, провали напруги);

– можливість регулювання параметрів у певних (інколи досить широких) діапазонах;

– рівень електромагнітних завад тощо.

Розглянемо ці і інші вимоги з погляду створення автоматизованої системи проектування.

Замовник інколи не знає необхідну потужність зарядного обладнання, але необхідна для технологічного процесу енергія в імпульсі і частота слідування розрядних імпульсів йому найчастіше відомі, або відомі хоча б бажані діапазони зміни цих параметрів. Також звичайно відомі жорстко задані або приблизні масогабаритні показники установки і граничні вартісні показники. Крім того, розробнику можна надавати циклограму технологічного процесу, яка дозволяє визначити тривалість включення ЗП. Назвемо ці параметри **технологічними.**

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Розробник, враховуючи вимоги технологічних параметрів і використовуючи стандартні методики розрахунків, завжди може визначити необхідні для реалізації технологічних параметрів **електричні** параметри обладнання (струми, напруги, потужності).

Наступний крок проектування – вибір робочої частоти ЗП – визначає рівень розробки. Від цього вибору істотно залежать масогабаритні показники, доцільні схемо-технічні рішення, а також вартість і конкурентоспроможність створюваного виробу, тому наявність проміжного перетворювача енергії і робочу частоту ЗП можна вважати **ключовими** параметрами розробки.

Ключові параметри розробки, крім того, визначають доцільний матеріал магнітних осердь, відповідно вартість і низку важливих для подальших розрахунків **магнітних** параметрів системи: максимальну індукцію в стрижнях, припустимі ампер-витки, магнітну проникність, коефіцієнт заповнення перерізу осердя магнітним матеріалом тощо.

До головних **конструктивних** параметрів належать розміри вікна і стрижнів осердя, а також співвідношення ваги міді і осердя електромагнітного елемента, що визначає вартість і може виступати як параметр оптимізації; ізоляційні відстані, які залежать від класу напруги і застосованого ізоляційного матеріалу; умови охолодження, від яких залежить з одного боку кількість і розташування каналів охолодження, а з іншого – коефіцієнт заповнення вікна магнітопроводу магнітним матеріалом.

Дуже важливим в загальному алгоритмі проектування є засіб охолодження обладнання і **теплові** параметри системи. Від цього, окрім параметрів каналів охолодження, залежить вибір припустимої щільності струму в обмотках, тобто габарити і вартість готового виробу.

Крім вищеперелічених параметрів, є ще аспекти, які можуть цікавити замовника, зокрема, **екологічні** вимоги (вплив на біологічні об'єкти, що може бути вельми суттєвим при високих проміжних частотах перетворення енергії в ЗП), **естетичні** вимоги тощо.

Для визначення пріоритетів замовника існують **вагові** коефіцієнти, що дозволять визначити, які саме параметри замовник вважає для себе найвагомішими.

Все вищезгадане можна зобразити блок-схемою, визначальним взаємозв'язком цих параметрів під час автоматизованого розрахунку (рис. 1).

Порядок операцій проектування реактивних елементів ГІС в загальному випадку можна подати у вигляді блок-схеми рис. 2. У кожному блоці міститься процедура перевірки результатів на відповідність заданим умовам, а економічний аналіз містить порівняльний аналіз різних варіантів виконання. У тому випадку, коли результати не відповідають умовам і обмеженням здійснюється перехід до попередніх блоків.

Отже, автоматизація проектування реактивних елементів вторинних джерел електроживлення є складною багатоварінтною задачею, розв’язання якої передбачає декомпозицію задачі і розв’язання кожної з підзадач найраціональнішими засобами такими, як: аналіз перехідних процесів у схемі на математичних моделях і оптимізація параметрів з використанням спеціалізованих програмних продуктів.

Моделювання процесів та елементів ГІС. Моделювання перехідних процесів здійснювалось для ланок різного частотного рівня.

Для регульованих ГІС характерні такі основні частотні рівні:

– мережевий випрямляч і мережевий фільтр (частота 50 Гц);

– інвертор, що підвищує трансформатор, високовольтний випрямляч (частота від 20 до 50 кГц);

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

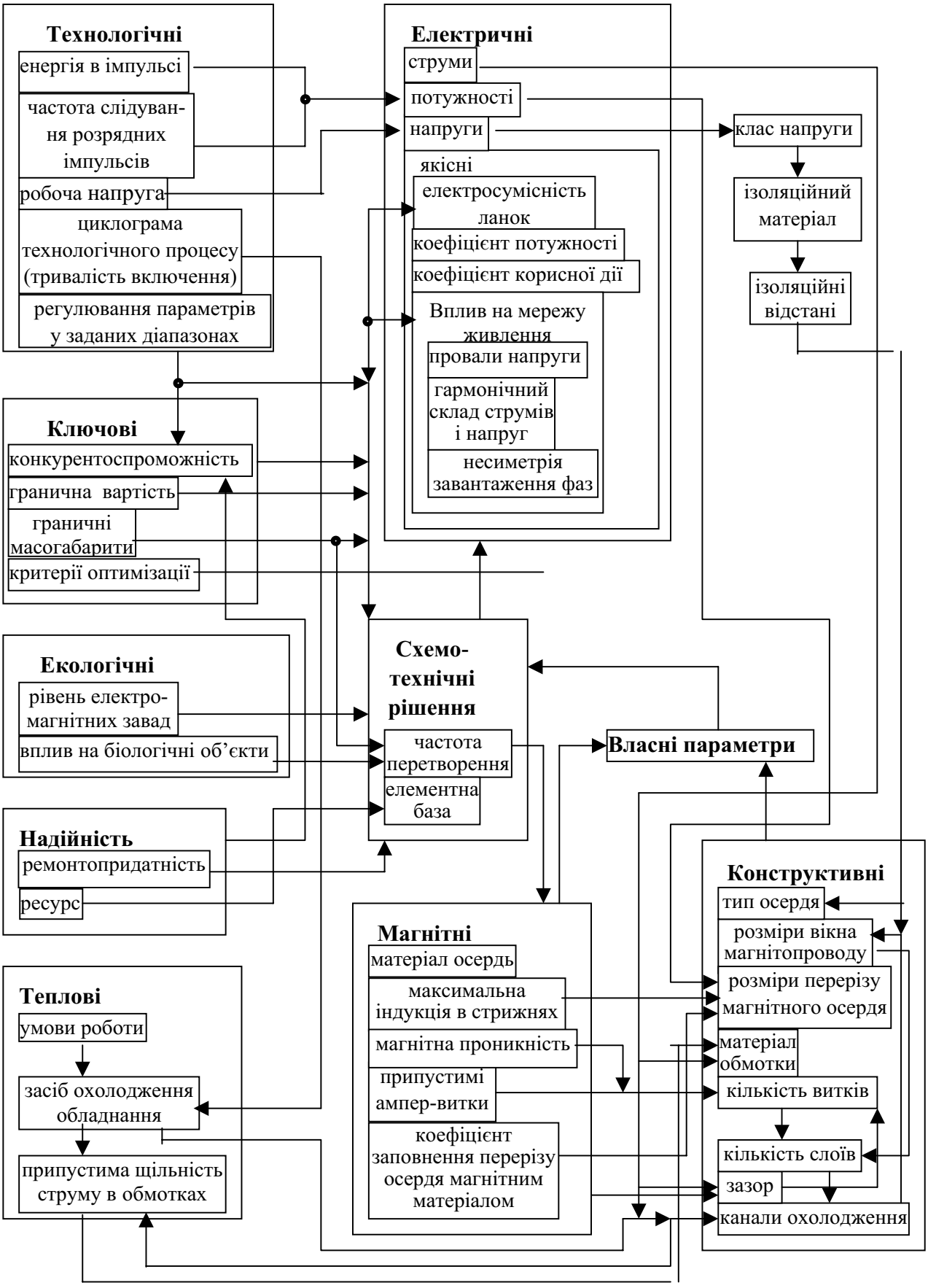

Рис. 1. Взаємозв'язок параметрів ГІС

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

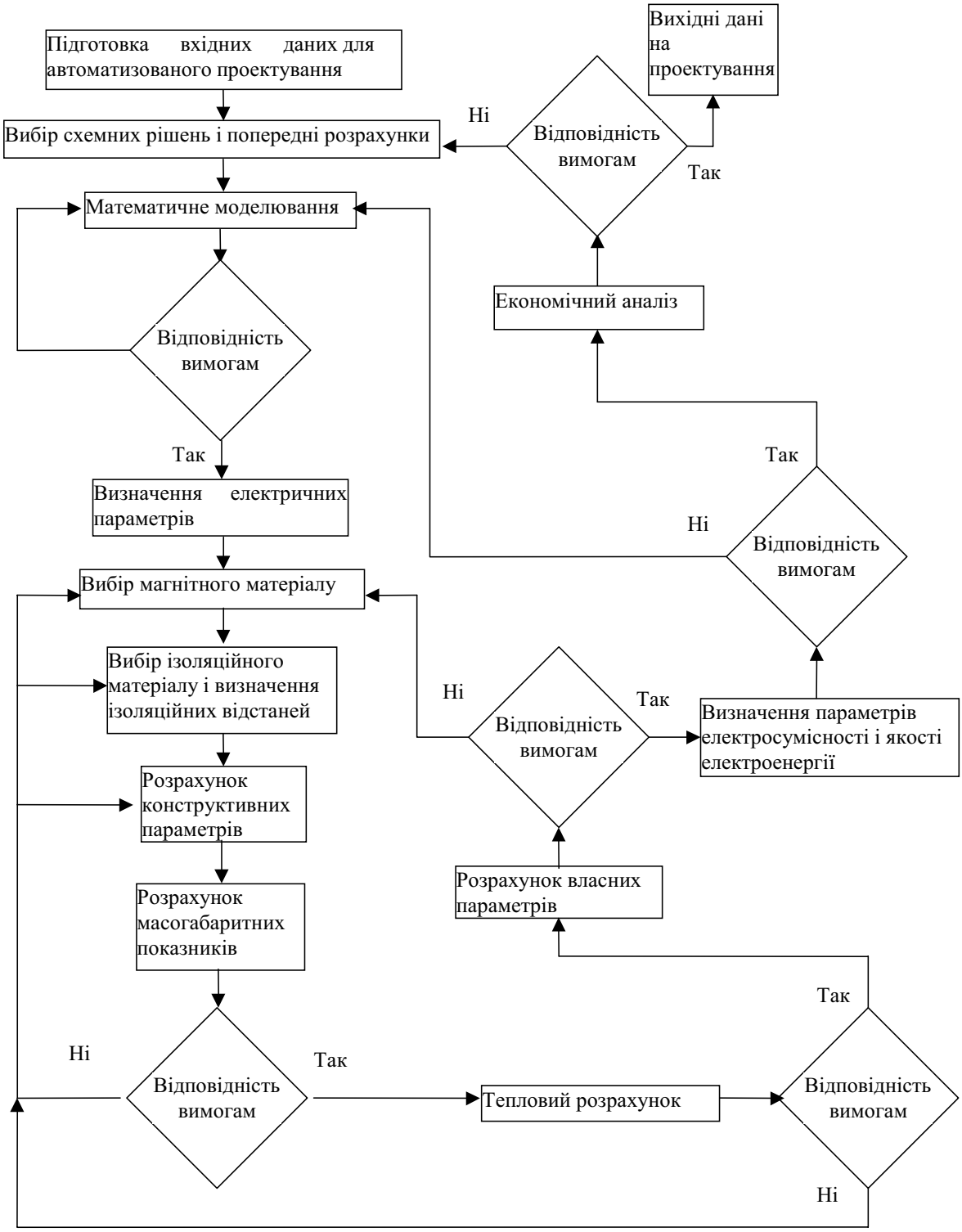

Рис. 2. Порядок проектування реактивних елементів

– розрядний контур (частота від 1 до 2 кГц);

– технологічна частота заряду ємнісного накопичувача (частота 1 і менш Гц).

Найекономічнішим способом дослідження для таких систем є математичне моделювання процесів окремо на кожному частотному рівні.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Як показали дослідження, достатня адекватність результатів моделювання забезпечується при такому алгоритмі:

– для окремого вузла визначеного частотного рівня складається схема заміщення з врахуванням максимальної теоретично доцільної кількості параметрів схеми заміщення;

– аналізуються перехідні процеси у вузлі з метою виявлення діапазонів вхідних впливів, при яких конкретні параметри схеми заміщення повинні бути враховані, або з метою визначення можливих спрощень схеми заміщення при конкретних вхідних впливах;

– схема заміщення вузла по можливості спрощується і проводиться повний спектр досліджень перехідних процесів. Визначаються діапазони варіювання перехідних процесів і характерні крапки (параметри схеми заміщення), що визначають процеси в більш високочастотних ланках;

– для ланки наступного частотного рівня проводиться аналогічний аналіз при вхідних впливах, що відповідають виявленим раніше характерним крапкам.

Дослідження перехідних процесів у високовольтних ГІС доцільно проводити на моделях, реалізованих у спеціалізованих пакетах прикладних програм, наприклад, PSPICE. Структурна схема для аналізу показана на рис. 3.

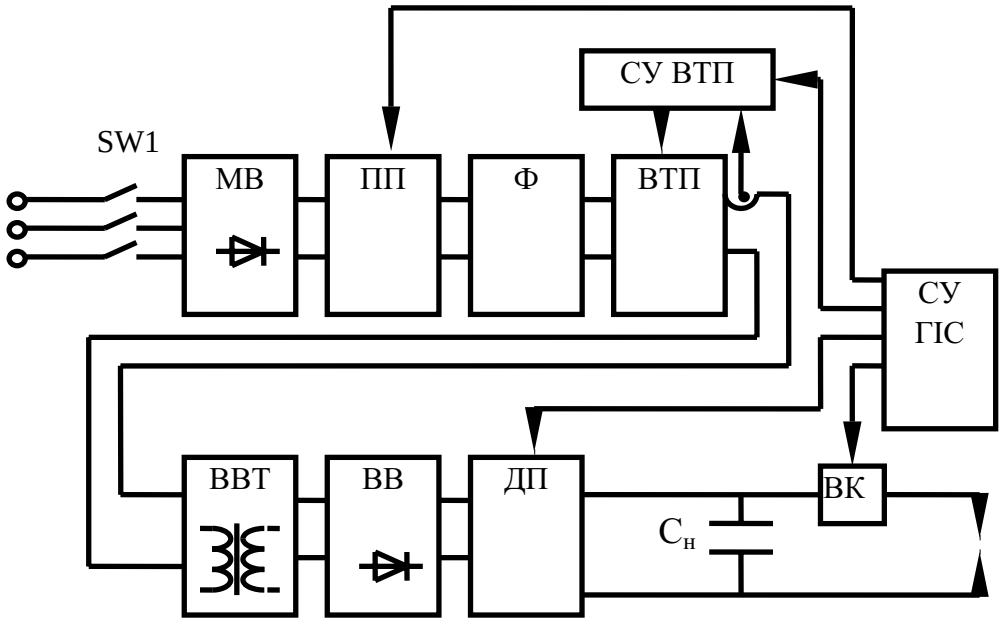

Рис. 3. Структурна схема ГІС з проміжною ланкою високої частоти

Насамперед аналізуються перехідні процеси в мережевому випрямлячі і мережевому фільтрі, що відповідає частотному рівню 50 Гц. Оскільки проектовані ЗП ГІС орієнтовані на різні можливості споживача, то дослідженню підлягають схеми заміщення відповідному живленню від трифазної мережі напругою 380 В и однофазної мережі напругою 220 В з різними типами фільтрів.

Наступний частотний рівень – це блок проміжної високої частоти, аналіз моделей якого дозволяє вибрати схемо-технічне рішення перетворювача частоти, що забезпечують найраціональніші параметри режимів роботи і є вихідними даними для проектування реактивних елементів ЗП.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Як показали дослідження [1], електромагнітні елементи, що використовуються в ЗП ГІС із проміжним перетворенням частоти, багато в чому визначають характер процесів у схемі. Тому аналіз перехідних процесів неможливий без підбора схеми заміщення, що враховує ємності індуктивних елементів, індуктивності розсіювання тощо. Параметри моделі трансформатора можна визначати як теоретично [2], так і експериментально з врахуванням того, що індуктивність, індуктивність розсіювання, активний опір елементів ЗП ГІС є в загальному випадку функціями частоти.

Крім того, на власну частоту вихідного каскаду напівмостового інвертора впливають параметри високовольтного трансформатора, величина і характер навантаження. Вихідний каскад інвертора являє собою високовольтний трансформатор, некерований випрямляч, струмообмежуючий дросель і ємнісний накопичувач.

Висновки. Проектування потужних високовольтних високочастотних джерел живлення зарядних пристроїв генераторів імпульсних струмів передбачає врахування електромагнітних процесів, зумовлених власними параметрами реактивних елементів. Необхідність створення реактивних елементів ЗП ГІС з напередзаданими властивостями призводить до ускладнення алгоритму розрахунку. Зображена на рис. 1 схема взаємозалежностей вимог і параметрів реактивних елементів ЗП ГІС реалізує комплексний підхід до їх проектування, складовою частиною якого є моделювання. Як видно з рис. 1, складність і багатоваріантність вхідних даних зумовлює необхідність розробки критеріїв оптимізації зі специфічними ваговими коефіцієнтами для кожного окремого випадку. Крім того, автоматизація проектування ГІС з моделюванням процесів в них на різних етапах проектування передбачає застосування інтелектуальних систем для їх реалізації. Побудована схема взаємозв'язку і взаємовпливу параметрів ГІС є базовою для створення системи на основі нейромереж.

1. Мирошниченко Л.Н. Зарядные устройства ГИТ с промежуточным преобразованием частоты // Технічна електродинаміка. Тем. вип. Силова електроніка та енергоефективність. – 2001. – Ч. 1. – С. 13–16. 2. Мирошниченко Л.Н., Турты М.В. Исследование и разработка высоковольтных высокочастотных трансформаторов для зарядных устройств мощных ГИТ // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2000. – № 54. – С. 54–59.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua