

КВАЗІРЕЗОНАНСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З КОМБІНОВАНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

Вступ

Генерування, передавання, перетворення та споживання електричної енергії пов'язане з неминучими її втратами. В зв'язку з постійним підвищенням ціни на енергоносії актуальною проблемою є задача зниження цих втрат. Одним з можливих варіантів досягнення поставленої мети на етапі перетворення електроенергії є застосування квазірезонансних імпульсних перетворювачів (КРП), що також призводить, зазвичай, ще й до зменшення маси та габаритів перетворювального пристрою [1]. Дана стаття присвячена подальшому вдосконаленню квазірезонансних імпульсних перетворювачів напруги.

Застосування КРП дозволяє підвищити частоту роботи силового ключа до одиниць – десятків мегагерц і зменшити динамічні втрати на ключі, що веде до підвищення к.к.д. та зменшення маси і габаритів пристрою. Однак, зміна навантаження перетворювача чи регулювання його вихідної напруги в широкому діапазоні призводить до розширення частотного діапазону роботи силового ключа. Це пов'язане з використанням в КРП частотно-імпульсної модуляції (ЧІМ) для регулювання вихідного параметру, що, в свою чергу, продиктовано наявністю резонансного контуру в силовій частині, який і визначає тривалість відкритого стану ключа власною частотою коливаль.

Зміна частоти роботи перетворювача в широких межах, а особливо зменшення нижньої граничної частоти, примушує застосовувати низькочастотні фільтри або фільтри, що переналагоджуються, для збереження потрібного коефіцієнту пульсацій вихідної напруги у всьому діапазоні. Це, в свою чергу, призводить до зниження питомих показників і ускладнення схемотехніки перетворювачів.

Позбутися цього недоліку дозволяє застосування широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) в КРП. Але використання повноцінної ШІМ з глибоким регулюванням є досить проблематичним в зв'язку з відсутністю необхідних регулюючих пристроїв [2]. В якості регулюючих елементів можна застосовувати паразитні ємності транзисторів, але в зв'язку з неможливістю керувати цими ємностями в широкому діапазоні неможливо побудувати КРП з широким діапазоном зміни навантаження [3]. Ще одним варіантом є застосування так званої ступінчастої ШІМ, коли тривалість відкритого стану ключа має деякі фіксовані значення і регулюється шляхом комутації блоку конденсаторів. Але такий спосіб призводить до значної

дискретності регулювання або, при спробі зменшення дискретності, до підвищення складності та ціни перетворювача в зв'язку з використанням великої кількості додаткових ключів для переключення конденсаторів.

В даній статті розглядається варіант застосування комбінованої модуляції в КРП для регулювання вихідної напруги, пов'язаний з застосування ступінчатої ШІМ «у великому» і ЧІМ «у малому». Це дозволяє за невеликої кількості додаткових ключів звужити частотний діапазон роботи КРП і одночасно не втратити плавність регулювання. Основна увага приділяється побудові і моделюванню однієї з можливих схем реалізації квазірезонансного перетворювача з комбінованою модуляцією.

Структура КРП з комбінованою модуляцією

Функціональна схема квазірезонансного перетворювача з перемиканням за нульового струму наведена на рис.2. В даному перетворювачі застосовано два додаткових конденсатори і, відповідно, два ключі для реалізації ступінчатої ШІМ.

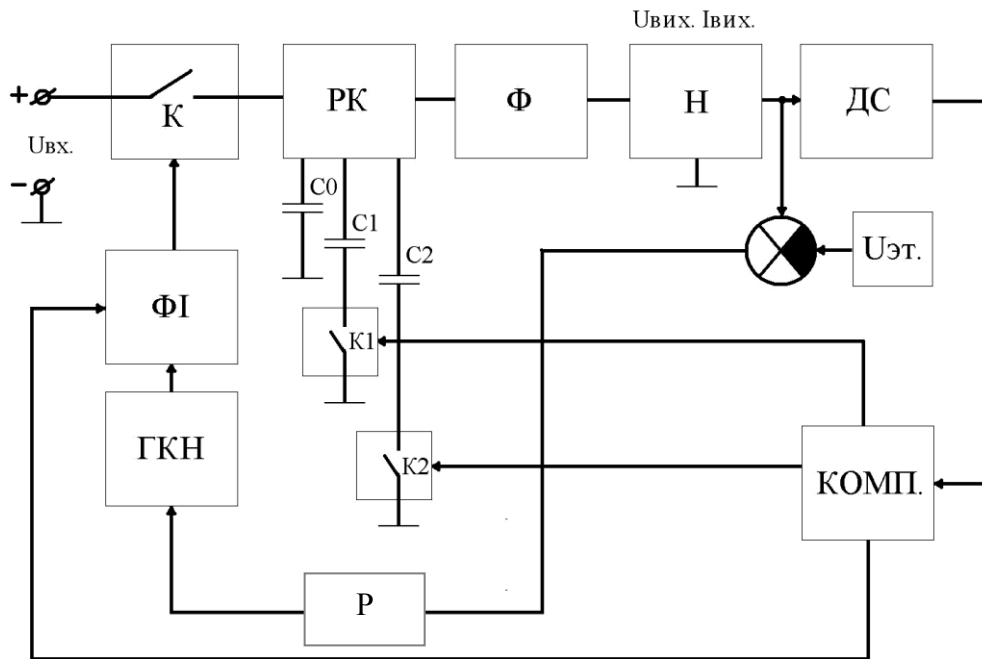


Рисунок 2 – Функціональна схема КРП з комбінованою модуляцією

К – силовий ключ, РК – резонансний контур, Ф – фільтр, Н – навантаження, ДС – датчик струму, ФІ – формувач імпульсів, ГКН – генератор, що керується напругою, Р – регулятор, С0 – основний конденсатор резонансного контуру, С1, С2 – додаткові конденсатори резонансного контуру, К1, К2 – комутатори, КОМП. – схема порівняння, Uвх – вхідна напруга, Uет. – еталонна напруга, Uвих, Iвих – вихідні напруга та струм.

Стабілізація напруги в перетворювачі здійснюється наступним чином. Необхідна напруга на навантаженні задається Uет. Вихідна напруга Uвих. порівнюється з еталонною напругою, а помилка через регулятор надходить на ГКН. В залежності від знака помилки і її рівня ГКН відповідно

збільшує або зменшує частоту керуючих імпульсів. Сигнал з виходу ГКН надходять на ФІ, який формує необхідну ширину імпульсів, що поступають на силовий ключ К.

Схема порівняння, С1, С2, К1, К2 реалізують ступінчасту ШІМ. Для формування сигналу перемикавання додаткових конденсаторів використовується струм навантаження. Рівень струму, при фіксованій напрузі, залежить від величини навантаження. Сигнал з ДС подається на схему порівняння. При збільшенні струму до певного значення, за якого початкової ємності С0 вже не досить для підтримання вихідної напруги на заданому рівні, схема порівняння підключає додаткову ємність С1 і встановлює відповідну ширину імпульсу на виході ФІ. У такий спосіб відбувається перехід на наступний діапазон навантажень, де далі регулювання відбувається частотним методом. При досягненні краю цього діапазону знову відбувається перемикавання конденсаторів і виставляється потрібна ширина імпульсів ФІ. Ця ширина нерозривно пов'язана із власною частотою резонансного контуру.

Перемикавання додаткових конденсаторів відбувається на етапі роботи перетворювача, коли струм через резонансний конденсатор і напруга на ньому дорівнюють нулю, що дозволяє зменшити майже до нульового рівня втрати потужності під час перемикавання цих конденсаторів.

Два додаткові конденсатори дозволяють отримати чотири варіанти перемикавання власної частоти резонансного контуру.

Розрахунок меж інтервалів перемикавання в залежності від необхідних діапазонів навантаження і частоти проводиться за відомими методиками розрахунку КРП, наприклад наведеними в [1] – [3].

Моделювання КРП з комбінованою модуляцією

Для перевірки правильності роботи запропонованого перетворювача було проведено електронне моделювання в програмному пакеті PSpice.

Експериментальна схема перетворювача (рис.2) для електронного моделювання складається з таких частин. Ключ К – транзистор М10; резонансний контур – L3, С30; фільтр – L1, С22; навантаження – R26; датчик струму – R38.

В якості ГКН і ФІ використовуються схеми на CMOS 555 таймерах, відповідно, схема генератора на U37 і одновібратора U26. Схема порівняння складається із двох компараторів серії LMC7211, що подають сигнали комутації на ключі S4-S7, які в свою чергу перемикають додаткові конденсатори резонансного контуру С37, С38 і конденсатори ФІ С16, С33. Джерело вхідної напруги – V10.

В даній моделі використаний пропорційний регулятор.

Параметри перетворювача: напруга живлення – 12В, вихідна напруга – 5В, максимальна потужність – 100Вт, діапазон частоти роботи силового ключа – 500 кГц – 1 МГц, кількість ступіней ШІМ – 3.

Результати моделювання наведені на рис.3.

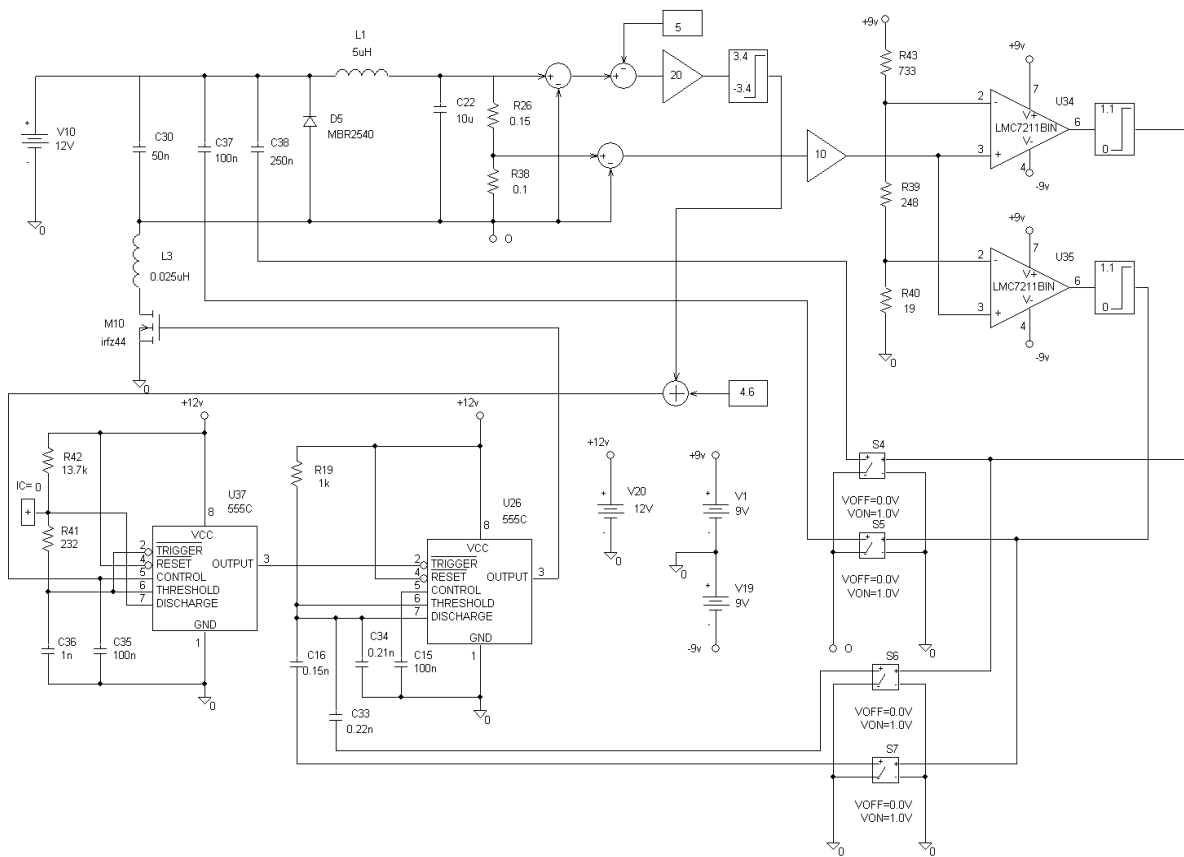
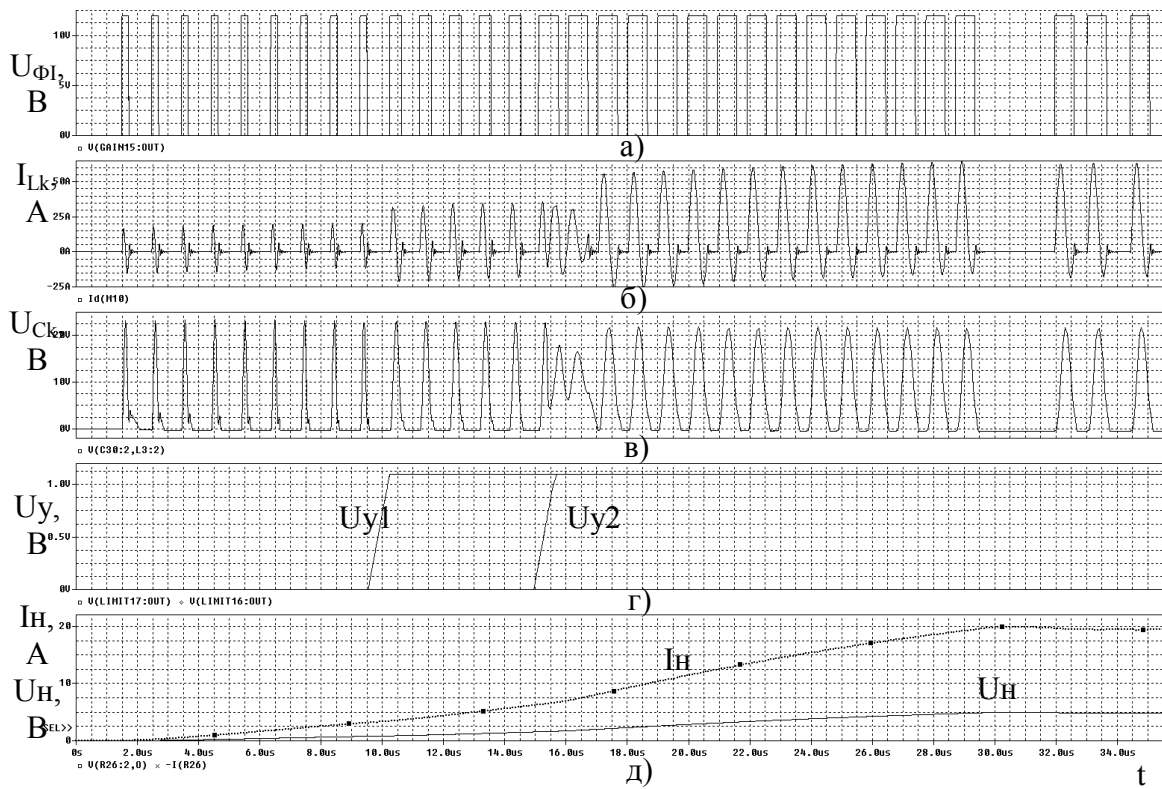


Рисунок 2 – Схема моделі КРП з комбінованою модуляцією



а) сигнал на виході ΦI ; б) струм індуктивності контуру; в) напруга на конденсаторі контуру; г) напруги на виходах компараторів; д) струм та напруга навантаження

Рисунок 3 – Результати моделювання КРП з комбінованою модуляцією

Як видно з результатів моделювання перехідного процесу в момент включення перетворювача для максимальної вихідної потужності, схема автоматично підключає додаткові ємності у випадках перевищення струмом навантаження заданих діапазонів (моменти часу 9,5 мкс і 15 мкс). Величина напруги на навантаженні в кінці перехідного процесу встановлюється на заданому рівні – 5В.

Висновки

Як показують результати моделювання, запропонована схема перетворювача працездатна й дозволяє працювати з широким діапазоном зміни навантаження (майже від 0 до 100Вт), причому частота роботи силового ключа не виходить за встановлені межі 500 кГц – 1МГц, що свідчить про практичну можливість застосування комбінованої модуляції – ступінчатої ШІМ «у великому» і лінійної ЧІМ «в малому» у КРП. Це дозволяє будувати перетворювачі з меншими масою і габаритами для широкого діапазону зміни навантаження, в порівнянні з тими, що використовувалися до цього часу.

Розглянуті перетворювачі з комбінованою модуляцією потребують подальшого дослідження. Необхідно проаналізувати роботу в динаміці, при різних збуреннях тощо. Потрібно виявити оптимальні співвідношення між діапазонами навантаження та частотами роботи перетворювача. Також необхідно розробити інженерну методику розрахунку подібних перетворювачів для можливості їх широкого використання на практиці. Дослідити роботу перетворювача на макеті дослідного зразка.

Подальшим вдосконаленням КРП може бути взагалі заміна ЧІМ при регулюванні «в малому» на ШІМ, за способом описаним в [3]. Таким чином буде застосована комбінована модуляція з використанням ступінчатої ШІМ для регулювання під час великих збурень і лінійної ШІМ з використанням паразитних ємностей транзисторів – під час малих збурень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Денисов Ю.А. Стабилизаторы постоянного напряжения с широтно-импульсными и частотно-импульсными квазирезонансными преобразователями. – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2001. – 146 с.
2. Ревко А.С. Проблема широтно-импульсного регулирования в квазирезонансных преобразователях. //Технічна електродинаміка, тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Ч. 8. Київ, 2006, С. 50 – 53.
3. Ревко А.С. Брика Д.М. Широтно-импульсная модуляция в квазирезонансных преобразователях. //Технічна електродинаміка, тематичний випуск. Силова електроніка та енергоефективність. Ч. 5. Київ, 2006, С. 125 – 128.