

## ГЕНЕРАТОР СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

А. П. ОНУЧИН

Институт ядерной физики Сибирского отделения АН СССР

(Получено 21 апреля 1961 г.)

Описан световой генератор с длительностью импульса  $\sim 1$  нсек. При помощи данного генератора и скоростного осциллографа измерены временные параметры фотоумножителя ФЭУ-33.

Для определения временных параметров современных фотоумножителей необходим импульсный источник света длительностью  $\sim 1$  нсек. В литературе описано несколько способов получения коротких импульсов света. Источники света на основе ламп, наполненных инертными газами [1—3], дают импульсы света длительностью несколько мксек с фронтами  $\sim 10^{-7}$  сек. Методом модуляции яркости в электронно-лучевой трубке [4] получен импульс света, с фронтом  $5 \cdot 10^{-8}$  сек; длительность импульса большая. В работе [5] при помощи механического стробоскопического затвора получен импульс света длительностью  $4 \cdot 10^{-8}$  сек. Применение ячейки Керра, позволяющей получать короткие импульсы света, связано с техникой получения коротких импульсов напряжения с амплитудой  $\sim 10$  кв [6]. Методом искрового пробоя в газе [7, 8] получены импульсы света длительностью  $\sim 1$  нсек. В недавно опубликованной работе [14] в качестве импульсного источника света наносекундной длительности используются полупроводниковые триоды.

В данной работе ставилась задача получения импульсного источника света, при помощи которого можно было бы определять временные параметры фотоумножителей, а также проводить наладку схем совпадений с малым разрешающим временем. Наиболее удобным для данной цели оказался метод искрового разряда в газе при высоком давлении. Исследованию разрядов в газах посвящено большое число работ (подробные ссылки имеются в работах [9, 10]). Свечение искрового разряда в газе при большом давлении обладает интенсивным сплошным спектром и большим числом линий возбужденных состояний атомов, молекул и ионов, а ширина спектральных линий достигает нескольких ангстрем [11]. Для получения коротких импульсов света большой интерес представляет время высвечивания искрового разряда после того, как импульс напряжения кончился. Учитывая ширину спектральных линий, можно оценить среднее время жизни возбужденного состояния  $\Delta t \approx \hbar / \Delta E = 10^{-13} \div 10^{-11}$  сек.

При изучении быстрых разрядов в газе при помощи электронно-оптического преобразователя [12] обнаружили на фоне общего канала искры область яркого свечения. Среднее время высвечивания в этой области не превышает  $10^{-11}$  сек. Эти данные показывают, что можно получать короткий импульс света в искровом разряде, если использовать короткие импульсы напряжения.

### КОНСТРУКЦИЯ ГЕНЕРАТОРА

В работе исследованы возможности получения коротких импульсов света при помощи реле, используемого для генериро-

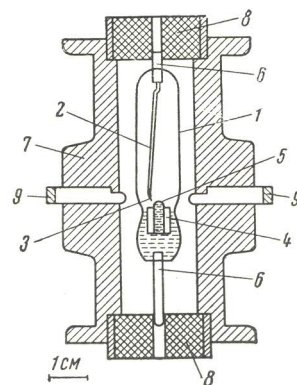


Рис. 1. Конструкция генератора

вания наносекундных импульсов напряжения в генераторе ГКИ-4Б [13]. На рис. 1 показана конструкция импульсного источника света. В стеклянной колбе 1 находится стальная пружинка 2, которая может колебаться под действием переменного магнитного поля. На конце пружинки платиновый наконечник 3, который образует один контакт реле. Вторым контактом служит капля ртути. Внизу колба сужена и вместе со стеклянной трубкой 4 образует капилляр. Под действием сил поверхностного натяжения ртути в капилляре создается давление, которое поддерживает столб в трубке 4 на более высоком уровне, чем в капилляре. На конце трубки 4 ртуть образует выпуклый мениск 5, который и служит вторым контактом. При колебаниях пружинки капля ртути частично срезается, а затем восстанавливается за счет ртути, поступающей из трубки 4. Пространство внутри колбы заполнено водородом под давлением  $\sim 10$  ат. От ртути и пружинки сквозь стекло сделаны выводы 6.

Реле помещено внутри коаксиального латунного корпуса 7 и крепится при помощи выводов 8 в разъемах 8 кабеля на 75 ом.

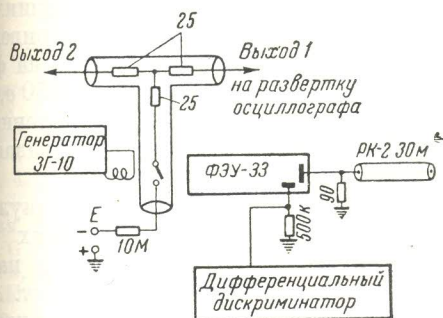


Рис. 2. Схема наблюдения импульсов света и напряжения

вертки 2,5 нсек/см. Время нарастания импульса (от 0,1 до 0,9 амплитуды) равно  $1,1 \cdot 10^{-9}$  сек, а ширина импульса на полувысоте  $1,8 \cdot 10^{-9}$  сек.

ИМПУЛЬСЫ СВЕТА

Схема наблюдения световых импульсов при помощи фотоумножителя ФЭУ-33 приведена на рис. 2. Так как RC анодной цепи фотоумножителя значительно меньше длительности импульса, то форма импульса напряжения на кабеле повторяет форму импульса тока. Ниже показано, что время пролета электронов в ФЭУ-33 зависит от места образования фотоэлектрона. Чтобы

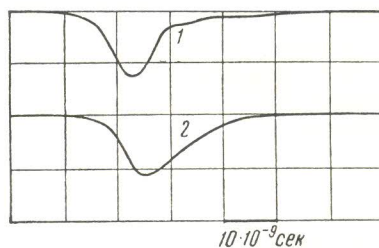


Рис. 4. Импульс с анода ФЭУ-33. 1 — с диафрагмой:  $T_{\phi} = 5,5$  нсек,  $T_{и} = 6,7$  нсек; 2 — без диафрагмы:  $T_{\phi} = 6,5$  нсек,  $T_{и} = 14 \cdot 10^{-9}$  сек. Скорость развертки 10 нсек/см

исключить искажение импульса этим эффектом, фотокатод закрывался темной бумагой с отверстием  $\phi$  4 мм в центре фотокатода. Чувствительность осциллографической трубки мала для наблюдения импульсов с анода фотоумножителя, поэтому использовался усилитель осциллографа, время нарастания которого  $4,5 \cdot 10^{-9}$  сек. На рис. 4 (кривая 1) приведена осциллограмма импульса с анода фотоумножителя при скорости развертки 10 нсек/см. Время нарастания импульса  $5,5 \cdot 10^{-9}$  сек, а его длительность на полувысоте  $6,7 \cdot 10^{-9}$  сек. Ясно, что эти данные не определяют длительности светового импульса, поскольку они в значительной степени зависят от фотоумножителя и усилителя осциллографа. Для оценки эффекта удлинения импульса фотоумножителем и усилителем осциллографа были проведены наблюдения шумовых импульсов с фотоумножителя. Получены следующие данные:  $t_{\phi} = 5,5 \cdot 10^{-9}$  сек,  $t_{и} = 6,5 \cdot 10^{-9}$  сек. По-

Колебания пружинки возбуждаются электромагнитом 9, сделанным из железа армко. На катушка электромагнита питается от генератора звуковой частоты ЗГ-10, частота колебаний которого устанавливается в резонанс с собственной частотой колебаний пружинки. Нижний разъем вместе с вводом реле образуют формирующую линию длиной 5 см, которая через сопротивление 10 Мом заряжается до напряжения E. При сближении контактов происходит искровой пробой разрядного промежутка и образуется импульс напряжения на кабеле. Искра через отверстия в корпусе производит засветку катодов фотоумножителей. Таким образом, описанная конструкция позволяет получить одновременные импульсы света и напряжения.

ИМПУЛЬСЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Импульс напряжения раздваивался на согласованном тройнике 75 ом (рис. 2). Выход 1 использовался для запуска развертки скоростного осциллографа ИСО-1, а импульс с выхода 2 через кабель РК-1 длиной 20 м подавался на пластины осциллографа с чувствительностью 5 в/мм. На рис. 3 приведена осциллограмма импульса при скорости раз-

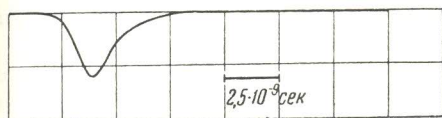


Рис. 3. Импульс напряжения генератора:  $t_{\phi} = 1,1 \cdot 10^{-9}$  сек,  $t_{и} = 1,8 \cdot 10^{-9}$  сек. Скорость развертки 2,5 нсек/см

сколькx шумовые импульсы вызываються в основном единичными электронами или, иначе говоря, мгновенными световыми вспышками, то из сравнения длительности шумового импульса и импульса от источника света следует заключить, что длительность световой вспышки не превышает 1 *нсек*.

Для некоторых измерений важно знать, каковы флуктуации интервала между моментами возникновения импульса напряжения и световым импульсом. В данной схеме включения эти флуктуации можно оценить по смещению импульсов по оси абсцисс на экране осциллографической трубки. Измеренные таким образом суммарные флуктуации, включая флуктуации фотоумножителя и осциллографа, не превышают  $2 \cdot 10^{-10}$  *сек*.

Для определения флуктуаций амплитуд световых вспышек снимался дифференциальный спектр импульсов с последнего динода ФЭУ-33 при помощи одноканального дискриминатора; при этом освещалась вся площадь фотокатода. Амплитудное разрешение составляло 10% при  $E = 100$  *е*, когда амплитуда импульса была в 4 раза меньше, чем амплитуда пика светового импульса от NaJ(Tl), облучаемого  $\gamma$ -квантами Cs<sup>137</sup>. Зависимость амплитуды светового импульса от  $E$  линейная (проверено от 100 до 300 *е*). Амплитуда светового импульса зависит от формы ртутного электрода, а также от частоты и амплитуды звукового генератора. У разных экземпляров реле эти зависимости разные. Для увеличения стабильности амплитуды светового генератора специально повышали стабильность частоты ЗГ-10. Тем не менее стабильность амплитуды светового генератора невысокая. Так, в течение 2—3 дней изменения амплитуды составляли 10÷15%, а в течение более длительного времени изменения доходили до 20÷30%. Размер искры меньше 1 *мм*, что во многих практически важных случаях позволяет рассматривать источник как точечный. Частота следования импульсов (160 *цп*) вполне достаточна для наблюдения импульсов на осциллографе.

#### ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФЭУ-33

При помощи описанного генератора и осциллографа ИСО-1 были проведены измерения зависимости времени пролета электронов от места образования фотоэлектронов. Для

этого применялись диафрагмы  $\phi$  4 *мм*, располагавшиеся на разных расстояниях от центра фотокатода. В таблице приведены результаты измерений. Напряжение на фотоумножителе 2350 *е*, режим распределения соответствовал указаниям в паспорте.

№г	$r$ , мм	$T$ , <i>нсек</i>
1	0	46
2	10	51
3	13	53

Форма импульсов во всех случаях одинакова, ширина на полувысоте 6,7 *нсек*. Ам-

плитуда импульсов в положении №2 такая же, как и в положении №1, а в положении №3 примерно вдвое меньше.

При освещении всей площади фотокатода неодинаковое время пролета электронов с разных участков фотокатода приводит к тому, что импульс становится длинней. На рис. 4 (кривая 2) приведена осциллограмма импульса с анода фотоумножителя в условиях, когда освещался весь фотокатод. Длительность фронта импульса равна  $6,5 \cdot 10^{-9}$  *сек*, а длительность на полувысоте  $14 \cdot 10^{-9}$  *сек*. Учитывая время нарастания усилителя осциллографа, можно оценить длительность фронта импульса  $T_{\phi} \approx \sqrt{(6,5)^2 - (4,5)^2} = 4,8$  *нсек*. Неодинаковое время пролета приводит также к флуктуациям интервала между моментами световой вспышки и импульса напряжения на выходе фотоумножителя. Особенно велики эти флуктуации в том случае, когда число фотоэлектронов от одной световой вспышки мало. При  $E = 100$  *е* эти флуктуации не превышали 1 *нсек*.

Приведенные данные относятся к одному наиболее характерному экземпляру ФЭУ-33. У некоторых экземпляров длительность фронта несколько короче, а у других достигает 7 *нсек*. Возможность наблюдения формы импульса на осциллографе позволяет подобрать наилучший режим распределения напряжений для каждого фотоумножителя. Для некоторых экземпляров удается подобрать такой режим, при котором фронт становится почти вдвое короче, а время спада значительно уменьшается по сравнению с типовым (паспортным) режимом.

В заключение считаю приятным долгом выразить благодарность Б. Г. Ерозолискому и А. Г. Хабахпашеву за обсуждение результатов работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. W. D. Chesterman, D. R. Glegg, G. T. Egck, A. J. Meadowcroft, Proc. Inst. Electr. Engrs. II, 1951, 98, № 65, 619.
2. T. F. Godlove, W. S. Wadey, Rev. Scient. Instrum., 1954, 25, 1.
3. Ю. К. Барсуков, Ж. техн. физ., 1956, 24, 475.
4. Ю. К. Барсуков, А. Р. Регель, Ж. техн. физ., 1954, 24, 1729.
5. M. Garbuny, T. P. Vogl, J. R. Hansen, Rev. Scient. Instrum., 1957, 28, 826.
6. A. M. Zarem, F. R. Marshall, F. L. Pool, Electronic Engng, 1949, 68, 282.
7. J. H. Malmberg, Rev. Scient. Instrum., 1957, 26, 1027.
8. Q. A. Kerns, F. A. Kirsten, G. C. Cox, Rev. Scient. Instrum, 1959, 30, 31.
9. Н. А. Капцов, Электрические явления в газах и вакууме, 1950, Гостехиздат.
10. Н. К. Суходрев, С. Л. Мандельштам, Оптика и спектроскопия, 1959, 6, 723.
11. С. Л. Мандельштам, Н. Н. Соболев. Ж. эксперим. и теор. физ., 1950, 20, 323.
12. Е. К. Завойский, С. Д. Фанченко, Докл. АН СССР, 1955, 100, 661.
13. Изыскание возможностей построения радиоизмерительных приборов, использующих ультракороткие импульсы, для целей измерения параметров приемных устройств, усилителей и линий передач, ГКРЭ, 1959.
14. H. W. Kendall, IRE Trans. Nucl. Sci., 1960, 7, 202.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНЫХ ЛАМП В РЕЖИМЕ ПОВТОРНЫХ РАЗРЯДОВ

В. И. ИСАЕНКО, Г. Н. ТРАВЛЕЕВ

Государственный оптический институт

(Получено 24 апреля 1961 г.)

Описана установка, позволяющая получать данные о диапазоне рабочих напряжений и восстановлении электрической прочности искрового промежутка импульсных ламп, включаемых с частотой повторения до 20 кГц при средней мощности 1 квт.

При работе разрядного промежутка в режиме повторных разрядов к моменту очередного разряда между электродами остается частично ионизованный и разогретый газ, снижающий электрическую прочность промежутка. Методика получения характеристик восстановления электрической прочности после одиночных разрядов описана в [1, 2]. Аналогичные характеристики для разрядов в атмосфере различных газов, следующих с малой частотой повторения при небольших разрядных токах, приведены в [3]. Позднее [4] были проведены измерения пробивных напряжений и нагрузочных характеристик искровых промежутков, работающих с частотой до 1,5 кГц, которые показали, что с увеличением частоты повторения вспышек общий разогрев искрового промежутка существенно снижает пробивные напряжения импульсных ламп.

Установка описываемая в данной работе, обеспечивает исследование электрических характеристик импульсных ламп в широком диапазоне частот. Измерительные схемы установки позволяют вести точный счет нерегулярных пропусков вспышек и преждевременных пробоев, а также снимать вероятностную кривую восстановления электрической прочности промежутка, не нарушая режима работы импульсной лампы.

### ПРИНЦИП РАБОТЫ УСТАНОВКИ

Блок-схема установки представлена на рис. 1. Установка состоит из двух каналов, один из которых (блоки 1—5) управляет работой импульсной лампы ИЛ, в то время как другой (блоки 6—11) обеспечивает измерение режима работы искры и восстановления пробивного напряжения.

Искровой промежуток включается с высокой частотой повторения с помощью схемы, обеспечивающей заряд емкости в течение малой доли периода повторения вспышек. Конденсатор  $C$  заряжается через импульсный триод ГМИ-30 в момент отпирания его управляющим импульсом длительностью 5—20 мксек. Управляющий импульс формируется в блоке 2 из синусоидального напряжения (блок 1) и подается через усилитель 3 на зарядные лампы (блок 5). Спустя 2 мксек после запираания зарядных ламп