

В.И.Панченко*(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)*

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ВЛИЯНИЯ ПАЗОВ ДЛЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Коэффициент влияния пазов C_V , введенный в инженерную практику Т.Г. Соронером [1], учитывает изменение амплитуд гармоник магнитной индукции в воздушном зазоре электрических машин, вызванное зубчатостью одного из сердечников. В работе [1] для расчета C_V предложена следующая формула

$$C_V = (1 - B_\varepsilon) - \frac{A_\varepsilon}{\operatorname{tg} \frac{\pi V}{z}}, \quad (1)$$

где V – число пар полюсов гармоники магнитной индукции, для которой определяют значение C_V ; z – число пазов сердечника машины; A_ε , B_ε – коэффициенты, значения которых можно вычислить с помощью интегралов вида:

$$A_\varepsilon = \varepsilon_V \int_0^{1 + 4 \frac{\delta}{b}} (1 - \beta_s) \cos(\varepsilon_V w) dw; \quad (2)$$

$$B_\varepsilon = \varepsilon_V \int_0^{1 + 4 \frac{\delta}{b}} (1 - \beta_\alpha) \sin(\varepsilon_V w) dw, \quad (3)$$

где $\varepsilon_V = \frac{\pi V}{z} \cdot \frac{b}{t}$ – параметр; b – ширина пазовой щели; t – зубчатое деление; δ –

величина воздушного зазора; $w = \frac{2x}{b}$; x – координата точки воздушного зазора,

отсчитываемая от оси произвольно выбранного паза; β_s, β_α – относительные распределения индукции паза для так называемых «четного» и «нечетного» магнитных полей, причем в работе [1] использованы выражения для β_s, β_α в неявном виде, т. к. они получены с помощью конформного преобразования. Это вынуждает применять для вычисления интегралов (2) и (3) численные методы.

С целью упрощения вычислительных операций в работе [2] на основании критериальной обработки численных расчетов C_V , проведенных для различных соотношений размеров зубчатой зоны, предложены приближенные формулы

для определения A_ε и $D_\varepsilon = 1 - B_\varepsilon$, причем для различных диапазонов изменения ε_V предусмотрены разные формулы. Эти формулы относительно просты, однако в области стыковки формул (при $\varepsilon_V = 2$) наблюдается значительное (особенно при малых отношениях b/δ) расхождение с данными работы [1].

В данной статье предлагается способ расчета коэффициентов A_ε и B_ε , в котором функции β_s и β_α аппроксимированы выражениями, позволяющими свести интегралы (2) и (3) к табличным. Согласно данным работы [3]

$$\beta_s = (1 - \beta) - \beta \cos \frac{\pi}{0,8b} x, \text{ при } 0 \leq x \leq 0,8b;$$

$$\beta_s = 1, \text{ при } 0,8b < x \leq \frac{t}{2}, \quad (4)$$

где $\beta = \frac{(1-u)^2}{2(1+u^2)}$; $u = \frac{b}{2\delta} + \sqrt{1 + (\frac{b}{2\delta})^2}$.

Выражение (4) справедливо для отношения $b/t < 0,625$.

Для распределения β_α в работе [4] предложены следующие выражения:

$$\beta_\alpha = B_2 \operatorname{sh} \gamma \frac{x}{\delta} \text{ при } 0 \leq x \leq x_k;$$

$$\beta_\alpha = 1, \text{ при } x_k < x \leq \frac{t}{2}, \quad (5)$$

где B_2 , γ , x_k являются функциями b/δ и представлены в указанной работе в виде графиков.

Автором получены аппроксимирующие выражения функций B_2 , γ , x_k для диапазона значений $b/\delta = 0-12$:

$$B_2 = 1,062 \exp(-0,313 \frac{b}{\delta});$$

$$\gamma = 0,9791 - 3,085 \cdot 10^{-2} \frac{b}{\delta} + 7,12 \cdot 10^{-4} (\frac{b}{\delta})^2; \quad (6)$$

$$x_k = \frac{\delta}{2} (\frac{b}{\delta} + 1).$$

После подстановки выражений (4) и (5) в (2) и (3) с учетом соотношения (6) и последующего интегрирования в пределах $/0, t/2/$, получим:

$$A_{\varepsilon} = \beta \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{1,6\varepsilon_{\nu}}{\pi} \right)^2} \right] \sin(1,6\varepsilon_{\nu}) \quad (7)$$

$$D_{\varepsilon} = \frac{B_2}{\left(\frac{\gamma_1}{\varepsilon_{\nu}} \right)^2 + 1} \left[\frac{\gamma_1}{\varepsilon_{\nu}} ch(\gamma_1 \delta_1) \sin(\varepsilon_{\nu} \delta_1) - sh(\gamma_1 \delta_1) \cos(\varepsilon_{\nu} \delta_1) \right] + \cos(\varepsilon_{\nu} \delta_1), \quad (8)$$

где

$$\gamma_1 = 0,5\gamma \frac{b}{\delta}, \quad \delta_1 = 1 + \frac{\delta}{b}.$$

На рис.1 приведены значения C_{ν} , рассчитанные с использованием предложенных формул (7) и (8) (сплошные линии) и по формулам, взятым из работы [2] (пунктирные линии) для $\nu=23$, $z=24$ и различных отношений b/δ .

Там же значками «*» отмечены значения C_{ν} , полученные с помощью кривых из работы [1], принимаемые за истинные. Очевидно, что для значений $\varepsilon_{\nu} \leq 3$ большую точность обеспечивает расчет с помощью предложенных формул (7) и (8); для $\varepsilon_{\nu} > 3$ при расчете C_{ν} целесообразно пользоваться формулами из работы [2].

Предложенные формулы позволили также получить следующий косвенный результат. На рис.2 приведены зависимости A_{ε} от параметра ε_{ν} для различных значений отношения b/δ , построенные по формуле (7), для вывода которой, как было указано выше, использовано выражение (4) из работы [3].

Указанные выражения обычно применяют для расчета гармоник магнитной проводимости зубчатого воздушного зазора электрической машины. Там же значками «*» отмечены точные значения A_{ε} из работы [1]. Из анализа рис.2 следует, что рассчитанные по формуле (7) значения A_{ε} практически совпадают

с точными только для величин $\varepsilon_{\nu} \leq 3,7$, соответствующих $\nu \leq 1,17 \frac{zb}{t}$. Для гар-

моник, вызванных зубчатостью воздушного зазора $\nu = kz + n$, где $k = 1; 2; \dots$ – порядковый номер гармоники, n – число пар полюсов машины. С учетом этого делаем вывод, что формулу (4) из работы [3] можно применять только для тех

гармоник, порядковые номера которых удовлетворяют условию $k \leq 1,1 \frac{t}{b}$. Так,

при $b/t = 0,625$ с помощью формулы (4) можно сравнительно точно рассчитать

амплитуду гармоники проводимости только первого порядка ($k=1$); при $b/t \leq 0,55$ – амплитуды гармоники порядков $k=1$ и 2; при $b/t \leq 0,37$ – амплитуды гармоник порядков $k=1, 2$ и 3.

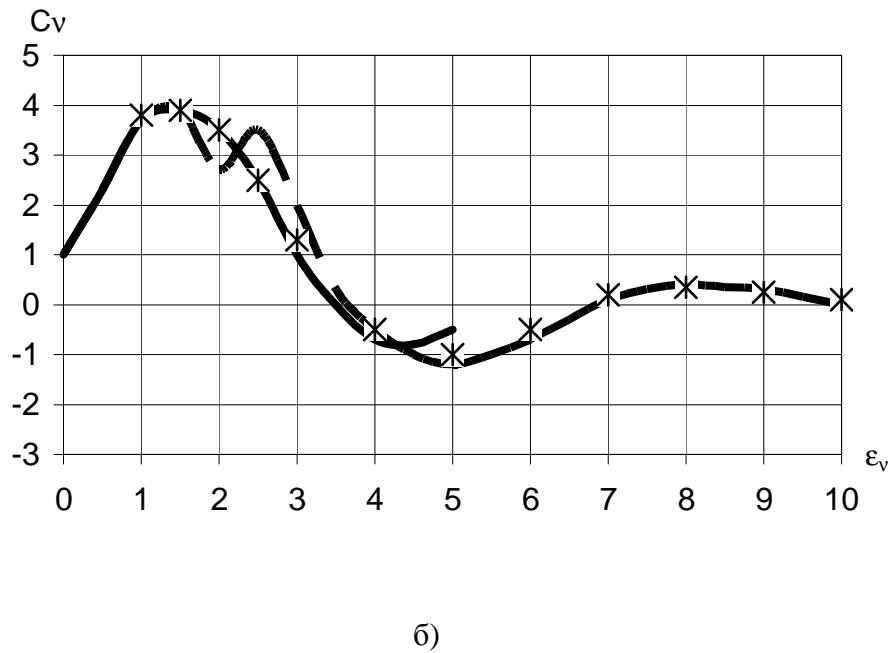
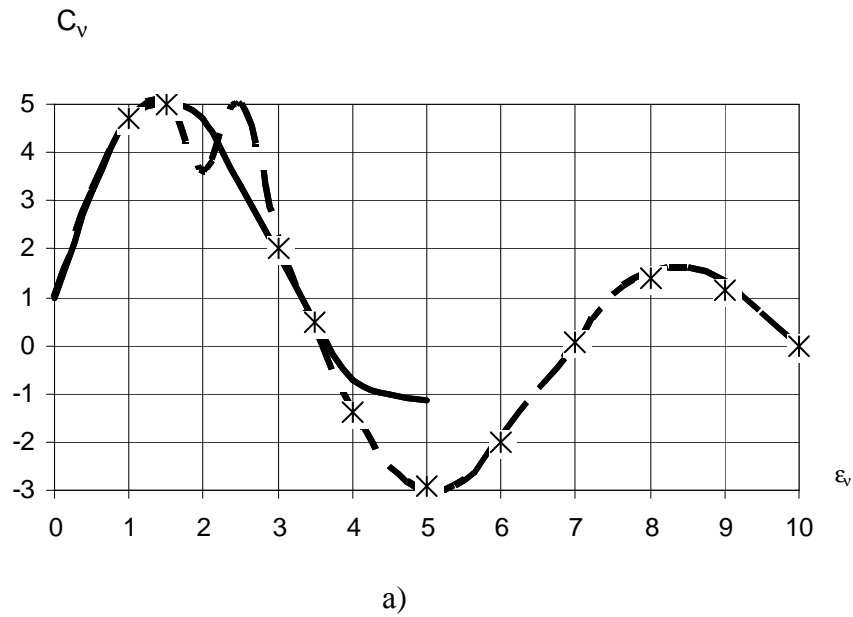
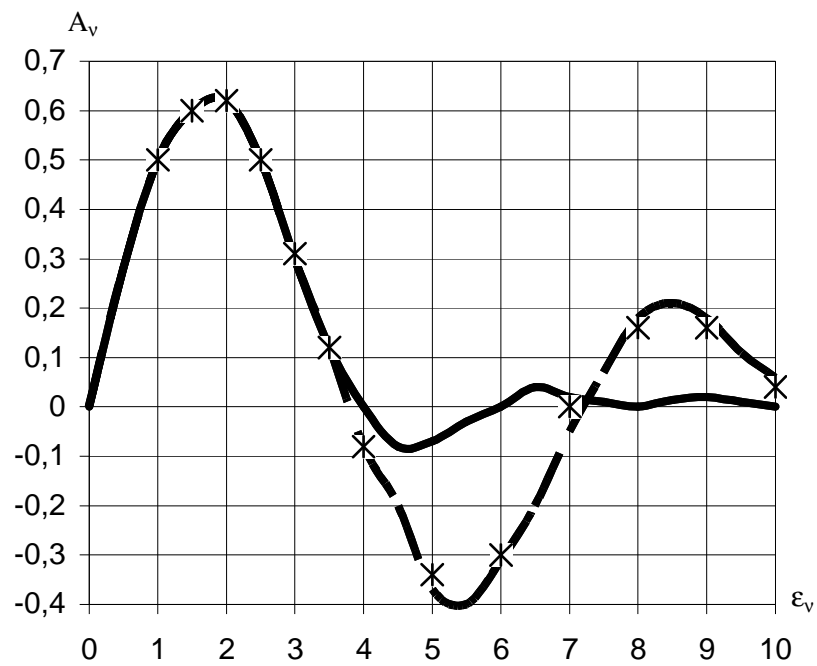
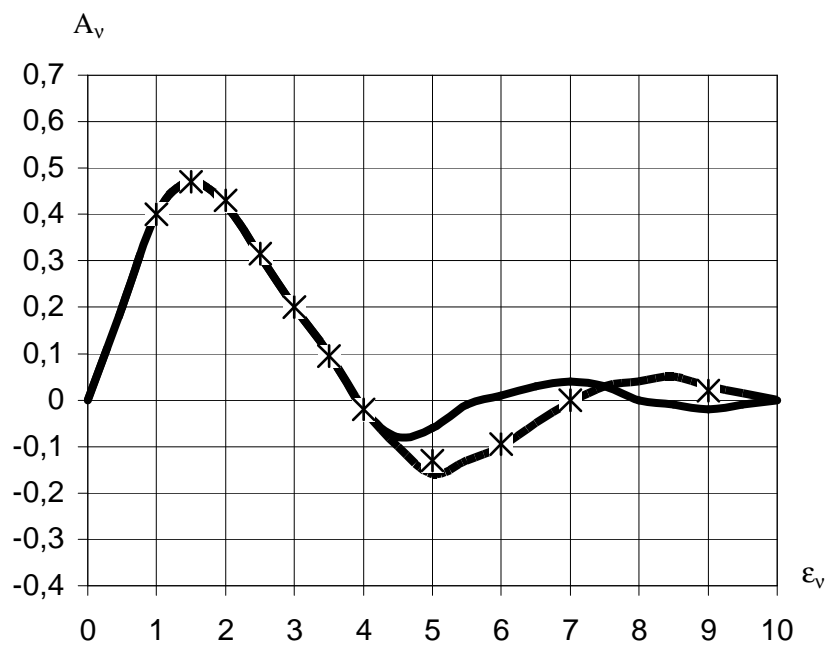


Рис.1. Зависимость коэффициента влияния пазов C_v от значения ϵ_v

$$a \text{ --- } b/\delta = 8; \quad \text{б} \text{ --- } b/\delta = 4.$$



a)



б)

Рис.2. Зависимость коэффициента A_v от значения ϵ_v

$$a \text{ --- } b/\delta = 8$$

$$б \text{ --- } b/\delta = 4$$

Список литературы

1. Сорокер Т.Г. Влияние пазов на гармонические составляющие магнитного поля в зазоре асинхронных двигателей при односторонней зубчатости. //Electrotechn. Obz. - 1972.-№10.- С.526-531.
2. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1960. – 928 с.
3. Геллер Б., Гамаета Б. Высшие гармоники в асинхронных машинах: Пер. с англ. /Под ред. З.Г. Каганова. – М.: Энергия, 1961, – 352 с.
4. Вольдек А.И. Магнитное поле в воздушном зазоре асинхронных машин. //Гр. Ленингр. пол-лит. ин-та. – 1963. -№3. - С.60-80.