

СХЕМА ОТКЛЮЧЕНИЯ УДАРНОГО ГЕНЕРАТОРА ЗА ВРЕМЯ ВТОРОЙ ПОЛУВОЛНЫ ТОКА

Г. А. СИПАЙЛОВ, В. В. ИВАШИН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

При генерировании импульсных мощностей для получения магнитных полей с большой энергией, применяющихся для удержания плазмы, для создания управляющего поля в ускорителях заряженных частиц и во многих других отраслях физики и техники в ряде случаев может быть перспективной схема с применением специальной синхронной машины — однофазного генератора ударной мощности (ударного генератора) — в качестве накопителя и источника энергии.

Известно, что в ударном генераторе энергия накапливается самым дешевым способом — во вращающихся массах, поэтому установка на большие энергии порядка 10^6 — 10^7 Дж и более с использованием ударного генератора может быть наиболее экономичной, и малогабаритной по сравнению с генераторами с емкостным и даже с индуктивным накоплением энергии.

Академик П. Л. Капица оценил достоинства специальной синхронной машины еще в 1923-25 гг., когда для получения сильных магнитных полей впервые применил ударный генератор [1]. Препятствием на пути широкого применения ударного генератора в практике физического и электротехнического эксперимента стоит сложность коммутации тока генератора. При тех мощностях, которые использовал П. Л. Капица, было возможным применение для включения и выключения генератора механического быстродействующего аппарата. Генератор включался на нагрузку при фазе э.д.с., близкой к нулю, и отключался в области первого прохождения тока через нулевое значение. Дуга, возникавшая при отключении, гасилась с помощью дутья. Напряжение генератора составляло ≈ 1200 в.

Разработанные в ТПИ бездуговые ионно-механические коммутирующие устройства и схемы их применения в принципе дают возможность коммутировать ток ударных генераторов практически любых мощностей [2, 3].

Рассматриваемая схема позволяет коммутировать энергию от ударного генератора с отключением его от нагрузки при втором прохождении тока через нулевое значение.

Коммутирующее устройство схемы, рассматриваемой в данной работе, значительно проще коммутирующих устройств, рассмотренных в [2, 3].

Принцип работы схемы

Принципиальная схема коммутации тока ударного генератора представлена на рис. 1, где

$УГ$ — ударный генератор — источник энергии;

e — э. д. с. генератора;

K — быстродействующий механический контактный аппарат, причем для обеспечения необходимого быстродействия и надежности работы в схеме могут быть использованы два аппарата, один из которых производит включение, а другой — выключение;

B_1 — вспомогательный вентиль (игнитрон, тиратрон) для включения генератора;

B_2 — вспомогательный вентиль для отключения генератора;

D_1, D_2 — дроссели насыщения;

L_H — индуктивность нагрузки.

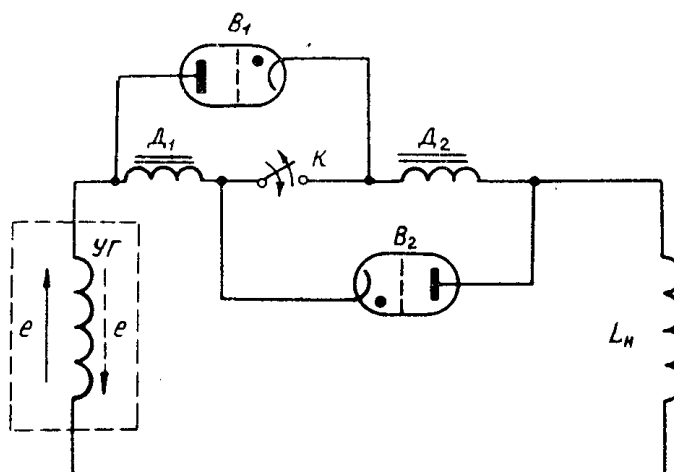


Рис. 1. Принципиальная схема коммутации тока ударного генератора.

Принцип работы схемы вытекает из специфики кривой тока ударного генератора, у которого при замыкании на нагрузку в момент прохождения э. д. с. генератора через нулевое значение ток первой, положительной, полуволны из-за наличия аperiodической составляющей имеет максимальную амплитуду и длительность, а ток второй, отрицательной, полуволны имеет минимальную амплитуду и длительность.

В зависимости от параметров генератора амплитуда и длительность тока второй полуволны может быть различной, однако для значений параметров, свойственных ударным генераторам большой мощности, амплитуда тока второй полуволны составляет в среднем около 10%, а длительность ее около 20% от амплитуды и длительности тока первой полуволны. Поэтому среднее и эффективное значение тока отрицательной полуволны составляют менее 5% от соответствующих значений тока положительной полуволны. Чтобы убедиться в этом, достаточно рассмотреть кривую тока ударного генератора.

Уравнение для результирующего тока короткого замыкания синхронных машин обычно записывается в следующем виде [1]:

$$i_k = -I_{dm} \cos(\omega t + \psi) - (I'_{dm} - I_{dm}) e^{-\frac{t}{T_d}} \cos(\omega t + \psi) -$$

$$-(I_{dm}'' - I_{dm}') e^{-\frac{t}{T_d''}} \cos(\omega t + \psi) + I_{am} e^{-\frac{t}{T_a}} \cos \psi, \quad (1)$$

где I_{dm} , I_{dm}' , I_{dm}'' и I_{am} — амплитудные значения соответственно установившейся, переходной, сверхпереходной и аperiodической составляющих тока;

T_d' , T_d'' и T_a — постоянные времени затухания переходной, сверхпереходной и аperiodической составляющих тока;

ψ — фаза включения.

Так как для ударного генератора необходимо знать значения тока только в течение первого периода э.д.с., то при расчете тока можно пользоваться только сверхпереходными параметрами, поэтому уравнение (1) можно существенно упростить, практически не повлияв на точность результатов расчета:

$$i_k = -i_n + i_a, \quad (2)$$

где i_n — периодическая составляющая тока короткого замыкания

$$i_n = I_{dm}'' \frac{1 + e^{-\frac{t}{T_d''}}}{2} \cos(\omega t + \psi); \quad (3)$$

i_a — аperiodическая составляющая тока короткого замыкания

$$i_a = I_{am} e^{-\frac{t}{T_a}} \cos \psi. \quad (4)$$

Принимая во внимание, что $I_{dm}'' = I_{am}$, и учитывая, что $\cos \psi = 1$ при включении генератора через вентиль, уравнение (2) можно представить в виде

$$i_k = I_{dm}'' \left[e^{-\frac{t}{T_a}} - \frac{1}{2} \left(1 + e^{-\frac{t}{T_d''}} \right) \cos \omega t \right], \quad (5)$$

где

$$I_{dm}'' = \frac{E_m}{x_{yд}};$$

$x_{yд}$ — реактивное сопротивление ударного генератора, которое с достаточной для практических расчетов степенью точности можно принять равным

$$x_{yд} = 1,15 x_s,$$

где x_s — реактивное сопротивление рассеяния обмотки статора.

Рассчитанные по уравнению (5) кривые токов внезапного короткого замыкания для ударного генератора, постоянные времени которого приняты равными постоянным времени затухания генератора разрывной мощности ТИ-75 $T_d'' = 0,105$ сек, $T_a = 0,11$ сек, $x_d'' = 0,043$ представлены на рис. 2.

В соответствии с кривой результирующего тока короткого замыкания i_k (рис. 2) сущность бездуговой коммутации тока ударного генератора по рассматриваемой схеме состоит в том, что почти весь ток первой полуволны пропускается через механический контактный аппарат, практически без потерь энергии в нем, а ток второй полуволны искусственно с помощью дросселя насыщения переводится в шунтирующий контакты вентиль. При этом перевод тока из цепи с контактами в цепь с вентилем происходит при первом прохождении тока через нулевое значение, а без-

дуговое выключение цепи происходит при втором прохождении тока через нуль. За время протекания в вентиле тока отрицательной полуволны обесточенные контакты механического аппарата размыкаются без дуги.

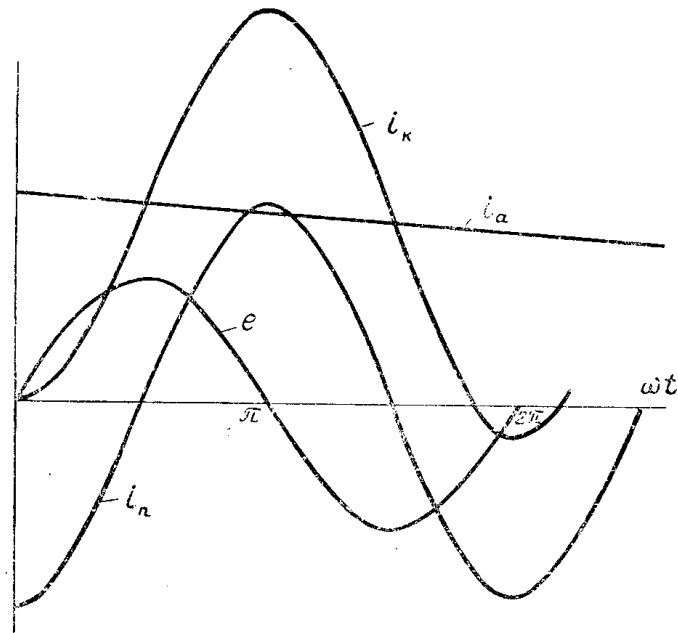


Рис. 2. Кривые э. д. с. и токов внезапного короткого замыкания.

Для бездугового включения генератора на нагрузку L_{II} необходимо открыть вентиль B_1 при положительном напряжении (сплошная линия для e на рис. 3) и синхронно начать включение контактного аппарата K .

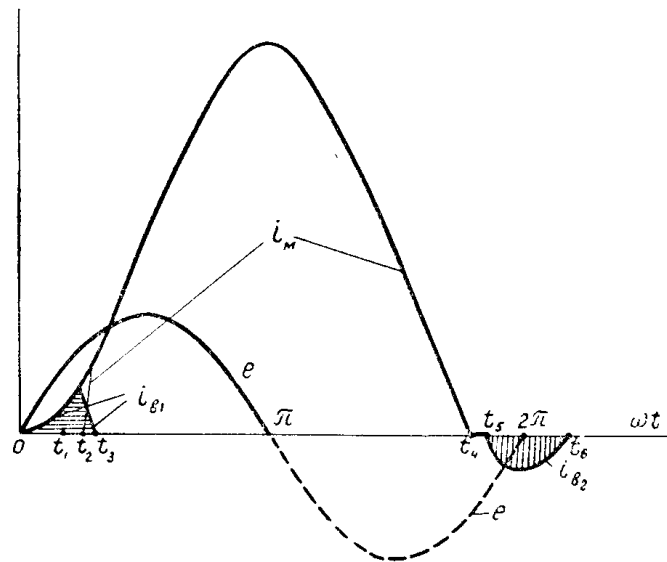


Рис. 3. Величина тока в различных элементах схемы: i_{b_1} —ток через вентиль B_1 , i_M —ток через механический контактный аппарат, i_{b_2} —ток через вентиль B_2 .

рата K . Если время срабатывания аппарата K меньше отрезка времени $t_2 - t_0$ (рис. 3) и равно времени $t_1 - t_0$, то в момент времени t_1 контакты придут в соприкосновение. В момент первоначального сопри-

косновения контактов цепь с вентилем замыкается через насыщающийся дроссель включения D_1 и контакты. За время перемагничивания дросселя D_1 под действием падения напряжения на проводящем вентиле B_1 скорость изменения тока в цепи с контактами определяется током перемагничивания дросселя ($0,5-1 a$). Если контакты начнут соприкасаться при $t=t_1$, то при $t=t_2$ закончится перемагничивание дросселя, при этом сопротивление цепи дроссель-контакты станет небольшим. За время t_3-t_2 произойдет коммутация тока из вентиля B_1 в цепь с контактами. Таким образом, контакты включают по этой схеме обесточенную цепь при низком напряжении, что обеспечивает бездуговое замыкание.

После замыкания контактов весь ток максимальной по амплитуде и длительности полуволны протекает через контактный аппарат. К концу этой полуволны, т. е. к моменту времени t_4 при значении тока, близком к нулевому, дроссель насыщения D_2 , выполненный из магнито-мягкой стали на небольшую величину тока перемагничивания, начинает перемагничиваться. Его индуктивность становится сравнимой с общей индуктивностью цепи (суммой индуктивности рассеяния генератора и индуктивности нагрузки).

Как следует из рис. 1, напряжение перемагничивания дросселя D_2 приложено к вентилю B_2 в прямом направлении. Если к этому моменту открыть вентиль B_2 , то отрицательная полуволна тока под действием напряжения перемагничивания перехватится цепью с вентилем B_2 и весь ток этой полуволны пройдет через вентиль B_2 . Контактный аппарат, включенный параллельно с вентилем B_2 , останется обесточенным на все время отрицательной полуволны и поэтому может быть выключен без дуги.

При прохождении тока в вентиле через нулевое значение при $t=t_6$ вентиль B_2 запрет цепь, на контактах и вентиле восстановится напряжение генератора, но электрическая прочность зазора контактов, разомкнувшихся без дуги, велика, поэтому зазор не может пробиться восстановившимся напряжением. Таким образом, генератор оказывается отключенным от нагрузки.

При прохождении тока через вентиль B_2 к дросселю D_2 прикладывается напряжение, равное падению напряжения на вентиле, то есть примерно $20 в$. Потокосцепление дросселя, равное произведению этого напряжения U_B на отрезок времени Δt от начала отрицательной полуволны до момента размыкания контактов, невелико, что определяет небольшие размеры дросселя D_2 :

$$SW = \frac{u_B \cdot \Delta t}{\Delta B} = \frac{\psi}{\Delta B},$$

где S — сечение магнитопровода дросселя,

W — число витков его обмотки,

ψ — потокосцепление дросселя,

ΔB — изменение индукции при перемагничивании дросселя.

Среднее, эффективное и максимальное значение тока отрицательной полуволны значительно меньше соответствующих значений тока положительной полуволны, что определяет сравнительно небольшую мощность вентиля (или группы вентиляей), пропускающего ток отрицательной полуволны и обеспечивающего бездуговое выключение контактного аппарата. Если, например, в качестве вентиля B_2 использовать один игнитрон ИВС-200/15 со средним током $200 a$, то с помощью рассмотренной схемы можно отключать ток с амплитудой первой полуволны около $200 ka$ при амплитудном значении напряжения $15 кв$. Следует отметить, что вентили должны быть рассчитаны на полное напряжение генератора.

В случае необходимости, например, при применении рассматриваемой схемы для возбуждения управляющих магнитных полей в ускорителях заряженных частиц, имеющих стальной магнитопровод, отрицательная полуволна тока может быть использована для размагничивания электромагнита.

С учетом того, что время срабатывания быстродействующих контактных аппаратов в настоящее время может быть получено примерно $(3—3,5) \cdot 10^{-3}$ сек, применение схемы будет наиболее целесообразным при частоте э.д.с. генератора не более 50 гц, так как в этом случае при длительности первой полуволны тока примерно $(16—18) \cdot 10^{-3}$ сек, длительность второй полуволны составляет $(4 \div 6) \cdot 10^{-3}$ сек, что вполне достаточно для разрыва цепи контактным аппаратом.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Костенко. Электрические машины. Специальная часть, ГЭИ, 1949.
 2. В. В. Ивашин, Г. А. Сипайлов. Коммутация тока генератора ударной мощности. Вопросы теории и проектирования электрических машин, Межвузовский сборник трудов. Выпуск 3, Новосибирск, 1963.
 3. В. В. Ивашин, Г. А. Сипайлов. Бездуговое отключение больших токов. Электротехника, № 9, 1964.
-