

FEATURES OF DENIAL-OF-SERVICE ATTACKS IN INFORMATION SYSTEMS

Marek A. Aleksander¹, Mikolaj P. Karpinski², Uliana O. Yatsykovska³

¹ State Higher Vocational School in Nowy Sacz,
ul. Zamenhofa, 1a, 33-300 Nowy Sacz, Poland; e-mail: aleksmar@pwsz-ns.edu.pl

² University of Bielsko-Biala,
ul. Willowa, 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland; e-mail: mkarpinski@ath.bielsko.pl

³ Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University,
56 Ruska str., Ternopil, 46001, Ukraine; e-mail: price@ukr.net

The paper proposes a mathematical model of communication of client-server that includes the probability of compromised node and the number of all possible routes that can have an admission to access points, have done a comparative characteristics of attacks DoS / DDoS in information systems.

Keywords: computer network, denial of service, mathematical model

Introduction

Because the principle of open networks and access to them are specific features of their structure and processes of operation, such as openness, protection [1], characterized by significant heterogeneity [2]. At present, special attention focuses on new areas of development and improvement of data networks. Among them should provide wireless (mobile) networks. Such networks provide the user with unique opportunities for fast access to remote network resources, including the global network Internet, limiting his mobility, not linking to the wired communication lines [3].

With the development and complication of the tools, techniques and processes of information processing increases dependence of modern society on the degree of security used his information technology [4].

Computer network providing every opportunity for exchanging data between the client and server, but now widely distributed attack denial of service clients, the determination of distributed attacks in the network is particularly acute. The most common types of such attacks are DoS / DDoS attacks, which deny certain users of computer network services.

With the constant development of computer networks and the increasing number of users grows and the number of new types of attacks to denial of service. DoS / DDoS attacks are characterized by a straightforward implementation complexity and resistance, which poses new problems of researchers, who are still not yet resolved. Analysis of recent publications shows that exercise is accompanied by attacks: interception of confidential information to unauthorized use of network bandwidth and computational resources, the spread of false information, violation of network administration.

The main part

To solve the task should use the classification of information threats, DoS / DDoS attacks and formalized models [1] measure the impact on job performance computer network.

ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ МОДУЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ З ГРАНИЧНО-РОЗРИВНИМ РЕЖИМОМ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИ НЕІДЕНТИЧНОСТІ ІНДУКТИВНОСТЕЙ СИЛОВИХ КАНАЛІВ

Ю.О. Гунченко

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: 7996445@mail.ru

В роботі розглянуто особливості електричних процесів у імпульсних перетворювачах постійної напруги модульних структур з гранично-розривним режимом функціонування при неідентичності індуктивностей силових каналів. Отримано й наведено основні розрахункові співвідношення струмів у елементах каналів при різних системах управління, розроблена методика та наведено приклади визначення електричних параметрів елементів силових каналів.

Ключові слова: перетворювач постійної напруги, гранично-розривний режим, силовий канал, модульна структура, електричні параметри

Постановка проблеми

Побудова джерел електроживлення для різноманітного устаткування, які володіють заданими техніко-економічними показниками, забезпечують якісне та надійне живлення, з можливістю масштабування є важливою науково-технічною задачею. Один з важливих показників – надійність системи, до якої входить джерело електроживлення – частіше перетворювач постійної напруги (ППН), принципово не може бути вищою за надійність перетворювача.

Аналіз досліджень і публікацій

Модульні перетворювачі постійної напруги знаходять широке застосування в джерелах живлення різноманітного призначення, зокрема в джерелах електроживлення відповідального обладнання.

Кількість силових каналів (СК) N (рис. 1) обирається із умов надійності, якості, масагабаритних, динамічних показників, коефіцієнта корисної дії [1, 2]. Додатково зменшити динамічні втрати за рахунок переключення силових ключів – включенні транзисторного і вимкнення діодного ключів при нульовому струмі, поліпшити динамічні показники можливо при граничному чи розривному режимі струму дроселя [2-4].

У відомих роботах [2, 4] отримано математичні моделі і описано електричні процеси як в одному силовому каналі, так і в модульному перетворювачі в цілому при ідентичних параметрах елементів і рівних напругах джерел живлення для СК, що понижують, підвищують та інвертують (рис. 2).

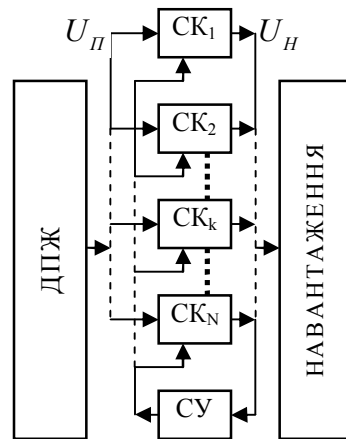


Рис. 1. Структура модульного ППН: ДПЖ – джерело первинного електроживлення, $СК_1, СК_2, \dots, СК_k, \dots, СК_N$ – відповідно 1-ий, 2-ий, ..., k -ий, ..., N -ий силові канали, СУ – система управління, U_{II} – напруга живлення СК, U_H – напруга навантаження СК

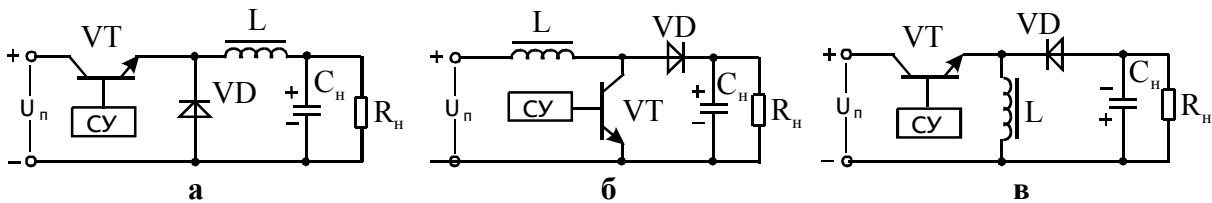


Рис. 2. Схеми силових каналів: а) понижуючої, б) підвищуючої, в) інвертуючої структур

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

На практиці неможливо отримати повну ідентичність елементів – в першу чергу, дроселів індуктивностей СК, неідентичність яких, в залежності від технології виготовлення, температури, струму, нерівномірного старіння матеріалів, може складати до 30% [5]. Неврахування цього фактора – розкиду параметрів елементів СК, призводить до нерівномірного розподілу навантаження між ними та перевищення допустимих параметрів елементів, які до них входять.

Формулювання цілей статті

Ціллю статті є аналіз електричних параметрів і процесів модульних перетворювачів постійної напруги з гранично-розривним режимом функціонування при неідентичності дроселів L_k силових каналів та створення методики їх розрахунку.

Виклад основного матеріалу дослідження

Регулювання струму дроселя $i_{L_k}(t)$, шляхом зміни тривалості регулюючих імпульсів ($t_{н_k} = \text{var}$) и частоти перетворення ($f_k = 1/T_k = \text{var}$), дозволяє регулювати

напругу навантаження U_n при гарантованому граничному чи розривному режимах у всьому діапазоні регулювання.

В принципі, можлива різна реалізація систем управління (СУ) [1, 6], внаслідок чого електричні процеси в СК будуть також різні. Багатообразність систем управління модульних ППН з граничним і розривним режимом функціонування можливо звести к трьом основним типам (по електричним процесам в силових каналах):

1) СУ з розподіленням одного імпульсу управління на всі СК, при необхідності з відповідним зсувом (СУ₁). При цьому виконується умова рівності часу накопичення у всіх СК: $t_{n_k} = t_{n_1}$;

2) СУ з незалежним формуванням імпульсів управління в кожному СК і з негативним зворотним зв'язком по струму навантаження в каналах (СУ₂). При цьому виконується умова рівності середніх струмів навантаження СК: $I_{n_{cpk}} = I_{n_{cpi}}$;

3) СУ з струмковим регулюванням в (СУ₃). При цьому виконується умова рівності амплітудних значень струмів в елементах СК: $I_{m_k} = I_{m_1}$.

Визначимо відношення амплітудних (індекс m), середніх (індекс cp), діючих (без індексу) значень струмів в елементах любых двох СК – дроселях I_{mk} , I_{Lcpk} , I_{Lk} , транзисторах I_{mk} , I_{VTcpk} , I_{VTk} , діодах I_{mk} , I_{VDcpk} , I_{VDk} . Для зручності аналізу й запису будемо порівнювати струми любого k -ого СК с l -им СК, в якому гарантовано досягається граничний режим функціонування. Додаткове допущення – всі СК функціонують з однаковою частотою перетворення, для чого може бути застосована система управління, описана у [6], яка забезпечує функціонування одного СК у граничному режимі, інших у розривному з однаковою частотою перетворення та рівномірним зсувом електричних процесів.

При СУ₁ виконується умова:

$$t_{n_k} = t_{n_1} , \tag{1}$$

де t_{n_1} , t_{n_k} – відповідно час накопичення енергії в l -ом и k -ом каналах.

При рівності напруг живлення $U_{n_1} = U_{n_k}$ й навантаження $U_{n_1} = U_{n_k}$ з врахуванням гранично-розривного режиму амплітуду струмів I_{m_k} для любого k -ого каналу будь-якої структури (понижуючої, підвищуючої, інвертуючої) можливо записати на інтервалах відповідно накопичення і звороту:

$$I_{m_k} = \frac{1}{L_k} \int_0^{t_{n_k}} u_{L_{n_k}}(t) dt = - \frac{1}{L_k} \int_0^{t_{\sigma_k}} u_{L_{\sigma_k}}(t) dt = \frac{1}{L_k} U_{L_{n_k}} K_{n_k} T_k = - \frac{1}{L_k} U_{L_{\sigma_k}} K_{\sigma_k} T_k , \tag{2}$$

де

$U_{L_{n_k}}$, $U_{L_{\sigma_k}}$ – напруга, що прикладається до дроселю k -ого СК відповідно на інтервалах накопичення t_{n_k} і звороту t_{σ_k} ;

L_k – індуктивність дроселя k -ого каналу;

T_k – період перетворення;

$K_{n_k} = t_{n_k} / T_k$, $K_{\sigma_k} = t_{\sigma_k} / T_k$ – коефіцієнти накопичення і звороту k -ого каналу.

З (2) при рівності $U_{n_1} = U_{n_k}$, $U_{n_1} = U_{n_k}$ також слідує виконання для СУ₁ умови:

$$t_{\sigma_k} = t_{\sigma_1} , \quad K_{n_k} = K_{n_1} , \quad K_{\sigma_k} = K_{\sigma_1} . \tag{3}$$

Враховуючі (1) амплітудні значення струмів будь якого k -ого каналу виразимо через відповідне амплітудне значення струму першого каналу:

$$I_{m_k} = I_{m_1} L_1 / L_k . \quad (4)$$

Оскільки середні і діючі струми прямо пропорційні амплітудному значенню [2, 4], а коефіцієнти накопичення $K_{H_k} = K_{H_1}$ і звороту $K_{\epsilon_k} = K_{\epsilon_1}$ рівні (3), при СУ₁, середні і діючі струми елементів схем СК розподіляються аналогічно амплітудним значенням струмів, зворотно пропорційно індуктивностям дроселів каналів, при цьому всі СК функціонують в граничному режимі:

$$\begin{cases} I_{Lcp_k} = \frac{1}{2} I_{m_k} (K_{H_k} + K_{\epsilon_k}) = I_{Lcp_1} L_1 / L_k \\ I_{VTcp_k} = \frac{1}{2} I_{m_k} K_{H_k} = I_{VTcp_1} L_1 / L_k \\ I_{VDcp_k} = \frac{1}{2} I_{m_k} K_{\epsilon_k} = I_{VDcp_1} L_1 / L_k \\ I_{L_k} = \frac{I_{m_k}}{\sqrt{3}} (\sqrt{K_{H_k}} + \sqrt{K_{\epsilon_k}}) = I_{L_1} L_1 / L_k \\ I_{VT_k} = I_{m_k} \sqrt{K_{H_k}} / 3 = I_{VT_1} L_1 / L_k \\ I_{VD_k} = I_{m_k} \sqrt{K_{\epsilon_k}} / 3 = I_{VD_1} L_1 / L_k \end{cases} . \quad (5)$$

За перший «базовий» можна прийняти будь який СК та застосувати для нього формули граничного режиму [2, 4], так як всі канали при СУ₁ функціонують в граничному режимі (рис. 3(а)).

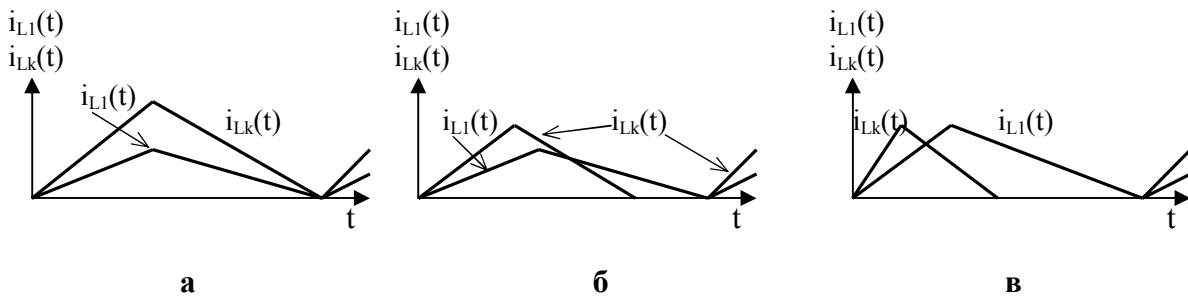


Рис. 3. Діаграми струмів дроселів l -ого і k -ого СК при $L_k = \frac{1}{2} L_1$: а) СУ₁, де $I_{m_k} = 2I_{m_1}$, $t_{H_k} = t_{H_1}$, $t_{\epsilon_k} = t_{\epsilon_1}$; б) СУ₂, де $I_{m_k} = \sqrt{2}I_{m_1}$, $t_{H_k} = \sqrt{\frac{1}{2}}t_{H_1}$, $t_{\epsilon_k} = \sqrt{\frac{1}{2}}t_{\epsilon_1}$; в) СУ₃, де $I_{m_k} = I_{m_1}$, $t_{H_k} = \frac{1}{2}t_{H_1}$, $t_{\epsilon_k} = \frac{1}{2}t_{\epsilon_1}$

При СУ₂ виконується умова рівності середніх струмів навантаження СК:

$$I_{Hcpk} = I_{Hcp_1} . \quad (6)$$

Розглянемо розподіл струмів в СК на прикладі понижуючої структури, для якої струм навантаження відповідає струму дроселя $I_{н_{срk}} = I_{L_{срk}}$ [2].

Середній струм дроселя k -ого силового каналу дорівнює середньому струму дроселя першого каналу:

$$I_{L_{срk}} = \frac{1}{2} I_{m_k} (K_{н_k} + K_{е_k}) = I_{L_{ср1}} = \frac{1}{2} I_{m_1} (K_{н_1} + K_{е_1}). \quad (7)$$

При підстановці в (6) значень коефіцієнтів накопичення і звороту з (2) отримаємо:

$$\frac{1}{2} I_{m_k} \left(\frac{I_{m_k} L_k}{U_{Lн} T} - \frac{I_{m_k} L_k}{U_{Lе} T} \right) = \frac{1}{2} I_{m_1} \left(\frac{I_{m_1} L_1}{U_{Lн} T} - \frac{I_{m_1} L_1}{U_{Lе} T} \right) \Rightarrow I_{m_k} = I_{m_1} \sqrt{L_1/L_k}. \quad (8)$$

При цьому амплітудні значення струмів в елементах СК розподіляються зворотно пропорційно кореням квадратним індуктивностей дроселів каналів. Аналогічний результат отримано для структур, що підвищують і інвертують .

Підставляючи (8) в (2), визначимо розподіл коефіцієнтів накопичення та звороту в СК:

$$K_{н_k} = K_{н_1} \sqrt{L_k/L_1}, \quad K_{е_k} = K_{е_1} \sqrt{L_k/L_1}. \quad (9)$$

Діючі струми в елементах СК при підстановці (8) і (9) в (5) розподіляться наступним чином:

$$\begin{cases} I_{L_k} = I_{L_1} (L_1/L_k)^{1/4} \\ I_{VT_k} = I_{VT_1} (L_1/L_k)^{1/4} \\ I_{VD_k} = I_{VD_1} (L_1/L_k)^{1/4} \end{cases}. \quad (10)$$

При цьому СК з максимальним значенням індуктивності буде функціонувати в граничному режимі, інші – в розривному режимі (рис. 3(б)). Відповідно за базовий «перший» слід прийняти СК с $L_1 = L_{\max}$, для якого підійдуть співвідношення граничного режиму [2, 4].

При СУ₃ виконується умова рівності амплітудних значень струмів в каналах:

$$I_{m_k} = I_{m_1}. \quad (11)$$

Підставляючи (11) в (2), визначимо розподіл коефіцієнтів накопичення і звороту в СК:

$$K_{н_k} = K_{н_1} L_k/L_1, \quad K_{е_k} = K_{е_1} L_k/L_1. \quad (12)$$

Коефіцієнти накопичення і звороту в каналах розподіляються прямо пропорційно індуктивностям каналів.

Середні і діючі струми в елементах каналів отримаємо, підставляючи (11) та (12) в (5):

$$\begin{cases} I_{L_{epk}} = I_{L_{ep1}} L_k / L_1 \\ I_{VT_{epk}} = I_{VT_{ep1}} L_k / L_1 \\ I_{VD_{epk}} = I_{VD_{ep1}} L_k / L_1 \\ I_{L_k} = I_{L_1} \sqrt{L_k / L_1} \\ I_{VT_k} = I_{VT_1} \sqrt{L_k / L_1} \\ I_{VD_k} = I_{VD_1} \sqrt{L_k / L_1} \end{cases} \quad (13)$$

Середні струми в СК розподіляються прямо пропорційно, а діючі струми прямо пропорційно квадратним кореням значень індуктивностей каналів.

При СУ₃, аналогічно СУ₂, силовий канал з максимальною індуктивністю функціонує в граничному режимі (рис. 3(в)), відповідно його слід прийняти за базовий «перший».

На рис. 4 приведено залежності відношень амплітудних значень струмів елементів I_{m_k} / I_{m_1} (рис. 4(а)), середніх значень $I_{L_{epk}} / I_{L_{ep1}}$, $I_{VT_{epk}} / I_{VT_{ep1}}$, $I_{VD_{epk}} / I_{VD_{ep1}}$ (рис. 4(б)) та діючих значень струмів в елементах СК I_{L_k} / I_{L_1} , I_{VT_k} / I_{VT_1} , I_{VD_k} / I_{VD_1} (рис. 4(в)) від відношення індуктивностей СК.

Аналіз отриманих співвідношень і залежностей показує:

1) Електричні процеси при неідентичності дроселів в СК залежать від типу системи управління і не залежить від типу силового каналу.

2) При СУ₁ всі силові канали можуть функціонувати у граничному режимі. При СУ₂ та СУ₃ – в граничному режимі функціонує СК з максимальним значенням індуктивності, інші – в розривному.

3) Неідентичність дроселів в більший ступінь впливає (рис. 3) на струми елементів силових каналів з СУ₁, відповідно елементи СК з СУ₁ необхідно обирати з більшим запасом по струму і потужності, що розсіюється.

4) Найбільш близькі по значенням діючих струмів і, відповідно, по потужності, що розсіюється і температурним режимам однотипні елементи СК з СУ₂.

Виходячи з вищевикладеного, пропонується методика визначення електричних параметрів для любого k -ого СК модульної структури, яка складається із 5 основних шагів.

Шаг 1. Вибір першого «базового» каналу. Визначаємо СК (вважаємо його першим), гарантовано функціонуючого в граничному режимі. Цім каналом буде СК с максимальним значенням індуктивності $L_1 = L_{max}$ для СУ₂ и СУ₃ і будь який СК для СУ₁ при неідентичності дроселів.

Шаг 2. Визначення параметрів граничного режиму. Для першого СК, що функціонує в граничному режимі, визначаємо [4] коефіцієнти накопичення K_{n_1} , звороту K_{e_1} .

Шаг 3. Із умови рівності суми середніх струмів по колам навантаження СК струму навантаження $\sum_{k=1}^N I_{n_{epk}} = I_{n_{ep}} = \frac{U}{R_n}$, умови відповідності струму навантаження струму

дроселя $i_{n_k}(t) = i_{L_k}(t)$ (для структури, що понижує) чи струму діода $i_{n_k}(t) = i_{VD_k}(t)$ (для структур, що підвищує та інвертує) і їх співвідношень (5) для СУ₁, (6) для СУ₂, (13) для СУ₃ при не ідентичності дроселів визначаємо середній струм дроселя $I_{L_{ep1}}$ (для структури, що понижує) чи діода $I_{VD_{ep1}}$ (для структури, що підвищує чи інвертує) першого СК.

Шаг 4. Визначення амплітудних, середніх, діючих значень струмів елементів першого СК і частоти перетворення. Із середнього струму дроселя чи діода (шаг 3) і параметрів граничного режиму (шаг 2) визначаємо (5) амплітудні значення струму I_{m1} , середні і діючі значення струмів елементів першого СК а також [4] частоту перетворення f_1 , при цьому найдена частота загальна для всіх СК.

Шаг 5. Визначення струмів та параметрів k -ого СК. По співвідношенням (3-5) для SU_1 , (6, 8-10) для SU_2 , (11-13) для SU_3 при не ідентичності дроселів визначаємо електричні параметри (струми в елементах, коефіцієнти накопичення і звороту) для любого k -ого СК.

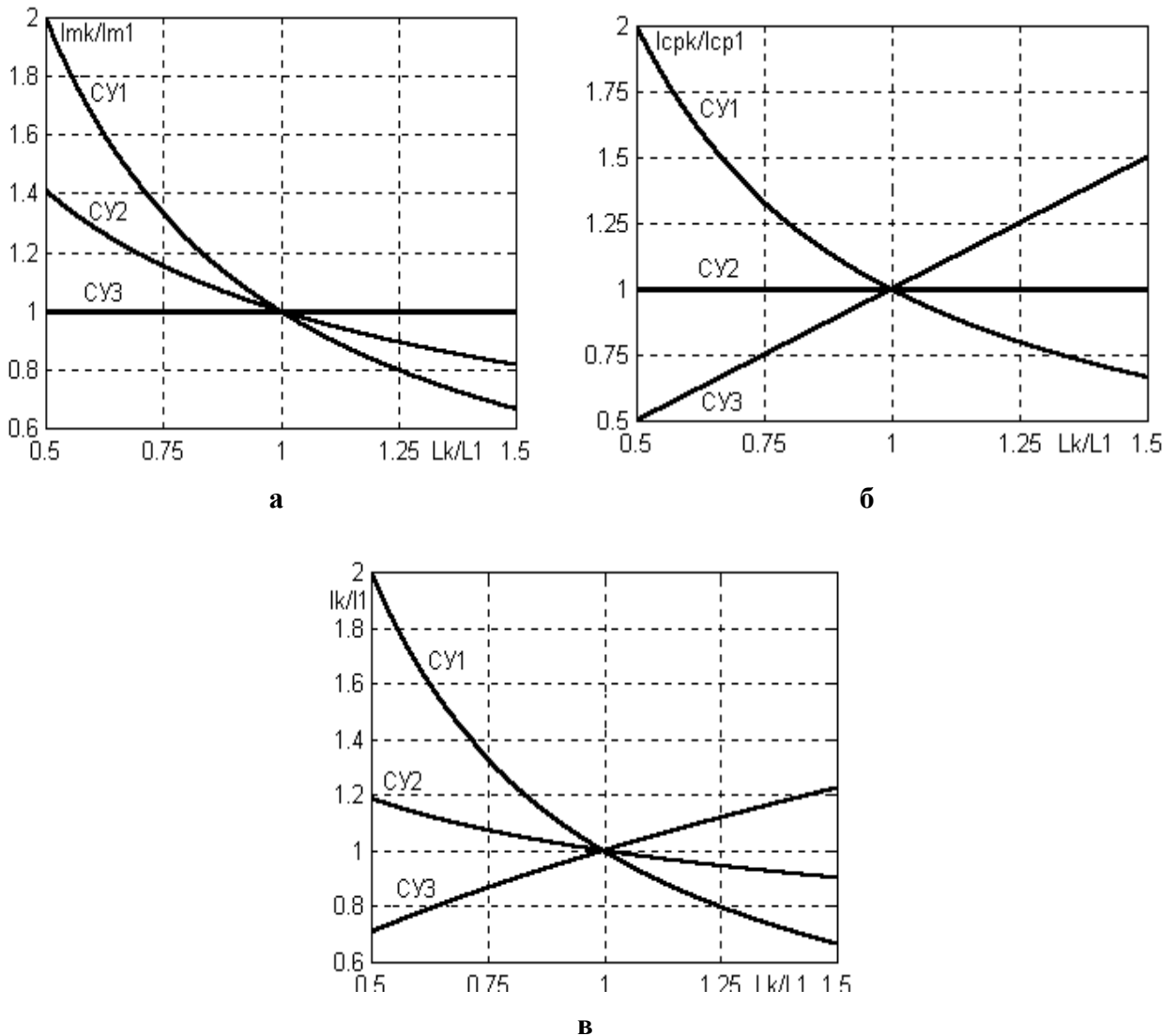


Рис. 4. Залежності відношень а) амплітудних, б) середніх, в) діючих значень струмів в СК з системами управління SU_1, SU_2, SU_3

Приклад 1. Структура, що понижує з SU_1 і неідентичністю дроселів СК.

Шаг 1. Обираємо перший СК L_1 (будь який).

Шаг 2. Визначаємо із [4] параметри граничного режиму (1-ого СК):

$$K_{n_1} = U_n / U_n, \quad K_{e_1} = 1 - K_{n_k} .$$

Шаг 3. Так як в структурі, що понижує, струмом навантаження є струм дроселя, з урахуванням (5) запишемо систему рівнянь, звідки визначимо величину середнього струму дроселя першого СК:

$$\begin{cases} I_{L_{cp2}} = I_{L_{cp1}} L_1/L_2 \\ I_{L_{cp3}} = I_{L_{cp1}} L_1/L_3 \\ \vdots \\ I_{L_{cpN}} = I_{L_{cp1}} L_1/L_N \Rightarrow I_{L_{cp1}} = \frac{U_n/R_n}{1 + L_1 \sum_{k=2}^N \frac{1}{L_k}} \\ \sum_{k=1}^N I_{L_{cpk}} = \frac{U_n}{R_n} \end{cases}$$

Шаг 4. Визначаємо струми (5) елементів першого СК и частоту функціонування [4].

$$I_{m_1} = 2I_{L_{cp1}}, \quad I_{VT_{cp1}} = I_{m_1} K_{n_1}/2, \quad I_{VD_{cp1}} = I_{m_1} K_{e_1}/2, \quad f_1 = \frac{U_n K_{e_1}}{L_1 I_{m_1}},$$

$$I_{L_1} = I_{m_1} (\sqrt{K_{n_1}} + \sqrt{K_{e_1}})/\sqrt{3}, \quad I_{VT_1} = I_{m_1} \sqrt{K_{n_1}/3}, \quad I_{VD_1} = I_{m_1} \sqrt{K_{e_1}/3}.$$

Шаг 5. Визначаємо струми елементів і параметри (3-5) k -их СК.

$$K_{n_k} = K_{n_1}, \quad K_{e_k} = K_{e_1}, \quad I_{m_k} = I_{m_1} L_1/L_k, \quad I_{L_{cpk}} = I_{L_{cp1}} L_1/L_k,$$

$$I_{VT_{cpk}} = I_{VT_{cp1}} L_1/L_k, \quad I_{VD_{cpk}} = I_{VD_{cp1}} L_1/L_k, \quad I_{L_k} = I_{L_1} L_1/L_k,$$

$$I_{VT_k} = I_{VT_1} L_1/L_k, \quad I_{VD_k} = I_{VD_1} L_1/L_k.$$

Таким чином, визначено всі основні електричні параметри модульного ППН понижуючого типу с СУ₁.

Приклад 2. Структура, що підвищує з СУ₃.

Шаг 1. Обираємо перший СК $L_1 = L_{\max}$.

Шаг 2. Визначаємо із [4] параметри граничного режиму (1-ого СК):

$$K_{n_1} = \frac{U_n - U_n}{U_n}, \quad K_{e_1} = 1 - K_{n_k} = \frac{U_n}{U_n}.$$

Шаг 3. Так як для структури, що підвищує, струм навантаження відповідає струму діода, з урахуванням (13) запишемо систему рівнянь, звідки визначимо величину середнього струму діода першого СК:

$$\begin{cases} I_{VD_{cp2}} = I_{VD_{cp1}} L_2/L_1 \\ I_{VD_{cp3}} = I_{VD_{cp1}} L_3/L_1 \\ \vdots \\ I_{VD_{cpN}} = I_{VD_{cp1}} L_N/L_1 \Rightarrow I_{VD_{cp1}} = \frac{U_n/R_n}{1 + 1/L_1 \sum_{k=2}^N L_k} \\ \sum_{k=1}^N I_{VD_{cpk}} = \frac{U_n}{R_n} \end{cases}$$

Шаг 4. Визначаємо струми (5) елементів першого СК и частоту функціонування [4].

$$I_{m_1} = 2I_{VD_{cp1}} / K_{e_1}, \quad I_{L_{cp1}} = I_{m_1} / 2, \quad I_{VT_{cp1}} = I_{m_1} K_{H_1} / 2, \quad f_1 = \frac{U_n K_{H_1} K_{e_1}}{L_1 I_{m_1}},$$

$$I_{L_1} = I_{m_1} \left(\sqrt{K_{H_1}} + \sqrt{K_{e_1}} \right) / \sqrt{3}, \quad I_{VT_1} = I_{m_1} \sqrt{K_{H_1}} / 3, \quad I_{VD_1} = I_{m_1} \sqrt{K_{e_1}} / 3.$$

Шаг 5. Визначаємо струми елементів и параметри (11-13) k -их СК.

$$K_{H_k} = K_{H_1} L_k / L_1, \quad K_{e_k} = K_{e_1} L_k / L_1, \quad I_{m_k} = I_{m_1}, \quad I_{L_{cpk}} = I_{L_{cp1}} L_k / L_1,$$

$$I_{VT_{cpk}} = I_{VT_{cp1}} L_k / L_1, \quad I_{VD_{cpk}} = I_{VD_{cp1}} L_k / L_1, \quad I_{L_k} = I_{L_1} \sqrt{L_k / L_1},$$

$$I_{VT_k} = I_{VT_1} \sqrt{L_k / L_1}, \quad I_{VD_k} = I_{VD_1} \sqrt{L_k / L_1}.$$

Таким чином, визначено всі основні струми і параметри модульного ППН підвищуючого типу з СУ₃.

Висновки і перспективи подальших досліджень першого

1) Класифіковано системи управління модульними ППН з гранично-розривним функціонуванням.

2) Розроблено математичні моделі співвідношень амплітудних, середніх, діючих струмів в елементах СК, включених модульно при неідентичності індуктивностей дроселів силових каналів для основних структур и систем управління.

3) Розроблена методика визначення електричних параметрів – струмів в елементах СК, коефіцієнтів накопичення і звороту, частоти перетворення при неідентичності індуктивностей дроселів і напруг живлення каналів, узагальнена для основних структур силових каналів и систем управління, що дозволяє отримати математичні моделі використовувати для наукових та інженерних розрахунків, що проілюстровано прикладами.

В перспективах подальших досліджень можна виділити розробку математичних моделей для випадків неідентичності напруг електроживлення, дослідження електричних процесів, розробку методик проектування модульних джерел живлення при найбільш можливих розкидуваннях параметрів елементів й з застосування ймовірних методів визначення режимів по заданим допускам та законам розподілу параметрів елементів.

Список літератури

1. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника [Текст] / В.И. Мелешин. – М. : Техносфера, 2005. – 627 с.: рис., табл.
2. Кадацкий А.Ф. Электрические процессы в модульных импульсных преобразователях постоянного напряжения с граничным режимом функционирования / А.Ф. Кадацкий, Ю.А. Гунченко // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2004. – №1. – С. 9-15.
3. Гунченко Ю.А. Использование частотно-широотно-импульсной модуляции в преобразователях напряжения / Ю.А. Гунченко // Материалы 7-го международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Харьков: ХНУРЭ, 2003. – С. 189.

4. Кадацкий А.Ф. Электрические процессы в импульсных преобразователях постоянного напряжения с граничным режимом функционирования / А.Ф. Кадацкий, Ю.А. Гунченко // Праці УНДІРТ. – 2003. – №3 (35). – С. 83-85.
5. Ферриты и ферритовые изделия для источников вторичного электропитания. Справочное пособие / В.И. Хандогин, А.В. Райкова, А.В. Куневич и др.: Под ред. В.И. Хандогина. – М: Радио и связь, 1990. – 137 с.
6. Гунченко Ю.А. Управление многофазным импульсным преобразователем постоянного напряжения с гранично-разрывным режимом функционирования / Ю.А. Гунченко // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2007. – №6 (72). – С. 20-25.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МОДУЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО НАПЯЖЕНИЯ С ГРАНИЧНО-РАЗРЫВНЫМ РЕЖИМОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ НЕИДЕНТИЧНОСТИ ИНДУКТИВНОСТЕЙ СИЛОВЫХ КАНАЛОВ

Ю.А. Гунченко

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: 7996445@mail.ru

Рассмотрены особенности электрических процессов в импульсных преобразователях постоянного напряжения (ППН) модульных структур с гранично-разрывным режимом функционирования при неидентичности дросселей силовых каналов (СК). Получены и приведены основные расчетные соотношения токов в элементах каналов при различных системах управления, разработана методика и приведены примеры определения электрических параметров СК.

Ключевые слова: преобразователь постоянного напряжения, гранично-разрывный режим, силовой канал, электрические параметры

ELECTRIC PROCESSES IN MODULAR DC CONVERTERS WITH THE BOUNDARY-DISCONTINUOUS OPERATING MODE BY NONIDENTICAL INDUCTANCES POWER CHANNELS

Yuriy A. Gunchenko

Odessa National Polytechnic University,
1 Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: 7996445@mail.ru

Electric processes in modular DC converters with the boundary-discontinuous operating mode by nonidentical inductances power channels are described. Received and summarizes the estimated ratio of currents in the channels under different control systems. The method of determining electrical parameters of power channels is developed.

Keywords: DC converter, boundary-discontinuous mode, power channel, electric processes