

ра, а при необходимости и разработки, методов измерения, оценок состояний, физических переменных и формирования управляющих воздействий, синтеза микропроцессорных алгоритмов и разработки программного обеспечения, разработки блочной структуры, аппаратуры и организации вычислений, определения схемотехнических решений и выбора элементной базы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Локотков А.* Устройства связи с объектом. Модули фирмы ADVANTECH// СТА. 1997. № 2. –С.32-44.
2. Система интеллектуальных модулей "Теконик"// <http://www.tecon.ru> .
3. Интеллектуальные датчики давления серии Метран-100// [Http://www.mertran.ru](http://www.mertran.ru) .
4. *Бушуев Н., Васьков Ю., Мартынов Д., Стучебников В.* Интегральные датчики давления на основе структур КНС// Электронные компоненты. 2006. № 11.– С.87-88.
5. *Пьявченко О.Н.* Проектирование локальных микрокомпьютерных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 238 с.
6. *Пьявченко О.Н., Пьявченко А.О.* Схемотехнические решения и элементная база интеллектуальных микропроцессорных модулей: Учебное пособие/ Под ред. О.Н.Пьявченко. – Таганрог: Изд-во ТРТУ. 2006. – 230 с.
7. *Клевцов С.И.* Матрично-полиномиальная аппроксимация градуировочной характеристики датчика давления// Материалы международной научной конференции " Системный подход в науках о природе, человеке и технике". – Таганрог: 2003. Ч.5. – С.16–25.
8. *Голдштейн М.* 16-битные микроконтроллеры: состояние, перспективы и применение// Электронные компоненты. 2006. № 11. – С.89–95.
9. *Кругляк К.* Промышленные сети: цели и средства // СТА, 2001. № 4. –С.6–17.
10. *Годбоул К.* Переход от аналогового управления электроприводом к цифровому// Электронные компоненты. 2006. № 11. – С.25–33.

С.В.Тарарыкин, В.В. Тютиков, В.А.Иванков, Е.В.Красильникьянц

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗАННЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ С УПРУГИМИ ЗВЕНЬЯМИ И ЗАЗОРАМИ В КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧАХ

Разработана методика синтеза систем взаимосвязанных электроприводов с упругими звеньями и зазорами в кинематических передачах, основанная на принципах модального управления и применении безынерционных регуляторов состояния.

Практические задачи управления многими промышленными механизмами предполагают регулирование скорости и положения исполнительного механизма, соединенного с электроприводом (ЭП) через упругую кинематическую передачу, содержащую зазор. К такого рода объектам управления (ОУ) относят опорно-поворотные устройства различного назначения, металлообрабатывающие станки, механизмы металлургического производства и т.п. Системы регулирования для них рационально строить по принципу электромеханической выборки зазора (электромеханического торсиона) на основе реверсивных многодвигательных ЭП с индивидуальными силовыми преобразователями (СП).

К числу основных требований, предъявляемых к указанным ЭП, относятся высокие показатели надежности работы, а также точности и быстродействия при управлении движением общей массы (ОМ).

Известны [1–5] системы управления двухдвигательным ЭП с зазорами в кинематических передачах по принципам электромеханического торсиона (ЭМТ) и

подчиненного регулирования координат (тока и скорости). Наличие упругих звеньев в кинематических передачах приводит к значительному ухудшению показателей качества и надежности работы таких систем. Для сохранения работоспособности необходимо снижать быстродействие ЭП так, чтобы полоса пропускания САУ была в несколько раз меньше нижней собственной частоты механизма. Однако для современных ЭП регламентируемая полоса пропускания частот [6] соизмерима с собственными частотами большинства механизмов, поэтому упругие свойства ОУ в настоящее время ограничивают возможности использования традиционного построения систем ЭП и являются серьезным препятствием при обеспечении качественных характеристик управления механизмами.

Поскольку повышение жесткости конструкции чаще всего экономически нецелесообразно, решение проблемы увеличения быстродействия упругих механизмов при заданном качестве регулирования состоит не в увеличении их резонансных частот, а в их подавлении средствами управления, что возможно при использовании регуляторов, обладающих большим числом степеней свободы [7].

1. Синтез одноканальной системы управления

Синтез двухканальной системы ЭМТ для ЭМС (рис. 1) с упругими звеньями выполняется на основе одноканальной структуры с модальным управлением по координатам состояния, в которой выделяются контуры момента и скорости.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: ω_3 – заданная угловая скорость; $K_{СП}$, $T_{СП}$ – коэффициент передачи и постоянная времени силового преобразователя; $R_я$, $T_я$ – активное сопротивление и электромагнитная постоянная времени якоря электродвигателя; C , J_1 – конструктивный коэффициент и момент инерции ротора двигателя; $\Delta\phi$, C_{12} – зазор и приведенный коэффициент жесткости механической передачи; J_2 – приведенный момент инерции рабочего органа; U , I , ω_1 , $M_у$, ω_2 , ϕ – соответственно напряжение преобразователя, ток, частота вращения электродвигателя, упругий момент передачи, приведенная угловая скорость и положение рабочего органа; s – комплексная переменная Лапласа.

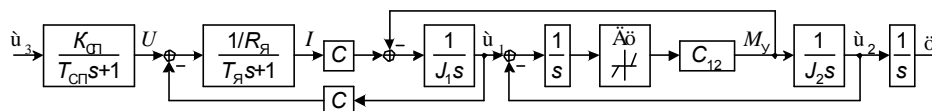


Рис. 1. Двухканальная система ЭМТ для ЭМС

При моделировании были приняты следующие значения параметров ОУ:

- силовой преобразователь: $K_{СП} = 7$, $T_{СП} = 0,001$ с;
- электродвигатель: $R_я = 3,15$ Ом, $T_я = 0,05$ с,
 $C = 0,16$ Вб, $J_1 = 0,015$ кг·м², $I_H = 3$ А;
- механическая передача: $\Delta\phi = -0,05 \dots +0,05$ рад,
 $C_{12} = 0,65$ Н·м/рад, $J_2 = 0,1$ кг·м².

Для данной двухмассовой ЭМС формируется система управления моментом и скоростью исполнительного органа (общей массы) по реакции системы на ступенчатое изменение момента распора M_p и скорости ОМ ω_3 (рис. 2). При этом требуемое качество регулирования координаты ω_2 обеспечивается отсутствием переуправления при апериодическом характере переходного процесса.

Метод пространства состояний позволяет обеспечить требуемое качество и заданное быстродействие на основе безынерционных контуров момента и скорости.

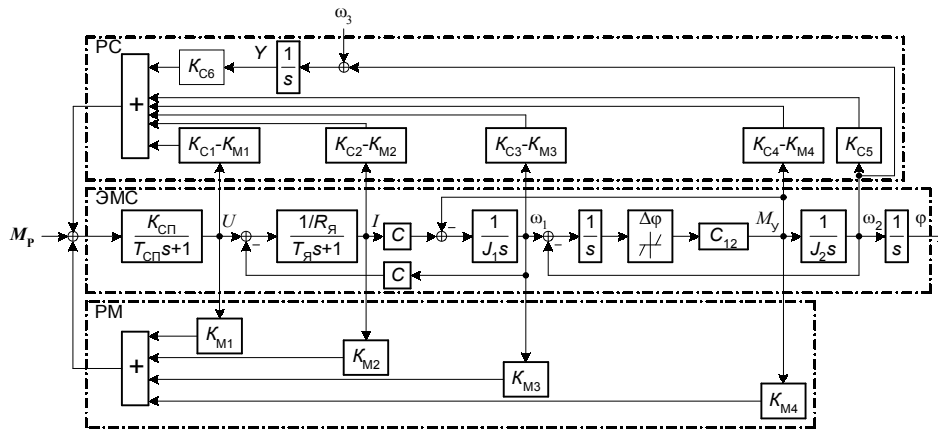


Рис. 2. Система управления моментом и скоростью исполнительного органа

1.1. Контур момента

Для синтеза параметров регуляторов в контуре момента воспользуемся векторно-матричным описанием ОУ:

$$\begin{cases} s \cdot X_M(s) = A_M \cdot x_M(s) + B_M \cdot \dot{y}_3(s) \\ \dot{y}_2(s) = C_M \cdot x_M(s) \end{cases} \quad (2)$$

где $x_M(s)$ – вектор переменных состояния, A , B и C – матрицы состояния, входа и выхода соответственно.

Для контура момента при условии, что $\omega_2 = 0$, матрицы принимают вид

$$A_M = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{СП}} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{R_{Я}T_{Я}} & -\frac{1}{T_{Я}} & -\frac{c}{T_{Я}R_{Я}} & 0 \\ 0 & \frac{c}{J_1} & 0 & -\frac{1}{J_1} \\ 0 & 0 & c_{12} & 0 \end{bmatrix}, \quad B_M = \begin{bmatrix} \frac{K_{СП}}{T_{СП}} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$C_M = [0 \ 0 \ 0 \ 1],$$

а соответствующая передаточная функция –

$$H_M(s) = \frac{M_Y(s)}{M_P(s)} = \frac{b_0}{A_M(s)}, \quad A_M(s) = s^4 + \sum_{m=0}^3 a_m s^m, \quad (4)$$

где b_0, a_0, \dots, a_3 – постоянные коэффициенты, определяемые параметрами системы.

Апериодический процесс с минимальным перерегулированием при отработке ступенчатого воздействия по моменту обеспечивается желаемым распределением полюсов характеристического полинома по Ньютону:

$$D(s) = s^4 + \sum_{m=0}^3 d_m s^m \quad (5)$$

в соответствии с формулой

$$t_H = \frac{n + 2\sqrt{n-1}}{\Omega_0}, \quad (6)$$

где t_H – время нарастания переходной характеристики; n – порядок системы; Ω_0 – среднегеометрический корень характеристического полинома.

Коэффициенты регулятора момента (РМ) $k_{M1} \dots k_{M4}$ вычисляются на основе сравнения коэффициентов заданного (4) и желаемого (5) полиномов при соответствующих степенях для случая $t_H = 0,1$ со среднегеометрическим корнем $\Omega_0 = 74,6 \text{ с}^{-1}$:

$$K_M = [a_0 - d_0 \quad a_1 - d_1 \quad \dots \quad a_{n-1} - d_{(n-1)}], \quad (7)$$

$$K_M = [0,103 \quad -0,625 \quad -3,474 \quad -62,412]. \quad (8)$$

1.2. Контур скорости

Аналогичным способом составляется векторно-матричное описание ОУ для контура скорости с астатизмом первого порядка при $X_C = [U \quad I \quad \omega_1 \quad M_Y \quad \omega_2 \quad Y]$, который обеспечивается при использовании переменной состояния Y – интегральной составляющей главной выходной координаты ω_2 .

Формируются матрицы состояния, входа и выхода A_C , B_C и C_C :

$$A_C = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{СП}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{R_{Я}T_{Я}} & -\frac{1}{T_{Я}} & -\frac{c}{R_{Я}T_{Я}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{c}{J_1} & 0 & -\frac{1}{J_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{12} & 0 & -c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{J_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$B_C = \begin{bmatrix} \frac{K_{СП}}{T_{СП}} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C_C = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1].$$

Для получения апериодического процесса при регулировании скорости выбирают распределение полюсов характеристического полинома по Ньютону в соответствии с формулой (6). При этом темп изменения скорости устанавливают в 2 раза ниже темпа изменения момента. В результате коэффициенты регулятора скорости (РС) для $t_H = 0,2 \text{ с}$ и $\Omega_0 = 52,4 \text{ с}^{-1}$ принимают значения:

$$K_C = [0,101 \quad -0,793 \quad -6,029 \quad -234,188 \quad -763,06 \quad -6716,767]. \quad (10)$$

Принимая во внимание, что РС использует информацию о тех же координатах состояния, что и РМ (см. рис. 2), параметры РС $k_{C1} \dots k_{C6}$ следует скорректировать с учетом идентичных переменных состояния, участвующих в управлении моментом, составив соответствующие разности:

$$K_C^* = [k_{C1} - k_{M1} \quad k_{C2} - k_{M2} \quad k_{C3} - k_{M3} \quad k_{C4} - k_{M4} \quad k_{C5} \quad k_{C6}]. \quad (11)$$

Итоговые параметры для РС примут вид

$$K_C^* = [-0,002 \quad -0,168 \quad -2,56 \quad -174,3 \quad -763 \quad -6716,8]. \quad 12)$$

Таким образом, одноканальная структура управления скоростью ОМ двух-массовой ЭМС с упругим звеном позволяет построить подчиненные контуры управления моментом и скоростью на основе модального управления.

Основным недостатком одноканальной структуры является то, что при изменении направления вращения ОМ или при воздействии момента сопротивления возможно раскрытие зазора, что значительно ухудшает качество переходного процесса, поэтому необходимо сформировать торсионную структуру выборки зазора в рамках двухканальной системы управления.

2. Синтез двухканальной системы выборки зазора

Двухканальная система ЭМТ основана на системе управления взаимосвязанными ЭП, в котором реализуется переключение тормозящего и двигательного управляющего воздействия в каждом из каналов, в зависимости от направления перемещения исполнительного органа. Реализация системы предусматривается в двух вариантах: с общим (рис. 3, а) и с отдельными регуляторами скорости (рис. 3, б).

На рис. 3 приняты следующие обозначения координат ЭП: U_1, I_1, ω_1 и M_1 – напряжение, ток, угловая скорость электродвигателя и момент упругости кинематической передачи первого ЭП; U_2, I_2, ω_2 и M_2 – то же, для второго ЭП; ω_3, M_p, ω и M_c – заданное значение скорости, момент распора, действительное значение скорости и момент нагрузки ОМ. Также приняты следующие аббревиатуры для первого и второго каналов ЭП: ЗПМ – задатчик положительного момента, ЗОМ – задатчик отрицательного момента, ЗС – задатчик скорости, РМ – регулятор момента, РС – регулятор скорости, СП – силовой преобразователь, Д – двигатель.

2.1. Система с общим регулятором скорости (рис. 3, а)

Параметры каждого из модальных РМ, формирующих дополнительные управляющие воздействия на первый и второй ЭП, настраиваются так, чтобы обеспечить заданное распределение корней характеристического уравнения каждого ЭП, полученного при условии отсутствия движения ОМ. Это распределение корней должно обеспечить более быструю (в несколько раз) динамику процессов формирования моментов распора по сравнению с динамикой управления скоростью ОМ и при любом ее движении гарантировать надежную компенсацию влияния зазоров за счет стабилизации значений тормозных моментов на уровнях, определяемых ЗПМ и ЗОМ, несмотря на присутствие упругих звеньев в кинематических передачах.

Параметры общего модального РС рассчитываются так, чтобы обеспечить заданное распределение корней характеристического уравнения системы, состоящей из одного электропривода с присоединенной ОМ. Это распределение корней должно обеспечивать требуемую техническим заданием динамику управления движением рабочего органа со стороны движущего ЭП. После этого расчетные параметры, определяющие силу ОС по всем координатам состояния ЭП, корректируются с учетом параметров (коэффициентов усиления) ОС, уже введенных по этим координатам на входы РМ. Для более точной коррекции параметров единого РС темпы формирования дополнительных управляющих воздействий на ЭП со стороны РМ должны задаваться одинаковыми. В итоге совокупное действие РС и РМ обеспечивает высокие показатели точности и быстродействия при управлении движением ОМ в соответствии с задаваемыми уровнями ее скорости, несмотря на присутствие зазоров и упругостей в кинематических передачах.

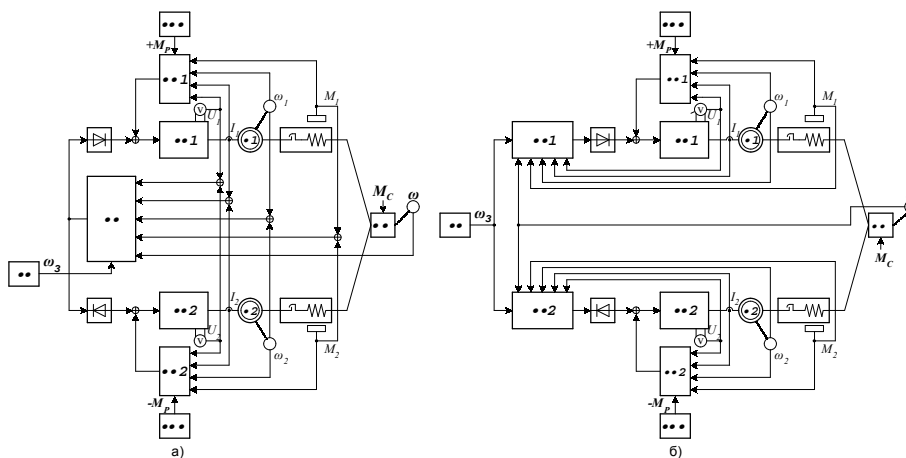


Рис. 3. Двухканальная система ЭМТ

Изменения уровня или направления скорости ОМ, а также воздействия внешних возмущений могут изменять знак выходного сигнала РС. При этом разделительные диоды формируют основное управляющее воздействие соответствующего знака только на тот ЭП, который в данный момент должен быть движущим. Сумматоры обеспечивают одновременное поступление на входы РС сигналов ОС по координатам состояния обоих ЭП, что исключает задержки времени при смене функций электроприводов (движущий/тормозящий) и при наличии разделительных диодов, не допускающих одновременной работы ЭП в движущем режиме, сохраняет высокие динамические показатели системы при реверсе.

При работе взаимосвязанных ЭП во всех режимах, включая режим задания нулевой скорости ОМ, РМ обеспечивают высокое качество стабилизации моментов распора, благодаря чему исключается раскрытие зазоров кинематических передач, повышается их износостойкость и надежность работы.

Приведенные на рис. 4,а графики изменений координат электроприводов подтверждают достижение технического результата в системе с общим РС с одинаковыми параметрами. Однако, как показывают графики на рис. 4,б, показатели качества управления существенно ухудшаются при значительных различиях параметров первого и второго ЭП, поскольку общий РС настраивается только на параметры одного из ЭП. Кроме того, как показывают графики на рис. 4, а, в этой системе не удается исключить вариаций моментов распора при изменениях уровня скорости ОМ, что приводит к определенному повышению расхода электроэнергии при работе в верхней части скоростного диапазона.

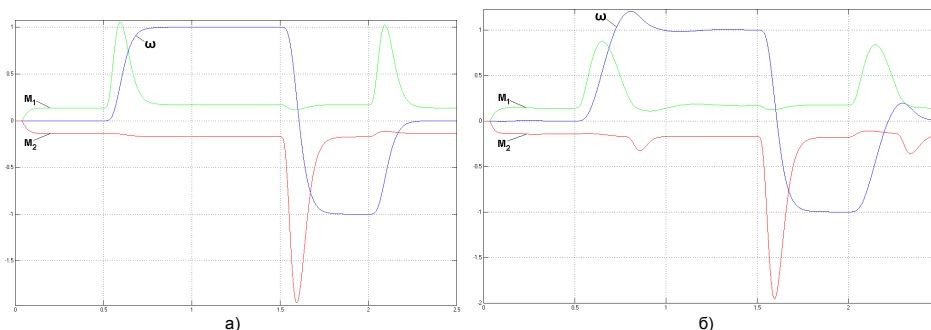


Рис. 4. Графики изменений координат электроприводов

2.2. Система с отдельными регуляторами скорости (рис. 3, б)

Формирование дополнительных управляющих воздействий на электроприводы модальными РМ осуществляется здесь аналогично тому, как это происходит в системе на рис. 3, а. Отличие состоит в том, что темпы формирования дополнительных управляющих воздействий могут быть неодинаковыми.

Другим отличием является то, что формирование основных управляющих воздействий осуществляется не одним, а двумя РС. При этом один РС получает информацию о координатах состояния первого ЭП, а другой – второго ЭП. Расчетные значения параметров РС должны быть скорректированы с учетом параметров уже введенных РМ.

Оба РС работают независимо, обеспечивая близкие темпы формирования основных управляющих воздействий, но разделительные диоды разрешают прохождение только положительных сигналов управления на первый ЭП и отрицательных – на второй ЭП в соответствии с принятой логикой работы ЭМТ.

Такое решение позволяет обеспечить заданное качество управления (рис. 5) движением ОМ со стороны каждого ЭП, несмотря на различие их параметров: момент инерции электродвигателя первого ЭП в 4 раза больше, чем момент инерции электродвигателя второго ЭП; в механической передаче от первого ЭП к ОМ коэффициент жесткости в 7 раз больше и зазор в 2 раза больше, чем в кинематической цепи соединения второго ЭП с ОМ.

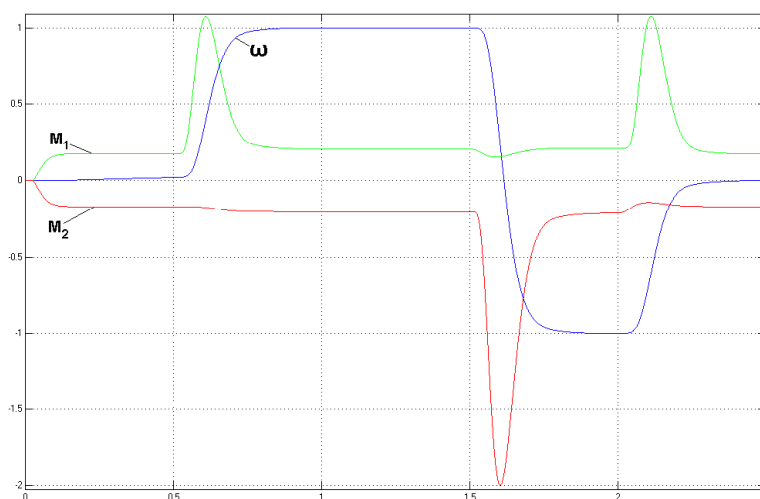


Рис. 5. Качество управления движением ОМ со стороны каждого ЭП

Тем не менее, реализовать астатическую стабилизацию моментов распора при изменениях скорости общей массы здесь не удастся, что вызывает повышенный расход энергии при работе электроприводов.

Таким образом, каждый из предложенных вариантов заявленного способа обеспечивает достижение технического результата при определенных различиях дополнительных факторов, которые должны быть проанализированы и учтены перед окончательным выбором оптимального решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. № 864477, СССР, кл. Н 02 Р 5/46, 1981.
2. А. с. № 1075360, СССР, кл. Н 02 Р 5/46, 1984.
3. А. с. № 1115191, СССР, кл. Н 02 Р 5/46; В 23 Q 15/00, 1984.

4. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Ленинград: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982.
5. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2005.
6. ГОСТ 27803-88. Электроприводы регулируемые для станкостроения и робототехники. Общие требования.
7. Тарарыкин С.В., Тютиков В.В. Системы координирующего управления взаимосвязанными электроприводами. – Иваново, ИГЭУ, 2000.

В.Е. Лялин, А.В. Уланов

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПУТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ КВАЗИЛИНЕЙНОГО УЧАСТКА НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЫХОДЕ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель создания оригинального устройства [2] заключается в повышении точности работы аналогичных устройств.

На рис.1 представлена блок-схема предложенного устройства, на рис.2 изображен вид электрического сигнала с выделенным квазилинейным участком, на рис.3 – график изменения кода числа на выходе второго блока вычитания, на рис.4 представлены эпюры входных и выходных сигналов второго генератора.

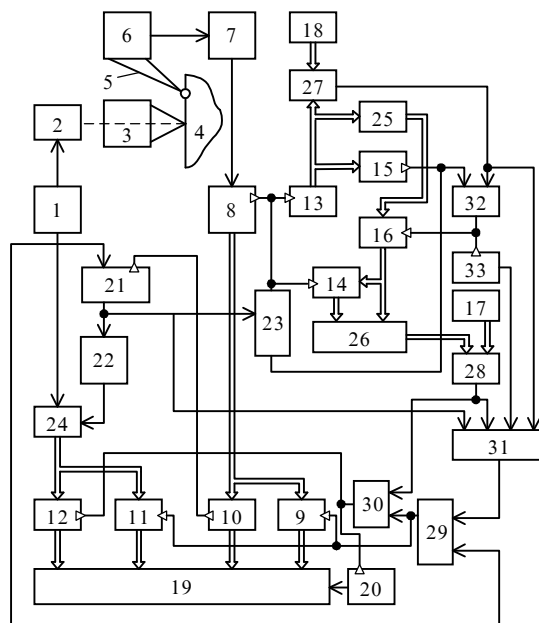


Рис.1. Блок-схема устройства:

1 –формирователь импульсов; 2,3 – источники излучения; 4 – объект контроля; 5 – датчик температуры; 6 – усилитель; 7 – фильтр; 8 – АЦП; 9–18 регистры; 19 – вычислитель; 20 – формирователь импульсов; 21 – триггер; 22,23 – генераторы импульсов; 24 – счетчик; 25,26 – блоки вычитания; 27, 28 – блоки сравнения; 29 – триггер; 30–32 – элементы И; 33 – формирователь импульсов