УДК 621.313-57; 621.317.08

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ УСТРОЙСТВО ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И МЕРТВОГО ХОДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Анкудинов К.А.

Финансовый университет при Правительстве РФ, Тульский филиал, Тула, Россия, e-mail: aai_tula@mail.ru

Микроконтроллерное устройство по патенту на полезную модель 77121 РФ относится к электромашиностроению, в частности к устройствам встроенного контроля электромеханической постоянной времени электродвигателей постоянного тока и мертвого хода механических передач электроприводов постоянного тока в ходе их эксплуатации без демонтажа механических передач и электродвигателей с изделий, где они выполняют свои рабочие функции.

Ключевые слова: микроконтроллер, электропривод постоянного тока, электромеханическая постоянная времени, механическая передача, мертвый ход

MICROCONTROLLER DEVICE OF BUILT-IN CONTROL OF ELECTRIC MOTOR TIME CONSTANT AND THE MECHANICAL TRANSMISSION OF DC ELECTRIC DRIVE BACKSLASH

Ankudinov K.A.

Financial University under the Government of the Russian Federation, Tula branch, Tula, Russia, e-mail: aai_tula@mail.ru

Microcontroller device after the patent for utility model 77121 (Russian Federation) belongs to electric machine-building, in particular to built-in control devices of electromechanical time constant of DC electric motors and the backlashes of DC electric drives mechanical transmissions in the course of their operation without dismantling of mechanical transmissions and electric motors from the articles where they execute their running functions.

Keywords: microcontroller, DC electric drive, electromechanical time constant, mechanical transmission, backlash

Введение

Известны аналоги – устройства встроенного контроля мертвых ходов (МХ) механических передач (МП) электроприводов (ЭП) постоянного тока в ходе их эксплуатации без демонтажа МП и электродвигателей (ЭД) постоянного тока с изделий, где они выполняют свои рабочие функции. Такие устройства в 80-х, 90-х годах прошлого столетия синтезировались на основе аналоговых, цифровых ИМС и операционных усилителях (ОУ) [8-10, 23], что и определило их основные недостатки – низкую точность, большие габариты, веса и энергопотребление.

На современном этапе развития микроконтроллерной схемотехники существует ряд известных методик синтеза устройств рассматриваемого класса [1-6, 12-15, 18] на основе современных микроконтроллеров (МК).

Известен прототип [16] – микроконтроллерное устройство встроенного контроля МХ МП ЭП и архивирования результатов контроля содержащее: ЭД, который через контролируемую МП подсоединен к нагрузке; датчик контроля (ДК) [8], включенный последовательно в обмотку ЭД – стандартный токовый шунт на 75 мВ, который исключает влияние ДК на режим работы ЭД; пиковый амплитудный детектор (ПАД) [11], вход которого подключен к ДК; формирователя импульсов (ФИ) [10], вход которого подключен к выходу ПАД; МК – PIC16F877 [16, 22], работой которого управляет ФИ; семисегментный знаковый индикатор (СЗИ) – АЛС356А, который подключен к МК – PIC16F877 и высвечивает численное значение измеренного МХ α МП ЭП, которое рассчитывается МК из выражения [16]

$$\alpha = 6\,\Omega_H \left[T_{MX} - T_{ЭД} \left(1 - \exp\left(-\frac{T_{MX}}{T_{ЭД}} \right) \right) \right] [\text{градус}], \qquad (1)$$

где Ω_H – номинальная скорость вращения ЭД [*об/мин*], T_{MX} – время выбора МХ МП [*с*], $T_{ЭД}$ – электромеханическая постоянная времени ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД [*с*] (численные значения Ω_H и $T_{ЭД}$ обычно берутся из паспорта (технического описания) ЭД и заносятся в энергонезависимую EEPROM-память данных МК, а T_{MX} – измеряется прототипом [16] в процессе работы устройства.

Основными недостатками устройств – аналогов [8-10, 23] и прототипа – микроконтроллерное устройство [16] является тот факт, что наряду с достаточно алгоритмичным обеспечением процесса измерения величины МХ α МП ЭП по выражению (1), точность измерения МХ α МП ЭП существенным образом зависит от величины ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного тока, которая определяется совокупностью параметров МП ЭП, собственно ЭД постоянного тока и параметрами окружающей среды, где наиболее существенными факторами, являются:

– текущее техническое состояние МП и ЭД постоянного тока (в процессе эксплуатации существенно изменяются коэффициент трения в элементах и сочленениях МП и ЭД);

– изменение климатических показателей окружающей среды (температуры, влажности, давления и др.), в которой происходит всесезонная эксплуатация предлагаемого микроконтроллерного устройства встроенного контроля ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД и МХ α МП ЭП постоянного тока.

Анализ указанных недостатков, проявляющихся в конкретных неблагоприятных условиях эксплуатации устройств рассматриваемого класса (отличающихся от нормальных условий, указанных в технической документации) показывает, что ошибки измерения МХ α МП ЭП (1) могут изменяться до 2-2,5 раз, поэтому использование в расчетной формуле (1) численного значения ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД, указанного в паспорте (техническом описании) ЭД – **нецелесообразно**.

Постановка задачи

Предлагаемое микроконтроллерное устройство встроенного контроля ЭМПВ ЭД и МХ МП ЭП постоянного тока [17] должно решать две задачи:

1. Обеспечение возможности оперативного измерения ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного тока в каждом процессе измерения МХ МП ЭП постоянного тока.

2. Учет реального значения – каждого измеренного значения ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного тока при расчете измеряемого МХ α МП ЭП постоянного тока в формуле (1).

Блок-схема устройства

Для выполнения п.1 поставленной задачи обратимся к исследованиям [14, 15], где показано, что время достижения экстремума напряжения $T_Э$ на выходе пассивного апериодического звена (ПАЗ) первого порядка определяется из выражения:

$$T_Э = \frac{T_{ЭД} T_{АЗ}}{T_{АЗ} - T_{ЭД}} \ln \frac{k T_{АЗ}}{(k+1) T_{ЭД} - T_{АЗ}}, \qquad (2)$$

где $T_{ЭД}$ – ЭМПВ ЭД постоянного тока (измеряемая величина), $T_{АЗ}$ – постоянная времени ПАЗ (величина известная), k – кратность пускового тока (напряжения) ЭД постоянного тока (берется из технической документации на ЭД – величина постоянная для каждого конкретного ЭД постоянного тока).

Следовательно, в отличие от аналогов [8-10, 23] и прототипа [16] предлагаемое микроконтроллерное устройство [17] дополнительно должно включать в себя ПАЗ первого порядка и узел выявления экстремума напряжения (УВЭН) на выходе ПАЗ.

Следует отметить, что выражение (2) неразрешимо относительно $T_{ЭД}$ в аналитическом виде, оно является трансцендентным уравнением относительно $T_{ЭД}$ и может быть решено с заданной точностью только одним из известных численных методов.

Блок-схема микроконтроллерного устройства встроенного контроля ЭМПВ ЭД и МХ МП ЭП постоянного тока [17] представлена на рис. 1.

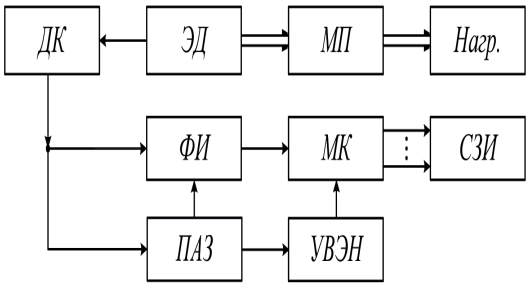

Рис. 1. Блок-схема микроконтроллерного устройства встроенного контроля постоянной времени электродвигателя и мертвого хода механической передачи электропривода постоянного тока: ДК – датчик контроля; ЭД – электродвигатель постоянного тока; МП – механическая передача; Нагр. – нагрузка ЭП; ФИ – формирователь импульсов, МК – микроконтроллер ATmega48; СЗИ – четырехразрядный семисегментный знаковый индикатор АЛС329Б; ПАЗ – пассивное апериодическое звено первого порядка; УВЭН – узел выявления экстремума напряжения на выходе ПАЗ

Поставленная задача достигается тем, что в микроконтроллерное устройство встроенного контроля ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД и МХ α МП ЭП постоянного тока [17], содержащее: ЭД постоянного тока, соединенный с нагрузкой (на рис. 1 – *Нагр.*) через контролируемую МП; ДК [8] – стандартный токовый шунт на 75 мВ, исключающий влияние ДК на режим работы ЭД, который встроен в якорную обмотку ЭД постоянного тока; ФИ [13], вход которого подключен к выходу ДК, **введены** восьмибитный AVR МК фирмы «Atmel» – ATmega48 [4, 21], который наряду с FLASH-памятью программ и SRAM-памятью данных имеет энергонезависимую EEPROM-память данных; четырехразрядный СЗИ – АЛС329Б [5]; ПАЗ первого порядка [14, 15]; с постоянной времени $T_{АЗ}$, вход которого подключен к выходу ДК; УВЭН [11], выполненный на ОУ – КР140УД708 с накопительным конденсатором и диодом утечки, вход которого подключен к выходу ПАЗ; одна линия порта МК – ATmega48, настроенная на вход, соединена с выходом ФИ, вторая линия порта МК, настроенная на вход соединена с выходом УВЭН, двенадцать линий портов МК, настроенные на выход, подключены к четырехразрядному СЗИ – АЛС329Б. Конструкция микроконтроллерного устройства [17] разработана в соответствии с эргономическими требованиями, предложенными в [7, 19, 20].

Этапы работы устройства

1. **Ввод в эксплуатацию** (см. рис. 1). На первом этапе происходит инициализация и программирование МК – ATmega48 [21]: в FLASH-память программ записывается программа работы МК; в энергонезависимую EEPROM-память данных – паспортные (из технической документации) номинальная скорость вращения $\Omega_Н$ [*об/мин*] и k – кратность пускового тока (напряжения) ЭД постоянного тока, известная постоянная времени ПАЗ $T_{АЗ}$ первого порядка; в SRAM-памяти данных выделяются регистры оперативной памяти для обеспечения программы работы МК.

2. **Рабочий режим** (см. рис. 1). В большинстве случаев включение ЭП для выполнения рабочих функций не сопровождается измерением МХ МП и ЭМПВ ЭД постоянного тока так как их величины α и $T_{ЭД}$ меняется медленно по мере износа элементов ЭП в процессе эксплуатации. Но изменения α и $T_{ЭД}$ могут оказаться существенными при изменении климатических условий.

3. **Режим измерения** (см. рис. 1). Временные диаграммы работы микроконтроллерного устройства встроенного контроля постоянной времени электродвигателя и мертвого хода механической передачи электропривода постоянного тока [17] в режиме измерения представлены на рис. 2. Перед включением устройства в режиме измерения МХ МП устанавливается в максимальное положение (как и в аналогах и прототипе) и затем подается питание на устройство.

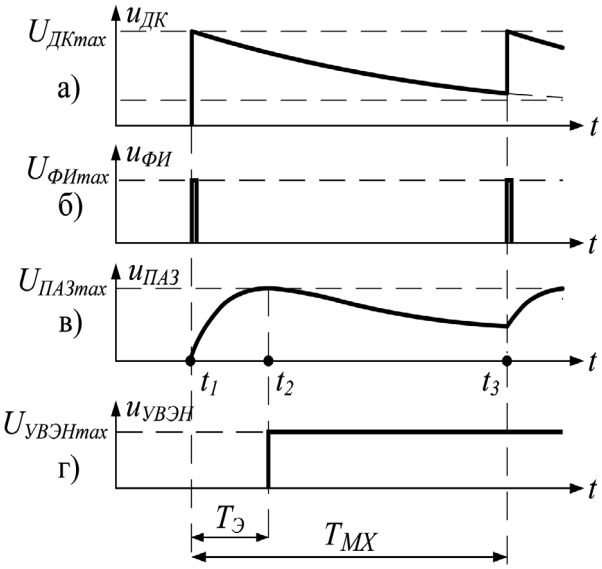

Рис. 2. Временные диаграммы работы микроконтроллерного устройства встроенного контроля постоянной времени электродвигателя и мертвого хода механической передачи электропривода постоянного тока: а – выходной сигнал ДК; б – выходной сигнал ФИ; в – выходной сигнал ПАЗ первого порядка; г – выходной сигнал УВЭН

В момент времени t_1 (рис. 2) в устройстве происходят следующие физические процессы: запускается в работу ЭД постоянного тока и в его обмотке якоря возникает импульс пускового тока, который создает импульс постоянного напряжения на ДК с амплитудой $u_{ДК}(t_1)=U_{ДКmax}$ (рис. 2,а); сигнал с ДК $u_{ДК}(t_1)$, во-первых, поступает на ФИ, который вырабатывает первый короткий импульс $u_{ФИ}(t_1)=U_{ФИmax}$ (рис. 2,б), поступающий на МК, во-вторых, подается на вход ПАЗ первого порядка, сигнал на выходе которого в рассматриваемый момент времени $u_{ПАЗ}(t_1)=0$ (рис. 2,в); МК готовится к началу отсчета, во-первых, времени выбора МХ T_{MX} МП (рис. 2,г) и, во-вторых, времени достижения экстремума напряжения $T_Э$ на выходе ПАЗ первого порядка (рис. 2,г), которые будут записываться в SRAM-память данных МК

В интервале времени $t\in(t_1;t_2)$ (рис. 2) в устройстве протекают следующие физические процессы: ЭД постоянного тока приходит во вращение; пусковой ток обмотки якоря ЭД и постоянное напряжение на ДК $u_{ДК}(t\in(t_1;t_2))$ (рис. 2,а) уменьшаются по экспоненте с постоянной времени, равной ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД; тихоходный вал МП остается неподвижным, так как происходит выбор МХ МП, но он еще не выбран; напряжение на выходе ФИ равно нулю $u_{ФИ}(t\in(t_1;t_2))=0$ (рис. 2,б); напряжение на выходе ПАЗ $u_{ПАЗ}(t\in(t_1;t_2))$ (рис. 2,в) нарастает по экспоненте, но не достигает своего экстремального значения; МК, во-первых, производит отсчет времени выбора МХ T_{MX} МП ЭП (рис. 2,г) и, во-вторых, времени достижения экстремума напряжения $T_Э$ на выходе ПАЗ (рис. 2,г), текущие значения которых МК записывает и хранит в своей SRAM-памяти данных.

В момент времени t_2 (фиг. 2) в устройстве происходят следующие физические процессы: ЭД постоянного тока продолжает вращение; напряжение на ДК $u_{ДК}(t_2)$ (рис. 2,а) продолжает уменьшаться по экспоненте; напряжение на выходе ФИ остается равным нулю $u_{ФИ}(t_2)=0$ (рис. 2,б); напряжение на выходе ПАЗ достигает своего экстремального значения $u_{ПАЗ}(t_2)=U_{ПАЗmax}$ (рис. 2,в); напряжение на выходе УВЭН скачком принимает максимальное значение $u_{УВЭН}(t_2)=U_{УВЭНmax}$ (рис. 2,г); МК, во-первых, продолжает отсчет времени выбора МХ T_{MX} МП ЭП (рис. 2,г) и, во-вторых, прекращает отсчет времени достижения экстремума напряжения выходного сигнала ПАЗ первого порядка $T_Э=t_2-t_1$ (рис. 2,г), которое запоминается в SRAM памяти данных МК в размерности [*c*].

В интервале времени $t\in(t_2;t_3)$ (рис. 2) в устройстве протекают следующие физические процессы: ЭД постоянного тока продолжает вращение; напряжение на ДК $u_{ДК}(t\in(t_2;t_3))$ (рис. 2,а) продолжает уменьшаться по экспоненте; тихоходный вал МП ЭП продолжает оставаться неподвижным, так как продолжается выбор МХ МП, но он еще не выбран; напряжение на выходе ФИ равно нулю $u_{ФИ}(t\in(t_1;t_2))=0$ (рис. 2,б); МК, во-первых производит расчет ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного тока численным методом из трансцендентного уравнения (2) по известным численным значениям $T_{Д3}$, k (находятся в энергонезависимой EEPROM-памяти данных) и $T_Э$ (запомнено в SRAM-памяти данных в момент времени t_2 на рис. 2), во-вторых, записывает в SRAM-памяти данных рассчитанное численное значение ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного тока в размерности [*c*] и, в-третьих, продолжает отсчет времени выбора МХ T_{MX} МП ЭП (рис. 2,г).

В момент времени t_3 (рис. 2) в устройстве происходят следующие процессы: закончен выбор МХ МП и приходит во вращение тихоходный вал МП и нагрузка; величина нагрузки на ЭД постоянного тока скачкообразно возрастает и в его обмотке якоря вновь возникает импульс пускового тока, который создает импульс постоянного напряжения на ДК $u_{ДК}(t_3)=U_{ДКmax}$ (рис. 2,а); сигнал с ДК $u_{ДК}(t_3)$ поступает на ФИ, который вырабатывает второй короткий импульс $u_{ФИ}(t_3)=U_{ФИmax}$ (рис. 2,б), поступающий на МК; МК, во-первых, заканчивает отсчет времени выбора МХ $T_{MX}=t_3-t_1$ МП (рис. 2,г) и запоминает его значение в SRAM-памяти данных в размерности [*c*] и, во-вторых производит расчет МХ α МП ЭП постоянного тока по заданному алгоритму – формула (1) и высвечивает измеренное численное значение α в четырехразрядном СЗИ – АЛС329Б с точностью до тысячной доли градуса.

Выводы

Введение в микроконтроллерное устройство встроенного контроля ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД и МХ α МП ЭП постоянного тока [17] восьмибитного AVR МК фирмы «Atmel» – ATmega48, имеющего в своей структуре FLASH-память программ – 4 Кбайт, SRAM-память данных – 512 байт и энергонезависимую EEPROM-память данных – 256 байт, ПАЗ первого порядка с известной постоянной времени $T_{Д3}$, УВЭН и четырехразрядного СЗИ – АЛС329Б обеспечивает существенное расширение функциональной полноты и точности работы устройства:

1. Возможность точного расчета из трансцендентного уравнения (2) численным методом реального численного значения ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного тока именно в рассматриваемый момент времени по

известным значениям k, $T_Э$ и $T_{ДЗ}$. Точность измерения увеличивается до 2-2,5 раз по сравнению с паспортными значениями $T_{ЭД}$.

2. Повышение точности расчета МХ α МП ЭП постоянного тока по выражению (1) за счет измерения с повышенной точностью ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного тока.

3. Вывод информации о величине МХ α МП ЭП постоянного тока на четырехразрядный СЗИ с точностью 0,001 градуса.

Список литературы

1. Агафонов Ю.М. Методика построения микроконтроллерных устройств управления СКЗ МГ / Ю.М. Агафонов, А.И. Анкудинов, С.И. Петроченков, А.Б. Воскресенский, В.А. Михаленко, П.П. Какалин, Н.С. Акиншин, К.А. Анкудинов // Газовая промышленность. 2007. № 4. С. 48-51.

2. Агафонов Ю.М. Применение микроконтроллеров для синтеза цифровых конечных автоматов / Ю.М. Агафонов, Н.С. Акиншин, Р.Н. Акиншин, К.А. Анкудинов, А.И. Анкудинов, К.Ю. Казаков // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2007. № 5. С. 40-44.

3. Агафонов Ю.М. Расчет преобразователя "напряжение-напряжение" на операционных усилителях в измерительных комплексах телемеханики / Ю.М. Агафонов, Н.С. Акиншин, Р.Н. Акиншин, К.А. Анкудинов, А.И. Анкудинов // Датчики и системы. 2007. № 9. С. 14-16.

4. Агафонов Ю.М. Система контроля управления и согласования СКЗ с комплексами телемеханики / Ю.М. Агафонов, Н.С. Акиншин, К.А. Анкудинов, А.И. Анкудинов, А.Б. Воскресенский, Р.Н. Акиншин // Газовая промышленность. 2007. № 7. С. 58-61.

5. Акиншин Н.С. Синтез микроконтроллерных систем для исследования зрительно-двигательных возможностей человека / Н.С. Акиншин, К.А. Анкудинов, А.И. Анкудинов, Е.Б. Карпов, И.Е. Карпов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 7-2. С. 78-87.

6. Акиншин Р.Н. Вероятностная оценка работоспособности EEPROM-памяти микроконтроллеров при синтезе цифровых конечных автоматов / Р.Н. Акиншин, Ю.М. Агафонов, К.А. Анкудинов, А.И. Анкудинов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2007. Т. 50, № 8. С. 23-27.

7. Акиншин Р.Н., Молоденков Д.А., Анкудинов К.А. Формирование программы послепродажного обслуживания продукции военного назначения / Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2014. № 1-1. С. 295-304.

8. Анкудинов А.И., Кравец В.И., Семченко М.Я., Анкудинов К.А. Устройство для контроля мертвого хода механической передачи электропривода // Авторское свидетельство SU 1677792. Опубликовано: 15.09.1991. Бюл. № 34.

9. Анкудинов А.И., Кравец В.И., Анкудинов К.А. Измерение электромеханической постоянной времени электропривода постоянного тока // Измерительная техника. 1990. № 12. С. 31-32.

10. Анкудинов А.И., Кравец В.И., Анкудинов К.А. Мощный компенсационный двусторонний амплитудный ограничитель // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1991. Т. 34, № 7. С. 53-55.

11. Анкудинов А.И., Кравец В.И., Анкудинов К.А. Искажения фронта и амплитуды экспоненциальных видеоимпульсов электронным усилителем // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1990. Т. 33, № 9. С. 59-64.

12. Анкудинов К.А. Алгоритм расчета контроллеров согласования микроконтроллерных измерительно-управляющих систем с измерительными преобразователями и исполнительными устройствами / К.А. Анкудинов, А.И. Анкудинов, Е.Б. Карпов, И.Е. Карпов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 2-2. С. 17-21.

13. Анкудинов К.А., Карпов Е.Б., Карпова Т.Е. Микроконтроллерное энергонезависимое устройство контроля тока нагрузки станций катодной защиты магистральных газопроводов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 5-2. С. 9-13.

14. Анкудинов К.А. Измерение электромеханической постоянной времени электропривода постоянного тока по амплитуде реакции апериодического звена // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2008. № 6. С. 26-29.

15. Анкудинов К.А. Способ измерения постоянной времени электропривода / К.А. Анкудинов, А.И. Анкудинов, Н.С. Акиншин, О.А. Глаголев, А.В. Емельянов , В.В. Мануйлов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 12. С. 43-49.

16. Анкудинов К.А. Микроконтроллерное устройство встроенного контроля мертвого хода механической передачи электроприводов переменного тока и архивирования результатов контроля // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 4. С. 11-14.

17. Анкудинов К.А. Устройство встроенного контроля постоянной времени электродвигателя и мертвого хода механической передачи электропривода // Патент на полезную модель RUS 77121. Заявка: 22.05.2008. Опубликовано: 10.10.2008. Бюл. № 28.

18. Ильин А.А., Ильин Р.А., Анкудинов К.А. Математическое обеспечение синтеза математических моделей сложных динамических процессов по выборке данных их предыстории // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. № 3. С. 305-311.

19. Карпов Е.Б., Фридланд А.Я. Образование и обучение с информационной точки зрения // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. 2006. № 6. С. 100-103.

20. Карпов Е.Б., Карпова Е.А. Анализ понятия «самоопределение» в психологии // Казанская наука. 2012. № 2. С. 256-259.

21. Карпов Е.Б., Карпов И.Е., Анкудинов К.А., Анкудинов А.И., Ильин А.А., Баранов А.Н., Фридланд А.Я., Смирнова О.Б., Акиншин Р.Н., Акиншин Н. С. Программатор AVR-микроконтроллеров с универсальным контроллером защиты // Патент на полезную модель RUS 110513. Заявка: 26.04.2011. Опубликовано: 20.11.2011. Бюл. № 32.

22. Карпов Е.Б., Карпов И.Е., Карпова Т.Е., Анкудинов К.А., Анкудинов А.И., Баранов А.Н., Баранова Е.М., Ильин А.А., Акиншин Р.Н., Аминов Э.В. Программатор PIC-микроконтроллеров с регулируемой защитой от перегрузок // Патент на полезную модель RUS 120255. Заявка: 25.05.2012. Опубликовано: 10.09.2012. Бюл. № 25.

23. Ankudinov A.I., Kravets V.I., Ankudinov K.A. Measurement of the electromechanical time constant of DC electric drives // Measurement Techniques. 1990. Vol. 33, №12. P. 1229-1231.