

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО УДАРНОГО ГЕНЕРАТОРА НА ИНДУКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

Ю. А. Романов, Г. А. Сипайлов, А. В. Лоос

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Сложной инженерной задачей, возникающей при проведении исследований, связанных с магнитными полями высоких энергий, является создание источников питания, которые обеспечили бы передачу значительной энергии в индуктивную нагрузку за относительно короткий промежуток времени.

Выбор того или иного накопителя определяется, главным образом, их техническими возможностями с точки зрения получения необходимых величин энергии, напряженности магнитного поля и длительности импульса. Если по техническим соображениям становится возможным применение различных типов накопителей, то в этом случае выбор должен определяться экономическими соображениями. Так, для энергий, измеряемых десятками миллионов джоулей, наиболее экономичным является механическое накопление. Например, стоимость конденсаторного накопителя на энергию 100 млн. дж при напряжении 10÷15 кв составляет примерно 250 млн. руб., а электромашинного накопителя — 2 млн. руб. [1].

Однако нижняя граница целесообразного применения электромашинного накопителя, по мере совершенствования конденсаторов, перемещается в сторону больших значений энергии. Так, в настоящее время при выборе накопителей на энергии до 5÷10 млн. дж ряд исследователей предпочитают применять конденсаторы, доказывая при этом, что они более экономичны по сравнению с существующими ударными генераторами [2].

Интенсификация исследований в различных отраслях современной физики требует дальнейшего повышения энергии, сосредоточенной в одном импульсе. В связи с этим разработка и совершенствование накопителей энергии, удовлетворяющих возросшим требованиям, представляет собой одну из важнейших проблем энергетики.

В последние годы при разработке электромашинных накопителей энергии наряду с синхронными и униполярными генераторами исследователи стали обращаться к асинхронной машине. Асинхронные генераторы с короткозамкнутым ротором просты по устройству, надежны в эксплуатации и относительно недороги. При подключении емкости к асинхронной машине возможно самовозбуждение последней и нарастающие амплитуды тока и напряжения до наступления установившегося режима.

Такой асинхронный генератор с конденсаторным самовозбуждением может быть использован как для возбуждения управляющего магнитно-

го поля ускорителей заряженных частиц, так и в автономных источниках питания специальной аппаратуры.

Работа асинхронного генератора в импульсном режиме исследована недостаточно. В связи с этим возникает задача выяснения принципиальной возможности работы однофазного асинхронного генератора в импульсном режиме, исследование влияния различных параметров на передаваемую энергию в нагрузку и сравнение его энергетических показателей с синхронным генератором.

Нормальным режимом работы асинхронного ударного генератора является внезапное включение на нагрузку в момент перехода напряжения на емкости через нуль и отключение при первом же переходе тока через нуль. Характер электромагнитных процессов, происходящих при внезапном включении генератора на нагрузку, индуктивность которой по своему значению близка к сверхпереходной индуктивности генератора, описывается дифференциальными уравнениями, составленными для контуров статора и ротора. Исследования влияния различных параметров на работу асинхронного ударного генератора были проведены на математической модели асинхронного ударного генератора [3]. При этом в качестве исходных принимались следующие значения параметров в относительных единицах:

$$\begin{aligned} x_{ad} &= 1; & x_{\sigma s} &= 0,04; & x_{\sigma r} &= 0,01; \\ R_s &= 0,005; & R_r &= 0,005; & \omega_r &= 1. \end{aligned}$$

Здесь все обозначения соответствуют принятым в работе [3].

Ниже приведены результаты расчета, позволяющие выявить влияние некоторых параметров генератора на энергию, передаваемую в нагрузку.

1. Исследование влияния активного сопротивления статора на величину энергии, отдаваемой генератором в нагрузку при отсутствии емкости. Отключение емкости производилось с целью устранения влияния последней на работу генератора.

Методика решения дифференциальных уравнений, отображающих электромагнитный переходный процесс работы асинхронного генератора, состоит в следующем: на первом этапе происходит возбуждение генера-

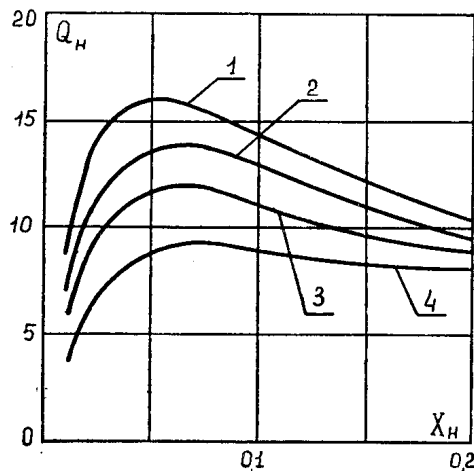


Рис. 1 а. Влияние активного сопротивления статора асинхронного генератора на энергию, передаваемую в нагрузку: $R_r=0,005$; 1 — $R_s=0$; 2 — $R_s=0,005$; 3 — $R_s=0,01$; 4 — $R_s=0,02$

тора, для этого в математической модели на один из интеграторов подаются начальные условия. В данном случае принималось $u_{c(0)} = 0,05 u_n$, где u_n — номинальное напряжение генератора.

Процесс возбуждения асинхронного генератора, моделируемый на АВМ, фиксируется визуально по осциллографу. Увеличение магнитного потока контролируется на выходе функционального блока 1БН рис. 2 [3]. Когда результирующий поток в воздушном зазоре достигает своего номинального значения $\psi_\delta = 1$, производится включение нагрузки и отключение емкости в момент равенства нулю напряжения на емкости. Активное сопротивление статора изменялось в пределах $R_s = 0; 0,005; 0,01; 0,02$. На рис. 1а приведены результаты, показывающие степень влияния активного сопротивления обмотки статора, на характер изменения передаваемой энергии в нагрузку $Q_H = f(x_H)$; при этом за единицу приняты значения энергии, соответствующие номинальным данным генератора за тот же промежуток времени.

Как следует из графика, увеличение активного сопротивления статора приводит к уменьшению передаваемой энергии в нагрузку и смещению максимума $Q_H = f(x_H)$ в сторону больших сопротивлений, т. е. при выборе x_H в общем случае для $R_s \neq 0$ следует принимать $x_H > x_{d''}$, так как согласованный режим имеет место при

$$x_H \approx z_r = \sqrt{R_s^2 + x''_d^2}.$$

Для определения влияния постоянной времени обмотки ротора T_r на передачу энергии в нагрузку изменяли активное сопротивление ротора в следующих пределах: $R_r = 0; 0,005; 0,01; 0,02$. Методика проведения исследований аналогична изложенной. Результаты расчета представлены на рис. 1б. Как и в первом случае, увеличение сопротивления ротора уменьшает энергию в нагрузке со сдвигом максимума $Q_H = f(x_H)$ в область больших сопротивлений. Это объясняется тем, что увеличение постоянной времени обмотки ротора приводит не только к увеличению сверхпереходного сопротивления генератора, но и более быстрому гашению магнитного поля ротора, а также проникновению потока якоря в контуры обмотки ротора и, соответственно, уменьшению эдс генератора.

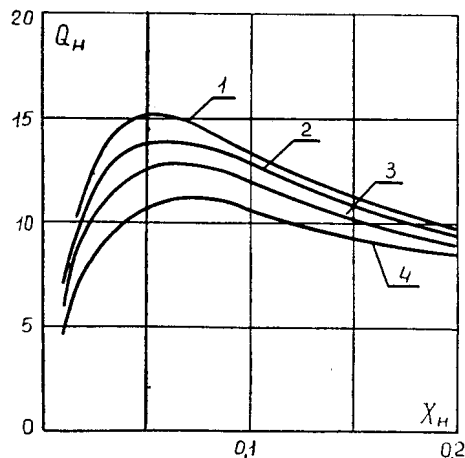


Рис. 1 б. Влияние параметров обмотки ротора асинхронного генератора на передаваемую энергию в нагрузку: $R_s = 0,005$; 1 — $R_r = 0$; 2 — $R_r = 0,005$; 3 — $R_r = 0,01$; 4 — $R_r = 0,02$

2. Влияние емкости в цепи статора генератора на энергию, передаваемую в нагрузку, показано на рис. 2а. Емкостное сопротивление изменялось в пределах зоны самовозбуждения генератора. Начальное значение напряжения генератора оставалось постоянным, соответствующим номинальному потоку в воздушном зазоре машины. Для выполнения этого условия на все интеграторы структурной схемы подаются постоянные

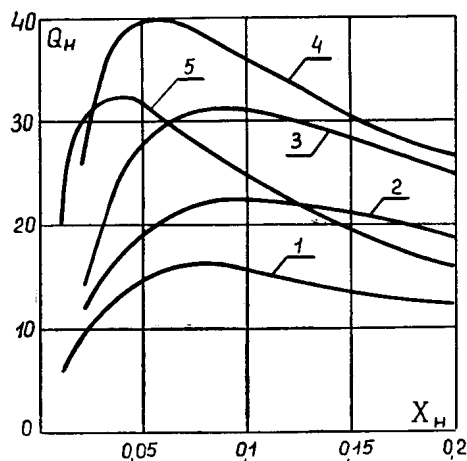


Рис. 2 а. Влияние возбуждающей емкости на передачу энергии в нагрузку: $R_s=R_r=0,005$; 1 — $X_c=0,3$; 2 — $X_c=0,1$; 3 — $X_c=0,05$; 4 — $X_c=0,025$; 5 — $X_c=0,01$

возмущения, соответствующие нормально возбужденной машине. Из представленных на рис. 2а расчетных данных $Q_n = f(x_n)$ следует, что увеличение емкости батареи конденсаторов приводит к увеличению энергии нагрузки. Однако увеличение энергии нагрузки происходит на величину энергии батареи конденсаторов. Данные исследования проводились при постоянной скорости вращения генератора без учета влияния насыщения на величину индуктивного сопротивления рассеяния статора.

Наряду с расчетами на математической модели были выполнены экспериментальные исследования на опытном образце генератора. В частности, проведено сравнение синхронного и асинхронного режимов работы машины на импульсную нагрузку. Параметры асинхронного генератора следующие: $R_s=0,436$ ом; $R_r=0,185$ ом; $x_d=13,75$ ом; $x_{\sigma s}=0,8$ ом; $x_{\sigma r}=0,74$ ом.

Как следует из рис. 2б, увеличение емкости в цепи генератора сопровождается увеличением энергии нагрузки, что соответствует проведенным расчетам. При малой емкости возбуждения энергия нагрузки асинхронного УГ меньше энергии нагрузки синхронного УГ. Необходимо отметить, что с увеличением передаваемой энергии в нагрузку увеличивается в процентном отношении и энергия батареи конденсаторов. Так, при

$$C = 150 \text{ мкф}, \quad Q_c = 0,12 Q_n.$$

$$C = 300 \text{ мкф}, \quad Q_c = 0,19 Q_n.$$

$$C = 400 \text{ мкф}, \quad Q_c = 0,21 Q_n.$$

где Q_n — энергия нагрузки.

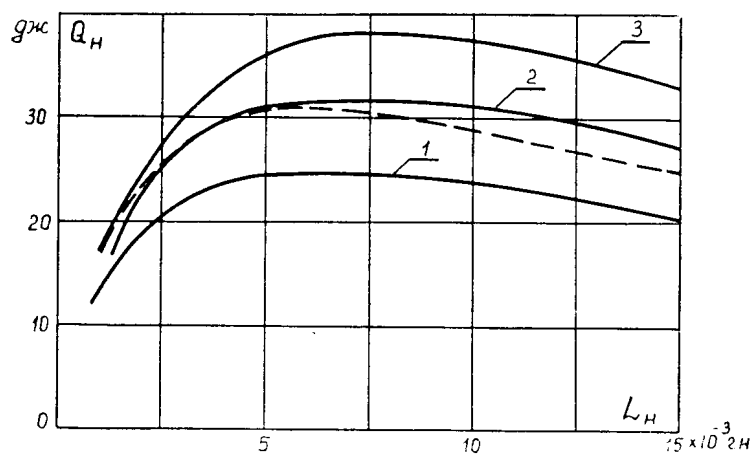


Рис. 26. Экспериментальные исследования макетного образца ударного генератора: ——— асинхронный генератор; - - - синхронный генератор; 1 — $C=150$ мкф; 2 — $C=300$ мкф; 3 — $C=400$ мкф

На рис. 3 приведена осциллограмма тока нагрузки i_n и напряжение генератора u_c , экспериментального образца асинхронного ударного генератора.

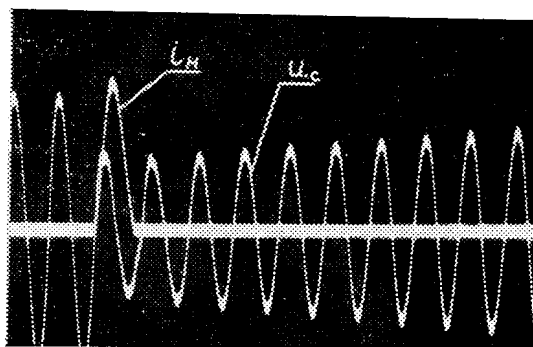


Рис. 3

Таким образом, проведенные исследования работы асинхронной однофазной машины в генераторном режиме на импульсную нагрузку показали принципиальную возможность работы генератора, причем по передаваемой энергии в нагрузку в некоторых случаях он не уступает синхронному УГ, а по качеству выходного напряжения и использованию активных материалов бесконтактный асинхронный генератор может вполне конкурировать с синхронными генераторами в автономных импульсных системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Г. Комар. Ускорители заряженных частиц. Атомиздат, М., 1964.
2. Ф. К. Архангельский, А. М. Столов. Применение ударных генераторов для создания импульсных магнитных полей с большими запасами энергии. Электрофизическая аппаратура, вып. 4. Атомиздат. 1966.
3. Ю. А. Романов, Г. А. Сипайлов. Анализ работы асинхронного ударного генератора с применением АВМ. Известия ТПИ, т. 212, 1970.