

ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В ВОДЕ

© 2011 г. С. В. Коротков, Ю. В. Аристов, А. К. Козлов, Д. А. Коротков, И. А. Рольник

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН
Россия, 194021, С.-Петербург, ул. Политехническая, 26

Поступила в редакцию 22.09.2010 г.

Описан полупроводниковый генератор высоковольтных импульсов для электроразрядной очистки воды, выполненный на основе низковольтного емкостного накопителя энергии, повышающего импульсного трансформатора и высоковольтной выходной цепи со звеном рекуперации, осуществляющим возврат неэффективно используемой энергии в источник питания емкостного накопителя.

Задача разработки состояла в создании генератора мощных высоковольтных импульсов, обеспечивающего условия эффективной водоочистки в экспериментах, выполняемых в Институте электрофизики и электроэнергетики (ИЭЭ) РАН. Проведенные в этом институте комплексные исследования поражающего действия электрических разрядов на находящиеся в воде микроорганизмы [1] определили следующие требования к выходным параметрам генератора, необходимые для эффективного обеззараживающего воздействия в установках с производительностью >1 л/мин: выходное напряжение ≥ 30 кВ, выходной ток ≥ 100 А, скорость нарастания тока ≥ 20 А/мкс, энергия в импульсе ≥ 1 Дж, частота следования импульсов ≥ 100 Гц.

Исходя из перечисленных требований и опыта формирования электрических разрядов в воде [2], был разработан экспериментальный образец вы-

сокоэффективного полупроводникового генератора, электрическая схема которого приведена на рис. 1.

Принцип действия генератора заключается в следующем.

При включении блока транзисторов T в первичную обмотку w_1 повышающего трансформатора $Tr1$ коммутируется мощный (~ 1500 А) ток разряда низковольтного накопителя энергии C_1 . Дроссель насыщения L_1 ограничивает скорость его нарастания до момента насыщения сердечника. При этом уменьшаются коммутационные потери энергии в транзисторах.

Протекающий через обмотку w_2 ток обеспечивает быструю (~ 5 мкс) зарядку конденсатора C_2 выходной цепи $ВЦ$. Возникающее на C_2 напряжение (~ 30 кВ) прикладывается к заполненной водой двухэлектродной камере K и инициирует пробой водяного промежутка.

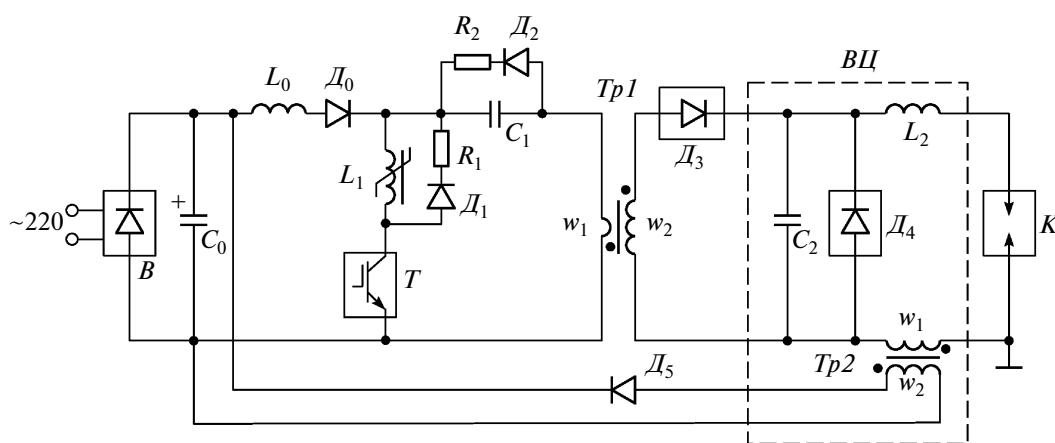


Рис. 1. Электрическая схема генератора. B – выпрямитель, $ВЦ$ – выходная цепь, K – камера. T – IRG4PF50WD (4 параллельно); D_0, D_1, D_2, D_5 – 80EPF12PBF (B – на их основе), D_3, D_4 – HER608 (60 последовательно); $Tr1$ – 50НП, $165 \times 55 \times 25$, $w_1 = 1$, $w_2 = 74$, $Tr2$ – НМС2500, $125 \times 80 \times 12$, $w_1 = w_2 = 90$; $L_0 = 900$ мкГн, L_1 – НМС2500, $45 \times 28 \times 16$, $w = 6$, $L_2 = 3$ мкГн; $C_0 = 400$ мкФ, $C_1 = 12$ мкФ, $C_2 = 2.2$ мкФ; $R_1 = 39$ Ом, $R_2 = 1$ Ом.

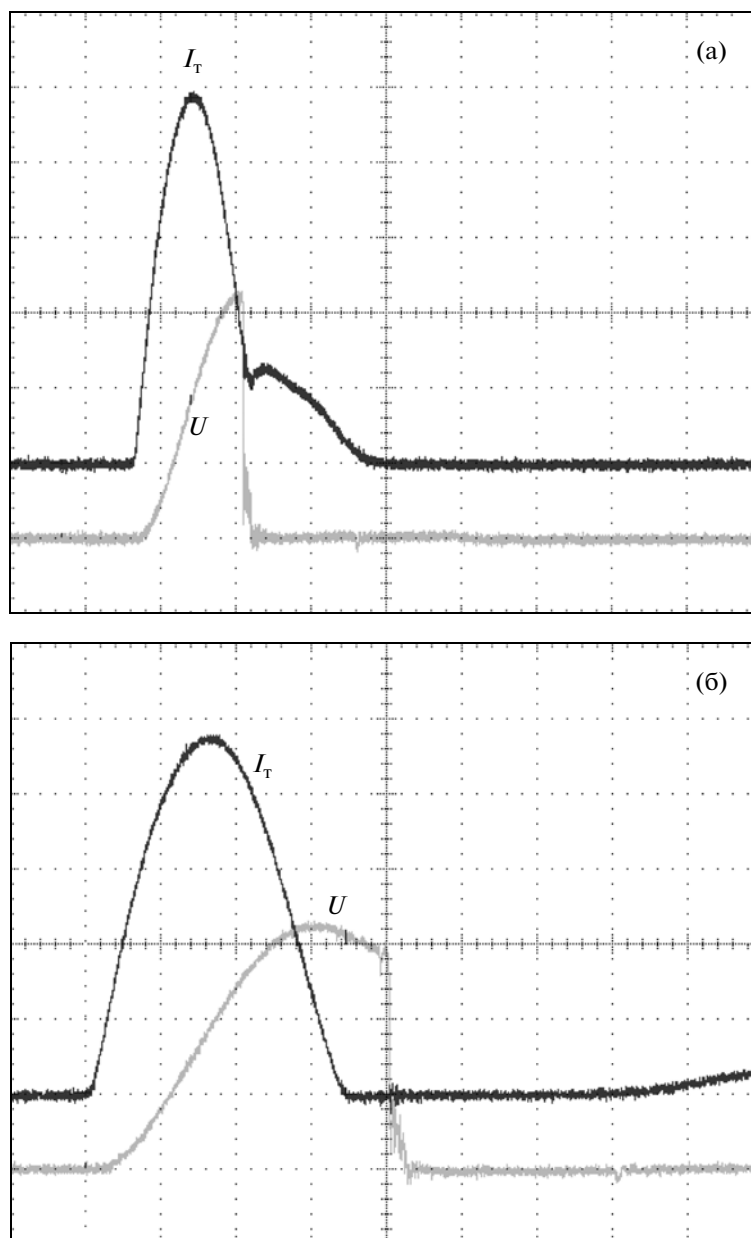


Рис. 2. Осциллограммы напряжения на водяном промежутке U и тока через блок транзисторов I_T при пробое воды до (а) и после (б) максимума напряжения. Масштабы: соответственно по вертикали 10 кВ/клетка и 300 А/клетка, по горизонтали – 4 мкс/клетка (а) и 2 мкс/клетка (б).

Диодный блок D_3 исключает разряд конденсатора C_2 через обмотку w_2 , если пробой промежутка наступает после окончания импульса зарядного тока. В процессе выключения диодов дроссель L_1 ограничивает протекающий через них обратный ток. При этом обеспечиваются малые коммутационные потери энергии и высокая надежность работы блока D_3 .

В момент пробоя промежутка в камеру K коммутируется быстронарастающий ток разряда конденсатора C_2 (~200 А), в значительной степени определяемый параметрами $ВЦ$. В момент изме-

нения полярности напряжения на C_2 ток разряда переключается в диодный блок D_4 .

В процессе коммутации на вторичной обмотке трансформатора $Tr2$ возникает напряжение, превышающее напряжение зарядки конденсатора C_0 (~300 В). При этом через диод D_5 протекает ток, обеспечивающий возврат энергии из $ВЦ$ в конденсатор C_0 . В результате ток, протекающий через камеру K , быстро спадает до нуля, и процесс коммутации заканчивается, когда вода имеет достаточно большое электрическое сопротивление,

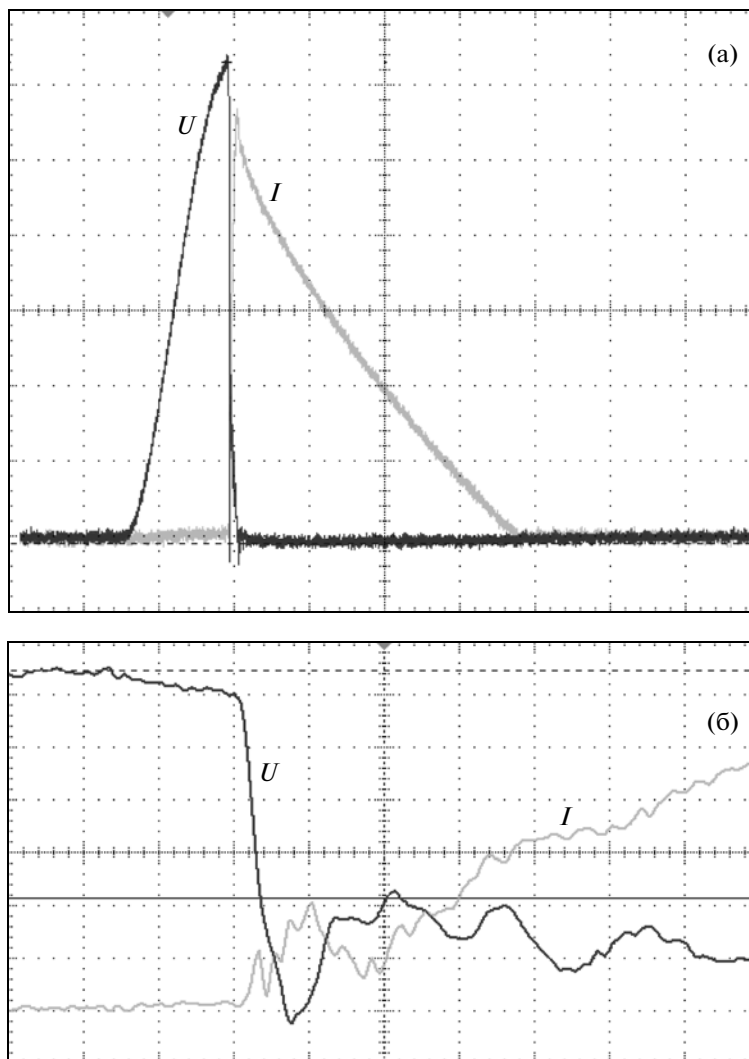


Рис. 3. Осциллограммы напряжения на водяном промежутке U и разрядного тока I : **а** – типичные, **б** – на начальном этапе коммутации. Масштабы: соответственно по вертикали 5 кВ/клетка и 40 А/клетка, по горизонтали – 4 мкс/клетка (**а**) и 40 нс/клетка (**б**).

обеспечивающее высокий уровень коммутируемой мощности.

После окончания процесса коммутации выключается блок T и ток, протекающим по цепи $L_0-D_0-C_1-w_1-C_0$, заряжается емкостный накопитель энергии C_1 . Зарядный ток обеспечивает перемещение сердечника трансформатора TrI до исходного состояния. В момент выключения блока T цепь R_1-D_1 ограничивает напряжение на транзисторах на безопасном уровне.

Рассмотренный генератор был испытан на частоте 100 Гц при использовании проточной водопроводной воды и предоставленной сотрудниками ИЭЭ РАН разрядной камеры, имеющей водопропускной канал $\varnothing \sim 12$ мм и два медных электрода $\varnothing \sim 1$ мм, разнесенных на расстояние ~ 5 мм.

В процессе испытаний наблюдался значительный разброс моментов пробоя водяного проме-

жутка относительно максимума прикладываемого напряжения. На рис. 2 приведены характерные осциллограммы тока I_T через транзисторный блок T и напряжения U на водяном промежутке при пробое воды до (рис. 2а) и после (рис. 2б) максимума напряжения U . По мере износа электродов разрядной камеры среднестатистическая задержка пробоя увеличивалась, и он развивался при меньшем напряжении U , спадающем с постоянной времени C_2R_0 (R_0 – электрическое сопротивление воды до пробоя). При этом уменьшалась величина энергии, рассеиваемая в канале разряда.

Рассмотренное обстоятельство определяет низкую эффективность маломощных генераторов с малой емкостью конденсаторов выходной цепи.

На рис. 3а приведены типичные осциллограммы напряжения на водяном промежутке U и разрядного тока I , а на рис. 3б – те же осциллограммы

на начальном этапе процесса коммутации. Среднее значение электрического сопротивления канала разряда на этом этапе составляет ~ 50 Ом, средняя величина коммутируемой мощности ~ 500 кВт, что создает условия для эффективного обеззараживающего воздействия.

При регистрации напряжения на водяном промежутке с помощью широкополосного ограничителя, отсекающего высоковольтную часть измеряемого сигнала, было установлено, что после пробоя сопротивление канала разряда спадает очень быстро и на заключительном этапе коммутации составляет менее 3 Ом.

Резкое увеличение проводимости водяного промежутка определяет малую эффективность режимов работы с импульсами тока большей длительности. В этих режимах энергия, рассеиваемая на элементах цепи ВЦ, становится соизмеримой с энергией, выделяемой в канале разряда.

Для сравнения рассмотренный генератор был испытан в режиме без рекуперации (обмотки

трансформатора $Tr2$ закорочены). При этом амплитуда разрядного тока практически не увеличилась, но его длительность, определяемая для данного режима постоянной времени L_2/R_p (R_p – эквивалентное сопротивление цепи разряда), возросла почти в 10 раз. В результате процесс коммутации протекал, в основном, при очень малом сопротивлении канала разряда в условиях с низким уровнем коммутируемой мощности.

Достаточно высокий к.п.д. разработанного генератора (более 80%), простота его построения и возможность увеличения частоты срабатывания и коммутируемой энергии создают хорошие перспективы для построения более мощных устройств на его основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коликов В.А., Курочкин В.Е., Панина Л.К. и др. // ЖТФ. 2007. Т. 77. Вып. 2. С. 118.
2. Грехов И.В., Коротков С.В., Андреев А.Г. и др. // ПТЭ. 1997. № 5. С. 128.