

ІНЖЕНЕРНИЙ СИНТЕЗ ЗА КРИТЕРІЄМ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ ІЗ ЖОРСТКОЮ ЛОГІКОЮ

В.А. Толбатов, канд. техн. наук, доцент;

А.В. Толбатов, асистент;

С.В. Толбатов, студент,

Сумський державний університет, м. Суми

Розглянуто та обґрунтовано обрання критерію параметричної надійності електричних систем керування, який дозволяє уніфікувати схемні рішення, вирішувати завдання оптимізації її структури та стадії проектування.

Ключові слова: критерій, параметрична надійність, схемні рішення, безвідмовність та ремонтпридатність.

Рассматривается и обосновывается выбор критерия надежности электрических систем управления, который позволяет унифицировать схемные решения, решать задачи оптимизации и структуры на стадии проектирования.

Ключевые слова: критерий, параметрическая надежность, схемные решения, безопасность, ремонтпригодность.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У процесі функціонування опір електричних ланцюгів підвищується і може досягти критичних значень, при яких не забезпечується надійна робота виконавчих (вихідних) пристроїв. Аналіз показує, що у багатьох випадках початковий опір на порядок менше критичного. Тому на етапах монтажу, пусконаладжувального опробування і початкової експлуатації не виявляються технічно необґрунтовані рішення інтуїтивно побудованих складних ланцюгів (що складаються з достатньо великої кількості командних, логічних, захисних і блокувальних зв'язків), які приводять надалі до ненадійної роботи електрообладнання.

Знання гранично допустимого сумарного опору ланцюгу залежно від номінальної напруги, активної і повної пускової потужності виконавчих пристроїв, діапазону початкової напруги їх спрацьовування і його зміни в процесі експлуатації, довжини і перетину комунікацій дозволяє вирішувати завдання оптимізації її структури на стадії проектування.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Початковою передумовою інженерного методу побудови систем керування є критерій надійності - забезпечення необхідного напрацювання для досягнення заданого коефіцієнта технічного використання устаткування. Фактичні початкові й поточні значення опору електричних ланцюгів виконавчих пристроїв залежать від великої кількості конструктивних, виробничих та експлуатаційних чинників.

На стадії проектування електроустаткування вибір елементної бази проводиться, виходячи з умови забезпечення необхідних конструктивних і експлуатаційних характеристик. Конкретно необхідний режим роботи зазвичай охоплюється ширшим діапазоном умов застосування елементів даного класу. Проте такий підхід є необхідним, але недостатнім для прийняття оптимальних рішень із забезпечення надійної роботи системи керування на заданому інтервалі часу експлуатації обладнання. Таким чином, виникає завдання оцінки впливу режимів роботи елементів на працездатність системи керування й оптимізації її структури.

Необхідно зазначити, що в даний час не встановлені загальні закономірності тимчасової зміни опору контактів у різних режимах.

Значною мірою це визначається складністю нестационарних фізико-хімічних процесів і їх математичного опису з використанням відомих положень теорії ймовірності й статистики.

Зміна опору контактів, як показують експериментальні дослідження контактів, є немонотонним процесом, і тому виникають значні труднощі прогнозування їх надійності.

Завдання може бути вирішене суперпозиційним способом на основі ймовірнісно-статистичних моделей, що характеризують два взаємодіючих процеси - утворення і пробою (згорання) контактних плівок при комутації ланцюгів конкретних виконавчих пристроїв.

Оцінка ймовірності відмови ланцюга може бути виконана, виходячи із знання двох складових - умовної ймовірності відмови контактів заданого опору (за відсутності струму і напруги) Q_1 і умовної ймовірності їх відмови з урахуванням зменшення опору під впливом реальних падінь напруги або втрат Q_2 .

Проведені значні статистичні дослідження розподілів контактних опорів у ланцюгах керування загальнопромислових механізмів і машин. Практичний інтерес становляють дослідження сумарної частоти розподілу опору контактів (рис. 1 і 2).

Залежності дозволяють оцінити умовну ймовірність відмови одиничного Q_1' і паралельного Q_1'' контактів з необхідним рівнем опору. У першому наближенні опір комунікацій може бути прийнятий 1 Ом, оскільки їх довжина зазвичай не перевищує 40—50 м.

За наявності в ланцюзі n послідовних і k пар паралельних зв'язків умовна ймовірність її відмови становить:

$$Q_1 = 1 - (1 - Q_1')^n (1 - Q_1'')^k. \quad (1)$$

При забезпеченні ймовірності безвідмовної роботи ланцюга $P \rightarrow 1$ співвідношення може бути подане як

$$Q_1 \approx nQ_1' + kQ_1''. \quad (2)$$

У результаті досліджень встановлено, що початкове значення опору контактів лежить в області до 50 мОм, при цьому умовне значення ймовірності відмови прямує до одиниці. Це підтверджує правомірність початкових передумов при побудові даних залежностей. У процесі експлуатації опір контактних зв'язків збільшується до певного рівня, і ймовірність їх відмови при вищому допустимому значенні опору ланцюга зменшується.

Залежності умовної ймовірності відмов послідовних і паралельних зв'язків Q_1' і Q_1'' на інтервалі реально допустимих опорів апроксимуються співвідношеннями:

$$Q_1' = 10^{-3} R_k^{-3/2}. \quad (3)$$

$$Q_1'' = 10^{-6} R_k^{-3}. \quad (4)$$

Тоді

$$Q = 10^{-3} R^{-3/2} \left(n + 10^{-3} k R^{-3/2} \right). \quad (5)$$

При підвищенні рівня падіння напруги і втрат потужності на контактах зменшується ймовірність їх відмови.

На рис. 1 подані залежності умовної ймовірності відмов контактів Q_2 від опору матеріалів.

При струмі спрацьовування виконавчого пристрою $I_{sep} \leq 2A$ найбільший вплив на зміну опору надає електричний пробій. У цьому випадку необхідно розрахувати контактне падіння напруги і за наведеною на рис. 1 залежністю визначити умовну ймовірність відмови.

При $I_{sep} > 2A$ найбільший вплив на зміну опору надає тепловий ефект. Для цього випадку потрібно розрахувати втрату потужності в контактах і визначити за залежністю, наведеною на рис. 2, відповідну умовну ймовірність їх відмови.



Рисунок 1 - Залежності ймовірності відмови контактів від опору

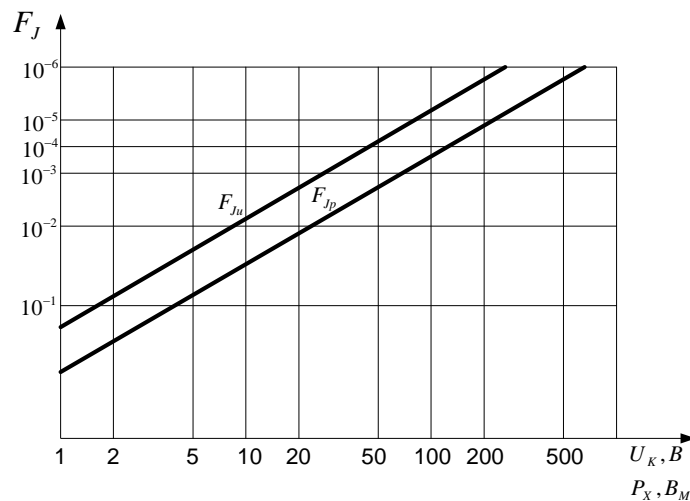


Рисунок 2 - Залежності ймовірності відмови контактів від напруги і потужності

Струм спрацьовування (мінімальний пусковий струм) виконавчого пристрою визначається із співвідношення

$$I_{cp} = \frac{S_n}{U_n} \cdot \frac{U_{cp}}{U_n} = 0,75 \frac{S_n}{U_n}. \quad (6)$$

При цьому напруга спрацьовування приймається $0,75 U_n$. [1]

Результати експериментальних досліджень і рис. 2 підтверджують, що для інженерної оцінки залежності умовної ймовірності відмов зв'язків можуть бути апроксимовані співвідношеннями

при $I_{cep} \leq 2 A : Q_2 \approx U_k^{-2}; \quad (7)$

при $I_{cep} > 2 A : Q_2 \approx 4P_k^{-2}. \quad (8)$

Ураховуючи (7) і (8), отримуємо вираз для оцінки ймовірності відмов ланцюга, що складається з n послідовних і k пар паралельних зв'язків:

$$Q = Q_1 Q_2;$$

$$Q = 10^{-3} U^{-2} R^{-3/2} \left(n + 10^{-3} k R^{-3/2} \right) \quad (9)$$

або

$$Q = 4 \cdot 10^{-3} P_k^{-2} R^{-3/2} \left(n + k R^{-3/2} \right). \quad (10)$$

Інтенсивність відмов ланцюга визначається з відомого співвідношення

$$\lambda = \frac{dQ}{PdZ}.$$

При забезпеченні ймовірності безвідмовної роботи ланцюга $P \rightarrow 1$ маємо

$$\lambda + 4 \cdot 10^{-3} U^{-2} R_k^{-3/2} \left(n + 10^{-3} k R^{-3/2} \right), \text{ 1/цикл} \quad (11)$$

і

$$\lambda + 4 \cdot 10^{-3} P^{-2} R_k^{-3/2} \left(n + 10^{-3} k R^{-3/2} \right), \text{ 1/цикл} \quad (12)$$

Як бачимо із співвідношень (11) і (12), інтенсивність відмов паралельних зв'язків істотно менша, ніж послідовних. Тому для практичних розрахунків можуть бути використані вирази

$$\lambda = 10^{-3} U_k^{-2} R_k^{-3/2} n \quad (13)$$

і

$$\lambda = 4 \cdot 10^{-3} P_k^{-2} R_k^{-3/2} n. \quad (14)$$

Проведені експериментальні дослідження показують, що ймовірність безвідмовної роботи контактів у типових режимах застосування ланцюгів

керування верстатів і автоматичних ліній описується експоненціальним законом.

Для даних випадків очікуване середнє напрацювання на відмову ланцюга визначається із співвідношень

$$Z = \frac{U_k^2 R_k^{3/2}}{n} \text{ цикл} \quad (15)$$

і

$$Z = \frac{P_k^2 R_k^{3/2}}{4n} \cdot 10^3 \text{ цикл.} \quad (16)$$

Технічно обґрунтований вибір числа послідовних зв'язків повинен проводитися, виходячи з потрібного мінімально допустимого напрацювання елементів виконавчих пристроїв, що забезпечує заданий коефіцієнт технічного використання автоматичних ліній, тобто повинна дотримуватися нерівність $Z \geq Z_{\min}$.

На підставі (15) і (16) маємо

$$n \leq \frac{U_k^2 R_k^{3/2}}{Z_{\min}} \cdot 10^3 \quad (17)$$

і

$$n \leq \frac{P_k^2 R_k^{3/2}}{4Z_{\min}} \cdot 10^3. \quad (18)$$

Ураховуючи закономірності зміни опору послідовних зв'язків, маємо

$$n \leq \frac{U_k^2 \left\{ \left(\frac{U_n}{S_n} \right)^2 \left[\sqrt{S_n^2 \left[\left(\frac{U_y}{U_{\text{cep}}} \right)^2 - 1} \right] + P^2 - P} \right] - \rho \frac{l}{q} \right\}^{3/2}}{Z_{\min}} \cdot 10^3 \quad (19)$$

і

$$n \leq \frac{P_k^2 \left\{ \left(\frac{U_n}{S_n} \right)^2 \left[\sqrt{S_n^2 \left[\left(\frac{U_y}{U_{\text{cep}}} \right)^2 - 1} \right] + P^2 - P} \right] - \rho \frac{l}{q} \right\}^{3/2}}{4Z_{\min}} \cdot 10^3 \quad (20)$$

Завдання визначення Z_{\min} елементів електроустаткування АЛ розглянута в роботі.

Мінімально допустиме напрацювання на відмову елементів циклічної дії, використовуваних в електроустаткуванні автоматичних ліній, становить:

$$Z_{\min} = \frac{t_{\text{cep}} \eta_{\text{АЛ}} \sum_1^{m_c} \sum_{f=1}^{f=r} d_f f}{\alpha_3 \beta T_{\text{АЛ}} (1 - \eta_{\text{АЛ}})}, \quad (21)$$

де t_{cep} - середній час відновлення елемента, хв;

$\eta_{АЛ}$ - заданий коефіцієнт технічного використання автоматичних ліній;

m_c - число верстатів;

d_f - сумарне число елементів електроустаткування, що мають однакову частоту спрацьовування в робочому циклі;

f - частота спрацьовування d_f елементів за один робочий цикл;

α_3 - коефіцієнт, що характеризує відношення питомого часу відновлення відмов електроустаткування до загальної величини позациклових втрат (механічного обладнання, інструменту, пристосувань, електро- і гідрообладнання);

β - коефіцієнт питомих втрат елементів (при розгляді електрообладнання як комплексу електроприводу та системи керування);

$T_{АЛ}$ - тривалість робочого циклу, хв.

Згідно (19)-(21) виразам для оцінки числа послідовних зв'язків в ланцюзі виконавчого пристрою мають вигляд:

при $I_{сеп} \leq 2 A$

$$n \leq \frac{\alpha_3 \beta T_{АЛ} U_k^2 (1 - \eta_{АЛ}) \left\{ \left(\frac{U_H}{S_H} \right)^2 \left[\sqrt{S_H^2 \left[\left(\frac{U_y}{U_{сеп}} \right)^2 - 1} \right] + P^2 - P} \right] - \rho \frac{l}{q} \right\}^{3/2}}{t_{сеп} \eta_{АЛ} \sum_{1}^{m_c} \sum_{f=1}^{f=r} d_f f} \cdot 10^3 \quad (22)$$

при $I_{сеп} > 2 A$

$$n \leq \frac{\alpha_3 \beta T_{АЛ} P_k^2 (1 - \eta_{АЛ}) \left\{ \left(\frac{U_H}{S_H} \right)^2 \left[\sqrt{S_H^2 \left[\left(\frac{U_y}{U_{сеп}} \right)^2 - 1} \right] + P^2 - P} \right] - \rho \frac{l}{q} \right\}^{3/2}}{4 t_{сеп} \eta_{АЛ} \sum_{1}^{m_c} \sum_{f=1}^{f=r} d_f f} \cdot 10^3 \quad (23)$$

Вищезгадані співвідношення дозволяють оцінити вплив основних технічних характеристик і показників автоматичних ліній і їх електрообладнання на число послідовних зв'язків виконавчих пристроїв. По суті це є основою інженерного синтезу і оптимізації структур систем управління автоматичних ліній по критерію надійності.

ВИСНОВКИ

Завдяки запропонованому методу розрахунки дозволяють оцінити вплив основних технічних характеристик і показників автоматичних ліній і їх електрообладнання на число послідовних зв'язків виконавчих пристроїв. По суті, це є основою інженерного синтезу і оптимізації структур систем управління автоматичних ліній за критерієм надійності.

SUMMARY

ENGINEERING SYNTHESIS ACCORDING TO THE RELIABILITY CRITERION OF THE ELECTRICAL CONTROL SYSTEMS FOR METAL-CUTTING EQUIPMENT WITH RIGID LOGIC

The selection of the parametric reliability criterion of the electrical control systems has been reviewed and substantiated. It allows to unify schematic solutions and optimize their structure in the designing stage.

Key words: *criterion, parametric reliability, schematic solutions, infallibility, repairability.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вороничев Н.М. Автоматические линии из агрегатных станков / Н.М. Вороничев, Ж.Э. Тартаковский, В.Б.Генин. - М.: Машиностроение, 1989.
2. Минскер З.И. Определение рационального электрического напряжения цепей управления металлорежущих станков и автоматических линий / З.И. Минскер // Станки и инструмент. - 1983. - № 2.
3. Гольцман Э.Р. Требования к контактам цепей управления с учетом действительных параметров реальных электрических нагрузок / Э.Р. Гольцман, Д.П. Пономарев // Тезы докл. III Всесоюз. науч. техн. конф. «Состояние и перспективы развития производства аппаратов низкого напряжения» (г. Тбилиси, 11—13 ноября 1989 г.).
4. Толбатов В.А. Методологічні основи вибору критерію параметричної надійності електричних систем управління металорізальним обладнанням / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. - 2010. - №1. - С.37-45.

Надійшла до редакції 12 травня 2011 р.