

11. Сапожников, Р. А. Теоретическая фотометрия [Текст] / Р. А. Сапожников. — Л.: Энергия, 1967. — 267 с.
12. Гуревич, М. М. Фотометрия [Текст] / М. М. Гуревич. — Л.: Энергоатомиздат, 1983. — 272 с.
13. Айзенберг, Ю. Б. Справочная книга по светотехнике [Текст] / под ред. Ю. Б. Айзенберга. — М.: Знак, 2006. — 972 с.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

На кафедре электромеханики ГВУЗ «Криворожский национальный университет» разработан лабораторный стенд для анализа характеристик источников искусственного освещения. Стенд состоит из двух идентичных модулей для анализа характеристик ламп и модуля управления, который предназначен для управления работой ламп и измерений электрических параметров источников света. Предложена достаточно простая методика расчета коэффициента световой эффективности.

Ключевые слова: лабораторный стенд, лампы искусственного освещения, коэффициент световой эффективности, коэффициент пульсации светового потока.

Бондаревський Станіслав Львович, кандидат технічних наук, кафедра електромеханіки, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна, e-mail: kafEM@knu.edu.ua.

Данилейко Олег Костянтинович, старший викладач, кафедра електромеханіки, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна, e-mail: kafEM@knu.edu.ua.

Рожненко Жанна Георгіївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електромеханіки, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна, e-mail: kafEM@knu.edu.ua.

Бондаревський Станіслав Львович, кандидат технічних наук, кафедра електромеханіки, ГВУЗ «Криворожський національний університет», Україна.

Данилейко Олег Константинович, старший преподаватель, кафедра електромеханіки, ГВУЗ «Криворожський національний університет», Україна.

Рожненко Жанна Георгіївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електромеханіки, ГВУЗ «Криворожський національний університет», Україна.

Bondarevskiy Stanislav, SIHE «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: kafEM@knu.edu.ua.

Danileiko Oleg, SIHE «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: kafEM@knu.edu.ua.

Rozhnenko Zhanna, SIHE «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: kafEM@knu.edu.ua.

УДК 621.391:681.518

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.52017

Блиндюк В. С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВОЇ СТРУКТУРИ ВИХІДНОГО СТРУМУ КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ СИСТЕМИ АЛСН

Коректний математичний опис струму шунта системи АЛСН необхідний для строгого аналізу роботи цієї системи в цілому. Існуючі моделі цього струму побудовані на основі спрощеного припущення про малість швидкості руху шунта. Це обмежує їх цінність для розв'язання теоретичних та практичних задач. В статті отриманий математичний опис струму шунта для випадку його руху із сталою швидкістю. Вираз зберігає справедливість для широкого діапазону числових значень швидкості.

Ключові слова: автоматична локомотивна сигналізація, рейкова лінія, шунт, сигнальний імпульс, параметричне коло.

1. Вступ

Канал передачі сигналів є важливою складовою частиною систем автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу (АЛСН). Існуючі системи АЛСН мають недостатню високу пропускну здатність і достовірність передачі повідомлень [1]. Це обумовлює актуальність задачі їх подальшого вдосконалення.

2. Аналіз найновіших досліджень та публікацій

На вихідний струм каналу передачі сигналів системи АЛСН впливає багато факторів як завадового, так і інформаційного характеру. В роботі [1] описано структуру сигналу та подано перелік основних завадових впливів. Робота [2] присвячена дослідженню дії на сигнал завад, обумовлених намагнічуванням рейок.

Цьому ж питанню присвячена робота [3], де в розгляд додатково включене питання спотворення сигнального струму з причини нелінійності магнітних властивостей рейок. В роботі [4] досліджений вплив феромагнітних неоднорідностей колії (стрілки, хрестовини) на струм шунта. Робота [5] присвячена поширенню математичної моделі цього струму на випадок руху власне шунта. Аналіз даних робіт вказав на те, що вони або висвітлюють емпіричні результати, слабо придатні для подальшого узагальнення, або базуються на припущенні знехтуваної малої швидкості руху, що обмежує область придатності отриманих в них співвідношень.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єктом дослідження даної роботи є процес формування в рейковій лінії струму рухомого шунта системи АЛСН.

Метою дослідження є побудова уточненої математичної моделі вихідного струму каналу передачі сигналів систем АЛСН.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Визначити структуру електричного кола, еквівалентному рейковій лінії з рухомим шунтом.
2. Математично описати зв'язок між величинами параметрів елементів цього кола та швидкістю руху шунта.
3. Побудувати рівняння, якому задовольняє струм рухомого шунта, і знайти його розв'язок, котрий в широкому діапазоні швидкостей має прозору інженерну інтерпретацію.

4. Вивід математичного виразу, що описує струм рухомого шунта як функцію часу

Як показано в роботі [6], для аналізу процесів, викликаних в рейковій лінії імпульсними сигналами системи АЛСН, доцільно використати апарат розрахунку довгих ліній в усталеному режимі синусоїдних коливань. Його застосування до найбільш проблемної з точки зору виникнення завад стрілочної ділянки рейкової лінії дозволило інтерпретувати цю ділянку як ланцюжок, утворений послідовним з'єднанням змінних у часі опору R_{Π} та індуктивності L_{Π} [7]. Прийняті в подальшому в указаній роботі, а також в роботі [5] припущення малості швидкостей зміни величин R_{Π} та L_{Π} обмежують застосовність отриманих у них результатів випадком низькошвидкісного руху поїздів. Фактично ж слід враховувати, що потокозчеплення Ψ індуктивності L_{Π} є змінним у часі за обома своїми аргументами, і відомий з теорії електричних кіл взаємозв'язок [8] $\Psi = L$ і повинен бути записаний, як:

$$\Psi(t) = L_{\Pi}(t) \cdot i(t). \quad (1)$$

Відповідно диференціальне рівняння розгляданого кола набуває вигляду:

$$\frac{d\Psi(t)}{dt} + i(t) \cdot R_{\Pi}(t) = E_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_E), \quad (2)$$

де права частина описує сигнальну ЕРС, яку підмикають до кола.

З урахуванням виразу (1) рівняння (2) можна переписати у вигляді:

$$L_{\Pi}(t) \cdot \frac{di(t)}{dt} + \left[\frac{dL_{\Pi}(t)}{dt} + R_{\Pi}(t) \right] \cdot i(t) = E_m \sin(\omega t + \varphi_E). \quad (3)$$

Вважатимемо згідно з роботою [7], що за постійної швидкості V руху поїзду мають місце співвідношення:

$$L_{\Pi}(t) = L_a - k_L \cdot V \cdot t, \quad (4)$$

$$R_{\Pi}(t) = R_a - k_R \cdot V \cdot t, \quad (5)$$

де L_a та R_a — постійні складові величин L_{Π} та R_{Π} в перерізі рейкової лінії, де шунт розташований в момент подачі

сигнального імпульсу в лінію; k_L та k_R — коефіцієнти пропорційності, які залежать від електричних параметрів рейкової лінії та від просторових координат шунта та меж ділянки.

Тоді:

$$\frac{dL_{\Pi}(t)}{dt} = -k_L V, \quad (6)$$

і рівняння (3) набуває вигляду:

$$(L_a - k_L V t) \cdot \frac{di}{dt} + [(R_a - k_L V) - k_R V t] \cdot i = E_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_E),$$

і, далі, вигляду:

$$\frac{di}{dt} + \frac{(R_a - k_L V) - k_R V t}{L_a - k_L V t} \cdot i = E_m \cdot \frac{\sin(\omega t + \varphi_E)}{L_a - k_L V t}. \quad (7)$$

Введемо позначення:

$$f(t) = \frac{(R_a - k_L V) - k_R V t}{L_a - k_L V t}, \quad (8)$$

$$g(t) = E_m \cdot \frac{\sin(\omega t + \varphi_E)}{L_a - k_L V t}. \quad (9)$$

З їх урахуванням рівняння (7) набуває вигляду:

$$\frac{di}{dt} + f(t) \cdot i = g(t). \quad (10)$$

Оскільки при подачі імпульсу струм в послідовному RL -колі не може змінюватися миттєво, тобто при $t = 0$ маємо $i = 0$, то розв'язок рівняння (10) є таким [9]:

$$i(t) = e^{-F(t)} \cdot \int_0^t g(t) \cdot e^{F(t)} dt, \quad (11)$$

де:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt. \quad (12)$$

Підставивши вираз (8) до формули (12), отримаємо:

$$F(t) = \int_0^t \frac{R_a - k_L V - k_R V t}{L_a - k_L V t} dt = \frac{k_R}{k_L} \int_0^t \frac{R_a - k_L V}{t - \frac{L_a}{k_L V}} dt.$$

Останній інтеграл є табличним [10] і після нескладних перетворень приводиться до виду:

$$F(t) = \frac{k_R}{k_L} \cdot \left[t + \left(\frac{L_a}{k_L V} - \frac{R_a - k_L V}{k_R V} \right) \cdot \ln \left| 1 - \frac{k_L V}{L_a} \cdot t \right| \right]. \quad (13)$$

Тепер можна знайти інтеграл, який входить до формули (11):

$$\int_0^t g(t) \cdot e^{F(t)} dt = E_m \cdot \int_0^t \frac{\sin(\omega t + \varphi_E)}{L_a - k_L V t} \cdot e^{F(t)} dt.$$

Підставивши вираз (13) для $F(t)$ та врахувавши співвідношення $e^{\ln x} = x$, отримуємо, що:

$$\int_0^t g(t) \cdot e^{F(t)} dt = E_m \cdot \int_0^t \frac{\sin(\omega t + \varphi_E)}{L_a - k_L V t} \left| 1 - \frac{k_L V}{L_a} \cdot t \right|^\beta e^{\alpha t} dt, \quad (14)$$

де:

$$\alpha = \frac{k_R}{k_L},$$

$$\beta = \alpha \cdot \left(\frac{L_a}{k_L V} - \frac{R_a - k_L V}{k_R V} \right).$$

Оскільки за час τ_n імпульсу можна вважати, що $k_L V t < L_a$, то знак модуля в (14) можна замінити на дужки, і, як результат, привести цей вираз до вигляду:

$$\int_0^t g(t) \cdot e^{F(t)} dt = \frac{E_m}{L_a^\beta} \cdot \int_0^t (\sin \omega t - \varphi_E) \cdot (L_a - k_L V t)^{\beta-1} \cdot e^{\alpha t} dt.$$

Далі, скориставшись відомою наближеною рівністю $(1-x)^y \approx 1-yx$, отримуємо:

$$\begin{aligned} \int_0^t g(t) \cdot e^{F(t)} dt &\approx \frac{E_m}{L_a} \cdot \int_0^t (\sin \omega t + \varphi_E) \cdot \left[1 - (\beta-1) \cdot \frac{k_L V}{L_a} t \right] e^{\alpha t} = \\ &= \frac{E_m}{L_a} \int_0^t \sin(\omega t + \varphi_E) e^{\alpha t} dt - \\ &- \frac{E_m}{L_a^2} (\beta-1) k_L V \int_0^t t \cdot \sin(\omega t + \varphi_E) e^{\alpha t} dt = H_1(t) + H_2(t), \quad (15) \end{aligned}$$

де як $H_1(t)$ і $H_2(t)$ позначені відповідно перший і другий доданки формули (15). Знайдемо перший з цих доданків:

$$\begin{aligned} H_1(t) &= \frac{E_m}{L_a} \int_0^t (\sin \omega t \cdot \cos \varphi_E + \cos \omega t \cdot \sin \varphi_E) e^{\alpha t} dt = \\ &= \frac{E_m}{L_a} \cos \varphi_E \cdot \int_0^t \sin \omega t \cdot e^{\alpha t} dt + \frac{E_m}{L_a} \sin \varphi_E \cdot \int_0^t \cos \omega t e^{\alpha t} dt = \\ &= \frac{E_m}{(\omega^2 + \alpha^2) L_a} \cdot \left[\frac{e^{\alpha t} \cdot \alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi_E) - e^{\alpha t} \omega \cos(\omega t + \varphi_E)}{\omega \cos \varphi_E - \alpha \cdot \sin \varphi_E} \right]. \quad (16) \end{aligned}$$

Тепер знайдемо другий доданок формули (15):

$$\begin{aligned} H_2(t) &= - \frac{E_m k_L \cdot V \cdot (\beta-1)}{L_a^2} \cdot \int_0^t t \cdot \sin(\omega t + \varphi_E) \cdot e^{\alpha t} dt = \\ &= - \frac{E_m k_L \cdot V \cdot (\beta-1)}{L_a^2} \times \\ &\times \left[\frac{t}{\sqrt{\omega^2 + \alpha^2}} e^{\alpha t} \cdot \sin(\omega t + \varphi_E + \psi) - \right. \\ &\left. - \frac{1}{\omega^2 + \alpha^2} e^{\alpha t} \sin(\omega t + \varphi_E + 2\psi) \right]_0^t, \quad (17) \end{aligned}$$

де:

$$\psi = -\arctg \frac{\omega}{\alpha}. \quad (18)$$

Після підстановки межі інтегрування матимемо:

$$\begin{aligned} H_2(t) &= - \frac{E_m k_L \cdot V \cdot (\beta-1)}{L_a^2} \times \\ &\times \left[\frac{t \cdot e^{\alpha t}}{\sqrt{\omega^2 + \alpha^2}} \cdot \sin(\omega t + \varphi_E + \psi) - \right. \\ &\left. - \frac{e^{\alpha t}}{\omega^2 + \alpha^2} \cdot \sin(\omega t + \varphi_E + 2\psi) + \right. \\ &\left. + \frac{1}{\omega^2 + \alpha^2} \cdot \sin(\varphi_E + 2\psi) \right], \quad (19) \end{aligned}$$

Щоб можна було зробити всі підстановки в формулу (11) для струму $i(t)$, треба ще знайти $e^{-F(t)}$. Використавши вираз (13) і зробивши перетворення аналогічно тим, що зроблені при виведенні формули (14), отримуємо, що:

$$e^{-F(t)} \approx \frac{e^{-\alpha t}}{\left(1 - \frac{k_L V}{L_a} t \right)^\beta}. \quad (20)$$

Тоді, згідно з (11), маємо для струму вираз:

$$\begin{aligned} i(t) &= e^{-F(t)} \cdot [H_1(t) + H_2(t)] \approx \frac{E_m}{\left(1 - \frac{k_L V}{L_a} t \right)^\beta \cdot (\omega^2 + \alpha^2) L_a} \times \\ &\times \left[\frac{\alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi_E) - \omega \cdot \cos(\omega t + \varphi_E)}{+ e^{-\alpha t} \cdot (\omega \cdot \cos \varphi_E - \alpha \cdot \sin \varphi_E)} + \right] - \frac{E_m k_L V \cdot (\beta-1)}{\left(1 - \frac{k_L V}{L_a} t \right)^\beta L_a^2} \times \\ &\times \left[\frac{t}{\sqrt{\omega^2 + \alpha^2}} \cdot \sin(\omega t + \varphi_E + \psi) - \right. \\ &\left. - \frac{1}{\omega^2 + \alpha^2} \cdot \sin(\omega t + \varphi_E + 2\psi) + \right. \\ &\left. + \frac{e^{-\alpha t}}{\omega^2 + \alpha^2} \cdot \sin(\varphi_E + 2\psi) \right]. \quad (21) \end{aligned}$$

Дещо перетворимо перший доданок:

$$\frac{E_m}{\left(1 - \frac{k_L V}{L_a} t\right)^\beta \cdot (\omega^2 + \alpha^2) L_a} \times \left[\begin{aligned} & \frac{\alpha}{\sqrt{\omega^2 + \alpha^2}} \cdot \sin(\omega t + \varphi_E) - \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \alpha^2}} \cdot \cos(\omega t + \varphi_E) + \\ & + e^{-\alpha t} \left(\frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \alpha^2}} \cos \varphi_E - \frac{\alpha}{\sqrt{\omega^2 + \alpha^2}} \cdot \sin \varphi_E \right) \end{aligned} \right],$$

Увівши позначення:

$$\cos \psi = \frac{\alpha}{\sqrt{\omega^2 + \alpha^2}},$$

$$\sin \psi = -\frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \alpha^2}},$$

які задовольняють виразу (18), дістаємо, що попередній вираз набуває такого вигляду:

$$\frac{E_m}{\left(1 - \frac{k_L V}{L_a} t\right)^\beta \cdot \sqrt{\omega^2 + \alpha^2} \cdot L_a} \cdot \left[\begin{aligned} & \sin(\omega t + \varphi_E + \psi) - \\ & - e^{-\alpha t} \cdot \sin(\varphi_E + \psi) \end{aligned} \right]. \quad (22)$$

Отже, вираз (21) для струму набуває такого кінцевого вигляду:

$$i(t) = \frac{E_m}{\left(1 - \frac{k_L V}{L_a} t\right)^\beta \cdot \sqrt{\omega^2 + \alpha^2} \cdot L_a} \cdot \left[\begin{aligned} & \sin(\omega t + \varphi_E + \psi) - \\ & - e^{-\alpha t} \cdot (\sin \varphi_E + \psi) \end{aligned} \right] - \frac{E_m k_L V \cdot (\beta - 1)}{\left(1 - \frac{k_L V}{L_a} t\right)^\beta L_a^2} \cdot \left[\begin{aligned} & \frac{t}{\sqrt{\omega^2 + \alpha^2}} \cdot \sin(\omega t + \varphi_E + \psi) - \\ & - \frac{1}{\omega^2 + \alpha^2} \cdot \sin(\omega t + \varphi_E + 2\psi) + \\ & + \frac{e^{-\alpha t}}{\omega^2 + \alpha^2} \cdot \sin(\varphi_E + 2\psi) \end{aligned} \right]. \quad (23)$$

Цей вираз описує часову залежність струму рухомого шунта на інтервалі часу, який охоплює фронтову ділянку сигнального імпульсу, найбільш проблемну з точки зору виникнення завад.

5. Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Показано, що рейковій лінії з рухомим шунтом еквівалентний послідовний ланцюжок, утворений котушкою індуктивності та резистором, параметри яких залежать від часу.

2. Визначено, що за сталої швидкості руху шунта індуктивність вказаної котушки та опір вказаного резистора лінійно залежать від часу.

3. Побудована математична модель часової залежності струму шунта, яка забезпечує можливість коректного аналізу впливу його форми (перш за все – форми фронту імпульсу) на достовірність приймання сигналів системи АЛСН в широкому діапазоні швидкостей руху локомотива.

Література

1. Бабаєв, М. М. Аналіз існуючих вітчизняних і закордонних систем АЛС на залізничному транспорті [Текст] / М. М. Бабаєв, В. О. Сотник // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 116. – С. 120–127.
2. Augutis, V. Measurements and Processing of Signals used in a Cab Signaling System [Text] / V. Augutis, D. Gailius, R. Misevicius, M. Juraska // Electronics and Electrical Engineering. – 2012. – Vol. 18, № 9. – P. 27–30. doi:10.5755/j01.eee.18.9.2800
3. Леушин, В. Б. Аналіз причин сбоев в системе АЛСН [Текст] / В. Б. Леушин, К. Э. Блачев, Р. Р. Юсупов // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 4. – С. 20–25.
4. Ананьева, О. М. Влияние неоднородностей рейковой линии на прием сигналов АЛСН [Текст] / О. М. Ананьева, В. О. Сотник // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 124. – С. 77–83.
5. Ананьева, О. М. Часовые характеристики струму шунта та електрорушійної сили локомотивних котушок системи АЛСМ [Текст] / О. М. Ананьева, М. Г. Давиденко, В. О. Сотник, М. М. Бабаєв // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 127. – С. 56–78.
6. Соболев, Ю. В. Математична модель каналу передачі сигналів числового коду АЛСН [Текст] / Ю. В. Соболев, М. Г. Давиденко, О. М. Ананьева, В. О. Сотник // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 119. – С. 78–88.
7. Ананьева, О. М. Математична модель вхідного сигнального струму локомотивного приймача числових кодів АЛСН [Текст] / О. М. Ананьева, В. О. Сотник, Ю. В. Соболев // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2011. – Вип. 26. – С. 67–70.
8. Соболев, Ю. В. Теорія електричних і магнітних кіл [Текст] / Ю. В. Соболев, М. М. Бабаєв, М. Г. Давиденко. – Харків: ХФВ «Транспорт України», 2002. – 264 с.
9. Камке, Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям [Текст] / Э. Камке. – М.: Наука, 1976. – 576 с.
10. Прудников, А. П. Интегралы и ряды. Элементарные функции [Текст] / А. П. Прудников, Ю. А. Брычков, О. И. Маричев. – М.: Наука, 1981. – 800 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ВЫХОДНОГО ТОКА КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АЛСН

Корректное математическое описание тока шунта системы АЛСН необходимо для строгого анализа работы этой системы в целом. Существующие модели данного тока построены на основе упрощающего предположения о малости скорости движения шунта. Это ограничивает их ценность для решения теоретических и практических задач. В статье получено математическое описание тока шунта для случая движения последнего с постоянной скоростью. Выражение сохраняет справедливость для широкого диапазона числовых значений скорости.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, рельсовая линия, шунт, сигнальный импульс, параметрическая цепь.

Блиднюк Василь Степанович, доктор технічних наук, доцент, кафедра електротехніки та електричних машин, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.

Блиднюк Василий Степанович, доктор технических наук, доцент, кафедра электротехники и электрических машин, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, Украина.

Blidnyuk Vasiliiy, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine