

International Electrotechnical Magazine

ЕЛЕКТРИК

Міжнародний Електротехнічний Журнал



Серії HEP

100-1000 Вт

Безвентиляторні блоки живлення
для суворих умов експлуатації

- Безвентиляторне виконання і повністю герметичний корпус
- Висока ефективність
- Широкий діапазон робочих температур
- Витримують вібрації до 10G
- Модель з вихідною напругою 100 В (серія HEP-1000)
- 6 років гарантії

Компанія SEA — авторизований дистриб'ютор MEAN WELL на території України



SEA

ІННОВАЦІЇ ТА
ЕФЕКТИВНІСТЬ



Україна, 02094, м. Київ, вул. Краківська, 13-Б
тел./факс: +38 044 330-00-88
info@sea.com.ua, www.sea.com.ua

XXI МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ-2023

МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ

МЕТАЛОБРОБКА УКРЗВАРЮВАННЯ ГІДРАВЛІКА ПНЕВМАТИКА ПІДШИПНИКИ УКРВТОРТЕХ УКРИТВО АВТОМАТИЗАЦІЯ І РОБОТОТЕХНІКА ЗРАЗКИ, СТАНДАРТИ ЕТАЛОНИ, ПРИЛАДИ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ СКЛАДСЬКЕ ОБЛАДНАННЯ БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА



ufi
Approved
Event

30 – 01

ТРАВНЯ ЧЕРВНЯ

Генеральний
інформаційний партнер:



МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР

м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»

+38 (095) 268-05-87, (84)

is@iec-expo.com.ua,

helen@iec-expo.com.ua

www.iec-expo.com.ua

plast
EXPO UA

XIV Міжнародна спеціалізована виставка
технологій та обладнання для переробки
полімерів



30 травня | 2023
1 червня

Генеральний інформаційний партнер: УкрІнформ

МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»

+38 (066) 921-47-51
plast@iec-expo.com.ua,
1212@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua



International Electrotechnical Magazine

ЕЛЕКТРИК

Міжнародний Електротехнічний Журнал

Науково-популярний журнал
Видається з січня 2000 г.
№ 5/2023 (242) травень
Періодичність – 10 разів на рік
Зареєстрований Державною реєстраційною
службою України
Серія КВ № 02.12.2011г.
Зареєстрований Федеральною службою
з нагляду у сфері зв'язку, інформаційних технологій
та масових комунікацій
св-во РП №258 от 24.04.2012 г.

Засновник
ДП «Видавництво Радіоаматор»
Київ, «Радіоаматор»

Головний редактор
electrik_@ukr.net
electrik@sea.com.ua

Редакційна колегія:
А.Ю. Саулов (голова)
А.Н. Кравченко, д.т.н., професор
Н.П. Власюк
А.Г. Зысюк
А.В. Кравченко
З.А. Салахов

Адреса редакції:
Київ, вул. Краківська, 13А

Для листів:
val@sea.com.ua
тел. 093 603-27-25
[http:// www.electrician.com.ua](http://www.electrician.com.ua)

Соц. мережі   

Видавник: ДП «Видавництво «РадіоАматор»
В.В. Моторний, директор, val@sea.com.ua
тел. / факс: 093 603-27-25

Реклама:
тел. 066 271-35-94, lat@sea.com.ua
095 517-30-62, rek@sea.com.ua

Передплата та реалізація:
тел. 093 603-27-25, svetlana@sea.com.ua

Адреса видавництва «Радіоаматор»
Київ, Краківська, 13А

Підписано до друку 25.05.2023 г.
Дата виходу у світ 29.05.2023 г.
Формат 60x84 / 8. Умов. друк. арк. 3,46
Обл. вид. арк. 4,62.
Підписні індекси:
ДП «Преса» (для України):
для приватних осіб 22901, 8045;
для організацій 8042, 8045.
Агенство «РОСПЕЧАТЬ»
(для Росії та країн СНГ): 22090
Загальний наклад по країнам СНГ та ЄС: 6500 прим.
Ціна договірна.

Надруковано з комп'ютерного набору
в типографії видавництва «Аврора-Принт»
м. Київ, вул. Причальна, 5. Тел.: (044) 550-92-44

Реферується ВІНИТИ.
Журнал «Електрик. Міжнародний
електротехнічний журнал», м. Київ.
Видавництво «Радіоаматор»,
Україна, м. Київ, вул. Краківська, 13А.

Повне або часткове передрукування матеріалів в інших
виданнях можливе лише за письмовою згодою ДП
«Видавництво Радіоаматор». За зміст реклами
и об'яв несе відповідальність рекламодавець.
Точка зору редакції журналу може не збігатися
з точкою зору авторів статей.

© Видавництво «Радіоаматор», 2023



Шановні читачі!

Цій випуск нашого журналу присвячений проведенню 3-х цільових виставок 30 травня – 1 червня цього року у МВЦ м. Києва. Нарешті після більш ніж річного періоду простою, через російську агресію, в Україні відновлюється виставкова діяльність. Це якнайбільше свідчить про нашу українську незламність.

Слава Україні!

У цьому номері нашого журналу велика увага приділяється джерелам живлення, в тому числі продукції всевітньо відомої компанії MEAN WELL.

Звертаємо вашу увагу на статтю «Світлодіодні драйвери MEAN WELL для рекламного, архітектурно-декоративного та інтер'єрного підсвічування» (автор Андрій Сергеев) у якій докладно розглядаються особливості цієї продукції компанії MEAN WELL.

В даний час зі змістом усіх статей з номерів журналу «Електрик. Міжнародний електротехнічний журнал» за 2022 та 2023 роки можна безкоштовно ознайомитись на сайті журналу <http://www.electrician.com.ua>.

Для цього треба зайти в розділ «Новини» сайту, вибрати новину про вихід номера журналу «Електрик», що вас цікавить, і перейти за посиланням, яке міститься в конкретній новині. Також зі змістом номерів журналу можна ознайомитись в розділі «Архів» сайту.

Аналогічно можна ознайомитись зі змістом статей номерів журналу «Радіо Компоненти» та журналу «Радіоаматор. Міжнародний радіоаматорський журнал».

Нагадуємо вам, що продовжується передплата нашого журналу на 2023 р. Підписатися можна з будь-якого номера журналу. Нині «Електрик. Міжнародний електротехнічний журнал» – це одне з найдешевших і найдоступніших електротехнічних видань в Україні.

Будемо раді бачити вас серед наших передплатників.

**Редколегія журналу «Електрик.
Міжнародний електротехнічний журнал».**





1 Від редакції

2 Зміст

Техніка та технології

4 Нові товари від Advantech: MIC-711 та MIC-713 на базі систем NVIDIA Jetson Orin NX та Orin Nano

6 Проектування низьковольтних інверторів напруги. Друга частина
Сергій Іголкін

9 SKM30-N та DKM30-N:
ізолювані DC/DC-перетворювачі 30 Вт
в корпусі 2"х1"
Дмитро Левчук

10 Новий модуль Wi-Fi 5 та BLE від Quectel
Едуард Шепель

Виробництво та ресурси

12 Тензодатчики деформації та акселерометри FBG-технології з волоконно-оптичним зв'язком.
Відмінності та перспективи
Андрій Кашкаров

16 Світлодіодні драйвери MEAN WELL для рекламного, архітектурно-декоративного та інтер'єрного підсвічування
Андрій Сергєєв

22 Танталові конденсатори з низьким ESR
Николай Бровко

24 SPOL-01/12 – нові ультра компактні PoL-стабілізатори від MEAN WELL для ПЛІС та інших додатків
Ігор Петровський



- 25 Нові ДЖ на DIN-рейку з функцією селективного захисту (SFB)

Микола Кривін

- 26 N78xx – нові мініатюрні імпульсні стабілізатори напруги (PoL) від MEAN WELL з вихідним струмом до 1 А

Олег Кольченко

Інженерні рішення

- 28 Датчики для електромобілів підвищеної точності

Анатолій Єфімов

- 29 Візитниця

- 30 Цифровий осцилографічний пробник

Олександр Спиридонов

- 32 Трансформатори струму для точних вимірювань

Андрій Сергієнко



Компанія Advantech, провідний постачальник промислових рішень для штучного інтелекту (ШІ), оголосила про випуск систем на базі систем-на-модулях NVIDIA® Jetson Orin™ NX та Jetson Orin Nano™.

Нові товари від Advantech: MIC-711 та MIC-713 на базі систем NVIDIA Jetson Orin NX та Orin Nano

(Матеріал надано ПРОКСИС™)

Це системи з високою гнучкістю, що включають безвентиляторний комп'ютер, комплект розробника та комплект рішень. Розробники можуть тестувати моделі ШІ та відповідні периферійні пристрої за допомогою комплекту розробника та комплекту рішень. Після перевірки концепції (PoC) розробники можуть обирати між стандартним безвентиляторним комп'ютером, комп'ютером, спроектованим індивідуально або вбудовуванням комплекту рішень безпосередньо в чинну систему.

Ці рішення дозволяють розробникам легко розробляти та гнучко розгортати їхні проекти.

NVIDIA Jetson Orin NX/Nano: менше, потужніше та з меншим енергоспоживанням
NVIDIA Jetson Orin NX і Jetson Orin Nano можуть запускати кілька нейронних мереж паралельно і одночасно обробляти дані з безлічі датчиків з високою роздільною здатністю.

Невеликий форм-фактор та більш низьке енерго-

More Flexibility For AI
Advantech AI Systems Based On
NVIDIA® Jetson Orin™ NX & Orin Nano™

ADVANTECH

NVIDIA ELITE PARTNER

MIC-711
Fanelss System

MIC-711D
Developer Kit

MIC-713S
Solution Kit

споживання роблять їх ідеальними для систем граничного ШІ.

MIC-711-OX, MIC-711D-OX та MIC-713S-OX використовують модуль NVIDIA Jetson Orin NX для забезпечення продуктивності ШІ аж до 100 трильйонів операцій на секунду (TOPS) на периферії.

Jetson Orin NX за розміром менше кредитної картки, споживає мінімальну потужність (10...25 Вт) та забезпечує в 3 рази більшу ефективність обчислень у порівнянні з модулем NVIDIA Jetson AGX Xavier та в 5 разів порівняно з модулем Jetson Xavier NX.

Advantech MIC-711-ON та MIC-711D-ON використовують модуль NVIDIA Jetson Orin Nano для забезпечення до 40 TOPS продуктивності ШІ в найменшому форм-факторі Jetson з варіантами потужності від 5 Вт до 15 Вт. Це забезпечує до 80 разів більш високу продуктивність порівняно з NVIDIA Jetson Nano™ та встановлює новий стандарт для граничного ШІ початкового рівня.

Системи MIC-711 забезпечують бездротові можливості та підтримку камер

Серія MIC-711 ідеально підходить для граничних програм з інтенсивними обчисленнями відео на основі ШІ. Як частина серії Advantech MIC-AI, серія MIC-711 забезпечує входи/виходи, в тому числі 1xLAN, 1xHDMI, 1xMicro SD, 2xNano SIM, 2xUSB 3.2, 1xUSB 2.0, 1xMini-PCIe, 2xM.2 та додатковий GMSL2 для розробників ШІ.

Оскільки великомасштабне розгортання в різних сценаріях стає все більш поширеним явищем, розробникам потрібні бездротові рішення з більшою гнучкістю. Відповідно, серія MIC-711 надає 2 карти Nano SIM (1 для мобільного зв'язку 5G та 1 для мобільного зв'язку 4G/LTE) та слот M.2 3052, призначений для додатків 5G.

Серія MIC-711 допомагає впроваджувати відеорішення зі штучним інтелектом на периферії, забезпечуючи живлення для двох камер через порт USB 3.2.

Кожен USB-порт підтримує вхідну потужність 15 Вт, щоб допомогти клієнтам інтегрувати USB-камери. MIC-711D-OX та MIC-711D-ON підтримують додаткові 2 камери GMSL2 з пропускну здатністю до 3 Гбіт/с.

З усієї серії MIC-711 – MIC-711-OX та MIC-711-ON являють собою безвентиляторні компактні комп'ютери (130x130x46 мм).

Вони здатні витримувати широкий діапазон робочих температур (-10...+50°C) при експлуатації просто неба, або в суворих умовах. Комплекти розробника MIC-711D-OX та MIC-711D-ON з тим же вводом/виводом, що й безвентиляторні комп'ютери, мають форм-фактор несучої плати. Розробники можуть використовувати ці комплекти, щоб випробувати свої моделі ШІ для PoC.

MIC-711D-OX та MIC-711D-ON скорочують час виходу на ринок. Після тестування моделі ШІ ці комплекти можуть бути безпосередньо вбудовані в чинні

системи. Це прискорює графік від розробки до розгортання та скорочує процеси затвердження проекту.

Комплект рішень MIC-713S-OX забезпечує гнучкість перетворення на різні форм-фактори

Комплект рішень MIC-713S-OX складається з несучих плат, розроблених з урахуванням концепції «тестування, а потім проектування». MIC-713S-OX пропонує максимально можливе розширення вводу/виводу, всі пристрої попередньо протестовані. Розробники ШІ можуть швидко інтегрувати граничні пристрої, такі як IP-камери, USB-камери, мережеві карти, карти розширення PCIe або 2.5"/3.5" твердотільні/жорсткі диски і налаштувати їх в необхідних форм-факторах згідно з поточними вимогами.

MIC-713S-OX має від 2 до 5 портів LAN, 6 портів USB 3.0 (2 порти USB на передній панелі підтримують до 15 Вт/порт USB-камери), підтримує підключення камери GMSL2 і 1xPCIex4 для різних розширень, таких як мережеві карти або пристрої захоплення кадрів для більшої гнучкості вводу/виводу. MIC-713S-OX має 1xmini PCIe, 1xM.2 2280 та виділене живлення, що дозволяє використовувати порти SATA для 2 жорстких дисків 2.5"/3.5".

З усіма протестованими периферійними пристроями та послугою розробки Advantech клієнти можуть перетворити MIC-713S-OX на різні форм-фактори, такі як AI NVR (мережевий відеореєстратор) та роботизовані системи ШІ.

MIC-713S-OX забезпечує комплексну підтримку вводу/виводу та може відповідати вимогам різних додатків.

Серія MIC-AI проста у масштабуванні.

Серія MIC-711 та MIC-713S-OX забезпечують простий спосіб оновлення BSP в апаратній системі. Користувачі можуть отримати доступ до порту OTA або SD-карти через дверцята обслуговування на передній панелі. Такий дизайн дає змогу користувачам швидко оновлювати систему без складних процесів. Крім того, Advantech забезпечує цілодобову підтримку віддаленого керування та розміщення для BSP через Allxon (партнера Advantech з екосистеми хмарних послуг).

Таким чином, Advantech пропонує системи для розробників, включаючи комплекти, безвентиляторні системи та послуги з проектування, які допомагають розробникам легко перейти від розробки до розгортання.

ПРОКСИС™
04073, Київ,
вул. Сирецька, 5
+380 (67) 327-5977
+380 (50) 317-5977
+380 (44) 467-5977
+380 (44) 599-5977
sales@proxis.ua

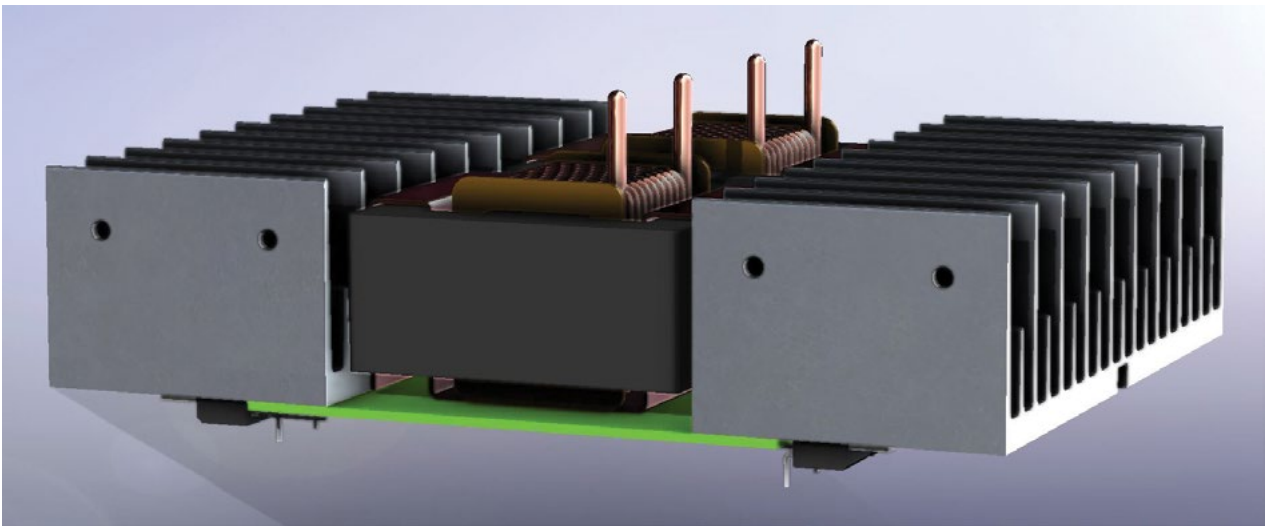


У другій частині статі ми продовжуємо розповідати про розробку серії інверторів для роботи від акумуляторів з виходом 220 В/230 В 50 Гц.

Проектування низьковольтних інверторів напруги.

Друга частина

Сергій Іголкін, м. Житомир, QUANT



Практичне застосування на прикладі 12 В 1600 Вт інвертора.

Для того, щоб усвідомити собі проблеми з регулюванням (у нашому прикладі – підтримкою на виході напруги 400 В при мінливому струмі навантаження), задамо реальні параметри і подивимось, як їх може забезпечувати описувана схема перетворювача.

Припустимо, що ми проектуємо інвертор із живленням від свинцевих акумуляторів 12 В на вихідну максимальну потужність 1600 Вт.

Напруга акумуляторів при цьому може змінюватися в досить широких межах – від 12.6 В у повністю зарядженого акумулятора до 10.7 В у розрядженого. Цифри взято для прикладу, для акумуляторів без додавання кальцію в пластини (такі стали дедалі частіше зустрічатися останнім часом, і розряджати їх до 10.7 В у край небажано через прискорену сульфатацію, і на початку розряду вони мають приблизно 12.8 В). Але для пояснення принципів розрахунку годиться будь-який приклад.

Отже, ми в першій частині статті з'ясували, що вихідна постійна напруга схеми без навантаження або за відносно невеликих навантажень близька до розмаху (подвійної амплітуди) змінної напруги на вторинній обмотці трансформатора.

Режим перемикання за нульового струму забезпечується від холостого ходу майже до такого навантажувального струму, за якого напруга на виході зменшується майже вдвічі. Однак, сильно просаджувати вихід вкрай небажано, оскільки при цьому різко зростає час, за який струм спадає до нуля (докладніше нижче). Хоча в цьому режимі доведеться працювати під час старту пристрою, але тільки короткий час і вживши заходів щодо обмеження струму, тільки для зарядки вихідного конденсатора. Тобто, реально можна просадити вихід навантаженням на 30-40%, що приблизно відповідає якраз відношенню напруги на повністю зарядженому і повністю розрядженому акумуляторі.

Розрахунок для максимальної потужності для зарядженого і розрядженого акумулятора

Отже, ми можемо віддавати при 400 В виходу потужність 1600 Вт в навантаження при повністю зарядженому акумуляторі та коефіцієнті заповнення близько 100% (у нашому випадку тривалість імпульсів визначається резонансом, і не керується як у ШІМ-перетворювачах, так що йдеться про макси-

мальну частоту прямування імпульсів, регулювання проводиться саме частотою прямування, при меншій частоті і коефіцієнт заповнення буде менше). Тоді при розрядженому акумуляторі (10.7 В) ми або не досягнемо напруги 400 В, або при такій напрузі потужність, що віддається, сильно впаде.

Отже, розрахунок потрібно починати з нижньої межі вхідної напруги, 10.7 В, і після цього думати як відрегулювати вихідну напругу при верхній межі вхідної напруги.

Зазвичай у перетворювачах такої потужності первинна обмотка трансформатора складається з одного витка, як показано на ілюстраціях у першій частині статті. Тоді для нашого прикладу, з урахуванням відносно м'якої навантажувальної характеристики пристрою, нам знадобиться 20 витків у вторинній обмотці трансформатора, тобто коефіцієнт трансформації 20:1. Подвійний розмах напруги на вторинній обмотці, відповідно, 428 В. Якщо підставити ці значення в модель, отримаємо постійний вихідний струм за 400 В виходу рівний 4.4 А, що із запасом 10% забезпечить вихідну потужність 1600 Вт.

Що буде при повністю зарядженому до 12.6 В акумуляторі?

Буде сильніше обмеження напруги резонансу, і через це доведеться збільшити тривалість імпульсу до 6 мкс, тоді за умови повного заповнення максимальний струм за 400 В постійної вихідної напруги становити-

ме вже 5.6 А. Струм 4.4 А буде забезпечено, якщо збільшити період проходження імпульсів до 7.5 мкс, на практиці це робить сама схема регулювання, отримуючи сигнал від датчика струму навантаження.

Робота без навантаження або при малих навантаженнях.

Отже, максимальна потужність забезпечується як при зарядженому, так і при розрядженому акумуляторі. А якщо інвертор працює на мінімальній потужності, і навантажує вихід лише струмом свого холостого ходу? Тоді схема регулювання повинна максимально збільшити період проходження імпульсів, не змінюючи встановленої тривалості для даної вхідної напруги. Якщо трансформатор виготовлено із заливкою компаундом, можна не побоюватися звуків на частоті проходження імпульсів, і знижувати частоту проходження, заходячи навіть у звуковий діапазон, до одиниць кілогерц і нижче. Якщо хочеться залишитися за чутним діапазоном то виходом буде пакетний режим на холостому ходу, тобто повне вимкнення генерації в разі перевищення напруги 400 В за встановлену межу, зберігаючи плавне регулювання в робочому діапазоні.

Для прикладу: при періоді тактової частоти 1 мс (1 кГц) при напрузі виходу 400 В струм навантаження вже тільки 100 мА. Розрахунок простий: кожен імпульс несе одну й ту саму кількість енергії для певної вхід-

інверторні
стабілізатори напруги

quant.in.ua

упереджувальний
захист



ної напруги, тому за постійної вихідної напруги 400 В, якщо на максимальному вихідному струмі частота проходження імпульсів була 100 кГц, наприклад, то зниження її в 5 разів до 20 кГц дасть вихідний струм у п'ять разів менший. Якщо далі знижувати частоту небажано то потрібно буде перейти в пакетний режим генерації.

Для спрощення схеми можна зовсім не використовувати регулювання періоду проходження, зробивши пакетний режим основним. Тоді у зворотному зв'язку за вихідною напругою буде компаратор з гістерезисом, який вмикати і вимикати генерацію під час виходу напруги 400 В за задані межі. У цьому разі потрібно стежити за парною генерацією, щоб кількість позитивних і негативних імпульсів у пакетах була однаковою, щоб уникнути аліасингу й одностороннього насичення сердечника підвищувального трансформатора.

Датчик вихідного струму краще використовувати в ланцюзі вторинної обмотки, тоді це буде простий струмовий трансформатор на феритовому кільці, сигнал з якого буде пропорційний вихідному струму після випрямлення, і додатково можна буде коригувати тривалість імпульсу по припиненню струму в кожному напівперіоді (це можна також робити за вимірами вихідної напруги і вхідної).

Стартовий (пусковий режим) – від подачі живлення до початку роботи інвертора, зарядка вихідної ємності

Тепер про режим старту – найбільш навантажений режим роботи пристрою. Зайве говорити, що сам формувач синусоїдальної напруги не повинен працювати під час старту до повного заряджання вихідного конденсатора до 400 В, але саме це заряджання відбувається за мінімально можливою тривалістю імпульсів, оскільки не працюватиме вимикання транзисторів за нульового струму, і потрібно буде накопичувати в індуктивності мінімальний струм, щоб зменшити втрати вимикання.

Можна встановлювати для старту тривалість імпульсів 1 мкс або менше. Крім того, щоб не перегріти кристали транзисторів, частоту проходження імпульсів під час старту знижують максимально, до одиниць кГц. Після досягнення 400 В на виході пристрій перемикається у звичайний режим, описаний вище.

На практиці необхідно при нарузі на виході нижче заданої (близько 350 В) завжди переводити пристрій в режим старту, причому лише на обмежений час, достатній при холодному старті для заряду вихідних ємностей з деяким запасом. Справа в тому, що якщо при роботі вихідна напруга сильно знизилася – це говорить про навантаження інвертора, або зовсім про коротке замикання, або пробій вихідної ємності. Всі ці випадки аварійні, бо якщо напруга після переведення в режим старту не досягла номінальної – краще зупинити генерацію, вимкнути низьковольтні ключі до усунення проблеми.

Залишкові втрати комутації через індуктивність намагнічування.

Варто також нагадати, що втрати під час вимкнення транзисторів дає не тільки струм індуктивності розсіювання, яка в нашому випадку відіграє роль вихідного дроселя. Цей струм стає нульовим наприкінці кожного півперіоду (кожного імпульсу) і в первинній обмотці теж його впливу на втрати вимкнення немає. Але залишається струм намагнічування первинної обмотки, який хоча й у 20-50 разів менший за робочий струм, але пам'ятати про нього все ж таки потрібно, враховуючи додаткові втрати від нього. Реальне значення цих втрат може сягати одиниць ват, залежно від конструкції силового трансформатора, приблизно до 2-3 Вт сумарно при використанні фериту E55x25, наприклад.

Ця схема сильно відрізняється від традиційних тим, що індуктивність розсіювання трансформатора від первинної обмотки до вторинної не мінімізується, а має розрахункову величину для забезпечення максимальної вихідної потужності перетворювача. Зазвичай ця величина в кілька разів більша ніж у традиційних трансформаторах. Але, завдяки резонансному режиму і комутації за нульового струму, це не збільшує втрати на комутацію, а навпаки, сильно скорочує їх. Але саме тому і потрібно уважно дивитися на «те, що залишилося» і що раніше не було помітно на тлі великих втрат на комутацію, наприклад, у схемі пуш-пулл. До речі, трансформатор у цій схемі – це більше ніж трансформатор, оскільки його індуктивність розсіювання є ще й силовим дроселем-реактором (для збільшення індуктивності розсіювання первинну і вторинну обмотки розміщують, наприклад, на різних кернах).

Втрати провідності

Прийнято вважати, що в резонансних схемах втрати провідності зазвичай більші, ніж у схемах з ШІМ і жорсткою комутацією, зазвичай через циркуляцію реактивних струмів. Для цієї схеми це не зовсім так. Надлишкових реактивних струмів у первинному (низьковольтному ланцюзі) немає, тому збільшення втрат провідності невелике – це приблизно відношення ефективного значення синусоїдального струму до середнього значення, тобто близько 10%. На моделі в цьому можна переконатися, якщо порівняти зі звичайною схемою з ШІМ-регулюванням або ж ускладнити модель для виміру втрат провідності.

За максимальної потужності, що віддається, в кожному наступному напівперіоді, здавалося б, перезаряджаються резонансні конденсатори (один розряджається до нуля, другий заряджається до напруги виходу 400 В), але під час розрядження відповідного конденсатора його енергію передають у навантаження, тож додаткових реактивних втрат через це немає.

Повну схему та опис алгоритму керування готового пристрою буде опубліковано пізніше, після закінчення макетування пристрою в реальному прототипі.