

Власник документу:
Бевза Олег Миколайович

ID перевірки:
1004031651

Дата перевірки:
14.06.2020 20:40:26 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
14.06.2020 20:51:12 EEST

ID користувача:
90740

Назва документу: 2020-bachelor-EDD_Olyshevsky_Invertor_fch

ID файлу: 1004044644 Кількість сторінок: 23 Кількість слів: 8191 Кількість символів: 59186 Розмір файлу: 96.46 KB

4.13% Схожість

Найбільша схожість: 1.1% з джерело https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/19823/1/Navch_posib.pdf

3.69% Схожість з Інтернет джерелами 37 Page 25

1.28% Текстові збіги по Бібліотеці акаунту 85 Page 25

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

0% Вилучень

Вилучений текст відсутній

Підміна символів

Заміна символів 51

Олішевському Юрію Сергійовичу
Однофазний інвертор напруги з гальванічною розв'язкою

АНОТАЦІЯ

У дипломному проекті досліджено однофазний інвертор напруги з гальванічною розв'язкою. Доведено, що використання даного типу інвертора є найдоцільнішим оскільки він має суттєві переваги: малі габарити, проста і ефективна система керування, широкий діапазон регулювання, максимальний ККД високочастотного трансформатора, порівняно з існуючими зразками. Проведено розрахунки необхідних елементів силової частини, наведені порівняння з аналогом інвертора. Виконано моделювання інвертора та системи керування в програмному середовищі SIMULINK. Розроблено електричну принципову схему в програмовому забезпеченні SPlan 7.0.

Таким чином досліджуваний інвертор знаходить більш широку сферу застосування. Розрахунками та моделюванням доведено, що вихідна напруга та струм відповідає всім вимогам стандартів якості електроенергії. **Ключові слова: однофазний інвертор напруги з гальванічною розв'язкою, широтно-імпульсна модуляція.**

ABSTRACT

A single-phase voltage inverter with galvanic isolation has studied in the diploma project. It is proved that the use of this type of the inverter is the most appropriate, because it has significant advantages: small product dimensions, a simple and effective control system, wide range of regulation, maximum efficiency of a high-frequency transformer, compared to existing samples. Calculations of the necessary elements of the power part were held. Comparisons with the analog of the inverter were carried out. Simulation of the inverter and control system in the SIMULINK environment was performed. An electrical circuit diagram was developed in the software SPlan 7.0.

Thus, the studied inverter has a wider scope of application. Calculations and modeling proved that the output voltage and current meet all the requirements of electricity quality standards.

Keywords: single-phase voltage inverter with galvanic isolation, pulse width modulation

ВСТУП

Всі схеми, системи або пристрої, які з напруги, що видається джерелом постійного струму, створюють змінну напругу, можна назвати інверторами. Вони здійснюють функцію, зворотню тій, яку виконують випрямлячі. Завдання випрямляча перетворити змінну напругу - в постійну, а завдання інвертора – перетворити.

Раніше інвертором, або інакше перетворювачем напруги, називалися пристрої з робочою частотою, що не перевищує 100 кГц. В даний час обмежень частоти у сучасних перетворювачів немає. Так як принципової різниці між генераторами і інверторами не виявлено, можна стверджувати, що інвертори, в масі своїй, є генератори спеціальних різновидів.

В роботі перетворювачів основна увага приділяється таким параметрам, як здатність витримувати перевантаження, можливість

регулювати параметри роботи в різних частотних діапазонах. У генераторів традиційним параметром, на який звертають увагу, є досить стабільна частота.

Інвертор має безліч прикладів практичного застосування. Він дає можливість регулювання роботи електродвигунів, що дозволяє значно економити енерговитрати. Застосовується для живлення багатьох видів побутової техніки від акумуляторів.

При постійно зростаючих тарифах на електричну енергію у споживачів зростає інтерес до альтернативних джерел енергії - сонячних батарей і вітряних генераторів. Ці джерела накопичують природну енергію сонця або вітру, акумулюючи її в батареї і отримуючи таким чином постійну напругу. Так як більшість побутових приладів і промислового електроустаткування працюють на змінній напрузі 220 В, то вдаються до застосування інвертора напруги. З його допомогою постійна напруга акумуляторів перетворюється в змінну, що має потрібну величину і параметри [3].

Важливою сферою застосування перетворювачів є використання їх в джерелах безперебійного живлення. Електричний струм надходить на акумулятор, а потім на перетворювач напруги, де він перетворюється і приходить до споживача, наприклад, на ПК. В даному випадку можна отримати подвійний ефект від застосування перетворювача. По-перше, забезпечується безперебійне живлення: при відключенні в мережі накопичена потужність від батареї продовжує надходити на комп'ютер, даючи можливість на деякий час продовжити роботу або коректно її завершити, не втративши введені дані. По-друге, застосування перетворювача допомагає згладжувати можливі сплески напруги в мережі, тобто бути фільтром, що забезпечить стабільну роботу для електронної апаратури.

Так як однофазний інвертор напруги частіш за все використовують в побуті як описано вище, кожному споживачу буде досить зручно мати такий перетворювач малих габаритів, з максимальною стабільністю, безперебійністю, економічно вигідним, довгостроковим якісним використанням для електронних приладів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТОПОЛОГІЙ ІНВЕРТОРІВ

1.1 Сфери використання інверторів

Інвертор напруги – це пристрій перетворювальної техніки, який характеризується здатністю перетворювати постійну напругу в змінну заданої величини. При проектуванні інверторів слід приділяти увагу таким особливостям: здатність витримувати великі пускові струми, враховувати відхилення вхідної напруги від номінальної та плавне регулювання задаючої частоти.

При постійно зростаючих тарифах на електричну енергію, росте попит на альтернативні джерела енергії. Інвертор є важливою складовою систем відновлювальних джерел енергії. В комплексі з елементами стабілізації напруги, інвертор створює змінну напругу сталої амплітуди та частоти, що

дає змогу зняти навантаження з вітчизняних енергомереж. Управління електроприводами - сфера використання перетворювача. Нестабільні параметри мережевої напруги згубно позначаються на роботі моторів, порушують технологічні процеси. Для отримання більш рівномірної роботи і стабілізації напруги застосовують перетворювачі. З їх використанням домагаються також синхронізації роботи цілого ряду електродвигунів.

Не можна залишити поза увагою економічний фактор. Інвертор економить електроенергію і ресурс використання обладнання, так як, коли немає необхідності в отриманні повної потужності на виході, можна знизити обороти електродвигуна. Підраховано, що економія енергії при цьому досягає 50%. А з огляду на високий ККД інвертора (до 95%) і його невисоку вартість, можна отримати велику вигоду від його застосування [3].

У реальних схемах роль ключів грають напівпровідникові прилади. Основні області застосування автономних інверторів наступні:

1) живлення споживачів змінного струму (АІН, АІС) в пристроях, де єдиним джерелом енергії є акумуляторна батарея (наприклад, бортові вторинні джерела живлення, а також резервне живлення відповідальних споживачів при можливому відключенні мережі змінного струму (електрозв'язок, обчислювальна техніка);

2) електротранспорт (АІН, АІС), що живиться від контактної мережі або будь-якого джерела постійного струму, де в якості тягових електродвигунів бажано мати прості, надійні і дешеві короткозамкнені асинхронні двигуни;

3) електропривод з асинхронними і синхронними двигунами (АІН, АІС), де інвертор служить джерелом регулювання напруги і частоти;

4) перетворювачі постійної напруги однієї величини в постійну напругу іншої величини (АІН, АІС, АРІ);

5) пристрої для отримання змінного струму (АІН, АІС, АРІ) необхідної частоти від джерел прямого перетворення енергії (термо- і фотоелектричні генератори, паливні елементи, МГД-генератори), що виробляють енергію на постійному струмі;

6) електротермія (АІС, АРІ) для отримання змінного струму підвищеної частоти (плавка металу, нагрів і гарт виробів).

В окремих випадках до автономних інверторів пред'являються вимоги щодо не тільки прямої передачі енергії від джерела живлення в навантаження, але і зворотної передачі енергії від навантаження в джерело живлення, що, зокрема, необхідно для реалізації рекуперативного гальмування асинхронних двигунів [2].

Рис.1.1 Однофазний інвертор напруги

На прикладі однофазного мостового інвертора з мережевим трансформатором зображеного на рис.1.1, розглянемо приклад вихідної напруги синусоїдальної форми зображеної на рис.1.2,

Рис.1.2 Форма напруги на виході інвертора

Як продемонстровано на рис.1.2, форма вихідної напруги злегка нагадує синусоїдальну форму більш схожу на прямокутну [3].

Так як інвертор без використання спеціальних законів модуляції [14], має не ідеальну чи навіть не близьку до ідеальної синусоїдальної форми напруги на виході, тобто інвертор не може забезпечити якісну роботу підключеної техніки та обладнання і збільшить шанс виведення техніки з ладу.

1.2 Основні групи інверторів

Автономні інвертори (AI) - пристрої, що перетворюють постійний струм в змінний з незмінною або регульованою частотою і працюють на автономну (не пов'язану з мережею змінного струму) навантаження. У цьому головна відмінність автономних інверторів від ведених інверторів, також перетворюють постійний струм в змінний, але працюють на мережу змінного струму. Навантаженням автономного інвертора може бути одиничний споживач (асинхронний двигун, електрична установка) або наявність розгалуженої мережі споживачів (кілька навантажень, які працюють за своїм графіком).

За кількістю фаз вихідної напруги AI можуть виконуватися по однофазним і трифазним схемами, а також, як і випрямлячі, з середньою точкою трансформатора і мостовою схемою.

Незважаючи на велику різноманітність, всі схеми інверторів можуть бути виділені в три великі групи:

- автономні інвертори напруги (AИ);
- інвертори струму (AIC);
- резонансні (API).

Інвертори, що живляться від джерела постійної напруги і формують напругу на навантаженні, в той час як струм визначається опором навантаження, називаються інверторами напруги.

На відміну від AIC і API інвертори напруги виконуються на повністю керованих приладах: транзисторах, двоопераційних тиристорах, одноопераційних тиристорах з пристроями їх примусової комутації. Інвертори, працюючі джерела постійного струму, називаються інверторами струму. Джерело постійного струму реалізується шляхом включення котушки великої індуктивності послідовно з джерелом постійної напруги. Перетворювачі цього типу є джерелом струму по відношенню до навантаження.

Інвертори струму формують струм в навантаженні, а форма напруги визначається характером навантаження. Електромагнітні процеси, що протікають в них, мають аперіодичний характер. У AIC використовують, як правило, одноопераційні тиристри. Однак останнім часом знаходять все більшого практичного застосування AIC на двоопераційних тиристорах і транзисторах [8].

Резонансні інвертори виконуються за схемами, що і інвертори струму, але параметри котушки індуктивності і конденсатора вибираються в них такими, щоб електромагнітні процеси набували коливальний характер.

Інвертори бувають абсолютно різні - базові, які тільки перетворюють постійний струм в змінний; модифіковані що, мають безліч інших додаткових

функцій, наприклад - інвертори резервної сонячної системи, які включаються в роботу від акумуляторів в разі зникнення напруги в побутовій мережі 220 В, тобто - використовуються в ролі такого собі великого «упса», і називаються тому ББЖ - блоком безперебійного живлення. Інвертори розрізняються по потужності навантаження, і по вхідній напрузі - є малопотужні інвертори, на вхід яких зазвичай подається 12 вольт (такі інвертори часто використовуються як автомобільні), і є потужні інвертори - на кілька десятків кіловат, для живлення яких необхідна напруга 48 вольт, і навіть більше. Але найголовніше, інвертори розрізняють за формою генеруючої напруги: вони діляться на два класи - на ті, які забезпечують на виході синусоїдальну напругу, і ті, на виході яких так званій «псевдосинус», або - зовсім не синусоїдальна напруга, що можна спостерігати на рис.1.3.

Рис.1.3 Форми вихідної напруги

Синус - це красива синусоїдальна хвиля зміни полярності вихідного напруга з частотою 50 Гц - напруга змінюється плавно від плюса до мінуса. Синус на виході - забезпечує відмінні параметри якості електроенергії тому що всі прилади розраховані на роботу саме з такою формою напруги, особливо - насоси та пральні машини з асинхронними двигунами, мікрохвильові печі. Гарний синус роблять дорогі інвертори; дорогі – бо для отримання синусоїдальної змінної напруги необхідно додатково встановити фільтр низької частоти та ускладнити закон керування інвертором [4].

Якщо на виході інвертора не синус, а напруга змінюється стрибками; форма напругою прямокутна (меандр), або ступінчаста, трапецевидна, то такий інвертор - несинусоїдальний. Якщо форма напруги змінюється сходинками, які наближаються до синусу, то такі інвертори називаються псевдосинусоїдальними, або квазісинусоїдальні. І ті, і інші інвертори, що не забезпечують «чистий синус» на виході можна з успіхом застосовувати для живлення нагрівальних приладів, а також більшості освітлювальних ламп. Як бачимо, область застосування більш дешевих несинусоїдальних інверторів обмежена.

Синусоїдальна форма напруги забезпечується застосуванням спеціальних схем, що працюють за принципом широтно-імпульсної модуляції; і тому синусоїдальні інвертори, особливо великої потужності в два рази і більше дорожче «звичайних» несинусоїдальних. Однак їх застосування більш ніж виправдано, якщо ви живете від них дорогі прилади. Крім того, економія на синусі виглядає ще більш примарними, якщо врахувати, що при живленні асинхронного двигуна несинусоїдальний напругою треба мати запас по потужності відсотків 25-30 - ця потужність розсіюється в тепло, гріє двигун, який швидше вийде з ладу [10].

Інвертори напруги класифікують за багатьма ознаками які зображені на рис.1.4.

Рис.1.4 Класифікація інверторів напруги

Типові форми напруг на виході інверторів можемо спостерігати на рис.1.5.

Рис.1.5 Типові форми вихідної напруги інверторів

Синусоїдальна форма вихідної напруги важлива, якщо інвертор напруги призначений для живлення стандартних пристроїв з живленням від мережі $\sim 220\text{В}$. У деяких випадках можна допустити живлення квазігармонічною напругою. У той же самий час досить великий клас пристроїв не чутливий до форми напруги. Досить тільки забезпечити необхідну потужність [7].

Безтрансформаторні інвертори застосовуються для управління електродвигунами або виконавчими механізмами, де не потрібно гальванічна розв'язка мережі і навантаження або узгодження за рівнем напруги. Для цілей вторинного електроживлення радіоелектронної апаратури (особливо пристроїв зв'язку) використовуються тільки трансформаторні інвертори.

Однотактні інвертори (перетворювачі) найбільш прості схемотехнічно, але магнітопроводи трансформаторів в них працюють з постійним підмагнічуванням. Тому їх використовують на потужності десятки ват. У двотактних - трансформатор не перемагнічений і забезпечений безперервний відбір потужності від мережі, тому магнітні елементи тут компактніше, ніж у однотактного [11].

1.3 Типові топології однофазних інверторів напруги

Існують основні три топології однофазного інвертора напруги:

- Мостова схема
- Напівмостова схема
- З середньою точкою трансформатора

1.3.1 Однофазний мостовий інвертор напруги

Розглянемо схему однофазного мостового інвертора рис.1.6.

Рис.1.6 Мостова схема інвертора

Припустимо, що транзистори VT1 і VT4 відкриті, напруга на навантаженні має полярність, вказану без дужок на рис.1.6, а струм навантаження наростає по експоненті. У момент часу

імпульси управління вимикають транзистори VT1, VT4 і включають транзистори VT2, VT3. Оскільки струм i_n в індуктивності навантаження не може змінитися стрибком, то він продовжує протікати в тому ж напрямку, але вже не через транзистори VT1 і VT4, а через діоди VD2 і VD3, які включаються при виключенні транзисторів VT1 і VT4 через виникнення проти-ЕДС індуктивності навантаження, що перевищує напруга джерела живлення U_d .

Включення діодів VD2 і VD3 призводить до зміни знака полярності напруги навантаження на протилежний (на рис. 1.6, а полярність показана в дужках). Під впливом зустрічної напруги струм навантаження i_n в діодах VD2, VD3, спрямований в джерело живлення, зменшується за експоненціальним законом. При зменшенні струму i_n до нуля (в момент часу) діоди VD2 і VD3 вимикаються і струм навантаження проводять транзистори VT2 і VT3, на керуючих висновках яких сформувався імпульс управління. Далі аналогічні процеси періодично повторюються. Таким чином, на навантаженні формуються імпульси напруги прямокутної форми. Струм навантаження змінюється експоненційно, і його значення визначається

параметрами навантаження. Струм через назад-включені діоди VD1-VD4 протікає на інтервалах, початок яких збігається з моментами надходження імпульсів управління, а тривалість залежить від індуктивності навантаження. Під час протікання струму в діодах VD1-VD4 відбувається повернення енергії з навантаження в джерело постійного струму. Відсутність діодів в схемі призвело б до появи неприпустимих перенапруг на транзисторах.

Діаграма струму, споживаного від джерела постійної напруги, наведена на рис.1.7. На цій діаграмі позитивні площі середніх значень струмів відповідають віддачі енергії джерелом постійної напруги, а негативні - прийому.

Рис.1.7 Діаграми струму і напруги

Залежність зміни струмів в часі в цьому випадку можна визначити, так як струм навантаження в момент комутації не змінює свого значення. Струм навантаження на інтервалах

, обчислюється з диференційного рівняння

де знак + відповідає інтервалу

, а знак мінус – інтервалу

Рішення рівняння (1.1) в загальному виді наступне:

A – постійна інтегрування.

Постійна інтегрування визначається з умов неперервності струму навантаження при комутації і повтору його форми у кожному періоді в встановленому режимі роботи:

при

підставляємо (1.2) в (1.3) отримаємо рівняння

з рішення яких можна визначити постійну інтегрування

з урахування отриманого значення постійної інтегрування формулу (1.2) записуємо у вигляді:

Середні значення струмів транзисторів і діодів можна знайти інтегруванням (1.4) на інтервалах

- Згідно (1.5) струми в елементах інвертора напруги є функціями параметрів навантаження, в той час як в інвертор струму параметри навантаження визначають форму і значення вихідної напруги. У розглянутій схемі вихідна напруга має прямокутну форму з амплітудою, що дорівнює напрузі живлення U_d . Розклавши функцію напруги в гармонічний ряд, отримаємо амплітуду першої гармоніки вихідного напруги:

З принципу роботи даного інвертора слідує, що його вихідна напруга не залежить від навантаження. Якщо джерело, наприклад випрямляч, що живить інвертор напруги, має односторонню провідність, то його необхідно шунтувати конденсатором для прийому поверненої енергії з навантаження.

З принципу дії інвертора напруги слідує, що він може бути реалізований на повністю керованих ключах. Прикладом аналога повністю керованого ключа може бути звичайний тиристор з примусовою комутацією, що здійснюється за допомогою LC-контурів. В даний час інвертори напруги на звичайних тиристорах практично повністю замінені схемами на силових транзисторах або замикаються тиристорами. Застосовуючи методи імпульсної модуляції

можна створювати інвертори напруги на повністю керованих ключах, що працюють спільно з мережею в якості перетворювачів змінного/постійного струмів, вхідний струм яких змінюється за фазою в чотирьох квадрантах комплексної площини. Ця властивість інвертора напруги використовується для створення активних фільтрів і компенсаторів реактивної потужності [7-10].

«Жорстка» зовнішня характеристика інвертора (залежність вихідної напруги від навантаження) є, в загальному випадку, його позитивною властивістю. Однак практично завжди виникає потреба в регулюванні вихідного напруги. Найбільш простий спосіб регулювання - це зміна імпульсу вихідної напруги на інтервалах позитивного і негативного напів-періодів. Такий спосіб схожий з принципом ШІМ напруги. Однак через відсутність сигналу модуляції підвищеної частоти цей спосіб називають широтно-імпульсним регулюванням (ШІР), так як зміна ширини імпульсу вихідної напруги виробляється на основній частоті вихідної напруги.

Переваги однофазного мостового інвертора напруги: має достатньо універсальну схему, яка дозволяє без яких-небудь змін силового ланцюга регулювати значення вихідної напруги за рахунок формування у кривій цієї напруги пауз на нульовому рівні між сусідніми імпульсами протилежної полярності.

У якості недоліків однофазного мостового інвертора можна відмітити: велику кількість діодів і протікання струму в кожному напівперіоді по двом діодам одночасно. Остання властивість однофазних мостових інверторів знижує їх ККД із-за підвищеного падіння напруги на напівпровідникових структурах вентилів. Це дуже помітно у низьковольтних інверторах які працюють з великими струмами [4].

1.3.2 Однофазний напівмостовий інвертор напруги

Найпростіша однофазна напівмостова схема інвертора напруги з активно-індуктивним навантаженням представлена з діаграмами струмів і напруг на рис.1.8, 1.9. Розглянемо роботу схеми при допущенні ідеальності її елементів, а також джерел вхідної напруги з ЕРС

Припустимо, що інвертор працює в сталому режимі і на інтервалі

струм i_n проводить транзистор $VT1$. У момент

надходить замикаючий імпульс на транзистор $VT1$ і відпираючий - на транзистор $VT2$. Останній може почати проводити струм, якщо до нього буде докладено пряма напруга. Однак оскільки струм в індуктивності L_n стрибком змінюватися не може, в ній виникає протидія ЕРС, під впливом якої відкривається діод $VD2$, через який продовжує протікати струм індуктивності. Одночасно через зміни полярності напруги на навантаженні стрибком змінюється напрямок струму в активному опорі R_n . Результуючий струм навантаження

, що має індуктивний характер, продовжує протікати в колишньому напрямі через діод $VD2$ в джерело

, мінус якого з'єднаний з анодом діода $VD2$. Так як цей струм протікає назустріч ЕРС джерела, то на цьому інтервалі (

) йде процес повернення енергії, накопиченої в індуктивності, в джерело напруги. У момент

, струм i_n стає рівним нулю, діод $VD2$ закривається і відкривається транзистор $VT2$, на керуючому переході якого існує відпираючий сигнал, і з'являється пряма напруга, тобто забезпечуються умови його переходу в провідний стан. Далі процеси періодично повторюються під впливом імпульсів, що управляють СК. У цій системі частота проходження імпульсів управління визначається генератором, що задає (ЗГ), потім через розподільний пристрій (РП) надходить на формувачі імпульсів управління ($\Phi I1$ і $\Phi I2$) транзисторів $VT1$ і $VT2$.

В результаті на виході інвертора формується періодична напруга прямокутної форми. При цьому на стороні постійного струму буде протікати струм i_d , представлений на рис.1.8, де знак «+» відповідає надходженню струму в навантаження, а знак «-» - повернення частини цього струму в джерело, тобто обміну реактивної потужністю, що накопичується в індуктивності L_n , і поверненню її в джерело [12].

Рис.1.8 Схема однофазного напівмостового інвертора напруги

Рис.1.9 Діаграми роботи

З урахуванням викладеного можна записати наступні основні співвідношення, що визначають параметри інвертора. Вихідна напруга при розкладанні в гармонічний ряд має вигляд

- кутова частота напруги; f – частота комутації транзисторів.

Миттєве значення струму навантаження з врахуванням виразу (1.7) можна записати так

Баланс вхідної $P_{вх}$ і вихідної $P_{вих}$ активних потужностей:

Середні і діючі значення струмів в діодах $VD1, VD2$ і транзисторах $VT1, VT2$ можна отримати, використовуючи відомі співвідношення, попередньо проінтегрувавши вихідний струм i_n на інтервалах () з урахуванням стрибків струму в моменти комутації

Переваги напівмостової схеми є те що вона зручна для джерела живлення з проміжною ланкою підвищеної частоти і безтрансформаторним входом. Оскільки вихідна напруга джерела живлення, як правило, невелика, а напруга в ланці постійного струму, який формується некерованим випрямлячем, складає близько сотень вольт, то узгодження цієї напруги з вихідною забезпечується за рахунок відповідного коефіцієнту трансформації високочастотного трансформатора.

Основним недоліком є те, що система керування не забезпечує високої стабілізації вихідного струму інвертора, що може призвести до обриву дуги інвертора або до недостатньої жорсткості вихідних характеристик при зварюванні [3-6].

1.3.3 Однофазний інвертор напруги з середньою точкою трансформатора

На рис.1.10, розглянемо принципову схему двотактного інвертора напруги з середньою точкою трансформатора.

Рис.1.10 Схема інвертора

Припустимо, на затвор польового транзистора VT1 подана достатня напруга для його відкриття, а транзистор VT2 в цей час знаходиться в режимі відсічки. Тоді струм потече по ланцюгу (+U_{вх} - середня точка первинної обмотки трансформатора TV - транзистор VT1 – (-U_{вх})). При протіканні струму по первинній обмотці трансформатора TV на вторинній обмотці виникає напруга.

Знімаємо напругу з затвора транзистора VT1 і приклавши відпираючу напругу між затвором і витоком транзистора VT2. Струм потече по ланцюгу (+U_{вх} - середня точка первинної обмотки трансформатора TV - транзистор VT2 – (-U_{вх})). Таким чином, струм знову потече по первинній обмотці трансформатора TV і створить напругу на вторинній обмотці трансформатора. Підключивши навантаження до вторинної обмотки підвищуючого трансформатора, в її ланцюгу потече струм.

Такі інвертори зазвичай використовують при низькій напрузі живлення і вихідної потужності від одиниць ват до кіловата.

Перевагою таких перетворювачів є високий ККД і можливість роботи в режимі короткого замикання тривалий час.

Частота пульсацій вихідної напруги перетворювачів зі середньою точкою в первинній обмотці трансформатора становить подвійну частоту перетворення.

Недоліком перетворювачів з середньою точкою в первинній обмотці трансформатора потрібно вважати високу напругу на закритих ключових транзисторах (приблизно подвійну напругу живлення також напругу індуктивного викиду). Висока зворотня напруга, прикладена до транзисторів, змушує в перетворювачах напруги з відведенням від середньої точки первинної обмотки трансформатора, застосовувати транзистори з великим параметром зворотньої напруги.

На рис.1.11, зображена схема двотактного інвертора напруги.

Рис.1.11 Схема двотактного інвертора напруги

Мабуть, одна з найпростіших схем перетворення напруги представляє двотактний перетворювач на польових транзисторах, які включені за схемою мультівібратора. Резистори в схемі не критичні, їх номінал може бути від 220 Ом до 1 кОм, вони обмежують струм затвора польових транзисторів. Резистори бажано вибрати з потужністю більше 0,5 Вт, так як можливий їх перегрів при тривалій роботі генератора. Робота обраного перетворювача досить проста. Польові транзистори, по черзі відкриваються і закриваються, створюють в первинній обмотці трансформатора змінну напруга високої частоти. Відкриття і закриття транзисторів відбувається за рахунок насичення сердечника трансформатора. У момент, коли сердечник насичується відбувається перемикання транзисторів. Для розуміння принципу роботи двотактного перетворювача приведена його спрощена схема рис.1.12.

Рис.1.12 Спрощена схема

Первинна обмотка розділена на дві секції, число витків секцій однакові. Джерело постійної напруги підключений до середньої точки первинної обмотки

трансформатора і до спільної точки ключів K1 і K2. В якості ключів можна використовувати польові транзистори. Для збільшення потужності перетворювача потрібно поставити більш потужні транзистори, тобто потужність обмежується транзисторами. Ключі K1 і K2 замикаються по черзі. Кожен з ключів замкнутий на половину періоду T. Для визначеності припустимо, що в першу половину періоду на інтервалі 0 – T/2 замкнутий ключ K1, а ключ K2 розімкнений. Тоді інвертор можна уявити еквівалентною схемою, зображеної на рис.1.13.

Рис.1.13. Еквівалентна схема на інтервалі 0 – T/2

У другу половину періоду на інтервалі T/2 - T ключ K2 закритий, а ключ K1 відкритий. Такому стану ключів відповідає еквівалентна схема на рис.1.14.

Рис.1.14 Еквівалентна схема на інтервалі T/2 – T

Напрямок струму в навантаженні змінюється на протилежне. Таким чином, на навантаженні з'явиться змінна напруга.

1.4 Принцип формування синусоїдальної напруги

На рис.1.15 зображено схему однофазного інвертора з мережевим трансформатором.

Рис.1.15 Схема інвертора

Рис.1.16, ілюструє алгоритм роботи схеми, д) – форма вихідної напруги, а, б) – модульована напруга ШІМ та алгоритм включення VT1-VT4, в, г) – модульована напруга ШІМ та алгоритм включення VT2-VT3.

Рис.1.16 Алгоритм роботи інвертора

Щоб забезпечувати необхідний режим роботи, мережевий трансформатор мусить мати великі габаритні розміри, що в свою чергу є одним із важливих недоліків схеми. Амплітуда модульованого сигналу задається за допомогою ШІМ, яка змінюється за синусоїдальним законом [13].

На виході встановлено LC-фільтр, який згладжує напругу і робить її близькою до синусоїдальної.

Частоту зрізу для даного фільтра вважають меншу 100 Гц, це дозволить мінімізувати пульсації напруги по виходу.

Пропонується розглянути інший принцип формування вихідного сигналу зі схемою однофазного інвертора напруги з гальванічною розв'язкою рис.2.2, з описанням режимів роботи, та з усуненням вище вказаної проблеми та усуненням гармонічних спотворень вищого порядку [7].

Висновки до першого розділу

1. Аналіз параметрів якості електроенергії які необхідно забезпечувати для споживачів змінного струму, таких як двигуни змінного струму, мікрохвильові печі та дугові печі, показав що для забезпечення, необхідної форми синусоїдальної напруги потрібні спеціальні методи модуляції наприклад синусоїдальна ШІМ та встановити вихідний фільтр напруги.

2. За умови забезпечення гальванічної розв'язки, навантаження і використання синусоїдальної ШІМ трансформатор перемагнічується на частоті мережі, що значно збільшує габарити інвертора. Тому доцільно використовувати модифіковані методи модуляції що дозволяють йому

перемагнічуватись на проміжній підвищеній частоті в результаті чого габарити інвертора значно зменшуються.

3. В роботі досліджено ефективність використання модифікованої топології інвертора та спеціальну методу модуляції ШІМ з інвертуванням полярності кожного другого імпульсу, що дозволяє перемагнічуватись трансформатору на підвищеній частоті.

РОЗДІЛ 2. ОДНОФАЗНИЙ ІНВЕРТОР НАПРУГИ З ГАЛЬВАНІЧНОЮ РОЗВ'ЯЗКОЮ

2.1. Схема та опис її роботи

На рис.2.1 зображено загальну структурну схему досліджуваного інвертора. В якості гальванічної розв'язки використано високочастотний трансформатор.

Рис.2.1 Загальна структурна схема

Напряга з джерела 24В подається на мостовий інвертор в якому ця напруга перетворюється на знакозмінну з синусоїдальною ШІМ модуляцією яка подається на високочастотний трансформатор, прямує через блок двонаправлених ключів, згладжується LC-фільтром та прямує в навантаження. Електрична принципова схема силової частини запропонованого інвертора показана на рис.2.2.

Рис.2.2 Принципова електрична схема

Режим роботи схеми: розглянемо момент часу коли комутуються VT1-VT4 вони створюють струм у первинній обмотці трансформатора, магнітний потік у сердечнику створює ЕРС на виводах вторинної обмотки, при цьому відкривається ключ VT5-VT6, в цьому випадку струм тече в навантаження.

У момент закриття транзистора VT1-VT4 енергія котушки повертається через вбудовані діоди транзисторів VT3-VT2.

В момент часу коли комутуються VT2-VT3 вони створюють протилежне значення напруги в первинній обмотці трансформатора, магнітний потік у сердечнику створює ЕРС на виводах вторинної обмотки, при цьому відкривається ключ VT7-VT8, транзистори VT9-VT10 являють собою два зустрічно з'єднаних польових транзисторів виконують дві функції. Перше, виконують функцію нульового діода в схемі. Друга, завжди забезпечують протікання струму в колі навантаження. Алгоритм роботи схеми зображено на рис.2.3.

Рис.2.3 Алгоритм роботи схеми

Переваги однофазного інвертора з гальванічною розв'язкою:

- широкий діапазон регулювання;
- мінімальні габарити трансформатора;
- на виході інвертора генерується напруга максимально наближена до синусоїдальної форми.

2.2 Розрахунок силової частини схеми

Розрахунок величини індуктивності дроселя фільтра L .

Значення індуктивності згладжувального фільтра за вищою гармонікою:

де

- падіння напруги на активному опорі обмотки дроселя.

Визначимо величину $L_{кр}$, яка необхідна для нашого інвертора.

Оскільки енергія в навантаження на досліджувальній схемі передається на інтервалі імпульса, тобто відкритого стану транзистора, доцільно застосувати LC згладжувальний фільтр, який забезпечує накопичування енергії і зменшує амплітуду пульсацій струму в ланцюзі навантаження.

Визначимо індуктивність і ємність фільтра $L_{ф}C_{ф}$ за формулою:

Ємність фільтра визначаємо за формулою:

2.2.1 Розрахунок високочастотного трансформатора

Задаємося початковими параметрами:

Середня споживана потужність $P_{ср} = 1$ кВт, вхідна напруга живлення $U_{вх} = 24$ В з допустимим відхиленням $\pm 10\%$, вихідна напруга - $U_{вих} = 220$ В, з частотою мережі - $f = 60$ Гц і коефіцієнтом корисної дії -

Розрахунок мінімального та максимального значення вхідної напруги:

Розрахунок габаритної потужності трансформатора

де S_c - площа поперечного перерізу магнітопроводу, $см^2$;

S_w - площа вікна сердечника, $см^2$;

f - частота коливань, Гц;

Вибираємо сердечник: Марка сталі 3407, товщина стрічки 0,35 (рис.2.4)

Рис.2.4 Креслення обраного сердечника

де D - зовнішній діаметр феритового кільця, 48 см;

d - внутрішній діаметр (28);

h - висота кільця (22)

Габаритна потужність вихідної системи повинна також змінюватись за синусоїдальним законом, тому розрахунок слід вести для амплітудного значення, близько 2кВт:

Розрахунок максимальної потужності трансформатора

Розрахунок мінімального числа витків первинної обмотки

де

- падіння напруги.

Розрахунок ефективного значення струму первинної обмотки

Розрахунок діаметра дроту у первинній обмотці

де I_1 - ефективне значення струму в первинній обмотці, А;

j - щільність струму, А / $мм^2$;

Знаходимо площу перерізу дроту:

Оскільки, при такому перерізі дроту буде спостерігатися "скін" ефект, раціонально взяти декілька провідників з меншим перерізом.

Первинна обмотка буде намотана багатожильним дротом який буде складатися з шести дротів перерізом 5,08, марки ПЕВ-1.

Струм вторинної обмотки:

де

- падіння на транзисторі;

- падіння на дроселі.

Розрахунок кількості витків вторинної обмотки:

Розрахунок діаметру дроту вторинної обмотки:

Переріз дроту вторинної обмотки:

Діапазон роботи ключа:

2.2.2 Порівняння габаритів трансформатора

Для порівняння габаритів високочастотного трансформатора з трансформатором типової схеми інвертора, що перемагнічується на частоті мережі, розрахуємо габарити мережевого трансформатора.

Розрахунок мережевого трансформатора.

Задаємося початковими параметрами:

Середня споживана потужність $P_{cp} = 1$ кВт, вхідна напруга живлення $U_{вх} = 24$ В з допустимим відхиленням $\pm 10\%$, вихідна напруга - $U_{вих} = 220$ В, з частотою мережі - $f = 50$ Гц і коефіцієнтом корисної дії -

Розрахунок мінімального та максимального значення вхідної напруги:

Розрахунок габаритної потужності трансформатора

де S_c - площа поперечного перерізу сердечника, $см^2$;

S_w - площа вікна сердечника, $см^2$;

f - частота коливань, Гц;

$K_{ст}$ - коефіцієнт сталі;

B_{max} - 1 Тл.

Вибираємо тип сердечника EI66-28. Задані габарити: a - 58 мм; b - 82 мм; c - 60 мм; h - 93 мм.

Рис.2.5 Креслення сердечника

Габаритна потужність вихідної системи повинна також змінюватись за синусоїдальним законом, тому розрахунок слід вести для амплітудного значення, близько 1 кВт:

Розрахунок максимальної потужності трансформатора

Розрахунок мінімального числа витків первинної обмотки

- падіння напруги.

Розрахунок ефективного значення струму первинної обмотки

Розрахунок діаметра дроту у первинній обмотці

де I_1 - ефективне значення струму в первинній обмотці, А;

Знаходимо площу перерізу дроту:

де 1,3 це усереднений коефіцієнт.

Струм вторинної обмотки:

де

- падіння на транзисторі;

- падіння на дроселі.

при

Розрахунок кількості витків вторинної обмотки:

Розрахунок діаметру дроту вторинної обмотки:

Переріз дроту вторинної обмотки: 10^3 $см^2$

На рис.2.6, зображено графік залежності площі вікна трансформатора від частоти.

Рис.2.6 Графік залежності площі вікна трансформатора від частоти

Аналізуючи графік, можна зробити висновок, що з ростом частоти габарити імпульсного трансформатора (синій графік) – габарити зменшуються. Тому доцільно використовувати ІТ, оскільки він займає меншу простору на платі, а також при частоті 1кГц зростає кількість імпульсів модульованого сигналу ШІМ, це дає змогу отримати на виході форму сигналу ближче до синусоїдальної, і це в свою чергу зменшить розміри вихідного фільтру. В свою чергу, мережевий трансформатор не зможе цього забезпечити.

2.2.3 Розрахунок транзисторів

Максимальне значення струмів на колекторі транзисторів VT1-VT4:
де $P_{\text{нав}}$ – потужність навантаження; $U_{\text{вх}}$ – амплітудна вхідна напруга.

Максимальна напруга на колектор-емітер VT1-VT4:

Максимальне значення струмів на колекторі транзисторів VT5-VT10:

де $P_{\text{нав}}$ – потужність навантаження; $U_{\text{вх}}$ – амплітудна вихідна напруга.

Максимальна напруга на к-е транзисторів VT5-VT10:

За розрахованими параметрами можна обрати Mosfet, який складається з однієї стійки транзисторів досліджуваного інвертора з вбудованими зворотніми діодами. Тому подальший розрахунок зворотніх діодів не потребується. При обранні реальних компонентів слід врахувати коефіцієнт запасу – $K_s=2$ [18-19].

Висновки до другого розділу

В другому розділі зображено загальну структурну схему інвертора, описані режими роботи схеми, та наведені основні переваги цього принципу: малі габарити виробу, простота конструювання, проста і ефективна система керування, широкий діапазон регулювання, максимальне ККД високочастотного трансформатора. Проведено розрахунки мережевого трансформатора та високочастотного трансформатора, який використано в дипломному проекті їх графічне порівняння. Також розраховано параметри схеми інвертора.

РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Опис системи керування

Метод синусоїдальної ШІМ (СШІМ) є найбільш поширеним методом, який ґрунтується на принципі порівняння трикутного сигналу з синусоїдальним згідно [3]. Перевагою однополярної СШІМ полягає в тому, що для її застосування потрібен лише невеликий фільтр для створення сигналу синусоїдальної форми та зменшення загального гармонічного спотворення (ЗГС).

Однофазний мостовий інвертор та його вихідна форма напруги показані на рис.3.1, та рис.3.2.

Рис.3.1 Однофазний мостовий інвертор

Рис.3.2 Форма вихідної напруги

Інвертор складається з чотирьох вентелів (VT1, VT2, VT3 і VT4), що дозволяють отримати більш ефективну роботу в областях високої потужності [1]. VT1, VT2, VT3 і VT4 можна розділити на дві групи – верхня пара (VT1, VT2) та нижня пара (VT3 і VT4). У кожній стійці може бути увімкнений

лише один транзистор, оскільки одночасне вимкнення обох транзисторів призведе до наскрізних струмів. Детальна робота інвертора описана у розділі 2. У табл. 3.1 описані всі дозволені стани перемикачів та нульова пауза (p_0), які схематично зображені на рис.3.3.

Таблиця 3.1

Стан комутації вентилів

Рис.3.3 Алгоритм перемикачів транзисторів

Модель системи керування зображена на рис.3.4, детальніший розгляд системи керування по блокам наведений у пункті 3.2.

Рис.3.4 Система керування

За своїми властивостями обрана однополярна СШІМ, оскільки вихідна напруга може приймати значення $+V_{DC}$ і 0 на позитивній напівхвилі та $-V_{DC}$ і 0 . Це обумовлено тим, що однополярна СШІМ використовує другий компаратор, який порівнює між оберненою формою опорної хвилі ($-V_{ref}$) з тією ж формою хвилі трикутника, як показано на рис.3.5 а) та б) [5].

Стан вимикачів у першій групі залежить від порівняння V_{ref} з V_{tri} , тоді як стан перемикається в іншій групі, залежить від порівняння $-V_{ref}$ з тією ж трикутною хвилею [17].

Рис.3.5, а) Компаратори двополярної СШІМ, б) Форма вихідної напруги (чорний), та струму (червоний) на виході системи

Вимикачі стану та відповідні рівні напруги підсумовуються наступним чином:

З рис.3.1 видно, що коли верхні перемикачі ($VT1$ і $VT3$) або нижні перемикачі ($VT2$ і $VT4$) увімкнено, вихідна напруга дорівнює нулю. Завдяки цьому вміст гармоніки форми сигналу вихідної напруги зменшується порівняно з біполярною комутацією. Ці переваги однополярної СШІМ спонукають його використовувати в цій роботі [16].

Ключі $S1$ та $S2$ представляють собою дав зустрічно ввімкнені транзистори з вбудованими діодами (рис.3.6) і мають спільні імпульси керування. Метою системи керування для даної групи транзисторів є правильне ввімкнення на заданих напівперіодах. Якщо на $S1$ надходить додатня напівхвиля з вихідної обмотки трансформатора – вихідний імпульс має додатню полярність, відповідно така ж сама полярність буде на $S2$. Коли за схемою керування надходить негативний напівперіод на $S1$ та $S2$ – полярність на виході набуватиме від'ємного значення.

Рис.3.6 Схемна реалізація ключів $S1$, $S2$ та $S3$

Розглядається детальна робота ключа $S3$. Для спрощення аналітичних викладок позначимо кожен елемент: транзистори – $VT1$, $VT2$, діоди – $D1$, $D2$, відповідно. Для забезпечення заданого режиму роботи, керуючі імпульси на бази транзисторів надходять незалежно. Розглядається варіант, коли надходить додатній імпульс прямокутної форми. По завершенню імпульсу по задньому фронту, стрімко зростає опір по виходу з трансформатора і фактично струм стрімко прямує до нуля, і як наслідок, струм на індуктивності не знаходить вільного контуру для протікання. Тому необхідно миттєво замикати ключ $S3$, як тільки зникає задній фронт.

Розглянемо реалізацію даної комутації на практиці. Формується додатній імпульс напруги, в такому випадку транзистор VT1 замкнений, VT2 – розімкнений. По суті, відбувається додаткове шунтування діода D1, щоби на ньому не спадала напруга, це в свою чергу зменшує втрати. За вказаний напівперіод формується нульовий діод, через який буде протікати струм додатньої полярності. Даний діод забезпечує «підхват» струму до моменту спадання заднього фронту керуючого імпульсу. Запропоновано схемотехнічна реалізація дозволяє завжди протікати струму в колі навантаження. Іншою мовою відбувається процес синхронного випрямлення: випадок, коли транзистор виконує функцію нульового діода [20].

Коли настає негативний період напруги, процеси відбуваються навпаки: VT1 – розімкнений, VT2 – замкнений. Верхній транзистор працює в імпульсному режимі. Нульовий діод цього транзистора забезпечує комутацію струму під час нульової паузи, для зменшення якої цей транзистор також вмикається з певною затримкою.

Виходячи з аналізу електричних властивостей досліджуваного інвертора, сформовані: еквівалентні схеми, таблиця станів інвертора, основні логічні елементи. Це дозволяє визначити структурну схему системи керування інвертором (рис.3.7).

Рис.3.7 Структурна схема системи керування

Згідно вищезазначеному алгоритму керування інвертором, є можливість зробити моделювання у програмному середовищі SIMULINK.

3.2 Розробка системи керування у програмному середовищі SIMULINK

Спочатку задаємо опорні генератори – прямокутної, трикутної та синусоїдальної форми. Вони реалізуються блоком Repeating Sequence (рис.3.8).

Рис.3.8 Блоки опорних генераторів

Параметри блоку прямокутного генератора задаються наступним масивом;

Відповідно, трикутного:

Часові параметри:

Вихідні параметри:

Генератор синусоїдального сигналу задається функцією:

Блок ABS реалізує перетворення синусоїдального сигналу по модулю для подальшого його застосування. Реалізується функцією:

У MATLAB це блок f_{cn} рис.3.9.

Рис.3.9 Блок перетворення синусоїдального сигналу по модулю

В якості цифрового компаратору використано блоки Subtract та Relay рис.3.10.

Рис.3.10 Блоки Subtract та Relay

Далі, отримані сигнали об'єднуються з сигналом прямокутної форми за допомогою блока AND. Результуючі сигнали надходять до групи 1 (VT1 – VT4) та до групи 2 (VT2 – VT3) через блок, який реалізує логічне НІ. Фізичний зміст операції логічне НІ полягає в тому, що відбувається зсув сигналу на 180 градусів.

Наступні елементи дозволяють керувати формою сигналів на ключах S1, S2 та S3. З виходу компаратора сигнал надходить до ключа S3 – це дозволяє ефективно керувати вихідною напругою. Для забезпечення правильного керування та зсуву по фазі, використовуємо блок реалізації логічного нуля для додатньої напівфази та логічної одиниці для від’ємної.

Група блоків, що зображена на рис.3.11, дає змогу керувати лінійними напругами на виході.

Рис.3.11 Блоки які керують лінійними напругами на виході

Отримана система керування дає змогу ефективно керувати імпульсами що надходять на транзистори та на елементи керування вихідним струмом та напругами.

Рис.3.13, зображує отримані форми сигналів вхідних величин: прямокутної, трикутної та синусоїдальної форми

Рис.3.13 Вхідні сигнали

Рис.3.14, зображує отримані сигнали на; а) VT1 – VT4, б) VT2 – VT3 та керуючі сигнали на, в) S1, г) S2, д) S3.

Рис.3.14 Імпульси керування

Згідно отриманих результатів вихідних параметрів, можна зробити висновок, що раніше розрахований малогабаритний LC – фільтр повністю виконує свої згладжувальні властивості. А форма вихідної напруги повністю задовольняє умови поставленої технічної задачі.

3.3 Розробка схеми електричної принципової

В якості підсумків до попередніх розділів є побудова схеми електричної принципової. Для створення схеми обрано програмове забезпечення SPlan 7.0. Умови дипломної роботи не потребують розробки джерела живлення. Тому, на практиці, буде застосовано лабораторний блок живлення з виходами +5 і +24В. Низьковольтна частина живить систему керування, +24В – інвертор.

Інвертор буде побудовано на IGBT транзисторах, з вбудованим зворотнім діодом, зі струмом на к-е, здатним витримувати до 100А, подібні модулі здатні витримувати напруги в десятки разів більші ніж потрібно. Це повністю задовольняє потреби.

Імпульсний трансформатор буде обрано, згідно представлених розрахунків у п.2.2.1. За аналогічним принципом буде застосовано LC-фільтр – розрахований раніше.

Щодо ключів S1, S2 та S3, їх параметри будуть уточнені у наступних роботах, оскільки вони потребують подальших досліджень та уточнень.

Система керування реалізована на мікроконтролері ATmega328p. До виводів TOSC 1 та 2 під’єднано кварцовий резонатор, який забезпечує стабільну роботу МК. Він, по суті, заміняє індуктивно-ємнісний коливальний контур. Конденсатори на 22пФ забезпечують частоту у 16МГц.

На виходи Q1A, Q1B – подаються імпульси керування на інвертор, Q2A, Q2B, Q1C – імпульси на ключі S1, S2 та S3.

Всі описані блоки об’єднано на рис.3.15.

Висновки до третього розділу

У третьому розділі описано метод синусоїдальної ШІМ, побудовано систему керування інвертором в програмному середовищі SIMULINK, яка описана по блокам у розділі, виведено форму вихідної напруги та струму, описано алгоритм роботи схеми, наведена схема реалізації ключів S1, S2 та S3. Виведено імпульси керування та доведено що згідно отриманим результатам раніше розрахований LC-фільтр повністю виконує свої згладжувальні властивості. А форма вихідної напруги повністю задовольняє умови поставленої технічної задачі. Також побудовано електрично принципову схему в програмному забезпеченні SPlan 7.0, та її опис.

Рис.3.15 Схема електрична принципова

ВИСНОВКИ

В першому розділі дипломного проекту наведено сфери використання однофазних інверторів такі як: живлення споживачів змінного струму в пристроях, де єдиним джерелом енергії є акумуляторна батарея; електротранспорт; електропривод з асинхронними і синхронними двигунами, де інвертор служить джерелом регулювання напруги і частоти; перетворювачі постійної напруги однієї величини в постійну напругу іншої величини; пристрої для отримання змінного струму, що виробляють енергію на постійному струмі; електротермія для отримання змінного струму підвищеної частоти. На прикладі мостового інвертора наведено приклад форми вихідної напруги інвертора. Розглядаються основні групи інверторів, які діляться на три великі групи: автономні інвертори напруги; інвертори струму; резонансні інвертори. Показано класифікацію інверторів, які розділяються за багатьма ознаками: за формою вихідної напруги; за наявністю або відсутністю трансформатора; тощо. Наведено основні три топології однофазних інверторів напруги: мостова схема; напівмостова схема; з середньою точкою трансформатора, розглянуто режими їх роботи, часові діаграми напруг та струмів, переваги та недоліки даних топологій. Зроблено аналіз формування сигналу вихідної напруги на прикладі мостового інвертора з мережевим трансформатором.

В другому розділі зображено загальну структурну схему інвертора, описані режими роботи схеми, та наведені основні переваги цього принципу: малі габарити виробу, простота конструювання, проста і ефективна система керування, широкий діапазон регулювання, максимальне ККД високочастотного трансформатора. Проведено розрахунки мережевого трансформатора та високочастотного трансформатора, який використано в дипломному проекті їх графічне порівняння. Також розраховано параметри схеми інвертора. Показано, що за умови забезпечення гальванічної розв'язки, навантаження і використання синусоїдальної ШІМ трансформатор перемагнічується на частоті мережі, що значно збільшує габарити інвертора. Тому доцільно використовувати модифіковані методи модуляції що дозволяють йому перемагнічуватись на проміжній підвищеній частоті в результаті чого габарити інвертора значно зменшуються.

У третьому розділі описано метод синусоїдальної ШІМ, побудовано систему керування інвертором в програмному середовищі SIMULINK, яка

описана по блокам у розділі, виведено форму вихідної напруги та струму, описано алгоритм роботи схеми, показано ефективність використання модифікованої топології інвертора та спеціальну методу модуляції ШІМ з інвертуванням полярності кожного другого імпульсу, що дозволяє перемагнічуватись трансформатору на підвищеній частоті, наведена схема реалізації ключів S1, S2 та S3. Виведено імпульси керування та доведено що згідно отриманим результатам раніше розрахований LC-фільтр повністю виконує свої згладжувальні властивості. А форма вихідної напруги повністю задовольняє умови поставленої технічної задачі. Також побудовано електрично принципову схему в програмному забезпеченні SPlan 7.0, та її опис.

SUMMARY

The diploma project of first educational level "Bachelor" by specialty 171 Electronics, specialization **Electronic** components and systems. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Systems. Academic group DS61. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. - 8 p., Ill.8.

A voltage inverter is a device of converting technology, which is characterized by the ability to convert a constant voltage to a variable of a given value. When designing inverters, attention should be paid to the following features: the ability to withstand large inrush currents, take into account deviations of the input voltage from the nominal one, and smooth regulation of the set frequency.

With ever-increasing electricity tariffs, there is a growing demand for alternative energy sources. The inverter is an important component of renewable energy systems. In combination with the elements of voltage stabilization, the inverter creates an alternating voltage of constant amplitude and frequency, which allows you to remove the load from the domestic power networks. Control of electric drives - the scope of use of the Converter. Unstable network voltage parameters adversely affect the operation of motors and disrupt technological processes. To obtain more uniform operation and voltage stabilization, converters are used. They are also used to synchronize the operation of a number of electric motors.

The economic factor cannot be ignored. The inverter saves energy and equipment usage, since when there is no need to get full output power, you can reduce the speed of the electric motor. It is estimated that the energy savings in this case reaches 50%. And given the high efficiency of the inverter (up to 95%) and its low cost, you can get a great benefit from its use.

In real circuits, the role of keys is played by semiconductor devices. The main applications of Autonomous inverters are as follows:

- 1) power supply to AC consumers (AIS, AIS) in devices where the only power source is a battery (for example, on-Board secondary power sources, as well as backup power to responsible consumers in case of possible disconnection of the AC network (telecommunications, computer technology);
- 2) electric transport (AIS, AIS), powered by a contact network or any DC source, where it is desirable to have simple, reliable and cheap short-circuited asynchronous motors as traction motors;

- 3) electric drive with asynchronous and synchronous motors (AIS, AIS), where the inverter serves as a source of voltage and frequency regulation;
- 4) converters of constant voltage of one value to constant voltage of another value (AIS, AIS, ARI);
- 5) devices for obtaining alternating current (AIS, AIS, ARI) of the required frequency from direct energy conversion sources (thermo-and photovoltaic generators, fuel cells, MHD generators) that generate DC energy;
- 6) electrothermia (AIS, ARI) for obtaining high-frequency alternating current (metal melting, heating and quenching of products).

In some cases, Autonomous inverters require not only direct transfer of energy from the power source to the load, but also reverse transfer of energy from the load to the power source, which, in particular, is necessary for the implementation of regenerative braking of asynchronous motors.

Sine is a beautiful sine wave of changing the polarity of the output voltage with a frequency of 50 Hz - the voltage changes smoothly from plus to minus. Sine output-provides excellent power quality parameters because all devices are designed to work with this form of voltage, especially pumps and washing machines with asynchronous motors, microwave ovens. A good sine is made by expensive inverters; expensive-because to obtain a sinusoidal AC voltage, it is necessary to additionally install a low-frequency filter and complicate the law of control of the inverter.

If the output of the inverter is not a sine, but the voltage changes in jumps; the shape of the voltage is rectangular (meander), or stepped, trapezoidal, then such an inverter is non - sinusoidal. If the voltage form is changed by steps that approach the sine, then such inverters are called pseudo-sine-distance, or quasi-sine-distance. Both of these inverters do not provide a "pure sine" at the output can be successfully used to power heating devices, as well as most lighting lamps. As you can see, the scope of application of cheaper non-sinusoidal inverters is limited.

The sinusoidal form of the voltage is provided by the use of special schemes that work on the principle of pulse-width modulation; and therefore, sinusoidal inverters, especially of high power, are twice as expensive as "normal" non-sinusoidal ones. However, their use is more than justified if you live from them expensive devices. In addition, the savings on the sine looks even more ghostly, if you consider that when feeding an asynchronous motor with a non - sinusoidal voltage, you must have a power reserve of 25-30 percent-this power is dissipated into heat, warms the engine, which will fail faster.

Fig.1 Inverter output voltage forms

Fig.3. illustrates the algorithm of the circuit, e) – the form of the output voltage, a, b – – the modulated PWM voltage and the switching algorithm VT1-VT4, c, d)-the modulated PWM voltage and the switching algorithm VT2-VT3.

To provide the necessary operating mode, the network transformer must have large dimensions, which in turn is one of the important disadvantages of the scheme. The amplitude of the modulated signal is set using PWM, which changes according to the sinusoidal law.

An LC-filter is installed at the output, which smoothes the voltage and makes it close to sinusoidal.

The cutoff frequency for this filter is considered to be less than 100 Hz, this will minimize voltage ripples along the output.

It is proposed to consider another principle of forming the output signal according to the scheme of a single-phase voltage inverter with galvanic isolation Fig.3, with a description of the operating modes, and with the elimination of the above-mentioned problem and the elimination of higher-order harmonic distortion. The inverter circuit is shown in fig.2.

Fig.2 Inverter circuit

Fig.3 Inverter diagram

Conclusions to the section: the section shows the scope of use of single-phase inverters, an example of the formation of a sinusoidal signal at the output of the inverter, describes the three main topologies of single-phase voltage inverters.

For fig.4 the General block diagram of the studied inverter is shown. A high-frequency transformer is used as a galvanic isolation.

Fig.4 General block diagram

Voltage from a source of 24 V is fed to the bridge inverter in which this voltage is converted into a sign with sinusoidal PWM modulation is fed to a high-frequency transformer, sent through a block of bidirectional keys, smoothed by an LC filter and sent to the load.

The electrical schematic diagram of the power part of the proposed inverter is shown in fig.5.

Fig.5 Circuit diagram

Mode of operation of the circuit: consider the time when VT1-VT4 are switched, they create a current in the primary winding of the transformer, the magnetic flux in the core creates an EMF at the terminals of the secondary winding, while the key VT5-VT6 is opened, in this case the current flows to the load.

When the VT1-VT4 transistor is closed, the coil energy is returned through the built-in diodes of the VT3-VT2 transistors.

At the time when VT2-VT3 are switched, they create the opposite voltage value in the primary winding of the transformer, the magnetic flux in the core creates an EMF at the terminals of the secondary winding, while the vt7-VT8 key opens and the current flows to the load.

Advantages of a single-phase inverter with galvanic isolation:

- wide adjustment range;
- the minimum dimensions of the transformer;
- at the output of the inverter, the generated voltage is as close as possible to the sinusoidal shape.

The sinusoidal PWM method is the most common method that is based on the principle of comparing a triangular signal with a sinusoidal signal according to. The advantage of unipolar SSIM is that it requires only a small filter to create a sinusoidal signal and reduce the total harmonic distortion (GH).

A single-phase bridge inverter and its output voltage form are shown in fig.6, and fig.7.

Fig.6 Single-phase bridge inverter

Fig.7 Output voltage form

The inverter consists of four valves (VT1, VT2, VT3 and VT4), which allow for more efficient operation in high power areas [1]. VT1, VT2, VT3 and VT4 can be divided into two groups – the upper pair (VT1, VT2) and the lower pair (VT3 and VT4). Only one transistor can be turned on in each rack, since switching off both transistors simultaneously will result in through currents. Describes all permitted key switching States and zero pause (p0), which are schematically shown in fig.8.

Fig.8 The algorithm of the key

The form of the output voltage fully meets the conditions of the technical task.

Схожість

Схожість із джерелами з Інтернету

37

1	https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/19823/1/Navch_posib.pdf	1.1%
2	http://um.co.ua/4/4-17/4-171325.html	0.92%
3	https://ukrbukva.net/page,4,113765-Intellektual-nye-silovye-moduli-Avtonomnye-inventory-toka.html	0.68%
6	http://eds.kpi.ua/wp-content/uploads/2020/06/Blank_Diplom_Bachalavr2020.docx	30 Джерело 0.46%
7	https://kaf-pe.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/12/16-%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82...	0.39%
8	https://ukrdoc.com.ua/text/42324/index-1.html?page=6	0.35%
9	http://uadoc.zavantag.com/text/26523/index-5.html?page=3	0.33%
13	http://afgp.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/05/Metod.-rekom.-do-napysannya-dyplomnyh-robot-OKR-spetsialist-Pravoznavstvo...	0.11%

Схожість по Бібліотеці акаунту

85

4	2020-bachelor-EDS_Zelinskyu_pokryttya_fch ID файлу: 1004030960 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" 76 Джерело	0.57%
5	2020-bachelor-EDS_Kyvyhlo_n-p_prystroyii_fch ID файлу: 1004030973 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" 4 Джерело	0.51%
10	Hrabovskyy_Kontroler parametriv tekhnolohichnoyi ridyny-fch ID файлу: 1000087219 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" ...	0.22%
11	Студентська робота ID файлу: 1000949782 Institution: National Aviation University	0.22%
12	gogu_checks ID файлу: 1000086160 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	0.16%
14	STEM180644-400511-1-SM (1) ID файлу: 1001204759 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" 2 Джерело	0.1%