

Ц 848

П-775

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P - 2394



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

В.И. Приходько, В.Г. Тишин

О ПОГРЕШНОСТЯХ АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

1965

P-2384

В.И. Приходько, В.Г. Тишин

О ПОГРЕШНОСТЯХ АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

3722/2 18.

Областной институт
научных исследований
Библиотека

1. Введение

В работе /1/ проведена экспериментальная оценка влияния параметров отдельных частей амплитудно-временных преобразователей (АВП) на одну из их основных характеристик - дифференциальную нелинейность. Ниже делается попытка теоретически оценить дифференциальную нелинейность АВП, обусловленную нелинейностью вольт-амперной характеристики диода; нелинейностью емкостей зарядного диода и токостабилизирующего транзистора, а также нелинейностью сопротивлений, шунтирующих запоминающий конденсатор.

2. Расчет погрешностей АВП

Погрешности амплитудно-временного преобразователя, вносимые нелинейностью его отдельных частей, могут быть представлены в виде математических выражений или кривых для дифференциальной нелинейности в функции от входного напряжения:

$$\epsilon(U_{ВХ}) = \frac{\frac{dU_{ВЫХ}}{dU_{ВХ}} - \overline{\frac{dU_{ВЫХ}}{dU_{ВХ}}}}{\overline{\frac{dU_{ВЫХ}}{dU_{ВХ}}}} \cdot 100\%$$

где $\overline{\frac{dU_{ВЫХ}}{dU_{ВХ}}}$ - средняя величина $\frac{dU_{ВЫХ}}{dU_{ВХ}}$ в заданном диапазоне $U_{ВХ}$.

Общая погрешность определяется суммой отдельных погрешностей:

$$\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \dots$$

На рис. 1 приведена блок-схема АВП. Схема состоит из зарядного устройства, включающего усилитель напряжения с отрицательной обратной связью; стабилизатора тока разряда (СТ); устройства, выделяющего временной интервал линейного разряда

конденсатора (Ф), и ряда развязывающих узлов типа эмиттерных или катодных повторителей (ЭП).

Как было показано Кавди /2/, дифференциальная нелинейность АВП, обусловленная нелинейностью прямой ветви вольт-амперной характеристики диода, на стадии заряда конденсатора равна:

$$\epsilon_1 = \frac{1}{\exp\left(\frac{U_{вх} \cdot K}{E_0}\right) \cdot \exp\left(\frac{I_{ст} \cdot t_{н} \cdot K}{C \cdot E_0}\right) - 1} \cdot 100\% \quad (1)$$

где $U_{вх}$ - амплитуда входного сигнала; K - коэффициент усиления по напряжению; $E_0 = \phi_T \cdot p$ - "постоянная напряжения" диода; ϕ_T - температурный потенциал; p - постоянная (для малых токов равная $1 \div 2$); $I_{ст}$ - ток через диод в статических условиях; $t_{н}$ - длительность входного импульса; C - емкость запоминающего конденсатора.

Использование обратной связи в зарядном устройстве как бы уменьшает "постоянную напряжения" диода в K раз, что эквивалентно сжатию вольт-амперной характеристики диода по оси напряжения. Это позволяет анализировать с той же погрешностью импульсы с амплитудой в K раз меньше, чем в обычной схеме, т.е. погрешностью

ϵ_1 практически можно пренебречь.

Выражение (1) справедливо для импульсов прямоугольной формы; для реальных импульсов, форма которых отличается от прямоугольной, ошибка ϵ_1 будет несколько больше при тех же значениях $U_{вх}$.

В момент спада входного импульса (при запираии линейных "ворот") происходит деление заряда на запоминающей емкости и нелинейной емкости диода, зависящей от напряжения x .

Дифференциальная нелинейность в этом случае определяется выражением

$$\epsilon_2 = \frac{C_{до}}{C} \left[\frac{U_0 + 2\phi_k}{2(U_0 + \phi_k)} \cdot \sqrt{\frac{\phi_k}{\phi_k + U_0 + U_0}} - \frac{U_0 + 2\phi_k}{2(U_0 + \phi_k)} \cdot \sqrt{\frac{\phi_k}{\phi_k + U_0 + U_0}} \right] \cdot 100\% \quad (2)$$

x / Емкость сплавного диода с резким переходом, смещенного в обратном направлении, равна: $C_d = C_{до} \sqrt{\frac{\phi_k}{\phi_k + U_d}}$, где

$C_{до}$ - емкость диода при начальном смещении;
 ϕ_k - контактная разность потенциалов;
 U_d - напряжение, приложенное к диоду.

где U_0 - уровень напряжения, соответствующий "пьедесталу" линейных ворот; U_0 - напряжение на емкости в момент окончания входного импульса; \bar{U}_0 - значение U_0 , усредненное по полному динамическому диапазону.

Вклад этой составляющей в общую дифференциальную нелинейность составляет приблизительно $\begin{matrix} +0,35\% \\ -0,05\% \end{matrix}$ для диода с $C_{до} = 10$ пф, $C = 1000$ пф и $U_0 = \bar{U}_0 = 4$ в (для $U_0 = 0 \div 8$ в).

Основными источниками дифференциальной нелинейности разряда конденсатора являются:

1. Непостоянство тока разряда в процессе линейного разряда конденсатора.
2. Нелинейная емкость диода, а также нелинейная емкость токостабилизирующего транзистора, которые в процессе разряда оказываются включенными параллельно запоминающей емкости.

3. Конечная нелинейная проводимость диода.

4. Сопротивления, шунтирующие конденсатор.

Решая дифференциальное уравнение разряда конденсатора относительно интервала разряда T : $-C \frac{dU_0}{dt} = I(U_{со}) + \frac{U_0}{R_{1 экв}} + I_{до}(U_0)$ с учетом сопротивлений, шунтирующих конденсатор, и непостоянства тока разряда, после преобразований получим:

$$\epsilon_3 = \frac{\frac{dT}{dU_0} - \frac{dT}{dU_0}}{\frac{dT}{dU_0}} \cdot 100\% = \frac{\bar{U}_0 - U_0}{R_{1 экв} \cdot I(U_{со}) - U_0} \cdot 100\% \quad (3)$$

где $I(U_{со})$ - ток стабилизатора в статическом режиме;

$U_{со}$ - начальное напряжение на конденсаторе;

$R_{1 экв} = R_1 \parallel R_{ш}$;

R_1 - внутреннее динамическое сопротивление стабилизатора тока;

$R_{ш}$ - сопротивление, шунтирующее конденсатор.

Для простейшей схемы стабилизатора тока, приведенной на рис. 2, динамическая проводимость равна

$$\frac{1}{R_1} = \frac{dI_k}{dU_{кб}} = I_3 \frac{1}{(\beta + 1)^2} \cdot \frac{d\beta}{dU_{кб}} + \frac{dI_{к0}}{dU_{кб}} \quad (4)$$

где

$$I_k = \alpha I_3 + I_{к0} = \alpha \frac{E_2 - E_1 - U_3 \beta}{R_3} + I_{к0}$$

Для транзисторов ПБ02В в рабочем диапазоне напряжений первое слагаемое равно

$\approx 10^{-8}$ 1/ом (при $I = 25$ мка, $\beta = 5$, $\frac{d\beta}{dU_{кб}} = 0,01$), вклад второго слагаемого составляет $\approx 10^{-8}$ 1/ом. Следовательно, для данной схемы величина $R_1 = 50$ мом. Подставляя в уравнение (3) величины $I(U_{с0}) = 25$ мка, $R_1 = 50$ мом, $R_{ш} = 100$ мом, $\bar{U}_C = 4$ в, получим $\epsilon_3 = \pm 0,45\%$ (для $U_C = 0 \div 8$ в).

Аналогично определяется дифференциальная нелинейность, связанная с шунтирующим действием диода:

$$\epsilon_4 = \frac{\exp(-\frac{U_a}{E_0}) - \exp(-\frac{\bar{U}_0}{E_0})}{\frac{I_p}{I_{до}} + \exp(-\frac{U_a}{E_0}) - 1} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $I_{до}$ - обратный ток диода;
 I_p - усредненная величина тока разряда, интегральный эффект от действия которого за время разряда эквивалентен сумме токов;
 $I_{ст} + I_{ш}$ ($I_{ст}$ - среднее значение тока стабилизатора, $I_{ш}$ - среднее значение тока через $R_{ш}$).

Анализ выражения (5) показывает, что ϵ_4 существенно лишь для первых каналов ($0,1 \div 0,2\%$).

Дифференциальная нелинейность, обусловленная емкостью диода, а также коллекторной емкостью токостабилизирующего транзистора, равна

$$\epsilon_5 = \frac{C_0}{C} \left(\sqrt{\frac{\phi_k}{\phi_k + U_0}} - \sqrt{\frac{\phi_k}{\phi_k + U_0}} \right) \cdot 100\%. \quad (6)$$

Для типичных значений: $C_0 = 20$ пф, $C = 1000$ пф, $\bar{U}_C = 4$ в, $\phi_k = 0,35$ в,

$$\epsilon_5 = \pm 0,4\% \quad (\text{для } U_C = 0 \div 8 \text{ в}).$$

Следует заметить, что в АВП с обратной связью необходимо учитывать нелинейность самого усилителя ϵ_6 , которая, как известно, складывается из нелинейности коэффициента усиления транзистора по току и нелинейности входной и выходной цепей. В работе [3] показано, что нелинейность входного и выходного импедансов может быть сделана весьма малой при соответствующем выборе режима транзистора, сопротивления нагрузки и соотношения между входным сопротивлением усилителя и выходным сопротивлением источника сигнала. Нелинейные искажения в схеме могут быть устранены в определенном динамическом диапазоне введением дополнительных нелинейностей на входе и выходе, это достигается подбором входной и выходной цепей из диодов и сопротивлений. Даже при работе в средней части характеристик транзистора коэффициент усиления по току транзистора (β) существенно зависит от уровня коллекторного напряжения и тока коллектора. Уменьшения нелинейности, связанной с изменением β , можно добиться подбором транзистора с мало меняющимся β , а также соответствующим выбором сопротивления нагрузки. Расчет показывает, что дифференциальная нелинейность

ϵ_6 может быть сведена к величине, приблизительно равной $0,1 \div 0,2\%$.

Дифференциальная нелинейность АВП несколько меняется при изменении окружающей температуры. Повышение температуры проявляется в увеличении обратных токов и барьерных емкостей диода и коллекторного перехода транзистора, что приводит к соответствующему увеличению ϵ_2 , ϵ_3 , ϵ_4 и ϵ_5 .

В соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 1, был построен амплитудно-временной преобразователь. При его разработке были приняты следующие меры для уменьшения дифференциальной нелинейности:

1. С целью повышения выходного сопротивления использована более сложная схема стабилизатора тока.
2. В цепи обратной связи применен повторитель на полевом транзисторе, имеющий входное сопротивление около 100 мом.
3. Применен заряжающий диод с малым обратным током и малой емкостью.
4. Нелинейность усилителя напряжения (УН) сведена к минимуму путем подбора транзистора с малоизменяющимся β .

Для разработанной схемы АВП на рис. 3 приведена кривая дифференциальной нелинейности, построенная с учетом рассмотренных выше факторов.

Экспериментальная кривая, снятая для входного устройства амплитудного анализатора на 4096 каналов, в котором применена эта схема, изображена на рис. 4. Для снятия кривой использовался генератор линейно меняющейся амплитуды импульсов, собственная нелинейность которого, проверенная на других приборах, не превышает $0,1 \div 0,2\%$.

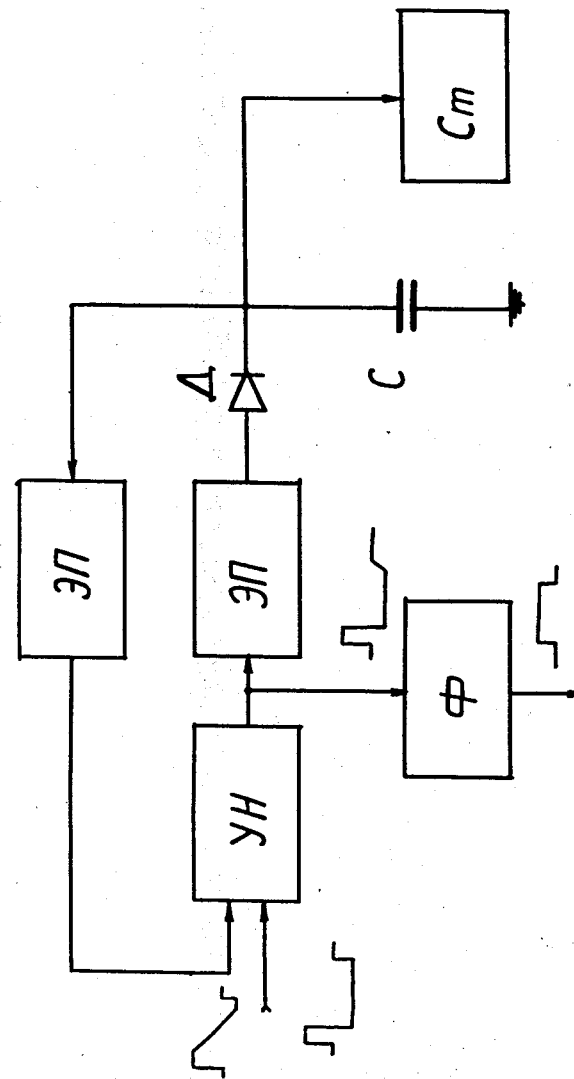
3. Заключение

Проведенное теоретическое исследование влияния некоторых наиболее важных факторов на дифференциальную нелинейность амплитудно-временных преобразователей позволило количественно оценить вклад каждой из составляющих в общую дифференциальную нелинейность АВП и предпринять конкретные меры для ее уменьшения. В разработанном амплитудном анализаторе дифференциальная нелинейность не превышает $\pm 1\%$.

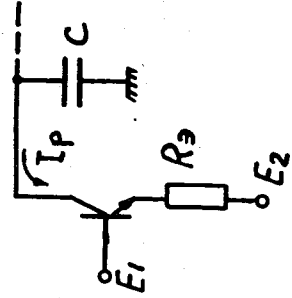
Л и т е р а т у р а

1. P.Manfredi, A.Rimini. Instr. Techn In Nucl. Pulse Analysis, Washington, 1964, p. 186, 1964.
2. K.Kandiah. Nuclear Electronics, Ц, IAEA, Vienna, 1962, p. 11.
3. G.M.Riva et al. Proc. JEE, v. 111, N 3, p. 481 (1964).

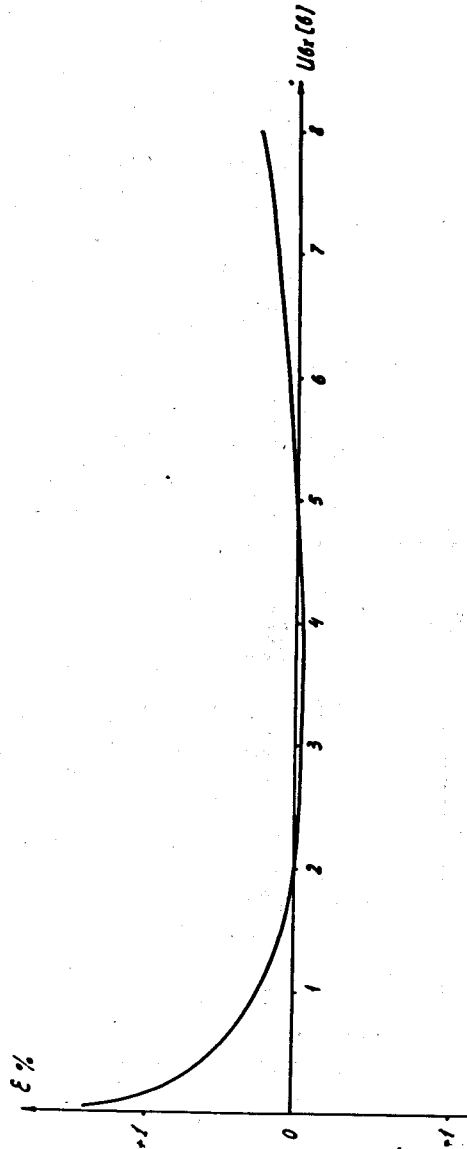
Рукопись поступила в издательский отдел
9 октября 1985 г.



Р и с. 1. Блок-схема амплитудно-временного преобразователя: УН - усилитель на-
пряжения; ФП - эмиттерный повторитель; Ф - формирователь; СТ - ста-
биллизатор тока разряда конденсатора С; Д - диод.

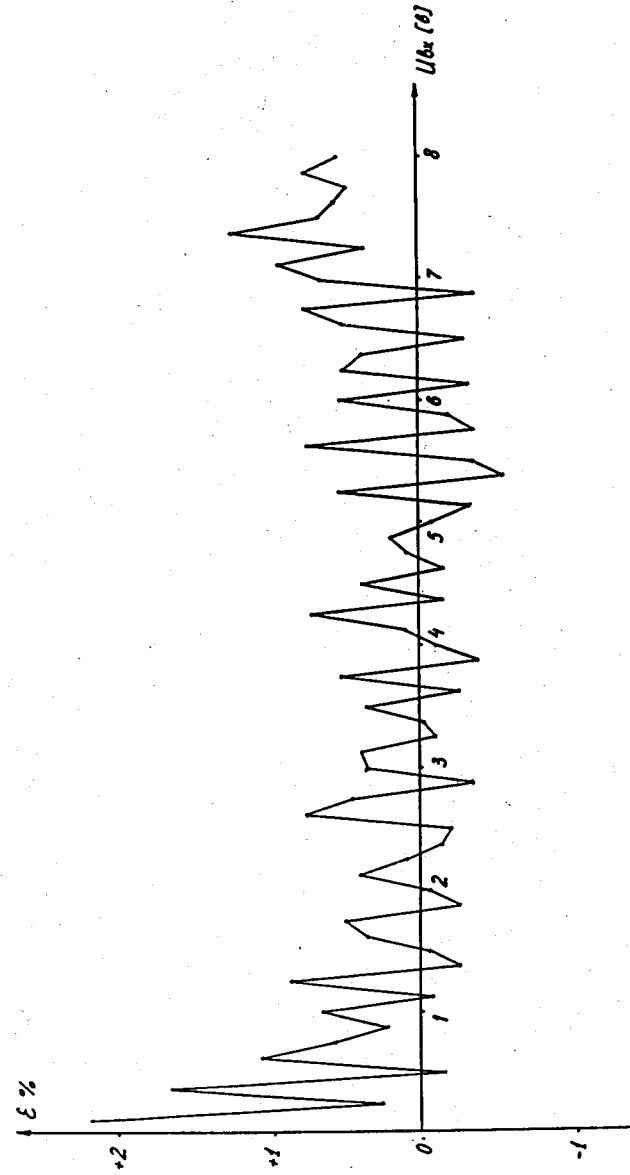


Р и с. 2. Схема генератора тока разряда.



10

Р и с. 3. Расчетная кривая дифференциальной нелинейности АВП:
 $C = 1000$ пф; $I_p = 25$ мкА; $I_0 = 0,1$ мкА; $C = 10$ нФ;
 $R_{1 экв} = 35$ мом; $E_0 = 25$ мВ; $\phi_k = 0,35$ в; до
 $t_u = 1$ мксек; $K_u = 50$; $U_0 = 4$ в; $U_{вх} = 4$ в.



Р и с. 4. Кривая дифференциальной нелинейности для аналогоцифрового преобразователя на 4088 каналов.