

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.256:[621.316.91:621.373.7]

К. І. ЯЩУК^{1*}, А. Ю. ЖУРАВЛЬОВ^{2*}, В. І. ЩЕКА^{3*}

^{1*}Каф. «Автоматика й телекомунікації», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта k.i.yaschuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-8606-5790

^{2*}Каф. «Автоматика й телекомунікації», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта anton.zhuravlev@gmail.com, ORCID 0000-0001-6885-5177

^{3*}Каф. «Автоматика й телекомунікації», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта v.i.shcheka@gmail.com, ORCID 0000-0002-2184-2827

ПАРАМЕТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ЧАСТОТИ НА НЕКОЛІНЕАРНИХ МАГНІТНИХ ПОЛЯХ

Мета. У статті необхідно провести дослідження параметричного генератора частоти на неколінеарних магнітних полях, який виконує функції стабілізованого джерела живлення та засобу захисту від впливу потужних імпульсних завод у вигляді комутаційних перенапруг і розрядів блискавки. **Методика.** Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено макетний зразок параметричного генератора. Проведено низку досліджень із визначення оптимальних параметрів кіл накачки та контуру пристрою, за яких досягаються найкращі енергетичні характеристики та максимальна вихідна потужність із забезпеченням стійкої генерації в системі. **Результати.** Автори довели необхідність розробки засобу захисту апаратури сигналізації, централізації та блокування від впливу потужних імпульсних завод. Розроблена конструкція пристрою повністю виключає трансформацію енергії, тобто проникнення перешкоди із входу на вихід. У результаті проведених експериментальних досліджень визначено оптимальні параметри кіл генератора, що забезпечують його найкращі енергетичні характеристики. **Наукова новизна.** Удосконалено пристрій параметричного генератора, який має у своїй конструкції енергоємні елементи, що значно поліпшує енергетичні характеристики і властивості. Із метою підвищення надійності систем автоблокування подальший розвиток отримали способи захисту апаратури залізничної автоматики й телемеханіки від впливу потужних імпульсних завод і високих рівнів тягових струмів. **Практична значимість.** На основі отриманих результатів можна впровадити у виробництво досліджений пристрій і застосовувати його для організації стабілізованого вторинного джерела живлення колійних пристроїв залізничної автоматики, а також для захисту апаратури від дії потужних імпульсних завод, створених грозовими розрядами й блискавками або комутаційними перенапруженнями. Результати роботи також можуть бути використані під час переобладнання перегонів новими системами залізничної автоматики та підготовки проектної документації на рейкові кола, станційні системи й системи автоблокування. Результати дослідження використовують під час вивчення дисциплін «Спеціальні вимірювання на залізничному транспорті» й «Електроживлення пристроїв автоматики», організації науково-практичних семінарів, курсів підвищення кваліфікації тощо.

Ключові слова: параметричний генератор частоти; неколінеарні магнітні поля; потужні імпульсні заводи; захисний засіб; грозові розряди; блискавки; стабілізоване джерело живлення

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

Вступ

Електронна апаратура систем залізничної автоматики й телемеханіки (ЗАТ) під час роботи перебуває в досить складній електромагнітній обстановці [5, 10], адже на неї здійснюють вплив потужні імпульсні завади (ПЗ), які, з одного боку, виражаються грозовими розрядами й блискавками, а з іншого – комутаційними перенапруженнями й короткими замиканнями тягової мережі. Сьогодні майже не існує пристроїв, які повністю захищають апаратуру ЗАТ від дії грозових розрядів і блискавок [3]. У кабелях до релейної шафи і щитових установок систем сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) під час ударів блискавки може бути присутня амплітуда струму й напруги завади 8 кА, 4,5 кВ із фронтом імпульсу 2 мкс і тривалістю 210 мкс. Енергія потужної імпульсної завади ($\int i^2 dt$ інтеграл Джоуля) перевищує 30 кДж. При цьому розрядник РВНШ-250, який наразі застосовують у пристроях СЦБ як захисний засіб, має інтеграл Джоуля 2,5 кДж. Якщо порівняти ці два показники, то стає зрозумілою необхідність упровадження пристрою захисту апаратури ЗАТ від дії ПЗ і дослідження його роботи.

Мета

Ураховуючи вище наведене, автори ставлять за мету дослідження і вдосконалення засобу захисту пристроїв СЦБ від впливу грозових розрядів і комутаційних перенапруг тягової мережі.

Методика

Прототипом досліджуваного пристрою є перетворювач частоти ПЧ 50:25 і похідний від нього ПЧ 50:50-300, який, на відміну від ПЧ 50:25, не має постійної складової робочого струму, що підмагнічувала і, як наслідок, нагрівала магнітопроводи силових трансформаторів поста централізації, створюючи тим самим негативний вплив на їх роботу.

Параметричний генератор частоти з ортогональними (колінеарними) полями ПЧ 50:25 представляє собою дільник частоти з паралельними полями та є суттєво нелінійним пристроєм. Він складається з магнітопроводу, викона-

ного у вигляді прямокутного паралелепіпеда з наскрізними вікнами, розташованими на діагоналях його граней.

Для збудження електричних коливань обов'язковою умовою є наявність у контурі енергетичного параметра (індуктивності або ємності), що періодично змінюється [4]. До того ж параметричне збільшення комбінацій може мати місце тільки за умов, коли зміна параметра призводить до збільшення енергії коливань, які спочатку виникали у контурі внаслідок несиметрії магнітних характеристик осердя або за рахунок незначних змін земного магнітного поля. Такі невеликі коливання струму створюють напругу на конденсаторі контура, що змінюється за законом, наближеним до синусоїдального.

У нашому випадку для збудження коливань змінюватимемо індуктивність контура пристрою зовнішнім джерелом енергії. Цей процес відбуватиметься за наступним законом: у ті моменти часу, коли струм у контурі досягає максимуму ($i_k = \pm I_{\max}$), індуктивність досить швидко зменшується від значення L_2 до значення L_1 , а коли струм проходить через нуль, – повертається до свого колишнього значення (рис. 1). У разі зменшення індуктивності (моменти $t_0, t_2 \dots$) зовнішнє джерело буде здійснювати роботу проти сил магнітного поля, й енергія, яку витрачає джерело, дорівнюватиме приросту електромагнітної енергії контура:

$$0,5(L_2 - L_1) \cdot I^2 = 0,5 \cdot W_k \cdot \Phi_k \cdot \Delta i_{k1} = \Delta A_1.$$

Беручи до уваги незмінність магнітного потоку під час зміни індуктивності, енергія контура збільшуватиметься за рахунок стрибкоподібного збільшення струму контура приблизно на величину:

$$\Delta i_{k1} = I_{km} \cdot \frac{\Delta L}{L_{cp}}.$$

Після отримання контуром приросту енергії струм в індуктивності зменшується, а електромагнітна енергія, що накопичена в ній, буде переходити в електростатичну енергію конденсатора [1, 2]. Повернення індуктивності до попереднього значення, що відбувається через чверть періоду частоти контура, не супрово-

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

джується зміною запасу енергії контура, що зосереджена в конденсаторі, тому що цей процес відбувається в моменти $t_1, t_3 \dots$, коли струм I_{km} а, відповідно, й електромагнітна енергія контура дорівнює нулю. При цьому на зміну індуктивності зовнішніх джерел енергія не витрачається [5]. У третій чверті періоду, коли

напрямок струму індуктивності змінюється на протилежний, а значення індуктивності знову зменшуватиметься, енергія контура збільшиться на деяку величину $\Delta A_2 > \Delta A_1$, оскільки струм контура за першу половину періоду зріс на величину Δi_{k1} .

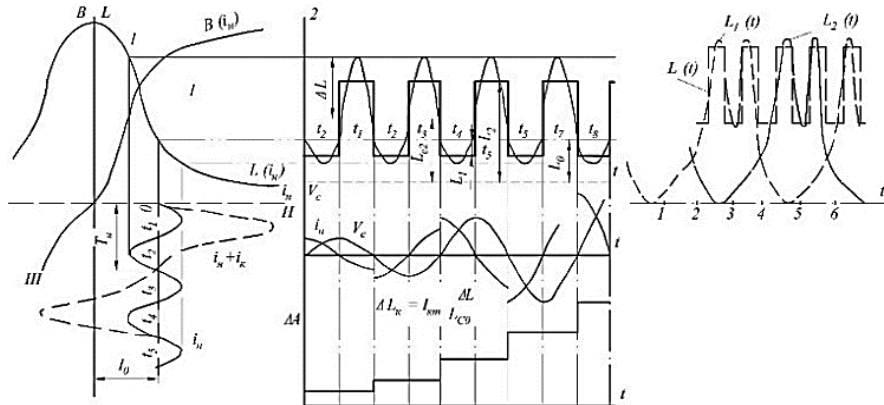


Рис. 1. Графіки зміни параметрів перетворювача частоти в процесі параметричного збудження

Fig. 1. Graphs of changing the parameters of the frequency converter in the process of parametric excitation

Поняття «накачування» означає компенсацію втрат енергії системи впродовж роботи, здійснюваної під час зміни індуктивності джерелом накачування. Відповідно до цього надалі використано терміни «струм накачування» й «напруга накачування» замість терміна «напруга мережі».

Згідно з рис. 1 можна виділити наступні особливості параметричного збудження коливань:

1. Найефективнішим режимом збудження коливань є такий, за якого зміна параметра контура відбувається з частотою накачування, що вдвічі перевищує частоту власних коливань у системі (рис. 1).

2. Зміщення моменту зменшення L на відмітку часу, коли $|i_k| < |I_{km}|$, тобто на Δt за часом t або на $2\omega\Delta t$ за фазою, призведе до зменшення енергії, яка поступає в контур; зростання значення індуктивності відбуватиметься за $U \neq 0$, а тому буде супроводжуватися витратою енергії контура. Якщо ж змістити моменти часу зміни індуктивності на $\Delta t = \frac{T_H}{4}$, то індуктив-

ність буде зменшуватися ($i_H \approx 0$) і збільшуватися ($|i_k| = I_{km}$), тобто енергія у контур взагалі не буде надходити, і її втрати при цьому виявляються найбільшими. Така зміна L призведе до збільшення згасання струму контура.

До конструкційних недоліків іншого аналога розробленого пристрою, ПГ 50-50-300, належить наявність обмотки зворотного зв'язку, що створює ймовірність потрапляння ПІЗ у вихідну контурну обмотку. У такому випадку захисні властивості повністю анулюються. Виникає необхідність у розробці пристрою захисту апаратури від дії грозових розрядів і комутаційних перенапруг, який би не володів вище наведеними недоліками [9].

У вдосконаленому пристрої виключена обмотка зворотного зв'язку, і конструкція магнітопроводу передбачає неколінеарність магнітних кіл. Змінний струм у розміщених ортогонально обмотках накачування створює магнітний потік, силові лінії якого не перетинають контурну обмотку. Таке конструкційне рішення дозволяє повністю уникнути трансформації енергії з кола накачування в контур навіть за част-

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

кового замикання витків обмотки накачування. Крім того, за таких умов можна уникнути неправильної роботи фазочутливого колійного реле.

Отже, усі вище перераховані властивості, особливості й характеристики були використані для створення такого параметричного генератора (ПГ), який можна використати і як стабілізоване вторинне джерело живлення, і як пристрій захисту від дії імпульсних завад.

Для виготовлення дослідного зразка параметричного генератора частоти й дослідження його характеристик було розраховано всі конструктивні й електричні параметри, але вони потребували подальшого уточнення експериментом. Осердя виконано з холоднокатаної тонколистової ізотропної електротехнічної сталі 2412, що володіє хорошими магнітними властивостями.

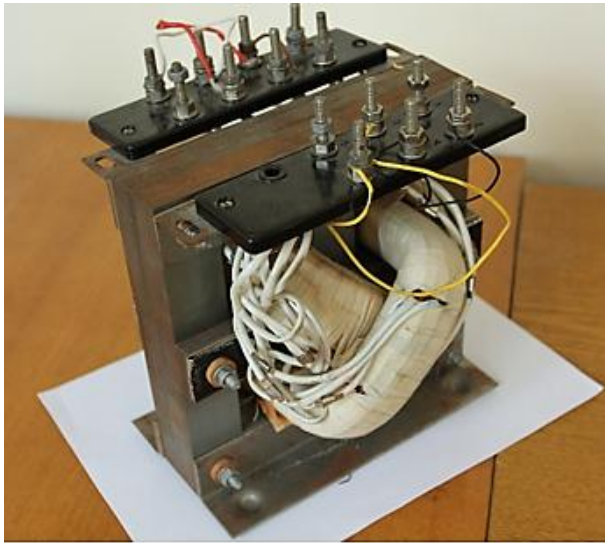


Рис. 2. Макетний зразок ПГ 50:50-150

Fig. 2. A parametric generator 50:50-150 prototype

Зсув фаз 90° між входною та вихідною напругами забезпечують обмотки ПГ, розміщені ортогонально (рис. 2).

Дослідний зразок перетворювача потужністю 150 Вт на неколінеарних магнітних полях має наступні параметри: об'єм сталі магнітопроводу $V = 1,3 \cdot 10^{-6}$; середня лінія $l_{cp} = 0,34$ м; штамп сталі Ш–33–50–198, ємність кола накачування $C_H = 40$ мкФ, ємність контура $C_K = 40$ мкФ, витки обмотки накачування

$W_H = 300$, $W_{H0} = 300$, витки контурної обмотки $W_K = 300$ [64].

Дослідження проведені за схемою, що зображена на рис. 3.

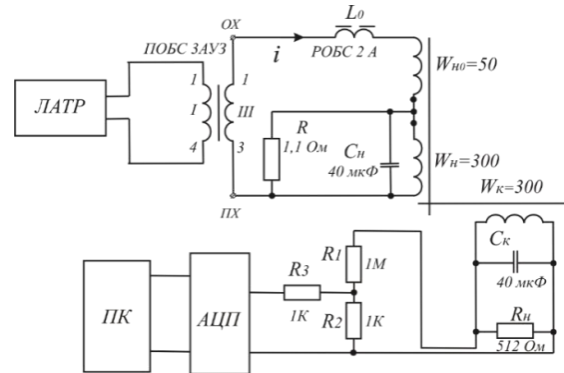


Рис. 3. Схема для дослідження характеристик параметричного генератора частоти

Fig. 3. A scheme for studying the characteristics of a parametric frequency generator

Елементи вхідного кола генератора містять послідовний контур $L_0 - C_0$, де можливий лінійний резонанс напруг, та паралельне коло $L_H - C_H$ з нелінійною індуктивністю обмотки накачування, де можливий ферорезонанс струмів.

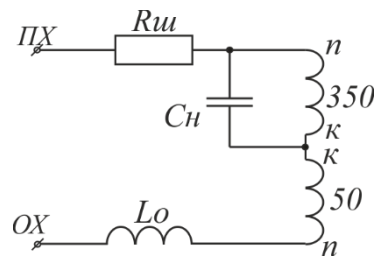


Рис. 4. Схема вхідного кола ПГ з зустрічним увімкненням витків обмотки накачки 300 та 50

Fig. 4. Scheme of the input circuit of parametric generator with the inclusion of the pumping winding 300 and 50

У результаті розрахунків характеристик елементів вхідного кола генератора знайдено значення ємності (30...40 мкФ), яке за заданих параметрів ПГ забезпечує в обмотці накачування необхідну індукцію і створює режим коливань у вихідному параметричному колі без досягнення режимів насичення сталі осердя генератора. За знайденої ємності конденсатора

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

струм у контурі $L_0 - C_H$ не перевищує 2,5 А. Це саме та ємність, за якої проявляється ферорезонанс, унаслідок чого відбувається стрибок струму. Насправді обрана для проведення експериментальних досліджень ємність є трохи меншою за розрахункову, оскільки режим повного резонансу струму під час роботи перетворювача не бажаний із точки зору обмеження струму намагнічування обмотки накачування.

На рис. 4 зображені послідовно включені елементи вхідного кола ПГ $(L_0 + L_{H0}) - C_H$, що створюють передумову для виникнення лінійного резонансу напруг (індуктивність L_{H0} менша від L_{H0}). За резонансу напруг, як відомо, фаза струму в колі збігається з фазою електрорушійної сили. У цьому випадку вхідний опір схеми є активним, а струм на вході – максимальним. Напряга на індуктивності обмотки накачування W_n досягне величини $U_L = QU_I$, де $Q = \frac{\omega_0 \cdot (L_0 + L_{H0})}{R}$ – добротність резонансного контура; ω_0 – власна частота вхідного контура ПГ. Генератор допускає відхилення ω_0 від частоти живильної мережі в межах 40 %. Для роботи дослідного зразка обрані параметри елементів вхідної схеми, за яких резонанс напруг може розвинути лише на 20...30 % від максимальної добротності контура.

У роботі проведено пошук оптимальних параметрів кола накачування й контура ПГ, які забезпечують потрібні енергетичні показники й вихідну потужність. Виникла необхідність здійснити уточнення кількості зустрічно увімкнених витків, величини ємності накачування та ін.

Індуктивність L_0 застосовують у колі накачування не тільки для організації резонансу напруг. Для аргументації введення L_0 скористаємося осцилограмою вхідної напруги й вихідного струму без L_0 у схемі (рис. 5). Вихідний струм, як видно з рис. 5, має характерну несинусоїдальність, адже на нього здійснює вплив нелінійність контура, що створює третю гармоніку, яка має амплітуду близьку до першої. Тому для подавлення третьої гармоніки було введено лінійну індуктивність L_0 . За повного ви-

ключення L_0 зі схеми накачування генерація не настає навіть у разі вхідної напруги до 220 В. Таким чином, наявність у схемі додаткової лінійної індуктивності L_0 позитивно впливає на добротність вхідного кола.

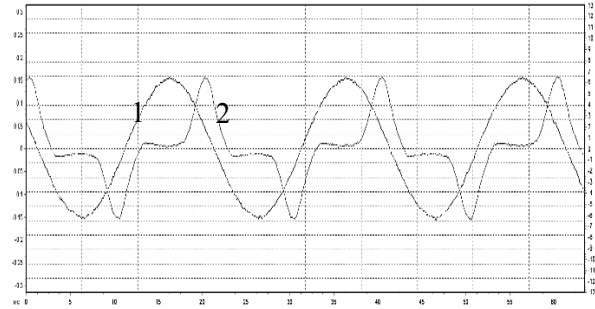


Рис. 5. Осцилограма вхідної напруги й вихідного струму:
1 – вхідна напруга; 2 – вихідний струм

Fig. 5. Oscillogram of input voltage and output current:
1 – input voltage, 2 – output current

Під час проведення експериментальних досліджень було застосовано багато варіантів увімкнення витків обмоток і варіювання їхньої кількості, а також різних номіналів ємностей [6, 8]. Здійснено розрахунки вихідної потужності й коефіцієнта корисної дії (ККД) генератора. Проведені дослідження свідчать, що найбільш ефективною є схема із зустрічно увімкненими витками $W_{H0} = 50$ і $W_H = 300$ і ємністю в колі накачування 40 мкФ. У разі таких параметрів схеми генерація настає при напруги $U_{ген} = 180 В$ (рис. 6).

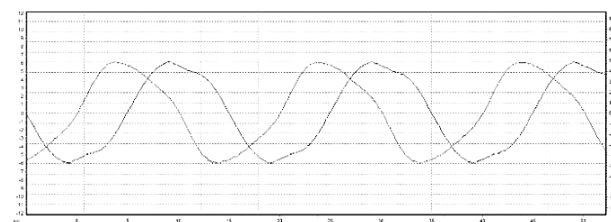


Рис. 6. Осцилограма вхідної та вихідної напруг у режимі генерації

Fig. 6. Oscillogram of input and output voltages in generation mode

Результати вимірювань наведені в табл. 1.

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

Таблиця 1
Результати експериментальних досліджень

Table 1

Results of experimental studies

$U_{\text{мережі}}, \text{В}$	$U_{\text{Н}}, \text{В}$	$U_{\text{к}}, \text{В}$	$i_{\text{Rш}}, \text{А}$
180	242	262	1,5
210	256	260	1,5
220	267	257	1,5
230	279	252	1,5
255	295	240	1,4

У разі досягнення $U_{\text{ген}} = 180 \text{ В}$ зсув фаз між напругою вхідного та вихідного контурів дорівнює 90° [11], що відображає роботу ПГ (рис. 7).

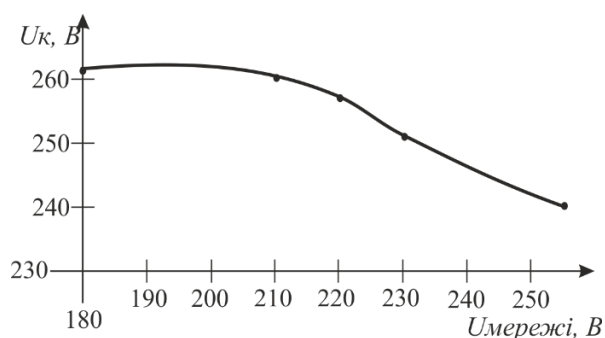


Рис. 7. Нелінійна залежність вихідної напруги контура від напруги живлення

Fig. 7. Nonlinear dependence of the output voltage of the circuit on the supply voltage

За отриманими експериментальними даними було побудовано залежність величини вихідної напруги контура від напруги живильної мережі. Як видно на рис. 6, вихідна напруга є стабілізованою, її пульсації не перевищують 8 %, що є прийнятним згідно з ТУ. Для цього схемного рішення ККД $\eta = 0,7$.

Зважаючи на отримані осцилограми й виміряні напруги, ПГ 50:50-150 можна успішно застосовувати як стабілізоване вторинне джерело живлення.

На стадії розробки пристрою ПГ 50:50-150 було заплановано використовувати і як засіб захисту від дії грозових розрядів і блискавок, тому проведено дослідження і в цьому напрямі.

Сертифікована лабораторія випробувань технічних засобів залізничної автоматики й телемеханіки провела випробування ПГ 50:50-150 на електромагнітну сумісність. У результаті на виході генератора спостерігалася напруга перешкоди амплітудою 5–7 В під час подачі на вхід пристрою напруги 3,5 кВ тривалістю до 100 мкс.

Результати

На основі проведених досліджень макетного зразка ПГ 50:50-150 було уточнено параметри елементів кіл накачування та контура, зокрема схему ввімкнення витків накачування, їх кількість, наявність у схемі лінійної індуктивності. Побудовано залежність напруги контура від напруги мережі, отримано осцилограми вихідного струму, вхідної та вихідної напруг у режимі генерації. Проведено дослідження захисних властивостей пристрою. Розроблено діючий зразок ПГ, який дозволить вирішити важливу практичну задачу – організувати ефективний захист апаратури систем залізничної автоматики від дії потужних імпульсних завад, створених грозовими розрядами, блискавками й комутаційними перенапругами тягової мережі залізниць.

Наукова новизна та практична значимість

Удосконалено пристрій параметричного генератора, який має у своїй конструкції енергоємні елементи, що значно поліпшує його енергетичні характеристики і властивості. Задля підвищення надійності систем автоблокування подальший розвиток отримали способи захисту апаратури залізничної автоматики й телемеханіки від впливу потужних імпульсних завад і високих рівнів тягових струмів.

На основі отриманих результатів можна впровадити у виробництво досліджений пристрій і застосовувати його в системах залізничної автоматики для організації стабілізованого вторинного джерела живлення, а також для захисту апаратури від дії потужних імпульсних завад, створених грозовими розрядами і блискавками або комутаційними перенапруженнями. Отримані в роботі результати також можуть бути використані під час переобладнання пере-

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

гонів новими системами залізничної автоматики й підготовки проектної документації на рейкові кола, станційні системи й системи автоблокування. Результати дослідження використовують під час вивчення дисциплін «Спеціальні вимірювання на залізничному транспорті» й «Електроживлення пристроїв автоматики», організації науково-практичних семінарів, курсів підвищення кваліфікації тощо.

Висновки

Параметричний генератор частоти на неколінеарних магнітних полях ПГ 50:50 можна успішно застосовувати на залізницях України як стабілізоване вторинне джерело живлення й пристрій захисту від впливу грозових імпульсів і блискавок. Уніфікованість конструкції і стабільність характеристик дозволяє використовувати параметричний генератор в інших галузях промисловості й медицини як стабілізоване джерело живлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабичев, Ю. Е. Электротехника, электроника и схемотехника ЭВМ. Анализ линейных электрических цепей : учеб.-метод. пособие / Ю. Е. Бабичев. – Москва : МИСиС, 2017. – 72 с.
2. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник для электротехн., энергет., приборостроит. спец. вузов / Л. А. Бессонов. – 9-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 1996. – 638 с.
3. Манаков, А. Д. Концепция защиты устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от перенапряжений / А. Д. Манаков // Промышленный транспорт Урала. – 2007. – № 9. – С. 35–37.
4. Параметрический резонанс : учеб.-метод. пособие / сост. Н. И. Федяйнова. – Томск : Изд. Дом Томского гос. ун-та, 2016. – 14 с.
5. Разгонов, А. П. Оцінка впливу асиметрії тягового струму на роботу перегінних рейкових кіл / А. П. Разгонов, К. І. Ящук // Безпека та електромагнітна сумісність на залізн. трансп. (S&EMC) : тези VII Міжнар. наук.-практ. конф. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2016. – С. 60–61.
6. Hasan, A. N. Impulse Noise Detection in OFDM Communication System Using Machine Learning Ensemble Algorithms / A. N. Hasan, T. Shongwe // International Joint Conference SOCO'16-CISIS'16-ICEUTE'16 (San Sebastián, Spain, October 19th–21st, 2016). – Cham : Springer, 2016. – P. 85–91. doi: 10.1007/978-3-319-47364-2_9
7. Non-collinear generation of angularly isolated circularly polarized high harmonics / D. D. Hickstein, F. J. Dollar, P. Grychtol [et al.] // Nature Photonics. – 2015. – Vol. 9. – Iss. 11. – P. 743–750. doi: 10.1038/nphoton.2015.181
8. Shongwe, T. A study on Impulse Noise and Its Models / T. Shongwe, A. J. H. Vinck, H. C. Ferreira // SAIEE Africa Research Journal. – 2015. – Vol. 106. – Iss. 3. – P. 119–131. doi: 10.23919/saiee.2015.8531938
9. Parametric generator : Patent 8699124, USA, WO2011/157990 / M. H. Dunn ; University Court of The University of St Andrews Filed. – № PCT/GB2011/000899 ; App. Date June 16, 2011 ; Pub. Date December 22, 2011.
10. Yashchuk, K. I. Potentials railwise propagation study / K. I. Yashchuk // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – № 4 (70). – С. 7–15. doi: 10.15802/stp2017/109519
11. Zong, Z. A 60 GHz frequency generator based on a 20 GHz oscillator and an implicit multiplier / Z. Zong, M. Babaie, R. B. Staszewski // IEEE Journal of Solid-State Circuits. – 2016. – Vol. 51. – Iss. 5. – P. 1261–1273. doi: 10.1109/jssc.2016.2528997

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

К. И. ЯЩУК^{1*}, А. Ю. ЖУРАВЛЕВ^{2*}, В. И. ЩЕКА^{3*}

^{1*}Каф. «Автоматика и телекоммуникации», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта k.i.yaschuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-8606-5790

^{2*}Каф. «Автоматика и телекоммуникации», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта anton.zhuravlev@gmail.com, ORCID 0000-0001-6885-5177

^{3*}Каф. «Автоматика и телекоммуникации», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта v.i.shcheka@gmail.com, ORCID 0000-0002-2184-2827

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ЧАСТОТЫ НА НЕКОЛЛИНЕАРНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Цель. В статье необходимо провести исследование параметрического генератора частоты на неколлинеарных магнитных полях, который выполняет функции стабилизированного источника питания и средства защиты от воздействия мощных импульсных помех в виде коммутационных перенапряжений и разрядов молнии. **Методика.** Для проведения экспериментальных исследований был изготовлен макетный образец параметрического генератора. Проведен ряд исследований по определению оптимальных параметров цепей накачки и контура устройства, при которых достигаются лучшие энергетические характеристики и максимальная выходная мощность с обеспечением устойчивой генерации в системе. **Результаты.** Авторы доказали необходимость разработки средства защиты аппаратуры сигнализации, централизации и блокировки от воздействия мощных импульсных помех. Разработанная конструкция устройства полностью исключает трансформацию энергии, то есть проникновение помехи со входа на выход. В результате проведенных экспериментальных исследований определены оптимальные параметры цепей генератора, которые обеспечивают его лучшие энергетические характеристики. **Научная новизна.** Усовершенствовано устройство параметрического генератора, который имеет в своей конструкции энергоемкие элементы, что значительно улучшает энергетические характеристики и свойства. С целью повышения надежности систем автоблокировки дальнейшее развитие получили способы защиты аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики от воздействия мощных импульсных помех и высоких уровней тяговых токов. **Практическая значимость.** На основании полученных результатов можно внедрить в производство исследованное устройство и применять его для организации стабилизированного вторичного источника питания путевых устройств железнодорожной автоматики, а также для защиты аппаратуры от воздействия мощных импульсных помех, созданных грозовыми разрядами и молниями или коммутационными перенапряжениями. Результаты работы также могут быть использованы при переоборудовании перегонов новыми системами железнодорожной автоматики и при подготовке проектной документации на рельсовые цепи, станционные системы и системы автоблокировки. Результаты исследования используют при изучении дисциплин «Специальные измерения на железнодорожном транспорте» и «Электропитание устройств автоматики», организации научно-практических семинаров, курсов повышения квалификации и т. под.

Ключевые слова: параметрический генератор частоты; неколлинеарные магнитные поля; мощные импульсные помехи; защитное средство; грозовые разряды; молнии; стабилизированный источник питания

K. I. YASHCHUK^{1*}, A. Y. ZHURAVLEV^{2*}, V. I. SHCHEKA^{3*}

^{1*}Dep. «Automation and Telecommunications», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail k.i.yaschuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-8606-5790

^{2*}Dep. «Automation and Telecommunications», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail anton.zhuravlev@gmail.com, ORCID 0000-0001-6885-5177

^{3*}Dep. «Automation and Telecommunications», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail v.i.shcheka@gmail.com, ORCID 0000-0002-2184-2827

PARAMETRIC FREQUENCY GENERATOR ON NONCOLLINEAR MAGNETIC FIELDS

Purpose. The article is aimed to study a parametric frequency generator on noncollinear magnetic fields, which performs the functions of a stabilized power source and means of protection against the effects of powerful impulse noises in the form of switching overvoltages and lightning discharges. **Methodology.** To carry out experimental studies, a prototype model of a parametric generator was fabricated. A number of studies were carried out to determine the optimal parameters of the pump circuits and the circuit of the device, in which the best energy characteristics and maximum output power are achieved with stable generation in the system. **Findings.** The authors proved the importance to develop a means of protecting signaling equipment, centralization and blocking from the effects of powerful impulse noises. The developed construction of the device completely eliminates the transformation of energy, it means the penetration of noise from the input to the output. As a result of the experimental studies, the optimal parameters of the generator circuits, which provide its best energy characteristics, were determined. **Originality.** The device of the parametric generator, which has energy-consuming elements in its design, has been improved, this significantly improves the energy characteristics and properties. In order to improve the reliability of automatic blocking systems, the methods for protecting railway automation equipment and telemechanics from the effects of high-power impulse noises and high levels of traction currents were further developed. **Practical value.** Based on the obtained results, the device under investigation can be introduced into production and used in railway automation systems to organize a stabilized secondary power source for railway automation track equipment, as well as to protect equipment from the effects of powerful impulse noises created by lightning discharges and lightning or switching overvoltages. The results of work can also be used in re-equipment of the hauls with new railway automation systems and in the preparation of design documentation for track circuits, station systems and automatic blocking systems. The results are used during the studying of the subjects: «Special Measurements at Railway Transport» and «Automatic Devices Power Supply»; the organization of scientific workshops, training courses etc.

Keywords: parametric frequency generator; noncollinear magnetic fields; powerful impulse noises; protective device; lightning discharges; lightning; stabilized power supply

REFERENCES

1. Babichev, Y. Y. (2017). *Elektrotehnika, elektronika i skhemotekhnika EVM. Analiz lineynykh elektricheskikh tsepey: uchebno-metodicheskoe posobie*. Moscow: MISiS. (in Russian)
2. Bessonov, L. A. (1996). *Teoreticheskie osnovy elektrotehniki. Elektricheskie tsepi: uchebnik*. Moscow: Vysshaya shkola. (in Russian)
3. Manakov, A. D. (2007). Kontsepsiya zashchity ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki ot perenapryazheniy. *Promyshlennyiy transport Urala*, 9, 35-37. (in Russian)
4. Fedyaynova, N. I. (Ed). (2016). *Parametricheskii rezonans: uchebno-metodicheskoe posobie*. Tomsk: Izdatelskiy Dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. (in Russian)
5. Razgonov, A. P., & Yaschuk, K. I. (2016). *Otsinka vplyvu asymetrii tiahovoho strumu na robotu perehinnykh reikovykh kil, Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference «Safety and Electromagnetic Compatibility on Railway Transport, S&EMC*. Dnipro: Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. (in Ukrainian)
6. Hasan, A. N., & Shongwe, T. (2016). *Impulse Noise Detection in OFDM Communication System Using Machine Learning Ensemble Algorithms, International Joint Conference SOCO'16-CISIS'16-ICEUTE'16*. Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-47364-2_9 (in English)
7. Hickstein, D. D., Dollar, F. J., Grychtol, P., Ellis, J. L., Knut, R., Hernández-García, C., ... Durfee, C. G. (2015). Non-collinear generation of angularly isolated circularly polarized high harmonics. *Nature Photonics*, 9(11), 743-750. doi: 10.1038/nphoton.2015.181 (in English)
8. Shongwe, T., Vinck, A. J. H., & Ferreira, H. C. (2015). A Study on Impulse Noise and Its Models. *SAIEE Africa Research Journal*, 106(3), 119-131. doi: 10.23919/saiee.2015.8531938 (in English)
9. Dunn, M. H. (2011). US Patent No. 8699124. St Andrews: University Court of The University of St Andrews Filed. (in English)
10. Yashchuk, K. I. (2017). Potentials railwise propagation study. *Science and Transport Progress*, 4(70), 7-15. doi: 10.15802/stp2017/109519 (in English)

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

11. Zong, Z., Babaie, M., & Staszewski, R. B. (2016). A 60 GHz Frequency Generator Based on a 20 GHz Oscillator and an Implicit Multiplier. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 51(5), 1261-1273. doi: 10.1109/jssc.2016.2528997 (in English)

Надійшла до редколегії: 17.12.2018

Прийнята до друку: 02.04.2019