

А. В. АНДРЕЕВСКИХ (ДИИТ)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ НА ЭЛЕМЕНТАХ ПАМЯТИ С СУЩЕСТВЕННЫМИ НЕЛИНЕЙНЫМИ ЗАДЕРЖКАМИ

Запропоновано комп'ютерний метод моделювання пристроїв автоматики, побудованих на елементах пам'яті з суттєвими нелінійними затримками як з фіксацією впливу, так і без фіксації впливу. При моделюванні елементів пам'яті, виконаних на електромагнітних приладах, запам'ятовуючих попередній вплив, запропоновано застосовувати багатотактну схему заміщення. Залежно від потрібної точності у моделі на один елемент пам'яті може бути використано до чотирьох каналів затримки з різноманітною кількістю одноктактних логічних елементів пам'яті й один внутрішній елемент пам'яті на J-K тригері. Запропоновані вирази, які визначають вихідні сигнали моделі з урахуванням часу реакції на вхідний вплив і на комутацію виконуючих кіл, наведено приклад.

Предложен компьютерный метод моделирования устройств автоматики, построенных на элементах памяти с существенными нелинейными задержками как с фиксацией воздействия, так и без фиксации воздействия. При моделировании элементов памяти, выполненных на электромагнитных приборах, запоминающих предыдущее воздействие, предложено применять многотактную схему замещения. В зависимости от требуемой точности в модели на один элемент памяти может быть использовано до четырех каналов задержки с различным количеством одноктактных логических элементов памяти и один внутренний элемент памяти на J-K триггере. Представлены выражения, определяющие выходные сигналы модели с учетом времени реакции на входное воздействие и на коммутацию исполнительной цепи, приведен пример.

The paper proposes a computer method of modelling automatic devices, based on the memory elements with essential nonlinear delays, both with and without fixation of influence. In the procedure of memory elements modelling, performed on electromagnetic devices, remembering the previous influence, it is proposed to use a multi-cycle substitution scheme. Depending on the required accuracy, the model can use up to four delay channels with different number of single-cycle logic elements of memory per one memory element, and one internal memory element, based on a J-K trigger. The expressions have been provided, determining the model's output signals, with account of the time of reaction upon the input influence and upon the commutation of executive circuit. The findings have been illustrated by an example.

При исследовании дискретных устройств АТС и энергоснабжения, содержащих элементы памяти с длительным временем хранения информации, выполненных на электромагнитных приборах, запоминающих предыдущее воздействие, возникают проблемы в аналитическом описании их функционирования и программной реализации временных стохастических параметров. Вследствие этого усложняются задачи анализа, синтеза и диагностирования систем автоматики и телемеханики с целью оптимизации их структур и повышения эффективности и безопасности функционирования.

Существует значительное количество математических аппаратов и программных пакетов, позволяющих производить компьютерное моделирование дискретных и непрерывных устройств в режиме real-time.

Применение универсального и сложного аппарата имитационного моделирования типа сетей Петри, F-сети, E-сети и сети Мерлина [1]

целесообразно только для моделирования вычислительных процессов или устройств, а в данном случае связано с большими затратами времени и средств.

Моделирование может выполняться на уровне динамических дискретных автоматов [2], но здесь невозможно описать функционирование непрерывно-дискретного автомата.

Анализ типовых пакетов MatLab, OrCad, VHLD, Electronic Workbench показал, что у них имеется ряд недостатков, которые усложняют процесс моделирования устройств железнодорожной автоматики на ПЭВМ:

- необходимо индивидуально проектировать необходимые компоненты для моделирования;
- ограничена возможность регулирования скорости протекания процесса моделирования, сложно учесть существенные задержки в работе элементов памяти;

- значительное количество не нужных функций, занимающих большой объем памяти ПК;
- нет возможности работы с внешними устройствами ввода-вывода аналогового сигнала кроме, как работы с программатором через внешние порты;
- высокая стоимость лицензированных пакетов и отсутствие исходных продуктов для возможности подключения собственных драйверов устройств.

Необходим более доступный и специализированный метод моделирования, ориентированный на решение практических задач по совершенствованию существующих и разработке новых систем АТС и релейной защиты на железнодорожном транспорте.

Целью данной работы является создание универсальной модели дискретного устройства на элементах памяти (ЭП) различного принципа действия с существенными нелинейными задержками. В частности, представляется целесообразным для компьютерного моделирования элементов памяти с фиксацией воздействия за основу взять модель [3; 4], используемую при моделировании ЭП без фиксации воздействия, преобразовав ее в двухвходовую.

Обозначим сокращенно такой элемент памяти ЭПФ. Если этот элемент памяти имеет различные задержки на входные воздействия соответственно  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , то при выбранном шаге моделирования  $\tau_m$  количество типовых однотактных элементов памяти ЭПФ в каналах задержки включения (КЗВ) и отключения (КЗО) составит соответственно:

$$i = \text{integer}\left(\frac{\tau_1}{\tau_m}\right), \quad j = \text{integer}\left(\frac{\tau_2}{\tau_m}\right).$$

Преобразование информации в канале КЗВ будет происходить в соответствии с выражением

$$x_i(t) = x_n(t)x_n(t-1)\dots x_n(t-i) = \prod_{i=0}^i x_n(t-i). \quad (1)$$

По аналогии в канале КЗО:

$$x_j(t) = x_p(t)x_p(t-1)\dots x_p(t-j) = \prod_{j=0}^j x_p(t-j). \quad (2)$$

В соответствии с правилами работы  $J-K$  триггера выходной сигнал модели ЭПФ:

$$y(t) = \bar{x}_j(t)y(t-1) \vee x_i(t)\bar{y}(t-1). \quad (3)$$

В частности, если множества  $x_n(t)$  и  $x_p(t)$  не пересекаются, то для булевых функций, когда  $t, i, j$  – положительные целые числа, правомерно тождество:

$$x_j(t)\bar{x}_j(t) = x_j(t)$$

или

$$\prod_{i=0}^i x_n(t-i) \sum_{j=0}^j \bar{x}_p(t-j) = \prod_{i=0}^i x_n(t-i). \quad (4)$$

Следовательно, в этом случае из выражений (3) и (4) получим упрощенное выражение:

$$y(t) = y(t-1)\bar{x}_j(t) \vee x_i(t). \quad (5)$$

Это означает, что в данном случае вместо  $J-K$  триггера можно использовать более простой  $R-S$  триггер.

В общих случаях, когда при моделировании требуется учитывать задержку выходного сигнала исполнительской цепи, в модель ЭПФ необходимо добавить каналы задержки КЗ<sub>3</sub> и КЗ<sub>4</sub> (рис. 1) соответственно на  $m$  и  $l$  тактов.

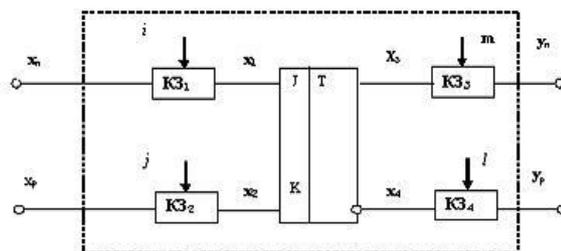


Рис. 1. Модель ЭПФ

Если необходимы задержки переключения в исполнительской цепи на величины  $\tau_3$  и  $\tau_4$ , то параметры каналов задержки определяются:

$$m = \text{integer}\left(\frac{\tau_3}{\tau_m}\right), \quad l = \text{integer}\left(\frac{\tau_4}{\tau_m}\right). \quad (6)$$

Выходные сигналы такой схемы замещения:

$$y_n(t) = \prod_{m=0}^m y(t-m), \quad y_p(t) = \prod_{l=0}^l \bar{y}(t-l), \quad (7)$$

где  $y(t)$  определяется по выражению (5).

Таким образом, при компьютерном моделировании элементов памяти, выполненных на электромагнитных приборах, запоминающих предыдущее воздействие, целесообразно применять многотактную схему замещения. В за-

висимости от требуемой точности в модели такого ЭП может быть использовано до четырех каналов задержки с различным количеством одноканальных логических элементов памяти и один внутренний элемент памяти на  $J-K$  триггере.

Выходные сигналы модели с учетом времени реакции на входное воздействие и на коммутацию исполнительной цепи определяются:

$$y_n(t) = \prod_{m=0}^m \left[ y_n(t-m-l) \sum_{j=0}^j \bar{x}_p(t-m-j) \vee \bar{y}_n(t-m-l) \times \prod_{i=0}^i x_n(t-m-i) \right], \quad (8)$$

$$y_p(t) = \prod_{l=0}^l \left\{ \left[ \bar{y}_n(t-l-l) \vee \prod_{j=0}^j x_p(t-l-j) \right] \times \left[ y_n(t-l-l) \vee \sum_{i=0}^i \bar{x}_n(t-l-i) \right] \right\}. \quad (9)$$

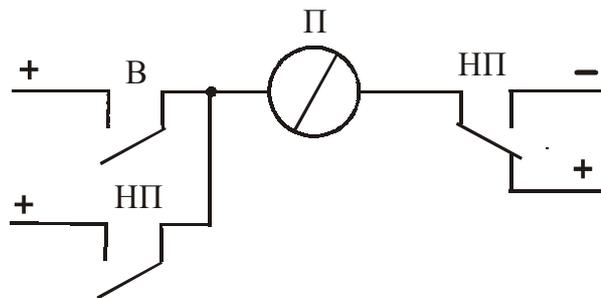
При несимметричной регулировке воспринимающей части ЭПФ, когда  $x_n = \bar{x}_p = x$ , получим:

$$y_n(t) = \prod_{m=0}^m \left[ y_n(t-m-l) \sum_{j=0}^j x(t-m-j) \vee \prod_{i=0}^i x(t-m-i) \right], \quad (10)$$

$$y_p(t) = \prod_{l=0}^l \left[ \bar{y}_n(t-l-l) \vee \prod_{j=0}^j \bar{x}(t-l-j) \right] \times \sum_{i=0}^i \bar{x}(t-l-i). \quad (11)$$

Пример описания в модели элемента памяти с фиксацией воздействия под символом  $\Pi$  приведен на рис. 2.

Результат работы динамической модели в процессе перевода стрелки из плюсового положения в минусовое положение показан на рис. 3.



$$\begin{aligned} \#j\Pi &= \text{НП} + \text{В} * \text{НП} \quad (x_1 = \text{НП} + \text{В} * \text{НП}) \\ \#k\Pi &= \text{-НП} \quad (x_2 = \text{-НП}) \quad \Pi = jk \\ (Y &= \bar{x}_2 * y + x_1 * \bar{y}) \end{aligned}$$

Рис. 2. Пример моделирования ЭПФ

Описание объекта моделирования, например, типовой двухпроводной схемы управления стрелочным приводом [5], имеет следующие функции:

- 24** (число внутренних элементов автомата)
- МУР= $p^*$ -СР
- ПУР= $p^*$ СР
- СР=МУР+ $-$ ПУР\*СР
- НПСР=МУР\* $-$
- ППСР+ПУР\*ППСР+НПСР\*(ППСР\*РР\* $-$ ЛП+ $-$ ППСР\* $-$ РР\*ПП)
- #jΠ=МУР\*НПСР
- #kΠ=ПУР\*НПСР
- ППСР=jk
- Л1=НПСР\* $-$ ППСР
- Л2=НПСР\*ППСР
- #jРР=Л2
- #kРР=Л1
- РР=jk
- Р1=РР\* $-$ Л1
- Р2= $-$ РР\*Л1
- #jЛП=Л2\*Р1\*( $-$ ЛП+ЛП)
- #kЛП= $-$ Л2\*Р2\* $-$ ЛП
- ЛП=jk
- #jЛП=Р1\*ЛП\*Л2
- #kЛП=Р2\*( $-$ ЛП+ЛП)\* $-$ Л2
- ЛП=jk
- #jОК=ЛП\*ЛП\* $-$ НПСР\*Р1 (Р1 учитывается как контрольная цепь)
- #kОК= $-$ ЛП\* $-$ ЛП\* $-$ НПСР\*Р2 (Р2 учитывается как контрольная цепь)
- ОКР=jk
- ОКРН= $-$ НПСР\*(ЛП\*ЛП\*Р1+ $-$ ЛП\* $-$ ЛП\*Р2)
- 2** (число выходов автомата)
- ПКР= $-$ ППСР\*ОКРН\* $-$ ОКР\* $-$ НПСР
- МКР=ОКРН\*ППСР\*ОКР\* $-$ НПСР

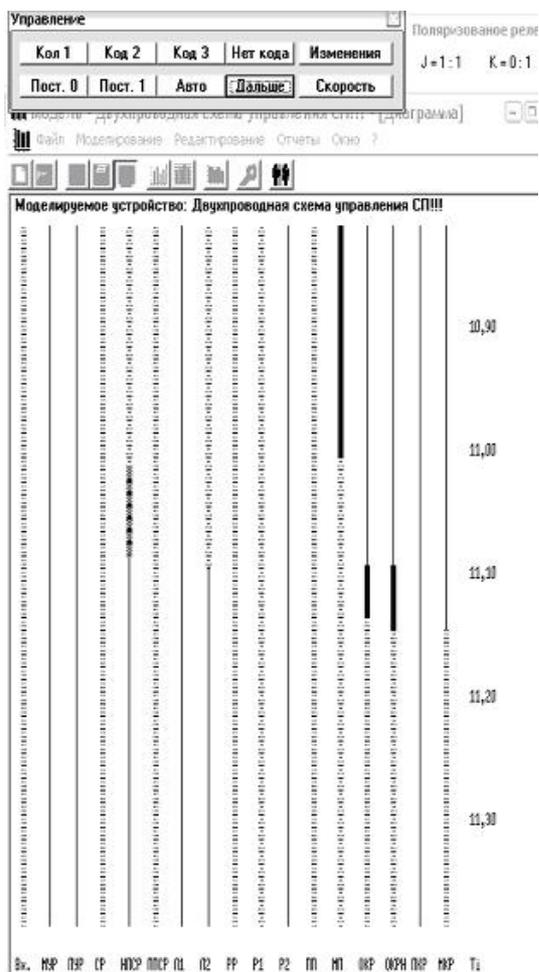


Рис. 3. Пример моделирования устройства

Результаты компьютерного моделирования полностью совпадают с описанием режимов работы натурального образца в стандартных и аварийных ситуациях.

Изложенный материал позволяет сделать вывод о работоспособности предложенной модели и достоверности аналитических выкладок.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зайцев С. С. Описание и реализация протоколов сетей ЭВМ. – М.: Наука, 1989. – 272 с.
2. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Кравцов Ю. А. Дискретные устройства ж.-д. АТС. – М.: Транспорт, 1988.
3. Андреевских А. В. Компьютерное моделирование циклических входных сигналов с применением компонентной объектной модели // Информационно-управляющие системы на ж.-д. транспорте: Зб. наук. пр. ХИПу. – Х., 1999. Вип. 5–6. – С. 18–20.
4. Андреевских А. В. и др. Многотактные элементы памяти без фиксации воздействия с нелинейными задержками. The 5<sup>th</sup> international scientific conference of railway experts. Yugoslavia, Vrnjacka Banja, Oct. 1998.
5. Сапожников Вл. В. Станционные системы автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 2000.

Поступила в редколлегию 26.01.04.