

И-201

4958/2-76

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

13/40-76



13 - 10055

Г.А.Иванов, В.А.Буланов, Л.В.Светов

УНИПОЛЯРНЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСНОГО ТОКА

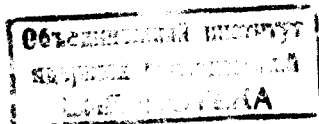
1976

13 - 10055

Г.А.Иванов, В.А.Буланов, Л.В.Светов

УНИПОЛЯРНЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСНОГО ТОКА

Направлено в ПТЭ



Проблема получения больших импульсных токов и магнитных полей представляет большой интерес в различных областях техники и особенно в технике физического эксперимента. Наиболее простой и наиболее распространенный способ создания импульсного магнитного поля состоит в разрядке конденсаторной батареи на соленоид через коммутатор (К) (см. рис. 1а). При этом последний должен удовлетворять требованиям:

- 1) высокого рабочего напряжения (50 кВ и выше);
- 2) большого импульсного тока (50 кА и выше);
- 3) величина коммутируемой энергии должна составлять несколько сотен килоджоулей.

Кроме того, коммутатор должен допускать большое число срабатываний ($10^4 = 10^5$) и быть сравнительно бесшумным. Недостатком такой схемы является то, что здесь имеет место режим затухающих колебаний с полным рассеянием энергии. Ток в нагрузке определяется выражением:

$$i_H = \frac{U_0}{\sqrt{L_H/C_0}} e^{-\frac{R}{L_H}t} \sin \frac{1}{\sqrt{L_H C_0}} t.$$

Такая схема может быть использована при исследовании разовых процессов, но при периодической работе с частотой даже ~10 Гц этот недостаток вызывает большие потери энергии и трудности с отводом тепла от соленоида.

Более совершенными являются схемы, в которых ток в соленоиде проходит один полупериод (или период) колебаний и имеет место рекуперация энергии в накопитель.

Один из вариантов такой схемы представлен на рис. 1б.

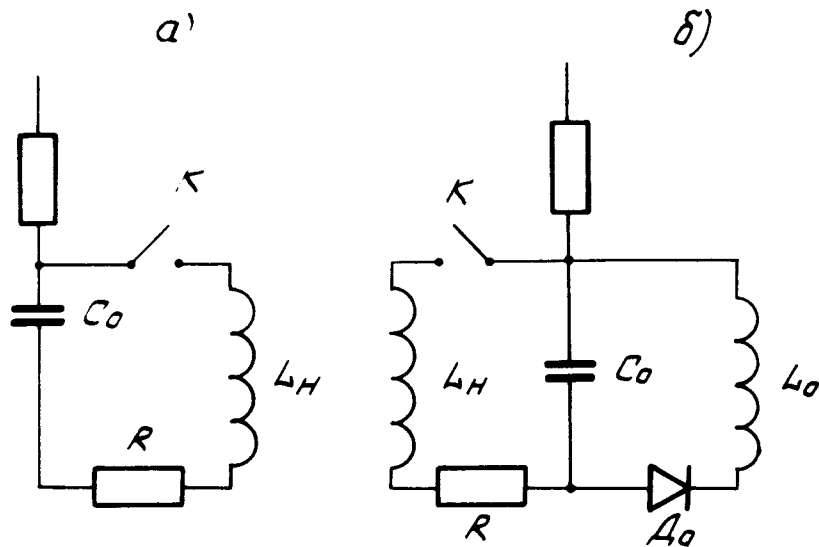


Рис. 1

Как видно из рисунка, разряд емкости накопителя в этой схеме происходит по цепи: C_0-K-L_H-R за время $t \approx \frac{\sqrt{L_H C_0}}{4}$.

За такое же время происходит перезаряд этой емкости до обратной полярности. Контур $D_0-C_0-L_0$ служит для перезаряда накопительной емкости C_0 до прямой полярности. В этом варианте к коммутатору предъявляются более жесткие требования, так как добавляется требование униполярной проводимости и малого времени восстановления.

Из имеющихся в настоящее время коммутаторов нет такого, который бы полностью удовлетворял поставленным требованиям. Наиболее заслуживающими внимания являются игитронный разрядник и тиристор. В настоя-

щее время промышленностью серийно выпускаются ртутные разрядники типа ИРТ-3 с параметрами:

- а) рабочее напряжение $U_p = 20$ кВ
- б) максимальный ток в импульсе $I_m = 100$ кА
- в) коммутируемая энергия $W_m = 300$ кДж
- г) число срабатываний $n = 2 \cdot 10^4$.

Как видно, ртутный разрядник в основном удовлетворяет поставленным требованиям, однако обладает большим временем восстановления и может работать в униполярном режиме только на низких частотах и при малых токах.

В генераторе, описываемом в работе /1/, униполярный режим достигается за счёт включения дросселей насыщения последовательно с игитронным разрядником. Однако этот способ влечет за собой увеличение индуктивности коммутатора. Кроме того, для получения униполярного режима при частоте 1 кГц величина тока на один разрядник уменьшена до 6 кА.

Тиристорный коммутатор отличается малым временем восстановления по сравнению с ртутным разрядником, но имеет малое рабочее напряжение и недостаточный рабочий ток в импульсе.

Схемы последовательно-параллельного соединения большого числа тиристоров требуют сложной защиты с введением дополнительных элементов, что увеличивает собственную индуктивность коммутатора.

В настоящей работе приводятся описание и результаты испытаний импульсного генератора тока для питания магнитной системы компрессора в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ. Параметры генератора следующие:

- а) максимальный ток в импульсе $I_m = 30$ кА
- б) индуктивность нагрузки $L_H = 160$ мкГн
- в) длительность импульса $\tau = 500$ мкс
- г) форма импульса - полусинусоида.

Из этих параметров вытекают требования на коммутатор:

- а) рабочее напряжение $U_p = 30$ кВ
- б) максимальный ток в импульсе $I_m = 30$ кА
- в) коммутируемая энергия $W = 72$ кДж
- г) рабочая частота $f_p = 1$ кГц.

В качестве коммутатора, удовлетворяющего поставленным требованиям, авторами был предложен вариант, представляющий собой последовательное соединение управляемого ртутного разрядника и диодного ограничителя.

Назначение разрядника заключается в удержании прямого напряжения и в управлении моментом коммутации, роль диодного ограничителя - в "удержании" обратного напряжения на время восстановления ртутного разрядника. Очевидно, что диодный ограничитель должен быть рассчитан на то же рабочее напряжение и тот же рабочий ток, что и разрядник.

Преимуществом данного варианта коммутатора является то, что управляющий элемент его (ртутный разрядник) имеет достаточную величину рабочего напряжения и рабочего тока, а последовательно-параллельное соединение вентилях в диодном ограничителе проблемы не представляет.

Схема генератора тока представлена на рис. 2.

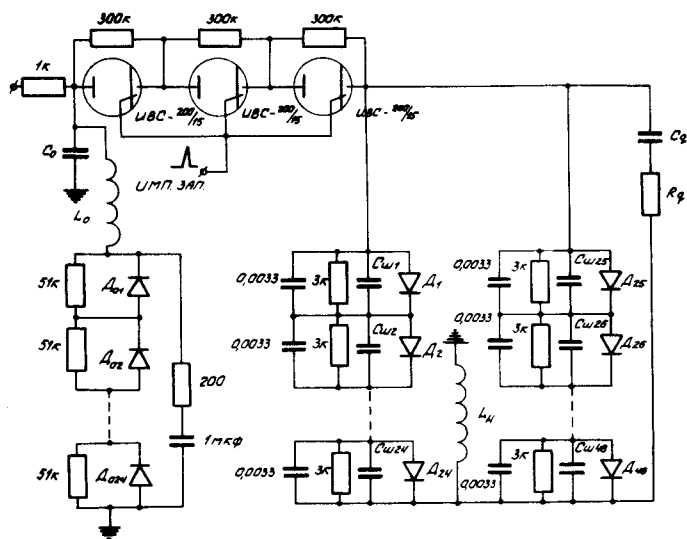


Рис. 2

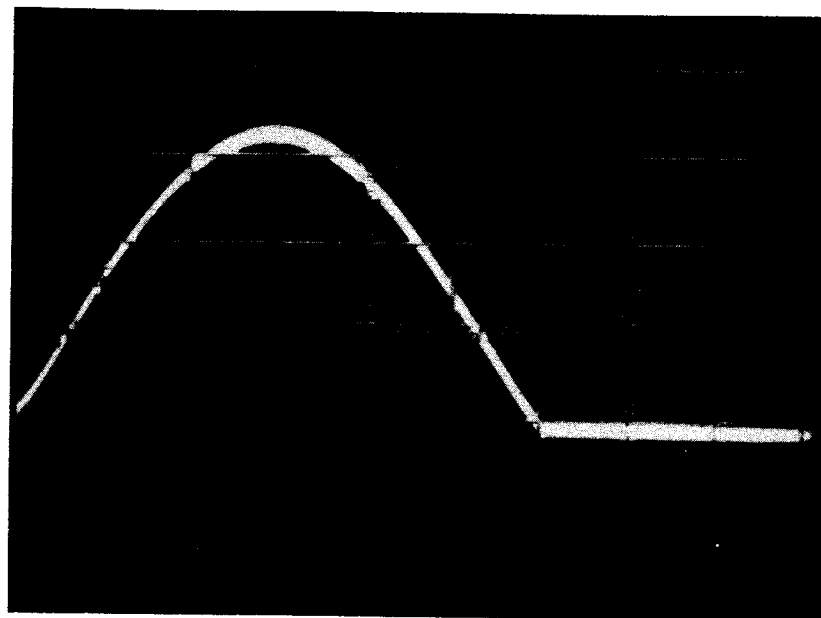


Рис. 3

Как видно из схемы, здесь имеет место двойной перезаряд накопительной емкости (аналогично сх. рис. 16). В качестве разрядника используются игнитроны типа ИВС-200 (3 последовательно). В качестве диодного ограничителя - кремниевые диоды типа В-500 (2 параллельно, 24 последовательно) класса 20. С целью выравнивания импульса напряжения каждый диод шунтирован емкостью $C_{ш} = 4\mu F$ типа МБГП и одновременно емкостью К15-5 $0,015\mu F$. Защитная цепочка $C_q - R_q$ параллельно всему диодному ограничителю служит для демпфирования колебаний в нагрузке в момент включения и обрыва тока.

Величина C_q вырабатывается из условий

$$R_q = 2\sqrt{\frac{L_H}{C_q}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{L_H}{C_\Sigma}}$$

т.е. $C_q = 16C_\Sigma$, где C_Σ - суммарная емкость, шунтирующая диодный ограничитель. В нашем случае $C_\Sigma = 0,33\mu\text{F}$, следовательно, $C_q = 5\mu\text{F}$ и $R_q = 12\text{ Ом}$.

Цепочка $L_0 - D_0$ служит для повторной перезарядки накопительной емкости. Дроссель L_0 - безжелезный, величины индуктивности 0,5 Гн. Величина полупериода обратного тока (время перезарядки) $T_0/2 = 30\text{ мс}$, что вполне достаточно для восстановления разрядника при токе коммутации $I_m = 30\text{ кА}$. На осциллограмме рис. 3 приведена огибающая импульса тока в нагрузке. Измерения проводились трансформатором тока типа ТНШЛ 2000/5.

В заключение авторы благодарят Н.Г.Гордеева, М.Г.Пивень и Ю.И.Галкина за участие в монтаже и наладке генератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Instrumentation for High-Energy Physics, September, 1960. Kiskowski a.o. "Design and Construction of System of Pulsed Magnets", p. 10-11.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 августа 1976 года.