

Н. И. БОЙКО, д-р техн. наук, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;

Л. С. ЕВДОШЕНКО, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;

В. М. ИВАНОВ, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЕМКОСТНО- ОМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

В статье рассмотрены некоторые особенностивозникающие при работе высоковольтных импульсных трансформаторов на реакторы с коронным и барьерным разрядом представляющие собой емкостно-омическую нагрузку

Ключевые слова: импульсный трансформатор, коронный разряд, импульс напряжения, транзисторный коммутатор

Введение. Трансформаторы являются устройствами, процессы в схемах с которыми изучаются в различных областях технической науки: технике сильных электрических и магнитных полей [1], теоретических основах электротехники, [2], технике высоких напряжений [3], импульсной технике, энергетике и электронике [4] и т.д.

Целью данной работы является объяснение некоторых особенностей, которые возникают в генераторах высоковольтных импульсов при работе высоковольтных импульсных трансформаторов на емкостно-омическую нагрузку. Такой нагрузкой, в частности, являются реакторы с коронными и барьерными разрядами.

Устройство генератора высоковольтных импульсов. Высоковольтные импульсные электрофизические установки включают в себя, как правило, накопитель энергии, систему умножения (трансформации) напряжения, систему коммутации и управления, нагрузку.

Генератор состоит из таких основных блоков: генератора низковольтных импульсов с системой управления, высоковольтного импульсного трансформатора и нагрузки в виде электродной системы. Низковольтные элементы генератора смонтированы в одном металлическом экранированном корпусе. Особое внимание уделено минимизации индуктивности подводящих проводов в разрядном контуре генератора. При помощи СУ можно отрегулировать частоту следования и длительность импульсов управления силового коммутатора VT .

В качестве силового коммутатора использованы мощные транзисторы IGBT. Кроме того силовыми коммутаторами могут служить мощные быстро-

действующие тиристоры.

Основной емкостный накопитель генератора C_0 заряжается от сети ~ 220 В, 50 Гц. Амплитуда зарядного напряжения C_0 регулируется 0 до 300 В.

Высоковольтный импульсный трансформатор (ВИТ) выполнен на стальном магнитопроводе броневого типа, с первичной и вторичной обмотками на одном стержне. Площадь поперечного сечения составляет 32 см^2 . Толщина стальной ленты, которой выполнен магнитопровод, составляет 80 мкм. Первичная и вторичная обмотка трансформатора выполнена медными многопроволочными проводами. Число витков в первичной обмотке составляет $w_1 = 30$, во вторичной обмотке $w_2 = 4200$. Коэффициент трансформации $K_{\text{тр}} = w_2/w_1 = 140$. Вторичная обмотка намотана сверху над первичной для уменьшения индуктивности рассеяния. Трансформатор размещен и закреплен в металлическом баке, который заполнен трансформаторным маслом для уменьшения габаритов и повышения электрической прочности. Крышка бака выполнена из оргстекла.

Упрощенная схема экспериментальной установки с высоковольтным импульсным трансформатором (ВИТ) и транзисторным коммутатором в цепи низковольтной обмотки ВИТ представлена на рис. 1. В схеме может присутствовать обостряющий искровой разрядник. Транзисторный коммутатор может работать и как замыкающий ключ, и как размыкающий ключ.

Рассмотрим режимы работы экспериментальной установки для варианта использования транзисторного коммутатора в качестве размыкающего ключа.

При работе схемы (рис. 1) на резистивную (омическую) нагрузку 39 кОм (резистор ТВО-60) осциллограммы импульсов напряжения на нагрузке представляют собой гладкие кривые, представленные на рис. 2.

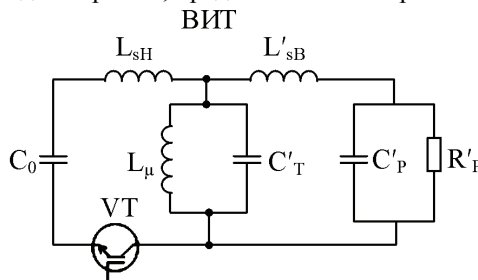


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки с высоковольтным импульсным трансформатором (ВИТ) и транзисторным коммутатором в качестве размыкающего ключа

При работе схемы (рис. 1) на емкостно-омическую нагрузку в виде реактора с коронным разрядом на осциллограммах на нагрузке, которые представлены на рис. 3, имеют место характерные скачки.

Фото реактора с коронным разрядом над поверхностью воды, который

являлся емкостно-омической нагрузкой в экспериментальной установке с ВИТ (по рис. 1), представлено на рис 4.

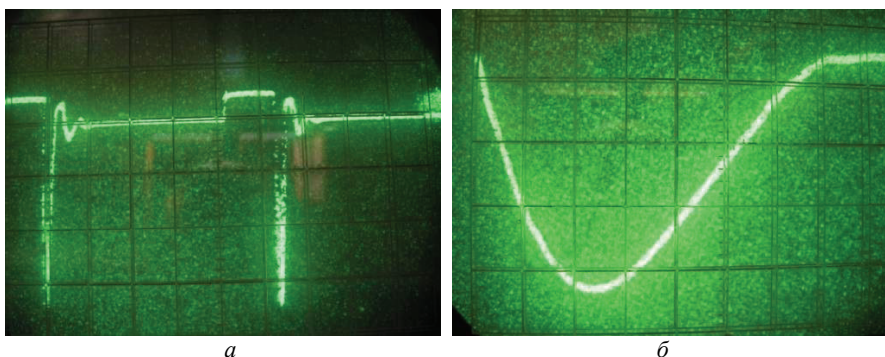


Рисунок 2 – Импульсы напряжения на резистивной нагрузке высоковольтного импульсного трансформатора (1 В/дел, $\kappa_d = 5260$): а – 200 мкс/дел, б – 5 мкс/дел

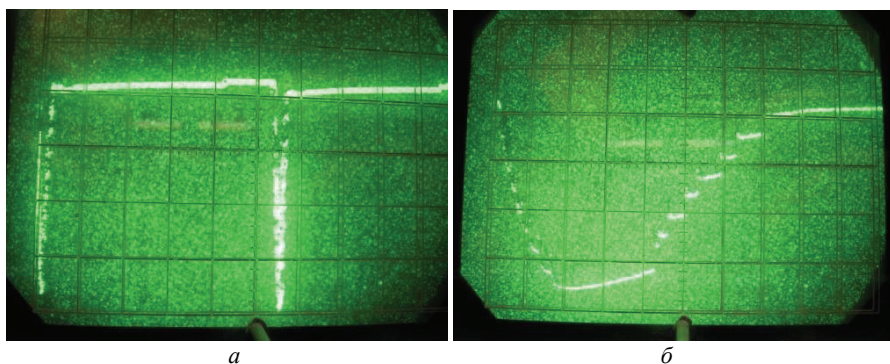


Рисунок 3 – Импульсы напряжения на емкостно-омической нагрузке (в виде реактора с коронным разрядом) высоковольтного импульсного трансформатора без обострения фронта импульсов (1 В/дел, $\kappa_d = 5260$): а – 200 мкс/дел, б – 5 мкс/дел

При работе схемы (рис. 1) на емкостно-омическую нагрузку в виде реактора с коронным разрядом с использованием обострения фронта импульсов на осциллограммах на нагрузке, которые представлены на рис. 5, также имеют место характерные скачки, отличающиеся от таковых на рис. 3.

Результаты исследований. Из осциллограмм на рис. 2-5 следует, что отрезок времени, в течение которого транзисторный ключ открыт, составляет примерно 200 мкс. На осциллограммах – это прямоугольный участок положительной полярности импульса на нагрузке (реакторе или эквивалентном активном сопротивлении). Затем, в результате размыкания транзисторного ключа, наблюдается более короткий по времени выброс напряжения отрица-

тельной полярности на нагрузке с амплитудой, существенно превышающей амплитуду прямоугольного импульса положительной полярности.



Рисунок 4 – Фото реактора с коронным разрядом на поверхность воды

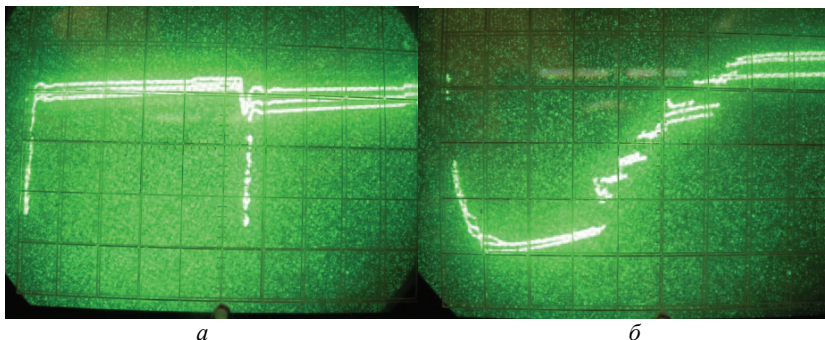


Рисунок 5 – Импульсы напряжения на емкостно-омической нагрузке (в виде реактора с коронным разрядом) высоковольтного импульсного трансформатора при использовании обострения фронта импульсов (1 В/дел, $k_n=5260$): *а* – 200 мкс/дел, *б* – 5 мкс/дел. На каждой осциллограмме наложено по три импульса

Скачки в случае емкостно-омической нагрузки объясняются наличием колебательных контуров: «медленного» $L_\mu - (C'_T + C'_P)$ и «быстрого» $L'_{SB} - C'_P$ с различными периодами колебаний: медленным T_M и быстрым T_θ , где C'_P – приведенная к первичной обмотке емкость реактора, C'_T – приведенная к первичной обмотке собственная емкость вторичной обмотки трансформатора.

$$T_M = 2\pi [L_\mu^2 (C'_T + C'_P)]^{1/2}, \quad (1)$$

$$T_\theta = 2\pi \left(L'_{SB} \frac{C'_T C'_P}{C'_T + C'_P} \right)^{1/2}. \quad (2)$$

Каждый скачок напряжения обеспечивается в тот момент, когда токи от быстрого и медленного контуров через емкость реактора арифметически складываются, достигая локальных максимумов $i_{p,max}$.

$$U_P = \frac{1}{C_P} \int_{t_0}^{t_1} i_P dt . \quad (3)$$

Характерной особенностью осциллограмм при использовании обострения является удлиненное по времени «плато» на вершине (максимуме) импульса напряжения (в данном случае отрицательной полярности, которая в общем случае может быть и положительной). Эта особенность объясняется тем, что, во-первых, обострение укорачивает время нарастания импульса напряжения до вершины. Во-вторых, на вершине импульса напряжение между электродами обостряющего разрядника практически отсутствует, и искровой разряд в нем может погаснуть примерно через 10 мкс. Тем более что использован многозазорный разрядник с величиной промежутков (зазоров) по 0,3 мм, обеспечивающий наименьшее время восстановления электрической прочности искровых промежутков. При этом заряженной емкости реактора некуда разряжаться, в то время как собственная емкость вторичной обмотки трансформатора C'_T разряжается на индуктивность намагничивания L_μ . Это приводит к появлению напряжения между электродами восстанавливающего свою электрическую прочность обостряющего разрядника, который при достижении этим напряжением пробивного значения пробивается, запуская процесс разряда емкости реактора на индуктивность намагничивания L_μ со скачками, возникающими из-за наличия колебаний напряжения и тока в указанных «медленном» и «быстром» контурах, позже, чем в случае без использования обострения.

При использовании транзисторного коммутатора в качестве замыкающего ключа скачки на осциллограммах импульсов напряжения на реакторе как на емкостно-омической нагрузке также возможны. Схема установки с высоковольтным импульсным трансформатором для такого режима представлена на рис. 6.

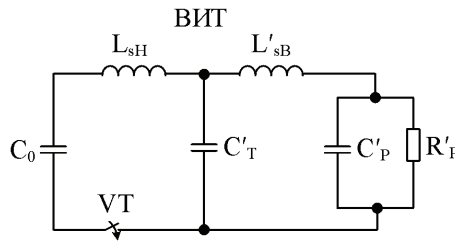


Рисунок 6 – Схема установки при использовании транзисторного коммутатора в качестве замыкающего ключа

В этом случае скачки можно объяснить наличием трех основных LC-контуров в разрядной цепи устройства (см. рис. 6). Назовем эти контуры условно так: медленный, средний и быстрый. Они соответственно связаны с основной накопительной емкостью, собственной емкостью импульсного трансформатора и емкостью нагрузки – реактора. Медленный контур обеспе-

чивает заряд емкости нагрузки – реактора за определенное время - время фронта. Средний и быстрый контуры обеспечивают скачки на фронте (а затем и на спаде) напряжения на реакторе. Причем, из-за отличия периодов колебаний в быстром и среднем контурах длительность отрезков после скачков не является строго монотонной. Каждый скачок напряжения на фронте обеспечивается в тот момент, когда токи от основной накопительной емкости и собственной емкости импульсного трансформатора через емкость реактора арифметически складываются с током от емкости реактора, достигая локальных максимумов $i_{p,max}$ (3).

Скачки имеют место и до появления разряда в реакторе.

При работе транзисторного коммутатора в качестве размыкающего ключа энергия в начальный момент каждого периода (в момент размыкания) запасена в индуктивности намагничивания импульсного трансформатора. При работе транзисторного коммутатора в качестве замыкающего ключа энергия в начальный момент каждого периода (в момент замыкания) запасена в основной накопительной емкости в цепи низковольтной обмотки импульсного трансформатора. В обоих вариантах энергия из источника передается в реактор, а затем частично (в общем случае) возвращается в источник, далее снова передается в реактор (колеблется). Следует отметить, что форма результирующего импульса напряжения на реакторе зависит от соотношения периодов колебательных контуров, указанных выше, как в режиме работы транзисторного коммутатора на размыкание, так и в режиме его работы на замыкание. При определенном соотношении периодов вместо скачков на фронте и спаде импульсов на реакторе могут иметь место наложенные колебания или другие отклонения от гладкой монотонной кривой.

Список литературы: 1. Испытательные и электрофизические установки. Техника эксперимента: Уч. пособ. для вузов по спец. «Техника высоких напряжений» / В. А. Авруцкий, И. П. Кужекин, Е. Н. Чернов; под ред. И. П. Кужекина – М.: МЭИ, 1983. – 262 с. **2.** К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин Теоретические основы электротехники. В 3 тт. – 2003. **3.** Разевиг Д. В. Техника высоких напряжений. – М.: Энергия, 1976. – 488 с. **4.** Месля Г.А. Импульсная энергетика и электроника. – М.: Наука, 2004. – 704 с.

Поступила в редколлегию 25.04.2013

УДК 621.319.53

Особенности работы высоковольтных импульсных трансформаторов на емкостно-омическую нагрузку / Н. И. Бойко, Л. С. Евдошенко, В. М. Иванов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 27 (1000). – С. 32-38. – Бібліогр.: 4 назв.

У статті розглянуті деякі особливості виникають при роботі високовольтних імпульсних трансформаторів на реактори з коронним і бар'єрним розрядом представляють собою змісне-Омічні навантаження

Ключові слова: імпульсний трансформатор, коронний розряд, імпульс напруги, транзисторний комутатор

The paper considers some of the features resulting from the operation of high voltage pulse transformers

for reactors with corona and the barrier discharge is a capacitive-resistive load

Keywords: pulse transformer, corona discharge, the voltage pulse, the transistor switch