

**СИСТЕМЫ СКАЛЯРНОГО И НЕЙРОСЕТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА**

Проблема системы управления (СУ) стрелочным переводом (СП) на магистральных железных дорогах постоянно привлекает внимание ученых и инженеров всего мира. На отечественных железных дорогах в стрелочных приводах используются двигатели как постоянного, так и переменного тока. Разработка СУ на базе релейной логики для электроприводов была начата в СССР в 1957 г. и постоянно совершенствовалась вплоть до 1973 г. созданием привода СП-3. После этого в 1982 г. был выпущен стрелочный привод СП-6 с улучшенными эксплуатационными характеристиками, но концептуально в его СУ изменений внесено не было [1]. Модификации СП-6 в настоящее время являются основным исполнительным элементом систем железнодорожной автоматики.

Суть релейного управления сводится к обеспечению по условиям безопасности разрешения на работу стрелки – подачи напряжения на клеммы двигателя. Дальнейшее движение происходит неконтролируемо, а остановка обеспечивается по факту удара рельсов в конце перевода и срабатыванию фрикционной защиты. И если в других странах новейшие решения по СП позволили создавать энергосберегающие системы, работающие на солнечных батареях, миниатюрные устройства перевода, встраиваемые непосредственно в шпалу, комплексы стрелок, диагностируемых по сети Internet, то отечественные аналоги, как видно из сказанного выше, замерли в развитии.

Цель работы состоит в определении путей улучшения качества процесса перевода посредством СУ. Для этого предлагается разработать СУ электроприводом (ЭП) на базе асинхронного частотно-регулируемого привода со скалярным или нейросетевым управлением. В данной работе ЭП СП рассмотрен как одномассовая электро-механическая система (ЭМС), где асинхронный двигатель (АД) подключен непосредственно к преобразователю частоты (ПЧ), имеющему скалярное либо нейросетевое управление (рис. 1).

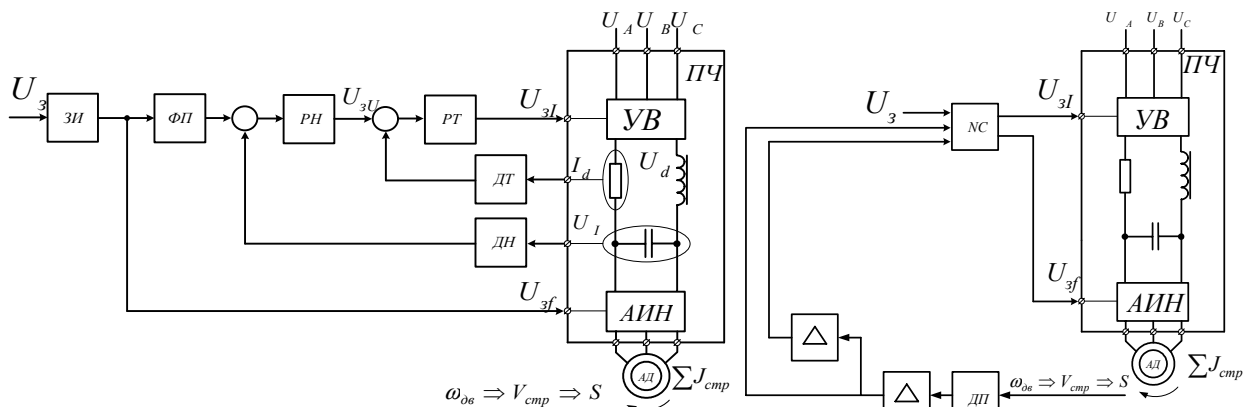


Рис. 1. Функциональные схемы исследуемых систем управления стрелочным переводом.

Модели АД и ПЧ выполнены в системе координат x, y . Автономный инвертор напряжения (АИН) считается безинерционным, а управляемый выпрямитель (УВ) – упрощенно представлен апериодическим звеном. Для системы скалярного управления передаточная функция внутреннего регулятора тока выбрана в виде [3]:

$$W_{PIId}(p) = \frac{R_F + R_D}{k_V k_{Id}} \cdot \frac{\left[\frac{R_F}{R_F + R_D} (T_F + T_D) + T_V \right] p + 1}{T_C p},$$

а регулятора напряжения внешнего контура в виде

$$W_{PU_s}(p) = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{k_{Id}}{k_{U_s} R_D} \cdot \frac{(T_D + T_T) p + 1}{T_{H2} p},$$

где $R_D = \frac{\pi^2}{18} \cdot \frac{L_s}{T_r (1 - \sigma) s_1}$, $T_D = R_D C_F$ – эквивалентное сопротивление и эквивалентная постоянная времени объекта АИН-АД;

s_1 - расчетный параметр, который непрямо отображает желаемую жесткость механических характеристик системы ЭП;

k_{Id}, k_{Us} - коэффициенты передачи датчиков соответственно выпрямленного тока и напряжения статора;

$T_C = k_{Id}T_V, T_{H2} = k_{kUd}T_C$ - эквивалентные постоянные времени интегрирования регуляторов выпрямленного тока и напряжения статора;

k_{kId}, k_{kUs} - настроечные коэффициенты (> 1).

По опыту работы [2] при синтезе нейроконтроллера (НК) использовалась структура нейронной сети (НС) типа «трехслойный перцептрон», однако в данной работе в выходном слое представилось целесообразным иметь два нейрона, т.е. выбрана структура сети 3-10-2. Сигнал первого выходного нейрона является заданием напряжения УВ, а сигнал второго – заданием частоты АИН, тем самым НС сама выбирает форму кривой закона скалярного управления. В процессе обучения применялся метод генетического алгоритма (диплоидная схема), количество особей выбрано равным 20. Исходя из особенностей этого метода обучения, коэффициент обратной связи датчика положения выбран таким, чтобы входные сигналы и сигналы НС находились в пределах [-1; +1]. Процесс обучения НС состоял в минимизации значения ошибки, возникающей в процессе регулирования. Ошибка (e_0) включала в себя ограничение по максимальному моменту:

$$e_0 = \begin{cases} 0, & \text{если } M \leq 2.5M_d \\ |M - 2.5M_d|^2 & \text{если } M > 2.5M_d \end{cases},$$

и собственно значение отклонения (e) по перемещению s , усредненное по времени, к которому прибавлялась ошибка по моменту:

$$e = [(s_s - s_\phi)t]^2 + e_0$$

Общая же интегральная ошибка вычислялась следующим образом:

$$A = \frac{1}{t_{n.n.}} \sqrt{\int_0^{t_{П.П.}} e dt},$$

где $t_{n.n.}$ - время переходного процесса.

Для повышения точности работы системы, при обучении использовались семь входных сигналов (U_3), выраженных в долях от номинального перемещения - (0 0,2 0,4 0,6 0,8 1 1,2). Таким образом, критерий оптимизации имеет следующий вид:

$$F = \sqrt{\sum_{i=1}^{N=7} \frac{A^2}{\text{Amp}(U_3)} \cdot \frac{1}{N}}.$$

В процессе исследований ставились акценты на достижение безударного режима работы стрелки и ускорение процесса перевода. О важности таких параметров стрелки, которые не могут быть реализованы на эксплуатируемых системах автоматики, сказано в других публикациях авторов [4].

Первые эксперименты проводились по уменьшению времени перевода (рис. 2). В качестве сигнала задания ЧП со скалярной СУ служила тахограмма, имеющая форму полукруга. Достигнуто быстрое действие в 1.95 с против 2.85 с при релейном управлении.

Далее работа была направлена на уменьшение переменных потерь в электродвигателе. Их величина рассчитывалась по формуле

$$P_i = \int_{t=0}^{t=t_{nep}} ((I_{sx}^2 + I_{sy}^2) \cdot R_s + (I_{rx}^2 + I_{ry}^2) \cdot R_r) dt$$

Как видно из рис. 3, при неуправляемом движении рельсов (кривая 1а) потери за время одного перевода составили 407 Вт (кривая 1б). При использовании в качестве закона управления тахограммы, близкой по форме к треугольнику (скорость вращения вала АД – кривая 2а), переменные потери в приводе уменьшаются до значения 304 Вт (кривая 2б). Таким образом, экономия электроэнергии составила 103 Вт для одного перевода.

Для решения задачи безударного перевода с точным позиционированием рельса в крайнем положении в качестве регулятора положения использовался НК (описанный выше), поскольку сила сопротивления движению рельсов для СП во многом зависит от случайных факторов в связи со спецификой его работы.

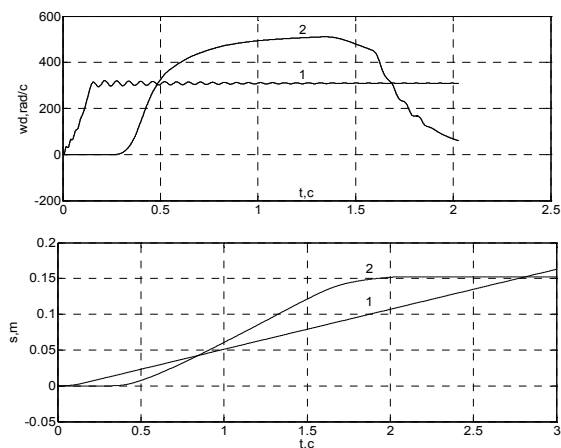


Рис.2. Диаграммы работы системы управления по скорости и перемещению стрелочного перевода. 1 – релейное управление, 2 – скалярное управление.

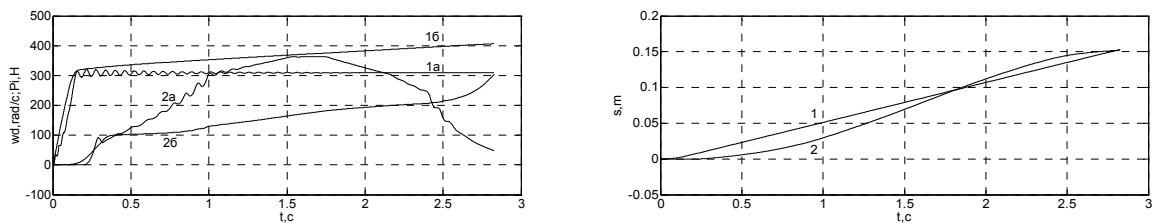


Рис.3 Диаграммы работы СУ с учетом потерь в приводе. 1 – релейное управление, 2 – скалярное управление.

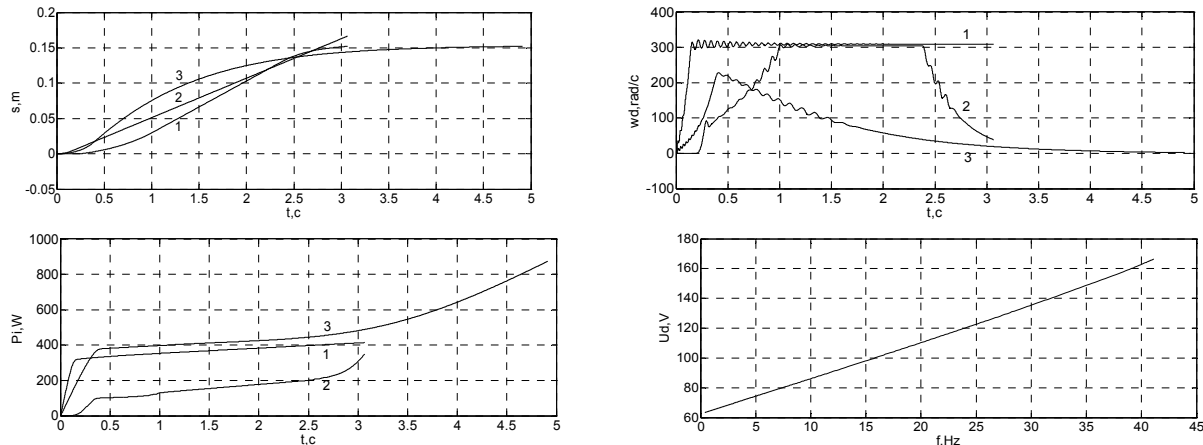


Рис.4 Диаграммы работы СУ по безударному режиму. 1 – релейное управление, 2 – скалярное управление, 3 – нейросетевое управление.

Представляет интерес форма закона скалярного управления, выработанного НС. Это не линейная зависимость $U_{пч} = f(f_{пч})$, а отрезок дуги большого радиуса (рис. 4).

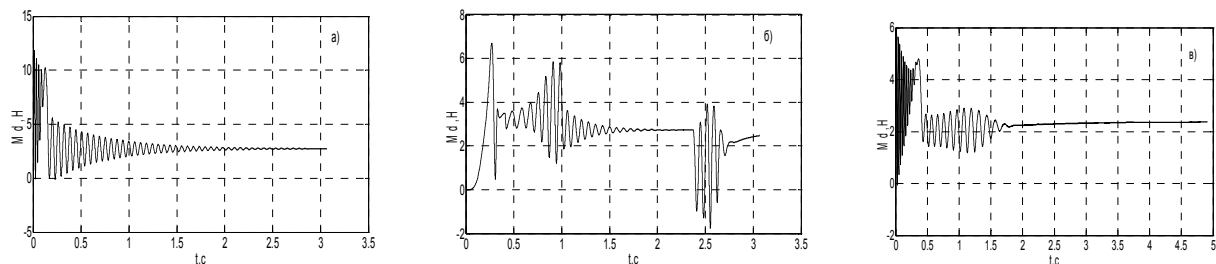


Рис. 5. Диаграммы момента АД при реализации безударного режима перевода; а - релейное управление, б – скалярное управление, в – нейросетевое управление.

С помощью НК удалось достигнуть точности позиционирования СП в пределах ± 0.1 мм. Время переходного процесса не превышает 4 с, что соответствует его инструкции по эксплуатации. Также, как видно из графиков на рис.5, удалось значительно уменьшить значения момента АД, что привело к устранению рывков и ударов в механизме.

Проведенные исследования показали перспективу применения частотно-управляемого асинхронного привода в качестве элемента систем железнодорожной автоматики. Такой привод может быть укомплектован как относительно простой и недорогой скалярной системой управления, так и более сложной нейросетевой, например, для ответственных стрелок горловин или главных путей станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеенко В.И., Поддубняк В.И. Автоматика и компьютерные системы на станциях Х.: Транспорт Украины, 1999. 142 с.
2. Клепиков В.Б., Махотило К. В., Обруч И. В. Синтез нейросетевой системы управления одномассовой электромеханической системы с отрицательным вязким трением при ограничении координат электропривода // Печатные труды конференции с международным участием «Проблемы автоматизированного электропривода», Харьков, Основа, 1997, С. 19—21.
3. Методичні вказівки до лабораторних і практичних робіт з курсу «Моделювання електромеханічних систем». Розділ 2 «Моделювання систем електроприводу змінного струму»/ Укл.: О.І. Толочко, Г.С. Чекавський, О.В.Пісковатська – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – С. 88.
4. Буряковский С.Г., Смирнов В. В. Исследование на математической модели электромеханической системы стрелочного перевода с учетом конструктивных особенностей. // Сборник IX всеукраинской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Электромеханические системы, моделирование, методы оптимизации».