

Mamutov Batr Vjacheslavovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: fin_val_iv@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371773.

The Department of Automatic Control Systems; Postgraduate Student.

УДК 621.82

Л.К. Самойлов

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ АНАЛОГОВЫХ МУЛЬТИПЛЕКСОРОВ

Дается понятие аналоговых мультиплексоров, приводятся их характеристики: величина времени задержки, статическая погрешность коэффициента передачи, динамическая погрешность первого, второго рода, время задержки информации, максимальное значение первой производной сигнала на входе ключа, максимальное значение сигнала на входе ключа, выходное напряжение аналогового ключа, приращение входного напряжения за время начальной задержки включения ключа, относительная динамическая погрешность ключа.

Аналоговые мультиплексоры; динамическая погрешность; время задержки.

L.K. Samoilov

DYNAMIC ERRORS OF ANALOGUE MULTIPLEXERS

The article presents the concept of analog multiplexers, given their characteristics of: the value of the delay time, the static error of the transmission coefficient, the dynamic error of the first, second kind, the time delay information, maximum value of the first derivative of the input signal switch, the maximum value of the signal at key input, the output voltage analog switch, the increment of the voltage during the initial switch-on delay, the relative dynamic error of the key.

Analogue multiplexers; dynamic error; delay time.

Аналоговые ключи относятся к аналого-дискретным элементам [1]. Аналоговый ключ может быть реализован в виде отдельного устройства. Набор аналоговых ключей, работающих на один выход, с цепями выборки заданного ключа носит название аналогового мультиплексора (АМХ).

При подаче управляющего импульса выборки открытие ключа происходит с начальной задержкой t_0 относительно переднего фронта управляющего импульса.

Начальное время задержки колеблется от минимального значения ($t_0^{мин}$) до максимального (t_0^{max}). Величина времени задержки определяется типом микросхемы и условиями эксплуатации. В дальнейшем принимается, что

$$t_0 = t_0^{max}. \quad (1)$$

Ключ характеризуется следующими погрешностями:

- ◆ статической погрешностью коэффициента передачи ($\gamma_{ст}$);
- ◆ динамической погрешностью первого рода ($\gamma_{дин}^I$);
- ◆ динамической погрешностью второго рода ($\gamma_{дин}^{II}$).

Ключ также характеризуется временем задержки информации

$$t_{зад} = t_0 + t_{кл}, \quad (2)$$

где $t_{кл}$ – время, в течение которого выходное напряжение открытого ключа достигает значения, приближающегося к входному напряжению в соответствии с заданной погрешностью $\gamma_{дин}^I$.

Моментом включения ключа является передний фронт управляющего импульса выборки. С момента включения ключа происходит изменение сигнала на его входе. В наихудшем случае это изменение можно оценить через граничную частоту спектра сигнала на входе ключа ($\omega_{сп}$). Максимальное значение первой производной сигнала на входе ключа (M_{max}^I) можно определить с помощью неравенства Бернштейна:

$$M_{max}^I \leq A_{max} \cdot \omega_{сп}, \quad (3)$$

где A_{max} – максимальное значение сигнала на входе ключа.

Тогда можно утверждать, что в наихудшем случае на входе ключа в момент его открытия будет начальное напряжение $U_{нач}$, приращение начального напряжения за время t_0 и изменение этого напряжения в виде пилообразного напряжения:

$$U_{вх} = U_{нач} + M_{max}^I \cdot t = U_{нач} + A_{max} \cdot \omega_{сп} \cdot t_0 + A_{max} \cdot \omega_{сп} \cdot t. \quad (4)$$

Максимальное значение $U_{нач} = A_{max}$.

Эквивалентная схема аналогового ключа в открытом состоянии представляет собой интегрирующую RC-цепочку с постоянной времени:

$$\tau = R_{кл} C_n,$$

где $R_{кл}$ – сопротивление ключа в открытом состоянии,

C_n – емкость нагрузки ключа.

Выходное напряжение аналогового ключа ($U_{вых}$) может быть представлено в виде результата воздействия на входе трех составляющих:

- ◆ ступенчатого напряжения амплитудой $U_{нач}$, которое в максимальном случае равно A_{max} ;
- ◆ приращения входного напряжения за время начальной задержки включения ключа $A_{max} \cdot \omega_{сп} \cdot t_0$;
- ◆ пилообразного напряжения $A_{max} \cdot \omega_{сп} \cdot t$.

Нетрудно показать, что в наихудшем случае выходное напряжение ключа может быть определено в виде

$$U_{вых} = A_{max} [1 - \exp(-t/\tau)] + A_{max} (1 + \omega_{сп} \cdot t_0) \omega_{сп} \{t - \tau [1 - \exp(-t/\tau)]\}. \quad (5)$$

Отличие этого выходного напряжения от входного (4) в момент $t=0$, приведенного к A_{max} , будет определять относительную динамическую погрешность ключа ($\gamma_{дин}$).

В динамической погрешности аналогового ключа выделяют относительные динамические погрешности первого и второго рода:

$$\gamma_{дин} = \gamma_{дин}^I + \gamma_{дин}^{II} \tag{6}$$

Относительная динамическая погрешность первого рода ($\gamma_{дин}^I$) определяется процессами установления выходного напряжения ключа под воздействием ступеньки измеряемого входного напряжения (5):

$$\gamma_{дин}^I = \exp(-t_{кл}/\tau) \tag{7}$$

Относительная динамическая погрешность второго рода ($\gamma_{дин}^{II}$) определяется процессами изменения выходного напряжения ключа за счет изменения входного напряжения в течение времени задержки и времени включения (5):

$$\gamma_{дин}^{II} = (1 + \omega_{зр} \cdot t_0) \omega_{зр} \cdot \tau \{ (t_{кл}/\tau) - [1 - \exp(-t_{кл}/\tau)] \} \tag{8}$$

На рис.1 приведены графики зависимости $\gamma_{дин}^I$ и $\gamma_{дин}^{II}$ как функции от $t_{кл}/\tau$ для фиксированного значения t_0 .

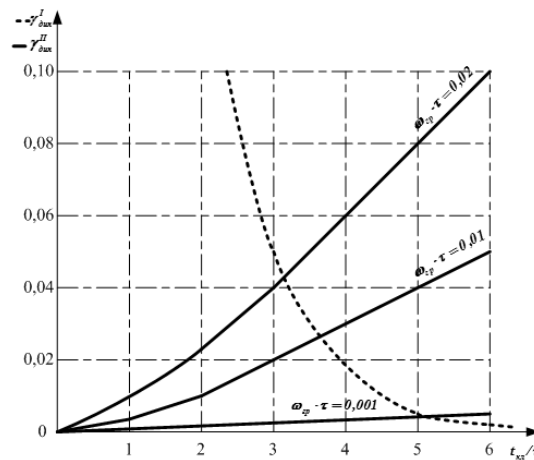


Рис. 1

С помощью этих графиков можно на качественном уровне определить порядок величин $\omega_{зр}$, $t_{кл}$ и оценить допустимую скорость изменения сигнала на входе ключа.

Выходное напряжение ключа в момент $t_0 + t_{кл}$ от начала выборки должно фиксироваться устройством, стоящим на его выходе (аналого-цифровым преобразователем – АЦП или аналоговым запоминающим устройством – АЗУ). Если такой фиксации нет, то выходное напряжение ключа продолжает изменяться, что приводит к росту $\gamma_{дин}^{II}$.

Динамическую погрешность первого рода можно уменьшить путем:

- ◆ уменьшения сопротивления ключа в открытом состоянии;
- ◆ уменьшения емкости нагрузки ключа;
- ◆ увеличения $t_{кл}$, т.е. снижением скорости работы ключа.

Динамическую погрешность второго рода можно исключить путем постановки АЗУ на всех входах АМХ. В этом случае происходит фиксация всех входных напряжений, но выбран будет только один ключ. Несмотря на существенные аппаратные затраты, такой способ находит применение в программируемых аналоговых интегральных схемах [2] и в аналого-цифровых микроконтроллерах [3]. В этом случае к общей погрешности преобразования сигнала добавляется погрешность АЗУ.

Постановка одного АЗУ на выходе АМХ позволяет минимизировать $\gamma_{\text{дин}}^{\text{II}}$. Управляющий сигнал выборки АЗУ подается в момент $t_0 + t_{\text{кл}}$ после начала выборки ключа. Это обеспечивает заданную величину $\gamma_{\text{дин}}^{\text{I}}$ и ограничивает значение $\gamma_{\text{дин}}^{\text{II}}$ на минимально возможном уровне. В этом случае также к общей погрешности преобразования сигнала добавляется погрешность АЗУ.

При проектировании оптимального устройства обычно стремятся выполнить условие равенства погрешностей, определяющих его работу [4],[5]. Если с этой точки зрения принять, что $\gamma_{\text{дин}}^{\text{I}} = \gamma_{\text{дин}}^{\text{II}} = 0,5\gamma_{\text{дин}}$, то, подставляя (5) в (6), получим

$$\omega_{\text{сп}} \cdot \tau \leq \frac{0,5\gamma_{\text{дин}}}{(1 + \omega_{\text{сп}} \cdot t_0)[\ln(1/0,5\gamma_{\text{дин}}) - 1 + 0,5\gamma_{\text{дин}}]} \quad (7)$$

На рис. 2 приведен график зависимости $\omega_{\text{сп}} \cdot \tau$ как функция от $\gamma_{\text{дин}}$ при фиксированном значении t_0 .

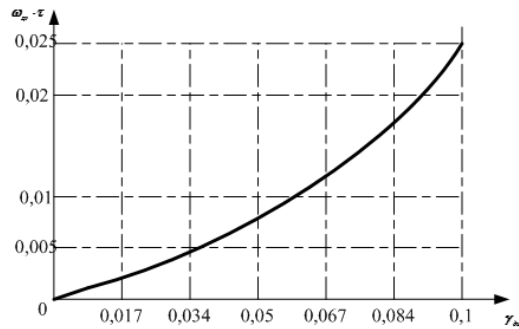


Рис. 2

Современные аналоговые ключи имеют относительные суммарные погрешности в диапазоне от 0,01 до 0,1 %. Для удобства анализа и оценки параметров ключей в табл. 1 приведены допустимые значения $\omega_{\text{сп}} \cdot \tau$ для этого диапазона $\gamma_{\text{дин}}$.

Таблица 1

$\gamma_{\text{дин}}, \%$	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,1	0,2
$\omega_{\text{сп}} \cdot \tau \cdot 10^5$	0,56	1,93	3,43	5,0	6,72	7,58	17

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Турулин И.И.* Электроника и микропроцессорная техника. Ч. 1. Аналоговая и аналого-цифровая электроника: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 154 с.
2. *Полищук А.* Программируемые аналоговые ИС Anadigm: структуры и принципы построения // Современная электроника. – 2005. – № 1. – С. 24-27.
3. *Редькин П.П.* Прецизионные системы сбора данных семейства MSC12xx фирмы Texas Instruments: архитектура, программирование, разработка приложений – М.: Изд. дом «Додэка-XXI», 2006. – 608 с.
4. *Самойлов Л.К.* Комплексная оценка параметров набора интегральных устройств для аналого-цифрового преобразования сигнала // Труды международной конференции ПЭМ-2006. п. Дивноморск, 2006.
5. *Галалу В.Г.* Преобразователи код–напряжение с суммированием токов на аттенуаторах лестничного типа. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 186 с.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. Е.А. Заковоротнов.

Самойлов Леонтий Константинович

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: samoilov@tti.fep.sfedu.ru.

347928, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2.

Тел.: 88634311193.

Кафедра автоматизированных систем научных исследований и экспериментов; заведующий кафедрой.

Samoilov Leonty Konstantinovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: samoilov@tti.fep.sfedu.ru.

2, Shevchenko Street, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634311193.

The Department of Automated Research Systems; Head the Department.

УДК 621.396

М.С. Китайский, А.О. Касьянов, С.И. Заковоротный

**ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОНКОПЛОСКОСТНЫХ
РАДИОПОГЛОТИТЕЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ
ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ РЕШЕТКИ МИКРОПОЛОСКОВЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ**

Приведены результаты численного моделирования эффекта поглощения микроволновой энергии при рассеянии плоской электромагнитной волны на конструкции в виде периодической решетки микрополосковых элементов с магнитодиэлектриком, обладающим магнитными потерями. Рассмотрена математическая модель микрополосковой отражательной антенной решетки, задача рассеяния плоской электромагнитной волны, результаты расчета коэффициента отражения для разных топологий микрополоски и толщин подложки.

Микрополосковый переизлучатель; численное исследование; поглощение микроволновой энергии; коэффициент отражения.