

УДК 621.313

БУРЯКОВСКИЙ С.Г., к.т.н., профессор кафедры «АСЭТ»,  
 МАСЛИЙ А.С., к.т.н., ст. преподаватель кафедры «АСЭТ» (Украинский государственный университет железнодорожного транспорта),  
 РАФАЛЬСКИЙ А.А., к.т.н., инженер,  
 СМИРНОВ В.В., к.т.н., инженер (частное акционерное общество «ЭЛАКС»)

## Применение системы подчиненного регулирования положения остряков на базе эксплуатируемого стрелочного перевода постоянного тока

В данной статье рассматривается применение системы подчиненного регулирования (СПР) положения остряков стрелочного перевода, а также определяется целесообразность ее использования при модернизации стрелочных переводов с двигателями постоянного тока.

**Ключевые слова:** стрелочный перевод, система подчиненного регулирования, тиристорный преобразователь.

### Введение

Системы подчиненного регулирования (СПР) координат электроприводов получили широкое распространение в современной технике. Они позволяют контролировать одновременно несколько координат и при этом обеспечивают необходимое качество их регулирования.

### Актуальность работы

Современные железнодорожные станции, оснащенные системами микропроцессорной централизации (МПС), предполагают использование мониторов компьютеров в качестве пультов дежурного по станции (ДСП), программируемых логических контроллеров (ПЛК) - в качестве устройств,

пришедших на замену релейным панелям управления, и приводов стрелочных переводов - в качестве исполнительных элементов для перемещения остряка стрелки и осуществления, собственно, процесса перевода. В этой цепочке оборудования наблюдается вакуум между компьютером и приводом стрелки, потому что ее двигатель по-прежнему имеет прямой пуск, а сам процесс движения остряка нерегулируемый.

**Цель работы.** Показать, как применяя тиристорный преобразователь (ТП) с наиболее распространённой СПР можно добиться преимуществ регулируемого стрелочного перевода [2].

Функциональная схема системы управления, реализованной на борту ТП, показана на рис. 1.

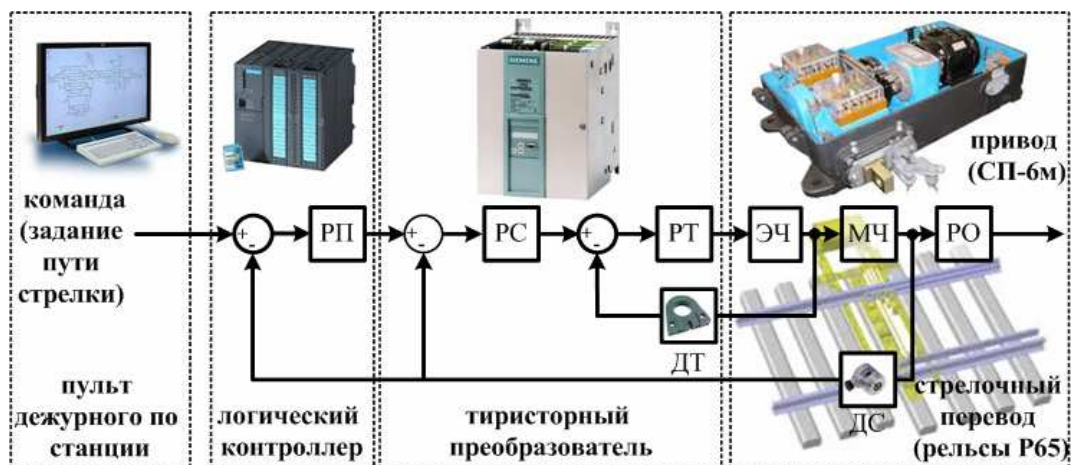


Рис. 1. Функциональная схема СПР ДПТ стрелочного перевода

**Матеріал и результати досліджень**

В теорії [2], для показанної на рис.1 трьохконтурної системи, необхідно мати три датчика: датчик тока якоря, датчик скорости вращения вала двигателя и датчик положения острьяков стрелки. В данном случае, из инженерно-практических соображений решено датчик скорости и положения объединить в одном аппарате, который позволяет получить как значение скорости, так и положения объекта регулирования – это абсолютный энкодер.

По условиям высокого быстродействия и малого перерегулирования контур тока обычно настраивается на модульный оптимум (МО). Тиристорный преобразователь, питающий якорную цепь двигателя, рассматривается как апериодическое звено с малой некомпенсируемой постоянной времени, описываемый передаточной функцией

$$W(p)_{\text{ТП}} = \frac{K_{\text{ТП}}}{T_{\mu\text{T}}p+1}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{ТП}}$  – коэффициент усиления по напряжению тиристорного преобразователя;

$T_{\mu\text{T}} = T_{\text{ТП}}$  – постоянная времени тиристорного преобразователя, определяемая схемой выпрямления.

Разомкнутый контур тока, настроенный на МО, должен иметь передаточную функцию [1, 3]

$$W(p)_{\text{КТМО}}^{\text{Р}} = \frac{1}{a_{\text{MT}} \cdot T_{\mu\text{T}}p + 1}, \quad (2)$$

где  $a_{\text{MT}} = 1...4$  – коэффициент настройки контура тока на МО.

Передаточная функция контура тока находится [1], если приравнять передаточную функцию разомкнутого контура тока и желаемую передаточную функцию, т.е.

$$W(p)_{\text{КТ}}^{\text{Р}} = W(p)_{\text{КТМО}}^{\text{Р}}, \text{ или в развернутой форме}$$

$$W(p)_{\text{РТ}} = \frac{K_{\text{ТП}}}{T_{\mu\text{T}}p+1} \cdot \frac{1/R_{\text{я}}}{T_{\text{я}}p+1} \cdot K_{\text{T}} = \frac{1}{a_{\text{MT}} \cdot T_{\mu\text{T}}p + 1}, \quad (3)$$

Тогда

$$W(p)_{\text{РТ}} = \frac{T_{\text{я}}p+1}{a_{\text{MT}} \cdot \frac{K_{\text{ТП}} \cdot K_{\text{T}}}{R_{\text{я}}} \cdot T_{\mu\text{T}}} = \frac{T_{\text{я}}p+1}{T_{\text{ИТ}}p} = K_{\text{РТ}} + \frac{1}{T_{\text{ИТ}}p}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{ИТ}} = a_{\text{MT}} \cdot \frac{K_{\text{ТП}} \cdot K_{\text{T}}}{R_{\text{я}}} \cdot T_{\mu\text{T}}$  – постоянная времени интегрирования регулятора тока;

$K_{\text{РТ}} = \frac{T_{\text{я}}}{T_{\text{ИТ}}}$  – коэффициент усиления регулятора тока.

Таким образом, регулятор тока представляет собой пропорционально-интегральное звено (ПИ-регулятор).

Поскольку требования к системе регулирования скорости относительно невысоки (диапазон регулирования порядка 50:1), целесообразно контур скорости также настроить на МО, так как в этом случае электропривод будет иметь необходимые динамические показатели качества.

В контуре скорости объектом регулирования является механическая часть электропривода, представляющая собой интегрирующее звено с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{1}{\beta \cdot T_{\mu\text{P}}}. \quad (5)$$

Звеном с малой некомпенсируемой постоянной времени является контур тока, имеющий передаточную функцию второго порядка

$$W(p)_{\text{КТМО}}^{\text{Р}} = \frac{1/K_{\text{T}}}{a_{\text{MT}} \cdot T_{\mu\text{T}}p + 1}. \quad (6)$$

Для упрощения задачи синтеза контура скорости следует понизить порядок передаточной функции контура тока и принять, что контур тока имеет передаточную функцию

$$W(p)_{\text{КТс}} = \frac{1/K_{\text{T}}}{a_{\text{MT}} \cdot T_{\mu\text{T}}p + 1} = \frac{1/K_{\text{T}}}{T_{\mu\text{с}}p + 1}, \quad (7)$$

то есть  $T_{\mu\text{с}}p = a_{\text{MT}} \cdot T_{\mu\text{T}}$  – некомпенсируемая постоянная времени контура скорости [1]. При этом полная передаточная функция контура тока и управления эквивалентны по времени переходного процесса  $t_{\text{пп}}$ .

Разомкнутый контур скорости, настроенный на МО, должен иметь передаточную функцию

$$W(p)_{\text{КСМО}}^{\text{Р}} = \frac{1}{a_{\text{МС}} \cdot T_{\mu\text{с}}p + 1}, \quad (8)$$

где  $a_{\text{МС}} = 1...6$  – коэффициент настройки контура скорости на МО [1].

Передаточная функция регулятора скорости при настройке контура скорости на МО находится, если приравнять передаточную функцию разомкнутого контура скорости и желаемую передаточную функцию [1], т.е.  $W(p)_{\text{КС}}^{\text{Р}} = W(p)_{\text{КСМО}}^{\text{Р}}$ .

$$W(p)_{\text{РС}} = \frac{1/K_{\text{T}}}{T_{\mu\text{с}}p + 1} \cdot C \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_{\mu\text{P}}} \cdot K_{\text{С}} = \frac{1}{a_{\text{МС}} \cdot T_{\mu\text{с}}p + 1}, \quad (9)$$

Следовательно, регулятор скорости имеет передаточную функцию

$$W(p)_{PC} = \frac{1/k_T}{T_{\mu c p + 1}} \cdot C \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_{\mu p}} \cdot K_C = \frac{k_T \cdot \beta \cdot T_{\mu}}{a_{\mu c} \cdot C \cdot K_C \cdot T_{\mu c}} = K_{PC} \quad (10)$$

Таким образом, для настройки контура скорости на МО следует применять П-регулятор с коэффициентом усиления  $K_{PC}$ .

По аналогии с процедурой синтеза контура скорости, контур положения настраивается на МО, а значит, используется следующая передаточная функция:

$$W(p)_{PP} = \frac{K_C}{K_{ред} \cdot K_{П} \cdot a_{\mu c} \cdot T_{\mu c}} = K_{PP} \quad (11)$$

где  $a_{\mu c}$  – 1...8 – коэффициент настройки контура положения на МО.

Использование передаточных функций (7, 10, 11), а также задатчика интенсивности позволяет добиться значительных практических выгод от применения ТП, которые показаны на рис. 2 - 4.

На рис. 2 показан общий случай перевода стрелки в штатных условиях. Характеристики прямого пуска показаны красным цветом, регулируемого – синим. При анализе графиков видно, что плавный пуск двигателя способствует двукратному снижению пускового тока; снижению скорости при остановке до уровня 15-20 % от номинальной, уменьшает удар при прижатии остряка к рамному рельсу и продлевает межремонтный период механической части. Однако при этом наблюдается некоторое увеличение времени перевода (ориентировочно на 10 %) при использовании ТП, в виду потери времени на разгон и торможение.

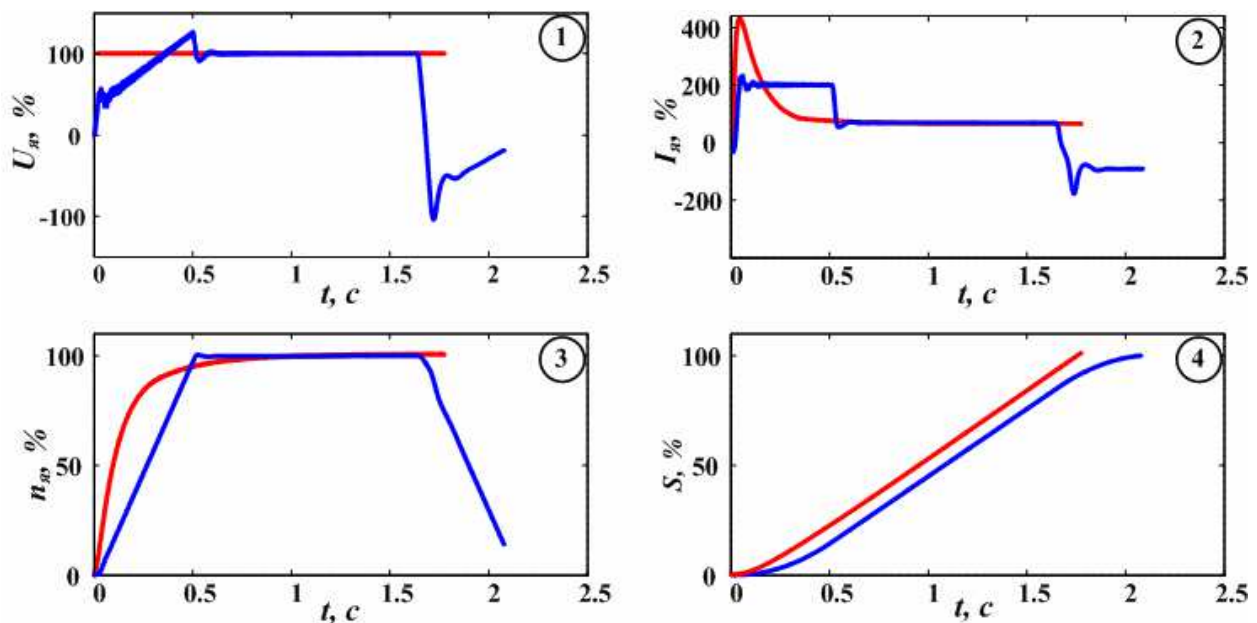


Рис. 2. Сравнение графиков напряжения якоря (1), тока якоря (2), скорости вращения вала якоря (3) двигателя и перемещения остряков (4) стрелочного перевода при прямом и регулируемом пуске в штатных условиях

На рис. 3 моделируется ситуация, когда между остряком и рамным рельсом попадает посторонний предмет (камень, спрессованный снег и т.п.), т.е. происходит увеличение момента сопротивления нагрузки в процессе работы. При этом видно, что система прямого пуска дает значительную просадку скорости (порядка 30 % от номинальной), затягивая время перевода, что видно по соответствующим графикам 3 и 4 этого рисунка. Просадка скорости в случае СПР при этом незначительна (менее 5 % от номинальной скорости). В таком случае перевод стрелки с использованием СПР происходит быстрее.

На рис. 4 показано, что при некотором увеличении сигнала задания по скорости (120-125 % от

номинальной на графике 3) можно добиться времени перевода меньшего, чем при прямом пуске, сохраняя при этом все вышеперечисленные преимущества регулируемого процесса перевода остряков. При этом значение напряжения, большее номинального, которое прикладывается к якорной цепи (график 1), не должно вызывать опасений, поскольку для электрических машин, применяемых на железнодорожных стрелочных переводах, обычной является практика подачи двойного номинала питающего напряжения якоря с целью уменьшения времени перевода.

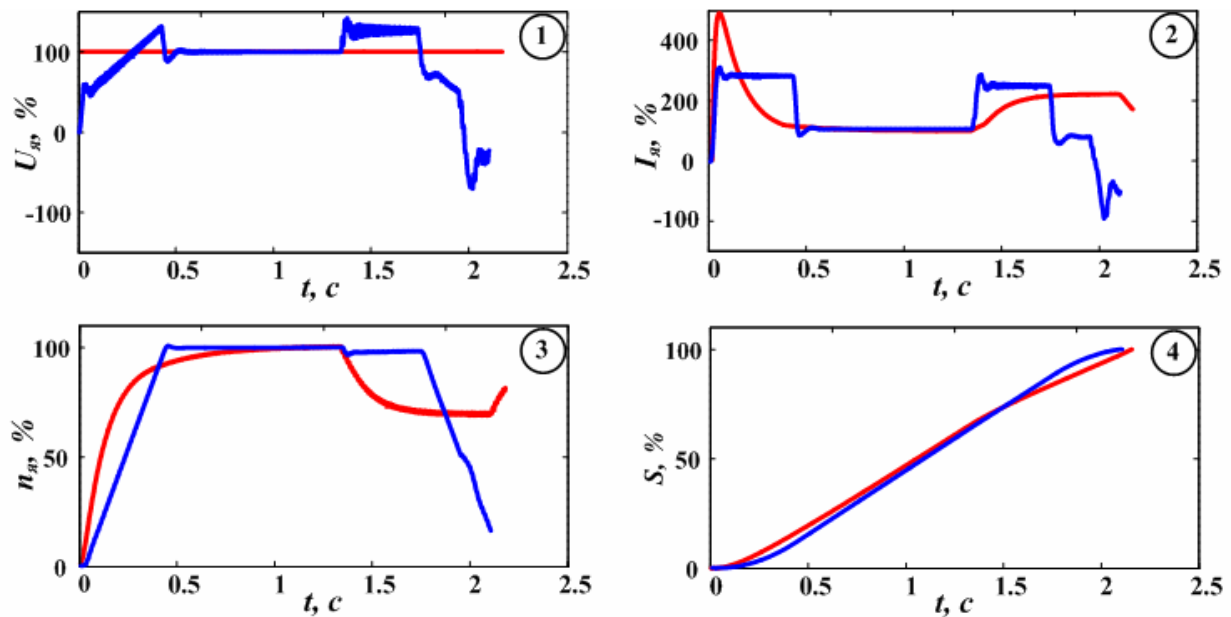


Рис. 3. Сравнение графиков напряжения якоря (1), тока якоря (2), скорости вращения вала якоря (3) двигателя и перемещения острижков (4) стрелочного перевода при прямом и регулируемом пуске в условиях попадания постороннего предмета между острижком и рамным рельсом

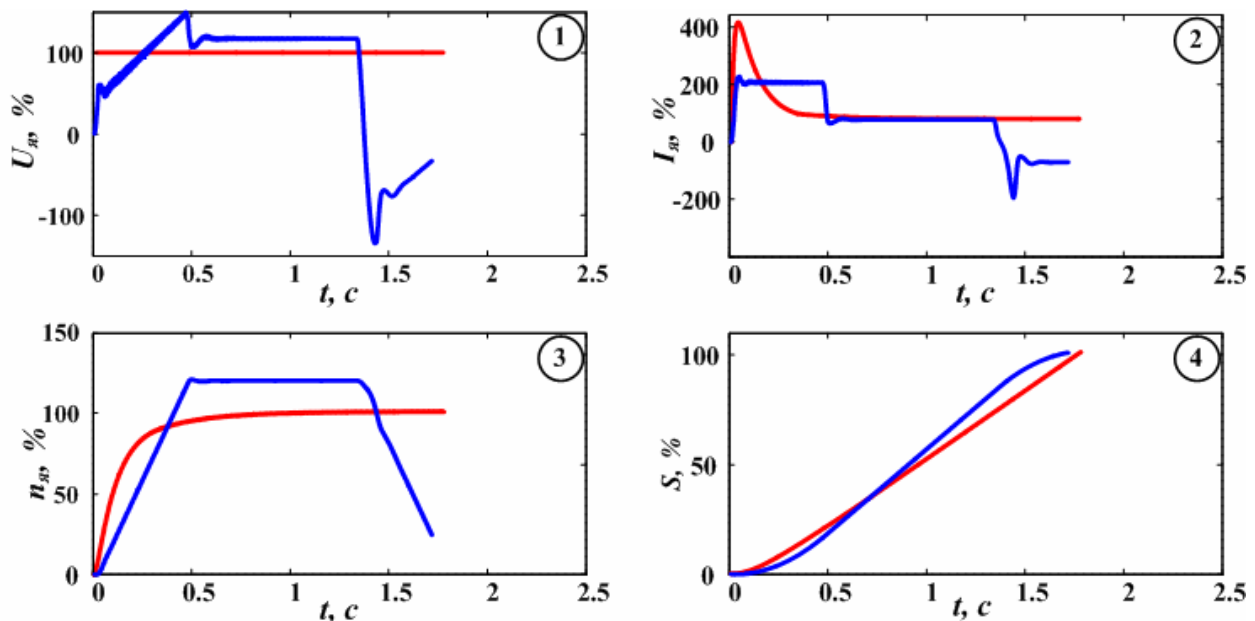


Рис. 4. Сравнение графиков напряжения якоря (1), тока якоря (2), скорости вращения вала якоря (3) двигателя и перемещения острижков (4) стрелочного перевода при прямом и регулируемом пуске с повышенной скоростью в обычных условиях

**Выводы из исследования, перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении**

В результате проведенного исследования видно, что применение ТП с СПР положения острижков имеет преимущества по сравнению с используемым в данное время прямым пуском двигателя по скорости

перевода, стабильности поддержания скорости и возможности плавного разгона и торможения. Это дает возможность рекомендовать применение ТП с СПР положения острижков в современных системах МПЦ как элемента, расширяющего функционал существующих стрелочных переводов.

## Список использованных источников

- 1 Онищенко Г.Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Г.Б. Онищенко, М.И. Аксенов, В.П. Грехов – Москва: РАСХН, 2001. – с.520.
- 2 Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / [Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та ін.]; за ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. – Київ: «Либідь», 2005. –с. 680
- 3 Mansour T. PID Control, implementation and tuning / T. Mansour – InTech, 2011. – р. 345

**Буряковський С.Г., Маслій А.С., Рафальський А.А., Смірнов В.В. Застосування системи підлеглого керування положенням гостряків на базі експлуатованого стрілкового переведення постійного струму.** В даній статті розглянуто застосування системи підлеглого керування (СПК) положення гостряків стрілкового переведення, а також визначається доцільність її застосування при модернізації стрілкових переводів з двигунами постійного струму.

**Ключові слова:** стрілковий переключення, система підлеглого керування, тиристорний перетворювач.

**Буряковський С. Г.,** к.т.н., професор кафедри «АСЕТ», Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [sergbyr@i.ua](mailto:sergbyr@i.ua)

**Маслій А. С.,** к.т.н., ст. викладач кафедри «АСЕТ», Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [a.masliy@ukr.net](mailto:a.masliy@ukr.net)

**Рафальський А.А.,** к.т.н., інженер, приватне акціонерне товариство «Елакс». E-mail: [rafalskiy@bigmir.net](mailto:rafalskiy@bigmir.net)

**Смірнов В.В.,** к.т.н., інженер, приватне акціонерне товариство «Елакс». E-mail: [da\\_gama@bigmir.net](mailto:da_gama@bigmir.net)

**Buryakovskiy S.G.,** Ph.D., professor of department «ASET», Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [sergbyr@i.ua](mailto:sergbyr@i.ua)

**Masliy A. S.,** Ph.D., senior lecturer of department «ASET», Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [a.masliy@ukr.net](mailto:a.masliy@ukr.net)

**Rafalskiy A.A.,** Ph.D., engineer, Private joint-stock company Elaks, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [rafalskiy@bigmir.net](mailto:rafalskiy@bigmir.net)

**Smirnov V.V.,** Ph.D., engineer, Private joint-stock company Elaks, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [da\\_gama@bigmir.net](mailto:da_gama@bigmir.net)

**Buryakovskiy S.G., Masliy A. S., Rafalskiy A.A., Smirnov V.V. Application of the subordinate position control of rails of exploited DC turnout.** The article shows possibilities of modernization of DC turnout, with widely used on post USSR region. It describe the advantage of using a system with regulated switching process. Regulation is performed by subordinate control system of rail position of dc turnout. New part of turnout hardware is microprocessor based converters of variable speed drives, such us Simoreg DCM 6RA80 series (made by Siemens), what are simple and common on automation market. Research based on a comparison of results of mathematical modeling of direct start control system (they are using now) and speed variable perspective subordinate position control system. Such advantages as lower switching time, rail speed stabilization, soft start and stop, that provide lower environment costs are possible with new control system. Materials of research may be useful to engineering and managing railway staff.

**Key words:** turnout, subordinate control system, DC converter.

Рецензент д.т.н., професор Б.М. Горкунов (НТУ «ХПИ»)

Поступила 14.03.2016 р.