

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 62-83:681.51(075.8)

РЕГУЛЯТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ЧАСТОТНО-ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

О.Г. Брылина

г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет

AC VOLTAGE REGULATORS WITH FREQUENCY WIDTH-PULSE MODULATION

O.G. Brylina

Chelyabinsk, South Ural State University

Рассматривается принцип построения частотно-широотно-импульсных регуляторов переменного напряжения на базе многозонного интегрирующего развертывающего преобразователя. Приведены структурные схемы однофазного и трехфазных регуляторов и временные диаграммы их работы.

Ключевые слова: регулятор переменного напряжения, терморегулятор, частотно-широотно-импульсная модуляция, многозонный развертывающий преобразователь, D-триггер.

The principle of design of frequency width-pulse AC regulators on the basis of the multizone integrating sweep converter is considered in this article. Block diagrams and time characteristics of work of single-phase and three phase regulators are given.

Keywords: alternating voltage regulator, thermoregulator, frequency width-pulse modulation, multizone integrating sweep converter, D-trigger.

Частотно-широотно-импульсная модуляция (ЧШИМ) при построении регуляторов переменного напряжения (РН), например терморегуляторов, обеспечивает повышенную точность и помехоустойчивость процесса управления, а также практически неограниченный диапазон регулирования, дискретность которого определяется одним периодом напряжения сети [1]. Однако в подобных РН возникают определенные сложности с построением систем управления, в частности цифровых, когда для переноса ЧШИМ на «язык цифры» требуется бесконечное число разрядов, что технически нереализуемо. Это зачастую приводит к ограничению потенциальных возможностей ЧШИМ и ухудшает технико-эксплуатационные показатели системы управления в целом.

Ниже рассматриваются РН с ЧШИМ [2], где отмеченный недостаток устранен за счет построения системы управления на базе многозонного интегрирующего развертывающего преобразователя (МРП) с ЧШИМ [3].

Структурная схема однофазного многозонного РН (рис. 1) содержит сумматоры $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$, интегратор И, релейные элементы РЭ1 – РЭ3 с симметричными относительно «нуля» порогами переключе-

ния $|\pm b_1| < |\pm b_2| < |\pm b_3|$, где индекс при b соответствует порядковому номеру РЭ и отличается от классической структуры МРП [4] наличием повторителей П1 – П3, динамического D-триггера D1, устройства синхронизации УС и силовых ключей переменного тока Кл.1 – Кл.3. Нагрузка R_n (например, термоэлектронагреватели) распределена по каналам регулирования (модуляционным зонам), число которых зависит от количества релейных элементов МРП [4].

Выходные сигналы РЭ1 – РЭ3 меняются дискретно в пределах $\pm A/n$, где n – число релейных элементов МРП; $\pm A$ – максимальный выходной сигнал сумматора $\Sigma 2$, когда все РЭ находятся в идентичных по знаку выходного сигнала состояниях. Повторители П1 – П3 (рис. 2, г) предназначены для преобразования биполярных выходных импульсов РЭ1 – РЭ3 в однополярный сигнал с уровнями «0» или «1», что необходимо для стыковки выходов РЭ1 – РЭ3 с D-входом динамического триггера D1 и управляющими входами Кл.2, Кл.3.

УС формирует логическую «1» (рис. 2, б) на интервале формирования положительной полуволны напряжения сети (рис. 2, а), что обеспечи-

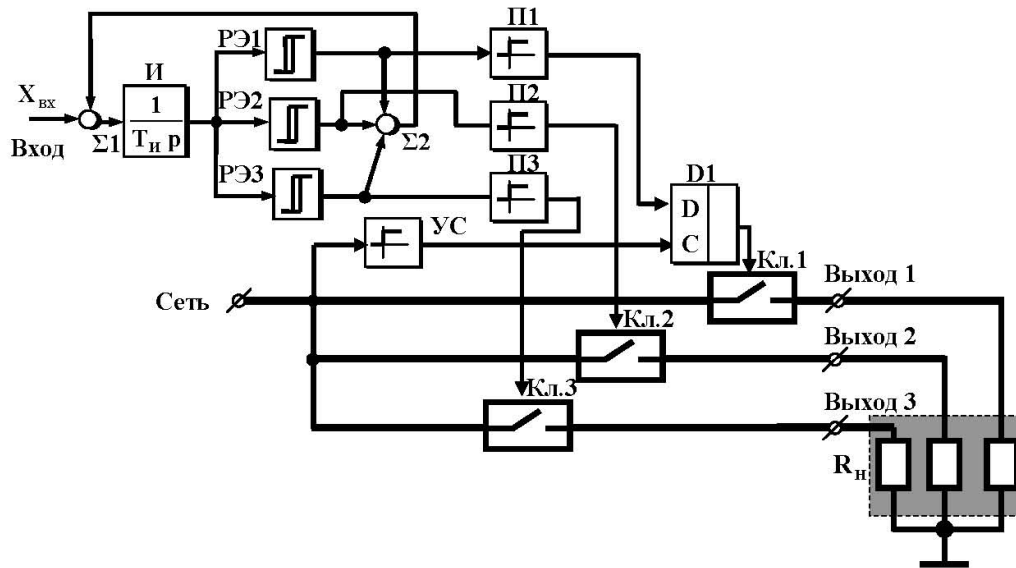


Рис. 1. Структурная схема однофазного регулятора переменного напряжения

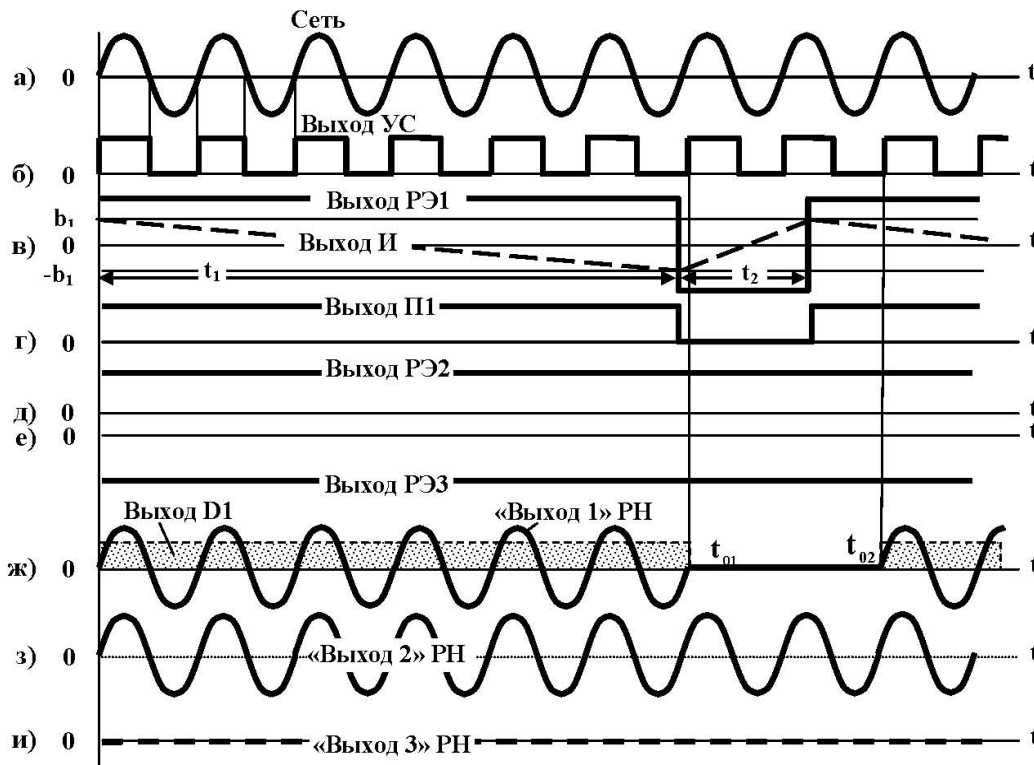


Рис. 2. Временные диаграммы сигналов однофазного регулятора переменного напряжения

вает переключение D1 в состояние D-входа по переднему фронту сигнала на C-входе (рис. 2, ж).

Ключи Кл.1 – Кл.3 переходят в замкнутое положение при сигнале «1» на их управляющем входе (рис. 2, ж – и).

Считаем, что частота собственных автоколебаний МРП намного ниже частоты напряжения сети.

После включения РН и нулевом уровне входного сигнала $X_{вх} = 0$ МРП работает в первой мо-

дуляционной зоне, когда РЭ1 находится в режиме автоколебаний, а РЭ2 и РЭ3 переходят в статическое положение, при котором знаки их выходных сигналов противоположны.

Предположим, что РЭ2 находится в статическом состоянии «+ A/3», а РЭ3 – в положении «- A/3» (рис. 2, д, е). Тогда ключ Кл.2 постоянно открыт («Выход 2», рис. 2, з), а ключ Кл.3 переходит в статическое разомкнутое положение («Выход 3», рис. 2, и).

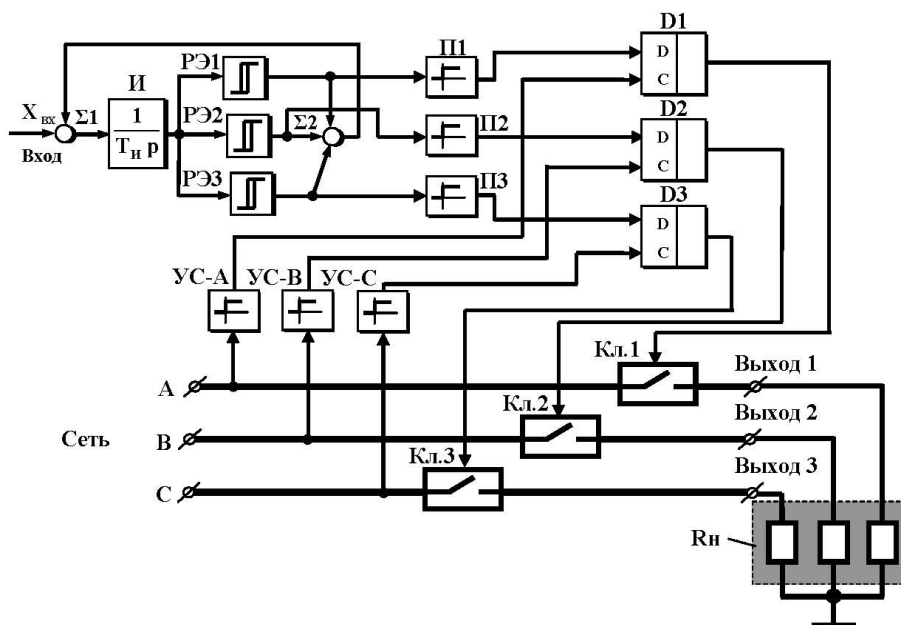


Рис. 3. Структурная схема трехфазного регулятора переменного напряжения

Амплитуда выходного пилообразного сигнала интегратора И ограничена порогами переключения $\pm b_1$ (рис. 2, в). Скважность импульсов $\gamma = t_1 / (t_1 + t_2)$ (рис. 2, в) определяется величиной сигнала X_{BX} на информационном входе РН, где t_1, t_2 – длительность выходных импульсов РЭ1 соответственно положительной и отрицательной полярности.

В результате на «Выходе 1» РН (рис. 1) присутствует «пакет» из целого числа периодов напряжения сети (рис. 2, ж), на «Выходе 2» – непрерывный поток периодов гармонического сигнала (рис. 2, з), а на «Выходе 3» – нулевое значение напряжения сети (рис. 2, и).

Выключение Кл.1 происходит в момент времени t_{01} (рис. 2, ж), когда передний фронт импульса с выхода УС (рис. 2, б) совпадает с нулевым уровнем сигнала на D-входе D-триггера (рис. 2, ж). Ключ Кл.1 вновь перейдет в замкнутое состояние при совпадении переднего фронта выходного сигнала УС с «1» на D-входе (рис. 2, б, ж, момент времени t_{02}).

При $X_{BX} > A/3$ МРП переходит во вторую модуляционную зону, где в установившемся режиме характер изменения сигнала на «выходе 1» будет аналогичен первой модуляционной зоне с той лишь разницей, что ключи Кл.2, Кл.3 здесь находятся в разомкнутом положении, так как выходные сигналы РЭ2 и РЭ3 равны $-A/3$. В результате Кл.2, Кл.3 разомкнуты, а в режиме ЧШИМ работает ключ Кл.1.

При $X_{BX} > -A/3$ МРП работает в третьей модуляционной зоне, где РЭ2, РЭ3 находятся в статическом состоянии $+A/3$. При этом Кл.2 и Кл.3

полностью открыты, а режим плавного регулирования обеспечивается за счет переключений ключа Кл.1.

Таким образом, в зависимости от уровня сигнала на входе МРП в статическом состоянии «включено» (или «выключено») всегда находятся Кл.2, Кл.3, а в режиме ЧШИМ работает Кл.1. При этом D-триггер обеспечивает на «Выходе 1» РН формирование целого числа периодов напряжения сети, причем без применения специальных вычислительных алгоритмов. На практике собственная частота автоколебаний МРП выбирается в пределах 1–10 Гц. Количество модуляционных зон

$$Z = (n+1)/2$$

определяется числом релейных элементов, которое для данной структуры МРП должно удовлетворять условию $n = 3, 5, 7 \dots$ – нечетное число [4]. С ростом числа Z происходит повышение точности процесса регулирования, так как в нагрузке уменьшается «пульсирующая» составляющая регулируемой координаты, характерная для однозонных систем с ШИМ или ЧШИМ.

Структура трехфазного РН (рис. 3) всегда предполагает число $n = 3$, а также наличие трех каналов синхронизации УС-А, УС-В и УС-С и дополнительных D-триггеров D2, D3. При этом в режиме ЧШИМ всегда работает ключ Кл.1 фазы А, а в статическом положении «включено» или «выключено» – ключи Кл.2, Кл.3 фаз В и С соответственно. Несимметричный режим нагрузки на сеть, который формирует данный РН, ограничивает область его применения регуляторами, мощность которых не превышает единиц кВт.

Вместе с тем отличительной особенностью подобной структуры, на которой следует остановиться подробнее, является ее способность адап-

тироваться к отказам релейных элементов МРП. В этом случае на величину входного сигнала накладывается ограничение $|X_{BX}| < |A/3|$. Это означает, что в исходном исправном состоянии РН одна из ветвей «ключ-нагрузка», например фазы С, является резервной, канал фазы А обеспечивает работу РН в состоянии ЧШИМ, а канал фазы В – статический режим «включено/выключено».

Предположим, что в неуправляемое состояние $+|A/3|$ перешел РЭ1 (рис. 4, в). В этом случае триггер D1 также окажется в статическом состоянии «1» (рис. 4, е), и силовой ключ Кл.1 будет постоянно замкнут (рис. 4, е).

В результате сканирования интегратором И пороговых уровней РЭ1 – РЭ3 [5] в режим автоколебаний перейдет РЭ2 (рис. 4, г), и режим ЧШИМ будет реализовываться в канале фазы В (рис. 4, ж).

Дальнейшее поведение РН зависит от типа последующих отказов. Если, например, РЭ2 окажется в неуправляемом состоянии $-|A/3|$, то автоколебательный процесс возобновится в канале РЭ3, и в режиме ЧШИМ будет работать Кл.3 с триггером D3. В том случае, когда РЭ1 и РЭ2 окажутся в статическом положении $+A/3$, РН перестанет выполнять свои функции, так как автоколебательный режим МРП будет сорван.

Очевидно, что при введении в РН контура внешней обратной связи его способность адаптироваться к единичным отказам отдельных компонентов схемы, входящих в замкнутый контур регулирования, будет распространяться также и на отказы УС, триггеров D1 – D3 и Кл. 1–3.

Симметрия фазных нагрузок обеспечивается в РН, структура которого показана на рис. 5. Здесь каждая из фаз напряжения сети работает в режиме многозонной ЧШИМ, что достигается за счет вве-

дения в каждую фазу группы из трех ключевых элементов Кл.1-1 – Кл.1-3, Кл.2-1 – Кл.2-3 и Кл.3-1 – Кл.3-3.

В результате, в пределах первой модуляционной зоны (при $X_{BX} < \pm A/3$) в режиме частотно-широотно-импульсной модуляции работают Кл.1-1, Кл.2-1, Кл.3-1, управляемые каналом синхронизации фазы А, постоянно включены Кл.1-2, Кл.2-2, Кл.3-2, а в состоянии «выключено» находятся Кл.1-3, Кл.2-3, Кл.3-3. При этом каждый из резисторов нагрузки R_n имеет сопротивление $3R$, что применительно к предыдущей схеме (рис. 3) эквивалентно включению в каждую из фаз сопротивления, равного R .

С ростом входного сигнала и переходе МРП во вторую положительную модуляционную зону $X_{BX} > A/3$ в режиме частотно-широотно-импульсной модуляции работают Кл.1-1, Кл.2-1, Кл.3-1, а все остальные ключи находятся в состоянии «выключено».

При $X_{BX} > -A/3$ в режиме частотно-широотно-импульсной модуляции продолжают работать Кл.1-1, Кл.2-1, Кл.3-1, а ключи Кл.1-2, Кл.2-2, Кл.3-2 и Кл.1-3, Кл.2-3, Кл.3-3 постоянно «включены».

В результате все фазы напряжения сети оказываются загруженными по току в равной мере, что улучшает энергетические характеристики регулятора напряжения в целом. Дискретность зоны плавного регулирования выходной координаты РН ограничивается одним периодом напряжения сети. В том случае, когда одна из фаз источника электроснабжения принимается в качестве резервной, в РН обеспечивается режим адаптации к отказам отдельных компонентов системы регулирования, входящих в замкнутый контур управления.

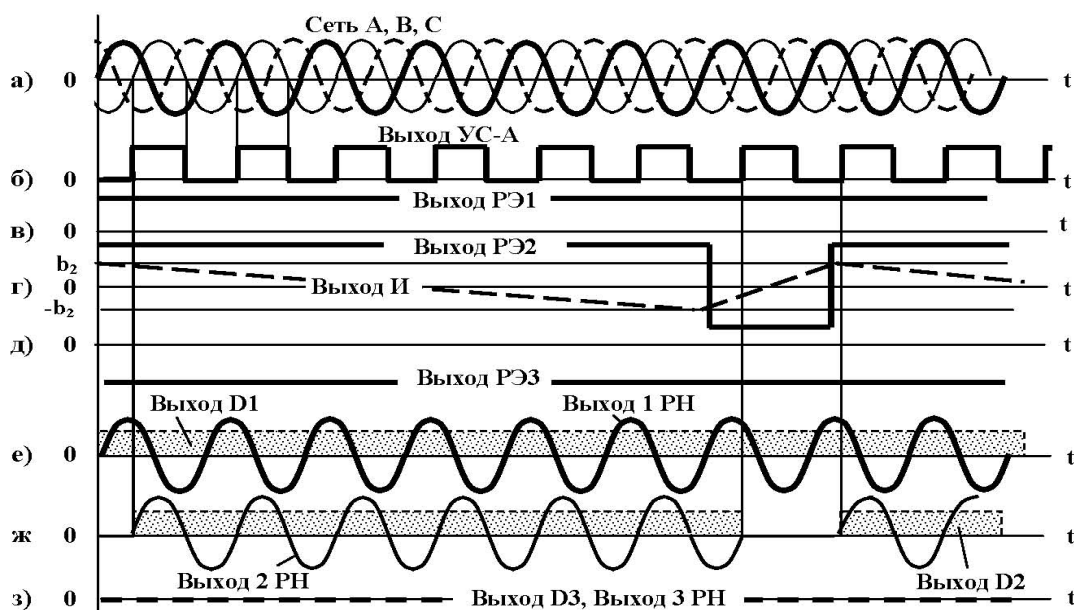


Рис. 4. Временные диаграммы сигналов РН при отказе РЭ1

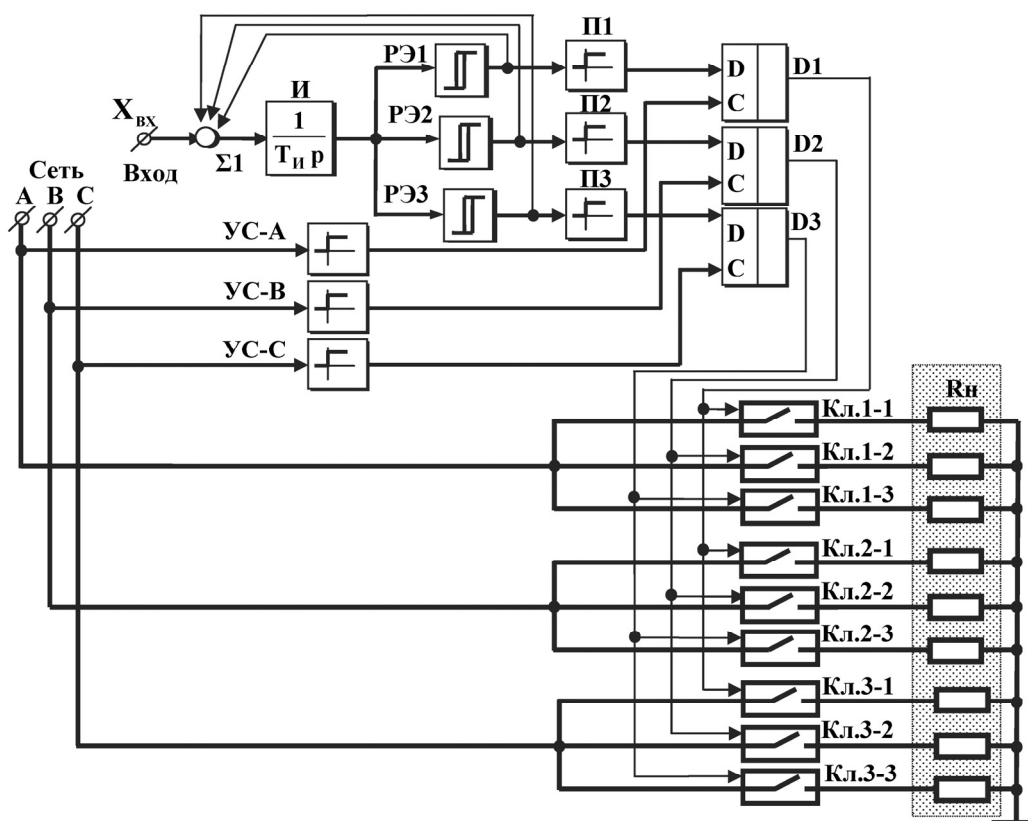


Рис. 5. Структурная схема трехфазного регулятора переменного напряжения с распределенной нагрузкой

Литература

1. Гельман, М.В. Тиристорные регуляторы переменного напряжения / М.В. Гельман, С.П. Лохов. – М.: Энергия, 1975. – 104 с.

2. Пат. 2408969 Российская Федерация, МПК Н02М 5/293. Многозонный частотно-широотно-импульсный регулятор переменного напряжения / Л.И. Цытович, О.Г. Брылина, М.М. Дудкин, А.В. Качалов. – № 2009148024/07; заявл. 23.12.2009, опублик. 10.01.2011, Бюл. №1. – 11 с.

3. Терещина, О.Г. Электроприводы с параллельными каналами регулирования на основе многозонных интегрирующих развертывающих преобразователей: дис. ... канд. техн. наук / О.Г. Терещина. – Челябинск: ЮУрГУ, 2007. – 235 с.

4. А.с. 1183988 СССР, G06G7/12. Развертывающий усилитель / Л.И. Цытович. – № 3734334/24; заявлено 27.04.84; опублик. 07.10.85, Бюл. № 37.

5. Цытович, Л.И. Многозонные интегрирующие системы управления каскадами «Вентильный преобразователь – исполнительный механизм» для объектов с параллельными каналами регулирования / Л.И. Цытович, О.Г. Брылина // Практическая силовая электроника. – 2009. – № 36. – С. 23–30.

Поступила в редакцию 17.02.2012 г.

Брылина (Терещина) Олеся Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматика промышленных установок», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – элементы аналоговой и цифровой электроники, импульсные преобразователи информации, системы с самодиагностированием. Контактный телефон: 8-(351) 2 67-93-21, e-mail: teolge@mail.ru.

Brylina (Tereshchina) Olesya Gennadevna is a Candidate of Science (Engineering), an associate professor of Electric Drive and Automation of Industrial Installations Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: elements of analogue and digital electronics, information pulse converters, self-diagnosis systems. Telephone: 8-(351) 2 67-93-21, e-mail: teolge@mail.ru.