

$$\sum_{h=1}^{h'} F_h^{ШД} \lambda_h \geq F_{задан}^{ШД} ; \tag{10}$$

■ витрати на купівлю, інсталяцію, технічну підтримку, обслуговування, а також приведені витрати на БФП мають не перевищувати заданих $V_{задан}^K$, $V_{задан}^I$, $V_{задан}^{ТП}$, $V_{задан}^O$, $V_{задан}^П$ відповідно

$$\sum_{h=1}^{h'} V_h^K \lambda_h \leq V_{задан}^K , \tag{11}$$

$$\sum_{h=1}^{h'} V_h^I \lambda_h \leq V_{задан}^I , \tag{12}$$

$$\sum_{h=1}^{h'} V_h^{ТП} \lambda_h \leq V_{задан}^{ТП} , \tag{13}$$

$$\sum_{h=1}^{h'} V_h^O \lambda_h \leq V_{задан}^O , \tag{14}$$

$$\sum_{h=1}^{h'} V_h^П \lambda_h \leq V_{задан}^П . \tag{15}$$

5. Висновок

Обов'язковою операцією при будь-якому впровадженні або зміні існуючої інформаційної системи є оцінка необхідного швидкодії системи та планування необхідних обчислювальних ресурсів для її реалізації. В даний час не існує точного вирішення цієї задачі в загальному вигляді. Тим не менш, існує достатня кількість способів оцінити необхідну для досягнення необхідної продуктивності конфігурацію програмного й апаратного забезпечення. Всі ці способи можуть застосовуватися в процесі вибору, але споживач повинен розуміти їх області застосування та обмеження. Більшість існуючих методів оцінки продуктивності ґрунтується на тому чи іншому типі тестування. Ми пропонуємо свій варіант вирішення цієї задачі, який вважаємо самим вірним і економічним. Проведений

аналіз дозволить провести вибірку апаратно технічного забезпечення і периферійних пристроїв. Дане дослідження дозволить вибрати комплект АТЗ і ПО для офісу.

Таким чином, у даному дослідженні запропонована узагальнена модель вибору багатофункціонального приладу (БФП), яка на відміну від існуючих, дозволяє в залежності від особливостей комплектації ПЕОМ, що реалізуються офісом управління будівельними проектами, науково-обґрунтовано обирати БФП за заданими критеріями і обмеженнями для технічного забезпечення автоматизованого робочого місця менеджера проектного офісу. Ця модель дозволяє підвищити ефективність підбору технічних засобів для організації АРМ команди управління будівельним проектом.

Розроблена модель може бути адаптована для вибору принтеру, ксероксу, сканеру, плотеру і т. ін.

Література

1. Управління проектами [Текст]: навчальний посібник / Л. І. Нефьодов, Ю. А. Петренко, С. А. Кривенко, М. І. Богданов, В. Ф. Демішкан. — Харків: ХНАДУ, 2004. — 231 с.
2. Петров, Е. Г., Новожилова М.В., Гребеннік Ш.В. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах [Текст]: навчальний посібник / Е. Г. Петров, М. В. Новожилова, Ш. В. Гребеннік. — Харків: ХДТУБА, 2002. — 284 с.
3. Керівництво до своду знань з управління проектами [Текст]. — 3-є видання. — Керівництво РМВОК. — Американський національний стандарт ANSI/PMI 99-001-2004.
4. Нефедов, Л. И. Модель вибору програмного забезпечення офіса по управленню проектами [Текст] / Л. И. Нефедов, В. Е. Овчаренко, Т. В. Плугина, Ю. А. Петренко // Технология приборостроения. — 2008. — № 2. — С. 45–52.

□ □

Наведено результати синтезу та аналізу моделей функціонування мікропроцесорних пристроїв керування станційними світлофорами.

Ключові слова: світлофор, безпека, ШИМ, перетворення Фур'є.

□ ----- □

Приведены результаты синтеза и анализа моделей функционирования микропроцессорных устройств управления станционными светофорами.

Ключевые слова: светофор, безопасность, ШИМ, преобразование Фурье.

□ ----- □

Brought results of the syntheses and analysis of operation models of microprocessor devices of management by stations traffic light.

Keywords: traffic light, safety, PWM, Fourier Transform.

□ □

УДК 656.25:656.257

МОДЕЛІ ПРИСТРОЇВ КЕРУВАННЯ СТАНЦІЙНИМИ СВІТЛОФОРАМИ

М. М. Чепцов

кандидат технических наук, доцент
докторант Украинской государственной академии
железнодорожного транспорта
E-mail: chepsoft@drti.donetsk.ua

1. Вступ, постановка проблеми

Світлофори є кінцевими виконавчими механізмами станційних систем залізничної автоматики, що безпосе-

редньо забезпечують безпеку руху. Згідно з діючими на сьогоднішній день поняттями і визначеннями [1–3], критерієм небезпечної відмови пристрою керування світлофором є вмикання на ньому показання, яке дозволяє рух замість

заборони або рух з більшою, ніж потрібно, швидкістю [4]. З урахуванням цього при синтезі функціональних моделей повинні застосовуватись методи та засоби, які унеможливають імовірність виникнення небезпечних відмов.

2. Аналіз публікацій, формулювання цілей статті, виклад матеріалу досліджень

З оглядом на досвід експлуатації тональних рейкових кіл [5–7], де виконання безпечної функції – фіксація вільного стану РК, виконується за рахунок аналізу апіорно відомих даних вхідного сигналу [8], з урахуванням аналізу сучасних мікропроцесорних систем [9–13], сформулюємо ціль дослідження.

Ціллю статті є розробка моделей пристрів керування станційними світлофорами за критерієм мінімуму ймовірності виникнення небезпечної відмови, з урахуванням необхідності формування інформаційного сигналу про стан нитки лампи світлофору.

На основі попередніх досліджень [14] синтезована структура пристрою буде містити наступні вузли (рис. 1):

- приймач сигналу керування $f_{КН}^3(t)$ (ПР);
- амплітудний селектор (АС1);
- генератор ШІМ-последовності (ГШІМ);
- інвертор (Інв.);
- пристрій контролю струму (ПКС);
- світлофорний трансформатор (СТ);
- лампа світлофору (З);
- амплітудний селектор (АС2);
- генератор контролю нитки лампи (ГКН).

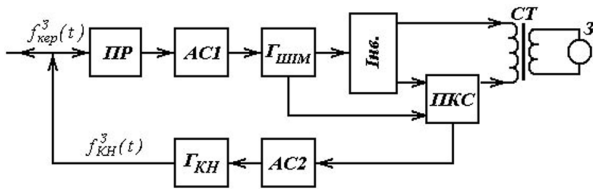


Рис. 1. Загальна структура пристрою керування показанням світлофору

Інвертор представляє собою схему, вихідні ключі (VT1–VT4) якої підключаються до первинної обмотки світлофорного трансформатора СТ (рис. 2). Їх роботою управляють оптрони VE1–VE4, які, крім цього, забезпечують гальванічне розмежування вхідних кіл.

Різнопольярна ШІМ послідовність $f_{ШІМ}^3(t)$, з амплітудою $u_{ШІМ}^3(t_j)$, подається на входи схеми і приводить

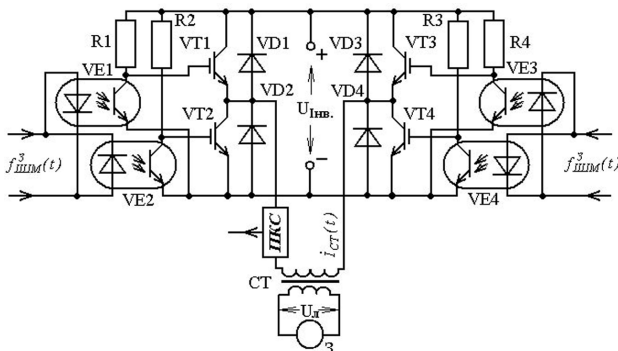


Рис. 2. Електрична схема інвертору

до вмикання у кожен момент часу двох з чотирьох ключів – VT1, VT4 або VT2, VT3, забезпечуючи робочий струм $i_{СТ}(t)$ первинної обмотки трансформатора і включений стан світлофорної лампи З.

Сигнал $f_{ШІМ}^3(t)$ формується стандартним способом [15] за рахунок порівняння миттєвого значення синусоїдального сигналу частотою $\omega_{\sin} = 2\pi f_{\sin}$ та пилокоподібного з періодом $T_{\Pi} = 1/f_{\Pi}$, тобто у дискретний момент часу t_j :

$$u_{\sin}(t_j) = A \sin(\omega_{\sin} t_j) \quad (1)$$

$$\text{та } u_{\Pi}(t) = 4A k_{\Pi} \text{div}(t_j, T_{\Pi}) - 2, \quad (2)$$

де A – амплітуда сигналів; k_{Π} – коефіцієнт, що залежить від періоду T_{Π} ; div – оператор розрахунку залишку цілочисельного ділення.

Введення констант у виразі (2) обумовлено необхідністю усунення постійної складової, тобто максимальна амплітуда $u_{\Pi}(t_j)$ повинна у два рази перевищувати максимальну амплітуду $u_{\sin}(t_j)$.

У свою чергу амплітуда ШІМ сигналу $u_{ШІМ}^3(t_j)$ у дискретний момент часу t_j розраховується у відповідності до виразу:

$$u_{ШІМ}^3(t_j) = \xi_{АС1}(t_j) \begin{cases} 1, & \text{якщо } u_{\sin}(t_j) \geq u_{\Pi}(t_j); \\ -1, & \text{якщо } u_{\sin}(t_j) < u_{\Pi}(t_j), \end{cases} \quad (3)$$

де $\xi_{АС1}(t_j)$ – значення виходу амплітудного селектора АС1.

Як впливає з виразів (1)–(3), у моделі генератору необхідно встановити та обґрунтувати значення f_{\sin} , f_{Π} та $f_{Д}$, де остання – частота дискретизації: $f_{Д} = 1/(t_j - t_{j-1})$. Для цього, як приклад, розглянемо часову та частотну характеристики сигналу $u_{ШІМ}^3(t_j)$ при $f_{\sin} = 50$ (Гц), $f_{\Pi} = 500$ (Гц), $f_{Д} = 8$ (КГц) (рис. 3).

З прикладу видно, що щільність розподілу сигналу з ШІМ модуляцією не є оптимальною для схеми, що розглядається (див. рис. 2). Враховуючи те, що сигнальний трансформатор СТ представляє собою фільтр нижніх частот, наявність високочастотних складових у спектрі сигналу $u_{ШІМ}^3(t_j)$ буде приводити до втрат потужності, перегріву ключів інвертору і т. і.

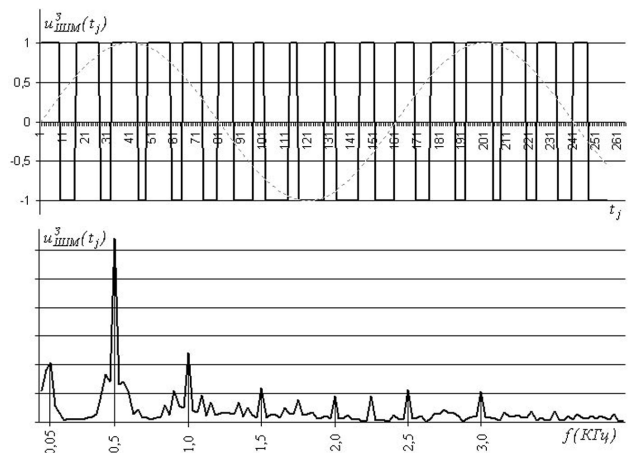


Рис. 3. Часова та частотна характеристики сигналу $u_{ШІМ}^3(t_j)$

Експериментально встановлені дані дозволили апроксимувати частотну характеристику трансформатора

марки СТ-4 [16] з підключеною до нього світлофорною лампою ЖС-12-25 (рис. 4).

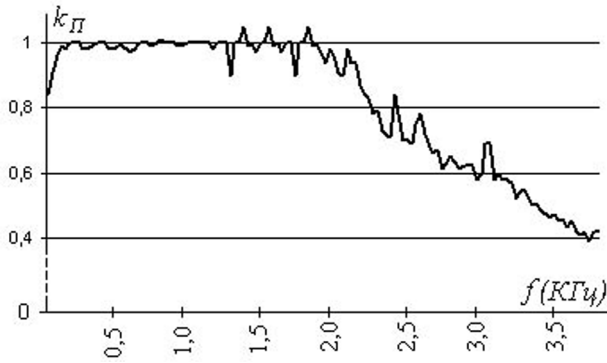


Рис. 4. Частотна характеристика трансформатору СТ-4

Як видно з рисунку, коефіцієнт передачі k_{Π} суттєво залежить від частоти сигналу, причому смуга пропущення за рівнем 0,7 складає 23–2560 (Гц).

З урахуванням викладеного, для рішення задачі оптимізації значень частот f_{sin} , f_{Π} необхідно розрахувати спектральну щільність сигналу на світлофорній лампі $f_{\Pi}^3(t)$ за критерієм максимуму [17, 18]

$$S(f_{\Pi}^3, t) \rightarrow \max, \tag{4}$$

де

$$S(f_{\Pi}^3, t) = \frac{1}{T} \int_0^T [f_{\Pi}^3(t)]^2 dt, \tag{5}$$

як безперервна функція, або

$$S(f_{\Pi}^3, t_j) = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^T [f_{\Pi}^3(t_j)]^2, \tag{6}$$

як дискретна, при наступних обмеженнях:

- $f_{\Pi} / f_{\text{sin}} \geq 2$, тобто частота сигналу з ШІМ модуляцією повинна щонайменше у два рази перевищувати частоту синусоїдального сигналу [19, 20];
- смуга пропущення світлофорного трансформатору, повинна відповідати експериментально встановленій;
- $f_{\text{sin}} > 0$ та $f_{\Pi} > 0$.

З оглядом на частотну характеристику трансформатору (див. рис. 4) найбільш доцільно обрати частоту дискретизації $f_{\text{д}} = 8$ (КГц). Тоді обчислювальний алгоритм розрахунку максимуму потужності з дискретною (128 значень) зміною частоти f_{sin} від 31,25 Гц до 2 КГц, а частоти f_{Π} від 62,5 Гц до 4 КГц, з кроком у 31,25 Гц, дозволив отримати діаграму, яка відображає залежність $S(f_{\Pi}^3, t)$ від частот f_{sin} та f_{Π} (рис. 5).

На діаграмі виділено зону максимуму, де спектральна щільність приймає значення $S(f_{\Pi}^3, t) = 0,50685984$, при цьому керовані змінні: $f_{\text{sin}} = 250$ (Гц), $f_{\Pi} = \{968,75; 1000; 1031,25; 1062,5\}$ (Гц). З урахуванням найменших втрат потужності у ланці інвертор-світлофорна лампа, доцільно обрати $f_{\text{sin}} = 250$ (Гц), $f_{\Pi} = 1000$ (Гц).

Цілісність нитки світлофорної лампи, як і у існуючих системах [21], логічно виконувати на підставі контролю робочого струму трансформатору. Але, з урахуванням використання у пристрої сигнального процесору, доцільніше виконувати часовий та спектральний аналіз. Це суттєво збільшує обсяг отриманої інформації, що

при відповідній обробці дозволяє реалізувати як основну функціональність, так і впровадити засоби технічної діагностики.

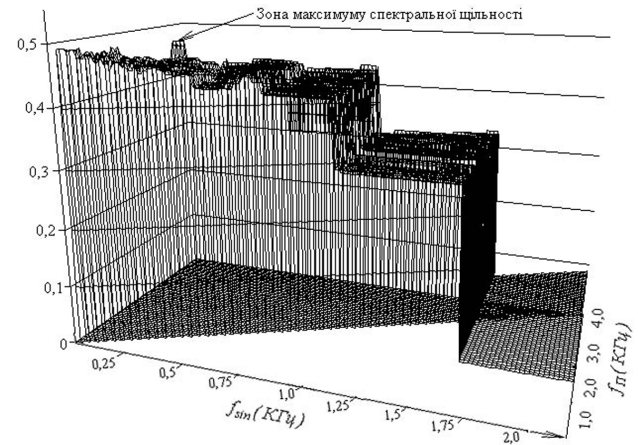


Рис. 5. Діаграма розподілу спектральної щільності

Модель пристрою контролю струму (ПКС, на рис. 1) отримує дані з двох джерел: генератору ШІМ та резистору, який включено в коло струму $i_{\text{СТ}}(t)$. Перший сигнал використовується у якості еталонного, його спектрально-часову характеристику означимо як $\theta_{\text{ШІМ}}^E(f, t)$, другий – діюче значення струму у первинній обмотці трансформатора СТ. Його аналогічну характеристику означимо як $\theta^D(f, t) = k_{\text{Л}}^3 i_{\text{СТ}}(f, t)$, де $k_{\text{Л}}^3$ – коефіцієнт, який розраховується при умові відсутності струму у вторинній обмотці СТ, за критерієм $|\theta_{\text{ШІМ}}^E(f, t) - \theta^D(f, t)| \rightarrow \min$. Тоді модель ПКС представляється як різницевий вираз:

$$\theta_{\text{ПКС}}(f, t) = \sqrt{[\theta_{\text{ШІМ}}^E(f, t)]^2 - [\theta^D(f, t)]^2}. \tag{7}$$

З урахуванням реалізації характеристики у засобах обчислювальної техніки, в умовах дискретного часу t_j , причому $t_{j-1} - t_j = T_{\text{д}} = 1/f_{\text{д}}$ та дискретної частоти f_k , де $k = (0, 1, \dots, K)$, K – кратність швидкого перетворення Фур'є, вираз (7) приймає наступний вигляд:

$$\theta_{\text{ПКС}}(f_k, t_j) = \sqrt{[\theta_{\text{ШІМ}}^E(f_k, t_j)]^2 - [\theta^D(f_k, t_j)]^2}. \tag{8}$$

Розрахунок виразу (8) виконано з використанням швидкого перетворення Фур'є (FFT) розмірністю 256 [22] при частоті дискретизації $f_{\text{д}} = 8$ (КГц). У результаті отримано тримірні діаграми залежностей $\theta_{\text{ШІМ}}^E(f_k, t_j)$, $\theta^D(f_k, t_j)$ та $\theta_{\text{ПКС}}(f_k, t_j)$ (рис. 6).

Аналіз показує, що на діаграмі еталонного сигналу $\theta_{\text{ШІМ}}^E(f_k, t_j)$ (див. рис. 6,а) присутній незначний постійний струм (f_0), чого не має на діаграмі діючого сигналу $\theta^D(f_k, t_j)$ (див. рис. 6,б).

На усіх діаграмах ненульові значення функцій наявні тільки на основних частотах та гармоніках ШІМ сигналу, де k приймає наступні дискретні значення частот: 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 2,25; 2,5; 2,75; 3,05; 3,3; 3,55; 3,75 (КГц).

Таким чином, фактичний стан нитки світлофорної лампи, трансформатору СТ, кіл з'єднання та вихідного каскаду інвертору виконується як результат аналізу різницевого сигналу за наступними ознаками:

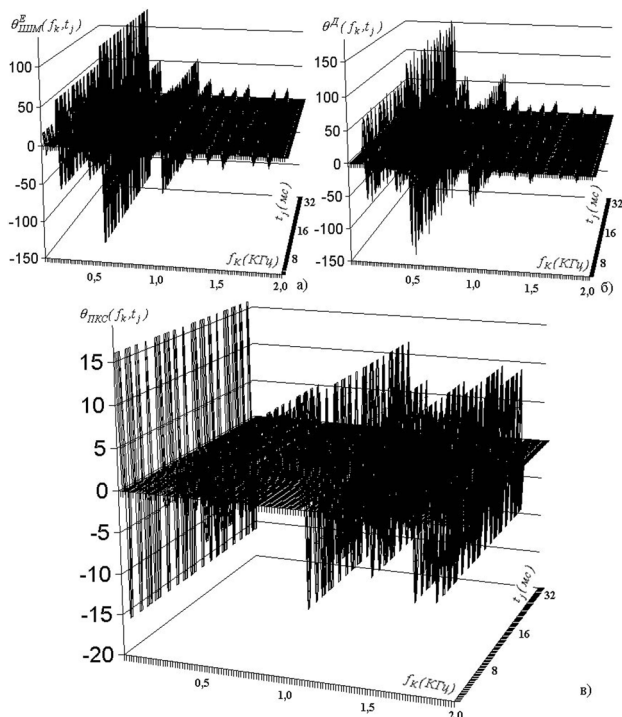


Рис. 6. Діаграми залежностей від частоти f_k та часу t_j значень: *a* — еталонного сигналу $\theta^E_{\text{ШІМ}}(f_k, t_j)$; *б* — діючого $\theta^D(f_k, t_j)$; *в* — різницевого $\theta^P_{\text{КК}}(f_k, t_j)$

- якщо $\theta^P_{\text{КК}}(f_k, t_j) \rightarrow 0$, то відсутній струм вторинної обмотки СТ, що є свідченням перегорання лампи або розриву кола інвертор-лампа;
- перевищення значенням $\theta^P_{\text{КК}}(f_0, t_j)$ номінального порогу свідчить про наявність постійного струму. Ймовірна причина — пробій ключів інвертору;
- зменшення значень $\theta^P_{\text{КК}}(f_k, t_j)$ при $k = \{250, 500, 750, 1000, \dots\}$, тобто на гармоніках сигналу ШІМ, є ознакою параметричної відмови лінійних кіл або трансформатору СТ.

Узагальнивши розгляд діаграм слід відмітити, що до моделі амплітудного селектора АС2 (див. рис. 1) необхідно включити різницеві характеристики з дискретними значеннями частот, що перераховані.

Якщо ввести означення $\varphi_k(t_j) = \theta^P_{\text{КК}}(f_k, t_j)$, то модель функціонування АС2 представляється наступними виразами:

$$\xi_{\text{АС2}}(t_j)^{(1)} = \prod_{k=0}^K \mu_k \varphi_k(t_j) e^{-\mu_k \varphi_k(t_j)}$$

та $\xi_{\text{АС2}}(t_j) = \xi_{\text{АС2}}(t_j)^{(1)} \pm e^{-T|\xi_{\text{АС2}}(t_j)^{(1)} - \xi_{\text{АС2}}(t_{j-1})|}$, (9)

де T — період частоти дискретизації f_D ; μ_k — гармонійні амплітудні коефіцієнти, числове значення яких розраховується за критерієм номінального значення $i_{\text{СТ}}(t)$ та відповідності встановленій частотній характеристиці СТ.

У свою чергу вихід АС2 є керована змінна у моделі функціонування генератору ГКН (див. рис. 1):

$$f_{\text{КН}}^3(t_j) = \xi_{\text{АС2}}(t_j) \sin(\omega_{\text{КН}}^3 t_j + \theta_{\text{max}} \sin(\Omega_{\text{КН}}^3 t_j)), \quad (10)$$

де $\omega_{\text{КН}}^3$ та $\Omega_{\text{КН}}^3$ — частота несучої та частота модуляції; θ_{max} — індекс модуляції.

3. Узагальнення, висновки та перспективи подальших досліджень

Узагальнюючи викладене, розглянемо функціонування моделей пристрою керування світлофором. Так, у початковому стані, якщо відсутній сигнал керування $f_{\text{кер}}^3(t)$, на виході приймача ПР, як і амплітудного селектора АС1 дорівнює нулю (див. рис. 1). У відповідності до (1)–(3) амплітуда ШІМ сигналу $u_{\text{ШІМ}}^3(t_j) = 0$, світлофорна лампа не горить.

Якщо $u_{\text{ШІМ}}^3(t_j) = 0$, то й усі значення як еталонного сигналу $\theta^E_{\text{ШІМ}}(f_k, t_j)$ так і діючого $\theta^D(f_k, t_j)$ нульові. У відповідності до (8) значення різницевого сигналу $\theta^P_{\text{КК}}(f_k, t_j) = 0$, слідством цього є $\xi_{\text{АС2}}(t_j) = 0$ та $f_{\text{КН}}^3(t_j) = 0$ (9), (10) — відсутній сигнал контролю цілісності нитки світлофорної лампи.

При надходженні частотно-модульованого сигналу керування $f_{\text{кер}}^3(t)$ його апріорно встановлені характеристики заданим на виході АС1 з'являється сигнал який вмикає генератор ШІМ і починає роботу інвертор Інів. Якщо нитка світлофорної лампи ціла, параметри з'єднувальних кіл припустимі, трансформатор СТ знаходиться у працездатному стані, то у відповідності до (8)–(10) починає роботу генератор ГКН і в лінії з'являється сигнал контролю $f_{\text{КН}}^3(t_j)$.

Ушкодження нитки лампи приводить до зникнення струму у вторинній обмотці СТ. При цьому у виразі (8) $\theta^D(f_k, t_j) \rightarrow 0$, слідством чого є примірне рівняння: $\theta^P_{\text{КК}}(f_k, t_j) \approx \theta^E_{\text{ШІМ}}(f_k, t_j)$. У відповідності до (9), за рахунок значень амплітудних коефіцієнтів, $\xi_{\text{АС2}}(t_j)$ стає рівним нулю. Формування сигналу генератором ГКН закінчується і у лінії зникає сигнал контролю.

Слід зазначити, що у моделі функціонування пристрою керування світлофором (1)–(10) не передбачено контролю нитки у холодному стані. Але розглянуті підходи можуть бути покладені в основу реалізації цієї задачі. Для цього необхідно отримати частотну характеристику СТ з підключеною лампою при значеннях напруги на первинній обмотці, недостатніх для її горіння. Встановивши необхідні значення струму $i_{\text{СТ}}(t)$ потрібно розрахувати коефіцієнт $k_{\text{Д}}^3$ (8) та гармонійні амплітудні коефіцієнти μ_k (9). З урахуванням цього модель адаптується для контролю нитки у холодному стані, але впровадження такої функціональності можливе тільки після аналізу умов забезпечення необхідного рівня безпеки.

Література

1. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]. — Затв. наказом Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 р. № 411. Из змінами і доповненнями, внесеними наказом Міністерства транспорту України від 8 червня 1998 р. № 226, від 23 липня 1999 р. № 386, від 19 березня 2002 р. № 179. — Київ, 2003. — 134 с.

2. ДСТУ 4178–2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпеність і надійність. Вимоги та методи випробування [Текст]. — Затв. та введ. 04.09.2003. — К. : Держспоживстандарт України, 2003. — 31 с.
3. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики [Текст] / В. В. Сапожников, В. В. Сапожников, В. И. Талалаев и др.; под ред. В. В. Сапожникова. — М. : Транспорт, 1997. — 288 с.
4. Чепцов, М. Н. Критерий опасного отказа микропроцессорного устройства управления показаниями светофора [Текст] / М. Н. Чепцов, С. А. Радковский // Збірник наукових праць ДонІЗТ. — Донецьк, 2008. — Випуск 16. — С. 27–31.
5. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах [Текст] : учебн. пособие / А. Б. Бойник, С. В. Кошевой, С. В. Панченко, В. А. Сотник. — Харьков : УкрГАЖТ, 2005. — 256 с.
6. Кулик, П. Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности [Текст] / П. Д. Кулик, Н. С. Ивакин, А. А. Удовиков. — Киев : Издательский дом «Мануфактура», 2004. — 288 с.
7. Соболев, Ю. В. Путьевые преобразователи автоматизированных систем управления железнодорожного транспорта [Текст] / Ю. В. Соболев. — Харьков : ХФИ «Транспорт Украины», 1999. — 200 с.
8. Чепцов, М. Н. Безопасность программного обеспечения приемника прямого преобразования тональных рельсовых цепей [Текст] / М. Н. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2007. — № 1. — С. 19–22.
9. Лекута, Г. Ф. Микропроцессорная централизация на железных дорогах России [Текст] / Г. Ф. Лекута // Железные дороги мира. — 2003. — № 5. — С. 63–69.
10. Тильк, И. Г. Система микропроцессорной централизации МПЦ-И [Текст] / И. Г. Тильк, В. В. Ляной, М. В. Абакумов // Железные дороги мира. — 2007. — № 1. — С. 63–66.
11. Böhm P. Das Elektronische Stellwerk ESTW L90 5 Einsatz auf der Strecke Kouvola – Pieksämäki in Finland [Text] / P. Böhm, J. Janle // Signal und Draht. — 2000. — № 6. — P. 26–29.
12. Павлов, Л. Н. Российские микропроцессорные системы на железнодорожном транспорте [Текст] / Л. Н. Павлов, А. В. Орехов // Наука и транспорт. — 2007. — С. 40–45.
13. СЦБ и компьютерные технологии на промышленном транспорте: Ассоциация «УКРВЕДТРАНС» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://sater.com.ua/index.php?id=32>. — Заголовок з екрану.
14. Чепцов, М. Н. Синтез модели безопасного функционального элемента [Текст] / М. Н. Чепцов, А. Б. Бойник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2008. — № 5–6. — С. 89–95.
15. Изерман, Р. Цифровые системы управления [Текст] / Р. Изерман. — М. : «Мир», 1982. — 386 с.
16. Сороко, В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст] : справочник в 2 кн. Кн. 2 / В. И. Сороко, Е. Н. Розенберг. — 3-е изд. — М. : НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. — 1008 с.
17. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] : учебник для вузов. / И. С. Гоноровский. — Изд. 2-е, переработанное и дополненное. — М. : «Советское радио», 1971. — 672 с.
18. Тихонов, В. И. Статистическая радиотехника [Текст] / В. И. Тихонов. — М. : изд-во «Советское радио», 1966. — 680 с.
19. Новиков, Л. Г. Модуляторы и демодуляторы синхронных унитарных импульсных сигналов [Текст] / Л. Г. Новиков // Приборы и системы. Управление, контроль и диагностика. — 2002. — № 9. — С. 41–42.
20. Коршунов, А. И. Управление током статора синхронного двигателя с возбуждением постоянными магнитами [Текст] / А. И. Коршунов // Силовая электроника. — 2007. — № 3. — С. 59–76.
21. Станционные системы автоматики и телемеханики [Текст] : учеб. для вузов ж. д. трансп. / В. В. Сапожников, Б. Н. Елкин, И. М. Кокурин и др.; под ред. В. В. Сапожникова. — М. : Транспорт, 1997. — 432 с.
22. Отнес, Р. Прикладной анализ временных рядов [Текст] : Р. Отнес, Л. Эноксон / пер. с англ. В. И. Хохлова. — М. : «Мир», 1982. — 428 с.