

АДАПТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕПЛОВИЙ ЗАХИСТ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Р. А. Баранюк, к. т. н. В. А. Тодоренко, к. т. н. О. Ф. Бондаренко

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Україна, м. Київ

licornedev@gmail.com, bondarenkoaf@gmail.com

В роботі вирішено задачу забезпечення теплового захисту імпульсних напівпровідникових перетворювачів електроенергії на основі проведення аналізу електротеплових процесів та розробки пристроїв теплового захисту. Запропоновано систему теплового захисту імпульсних напівпровідникових перетворювачів, дія якої базується на адаптації сталої часу системи плавного запуску до температури, а коефіцієнт заповнення імпульсів перетворювача залежить від температури транзистора. Також запропоновано на основі сигналу зворотнього зв'язку щодо температури здійснювати регулювання параметрів пасивних компонентів і зменшувати амплітуду стрибків струму та пульсації температури кристалу транзисторів до прийнятної для поточного теплового стану рівня.

Ключові слова: диференціальні рівняння; стан системи; електротеплова модель; перехідні процеси; джерело живлення.

Забезпечення теплового захисту напівпровідникових перетворювачів електроенергії в процесі їх експлуатації при повторному ввімкненні, коли компоненти є розігрітими, є актуальною задачею. Особливо актуальним це може бути для перетворювачів, що працюють в повторно-короткочасному режимі роботи, як, наприклад, джерела живлення для контактного зварювання. При цьому необхідно забезпечити такі умови безаварійної роботи пристрою під час перехідних процесів, які при зміні навантаження та при короткому замиканні враховували б зміну значень параметрів нагрітих компонентів та зниження максимально допустимих значень параметрів кристалу напівпровідникових компонентів внаслідок нагріву. Згідно з результатами досліджень [1, 2] майже 60% виходів з ладу пристроїв перетворювальної техніки пов'язані з перегрівом. При цьому, підвищення температури на 10°C призводить до подвоєння інтенсивності виходу приладу з ладу.

Задачею даного дослідження було забезпечення теплового захисту напівпровідникових перетворювачів електроенергії, який би не перешкодив їх безперебійній роботі.

На базі опису перетворювальних пристроїв за допомогою диференціальних рівнянь стану системи [3] була побудована система двох рівнянь. Перше рівняння відповідає за швидкоплинні електромагнітні перехідні процеси, в яких електричні параметри компонентів залежать від їх температури. Розв'язок даного рівняння знаходиться методом різницевого рівнянь. Друге, рівняння дисипації, описує довготривалі теплові процеси і вирішується методом припасування.

Таким чином, система рівнянь електротеплових процесів розв'язується одночасно двома методами, що також можна використати для розрахунку одного перетворювача в двох середовищах моделювання одночасно: наприклад, різницеві рівняння для електромагнітних процесів — в середовищі MATLAB, рівняння дисипації — методом припасування в середовищі Plescs. Розв'язком даної системи є рівняння, основною складовою якого є матрична експонента. Проаналізувавши характеристичні корені матричної експоненти, можна впливати на ступінь коливальності перехідних процесів шляхом регулювання значень параметрів пасивних компонентів схеми.

Для дослідження найбільш небезпечних режимів роботи було обрано джерело живлення для зварювання живих м'яких тканин — електрокоагулятор, структуру якого представлено на рис. 1. Він складається з двох каскадів: АС/DC-перетворювача, виконаного на базі регульованого напівмостового інвертора напруги, та нерегульованого мостового DC/АС-інвертора. До складу вхідного регульованого АС/DC-перетворювача входять випрямляч В1 мережі живлення, ємнісний С-фільтр, з виходу якого стала напруга поступає на напівмостовий інвертор І1 з системою керування та систе-

мою плавного пуску (СПП). З вихідного трансформатору Т змінна напруга поступає на випрямляч В2 та на LC-фільтр, до виходу якого підключено вхід нерегульованого мостового інвертору І2. Для контролю струмів транзисторів першого та другого інверторів в схему додатково введені два низькоіндуктивних шунти, які включені послідовно зі стійкою транзисторів І1 та в шину живлення другого інвертору І2.

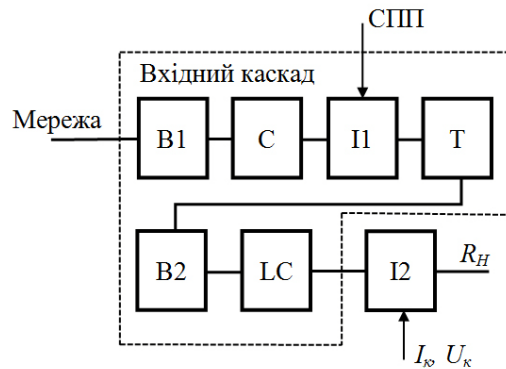


Рис. 1. Структура електрокоагулятора

Під час ввімкнення пристрою навіть зі стабілізацією напруги вхідного каскаду виникають стрибки струму в кристалах напівпровідникових приладів напівмостового та мостового інверторів, що призводить до теплових ударів. Таким чином, для даного випадку необхідно забезпечити тепловий захист під час ввімкнення пристрою шляхом регулювання параметрів пасивних компонентів, тим самим усунувши коливальність перехідного процесу (регулювання характеристичних коренів матричної експоненти).

Наступним небезпечним моментом в роботі пристрою є зміна навантаження та коротке замикання як окремих випадків зміни навантаження. При зміні навантаження мостового інвертору спостерігається неконтрольований стрибок струму в кристалах транзисторів, що призводить до теплового удару по кристалах та, як наслідок, до зниження максимально допустимих значень параметрів приладу. Для забезпечення теплового захисту в даному випадку необхідним є додаткове регулювання перебігу перехідних процесів пристрою після зміни навантаження або короткого замикання.

Використовуючи раніше описану електротеплову модель перетворювача, було створено систему теплового захисту імпульсних перетворювачів електроенергії, яка працює за принципом зворотного зв'язку щодо температури (рис. 2).

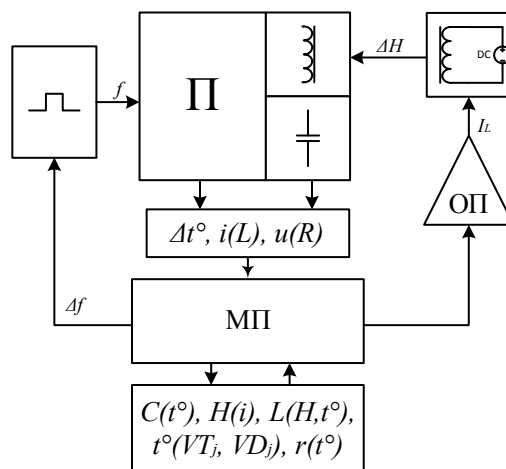


Рис. 2. Система теплового захисту імпульсних перетворювачів електроенергії

Дана модель використовується для регулювання коливальності перехідних процесів в імпульсних напівпровідникових перетворювачах електроенергії з наявними індуктивними компонентами. Тепловий захист перетворювача здійснюється введенням котушки індуктивності, магнітно-зв'язаної з дроселем фільтра перетворювача. Струм котушки, як і частота перемикання вхідного ключа, регулюється мікроконтролером в залежності від нагріву компонентів. Внаслідок роботи даних кіл виконується стабілізація електромагнітних процесів при зміні робочих температур компонентів імпульсних перетворювачів електроенергії.

Зазвичай після зміни навантаження або зняття короткого замикання пристрій здійснює повторний запуск без системи плавного пуску, що при наявності нагрітих компонентів схеми є доволі небезпечним. Тому з'являється необхідність в пристрої, що перезапускає систему плавного пуску після зняття короткого замикання. Однак у випадку короткого замикання система плавного пуску зі стабільною зміною коефіцієнта заповнення імпульсів може бути неефективною, оскільки вона розрахована на початкові температурні значення параметрів компонентів. Для даного випадку необхідно ввести залежність коефіцієнту заповнення імпульсів від температури. На практиці це було реалізовано завдяки використанню мікропроцесора, в програмній частині якого міститься електротеплова модель напівпровідникових приладів. Це дає можливість за допомогою знятих даних параметрів (температури корпусу активних елементів схеми перетворювача, струму у котушці індуктивності та напруги навантаження) розрахувати температуру кристалу активних елементів.

Таким чином, виконаний аналіз дозволив розробити систему теплового захисту імпульсних напівпровідникових перетворювачів. Використання запропонованих рішень в джерелах живлення для зварювання живих м'яких тканин дозволило знизити приведену кількість відмов з 17 до 1,2%.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Fabis P.M, Shun D., Windischmann H. Thermal modelling of diamond-based power electronics package // Proc. 15th Annu. IEEE Semicond. Therm. Meas. Manage. Symp.— 1999.— С. 98—104.
2. Divins D. Using Simulation to Estimate MOSFET Junction Temperature in a Circuit Application // International Rectifier, Power Electronics Technology Exhibition & Conference.— Dallas, Texas.— 2007.
3. Стжелецки Р., Коротеєв І.Е., Жуйков В.Я. Хаотические процессы в системах силовой электроники.— Киев: Аверс, 2001.

R. Baraniuk, V. Todorenko, O. Bondarenko

Adaptive electrothermal protection means for semiconductor converters

The authors solve the problem of thermal protection of pulsed semiconductor converters of electricity based on the analysis of electrothermal processes and development of thermal protection devices. The proposed system for thermal protection of pulsed semiconductor converters is based on temperature adaptation of the time constant of the smooth start system. Pulse stuffing ratio of the transformer depends on the temperature of the transistor. It is also offered to use the temperature feedback signal to regulate the parameters of passive components and to reduce the amplitude of current jumps and temperature pulsations of transistor's crystal to an acceptable level for the current thermal condition.

Keywords: differential equation, system status, electrothermal model, transient processes, power supply.