

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.

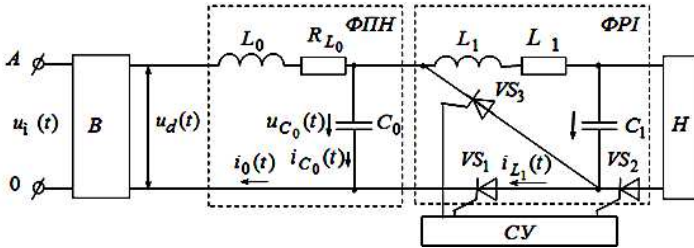


Рис. 1 – Функціональна схема тиристорного перетворювача

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 Φ ; 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 .

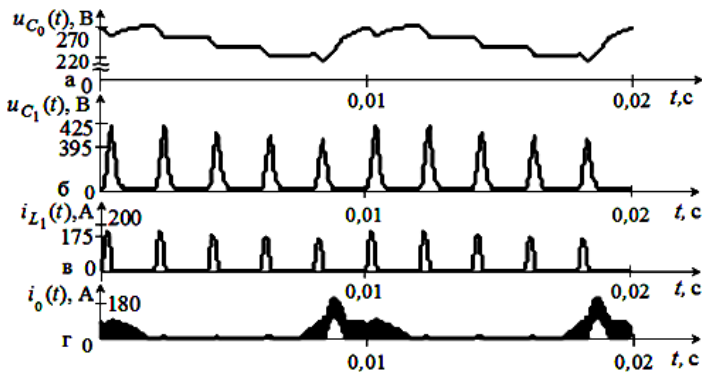


Рис. 2 – Діаграми напруг та струмів

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.

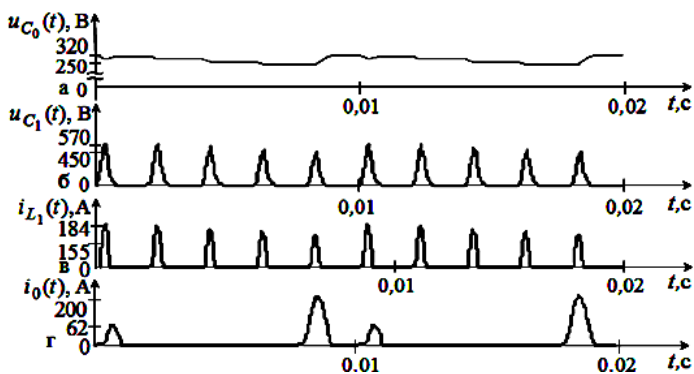


Рис. 3 – Діаграми напруг та струмів

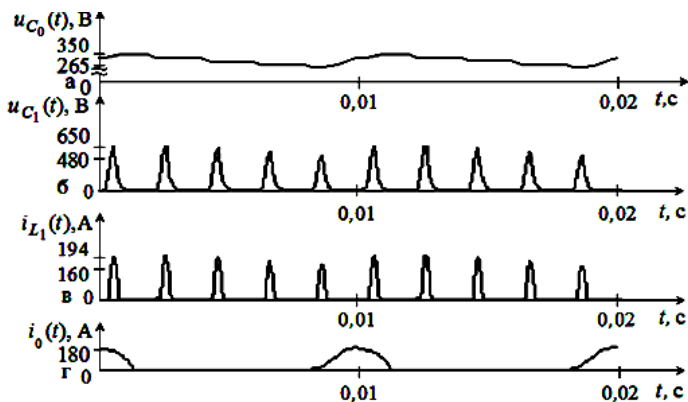


Рис. 4 – Діаграми напруг та струмів

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 ΦPI). 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 ΦPI .

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 ΦPI .

При неузгоджених параметрах $\Phi РН$ та ΦPI 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 ΦPI . 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.