

СХЕМА УВЕЛИЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ И СКОРОСТИ ЕЕ ПЕРЕДАЧИ ОТ УДАРНОГО ГЕНЕРАТОРА В ИНДУКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

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

(Представлена научным семинаром электромеханического факультета)

Во многих экспериментальных установках для получения магнитных полей с большой энергией используется импульсное питание индуктивной нагрузки, при этом может потребоваться энергия до 200 мдж и скорость ее передачи до 10^6 мва [1]. Для передачи энергии с такой скоростью применяется предварительное накопление энергии в течение сравнительно большого отрезка времени, что уменьшает мощность зарядных устройств.

Наиболее экономичным и эффективным является накопление энергии во вращающихся маховых массах, например, в роторе синхронного генератора, что позволяет легко преобразовать кинетическую энергию ротора в электромагнитную, снимаемую с обмотки статора. Впервые такой генератор, получивший название ударного, был построен и применен П. Л. Капицей [2].

Энергия запасается в роторе ударного генератора в течение продолжительного промежутка времени от двигателя небольшой мощности. Накопление энергии сопровождается небольшими потерями холостого хода генератора, и накопленная энергия может сохраняться сравнительно долго.

При замыкании ударного генератора на нагрузку на время одной положительной полуволны э. д. с. происходит преобразование кинетической энергии ротора в электромагнитную. Если генератор включать на нагрузку в течение нескольких положительных полуволн э. д. с. с отключением на время отрицательных полуволн (однополупериодное выпрямление), то величину энергии, снимаемую с генератора, можно существенно увеличить. Для сохранения энергии при отключении генератора нагрузку необходимо закорачивать на время или часть времени отрицательной полуволны э. д. с.

Энергию, передаваемую в нагрузку, можно выразить через среднюю мощность машины $P_{\text{ср}}$ и время передачи энергии $t_{\text{п}}$.

$$Q = P_{\text{ср}} \cdot t_{\text{п}}$$

В работе рассматривается схема, использующая увеличение передаваемой энергии как за счет $P_{\text{ср}}$, так и за счет $t_{\text{п}}$ без увеличения габаритной мощности машины.

Увеличение $P_{\text{ср}}$ достигается с помощью применения вспомогательной емкости, включенной параллельно генератору и нагрузке. Рассматривается работа схемы без предварительной зарядки емкости и работа с предварительной зарядкой емкости.

Целесообразность увеличения скорости передачи энергии от ударного генератора в нагрузку обусловлена тем, что, во-первых, при заданной величине передаваемой энергии уменьшение времени передачи приводит к уменьшению потерь энергии в процессе передачи, вследствие чего уменьшается нагрев обмоток генератора и увеличивается его использование; во-вторых, при заданном времени передачи можно снимать с генератора и передавать в нагрузку больше энергии, что также увеличивает использование генератора.

Принцип работы

Принципиальная схема работы ударного генератора на индуктивную нагрузку с применением вспомогательной конденсаторной батареи представлена на рис. 1, где

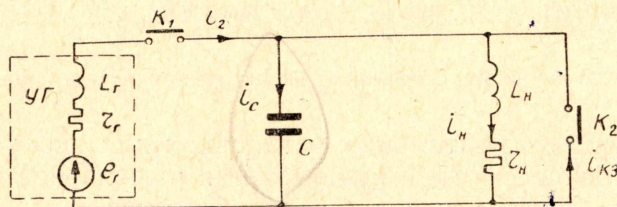


Рис. 1. Схема увеличения энергии и скорости ее передачи от ударного генератора в индуктивную нагрузку без предварительной подзарядки батареи.

$УГ$ — однофазный генератор ударной мощности,

r_r, L_r — активное сопротивление и индуктивность обмотки статора с учетом экранирующего влияния обмотки возбуждения и демпферных контуров ротора [3]. Для крупных ударных генераторов $L_s \approx 1,15 L_s$ (L_s — индуктивность рассеяния обмотки статора);

L_n, r_n — индуктивность и активное сопротивление нагрузки;

r_z — активное сопротивление коротки;

$K-1, K-2, K-3$ — бездуговые ионно-механические коммутирующие устройства [4];

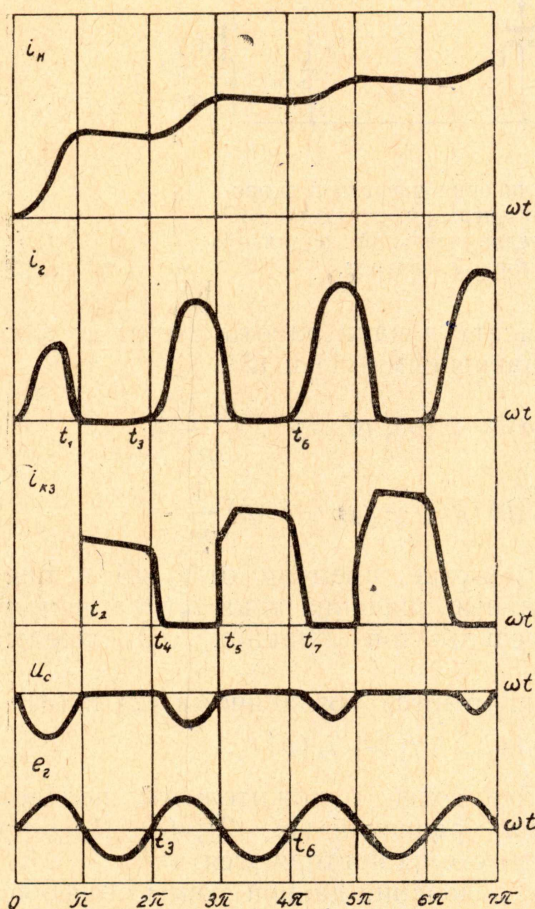
C — конденсаторная батарея.

Известно, что с помощью конденсаторной батареи, подключаемой параллельно нагрузке, можно значительно увеличить энергию, передаваемую генератором нагрузке за время одной положительной полуволны э.д.с. [5]. Конденсаторная батарея способствует увеличению доли кинетической энергии, преобразуемой в энергию магнитного поля рассеяния генератора и в энергию электрического поля конденсаторной батареи, которые затем передаются в нагрузку.

Характер изменения токов и напряжений в различных элементах схемы представлен на рис. 2. Для дополнительного увеличения энергии, передаваемой за время первой положительной полуволны э.д.с. генератора конденсаторная батарея может предварительно заряжаться до некоторого напряжения.

Рассмотрим вначале работу схемы без предварительной зарядки батареи (рис. 1). В исходном положении аппараты $K-1$ и $K-2$ разомкнуты, генератор работает на холостом ходу.

В момент перехода э. д. с. генератора через нулевое значение происходит замыкание К-1. Емкость начинает заряжаться, т. е. она потребляет энергию генератора. При достижении максимального значения напряжения емкости ток в ней меняет направление, генератор и емкость уже вместе отдают энергию в нагрузку. При прохождении тока генератора через нулевое значение в момент t_1 происходит размыкание К-1, однако ток в нагрузке продолжает увеличиваться, так как емкость не успела разрядиться.



2. Форма кривых токов и напряжений в различных элементах схемы:

i_n —ток нагрузки, $i_г$ —ток генератора, $i_з$ —ток короткой, U_c —напряжение батареи, $E_г$ —э. д. с. генератора.

В момент t_2 , когда напряжение на емкости проходит через нуль, происходит замыкание К-2. Ток емкости перехватывается короткой. По контуру нагрузка-короткая протекает ток, затухающий по экспоненте с постоянной времени этого контура. В начале следующей положительной полуволны э. д. с. генератора t_3 происходит замыкание К-1. Генератор работает в режиме внезапного короткого замыкания, ток генератора быстро возрастает, а ток в короткой уменьшается. При достижении нулевого значения тока короткой t_4 происходит размыкание К-2. Конденсаторная батарея облегчает работу К-2; так как в первый момент после размыкания К-2 она способна перехватить любой ток. Начальные условия на емкости такие же, как и в момент $t=0$, т. е. емкость снова способствует увеличению энергии, снимаемой с генератора за

время каждой положительной полуволны э. д. с. Далее циклы повторяются. Ток в нагрузке стремится по величине к току внезапного короткого замыкания ударного генератора.

Работа схемы с предварительным зарядом емкости несколько отличается от работы схемы без предварительного заряда (рис. 3). В исходном положении К-1, К-2, К-3 разомкнуты, батарея конденсаторов С заряжена до напряжения U_{co} . Полярность заряда батареи показана на рис. 3. В момент перехода э. д. с. генератора через нулевое значение происходит замыкание К-1. Емкость начинает разряжаться и при переходе напряжения на емкости через нулевое значение происходит замыкание К-3. Далее схема работает как схема без предварительной зарядки конденсаторной батареи. Увеличение скорости передачи энергии происходит за счет увеличения тока на первом цикле. Однако это увеличение существенно и определяется не только добавкой энергии предварительного заряда батареи, но и в значительной степени влиянием

предварительного заряда конденсаторной батареи на скорость передачи энергии от ударного генератора в индуктивную нагрузку.

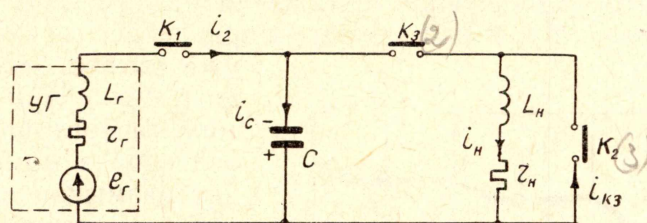


Рис. 3. Схема увеличения энергии и скорости ее передачи в нагрузку от ударного генератора с предварительной зарядкой конденсаторной батареи.

Переходные процессы от момента начала работы схемы до t_1 описываются в операторной форме уравнениями (1) и (2):

$$pL_{\Gamma}i_{\Gamma}(0) + U_c(0) + e(p) = i_{\Gamma}(p)\left(pL_{\Gamma} + r_{\Gamma} + \frac{1}{pC}\right), \quad (1)$$

$$pL_{\text{н}}i_{\text{н}}(0) + U_c(0) = i_{\text{н}}(p)(pL_{\text{н}} + r_{\text{н}}) + i_c(p)\frac{1}{pc}. \quad (2)$$

Переходный процесс в промежутке времени от t_1 до t_2 описывается уравнением (2), где начальные значения тока $i_{\text{н}}(0)$ и напряжения $U_c(0)$ определяются из результатов решения на предыдущем этапе.

Работа схемы от t_2 до t_3 описывается уравнениями (2) и (3)

$$pL_{\text{н}}i_{\text{н}}(0) = i_{\text{н}}(p)(pL_{\text{н}} + r_{\text{н}}) + i_3(p)r_3. \quad (3)$$

Работа схемы от начала следующей положительной полуволны э. д. с. t_3 до t_4 описывается системой уравнений (1), (2), (3). После замыкания закоротки t_4 этапы работы схемы повторяются.

Сложность аналитического исследования данной схемы объясняется не только сложностью решения полученных уравнений, но и трудностью определения начальных условий для каждого из этапов.

В результате решения уравнений (1), (2), (3) получаются громоздкие выражения для токов и напряжений в отдельных элементах схемы. Поэтому в целях экономии места результаты решения приводятся в виде кривых (рис. 2).

Ток нагрузки, который в данном случае представляет наибольший интерес, в первом приближении без учета активных сопротивлений можно определять по (4)

$$i_{\text{н}} = \frac{1}{2}i_{\Gamma}(0) + I_m + \frac{\nu^2}{\nu^2 - 1}I_m \sin \omega t - \frac{\nu^2}{\nu^2 - 1}I_m \cos \omega t + \\ + \frac{2}{\nu} \frac{U_c(0)}{E_m} I_m \sin \nu \omega t - \frac{1}{2} \frac{I_2(0)}{I_m} I_m \cos \nu \omega t + i_{\text{н}}(0), \quad (4)$$

где

$i_{\Gamma}(0)$, $U_c(0)$, $i_{\text{н}}(0)$ — начальные значения токов и напряжения, определяемые из результатов решения уравнений на предыдущем этапе;

$\nu \omega = \sqrt{\frac{L_{\text{н}} + L_{\Gamma}}{L_{\text{н}}L_{\Gamma}C}}$ — собственная частота колебаний контура $L_{\Gamma} - C - L_{\text{н}}$.

$$I_m = \frac{E_m}{\omega(L_{\Gamma} + L_{\text{н}})}.$$

Рассмотренная схема ускоренной передачи энергии от ударного генератора в индуктивную нагрузку расширяет возможности ударного генератора как накопителя и источника энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Curruthers, Energy storage for thermonuclear research, Proc. Inst. Electr. Engs., A—106, № 2, 1959.
 2. В. Р. Карасик. Физика и техника сильных магнитных полей. Издательство «Наука», 1964.
 3. М. П. Костенко. Электрические машины. Специальная часть, ГЭИ, 1949.
 4. В. В. Ивагин, Г. А. Сипайлов. Бездуговое отключение больших токов, Электротехника, № 9, 1964.
 5. Г. А. Сипайлов, К. А. Хорьков. О совместной работе ударного генератора и конденсаторной батареи на индуктивную нагрузку. Известия ТПИ, т. 132, 1964.
-