Содержание

Вступ

1. Методика проектування пристроїв синхронізації

1.1 Будова інформаційної моделі

1.2 Вибір алгоритму пошуку

1.3 Визначення способів вирішення завдань для досягнення мети побудови пристрою синхронізації

1.4 Вибір способу синхронізації, способу виміру параметрів синхронізації та спосіб подачі команди на включення вимикача генератора

2. Вибір способу формування команди на включення генератора способом точної синхронізації

2.1 Вибір способу подачі команди

2.2 Вибір способу виміру частоти ковзання

3. Способи одержання постійного часу випередження

3.1 Кінцево-різнісний спосіб

3.2 Часовий спосіб одержання постійного часу випередження

3.3 Імпульсний спосіб одержання постійного часу випередження

3.4 Дискретний спосіб одержання постійного часу випередження

3.5 Спосіб затримки і зсуву по фазі синхронізуємих напруг

4. Вибір структурної схеми синхронізатора

4.1 Розробка структурної схеми

4.2 Вибір блоків принципової схеми

Закінчення

Література

# Вступ

Однією з найбільш відповідальних операцій під час вмикання синхронного генератора на паралельну роботу є його синхронізація. Незважаючи на велику практичну значимість цієї операції, інформація про засоби її реалізації дуже обмежена й у багатьох випадках становить комерційну таємницю. Це стримує прогрес у даній галузі, ускладнює прийняття правильних рішень при проектуванні та не сприяє виключенню помилок під час проведення включень генераторів на паралельну роботу. В теперішній час для вирішення завдання вибору пристрою синхронізації та забезпечення потрібної якості електричної енергії в цьому процесі, проводять дорогі натурні експерименти, які не завжди дозволяють правильно вирішити поставлене завдання. Особливу важливість питання розробки синхронізаторів набуває сьогодні, коли має місце тенденція до децентралізації електропостачання, пов'язана із широким впровадженням автономних електроустановок. Прискорення синхронізації є дієвим засобом усунення можливих аварійних ситуацій в автономній енергосистемі, в якій низька точність при включенні генераторів та помилкові дії персоналу або пристроїв автоматики під час здійснення цього процесу можуть тільки погіршити стан. Основним напрямком удосконалення пристроїв автоматики енергосистем є підвищення їх технічних характеристик і надійності, впровадження сучасної елементної бази, запобігання можливості виникнення аварійних режимів. Пристроям синхронізації, які застосовуються в даний час, у більшості випадків властива низька точність відпрацьовування моменту подачі команди на вмикання генератора. У зв'язку з цим у системі електропостачання можливі провали напруги й кидки струму, що викликають збої в роботі основного обладнання, та можуть призвести до непоправних втрат. Процес синхронізації затягується, що, у свою чергу, ускладнює локалізацію негативних наслідків аварійних режимів.

# 1. Методика проектування пристроїв синхронізації

Пристрої автоматичної точної синхронізації відносяться до класу складних штучних систем. Завдання синтезу складної системи складається у визначенні її характеристик і структури шляхом вибору варіанта з декількох альтернатив. Завдання синтезу системи являє собою завдання її проектування. При проектуванні синхронізатора доводиться ставити й вирішувати всі завдання, які формуються теорією систем, що є методологічною базою теорії проектування. У процесі проектування синхронізатора необхідно встановити взаємозв'язок між його структурою, внутрішньою організацією й взаємодією утворюючих його компонентів з функціями, які він повинен виконувати, тобто одержати впорядковану інформацію про об'єкт, що не існує на момент початку проектування. У цей час процес створення пристроїв автоматичної точної синхронізації найчастіше ведеться шляхом проб і помилок. Власне пристрій і процес його створення не формалізуються, у символічній формі не описуються, у зв'язку із чим синхронізатори неможливо досліджувати й змінювати без проведення експерименту із самим виробом. Методи оптимізації, як універсальний математичний апарат теорії систем, не використаються при рішенні проектних завдань. У зв'язку із цим розроблювальні пристрої не позбавлені концептуальних, системотехнічних помилок, найнебезпечніших по своїх наслідках. Очевидно, що постала необхідність доповнення інтуїтивного системного аналізу процесу проектування синхронізаторів правилами, сформульованими як на вербальному, так і на математичному рівні.

Процес проектування будь-якої технічної системи, по суті, являє собою процес переробки вихідної інформації, утвореної відомостями, що отримується в технічному завданні й нормативних документах в інформацію, що утворить проект системи.

# 1.1 Будова інформаційної моделі

У процесі проектування будується інформаційна модель *S* створюваної реальної системи, яку можна представити сукупністю наступних множин:

(1.1)



де А - множина елементів, що дають інформацію про зовнішнє середовище, що діє на проектовану систему; В - множина елементів, що дають інформацію про проектовану систему; С - множина елементів, що дають інформацію про зв'язки між компонентами проектованої системи і її зв'язків із зовнішнім середовищем; D - множина елементів, що дають інформацію про якості системи, обумовлених факторами зовнішнього середовища, складом системи і її зв'язків.

Процес створення інформаційної моделі (1.1) складається з ряду послідовно виконуваних етапів, що утворюють фазу аналізу й фазу синтезу. Фаза аналізу містить у собі операції постановки мети, розбивки на підзадачі, формулювання локальних цілей і встановлення способів їхнього досягнення, обґрунтування критеріїв ефективності як засобів досягнення локальних цілей, розробка концепції системи на основі дослідження альтернатив. Фаза синтезу включає етапи ескізного, технічного й робочого проектування.

Процес проектування реалізується відповідно до описаного плану й фактично являє собою процес рішення деякого завдання в ході розумової діяльності людини і чим точніше вдається відобразити мислення людини, тим ефективніше проектний алгоритм. Будемо виходити з того, що:

абстрактний механізм мислення функціонально подібний до деяких процедур, описуваних багаторівневими структурами й процесами, які розгалужуються;

абстрактний механізм мислення функціонально подібний до переходу у процесі, що розгалужується, від початку до кінця й усунення в цьому процесі вузлів, по тим або іншим причинам, що є безперспективними в плані досягнення поставленої мети.

Уведемо поняття стану проектованої системи, під яким будемо розуміти такий стан інформаційної моделі системи в кожний момент проектування , де - множина етапів проектування від початкового до кінцевого , котре характеризується значеннями елементів множин А, В, С, D. Стан системи представимо вершиною графа. Дугами графа будемо представляти переходи від вершини до вершини , розуміючи під переходом оператор перетворення стану проектованої системи.



Таким чином, оператор перетворення являє собою деяку процедуру, у результаті якої приймається проектне рішення й змінюються значення елементів множин *А*, *В*, С, *D*. По своїй суті оператор перетворення являє собою проектну методику. Запропонований граф, описуваний моделлю *S*, показує, як у процесі проектування здійснюються переходи від вихідного стану через проміжні стани до кінцевого стану , що є завершеним проектом системи.



На кожному проміжному стані є декілька альтернатив переходу в наступний стан. Ці альтернативи й утворять розгалужений граф.



Особливістю утвореного в такий спосіб розгалуженого графа є те, що, як правило, кінцевий стан системи найчастіше представляється неявними множинами, обумовленими властивостями системи, що задовольняють поставленим цілям. Тим самим у представленому розгалуженому графі умови досягнення мети повинні бути описані у вигляді вимог технічного завдання, а оператори, що розкривають неявно заданий граф в просторі станів, являють собою варіанти альтернативних рішень.

# 1.2 Вибір алгоритму пошуку

Алгоритми пошуку на неявно заданому графі утворені алгоритмами повного перебору й алгоритмами, що використають інформацію про розв'язуване завдання.

До першої групи алгоритмів прийнято відносити алгоритми, у яких використається пошук у глибину, пошук завширшки, пошук завширшки з ітерацією по глибині. Для алгоритмів другої групи прийнято вводити оцінну функцію, що є мірою, яка показує успішність руху по графі в обраному напрямку з погляду руху мети.

До алгоритмів другої групи, які доцільно використати для рішення проектних завдань, варто віднести алгоритми найшвидшого спуску, алгоритм галузей і границь і алгоритм, що використає в оцінній функції не тільки трудомісткість уже пройденого шляху, але й міру відстані до цільових вершин.

Розглянемо з позицій викладений процес проектування пристрою автоматичної точної синхронізації. Для визначення значення елементів множин А, В, С, D вершини графа розглянемо, як змінюється модель у процесі проектування, тобто в просторі станів, яким відповідають рубежі розв'язуваних завдань (підзавдань). Будемо виходити з того, що точне моделювання процедур рішення підзавдань проектування у вузлах графа неможливо, у зв'язку із чим варто розділити завдання, розв'язувані людиною, і завдання, розв'язувані комп'ютером. До компетенції людини в розглянутому випадку ставиться формулювання мети, завдань і підзавдань. Комп'ютер повинен проводити вибір з відомого набору альтернатив, здійснення обраної дії, оцінку ситуації й вибір наступного кроку. При виборі альтернатив вирішальним правилом є можливість досягнення мети, порівнюючи при цьому ступінь зменшення деяких небажаних ефектів і виходячи з необхідності рішення вартого завдання або під - завдання. У процесі рішення варто враховувати накопичений досвід і прагнути до пошуку ключової дії, виходячи з аналізу ситуації й крім нездійсненного варіанта.

При оцінці ситуації, з огляду на те, що завдання й підзавдання визначені, необхідно оцінити кількість зусиль, затрачуваних на рішення завдання (підзавдання), використовуючи для цього чисельні оцінки за математичними критеріями або їх верхні й нижні границі (наприклад, вартісні оцінки або інші оцінки очікуваного виграшу).

При виборі наступного кроку необхідно виходити з останньої породженої ситуації й рішення шукати шляхом компромісу між глибиною пошуку й складністю оцінки ситуації. Стосовно до проектування синхронізатора цілями можуть служити точність роботи пристрою, обумовлений кутовою помилкою, помилкою визначення частоти ковзання й помилкою визначення моменту формування команди на включення вимикача генератора, а також технічна складність реалізації пристрою і його вартість.

# 1.3 Визначення способів вирішення завдань для досягнення мети побудови пристрою синхронізації

Виходячи з введеного поняття мети, першочерговими під задачами є: вибір способу синхронізації, вибір способу виміру початкових параметрів синхронізації й способу формування команди на включення вимикача генератора. Наступними підзадачами при цьому будуть: формування імпульсних послідовностей, жорстко прив'язаних до вхідних синусоїдальних напруг, зсув імпульсних послідовностей на необхідні кути, пропорційні швидкості ковзання часу включення, визначення знака швидкості ковзання, фіксація моменту збігу зрушених по фазі імпульсних послідовностей, подача команди на включення вимикача генератора.

Перераховані підзадачі, у свою чергу, залежно від їхньої складності розбиваються на відповідні складові. Так, зокрема, під задача зрушення імпульсних послідовностей на необхідні кути розбивається на допоміжні підзадачі одержання необхідних кутів зрушення фаз, виміру цих кутів і їхнього наступного переносу для забезпечення затримки імпульсних послідовностей.

# 1.4 Вибір способу синхронізації, способу виміру параметрів синхронізації та спосіб подачі команди на включення вимикача генератора

З огляду на накопичений досвід і виходячи із сформульованої мети, що складається в забезпеченні вимог точності роботи синхронізатора, при проектуванні вибирається спосіб точної синхронізації, параметри синхронізації визначаються прямим способом виміру, а команда на включення формується з постійним часом випередження.

При цьому ключовою процедурою є вибір моменту подачі команди на включення вимикача генератора. При виборі тих або інших рішень підзадач проектування й пошуку ключової процедури будемо виходити з наступних міркувань. У запропонованому розгалуженому графі вершина являє собою завершення процедури якої-небудь проектної підзадачі " n", що входить до складу безлічі всіх процедур проектування П*.* Весь процес проектування описується наступними співвідношеннями:



(1.4)



Уведемо в розгляд функцію *fn*, за допомогою якої відобразимо зв'язок множин вершин графа *ti*, *tk* з процедурами n:

(1.5)



Введеної функції (1.4.2) властиві наступні обмеження:

при фіксованих *n*, *i*, *k*; (1.6)



для будь-якого *n*. (1.7)



Обмеження (1.4.3) полягає в тому, що на ту саму вершину не може надходити сигнал від різних процедур "n".

Обмеження (1.4.4) полягає в тому, що на вхід вершини *tn* і з її виходу повинен надходити хоча б один сигнал. Уведемо функцію приналежності , що розуміє як суб'єктивну міру виконання процедури *n* (*ti*, *tk*). Оскільки безліч *П* звичайно, остільки функція приналежності μ цієї безлічі являє собою матрицю:



(1.8)



де індекси рядків відповідають індексам вхідних вершин графа *ti*, а індекси стовпців - вихідним вершинам графа *tk*.

Викладений матеріал дозволяє сформулювати методику проектування синхронізатора, відповідно до якої процес проектування полягає в перетворенні вихідної інформації, що отримується у вхідних синусоїдальних напругах:



заданих обмеженнях по початкових параметрах синхронізації δ*доп*, ω*sдоп*, Δ*Uдоп* і часу включення вимикача генератора *tвкл*, у кінцеву інформацію, на підставі якої приймається рішення про формування команди пристроєм синхронізації.

пристрій синхронізація автоматична генератор

Першим етапом пропонованої методики є етап введення вихідних даних і визначення критерію (мети), до якого треба прагнути. Далі послідовно приймаються рішення про спосіб синхронізації, способі виміру кута між синхронізуємими напругами, способі виміру кутової частоти ковзання й способі формування команди на включення вимикача генератора. Після рішення цих завдань складається структурна схема синхронізатора й формуються часні підзадачі, пов'язані з одержанням імпульсних послідовностей зі зсувом по фазі синхронізуємих напруг, затримкою імпульсних послідовностей, їхнім переносом, фіксацією моменту збігу фаз, контролем частоти ковзання й вибором моменту подачі команди на включення вимикача генератора. При рішенні цих підзадач аналізуються альтернативні варіанти.

Набір альтернатив являє собою набір матриць (1.8). Просування по представленому графі здійснюється залежно від поставлених умов.

Розглянемо більш докладно рішення приватних завдань проектування.

# 2. Вибір способу формування команди на включення генератора способом точної синхронізації

Відповідно до умов точної синхронізації команда на включення вимикача генератора повинна бути подана з попередженням таким чином, щоб до моменту замикання контактів вимикача кут між синхронізуємими напругами дорівнював би нулю. У загальному випадку кут випередження δвип, тобто кут, при досягненні якого подається команда на включення вимикача генератора, визначається з наступного співвідношення:

, (2.1)



де tвкл - час включення, рівний часу спрацьовування синхронізатора й часу замикання контактів вимикача генератора;

ωs, ξs - швидкість і прискорення ковзання.

# 2.1 Вибір способу подачі команди

На практиці прискоренням ковзання при створенні пристроїв синхронізації найчастіше зневажають і команду на включення вимикача генератора подають або з постійним кутом випередження δвип=const, або з постійним часом випередження tвип=const. У першому випадку кут випередження δвип вибирається постійним і рівним:

, (2.2)



де - розрахункова швидкість ковзання, обрана рівно половині припустимої швидкості ковзання ωsдоп. У другому випадку кут випередження δвип залежить від швидкості ковзання, а його величина визначається зі співвідношення:



, (2.3)



де час включення tвкл постійний й дорівнює часу випередження tвип.

Основним показником, по якому ми будемо порівнювати синхронізатори, є величина кутової помилки. Саме кутова помилка є основною причиною виникнення збурювань у процесі синхронізації й саме через неї з'являються провали напруги й кидки струму, неприпустимі як для генераторів, що властиво включають, так і для електроприймачів системи електропостачання. Як критерій при виборі пристрою синхронізації варто прийняти мінімальну величину кутової помилки δпом. Виходячи з обраного критерію, перевагу варто віддати синхронізаторам з постійним часом випередження, у яких можна домогтися того, щоб звести кутову помилку δпом до нуля, тоді як у більш простих, у схемному рішенні синхронізаторів з постійним кутом випередження величина кутової помилки визначається різницею між дійсною й розрахунковою швидкостями ковзання й дорівнює:

. (2.4)



Використання синхронізаторів з постійним кутом випередження може бути виправдано тільки у випадку застосування швидкодіючих вимикачів.

Складність схемної реалізації пристроїв синхронізації з постійним часом випередження пов'язана з необхідністю формування команди зі змінним кутом випередження, величина якого залежить від фактичної швидкості ковзання.

# 2.2 Вибір способу виміру частоти ковзання

Точність обробки постійного часу випередження визначається точністю виміру кута δ між синхронізуємими напругами й точністю виміру частоти ковзання ωs.

У застосовуванні у цей час в пристроях синхронізації для виміру величини δ і ωs часто використовується так званий непрямий метод виміру, заснований на використанні огинаючої напруги биття Us (t). Миттєве значення напруги биття us (t) дорівнює різниці миттєвих значень синхронізуємих напруг u1 (t) і u2 (t):

. (2.5)



У випадку, коли U1=U2=U, представимо (2.5) у вигляді:

. (2.6)



Величина огинаючої напруги биття Us (t) визначається з (2.6) і дорівнює:

. (2.7)



Використовуючи (2.7), можливо визначити як частоту ковзання ωs, так і поточний кут зрушення фаз δ. Дійсно, інформацію про величину ωs несе в собі час Ts між моментами проходження через нуль огинаючих биттів. Визначивши період биттів Ts і обчисливши величину , одержують частоту ковзання fs і далі швидкість ковзання ωs. Величина кута зрушення фаз визначається зі співвідношення:



, (2.8)



з якого видно, що по величині напруги биттів можна побічно судити про величину кута зрушення фаз.

Однак непрямому методу виміру параметрів синхронізації ωs і δ властиві помилки, що особливо сильно проявляються тоді, коли U1≠U2, тобто тоді, коли огинання биттів через нуль не проходить, у зв'язку із чим важко визначити як період биттів Ts, так і встановити однозначний зв'язок між величинами δ і Us.

Запропоновано для визначення параметрів синхронізації використати прямий метод виміру, заснований на вимірі часу між моментами проходження через нуль синхронізуємих напруг. Викладені основні способи формування команди на включення вимикача генератора, засновані на використанні прямого методу виміру.

# 3. Способи одержання постійного часу випередження

# 3.1 Кінцево-різнісний спосіб

По цьому способі команду подають у момент часу, коли поточне значення кута зсуву фаз стає рівним розрахунковому значенню, тобто тоді, коли виконується наступна рівність:

. (3.1)



Перейдемо від диференціального рівняння (3.1) до кінцево-різнісного рівняння:

, (3.2)



де й − два послідовні значення кута, виміряні через час, рівний періоду меншої частоти .



Увівши позначення запишемо (3.2) у вигляді:



. (3.3)



З (3.3) видно, що якщо сформувати команду в момент часу, коли поточне значення кута стане рівним розрахунковому, певному з рівності:



(3.4)



то тим самим буде отриманий постійний час випередження.

# 3.2 Часовий спосіб одержання постійного часу випередження

По цьому способі порівнюють між собою тривалості й двох послідовних відрізків часу між імпульсами, сформованими на початку періоду синусоїдальних напруг мережі й генератора.



У системі відліку імпульсів великої частоти величини кутів і , що відповідають відрізкам часу й , рівні:



. (3.5)



Кутова частота ковзання дорівнює:



(3.6)



Час випередження визначається в такий спосіб:

(3.7)



Для формування команди часом випередження , рівним часу включення , необхідно, щоб величина визначалася зі співвідношення:



. (3.8)



Відповідно до умови для одержання постійного часу випередження необхідно послідовно визначати тривалість відрізків і й порівнювати їх один з одним. У реверсивному лічильнику необхідно записати число , пропорційне , і зчитувати число протягом відрізка часу із частотою проходження імпульсів у раз більшої, ніж частота запису.



Якщо після закінчення часу зчитування числа не закінчено, то повинна подаватися команда на включення вимикача генератора.



# 3.3 Імпульсний спосіб одержання постійного часу випередження

Постійний час випередження можна одержати, формуючи в момент переходу через нуль синусоїдальних напруг керуючі, основні й допоміжні імпульси (рис.3.8).

Рис.3.3.1 Імпульсний спосіб одержання постійного часу випередження.

1

2

3

1

2

3

1́

2́

3́

1́

2́

3́

1́

2́

3́

t

u

u

ТМХ

t0

tВ

t

ТВ

t0

tВ

Керуючі імпульси 1, 1́ прив'язані по фазі до нуля синусоїди, основні імпульси 2, 2́ своїм переднім фронтом прив'язані до переднього фронту керуючих імпульсів, а допоміжні імпульси 3, 3́ своїм переднім фронтом прив'язані до заднього фронту основних імпульсів 2, 2́. Основні й допоміжні імпульси мають однакову тривалість Пакет імпульсів більшої частоти своїм керуючим імпульсом 1́ насувається на пакет імпульсів меншої частоти з боку заднього фронту допоміжного імпульсу 3. Збігу імпульсів 1́ і 3 використовуються для оцінки різниці частот, а збігу імпульсів 1́ і 2 − для одержання постійного часу випередження. Оцінка ковзання, як і в синхронізатора з постійним кутом випередження, виробляється по числу збігів N імпульсів 1́ і 3. Для N справедлива рівність:



(3.9)



У процесі синхронізації значення й змінюються не більше ніж на 5% у порівнянні з номінальним значенням, у зв'язку із чим добуток можна вважати величиною постійної й рівної *К*. У зв'язку із цим число збігів є функція тільки частоти ковзання:



(3.10)



Умова на виконання синхронізації з врахуванням (3.11) формується так:



(3.12)



Постійний час випередження відпрацьовується в момент чергового збігу імпульсів 1́ і 2 за умови, що число попередніх збігів дорівнює:

(3.13)



Умова (3.4) означає, що від моменту подачі команди до моменту збігу імпульсів 1́ і 1 залишилося постійне число збігів Час випередження буде дорівнювати добутку цього залишку на тривалість періоду меншої частоти:



(3.14)



У синхронізаторі при збігу імпульсів 1́ і 3 визначають число збігів , а потім визначають залишок збігів імпульсів 1́ і 3 і записують цей залишок у лічильник. Зчитування числа, записаного в лічильник, починається з моменту збігів імпульсів 1́ і 2.



Постійний час випередження спрацьовує в момент завершення зчитування залишку в лічильнику.



# 3.4 Дискретний спосіб одержання постійного часу випередження

По цьому способі зрівнюються поточні значення різниці фаз, представлені в дискретній формі й обмірювані протягом кожного періоду синхронізуємих напруг, зі збільшенням цієї різниці.

Для визначення величини кута формуються імпульси, що запускають у момент переходу через нуль напруги меншої частоти й що скидають у момент переходу через нуль напруги більшої частоти.

Тривалості імпульсів відповідно до рис.3.4.1 рівні:



(3.15)



Між моментами й існує очевидний зв'язок



(3.16)



Відрізки й еквівалентні величинам поточних кутів зрушення фаз, а різниця між і пропорційна частоті ковзання :



. (3.17)

Uс,в

Uг,в

U,в

t,c

Tc/2

t1г

τ2

t,c

t,c

t2c

t3c

t3г

t2г

Tг/2

t1с

τ1

τ3



Рис.3.4.1 Дискретний спосіб формування постійного часу випередження

Постійний час випередження спрацьовує, коли рівні числа у двох лічильниках, один із яких заповнюється із частотою , а інший − через половину періоду меншої частоти із частотою .



Порівнюючи число із числом одержуємо в момент їхньої рівності:



. (3.18)



Зіставляючи (3.4.3) і (3.4.4) знайдемо:

(3.19)



де − практично постійний коефіцієнт, величина якого може бути обрана рівній часу випередження.



Загальним для кінцево-різницевого, часового, імпульсного й дискретного способів одержання постійного часу випередження є необхідність виміру й порівняння один з одним наступних один за одним інтервалів часу (тривалості відрізків) через що можливий пропуск команди на включення вимикача. Це пов'язане з тим, що можливе таке чергування інтервалів часу, коли команду потрібно подавати не при порівнянні першого із другим, третього із четвертим, п'ятого із шостим і т.д., а при порівнянні другого із третім, четвертого з п'ятим, шостого із сьомим і т.д. Пропуск команди на включення вимикача генератора приводить до затягування процесу синхронізації, що особливо неприємно при малих кутових частотах ковзання.

# 3.5 Спосіб затримки і зсуву по фазі синхронізуємих напруг

Відзначених недоліків можна уникнути, якщо використати для формування команди на включення вимикача генератора спосіб, заснований на затримці й зсуву по фазі синхронізуємих напруг.

За цим способом необхідно затримати імпульси з меншою частотою проходження на два значення часу, одне із яких більше іншого у два рази. У момент збігу затриманих імпульсів з імпульсами більшої частоти необхідно сформувати нові імпульсні послідовності, перша з яких затримується на час спрацьовування вимикача генератора, а друга − на час, обумовлений обмірюваним часом між затриманими першими й другими, сформованими імпульсами меншої частоти. Затримкою імпульсів на два значення часу досягається їхнє зрушення по фазі убік відставання на кути й , рівні



, . (3.20)



Затримка імпульсу, одержуваного в момент збігу імпульсних послідовностей напруги більшої частоти й напруги меншої частоти, зрушеного по фазі на кут , еквівалентна зрушенню по фазі на кут , рівний .



У синхронізаторі виробляється вимір відрізка часу між моментом формування імпульсу, затриманого на час , і моментом збігу імпульсів більшої частоти зі зрушеними на кут імпульсами меншої частоти. Цьому відрізку часу еквівалентний кут , рівний:



. (3.21)



Команда на включення подається після моменту збігу імпульсів більшої частоти й зрушених на кут імпульсів меншої частоти через відрізок часу, необхідний для відпрацьовування кута . Величина кута зрушення фаз до моменту подачі команди дорівнює:



. (3.22)



З умови роботи синхронізатора ясно, що , тобто



и. (3.23)



Вираз (3.23) визначає правило вибору тимчасової затримки знизу. У зв'язку з тим, що величина кута повинна бути менше 180°, величина повинна бути менше , тобто .



Ця нерівність визначає правило вибору тимчасової затримки зверху. Границя зверху обмежує можливий діапазон кутів включення, а значить і можливих значень і величинами, обумовленими з наступної нерівності:



. (3.24)



Основний недолік цього способу полягає в складності його схемної реалізації.

Більш простим у реалізації є спосіб, по якому команду на включення вимикача генератора варто подати в момент збігу напруги більшої частоти зі зрушеним по фазі убік відставання напругою меншої частоти.

Підвищити точність відпрацьовування постійного часу випередження можливо, зсовуючи кожну із синхронізуємих напруг убік відставання на кут, пропорційний ковзанню даної напруги стосовно фіксованої частоти, загальної для обох напруг і свідомо більшої частоти кожного з них.

Кут зрушення фази напруги меншої частоти (рис.3.5.1) дорівнює , а кут зрушення фази напруги більшої частоти дорівнює , де - задана фіксована кутова частота ковзання; K - коефіцієнт пропорційності.



Команда на включення вимикача генератора подається в момент збігу по фазі напруг і , коли кут між напругами й буде дорівнює:



αБ

αМ

fМ

fБ

Рис. 3.5.1 Зсув за фазою обох синхронізуємих напруг

. (3.25)



Час відпрацьовування цього кута постійний й дорівнює часу випередження:

(3.26)



Результати проведеного аналізу дають підстави зробити висновок про те, що найбільш кращим варто вважати спосіб формування команди на включення вимикача генератора, заснований на зсуву по фазі убік відставання обох синхронізуємих напруг.

# 4. Вибір структурної схеми синхронізатора

Практична реалізація розглянутого способу одержання постійного часу випередження можлива у випадку використання в якості фазозсовуючих пристроїв динамічних ланок першого порядку загального типу, диференціальні рівняння яких мають такий вигляд:

, (4.1)



де - постійні часу;



- коефіцієнт підсилення;



- оператор диференціювання;



- вихідна й вхідна координати.



Фазова характеристика такої ланки описується наступним рівнянням:



, (4.2)



Фазова характеристика, апроксимована відрізками прямих ліній при зміні кутових частот, що лежать у діапазоні , представлена на рис.4.1



Рис.4.1 Фазова характеристика.

З рис.4.1 легко бачити, що ланка першого порядку загального типу при відповідному підборі постійних часу й дозволяє забезпечити зрушення убік відставання синхронізуємих напруг у випадку, якщо .



Головні труднощі при реалізації розглянутого способу одержання постійного часу випередження полягає в забезпеченні одержання лінійності залежності у всьому діапазоні припустимих при синхронізації кутових частот і або, що те ж, лінійності залежності фазової характеристики.



З існуючих фазозсовуючих пристроїв більшою мірою задовольняють цій вимозі пристрої, що забезпечують фазове автопідстроювання частоти. При цьому потрібно, однак, мати на увазі, що властиво імпульсна фазова система автопідстроювання частоти реалізує залежність виду:

(4.3)



де всі позначення відповідають наведеній раніше, але фіксованій частоті



Векторна діаграма для синхронізуємих напруг і й напруг і , зрушених по фазі представлена на рис.4.2.



Із зіставлення рис.4.1 і рис.4.2 легко встановити, що система фазового автопідстроювання частоти зрушує убік відставання на більший кут напругу більшої частоти, у той час як на більший кут повинна зрушуватися напруга меншої частоти. Разом з тим, з рис.1.5 видно, що необхідний ефект досягається, якщо замість кутів і використати їхні доповнення до 3600, тобто кути й .



Рис. 4.2 Векторна діаграма системи фазового автопідстроювання частоти



# 4.1 Розробка структурної схеми

Структурна схема синхронізатора, що реалізує запропонований спосіб одержання постійного часу випередження з використанням пристроїв імпульсного фазового автопідстроювання частоти, представлена на рис.4.1.1

ДФІ - дільник-формувач імпульсів;

Рис. 4.1 Структурна схема синхронізатора

ВІФД



## КО

ІФД



### **КТ**

#### **АБО**

## ПКНК

#### **ДФІ**

ІФД

КО

## КГІ

#### **ДФІ**

## КГІ

### **ПП**

### **ПП**

ПКПК

## НГІ



КГІ - керований генератор імпульсів;

ІФД - імпульсний фазовий детектор;

КО - комутатор операцій;

ПП - пристрій переносу;

ВІФД - вихідний імпульсний фазовий детектор;

ПКПК (ПКНК) - пристрій контролю позитивного (негативно) ковзання;

АБО - логічна схема “АБО”;

КТ - ключ тиристорний;

НГІ - настроєчний генератор імпульсів.

Відповідно до запропонованого способу побудови постійного часу випередження синхронізатор має два канали, кожний з яких містить у собі пристрій імпульсного фазового автопідстроювання частоти і комутатор операцій із пристроєм переносу для переходу від кутів β1 і β2 до кутів α1 і α2. Пристрій імпульсного фазового автопідстроювання частоти кожного каналу складається з дільника-формувача імпульсів, керованого генератора імпульсів і імпульсного фазового детектора.

Функції фіксації постійного часу випередження в момент збігу фаз зрушених напруг контролю величини ковзання й видачу команди в ланцюг керування вимикачем виконує вихідний вузол синхронізатора, що включає в себе допоміжний імпульсний фазовий детектор, пристрій контролю позитивного ковзання, пристрій контролю негативного ковзання, логічну схему “або” і тиристорний ключ.

У дільниках формувачах імпульсів (ДФІ) синхронізуємі синусоїдальні напруги U1 і U2 з періодами T1 і T2 перетворяться в послідовності гострих імпульсів. Ці імпульси утворяться в момент проходження миттєвого значення напруги через нуль один раз за два періоди, тобто кожний імпульс є як би “міткою" початку періоду, відповідно рівного 2T1 і 2T2. Наприклад, якщо на вхід ДФІ надходить синусоїдальна напруга із частотою 50 Гц, то на виході ДФІ формуються імпульси із частотою 25 Гц. Розподіл частоти в ДФІ виробляється з метою розширення діапазону кутів випередження синхронізатора аж до 7200.

Робота наступних вузлів синхронізатора відбувається під впливом вихідних імпульсів ДФІ, тому будемо вести мову тільки про імпульсні послідовності синхронізуємих напруг і.



Керований генератор імпульсів (КГІ) являє собою автогенератор імпульсів позитивної полярності. Частота КГІ підбудовується під частоту ДФІ сигналами негативного зворотного зв'язку з виходу імпульсного фазового детектора. Імпульсний фазовий детектор (ІФД) - це тригер, на виході якого утворюються негативні прямокутні імпульси, тривалість яких визначається фазовими співвідношеннями імпульсів з виходу ДФІ й КГІ.

Роботу ІФАПЧ досить розглянути на прикладі одного каналу; його тимчасові діаграми зображені на рис.4.2.

Імпульсні послідовності від ДФІ й КГІ (рис.4.2 б, в) надходять на вхід ІФД, тривалість вихідних імпульсів якого визначається різницею фаз між імпульсами ДФІ й КГІ (рис.4.2 г, д). Вихідна імпульсна напруга ІФД через негативний зворотний зв'язок впливає на вхід КГІ, змінюючи його частоту так, щоб вона стала рівній частоті ДФІ.

В принципі, пристрій ІФАПЧ може працювати в різних режимах. Наприклад, якщо частоти ДФІ й КГІ рівні, і ефект повільних змін параметрів керованого генератора, що визначають його частоту, у середньому повністю компенсується дією ІФАПЧ, пристрій працює в так званому режимі утримання. З поняттям режиму утримання нерозривно зв'язане поняття смуги утримання, тобто області початкових розстроювань, у якій можливий цей режим. Ширина смуги утримання визначається різницею граничних значень частоти КГІ, що відповідають найбільшим і найменшим середнім напругам на виході ІФД.

Можливий і інший режим роботи пристрою, при якому в середньому різниця частот імпульсів ДФІ й КГІ дорівнює нулю, а різниця їхніх фаз періодично змінюється. Цей режим, використовуваний вкрай рідко, називається квазисинхронізмом. Звичайний пристрій проектують так, щоб він не виникав. Третій режим роботи пристрою ІФАПЧ - режим биттів. Його характерною рисою є безперервне наростання в середньому різниці фаз КГІ й ДФІ. Режим биттів завжди спостерігається в тих випадках, коли початкове розстроювання КГІ відносно ДФІ більше смуги утримання. Іноді він може мати місце й при початковому розстроюванні, меншої смуги утримання. У режимі биттів середнє значення частоти КГІ відрізняється від частоти ДФІ.

У синхронізаторі використовується режим утримання. Перехідний стан системи, при якому режим биттів переходить із часом у режим утримання або квазисинхронізма, називається режимом захвату. Під смугою захвату розуміють область початкових розстроювань, у якій при будь-яких початкових умовах установлюється режим утримання або квазисинхронізма. Факт існування смуги захвату для ІФАПЧ кожного з каналів синхронізатора є визначальним при виборі припустимого діапазону зміни частот синхронізуємих напруг.

Рис. 4.2 Часові діаграми пристрою імпульсного фазового автоматичного підстроювання частоти

Т1



t

t



t

2T1



t



Період заміру



t

Період переносу

t



t



t



а)

б)

в)

г)

д)

е)

ж)

з)

У синхронізаторі застосований КГІ, частота якого лінійно залежить від величини середньої напруги на виході і ІФД, середнє значення напруги на виході якого лінійно залежить від кута зрушення фаз між вхідними сигналами. У силу цього, ІФАПЧ синхронізатора в режимі втримання забезпечує формування на виході ІФД (рис.4.2 г) прямокутних імпульсів, відносна тривалість яких τ21 стосовно періоду 2T1 пропорційна частоті синхронізуємої напруги . Як видно з рис.4.2 б, в, м, ця тривалість одночасно є тимчасовим інтервалом, на який зрушується убік відставання імпульсна послідовність КГІ стосовно імпульсної послідовності ДФІ. Легко бачити, що тимчасовій затримці відповідає затримка по фазі на величину



, (4.4)



де ДО1 - коефіцієнт пропорційності, що залежить від коефіцієнтів підсилення елементів ІФАПЧ: КГІ, ІФД, негативного зворотного зв'язку.

Доповненням до періоду є часовий інтервал (рис.4.2 в), якому відповідає фазовий кут



(4.5)



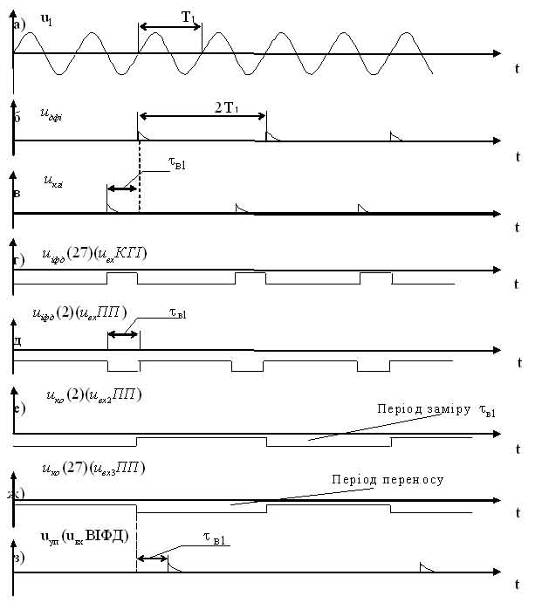
На цей кут і необхідно зрушувати імпульсну послідовність ДФІ убік відставання, причому для здійснення зрушення досить перенести інтервал на іншу сторону імпульсів ДФІ (рис.4.2 д, ж, з, к).



Задачу виміру кута , а також зрушення на цей кут відповідної імпульсної послідовності убік відставання вирішують комутатор операцій і пристрій переносу.



Комутатор операцій (КО) виділяє один період для виміру кута зсуву, а другий - для переносу імпульсів відповідної послідовності на цей кут убік відставання (рис.4.3 ж, з).



Таким чином, на виходах пристроїв переносу в обох каналах виходять імпульсні послідовності синхронізуємих напруг і , зсунуті по фазі убік відставання на кути α1 і α2 - рис.4.3 к. Ці імпульсні послідовності подаються на вихідний імпульсної фазовий детектор (ВІФД), що представляє собою тригер. Тривалість імпульсів на виході ВІФД залежить від фазових співвідношень вхідних імпульсних послідовностей. Тимчасова діаграма роботи ВІФД показана на рис.4.3.



При рівності частот і тривалість імпульсу на одному виході тригера (паузи - на іншому), буде пропорційна різниці фаз зрушених імпульсних послідовностей напруг і . При нерівності частот різниця фаз буде безупинно мінятися від 0 до за один період ковзання Тск, а на одному виході ВІФД буде наростати від 0 до Т и при =0 стрибком падати до 0 (рис.4.3 в). На іншому виході ВІФД, навпаки, буде зменшуватися від до нуля, а при =0 стрибком зростати до Т (рис.4. г). При зміні знака ковзання виходи ВІФД як би міняються місцями. Крім чіткого позначення моменту рівності фаз на вихід ВІФД контролюється знак і величина ковзання.



Контроль ковзання здійснюється за допомогою ПКПК і ПКЗК. Один вихід ВІФД підключений до ПКПК, а другий - до ПКЗК. Ці блоки здатні розрізняти знак ковзання, а при припустимому ковзанні - зафіксувати постійний час випередження в момент збігу фаз зрушених по фазі імпульсних послідовностей синхронізуємих напруг. Залежно від знака ковзання, у момент збігу фаз в ПКПК або ПКЗК формуються імпульси, що управляють через схему АБО тиристорний ключ (КТ), що, у свою чергу, управляє включенням вимикача.

Настроєчний генератор імпульсів (НГІ) використається тільки при настроюванні синхронізатора. У формуванні вихідної команди при синхронізації НГІ не бере участь.

# 4.2 Вибір блоків принципової схеми

У процесі проведення досліджень була перевірена можливість реалізації запропонованих рішень. Для цього був зібраний пристрій синхронізації (макетний зразок).

Розроблювальний синхронізатор призначається для забезпечення включення на паралельну роботу будь-яких типів синхронних генераторів як один з одним, так і з мережею. Обмеження на попередній режим роботи генераторів не накладаються.

Синхронізатор може бути використаний у випадку застосування інерційних вимикачів із часом випередження, більшим 0,2с. У відомих синхронізаторів максимальний кут випередження завжди менше 360. Для такого кута випередження при постійному часі випередження, рівному 0,5с, максимальна частота ковзання, обумовлена з вираження (4.2.1) не перевищує 2Гц.

, (4.6)



Ця умова не дозволяє застосовувати у випадку використання відомих технічних рішеннях технологію прискореного пуску й змушує обладнати регулятори швидкості пристроями припасування частоти. Розроблювальний синхронізатор розраховувався з умови, по якому величина кута випередження може досягати 720º, тобто з умови, що максимальна частота ковзання fsmax=4Гц. Синхронізатор призначений для роботи в системах електропостачання із частотою 50 Гц.

При цьому можливий діапазон зміни частот синхронізуємих напруг дорівнює 48 - 52 Гц. Вхідні трансформатори синхронізатора обрані на напругу рівній 230 В. Припустимий діапазон зміни напруги перебуває в межах (0,8 - 1,2) Uном. У випадку включення на паралельну роботу високовольтних генераторів їхнє приєднання до синхронізатора повинне вироблятися через трансформатори напруги.

# Закінчення

1. Процес проектування синхронізатора можна представити як процес нагромадження знань про проектовану систему.
2. Інформаційна модель процесу проектування може бути відображена у вигляді розгалуженого графа, вершини якого являють собою знання про створювану систему на даному етапі проекту. Дуги графа інтерпретуються як способи обробки знань.
3. Процес проектування синхронізатора може бути представлений у вигляді ряду фрагментів, частина з яких повинна бути доручена людині, а інша частина комп'ютеру.
4. Людина в процесі проектування формулює мету й завдання проектування. Вона також повинна запропонувати критерії, по яких варто приймати рішення. Комп'ютер повинен проводити оцінку складних ситуацій, використовуючи для цього запропоновані вирішальні правила.
5. При розробці пристроїв автоматичної точної синхронізації варто виходити з того, що при вимірі кутової частоти ковзання й кута між синхронізуємими напругами непрямий метод виміру, заснований на використанні напруги биттів, дає більшу погрішність у порівнянні із прямим методом виміру. Непрямий метод виміру може бути застосований тільки у випадку використання вимикачів генератора з підвищеною швидкодією (tвкл≤0,05с) і тільки в системі електропостачання, електроприймачі яких не критичні до якості споживаної електроенергії.
6. Незважаючи на відносну складність, перевагу варто віддати синхронізаторам, у яких команда на включення вимикача генератора подається з постійним часом випередження.
7. Серед відомих способів одержання постійного часу випередження перевагу, виходячи з вимог точності й швидкодії, варто віддати способу, заснованому на зрушенні по фазі кожної із синхронізуємих напруг убік відставання на кут, пропорційний ковзанню цієї напруги стосовно частоти, загальної для обох генераторів і свідомо більшої кожної із цих частот.
8. Для зрушення по фазі синхронізуємих напруг доцільно використати системи імпульсного фазового автопідстроювання частоти, що працюють у режимі втримання.
9. У зв'язку з тим, що по пропонованому способі одержання постійного часу випередження ωi>ω0, для зрушення по фазі синхронізуємих напруг U1 і U2 варто використати не кути α1 і α2, отримані в системах фазового автопідстроювання частоти, а їхнє доповнення до 360˚.

# Література

1. В.Б. Толубко, Б.Т. Кононов, Б.Ф. Самойленко, М.І. Григоров, Електропостачання і електрообладнання військових об'єктів. Частина 2. МО України, 1998.
2. Системы управления электроснабжением и электроприводом, МО СССР, 1991.
3. Залесский А.М. Передача электрической энергии. - М. - Л.: Госэнергоиздат, 1948. - 355 с.
4. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 648 с.
5. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/ В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, ПА. Илларионов и др. - М.: Энергоатомиздат. - 1985. - 352 с.