

Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції

«Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», Тернопіль, 2018

УДК 621.327

Анатолій Лупенко, д. т. н., проф.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ПІДВИЩЕННЯ ККД БАГАТОСЕКЦІЙНИХ РЕЗОНАНСНИХ ІНВЕРТОРІВ З РЕГУЛЮВАННЯМ ПОТУЖНОСТІ

Anatoliy Lupenko, Dr., Prof.

### EFFICIENCY INCREASING OF POWER CONTROL MULTISTAGE RESONANCE INVERTERS

Резонансні інвертори (PI) напруги переважно виконують на основі мостових або напівмостових ключових схем. Однак використання схемотехніки мостового, а тим більше напівмостового, інвертора для потужних РДС (1 кВт і вище) стає проблематичним через потужнісні обмеження компонентної бази силової електроніки, в першу чергу, транзисторів. Для подолання цього обмеження пропонується застосувати схемотехніку секційних інверторів. Схема такого  $n$ -секційного інвертора ( $n$  – довільна кількість секцій) та діаграма імпульсів кожної з напівмостових резонансних секцій показані на рис. 1.

Проаналізовано загальний випадок  $n$ -секційного інвертора. Показано, що при синфазній роботі його  $n$ -секцій загальна вихідна потужність інвертора пропорційна кількості його секцій. Змінюючи фазові зсуви імпульсів живлення секцій, можна реалізувати регулювання потужності  $P$  в навантаженні інвертора в діапазоні від 0 до 100%. Потужність такого інвертора дорівнює:

$$P = \frac{2E^2}{\pi^2 Z_0} \frac{\frac{2}{nQ} \left[ \frac{1-n^2}{2} + \sum_{i=2}^n \cos \alpha_i + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^n \sum_{i=2}^n \cos(\alpha_k - \alpha_i) \right] + \frac{n}{Q}}{(1-\Omega^2)^2 + \left(\frac{\Omega}{Q}\right)^2},$$

де  $E$  – напруга живлення інвертора,  $Z_0$  – характеристичний опір,  $Q$  – добротність коливальної системи інвертора,  $\alpha$  – фазовий зсув відповідної секції,  $\Omega$  – відносна робоча частота ЕПРА (відношення його робочої частоти до резонансної частоти).

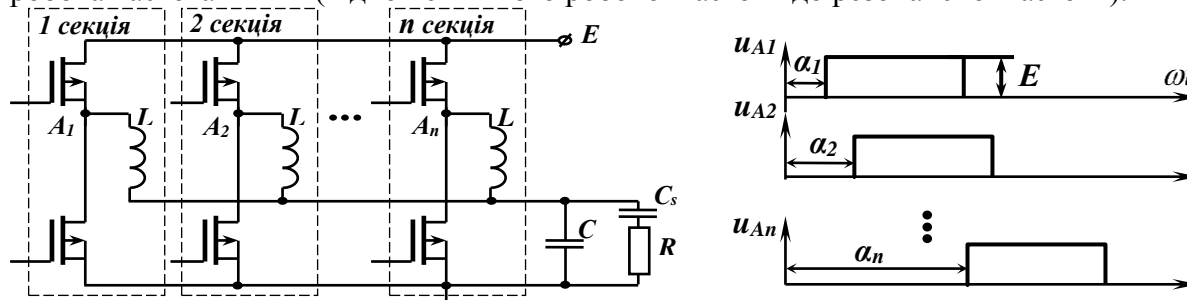


Рис.1

Встановлено, що зменшення активної потужності в навантаженні при регулюванні супроводжується зростанням відношення реактивної потужності інвертора до його активної потужності, що обумовлює зменшення його ККД.

Для суттєвого послаблення цього недоліку при зменшенні потужності можна відключати надлишкові секції, забезпечуючи меншу потужність відповідно меншою кількістю секцій. Однак при такому керуванні PI відбуватиметься стрибкоподібна зміна частоти резонансної системи PI, оскільки резонансна частота  $\omega_0$  багатосекційного PI залежить від кількості  $n$  включених секцій.

Для усунення цих стрибків пропонується наступна стратегія керування інвертором при регулюванні його потужності. 1) Плавне регулювання потужності необхідно здійснювати зміною фазового зсуву лише однієї регульовальної (останньої  $n$ -ї) секції інвертора.

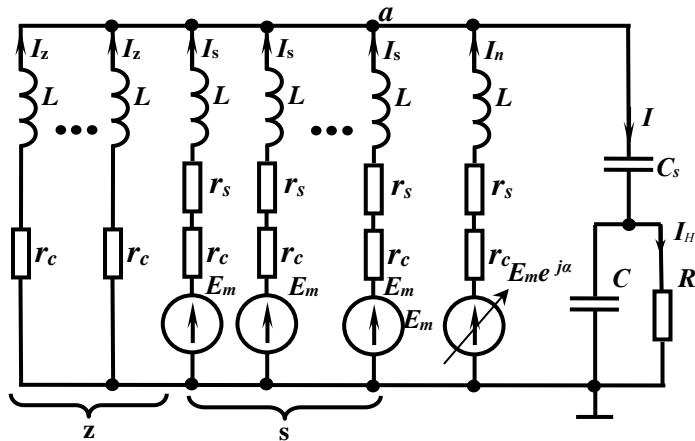


Рис. 2

2) Якщо в процесі регулювання необхідну потужність може забезпечити менша кількість секцій, «зайва» секція відключається шляхом замикання нижнього і розмикання верхнього транзисторів цієї секції. В результаті індуктивність цієї секції не вилучається із резонансної системи PI, а отже, і не відбувається стрибкоподібної зміни резонансної частоти. 3) Різке зменшення потужності за рахунок вимикання «зайвої»

секції коректується відповідним стрибком фази регулювальної  $n$ -ї секції. 4) При збільшенні потужності послідовність керуючих дій є протилежною.

Еквівалентна схема такого багатосекційного PI наведена на рис. 2. В цій схемі кондуктивні втрати кожної секції враховуються опорами  $r_c$ , а комутаційні втрати – опорами  $r_s$ . Кількість включених нерегульованих секцій –  $s = 1 \dots (n-1)$ , кількість відключених таким чином секцій дорівнює  $z = n - s - 2$ .

В результаті виконаного аналізу встановлені співвідношення для струмів регульованої, нерегульованих включених і відключених секцій та навантаження, а саме:

$$I_n = \frac{2E}{\pi Z_0} \frac{\left[ \left( \frac{n-1}{n\Omega} - \Omega \right) \cos \alpha + \frac{1}{Q} \sin \alpha - \frac{s}{n\Omega} \right] + j \left[ \frac{1}{Q} \sin \alpha - \left( \frac{n-1}{n\Omega} - \Omega \right) \sin \alpha \right]}{j(1 - \Omega^2) - \frac{\Omega}{Q}},$$

$$I_s = \frac{2E}{\pi Z_0} \frac{\left[ -\Omega + \frac{1}{n\Omega} (n - s - \cos \alpha) \right] + j \left[ \frac{1}{Q} - \frac{1}{n\Omega} \sin \alpha \right]}{j(1 - \Omega^2) - \frac{\Omega}{Q}},$$

$$I_z = -\frac{2E}{\pi Z_0} \frac{1}{n\Omega} \frac{s + \cos \alpha - j \sin \alpha}{j(1 - \Omega^2) - \frac{\Omega}{Q}},$$

$$I = \frac{2E}{\pi Z_0} \frac{1}{Q} \frac{s + \cos \alpha - j \sin \alpha}{j(1 - \Omega^2) - \frac{\Omega}{Q}}.$$

Коефіцієнт корисної дії багатосекційного PI з регулюванням потужності тоді можна розрахувати за наступним виразом:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{r_s \sum_0^z I_z^2 + (r_s + r_c) \left( I_n^2 + \sum_0^s I_s^2 \right)}{R_n I^2}}.$$

При такій стратегії керування у відключених секціях мають місце лише кондуктивні втрати, а комутаційні втрати усуваються, що дає змогу підвищити ККД PI. Крім того, реактивні струми резонансної системи інвертора при відключеннях «зайвих» секцій стрибкоподібно зменшуються, що також в свою чергу сприяє підвищенню його ККД.