

# АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНИИ СВЯЗИ С ШИРОТНО- И ЧАСТОТНО-ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМИ НОСИТЕЛЯМИ ИНФОРМАЦИИ

В.И. Абушаев, А.Ю. Шеин, О.Г. Терещина, М.М. Дудкин  
г. Челябинск, ЮУрГУ

Одной из проблем в области управления промышленными объектами является помехоустойчивость систем сбора информации от первичных преобразователей (датчиков), которые зачастую удалены от управляющих устройств на значительное расстояние. Наиболее эффективными способами снижения влияния наводимых в линиях связи ЛС помех являются активные методы, основанные на применении импульсных носителей информации. Так в цифровых системах передачи данных на выходе ЛС включается дополнительный релейный элемент РЭ [1], обеспечивающий восстановление фронтов передаваемых импульсов и подавление помех, приводящих к амплитудной модуляции передаваемого сообщения. Подобный метод повышения помехоустойчивости ЛС оказывается достаточно эффективным также и при передаче аналоговой информации при условии, что ее носителем являются биполярные импульсы с широтно- (ШИМ) или частотно-широотно-импульсной (ЧШИМ) модуляцией [2], формируемые с помощью развертывающих преобразователей РП [3]. Однако многообразие принципов построения РП делает необходимым сравнительный анализ статической погрешности ЛС при передаче ШИМ- и ЧШИМ-сообщений с целью выявления закона модуляции, обеспечивающего минимальную величину статической и динамической ошибки восстановления информации с помощью релейного звена, включаемого на выходе ЛС.

Ниже дается сравнительный анализ метрологических характеристик ЛС с сосредоточенными параметрами при передаче ШИМ- и ЧШИМ-сигналов.

Рассматривались следующие источники статической ошибки служили:

- асимметрия зоны неоднозначности релейного элемента;
- асимметрия выходных импульсов и питающего напряжения релейного элемента.

При анализе были приняты следующие допущения (рис. 1 а):

- РП (датчик контролируемого параметра) является «идеальным» элементом, выходной сигнал которого дискретно меняется в пределах  $\pm A$ , имеет нулевое значение длительностей фронтов, а максимальное значение постоянного входного сигнала  $X_0$  РП соответствует величине, при которой среднее значение импульсов  $X_{\text{вх}}(t)$  на входе ЛС удовлетворяет условию  $Y_0 \leq 0,8 \cdot |A|$ ;

- ЛС представляет собой линию с сосредоточенными параметрами с передаточной функцией вида  $W(p) = 1/(1 + T_{\text{л}} p)$ , где:  $T_{\text{л}}$  - постоянная времени, причем  $T_{\text{л}} \leq 0,01 \cdot T_{0|X_0=0}$ ;  $T_{0|X_0=0}$  - интервал дискретизации выходных импульсов РП при нулевом значении преобразуемого входного сигнала  $X_0$ ;

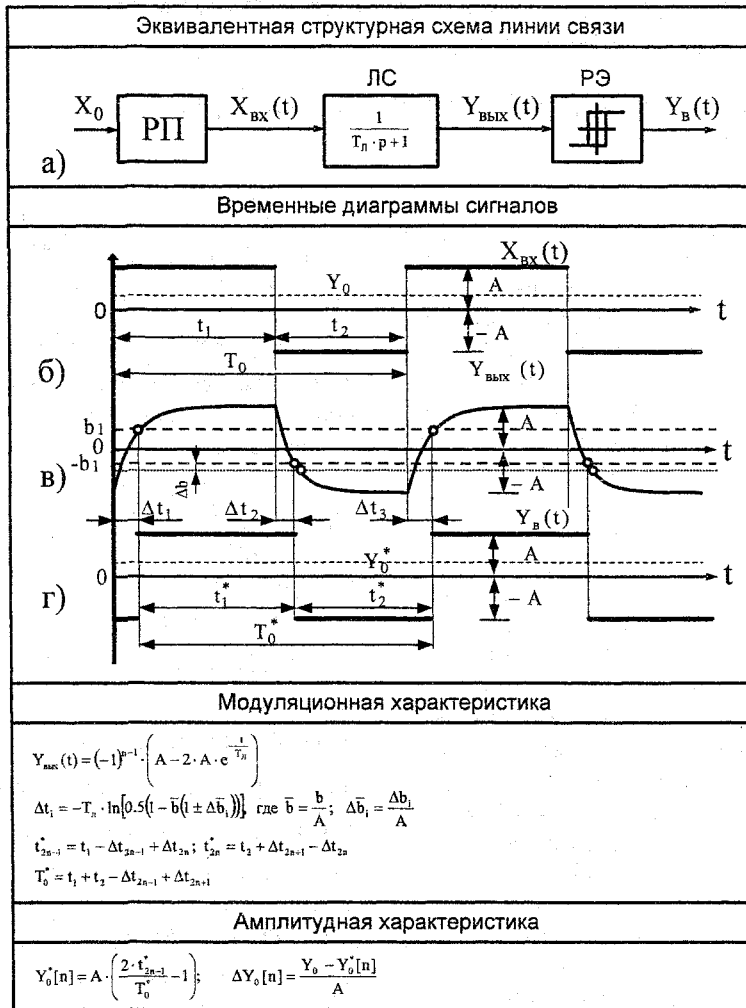
- Один из порогов РЭ, включенный на выходе ЛС для восстановления параметров принимаемого импульсного сигнала (рис. 1 а), отличается от заданного значения  $b$  на величину  $\Delta b$ .

При прохождении сигнала  $X_{\text{вх}}(t)$  через ЛС искажение фронтов импульсного потока  $Y_{\text{вых}}(t)$  не вызывает на выходе РЭ изменение среднего значения координаты  $Y_{\text{в}}(t)$ , и приводит лишь к фазовому сдвигу между сигналами  $X_{\text{вх}}(t)$  и  $Y_{\text{в}}(t)$  на выходе источника и входе приемника информации (рис. 1 б). Несимметричность порогов переключения РЭ влечет за собой появление приращений  $\Delta t_1 \neq \Delta t_2 \neq \Delta t_3 \neq \dots$  интервалов времени  $t_1, t_2$  формирования импульсов положительной и отрицательной полярности и, в конечном итоге, приводит к тому, что реальное среднее значение  $Y_0^*$  выходных импульсов РЭ за интервал дискретизации  $T_0^*$  отличается от заданного значения  $Y_0$  (рис. 1 в, г).

Модуляционная и амплитудная характеристики ЛС с восстанавливающим РЭ описываются системой трансцендентных уравнений в рекуррентной форме, приведенной на рис. 1. Здесь приняты следующие обозначения:  $\alpha = |X_0/A|$  - нормированная величина входного сигнала РП, коэффициент передачи которого принимается равным 1,0;  $\bar{b}_1 = b_1/A$  - относительное значение порога переключения РЭ;  $\Delta \bar{b}_1 = \Delta b_1/b_1$  - относительное значение ошибки порога переключения РЭ;  $Y_0^*[n]$  - среднее значение выходных импульсов  $Y_{\text{в}}(t)$  РЭ по окончании очередного интервала их дискретизации  $T_{0,n}^*$ ;  $\Delta t_i$  - приращения длительностей выходных импульсов РЭ в результате амплитудной модуляции носителя  $Y_{\text{вых}}(t)$  сигналом помехи  $X_{\text{п}}(t)$ .

Анализ ЛС проводился для базовых законов модуляции (см. таблицу), получивших наибольшее

распространение в системах автоматического управления технологическими процессами. [5].



**Рис. 1.** Структурная схема (а), временные диаграммы сигналов (б–г) линии связи с частотно- и частотно-широотно-импульсными носителями информации при асимметрии порогов переключения

Таблица

Законы формирования интервалов дискретизации при широтно- и частотно-широотно-импульсной модуляции

Модуляция	Интервал преобразования $t_1 = f(\alpha)$	Интервал преобразования $t_2 = f(\alpha)$	Частота выходных импульсов $f_0(\alpha) = (t_1 + t_2)^{-1}$	Нормированный закон модуляции $\bar{F} = \frac{f_0(\alpha)}{f_0 _{\alpha=0}}$
ШИМ	$t_1 = T_0(1 + \alpha)$	$t_2 = T_0(1 - \alpha)$	$f_0(\alpha) = \frac{1}{2T_0}$	$\bar{F} = 1,0$
	$t_1 = \frac{T_0}{1 - \alpha}$	$t_2 = \frac{T_0}{1 + \alpha}$	$f_0(\alpha) = \frac{1 - \alpha^2}{2T_0}$	$\bar{F} = 1 - \alpha^2$
ЧШИМ	$t_1 = T_0$	$t_2 = T_0 \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha}$	$f_0(\alpha) = \frac{1 + \alpha}{2T_0}$	$\bar{F} = 1 + \alpha$
	$t_1 = T_0 \frac{1 + \alpha}{1 - \alpha}$	$t_2 = T_0$	$f_0(\alpha) = \frac{1 - \alpha}{2T_0}$	$\bar{F} = 1 - \alpha$

где:  $T_0$  – эквивалентная постоянная времени, учитывающая параметры РП

На рис. 2 представлены пространства статического состояния  $Y_0[1] = f(\alpha, \Delta\bar{b}, T_{\text{л}} = 10^{-2})$  и их проекции на плоскость переменных  $(\alpha, \Delta\bar{b})$ , полученные путем решения системы уравнений для первого интервала дискретизации выходных импульсов РЭ, приведенных на рис. 1 г.

Анализ приведенных характеристик позволяет сделать следующие основные выводы:

- Величина погрешности зависит от закона модуляции передаваемого по ЛС сигнала  $X_{\text{вх}}(t)$ . Так, например, при ШИМ ошибка выходного сигнала прямо пропорционально отклонению порогов РЭ (рис. 2 в). Для ЛС с ЧШИМ отклонение порогов переключения РЭ представляет собой функцию сигнала управления  $\alpha$  (частоты несущих колебаний РП). При этом для  $\bar{F} = 1 - \alpha^2$  (рис. 2 а) и  $\bar{F} = 1 - \alpha$  (рис. 2 б) ошибки сигнала с ростом  $\Delta\bar{b}$  примерно равны, но меньше чем при  $\bar{F} = 1 + \alpha$  (рис. 2 г) в два раза, что делает данный вид модуляции менее выгодным с позиций помехоустойчивости ЛС по сравнению с предыдущими частотно-широотно-импульсными носителями.

- В рассматриваемых законах модуляции отклонение порогов на 25 % приводит к отклонению от среднего значения не более чем  $3 \cdot 10^{-4}$ . Из этого следует, что для данного типа линии связи из-

менение порогов переключения существенно не сказывается на среднем значении выходного сигнала передаваемых импульсов.

При асимметрии амплитуд на выходе РЭ (рис. 3 а) фазового сдвига между импульсами на выходе РП и импульсами на входе РЭ не происходит, но на выходе РЭ появляется ошибка среднего значения координаты  $Y_0^*$  (рис 3 б, в)

Амплитудная характеристики ЛС с восстанавливающим РЭ описываются уравнением, приведенным на рис.3. Здесь приняты следующие обозначения:  $\Delta A_1$  - отклонение верхнего значения амплитуды РЭ,  $\Delta A_2$  - отклонение нижнего значения амплитуды РЭ.  $Y_0^*$  - среднее значение выходных импульсов  $Y_B(t)$  РЭ по окончании очередного интервала их дискретизации  $T_{0,n}$ .

На рис.4 представлены пространства статического состояния  $Y_0[1] = f(\alpha, \Delta\bar{A}_1, \Delta\bar{A}_2 = 0)$  и их проекции на плоскость переменных  $(\alpha, \Delta\bar{A}_1)$ , полученные путем решения системы уравнений для первого интервала дискретизации выходных импульсов РЭ.

Как видно из приведенной на рис. 4 амплитудной характеристики, рассматриваемые законы модуляции никак не отражаются на величине  $\Delta Y_0$ , а отклонение от среднего значения непосредственно зависит от уровня отклонений амплитуд РЭ.

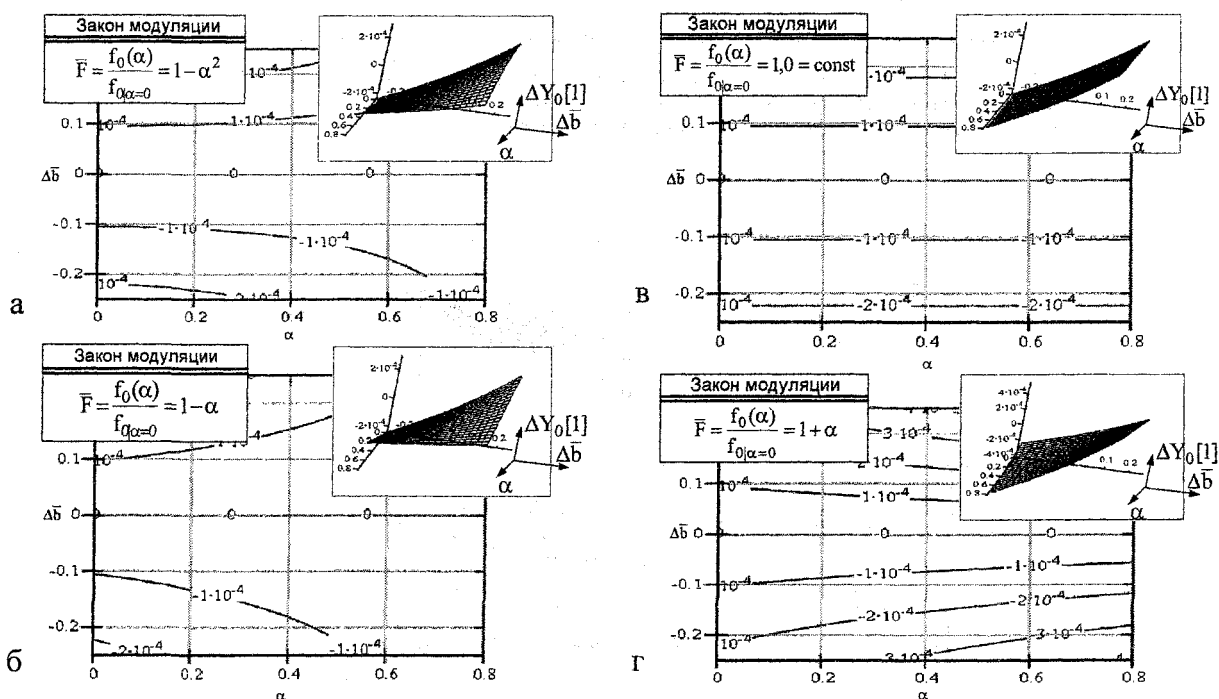


Рис. 2. Пространство статического состояния и его проекция на плоскость переменных  $(\alpha, \Delta\bar{b})$  для линии связи с широтно-импульсным (а), частотно-широотно-импульсными  $\bar{F} = 1 + \alpha$  (б),  $\bar{F} = 1 - \alpha^2$  (в) и  $\bar{F} = 1 - \alpha$  (г) носителями информации

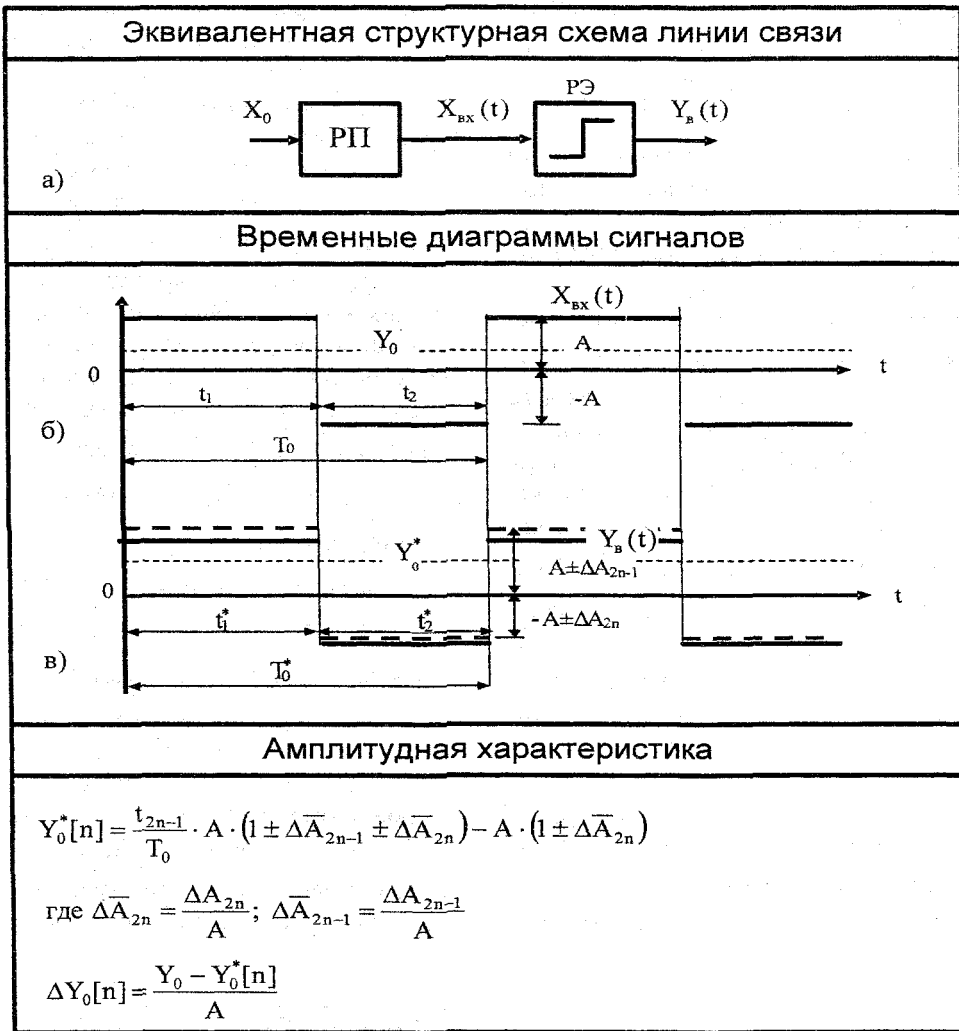


Рис. 3. Структурная схема (а), временные диаграммы сигналов (б, в) и расчетные соотношения к анализу статике линии связи с широтно- и частотно-широотно-импульсными носителями информации при асимметрии амплитуд РЭ

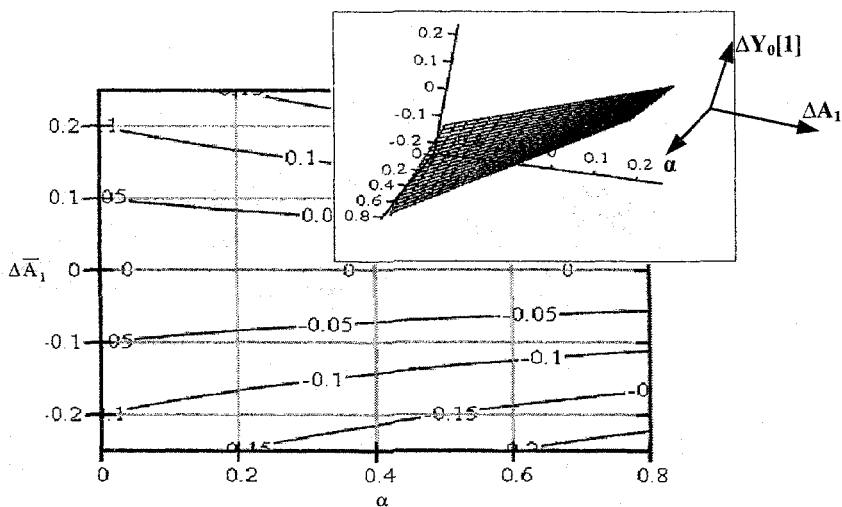


Рис. 4. Пространство статического состояния (а) и его проекция на плоскость переменных  $(\alpha, \Delta \bar{A}_1)$  (б) для линии связи с широтно- и частотно-широотно-импульсным носителем информации при асимметрии амплитуд РЭ

**Литература**

1. Павленко В.А. Электрические системы регулирования с сигналами связи постоянного тока. - М.: Энергия, 1971. - 456 с.

2. Осипов О.И. Техническое диагностирование автоматизированного электропривода постоянного тока: Дис. ... д-ра техн. наук. - Челябинск: ЧПИ, 1995. - 405 с.

3. Мартяшин А.И., Шахов Э.К., Шляндин В.М. Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения. - М.: Энергия. - 1967. - 390 с.

4. Цыпкин ЯЗ., Попков Ю.С. Теория нелинейных импульсных систем. - М.: Наука, 1973. - 416 с.

5. Цытович Л.И. Развертывающие преобразователи для систем управления вентиляльными электроприводами и технологической автоматике: Дис. ... д-ра техн. наук. - Челябинск: ЧТТУ, 1996. - 465 с.

6. Цытович Л.И. Широотно-импульсный усилитель с регулируемыми динамическими характеристиками// Электронная техника в автоматике/ Под ред. Ю.И. Конева. - М.: Радио и связь, 1981. - № 12. - С. 267-273.

**Абушаев Виталий Иосифович** - ассистент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Южно-Уральского государственного университета. Интересы: микропроцессорные устройства, систем передачи цифровых и аналоговых данных.

**Шеин Артем Юрьевич** - аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Южно-Уральского государственного университета. Интересы: элементы и устройства систем управления технологическими процессами, импульсные преобразователи аналоговой информации, системы импульсной связи.

**Терещина Олеся Геннадьевна** - аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Южно-Уральского государственного университета. Интересы: системы управления электроприводами центробежных механизмов, развертывающие преобразователи информации с многозонной частотно-широотно-импульсной модуляцией, адаптивные фильтры, системы передачи логических данных по однопроводной линии связи.

**Дудкин Максим Михайлович** - аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Южно-Уральского государственного университета. Интересы: системы управления силовыми управляемыми преобразователями для автоматизированного электропривода, тиристорные регуляторы напряжения для плавного пуска асинхронных электроприводов, системы обмена цифровыми данными, датчики технологических параметров.