

ВПЛИВ ФОРМИ КРИВОЇ СПАДАННЯ СТРУМУ НА ЕНЕРГОВИДІЛЕННЯ ПРИ ВИМИКАННІ НАВАНТАЖЕННЯ

Комісаренко О.І., к.т.н., доц., Ламанов С.Л.

Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля

Україна, 91034, Луганськ, кв. Молодіжний, 20-А, СНУ ім. В. Даля, кафедра електромеханіки

Показано, що в реальному діапазоні зміни параметрів ланцюга, що відключається, для суттєвого зниження енерговиділення в навантаженні, за інших рівних умов, необхідно покращувати форму кривої $i(t)$, а коефіцієнт комутаційних перенапруг доводити до максимально допустимого рівня. Аналіз проводиться у відносних одиницях.

Показано, что в реальном диапазоне изменения параметров цепи, которая отключается, для существенного снижения энерговыделения в нагрузке, при прочих равных условиях, необходимо улучшать форму кривой $i(t)$, а коэффициент коммутационных перенапряжений довести до максимально допустимого уровня. Анализ проводится в относительных единицах.

ПРОБЛЕМА ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ НАУКОВИМИ ТА ПРАКТИЧНИМИ ЗАДАЧАМИ

При відключенні деяких видів навантажень виникає проблема мінімізації енергетичних характеристик процесу відключення. Наприклад, при захисному відключенні при зриві інвертування автономних інверторів із ланкою постійного струму, для збереження напівпровідникових приладів необхідно мінімізувати джоуль інтеграл (захисний показник). При цьому часто схеми випрямляча й інвертора припускають наявність у колії значної індуктивності фільтрових і комутуючих дроселів, у якій накопичується магнітна енергія.

$$W_M = \frac{L \cdot I^2}{2} = \frac{T_H \cdot R_H \cdot I^2}{2},$$

де L - сумарна індуктивність контуру; I - струм у контурі на момент комутації; T_H - стала часу; R_H - активна складова опору навантаження.

У такому випадку необхідність розсіяти значний запас електромагнітної енергії без істотних перенапруг приводить до значного побіжного виділення енергії джерела живлення (ДЖ). Становить інтерес дослідження факторів, що впливають на енергетичні характеристики навантаження й оцінка ступеня такого впливу.

Результати аналізу факторів, що впливають на енерговиділення, пошук шляхів зниження енергії на навантаженні дозволяють виробляти рекомендації по конструюванню комутаційних апаратів із якнайкращими характеристиками.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У [1], використовуючи розроблену методику [2] досліджено вплив форми кривої спаду струму $i(t)$ на енерговиділення від ДЖ. Проведений аналіз дозволив зробити висновки про те, що у розглянутому діапазоні зміни форми кривої $i(t)$ величина енергії, що надходить від ДЖ - $W_{ДЖ}$ може змінюватися в десятки разів. Отже, змінюючи конструкцію й параметри дугогасного пристрою (ДП), від яких залежить форма кривої спаду струму $i(t)$, можна суттєво впливати на кількість енергії від ДЖ, що надходить у коло, що відключається. Однак, у [3] приведені результати досліджень, які вказують на порівняно слабку залежність від форми кривої $i(t)$ енергії дуги відключення при коефіцієнті перенапруг більш ніж 2,3.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Якщо реалізувати шляхом зміни конструкції ДП комутаційного апарата надані в [1, 3] рекомендації, то можна знизити надходження енергії від ДЖ і енерговиділення у дузі відключення, що важливо, наприклад, для апаратів керування. Але для апаратів захисту, із точки зору їх призначення, більш важливими є енергетичні характеристики навантаження.

Енергія, що розсіюється на активному опорі навантаження, не здійснює такого безпосереднього впливу на апарат, що відключає, як енергія дуги. Однак при аварійних відключеннях апарат, що відключає, не можна розглядати поза його зв'язком із навантаженням. Від того, який процес відключення аварійного режиму забезпечить апарат, залежить кількість енергії, що виділилася на навантаженні, а від неї залежить, зокрема, надійність навантаження. Показовий у цьому змісті приклад, коли плавкі запобіжники захищають напівпровідникові прилади. Аналіз енергетичних характеристик навантаження дозволить визначити шляхи зниження енерговиділення на навантаженні в період аварійних відключень. Крім того, такий аналіз дозволить до кінця з'ясувати взаємозв'язок енергетичних характеристик із характером процесу відключення.

Тому ставиться задача, використовуючи ту ж методику, проаналізувати вплив форми кривої $i(t)$ на енерговиділення в навантаженні. Для цього в контурі, що вмикається, який містить послідовно ввімкнені ДЖ, активно-індуктивне навантаження і комутатор із дугою відключення, замінимо нелінійний елемент - дугу відключення з опором $r_d(i)$ - параметричним комутуючим елементом (КЕ), який змінює свій опір $r_{КЕ}(t)$ таким чином, щоб реалізувати у контурі, що вмикається, криву спадання струму, описувану відомим виразом:

$$i(t) = I \cdot \left[1 - \left(\frac{t}{t_K} \right)^n \right] = I \cdot \left[1 - \left(\frac{K_{П-1}}{n} \cdot t \right)^n \right], \quad (1)$$

або у відносних одиницях:

$$i^*(t^*) = 1 - \left(\frac{t^*}{t_K^*} \right)^n = 1 - \left(\frac{K_{П-1}}{n} \cdot t^* \right)^n, \quad (2)$$

де $t_k = \frac{n}{u_{KE}(t_k)-1} = \frac{n}{K_{\Pi}-1}$ - час комутації; $u_{KE}(t_k)$ - максимальна за період відключення напруга на КЕ; n - емпіричний коефіцієнт, що змінюється в межах $1 \leq n \leq 4$ залежно від типу дугогасильного пристрою; $K_{\Pi} = \frac{u_{KE}(t_k)}{E_{ДЖ}}$ - коефіцієнт комутаційних перенапруг; $E_{ДЖ}$ - ЕРС ДЖ; $i^*(t^*) = i(t)/I$, $t^* = t/T_H$ - нормовані чинники.

Зробимо аналіз енергетичних характеристик процесу відключення (2).

АНАЛІЗ І РЕЗУЛЬТАТИ

Кількість енергії, що виділяється в навантаженні, визначається виразом:

$$W_H = \int_0^{t_k} u_H(t) \cdot i(t) \cdot dt = R_H \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot dt, \quad (3)$$

де $u_H(t)$ - напруга на навантаженні; чи у відносних одиницях:

$$W_H^* = \frac{W_H}{E_{ДЖ} \cdot I \cdot T_H} = \int_0^{t_k^*} [i^*(t^*)]^2 dt^*. \quad (4)$$

Підставивши у (4) вираз (2), одержимо:

$$W_H^* = \int_0^{t_k^*} \left[1 - \left(\frac{t^*}{t_k^*} \right)^n \right]^2 dt^*, \quad (5)$$

або, після інтегрування:

$$W_H^* = t_k^* \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} = \frac{2n^3}{(K_{\Pi}-1)(n+1)(2n+1)}. \quad (5)$$

По (5) розраховані графіки залежності $W_H^* = f(K_{\Pi})$ для різних значень емпіричного коефіцієнта n . Графіки зображено на рис. 1.

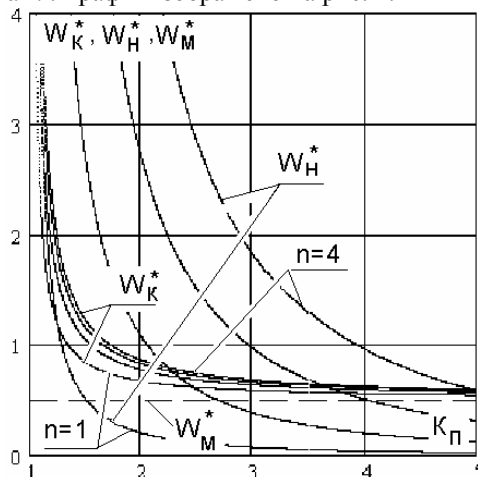


Рис. 1. Криві залежності $W_H^* = f(K_{\Pi})$, $W_K^* = f(K_{\Pi})$ та $W_M^* = f(K_{\Pi})$ при різних n

Графіки, наведені на рис. 1 показують, що енерговиділення в навантаженні суттєво залежить як від рівня перенапруг K_{Π} , так і від форми кривої $i^*(t^*)$.

Таким чином, має сенс знижувати енергію W_H , в першу чергу, шляхом "поліпшення" кривої спадання струму в процесі відключення, а не за рахунок збільшення рівня K_{Π} (наприклад, збільшуючи інтенсивність дугтя, звужуючи ширину щілини дугогасильної камери). Збільшений рівень K_{Π} призведе до збільшення ймовірності повторних запалювань дуги, це може звести нанівець отримані переваги.

Співставлення кривих $W_H^* = f(K_{\Pi})$ і $W_K^* = f(K_{\Pi})$ та прямої, яка відображає запас електромагнітної енергії $W_M^* = 0,5$ приведених на рис. 1, показує, що при певних параметрах ДП (низькі значення K_{Π} та великі n) на елементах контуру, що вимикається, за період відключення розсіюється дуже багато енергії від ДЖ. Особливо це стосується енерговиділення на навантаженні. Тому, окрім наведених вище рекомендацій щодо проектування ДП, найбільш радикальним рішенням є розробка та впровадження схемних рішень, які дозволяють у період відключення відокремлювати навантаження та ДП від ДЖ.

ВИСНОВКИ Й НАПРЯМОК ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Таким чином, із проведеного аналізу можна зробити такі висновки. Для того щоб зменшити енерговиділення на навантаженні, необхідно прагнути до того, щоб розроблюваний ДП реалізував процес відключення, близький до емпіричного процесу з коефіцієнтом $n=1$ при максимально припустимому рівні K_{Π} . Однак, перевагу слід надавати тим конструкціям ДП, які забезпечують кращу форму кривої спадання струму при менших рівнях K_{Π} .

Зроблені висновки цілком відносяться і до джоулева інтеграла, вираз для якого у відносних одиницях збігається з виразом для енергії навантаження W_H^* :

$$D^* = \int_0^{t_k^*} [i^*(t^*)]^2 dt^*. \quad (6)$$

Оскільки відносна кількість енергії $W_{ДЖ}^*$ згідно з методикою, пропонується прийняти за універсальний показник якості процесу відключення, в подальшому необхідно встановити криву спадання струму, яка мінімізує цей показник та уточнити наведені рекомендації і висновки.

ЛІТЕРАТУРА

- [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). С. 110-114.
- [2] Комиссаренко А.И., Ламанов С.Л. Методика исследования процесса отключения цепей постоянного тока контактными коммутационными аппаратами. Вісн. Східноукр. нац. Ун-ту ім. В. Даля. - 2002-№1(47). С. 18-24.
- [3] 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. 227-230.

Надійшла 01.10.2006