

УДК 621.311.442.4

**НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ІНВЕРТОР ПОТУЖНІСТЮ
2 кВт з поліпшеною електромагнітною сумісністю****Швайченко В. Б., Дикий Д. В.**

Київський національний університет технологій та дизайну

Мета. Поліпшення електромагнітної сумісності за допомогою фільтруючих елементів.

Методика. Розкрито структуру пристрою для зварювання, яка являє собою напівпровідниковий інвертор великої потужності, аналіз роботи інвертора.

Результати. Наведено принцип дії зварювального інвертора, що схожий з імпульсними блоками живлення. Наведені часові характеристики та спектральний аналіз результату моделювання напівпровідникового зварювального інвертора потужністю 2 кВт.

Наукова новизна. У якості транзисторів застосовано сучасні Insulated-gate bipolar transistor, та завдяки новим фільтруючим елементам буде досягнуто повне виключення можливості потрапляння перешкод високих частот у електричну мережу.

Практична значимість. Покращення електромагнітної сумісності, поліпшить характеристики електрозварювального обладнання, та забезпечить нормальну роботу спільно працюючих технічних засобів.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, інвертор, напівпровідник, потужність, спектральний аналіз, транзистор, фільтр, часові характеристики

У середині 1980-х років провідні виробники зварювального обладнання освоїли новий тип цього обладнання – інверторні джерела зварювального струму (далі ІДЗТ), використовували частоти перетворення 20...50 кГц, з силовими транзисторами в якості ключових елементів. З цього моменту і по сьогоднішній день відбувається активне витіснення традиційних джерел зварювального струму на основі трансформаторів промислової частоти 50/60 Гц новим типом зварювального обладнання – ІДЗТ.

Єдиним важливим фактором, що сповільнює цей процес, є більш висока вартість ІДЗТ порівняно з традиційним зварювальним обладнанням, але прогрес силової напівпровідникової елементної бази поступово знижує цей ціновий бар'єр. В результаті ІДЗТ в даний час займають все більшу частку ринку не тільки професійного зварювального устаткування, але і пристроїв побутового призначення. Більш висока енергетична ефективність, прекрасні масогабаритні параметри і функціональність, недсяжні в традиційному, «низькочастотному» зварювальному обладнанні, забезпечують ІДЗТ як технічну так і комерційну перевагу.

Перед розробниками виникає природне питання про вибір оптимальної топології (схемотехніки) силової частини ІДЗТ. Саме силова частина потужного ключового перетворювача, який є основою будь-якого ІДЗТ, і його конструктивна реалізація визначають такі параметри, як надійність, масогабаритні та енергетичні показники, масштабованість модельного ряду і його технологічність.

На сьогодні, основним завданням сучасного напівпровідникового зварювального інвертора є зниження коливальних процесів на виході з трансформатора. Струми заряду-розряду конденсатора, що виникають внаслідок високочастотної комутації силових транзисторів, викликають на виводах конденсатора напругу симетричних (диференціальних) кондуктивних завад. Рівень завад може бути порядку одиниць вольт, в залежності від частоти перетворення та типу вибраного конденсатора. Реальний провідник, що має кінцеву довжину, характеризується наявністю розподіленої паразитної індуктивності. Дана індуктивність робить істотний вплив на роботу силових IGBT/MOSFET-транзисторів.

Також природним питанням, які виникають при розгляді особливостей роботи високочастотного трансформатора, є створюване їм потужне високочастотне електромагнітне поле. Оскільки в схемі управління - ІСА присутні швидкодіючі логічні елементи з низькими порогоми спрацьовування, перебування в безпосередній близькості трансформатора зі струмом, що протікає по ньому в сотні ампер може призводити до наведення поля на систему управління і до хибного спрацьовувань логічних елементів.

Постановка завдання

Провести моделювання напівпровідникового зварювального інвертора потужністю 2 кВт з поліпшеною електромагнітною сумісністю. Розкрити конструкцію пристрою для зварювання. Навести принцип його дії та часові характеристики і спектральний аналіз результату моделювання напівпровідникового зварювального інвертора потужністю 2 кВт з поліпшеною електромагнітною сумісністю.

Результати досліджень

Вирішенню теоретичних і прикладних питань стосовно розробок напівпровідникових зварювальних інверторів присвячені роботи відомих вчених і практиків. У країнах СНД, зокрема в Росії та Україні, широко відомі монографії, інші праці таких фахівців в області напівпровідникових зварювальних інверторів, як

І. В. Жежеленко, А. К. Шидловський, Г. Г. Півняк [1], Т. Р. Храмшін, І. Р. Абдулвелеєв, Г. П. Корнілов [2] та ін.

Володін В. Я. [3] пропонує необхідні відомості по ручній і напівавтоматичній зварці, а також, в порядку ускладнення, наводить опис різних зварювальних джерел, придатних для повторення. Видання супроводжується необхідними методиками розрахунку, схемами і кресленнями. Значну увагу приділено комп'ютерному моделюванню.

Інверторні перетворювачі напруги на потужності від одиниць ват до десятків кіловат давно і успішно застосовують при побудові джерел живлення різного призначення [4]. Особливістю цього класу перетворювачів є робота на статичне навантаження [5]. В останнє десятиліття минулого століття інверторні перетворювачі стали застосовуватися при побудові електрозварювальних апаратів, де навантаженням є зварювальна дуга. Якщо перші моделі таких інверторів виконувалися на тиристорах, то зараз у якості комутуючих активних елементів застосовуються виключно силові МДН транзистори [6]. Абсолютна більшість зварювальних інверторів призначена для здійснення зварювання на постійному струмі [7].

Однак не зважаючи на масштабність наукових розробок у зазначеній сфері питання побудови напівпровідникового зварювального інвертора з поліпшеною електромагнітною сумісністю залишається не вирішеним і потребує подальших досліджень.

Конструкція для зварювання являє собою напівпровідниковий інвертор великої потужності. Принцип його дії схожий з імпульсними блоками живлення, до яких можна віднести, наприклад, блоки живлення комп'ютерів АТ та АТХ [8]. Подібності полягають у способі перетворення енергії.

Енергія в пристрої для зварювання перетворюється наступним чином:

- випрямляється змінна напруга електричної мережі 220 В;
- перетворюється безперервна напруга в змінну з високою частотою;
- знижується напруга з високою частотою;
- випрямляється знижена напруга.

Раніше головним компонентом зварювального інвертора використовували силовий трансформатор великої потужності. Він знижує рівень напруги електричної мережі, в результаті чого можна отримати від вторинної обмотки великі струми (10-100 А), які

знадобляться для зварювання. Якщо виконати зниження напруги на вторинній обмотці трансформаторної конструкції, то буде можливість у багато разів збільшити струм, який зможе віддати навантаження вторинній обмотці [9]. В результаті буде зменшено кількість витків вторинної обмотки, а діаметр провідника для обмотки збільшиться.

Трансформаторні конструкції забезпечують велику потужність. Вони працюють на частоті 50 Гц, мають великі габарити і вагу.

Для усунення такого недоліку розробляються інверторні пристрої для зварювання. В даних пристроях робочий діапазон збільшується до 65-80 кГц, у результаті чого розміри та загальна вага конструкції зменшені. Робоча частота перетворення збільшена в 4 рази, що знижує габарити приблизно в 2 рази. У результаті скорочуються витрати міді та інших матеріалів на спорудження пристосування.

Частота струму електричної мережі 50 Гц, тому може виникнути проблема з робочою частотою пристрою 65-80 кГц. Для цього використовується схема зварювального інвертора, у складі якої є транзистори великої потужності. Подібні пристосування можуть переключатися з частотою 65-80 кГц. Щоб транзисторні вироби могли працювати, треба подавати на них безперервну напругу, яку можна отримати від випрямного засобу.

Здійснимо моделювання схеми напівпровідникового зварювального інвертора потужністю 2 кВт з покращеною електромагнітною сумісністю за допомогою програмного додатку MATLAB SIMULINK. У якості транзисторів застосовано сучасні IGBT (Insulated-gate bipolar transistor).

Напруга електричної мережі буде випрямлятися мостом великої потужності і згладжуватися конденсаторними виробами для фільтрації [10]. У результаті на виході випрямляча виробу і фільтра вийде безперервна напруга понад 220 В. Це початковий етап перетворення.

Дана інтенсивність і буде використовуватися в якості джерела живлення для інверторної схеми. Транзисторні вироби інвертора великої потужності підключаються до трансформаторної конструкції для зниження. Транзисторні вироби переключуються з великою частотою у 65-80 кГц, у зв'язку з чим трансформаторна конструкція теж буде працювати на цій частоті. Для роботи на великих частотах потрібні менші

трансформаторні пристрої. Тому трансформатор буде стиснутий до невеликих розмірів, при цьому його потужність залишається незмінною.

Потрібно зауважити, що на конденсаторних елементах фільтра Напряга буде практично в 1,5 рази більше, ніж на виході моста. Отже, якщо після подібного мосту виходить напруга 220 В з пульсаціями, то на конденсаторних елементах вийде вже 310 В сталої напруги. У більшості випадків робочу напругу обмежують відміткою в 250 В, так як напруга в мережі в деяких випадках завищена.

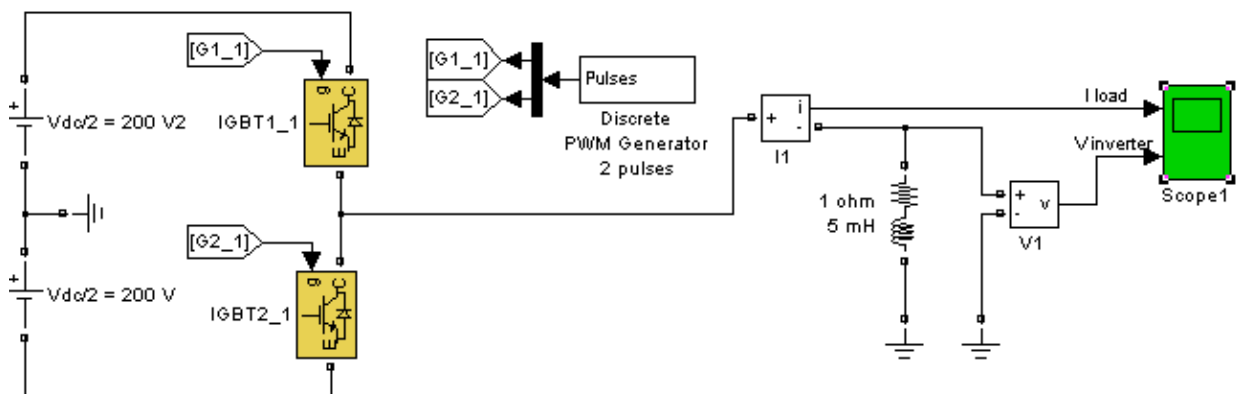


Рис. 1. Схема напівмостового зварювального інвертора з двома IGBT транзисторами

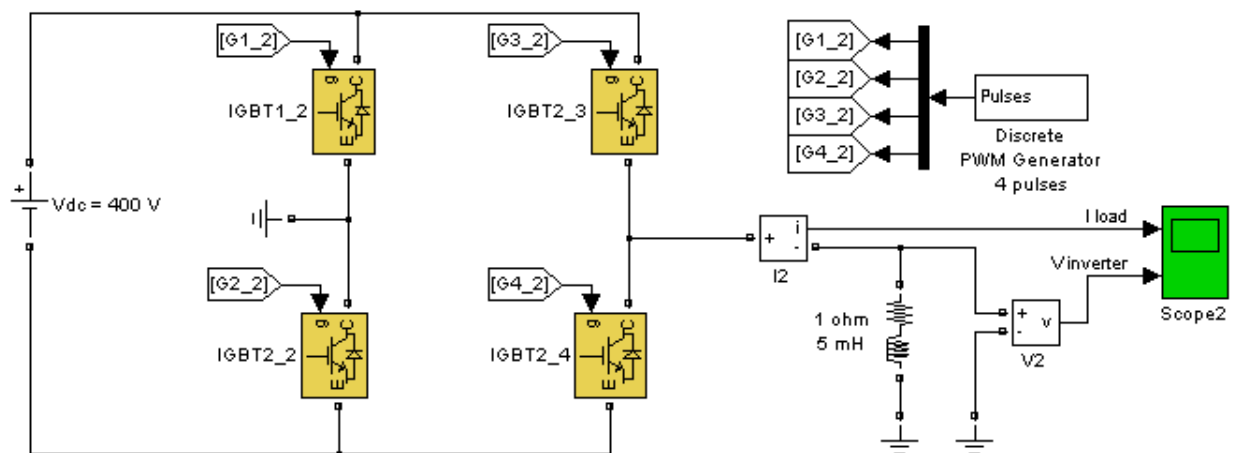


Рис. 2. Схема мостового зварювального інвертора з чотирма IGBT транзисторами

Після мосту встановлюються кілька електrolітичних конденсаторних елементів, ємність кожного з яких становить 680 мкФ, а робоча напруга – 400 В. Ємність

конденсаторних пристроїв буде залежати від потужності пристрою. Стала напруга з випрямного засобу буде подаватися на пристрій.

Щоб завади високих частот, які будуть виникати під час функціонування інвертора для зварювання, не змогли потрапити в електричну мережу, перед випрямлячем знадобиться встановити протизавадний фільтр для забезпечення електромагнітної сумісності.

Результати моделювання наведено на рис. 3.

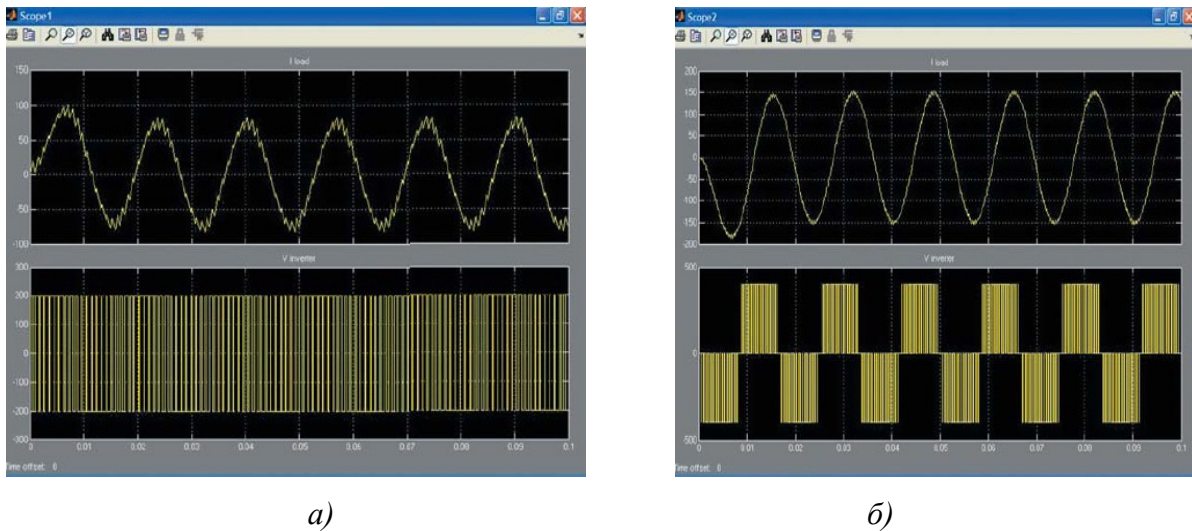
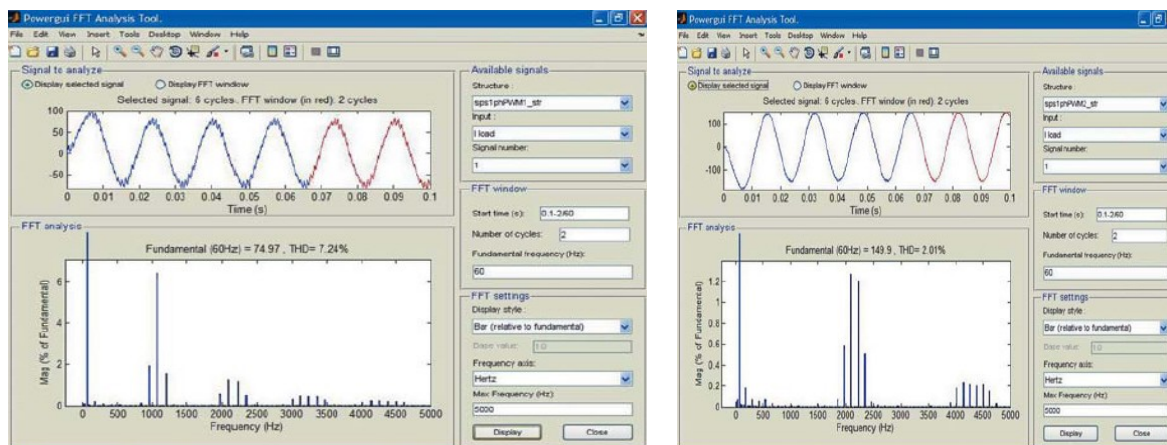


Рис. 3. Графіки перехідних процесів для напівпровідникового зварного інвертора: а) схема рис. 1; б) схема рис. 2

Застосування мостового зварювального інвертора з чотирма IGBT транзисторами дозволяє істотно поліпшити форму вихідного струму. На рис. 3. показано часові діаграми процесів для однофазного інвертора на чотирьох IGBT та на двох IGBT. Скріншоти моделювання дозволяють зробити висновок, що синусоїдний струм навантаження, містить куди менші високочастотні пульсації в схемі з чотирма IGBT, ніж струм в схемі зі зварним інвертором на двох IGBT.

Дане твердження підтверджує і спектральний аналіз вихідного струму, представлений на рис. 4. Варто наголосити, що в цьому випадку коефіцієнт гармонік зменшився до 2,01%, тобто він приблизно в 3,5 рази менше, ніж у схеми однофазного зварного інвертора.



а)

б)

Рис. 4. Спектральний аналіз вихідної напруги за допомогою GUI-інструменту для зварного інвертора: а) на двох IGBT; б) на основі чотирьох IGBT

Висновки

Розроблена математична модель напівпровідникового зварювального інвертора потужністю 2 кВт з поліпшеною електромагнітною сумісністю у якості транзисторів, в якому, застосовано сучасні IGBT дозволяє досліджувати електромагнітні процеси у комплексі. Результати моделювання не суперечать теорії машино-вентильних комплексів.

Запропоновано комплексне рішення для виключення можливості потрапляння перешкод високих частот у електричну мережу. Результати математичного моделювання підтвердили ефективність запропонованого рішення.

Перспективи подальших розробок у даному напрямку спираються на застосуванні протизавадних фільтрів.

Список використаних джерел

1. Электромагнитная совместимость потребителей: И. В. Жежеленко, А. К. Шидловский, Г. Г. Пивняк и др. – М. : Машиностроение, 2012. – 351 с.
2. Храмшин Т. Р. Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электротехнических комплексов / Т. Р. Храмшин, И. Р. Абдулвелеев, Г. П. Корнилов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 82-93.
3. Володин В. Я. Создаем современные сварочные аппараты / В. Я. Володин. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 352 с.

4. Popa G. N., Popa I., Deaconu S. I. Coated electrode manual-metal arc welding with high frequency welding inverter power sources / 6-th Int. conf. on electromechanical and power systems. – Chisinau. (Moldova) – 2007. – P. 279-284
5. Петров С. Схемотехника промышленных сварочных инверторов / С. Петров // Современная электроника, № 8. – 2007. – С 42-46.
6. Электротехнология: учебное пособие для бакалавров направления «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электропривод и автоматика») 13.03.02 / сост. : В. И. Доманов, А. В. Мишин. – Ульяновск : УлГТУ, 2015. – 145 с.
7. Мишин А. В. Исследование электротехнических инверторов тока // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу: ФГБОУВПО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева». – Саранск, 2014. – С. 318-322.
8. Мишин А. В. Универсальные инверторные источники тока / А. В. Мишин, Н. В. Мишин // Материалы 17 Всеукраинской студенческой научно-технической конференции. – Севастополь, 2012. – С. 84-85.
9. Доманов В. И. Управление энергоэффективным автономным инвертором тока // Труды VII Международной (XVII Всероссийской) научно-технической конференции по автоматизированному электроприводу: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – С. 341-345.
10. Борисов Д. Переходные процессы в сварочных инверторах / Д. Борисов, В. Бардин // Современная электроника. – 2010. – № 2. – С. 52-53.

References

1. Elektromahnytnaia sovmestymost potrebytelei: Y. V. Zhezhelenko, A. K. Shydlovskiy, N. H. Pyvniak y dr. – M. : Mashynostroenye, 2012. – 351 s.
2. Khramshyn T. R. Obespechenye elektromahnytnoi sovmestymosti moshchnykh elektrotekhnicheskyykh kompleksov / T. R. Khramshyn, Y. R. Abdulvelev, N. P. Korniylov // Vestnyk YuUrHU. Seryia «Enerhetyka». – 2015. – T. 15, № 1. – S. 82-93.
3. Volodyn V. Ya. Sozdaem sovremennyye svarochnyye apparaty / V. Ya. Volodyn. – M. : DMK Press, 2011. – 352 s.

4. Popa G. N., Popa I., Deaconu S. I. Coated electrode manual-metal arc welding with high frequency welding inverter power sources / 6-th Int. conf. on electromechanical and power systems. – Chisinau. (Moldova) – 2007. – P. 279-284
5. Petrov S. Skhemotekhnika promyshlennykh svarochnykh ynvertorov / S. Petrov // Sovremennaiia elektronika, № 8. – 2007. – S 42-46.
6. Elektrotekhnolohiya: uchebnoe posobyе dlia bakalavrov napravleniia «Elektroenerhetyka y elektrotekhnika» (profyl «Elektropryvod y avtomatyka») 13.03.02 / sost. : V. Y. Domanov, A. V. Myshyn. – Ulianovsk : UIHTU, 2015. – 145 s.
7. Myshyn A. V. Yssledovanye elektrotekhnicheskyykh ynvertorov toka // Trudy VIII Mezhdunarodnoi (XIX Vserossyiskoi) konferentsyy po avtomatyzyrovannomu elektropriyvodu: FHBOUVPO «Natsyonalnyi yssledovatel'skiy Mordovskiyi hosudarstvennyi unyversytet ymeny N. P. Ohareva». – Saransk, 2014. – S. 318-322.
8. Myshyn A. V. Unyversalnye ynvertornye ystochnyky toka / A. V. Myshyn, N. V. Myshyn // Materyaly 17 Vseukraynskoii studencheskoii nauchno-tekhnicheskoi konferentsyy. – Sevastopol, 2012. – S. 84-85.
9. Domanov V. Y. Upravlenye enerhoeffektivnym avtonomnym ynvertorom toka // Trudy VII Mezhdunarodnoi (XVII Vserossyiskoi) nauchno-tekhnicheskoi konferentsyy po avtomatyzyrovannomu elektropriyvodu: FHBOUVPO «Yvanovskiyi hosudarstvennyi enerhetycheskiy unyversytet ymeny V.Y. Lenyna». – Yvanovo, 2012. – S. 341-345.
10. Borysov D. Perekhodnye protsessy v svarochnykh ynvertorakh / D. Borysov, V. Bardyn // Sovremennaiia elektronika. – 2010. – № 2. – S. 52-53.

Полупроводниковый сварочный инвертор мощностью 2 кВт с улучшенной электромагнитной совместимостью

Швайченко В. Б., Дикий Д. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Улучшение электромагнитной совместимости с помощью фильтрующих элементов.

Методика. Раскрыта структура устройства для сварки, которая представляет собой полупроводниковый инвертор большой мощности, анализ работы инвертора.

Результаты. Приведен принцип действия сварочного инвертора, похожий с импульсными блоками питания. Приведены временные характеристики и спектральный анализ результата моделирования полупроводникового сварочного инвертора мощностью 2 кВт.

Научная новизна. В качестве транзисторов применены современные Insulated-gate bipolar transistor, и благодаря новым фильтрующим элементам будет достигнуто полное исключение возможности попадания помех высоких частот в электрическую сеть.

Практическая значимость. Улучшение электромагнитной совместимости, улучшит характеристики электросварочного оборудования, и обеспечит нормальную работу совместно работающих технических средств.

Ключевые слова: временные характеристики, инвертор, мощность, полупроводник, спектральный анализ, транзистор, фильтр, электромагнитная совместимость, спектральный анализ

Semiconductor welding inverter power 2 KW with improved electromagnetic compatibility

Shvaichenko V. B., Dykyi D. V.

Kyiv national technologies and design university

Purpose. Improving EMC by means of filter elements.

Methodology. The structure of the device for welding, which is a semiconductor inverter high power analysis of inverter.

Finding. An operating principle of a welding inverter, which is similar to the switching power supply. These temporal characteristics and spectral analysis of simulation results of semiconductor inverter welding power 2 kW.

Originality. As transistors used today Insulated-gate bipolar transistor, and with the new filter element is reached complete exclusion of ingress noise in the high frequency electrical network.

Practical value. Improving EMC characteristics improve welding equipment, and ensure the normal operation of co-workers of means.

Keywords: bridge, EMC filter, inverter, power, semiconductor, spectral analysis, transistor, timing