

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



576
E-518

3/11-75

13 - 8299

457/2-75

А.Ф.Елишев, П.И.Филиппов

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ
ДЛЯ ОКОНЕЧНЫХ КАСКАДОВ ГЕНЕРАТОРОВ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ПИТАНИЯ
БЕСФИЛЬМОВЫХ ИСКРОВЫХ КАМЕР

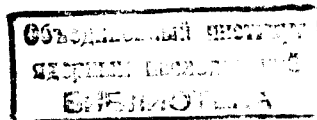
1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

13 - 8299

А.Ф.Елишев, П.И.Филиппов

**ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ
ДЛЯ ОКОНЕЧНЫХ КАСКАДОВ ГЕНЕРАТОРОВ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ПИТАНИЯ
БЕСФИЛЬМОВЫХ ИСКРОВЫХ КАМЕР**



В данной работе рассматриваются возможности электронных вакуумных ламп в качестве коммутирующих элементов в оконечных каскадах генераторов высоковольтных импульсов для питания бесфильмовых искровых камер. Ранее, в работе /1/ отмечалось, что электронные лампы в качестве коммутирующих элементов оконечных каскадов ГВИ по сравнению с водородными тиратронами и вакуумными искровыми реле /ВИР/ обладают целым рядом преимуществ.

В настоящее время у нас выпускается серия импульсных модуляторных тетродов на напряжения до 60 кВ и токи в сотни ампер, соответственно на мощности свыше 10 МВт.

В работе /1/ обосновывается выбор лампы - генераторного импульсного триода ГИ-17, в качестве коммутирующего элемента оконечных каскадов ГВИ для высоковольтного импульсного питания бесфильмовых искровых камер.

В данной работе мы рассмотрим возможности лампы ГИ-17 как коммутирующего элемента и конструктивные улучшения в смысле дополнительных радиаторов, которые обеспечивают ее естественное /не принудительное/ охлаждение.

Указанные выше конструктивные улучшения позволяют использовать эти лампы в оконечных каскадах ГВИ, устраняя неудобства, связанные с необходимостью принудительного воздушного охлаждения, упрощая конструкцию ГВИ и улучшая эксплуатационные данные и надежность.

Импульсный генераторный триод ГИ-17 - коммутирующий элемент оконечных каскадов ГВИ

Для импульсного высоковольтного питания бесфилъмовых искровых камер малых и средних размеров в качестве коммутирующего элемента для оконечных каскадов в настоящее время наиболее подходящей электронной лампой является импульсный генераторный триод ГИ-17 ^{/1/}.

Лампа ГИ-17 сравнительно малогабаритна, достаточно широкополосна /наибольшая рабочая частота до 500 МГц/, допустимое анодное напряжение $U_a = 9 \text{ кВ}$. Оксидный катод ГИ-17 обладает большой эмиссионной способностью /площадь оксидного покрытия $S \approx 8 \text{ см}^2$ /. При эксплуатации лампы необходимо принудительное воздушное охлаждение анода $130 \pm 150 \text{ л/мин}$ / $9 \text{ м}^3/\text{час}$ / и сеточного вывода $25 \pm 30 \text{ л/мин}$ / $1,8 \text{ м}^3/\text{час}$ /. Это затрудняет применение таких ламп в оконечных каскадах ГВИ, особенно когда необходимо располагать блоки ГВИ около каждой искровой камеры и в эксперименте используется до 15 ± 20 и более ИК. Постановка отдельного вентилятора на каждый оконечный каскад ГВИ увеличивает его габариты и стоимость, система воздухопроводов сложна и неудобна. Кроме того, необходимо предусмотреть защиту каждой лампы. Все это значительно усложняет и удорожает установку импульсного высоковольтного питания ИК на таких лампах и, естественно, приводит к меньшей надежности установки. Чтобы устранить этот существенный недостаток, препятствующий использованию ламп ГИ-17 в оконечных каскадах ГВИ, нами была сконструирована система дополнительных радиаторов к лампе ГИ-17, которые обеспечивают ее естественное /не принудительное/ охлаждение.

В основном необходимо рассеять $\sim 50 \text{ Вт}$ мощности, которая выделяется подогревателем катода. Для этой цели на анодный радиатор лампы ГИ-17 в его пазы запрессовываются две половинки радиатора /анодного/ с увеличенной поверхностной площадью, на сеточный вывод навинчивается сеточный радиатор и на вывод

катод-подогреватель ставится вспомогательный радиатор. Радиаторы изготавливаются из дюралюминия с последующим чернением. Радиаторы по элементам и лампа ГИ-17 показаны на *рис. 1*. Общий вид лампы ГИ-17 с системой радиаторов показан на *рис. 2*. Лампа ГИ-17 имеет малые межэлектродные емкости и индуктивности выводов с системой дополнительных радиаторов, поэтому паразитные емкости увеличиваются незначительно. Если ранее в работе ^{/1/} передний фронт высоковольтных импульсов с оконечного каскада на нагрузку /омическое сопротивление $R_H = 100 \text{ Ом}$ / был равен $\sim 10 \text{ нсек}$, то с системой дополнительных радиаторов для одной лампы ГИ-17 и двух /в параллель/ он стал $\sim 10 \pm 12 \text{ нсек}$. Как показала экспериментальная проверка и работа блоков ГВИ в ряде экспериментов с такой системой дополнительных радиаторов и естественным охлаждением, долговечность ламп ГИ-17 не ухудшается и соответствует паспортным данным $\sim 500 \text{ час}$.

Важнейшими параметрами, характеризующими коммутирующие элементы для оконечных каскадов ГВИ, являются следующие:

1. Допустимое /анодное/ напряжение.
2. Максимальный импульсный /анодный/ ток.
3. Допустимые мощности, рассеиваемые электродами.
4. Скорость изменения тока $\frac{di}{dt}$ при коммутации.
5. Время задержки при коммутации.
6. Долговечность.

Отмеченные важнейшие параметры в пунктах 1,2,3 обычно указываются в справочниках.

Скорость изменения тока $\frac{di}{dt}$ и время задержки при коммутации - важные параметры коммутирующих элементов оконечных каскадов ГВИ для импульсного питания бесфилъмовых искровых камер. Они обычно определяются экспериментально. Кроме перечисленных основных параметров коммутирующие элементы характеризуются также длительностью импульса тока, частотой следования, скважностью импульсов и другими парамет-



Рис. 1. Дополнительные радиаторы по элементам и генераторный импульсный триод ГИ-17.

рами, которые также учитываются при разработке оконечных каскадов ГВИ.

Для генераторного импульсного триода ГИ-17 нам не были известны импульсные характеристики $I_m = f(U_a)$ лампы при заданном сеточном смещении в тепловом режиме с дополнительными радиаторами при естественном /не принудительном/ охлаждении. Предварительно были сняты характеристики запирания, представляющие собою зависимость напряжения запирания управляющей сетки от напряжения анода /во время паузы/. Импульсные характеристики ($I_m = f(U_a)$) ламп ГИ-17 нами снимались в схемах оконечных каскадов на одной и на двух лампах, каждая из которых имела в цепи анода, отдельный накопительный конденсатор и отдельное зарядное сопротивление, а на управляющие сетки подавались отпирающие импульсы от отдельных предоконечных каскадов на двух лампах ГИ-30/в параллель / , а также на двух лампах ГИ-30/в параллель / и ГИ-17. Отрица-

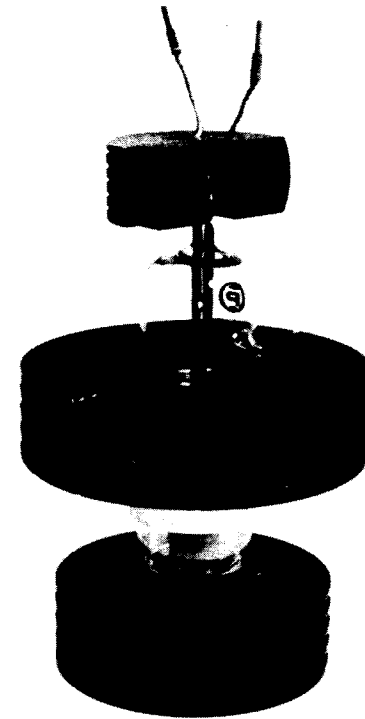


Рис. 2. Общий вид лампы ГИ-17 с системой дополнительных радиаторов.

тельное напряжение смещения - $U_c = - 1000 \pm 1200$ В было выбрано из характеристики запирания. Нагрузкой являлось омическое сопротивление $R_H = 10, 20, 30$ Ом. Для сравнения были сняты также импульсные характеристики оконечных каскадов на водородных тиратронах типа ТГИ 1-130/10, близких по параметрам к лампе ГИ-17. Снятие импульсных характеристик производилось на установке, блок-схема которой приведена на рис. 3. Установка запускалась, и осуществлялась синхронизация скоростного осциллографа от генератора импульсов.

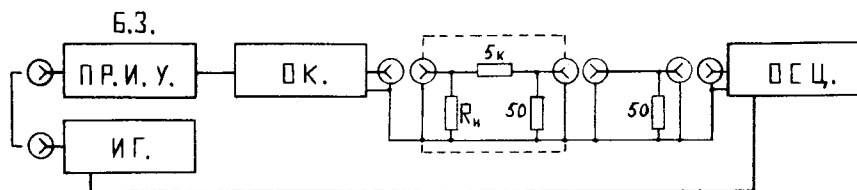


Рис. 3. Блок-схема установки для снятия импульсных характеристик. БЗ - блок запуска, ОК - оконечный каскад, R_n - омическое сопротивление нагрузки, ОСЦ - скоростной осциллограф.

На рис. 4 приведены импульсные характеристики $I_m = f(U_a)$ для одной лампы ГИ-17 при различных значениях величины напряжения на управляющей сетке в импульсе /избыточное/:

1. От блока запуска на двух лампах 6В2П и двух лампах ГИ-30 /в параллель/ с подобранным режимом ламп ГИ-30 по максимальному выходному импульсу.

2. От блока запуска на двух лампах 6В2П, двух лампах ГИ-30 /в параллель/ и лампы ГИ-17 на выходе.

На рис. 5 приведены импульсные характеристики $I_m = f(U_a)$ для двух ламп ГИ-17 с суммированием импульсов на выходе /в параллель/, каждая из которых имела в цепи анода отдельный накопительный конденсатор и отдельное зарядное сопротивление при различных значениях величины напряжения на управляющей сетке в импульсе /избыточное/ от отдельных для каждой лампы ГИ-17 блоков запуска.

1. От блока запуска на двух лампах 6В2П и двух лампах ГИ-30 /в параллель/ с подобранным режимом ламп ГИ-30 по максимальному выходному импульсу.

2. От блока запуска на двух лампах 6В2П, двух лампах ГИ-30 /в параллель/ и лампы ГИ-17 на выходе.

На рис. 6 приведены импульсные характеристики $I_m = f(U_a)$ для стандартных блоков ГВИ из серии.

1. Для одной лампы ГИ-17 в оконечном каскаде с блоком запуска на двух лампах 6В2П и двух лампах ГИ-30 /в параллель/.

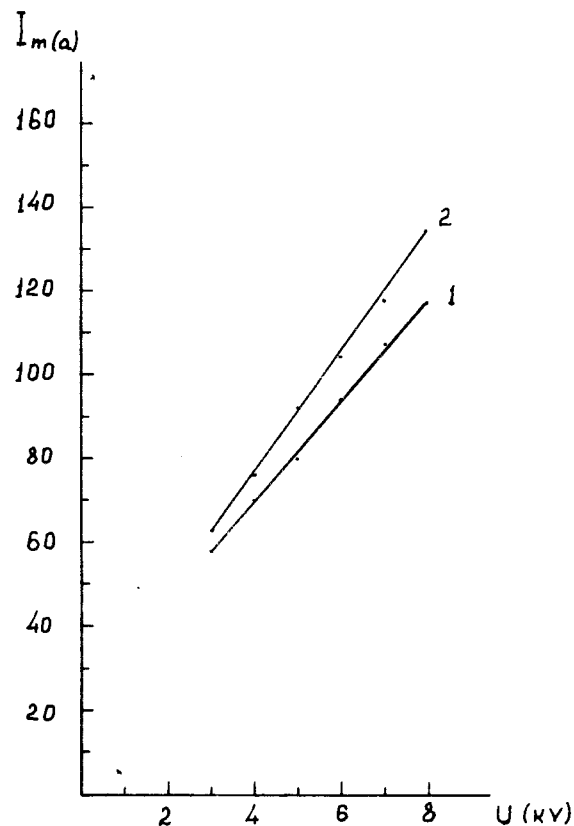


Рис. 4. Графики зависимости импульсного тока (I_m) через нагрузочное сопротивление $R_n = 30$ Ом от анодного напряжения (U_a) - $I_m = f(U_a)$ для одной лампы ГИ-17 при отрицательном напряжении смещения управляющей сетки $U_c = 1050$ В. 1. При напряжении на управляющей сетке в импульсе /избыточное/ $U_{mc} \approx 3,0$ кВ. 2. При напряжении на управляющей сетке в импульсе /избыточное/ $U_{mc} \approx 4,0$ кВ.

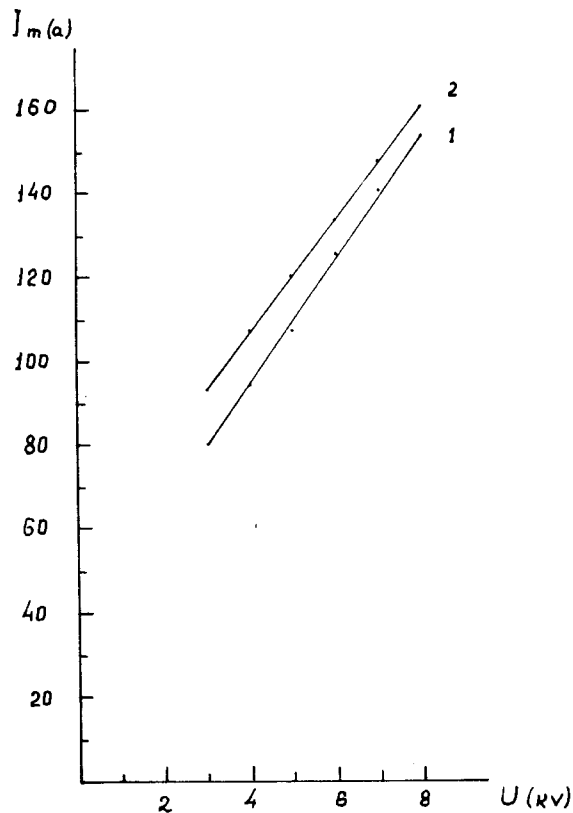


Рис. 5. Графики зависимости импульсного тока (I_m) через нагрузочное сопротивление $R_H = 30$ Ом от анодного напряжения (U_a) — $I_m = f(U_a)$ для двух ламп ГИ-17 с суммированием импульсов на выходе при отрицательном напряжении смещения на управляющей сетке $U_c = 1050$ В. 1. Избыточное напряжение на управляющей сетке в импульсе $U_{mc} \approx 3,0$ кВ. 2. $U_{mc} \approx 4,0$ кВ.

2. Для двух ламп ГИ-17 с суммированием импульсов на выходе /в параллель/, каждая из которых имела в цепи анода отдельный накопительный конденсатор и отдельное зарядное сопротивление с блоками запуска для каждой лампы ГИ-17 на двух лампах ГИ-30 /в параллель /.

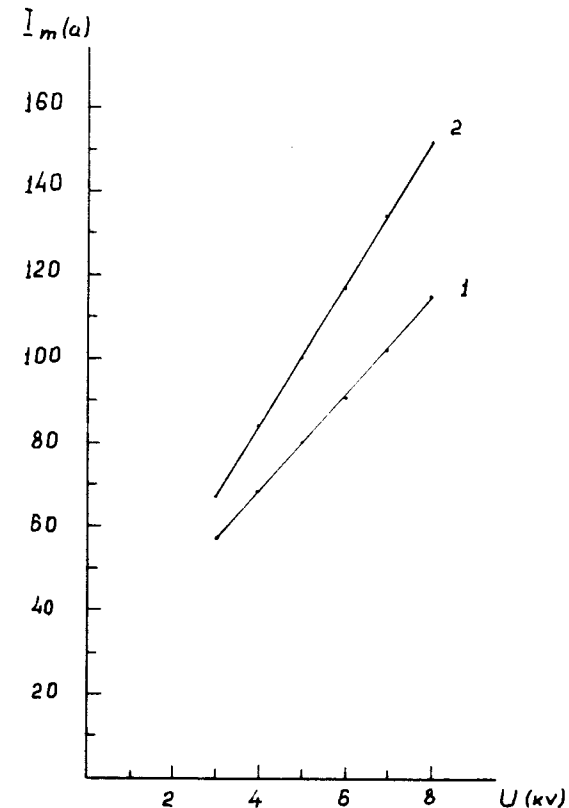


Рис. 6. Графики зависимости импульсного тока (I_m) через нагрузочное сопротивление $R_H = 30$ Ом от анодного напряжения (U_a) — $I_m = f(U_a)$ при отрицательном напряжении смещения на управляющей сетке $U_c = -1050$ В и значении величины напряжения на управляющей сетке в импульсе /избыточное/ $U_{mc} \approx 2,0$ кВ. 1. Для одной лампы ГИ-17. 2. Для двух ламп ГИ-17 с суммированием импульсов на выходе.

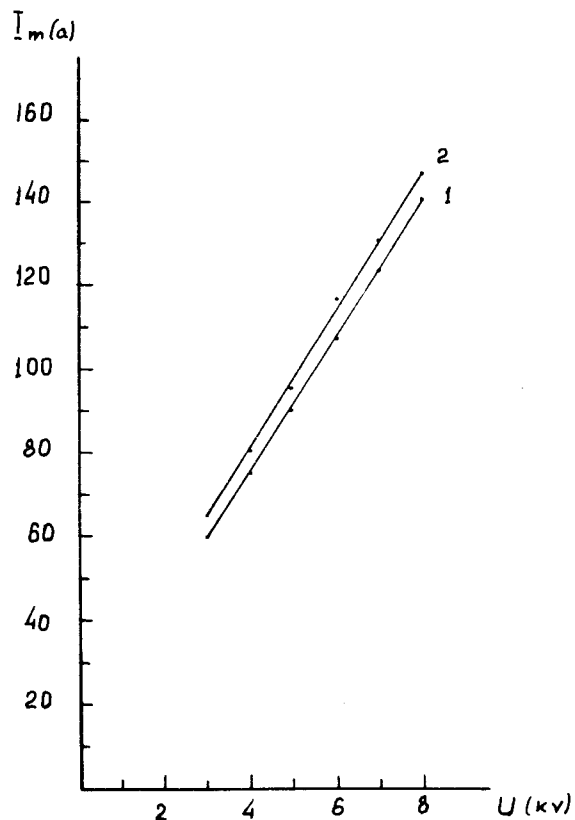


Рис. 7. Графики зависимости импульсного тока (I_m) через нагрузочное сопротивление $R_H = 30$ Ом от анодного напряжения (U_a) — $I_m = f(U_a)$ водородного тиратрона типа ТГИ1-130/10. 1. При напряжении на управляющей сетке в импульсе $U_{mc} \approx 500$ В; 2. $U_{mc} = 1,5$ кВ.

На рис. 7 приведены импульсные характеристики $I_m = f(U_a)$ от генераторов высоковольтных импульсов с оконечными каскадами на водородных тиратронах типа ТГИ1-130/10 /2,3/.

1. С блоком запуска на одной лампе 6В2П и одной лампе 6Э5П /3/.

2. С блоком запуска на двух лампах 6В2П и одной лампе ГИ-30 /2/.

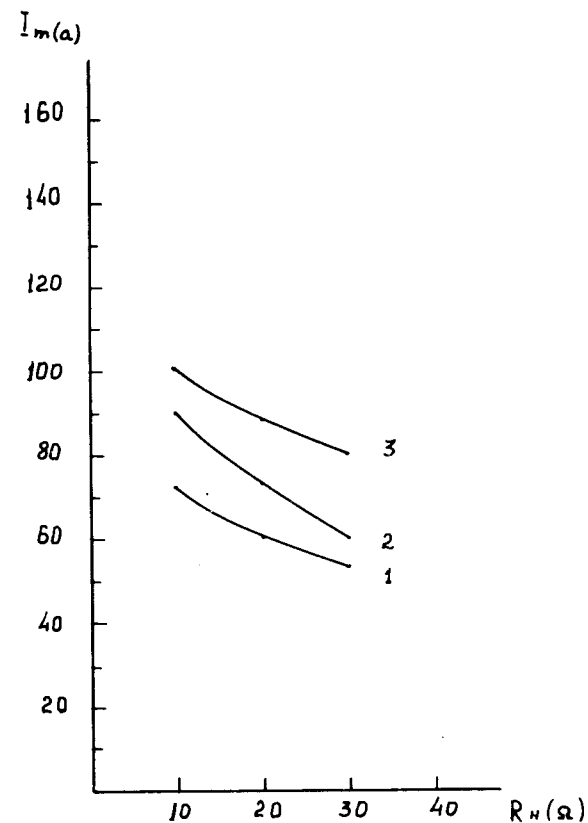


Рис. 8. Графики зависимости импульсного тока (I_m) от величины нагрузочного сопротивления (R_H) — $I_m = f(R_H)$ при анодном напряжении $U_a = 3,0$ кВ. 1. Для одной лампы ГИ-17, при значении величины напряжения на управляющей сетке $U_c = -1050$ В и в импульсе /избыточное/ $U_{mc} \approx 2,0$ кВ. 2. Для тиратрона типа ТГИ-130/10, при значении величины напряжения на управляющей сетке в импульсе $U_{mc} = 500$ В. 3. Для двух ламп ГИ-17 с суммированием импульсов на выходе при значении величины напряжения на управляющей сетке $U_c = -1050$ В и в импульсе /избыточное/ $U_{mc} = 2,0$ кВ.

На рис. 8 приведены графики зависимости $I_m = f(R_H)$ при анодном напряжении $U_a = 3 \text{ кВ}$ для оконечных каскадов на одной лампе ГИ-17, на тиратроне ТГИ1-130/10 и на двух лампах ГИ-17. Как известно, генераторный импульсный триод ГИ-17 имеет малый коэффициент усиления ~ 10 , поэтому для запираания лампы требуется напряжение смещения на управляющую сетку $U_c = -1000 \div 1200 \text{ В}$. Следовательно, для получения больших значений тока в импульсе (I_m) необходимо на управляющую сетку лампы ГИ-17 подавать и большие импульсные напряжения /избыточное/. На приведенных рис. 4-6 это хорошо можно проследить. Для оконечных каскадов на тиратронах, благодаря большому газовому усилению, эта зависимость выражена значительно слабее, но имеется сильная зависимость от величины напряжения запускающего импульса по времени задержки на каскад.

Из сравнения графиков рис. 4-8 можно видеть, что одна лампа ГИ-17 в оконечном каскаде ГВИ по амплитудному значению тока в импульсе (I_m) уступает тиратрону ТГИ1-130/10. Две лампы ГИ-17 в оконечном каскаде ГВИ по амплитудному значению тока в импульсе (I_m) превосходят тиратрон ТГИ1-130/10.

Выводы

1. Дополнительная система радиаторов к лампе ГИ-17, которые обеспечивают ее естественное /не принудительное/ охлаждение, не сокращают долговечности ламп и позволяют использовать их в оконечных каскадах ГВИ для импульсного питания бесфильмовых искровых камер.

2. Междуэлектродные емкости и индуктивности выводов в лампе ГИ-17 имеют небольшие значения, и незначительный прирост их за счет дополнительных радиаторов почти не сказывается на увеличении фронта высоковольтного импульса.

3. Оконечный каскад ГВИ на одной лампе ГИ-17 несколько уступает по амплитудному значению тока

в импульсе по сравнению с водородным тиратроном ТГИ1-130/10, но значительно лучше по фронту высоковольтного импульса на омическую нагрузку как по времени, так и по стабильности задержки.

4. Оконечный каскад ГВИ на двух лампах ГИ-17 с суммированием выходных высоковольтных импульсов превосходит как по амплитудному значению тока в импульсе по сравнению с водородным тиратроном ТГИ1-130/10, так и по лучшему фронту высоковольтного импульса /на омической нагрузке/ и по значительно меньшему и стабильному времени задержки.

5. Оконечные каскады ГВИ на одной лампе ГИ-17 целесообразно использовать для искровых камер малых размеров со статической емкостью $C_{ИК}$ до $\sim 200 \text{ пФ}$.

6. Оконечные каскады ГВИ на двух лампах ГИ-17 с суммированием высоковольтных импульсов целесообразно использовать для искровых камер средних размеров со статической емкостью $C_{ИК}$ до $\sim 500 \div 600 \text{ пФ}$.

7. Применение большего числа ламп ГИ-17 в оконечных каскадах ГВИ с параллельным включением или с суммированием выходных высоковольтных импульсов также целесообразно по сравнению с металлокерамическими водородными тиратронами, поскольку по фронту высоковольтного импульса /на омической низкоомной нагрузке/ они могут быть сравнимы, но значительно превосходят по меньшему и стабильному времени задержки, а также на два порядка дешевле последних.

8. Электронные лампы ГИ-17 в оконечных каскадах блоков импульсного высоковольтного питания бесфильмовых искровых камер показали все свои преимущества и достоинства, отмечавшиеся ранее /1/ и в данной работе в физических экспериментах на Серпуховском ускорителе /4-6/.

Как отмечалось ранее в /1/, специфичность работы и особые требования, предъявляемые к коммутирующим элементам /электронным лампам/ оконечных каскадов ГВИ для питания бесфильмовых искровых камер, вызывают необходимость и желательность специальных разработок таких ламп.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Б.А.Кулакову, Э.Н.Цыганову за внимание к работе и Н.В.Печенову - за оперативное выполнение и обеспечение фотографических работ.

Литература

1. П.И.Филиппов. Препринт ОИЯИ, 13-3958, Дубна, 1968.
2. А.С.Гаврилов и др. Препринт ОИЯИ 13-3503, Дубна, 1967.
3. Т.С.Григалашвили и др. Препринт ОИЯИ, РЗ-5324, Дубна, 1970.
4. G.T.Adylov et al. JINR Communication, E13-6658, Dubna, 1972.
5. G.T.Adylov et al. JINR Communication, E13-6749, Dubna, 1972.
6. G.R.Adylov et al. JINR Communications, E1-7934, Dubna, 1974.

*Рукопись поступила в издательский отдел
2 октября 1974 года.*