

СЗУУ.36

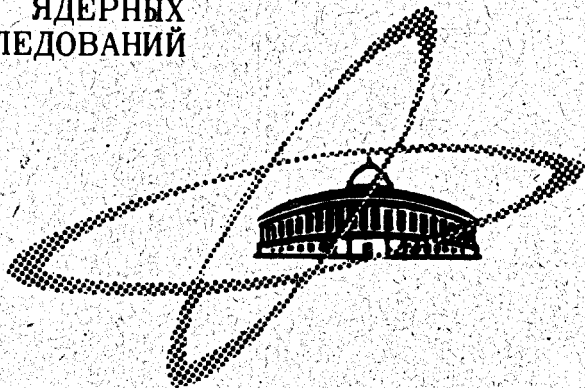
Д-721

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

16/x1-70

13 - 5223



М.Н. Дражев

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ЛИНЕЙНОСТИ
И БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ВРЕМЯ-АМПЛИТУДНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАНОСЕКУНДНОГО
ДИАПАЗОНА

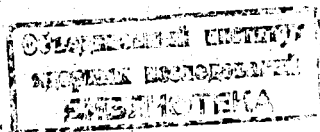
1970

13 - 5223

М.Н. Дражев

8549/2 кр

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ЛИНЕЙНОСТИ
И БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ВРЕМЯ-АМПЛИТУДНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАНОСЕКУНДНОГО
ДИАПАЗОНА



Быстродействие и линейность преобразователей времени в амплитуду (ПВА) наносекундного диапазона определяются, главным образом, характеристиками их накопительных систем.

Одновременное обеспечение высокого качества указанных параметров в классических накопительных системах типа RC (рис. 1), однако, связано с очевидным противоречием.

Так как амплитуда сигналов U_0 на выходе накопительной системы ПВА равна

$$U_0 = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} i_c dt, \quad (1)$$

где t_1 - измеряемый интервал времени, в течение которого ключ K_1 находится в положении "1" и осуществляется заряд, C - накопительная емкость, i_c - зарядный ток, и поскольку ток заряда во время зарядного цикла не сохраняется постоянным

$$i_c = i_0 (e^{-t_1/\tau_3}), \quad (2)$$

где $i_0 \approx \frac{U}{R_1}$, τ_3 - эквивалентная время-константа заряда $\approx C \frac{R_1 R_H}{R_1 + R_H}$, то вводимая такой системой дифференциальная нелинейность (максимальное одностороннее отклонение) будет:

$$\delta_{RC} = \frac{\max \Delta i_c}{i_{c0}} \approx 1 - e^{-t_1/\tau_3}, \quad (3)$$

или для $t_1 \ll \tau_3$

$$\delta_{RC} \approx \frac{t_1}{\tau_3} \quad (4)$$

С целью уменьшения нелинейности величину R_1 следует выбирать достаточно большой, т.е. выполнять условие:

$$\tau_3 \approx \tau_p \approx R_1 C \quad (5)$$

Увеличение время-константы разряда τ_p , однако, приводит к ухудшению быстродействия, так как скорость разряда определяется также τ_p

$$U_{\text{ВЫХ}RC} = U_C e^{-t/\tau_p} \quad (6)$$

и длительность импульсов $t_{\text{ВЫХ}}$ на уровне 0,01 равна

$$t_{\text{ВЫХ}RC} \approx 4,6 \tau_p \quad (7)$$

Таким образом, в накопительных системах типа RC измеряемый временной интервал, длительность выходных импульсов и дифференциальная нелинейность взаимно связаны, и обеспечение высокой линейности возможно только ценой ухудшения быстродействия:

$$\delta_{RC} \approx 4,6 \frac{t_1}{t_{\text{ВЫХ}}} \quad (8)$$

Линейность и быстродействие могут быть в значительной степени улучшены введением дополнительных элементов в ПВА (см., например, /1,2,3,4,5/).

На рис. 2 показана эквивалентная схема накопительной системы подобного типа. Здесь с целью сохранения постоянства зарядного тока используется специальный стабилизатор и величина сопротивления R_H выбирается большой ($i_H \ll i_C$), а необходимое быстродействие обеспе-

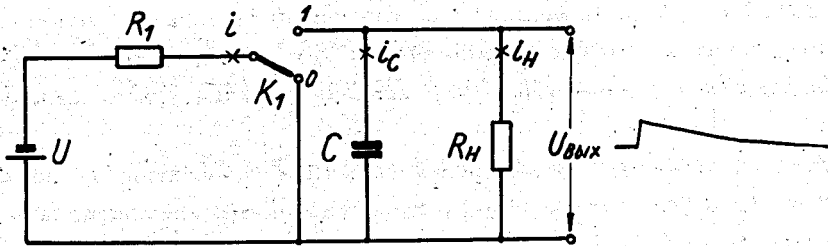


Рис. 1. Эквивалентная схема накопительной системы ПВА классического типа RC.

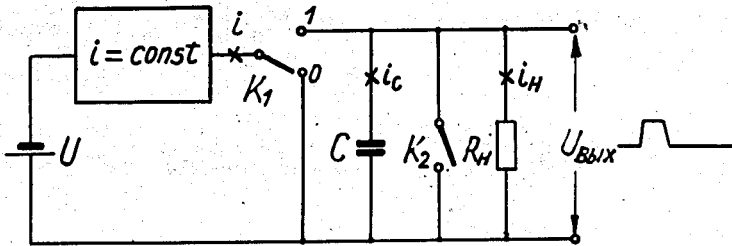


Рис. 2. Эквивалентная схема накопительной системы ПВА со стабилизацией зарядного тока и ключ K_2 принудительного разряда накопительной емкости.

чивается при помощи дополнительного ключа быстрого разряда K_2 , который включается по истечении времени $t_{\text{вых}}$, определяющего длительность выходных импульсов.

Следует отметить, что применение стабилизатора тока в накопительной системе позволяет также снизить требования к стабильности источника питания и что в таком включении нелинейность ПВА не зависит от величины i_1 и $i_{\text{вых}}$.

С другой стороны, введение этих элементов приводит к усложнению схемного решения и связано с некоторыми трудностями из-за конечной проводимости замкнутого ключа K_2 и наличия температурной зависимости.

Улучшение линейности и быстродействия ПВА наносекундного диапазона может быть осуществлено и введением пассивных элементов в накопительные системы [4]. Так, если в цепи заряда будет введена индуктивность (L_1 на рис. 3) в соответствии с условием

$$L_1 \frac{\Delta i}{t} \approx -U_C, \quad (9)$$

то ток заряда i_C во время зарядного цикла ($i_{\text{н}} i_L \ll i_C$) сохраняется постоянным

$$i(t) \approx \frac{U}{R_1} \frac{1}{n} e^{-\mu t} (\mu \text{Sh } nt + n \text{Ch } nt), \quad (10)$$

где

$$\mu = \frac{R_1}{2L_1} \quad \text{и} \quad n^2 = \frac{R_1^2}{4L_1^2} - \frac{1}{L_1 C}$$

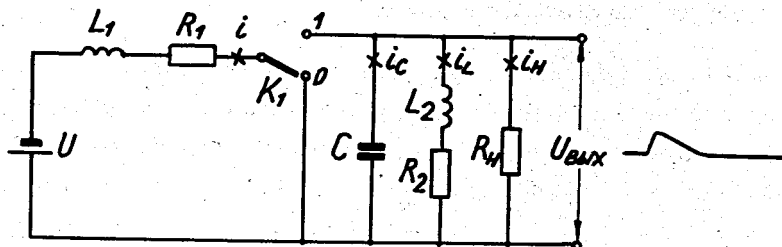


Рис. 3. Эквивалентная схема накопительной системы ПВА типа RLC с улучшенной линейностью и быстродействием.

и для $t \ll \sqrt{LC}$ и аperiodического режима ($n^2 > 0$ или $Q_0 < \frac{1}{2}$) максимальное относительное изменение тока будет:

$$\frac{\Delta i}{i_0} \approx \frac{t^2}{L_1 C} \left(1 - \frac{t R_1}{6 L_1} \right) \quad (11)$$

и в обычных рабочих условиях (например, $t_1 = 10^{-7}$ сек, $C = 10^{-9}$ ф, $L_1 = 30 \cdot 10^{-3}$ гн) может быть сделано меньше 0,05%. При этом необходимая стабильность начального тока i_0 обеспечивается при помощи лишь одного температурного скомпенсированного стабилизатора (например, типа Д818Е).

Включение индуктивности в цепи разряда (L_2 на рис. 3), выполняя условия $\frac{L_2}{R_2} \gg t$ и $Q_0 = \frac{\omega L_2}{R_2}$ или $R_2 = 2\sqrt{\frac{L_2}{C}}$, позволяет уменьшить ток в цепи разряда во время зарядного цикла и сократить длительность $t_{\text{вых.}}$ выходного импульса.

Действительно, в случае, когда ток от источника сохраняется постоянным во время зарядного цикла ($i \approx \text{const}$), вводимая дифференциальная нелинейность (максимальное одностороннее отклонение) будет

$$\delta_{RLC} = \frac{\Delta i_C}{i_C} \approx \frac{\Delta i_T}{i_0} \quad (12)$$

Имея в виду, что для тока в цепи разряда имеем

$$i_L = i_0 \left(1 - e^{-t \frac{R_2}{L_2}} \right), \quad (13)$$

где i_0 - ток, который протекал бы в стационарном режиме (см. (15)), и что $t \frac{R_2}{L_2} \ll 1$, то он может быть выражен:

$$i_L \approx i_0 t \frac{R_2}{L_2} \quad (14)$$

Тогда, принимая во внимание, что:

$$i_0 \approx \frac{U}{R_2} \approx t \frac{i}{CR_2} \quad (15)$$

вводимая дифференциальная нелинейность из-за проводимости разрядной цепи во время зарядного цикла будет:

$$\delta_{RLC} \approx \frac{t_1^2}{L_2 C} \quad (16)$$

С другой стороны, учитывая, что скорость разряда накопительной емкости определяется параметрами контура $R_2 L_2 C$, имеем, что для критического режима ($\frac{R_2^2}{4L_2^2} - \frac{1}{L_2 C} = 0$) она является максимальной

$$U_C(t) = U_{C_{\max}} \left(1 + \frac{t}{\sqrt{L_2 C}}\right) e^{-t/\sqrt{L_2 C}} \quad (17)$$

и длительность выходного импульса $t_{\text{ВЫХ}}$ на уровне 0,01 в таком случае будет:

$$t_{\text{ВЫХRLC}} \approx 6,7 \sqrt{L_2 C} \quad (18)$$

Тогда, исходя из (16) и (18), для дифференциальной нелинейности в накопительной системе типа RLC получаем:

$$\delta_{RLC} \approx 46 \left(\frac{t_1}{t_{\text{ВЫХ}}}\right)^2, \quad (19)$$

т.е. в ПВА с предложенной накопительной системой типа RLC дифференциальная нелинейность может быть уменьшена в значительной степени по сравнению с нелинейностью систем типа RC и выигрыш, исходя из (8) и (19), дается соотношением:

$$\frac{\delta_{RC}}{\delta_{RCL}} \approx 0,1 \frac{t_{\text{ВЫХ}}}{t_1}, \quad (20)$$

а улучшение быстродействия составляет:

$$\frac{t_{\text{ВЫХRC}}}{t_{\text{ВЫХRCL}}} \approx \frac{7}{\sqrt{\delta_z}}, \quad (21)$$

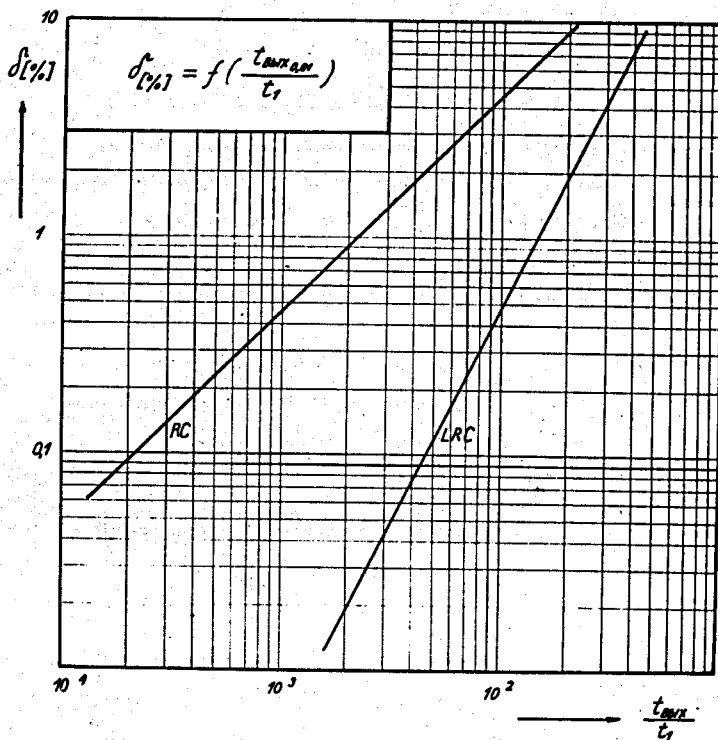


Рис. 4. Зависимость дифференциальной нелинейности (максимальное одностороннее отклонение в %) как функция длительности выходного импульса $t_{вых}$ (измеренного в единицах t_1 , где t_1 - диапазон измеряемых временных интервалов) для накопительных систем типа RC и RLC.

где $\delta\%$ - дифференциальная нелинейность (максимальное одностороннее отклонение) в %. Это иллюстрируется рис. 4, где представлена величина $\delta\%$ в зависимости от длительности выходного импульса (на уровне 0,01), измеренной в единицах t_1 (t_1 - диапазон измеряемого временного интервала) для накопительных систем ПВА типа RC и RLC.

Л и т е р а т у р а

1. M. Bonitz. Nucl. Instr. and Meth., 22, 22, 1963.
2. М. Дражев. Препринт Р-1997 ОИЯИ, Дубна, 1965.
3. W. Meiling, F. Stary. Nanosecond Pulse Techniques, Berlin, 1969.
4. Ю. Акимов, М. Дражев и др. Быстродействующая электроника для регистрации ядерных частиц. Атомиздат, М., 1970.
5. M. Balaux, R. Boulay. Nucl. Instr. and Meth., 78, 109, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел

3 июля 1970 года.