

Н. Н. ДМИТРИЕВА, В. А. ДМИТРИЕВ

## ИСКАЖЕНИЕ СПЕКТРА ИОНИЗАЦИОННЫХ ТОЛЧКОВ УСИЛИТЕЛЕМ

Проводится анализ искажений усилителем импульсов от цилиндрической ионизационной камеры, обусловленных различным распределением ионизации в камере. Приведены искажения соотношения амплитуд импульсов при различных соотношениях длительности импульсов и постоянных усилителя. Отмечаются большие амплитудные искажения, возникающие в усилителях с нелинейными амплитудными характеристиками.

При исследованиях спектра импульсов от ионизационной камеры необходимо знать искажения, вносимые радиотехническими устройствами. Часто принимается (например, в [1]), что электронные устройства не вносят искажений в форму импульсов и не меняют их амплитуды. Это допущение основывается на предположении о неограниченности полосы пропускания усилителя. Однако реальные усилители имеют конечную полосу пропускания, поэтому при точных измерениях необходимо учитывать вносимые ими искажения. В ряде задач важно только сохранение соотношения амплитуд импульсов, а не информация о характере распределения ионизации в камере, т. е. о форме импульсов. В этом случае требуется знать, как искажает усилитель спектр амплитуд импульсов. Такой анализ был проведен для импульсов от пропорционального счетчика [2]. Для цилиндрической ионизационной камеры был проведен [3] анализ амплитудных искажений импульсов только идеализированной (линейной) формы. В настоящей работе проводится анализ изменения соотношения амплитуд реальных импульсов от цилиндрической камеры при различном распределении ионизации после прохождения через усилитель. В работах [4] найдены формы электронных импульсов для случаев равномерной ионизации в камере, локальной ионизации у электродов, а также при ионизации по диаметру цилиндрической камеры. Форма импульсов (рис. 1) существенно отличается от линейной. Это делает невозможным использование для оценки амплитудных искажений результатов работы [3]. Обычно реостатно-емкостный усилитель имеет одну дифференцирующую цепь с постоянной  $\tau_1$ , резко отличающейся от постоянных остальных цепей дифференцирования, и одну цепь интегрирования с постоянной  $\tau_2$ , большей других. Рассматривались различные соотношения длительности электронного импульса  $T$  и постоянных  $\tau_1$  и  $\tau_2$ . Усилитель с неограниченной

полосой пропускания ( $\tau_1 = \infty$ ,  $\tau_2 = 0$ ) совершенно не искажает импульсов.

Нами были исследованы случаи усилителя с широкой полосой пропускания ( $\tau_1 = 10T$ ,  $\tau_2 = 1/5T$ ), усилителя с равными постоянными ( $\tau_1 = \tau_2$ ) и некоторые промежуточные случаи выбора постоянных. Реакция усилителя на единственный скачок в случае размещения цепей с постоянными  $\tau_1$  и  $\tau_2$  в разных каскадах описывается выражениями

$$\varphi(t) = \frac{k\tau_1}{\tau_1 - \tau_2} \left( e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) \quad \text{и} \quad \varphi(t) = \frac{kt}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{при} \quad \tau_1 = \tau_2 = \tau.$$

При входном сигнале, форма которого описывается функцией  $v_{\text{вх}}(t)$ , форма выходного сигнала будет выражаться так:

$$v_{\text{вых}}(t) = \int_0^t v'_{\text{вх}} \varphi(t-x) dx.$$

Интегрирование было произведено численно, так как форма входных сигналов не всегда имеет простое аналитическое выражение. На рис. 2 показана полученная форма выходных импульсов, обусловленных различным распределением ионизации, для усилителей с различными пара-

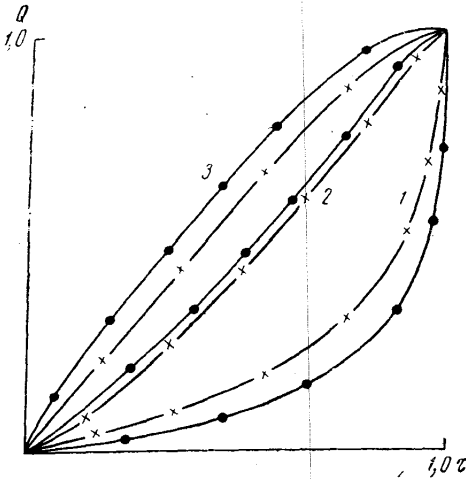


Рис. 1. Форма импульса от ионизационной камеры: 1 — локальная ионизация; 2 — объемная ионизация; 3 — ионизация по диаметру.

Крестики соответствуют случаю  $v = v_0$ , точки — случаю  $v = kE^{1/2}$

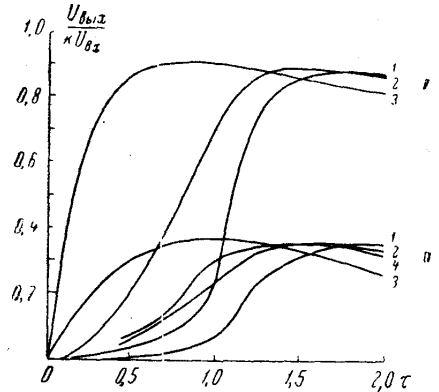


Рис. 2. Форма импульсов после усилителя: I — усилитель с  $\tau_1 = 10T$ ,  $\tau_2 = 1/5T$ , II — усилитель с  $\tau_1 = \tau_2 = T$ . 1 — ионизация у внешнего электрода; 2 — равномерная ионизация в камере; 3 — ионизация у внутреннего электрода; 4 — ионизация по диаметру

метрами. Разброс в амплитуде выходных сигналов ( $\delta$ ) и значения выходных амплитуд ( $v_{\text{max}}$ ) приведены в таблице. Усилитель с равными постоянными, как известно [5], может иметь максимальное отношение сигнал/шум. Из таблицы видно, что такой усилитель при работе с цилиндрической ионизационной камерой обеспечивает 3%-ное разрешение по амплитуде при  $\tau = T$ , т. е. менее чем в два раза уступает усилителю с широкой полосой. Еще меньший разброс может быть получен для усилителя с равными постоянными, большими  $T$ . Однако в этих случаях фронт импульса после усилителя удлинится в несколько раз. Это понижает возможное разрешение при работе со схемами совпадений и увеличивает задержку при работе с пороговыми схемами. При ис-

пользовании усилителя с  $\tau_1 = \tau_2 = T$  удлинение фронта импульса не превышает 10%. Однако применение усилителя с достаточным усилением на сравнительно низких частотах ( $\tau_1 > T$ ) нежелательно, так как это приводит к увеличению влияния микрофонного эффекта камер и наводок от сети переменного тока. Роль микрофонного эффекта особенно велика в больших камерах, наполненных аргоном, где время собирания электронов достигает десятков микросекунд. Кроме того, расширение полосы пропускания усилителя приводит к увеличению шумов. Оба эти фактора вызывают разброс амплитуд импульсов после усилителя, т. е. также ограничивают разрешение амплитуд импульсов в этих случаях. Очень существенным оказывается одновременное увеличение до  $T$  и постоянной интегрирования. Это и понятно: усилитель с  $\tau_2 = T$  будет реа-

$\tau_1$	$\tau_2$	Относительная амплитуда выходного сигнала $\left( \frac{v_{\text{вых}}}{kv_{\text{вх}}} \right)$ при ионизации				$\delta, \%$	$\delta', \%$
		у центрального электрода	у внешнего электрода	объемная	по диаметру		
$T$	$T$	0,368	0,359	0,357	0,356	3,2	0,6
$T$	$1/5 T$	0,668	0,627	0,575	—	16,1	9,1
$10 T$	$T$	0,775	0,765	0,772	—	1,3	0,9
$10 T$	$1/5 T$	0,905	0,890	0,891	—	1,7	0,1
$2 T$	$2 T$	0,368	0,362	0,364	0,364	1,5	0,5
$4 T$	$4 T$	0,368	0,364	0,367	0,367	1,0	0,2

гировать на все сигналы с более быстрым нарастанием как на короткие толчки, аналогично баллистическому гальванометру. А в данном случае наибольший разброс амплитуд обусловлен как раз наличием крутого импульса, в свою очередь обусловленного ионизацией у центрального электрода. Разброс амплитуд остальных импульсов ( $\delta'$ ) значительно меньше.

Как видно из таблицы, в обоих усилителях (с широкой полосой и с равными постоянными) будут относительно увеличиваться амплитуды импульсов, вызванных ионизацией у центрального электрода. В промежуточных случаях наблюдается и другое искажение спектра амплитуд. Так, если величина  $\tau_1$  усилителя была взята достаточно короткой, чтобы ослабить влияние микрофонного эффекта и наводок от сети, а при этом верхняя граничная частота высока, то разброс в амплитуде импульсов может достигнуть десятков процентов (30% при  $\tau_2 = 1/10 T$  и  $\tau_1 = T$ ).

Указанное явление может иметь место в случае применения для расширения диапазона пропускаемых амплитуд усилителей с нелинейной амплитудной характеристикой. В случаях, когда нелинейность характеристики усилителя обусловлена нелинейной обратной связью [6], при уменьшении усиления происходит отмеченное выше нежелательное расширение полосы пропускания только в сторону высоких частот. (Это происходит потому, что дифференцирование осуществляется в соединительных цепях, не охваченных обратной связью.) Чтобы этот эффект не вызвал резкого роста в разбросе амплитуд, особенно при скачкообразном резком изменении усиления, необходимо применение дополнительных каскадов.

Авторы выражают благодарность Г. Б. Христиансену за обсуждение полученных результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bridge, Hazen, Rossi, Williams. Phys. Rev., 74, 9, 1948; Росси и Штауб. Ионизационные камеры и счетчики. М., 1951.
2. Hurst, Ritchie. Rev. Sci. Just., 24, 8, 1953.
3. Gellespie A. Signal, Noise and Resolution in Nuclear Counter Amplifiers. Pergamon Press. 1953; Санин А. А. Электронные приборы ядерной физики. Физматгиз, М., 1961.
4. Дмитриев В. А. ЖТФ, № 1, 1957; Cerniogoi C., Pauli G., Paiani C. Nucl. Just., 2, 261, 1958.
5. Элмор. УФН, 39, № 1, 1949.
6. Heinemann. Phys. Rev., 96, No. 1, 1954; Горюнов Н. Н. ПТЭ, № 3, 1959.

Поступила в редакцию  
26. 2 1962 г.

Кафедра  
космических лучей