

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УДАРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ РАБОТЕ НА ИМПУЛЬСНУЮ НАГРУЗКУ

Г. А. Сипайлов, А. И. Верхотуров, В. Ф. Кулаков

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Генератор ударной мощности является одним из перспективных источников больших энергий и может найти широкое применение в различных отраслях экспериментальной физики.

Развитие и перспективы применения ударных генераторов тесно связаны с совершенствованием и улучшением их энергетических показателей: уменьшением потерь энергии в расчете на один импульс тока статора, повышением частоты повторения импульсов и увеличением ударной мощности.

Одним из основных факторов, определяющих ударную мощность и частоту повторения импульсов ударных генераторов, являются электромагнитные потери холостого хода. Ударные генераторы имеют более высокие электромагнитные потери холостого хода по сравнению с турбогенераторами такой же габаритной мощности. Высокий уровень потерь холостого хода ограничивает эффективное использование генератора во времени.

При определенной длительности пауз между импульсами потери холостого хода ударного генератора можно существенно уменьшить, а ударную мощность повысить, если применить прерывистый режим возбуждения с форсированным нарастанием магнитного потока перед каждым включением генератора на нагрузку и последующим гашением магнитного поля на период бестоковой паузы. Поэтому важно оценить возможность прерывистого форсированного возбуждения как с точки зрения сокращения энергии потерь в расчете на один импульс тока статора и увеличения частоты повторения импульсов, так и с целью увеличения импульсной мощности ударного генератора, а также установить границы, в которых целесообразно применять прерывистое форсированное возбуждение по сравнению с постоянным возбуждением.

Цикл работы ударного генератора на импульсную нагрузку можно разбить на три этапа:

- а) нарастание напряжения от нуля до заданного значения,
- б) включение ударного генератора на нагрузку,
- в) развозбуждение генератора после импульса тока статора.

Первый и третий этапы протекают при разомкнутой обмотке статора и составляют цикл работы генератора на холостом ходу.

В [1] получены зависимости энергии потерь в стали машины и в обмотках ротора при холостом ходе за цикл работы ударного генератора для любого коэффициента форсировки k .

Для стали

$$Q_{\text{ст}} = P_0' T \left(k^2 \ln \frac{k+1}{k-0,95} - 1,95 k + 0,05 \right). \quad (1)$$

Для обмотки возбуждения

$$Q_{\text{мвц}} = \frac{U_2^2}{r_2} T \left(k^2 \ln \frac{k+1}{k-0,95} - 4 B k + 2 B^2 k \right). \quad (2)$$

Для обмоток возбуждения и демпферной

$$Q_{\text{мц}} = \frac{U_2^2}{r_2} T \left[k^2 \ln \frac{k+1}{k-0,95} + B(0,05 - 1,95 k) \right]. \quad (3)$$

где k — кратность напряжения подводимого к обмотке возбуждения по сравнению с номинальным,

P_0' — потери в стали машины при холостом ходе,

$T = T_2 + T_3$ — суммарная постоянная времени обмотки возбуждения и демпферной,

u_2 — напряжение на зажимах обмотки возбуждения,

r_2 — активное сопротивление обмотки возбуждения,

$B = \frac{T_2}{T}$ — отношение постоянной времени обмотки возбуждения к

суммарной постоянной времени контуров ротора.

Зависимость суммарной электромагнитной энергии потерь холостого хода от коэффициента форсировки можно получить, сложив правые части уравнений (1) и (3):

$$Q_{\Sigma k} = \frac{U_2^2}{r_2} T k \left[(k_0 + 1) k \ln \frac{k+1}{k-1} - 2(k_0 + B) \right], \quad (4)$$

где $k_0 = \frac{P_0' r_2}{u_2^2}$ — отношение электромагнитных потерь холостого

хода в стали к потерям в обмотке возбуждения.

Обозначим через $k_1 = \frac{Q_{\Sigma k}}{Q_{\Sigma 1}}$, где $Q_{\Sigma 1}$ — суммарные потери

холостого хода за цикл при $k=1$, тогда

$$k_1 = \frac{k \left[(k_0 + 1) k \ln \frac{k+1}{k-1} - 2(k_0 + B) \right]}{3,69 + 1,09 k_0 - 2B}. \quad (5)$$

Результаты расчета по (5) представлены на рис. 1 для $k_0=6$ при изменении $\frac{T_3}{T_2}$ от 0,4 до единицы. Из рисунка видно, что имеется та-

кой коэффициент форсировки, при котором потери энергии холостого хода за цикл работы минимальны. Значение k , при котором потери минимальны, можно найти из условия равенства нулю первой производной от $Q_{\Sigma k}$ по k

$$k \ln \frac{k+1}{k-1} - \frac{k^2}{k^2-1} - \frac{k_0 + B}{k_0 + 1} = 0. \quad (6)$$

Результаты решения уравнения (6) представлены на рис. 2 при изменении $\frac{T_3}{T_2}$ от 0,2 до единицы для $k_0=4 \div 10$.

Наличие минимума в суммарных электромагнитных потерях энергии за цикл работы при определенном коэффициенте форсировки объяс-

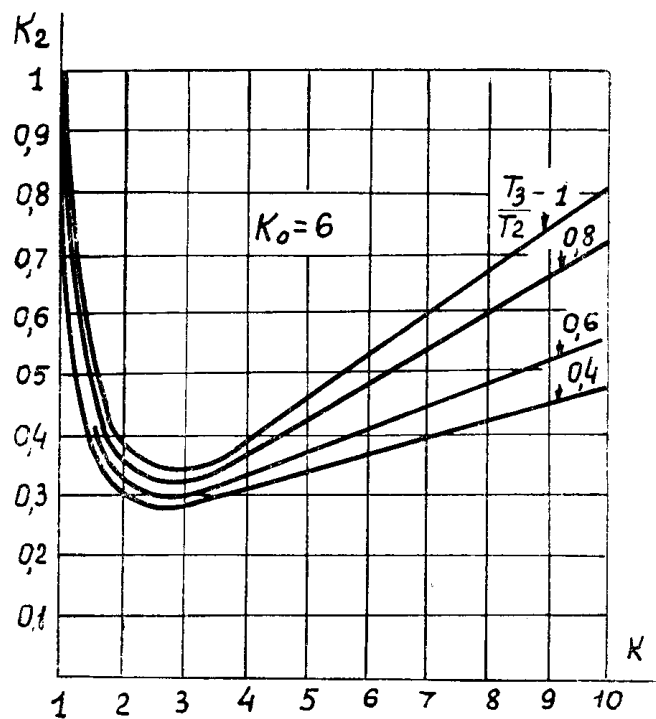


Рис. 1. К сравнению суммарных электромагнитных потерь холостого хода за цикл работы для любого K с потерями при $K=1$

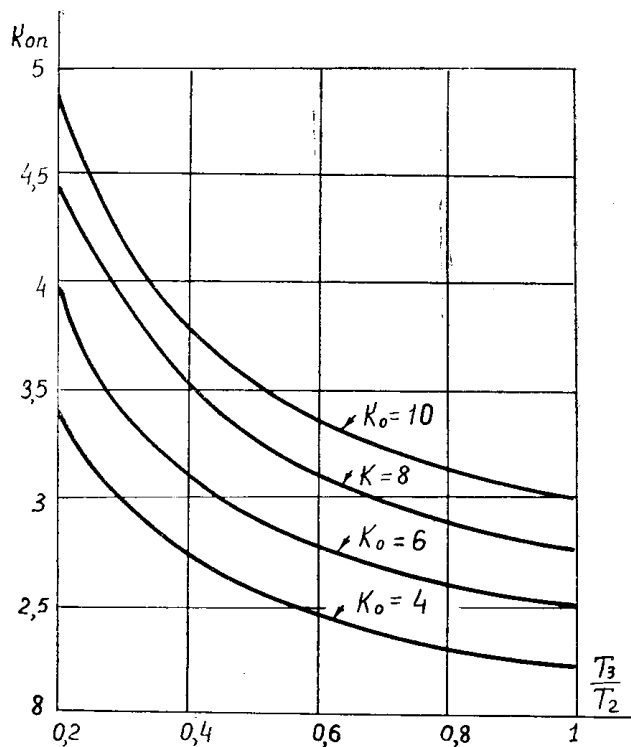


Рис. 2. К расчету оптимальных коэффициентов форсировки за цикл работы

няется тем, что потери в стали машины и в обмотках ротора с изменением k ведут себя неодинаково: с увеличением k потери в стали резко уменьшаются, а в обмотках ротора сначала уменьшаются, достигают минимума, а затем резко возрастают.

На этом же принципе можно найти минимум суммарных электромагнитных потерь холостого хода в роторе при определенном воздушном зазоре между ротором и статором, так как потери в обмотке возбуждения с увеличением зазора увеличиваются, а добавочные потери в стали ротора уменьшаются.

Расчеты показывают, что зазор, выбранный из условия минимума потерь холостого хода в роторе, удовлетворяет условно механической прочности, но величина его получается примерно в 1,5 раза больше, чем у существующих генераторов разрывной и ударной мощности.

При прерывистом режиме обмотка возбуждения находится в наиболее неблагоприятных условиях в тепловом отношении, так как дополнительно нагружается токами демпферной системы.

Поэтому минимальную длительность пауз между импульсами t_n следует определять из условия допустимой тепловой загрузки обмотки возбуждения:

$$(k^2 - 1) \ln \frac{k + 1}{k - 1} - 2Bk(2 - B) = 0. \quad (7)$$

Решив приближенно уравнение (7), можно найти k для данного отношения $\frac{T_3}{T_2}$ и вычислить минимальную длительность паузы

$$t_n = T \ln \frac{k + 1}{k - 1}. \quad (8)$$

Выполненные исследования показывают, что для существующих ударных генераторов $t_n \approx T$.

Таким образом, в машинах с демпферной обмоткой на роторе существует такой коэффициент форсировки, при котором нарастание напряжения от нуля до заданного значения и развозбуждение машины происходит с наименьшими потерями холостого хода.

Применение прерывистого возбуждения с оптимальным коэффициентом форсировки позволяет сократить энергию электромагнитных потерь холостого хода почти в 2 раза по сравнению с постоянным возбуждением за одно и то же время и в 5÷7 раз по сравнению с прерывистым возбуждением при $k=1$.

Если принять, что при прерывистом возбуждении с оптимальным коэффициентом форсировки в роторе выделяется такое же количество потерь, как и при $k=1$, то при работе с оптимальным коэффициентом форсировки можно возбуждать машину до более высокого напряжения, чем при $k=1$, и тем самым значительно повысить ударную мощность генератора, которая зависит от квадрата напряжения.

Применение прерывистого возбуждения становится особенно эффективным, когда длительность пауз между импульсами больше суммарной постоянной времени контуров ротора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Сипайлов, А. И. Верхотуров. Экспериментальное исследование прерывистого возбуждения на модели ударного генератора. Известия ТПИ, т. 162, 1966.