

## Цифровой прибор (ЦП)

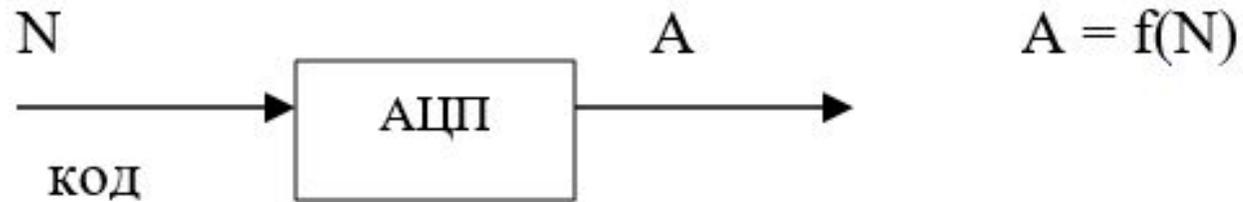
Отличается от АЦП тем, что выходная информация – ЧЭ  $N$  должен быть представлен в виде удобном для восприятия человеком – оператором. Это накладывает особенности и на характеристики прибора:

- 1)  $N$  – индикация, как правило, в удобном для нас десятичном коде. При этом характеристика  $N(x)$  должна быть линейной, а выходной эквивалент  $N$  должен быть представлен желательно в единицах измеряемой величины;
- 2) в силу ограниченности, человеческого восприятия частота смены выходной информации не может быть высокой (не  $> 10$  Гц);
- 3) цифровые приборы, как правило, выполняются многопредельными с ручным или автоматическим переключением диапазона.

Т.о. АЦП и ЦП имеют ряд отличий, но принципы преобразования, источники погрешности, методы проектирования этих двух групп существенно совпадают. Поэтому везде далее будем рассматривать некий обобщенный класс ЦИП – цифровых измерительных преобразователей включающий АЦП и ЦП.

Конкретные особенности устройства можно учесть в процессе схемотехнического проектирования.

# 3. Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)



Предназначен для преобразования входной дискретной величины в аналоговый сигнал  $A$ , или этом  $A$  – это непрерывная функция  $N \Rightarrow$  по определению выходная аналоговая величина  $A$  на выходе ЦАП всегда дискретна.

ЦАП является самостоятельным устройством или может входить в состав сложных АЦП. Таким образом рассматривается 2 вида устройств: АЦП и ЦП.

Имеется разница и в подходах проектирования ЦП и АЦП. ЦП строится под конкретную задачу, поэтому для получения оптимальных результатов их приходится проектировать полностью – от выбора метода преобразования до получения схемотехнического решения.

ЦАП, как правило, самостоятельно не проектируются хотя бы в силу того, что они должны производиться по типовым, интегральным высокотехнологическим технологиям. Поэтому от разработчика требуется не спроектировать ЦАП, а грамотно использовать существующие ЦАП в интегральном исполнении. Поэтому изучение ЦП и ЦАП будет производиться в разном объеме и с разными подходами. В основном будем рассматривать ЦИП, а ЦАП будем только изучать, с точки зрения методов, погрешностей, особенностей измерения.

# Погрешности ЦП

- Пусть требуется преобразовать измеряемую величину  $x$  в ЧЭ  $N$ . Зависимость  $N = f(a_i, x)$  называется градуировочной характеристикой, статической характеристикой или уравнением преобразования.
- $f$  – непрерывная функция
- $a_i$  – конструктивные параметры преобразователя.
- $i = 1, n$ ,  $n$  – число параметров.

Пример 1: Пусть требуется выработать ЧЭ  $N$  частоты  $f_x$ .

Суть метода: берется интервал времени  $t_\phi = \text{const}$  и определяется сколько периодов измерительной частоты укладывается в этом интервале времени, т.е.

$$N = \frac{t_\phi}{T_x}, \text{ где}$$

$T_x$  – период измеряемой частоты.

$N = t_\phi f_x$  - уравнение преобразователя частоты (метод непосредственного счета)

$$a_1 = t_\phi; n = 1$$

# Погрешность квантования

В идеале измеряемой величине  $x$  должен соответствовать числовой эквивалент  $N$ . Фактически, параметры преобразователя  $a$  отличаются от номинальных значений, в результате статическая характеристика изменяется.

Вместо числового эквивалента  $N$  будет вырабатываться  $N_{\Pi}$  – числовой эквивалент преобразователя.

Величина

$$\Delta N = N_{\Pi} - N$$

это и есть погрешность преобразования в единицах числового эквивалента. Т.о., в процессе преобразования всегда появляется погрешность  $\Delta N$ .

При квантовании возникает погрешность  $\Delta N^{\text{кв}}$  – это один из основных источников погрешности. Случайным образом распределена в интервале  $-1 < \Delta N^{\text{кв}} < 1$  числового эквивалента.

Погрешность квантования – важнейшая из составляющих суммарной погрешности цифрового преобразователя. ЦП без погрешностей квантования не бывает. По значению  $\Delta N^{\text{кв}}$  является доминирующей и требования по уменьшению этой погрешности до заданного значения должно выполняться в первую очередь.

# Аддитивная и мультипликативная погрешности

По характеру все погрешности делятся на 2 составляющие:

1) аддитивная составляющая – это составляющая, которая не зависит от измеряемой величины  $X$ .

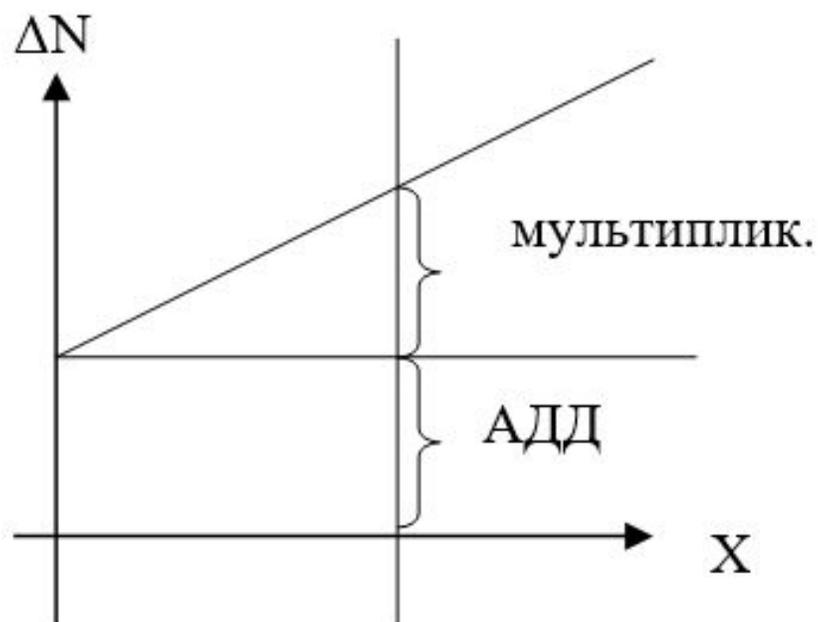
Погрешность квантования всегда относится к аддитивной составляющей  
( $-1 < \Delta N^{\text{кв}} < 1$ ).

2) мультипликативная – это составляющая, которая пропорциональна измеряемой величине.

$$\Delta N^{t\phi} = \Delta t_{\phi} \cdot f_x - \text{мультипликативная составляющая.}$$

Т.о. зависимость  $\Delta N$  от  $x$  может быть представлена в виде:

Т.о. зависимость  $\Delta N$  от  $x$  может быть представлена в виде:



$$\Delta N = \Delta N^{\text{АДД}} + \Delta N^{\text{мульти.}}$$

- 1) аддитивная и мультипликативная погрешности имеют разную природу;
- 2) можно задать допуски не на погрешности устройства в целом, а отдельно на аддитивные и мультипликационные составляющие и затем более оптимально определить требуемые конструктивные параметры.

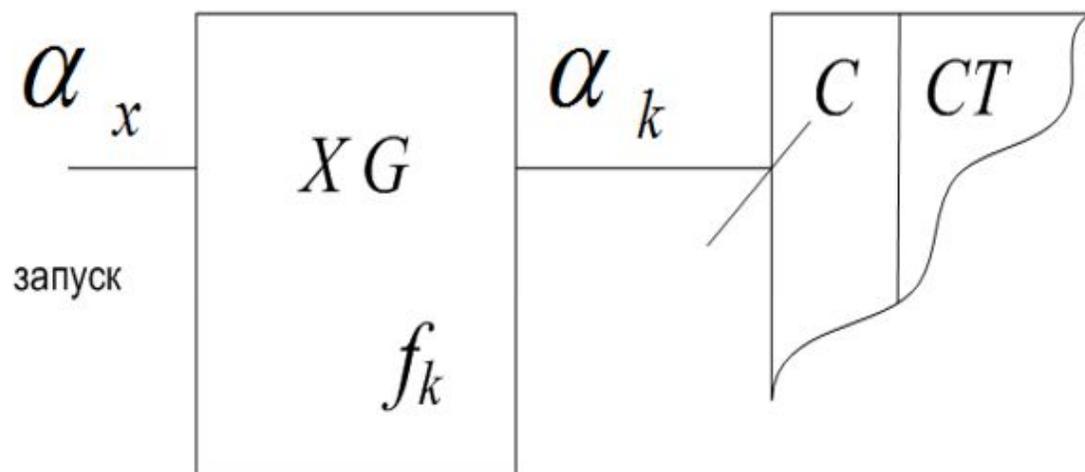
# Уменьшение погрешности квантования

## Способы уменьшения погрешности квантования

Способы решают задачи синхронизации технически, возможны 2 варианта

1. Синхронизация с использованием генератора квантующей частоты с ударным возбуждением

Имеются генераторы, в которых момент запуска управляется внешним сигналом:



# Синхронизация с использованием генератора опорной частоты с кварцевой стабилизацией

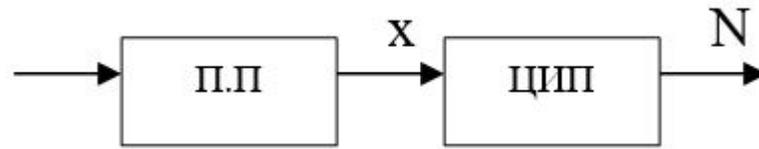
# Масштабные ограничения

Пусть требуется разработать преобразователь реализующий характеристику  $N = f(a_i; x)$ . Часто к характеристикам преобразователя предъявляются дополнительные требования, называемые масштабными ограничениями. Существует 3 варианта масштабирования преобразователя:

1. ЦИП является АЦП. В этом случае вырабатываемый код должен быть однозначно связан с измеряемой величиной, но других ограничений на характеристику не накладывается.
2. Реализуется ЦИП, у которого имеется индикация. Требуется выработать  $N$  в единицах измеряемой величины  $x$ .

Суть масштабных ограничений в том, чтобы потребителю измерительной информации было удобно эту информацию воспринимать и обрабатывать. Чаще всего масштабные ограничения накладываются на ЦИП. Выработанная информация должна быть представлена в десятичном коде и в единицах измеряемой величины.

Часто ЦИП используются в канале косвенного измерения некоторой физической величины  $y$ .



Измеряется физическая величина  $y$ . Она пропускается через первичный преобразователь (ПП) и преобразуется в  $x = f_1(y)$ . Затем  $x$  преобразуется в  $N = f_2(y)$ .

Требуется так построить преобразователь, чтобы ЧЭ  $N$  вырабатывался в единицах измерения величины  $y$ , т.е.

$$N = 1 \cdot 10^\lambda y$$

Такая задача может быть решена не всегда. Наиболее просто она реализуется в случае линейных характеристик  $f_1$  и  $f_2$ .

Пусть  $X = K_{\text{п}} \cdot y$  – пропорциональная характеристика П.П, а

$N = KX$  – пропорциональная характеристика ЦИП, где  $K$  – масштабный коэффициент цифрового преобразователя.

Требуется определить МО на величину  $K$  такие, чтобы  $N = 1 \cdot 10^\lambda y$

Имеется желаемая характеристика:  $N = 1 \cdot 10^\lambda y$

реальная характеристика:  $N = KX = K K_{\text{п}} y$ .

Требуется, чтобы эти характеристика совпали. Тогда  $1 \cdot 10^\lambda y = K \cdot K_{\text{п}} y$

$$\Rightarrow K \text{ должна быть выбрана из ряда масштабных значений, т.е. } K_{\text{масш}} = \frac{1}{K_{\text{п}}} \cdot 10^\lambda$$

## Выводы:

В АЦП на параметры преобразователя масштабные ограничения не накладываются.

Если имеется индикация, и требуется выработать  $N$  в заданных единицах, то на параметры преобразователя обязательно накладываются дополнительные масштабные ограничения.

# Пример масштабных ограничений

# Преобразователи интервалов времени и периодов

ПИВ – преобразователь интервалов времени.

ПП – преобразователь периодов.

Предназначены для выработки числового эквивалента, пропорционального интервалу времени  $t_x$  или периоду  $T_x$ .

$$\text{ПИВ: } N = Kt_x$$

$$\text{ПП: } N = KT_x$$

Отличие в том, что  $t_x$  – это единичная величина, а  $T_x$  – периодически изменяющаяся величина. Тем не менее, методы преобразования, источники погрешности, методика схемотехнического проектирования, способы расчета одинаковы. Отличаются лишь схемотехническим исполнением.

# ПИВ (преобразователи интервалов времени)

ПИВ должен вырабатывать ЧЭ  $N = kt_x$ .

## Метод преобразования. Уравнение преобразования

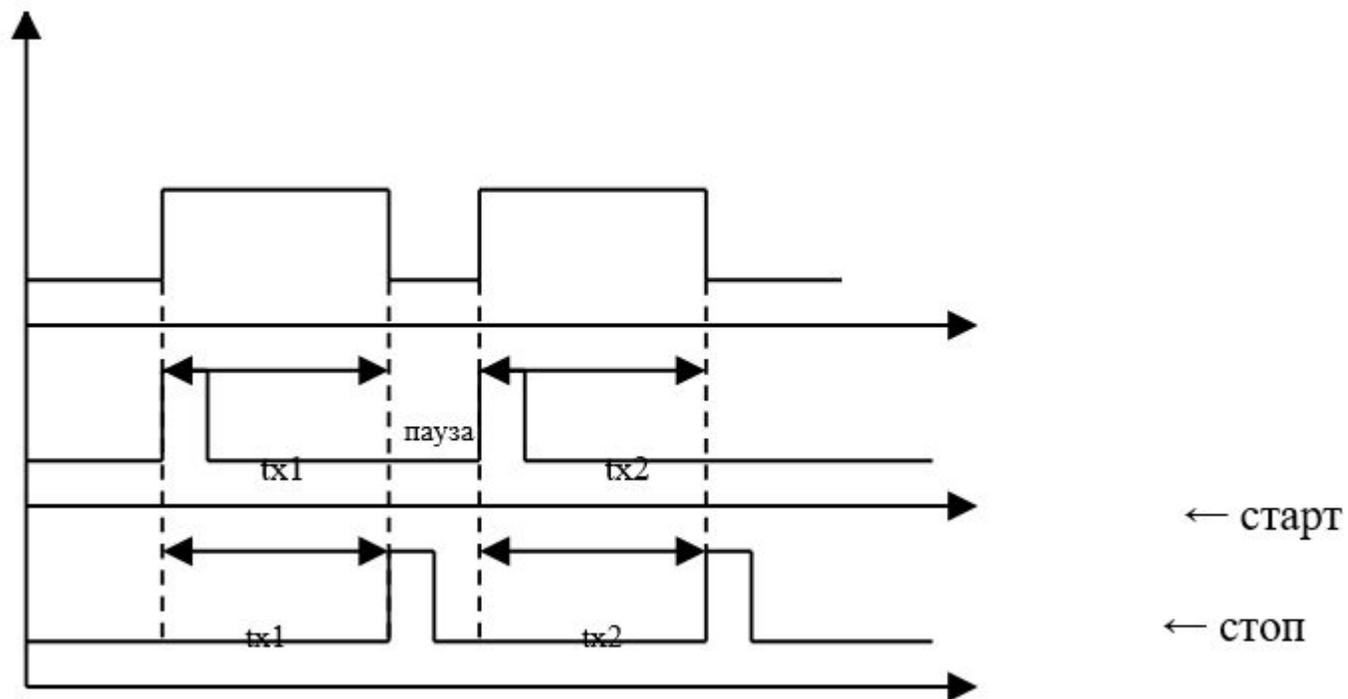
Выбирается эталонная квантующая частота  $f_k = \text{const}$  стабилизированная. Это означает, что нам известен  $T_k - \text{const}$ . Тогда  $N$  определяется подсчетом количества периодов квантующей частоты укладываемых в интервал времени  $t_x$ :

$$N = \frac{t_x}{T_k}$$

Тогда  $\boxed{N = t_x f_k}$  - уравнение ПИВ

# Способы задания интервалов времени

Интервал времени – это неэлектрическая величина, поэтому в качестве электрического эквивалента интервала времени будем рассматривать прямоугольный электрический импульс, длительность которого =  $t_x$

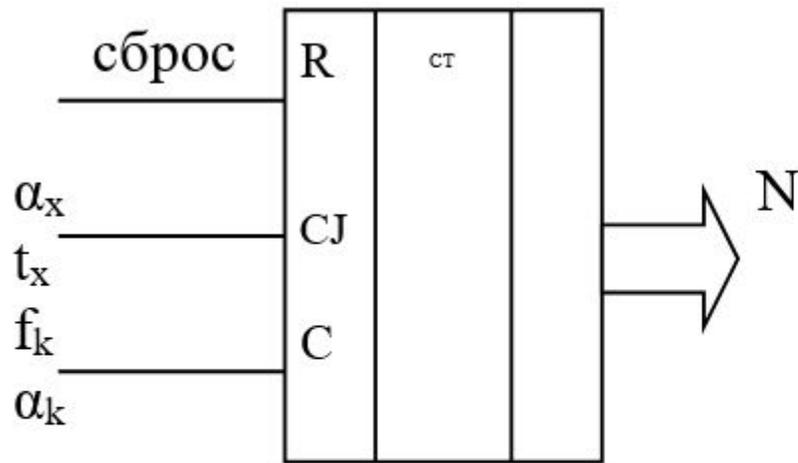


В дальнейшем будем работать с прямоугольными импульсами  $\alpha_x$  длительность которых  $= t_x$ . При этом между двумя последующими обрабатываемыми импульсами должна быть пауза для выполнения преобразованием служебных операций.

Возможно задание ИВ – ни и в других видах. Например в виде сигналов старт – стоп, где  $\alpha_{x1}$  – старт,  $\alpha_x$  – стоп, которые обозначают начало и конец измеряемого ИВ. В любом случае в старт-стопных устройствах можно преобразовать входную информацию к стандартному виду - прямоугольному импульсу  $\alpha_x$  длительностью  $t_x$ .

# Реализация метода

Для того чтобы получить ЧЭ  $N$  необходимо иметь счетчик, который тактируется квантующей частотой  $f_k$  и открыт на время  $t_x$ .



CJ – вход разрешения счета;

CJ=1 – открывает счетчик,  
разрешает счет;

CJ=0 – счетчик остановлен;

R – вход сброса;

R=1 – сброс; R=0 – открытие;

C – счетный вход, на него подается  
квантующая частота  $f_k$

$$N = \frac{t_x}{T_k}$$

Счетчик в исходном состоянии сигналом сброса R устанавливается в «0». Затем по входу разрешения счета SJ счетчик открывается на время  $t_x$ . По счетному входу С счетчик тактируется сигналами  $\alpha_k$  квантующей частоты  $f_k$ . После окончания  $t_x$  счетчик закрывается. Т.о. на каждый  $t_x$  в счетчик записывается 1 импульс.

В реальных условиях управление счетчиком производится обычно с помощью узла управления (УУ), который и вырабатывает сигналы на входе SJ. В некоторых случаях можно обойтись без SJ управляя открытием счетчика по входу сброса R.