

от количества вершин разреженного графа

Анализируя полученные результаты, можно говорить о том, что Бинарные кучи можно эффективно использовать только для разреженных графов, в то время как кучи Фибоначчи и 2-3 кучи эффективно работают на любых графах. При этом на плотных графах выигрыш в скорости работы алгоритма для 2-3 куч составляет порядка 12% по сравнению с кучами Фибоначчи. Для разреженных графов разница в скорости работы алгоритма не столь существенна, тем не менее, и тут 2-3 куча дает выигрыш в скорости.

Заключение

Данная работа продемонстрировала возможность оптимизации целого класса алгоритмов на графах. Использование для этих целей 2-3 куч улучшило временные показатели работы алгоритма Дейкстры, как для плотных, так и для разреженных графов. Таким образом, 2-3 кучи являются наиболее оптимальным вариантом очереди с приоритетом для реализации алгоритмов на графах

Список цитированных источников

1. Tadao Takaoka. Theory of 2-3 Heap — Cocosoon (1999).
2. Дасгуспа, С. Алгоритмы / С. Дасгуспа, Х. Пападимитриу, У. Вазирани. – МЦНМО, 2014 С.113-116.
3. С.А. Crane. Linear lists and priority queues as balanced binary trees. — Computer Science Dept, Stanford Univ. (1972).
4. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. — М.: МЦНМО, 2005. — С. 539-579.

УДК 621.316.9.001

Никитин С.А.

Научный руководитель: доцент Ворсин Н.Н.

ГЕНЕРАТОР АРКАДЬЕВА-МАРКСА С НЕУПРАВЛЯЕМЫМИ ВОЗДУШНЫМИ РАЗРЯДНИКАМИ

Целью настоящей работы является уточнение представлений о физических процессах в генераторах высоковольтных импульсов Аркадьева – Маркса.

Предмет исследования – накопительная и коммутационная цепь генератора – множительная колонна, использующая неуправляемые искровые разрядники.

Генератор Аркадьева-Маркса является едва ли не самым популярным источ-



ником высоковольтных импульсов, применяемым в различных физических и технических установках. Теория функционирования генераторов этого типа разработана очень подробно и излагается даже в учебных пособиях [1]. Однако известные нам публикации в явной или неявной форме относятся к случаям применения управляемых искровых разрядников, когда процессы накопления электроэнергии и передачи ее в нагрузку четко разграничены по времени. Если в качестве коммутаторов используются неуправляемые разрядники, то процессы накопления энергии и коммутации оказываются рассинхронизированы, что коренным образом изменяет функционирование генератора.

Рисунок 2 – Экспериментальный

макет генератора

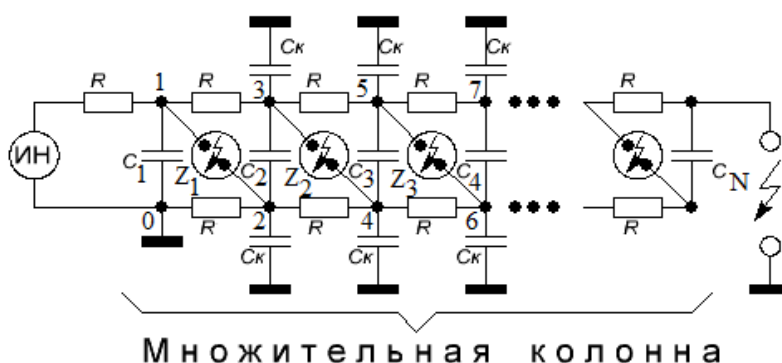
Исследование процесса работы генератора проводилось на основе экспериментального макета, внешний вид которого показан на рисунке 1. Опыты с ним дают результаты, существенно отличающиеся от описанных в литературных источниках [2 -4]. Эти отличия состоят в следующем. 1. Высоковольтные импульсы на выходной клемме множительной колонны, которые отмечаются «молнией» между выходными шаровыми электродами, возникают хаотично со средней частотой, значительно меньшей, чем частота срабатывания разрядников. 2. Межкаскадные разрядники также срабатывают хаотично со средними частотами, убывающими по мере удаления их от входных клемм множительной колонны. 3. Для функционирования генератора необходима подстройка искровых промежутков разрядников, которые должны уменьшаться по мере удаления от входных клемм колонны. Данные результаты не согласуются с моделями, рассмотренными в известной нам литературе, включая Интернет-источники, что явилось поводом для собственных исследований.

Эквивалентная схема множительной колонны генератора Маркса показана на рисунке 2. Ее отличие от опубликованных

в различных источниках состоит в наличии конструктивных электроемкостей C_k , играющих важную роль в работе генератора. Эта работа, описанная во всех источниках, заключается в параллельной зарядке накопительных конденсаторов C_1, C_2 от источника постоянного напряжения ИН и последующем соединении заряженных конденсаторов в последовательную цепь, которое происходит при одновременном срабатывании всех разрядников $-Z$. В результате напряжение на выходных клеммах оказывается равно сумме напряжений конденсаторов, и выходной промежуток пробивается, давая «молнию». Во время «молнии» через все разрядники протекает сильный импульс тока, который разряжает накопительные конденсаторы. Далее вновь начинается процесс их зарядки и цикл повторяется. Этот процесс легко реализуется если используются управляемые разрядники. Одновременность их срабатывания обеспечивается одновременной подачей на них запускающего импульса.

В случае неуправляемых разрядников, как отмечается [1-3], в генераторе возникает волна самосинхронизации разрядников, которая быстро распространяется от первого разрядника к последнему, обеспечивая одновременность их срабатывания. Однако механизм образования этой волны не описывается. Моделирование множительной колонны в программе *microsar* показывает, что без учета конструктивных электроемкостей C_k никакой синхронизации разрядников не происходит. Второй и последующий разрядники вовсе не срабатывают. Однако добавление в модель конденсаторов C_k действительно приводит к синхронизации разрядников и умножению амплитуды импульсов напряжения на выходе генератора.

Сделаем количественную оценку процесса синхронизации на примере первого и второго разрядников. Дальнейшая синхронизация происходит ана-



Множительная колонна

Рисунок 2 – Эквивалентная схема множительной колонны

логично. Допустимо пренебречь собственной емкостью резисторов и разрядников, которые на практике значительно меньше остальных. Предположим, что накопительные конденсаторы C заряжены до напряжения U , близкого к напряжению пробоя разрядников, и в момент времени $t=0$ происходит пробой первого разрядника, который тем самым замкнет узлы 1 и 2 на схеме рисунка 2. Часть заряда конденсатора C_1 будет передана конструктивным конденсаторам, подключенным к узлам 2 и 3. Причем увеличение напряжения в этих узлах произойдет очень быстро, поскольку конструктивные конденсаторы заряжаются через очень малое сопротивление искры сработавшего разрядника. В результате напряжение в узлах 2 и 3 почти мгновенно станут равными

$$U_2 = U \frac{C}{C + 2C_K} \quad U_3 = U \left(1 + \frac{C}{C + 2C_K} \right). \quad (1)$$

В то же время напряжение в узле 4 не сможет измениться мгновенно, так как для его увеличения необходима зарядка конструктивной емкости через большое сопротивление R . Поэтому напряжение u_4 будет увеличиваться по закону зарядки конденсатора в RC-цепочки:

$$u_4 = U_2 \left(1 - \exp \left(-\frac{t}{RC_K} \right) \right). \quad (2)$$

Напряжение, приложенное ко второму разряднику, - это $U_3 - u_4$ определится из (1) и (2):

$$U_3 - u_4 = U_1 \left(1 + \frac{C}{C + 2C_K} \exp \left(-\frac{t}{RC_K} \right) \right) \quad (3)$$

На рисунке 3 показан график зависимости от времени напряжения на втором разряднике при $C/(C+2C_K)=0.9$. Там же пунктиром обозначено напряжение пробоя разрядника. Видно, что при данных условиях напряжение на разряднике будет превышать пробивное в течение времени, приблизительно равном RC_K . Если это время превысит время образования искры, исчисляемое долями микросекунды, произойдет срабатывание второго разрядника. При этом эстафета срабатывания будет передана от второго разрядника к третьему и т. д., что приведет к суммированию напряжений накопительных конденсаторов и появлению «молнии» на выходе генератора.

Если сопротивление зарядных резисторов R выбирается из условия эстафетного срабатывания разрядников, то оно определится следующей формулой:

$$R \geq \frac{1 \text{ мкс}}{C_K} \quad (4)$$

в которой положено, что время пробоя не превышает 1 мкс, а время удержания скачка напряжения на разряднике приблизительно равно постоянной времени RC_K , как это следует из графика рисунка 3.

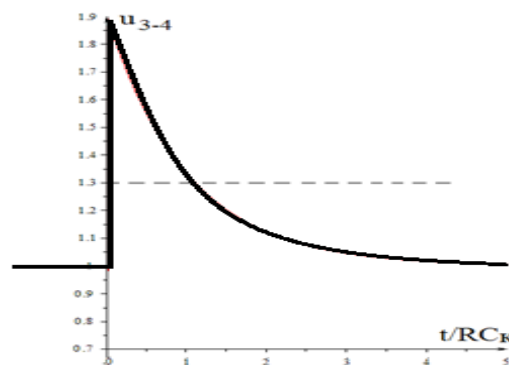


Рисунок 3 – График зависимости

Второй особенностью генераторов с неуправляемыми разрядниками является совмещение во времени процессов зарядки накопительных конденсаторов и срабатывания некоторых разрядников. Это обусловлено разноскоростным характером зарядки конденсаторов, вследствие чего величина напряжения некоторых накопительных конденсаторов оказывается недостаточной для пробоя соответствующих разрядников, в то время как для других

конденсаторов условие пробоя уже выполняется. При этом наблюдается хаотичное срабатывание части разрядников без образования выходного импульса генератора.

Очевидно, что напряжение первого конденсатора, увеличиваясь быстрее остальных, достигнет величины пробоя разрядника в тот момент, когда напряжения остальных конденсаторов еще далеки от этого. Поэтому первый пробой первого разрядника не приведет к пробоям второго и последующих разрядников. В то же время срабатывание первого разрядника на время искры в нем прекратит зарядку первого конденсатора и приведет к частичной потере его заряда. При этом лишь часть энергии первого конденсатора будет передана конструктивным конденсаторам, остальная затрачивается на ионизацию воздуха и излучение. После прекращения искры в разряднике конденсатор вновь дозаряжается до напряжения его пробоя. В результате среднее напряжение первого конденсатора будет меньше, чем напряжение срабатывания первого разрядника на некоторую величину, которую невозможно оценить теоретически так как потери энергии на ионизацию и излучение неизвестны.

Измерение средней величины напряжения на первом накопительном конденсаторе может проводиться непосредственно с помощью электростатического киловольтметра. Имеющийся у нас вольтметр С-196 позволяет измерять постоянное напряжение до 30 КВ. Измерения проводятся в два этапа. Вначале вольтметр подключается к входной клемме множительной колонны и измеряется напряжение источника ее питания. Регулировкой источника выставляется напряжение 30 КВ. Затем вольтметр подключается к конденсатору C_1 колонны. Его показание дает среднюю величину напряжения и, в зависимости от настройки первого разрядника, составляло 24 – 27 КВ.

Поскольку второй и последующий конденсаторы получают заряд от первого, напряжение на них может только асимптотически стремиться к среднему напряжению первого конденсатора, которое заведомо меньше напряжения пробоя первого разрядника. Если распространить эти рассуждения на остальные конденсаторы и разрядники, то приходим к выводу о том, что при условии срабатывания предыдущего разрядника, напряжение на последующем накопительном конденсаторе будет меньше, чем на предыдущем. При большом числе каскадов генератора потеря напряжения на дальних от входа каскадах будет настолько большой, что оставшейся части оказывается недостаточно для срабатывания дальних разрядников, и генератор будет неработоспособным.

Для восстановления его работы требуется уменьшение пробивных напряжений дальних разрядников. В результате мы приходим к ситуации использования различных разрядников, пробивные напряжения которых уменьшаются по мере увеличения их номеров в множительной колонне. После многочисленных регулировок разрядников созданной множительной колонны определилась следующая методика их проведения: 1) устанавливаются максимальные зазоры во всех разрядниках, при которых они не пробиваются напряжением источника питания; 2) уменьшаем зазор первого разрядника до наступления его пробоя, обычно при этом происходит и пробой второго разрядника без его регулировки; 3) повторяем операцию регулировки зазоров последующих разрядников, добиваясь их срабатывания. В результате данных регулировок все разрядники колонны дают искру, причем частота срабатывания их уменьшается по мере удаления разрядника от входных клемм. При этом гене-

ратор создает «молнии» между выходными клеммами.

Разноскоростной характер заряда зарядки накопительных конденсаторов создает ситуацию, при которой в момент срабатывания первого разрядника напряжения на втором и последующих еще недостаточны для их возбуждения, даже с учетом скачка напряжений, вызванного первым разрядником. Однако напряжение на первом накопительном конденсаторе уменьшится, и зарядка колонны задержится на время подзарядки первого конденсатора. Аналогичные процессы будут происходить при срабатывании второго и последующих разрядников. В результате время, необходимое для зарядки всех накопительных конденсаторов колонны, оказывается значительно, в десятки - сотни раз больше того, которое получается из упрощенной модели с управляемыми разрядниками. Дать теоретическую оценку этому времени мы не можем ввиду случайного характера срабатывания разрядников и множества внешних факторов, например, уровня ионизированности окружающего воздуха. Из экспериментов вытекает оценка, выражаемая следующей формулой:

$$T_{\text{заряд}} \approx (2 - 4)N^2t, \quad (5)$$

где t – постоянная времени одного звена колонны, N – число звеньев в ней.

После тщательной настройки разрядников удавалось получить период следования «молний» на выходе около 0.3 с (3 «молнии» в секунду), что при имевшейся постоянной времени $t \approx 0.5$ мс и числе звеньев $N=17$ приблизительно соответствует (5).

Список цитированных источников

1. Пичугина, Т.М. Мощная импульсная техника. – Томск: Томский политехнический университет, 2005. – 96 с.
2. Месяц, Г.А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. – М.: Советское радио. – 1974. – 213 с.
3. Смирнов, С.М. Генераторы импульсов высокого напряжения / С.М. Смирнов, П.В. Терентьев. – М.: Энергия, 1964. – 239 с.
4. Воеводин, В.С. Малогабаритный высоковольтный наносекундный генератор Аркадьева – Маркса на воздушных разрядниках / В.С. Воеводин, В.В. Горохов, В.И. Карелин. // Приборы и техника эксперимента. – 2000. - №3. – С. 67-71.

УДК 621.92.001.891.57:744

Павлючик А.В.

Научный руководитель: старший преподаватель Омесь Д.В.

ПОЛЕТ 3D

Кинетическое искусство – направление в современном искусстве, обыгрывающее эффекты реального движения всего произведения или отдельных его составляющих [1]. Такой вид искусства основывается на представлении о том, что с помощью света и движения можно создать произведение искусства.

Для этого не всегда достаточно навыков художника. Часто необходимо иметь представление о механизмах, передающих и преобразующих движение; о материалах и методах их обработки для создания нужных деталей; о методах разработки и проектирования с использованием современных систем трехмерного моделирования. Знание математики и физики также приветствуется. Художник становится настоящим инженером, обладающим обширными