ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 229 1972

К ВЫБОРУ ГЕОМЕТРИИ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ СТАТОРА МНОГОПОЛЮСНОГО УДАРНОГО ГЕНЕРАТОРА

Г. А. СИПАЙЛОВ, К. А. ХОРЬКОВ, В. З. ХОРЬКОВА,
В. С. БАКЛИН, В. И. АНДРЕЕВ

(Рекомендована научным семинаром кафедры электрических машин и отделом эл. машин НИИ автоматики и электромеханики)

Многочисленные теоретические исследования двухполюсных генераторов ударной мощности, выполненных в предельных габаритах турбогенераторов [1, 2], показывают, что при работе генератора на индуктивную нагрузку за один импульс тока длительностью 0,02 *сек* в нагрузку может быть передана энергия порядка 25—30 млн. *дж*.

Дальнейший рост мощности единичного генератора ударной мощности возможен за счет перехода к многополюсным вариантам конструкции. Именно многополюсными являются крупнейшие современные генераторы разрывной мощности:

а) четырехполюсный ударный генератор фирмы «МИЦУБИСИ» с мощностью симметричного короткого замыкания 4550 Мва, [3];

б) восьмиполюсный ударный генератор фирмы «Сименс-Шуккертверке» с мощностью симметричного короткого замыкания 4300 Мва [4];

в) восьмиполюсный ударный генератор фирмы AEG с мощностью симметричного короткого замыкания 3000 Мва [5].

Основным достоинством многополюсных ударных генераторов является более полное использование мощности модели при наименьших механических напряжениях в машине, особенно в лобовых частях обмотки статора.

Имеющаяся литература о многополюсных ударных генераторах посвящена, как правило, описанию конструкции и технико-экономических характеристик генераторов разрывной мощности. Инженерные рекомендации для проектирования носят весьма приближенный характер. Например, в [5] относительно исполнения зубцовой зоны сказано: «открытые пазы выполнены очень широкими, чтобы давление стержня на дно при ударном токе не повредило гильзы» и далее «пазовое рассеяние низко за счет низких и широких пазов».

Для двухполюсных генераторов нами подробно исследовано влияние геометрии зубцовой зоны статора на величину энергии, отдаваемой генератором нагрузке [2]. Установлены оптимальные соотношения между шириной и высотой пазов, между шириной зубца и величиной зубцового деления статора. Расчеты показывают, что отклонения от оптимальных значений указанных величин могут привести к уменьшению мощности генератора в 1,5—2 раза и более. Представляет интерес рассмотреть влияние этих основных параметров зубцовой зоны на величину

энергии и для многополюсных генераторов ударной мощности, имеющих ряд отличительных особенностей.

Теоретические исследования по оптимизации геометрии зубцовой зоны многополюсных генераторов проведены на ЭЦВМ.

При расчетах предполагалось, что генераторы ударной мощности выполнены в предельных габаритах многополюсных машин и что явнополюсные роторы имеют мощную демпферную систему.

Таким образом, нам известны следующие основные размеры генераторов:

τ — полюсное деление статора,

l — расчетная длина активной части,

δ — величина воздушного зазора машины.

Для 4-полюсного ударного генератора принято $\tau = 1{,}65$ *м*, для 6- и 8-полюсных — 1,57 *м*. Возможность построения многополюсных ударных генераторов с указанными полюсными делениями показана в [6], а также подтверждается практикой изготовления быстроходных гидрогенераторов [7].

Для удобства сравнения рассчитанных вариантов исполнения ударных генераторов принято для всех машин $l = 6$ *м*, $\delta = 0{,}03$ *м* и максимально допустимая индукция в зубце статора $B_{zm} = 2{,}65$ тл. Для сохранения одинаковых электромагнитных нагрузок при расчете различных вариантов исполнений генераторов индукция в воздушном зазоре машины B_δ жестко связывалась с допустимой индукцией в наиболее узком сечении зубца статора через коэффициент ξ.

$$B_\delta = \xi \cdot \kappa_c \cdot B_{zm},$$

где K_c — коэффициент заполнения пакета сталью.

Так же как для 2-полюсных ударных генераторов, за основные переменные величины принимаем

κ_1 — отношение высоты паза к его ширине,

ξ — отношение ширины зубца к зубцовому шагу.

Основным критерием сравнения рассчитанных вариантов считаем допустимую плотность тока в обмотке статора. Так же как для 2-полюсных ударных генераторов, принимаем максимально возможную величину плотности тока равной 400 *а/мм*^{2}.

Расчеты показывают полную идентичность зависимостей энергии, отдаваемой ударными генераторами нагрузке, от геометрии зубцовой зоны статора для всех рассмотренных вариантов. Характерные кривые для 4-, 6-, 8-полюсных машин представлены на рис. 1 и 2.

У многополюсных ударных генераторов наблюдается возрастание энергии, передаваемой нагрузке за один импульс тока, с увеличением отношения ширины зубца к зубцовому шагу, то есть с увеличением индукции в воздушном зазоре, рис. 1. На рисунках знаком * показаны значения энергии при плотностях тока в обмотке 400 *а/мм*^{2} в пределах изменения числа пазов на полюс и фазу от $q = 18$ до $q = 6$ (при соответствующем увеличении индукции от $B_\delta = 0{,}98$ тл до $B_\delta = 1{,}72$ тл.). Для каждого числа пазов на полюс и фазу имеется какое-то предельное значение ξ, определяемое допустимой плотностью тока в обмотке статора. При этом для меньшего значения пазов на полюс и фазу допустимы большие значения ξ. Например, для 4-полюсного генератора при $q = 8$ наибольшее $\xi = 0{,}70$; при $q = 12$ $\xi = 0{,}62$; для 6-полюсного генератора при $q = 8$ $\xi = 70$; при $q = 12$ $\xi = 0{,}61$; для 8-полюсного генератора при $q = 8$ $\xi = 0{,}70$; при $q = 12$ $\xi = 0{,}60$.

Сопоставление с двухполюсными ударными генераторами [2] показывает полную идентичность закономерностей соотношения ξ и q. Оптимальная ширина пазов статора многополюсных ударных генераторов

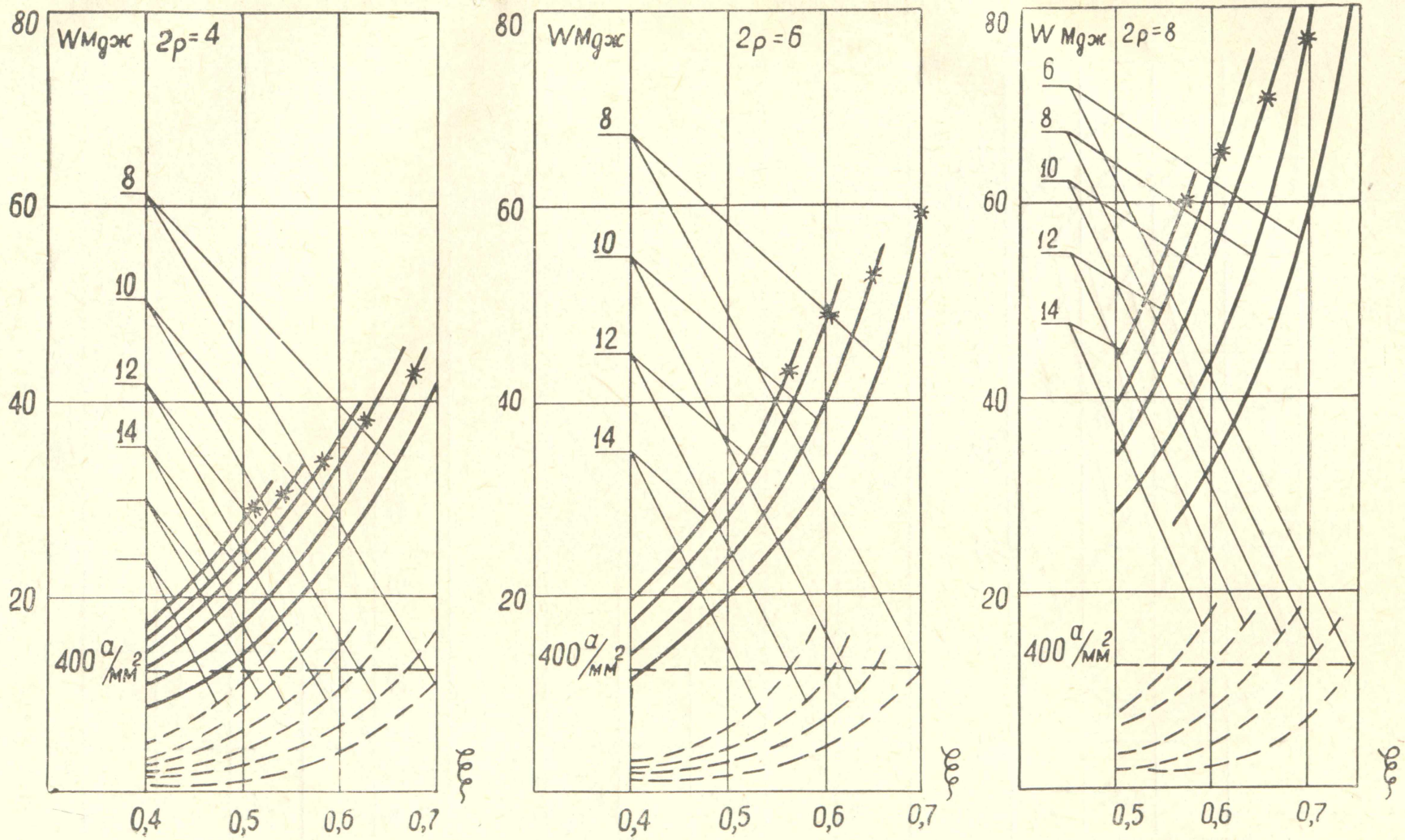

Рис. 1. Зависимость энергии, отдаваемой ударным генератором в нагрузку, от ξ для генераторов разной полюсности

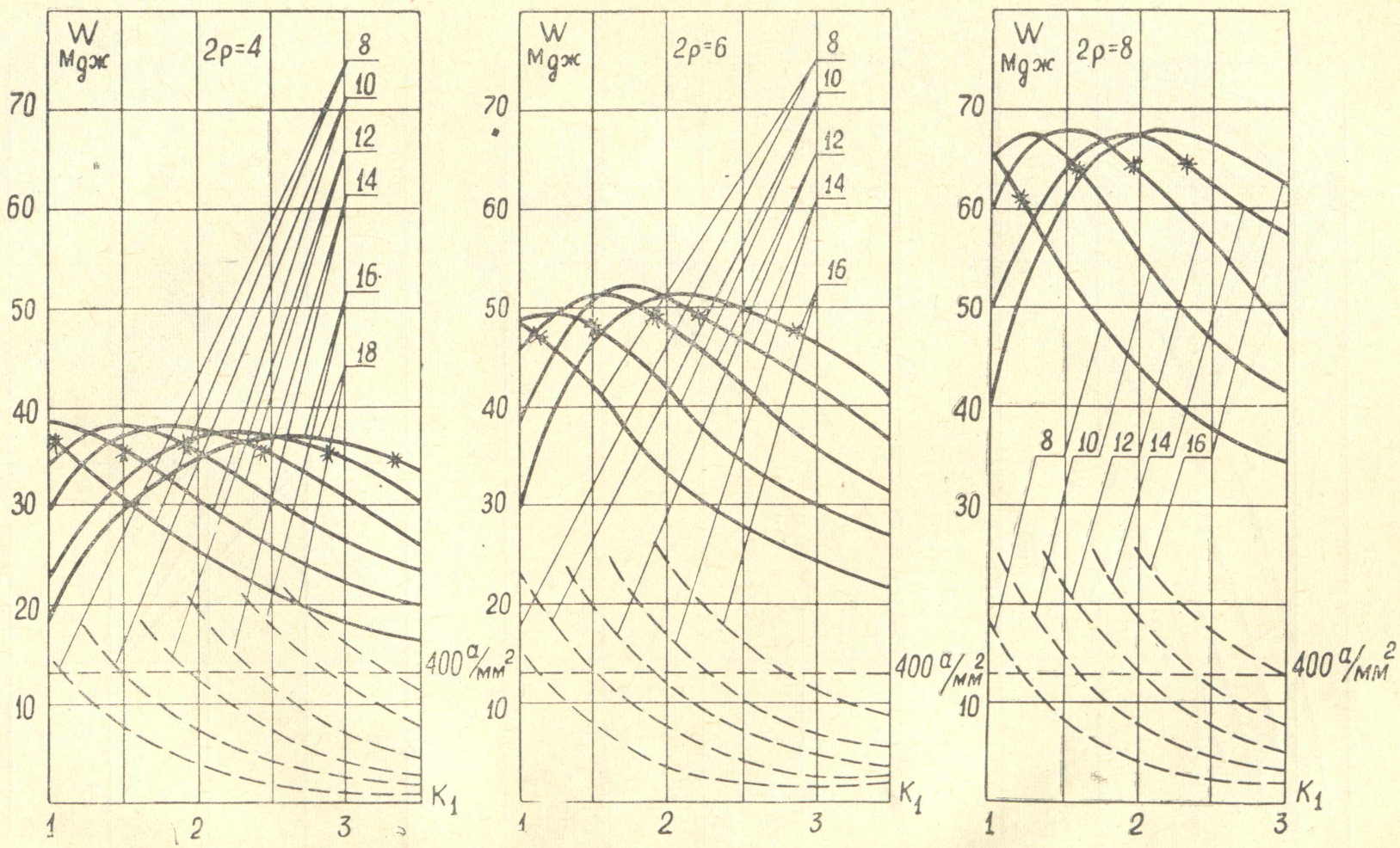

Рис. 2. Зависимость энергии, отдаваемой ударным генератором в нагрузку от K_1 для генераторов разной полюсности

зависит от числа пазов на полюс и фазу и не превосходит половины зубцового деления. Таким образом, вопрос о снижении индуктивного сопротивления пазовой части обмотки статора за счет изменения геометрии паза сводится к выбору целесообразного уменьшения высоты паза.

На рис. 2 представлены зависимости энергии, передаваемой ударным генератором нагрузке за один импульс тока, от соотношения между высотой и шириной пазов статора. Из рисунка очевидно, что уменьшение высоты паза (уменьшение κ_1) ведет к возрастанию энергии только до определенного предела. Кроме того, уменьшение высоты паза ведет к уменьшению сечения меди обмотки и сопровождается значительным возрастанием плотности тока. Значения энергии, соответствующие плотностям тока 400 *а/мм*^{2}, отмечены знаком (*).

Очевидно, что для каждого числа пазов на полюс и фазу имеется свое оптимальное значение κ_1. Для различных чисел пазов на полюс и фазу можно подобрать такие значения κ_1, при которых энергия ударных генераторов этого ряда будет одинакова.

Сравнение вариантов расчета многополюсных ударных генераторов показывает, что имеется некоторая тенденция в сторону углубления пазов с увеличением полюсности машины, например, для 4-полюсного генератора при $q = 8$ оптимальное $\kappa_1 = 1{,}0$, при $q = 12$ $\kappa_1 = 1{,}9$, для 6-полюсного генератора при $q = 8$ оптимальное $\kappa_1 = 1{,}20$, при $q = 12$ $\kappa_1 = 1{,}95$, для 8-полюсного генератора при $q = 8$ оптимальное $\kappa_1 = 1{,}20$, при $q = 12$ $\kappa_1 = 2{,}0$.

По сравнению с 2-полюсными ударными генераторами оптимальная глубина пазов многополюсных генераторов больше на 10—20%.

Расчеты показывают, что при оптимальной геометрии зубцовой зоны статора и допустимых электромагнитных нагрузках $B_\delta = 1{,}5$ тл; $B_z = 2{,}3$ тл; $j = 400$ *а/мм*^{2} можно передать от ударного генератора индуктивной нагрузке за один импульс следующую энергию: от 4-полюсного ударного генератора 30 мдж, от 6-полюсного ударного генератора 45 мдж, от 8-полюсного ударного генератора 60 мдж.

При дальнейшей форсировке возбуждения, при увеличении индукции в зазоре до 1,7 тл получаем соответственно: от 4-полюсного ударного генератора 40 мдж, от 6-полюсного ударного генератора 55 мдж, от 8-полюсного ударного генератора 75 мдж.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Сипайлов, К. А. Хорьков. Удельная энергия ударного генератора. «Известия ТПИ», т. 132, 1965.
2. Г. А. Сипайлов, К. А. Хорьков, В. З. Хорькова, В. С. Баклин, В. И. Андреев. К выбору геометрии зубцовой зоны статора ударного генератора. «Известия ТПИ», т. 211. 1970.
3. Mitsubisi Denki Giho, 1964, V. 38, № 9; 1963, V. 37, № 8. Ударный генератор большой мощности лаборатории разрывных мощностей.
4. J. Tittle. Der neue 4300 mva Stoßleistungsgenerator für das Schaltwerk der Siemens — Schuckertwerke Siemens — Zeitschrift, 1962, 36, 48.
5. G. Hagedorn. Der neue Stoßkurzchlußgenerator der AEG electrotechnisch betrachtet; AEG — Mitt, 1962, 52 № 7—8.
6. Г. А. Сипайлов, В. Ф. Кулаков. О возможностях многополюсных ударных генераторов. Сборник трудов VII межвузовской конференции по электронным ускорителям. Атомиздат, 1969.
7. М. П. Костенко, В. Х. Сафиулина, Л. А. Суханов. Особенности конструкции и параметры мощных высокоскоростных генераторов. Сб. Исследование электромагнитных полей, параметров и потерь в электрических машинах. «Наука», 1966.