УДК 621.313-57; 621.317.08

ВСТРОЕННЫЙ КОНТРОЛЛЕР ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И МЕРТВОГО ХОДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПО ВРЕМЕНИ ЭКСТРЕМУМА РЕАКЦИИ

[1]Анкудинов К.А., [2]Карпов Е.Б., [2]Карпов И.Е.

[1]Военная академия РВСН им. Петра Великого, Москва, e-mail: aai_tula@mail.ru;
[2]Тульский институт экономики и информатики, Тула, e-mail: aai_tula@mail.ru

Микроконтроллерное устройство по патенту на полезную модель 108237 РФ относится к электромашиностроению, в частности к устройствам встроенного контроля электромеханической постоянной времени электродвигателей и мертвого хода механических передач электроприводов постоянного и переменного токов в ходе их эксплуатации без демонтажа механических передач и электродвигателей с изделий, где они выполняют свои рабочие функции. Критерий измерения – время достижения реакцией устройства экстремального значения.

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

THE BUILT-IN CONTROLLER OF ELECTRIC MOTOR'S ELECTROMECHANICAL TIME CONSTANT AND BACKLASH OF ELECTRIC DRIVE MECHANICAL TRANSMISSION BY THE TIME OF REACTION EXTREMUM

[1]Ankudinov K.A., [2]Karpov E.B., [2]Karpov I.E.

[1]Military Academy of the SMF named after Peter the Great, Moscow, e-mail: aai_tula@mail.ru;
[2]Tula institute of economy and informatics, Tula, e-mail: aai_tula@mail.ru

Microcontroller device according to the patent for useful model 108237 (RF) belongs to electric machine-building, in particular to built-in devices of electromechanical time constant of electric motors and mechanical transmissions backlash of direct and alternating current electric drives during the maintenance without mechanical transmissions and electric motors dismantling from products where they execute their working functions. The criterion of measurement is the time of reaching the extreme value of device reaction.

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

Известны аналоги устройств и способы встроенного контроля электромеханической постоянной времени (ЭМПВ) электродвигателей (ЭД) постоянного тока и мертвых ходов (МХ) механических передач (МП) электроприводов (ЭП) постоянного тока в ходе их эксплуатации без демонтажа МП и ЭД постоянного тока с изделий, где они выполняют свои рабочие функции [8-10, 22].

На современном этапе развития микроконтроллерной схемотехники существует ряд известных методик синтеза устройств рассматриваемого класса [1-6, 11-17] на основе современных микроконтроллеров (МК).

Известен прототип [16] – микроконтроллерное устройство встроенного контроля ЭМПВ ЭД и МХ МП ЭП постоянного тока, содержащее: ЭД постоянного тока, который через контролируемую МП подсоединен к нагрузке; датчик контроля (ДК) [8, 11, 22], включенный последовательно в обмотку ЭД постоянного тока – стандартный токовый шунт на 75 мВ, который исключает влияние ДК на режим работы ЭД; формирователя импульсов (ФИ) [9], вход которого подключен к ДК; пассивное апериодическое звено (ПАЗ) первого порядка [10], вход которого тоже подключен к ДК; узел выявления экстремума напряжения (УВЭН) [10], вход которого подключен к выходу ПАЗ; МК – ATmega48, работой которого управляют ФИ и УВЭН; четырехразрядный семисегментный знаковый индикатор (СЗИ) – АЛС329Б, который подключен к МК 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 постоянного [об/мин] (численные значения Ω_H берется из паспорта на ЭД и записывается в энергонезависимую EEPROM-

память данных МК), T_{MX} – время выбора МХ МП [с] и $T_{ЭД}$ – ЭМПВ ЭД постоянного тока [с] измеряется прототипом [16] в процессе работы и записывается в EEPROM-память МК.

В прототипе [16] вычислить непосредственно ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного тока не представляется возможным, поэтому в устройстве вычисляется время достижения экстремума напряжения $T_Э$ на выходе ПАЗ первого порядка [16]

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

где $T_{ЭД}$ – ЭМПВ ЭД постоянного тока (измеряемая устройством), $T_{АЗ}$ – 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).

Выражение (2) неразрешимо относительно $T_{ЭД}$ в аналитическом виде, оно является трансцендентным уравнением относительно $T_{ЭД}$ и в [16] решается с заданной точностью численным методом, а затем подставляется в (1) для численного расчета МХ α МП ЭП постоянного тока.

Аналоги [8, 22] и прототип [16], наряду с достаточно алгоритмичным обеспечением процесса измерения величины МХ а МП ЭП постоянного тока по выражению (1) с использованием трансцендентного уравнения (2), обладают и существенными недостатками, уменьшающими функциональные [7, 21] и эргономические возможности [18, 19]:

– невозможно использовать прототип [16] для измерения МХ и ЭМПВ МП ЭП переменного тока, хотя электроприводы переменного тока находят широкое применение в народном хозяйстве и специальной технике;

– в прототипе [16] выводится на индикацию только численное значение МХ МП постоянного тока, а численное значение ЭМПВ ЭД постоянного тока не индицируется, хотя этот параметр входит в передаточную функцию ЭП и является определяющим в точности, быстродействии и устойчивости работы ЭП.

Постановка задачи

Предлагаемое микроконтроллерное устройство встроенного контроля ЭМПВ ЭД и МХ МП ЭП постоянного и переменного тока [20] должно решать две задачи:

1. Обеспечение возможности оперативного встроенного контроля ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД и МХ α МП ЭП, как постоянного, так и перемененного тока.

2. Вывод на СЗИ устройства численных значений ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД и МХ α МП ЭП, как постоянного, так и перемененного тока.

Блок-схема устройства

В отличие от аналогов [8-10, 22] и прототипа [16] предлагаемое микроконтроллерное устройство [20] дополнительно должно включать в свою структуру пиковый амплитудный детектор (ПАД) [9], который является инерционным по несущей частоте питающего напряжения ЭД переменного тока и безынерционным по огибающей выходного сигнала ДК ЭД переменного тока.

Блок-схема встроенного контроля ЭМПВ ЭД и МХ МП ЭП постоянного или переменного тока [20] по времени экстремума реакции ПАЗ представлена на рис. 1.

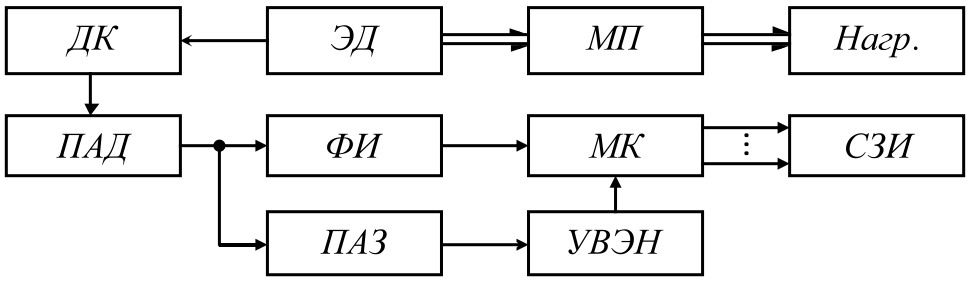

Рис. 1. Блок-схема встроенного контролера электромеханической постоянной времени электродвигателя и мертвого хода механической передачи электропривода постоянного и переменного тока по времени экстремума реакции:
ДК – датчик контроля; ЭД – электродвигатель постоянного или переменного тока; МП – механическая передача; Нагр. – нагрузка ЭП; ПАД – пиковый амплитудный детектор; ФИ – формирователь импульсов; МК – микроконтроллер ATmega8515; СЗИ – девятиразрядный семисегментный знаковый индикатор АЛС356А; ПАЗ – пассивное апериодическое звено первого порядка; УВЭН – узел выявления экстремума напряжения на выходе ПАЗ

Поставленная задача достигается тем, что во встроенный контролер ЭМПВ ЭД и МХ МП ЭП постоянного и переменного тока по времени экстремума реакции ПАЗ [20], содержащий: ЭД постоянного или переменного тока, соединенный с нагрузкой (на рис. 1 – Нагр.) через контролируемую МП; ДК [8, 22], встроенный в ЭД; ФИ [9]; ПАЗ [10] первого порядка; УВЭН [10], вход которого подключен к выходу ПАЗ первого порядка, введены: ПАД [9], вход которого подключен к датчику ДК, а выход соединен со входами ФИ и ПАЗ первого порядка; восьмибитный МК ATmega8515 с FLASH-памятью программ, EEPROM- и SRAM-памятью данных; девятиразрядный СЗИ АЛС356А; первая линия порта МК, настроенная как вход, подключена к выходу ФИ, вторая линия порта МК, настроенная как вход, подключена к выходу УВЭН, а семнадцать линий портов МК, настроенные как выход, подключены к девятиразрядному СЗИ АЛС356А.

Этапы работы устройства

1. Ввод в эксплуатацию (см. рис. 1). На первом этапе происходит инициализация и программирование МК – ATmega8515: в FLASH-память программ записывается программа работы МК; в энергонезависимую EEPROM-память данных – паспортная (из технической документации) номинальная скорость вращения Ω_i [об/мин] и k – кратность пускового тока (напряжения) ЭД постоянного и переменного 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 α МП и ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного и переменного тока, так как их величины α и $T_{ЭД}$ меняется медленно по мере износа элементов ЭП в процессе эксплуатации. Следует учитывать что, изменения α и $T_{ЭД}$ могут оказаться существенными при изменении климатических условий, что необходимо учитывать в процессе эксплуатации устройства.

3. Режим измерения (см. рис. 1). Временные диаграммы работы встроенного контролера ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД и МХ а МП ЭД постоянного и переменного тока по времени экстремума реакции ПАЗ [20] в режиме измерения представлены на рис. 2. Перед включением устройства в режиме измерения МХ α МП ЭП устанавливается в максимальное положение (как и в аналогах и прототипе) и затем подается питание на устройство.

В момент времени t_1 (рис. 2) в контроллере происходят следующие физические процессы: запускается в работу ЭД постоянного или переменного тока; в обмотке якоря ЭД постоянного тока возникает импульс пускового тока, который создает импульс постоянного напряжения на ДК с амплитудой $u_{ДК=}(t_1)=U_{ДК=\max}$ (рис. 2,а); в обмотке статора ЭД переменного тока возникает импульс пускового тока, который создает импульс переменного напряжения на ДК с амплитудой $u_{ДК\approx}(t_1)=U_{ДК\approx\max}$ (рис. 2,б); сигнал с ДК, как для ЭД постоянного тока (рис. 2,а), так и для ЭД переменного тока (рис. 2,б) поступает на ПАД (рис. 2,в); на выходе ПАД создается выходной сигнал одной и той же формы, как для ЭД постоянного, так и для ЭД переменного тока $u_{ПАД}(t_1)=U_{ДК=\max}=U_{ДК\approx\max}$ (рис. 2,в); выходной сигнал ПАД $u_{ПАД}(t_1)=U_{ДК=\max}=U_{ДК\approx\max}$ (рис. 2,в) подается на входы ФИ и ПАЗ первого порядка; ФИ на выходе вырабатывает первый короткий импульс $u_{ФИ}(t_1)=U_{ФИ\max}$ (рис. 2,г), поступающий на МК; выходной сигнал ПАЗ первого порядка в рассматриваемый момент времени отсутствует $u_{ПАЗ}(t_1)=0$ (рис. 2,д); МК готовится к началу отсчета, во-первых, времени выбора МХ T_{MX} МП (рис. 2,е) и, во-вторых, времени достижения экстремума напряжения $T_Э$ на выходе ПАЗ первого порядка (рис. 2,е), которые будут записываться в SRAM-память данных МК.

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

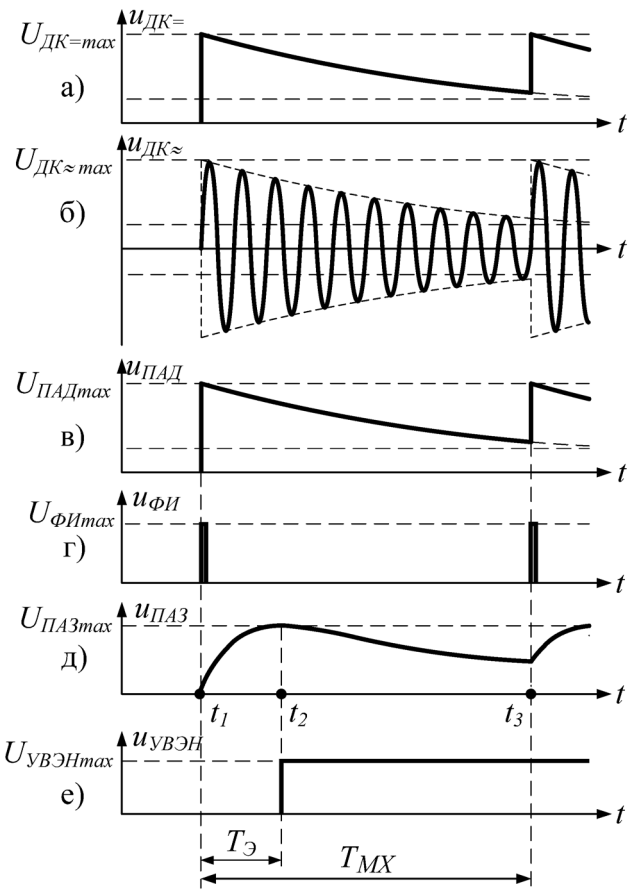

Рис. 2. Временные диаграммы работы встроенного контролера электромеханической постоянной времени электродвигателя и мертвого хода механической передачи электропривода постоянного и переменного тока по времени экстремума реакции: а – выходной сигнал ДК для двигателя постоянного тока; б – выходной сигнал ДК для двигателя переменного тока; в – выходной сигнал ПАД; г – выходной сигнал ФИ; д – выходной сигнал ПАЗ первого порядка; е – выходной сигнал УВЭН

В момент времени t_2 (рис. 2) в контроллере происходят следующие физические процессы: ЭД постоянного или переменного тока продолжает вращение; напряжение на ДК $u_{ДК=}(t_2)$ (рис. 2,а) или $u_{ДК\approx}(t_2)$ (рис. 2,б) продолжает уменьшаться по экспоненте; напряжение на выходе ФИ остается равным нулю $u_{ФИ}(t_2)=0$ (рис. 2,г); напряжение на выходе ПАЗ достигает своего экстремального значения $u_{ПАЗ}(t_2)=U_{ПАЗ\max}$ (рис. 2,д); напряжение на выходе УВЭН скачком принимает максимальное значение $u_{УВЭН}(t_2)=U_{УВЭН\max}$ (рис. 2,е); МК, во-первых, продолжает отсчет времени выбора МХ T_{MX} МП ЭП (рис. 2,е) 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 [*с*].

В интервале времени $t\in(t_2;\ t_3)$ (рис. 2) в контроллере протекают следующие физические процессы: ЭД постоянного или переменного тока продолжает вращение; напряжение на ДК $u_{ДК=}(t\in(t_2;\ t_3))$ (рис. 2,а) и $u_{ДК\approx}(t\in(t_2;\ t_3))$ (рис. 2,б) 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,г); МК, во-первых производит расчет ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного или переменного тока численным методом из трансцендентного уравнения (2) по известным численным значениям $T_{АЗ}$, 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 или переменного тока в размерности $[c]$ и высвечивает измеренное численное значение ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного или переменного тока в первых четырех разрядах девятиразрядного СЗИ – АЛС356А с точностью до тысячной доли секунды, в-третьих, продолжает отсчет времени выбора МХ T_{MX} МП ЭП (рис. 2,е).

В момент времени t_3 (рис. 2) в контроллере происходят следующие процессы: закончен выбор МХ МП ЭП и приходит во вращение тихоходный вал МП и нагрузка; величина нагрузки на ЭД постоянного или переменного тока скачкообразно возрастает и в обмотке якоря или статора вновь возникает импульс пускового тока, который создает на ДК импульс постоянного напряжения $u_{ДК=}(t_3)=U_{ДК=\max}$ (рис. 2,а) или импульс переменного напряжения $u_{ДК\approx}(t_3)=U_{ДК\approx\max}$ (рис. 2,б); сигнал с ДК поступает на ФИ, который вырабатывает второй короткий импульс $u_{ФИ}(t_3)=U_{ФИ\max}$ (рис. 2,г), поступающий на МК; МК, во-первых, заканчивает отсчет времени выбора МХ $T_{MX}=t_3-t_1$ МП (рис. 2,е) и запоминает его значение в SRAM-памяти данных в размерности $[c]$ а, во-вторых производит расчет МХ α МП ЭП постоянного или переменного тока по заданному алгоритму – формула (1) и высвечивает измеренное численное значение α в последних четырех разрядах девятиразрядного СЗИ – АЛС356А с точностью до тысячной доли градуса.

Выводы

Введение во встроенный контролер ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД и МХ α МП ЭП постоянного или переменного тока по времени экстремума реакции ПАЗ [20]: ПАД [9], вход которого подключен к ДК (см рис. 2), а выход соединен со входами ФИ и ПАЗ первого порядка; восьмибитного МК ATmega8515 с FLASH-памятью программ, EEPROM- и SRAM-памятью данных; девятиразрядного СЗИ АЛС356А; первая линия порта МК, настроенная как вход, подключена к выходу ФИ, вторая линия порта МК, настроенная как вход, подключена к выходу УВЭН, а семнадцать линий портов МК, настроенные как выход, подключены к девятиразрядному СЗИ АЛС356А, что обеспечило:

1. Возможность оперативного встроенного измерения ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД, как постоянного, так и перемененного тока, и высвечивания измеренного численного значения ЭМПВ $T_{ЭД}$ ЭД постоянного или переменного тока в первых четырех разрядах девятиразрядного СЗИ – АЛС356А с точностью до тысячной доли секунды.

2. Возможность оперативного встроенного измерения МХ α МП ЭП, как постоянного, так и перемененного тока, и высвечивания измеренного численного значения МХ а МП ЭП постоянного или переменного тока в последних четырех разрядах девятиразрядного СЗИ – АЛС356А с точностью до тысячной доли 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. 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.

3. 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.

4. 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.

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

9. 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.

10. Анкудинов А.И., Кравец В.И., Анкудинов К.А. Искажения фронта и амплитуды экспоненциальных видеоим-

пульсов электронным усилителем // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1990. Т. 33, № 9. С. 59-64.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. Анкудинов К.А. Микроконтроллерное устройство встроенного контроля постоянной времени электродвигателя и мертвого хода механической передачи электропривода постоянного тока // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8-2. С. 72-76.

17. 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.

18. 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.

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

20. Карпов Е.Б., Карпов И.Е., Карпова Т.Е., Анкудинов К.А., Анкудинов А.И., Баранов А.Н., Баранова Е.М., Булатов Л.А., Акиншин Р.Н., Морозов Д.В. Всстроенный контроллер параметров объекта // Патент на полезную модель RUS 108237. Заявка: 26.04.2011. Опубликовано: 10.09.2011. Бюл. № 25.

21. Старожук Е.А., Молоденков Д.А., Анкудинов К.А. Экономическая модель оценки конкурентоспособности продукции военного назначения в течение гарантийного срока / Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2014. № 3-1. С. 34-41.

22. 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.