

ENGINEERING AND IT

UDC 621.373.4

DOI 10.36074/2663-4139.12.06

ПРИМЕНЕНИЕ ТАСИТРОНОВ В СХЕМАХ С ИНДУКТИВНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

ВОЛЯР Б.студент факультета электроники
*Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского***НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:****КУЗЬМИЧЕВ А.И.**д-р. техн. наук, профессор кафедры электронных приборов и устройств
Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского

УКРАИНА

Аннотация.

Рассмотрены особенности генерации высокого напряжения в импульсной или слабопульсирующей форме для различных применений с использованием индуктивного накопителя энергии. Высокое напряжение (десятки киловольт) генерируется за счёт самоиндукции при отключении накопителя от низковольтного источника тока накачки (напряжением менее 1 кВ) с помощью высоковольтного прибора-коммутатора таситронного типа. Таситрон является газоразрядным триодом с густой управляющей сеткой, которая обеспечивает иницирование разряда между катодом и анодом при положительном напряжении для накачки током накопителя, а затем его отключение от источника тока при подаче на сетку отрицательного напряжения 20-200 В благодаря запирающему электронному потоку на анод. Таситроны способны выключать токи от единиц до сотен ампер при наличии высокого напряжения между катодом и анодом за время порядка 1 мкс. Рассмотрены диаграммы изменения во времени тока и напряжения на таситроне и нагрузке при генерации как импульсного, так и слабопульсирующего напряжения. В последнем случае параллельно нагрузке включается накопительный (фильтровой) конденсатор, питающий нагрузку в периоды накачки индуктивного накопителя, а для динамического разделения цепей накопительного конденсатора и таситрона предложено использовать быстродействующий импульсный газотрон. Приведены формулы, позволяющие оценивать параметры процесса генерации напряжения. Предложено применять комбинированный прибор-коммутатор, содержащий в одном корпусе таситрон и газотрон с общим катодным электродом для упрощения схемы генератора высокого напряжения.

Ключевые слова: *высокое напряжение, импульсное напряжение, таситрон, индуктивный накопитель энергии, импульсный газотрон.*



© Воляр Б., 2020

© Volyar B., 2020

<https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2663-4139><https://doi.org/10.36074/2663-4139.12.06>

Введение.

Многие электрофизические, в том числе плазменные, электрохимические и электротехнологические процессы, а также некоторые медицинские процедуры, основаны на использовании высокого электрического напряжения (U) [1, 2]. Напряжение может быть постоянным, переменным или импульсным. Величина U зависит от применения и может составлять от единиц до сотен киловольт. Широкий диапазон применений высокого напряжения требует наличия генераторов для широких диапазонов мощностей (P) и временных параметров (длительностей импульсов τ и периодов их повторения $T = 1/F$, где F – частота следования импульсов). На практике требуются импульсные мощности P от 10 Вт до 1 ГВт при средней за период величине $P_{\text{ср}}$ от ватт до сотен киловатт. Такие же величины $P_{\text{ср}}$ могут требоваться при работе нагрузки на постоянном токе (ПТ). Длительность импульсов может составлять от долей наносекунд до режима ПТ. Поскольку один тип генератора не может обеспечить получение высокого напряжения во всём диапазоне возможных параметров, используются различные методы генерации.

В случае относительно малых мощностей (единицы-десятки ватт) постоянное U получают либо от батареи гальванических элементов, либо за счёт каскадного включения накопительных конденсаторов в схемах диодно-конденсаторных умножителей напряжения. В случае больших мощностей используют повышающие трансформаторы и выпрямители с ёмкостным фильтром, служащего накопителем энергии. Импульсное высокое напряжение чаще всего получают за счёт разрядки накопительного конденсатора на нагрузку через повышающий трансформатор с помощью импульсного ключевого прибора либо за счёт каскадного включения накопительных конденсаторов, как в генераторе Маркса [1]. Также известен бестрансформаторный способ генерации высокого напряжения с помощью индуктивного накопителя энергии (ИНЭ), который основан на явлении генерации напряжения самоиндукции (U_L) при выключении тока: $U_L = -(di_L/dt)$, где L – индуктивность накопителя, di_L/dt – скорость снижения тока [1]. При быстром выключении тока величина U_L может достигать значений, намного превосходящих напряжение первичного источника для накачки накопителя током, т.е. ИНЭ может выполнять функции трансформатора напряжения, но при этом ток нагрузки не будет больше i_L . Как правило, генераторы высокого напряжения на основе ИНЭ проще других схем, поэтому такой подход используется во многих схемах бестрансформаторного питания [3-5]. Особенностью генераторов с ИНЭ является необходимость применения ключевого прибора (S), который способен не только включать ток накачки ИНЭ, но и выключать его, и чем быстрее, тем лучше. При этом прибор в выключенном состоянии должен выдерживать без пробоя высокое напряжение U_L .



В настоящее время имеется ряд электронных приборов, способных многократно и в частотном режиме выключать ток при наличии напряжения на электродах. К таким приборам относятся транзисторы, запираемые (двухоперационные) тиристоры, электровакуумные коммутаторы (ЭВК) с запираением электронного потока и некоторые типы газоразрядных (плазменных) коммутаторов (ГРК) [1, 6]. Наибольшее распространение получили транзисторы, главным образом, в системах высокоэффективного бестрансформаторного питания радиоэлектронной аппаратуры, но величина допустимого напряжения у них не превышает нескольких киловольт [3-6]. Это также относится к запираемым тиристорам [6]. ЭВК весьма эффективны по скорости выключения и допустимому напряжению, но они громоздки и у них большие потери мощности на подогрев катода и транспортировку электронного потока через вакуумные промежутки в период проводимости. ГРК имеют меньшие потери в этот период благодаря компенсации электронного пространственного заряда положительным зарядом плазменных ионов. Однако прерывание газового разряда при наличии напряжения на электродах очень проблематично. Как известно, такая же проблема имеет место в приборах тиристорного типа, процессы в которых во многом аналогичны процессам в ГРК.

Предложены различные подходы к управляемому выключению ГРК, один из перспективных основан на сеточном управлении, который похож на сеточное управление в ЭВК. ГРК с сеточным управлением был назван таситроном [7]. Современные таситроны позволяют выключать ток до 1 кА при напряжении до 25 кВ и больше [7]. Их основное назначение – работать совместно с емкостными накопителями энергии, но представляет интерес их применение и для генерации высокого напряжения совместно с ИНЭ без использования повышающих трансформаторов. Такое применение таситронов, как показали авторы [8], весьма востребовано, но оно исследовано недостаточно. Его развитие позволило бы расширить область использования этих ГКП, способствовало бы увеличению их промышленного выпуска, и разработке новых конструкций. Цель данной работы рассмотреть особенности генерации таситронами высокого напряжения и представить варианты модернизации их конструкции с учетом совместной работы с ИНЭ.

Принцип действия таситронов.

Поскольку эти приборы – малоизвестны, представим краткую информацию о принципе их действия. Конструкция таситронов триодного типа относительно простая: катод (с подогревом для получения термоэлектронной эмиссии или без подогрева с использованием ионно-электронной эмиссии) – управляющая сетка – анод. Эта конструкция напоминает триодные ЭВК (электронные лампы) и ГРК (тиратроны), но в отличие от первых таситроны наполнены водородом при давлении около 10 Па, а в

© Воляр Б., 2020

© Volyar B., 2020

<https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2663-4139>

<https://doi.org/10.36074/2663-4139.12.06>

отличие от водородных тиратронов они имеют густую мелкоструктурную сетку [7]. Густая сетка при подаче на неё отрицательного напряжения U_g создаёт запирающий барьер для электронов на их пути к аноду, как в вакуумной электронной лампе. Запирающий барьер создаётся в ионной оболочке около сетки. Диаметр отверстий в сетке таситронов $d_g < 1$ мм, так что при $U_g = 20-200$ В толщина ионных оболочек $d_i > 0,5 d_g$, в результате эти оболочки и запирающий барьер перекрывают отверстия. В тиратронах величина $d_g \gg d_i$, поэтому ионные оболочки экранируют действие управляющей сетки, и они не могут выключать ток. Недостаток густой сетки в таситронах – повышенный нагрев, поэтому требуется её эффективно охлаждать. Включается таситрон подачей положительного напряжения на сетку и инициированием газового разряда в промежутке катод-сетка с последующим перебросом разряда на анод. Таситрон имеет малое внутреннее сопротивление и соответственно высокий коэффициент использования анодного напряжения (до 95 %). Обладая высокой стабильностью моментов включения и выключения и малым временем деионизации послеразрядной плазмы, таситрон позволяет коммутировать импульсы длительностью $\tau = 0,1-100$ мксек с частотой следования импульсов F до нескольких сотен килогерц. Отметим ещё раз, что принципы действия таситронов и запираемых тиристоров во многом аналогичны, но промежуток сетка-анод в таситронах способен выдерживать намного более высокое напряжение (десятки киловольт), чем тиристоры.

Базовые варианты построения схемы таситронного генератора высокого напряжения.

Из всего многообразия возможных схем построения таситронного генератора высокого напряжения можно выделить два базовых варианта, которые представлено на рис. 1. Один предназначен генерировать коротко-импульсное напряжение, а второй – слабо пульсирующее почти постоянное напряжение. В первом варианте нагрузка R_n' нагрузка подключается слева к таситрону S , а во втором варианте нагрузка R_n'' подключается параллельно конденсаторному накопителю энергии или фильтру C_f и вместе с последним соединена с ИНЭ (L) и таситроном S через диод блокирующий D . На рис. 2 представлена временная диаграмма работы генератора по первому варианту.

В обоих вариантах включения нагрузки таситрон S используется для накачки током ИНЭ (L) и работает в импульсном режиме, находясь в проводящем состоянии в период с момента подачи положительного напряжения на сетку t_0 до момента t_3 окончания послеразрядного деионизационного процесса восстановления электрической прочности анодного промежутка таситрона. Электрическая прочность определяется максимальным анодным напряжением, которое выдерживает таситрон без самопроизвольного перехода в проводящее состояние.



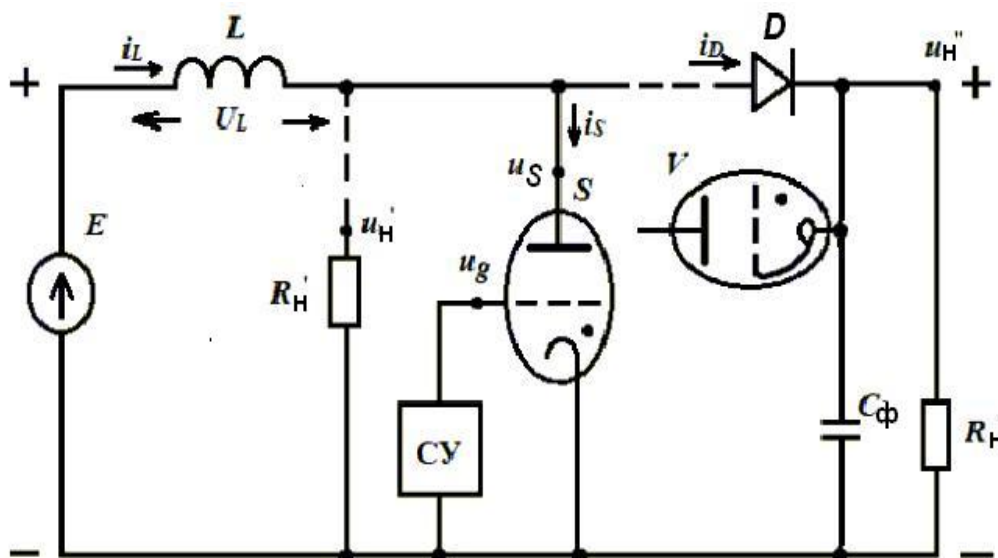


Рис. 1. Схема генератора высокого напряжения.

Штриховой линией показаны варианты включения нагрузки ($R_{н'}$ или $R_{н''}$). C_{ϕ} – конденсаторный фильтр, D – коммутирующий (блокирующий) диод, E – источник питания, L – ИНЭ, S – таситрон, V – коммутирующий (блокирующий) газотрон, CY – система управления таситроном

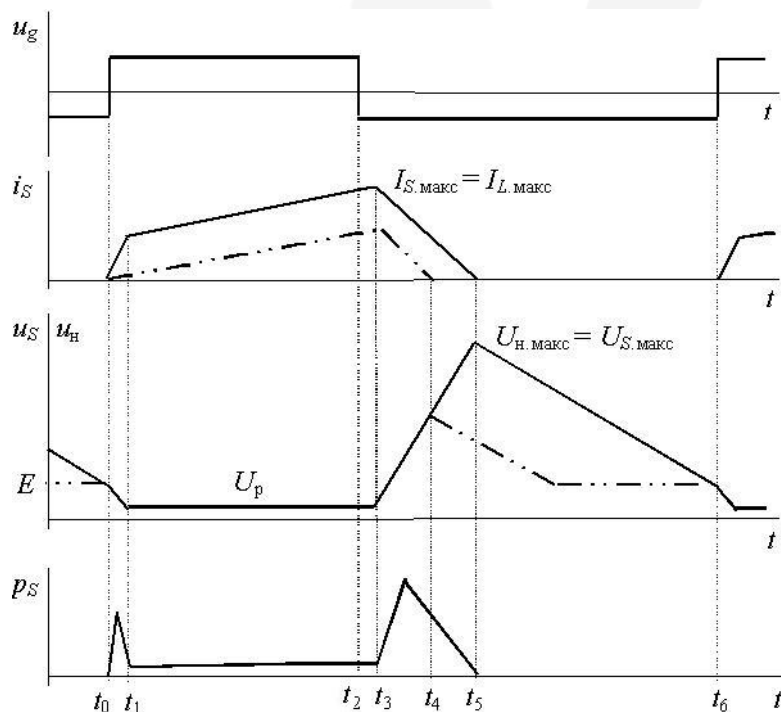


Рис. 2. Временная диаграмма работы генератора.

Для наглядности временной масштаб событий растянут на стадиях включения и выключения таситрона.



В период $[t_0, t_1]$ формируется разряд между катодом и анодом таситрона и он переходит в нормальное проводящее состояние. Время формирования разряда – порядка 0,1 мкс. В периоды $[t_2, t_3, t_4]$ или $t_5]$ происходит деионизация плазмы в таситроне и восстанавливается его электрическая прочность. Время восстановления – порядка 0.5-2 мкс. Причём в период $[t_2, t_3]$ концентрация послеразрядной плазмы остаётся довольно большой, сохраняется почти нормальная проводимость таситрона и продолжается зарядка ИНЭ, затем проводимость резко падает. В указанные периоды мощность тепловой нагрузки на таситрон p_S – максимальная, см. нижнюю диаграмму на рис. 2. В период нормальной (т.е. максимальной) проводимости таситрона $[t_1, t_3]$ падение напряжения $U_{S,1}$ на нём порядка 50-100 В и слабо зависит от тока. Это позволяет заменить таситрон эквивалентным генератором встречного напряжения $U_{S,1}$ при расчёте электрической цепи во время зарядки ИНЭ. Длительность положительной части управляющего импульса на сетку U_g можно сократить, но до величины не менее времени формирования (на практике – до нескольких микросекунд), и перейти к двухимпульсному управлению (короткий отпирающий импульс и длинный запирающий). Это снижает тепловую нагрузку на сетку. Длительность накачки ИНЭ определяется заданными параметрами схемы и режимом работы генератора, таситроны допускают накачку длительностью десятки-сотни микросекунд при достаточном охлаждении сетки.

В период накачки ИНЭ его ток определяется следующей формулой, если пренебречь внутренним сопротивлением источника, ИНЭ и динамическим сопротивлением таситрона: $i_L = (E - U_{S,1})(t - t_1)/L + i_0$, где i_0 – остаточный ток в ИНЭ перед включением таситрона. При работе схемы в режиме генератора импульсного напряжения с нагрузкой R_n' минимальное значение $i_0 = E/R_n'$, а максимальное определяется степенью разряда ИНЭ в период $[t_5, t_6]$, когда таситрон выключен. Имеет место линейный заряд ИНЭ. Энергия A , запасаемая в ИНЭ, определяется по известной формуле: $A = 0.5L(i_{L,3})^2$, где $i_{L,3}$ – ток ИНЭ в момент окончания периода зарядки t_3 .

Генерация импульсов высокого напряжения.

Диаграммы на рис. 2 также представляют динамику генерации импульса высокого напряжения в период разрядки ИНЭ с различным запасом энергии. Поскольку таситрон S и нагрузка R_n' соединены параллельно, они находятся под одинаковым напряжением ($u_S = u_n'$). После подачи в момент t_2 отрицательного напряжения на сетку таситрона начинается процесс деионизации послеразрядной плазмы и выключения тока i_S . Проводимость таситрона начинает снижаться, соответственно, снижается ток i_S и возрастает ток через нагрузку R_n' , формируя передний фронт импульса напряжения. На практике длительность фронта составляет



несколько микросекунд, на её величину влияет не только процесс деионизации послеразрядной в таситроне, но и паразитные ёмкости, и потери энергии в схеме. Текущая величина напряжения на нагрузке определяется выражением $U_{н'} = (i_L - i_S)R_{н'}$ и достигает максимального значения $U_{н.макс}$ в моменты t_4 или t_5 . Если пренебречь потерями энергии в таситроне в период деионизации, получаем формулу для оценки амплитуды импульса напряжения $U_{н.макс} = i_{L.3}R_{н'} = U_{S.макс}$.

Затем начинается экспоненциальный спад напряжения на нагрузке и формируется задний фронт импульса напряжения. Этот процесс описывается уравнением $U_L + Ri_L = L(di_L/dt) + Ri_L = E$, где R – сопротивление всей цепи, включая сопротивление нагрузки $R_{н'}$, активное сопротивление ИНЭ и внутреннее сопротивление источника первичного питания. Отсюда, если пренебречь потерями энергии в таситроне в период деионизации, получаем формулу для текущего напряжения на заднем фронте импульса на нагрузке $U_{н'} = E + i_{L.3}R \exp[-R(t-t_3)/L]$. Сплошными линиями на рис. 2 показаны диаграммы для случая, когда ИНЭ не полностью разряжается в период $[t_5, t_6]$, а штрих-пунктирной линией показаны диаграммы для случая, когда ИНЭ полностью разряжается в период $[t_4, t_6]$. Видно, что неполный разряд ИНЭ, позволяет получать большую амплитуду импульсов при прочих равных условиях. Такой разряд ИНЭ имеет место при работе в частотном режиме с короткой длительностью выключенного состояния таситрона. Более того, в этом случае можно получать на нагрузке почти прямоугольные импульсы напряжения. Очевидно, что чем больше отношение R/L , тем меньше разряжается ИНЭ во время генерации импульса напряжения.

Генерация высокого напряжения с конденсатором около нагрузки.

Для получения постоянного, точнее, слабо пульсирующего напряжения на нагрузке $R_{н''}$ параллельно ей включают накопительный, сглаживающий или фильтровой конденсатор C_{ϕ} , как показано на рис. 1. Для предотвращения разряда C_{ϕ} через открытый таситрон S во время накачки ИНЭ введён блокировочный диод D . В результате получается схема, которая аналогична схеме бустера, широко применяемого в транзисторных бестрансформаторных источниках питания для преобразования, регулирования и стабилизации повышенного напряжения [3-5, 9]. На рис. 3 приведены временные диаграммы работы подобного генератора, но выполненного на таситроне. Части диаграмм со штриховкой обозначают периоды длительностью τ , когда открыт таситрон и происходит подкачка ИНЭ. Блокировочный диод D в эти периоды закрыт, и энергия в нагрузку поступает только из конденсатора C_{ϕ} , сопровождаемая некоторой его разрядкой. В периоды длительностью θ наоборот закрыт таситрон, но открыт диод D и энергия в нагрузку и конденсатора C_{ϕ} поступает из ИНЭ, сопровождаемая подзарядом C_{ϕ} .



Теория транзисторных бустеров описана в литературе [3-5, 9], её выводы можно с некоторыми оговорками применить и к таситронному генератору. В идеальном случае, когда не сказываются активные потери мощности, можно было бы получить многократное, в десятки раз большее напряжение на нагрузке относительно величины E . Однако, с учётом потерь эффект повышения выходного напряжения генератора относительно величины E ограничивается согласно формулы $U_{H''} = \eta E / (1 - \gamma)$, где η – КПД преобразования напряжения ($\eta \sim 0,8-0,9$), γ – коэффициент заполнения импульсов ($\gamma = \tau / T$).

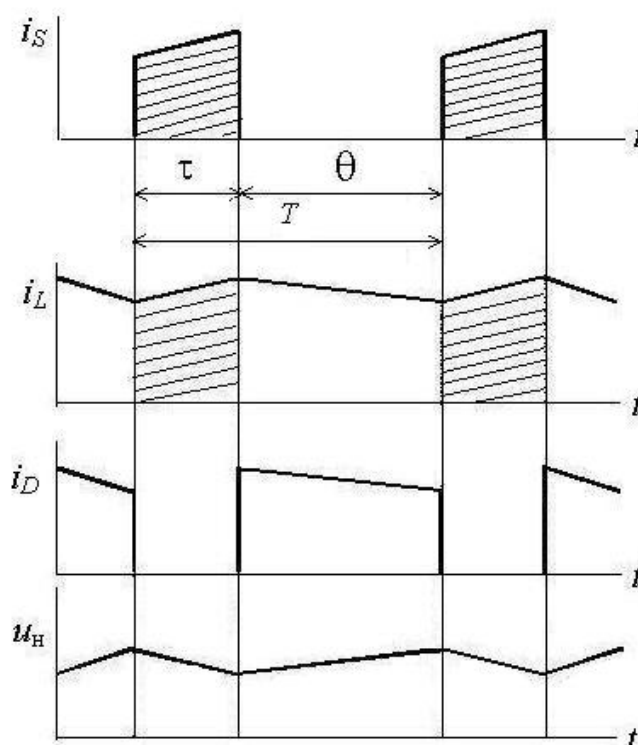


Рис. 3. Временные диаграммы работы генератора слабо пульсирующего напряжения с накопительным конденсатором около нагрузки

Также известны формулы для оценки эффекта повышения напряжения, непосредственно учитывающие величины активных сопротивлений элементов схемы. В [9] для случая равенства активных сопротивлений цепей зарядки и разрядки ИНЭ (r) выведена формула $U_{H''} = E[1 + 2(r/R_{H''})](1 - \gamma)$. В другой формуле [3] учитывается разница в величинах сопротивлений цепей зарядки (r_3) и разрядки (r_p): $U_{H''} = E(1 - \gamma)[(1 - \gamma)^2 + \gamma r_3 / R_{H''} + (1 - \gamma)r_p / R_{H''}]$. Мощность суммарных потерь в таситроне во время переходных процессов включения и выключения (каждый длительностью $\tau_{пер}$) можно оценить по формуле [3]: $P_{с.пер} = \tau_{пер} I_0 R_{H''} / 3(1 - \gamma) T$, где I_0 – средний за период T ток ИНЭ. В итоге имеется граничное значение $\gamma_{гр} = 1 - (r/R_{H''})^{1/2}$, выше которого эффект повышения напряжения пропадает [9]. Отсюда, для транзисторных бустеров



коэффициент γ выбирают не более 0,8-0,9, а максимальное повышение напряжение не более 5. В случае таситронных генераторов вследствие их высоковольтности и меньшей величины отношения r/R_H'' ожидается существенно большее повышение напряжения.

В качестве блокирующего диода можно применять не только полупроводниковые вентили (на практике это цепочки из большого количества последовательно включённых дискретных приборов), но и быстродействующий высоковольтный импульсный газоразрядный вентиль (импульсный газотрон) V , показанный как вариант исполнения на рис. 1. Причём наиболее целесообразно применять газотрон с холодным (ненакаливаемым) катодом. В них для ускорения восстановления вентильной прочности вводится катодная сетка (деионизационный фильтр), соединённым с катодом. Применение кенотронов и газотронов с термокатодом нецелесообразно из-за необходимости введения в схему накального трансформатора в высоковольтном исполнении, что усложняет конструкцию генератора и требует расхода мощности на подогрев катода.

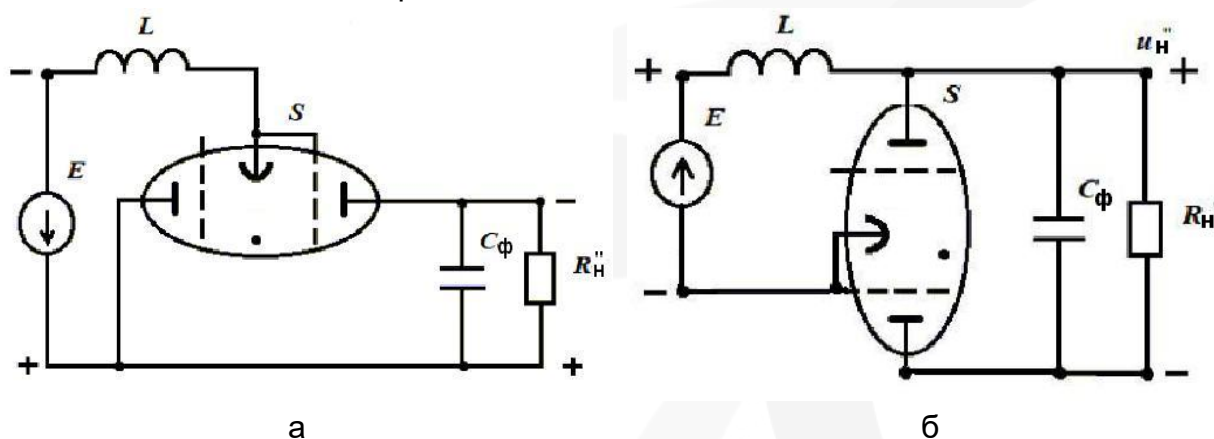


Рис. 4. Генератор высокого напряжения на комбинированном ГРК (таситрон + газотрон)

Учитывая то обстоятельство, что в схеме генератора одноимённые электроды таситрона и газотрона могут иметь общую точку соединения и находиться под одинаковым потенциалом, можно применять вместо двух приборов один комбинированный ГРК, состоящий из таситронной и газотронной частей, но имеющий общий электрод. Таким общим электродом для обеих частей может быть анод (как это видно из рис. 1) или катод. Выбор конструктивного варианта, очевидно, определяется наличием соответствующего промышленного прибора и требованиями потребителя данной техники. Из практических соображений в качестве общего электрода целесообразно выбирать более сложный по конструкции электрод, а таким чаще всего является катод. На рис. 4 показаны варианты построения схемы генератора с подобным ГРК для разных полярностей выходного напряжения. Подобная схема



генератора практически реализуема, поскольку имеется мировой опыт успешной разработки высоковольтных ГРК довольно сложной конструкции, а наши исследования на макетных образцах подтверждают это предположение [8, 10]. Таким образом, создание комбинированного прибора “таситрон + импульсный газотрон” можно рассматривать как возможную задачу для электронной промышленности.

Выводы.

Рассмотрены особенности генерации высокого напряжения для различных применений с использованием индуктивного накопителя энергии и таситрона в качестве газоразрядного коммутатора, периодически подключающего индуктивный накопитель к источнику тока накачки. Высокое напряжение генерируется за счёт эффекта самоиндукции при отключении индукционного накопителя от источника накачки. При этом можно исключить использование в схеме генератора высоковольтного повышающего трансформатора. Величина генерируемого напряжения может составлять десятки киловольт. Выходная мощность генератора на таситроне может достигать десятков киловатт.

Применение таситрона упрощает электрическую схему генератора, так как один такой коммутатор может заменить несколько полупроводниковых приборов, включаемых последовательно. Также упрощается схема, повышается энергетическая эффективность и снижаются масса и габариты генератора по сравнению с генераторами на электривакуумных коммутаторах (электронных лампах).

Схему на таситроне можно использовать для генерации как высоковольтных импульсов, так и слабопульсирующего напряжения при введении в схему дополнительного накопительного (фильтрующего) конденсатора и разделительного (блокирующего) диода, в качестве которого целесообразно использовать быстродействующий импульсный газотрон с холодным катодом. В последнем случае предложено использовать комбинированный газоразрядный коммутатор, состоящий из таситронной и газотронной частей с общим катодным электродом в одной герметичной оболочке, что упростит и удешевит схему генератора высокого напряжения.

Проведенный анализ особенностей генерации высокого напряжения с помощью индуктивного накопителя энергии и таситрона позволяет сделать вывод о применимости подобной технологии, а для её продвижения целесообразно развить теорию и методику расчета коммутационных потерь в таситроне в периоды его включения и выключения, что очень важно при работе на повышенных частотах, когда можно использовать индуктивный и дополнительный конденсаторный накопители энергии с малыми значениями индуктивности и емкости и, соответственно, меньшими массами и габаритами. Также целесообразно выполнить проект комбинированного прибора с таситроном и газотроном в общей оболочке.



© Воляр Б., 2020

© Volyar B., 2020

<https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2663-4139><https://doi.org/10.36074/2663-4139.12.06>

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ:

- [1] Месяц Г.А. *Импульсная энергетика и электроника*. М.: Наука; 2004. [Mesyats GA *Pulsed Power*. Springer Science & Business Media; 2004].
- [2] Олейник В.П. *Терапевтические аппараты и системы*: учебное пособие. Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т "Харьк. авиац. ин-т"; 2002. [Oleynik VP *Therapeutic apparatuses and systems*: schoolbook. Kharkov: National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute"; 2002. (In Russ).].
- [3] Пилинский В. В. *Источники вторичного электропитания с бестрансформаторным входом для электронной аппаратуры*: учебное пособие. Киев: КПИ; 1985. [Pilinsky VV *Secondary power supplies with transformerless input for electronic equipment*: schoolbook. Kiev: KPI; 1985. (In Russ).].
- [4] Браун М. *Источники питания. Расчёт и конструирование*. К.: МК-Пресс; 2005. [Brown M. *Power supply cookbook*. Burlington, Ma., USA: Elsevier Science; 2001].
- [5] Гейтенко Е.Н. *Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчёт*: учебное пособие. М.: СОЛОН-ПРЕСС; 2008. [Geitenko EN *Secondary power supplies. Circuits and calculations*: schoolbook. Moscow: SOLON-PRESS; 2008 (In Russ).].
- [6] Воронин П.А. *Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применения*. М.: Изд. дом Додэка XXI; 2001. [Voronin PA *Power semiconductor switches: families, specifications, applications*. Moscow: Publishing Dodeka House XXI; 2001. (In Russ).].
- [7] Бочков В.Д., Королев Ю.Д. *Импульсные газоразрядные коммутрующие приборы* // Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Вводный том. М.: Наука; 2000. Кн. IV. С. 446-459. [Bochkov VD, Korolev YuD *Pulse gas discharge switch devices*. In: Encyclopedia of low-temperature plasma. Introductory volume. Moscow: Nauka; 2000; (IV): 446-459. (In Russ).].
- [8] Бочков В.Д., Верещагин Н.М., Горюнов Ф.Г. и др. *Индуктивные накопители энергии, использующие газоразрядные приборы с полным управлением и их применение* // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 1. № 2. С. 231-237. [Bochkov VD, Vereshchagin N., Goryunov FG et al. *Inductive energy storage elements with totally controllable gas-discharge devices and their application*. Optics of the atmosphere and ocean. 1996; 1(2): 231-237. (In Russ).].
- [9] Семенов Б.Ю. *Силовая электроника для любителей и профессионалов*. М.: СОЛОН-Р; 2001. [Semenov BYu *Power electronics for amateurs and professionals*. Moscow: SOLON-R; 2001. (In Russ).].
- [10] Авт. свид. СССР 951470, МКИ H01 J 17/44. Бакалейник И.И., Баранов А.И. *Импульсный газоразрядный прибор*; опубл. 15.08.1982, Бюлл. № 30. [Author's Certificate USSR SU951470, Int. Cl. H01 J 17/44. Bakaleinik II, Baranov AI. *Pulse gas discharge device*; publ. 15.08.1982, Bull. no.30. (In Russ).].

ЗАСТОСУВАННЯ ТАСІТРОНІВ В СХЕМАХ З ІНДУКТИВНИМ НАКОПИЧУВАЧЕМ ЕНЕРГІЇ

ВОЛЯР Б., студент факультета електроніки
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

КУЗЬМИЧЄВ А.І., д-р. техн. наук, професор кафедри електронних приладів та систем
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

УКРАЇНА

Анотація.

Розглянуті особливості генерації високої напруги в імпульсній або слабопульсуючій формі для різних застосувань з використанням індуктивного накопичувача енергії. Висока напруга (десятки кіловольт) генерується за рахунок самоіндукції при відключенні накопичувача від низьковольтного джерела струму накачки (напругою менше ніж 1кВ) з допомогою високовольтного приладу-комутатора тасітронного типу. Тасітрон є газорозрядним триодом з густою керуючою сіткою, що забезпечує ініціювання розряду між катодом і анодом при додатній напрузі для накачки струмом накопичувача, а потім його відключення від джерела струму при подачі на сітку від'ємної напруги 20-200 В завдяки запиранню електронного потоку на анод. Тасітрони здатні вимикати струми від одиниць до сотень ампер при наявності високої напруги між катодом і анодом за час порядку 1 мкс. Розглянуті діаграми зміни в часі струму і напруги на тасітроні і навантаження при генерації як імпульсної, так і слабопульсуючої напруги. В останньому випадку паралельно навантаженню вмикається накопичувальний (фільтровий) конденсатор, що живить навантаження в періоди накачки індуктивного накопичувача, а для динамічного розділу ланцюгів накопичувального конденсатора і тасітрона



© Воляр Б., 2020
© Volyar B., 2020

<https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2663-4139>
<https://doi.org/10.36074/2663-4139.12.06>

запропоновано використовувати швидкодіючий імпульсний газотрон. Наведені формули, що дозволяють оцінювати параметри процесу генерації напруги. Запропоновано застосовувати комбінований прилад-комутатор, що містить в одному корпусі тасітрон і газотрон з загальним катодним електродом для спрощення схеми генератора високої напруги.

Ключові слова: висока напруга, імпульсна напруга, тасітрон, індуктивний накопичувач енергії, імпульсний газотрон.

APPLICATION OF TASITRONS IN CIRCUITS WITH INDUCTIVE ENERGY STORAGE

VOLYAR B. M. *student of faculty of electronics*
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

SCIENTIFIC ADVISER:

KUZMICHEV A.I. *doctor of technical science, professor of electron device and system department*
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

UKRAINE

Abstract. Features of generating high voltage in a pulsed or weakly pulsating form for different applications with an inductive energy storage device are considered. High voltage (tens of kilovolts) is generated due to self-induction when the storage is disconnected using a high-voltage tacitron-type switch device from a low-voltage pumping current source (with voltage less than 1 kV). The tacitron is a gas-discharge triode with a dense control grid, which provides initiation of a discharge between the cathode and anode and pumping the storage at a positive voltage, and then disconnecting it from the pumping current source, when a negative voltage of 20-200 V is applied to the grid for the blocking of the electron flow to the anode. Tacitrons are able to turn-off currents from a few to hundreds of amperes in the presence of a high voltage between the cathode and anode that takes a time of the order of 1 μ s. Diagrams of changes in time of the current and voltage of the tacitron and the load during the generation of both pulsed and weakly pulsating voltages are considered. In the latter case, an additional storage (filter) capacitor is connected in parallel with the load, supplying the load by energy during the pumping periods of the inductive storage, and a high-speed pulse gas-filled rectifier diode is proposed to use for the dynamic separation of the storage capacitor and tacitron circuits in the said periods. Formulas are given that allow one to evaluate the parameters of the high voltage generation process. It is proposed to use a combined switching device containing tacitron and pulse gas-filled diode in one envelope with a common cathode electrode to simplify the high voltage generator circuit.

Keywords: *high voltage, pulse voltage, tacitron, inductive energy storage, pulse gas-filled rectifier diode.*



© Воляр Б., 2020
© Volyar B., 2020

<https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2663-4139>
<https://doi.org/10.36074/2663-4139.12.06>