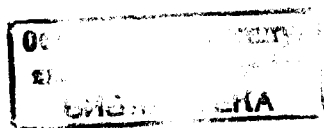


13 - 10302

В.А.Швец

**НИЗКООМНАЯ ШИРОКОПОЛОСНАЯ НАГРУЗКА  
КИЛОАМПЕРНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ**



Швед В.А.

13 - 10302

Низкоомная широкополосная нагрузка килоамперных импульсных генераторов

Приводятся результаты исследований диссипативных нагрузок, применяющихся в мощных импульсных генераторах. Показано, что в диапазоне СВЧ нагрузки не удовлетворяют требованиям широкополосности. Изготовленные для системы монохроматизации электронного пучка ЛИУ низкоомные нагрузки номиналом от 0,5 до 8 Ом работают при длительности фронта импульса  $10^{-10}$  с, амплитуде тока до 2 кА, длительности импульса от 0,5 до 2 мкс, частоте следования импульсов до 50 Гц.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна 1976

© 1976 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

В качестве нагрузки в килоамперных импульсных генераторах мощностью до 10 мВт и более используют обычно параллельно или последовательно соединенные резисторы. Особенно часто применяются резисторы типа ТВО, выпускаемые номиналом от 24 Ом до нескольких кОм и позволяющие рассеивать мощность от 5 до 60 Вт. Если нагрузка составляет 1 кОм и более, применяют различные химические растворы солей, возможно также использование бифилярных проволочных сопротивлений. Перечисленные диссипативные нагрузки находят широкое применение в генераторах микросекундного диапазона, пока индуктивность их, отнесенная к номиналу сопротивления, т.е. постоянная времени, не становится соизмеримой с длительностью фронта импульса. Особенные трудности возникают при уменьшении номинала нагрузки, т.е. при использовании ее в генераторах импульсов тока. Обычно во всех случаях идут по пути параллельного соединения сопротивлений ТВО минимального номинала /24 Ом/. Количество их для величин нагрузок в единицы Ом достигает, таким образом, нескольких десятков<sup>1,2/</sup>. Это вызывает определенные трудности в подборе величины нагрузки, т.к. при малых длительностях фронта импульса генератора необходимо использовать обратный провод нагрузки в виде коаксиальной оболочки с короткозамыкателем на свободном конце<sup>2/</sup>. При изменении величины нагрузки необходимо каждый раз снимать оболочку и присоединять или отсоединять 2-3 сопротивления. Кроме того, невозможно подобрать два десятка совершенно одинаковых деталей, т.е. широкополосности у такой нагрузки нет и каждое из параллельно включенных сопротивлений работает в диапазоне СВЧ индивидуально.

a

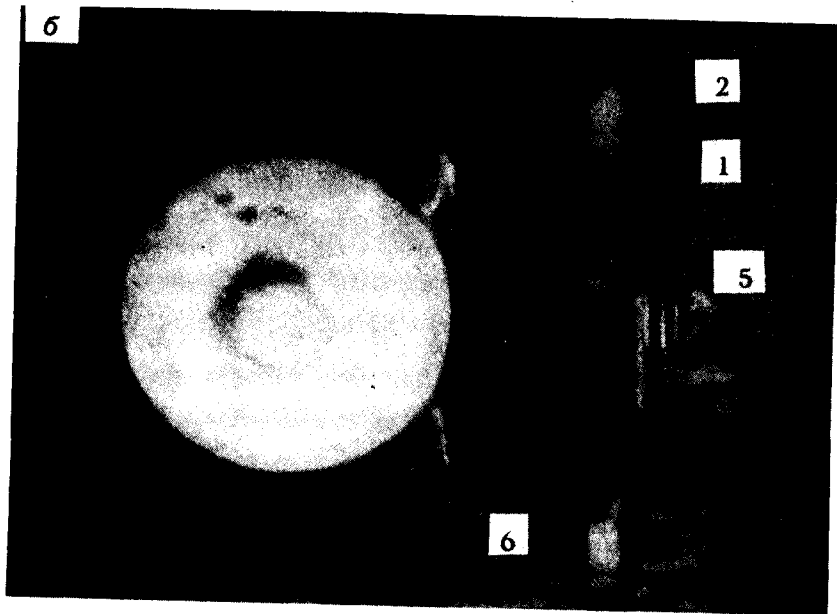
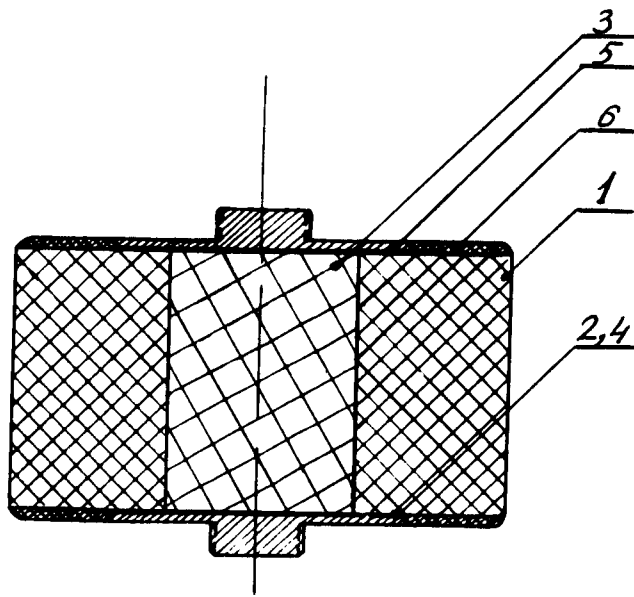


Рис. 1. Сопротивление, изготовленное из резистора ТВО-60: а/ разрез, б/ общий вид.

В системе монохроматизации электронного пучка<sup>/2/</sup> ЛИУ-30 используются нагрузки и датчики тока, которые лишены указанных недостатков. Конструктивно они представляют собой следующее.

Резистор типа ТВО-60 номиналом 24 Ом распилен на шлифовальном станке на отрезки длиной от 3 до 50 мм, при этом номинал полученных сопротивлений *l* составляет от 0,5 до 8 Ом /рис. 1/.

Резистор ТВО-60 представляет собой фарфоровый брусок прямоугольного сечения размерами 24x42x180 мм, внутри которого размещен по продольной оси графитовый стержень эллиптического сечения с осями  $a = 16$  мм и  $b = 4$  мм. Индуктивность графитового стержня на сверхвысоких частотах для оценки постоянной времени сопротивления вычисляется по формуле<sup>/5/</sup>

$$L_0 = \frac{\mu_0 \ell}{2\pi} \left( \ln \frac{4\ell}{a+b} - 1 \right) + \frac{\ell}{\pi^2 a} \sqrt{\frac{\mu}{2\omega\gamma}} K, \quad /1/$$

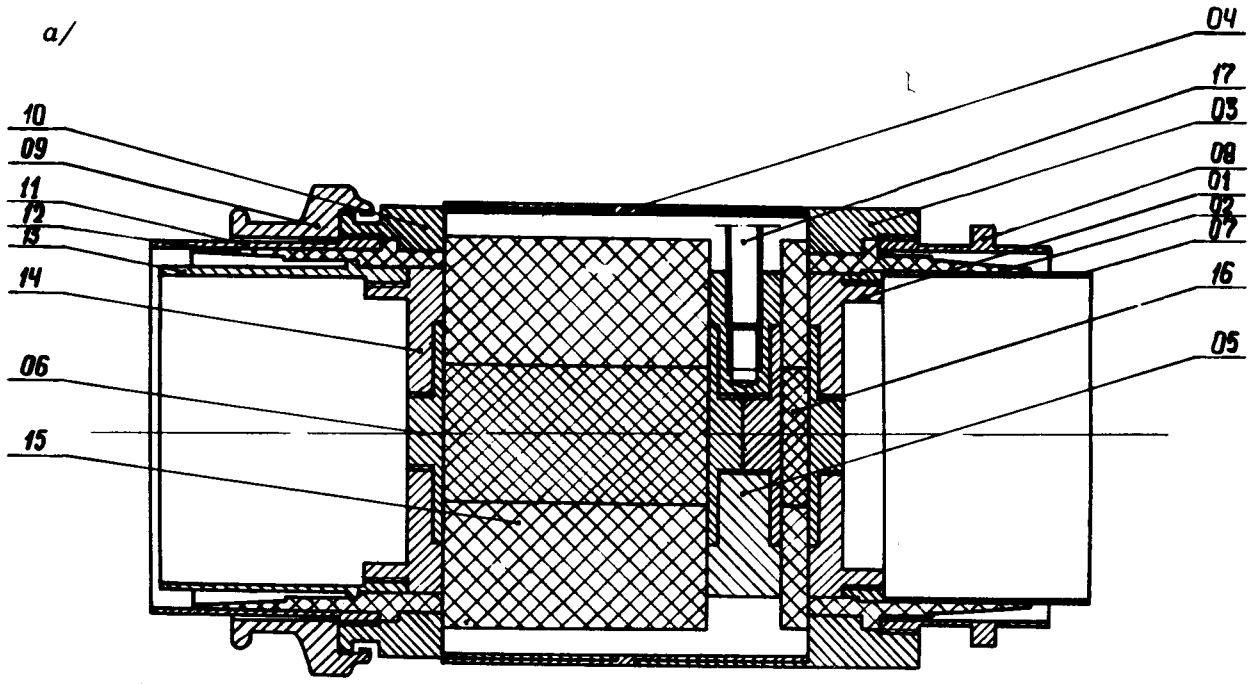
где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м - магнитная постоянная;  $\ell$  - длина графитового стержня, м;  $a$  и  $b$  - оси эллипса в сечении стержня, м;  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  - частота, Гц;  $\gamma$  - проводимость, 1/Ом.м;  $K$  - полный эллиптический интеграл первого рода с модулем  $k = \sqrt{1 - b^2/a^2}$ .

Первое слагаемое в /1/ учитывает распределение тока в скин-слое, второе - внутри стержня.

Проводимость  $\gamma$  определяется из формулы для удельного сопротивления

$$1/\gamma = \rho = \frac{RS}{\ell}, \quad S = \frac{\pi ab}{4}. \quad /2/$$

Для  $R = 24$  Ом,  $\ell = 0,16$  м,  $f = 1000$  МГц,  $a = 16$  мм,  $b = 4$  мм расчет по формулам /1/ и /2/ дает значение  $L = 1,2 \cdot 10^{-7}$  Гн, т.е. постоянная времени сопротивления ТВО-60



б/



Рис. 2. Низковольтная нагрузка в сборе: а/ разрез, б/ общий вид.

$$\tau = \frac{L}{R} = 5.10^{-9} \text{ с для } R = 24 \text{ Ом.}$$

Т.к. индуктивность падает одновременно с изменением сопротивления при уменьшении длины, то это значение постоянной времени сохраняется для всех отрезков изготовленных сопротивлений. На торцовые поверхности 2 сопротивления 1 /рис. 1а,б/, где выходит слой поперечного сечения графита 3, нанесен гальванически слой меди 4 по методу металлизации плат стандарта КАМАК с предварительным палладированием. Поверхности, не подлежащие меднению, предохраняются лаком, который затем удаляется растворителем. Слой меди облуживается, и в вакуумной печи к нему припаиваются контактные электроды 5. Для большей прочности поверхность 2 и край электрода 5 заливаются эпоксидным компаундом 6.

Конструкция нагрузки системы монохроматизации показана на рис. 2а,б. Изготовленные по описанной выше технологии сопротивления 15 и токовые датчики 16 собираются соединительными гайками 5 в пакет любого номинала. На торцах пакета располагаются два коаксиальных разъема, один из которых позволяет присоединить нагрузку к схеме формирования, а другой - короткозамкнут /рис. 2б/. Оболочка разъемов 3 и 10 изготовлена несколько удлиненной, что позволяет соединить их промежуточным элементом 4 друг с другом. Элементы оболочки 4 имеют различную длину, от 10 до 50 мм, и при подборе нагрузки /увеличении или уменьшении длины пакета/ позволяют без труда собрать ее.

Контроль импульса тока осуществляется через разъем СР-75-66 /рис. 2б/ с датчика 16 номиналом 0,5 Ом. Центральная жила разъема СР-75-66 соединена контактным штырьком 17 /рис. 2а/ с гайкой 5, расположенной между сопротивлением 15 и датчиком тока 16.

Испытание нагрузки заключалось в длительной обкатке ее в системе монохроматизации электронного пучка ЛИУ на стенде с импульсом тока амплитудой 2 кА, длительностью 2 мкс, следующего с частотой повторения до 100 Гц. Осциллограмма импульса приведена на рис. 3а. Осциллографирование импульса с длитель-

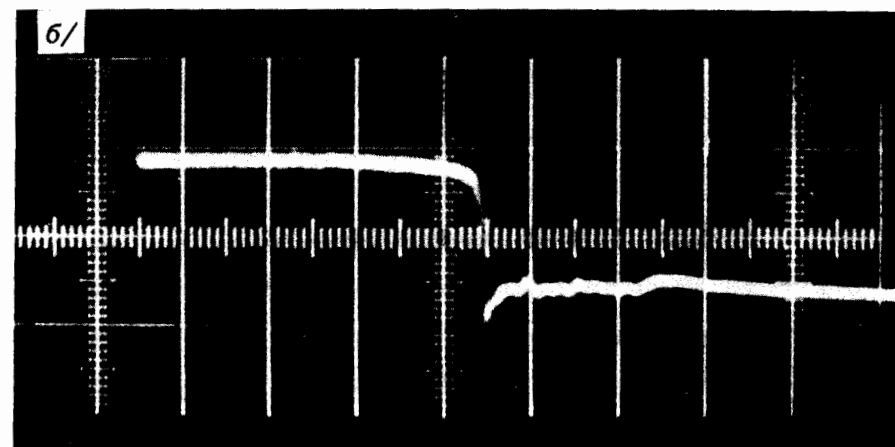
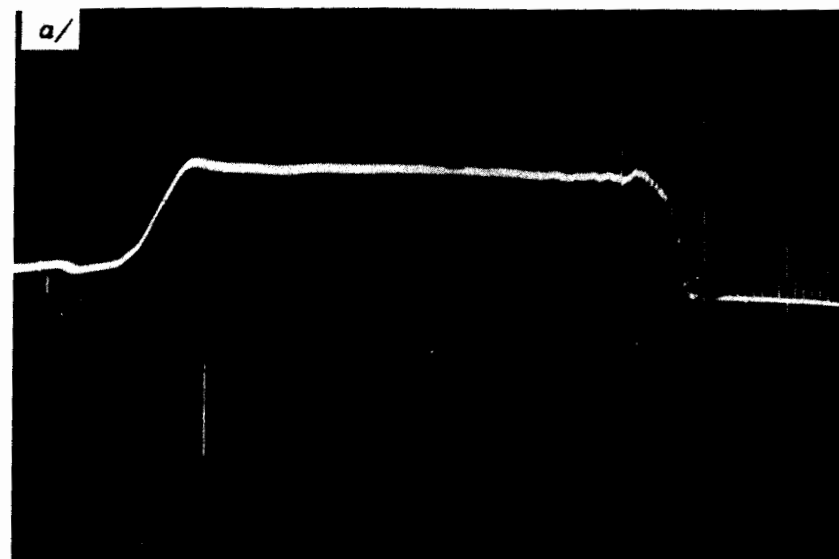


Рис. 3. Осциллограммы импульсов. а/ Импульс тока накопителя на нагрузке 1,5 Ом амплитудой 2 кА /развертка - 250 нс/см/; б/ импульс тока на нагрузке 3,5 Ом после прохождения нелинейной линии амплитудой 1 кА /развертка - 10 нс/см/.

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Ц 76

Ш - 35

1456/2-77

В.А.Швец

18/IV-7

13 - 10302

НИЗКООМНАЯ ШИРОКОПОЛОСНАЯ НАГРУЗКА  
КИЛОАМПЕРНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

**1976**

ностью фронта 1 нс /рис. 3б/ и менее, амплитудой 1 кА проводилось на этой же нагрузке при исследовании предельного укорочения фронта ударной волны в нелинейной линии <sup>3/</sup>. Эта нагрузка использовалась также и в экспериментах по измерению частотной характеристики дефлекторной секции <sup>4/</sup> и вплоть до частот 1000-1100 МГц, как показал эксперимент, не вносила искажений в измерения.

В заключение автор благодарит Ю.И.Смирнова за полезные советы и В.Ф.Хлапонину за помощь в изготовлении сопротивлений.

### *Литература*

1. Б.И.Гришанов, Ю.Г.Матвеев. Мощные наносекундные нагрузки, ПТЭ, №3, 152-154 /1976/.
2. В.А.Швец. ОИЯИ, 13-9077, Дубна, 1975.
3. Р.В.Харьюзов, В.А.Швец. ОИЯИ, 13-8709, Дубна, 1975.
4. В.А.Швец. ОИЯИ, 9-10301, Дубна, 1976.
5. П.Л.Калантаров и др. Расчет индуктивностей, изд-во "Энергия", Ленинград, 1970.

*Рукопись поступила в издательский отдел  
14 декабря 1976 года.*