

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ГАЗОРАЗРЯДНЫЙ ИСТОЧНИК ТОКА

В данной работе приведены результаты разработки и изготовления высоковольтного газоразрядного источника тока. Описаны возможности использования высоковольтного газоразрядного источника тока как для генерации барьерного разряда, так и для различных других разрядов.

Введение

Для увеличения возможности изучения различных видов разрядов была разработана электрическая схема, на основе которой и был собран высоковольтный газоразрядный источник тока (ВГИТ). ВГИТ является источником тока, так как имеет большое внутреннее реактивное сопротивление [1].

ВГИТ представляет из себя герметическую емкость со следующими размерами: длина 460 мм, ширина 360 мм, высота 270 мм и массой более 60 кг. Он состоит из 6 трансформаторов ТГ-1020, каждый из которых имеет массу примерно около 9 кг и выпрямителя. Помимо этого имеется емкость, в которой находятся трансформаторы и выпрямитель, заполнена 25 литрами трансформаторного масла с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,2$. Масло залито для того, чтобы избежать пробоя между трансформаторами, так как они являются высоковольтными. Внешний вид источника показан на рис.1.

ВГИТ изготовлен из 6 высоковольтных трансформаторов ТГ-1020. Эти трансформаторы имеют следующие характеристики $U_{эф}=10$ кВ; номинальный ток 20 мА; $W=120$ Вт. При коротком замыкании ток достигает 26 мА. Из этого следует, что номинальная нагрузка, подключаемая к трансформатору должна быть не более $R_n=3 \cdot 10^5$ Ом. В трансформаторе находится встроенная индуктивность L , которая и предохраняет трансформатор от коротких замыканий. Трансформатор имеет такие характеристики из-за того, что он используется для питания рекламных высоковольтных ламп и должен быть пожаробезопасен, а также не представляли опасность для жизни человека.

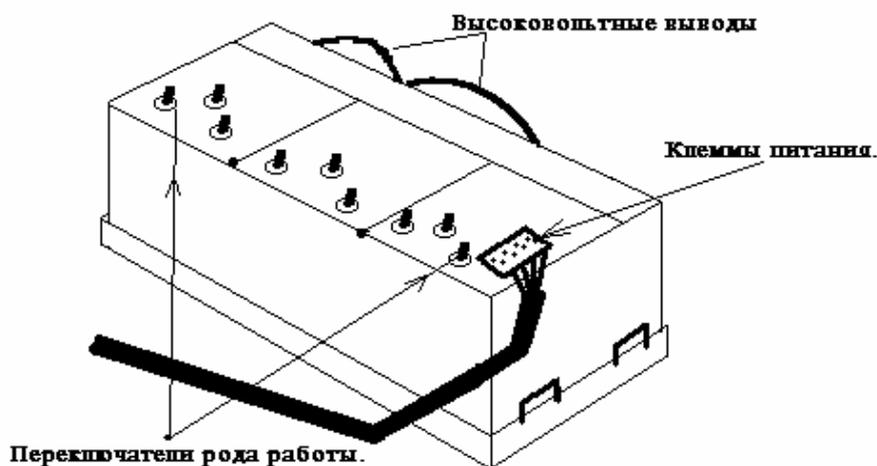


Рис. 1. Внешний вид ВГИТ.

Помимо трансформаторов во ВГИТ входит также и трехфазный выпрямитель, который собран по мостовой схеме с трехфазным выпрямителем.

1. Высоковольтный трехфазный выпрямитель

Выпрямитель для ВГИТ собран по трехфазной мостовой схеме выпрямления переменного тока. К данному выпрямителю обмотки трансформатора могут соединяться как звездой, так и треугольником. Выпрямитель образуется из 6 вентиляй. Каждый вентиль состоит из нескольких диодных столбов, так как каждый столб рассчитан на 6-15 кВ. А мы подаем более высокое напряжение порядка 20 кВ, поэтому для избежания пробоя нам пришлось соединить последовательно несколько столбов. В целом, выпрямитель состоит из 36 диодных столбов.

Каждый вентиль работает одну треть периода, причем ток проходит через тот из них, потенциал анода которого выше потенциалов анодов двух других, (в нечетной группе) или потенциал катода которого ниже потенциалов катодов двух других вентиляй (в четной группе). Переключение вентиляй происходит в моменты, соответствующие пересечению синусоид (рис.2).

В мостовых схемах нулевая точка трансформатора для выпрямления не нужна, поэтому вторичная обмотка может быть соединена как звездой, так и треугольником. В этих схемах половина вентиляй образует катодную группу, где все катоды вентиляй соединены между собой, а у второй половины вентиляй между собой соединены все аноды – это анодная группа.

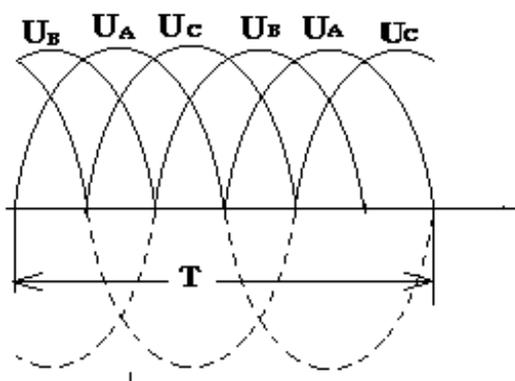


Рис.2. Трехфазная мостовая схема выпрямления [2].

При работе мостовых схем выпрямляются обе полуволны переменных напряжений всех вторичных обмоток трансформатора, благодаря чему пульсации выпрямленного напряжения значительно уменьшаются, а частота их соответствует удвоенному числу фаз системы при трехфазном питании, т.е. наблюдается шестифазная пульсация за период (рис.3). В схеме в данный момент работает тот вентиль катодной группы, у которого анод в это время имеет положительный наибольший потенциал, а также тот вентиль анодной группы, у которого катод имеет наибольший потенциал.

Так как мостовая схема обеспечивает шестикратное повторение пульсаций выпрямленного напряжения за период

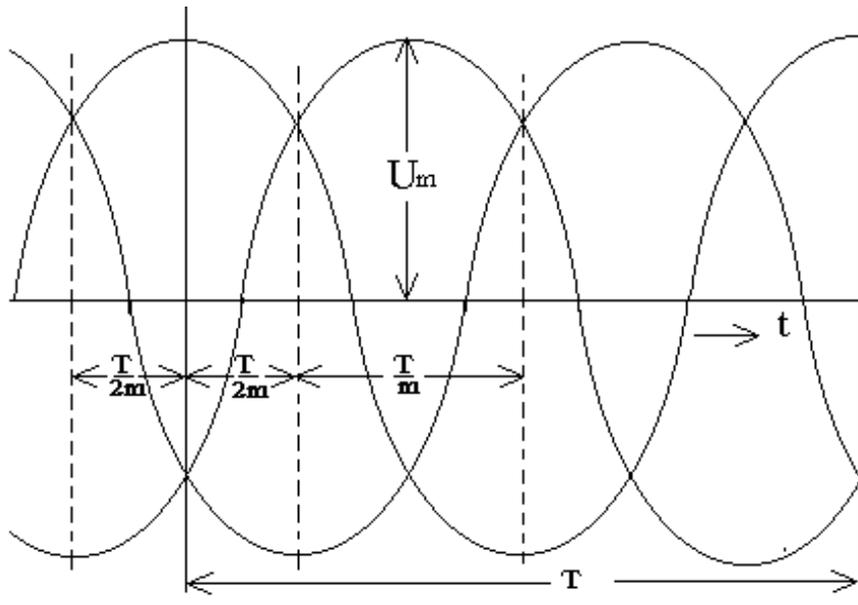


Рис.3. Относительные пульсации при многофазном выпрямлении.
 U_m - амплитудные значения напряжений, $m=3$ режим трехфазного выпрямления.

переменного напряжения сети, поэтому среднее значение выпрямленного напряжения может быть определено следующим образом:

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \sqrt{2}U_l \cos \omega t dt = \frac{\sqrt{2}U_l \sin \frac{\pi}{6}}{\frac{\pi}{6}} = 2,34U_\phi$$

что является достоинством мостовой схемы [3].

Среднее значение тока в вентиле $I_B = I_0/3$, причем этот ток проходит через два последовательно включенных вентиля.

Обратное напряжение, действующее на каждый вентиль, здесь также является амплитудой линейного напряжения:

$$U_{обр} = \sqrt{2}U_l = \sqrt{6}U_\phi = 1,045 U_0 .$$

Мостовая трехфазная схема является основной в мощных выпрямителях. Она получила широкое применение в так называемых управляемых выпрямителях, в которых, регулируя моменты открывания и закрывания вентилях, (например, тиристоров), можно весьма экономично в широких пределах регулировать среднее значение выпрямленного тока. Управляемые выпрямители в настоящее время получили широкое практическое применение [3].

Необходимо отметить, что диодные столбы помещены в трубку из поливинилхлорида (ПВХ). Это сделано для того, чтобы избежать пробоя между вентилями, так как ПВХ имеет большую диэлектрическую проницаемость, а сам выпрямитель помещен в масло.

Применение мостовой схемы в многофазном выпрямлении предложено в работе [2]. Данная схема имеет множество преимуществ, в особенности, для увеличения мощности выпрямителя. При увеличении мощности выпрямленных установок используются схемы, питающиеся от трехфазной сети переменного тока и обеспечивающие режим трехфазного ($m=3$) или шестифазного ($m=6$) выпрямления.

Увеличение числа фаз выпрямления при переходе к трехфазной сети переменного тока обеспечивает:

- 1) равномерную загрузку током фаз питающей сети;

- 2) уменьшение относительной нагрузки вентиляй выпрямителя по току (относительно тока нагрузки);
- 3) лучшую форму кривой тока, потребляемого от сети;
- 4) снижение пульсаций выпрямленного тока и напряжения и увеличение их частоты [2].

2. Электрическая схема ВГИТ

Электрическая схема ВГИТ представляет собой множество элементов, соединенных между собой определенным образом. Причем каждый элемент играет важную роль в схеме и если один элемент не срабатывает, то это может привести к выходу из строя всей схемы. В электрическую схему (рис. 4.) входят такие элементы как:

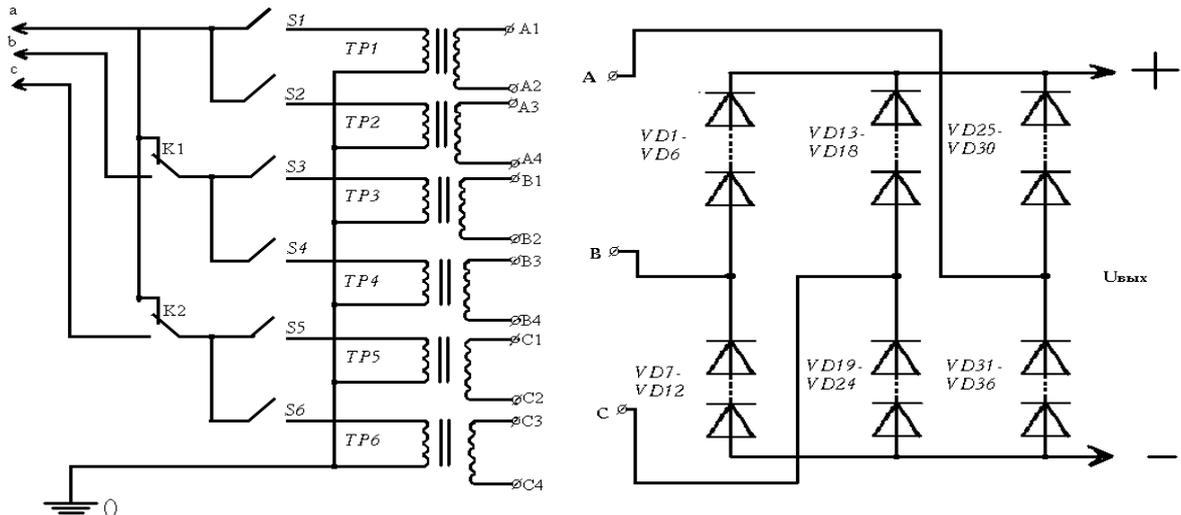


Рис 4. Электрическая схема ВГИТ.

1 – входные штекера а, б, с, о, которые подсоединяются к щитку питания и обеспечивают входное напряжение;

2 – тумблера К1, К2, эти тумблера позволяют перевести источник на трехфазное питание, когда они включены, если же тумблера отключены, то источник работает в однофазном режиме;

3 – тумблера S1, S2, S3, S4, S5, S6 регулируют включение трансформаторов, они позволяют включать от одного до шести трансформаторов;

4 – высоковольтные трансформаторы TP1, TP2, TP3, TP4, TP5, TP6. Каждый трансформатор ТГ-1020 позволяет получить ток $I=20$ мА и напряжение $U_{\phi}=10$ кВ;

5 – клеммы A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, к которым подсоединены выходы вторичных обмоток трансформаторов. В зависимости от того, как мы соединяем между собой клеммы, можем получить несколько режимов, также к клеммам подсоединяются высоковольтные выходы переменного тока;

6 – клеммы А, В, С, которые соединяются с выходными клеммами A1-A4, B1-B4, C1-C4, являются входами выпрямителя;

7 – выпрямитель, который состоит из 6 плеч. В каждом плече по 6 диодов;

8 – высоковольтные провода, являющиеся выходами постоянного тока, один из которых положительный, а другой, следовательно, отрицательный.

Необходимо отметить, что ВГИТ является универсальным источником, так как данная схема позволяет нам получить множество режимов работы с изменяемыми значениями тока и напряжения. А также источник работает как от однофазной, так и трехфазной сети. И мы имеем возможность использовать как выходное переменное, так и постоянное напряжение.

Такая схема позволяет нам, более полно изучить разряды, изменяя напряжение и ток на разрядах, так как до этого использовались трансформаторы ТГ-1020, которые позволяют получить ток $I=20$ мА и эффективное напряжение $U=10$ кВ.

Источник, собранный по данной схеме, позволяет получить ток от 20 до 120 мА и напряжение до 20 кВ при переменном напряжении. Если же необходимо постоянное напряжение, то источник выдает ток от 20 до 40 мА и напряжение от 25 до 50 кВ.

3. Режимы работы ВГИТ

В зависимости от используемого однофазного или трехфазного напряжения соединение вторичных обмоток трансформаторов между собой, а также использования выпрямителя ВГИТ может работать в 6 режимах:

1. Источник работает в однофазном режиме. При данном режиме получаем напряжение $U=10\text{кВ}$. В зависимости от того, сколько мы используем 1, 2, 3, и 6 трансформаторов имеется возможность получить соответственно 20, 40, 60, 80, 100, 120 мА. В данном случае вторичные обмотки соединяются параллельно.

2. Однофазный режим, при котором получаем напряжение $U=20\text{ кВ}$ и ток $I=20, 40, 60\text{ мА}$. Для получения напряжения $U=20\text{ кВ}$ и тока $I=20\text{ мА}$ клеммы вторичных обмоток двух трансформаторов соединяются последовательно. Последовательное включение достигается путем соединения между собой клемм А2, А3. Клеммы А1, А4 являются выходами и к ним подсоединяются высоковольтные провода. Если же необходимо получить напряжение 20 кВ и ток 40 мА, то используется четыре трансформатора. Вторичные обмотки трансформаторов ТР1 и ТР2, ТР3 и ТР4 соединяются последовательно, затем клеммы А1-В1, А4-В4 между собой надо соединить параллельно, а также выходные провода, ток $I=60\text{ мА}$ и напряжение $U=20\text{ кВ}$ получаются благодаря использованию всех 6 трансформаторов. Для этого вторичные обмотки трансформаторов ТР1-ТР2, ТР3-ТР4, ТР5-ТР6 подключаются последовательно, а выходы каждой из пары соединяются параллельно.

3. Трехфазный режим, позволяющий получить напряжение $U=10\text{ кВ}$ и ток $I=20\text{ мА}$ или 40 мА на каждой фазе. Чтобы источник работал в данном режиме, необходимо включить тумблера К1, К2 этим самым мы подаем трехфазное питание. Далее в зависимости от того, какой ток необходим, мы подключаем тумблерами S1-S6 необходимое количество трансформаторов на каждую фазу. Для получения тока $I=20\text{ мА}$ достаточно использовать по одному трансформатору на каждой фазе. Вторичные обмотки трансформаторов соединяются звездой. Соединение звездой достигается тем, что клеммы А2, В2, С2 соединяются в один узел. А клеммы А1, В1, С1 являются выходами трех фаз. Если необходим ток $I=40\text{ мА}$, то достаточно два трансформатора на каждой фазе. Для этого необходимо соединить в узел, а к нечетным подключить три вывода.

4. Трехфазный режим работы, обеспечивающий на каждой фазе ток $I=20\text{ мА}$ и напряжение $U=20\text{ кВ}$. В данном режиме работы всегда используются два трансформатора на каждой фазе. В начале необходимо проверить, чтобы все тумблера были включены. Затем вторичные обмотки 3-х пар трансформаторов соединяются последовательно.

5. Режим работы, обеспечивающий постоянное напряжение $U=23,4\text{ кВ}$ и силу тока $I=20, 40\text{ мА}$. Для получения тока $I=20\text{ мА}$ мы используем по одному трансформатору на каждой фазе. Включение трансформаторов осуществляется тумблерами S1, S3, S5. Тумблера S2, S4, S6 отключаются. К1, К2 включены на трехфазный режим. Из вторичных обмоток трансформаторов клеммы А2, В2, С2 соединяются в узел. А клеммы А1, В1, С1 соединяются соответственно с клеммами выпрямителя А, В, С. Ток $I=40\text{ мА}$ обеспечивают два трансформатора на каждой фазе. Для подключения всех трансформаторов необходимо включить тумблера с S1 до S6. Вторичные обмотки обоих трансформаторов на каждой фазе соединяются параллельно. Далее три фазы соединяются с выпрямителем звездой. Для такого соединения нам необходимо соединить клеммы следующим образом А-А1-А3, В-В1-В3, С-С1-С3 между собой. А все четные клеммы А2, А4, В2, В4, С2, С4 необходимо соединить в узел.

6. Данный режим работы обеспечивает выходное постоянное напряжение $U=47\text{ кВ}$ и ток $I=20\text{ мА}$. Здесь используются все шесть трансформаторов, т.е. вторичные обмотки 3-х пар трансформаторов соединяются последовательно. Для этого достаточно соединить между собой клеммы А2-А3, В2-В3, С2-С3. Далее фазы соединяются звездой с выпрямителем. Соединение звездой достигается путем соединения клемм А-А1, В-В1, С-С1 между собой, а также соединением клемм А4, В4, С4 в один узел.

Данные режимы работы были рассчитаны теоретически на основе характеристик трансформаторов ТГ-1020 с учетом параллельного или последовательного их соединения. А режимы, при которых получается постоянное напряжение, были рассчитаны с учетом выпрямителя, который увеличивал напряжение в 2,3,4 раза. Трехфазные режимы соединяются на выходе по принципу звезды.

Множество режимов позволяет нам более полно изучить различные виды разрядов, как на переменном, так и на постоянном токе, с учетом изменения значений напряжения и максимально достигаемых токов [4].

В связи с тем, что ВГИТ имеет множество режимов работы, которые позволяют его широко использовать для исследования различных разрядов, он по праву может называться универсальным источником тока.

Выводы

1. Разработана электрическая схема ВГИТ.
2. Изготовлен универсальный источник тока, имеющий шесть режимов работы. Данный источник тока не имеет аналогов в практике.
3. ВГИТ может быть использован как для генерации барьерного разряда, так и для различных других разрядов.

Авторы выражают глубокую благодарность профессору В.С. Энгельшту за постановку темы и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боромбаев М. К. Применение барьерного разряда в плазменной технологии. // Вестник ИГУ, №13, 2004 (в наст. журнале), с.26.
2. Электротехнический справочник. В 3-х т.-Т.2. /Под. ред. проф. Герасимова В.Г. - М.: Энергоатомиздат, 1986. 712 с.
3. А.А.Евсюков. Электротехника. М.: Просвещение, 1979. 248 с.
4. Плазмохимическое травление кремния. Отчет по НИР ИГУ им. К.Тыныстанова. Научный руководитель Энгельшт В.С. -Каракол, 2002. 22 с.