

*Ст. наук співробітн. Ламанов С.Л.,
Канд. техн. наук, провідн. наук. співробітн. Комісаренко О.І.,
Канд. техн. наук, доцент Комаревцева Л.М.,
Студ. Кушнір О.В.
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)
Ст. виклад. Поляченко О.Ю.
(СНУ ім. Даля, м. Луганськ, Україна)*

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ КОМУТАЦІЇ З ВІДОКРЕМЛЕННЯМ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Проведено порівняння різних схем гібридних комутаційних апаратів, що реалізують відділення джерела живлення у період комутації. Показано, які прості схемні рішення гібридних комутаційних апаратів ефективно обмежують енерговиділення від джерела живлення у період комутації.

Проблема та її зв'язок із науковими та практичними задачами. Перспективним напрямком у рішенні проблеми гасіння дуги в контактних електричних апаратах (ЕА) є створення гібридних комутаційних апаратів, що дозволяють об'єднати позитивні якості контактних і безконтактних ЕА. Широке впровадження гібридних ЕА постійного струму стримується їхньою складністю й утратою деяких цінних властивостей, характерних для контактних ЕА. Звичайно, чим більш інтенсивно гаситься дуга в гібридному апараті, тим він складніше. Основною перевагою таких гібридних апаратів є те, що їх електрична зносостійкість близька до механічної. Проте збільшення зносостійкості шляхом значного ускладнення напівпровідникової схеми ЕА, основою якого все-таки є механізм, вочевидь, не завжди виправдано, тому при їхній розробці варто шукати оптимальні рішення.

Аналіз досліджень і публікацій. Проведені теоретичні дослідження показують, що у силовому ланцюзі постійного струму, який вимикається, з послідовним з'єднанням активно-індуктивного навантаження, комутуючого ЕА і джерела живлення (ДЖ) за час комутації крім запасу електромагнітної енергії, що розсіюється, виділяється велика кількість енергії від ДЖ [1]. Дослідження показують, що кількість енергії, що надходить від ДЖ можна істотно скоротити, якщо поліпшити форму кривої спадання струму $i(t)$ в ланцюзі [2]. Можливості поліпшення інте-

гральних характеристик процесу відключення вичерпуються реалізацією оптимального процесу комутації. Однак, навіть при оптимальній формі кривої $i(t)$, у ланцюг надходить значна кількість енергії ДЖ, особливо при обмеженнях на рівень комутаційних перенапруг.

Постановка задачі. Таким чином, в послідовному ланцюзі неможливо домогтися різкого зниження енерговиділення в дузі відключення шляхом незначних змін конструкції й параметрів дугогасильного пристрою, які поліпшують форму $i(t)$. Навіть після реалізації оптимального процесу залишається значний резерв для поліпшення параметрів за рахунок зниження енергії ДЖ. Цей резерв не можна використати в послідовному ланцюзі.

Подальше поліпшення характеристик процесу відключення може бути досягнуто застосуванням схемних рішень. Тому була поставлена задача дослідити можливості різних схемних рішень гібридних ЕА з метою порівняння їхньої ефективності і вибрати напрямок подальшого поліпшення характеристик процесу відключення шляхом розробки нових схем комутації й конструкцій ЕА.

Виклад матеріалу і його результати. У практиці експлуатації ЕА постійного струму низької напруги на середні й великі струми часто еквівалентна індуктивність джерела живлення $L_{ДЖ}$ несумірно мала в порівнянні з індуктивністю навантаження L_H :

$$L_{ДЖ} \ll L_H, \quad (1)$$

У цьому випадку, при однаковому для навантаження і ДЖ рівні комутаційних перенапруг, тобто, коли

$$L_{ДЖ} \frac{di_1}{dt} = L_H \frac{di_2}{dt}, \quad (2)$$

з урахуванням (1) можна записати:

$$\frac{di_1}{dt} \gg \frac{di_2}{dt}, \quad (3)$$

де i_1 – струм у ланцюзі ДЖ; i_2 – струм у ланцюзі навантаження.

На основі (3) можна зробити наступний висновок. Якщо схемними рішеннями створити умови, при яких струм i_2 в індуктивному навантаженні може існувати незалежно від струму i_1 у ланцюзі ДЖ, то струм i_1 можна переривати (відсікати) раніш, ніж відбудеться спадання струму у навантаженні до нуля. При цьому, надходження енергії ДЖ у ланцюг, що відключається, буде тим меншим, чим швидше відбудеться відсічення i_1 . Таким чином, можна практично цілком виключити енерговиділення від ДЖ і тим самим значно поліпшити характеристики процесу відключення.

Існуючі схеми гібридних апаратів, які дозволяють відокремлювати ДЖ, можна розподілити на дві групи. До першої групи відносяться апарати із шунтуванням тільки навантаження, до другого – із шунту-

ванням навантаження й контактів. Аналізу таких схем присвячене значне число літературних джерел [3], тому нижче наведено тільки короткі характеристики основних рішень із позиції можливості реалізації ними найбільш ефективного відокремлення ДЖ. Розглянуті схеми і типові осцилограми процесів відключення ними ланцюгів наведено на малюнках. Позначення кривих струмів на осцилограмах відповідають позначенням на схемах, моменти початку та закінчення комутації позначено як t_0 та t_K відповідно, момент відділення ДЖ – як t_1 .

Найпростішу схему, що відноситься до першої групи, наведено на рисунку 1а.

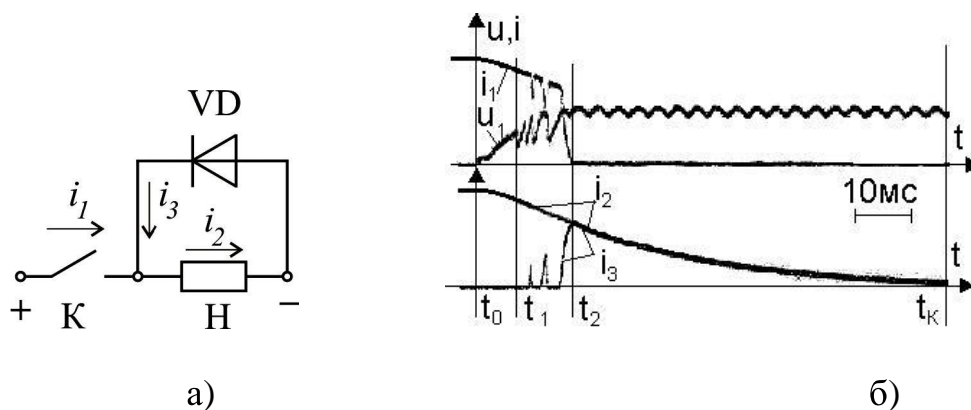


Рисунок 1 – Схема комутації з шунтуванням навантаження діодом (а), та осцилограми струмів у гілках і напруги на контактах (б)

Схема містить контакти К та діод VD, який включений назустріч ДЖ паралельно навантаженню Н. Принцип її дії оснований на тому, що коли при вимиканні напруга u_1 (рис.1б) на контактах досягає рівня напруги джерела живлення, ЕРС самоіндукції навантаження відкриває діод VD, дуга на контактах гасне, струм i_1 з боку ДЖ переривається, а залишок енергії запасеної у навантаженні розсіюється на активному опорі навантаження. Основною перевагою схеми є її простота, відсутність комутаційних перенапруг. Крім того, глибина комутації цього гібридного апарату така ж, як і у базового контактного апарату, тому що схема забезпечує видимий розрив ланцюга. До недоліків схеми відноситься великий час відключення навантаження t_K (на осцилограмі мал.1,б - близько 82мс). Для зменшення цього часу застосовують додаткові лінійні і нелінійні елементи, що розсіюють енергію, але це ускладнює схему, збільшує вагу, габарити й вартість апарату, при цьому зводиться нанівець основна її перевага - простота. Дану схему не можна застосовувати в деяких складних схемах комутації, наприклад, із реверсом навантаження. Нарешті, якщо шунтування навантаження діодом застосовувати в сполученні зі звичайними серійними комутаційними апаратами, її

ефективність незначна. На осцилограмі видно, що з моменту початку комутації t_0 і до моменту першої спроби відділення ДЖ t_1 пройшло близько 10мс і потім, до моменту остаточного відсічення ДЖ у момент t_2 , ще близько 7мс. Для збільшення ефективності роботи схеми мал.1а необхідна зміна конструкції й параметрів дугогасильного пристрою.

Найбільш ефективно вирішують задачу відсічення ДЖ гібридні апарати другої групи. Розроблено ряд схем гібридних апаратів, що здійснюють відділення ДЖ з наступним розсіюванням енергії в дузі відключення, яка є найбільш компактним розсіюючим елементом. На малюнку 2 показано схему ємнісної системи комутації [4] на базі двополюсного апарату і типова осцилограма процесу відключення ланцюга апаратом із такою схемою.

Схема містить головні контакти базового апарату K1 і K2, тиристор VS і блок керування ним БК, конденсатор С, зарядний резистор R1 і діод VD. Схема працює таким чином. Коли контакти K1 і K2, замикаються, тиристор VS закритий і конденсатор С в ланцюзі ”+“-K1-C-R1-”-” заряджається до рівня напруги джерела живлення. Після заряду конденсатора схема готова до відключення. При відключенні, головні контакти K1 і K2 розмикаються і відразу ж БК подає імпульс на відкриття VS. Попередньо заряджений конденсатор С при цьому розряджається на дугу, що виникла на K1. Оскільки струм розряду конденсатора спрямовано зустрічно струму дуги, відбувається її гасіння таким чином досягається відокремлення ДЖ. Електромагнітну енергію навантаження розсіює контур “Н, VD, K2”, при цьому основна її частка згасає на дузі, що горить на K2. Типова осцилограма показує, що процес комутації триває близько 15мс, а відділення ДЖ трапляється через 1,6мс після розмикання контактів.

Перевагами схеми є: практично повна відсутність енерговиділення від ДЖ; швидке розсіяння енергії електромагнітного поля на дузі відключення; можливість застосування такої схеми як додатка до серійних апаратів практично без їхньої переробки.

До недоліків схеми варто віднести: складність; відсутність повної гальванічної розв'язки ланцюга навантаження; використання, як базового, двополюсного апарату, що не завжди виправдано; необхідність підготовчого етапу для зарядки конденсатора.

Недоліки схеми рис.2 усунуті в схемі рис.3. Схема працює таким чином. При замкнутому стані контактів 1 і 4 по ланцюгу “+, 1, 4, R2, С, R1, -” конденсатор С заряджається до рівня напруги джерела живлення.

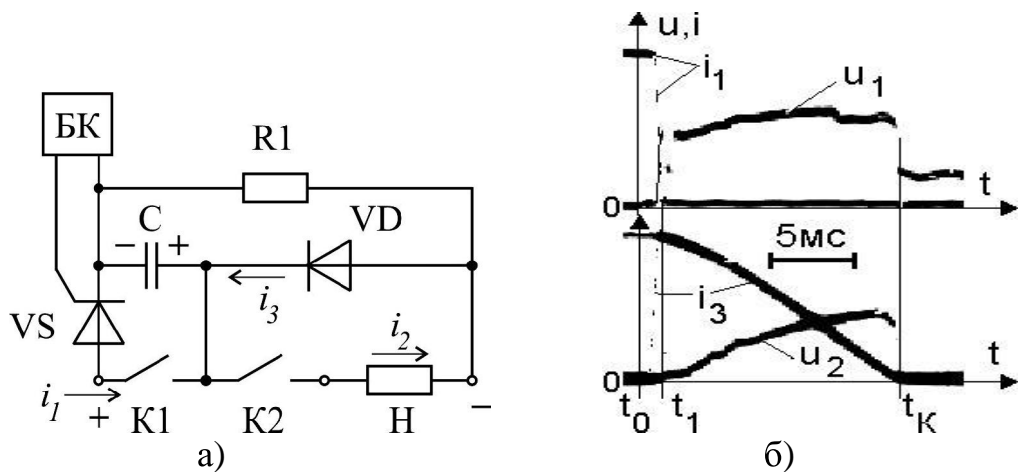


Рисунок 2 – Схема гібридного апарату з комутуючим конденсатором і тиристором (а), та осцилограми струмів у гілках і напруги на контактах (б)

При відключенні, електрична дуга, що утворилася на контактах 1, 4 переміщується в дугогасильну камеру 5 з двома електродами 2 і 3. При розділенні дуги на електродах, дуга в частині 2, 3 гасне, тому що конденсатор С розряджається в контурі “+С, 3, 2, –С”, створюючи при цьому струм, протилежний по напрямку до струму відключення. Тривале протікання струму у ланцюзі “+, 1, 2, С, R2, Н, –” неможливо через наявність у ньому конденсатора С. Струм у ланцюзі “+, 1, 2, R1, –” припиниться, тому що значення опору резистора R1 обирається за такої умови, щоб струм з цього ланцюга був меншим, ніж мінімальний струм дугоутворювання. Таким чином, дуга в частині 1, 2 також гасне, чим здійснюється відділення джерела живлення.

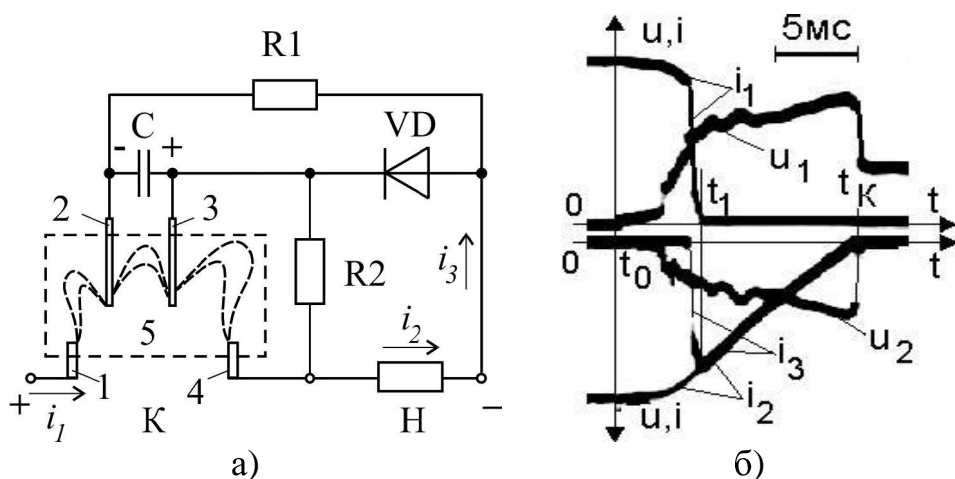


Рисунок 3 – Схема гібридного апарату з комутуючим конденсатором без тиристора (а), та осцилограми струмів у гілках і напруги на контактах (б)

При гасінні частин дуги 1, 2, 3, дією ЕРС самоіндукції навантаження буде відкрито діод VD і в ланцюгу “Н, VD, 3, 4, Н” починає протікати струм $i_3=i_2$. Гасіння частини дуги 3, 4 відбудеться після повного розсіювання енергії, яку накопичено в індуктивності навантаження. У даній схемі функцію відділення ДЖ і розсіювання електромагнітної енергії виконує один комутуючий елемент.

Перевагами схеми є: відсутність тиристора та блоку керування, розряд конденсатора відбувається автоматично, що значно спрощує схему; при розімкнутих контактах у схемі відсутній гальванічний зв'язок навантаження і ДЖ; діод не шунтує навантаження в періоди між комутаціями, що дозволяє легко використовувати гібридний апарат у складних схемах комутації; базовим апаратом є однополюсний апарат.

Основним недоліком схеми мал. 3а, у порівнянні зі схемою мал.2, є те, що відділення ДЖ у ній відбувається не відразу після початку комутації, а через більший час t_1 (на осцилограмі мал.3б $t_1 \approx 5\text{мс}$, $t_K \approx 14\text{мс}$). Цей час визначається, в основному, часом затримки дуги на контактах. За цей період встигає виділитися деяка кількість енергії ДЖ.

Проведений аналіз гібридних схем комутації з відділенням ДЖ і результати їхніх випробувань показали, що для досягнення найбільшої ефективності необхідно здійснювати наступний принцип: за мінімальний час відокремлювати ДЖ від навантаження і накопичену в навантаженні електромагнітну енергію розсіювати на електричній дузі при оптимальній формі кривої $i(t)$ [5].

Рішення поставленої задачі можна одержати при створенні гібридного апарату по схемі, зображеної на рис.4а [6], що дозволяє здійснювати відділення ДЖ без застосування комутуючого конденсатора.

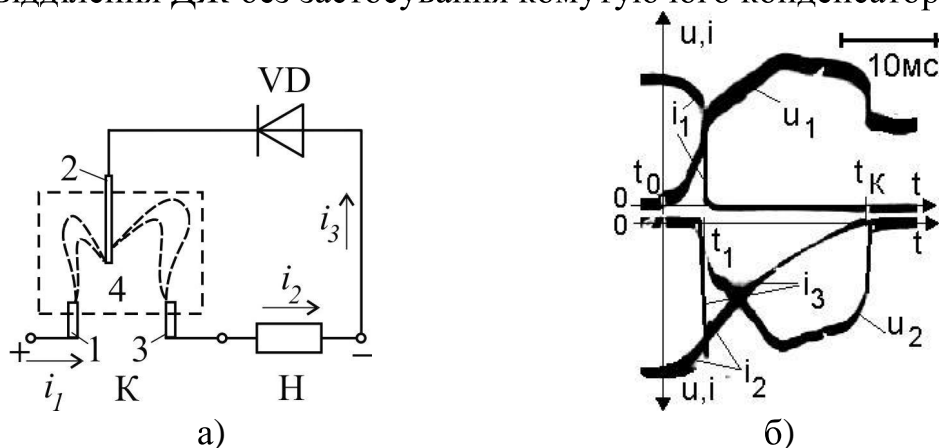


Рисунок 4. Схема гібридного апарату без комутуючого конденсатора (а), та осцилограми струмів у гілках і напруги на контактах (б)

Схема працює в такий спосіб. При розмиканні контактів К базового апарата, електрична дуга, що виникає на них, рухається в напрямку до електрода 2, який вбудовано в дугогасильну камеру 4 базового апарату. Досягнувши електрода, дуга поділяється на дві частини: 1 - 2, що горить з боку ДЖ і 2 - 3, що горить із боку навантаження. Коли під дією ЕРС самоіндукції навантаження відкривається діод VD, частина дуги 1-2 згасне і через це навантаження відокремлюється від ДЖ. Накопичена в навантаженні електромагнітна енергія розсіюється у контурі “Н, VD, 2, 3, Н” на частині дуги, що залишилася, і частково на активному опорі навантаження. Таким чином, схема дозволяє досягти відділення ДЖ і розсіювання енергії поля на дузі в одному комутуючому вузлі, так само як і в схемах із комутуючим конденсатором, але без його застосування.

Розроблена схема має такі переваги: простий устрій, вона більш надійна, оскільки відсутній комутуючий конденсатор та тиристор і блок керування ним; оскільки зріз струму в ланцюзі ДЖ відбувається з меншою швидкістю, така схема менш чутлива до наявності індуктивності ДЖ; використання (у якості базового) однополюсного апарату розширює межі застосування схеми; у гібридному апараті збережені практично всі переваги контактних апаратів.

Основною особливістю схеми є необхідність вносити конструктивні зміни в дугогасильний пристрій базового апарату при її впровадженні, а також те, що вона не зводить цілком нанівець виділення енергії від ДЖ на дузі відключення. Однак, як показали проведені дослідження, навіть при мінімальних змінах конструкції базового апарату при застосуванні такої схеми можна значно поліпшити характеристики процесу відключення. На осцилограмі мал.4б час $t_1 \approx 4\text{мс}$, $t_K \approx 22\text{мс}$. Таким чином, гібридний апарат мал.4а дозволяє скоротити t_K приблизно у чотири рази порівняно з аналогічною за простою схемою мал.1а. В той же час, маючи суттєву ефективність (енерговиділення скорочується більш, ніж у два рази) такий гібридний апарат значно простіший за ємнісні схеми комутації.

Висновки. Проведені дослідження показують, що прості схемні рішення гібридних апаратів з відділенням джерела живлення можуть бути достатньо ефективними. Тому слід продовжувати їх розробку, дослідження, та впровадження у практику електроапаратобудування.

Проведено сравнение различных схем гибридных коммутационных аппаратов, которые реализуют отделение источника питания в период коммутации. Показано как простые схемные решения гибридных коммутационных аппаратов эффективно ограничивают энерговыделение от источников питания в период коммутации

Comparison of different charts of hybrid commutation vehicles which will realize the separation of source of power supply in the period of commutation is conducted. It is shown that simple scheme decisions of hybrid commutation vehicles effectively limit of energy selection from the sources of power supply in the period of commutation

Бібліографічний список.

1. Комиссаренко А.И., Ламанов С.Л., Ткаченко Ю.С. О роли источника питания в энергетическом балансе отключаемой цепи постоянного тока./ *Вісн. Східноукр. нац. Ун-ту ім В.Даля.-2003.-№4(62) с110-114.*

2. Ламанов С.Л., Михайлова Л.Ф., Яковенко В.В., Комиссаренко О.І. Вплив форми кривої спадання струму на енерговиділення у комутуючому елементі./ *Вісн.Східноукр. нац. Ун-ту ім В.Даля - 2006.-№9(103) с. 277-230*

3. Могилевский Г.В. Гибридные электрические аппараты низкого напряжения./ *М.: Энергоатомиздат, 1986.-232с.*

4. Ткаченко Ю.С., Мельничук В.Н. Энергетический баланс дуговых коммутаторов в отключающих аппаратах постоянного тока. /*Сб.Электротехническая промышленность: Сер. Аппараты низкого напряжения, 1976.- №8.- с.1-3.*

5. Ламанов С.Л., Комиссаренко А.И .Мельничук В.Н.

Багданов В.К. Исследование оптимальных условий функционирования гибридных аппаратов с отделением источника питания / Сб. науч. трудов ДонГТУ- 2006 Вып. 21 с. 166-175

6. Таев И.С., Ткаченко Ю.С., Комиссаренко А.И. Исследование коммутирующего устройства постоянного тока с пониженным энерговыделением в период отключения./ *В кн.Тезисы докладов III Всесоюзн.научн.техн.конф.: Состояние и перспективы развития производства аппаратов низкого напряжения. Тбилиси, 1979, с.20-21.*