Выводы. Моделирование системы микроконтроллер-АИН в среде Proteus позволило оптимизировать алгоритм построения сигналов трех фаз, подобрать оптимальную величину защитного интервала и разработать систему защиты в случае внештатных ситуаций. Для взаимной синхронизации работы шести IGBT ключей транзисторов был использован один генератор пилы или треугольника, содержащий в себе шесть сигналов управления IGBT-модулем, что позволило решить проблему синхронизации импульсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козаченко В. Основные тенденции развития встроенных систем управления двигателями и требования к микроконтроллерам / В.Козаченко // Chip News. – 1999. – № 1. – С.2-9.
2. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод / Москаленко В.В. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 414с.
3. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателям / Булгаков А.А. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 183с.
4. Конев Ю.М. Полупроводниковые устройства для частотного управления АД / Конев Ю.М. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 239с.

УДК 006.91-389.14

ІГНАТКІН В.У., д.т.н., професор
ЛИТВИНЕНКО В.А., асистент
АВРАМЕНКО А.В., магістр

Дніпродзержинський державний технічний університет

МОДЕЛЬ МЕРЕЖІ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПО РЕМОНТУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Вступ. Надійність і ефективність функціонування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) знаходяться в прямій залежності від уміння поводитися з ними, вірного транспортування, зберігання, організації профілактики, своєчасності ремонту і повірки. Метрологічні служби промислових підприємств вирішують великий обсяг задач з метрологічного забезпечення ЗВТ на стадії їх експлуатації. При цьому під експлуатацією ЗВТ розуміють сукупність наступних станів приладів: зберігання, функціонування, перевірка(яка займає 40% метрологічного забезпечення виробництва), відновлення (ремонт). Проведений аналіз розв’язку задач метрологічного обслуговування (МО) ЗВТ показав необхідність проведення моделювання процесів МО, побудови моделей функціонування метрологічних служб підприємства, конкретизації критеріїв рішення кожної задачі при їх комплексному розв’язку.

Постановка задачі. Метою роботи є створення і дослідження математичної моделі масового обслуговування ЗВТ для розрахунку часу очікування в черзі на ремонт і часу ремонту.

Результати роботи. Представимо систему МО ЗВТ у вигляді системи масового обслуговування з ремонту ЗВТ. Для кращого розуміння моделі наведемо спочатку спрощену ситуацію. Нехай на підприємстві є $M_{зв}$ типів ЗВТ по n_j одиниць ЗВТ в кожному типі j=1,…, $M_{зв}$. Припустимо, що всі ремонтні установки взаємозамінні й придатні для ремонту ЗВТ будь-якого типу, а число цих установок дорівнює ω. У цьому випадку ремонтне обслуговування моделюється ω–канальною системою масового обслуговування. Інтенсивність потоку заявок на ремонт λ визначається виразом:

$$\lambda = \sum_{j=1}^{M_{зв}} \lambda_j , \tag{1}$$

де $\lambda_j = n_j / T_{цj}$; $T_{цj} = T_{мрj} + \tau_{ож} + \tau_{pj}$.

Середній час обслуговування заявки (ремонту) на одній ремонтній установці

$$\tau_p = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^{M_{зв}} \lambda_j \tau_{pj} , \tag{2}$$

тоді завантаження системи масового обслуговування виражається у вигляді:

$$\rho = \frac{\lambda \tau_p}{\omega} = \frac{1}{\omega} \sum_{j=1}^{M_{зв}} \tau_{pj} \lambda_j , \tag{3}$$

Оскільки серйозність ремонту заздалегідь непередбачена, найліпше усього допустити, що час обслуговування підкоряється експоненціальному закону розподілу. Припускаючи також пуасонівські потоки заявок, за формулою Поллачека-Хінчіка одержуємо вираз для середньої довжини черги заявок:

$$l = \frac{\rho^2}{1 - \rho} , \tag{4}$$

Знаючи довжину черги, одержуємо вираз для часу очікування:

$$\tau_{ож} = \frac{l}{\lambda} . \tag{5}$$

Вирази (1)-(4) у неявному вигляді задають рівняння для знаходження часу очікування $\tau_{ож}$ обслуговування заявки на ремонт у системі МО ЗВТ:

$$\tau_{ож} = f(\tau_{ож}).$$

Розв'язок цього рівняння через особливості виразів, що входять до нього, можна одержати чисельно тільки методом послідовних наближень.

Наведемо тепер більш складний випадок. Будемо вважати, що підприємство має по n_j ЗВТ кожного типу j= 1,…, $M_{зв}$ і по ω_l ремонтних установок для спеціалізації ζ= 1,..., $M_{зв}$, де $N_{рм}$ – число таких спеціалізацій. Припустимо також, що ЗВТ типу j не обов'язково ремонтується на ремонтній установці суворо певної спеціалізації. Будемо вважати, що якщо в ЗВТ типу j зареєстрована відмова, він з ймовірністю $P_{j\zeta}$ попадає на ремонтну установку типу ζ. При цьому повинна виконуватися умова

$$\sum_{\zeta=1}^{Npm} P_{j\zeta} = 1 ,$$

яка означає, що всі можливі ремонтні установки враховані. Тоді для виразу потоку заявок на ремонт до установок спеціалізації ζ від ЗВТ типу j маємо:

$$\lambda_{j\zeta} = \frac{n_j \cdot P_{j\zeta}}{T_{цj}} , \tag{6}$$

де $T_{цj} = T_{мрj} + \tau_{ож\zeta} + \tau_{pj}$, тут $\tau_{ож}$ – час очікування заявки в чергу на ремонт до установки ζ-ї спеціалізації.

Вираз для інтенсивності потоку заявок на ремонтну установку ζ –ої спеціалізації здобуває наступний вигляд:

$$\lambda_\zeta = \sum_{j=1}^{Mcu} \lambda_{i\varsigma} . \tag{7}$$

Середній час обслуговування заявки (ремонту ЗВТ) на установці ζ–ї спеціалізації

$$\tau_{p\zeta} = \frac{1}{\lambda_\zeta} \sum_{j=1}^{Mcu} \lambda_{i\varsigma} \cdot \tau_{pj\zeta} . \tag{8}$$

Коефіцієнт завантаження установки цієї спеціалізації

$$\rho_\zeta = \frac{\lambda_\zeta \tau_{p\zeta}}{\omega_\zeta} = \frac{1}{\omega_\zeta}\sum_{j=1}^{Mcu} \lambda_{i\varsigma} \cdot \tau_{pj\zeta}, \tag{9}$$

довжина черги заявок до неї

$$l_\zeta = \frac{\rho_\zeta}{1 - P_\zeta}, \tag{10}$$

а час очікування обслуговування в черзі

$$\tau_{ож\zeta} = \frac{l_\zeta}{\lambda_\zeta}. \tag{11}$$

Отримане рівняння (11) для знаходження $\tau_{ож\zeta}$ з вигляду мало чим відрізняється від виразу (5), але повинно бути розв'язане спільно в системі для ζ= 1,…, $M_{зв}$ рівнянь. За винятком технічних труднощів чисельного рішення цієї системи принципово підхід не відрізняється від більш простого випадку, наведеного вище.

Розглянемо систему, яка має m рівнянь та n невідомих:

$$\begin{cases} a_{11}\, x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \ldots + a_{1n} \cdot x_n = b_1 \\ a_{21}\, x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \ldots + a_{2n} \cdot x_n = b_2 \\ a_{m1}\, x_1 + a_{m2} \cdot x_2 + \ldots + a_{mn} \cdot x_n = b_m \end{cases} \tag{12}$$

Серед коефіцієнтів $a_{11}, a_{21}, \ldots, a_m$, хоча б одне число відмінне від нуля.

Запишемо у системі (12) першим t рівняння, у якому коефіцієнт при x не дорівнює нулю. Далі до всіх рівнянь системи, починаючи з другого, додамо перше рівняння, помножене на відповідний коефіцієнт. Коефіцієнти-множники підбираються так, щоб виключити x_1 з усіх рівнянь системи, починаючи з другого. В результаті отримаємо систему:

$$\begin{cases} a'_{11}\, x_1 - a'_{12} \cdot x_2 + \ldots + a'_{1n} \cdot x_n = b'_1 \\ a'_{2k}\, x_k + \ldots + a'_{2n} \cdot x_n = b'_2 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \quad a'_{mk} + \ldots + a'_{mn} \cdot x_n = b'_m \end{cases} \tag{13}$$

Друге рівняння системи (13) починається не з x_2, а з x_k, оскільки могло статися так, що в результаті перетворень системи (12) було виключено не тільки змінну x_1, а і змінні $x_2, x_3, \ldots, x_{k-1}$. Для всіх рівнянь системи (13) крім першого застосовуємо таку ж процедуру, продовжуючи цей процес, наприкінці отримаємо систему вигляду:

$$\begin{cases} \overline{a}_{11}\, x_1 + \overline{a}_{12} \cdot x_2 + \ldots + \overline{a}_{1n} \cdot x_n = \overline{b}_1 \\ \qquad \overline{a}_{2k} \cdot x_k + \ldots + \overline{a}_{2n} \cdot x_n = \overline{b}_2 \\ \qquad \overline{a}_{3e} \cdot x_e + \ldots + \overline{a}_{3n} \cdot x_n = \overline{b}_3 \\ \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \qquad \overline{a}_{ps} \cdot x_s + \ldots + \overline{a}_{pn} \cdot x_n = \overline{b}_p \\ \qquad\qquad\qquad\qquad 0 = \overline{b}_{pn} \\ \qquad\qquad\qquad\qquad \ldots\ldots\ldots \\ \qquad\qquad\qquad\qquad 0 = \overline{b}_m \end{cases} \tag{14}$$

Систему (14) називають східчастою або трапецієподібною. Можливі наступні випадки:

1) система (14) має наступні рівняння: $0 = \bar{b}_t$, де $\bar{\mathrm{b}}_\mathrm{t} \neq 0$, отже система (12) не має розв'язку (не сумісна).
2) нехай система (14) не містить рівнянь типу $0 = \bar{b}_t$, де $\bar{\mathrm{b}}_\mathrm{t} \neq 0$, залишимо у лівій частині системи (14) тільки невідомі $x_1, x_k, x_l, ..., x_s$ (це ті невідомі, з яких починаються рівняння), а всі інші змінні переносимо у праву частину, ті змінні, які залишилися зліва називають основними, а перенесені вправо – вільними. Піднімаючись по системі знизу вгору, можна виразити основні невідомі через вільні. Оскільки вільні невідомі можуть приймати будь-які значення, система має безліч розв'язків.
3) нехай система (14) не містить рівнянь типу $0 = \bar{b}_t$, де $\bar{\mathrm{b}}_\mathrm{t} \neq 0$ і $p = n$, тоді вільних невідомих немає, і система має так званий трикутний вигляд; піднімаючись по системі знизу вгору, знаходимо всі невідомі. В цьому випадку система має єдиний розв'язок.

Всі перетворення зручно проводити не з самою системою, а з її розширеною матрицею, яка утворюється приєднанням до матриці системи стовпця вільних членів.

Нехай на підприємстві є $M_{зв}$ = 3 типів ЗВТ (для ілюстративного прикладу цієї кількості цілком достатньо). Кількість ЗВТ кожного типу визначається як n_1= 500, n_2 = 1000, n_3 = 2000. Нехай також є $N_{рм}$ = 2 типів ремонтних установок по w_1 = 5 і w_2 = 5 установок кожної спеціалізації. Характеристики відмов ЗВТ мають наступні значення: $T_{я1}$ = 5000 *год*; $T_{я2}$ = 10000 *год*; $T_{я3}$ = 5000 *год*; $T_{с1}$ = 5000 *год*; $T_{с2}$ = 10000 *год*; $T_{с3}$=10000 *год*. Параметри МО ЗВТ мають наступні значення: α_n = 0,05; β_n = 0,05; β_p = 0,25; τ_{n1} = 1*год*; τ_{n2} = 2 *год*; τ_{n3} = 1 *год*; T_{n1} = 5000 *год*; T_{n2} = 5000 *год*; T_{n3} = 5000 *год*. Припустимо, що ЗВТ першого типу можуть бути відремонтовані на установках тільки першої спеціалізації, ЗВТ інших типів – на будь-яких установках. Ймовірності направити ЗВТ першого типу в ремонт на установках обох спеціалізацій, таким чином, будуть мати значення $P_{1,1}$=1, $P_{1,2}$=0. Ймовірність для інших типів ЗВТ визначимо з міркувань, що інтенсивності потоку заявок на всі ремонтні установки в середньому повинні бути приблизно однакові. Оцінку цих імовірностей можна одержати з рішення системи рівнянь:

$$\lambda_1 = \sum_{j=1}^{M_{зв}} n_j \left(\frac{1}{T_{cj}} + \frac{1}{T_{яj}}\right) P_{j1} = (\lambda_2 = \sum_{j=1}^{M_{зв}} n_j \left(\frac{1}{T_{cj}} + \frac{1}{T_{яj}}\right) P_{j2});$$

$$P_{1,1}=1;\ P_{1,2}=0; \quad P_{2,1}+P_{2,2}=1; \quad P_{3,1}+P_{3,2}=1; \tag{15}$$

$$P_{2,2}=P_{3,2}.$$

Підстановка числових значень дає наступний результат:

$$4\times500\times10^{-4} + 1000\times2\times10^{-4}P_{2,1} + 2000\times3\times10^{-4}P_{3,1} = 1000\times2\times10^{-4}P_{2,2} + 2000\times3\times10^{-4}P_{3,2};$$

$P_{2,1}+P_{2,2}=1$;
$P_{3,1}+P_{3,2}=1$;
$P_{2,2}=P_{3,2}$,
який приводять до вигляду:
$2P_{2,1}+6P_{3,1}=3$;
$P_{2,1}-P_{3,1}=0$.

Система має рішення: $P_{2,1}=P_{3,1}=0.375$; $P_{2,2}=P_{3,2}=0.625$.

Ці значення і будуть використані в моделі мереж масового обслуговування СМО ЗВТ. Задамо нарешті дані про ремонт ЗВТ:

$$\tau_{p1,1} = 4год; \tau_{p1,2} - ?; \tau_{p2,1} = 5год; \tau_{p2,2} = 8год; \tau_{p3,4} = 4год; \tau_{p3,2} = 5год.$$

Тепер наше завдання полягає в пошуку середнього часу очікування ремонту однотипних ЗВТ $\tau_{ожj}, j=1,...M_{зв}$, які залежать від часу очікування в черзі до ремонтних установок різних спеціалізацій:

$$\tau_{ожj} = \sum_{\varsigma=1}^{N_{рм}} P_{j\varsigma} \tau_{ож\varsigma}^{P_1},$$

де

$$\lambda_i = \frac{n_j}{T_{мрj} + \tau_{ожj} + \tau_{рj}}; \ \tau_{рj} = \sum_{\varsigma=1}^{N_{рм}} P_{j\varsigma} \tau_{рj\varsigma}.$$

Тут видно, що цей час може бути встановлений тоді, коли стане відомим час $\tau_{ож\varsigma}^{P}$, який у свою чергу визначається на підставі $\tau_{ожj}$, необхідних для знаходження λ_i. Розв'язати цю проблему можна, лише вдавшись до методу послідовних наближень. Як нульове наближення візьмемо наступне:

$$\lambda_1 = n_1\left(\frac{1}{T_{с1}} + \frac{1}{T_{я1}}\right) = 2\times10^{-1}$$

$$\lambda_2 = 2\times10^{-1}; \lambda_3 = 6\times10^{-1};$$

$$\tau_{ож1} = 0; \tau_{ож2} = 0; \tau_{ож3} = 0.$$

Розрахуємо тепер перше наближення. Інтенсивності потоку заявок на ремонтні установки:

$$\lambda_{\varsigma}^{P} = \sum_{j=1}^{M_{зв}} \lambda_j P_{j\varsigma};$$

$$\lambda_1^P = 5\times10^{-1};$$

$$\lambda_2^P = 5\times10^{-1}.$$

$$\tau_{ож3} = \tau_{ож2} = 1.63 год;$$

$$\tau_{р1} = \tau_{рп} = 4 год;$$

$$\tau_{р2} = 0.375\times5 + 0.625\times8 = 6.875 год;$$

$$\tau_{р3} = 0.375\times8 + 0.625\times5 = 6.125 год.$$

Останні три значення можна надалі не перераховувати, якщо допустити, що значення ймовірностей $P_{j\varsigma}$ визначаються стратегією керування СМО ЗВТ і тому в цьому випадку не змінюються.

Для вихідних даних розглянутого прикладу значення λ_j $T_{мр}$ величин, отримані за допомогою дискретно-безперервної моделі експлуатації ЗВТ, такі:

$T_{мр1}$= 2700 *год*; $T_{мр2}$ = 4400 *год*; $T_{мр3}$ = 2900 *год*.

Таким чином, для другого наближення одержимо наступні значення:

$$\lambda_1 = 0.185; \lambda_2 = 0.227; \lambda_3 = 0.668.$$

Наведемо тепер коротко результати другого наближення:

$$\lambda_1^P = 0.528; \lambda_2^P = 0.572;$$

$$\tau_{р1}^P = 6.11 год; \tau_{р2}^P = 5.74 год;$$

$$\rho_1 = 0.645; \rho_2 = 0.657;$$

$$l_1 = 1.17; l_2 = 1.27;$$

$$\tau_{ож1}^P = 2.22; \tau_{ож2}^P = 2.22;$$

$$\tau_{ож1} = 2.22; \tau_{ож2} = 2.22; \tau_{ож3} = 2.22.$$

Для третього наближення маємо:

$$\lambda_1 = 0.185; \lambda_2 = 2.227; \lambda_3 = 0.688.$$

Тому далі піде повне повторення другого наближення. Таким чином, з точністю до третього знака одержали розв’язок вже в другому наближенні.

Висновки. На розглянутих прикладах важливо було помітити те, що при моделюванні СМО ЗВТ виникає ряд проблем: а) моделювання СМО ЗВТ для визначення її завантаженості й часу відновлення ЗВТ в ремонті; б) вибір методів моделювання. Можливі шляхи розв’язання цих проблем були продемонстровані. Варто додати, що більш адекватно прогнозувати поводження СМО ЗВТ в динаміці можна лише за допомогою методів імітаційного моделювання. Однак ці методи трудомісткі й вимагають розробки відповідних програмних засобів, використання ж проілюстрованих підходів із застосуванням адаптаційних алгоритмів корегування параметрів СМО ЗВТ дозволяє вирішувати багато задач планування і керування СМО ЗВТ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Игнаткин В.У. Автоматизация метрологического обслуживания средств измерений промышленного предприятия / Игнаткин В.У. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 208с.
2. Игнаткин В.У. Оценка, контроль и прогнозирование метрологической надежности средств измерений / Игнаткин В.У. – М: Изд-во стандартов, 1991. – 190с.
3. Віткин Л.М. Метрологічна надійність засобів вимірювальної техніки / Л.М.Віткин, В.У.Ігнаткін // Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2008. – №69. – С.11-15.
4. Игнаткин В.У. Разработка и исследование вопросов построения подсистемы автоматизированного учета и планирования парка средств измерений в системе АСУ предприятия (на примере АСУП «Метролог»): автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук / В.У.Игнаткин. – К.: ИК АН УССР, 1980. – 24с.

УДК 004.8+616.12

ТРИКІЛО А.І., к.т.н., доцент
МЕНЯЙЛО І.Ю., магістр

Дніпродзержинський державний технічний університет

МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА ПОБУДОВА НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПРОГНОЗУЮЧОЇ СИСТЕМИ АДАПТАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ТА ОЦІНКИ РИЗИКУ СМЕРТІ ВІД СЕРЦЕВО-СУДИННИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

Вступ. У XX столітті серцево-судинні захворювання (ССЗ) переросли в епідемію, вони є причиною смерті 63% українців. Основною причиною ССЗ, окрім зовнішніх дій – екології і соціальних чинників (сюди ж відносяться чинники ризику – спадковість, стать і вік, на які ми не можемо впливати), є на 50% спосіб життя [1].

Гіподинамія, неправильне харчування, куріння, зловживання алкоголем вбиває більше половини наших співгромадян.

Але окрім здорового способу життя і нерегулярних відвідин лікаря необхідний індивідуальний моніторинг стану здоров'я.

Різні люди володіють різними здібностями пристосовуватися до умов зовнішнього середовища, праці, відпочинку. Від індивідуальних можливостей адаптаційних систем організму залежить рівень здоров'я. Головну роль тут грає, безумовно, серцево-