

к. т. н., провідн. наук. співробітн. Комісаренко О.І.,
ст. наук співробітн. Ламанов С.Л.,
наук. співробітн. Богданова О.В.
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ЧАСОВИХ І ІНТЕГРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ВІДКЛЮЧЕННЯ

Проведено аналіз часових та інтегральних характеристик оптимального процесу відключення, а також залежності інтегральних характеристик цього процесу від комутаційних перенапруг. Виявлено, що зниження енерговиділення в період відключення послідовного електричного ланцюга вичерпується реалізацією оптимального процесу комутації і збільшенням коефіцієнту перенапруги до гранично припустимого рівня.

Проблема та її зв'язок із науковими та практичними задачами. В комутаційних апаратах явище дуги відключення постійного струму при відповідному керуванні процесом гасіння грає позитивну роль. Електрична дуга – один з компактних та дешевих елементів, що розсіює енергію і який може керувати процесом відключення. Однак звичайний контур, що вимикається (рис.1), в якому повинна розсіюватися енергія електромагнітного поля окрім контактів з дугою відключення у дугогасильній камері (\mathcal{D}) та навантаження (зі складовими – активною R_H та індуктивною L_H) містить також і джерело живлення (\mathcal{DJ}).

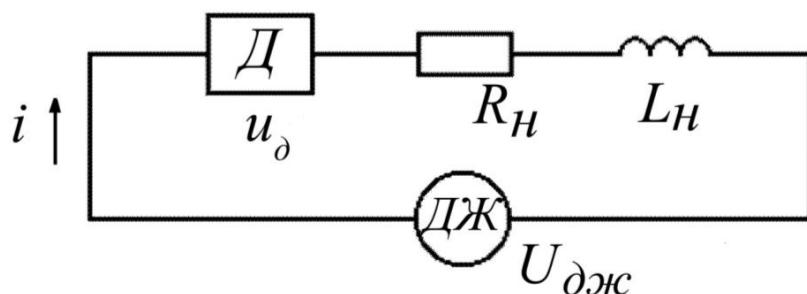


Рисунок 1 – Електричний ланцюг, що вимикається

Тому на активних елементах контуру, окрім енергії поля, попутно

розсіюється і енергія, яка надходить від джерела живлення. Це перевантажує контур, що вимикається „зайвою енергією” і негативно впливає на всі характеристики. Тому знаходження шляхів зменшення цього перевантаження принесе значний економічний ефект та сприятиме розвитку комутаційних апаратів.

Аналіз досліджень і публікацій. Проведені теоретичні дослідження показують, що у силовому ланцюзі постійного струму, який вимикається, з послідовним з'єднанням активно-індуктивного навантаження, комутуючого електричного апарату і джерела живлення 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 інтегральних характеристик процесу відключення вичерпуються реалізацією оптимального процесу комутації. Авторами встановлено, що для зменшення енерговиділення необхідно прагнути, щоб було реалізовано процес відключення близький до оптимального при максимально припустимому рівні комутаційних перенапруг.

Постановка задачі. Таким чином, при дослідженні та аналізі часових та інтегральних характеристик необхідно виявити межі зміни комутаційних перенапруг при яких оптимальний процес комутації максимально ефективний.

Виклад матеріалу і його результати.

На попередніх етапах дослідження доведено, що для здійснення оптимального дугогасіння необхідно, щоб дугогасильний пристрій комутуючого апарату на протязі всього процесу відключення забезпечував напругу на дузі на рівні

$$u_{\partial o}^*(t^*) = const = K_{\Pi}, \quad (1)$$

де $u_{\partial o}^* = u_{\partial o} / U_{\partial \mathcal{K}}$ – напруга на дузі у відносних одиницях при оптимальному процесі;

$u_{\partial o}$ - напруга на дузі при оптимальному процесі;

$U_{\partial \mathcal{K}}$ – напруга джерела живлення;

$t^* = t / T$ - поточний час у відносних одиницях;

$T = L_h / R_h$ – постійна часу;

K_{Π} – коефіцієнт комутаційних перенапруг.

При цьому струм у контурі, що вимикається, буде відповідати рівнянню

$$i_o^*(t^*) = 1 - K_{\Pi} \left[1 - \exp(-t^*) \right], \quad (2)$$

де $i_o^* = i_o / I_h$ – струм при оптимальному процесі відключення у відносних одиницях;

$I_h = U_{\text{дж}} / R_h$ – струм навантаження.

Результати проведеної оптимізації локальних параметрів підтверджують, що при забезпеченні процесу відключення згідно з [1,2] оптимізуються не тільки інтегральні, а також часові характеристики. Даний висновок підтверджується результатами оптимізації інших параметрів, що містяться в літературі [3,4].

На рис.2 представлени часові характеристики - графіки залежностей: струму в ланцюзі, потужності на активних елементах ланцюга і опору дуги для оптимального процесу відключення при коефіцієнті перенапруг $K_{\Pi}=2$ (криві праворуч відповідно i_{do}^* , p_{do}^* , p_{ho}^* та r_{do}^*) і для порівняння аналогічні криві для емпіричного процесу при $n=2$ і $K_{\Pi}=2$ (криві ліворуч відповідно i_{de}^* , p_{de}^* , p_{he}^* та r_{de}^*), дані характеристики вказані у попередніх публікаціях [5, 6]. Часові характеристики (рис.2) підтверджують, що оптимальний процес комутації здійснюється у декілька разів швидше, ніж емпіричний. Значно менші і площі під кривими потужності, які пропорційні відповідним енергетичним характеристикам. Для наочності на рис.3 представлені енергетичні характеристики: $W_{\text{дж}_e}$ - енергія джерела живлення; W_{de} - енергія в дузі; W_{he} - енергія в навантаженні емпіричного процесу відключення при $n=2$ (рис.3а) та енергетичні характеристики: W_{do} , $W_{\text{дж}_o}$, W_{ho} оптимального процесу відключення (рис.3б).

У порівнянні з емпіричним процесом при $n=2$ і $K_{\Pi}=2$ енергія в дузі при оптимальному процесі W_{do}^* зменшується усього в 1,25 рази. Чим вище K_{Π} , тим менше різниця по даному параметру між емпіричним і оптимальним процесами. Так, при $K_{\Pi}=5$ вона вже складає 1,05. Усього при зміні характеру процесу відключення від емпіричного до оптимального у діапазоні зміни n від 1 до 4 і K_{Π} від 1,2 до 5 енергія в дузі може змінюватися приблизно у 4,5 рази, енергія джерела живлення та енергія в навантаженні при цьому можуть змінюватися в десятки разів.

Також, як і при емпіричному процесі, при оптимальному існує оптимальна область змін K_{Π} . Так, при зміні K_{Π} від 1,2 до 2 W_{do}^* зменшується в 1,26 рази, а при зміні K_{Π} від 2 до 5 - у 1,13 разів. Отже,

для істотного зменшення енерговиділення в дузі досить, щоб апарат, що відключає, реалізував процес відключення близький до оптимального, при незначному рівні комутаційних перенапруг ($K_P \approx 1,2\dots 2$). Зменшення рівня K_P нижче 1,2 може привести до затяжної дуги і надмірного збільшення W_δ , а збільшення K_P більше 2 може привести, наприклад, до нераціональної витрати матеріалів системи магнітного дуття, збільшенню імовірності повторних запалювань дуги.

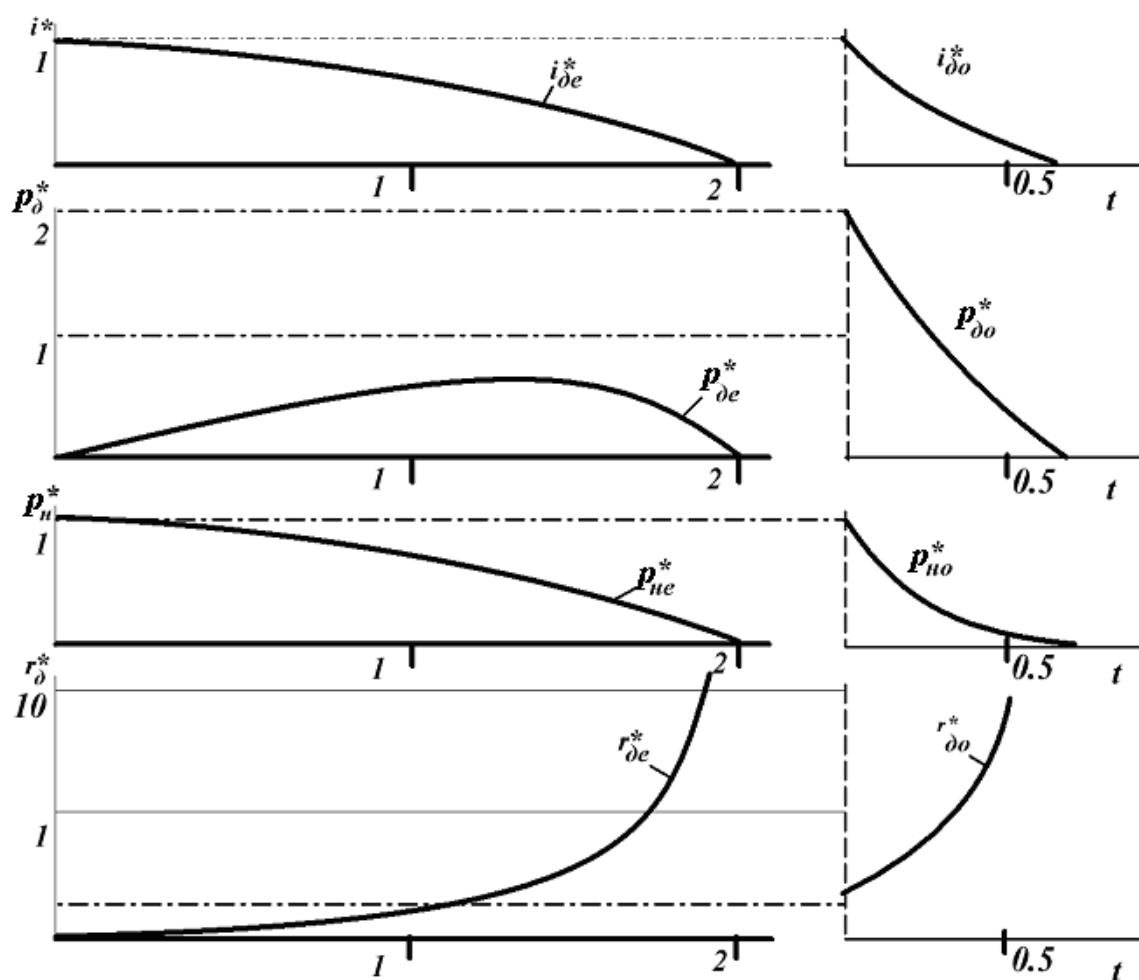


Рисунок 2 - Порівняння часових характеристик емпіричного (ліворуч) і оптимального (праворуч) процесів відключення.

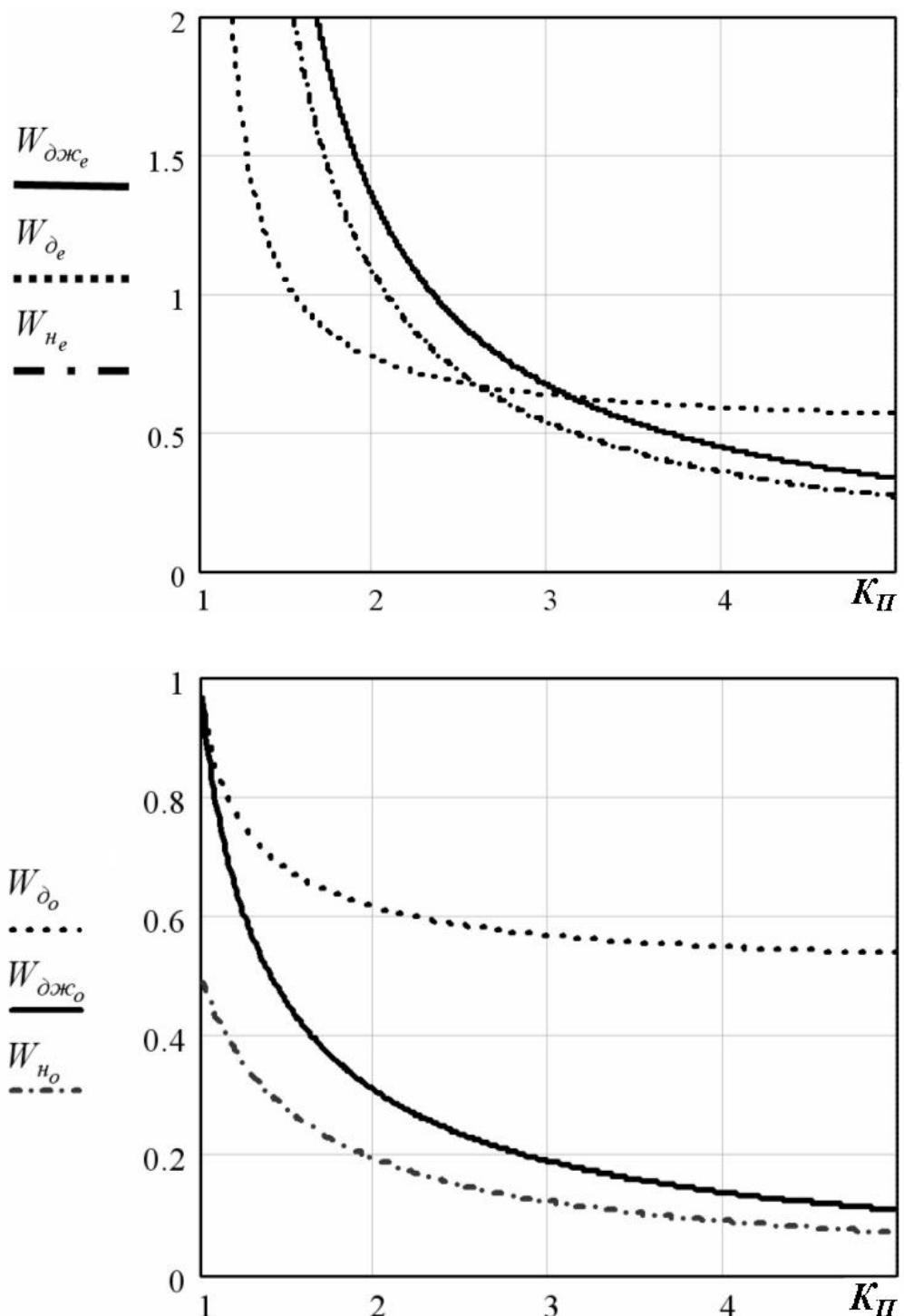


Рисунок 3 - Залежності інтегральних характеристик емпіричного процесу відключення при $n=2$ (а), та оптимального (б) від величини комутаційних перенапруг K_{Π} .

Незважаючи на те, що при переході до оптимального процесу незначно знижується W_∂ (у порівнянні з $W_{\partial_{ж}}$ і W_H), його реалізація може принести істотну користь. Полягає вона в тому, що при оптимальному процесі можна понизити рівень комутаційних перенапруг K_P (без істотного збільшення часу горіння дуги t_∂ і енергії дуги W_∂). При цьому поліпшуються умови експлуатації як навантаження, так і комутаційного апарату. Наприклад, зменшується імовірність пробою напівпровідниковых приладів.

Висновки. Можливості зниження енерговиділення в період відключення послідовного ланцюга вичерпуються реалізацією оптимального процесу і збільшенням K_P до гранично припустимого рівня.

Можна констатувати, що при $u_{\partial o}^*(t^*) = K_P$ досягається мінімальне надходження енергії в ланцюг, що відключається, та оптимальний розподіл цієї енергії по елементах ланцюга. Мінімальне енерговиділення в ланцюзі досягається за рахунок підтримки на гранично припустимому рівні швидкості зростання опору дуги, що перешкоджає надмірному надходженню енергії джерела живлення, а також сприяє найшвидшому розсіюванню енергії поля.

Проведен анализ временных и интегральных характеристик оптимального процесса отключения, а также зависимости интегральных характеристик этого процесса от коммутационных перенапряжений, выявлено, что снижение энерговыделения в период отключения последовательной электрической цепи исчерпывается реализацией оптимального процесса коммутации и увеличением коэффициента перенапряжения до гранично допустимого уровня.

The analysis of temporal and integral descriptions of optimum process of disconnecting, and also dependences of integral descriptions of this process, is conducted from commutation overstrains, it is exposed, that the decline of energy selection in the period of disconnecting of successive electric chain is closed realization of optimum process of commutation and increase of coefficient of overstrain to the border possible level.

Бібліографічний список.

1. Комисаренко А.И., Ламанов С.Л., Ткаченко Ю.С. *О роли источника питания в энергетическом балансе отключающей цепи постоянного тока / Вісн. Східноукр. нац. Ун-ту им В.Даля.-2003.- №4(62) с110-114.*
2. Ламанов С.Л., Михайлова Л.Ф., Яковенко В.В., Комісаренко 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. Канов Л.Н., Марактанов В.А., Скляров Ю.С. *Оптимальное управление коммутационными процессами в электрических цепях постоянного тока.- В кн.: Третий национальный симпозиум с международным участием СИЕЛА-77: Перспективы и проблемы автоматического электроаппаратостроения низкого напряжения. (2. Пловдив, Болгария, 25-28 мая 1977)1977, - С 69-74*
4. Марактанов В.А., Пивненко А.Д. *О возможности создания выключателя, работающего с заданным законом коммутации.- Электротехническая промышленность: Сер. Аппараты низкого напряжения, 1971, № 7, С.3-5.*
5. Комисаренко А.И., Ламанов С.Л., Ткаченко Ю.С., Яковенко В.В. *Аналіз временных характеристик процесса отключения цепей постоянного тока / Вісн.Східноукр. нац. Ун-ту ім В.Даля - 2002.- №8(54) С. 61-66.*
6. Комисаренко А.И., Ламанов С.Л. *Методика исследований процесса отключения цепей постоянного тока контактными коммутационными аппаратами / Вісн.Східноукр. нац. Ун-ту ім В.Даля - 2002.-№1(47) С. 18-24.*

*Рекомендовано до друку
д. т. н., проф. Зеленовим А.Б.*