

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УДАРНОГО ГЕНЕРАТОРА НА ПОНИЖЕННУЮ ЧАСТОТУ

Г. А. СИПАЙЛОВ, К. А. ХОРЬКОВ, Л. О. ОГАНЯН

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

При работе ударного генератора на индуктивную нагрузку выражение для электромагнитной энергии нагрузки можно представить в виде

$$W_n = \frac{c_{уд}}{\frac{\sum \lambda}{pq}} \cdot l(\tau B_0)^2, \quad (1)$$

где

$$c_{уд} = \frac{k_z^2 k_w^2}{6 \pi^2 \mu_0}.$$

Анализ этого выражения показывает, что увеличение энергии, отдаваемой генератором нагрузке, возможно за счет:

- 1) уменьшения индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора;
- 2) увеличения габаритов машины;
- 3) увеличения индукции в воздушном зазоре.

Проведенные ранее [1, 2] исследования двухполюсных и многополюсных ударных генераторов позволили определить величину энергии, отдаваемой нагрузке при оптимальной геометрии зубцовой зоны генераторов, предельно допустимых габаритах и максимально допустимой индукции в воздушном зазоре.

Дальнейшее увеличение энергии в импульсе тока требует новых решений. Одним из возможных путей увеличения электромагнитной энергии, передаваемой нагрузке в единичном импульсе тока, является выполнение ударного генератора на пониженную частоту с соответствующим увеличением полюсного деления машины.

Так, например, в габаритах восьмиполюсного генератора можно выполнить четырехполюсный ударный генератор, увеличив этим самым величину полюсного деления вдвое за счет снижения частоты напряжения до 25 гц при сохранении величины скорости вращения ротора. Выполнение в этих же габаритах двухполюсного ударного генератора позволяет при снижении частоты напряжения генератора до 12,5 гц увеличить полюсное деление генератора в четыре раза. Согласно зависимости (1) следует ожидать значительного увеличения энергии. В связи с этим

представляет интерес определение оптимальной геометрии зубцовой зоны статора ударного генератора при пониженной частоте.

Анализ влияния геометрии зубцовой зоны статора на величину электромагнитной энергии, отдаваемой нагрузке, выполнен с помощью ЭЦВМ. При расчетах предполагалось, что нам известны следующие основные параметры генератора: $l=6$ м; $D_p=3,9$ м; число полюсов $2p=4$ или 2; максимально допустимая индукция в зубце статора $B_z=2,7$ тл; максимально допустимая плотность тока в обмотке статора 400 а/мм².

Величина индукции в воздушном зазоре определяется через коэффициент ξ , равный отношению ширины зубца к зубцовому шагу статора:

$$B_\delta = k_c \xi B_{z \max}, \quad (2)$$

где

k_c — коэффициент заполнения пакета сталью.

В расчетах коэффициент ξ варьировался от $\xi=0,5$ до $\xi=0,9$. Другой переменной величиной бралось отношение высоты паза статора к его ширине k_1 , величина которого изменялась от $k_1=1$ до $k_1=5$. Расчеты

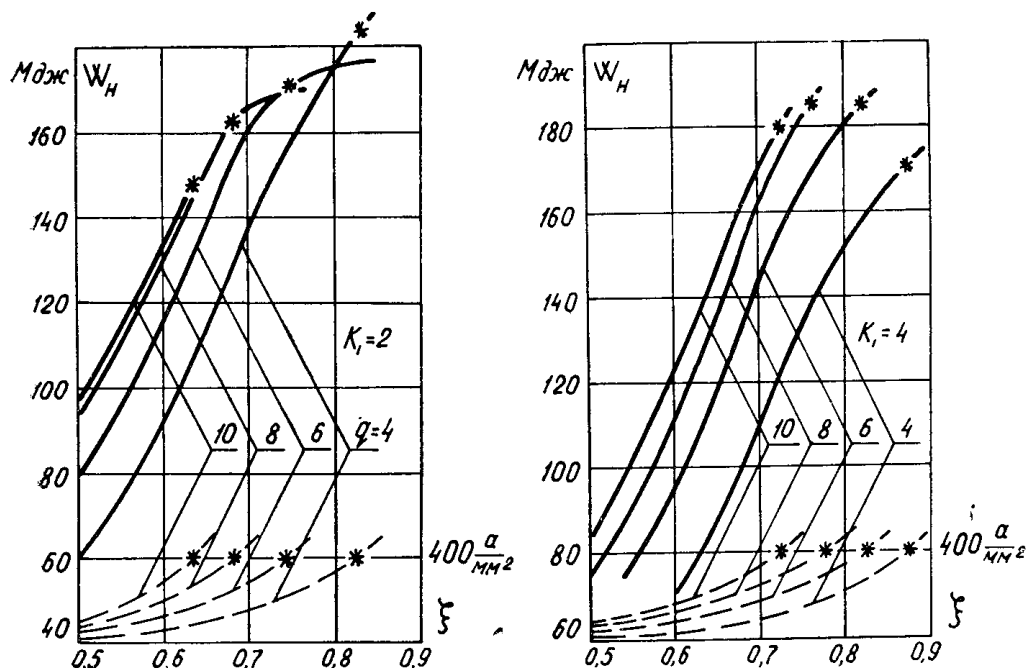


Рис. 1. Зависимости энергии и плотности тока от ξ при различных q и k_1 для генератора на частоту 25 гц

выполнены для чисел пазов на полюс и фазу от $q=4$ до $q=10$. Методика расчета параметров ударного генератора, тока при замыкании обмотки статора на нагрузку и энергии, отдаваемой нагрузке, изложена в [1]. Результаты расчета представлены в виде зависимостей $W_H=f(q, k_1, \xi)$ и $j_{уд}=f(q, k_1, \xi)$ на рис. 1—4.

Представленные зависимости выявляют взаимосвязь между энергией, плотностью тока и основными параметрами, определяющими геометрию зубцовой зоны статора: q , ξ и k_1 .

Из анализа кривых рис. 1 и 2 видно, что для любого числа пазов на полюс и фазу и любого значения высоты паза по отношению к его ширине с возрастанием ξ , а следовательно, с возрастанием B_δ , согласно зависимости (2), наблюдается увеличение энергии, отдаваемой генератором нагрузке. Однако одновременно возрастает и плотность тока в об-

мотке статора. На кривых знаком (*) отмечены точки, соответствующие предельно допустимой плотности тока. Ограничение допустимой величины плотности тока приводит для принятого q к ограничению величины ξ . Расчеты показывают, что для каждого q имеется свое допустимое $\xi_{(*)}$.

Например, для генератора $2p=4$ при $k_1=2$ и $q=4$ допустимое $\xi_{(*)}=0,8$; для $q=6$ $\xi_{(*)}=0,75$; $q=8$ $\xi_{(*)}=0,7$; $q=10$ $\xi_{(*)}=0,65$. Для ге-

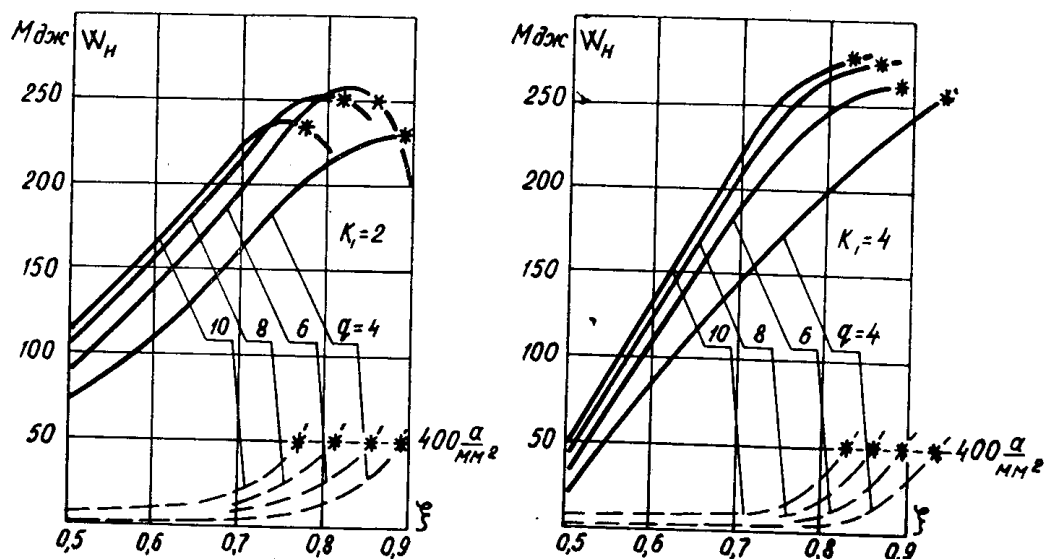


Рис. 2. Зависимости энергии и плотности тока от ξ при различных q и k_1 для генератора на частоту 12,5 гц

нератора с $2p=2$ при $k_1=2$ имеем для $q=4$ оптимальное $\xi_{(*)}=0,9$; для $q=6$ $\xi_{(*)}=0,85$; $q=8$ $\xi_{(*)}=0,8$ и $q=10$ $\xi_{(*)}=0,77$.

Приведенные результаты расчета показывают, что для принятого $k_1=\text{const}$ с увеличением числа пазов на полюс и фазу значение допус-

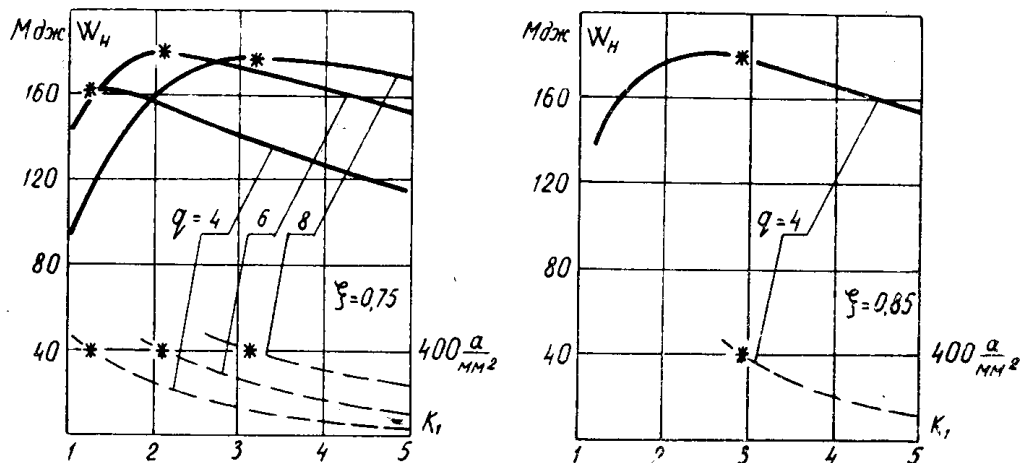


Рис. 3. Зависимости энергии и плотности тока от k_1 при различных q и ξ для генератора на частоту 25 гц

тимого $\xi_{(*)}$ уменьшается. Сравнение с допустимыми значениями $\xi_{(*)}$ для восьмиполюсного ударного генератора на частоту 50 гц [2], имеющего при $k_1=2$ для $q=4$ $\xi_{(*)}=0,7$; $q=6$ $\xi_{(*)}=0,62$; $q=8$ $\xi_{(*)}=0,54$ и $q=10$ $\xi_{(*)}=0,45$, показывает, что с уменьшением частоты генератора (то есть

с уменьшением числа полюсов машины) для одних и тех же q значение допустимого $\xi_{(*)}$ растет.

Из рисунка 1 и 2 очевидно, что значение допустимого $\xi_{(*)}$ зависит от геометрии паза: с увеличением глубины паза допустимое $\xi_{(*)}$ увеличивается. Зависимости энергии, отдаваемой ударным генератором индуктивной нагрузке, от геометрического фактора k_1 , характеризующего отношение высоты паза статора к его ширине, для различных значений q и ξ представлены на рис. 3 и 4. Очевидно, что для любого значения числа пазов на полюс и фазу уменьшение высоты паза ведет к возрастанию электромагнитной энергии только до определенного предела. При этом для каждого q имеет место свое критическое значение k_1 ,

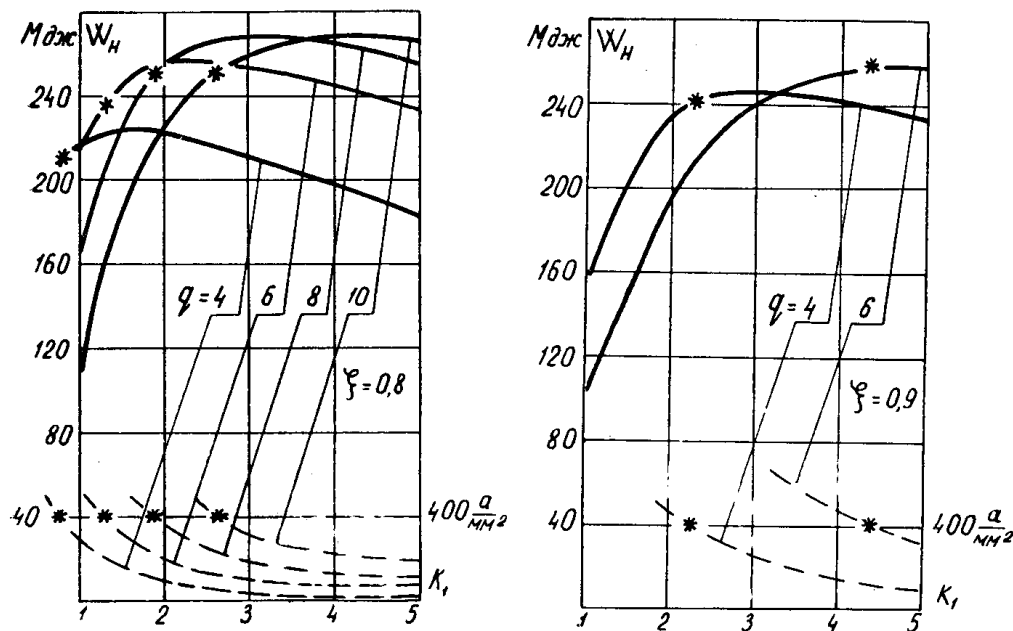


Рис. 4. Зависимости энергии и плотности тока от k_1 при различных q и ξ для генератора на частоту 12,5 гц

при котором кривая энергии имеет максимум. На кривых знаком (*) показаны минимально допустимые значения $k_{1(*)}$, при которых плотность тока в обмотке статора достигает 400 а/мм^2 .

В отличие от двухполюсных и многополюсных ударных генераторов на частоту 50 гц, у которых допустимое $k_{1(*)}$ лежит, как правило, выше критического, то есть возрастание плотности тока ограничивает уменьшение высоты паза прежде, чем энергия достигает максимума, в ударных генераторах на пониженную частоту допустимое значение $k_{1(*)}$ совпадает с критическим или даже несколько меньше последнего. Следует отметить, что с уменьшением частоты напряжения характер кривых становится более жестким.

Например, для генераторов с $q=4$ при увеличении k_1 от 1,5 до 4 при $f=50 \text{ гц}$ и $\xi=0,7$ значение энергии снижается в 1,35 раз; при $f=25 \text{ гц}$ и $\xi=0,75$ —в 1,25, а при $f=12,5 \text{ гц}$ и $\xi=0,8$ —в 1,12 раза. При больших значениях q , равных 6, 8, 10, изменение энергии с увеличением k_1 от его критического значения еще менее значительно. Следовательно, для ударных генераторов на пониженную частоту можно рекомендовать более глубокие пазы, чем для ударных генераторов на 50 гц.

Последнее позволяет значительно снизить плотность тока в обмотке статора. Так, например, при $f=12,5 \text{ гц}$, $q=8$ и $\xi=0,8$ (рис. 4) дос-

тается энергия порядка 260 Мдж при $k_1=2,2$ и плотности тока $j=350$ а/мм², а также при $k_1=4,5$ и $j=60$ а/мм².

Таким образом, выполнение ударных генераторов на пониженную частоту позволяет не только повысить количество энергии, передаваемое нагрузке за один импульс тока, но и значительно снизить тепловую нагрузку обмотки статора за счет увеличения сечения меди этой обмотки.

На рис. 5 представлены значения энергии, отдаваемой ударным генератором согласованной индуктивной нагрузке, найденные по результатам приведенных выше исследований для генераторов в габаритах восьмиполюсного турбогенератора с $D_p=3,9$ м, $l=6$ м при изменении числа полюсов и частоты напряжения обмотки статора генератора от

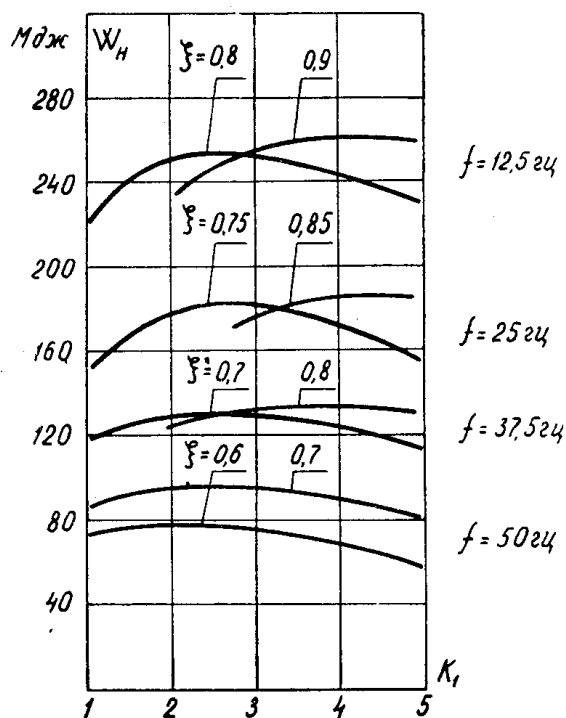


Рис. 5. Предельные значения энергии, отдаваемой ударным генератором согласованной индуктивной нагрузке, при выполнении генератора на различные частоты в одном габарите

$2p=8$ и $f=50$ гц до $2p=2$ и $f=12,5$ гц. Расчеты показывают, что выполнение ударного генератора двухполюсным в габаритах восьмиполюсной машины позволяет передавать энергию в нагрузку до 260 Мдж за один импульс тока, что в 3 раза выше, чем при выполнении ударного генератора восьмиполюсным. Выполнение ударного генератора с предельной длиной активной части машины, равной 12 м, позволит получить в нагрузке энергию порядка 500 Мдж. Таким образом, расчеты показывают, что в тех случаях, когда нет ограничений в длительности импульса тока, целесообразно использовать ударные генераторы на пониженную частоту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Сипайлов, К. А. Хорьков, В. З. Хорькова, В. С. Баклин, В. И. Андреев. К выбору геометрии зубцовой зоны статора ударного генератора. Изв. ТПИ, т. 211. 1970.
2. Г. А. Сипайлов, К. А. Хорьков, В. З. Хорькова, В. С. Баклин, В. И. Андреев. К выбору геометрии зубцовой зоны статора многополюсного ударного генератора. Изв. ТПИ, т. 229, 1972.