

536

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ



В.С.Надеждин

536

МЕТОД ДВОЙНОГО ФОРМИРОВАНИЯ
ИМПУЛЬСОВ В НАНОСЕКУНДНОЙ
ОБЛАСТИ

Дубна 1960 год

536

В.С.Надеждин

МЕТОД ДВОЙНОГО ФОРМИРОВАНИЯ
ИМПУЛЬСОВ В НАНОСЕКУНДНОЙ
ОБЛАСТИ

V.S. Nadezhdin

Разработка скоростных фотоумножителей и фосфоров с малым временем высвечивания позволила построить схемы совпадений, разрешающее время которых не превышает нескольких наносекунд. Вследствие того, что полная длительность импульса, снимаемого с анода фотоумножителя, обычно оказывается большой, для достижения высоких разрешающих способностей схем совпадений приходится применять специальные меры укорочения импульсов.

Наиболее распространенным методом формирования импульсов в микросекундной и наносекундной областях является классический, заключающийся в формировании импульса с помощью короткозамкнутого кабеля. Одним из важнейших свойств такого формирования является точное воспроизведение формы импульса от начала его до момента $t = 2\tau_{\text{каб}}^{1/}$, где $\tau_{\text{каб}}$ - электрическая длина формирующего кабеля. Амплитуда и длительность импульса при формировании этим методом зависят от длины формирующего кабеля, заднего фронта импульса и, особенно, от переднего фронта формируемого импульса. Передний фронт импульса, в свою очередь, определяется разбросом времен пролета электронов и временем высвечивания фосфора. Если за длительность переднего фронта / $\tau_{\text{ф}}$ / принять время нарастания импульса от 0,1 до 0,9 его амплитуды, то, например, величина $\tau_{\text{ф}}$ для ФЭУ-33, работающего со стандартной сцинтиллирующей пластмассой^{х/}, близка к 4 нсек.

При формировании импульсов закороченным кабелем длительность сформированных импульсов равна:

$$\tau'_i = 2\tau_{\text{каб}} + t'_{\text{форм}}, \quad //$$

где под $t'_{\text{форм}}$ понимается время от начала формирования импульса до момента, когда амплитуда сформированного импульса равна нулю /рис.1/. Величина $t'_{\text{форм}}$ приблизительно равна длительности фронта импульса / $\tau_{\text{ф}}$ /, если электрическая длина формирующего кабеля существенно меньше $\tau_{\text{ф}}$ /в 3-4 раза/.

^{х/} Стандартная сцинтиллирующая пластмасса представляет собой твердый раствор 2% терфинила и 0,02% "РОРОР" в полистироле.

При формировании импульсов, задний фронт которых лишь незначительно превосходит τ_{ϕ} , время формирования / $t'_{\text{форм}}$ / уменьшается тем значительнее, чем больше электрическая длина формирующего кабеля и чем меньше длительность заднего фронта. Для наблюдения этих эффектов были произведены измерения, схема которых представлена на рис. 2.

Световая вспышка от сцинтиллирующей пластмассы, облучаемой Co^{60} , через систему световодов из плексигласа попадала на фотокатод ФЭУ-33. Анодной нагрузкой фотоумножителя являлся кабель РК-50 с согласованной нагрузкой. Импульсы, сформированные кабелем РК-50 длиной 50 и 90 см, подавались на двойную схему совпадений на кристаллических диодах. Разрешающее время τ /полуширина кривой на половине высоты/ составляет 7 и 6 наносекунд при длине формирующего кабеля 90 и 60 см, соответственно /рис.3/. Разбросом фронтов импульсов в нашем случае можно пренебречь по двум причинам. Во-первых, эта величина значительно меньше разрешающего времени схемы, во-вторых, опыты с обеими длинами формирующих кабелей производились в одинаковых условиях. Следовательно, можно считать, что в этом случае разрешающее время в основном определяется длительностью сформированных импульсов / τ_u /.

Таким образом, уменьшение длины формирующего кабеля в 1,5 раза приводит к уменьшению разрешающего времени схемы всего лишь на 15%. В соответствии с формулой /1/, это означает, что при уменьшении $2\tau_{\text{заг}}$ в 1,5 раза, время формирования увеличивается на 35%. Следовательно, этот эксперимент подтверждает высказанное ранее соображение о том, что длительность сформированного закороченным кабелем импульса может значительно превышать $2\tau_{\text{заг}}$, причем это превышение / $t'_{\text{форм}}$ / зависит от формы импульса и длины формирующего кабеля.

Для получения разрешающего времени схемы, например, 3 нсек, очевидно необходимо подавать на нее импульсы примерно такой же длительности. Однако длительность сформированных импульсов / τ_u / не может быть меньше времени формирования / $t'_{\text{форм}}$ / , стремящегося в пределе к величине τ_{ϕ} , и поэтому получение импульсов длительностью 3-4 нсек от фотоумножителя ФЭУ-33, работающего со сцинтиллирующей пластмассой, представляет собой нелегкую задачу. Для достижения такого разрешения требуется уменьшение времени

формирования, т.е. в конечном счете уменьшение переднего фронта импульса. Этого можно добиться, используя более скоростные фотоумножители или идя по пути "исправления" переднего фронта импульса методом двойного формирования^{/2/}.

В настоящей работе была предпринята попытка использовать метод двойного формирования на схеме, представляющей собой дифференциальный усилитель /рис. 4/.

Импульс с фотоумножителя поступает на сетку лампы L_1 в момент времени $t = 0$ и затем, задержанный кабелем l_1 на время $2\tau_{заг}$, равное удвоенному времени задержки формирующего кабеля l_2 , попадает на сетку лампы L_2 . В точке А, начиная с момента времени $2\tau_{заг}$, происходит сложение двух импульсов отрицательной полярности, а именно: задержанного на время $2\tau_{заг}$ и прошедшего через лампу L_2 , и импульса, прошедшего через лампу L_1 , отраженного от конца короткозамкнутого формирующего кабеля l_2 . Одновременно, начиная с момента времени $2\tau_{заг}$, этот удвоенный по амплитуде отрицательный импульс складывается с положительным, возникшим на аноде лампы L_1 в момент $t = 0$. Таким образом, начиная с момента времени $t = 2\tau_{заг}$, происходит формирование переднего фронта отрицательного импульса. При этом амплитуда формируемого импульса, вообще говоря, уменьшается и тем сильнее, чем длиннее задний фронт положительного импульса. С момента времени $t = 4\tau_{заг}$ начинается формирование заднего фронта отрицательного импульса положительным импульсом, прошедшим через лампу L_2 и отраженным от конца короткозамкнутого формирующего кабеля l_2 . Процесс формирования импульса графически изображен на рис.5. Для простоты считаем, что коэффициент передачи лампами L_1 и L_2 равен 1, а время прохождения импульса через лампы одинаково.

Для исследования формирующего каскада, приведенного на рис. 4, было выполнено два эксперимента. В первом опыте использовалась схема, представленная на рис. 2, с той лишь разницей, что импульсы в этом случае формировались методом двойного формирования. Длина кабеля l_2 была выбрана равной 90 см. Полученная кривая разрешения, представленная на рис. 6, показывает, что разрешающее время τ в этом случае составляет 3,4 нсек. т.е. в два раза меньше, чем при обычном формировании.

Во втором опыте использовалась схема тройных совпадений /рис.7/. Эксперимент производился на пучке протонов с энергией 630 Мэв. Целью этого опыта являлось исследование работы формирующего каскада со схемой совпадений на пучке заряженных частиц в условиях большой интенсивности и большой фоновой загрузки, определение разрешающего времени схемы совпадений при подаче на нее импульсов от ФЭУ-33, сформированных обычным и двойным методом, и оценка эффективности схемы.

Кривые разрешения тройной схемы совпадений снимались методом включения дополнительных задержек в один из ее каналов. Из полученных кривых 1 и 2, представленных на рис. 8 соответственно для случая двойного и классического формирования, следует, что разрешающее время τ_1 в два раза меньше τ_2 и составляет 2,8 нсек. При этом предполагается, что кривые симметричны относительно максимума. Дополнительно на рис. 8 представлена кривая разрешения двойной схемы совпадений, полученная при значительно меньшей интенсивности пучка протонов, падающих на мишень. Разрешающее время τ_3 двойной схемы совпадений с формирующими каскадами также оказалось равным 2,8 нсек. Даже не зная абсолютной эффективности схемы совпадений с обычным формированием 90 см кабелем РК-50, можно констатировать, что замена обычного формирования двойным практически не отражается на эффективности регистрации схемы. Следует отметить также, что при замене обычного формирования двойным, не потребовалось увеличения напряжения питания фотоумножителей, что свидетельствует о сохранении амплитуды импульса.

Из рассмотрения рис. 1 и 5 следует, что полный цикл формирования импульса соответственно для случая классического и двойного формирования равен:

$$\begin{aligned} T' &= \tau_{н.и.} \\ T'' &= \tau_{н.и.} + 4\tau_{заг}, \end{aligned}$$

где $\tau_{н.и.}$ - есть длительность несформированного импульса.

Примем за мертвое время ^{x/} интервал между двумя последовательными импульсами, поступающими на вход формирующего каскада, в течение которого

^{x/} В действительности мертвое время зависит также от времени восстановления формирующего каскада, чувствительности схемы совпадений, уровня дискриминации и т.д.

амплитуда сформированного импульса уменьшается за счет воздействия на него соседнего импульса. Проведем анализ этого воздействия в зависимости от величины интервала t между двумя последовательными импульсами.

$$1. \text{ Интервал } t = 2\tau_{заг} + t''_{форм}.$$

В этом случае второй импульс полностью уничтожает сформированный первый, а выброс обратной полярности первого импульса уничтожает сформированный второй импульс, так как происходит сложение импульсов противоположной полярности.

2. При увеличении интервала $t = 2\tau_{заг} + t''_{форм}$ до величины $4\tau_{заг} + t''_{форм}$ амплитуда первого сформированного импульса не достигнет своего максимального значения из-за выброса обратной полярности первого импульса.

3. В момент, когда интервал t между импульсами равен

$$t = 4\tau_{заг} + \tau_{н.ч.} - t''_{2\text{ форм}} - (2\tau_{заг} + t''_{форм})$$

положительный выброс от первого импульса уже не воздействует на амплитуду сформированного второго импульса.

Если длительность сформированного импульса, которая определяет разрешающее время, не включать в мертвое время, то в случае двойного формирования мертвое время оказывается равным:

$$t''_{м} = \tau_{н.ч.} - t''_{2\text{ форм}}. \quad /2/$$

В случае классического формирования мертвое время равно

$$t'_{м} = \tau_{н.ч.} - (2\tau_{заг} + t'_{форм}). \quad /3/$$

Сравнивая соотношения /2/ и /3/, можно сказать, что при двойном формировании мертвое время увеличивается примерно на $2\tau_{заг}$.

В заключение следует добавить, что применение метода двойного формирования дает возможность получать импульсы не только отрицательной полярности, но и положительной. Это может быть достигнуто подачей незадержанного импульса с фотоумножителя на сетку лампы L_2 , а задержанного - на сетку L_1 /рис. 4/.

Формирующий каскад не требует практически никакой наладки.

Автор пользуется случаем выразить благодарность Б.М.Головину и В.П.Джелепову за интерес к работе и ценные указания, а также Зинову В.Г., Озерову Е.Б., Сатарову В.И., Симонову Ю.Н. за полезные замечания, сделанные при обсуждении результатов работы.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 мая 1960 года.

Л и т е р а т у р а

1. И.Льюис и Ф.Уэлс. "Миллимикросекундная импульсная техника". ИЛ.1956г.
2. Proceedigs of an Informal Conference. Catlingburg, Tennessee, September 26-28, 1956. Multichannel Pulse Height Analyzers, 20, 27, (1957).

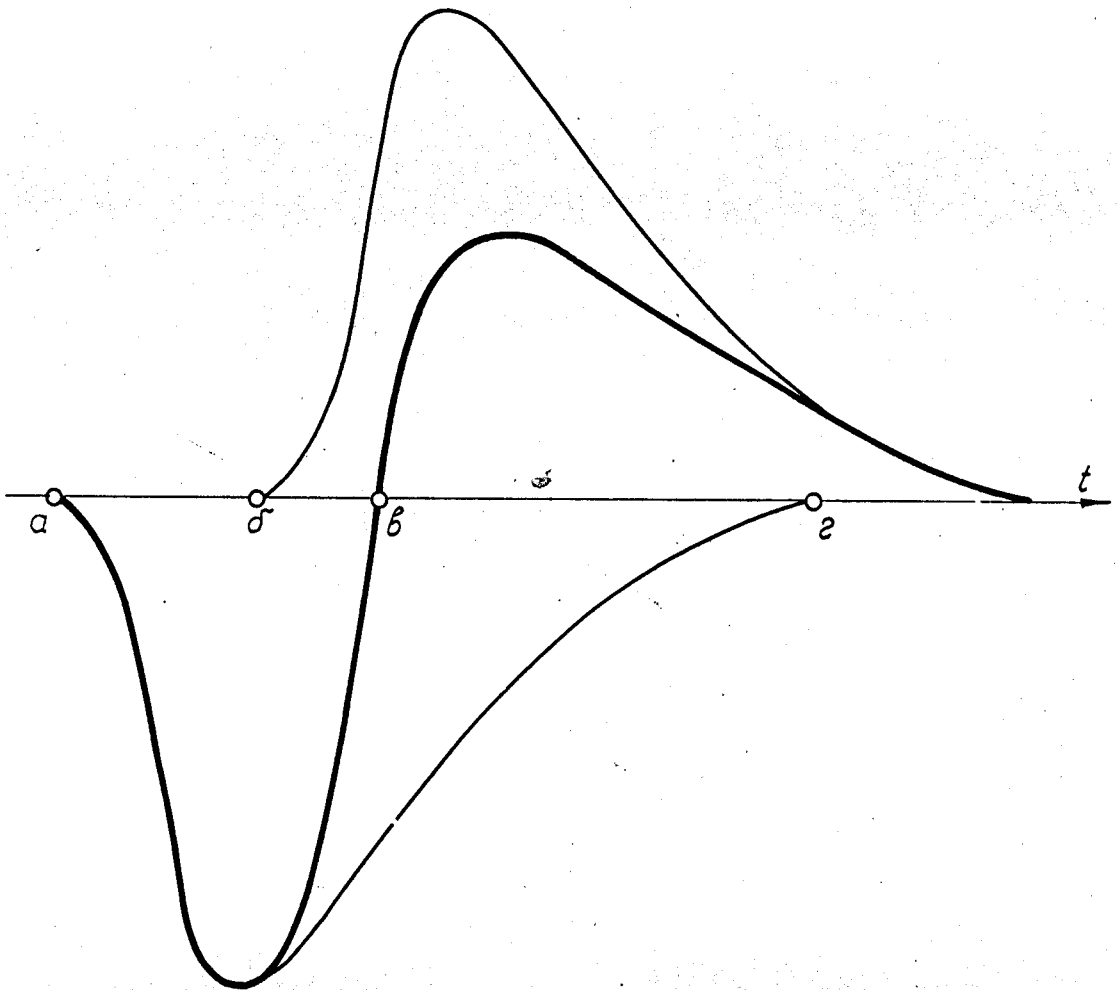


Рис. 1. $\Delta t_{a\sigma} = 2\tau_{\text{заг}}$; $\Delta t_{\beta z} = t'_{\text{форм}}$; $\Delta t_{a z} = \tau_{\text{н.и.}}$

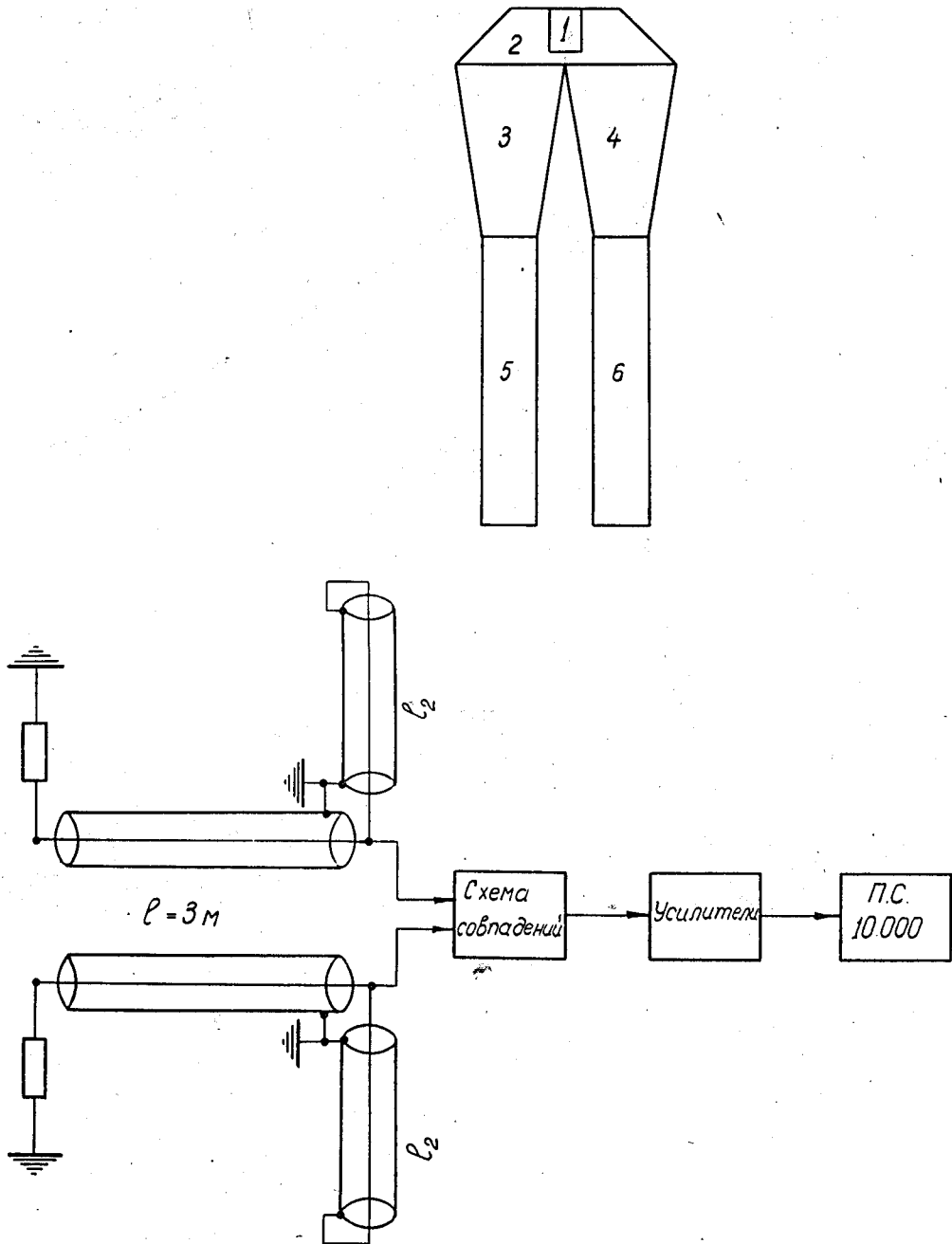


Рис. 2. 1 - сцинтилляционная пластмасса, 2, 3, 4 - световоды из плексигласа; 5, 6 - ФЭУ-33.

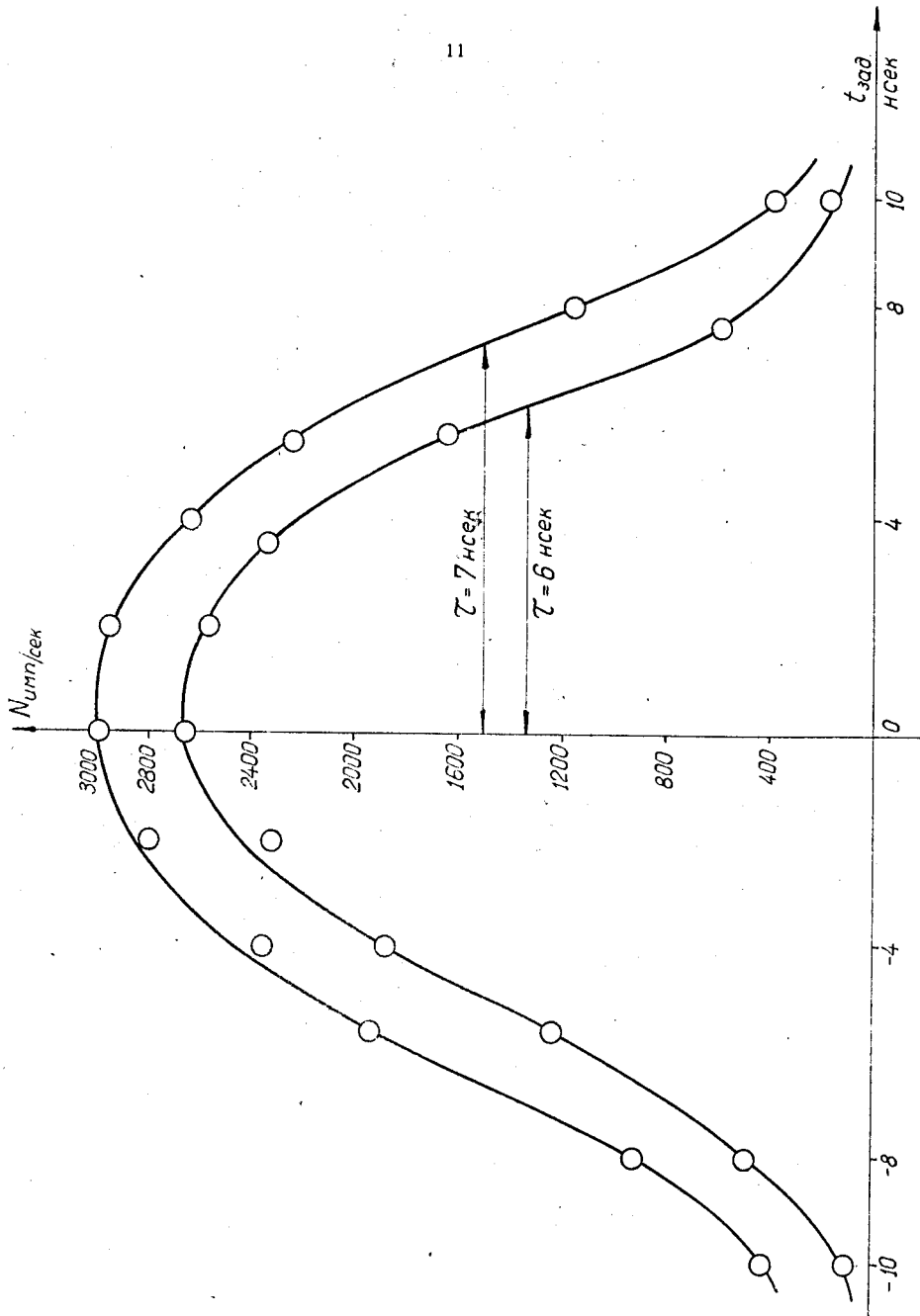


Рис. 3.

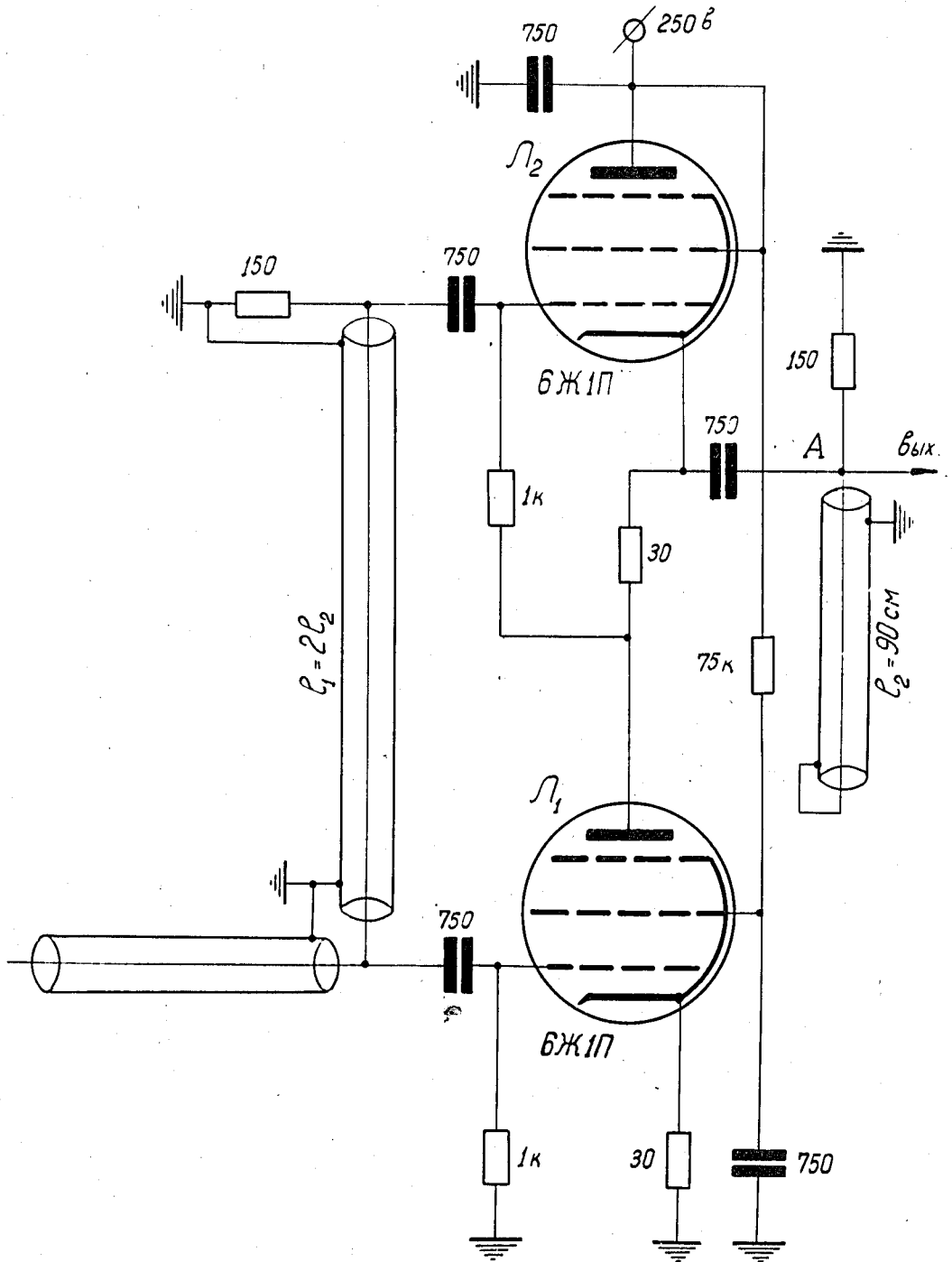


Рис. 4.

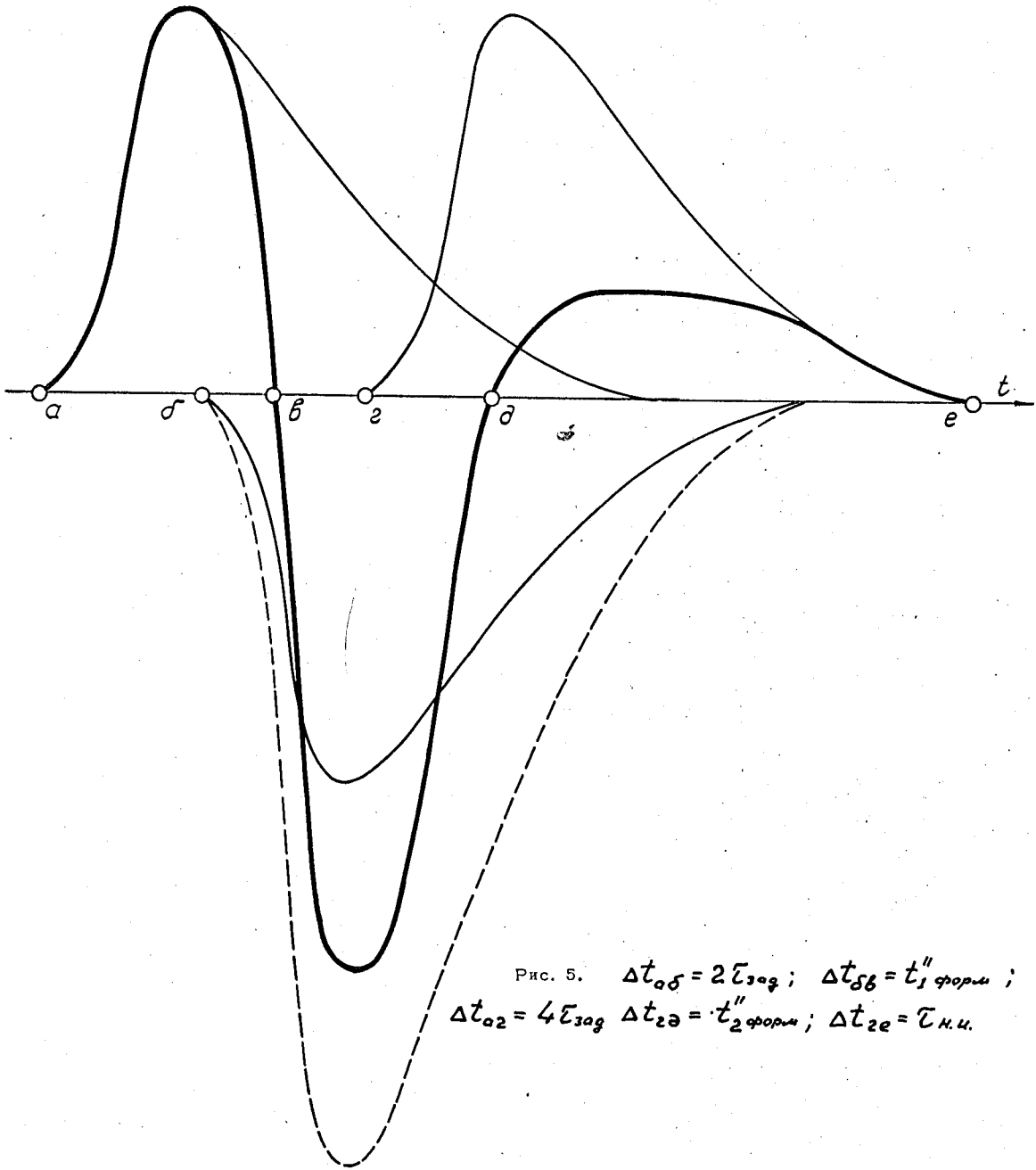


Рис. 5. $\Delta t_{\sigma\delta} = 2\bar{t}_{3\sigma\delta}$; $\Delta t_{\delta\beta} = t''_{\text{форм}}$;
 $\Delta t_{\sigma z} = 4\bar{t}_{3\sigma z}$ $\Delta t_{z\delta} = t''_{2\text{форм}}$; $\Delta t_{z\epsilon} = \bar{t}_{\text{н.ч.}}$

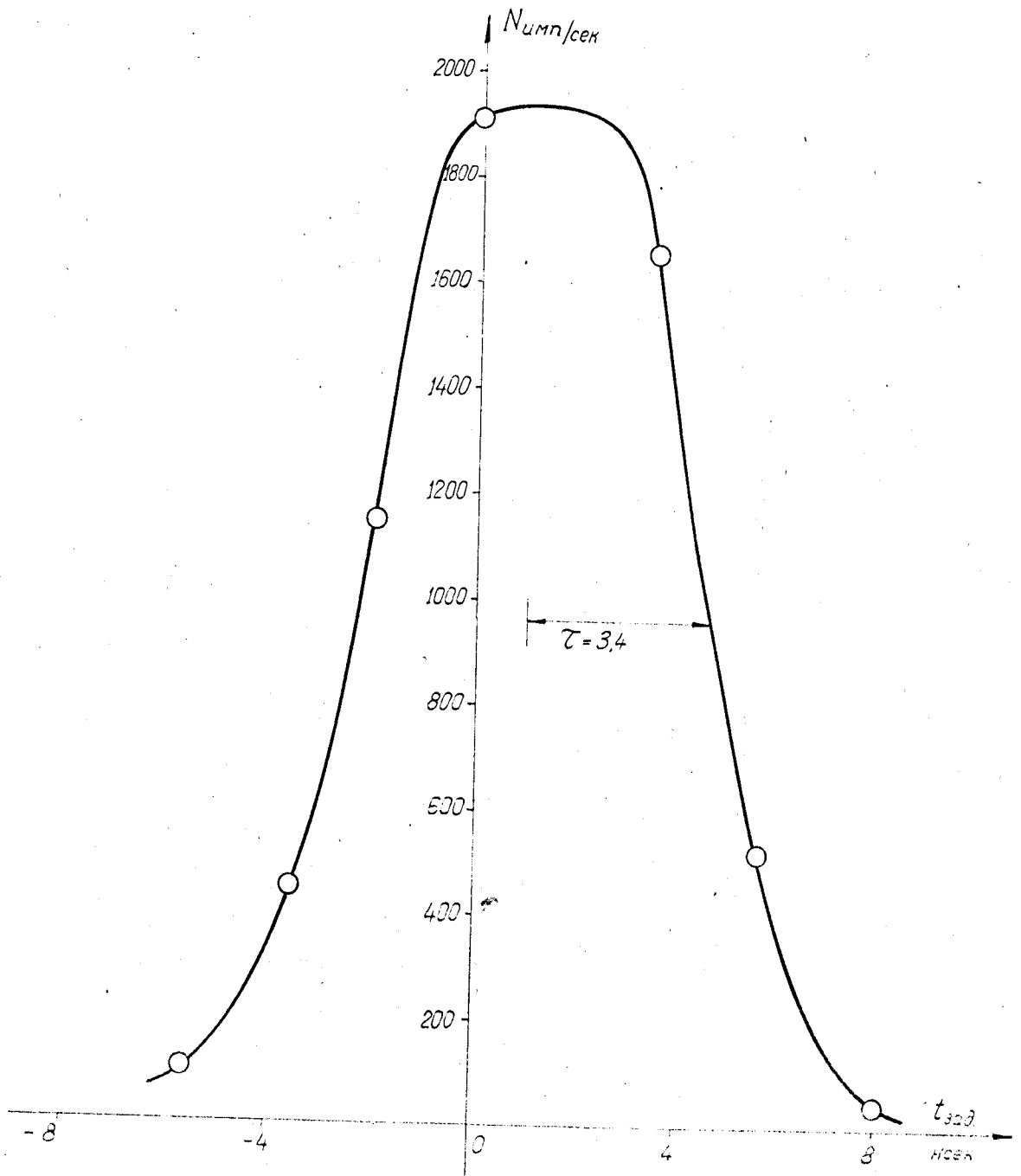


Рис. 6.

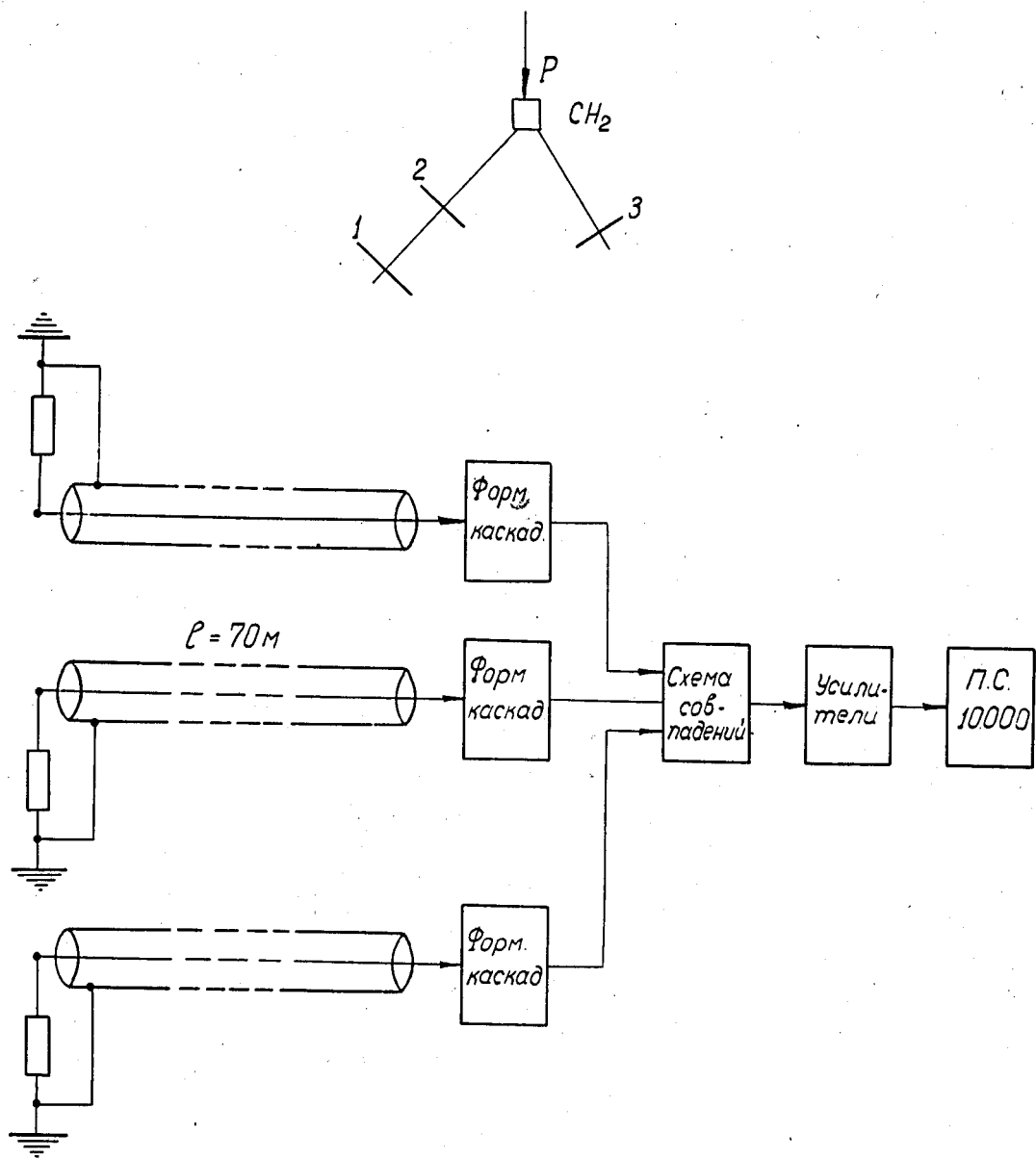


Рис. 7.

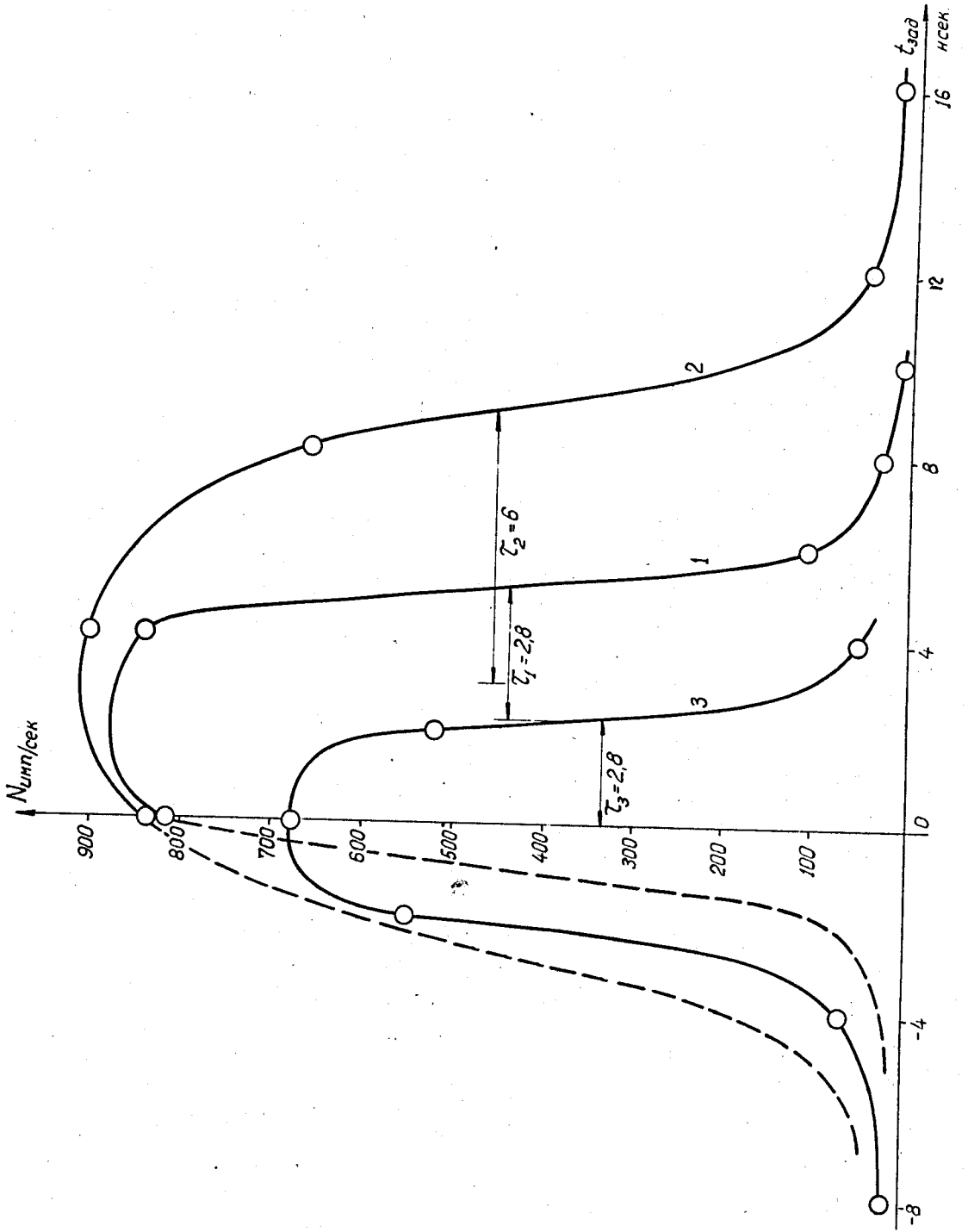


Рис. 8.