

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



13-4667

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

П.И. Филиппов

ИМПУЛЬСНОЕ ПИТАНИЕ БЕСФИЛЬМОВЫХ
ИСКРОВЫХ КАМЕР НА ТИРИСТОРАХ

1969

13-4667

П.И. Филиппов

ИМПУЛЬСНОЕ ПИТАНИЕ БЕСФИЛЬМОВЫХ
ИСКРОВЫХ КАМЕР НА ТИРИСТОРАХ

Направлено в ПТЭ

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

В работе рассматриваются возможности использования тиристорov в качестве ключей оконечных каскадов генераторов высоковольтных импульсов для импульсного питания бесфильмовых искровых камер. Экспериментально исследуются особенности работы и схемные решения таких генераторов и предлагаются меры для получения минимально возможного времени задержки и времени нарастания фронта в.в. импульса.

Методика бесфильмовых искровых камер (ИК) находит все более широкое и разностороннее применение в экспериментальной ядерной физике. В экспериментальных установках в подавляющем большинстве случаев используется значительное число ($\approx 10 \div 18$) бесфильмовых искровых камер. Это усложняет систему импульсного в.в. питания. В поисках путей упрощения и уменьшения габаритов таких систем мы исследовали возможности применения тиристорov в качестве ключей для генераторов в.в. импульсов (ГВИ).

Полупроводниковые схемы все чаще находят применение в смешанных транзисторно-ламповых схемах ГВИ для предварительного усиления сигнала, для запуска разрядников и т.д. Требованиям, предъявляемым к управляемому ключу в оконечном каскаде ГВИ для импульсного питания бесфильмовых ИК из полупроводниковых приборов, в настоящее время могут удовлетворить тиристоры (кремниевые четырехслойные управляе-

мые диоды). По сравнению с мощными полупроводниковыми триодами они имеют следующие преимущества: значительно более высокие прямые и обратные напряжения, более высокие допустимые значения токов, способность выдерживать более значительные перегрузки по току в импульсном режиме; кроме того, тиристоры являются приборами с очень большим коэффициентом усиления по мощности ($\approx 10^4 + 10^6$ в зависимости от типа тиристора и его режима) и требуют меньшей мощности управления.

Недостатком тиристоров как переключающих элементов является сравнительно большое время включения: если лучшие образцы тиристоров по задержке (до начального момента развития включения) и сравнимы с водородными тиратронами, то в скорости нарастания тока они значительно уступают последним и имеют относительно большую длительность времени выключения.

Однако перспективы развития полупроводниковых приборов данного типа, связанные с увеличением быстродействия за счет уменьшения времени включения и выключения, возрастания скорости изменения анодного тока, а также с улучшением других параметров в связи с применением новой технологии и разработок более совершенных конструкций позволит в ближайшее время иметь полупроводниковые ключи с параметрами, близкими к параметрам водородных тиратронов или сравнимыми с ними. Поэтому уже сейчас, учитывая особенности работы тиристоров^{1/} в качестве переключающих элементов, необходимо искать схемные решения, которые позволят использовать их в качестве ключей в окончательных каскадах ГВИ для импульсного питания бесфильмовых искровых камер.

Оконечные каскады ГВИ на тиристорах

Нами были отработаны две схемы окончных каскадов ГВИ для импульсного питания бесфильмовых ИК на тиристорах и схема каскада управления на двух транзисторах. Первая схема окончного каскада - на одном тиристоре и вторая схема - с двумя последовательно включёнными тиристорами.

Принцип работы и устройства магнитных генераторов импульсов здесь не применим, поскольку в них происходит слишком большая задержка при формировании импульсов /2/.

Исходя из основных требований, предъявляемых к ГВИ для импульсного питания бесфильмовых ИК (возможно наименьшее время задержки и нарастания фронта в.в. импульса), а также особенностей работы тиристоров в качестве переключающих элементов, мы разработали схемы окончных каскадов ГВИ на тиристорах. Мы старались придерживаться простых схемных решений и стремились к тому, чтобы основные элементы схем удовлетворяли многоцелевым назначениям.

Как известно, для импульсного питания бесфильмовых ИК необходимая амплитуда в.в. импульсов лежит в пределах $\approx 3+10$ кв. Тиристоры, которые могут быть применены в качестве переключающих элементов, на такие напряжения пока еще нет, поэтому необходим импульсный повышающий трансформатор.

Искровая камера как нагрузка окончного каскада ГВИ представляет собою комплексное сопротивление. Поэтому, как отмечалось в работе /3/, для согласования комплексных сопротивлений и формирования в.в. импульса в качестве накопительного элемента в окончном каскаде ГВИ целесообразнее применять однородные и неоднородные линии. Однородные линии позволяют согласовывать комплексные сопротивления только в узкой полосе частот. Выбором закона изменения волнового сопротивления неоднородной линии можно осуществлять согласование таких сопротивле-

ний в широкой полосе частот. Кроме того, применение неоднородных линий для целей формирования высоковольтного импульса дает возможность получить импульсы, близкие к прямоугольным или заданной формы на некоторых комплексных сопротивлениях, а также импульсы большей амплитуды чем $E/2$ при той же скорости нарастания напряжения.

Исходя из вышеизложенных предпосылок, мы составили схемы окончных каскадов ГВИ с однородной линией (а) и с неоднородной линией (б) (см. рис. 1). В качестве ключей (К) использовались тиристоры. Импульсный трансформатор в приведенных схемах окончных каскадов ГВИ выполняет следующие функции: повышает напряжение до заданного уровня, осуществляет согласование с нагрузкой, а также разделение окончного каскада генератора и нагрузки по постоянному току.

Для сердечников импульсных трансформаторов необходимы материалы с малой коэрцитивной силой и большой индукцией насыщения, обладающие минимальной магнитной проницаемостью насыщения и имеющие по возможности прямоугольную петлю гистерезиса. Очень важно также, чтобы потери энергии в динамическом режиме перемагничивания были минимальны. Перечисленным требованиям наилучшим образом удовлетворяют железоникелевые сплавы (пермаллой). Существуют и другие материалы, которые во многих отношениях не уступают им. Возможно также применение для указанной цели ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса. В последних вследствие высокого удельного сопротивления влияние вихревых токов ничтожно мало. Однако по магнитным свойствам ферриты значительно уступают металлическим ферромагнитным сплавам.

Чтобы импульсный трансформатор не вносил значительного вклада в задержку и в общую длительность фронта в.в. импульса, а также по конструктивным соображениям диапазон возможных значений коэффициента трансформации K_T должен быть весьма ограниченным. Его значения выбираются в пределах $K_T \leq 10 + 14$. Обмотки лучше всего применять однослойные.

Если импульсный выходной трансформатор использовать одновременно и как нелинейную индуктивность, включенную, как показано на рис. 1, то можно добиться укорочения фронта в.в. импульса. В этом случае параметры импульсного выходного трансформатора выбираются с учетом также и требований, предъявляемых к нелинейной индуктивности /4/. Тогда он будет одновременно выполнять и функцию нелинейной корректирующей индуктивности.

Генераторы в.в. импульсов на полупроводниковых приборах

На рис. 2 представлена принципиальная схема блока ГВИ, состоящего из окончного каскада на тиристоре D_1 и каскада управления тиристором на двух соединенных последовательно транзисторах T_1 и T_2 . Для управления открыванием тиристора необходима мощность порядка сотых-десятых долей ватта и длительности открывающих импульсов $\approx 0,1 + 0,3$ мксек. Поэтому для формирования импульса необходимой длительности в цепь транзисторов T_1, T_2 включена формирующая однородная линия, а для обеспечения необходимой мощности управления использовались транзисторы средней мощности КТ 605 А-Б и транзисторы большой мощности. Диоды Д206 с резисторами 43к, 1,8 к и емкостью ЭТ01 - 15 мкф служили для подачи отрицательного запирающего напряжения на управляющий электрод тиристора D_1 . Для уменьшения тока утечки тиристора D_1 в анодную цепь было включено зарядное сопротивление 20к. В качестве накопительного элемента использовалась неоднородная линия с одинаковыми емкостями и с малым волновым сопротивлением. Выходной импульсный трансформатор Tr_2 включался таким образом, чтобы он выполнял и функцию корректирующей нелинейной индуктивности. Если его включить в другую соединительную ветвь накопительного элемента, то

не только значительно ухудшается фронт нарастания в.в. импульса, но и удлиняется время задержки каскада. Для устранения последующих выбросов после первого в.в. импульса, характерных для тиристоров, первичная обмотка выходного импульсного трансформатора Tr_2 шунтируется диодом Д-211 (см. рис. 2) последовательно с резистором ≤ 1 ом или без него. На рис. 3 представлена принципиальная схема блока ГВИ, состоящего из оконечного каскада на двух последовательно соединенных тиристорах D_1 и D_2 и каскада управления тиристорами на двух транзисторах T_1 и T_2 .

Каскад управления тиристорами такой же, как и на схеме рис.2. Для оконечного каскада ГВИ на двух последовательно соединенных тиристорах D_1 и D_2 добавляется делитель на двух резисторах по 100к и диод Д211, падение напряжения на котором служит для запираания тиристора D_1 . Кроме этого, на управляющие электроды обоих тиристоров одновременно подаются управляющие импульсы. Это сделано для того, чтобы открывание тиристоров происходило в одно и то же время. Как показали эксперименты, при подаче управляющего импульса только на один тиристор, например на D_2 , происходит открывание тиристора с временем задержки t_3 , а затем открывание тиристора D_1 примерно с таким же временем задержки. Суммарное время задержки получается равным удвоенному времени задержки ($\approx 2t_3$). При одновременной подаче управляющих импульсов на оба тиристора D_1 и D_2 этот нежелательный эффект устраняется и оба тиристора открываются одновременно (с некоторым очень малым временем разброса) с временем задержки $\approx t_3$.

На рис. 4 представлена фотоосциллограмма управляющего импульса с выхода каскада управления тиристорами. Амплитудное значение импульса $\approx 50+70$ в и длительность на полувывоте импульса - 0,5 мксек.

Мы производили обработку схемных решений на тиристорах типа КУ201Л.

На рис. 5 представлена фотоосциллограмма формы выходного сигнала, характерного для тиристоров, без шунтирующего первичную обмотку Tr_2 диода.

На рис. 6 представлена фотоосциллограмма выходного импульсного напряжения с шунтирующим первичную обмотку Tr_2 диодом. При использовании тиристоров типа КУ201Л были получены следующие данные: при $E = 500+600$ в время задержки всего генератора $t_3 = 0,3+0,4$ мксек, время нарастания фронта высоковольтного импульса $\tau_{\phi} = 0,4$ мксек, амплитуда высоковольтного импульса $U_m = 5+6$ кв; длительность высоковольтного импульса на полувывоте $\approx 0,5$ мксек.

С тиристорами типа КУ202М были получены следующие данные: при $E = 600$ в задержка в.в. импульса всего генератора $t_3 = 150$ нсек, задержка высоковольтного импульса одного оконечного каскада $t_{3ок} = 110$ нсек; фронт нарастания в.в. импульса $\tau_{\phi} = 250$ нсек; амплитуда в.в. импульса $U_m = 6$ кв; длительность в.в. импульса на полувывоте $\approx 0,35$ мксек.

Для ГВИ на тиристорах типа КУ202М на рис. 7 и 8 приведены фотоосциллограммы выходных импульсных напряжений с делителя без шунтирующего первичную обмотку выходного трансформатора диода и с шунтирующим диодом.

Работа генераторов с тиристорами типа КУ202М проверялась на искровой камере (с ферритовой памятью) размерами 200x200x8 мм и собственной емкостью $C_{ук} \approx 180$ пф. Эффективность регистрации космических частиц при использовании неона-гелиевой смеси газов получалась равной $\approx 95+97$ %.

На рис. 9 и 10 приведены фотоосциллограммы тока разряда через ИК при регистрации заряженной частицы. Как можно видеть из рис.8,

по времени задержки в.в. импульса генераторы на тиристорах типа КУ202М сравнимы с генераторами на водородных тиратронах, но по скорости изменения анодного тока (di/dt) уступают последним^{х/}.

В настоящее время разработаны тиристоры с так называемым регенеративным управляющим электродом, в которых при запуске открывается сразу много участков структуры и исключается возможность ее разрушения при больших значениях скоростей изменения анодного тока. Одновременно с этим уменьшается величина сигнала запуска и необходимая мощность управления. По такому принципу созданы КУВ с изменением di/dt на ток 55 а - 400 а/мксек и на ток 110 а - 600 а/мксек^{/5/}. Генераторы в.в. импульсов на таких тиристорах и по скорости изменения анодного тока будут близки к генераторам на водородных тиратронах.

В ы в о д ы

1. Разработанные схемы конечных каскадов ГВИ на тиристорах обеспечивают минимальную задержку каскада, которую можно получить от применяемого тиристора.
2. Использование выходного импульсного трансформатора для целей коррекции значительно улучшает фронт нарастания в.в. импульса без существенного увеличения времени задержки.
3. При последовательном включении тиристорov одновременная подача управляющих импульсов на управляющие электроды обеспечивает их одновременное открывание и такое же время задержки каскада, как на одном тиристоре.

^{х/} Скорость изменения анодного тока di/dt тиристорov типа КУ201Л не превосходит 30+40 а/мксек, а тиристорov типа КУ202М - 50+60а/мксек.

4. Благодаря импульсному повышающему выходному трансформатору, значение напряжения на переключающих элементах может быть в n раз меньше получаемого амплитудного значения в.в. импульса, вследствие чего значительно упрощается система питания таких генераторов и имеется полная возможность использовать в этих целях преобразователи постоянного тока от батарей аккумуляторов и бортовой сети в 6; 12 и 24 вольта.

5. Габариты и вес ГВИ на тиристорах малы, исключается необходимость в громоздких высоковольтных выпрямителях.

6. При использовании тиристорov типа КУ202М были получены следующие данные: при $E = 600$ в задержка в.в. импульса конечного каскада $t_{30к} = 110$ нсек; задержка в.в. импульса всего генератора $t_3 = 150$ нсек; фронт нарастания в.в. импульса $\tau_{\phi} = 250$ нсек; амплитуда в.в. импульса $U_m = 6$ кв; длительность в.в. импульса на полувысоте $\approx 0,35$ мксек.

7. Применение в генераторах в.в. импульсов в качестве переключающих элементов тиристорov более совершенной конструкции с $di/dt \approx 600$ а/мксек и больше позволит таким тиристорам успешно конкурировать с водородными тиратронами, которые в настоящее время широко используются.

Следует отметить, что методика бесфильмовых искровых камер с импульсным питанием на тиристорах (типа КУ202М) уже сейчас может быть применена для изучения космических лучей в трудно доступных районах и в космосе на спутниках, орбитальных станциях и других объектах.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить благодарность Э.Н. Цыганову за внимание к работе и Н.В. Печенову за оперативное выполнение фотографических работ.

Л и т е р а т у р а

1. Полупроводниковые диоды. Параметры, методы измерений. Под ред. Н.Н. Горюнова и Ю.Р. Носова. Изд-во "Сов. радио", 1968.
2. Л.А. Меерович, И.М. Ватин, Э.Ф. Зайцев, В.М. Кандыкин. Магнитные генераторы импульсов. "Сов. радио", 1968.
3. П.И. Филиппов. Препринт ОИЯИ, 13-3958, Дубна, 1968.
4. О.Г. Ильин, А.М. Шендерович. ПТЭ, №1 (1965).
5. Electronics, N 12 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел
19 августа 1969 года.

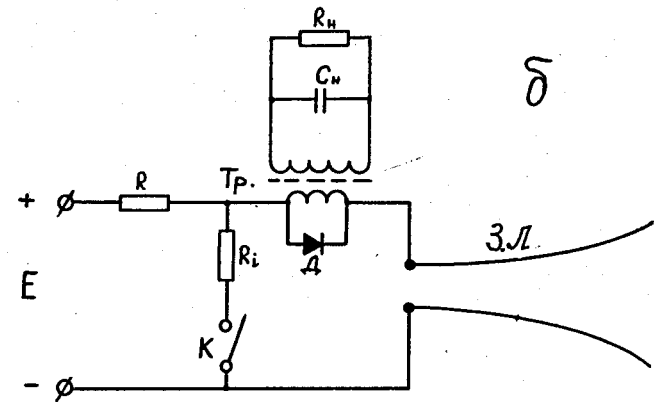
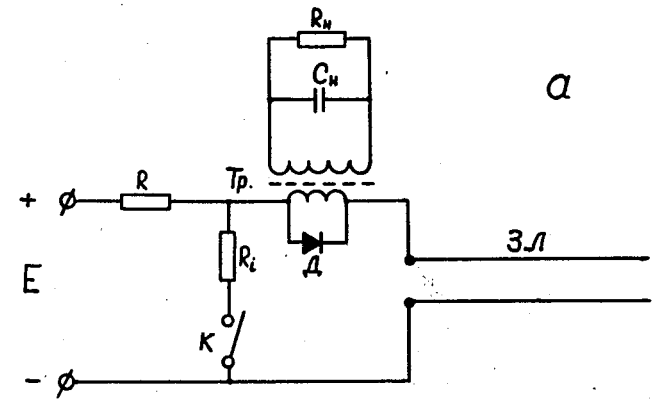


Рис.1. Схемы оконечных каскадов ГВИ на тиристорах с нагрузкой.

Е - анодное напряжение, R - зарядное ограничивающее сопротивление, K - коммутирующий ключ, R_i - внутреннее сопротивление ключа, 3Л - зарядная линия, D - шунтирующий первичную обмотку выходного трансформатора диод, Tr - выходной импульсный трансформатор, C_n - статическая емкость ИК, R_n - сопротивление шунта а) - с однородной линией, б) - с неоднородной линией.

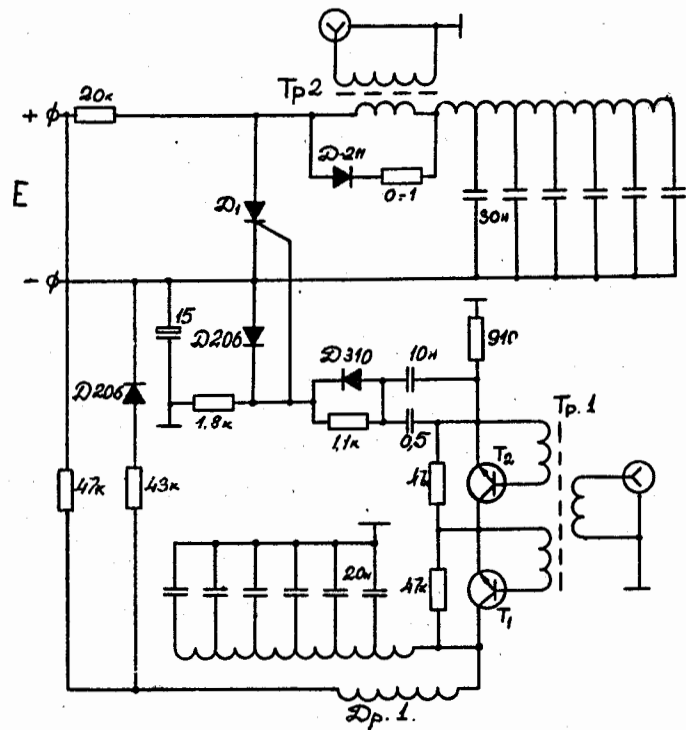


Рис.2. Принципиальная схема ГВИ на тиристоре D_1 .

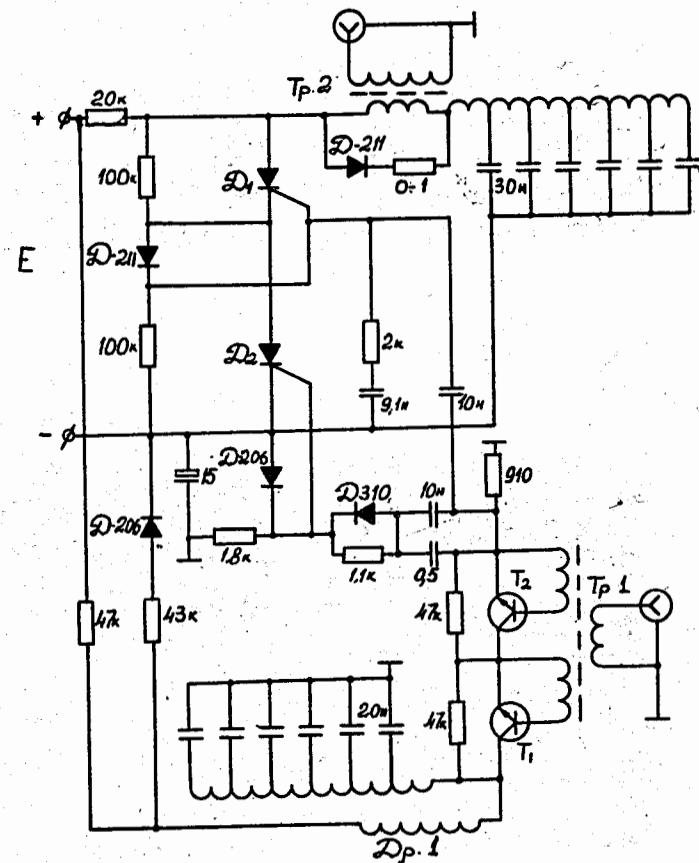


Рис.3. Принципиальная схема ГВИ на двух последовательно соединенных тиристорах D_1 и D_2 .

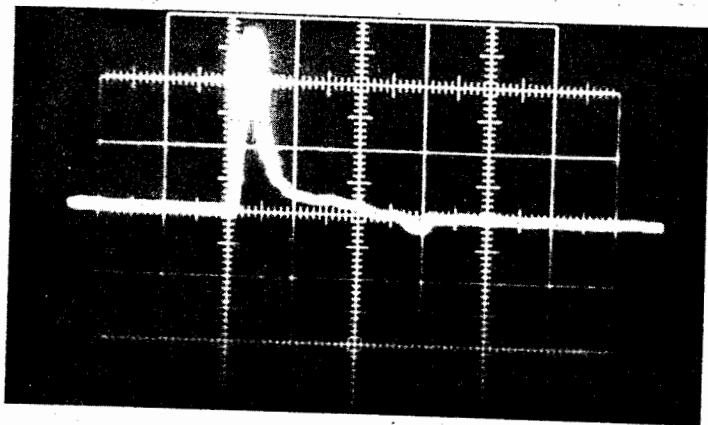


Рис.4. Фотоосциллограмма управляющего импульса с выхода каскада управления. Развертка 1 мксек на 1 см.

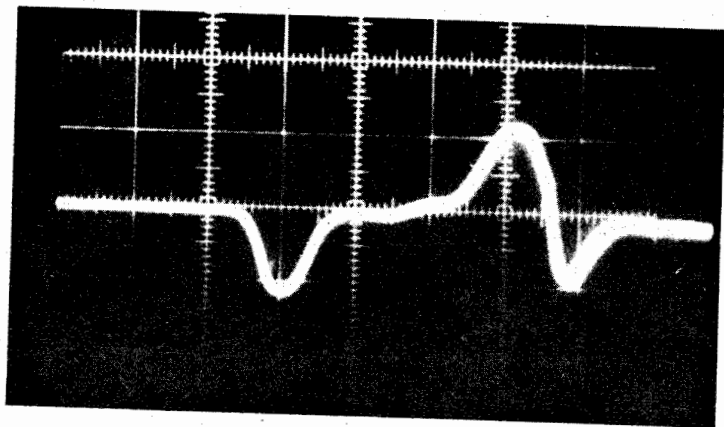


Рис.5. Фотоосциллограмма напряжения с делителя выходного сигнала ГВИ без шунтирующего первичную обмотку выходного трансформатора диода. Развертка 1 мксек на 1 см. Тиристоры типа КУ201Л.

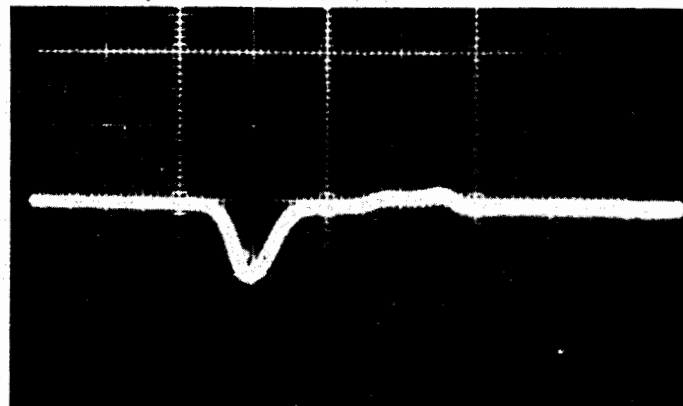


Рис.6. Фотоосциллограмма напряжения с делителя выходного сигнала ГВИ с шунтирующим первичную обмотку выходного трансформатора диодом. Развертка 1 мксек на 1 см. Тиристоры типа КУ201Л.

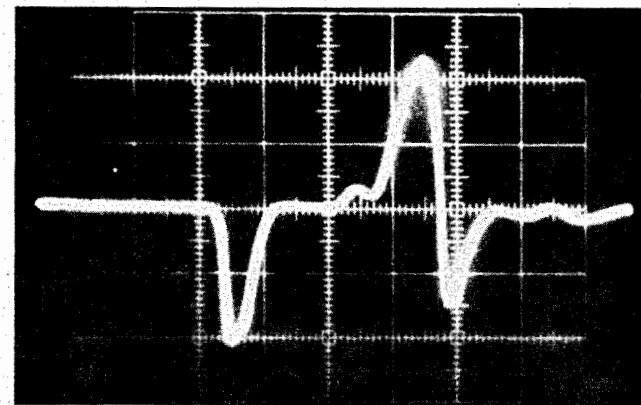


Рис.7. Фотоосциллограмма напряжения с делителя выходного сигнала ГВИ без шунтирующего первичную обмотку выходного трансформатора диода. Развертка 1 мксек на 1 см. Тиристоры типа КУ202М.

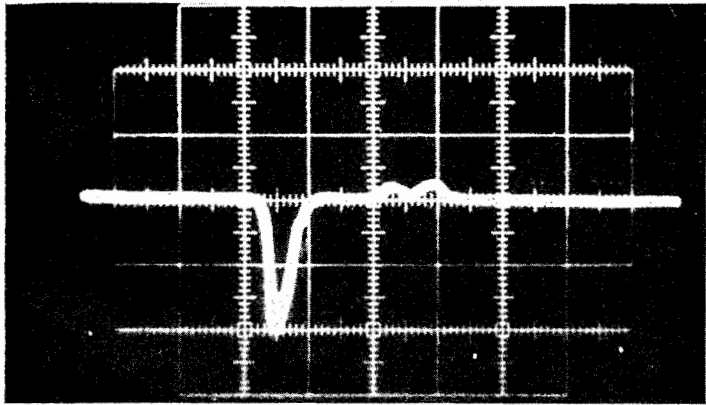


Рис.8. Фотоосциллограмма напряжения с делителя выходного сигнала ГВИ с шунтирующим первичную обмотку выходного трансформатора диодом. Развертка 1 мксек на 1 см. Тиристоры типа КУ202М.

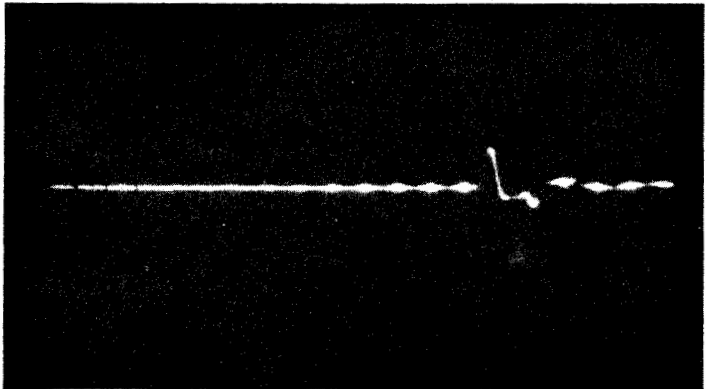


Рис.9. Фотоосциллограмма тока через ИК при регистрации заряженной частицы. Развертка 1 мксек на весь экран, метки -50 нсек.

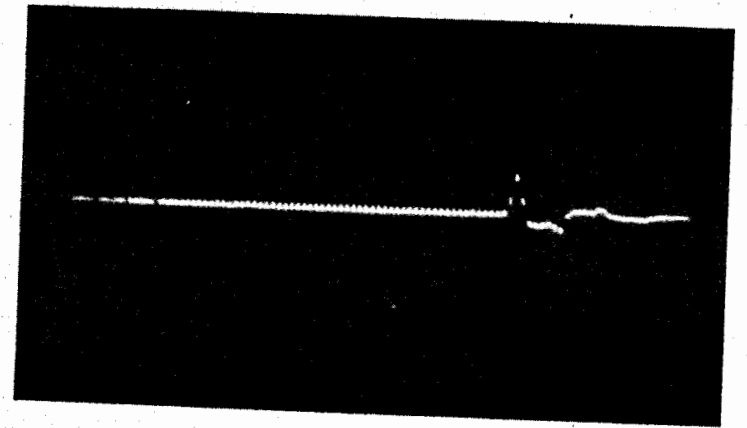


Рис.10. Фотоосциллограмма тока через ИК при регистрации заряженной частицы. Развертка 1 мксек на весь экран, метки - 10 нсек.