

СХЕМА НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ОДНОФАЗНОЙ ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКЕ ОТ ТРЕХФАЗНОГО УДАРНОГО ГЕНЕРАТОРА

Г. А. СИПАЙЛОВ, К. А. ХОРЬКОВ, А. В. ЛООС

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники.)

Передача больших энергий, измеряемых десятками миллионов джоулей, за время, измеряемое десятками миллисекунд, а также накопление энергии в катушках индуктивности наиболее эффективно могут быть осуществлены с помощью ударных генераторов. Ранее были рассмотрены схемы передачи и накопления энергии в однофазной индуктивной нагрузке от однофазного ударного генератора или от двух фаз трехфазного генератора [1]. Так как в настоящее время широкое применение нашли трехфазные ударные генераторы, то представляет несомненный интерес исследование возможностей использования всех фаз генератора в процессе передачи и накопления энергии.

Одним из возможных способов работы трехфазного ударного генератора на однофазную нагрузку является включение фаз генератора по схеме однополупериодного выпрямления последовательно чередующихся положительных полуволн линейных э.д.с., аналогичной схеме трехфазного двухполупериодного выпрямления. Следует, однако, отметить, что аналогия касается только внешнего вида схем, тогда как существо их работы различно. Работа схемы в режиме однополупериодного выпрямления последовательно чередующихся полуволн линейных э.д.с. позволяет использовать вместо вентилях ионно-механические быстродействующие коммутирующие устройства, что придает схеме новые положительные качества.

Известно, что в схеме трехфазного двухполупериодного выпрямления переключение нагрузки с одной фазы на другую осуществляется в момент равенства э.д.с. переключаемых фаз, причем ток перебрасывается из фазы, э.д.с. которой уменьшается по амплитуде, в фазу, э.д.с. которой растет. При этом линейная э.д.с. двух фаз, которые перехватывают ток, близка к максимуму, а ток имеет чисто периодический характер. При использовании этой схемы для выпрямления больших токов требуется большое число вентилях и, кроме того, специальная схема для равномерного распределения нагрузки между вентиляхными элементами [4]. В ряде случаев, например, при питании электромагнитов термоядерных устройств, при накоплении энергии в катушке индуктивности и др., где не является обязательным условие плавного нарастания тока, можно существенно упростить схему питания и этим повысить надежность ее работы, и существенно снизить стоимость.

Описываемая схема однополупериодного выпрямления трехфазного тока состоит из трехфазного ударного генератора, шести ионно-механи-

ческих быстродействующих управляемых аппаратов [2, 3] и индуктивной нагрузки или индуктивного накопителя энергии. Ионно-механические контактные аппараты позволяют производить включение и отключение различных ветвей схемы в любой последовательности и могут пропускать токи в сотни килоампер, при напряжениях 10—20 кВ, что во много раз превышает возможности существующих вентилях.

Сущность работы схемы состоит в следующем. Нагрузка подключается на положительные полуволны линейных э.д.с. генератора (процесс накопления энергии) и закорачивается на время действия отрицательных полуволн э.д.с. (период сохранения запасенной энергии). В отличие от однофазного генератора, где разрыв между циклами накопления составляет 180 эл. градусов, то есть время накопления равно времени сохранения запасенной энергии, в случае трехфазного ударного генератора можно использовать положительные полуволны линейных э.д.с. разных пар фаз, следующих друг за другом через 60 эл. градусов (рис. 2). Время сохранения энергии уменьшается в 3 раза, что имеет чрезвычайно важное значение для повышения к.п.д. и производительности установки.

Включение нагрузки осуществляется каждый раз в момент прохождения линейной э.д.с. через нулевое значение, что позволяет использовать аperiodическую составляющую тока внезапного короткого замыкания, увеличивающую амплитуду тока почти вдвое.

Рабочий процесс схемы

Принципиальная схема включения трехфазного ударного генератора на индуктивную нагрузку представлена на рис. 1. В исходном состоянии замкнут всего один контактный аппарат из шести, например, К-5. В момент прохождения линейной э.д.с., например, фаз *A* и *B* через

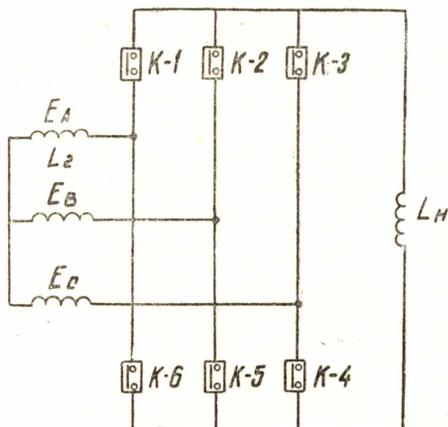


Рис. 1. Принципиальная схема включения генератора на нагрузку.

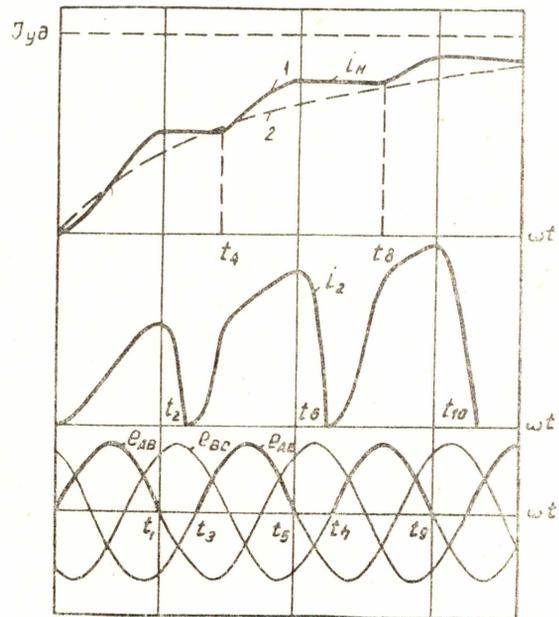


Рис. 2. Кривые э. д. с. и токов нагрузки и генератора.

нуль происходит замыкание аппарата К-1 (рис. 2). Полярность полуволны э. д. с. этих фаз, после момента включения нагрузки, принимаем за положительную. Эквивалентную сверхпереходную индуктивность двух

последовательно соединенных фаз генератора L_r в течение одного периода э. д. с. можно считать с достаточной точностью неизменной. Тогда ток, протекающий по фазам генератора и по нагрузке, определится решением уравнения

$$E_{BA} \sin \omega t = (L_r + L_n) \frac{di}{dt} + i(r_r + r_n). \quad (1)$$

В момент t_1 , когда ток нагрузки достигает максимума, происходит замыкание аппарата К-2. Нагрузка оказывается замкнутой накоротко и энергия, накопленная в индуктивности, сохраняется в течение промежутка времени от t_1 до t_4 . Затухание тока нагрузки в этот период определяется постоянной времени короткозамкнутого контура: «нагрузка — контакты К-2 и К-5». Генератор при этом попадает в режим короткого замыкания. Ток генератора из-за изменения полярности э. д. с. E_{BA} быстро спадает до нуля. В момент прохождения тока генератора через нуль цепь размыкается аппаратом К-1. В период времени после замыкания К-2 токи генератора и нагрузки определяются из уравнений

$$E_{BA} \sin \omega t = L_r \frac{di_r}{dt} + i_r r_r, \quad (2)$$

$$0 = L_n \frac{di_n}{dt} + i_n r_n. \quad (3)$$

После размыкания К-1 в промежутке времени от t_2 до t_3 генератор работает на холостом ходу. В момент t_3 при прохождении э. д. с. E_{CB} через нуль осуществляется замыкание К-4, это соответствует режиму внезапного двухфазного короткого замыкания генератора. Ток генератора на-

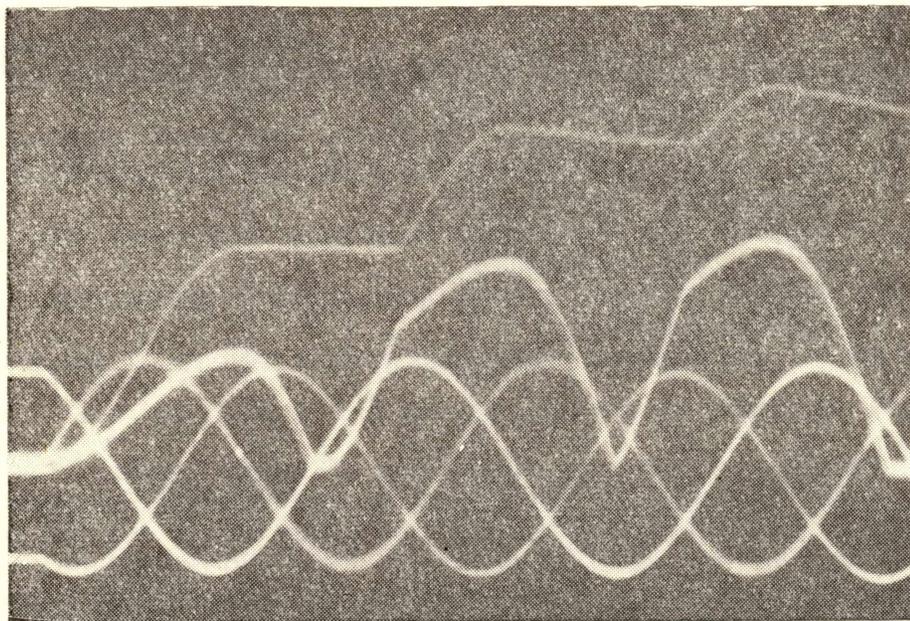


Рис. 3. Оциллограмма решения уравнений на МНБ-1 для $L_n = 1,25 L_r$ при ,

$$\frac{r_r}{\omega L_r} = \frac{r_n}{\omega L_n} = 0,05.$$

чинает быстро возрастать, при этом в аппарате К-5 токи генератора и нагрузки направлены встречно. В момент, когда ток генератора достигнет значения, равного току нагрузки, аппарат К-5 обесточивается и размыкается, что соответствует включению нагрузки на э. д. с. E_{CB} положительного направления. Под действием этой э. д. с. ток нагрузки

дополнительно возрастает и, следовательно, происходит дополнительная передача энергии от генератора в нагрузку. В момент t_5 ток нагрузки достигает максимума и вновь осуществляется замыкание нагрузки на коротко (аппаратом К-3), что создает условия для сохранения энергии в контуре: «нагрузка — контакты К-3 и К-4». Ток генератора вновь уменьшается и в момент его перехода через нуль отключается аппаратом К-2. Далее процесс происходит аналогично описанному выше. В пределе в нагрузке можно получить ток, равный ударному току двухфазного короткого замыкания, независимо от величины индуктивности нагрузки. По описываемой схеме можно передать в нагрузку значительную часть кинетической энергии вращающегося ротора.

Хотя решение уравнений (1 ÷ 3) не представляет трудностей, вычисление токов в отдельных узлах схемы для всех циклов работы схемы затруднительно, так как связано с вычислением большого количества начальных условий для каждого следующего этапа работы схемы из результатов решения предыдущего этапа. Поэтому исследование работы схемы проведено с помощью аналоговой вычислительной машины МНБ-1, с применением специального программного устройства, осуществ-

Таблица 1

L_n/L_r	1,25	2,5	5
n	3	6	12
Q_n/Q_1	4,05	8,10	16,20

ствляющего все необходимые переключения в математической модели. Это позволило получить полную картину работы схемы и провести необходимые исследования.

Результаты обработки полученных осциллограмм (рис. 3) с целью исследования скорости

накопления и величины накопленной энергии при различных индуктивностях нагрузки представлены в табл. 1.

где n — число положительных полуволн линейных напряжений, на которое нужно включать нагрузку для получения тока в нагрузке, равного $0,9 I_{уд}$;

$I_{уд}$ — ударный ток внезапного 2-фазного короткого замыкания на зажимах генератора;

Q_1 — энергия, которую генератор передает нагрузке при $L_n = L_r$ за один импульс.

На рис. 2 представлены расчетные кривые изменения токов и напряжений в ветвях схемы для случая $L_n = 1,25 L_r$ при $\frac{r_n}{\omega L_n} = \frac{r_r}{\omega L_r} = 0,05$. На этом же рисунке пунктиром показана кривая тока при работе схемы в режиме 3-фазного двухполупериодного выпрямления, рассчитанная по методике [6]. Расчеты показывают, что для достижения одного и того же тока, например $0,9 I_{уд}$, по описанному принципу работы схемы, требуется в 1,3 раза меньший отрезок времени. Кроме того, резко (более чем в 2 раза) уменьшаются потери в меди обмотки статора генератора, что обусловлено заменой непрерывного тока на импульсный.

Для еще большего увеличения эффективности схемы можно подключать параллельно нагрузке вспомогательную конденсаторную батарею [5]. При этом значительно увеличивается доля энергии, передаваемая за время каждой положительной полуволны э. д. с. Это ведет к сокращению времени, необходимого для достижения тех же величин энергии в нагрузке, что и по схеме без емкости. Например, вспомогательная конденсаторная батарея, рассчитанная на энергию, составляющую около

5% от энергии, передаваемой нагрузке, приводит к сокращению времени накопления примерно в 2 раза. Кроме того, конденсаторная батарея значительно облегчает работу контактных аппаратов при снятии закоротки — незаряженная конденсаторная батарея перехватывает токи коммутации.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Ивашин, А. В. Лоос, Г. А. Сипайлов, К. А. Хорьков. Схема увеличения энергии и скорости ее передачи от ударного генератора в индуктивную нагрузку. Известия ТПИ, т. 139, 1965.
2. В. В. Ивашин, Г. А. Сипайлов. Авторское свидетельство № 156200. Бюллетень № 15, 1963.
3. В. В. Ивашин, Г. А. Сипайлов. Бездуговое отключение больших токов. Электромеханика, № 9 1964.
4. Е. Г. Комар, М. А. Гашев. Система питания электромагнита синхронизатора Объединенного института ядерных исследований. Электричество, № 1, 1960.
5. Г. А. Сипайлов, К. А. Хорьков. О совместной работе ударного генератора и конденсаторной батареи на индуктивную нагрузку. Известия ТПИ, т. 132, 1965.
6. А. В. Поссе. Обоснование замены выпрямителя эквивалентным генератором для расчета переходных процессов. Известия АН СССР, Энергетика и транспорт, № 4, 1965.