



УКРАЇНА

(19) UA (11) 61026 (13) U
(51) МПК (2011.01)
H02M 3/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РЕЗОНАНСНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

1

2

(21) u201013510

(22) 15.11.2010

(24) 11.07.2011

(46) 11.07.2011, Бюл. № 13, 2011 р.

(72) ПАВЛОВ ГЕННАДІЙ ВІКТОРОВИЧ, ОБРУБОВ
АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ, ПОКРОВСЬКИЙ МИХАЙ-
ЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ, НІКІТИНА ОЛЕНА ВОЛО-
ДИМИРІВНА, ЩЕРБІНІН ТИМОФІЙ ВОЛОДИМИ-
РОВИЧ(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕ-
БУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА(57) Система управління резонансним перетворю-
вачем постійної напруги, яка містить мікроконтро-

лер з підключеними послідовно до його портів аналоговими масштабуючими підсилювачами сигналів від датчиків, стартовим однобратором та двома ТТ-тригерами для генерації сигналів синхронізації драйверів силових ключів моста інвертора, яка **відрізняється** тим, що до масштабуючих підсилювачів послідовно підключено аналого-цифрові перетворювачі, виходи яких підключено до вхідних портів програмованої логічної інтегральної схеми, вихідні порти якої підключено до керуючих виводів драйверів силових ключів перетворювача.

Корисна модель належить до перетворювальної техніки в галузі електрообладнання, зокрема до систем управління резонансними перетворювачами постійної напруги, та може бути застосована для регулювання вихідних параметрів резонансних перетворювачів у різноманітних перетворювальних системах.

Відомо про систему управління резонансним перетворювачем (РП), яка реалізує релейний принцип регулювання [Патент на корисну модель UA №45315 H02M3/22, бюл. №21, 10.11.2009]. Описана система містить мікроконтролер, пристрій синхронізації управління з переходом резонансного струму через нуль та піковий детектор для відслідковування перевищень резонансним струмом припустимої амплітуди. Дана система, однак, не передбачає можливості поліпшення її динамічних характеристик за допомогою регулятора.

Найбільш близькою до запропонованого технічного рішення є система управління послідовно-резонансним перетворювачем на базі мікроконтролера ATmega 16 фірми Atmel [Покровский М.В. Система управления последовательно-резонансным преобразователем с интегральным регулированием выходного напряжения / Е.В. Никитина, Д.Б.Исаков, Лю Цзи // Электротехника і електромеханіка: Матеріали НТК студ., асп., мол. вчених з міжнар.уч. - 2005. - С. 177-181.]. Описана система містить мікроконтролер з підключеними послідовно до його портів аналоговими масшта-

буючими підсилювачами сигналів від датчиків, стартовим однобратором та двома ТТ-тригерами для генерації сигналів синхронізації драйверів силових ключів моста інвертора. В даній системі реалізований принцип визначення кількості півперіодів резонансних коливань у періоді перетворення та тривалості прямої фази перетворення F_r в залежності від величини похибки системи. Однак реалізація такої системи на базі мікроконтролера суттєво обмежує можливу частоту комутації силових ключів перетворювача. Введення складних алгоритмів формування величин кількості півперіодів коливань та тривалості фази F_r за такої реалізації відповідно зменшує швидкість формування керуючих імпульсів для силових ключів перетворювача.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення системи управління резонансним перетворювачем (РП) постійної напруги, в якій шляхом реалізації блоків формування величин кількості півперіодів резонансних коливань у періоді перетворення, тривалості прямої фази перетворення F_r та сполучення із силовою частиною РП на базі програмованої логічної інтегральної схеми (ПЛІС) забезпечується можливість комутації силових ключів перетворювача із частотою 1-2 МГц, що дозволяє зменшити габарити пристрою приблизно на 20 %.

Поставлена задача вирішується тим, що у системі управління резонансним перетворювачем

(13) U
(11) 61026
(19) UA

постійної напруги, яка містить мікроконтролер з підключеними послідовно до його портів аналоговими масштабуючими підсилювачами сигналів від датчиків, стартовим однофазним генератором та двома ТТ-тригерами для генерації сигналів синхронізації драйверів силових ключів моста інвертора, згідно з пропозицією, до масштабуючих підсилювачів послідовно підключено аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), виходи яких підключено до вхідних портів програмованої логічної інтегральної схеми (ПЛИС), вихідні порти якої підключено до керуючих виводів драйверів силових ключів перетворювача.

При даній конфігурації системи управління на ПЛИС покладаються функції мікроконтролера та ТТ-тригерів, також в ній додатково реалізуються блоки формування величин кількості півперіодів резонансних коливань у періоді перетворення та тривалості прямої фази перетворення F_r . Запропоноване технічне рішення дозволяє об'єднати в одній інтегральній мікросхемі обчислювальну та керуючу частини системи управління, за виключенням масштабуючих підсилювачів, АЦП та стартового однофазного генератора, що зменшує керуючу схему. Висока тактова частота ПЛИС (до 300 МГц) та можливість паралельної роботи обчислюючих та керуючих блоків дає можливість здійснювати керування силовими ключами із максимально можливою для них частотою (пор. 1 МГц).

На фіг. 1 подано блок-схему перетворювальної системи на основі послідовно-резонансного перетворювача (ПРП) постійної напруги із системою управління на основі ПЛИС, на фіг. 2 - блок-схема, що ілюструє принцип роботи ПЛИС, на фіг. 3 - осцилограми резонансного струму та керуючої напруги для тринадцяти застосувань першого

елементарного алгоритму комутації (τ_{Fr}) за період перетворення (режим неперервних струмів), на фіг. 4 - осцилограми резонансного струму та керуючої напруги для дев'яти застосувань першого

елементарного алгоритму комутації (τ_{Fr}) за період перетворення (режим уривчастих струмів).

ПРП із релейним способом регулювання вихідних параметрів (фіг. 1) може бути поданий як сукупність силової частини (СЧ) 1 та системи управління (СУ) 2. Силова частина ПРП містить джерело ЕРС 3, підключене до керованого транзисторного моста інвертора 4, резонансного контуру, сформованого послідовним з'єднанням резонансної індуктивності 5 та резонансної ємності 6 з включеним послідовно датчиком струму (ДС) 7, підключеного послідовно до транзисторного моста 4 та діодного моста випрямляча 8, фільтруючої ємності 9 та навантаження 10, з'єднаних паралельно, датчика напруги на навантаженні (ДН) 11.

СУ 2 містить АЦП із масштабуючими подільниками напруги 12 та 13, включені послідовно між ПЛИС 14 та датчиками напруги 11 і струму 7 відповідно, детектор переходу резонансного струму через нуль (НД) 15, включений послідовно між ПЛИС 14 та датчиком струму 7.

Для експериментального пристрою вибрано ПЛИС XC2s15 сімейства SpartanIII фірми Xilinx, АЦП ADS1610 фірми Texas Instruments, НД виконаний на компараторі LM 361 фірми National Semiconductor, в мостах застосовані силові IGBT-транзистори типу IRG4BC30UD фірми International Rectifier із зворотними діодами та драйверами в інтегральному виконанні, силові діоди КД29981 (Росія), резонансна ємність набрана з силових конденсаторів КВИ-3 (ООО "ЗВЭК "Прогресс"), резонансна індуктивність виконана власноруч за розрахунками та діаграмами матеріалів, поданими в [Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование.: Пер. с англ. - К.: "МК-Пресс", 2007 - 288 с., ил.]

Під час роботи перетворювача в СЧ 1 постійну напругу, яка подається від джерела 3, інвертують на транзисторному мості 4 із підключеним резонансним контуром, утвореним послідовним з'єднанням резонансної індуктивності 5 та резонансної ємності 6. Потім випрямляють на діодному мості 8 та згладжують на фільтруючій ємності 9. Згладжену напругу подають на навантаження 10. В СУ 2 аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 12 перетворює аналоговий сигнал значення реальної напруги на навантаженні, який знімається з датчика 11, на знакове 8-бітне двійкове число, яке подається на ПЛИС 14. Аналогічне перетворення для значення резонансного струму, яке знімається з датчика 7, виконує АЦП 13. НД 15 виробляє імпульсний сигнал, який визначає моменти переходу резонансного струму через нуль. Логічні вентиля ПЛИС сконфігуровані у блоки, показані на фіг. 2. Блок визначення кількості півперіодів резонансних коливань у фазі F_r 16 приймає від АЦП 12 двійкове число, що визначає поточне значення напруги на навантаженні, та за принципом цифрового ПІД-регулятора обчислює кількість півхвиль прямої фази τ_{Fr} , виходячи з максимальної кількості півхвиль у періоді перетворення n , сформованої блоком 17 за аналогічним принципом на основі амплітудних значень резонансного струму, отриманих від АЦП 13. Лічильник 18 рахує імпульси переходу резонансного струму через нуль, що надходять від НД 15. На виходах лічильника відповідно до поточної кількості відрхованих імпульсів N встановлюються наступні значення:

Умова	До I півмосту	До II півмосту
$N < \tau_{Fr}$	0 (1), інверсія виходу за кожним наступним імпульсом	1 (0), інверсія виходу за кожним наступним імпульсом
$\tau_{Fr} < N < n$	0	0

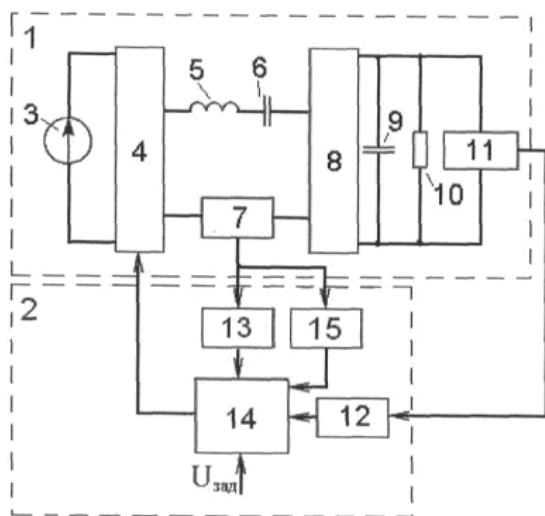
При $N = n$ відбувається обнуління лічильника. Експериментальний зразок системи керування, побудований із використанням тестової плати

Spartan III Starter Kit із ПЛИС XC2s15 сімейства Spartan III фірми Xilinx та головним тактовим генератором із частотою 50 МГц, дозволив виконувати

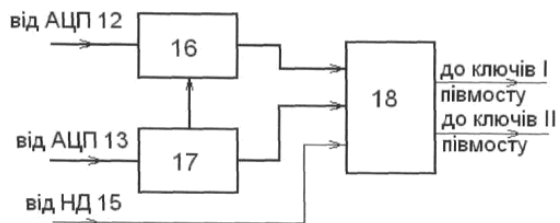
комутацію ключів з частотою до 500 кГц. Для підвищення частоти комутації необхідно використовувати головний тактовий генератор ПЛІС із частотою 100 МГц. На фіг. 3 та фіг. 4 подано експериментальні осцилограми, отримані при наступних параметрах: часова шкала - 6 мкс/поділ., резонансний струм - 5 А/поділ., керуюча напруга - 2,5 В/поділ., загальна кількість півперіодів резонансних коливань за період перетворення - $n=18$. Можливість багатократного реконфігурування ПЛІС XC2s15 дає можливості для вдосконалення

алгоритму роботи блоків формування величин кількості півперіодів резонансних коливань у періоді перетворення та тривалості прямої фази перетворення F_r , реалізації додаткових функцій керування та режимів перетворення.

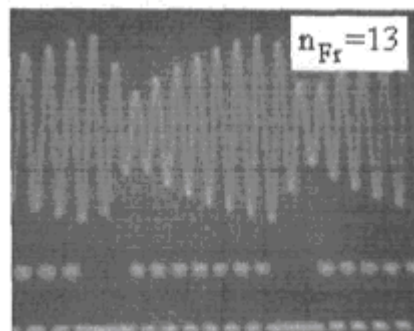
Таким чином, застосування ПЛІС у системі регулювання вихідних параметрів РП постійної напруги, реалізованої на базі мікроконтролера, дозволяє здійснювати комутації силових ключів перетворювача із частотою 1-2 МГц, що дозволяє зменшити габарити пристрою приблизно на 20 %.



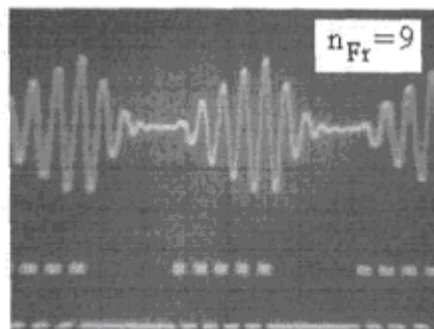
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4