

ПАРАМЕТРИЧНА СТАБІЛІЗАЦІЯ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ХОЛОСТОГО ХОДУ В ОДНОФАЗНІЙ СИСТЕМІ ІНВЕРТОР – ІНДУКТИВНО-ЄМНІСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

Розглянуто засіб параметричної стабілізації вихідної напруги холостого ходу у системі інвертор – індуктивно-ємнісний перетворювач при зміні напруги живлячої мережі.

У статті [1] розглянуто засоби регулювання у системі інвертор – індуктивно-ємнісний перетворювач (ІЄП) – трансформатор (рис. 1) і показано, що збільшення опору навантаження ІЄП призводить до збільшення напруги на ньому.

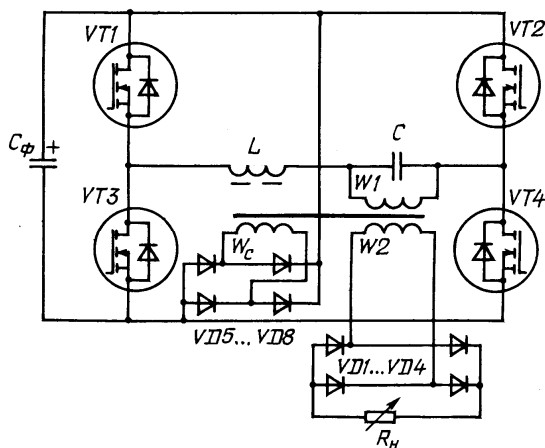


Рис. 1

Щоб обмежити напругу на навантаженні, у погоджувальному трансформаторі була намотана додаткова обмотка W_c (рис. 1), підключена на вхід випрямляча $VD5...VD8$, вихід якого підключався зустрічно до джерела живлення інвертора. При досягненні на виході випрямляча значення напруги, більшого значення напруги живлення інвертора, через діоди випрямляча та обмотку W_c почне проходити зворотний струм, який зменшуватиме струм навантаження ІЄП. Збільшення опору навантаження призводить до збільшення зворотного струму та зменшення струму навантаження.

Але при збільшенні або зменшенні напруги, яка живить інвертор, пропорційно змінюється струм на виході ІЄП, що призводить до зміни напруги на навантаженні та на додатковій обмотці і на виході випрямляча $VD5...VD8$.

На рис. 2 наведено характеристики навантаження системи інвертор – ІЄП з додатковою обмоткою узгоджувального трансформатора з витками $W_c = 19$ для трьох значень напруги 18, 27 і 31 В постійного струму мережі, яка живить інвертор. Для прикладу була розглянута бортова мережа живлення електроустаткування літаків, для якої номінальним значенням напруги є 27 В. Порівнюючи криві на рис. 2, можна побачити, що джерело живлення з номінальною напругою навантаження $U = 600$ В при напрузі 18 В буде вже непрацездатним. Тому стабілізація вихідної напруги холостого ходу (ХХ) дозволить забезпечити номінальну напругу на навантаженні при зміні напруги живлячої мережі.

Для того щоб стабілізувати напругу навантаження у режимі ХХ, пропонується зробити додаткову обмотку трансформатора узгодження з відпайками та за допомогою ключових елементів переключати витки додаткової обмотки [2, 3] при заданих значеннях напруги живлячої мережі. Для номінальної напруги на навантаженні U через коефіцієнт перетворення випрямляча за напругою K_U знаходимо значення напруги на вторинній обмотці трансформатора узгодження згідно з такою формулою:

$$U_2 = \frac{U}{K_U}, \quad (1)$$

де K_U – коефіцієнт перетворення випрямляча за напругою, який працює на активний опір. Значення напруги $U_{ДП}$ на виході випрямляча $VD5...VD8$ визначається напругою живлячої мережі постійного струму, яка може змінюватись у межах $U_{П} = 18...32$ В, і напругою на додатковій обмотці $U_{1Д}$, яка визначається за формулою:

$$U_{1Д} = \frac{U_{ДП}}{K'_U}, \quad (2)$$

де K'_U – коефіцієнт перетворення за напругою випрямляча, який працює на навантаження з зустрічною напругою. При заданому значенні номінальної напруги навантаження U напруга на виході випрямляча VD5...VD8 $U_{ДП}$ має бути рівною напрузі живлення $U_{ДП} = U_{П}$, якщо $U_{ДП} > U_{П}$, у живлячу мережу починає проходити зворотний струм, який обмежує напругу на навантаженні. Співвідношення напруги на виході додаткової обмотки і напруги на вторинній обмотці трансформатора узгодження задаються необхідним значенням коефіцієнта трансформації між вторинною та додатковою обмотками:

$$K_{Т.д} = \frac{W_2}{W_д}, \quad (3)$$

або

$$K_{Т.д} = \frac{U_2}{U_{1Д}}, \quad (4)$$

де W_2 – кількість витків вторинної обмотки.

Враховуючи те, що вже є визначеними такі параметри джерела живлення, як U_2 , $U_{ДП}$ та W_1 , W_2 , із співвідношень (2)...(4) знаходимо значення кількості витків додаткової обмотки:

$$W_д = \frac{W_2}{U_2} \cdot \frac{U_{ДП}}{K'_U}. \quad (5)$$

Додаткову обмотку $W_д$ також можливо визначити, враховуючи співвідношення пер-

винної і вторинної напруг узгоджувального трансформатора: $\frac{U_2}{U_1} = \frac{W_2}{W_1}$, або $\frac{W_2}{U_2} = \frac{W_1}{U_1}$.

Тоді маємо

$$W_д = \frac{W_1}{U_1} \cdot \frac{U_{ДП}}{K'_U}, \quad (6)$$

де U_1 – номінальна напруга первинної обмотки узгоджувального трансформатора; W_1 – кількість витків первинної обмотки узгоджувального трансформатора.

Для розробленого джерела живлення узгоджувальний трансформатор має кількість витків первинної обмотки $W_1 = 20$, номінальна напруга первинної обмотки $U_1 = 27$ В, напруга джерела живлячої мережі постійного струму $U_{П} = 27$ В, коефіцієнт перетворення випрямляча за напругою $K'_U = 1,0$. У формулі (6) також треба ввести коефіцієнт запасу, який визначається як відношення максимального значення напруги навантаження до номінально-

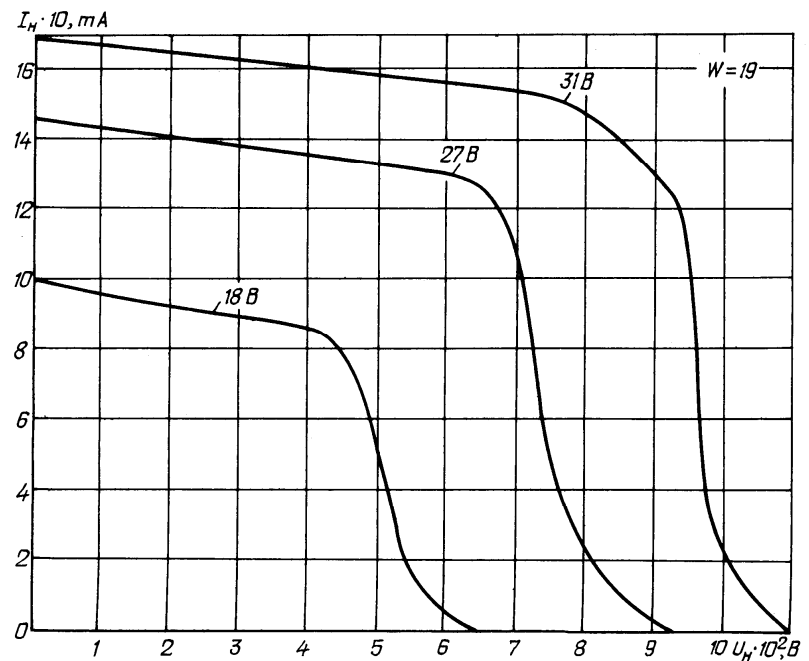


Рис. 2

го $K_3 = U_m / U$, U_m – значення напруги навантаження у місці перегину характеристики навантаження системи інвертор – ІСП. Коефіцієнт запасу може мати значення $K_3 = 0,8...0,9$. Приймаємо середнє значення $K_3 = 0,85$. Тоді згідно з формулою (6) маємо

$$W_\delta = \frac{W1}{U_1} \cdot \frac{U_{ДП}}{K_U} \cdot K_3, \quad (7)$$

після розрахунку $W_\delta = 17$ (при напрузі $U_{II} = 27$ В).

При напрузі $U_{II} = 31$ В: $W_\delta = \frac{20}{27} \cdot \frac{32}{1} \cdot 0,85 = 20,15$.

При напрузі $U_{II} = 21$ В: $W_\delta = \frac{20}{27} \cdot \frac{21}{1} \cdot 0,85 = 13,22$.

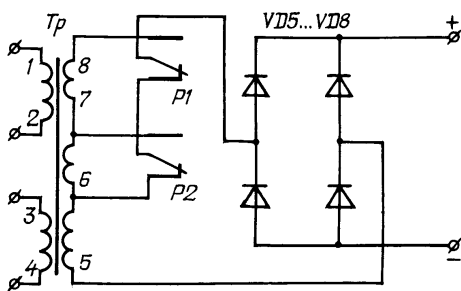


Рис. 3

За розрахунками був виконаний узгоджувальний трансформатор з додатковою обмоткою з наступними витками: $W_\delta = 13, 17, 21$. При напрузі живлячої мережі $U_{II} = 22...28$ В включається додаткова обмотка з витками $W_\delta = 17$, при $U_{II} = 28...31$ В – $W_\delta = 21$, при $U_{II} = 22...18$ В – $W_\delta = 13$.

На рис. 3 зображена принципова електрична схема перемикачів витків додаткової обмотки узгоджувального трансформатора.

Підключення до живлячої мережі через випрямляч необхідної кількості витків додаткової обмотки здійснюється контактами виконавчих реле $P1$ і $P2$ і

залежить від значення напруги живлячої мережі. Межа від мінімального до максимального значення напруги живлячої мережі розділена на три умовних ділянки:

- I ділянка: від 18 до 21 В – підключається обмотка 5 – 6;
- II ділянка: від 21 до 28 В – підключається обмотка 5 – 7;
- III ділянка: від 28 до 31 В – підключається обмотка 5 – 8.

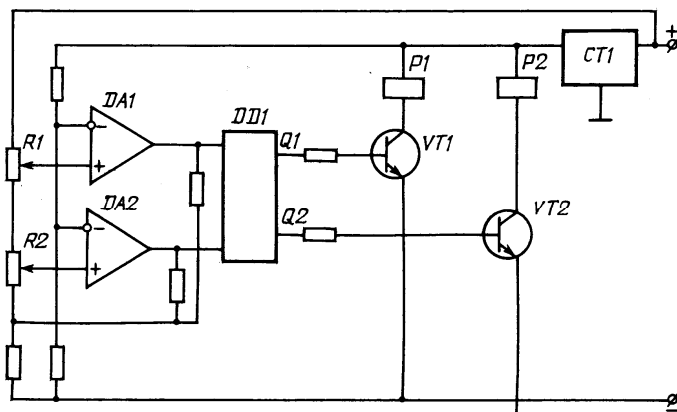


Рис. 4

Схема керування виконавчими реле $P1$ та $P2$ зображена на рис. 4 і має два вузли порівняння ($DA1, DA2$), дешифратор ($DD1$), два підсилювачі ($VT1, VT2$) та стабілізатор для живлення схеми.

Розділення ділянок напруги живлячої мережі виконується резисторами $R1, R2$, з яких сигнал спрямовується на вузли порівняння $DA1, DA2$. На входах дешифратора можливі три комбінації сигналів високого «1» та низького «0» рівнів. Робота дешифратора показана в таблиці.

	DA1	DA2	Q1	Q2
I	0	0	0	0
II	1	0	1	0
III	1	1	0	1

Схема порівняння має гістерезис, що забезпечує чітке перемикач. Таким чином, почергове включення виконавчих реле та схеми з'єднання контактних груп виключають можливість підкорочування у додатковій обмотці узгоджувального трансформатора.

На рис. 2 наведено характеристику навантаження джерела живлення з додатковою обмоткою $W = 19$ для трьох значень напруги живлячої мережі постійного струму: 18, 27, 31 В. З рис. 2 видно, що напруга ХХ при $U_{П} = 18$ В дорівнює 650 В, а при $U_{П} = 31$ В значення цієї напруги становить 1080 В, різниця між значеннями цієї напруги складає 430 В. На рис. 5 наведено характеристики навантаження джерела живлення з параметричною стабілізацією напруги ХХ на основі перемикання витків додаткової обмотки за допомогою виконавчих реле. У цьому випадку різниця між максимальною та мінімальною напругами ХХ складає ≈ 70 В, і підтримується номінальна напруга навантаження на рівні $U = 650$ В при напрузі живлячої мережі 18...31 В, тоді як у випадку без перемикання витків додаткової обмотки при $U_{П} = 18$ В номінальна напруга навантаження становить $U = 400$ В.

З наведеного можна зробити висновок, що схема з параметричною стабілізацією напруги ХХ має переваги перед традиційною схемою джерела живлення без перемикання витків додаткової обмотки узгодженого трансформатора. Альтернативною схемою з параметричною стабілізацією напруги є ШІМ-регулятор. Але головною перевагою схеми з параметричною стабілізацією над схемою з ШІМ-регулятором є те, що вона не має вузлів з додатковими втратами потужності у той час, коли через ШІМ-регулятор постійно проходить струм навантаження, який викликає теплові втрати на силовому транзисторі ШІМ-регулятора. Крім того, ШІМ-регулятор має більш складну схему управління. Проведені експериментальні дослідження схеми з параметричною стабілізацією вихідної напруги холостого ходу у складі плазмової системи запалювання показали надійність та економічність її роботи.

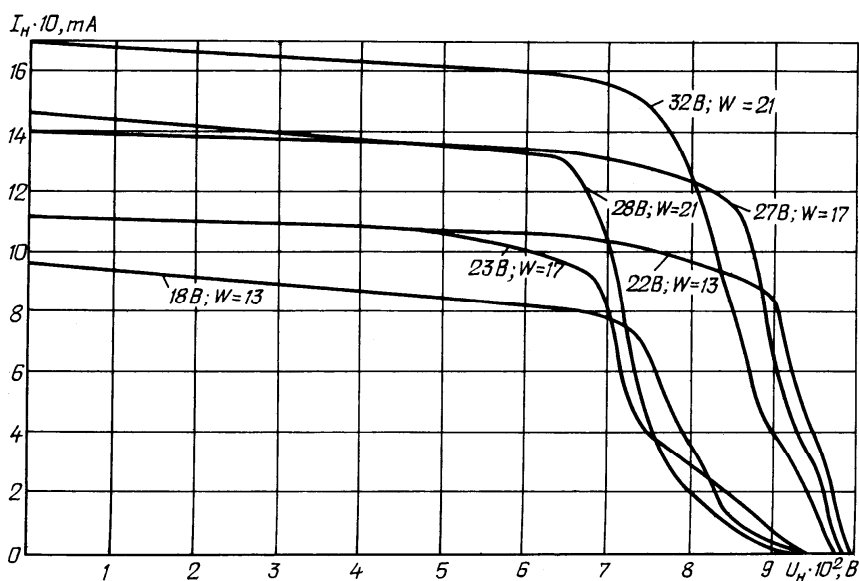


Рис. 5

Рассмотрен способ параметрической стабилизации выходного напряжения холостого хода в системе инвертор – индуктивно-емкостный преобразователь при изменении питающей сети.

The method of parametric stabilization of no-load output voltage in the inverter-inductive-capacitor converter system at a change of voltage in a power network was considered.

1. Губаревич В.Н., Подольный С.В., Спирин В.М., Кабан В.П., Матвеев В.Ю. Регулирование выходного напряжения в инверторе в однофазной системе инвертор – индуктивно-емкостный преобразователь // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2010. – Вип. 25. – С. 114–118.
2. Липковский К.А. Трансформаторно-ключевые исполнительные структуры преобразователей переменного напряжения. – К.: Наук. думка. – 1983. – 217 с.
3. Липківський К.О. Теоретичні засади та методологія побудови трансформаторно-ключових виконавчих структур перетворювачів електроенергії. Навч. посібник. – К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2000. – 31 с.

Надійшла 1.12.2009