

$$\frac{N_{i, KM2}}{N_{i, KM1}} \approx 70\% \quad (1)$$

Розрахунковий режим характеризувався наступними параметрами: теплоносій для газонагрівача – продукти згоряння котельної установки зі зміною температури від 150 до 130 °С, робоче середовище для випарника – розчин етиленгліколю, з охолодженням від 15 до 12 °С, нагрів води в газоохолоджувачі від 35 до 65°С.

Частка витрат на електропривод компресора КМ2 в загальних енерговитратах при оцінці ефективності циклу складає

$$\frac{N_{e, KM2} / COP_{EG}}{Q_{GH} / \eta_T + N_{e, KM2} / COP_{EG}} \approx 24\% \quad (2)$$

де  $N_{e, KM2}$  – ефективна потужність насоса-компресора КМ2;

$COP_{EG}$  – коефіцієнт перетворення циклу електрогенератора;

$Q_{GH}$  – повне теплове навантаження на газонагрівач;

$\eta_T$  – коефіцієнт корисної дії тепловикористального термотрансформатора.

З метою виключення споживання електроенергії для приводу КМ2 в базовій схемі пропонується стиснення CO<sub>2</sub> в прямому та зворотному циклах ТВТ реалізувати в компресорах з приводом тільки від газових турбін (на агрегатах «турбіна-компресор»). Таким чином гібридна базова схема може бути перетворена в повністю тепловикористальну, що дуже важливо при використанні збірних потоків тепла для отримання холоду або мультиплікації тепла при переході до більш низьких температур для споживача в тепловій pompі. У роботі представлена модель розрахунку одного з варіантів альтернативної схеми тепловикористального трансформатора.

УДК 621.316.1

**Шабанов Д. М.**

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, [shabanov.daniel@ukr.net](mailto:shabanov.daniel@ukr.net)

## ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У РАДІОЕЛЕКТРОННІЙ АПАРАТУРІ

Зростаючий попит на більш компактні за розмірами й легкі за вагою, а також більш дешеві джерела живлення призводить до необхідності підвищувати частоту перемикання силових перетворювачів. Пасивні елементи, тобто котушки індуктивності й конденсатори, в основному визначають розміри, вагу й вартість силових електронних перетворювачів, тому збільшення частоти комутації призведе до мініатюризації перетворювача та зниженню вартості. Однак при цьому збільшення частоти перемикання призводить до виникнення нових проблем, а саме збільшенням комутаційних втрат у всіх компонентах електричної схеми. Задачі, які необхідно вирішити для того, щоб високочастотні перетворювачі можливо було ефективно використовувати в радіоелектронній апаратурі, поділяються на такі категорії: проектування та оптимізація компонентів схеми, вибір топології схеми, забезпечення необхідної надійності роботи схеми. Розробка силових високочастотних електронних перетворювачів спрямована на досягнення високої ефективності та високої питомої потужності в радіоелектронній апаратурі. Напівпровідникові матеріали з широкою забороненою зоною (WBG), такі як карбід кремнію (SiC) і нітрид галію (GaN) з більш низькою вихідною ємністю й опором у відкритому стані у порівнянні з їхніми кремнієвими аналогами в останні роки широко застосовується для проектування силових

перетворювачів, що в свою чергу сприяє розвитку високочастотних перетворювачів. Напівпровідникові матеріали SiC і GaN мають різну структуру, різну вихідну потужність, різні робочі характеристики. застосування обладнань. Технологія SiC знаходить застосування в обладнанні з більшою потужністю, а GaN частіше застосовують у високочастотному діапазоні. Завдяки більш високій частоті перемикання такі перетворювачі мають більш швидкі перехідні характеристики. Сучасні методи плавного перемикання використовуються при розробці як високочастотного перетворення постійного струму, так і високочастотного інвертування постійного струму в змінний. В схемах з високочастотними перетворювачами доцільно реалізувати плавне регулювання вихідної напруги шляхом зміни відносної тривалості відкритого стану ключів (метод ШІМ). М'яке перемикання означає, що один або кілька силових ключів у перетворювачі постійного струму усувають втрати при включенні або вимиканні. Це відрізняється від жорсткого перемикання, коли включення, і вимикання силових ключів виконуються при великому струмі й високому рівні напруги. Один з підходів полягає в створенні явища повного резонансу в перетворювачі за допомогою послідовних або паралельних комбінацій резонансних компонентів. Такі перетворювачі звичайно відомі як резонансні перетворювачі. Інший підхід полягає у використанні звичайного понижувального ШІМ-перетворювача і заміни перемикача резонансним перемикачем, що забезпечує усунення втрат. Через особливості схеми ШІМ резонанс виникає протягом більш короткого інтервалу часу в порівнянні з випадком повного резонансу. Цей клас перетворювачів, що поєднують резонанс і ШІМ, відомий як квазірезонансні перетворювачі. Для зменшення динамічних втрат можливо формувати ШІМ-сигнал фазовим методом з перемиканням транзисторів при нульовій напруги. Для поліпшення характеристик перетворювача слід максимально використовувати резонансні методи перетворення, у яких транзистори включаються при нульовій напрузі (Zero Voltage Switching, ZVS), а вимикаються при нульовому струмі (Zero Current Switching, ZCS), що забезпечує мінімальні рівні динамічних втрат і електромагнітних перешкод. Квазірезонансне перемикання в порівнянні із традиційними режимами роботи перетворювача знижує втрати при вмиканні на силовому ключі, тим самим підвищуючи ефективність і знижуючи температуру обладнання. Недоліком квазірезонансних перетворювачів є більш великі втрати при малих навантаженнях, але цьому недоліку можна запобігти, використовуючи схему обмеження частоти, яка застосовується в сучасних контролерах та використовуючи вбудовані силові ключі. Електромагнітні перешкоди, які створюються квазірезонансним режимом відносно низькі при низьких напругах і струмах, при яких зазвичай і застосовують такі перетворювачі.

На сьогодні високочастотні перетворювачі широко застосовуються в багатьох галузях, таких як виробництво електромобілів, телекомунікаційного обладнання, побутової електроніки.

#### Список посилань

1. J. Millan, P. Godignon, X. Perpina, A. Perez-Tomas, and J. Rebollo. A survey of wide bandgap power semiconductor devices/ IEEE Transactions on Power Electronics, 2014 vol. 29, no. 5, pp. 2155–2163, May 2014.
2. I. Batarseh, A. Harb. Power electronics. Circuit analysis and design. Second Edition/ Springer International Publishing – 2018 – 677 p.
3. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.semiconductor-today.com/features/PDF/semiconductor-today-february-2020-Wide-bandgap.pdf>