

УДК 621.3.011.74.005

В.В. Михайленко, С.А. Абдулаєв, В.В. Ернст

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ФОРМУВАЧА РОЗРЯДНИХ ІМПУЛЬСІВ У ВИСОКОЧАСТОТНІЙ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ

*Анотація:* У статті створено математичну модель електромагнітних процесів у тиристорних формувачах, які використовують схеми заряду, розряду й додаткового перезаряду накопичувальних конденсаторів на електроіскрове навантаження.

*Ключові слова:* тиристор, напруга, імпульс, розряд, нестабільність, регулювання, перезарядка, час паузи.

При розробці напівпровідникових формувачів розрядних імпульсів (*ФРІ*) для електроживлення технологічних установок об'ємного електроіскрового диспергування (*ОЕІД*) металевих гранул у рідині однією з найбільш складних наукових задач є зменшення нестабільності вихідної напруги *ФРІ*, причому така нестабільність збільшується при зростанні частоти розрядних імпульсів [1].

Відомо, що зростання напруги заряду накопичувального конденсатору *ФРІ* призводить до зменшення електричного опору електроіскрового навантаження. Ця залежність при коливальному заряді конденсатору і його коливальному розряді на навантаження викликає збільшення напруги його перезаряду та підвищення напруги наступного заряду. Виникла потреба розробки схеми *ФРІ* з від'ємним зв'язком між напругою заряду конденсатору і напругою його попереднього перезаряду.

Для реалізації указаної залежності було розроблено схему тиристорного перетворювача, приведену на рис. 1, в якій накопичувальний конденсатор  $C_1$  заряджається через високодобротний дросель  $L_1$  від напівпровідникового формувача постійної напруги *ФПН*.

Для моделювання й аналізу режимів заряду, розряду і перезаряду конденсатору  $C_i$  в схемі на рис. 1 доцільно використовувати прикладні програми типу *Simulink Matlab*, які призначені для чисельного розрахунку сталих і перехідних електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими ключами.

**Метою роботи** було виконати чисельний аналіз електромагнітних процесів у тиристорних формувачах, які використовують схеми заряду, розряду й додаткового перезаряду накопичувальних конденсаторів на електроіскрове навантаження, й обґрунтувати можливість регулювання вихідної напруги зазначених формувачів за рахунок використання зарядного дроселю й зміни часового інтервалу між включеннями тиристорів для перезаряду конденсатору та його наступного заряду.

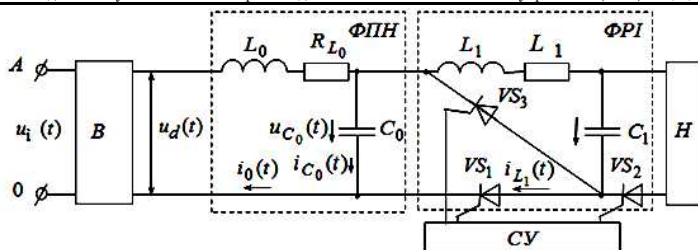


Рис. 1 – Функціональна схема тиристорного перетворювача

На функціональній схемі, приведеній на рис. 1, позначено:  $B$  – однофазний випрямляч напруги мережі живлення  $u_M(t)$ ;  $H$  – електроіскрове навантаження;  $C_0$  і  $C_1$  – ємності фільтруючого конденсатора на виході  $\Phi ПН$  і накопичувального конденсатора  $\Phi$ ;  $L_0$ ,  $L_1$  і  $L_2$  – індуктивності фільтруючого дроселю на виході випрямляча  $B$ , зарядного дроселю конденсатора  $C_1$  та його розрядного контуру;  $R_{L_0}$  і  $R_{L_1}$  – активні електричні опори дроселів  $L_0$  і  $L_1$ ;  $VS_1$ ,  $VS_2$  і  $VS_3$  – зарядний, розрядний і перезарядний тиристорні ключі, які включають почергово;  $СУ$  – система управління включенням тиристорів  $VS_1$ ,  $VS_2$  і  $VS_3$ .

На рис. 2 приведено графіки змінення напруг  $u_{C_0}(t)$  і  $u_{C_1}(t)$  на конденсаторах  $C_0$  і  $C_1$  та струмів  $i_{L_0}(t)$  і  $i_{L_1}(t)$  через дроселі  $L_0$  і  $L_1$  у перехідному й усталеному режимах за два періоди змінення напруги  $u_d(t)$  на виході випрямляча  $B$  (див. рис. 1) без передчасного включення тиристора  $VS_1$ .

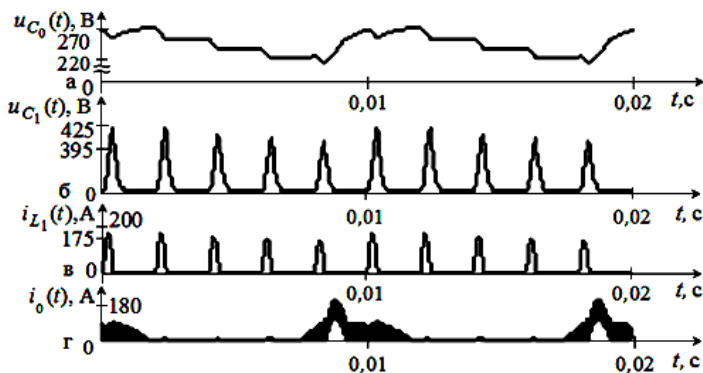


Рис. 2 – Діаграми напруг та струмів

Графіки змінення напруг  $u_{C_0}(t)$  і  $u_{C_1}(t)$  на конденсаторах  $C_0$  і  $C_1$  та струмів  $i_{L_0}(t)$  і  $i_{L_1}(t)$  через дроселі  $L_0$  і  $L_1$  у перехідному й усталеному режимах за два періоди змінення напруги  $u_d(t)$  на виході

випрямляча  $B$  (див. рис. 1) з включенням зарядного тиристора  $VS_1$  раніше, ніж вимикається перезарядний тиристор  $VS_3$ , приведено на рис. 3 і рис. 4.

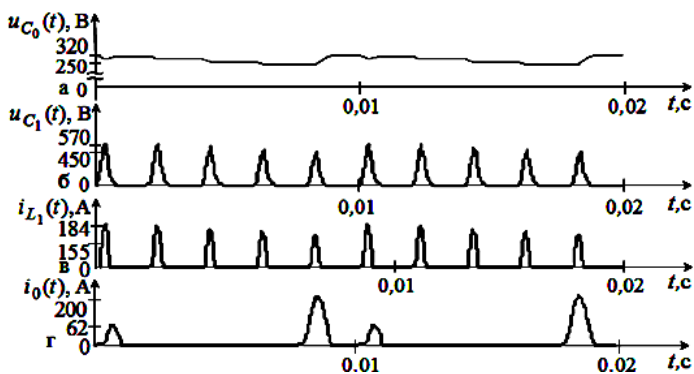


Рис. 3 – Діаграми напруг та струмів

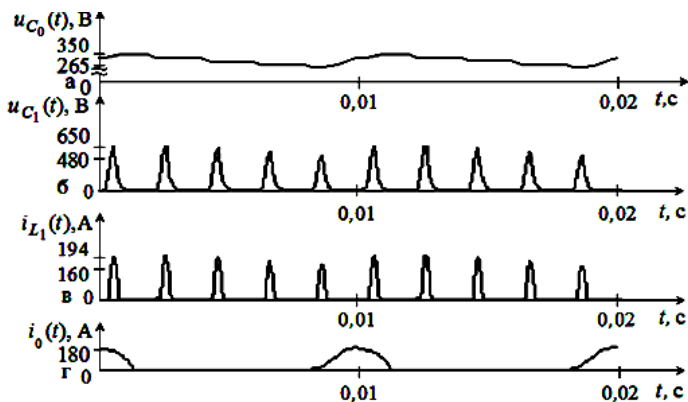


Рис. 4 – Діаграми напруг та струмів

Проводячи змінення паузи між включенням перезарядного  $VS_3$  і зарядного  $VS_1$  тиристорів в окремих зарядно-розрядно-перезарядних циклах можливо досягти зменшення нестабільності напруги на конденсаторі  $C_1$  (тобто на виході  $\Phi PI$ ). При цьому тривалість затримки включення тиристора  $VS_1$  для наступного заряду конденсатора після включення перезарядного тиристора  $VS_3$  буде зменшуватись по мірі розряду конденсатора  $C_0$  під час зарядів конденсатора  $C_1$ , при яких підзаряду конденсатора  $C_0$  від мережі електроживлення не відбувається.

Проведені дослідження підтвердили доцільність використання пакету прикладних програм *Simulink Matlab* для аналізу перехідних і ustalених режимів в суттєво нелінійних електричних колах напівпровідникових перетворювачів параметрів електричної енергії. Особливо важливим є те, що використання пакету прикладних програм *Simulink Matlab* забезпечує дослідження енергетичних і динамічних характеристик, які можуть бути критичними для елементів напівпровідникових  $\Phi PI$ .

Важливим також є те, що використання математичних моделей дає високу повторюваність отриманих результатів на відміну від досліджень на фізичних моделях і експериментальних зразках.

Частота можливих підзарядок від мережі електроживлення конденсатора  $C_0$  для схеми напівпровідникового перетворювача, яка приведена на рис. 1, складає 100 Гц, а частота відбору електричної енергії від нього при зарядах конденсатора  $C_1$  була рівною 500 Гц, а в дійсності може бути набагато більшою.

Це призводить до зменшення напруги на конденсаторі  $C_0$  під час тих зарядів конденсатора  $C_1$ , при яких підзаряду конденсатора  $C_0$  від мережі електроживлення не відбувається. За рахунок відповідного зменшення напруги і на конденсаторі  $C_1$ , виникає низькочастотна модуляція (для даної схеми випрямляча  $\Phi ПН$  з частотою 100 Гц) і вихідної напруги  $\Phi PI$ .

При неузгоджених параметрах  $\Phi РН$  та  $\Phi PI$  нестабільність напруги та інших параметрів розрядних імпульсів у технологічному навантаженні буду зростати. Так збільшення величини ємності  $C_1$  та частоти її зарядно-розрядних циклів призводить до підвищення нестабільності параметрів розрядних імпульсів у навантаженні та збільшує нестабільність режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення.

Збільшення величини ємності конденсатору  $C_0$  зменшує нестабільність параметрів розрядних імпульсів, але при цьому зростає скважність імпульсних струмів на вході  $\Phi РН$  і нестабільність режимів споживання електроенергії від мережі живлення.

Збільшення індуктивності  $L_0$  зменшує скважність імпульсних струмів підзарядки конденсатору  $C_0$  і нестабільність напруги на виході  $\Phi ПН$ , але при досягненні критичних значень призводить до обмеження електричної потужності.

В той же час, незважаючи на нестабільність напруги на виході  $\Phi ПН$ , за рахунок регулювання тривалості паузи між включеннями перезарядного тиристора  $V S_3$  і зарядного тиристора  $V S_1$  можливо забезпечувати регулювання величини напруги на конденсаторі  $C_1$  і відповідно на виході  $\Phi PI$ . Використовуючи такий вплив тривалості паузи між включеннями перезарядного тиристора  $V S_3$  і зарядного тиристора  $V S_1$  можливо і суттєво зменшувати нестабільність напруги розрядних імпульсів в електроіскровому навантаженні.

## Висновки і пропозиції

Підтверджено доцільність використання пакету прикладних програм *Simulink Matlab* для аналізу перехідних і усталених режимів в суттєво нелінійних електричних колах напівпровідникових перетворювачів параметрів електроенергії для живлення електроіскрових навантажень.

Особливо важливим є те, що використання пакету прикладних програм *Simulink Matlab* забезпечує дослідження енергетичних і динамічних характеристик, які можуть бути критичними для елементів напівпровідникових *ФРІ*. Використовуючи вплив тривалості паузи між включеннями перезарядного тиристора  $VS_3$  і зарядного тиристора  $VS_1$  можливо суттєво зменшувати нестабільність напруги розрядних імпульсів в електроіскровому навантаженні.

## Список використаних джерел

1. Михайленко В.В. Регулювання наруги параметрів напівпровідникового формувача розрядних імпульсів у високочастотній електротехнологічній системі шляхом зменшення паузи між включенням пере зарядного та зарядного тиристорів / В. В. Михайленко, А. А. Щерба, О. О. Фаріна // Техн. електродинаміка. Темат. вип. "Силова електроніка та енергоефективність". – 2012. Ч.3. – С. 55–60.
2. Макаренко М.П. Математична модель перетворювача трифазної наруги в постійну наругу / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко // Електроніка и связь. – 2002. – № 14. – С. 73–75.
3. Патент 18750. України. МПК H02M 1/02. Інвертор наруги / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко, В.В. Пілінський, заявник та власник патенту НТУУ "КПІ" – Завл. 31.05.2006, опубл. 15.11.2006. Бюл. № 11.

Отримано 21.03.2014 р.