

УДК 621.317

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СТРУМУ СПОЖИВАННЯ ПРИ ЗМІННОМУ АКТИВНО-ІНДУКТИВНОМУ НАВАНТАЖЕННІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

Смолянiнов В.Г., Сухопара О.М.

Безвідмовність функціонування РЕЗ в значній мірі залежить від ефективного перетворення, розподілення та споживання енергії від джерела живлення, що входить до складу РЕЗ. Визначення електричних параметрів джерела з урахуванням величини та форми струму споживання при змінному активно-індуктивному ($R-L$) навантаженні, дозволяє забезпечити неперервний режим роботи РЕЗ з максимальним ККД. Залежність струму споживання від зміни магнітного опору при нелінійній індуктивності ланцюга навантаження та обрання відповідних апроксимуючих функцій потребує вирішення наступних задач: визначення миттєвих значень струму навантаження; знаходження відповідної функції апроксимації напруги живлення, що тотожно відтворює зміну індуктивності навантаження; отримання аналітичних виразів для розрахунку струму споживання РЕЗ.

Теоретичні викладки

Електрична схема живлення РЕЗ, розглядається як джерело в якому напівпровідникові елементи комутації та датчики струму мають дуже малі активні опори, до яких додається постійна за величиною напруга живлення ($U_n = const$). Враховуючі, що внутрішній опір джерела живлення та інерційність комутуючих напівпровідникових елементів зневажливо мала, тоді задача визначення миттєвих значень струму можливо звести до визначення вхідного струму в лінійному ланцюзі навантаження при дії на неї ЕРС (електрорушійної сили) еквівалентного генератора, що враховує зміну індуктивності навантаження [1].

Проведемо розрахунок за допомогою метода комутаційних функцій та метода окремих складових [2]. Комутаційна (модуляційна) функція є кусково-постійна функція, яка змінює свої значення стрибком у мить зміни параметрів навантаження. Алгоритм цих змін може бути записаний за допомогою простих комутаційних функцій, або однієї складної (еквівалентної). Наведена комутаційна функція $\varphi(t)$, рис.1, враховує зміну індуктивності навантаження через зміну магнітного опору ланцюга навантаження:

$L=W^2/R_m$, де $R_m = \sum_{k=1}^n R_{mk} = l_1/\mu_1 s_1 + \dots + l_n/\mu_n s_n$ - магнітний опір ланцюгів на-

вантаження, μ_n - магнітна проникливість середи, S_n - площа перетину магнітного потоку, l_n - довжина магнітного ланцюга, W - кількість витків магнітного ланцюга контура з електричним струмом. Аналіз зміни індуктивності та її першої похідної від геометричних параметрів магнітного ланцюга навантаження [3], показує, що при великому магнітному опор, індукти-

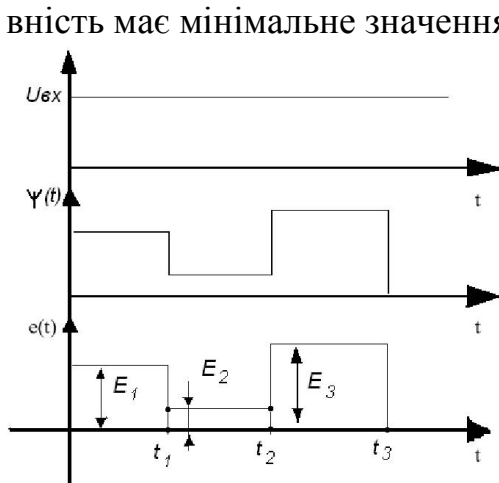


Рис. 1.

вність має мінімальне значення L_{min} . При зменшенні магнітного опору, похідна індуктивності різко спадає і при досягненні максимального значення L_{max} , приймає нульове значення. Таким чином використовуючи значення індуктивності та її першої похідної, для зменшення об'єму розрахунків представлених у безрозмірному вигляді, отримаємо: $\varphi(t) = \left(1 - \frac{1}{L^*} \cdot \frac{dL^*}{d\varepsilon}\right) \geq 0$, де $L^* = L_n/L_{min}$, безрозмірний коефіцієнт відношення поточного значення індуктивності – L_n , до мінімального; $\varepsilon = X_n/X_{max}$ – безрозмірний коефіцієнт зміни геомет-

ричних параметрів магнітного ланцюга від поточного X_n , до максимального X_{max} .

Комутаційна функція дозволяє отримати діючу функцію на навантаження у вигляді ЕРС еквівалентного генератора $e(t) = U_{вх}(t) \cdot \varphi(t)$, рис. 1, яка враховує нелінійність електричного ланцюга навантаження і дозволяє рахувати елементи зображення реакції ланцюга лінійними, має на періоді ряд характерних ділянок, до яких відома аналітична залежність, що дозволяє отримати сталі значення струму у замкнутій формі по окремим складовим, як різницю перехідного та довільного струму за допомогою безперервного перетворення Лапласа [1].

Для діючої функції $e(t)$, визначимо сталі значення струму на першому інтервалі $0 < t < t_1$, рис 1. Запишемо зображення діючої функції на цьому інтервалі у вигляді

$$E_{T1}(p) = \frac{1}{1 - e^{-pt}} \int_0^t e_T(t) e^{-pt} dt = \frac{E_1}{p} \cdot \frac{1 - (1 - b_1)e^{-pt_1} + (b_2 - b_1)e^{-pt_2} - b_2e^{-pt_3}}{(1 - e^{-pt_3})},$$

де $E_2/E_1 = b_1$; $E_3/E_1 = b_2$

Перехідний струм $i_{пер1}(t)$ на інтервалі $0 < t < t_1$ визначимо за допомогою теореми Коши о від'ємниках [4], як суму від'ємників – K , функції $E_{ан.1}(p)/Z(p) = E_1(p)/p(R + pL)$, де функція яка враховує параметри ланцюга навантаження в операторній формі дорівнює $Z(p) = R + pL$, що має два простих полюса: $p_1 = 0$ та $p_2 = -R/L$, згідно формули

$$i_{пер1}(t) = \sum_{K=1}^{K=2} \frac{E_1 e^{p_K t}}{d/dp[p_K(R + p_K L)]} = \frac{E_1}{R} - \frac{E_1 e^{-\frac{R}{L}t}}{R} = \frac{E_1}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

Рівняння для довільного струму $i_{дов1}(t)$, враховуючи, що функція навантаження $Z(p) = 0$, має один полюс $p = -R/L$, буде визначатися від'ємником функції $E_{T1}(p)/Z(p)$ відносно цього полюса

$$i_{\text{дов1}}(t) = \frac{E_{T1}(p)e^{pt}}{Z'(p)} \Big|_{p = -\frac{R}{L}} = -\frac{E_1}{R} \cdot \frac{1 - (1 - b_1)e^{\frac{R}{L}t_1} + (b_2 - b_1)e^{\frac{R}{L}t_2} - b_2e^{\frac{R}{L}t_3}}{\left(1 - e^{\frac{R}{L}t_3}\right)} e^{-\frac{R}{L}t}.$$

Введемо позначення:

$$e^{-pt_1} = a, \quad e^{-pt_2} = a_1, \quad e^{-pt_3} = a_2, \quad e^{-p(t_2-t_1)} = a_3, \quad e^{-p(t_3-t_2)} = a_4.$$

Сталий струм $i_{c1}(t)$ на інтервалі $0 < t < t_1$ знайдемо з виразу

$$i_{c1}(t) = i_{\text{пер1}}(t) - i_{\text{дов1}}(t) = \frac{E_1}{R} \cdot \left[1 - \frac{(1 - b_1)a - (b_2 - b_1)a_1 + (b_2 - 1)a_2}{1 - a_2} e^{-\frac{R}{L}t} \right].$$

Для запису струму на другому інтервалі $t_1 < t < t_2$, використаємо теорему випередження [3], зсунувши початок координат у $t = t_1$, тоді зображення діючої функції на цьому інтервалі з урахуванням прийнятих позначень

$$E_{T2}(p) = \frac{E_1}{P} \cdot \frac{b_1 + (b_2 - b_1)a_3 - (b_2 - 1)a_4 - a}{(1 - a_2)}.$$

Довільний та перехідний струм на цьому інтервалі визначимо за допомогою виразів

$$i_{\text{дов2}}(t) = -\frac{E_1}{R} \cdot \frac{b_1 + (b_2 - b_1)a_3 - (b_2 - 1)a_4 - a}{(1 - a_2)} e^{-\frac{R}{L}t},$$

$$i_{\text{пер2}}(t) = \frac{E_2}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right).$$

Сталий струм на інтервалі $t_1 < t < t_2$ дорівнює:

$$i_{c2} = \frac{E_1}{R} \cdot \left[b_1 - \frac{a - b_1a_2 - (b_2 - b_1)a_3 + (b_2 - 1)a_4}{1 - a_2} e^{-\frac{R}{L}t} \right].$$

Відповідно для третього інтервалу $t_2 < t < t_3$, сполучаємо початок відліку часу з початком третього інтервалу $t = t_2$. Після відповідних перетворень знаходимо сталий струм

$$i_{c3} = \frac{E_1}{R} \cdot \left[b_2 - \frac{(1 - b_1)a + b_1a_1 - b_2a_2 + (b_2 - 1)a_4}{1 - a_2} e^{-\frac{R}{L}t} \right]$$

Проведемо розрахунок струму в навантаженні РЕЗ по наведеній методиці з використанням отриманих виразів.

До часу t_1 , рис.1, індуктивності мінімальна та не змінюється, $dL^* / d\varepsilon = 0$, тоді $\varphi(t) = 1$. Від часу t_1 до t_2 індуктивність змінюється від мінімального до максимального значення, тому перша похідна досягає максимуму $L^* < dL^*/d\varepsilon$ функція $\varphi(t)$ приймає негативне значення. За умови, що функція $\varphi(t) \geq 0$, приймаємо $\varphi(t) = 0$. Після часу t_2 , перша похідна різко спадає до нульового значення $dL^* / d\varepsilon = 0$, індуктивність максимальна, тоді $\varphi(t) = 1$, відповідно, ЕРС еквівалентно генератора на інтервалах розгляду дорівнює: $E_1 = U_n$; $E_2 = 0$; $E_3 = U_n$; $b_1 = 0$ та $b_2 = 1$.

Після відповідних перетворень, вираз для розрахунку сталого струму на інтервалі $0 < t < t_1$ має вигляд

$$i_{c1}(t) = \frac{U_n}{R} \left[1 - \frac{1 - e^{-pt_1} e^{pt_2}}{1 - e^{pt_3}} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \right],$$

на другому інтервалі $t_1 - t_2$

$$i_{c2}(t) = \frac{U_n}{R} \left[\frac{1 - e^{-pt_2} e^{2pt_1}}{1 - e^{pt_3}} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \right],$$

для третього інтервалу $t_2 - t_3$

$$i_{c3}(t) = \frac{U_n}{R} \left[1 - \frac{1 - e^{-pt_1} e^{pt_3}}{1 - e^{pt_3}} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \right].$$

Величина індуктивності навантаження на першому інтервалі та в час t_1 на другому інтервалі відповідає мінімальному значенню, а для другого та третього максимальну.

Експериментальна перевірка методики

З метою перевірки наведеної методики, були визначені параметри струму споживання в $R-L$ навантаженні де в якості бази для співставлення використані осцилограми струму $i_{н1}$ та $i_{н2}$ в декількох однотипних навантаженнях при зміні геометричних параметрів магнітного ланцюга - x , та наступних вихідних даних: $U_n = 50 \text{ В}$, $R = 10 \text{ ом}$, $L_{min} = 0,376 \text{ Гн}$, $L_{max} = 1,35 \text{ Гн}$. Розрахункові та експериментальні дані наведені в таблиці. Середня похибка для розрахункових та вимірних значень не перевищує 5%, яку можна пояснити наявністю втрат в електромагнітному ланцюзі навантаження

Таблиця

$t \cdot 10^{-2} \text{ сек}$	0,5	2	4	5	6	8	9	10
$I_{розр.} \text{ А}$	1,57	2,7	3,69	3,95	3,75	3,21	3,0	2,79
$I_{екс.} \text{ А}$	1,6	2,75	3,75	4,0	3,9	3,4	3,1	2,9
$t \cdot 10^{-2} \text{ сек}$	11	12	14	16	18	20	22	24
$I_{розр.} \text{ А}$	2,6	3,29	3,53	3,8	3,95	4,05	4,19	4,3
$I_{екс.} \text{ А}$	2,4	3,4	3,9	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3

Висновки

Визначена комутаційна функція, що враховує зміну індуктивності в $R-L$ навантаженні в залежності від геометричних параметрів магнітного ланцюга, та дозволяє відобразити діючу функцію живлення РЕЗ, як ЕРС еквівалентного генератора і використати її для розрахунку струму в $R-L$ навантаженні. Отримані аналітичні вирази для розрахунку струму споживання РЕЗ на інтервалах його зміни.

Література

1. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Преобразовательная техника. - К.: Вища школа. - 1978. — 424с.
2. Карташов Р.П., Кулиш А.К., Чехет Э.М. Преобразователи частоты с искусственной коммутацией. - К.: Техніка, 1979.- 152с.
3. Электромагнитный привод робототехнических систем / Афонин А. А., Билозер Р. Р., Гребеников В. В. и др. - Киев: Наук. думка, 1986. - 272с.

4. Иванов В.А., Медведев В.С., Чемоданов Б.К., Ющенко А.С. Математические основы теории автоматического регулирования, - М.: Высшая школа, 1971. – 808с.

Смолянінов В.Г., Сухопара О.М. Методика розрахунку струму споживання при змінному активно-індуктивному навантаженні РЕЗ. Наведена методика розрахунку струму в змінному R-L навантаженні за допомогою простих аналітичних виразів.

Ключові слова: комутаційна функція, ЕРС еквівалентного генератора, сталий струм

Смолянінов В.Г., Сухопара А.Н. Методика расчета тока потребления при изменяющейся активно-индуктивной нагрузке РЭС. Представлена методика расчета тока в изменяющейся R-L нагрузке с помощью аналитических выражений.

Ключевые слова: коммутационная функция, ЭДС эквивалентного генератора, ток

Smolyaninov V.G., Suchopara A.N. The method of calculation of the current of consumption for varying R-L loading. This article presents the methodology for the calculation of the current of consumption in case of varying loading with analytical equations.

Key words: switching function, EMF of the equivalent generator, direct current

УДК538.56

ВИМІРЮВАННЯ ПОБІЧНИХ СИГНАЛІВ В МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Кудінов Є.В., Кухоль Є.М.

Під час роботи засоби обчислювальної техніки (ЗОТ) створюють побічні електромагнітні випромінювання і наведення (ПЕМВН) в навколишньому просторі і проводах різних ліній. Сигнали ПЕМВН, які є вірогідним каналом витоку оброблюваної інформації, можуть розповсюджуватися на значну відстань і прийматися засобами технічної розвідки. Дроти мережі електроживлення безпосередньо підключаються до ЗОТ і побічні сигнали з'являються в них як за рахунок прямого проходження через фільтруючі ланцюги блока живлення, так і за рахунок наведень від електромагнітних полів ЗОТ.

Для вимірювання високочастотних сигналів в проводах електроживлення традиційно використовуються так звані еквіваленти мережі. Еквівалент мережі вирішує задачі: постачання пристрою, що перевіряється, мережевою напругою; частотного розділення, при якому до досліджуваного пристрою подається напруга живлення промислової частоти, а побічні високочастотні сигнали відгалужуються на вимірювальний вихід; надання пристрою, що перевіряється, стандартного імпедансу з боку мережі; з'єднання пристрою, що перевіряється, і вимірювального приладу, такого як селективний мікровольтметр або іншого. Опис побудови еквівалентів мережі є частиною стандартів, наприклад, російського ГОСТ Р 51319-99 [1].

Еквіваленти мережі, як правило, розраховані на вимірювання завад в діапазоні частот 0,15...30 МГц. Саме у цьому діапазоні різними стандартами нормується допустимий рівень завад в мережі електроживлення від промислових і побутових приладів. Існують і еквіваленти мережі для вищих частот. Зокрема, робочий діапазон частот еквівалента мережі Я6-127 складає 1...300 МГц. [2]. Еквіваленти мережі досить громіздкі прилади, що