

2. Юрченко, О.М. Високочастотні транзисторні перетворювачі для високоефективних систем електроживлення технологічних установок [Текст] / О.М. Юрченко, М.М. Юрченко, В.Я. Гуцалюк та ін. // Праці ІЕД НАНУ. Випуск 38– 2014 – С. 137–145.

3. Осипов, А.В. Системы высокочастотного индукционного нагрева заготовок перед пластической деформацией [Текст] / А.В. Осипов // Автореф. дис. ... к.т.н. – Томск, 2004. – 18 с

4. Ромаш, Э.М. Высокочастотные транзисторные преобразователи [Текст] / Э.М. Ромаш, Ю.И. Драбович, Н.Н. Юрченко, П.Н. Шевченко. – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с

5. Слухоцкий, А.Е. Индукторы для индукционного нагрева [Текст] / А.Е. Слухоцкий, С.Е. Рыскин. - Л., Энергия, 1974. - 264с., ил.

Стаття надійшла до редакції 11.04.2016 р.

УДК 621.314.5:621.36

Трохименко О.В., магістрант, **Юрченко О.М.**, д.т.н. (НТУУ «КПІ»)

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ РЕЗОНАНСНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ НА НЕЛІНІЙНИЙ ІНДУКТОРНО-КОНДЕНСАТОРНИЙ КОНТУР

Trokhymenko O., Yurchenko O. (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

FEATURES WORK RESONANT VOLTAGE INVERTERS ON THE NONLINEAR INDUCTOR-CAPACITOR HEATING

Наводиться імітаційна модель резонансного симетричного інвертора з навантаженням в діагоналі моста, призначеного для індукційного нагріву. Розглянуто способи узгодження вихідних параметрів інвертора з параметрами навантажувального нелінійного індукторно-конденсаторного модуля. Пропонується уточнена схема заміщення індуктора.

Ключові слова: індукційний нагрів; інвертор напруги; індуктор; індукторно-конденсаторний модуль; імітаційна модель.

Приводится имитационная модель резонансного симметричного инвертора с нагрузкой в диагонали моста, предназначенного для индукционного нагрева. Рассмотрены способы согласования выходных параметров инвертора с параметрами нагрузочного нелинейного индукторно - конденсаторного модуля. Предлагается уточненная схема замещения индуктора.

Ключевые слова: индукционный нагрев; инвертор напряжения; индуктор; индукторно-конденсаторный модуль; имитационная модель.

An simulation model symmetric resonant inverter with a load of diagonal bridge designed for induction heating. The methods of coordination inverter output parameters with the parameters of nonlinear load inductor-capacitor module. The scheme proposed replacing the inductor.

Keywords: *induction heating; voltage inverter; inductor; inductor-capacitor module; simulation model.*

Вступ. Сучасний етап розвитку виробництва характеризується розширеним застосуванням електротехнологічних процесів, серед них одне з перших місць займає індукційний нагрів металів струмами високої частоти на базі напівпровідникових перетворювачів енергії. До таких процесів відноситься нагрів під ковку, пайку ріжучого інструменту, плавку і зміцнення деталей як шляхом наплавлення твердих сплавів на ріжучі поверхні, так і шляхом поверхневого загартування, що дозволяє отримати високу міцність і твердість поверхневого шару при збереженні пластичності серцевини. Для більшості комплексів, які здійснюють індукційний нагрів, основними блоками є джерела живлення - перетворювачі промислової частоти 50 Гц, в частоту 22, 66, 440 кГц - і інструмент індукційних установок – індуктор [1]. Визначення параметрів джерела живлення і індуктора найбільш раціонально виконувати за допомогою комп'ютерного моделювання.

Так як процес термообробки супроводжується зміною температури в широких межах, то відповідно в широких межах змінюються значення активного опору об'єкта і в більшості випадків його магнітна проникність. При визначенні співвідношень в системі «індуктор-об'єкт» вибирається режим роботи, відповідний заданому стаціонарному процесу, а необхідні зміни вихідних параметрів джерела живлення враховуються при створенні системи управління.

Метою є визначення особливостей роботи резонансного інвертора напруги на нелінійний індукторно-конденсаторний контур.

Результати досліджень. В роботі розроблено модель, яка передбачає визначення основних електромагнітних параметрів індуктора по заданому режиму нагріву і вихідним характеристикам джерела живлення, на прикладі симетричного інвертора з навантаженням в діагоналі моста [2].

Модель створена з блоків розділу Power System Blockset бібліотеки Simulink і по зображенню схожа на електричні схеми. Блоки моделі, що входять в структурну схему відображають математичні співвідношення, характерні для трифазної мережевої напруги, трифазного мережевого випрямляча (Universal Bridge), фільтра Ld Rd, інвертора (VT1-VT4 VD1, Lk, Ck), навантажувального контуру (Ln Rn Cn). Для розрахунку електромагнітних вихідних параметрів (струмів і напруг) використовується наведений в Matlab метод ode45.

Відзначимо, що пакет MATLAB дозволяє з достатнім ступенем точності моделювати силову частину схеми, а система управління моделюється спрощено за допомогою блоку Simulink (Pulse Generator).

Електромагнітні процеси в інверторі досліджені досить детально, тому моделі використовувалися для підтвердження адекватності пропонованої структури.

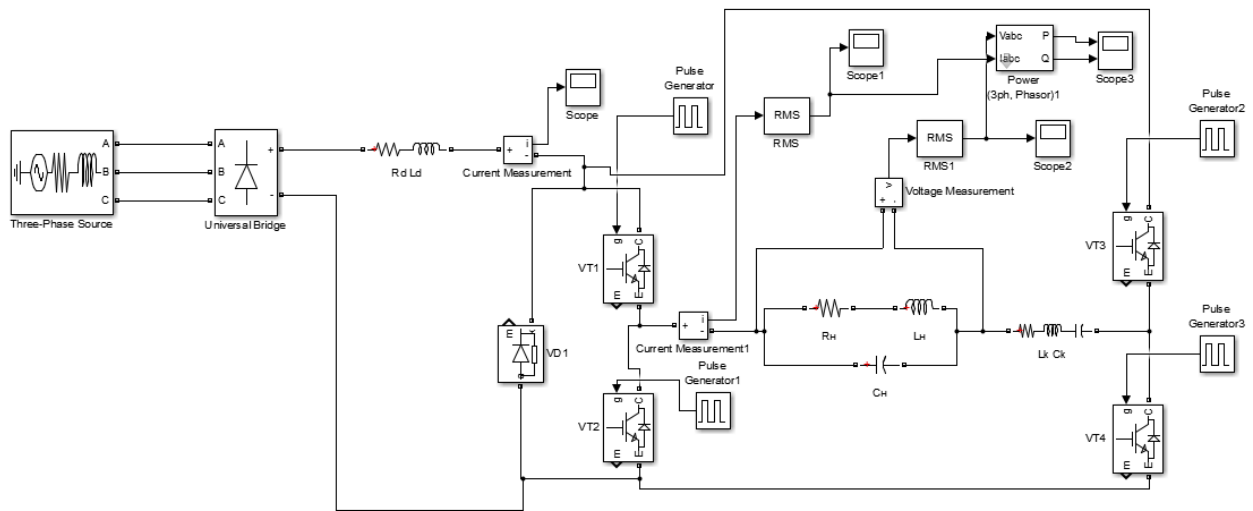


Рис.1. Модель індукторно-конденсаторного модуля спільно з перетворювачем, зібраного за схемою мостового послідовного інвертора з навантаженням в діагоналі моста

Інвертор, представлений на рис. 1, дозволяє отримати напругу на виході вище U_d шляхом відповідного регулювання співвідношення частоти управління і власної частоти резонансного навантажувального контуру. Підвищення напруги спостерігається при невеликих ($\approx 7\%$) відхиленнях власної частоти навантажувального контуру від частоти управління $\omega_{H*} > \omega_{y*}$, тобто тоді, коли еквівалентний опір навантажувального контуру має індуктивний характер. Недоліком такого способу є підвищення напруги на напівпровідникових приладах і конденсаторі.

Крім цього способу підвищення напруги відомо ще кілька способів узгодження вихідних параметрів інвертора і навантаження: за допомогою трансформатора, застосування резонансних інверторів з підвищеною вихідною напругою, проте найбільш прийнятним є застосування складного індукторно-конденсаторного контуру, для дослідження якого розглянемо узагальнену схему заміщення (Рис. 2).

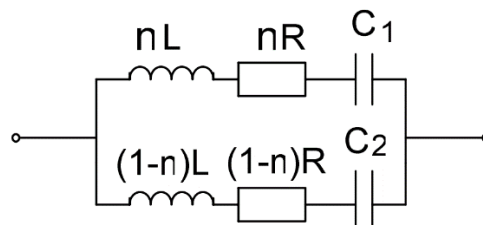


Рис. 2. Узагальнений навантажувальний коливальний контур

Через високу добротність індукторно-конденсаторного модуля його еквівалентні активний і реактивний опори істотно змінюються навіть при

невеликій зміні частоти. Внаслідок цього, з умови необхідності частотного регулювання потужності, необхідно більш точно визначення параметрів індуктора при частоті, відмінній від резонансної. Еквівалентний опір індуктивної гілки резонансного контуру визначається для схеми заміщення індуктора, подібної схемою заміщення трансформатора, де наявність паралельної гілки враховує магнітне опір зворотного замикання.

При незмінній частоті напруги живлення використовується спрощена схема заміщення індуктора, параметри якої залежать від частоти [3].

Параметри спрощеної схеми залежать від частоти напруги живлення, проте ця залежність відрізняється від такої для реальної схеми заміщення.

При дослідженні динамічних режимів слід враховувати наявність гілки, що намагнічується.

Вплив потоку зворотного замикання на роботу установки індукційного нагріву було досліджено в моделі, представленій на рис. 3.

При дослідженні даної моделі отримані графіки вихідних електромагнітних параметрів, представлені на рис. 4.

При розрахунку індуктора без урахування потоку зворотного замикання, як окремої індуктивної гілки, отримуємо завищені значення напруги, що необхідно враховувати при проектуванні такого типу установок.

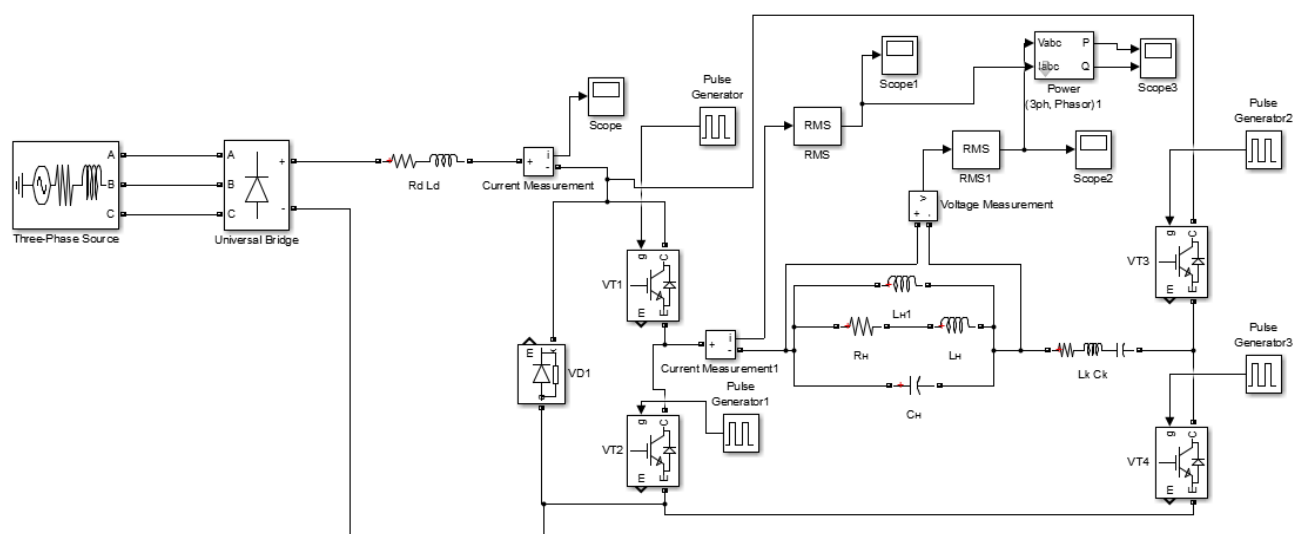
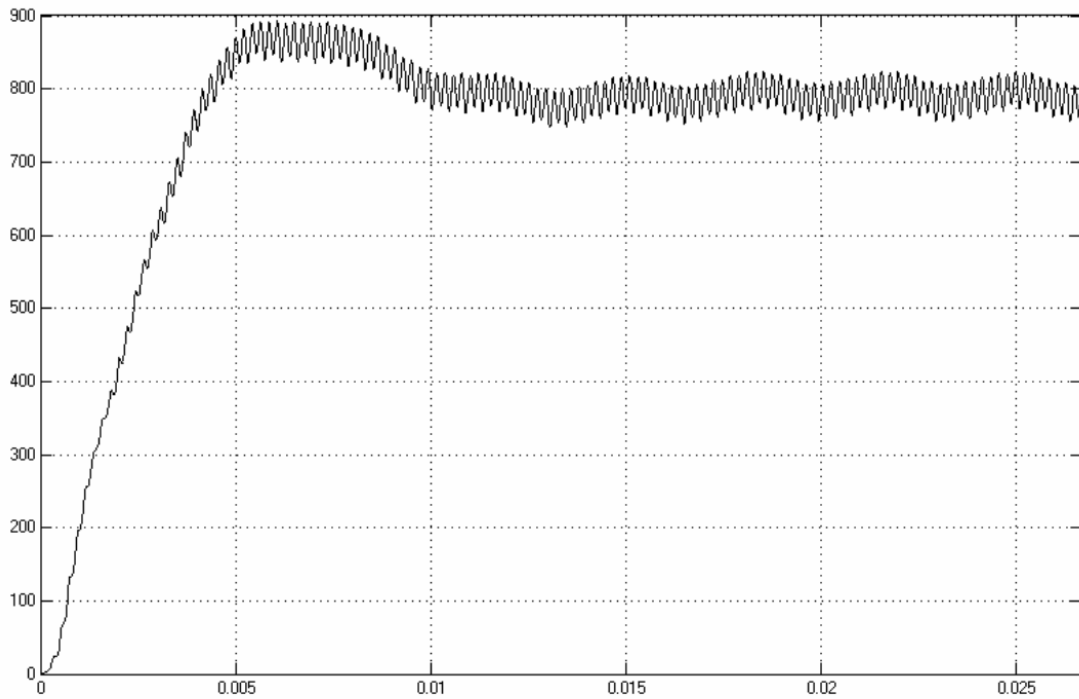
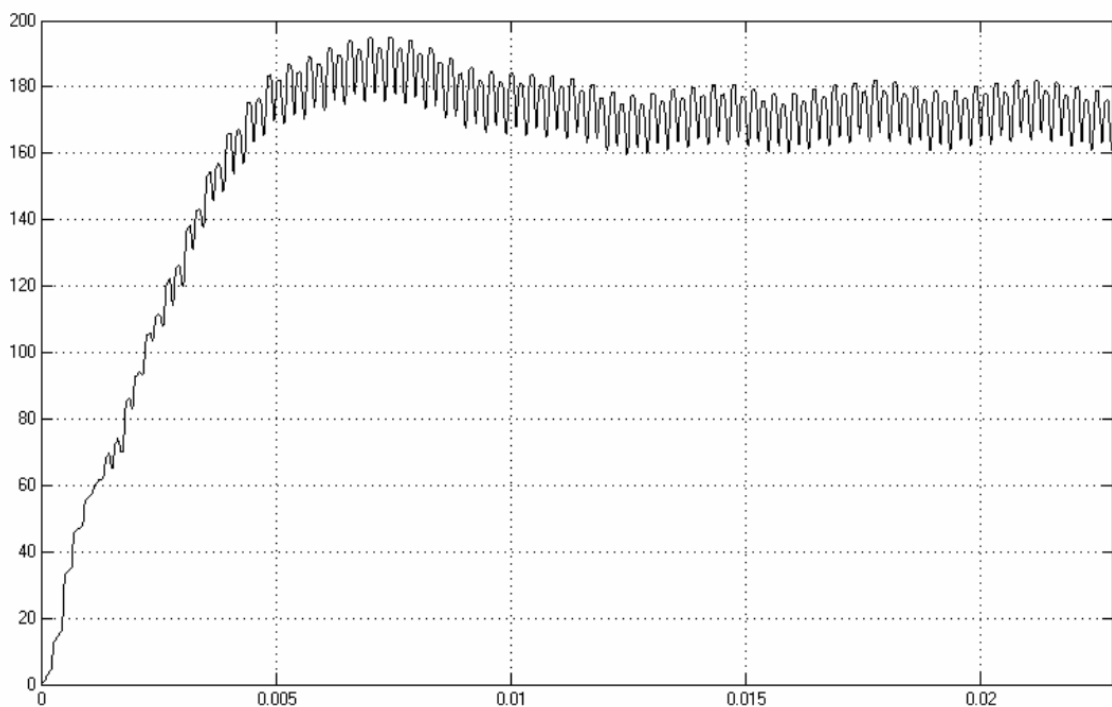


Рис.3. Модель високочастотного індукторно-конденсаторного модуля з окремою індуктивною гілкою, враховує потік зворотного замикання, спільно з джерелом живлення підвищеної частоти



а)



б)

Рис.4. Робота індукторно-конденсаторного модуля спільно з мостовим послідовним резонансним інвертором з навантаженням в діагоналі моста (з урахуванням потоку зворотного замикання):

а - діюче значення напруги на навантаженні інвертора; б - діюче значення струму в навантаженні інвертора.

Висновки

На підставі дослідження електромагнітних процесів в системі «інвертор-індукторно-конденсаторний модуль» можна зробити наступні висновки:

- 1) узгодження параметрів інвертора і навантаження можливо за допомогою складного індукторно-конденсаторного модуля;
- 2) при частотному регулюванні вихідної потужності інвертора необхідно застосувати уточнену схему заміщення індуктора.

Список використаних джерел

1. Юрченко, О.М. Високочастотні транзисторні перетворювачі для високоефективних систем електроживлення технологічних установок [Текст] / О.М. Юрченко, М.М. Юрченко, В.Я. Гуцалюк та ін. // Праці ІЕД НАНУ. Випуск 38– 2014 – С. 137–145.
2. Gayathri, K. Analysis of series resonant inverter with PWM and PDM techniques for industrial heating application [Текст]/ K.Gayathri, V. Nemaand, Mr. A. Suresh // IJPCS 2012, vol. 4, no.2.
3. Слухоцкий, А. Е. Установки индукционного нагрева [Текст] / А. Е. Слухоцкий. – М.: Энергоиздат, -1981, - 325 с.
4. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB [Текст] / И. В. Черных // ДМК Пресс; СПб, Питер 2008. – 288 с.

Стаття надійшла до редакції 11.04.2016 р.