

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

Г. А. СИПАЙЛОВ, А. В. ЛООС, Ю. И. ПАВЛОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

За последнее десятилетие в различных областях техники получают все большее распространение импульсные методы, характеризующиеся прерывистой посылкой отдельных порций энергии (импульсов энергии). Наиболее широкое применение эти методы получили в радиолокации, импульсной радиосвязи и аппаратуре телевидения, для телеизмерений, в вычислительных машинах и многих других устройствах автоматики и телемеханики.

Однако периодические импульсы сильного тока относительно больших энергий находят основное применение пока в электроэрозионной обработке металлов и импульсной сварке. Для питания электроэрозионных станков в СССР и за рубежом разработаны десятки типов генераторов периодических импульсов.

Одним из первых генераторов импульсов сильного тока, использованных еще на заре развития радиотехники, явился искровой релаксационный генератор знакопеременных импульсов типа РС, примененный Б. Р. и Н. И. Лазаренко в 1943 г. для размерной электроискровой обработки. В 1939 году М. С. Михайлов-Микулинский [1] предложил синхронный генератор знакопеременных импульсов, который мог быть использован для силовых цепей. В 1952—1953 гг. Ю. В. Мордвинов [2] предложил индукторный генератор несимметричных импульсов для электроэрозионной обработки.

В 1951 г. был предложен первый машинный генератор униполярных импульсов [3], основанный на принципе униполярной индукции.

В 1952 г. появились коммутаторные машинные генераторы униполярных импульсов типа МГИ, на базе которых началось в 1955—1956 гг. на заводе ХЭМЗ серийное производство машинных генераторов, продолжающееся и в настоящее время.

Новый этап в совершенствовании и улучшении характеристик генераторов импульсов начался с появлением полупроводниковой техники. Наряду со статическими генераторами на полупроводниковых элементах продолжали совершенствоваться машинные генераторы импульсов [4].

Благодаря синтезу машинных генераторов с полупроводниковыми элементами, удается получить источники импульсов с характеристиками, недостижимыми при использовании только машинных или только полупроводниковых генераторов.

Однако в большинстве машинных генераторов для получения импульсного характера э. д. с. применяются узкие полюса и сосредоточенные обмотки, что уменьшает использование активных материалов.

Получение периодических импульсов от синхронного генератора возможно и при обычной геометрии зубцовой зоны [5, 6]. Принцип получения импульсной э. д. с. основан на режиме неполнофазного короткого замыкания. На рис. 1 изображена принципиальная схема синхронного генератора периодических импульсов. Фазы С и В с помощью коммутатора К-1 могут замыкаться между собой. Фаза А коммутатором К-2 включается на нагрузку R_n . На роторе имеется обмотка возбуждения и демпферная обмотка по оси q , концы которой выведены на кольца.

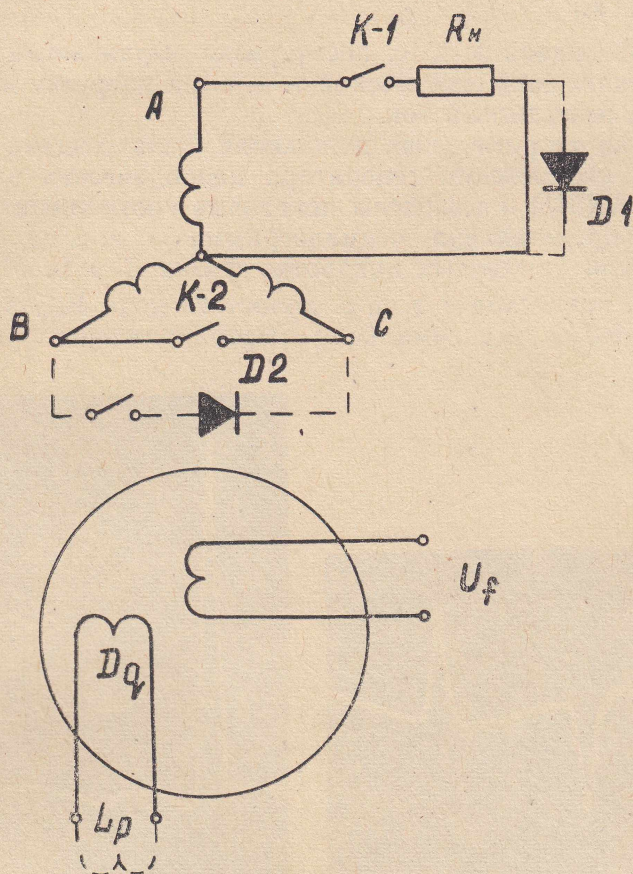


Рис. 1. Принципиальная схема синхронного генератора периодических импульсов

Известно, что при двухфазном коротком замыкании пульсирующая намагничивающая сила статорной обмотки создает не только прямо, но и обратно вращающееся синхронное поле, которое при несимметричном роторе вызывает ток удвоенной частоты в обмотке возбуждения и ток третьей гармонической в статорной обмотке. Эти токи, в свою очередь, вызовут появление в обмотке возбуждения ряда четных и в статорной обмотке ряда нечетных гармонических тока. Если в статорном токе будет присутствовать апериодическая составляющая, то она вызовет в обмотке возбуждения нечетные, а в статорной обмотке четные гармонические составляющие тока. Ток обмотки возбуждения индуцирует в свободной фазе статора э. д. с., значение которой в начальный момент после замыкания определяется формулой (1). [7]

$$e_A = -E_{om} [(1 + b)(\sin x - 3b \sin 3x + 5b^2 \sin 5x \pm \dots) + 2b \sin \alpha (2 \cos 2x - 4b \cos 4x + 6b^2 \cos 6x \pm \dots)], \quad (1)$$

где $x = \omega t + \alpha$;

$$b = \frac{\sqrt{x_d} - \sqrt{x'_d}}{\sqrt{x_d} + \sqrt{x'_d}}$$

В кривой э. д. с. e_A присутствуют все четные и нечетные гармоники, благодаря чему она имеет вид острых пиков.

При переходе к установившемуся режиму четные гармоники исчезают и э. д. с. фазы А выражается формулой (2).

$$e_A = -E_{om} \frac{\sqrt{x'_d}}{\sqrt{x_d}} [(1 + b)(\sin x - 3b \sin 3x + 5b^2 \sin 5x \pm \dots)]. \quad (2)$$

И в этом случае кривая э. д. с. носит резко выраженный импульсный характер. При включении импульсной э. д. с. на нагрузку R_H в нагрузку можно получить импульсный ток.

Для проверки теоретических положений была создана экспериментальная модель синхронного генератора периодических импульсов на базе двигателя АК51/4 и выяснены некоторые соотношения.

На рис. 2, а представлена осциллограмма э. д. с. e_A в установившемся режиме при замкнутых накоротко фазах С и В. Максимальное значение э. д. с. превосходит э. д. с. холостого хода E_{om} в $\sqrt{x_d}/\sqrt{x'_d}$ раз [7]. При $x'_d = 0,2 x_d$ максимальное перенапряжение фазы А равно $2,24 E_{om}$.

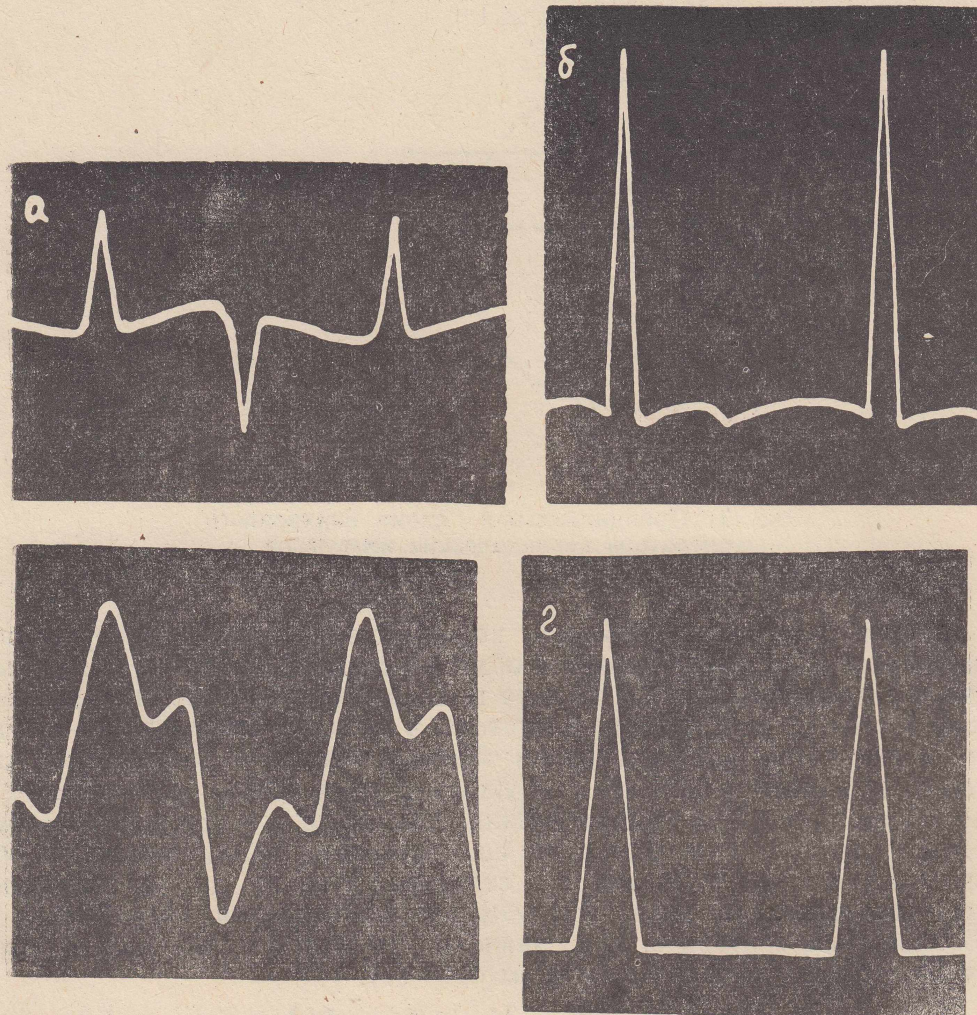


Рис. 2. Осциллограммы а) э.д.с. e_A ; б) э.д.с. e_A ; в) тока $i_{нагр}$, получаемых по схеме без диодов Д1 и Д2; г) тока $i_{нагр}$, получаемых по схеме с диодами

Если в цепь, замыкающую фазы С и В, ввести диод Д-1 (на рис. 1 изображен пунктиром), то перенапряжение в фазе А будет возникать каждый полупериод, соответствующий проводящему состоянию диода; импульсы э. д. с. e_A будут носить практически униполярный характер. Преимущество такой схемы состоит еще в том, что периодически повторяется режим внезапного двухфазного короткого замыкания. Максимальное перенапряжение фазы А превышает э. д. с. холостого хода E_{om} в $\left(\frac{2x_d}{x'_d} - 1\right)$ раз в [7]. Для случая $x'_d = 0,2 x_d$ максимальное перенапряжение фазы равно $9E_{om}$. Осциллограмма э. д. с. e_A для этого случая приведена на рис. 2, б. Частота следования импульсов уменьшается вдвое по сравнению с частотой знакопеременных импульсов.

Если замкнуть коммутатор К-2, то через нагрузку R_H будет протекать импульсный ток. Но при уменьшении сопротивления R_H и увеличении тока нагрузки $I_{нагр}$ форма импульсов тока искажается, так как режим короткого замыкания становится более симметричным и состав высших гармонических в кривой э. д. с. e_A уменьшается. На рис. 3 кривая 1 показывает зависимость коэффициента амплитуды импульсов тока

$$K_a = \frac{I_{m \text{ нагр}}}{I_{нагр}}$$

от относительного сопротивления нагрузки R_H/x_d , кривая 2 — зависимость отношения $I_{нагр}/I_K$ от R_H/x_d , где

$I_{m \text{ нагр}}$ — амплитуда импульсов тока;

$I_{нагр}$ — действующее значение импульсного тока в нагрузке;

I_K — действующее значение тока в замкнутых фазах.

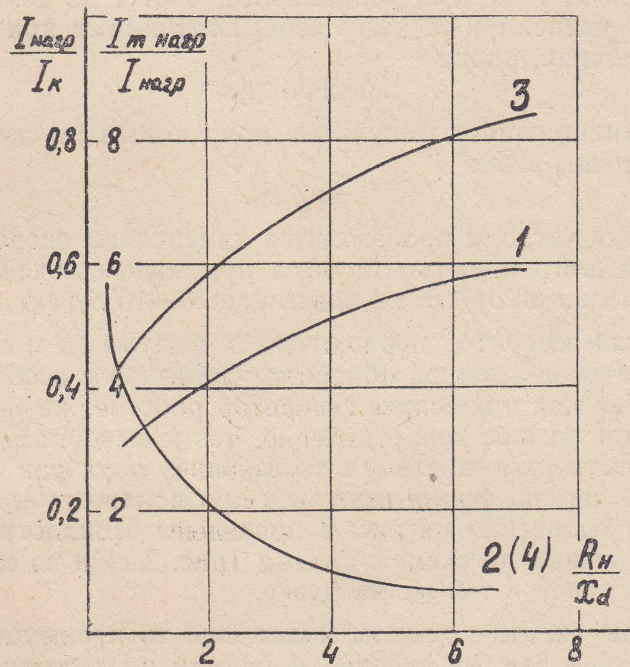


Рис. 3. Зависимость $I_{m \text{ нагр}}/I_{нагр}$ и $I_{нагр}/I_K$ от R_H/x_d соответственно по схеме без диодов (1, 2) и с диодами (3, 4)

Во время опыта действующее значение тока I_K поддерживалось постоянным.

На рис. 2, в представлена осциллограмма импульсов тока при

$$I_{нагр}/I_K = 0,7.$$

Схема с применением диода в цепи, замыкающей фазы С и В, позволяет получить четко выраженные импульсы тока в нагрузке при более низких значениях R_n/x_d ; так как при внезапном коротком замыкании содержание высших гармонических в кривой э. д. с. свободной фазы выше.

Если в этой схеме включить еще один диод Д-2 в цепь нагрузки так, чтобы ток нагрузки отключался в полупериод, соответствующий запертому состоянию диода Д-1, то импульсы тока будут иметь вид, изображенный на рис. 2, г. На рис. 3 кривые 3 и 4 показывают соответственно зависимости $I_{m \text{ нагр}}/I_{\text{нагр}}$ и $I_{\text{нагр}}/I_n$ от R_n/x_d . При сравнении кривых 1 и 3 видно, что коэффициент амплитуды импульсов, получаемых по схеме с включением диодов Д-1 и Д-2, выше. Форма импульсов не искажается при увеличении тока нагрузки. Кривые 2 и 4 совпадают, т. е. действующие значения токов равны в обоих опытах и уменьшение отдаваемой энергии не происходит, несмотря на вдвое меньшую частоту импульсов во втором опыте.

Регулировка параметров импульсов э. д. с. (тока) производится путем введения регулируемой индуктивности L_p в цепь обмотки Д_г. При изменении величины L_p в широких пределах меняется степень несимметрии ротора и, следовательно, содержание высших гармонических в кривой э. д. с.

Аналогичный результат получается при ограничении состава высших гармоник в обмотке возбуждения путем введения регулируемой индуктивности L_p в ее цепь. Можно получить хороший результат, ограничивая состав высших гармоник в цепи замкнутых фаз С и В, но в этом случае требуется значительно большая величина L_p .

В испытываемой установке скажливость знакопеременных импульсов регулировалась от 1 до 4, 5; униполярных — от 1 до 10. Частота знакопеременных и униполярных импульсов, получаемых при двухполупериодном выпрямлении, равна

$$f_n = 2fp \text{ гц.}$$

Частота униполярных импульсов, получаемых по схеме с диодом в замыкающей цепи, равна

$$f_n = fp \text{ гц.}$$

Регулировка частоты производится изменением скорости вращения. Максимальная длительность импульса при минимальной полюсности и скорости вращения 50 об/сек не превышает 8—10 м/сек.

Синхронный генератор периодических импульсов может найти применение в электроэрозионной обработке металлов и особенно в импульсной сварке. Так как при сварке генератор работает на искровой промежуток, имеющий низкое сопротивление, то целесообразнее будет получение импульсного тока по схеме с замыканием двух фаз через диод Д-1, что дает более четкую форму импульса при пониженном сопротивлении нагрузки. Для сравнения на рис. 2 приведены осциллограммы импульсов тока, полученные по схеме с диодом (рис. 2, г) и по схеме без диода (рис. 2, в) при одной и той же нагрузке.

Применение схемы с диодом имеет еще то преимущество, что для получения одной и той же средней мощности на нагрузке схема с диодом требует значительно меньший ток возбуждения. Объясняется это использованием в схеме с замыкающим диодом режима периодического внезапного короткого замыкания. Дополнительная мощность берется от вала первичного двигателя.

Обычная геометрия зубцовой зоны импульсного генератора позволяет получить использование активных материалов не ниже, чем у обычных генераторов синусоидального тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. С. Михайлов-Микулинский. Генератор импульсного тока. Диссертация, МЭИ, 1939.
 2. Ю. Б. Мордвинов. Импульсный синхронный генератор кл. 21 d², 5, авт. свид. № 95095. Бюлл. изобр. 25/VII 1954 № 5.
 3. А. Л. Лившиц. Униполярный генератор постоянного тока кл. 21 d, 6, авт. свид. № 104347. Бюлл. изобр. 25/XII 1956, № 10.
 4. А. Л. Лившиц, И. С. Рогачев, М. Ш. Отто. Генераторы импульсов. М., «Энергия», 1970.
 5. А. В. Лоос, Г. А. Сипайлов и др. Генератор регулируемых периодических импульсов. Кл. Н 02К 39/00, авт. свид. № 376859. Бюлл. изобр. 05/IV 1973 № 11.
 6. Г. А. Сипайлов, А. В. Лоос и др. Генератор периодических, униполярных импульсов. Кл. Н02К, авт. свид. № 375738. Бюлл. изобр. 22/III 1974 № 16.
 7. К. П. Ковач, И. Рац. Переходные процессы в машинах переменного тока. М.-Л., ГЭИ, 1963.
-