

**АНАЛІТИЧНІ НАБЛИЖЕННЯ В РОЗРАХУНКАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ**

Згідно з [1,2] визначення складових потужності, гармонік і енергетичних коефіцієнтів здійснюється з використанням базових рівнянь енергопроцесу, які для групових систем електропривода мають вигляд, поданий у табл. 1.

У табл. 1 позначено:  $P_{(1)a\Sigma}$ ,  $Q_{(1)\Sigma}$  – активна та реактивна складові повної потужності системи групового електропривода;  $P_{дб} \cdot I_{дб}$  – базисні значення активної потужності та первинного струму (беруться для найбільшого навантаження);  $K_i$  – коефіцієнт і-го навантаження;  $C_{pi}$ ,  $C'_{pi}$  – ступінь регулювання та її похідна і-го перетворювального пристрою;  $m$ ,  $U$  – кількість фаз та діюче значення напруги мережі живлення;  $S_{\Sigma}$  – повна потужність системи живлення групового електропривода;  $A_{(k)i}$ ,  $B_{(k)i}$  – косинусний та синусний коефіцієнти розкладання Фур'є вхідних струмів і-х перетворювальних пристроїв, які визначають k-ті гармоніки  $I_{(k)\Sigma}$  групової системи.

Слід зазначити, що складність алгоритмів розрахунку і точність визначення енергетичних характеристик згідно з табл. 1 залежать від математичного подання (апроксимації) функцій струму (при синусоїдності напруги мережі) у силових ланках схем. Окрім цього, при визначенні  $I_{1\Sigma}$  точність залежить ще й від розрахункового ряду гармонік (більш низьких)  $p$ , тобто за умови  $k \in \{1...p\}$ . Відповідні дослідження з цього приводу вказують на те, що вирази для відносних значень коефіцієнтів Фур'є k-х гармонік і-х перетворювачів з симетричним керуванням:

– при апроксимації комутаційного процесу лінійною функцією матимуть вигляд [1,3]:

$$\bar{A}_{(k)i} = \frac{2}{k^2} \frac{k_i}{\gamma_i} \sin \frac{k\gamma_i}{2} \cos k\alpha_i;$$

$$\bar{B}_{(k)i} = \frac{2}{k^2} \frac{k_i}{\gamma_i} \sin \frac{k\gamma_i}{2} \sin k\alpha_i,$$

– при використанні найбільш спрощеної форми струму (прямокутно-ступеневій апроксимації) [1,4]

$$\bar{A}_{(k)i} = \frac{1}{k} K_i \cdot \cos k\alpha_i;$$

$$\bar{B}_{(k)i} = \frac{1}{k} K_i \cdot \sin k\alpha_i,$$

відсоткова похибка при обмеженому числі ( $l=5$ ) найбільш низьких гармонік  $p=l\pm 1$  для одно- та двомостових схем не перевищує 1% у порівнянні з варіантом, коли  $k \rightarrow p \rightarrow \infty$ . Використання точніших виразів для струмів з урахуванням кута комутації значно ускладнює розрахунковий процес і його програмне забезпечення, але для реальних умов експлуатації, наприклад, неперервного прокатного стана, коли кути керування перетворювачами знаходяться в межах 45–70°, а навантаження клітей складають 20–75% від номінальних, похибки розрахунків за спрощеними формулами не перевищують 0,5–1,0% для прямокутно-ступеневої апроксимації і 0,1% для трапецієподібної апроксимації (рис. 1,а). Багатоваріантними розрахунками встановлено, що для групових систем елек-

Таблиця 1

Параметр	Формула розрахунку
1. Активна $P_{(1)a\Sigma}$ потужність	$P_{(1)a\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{(1)ai} = P_{дб} \sum_{i=1}^n K_i \cdot C_{pi}$
2. Реактивна $Q_{(1)a\Sigma}$ потужність	$Q_{(1)\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_{(1)i} = P_{дб} \sum_{i=1}^n K_i \cdot C'_{pi}$
3. Повна потужність першої гармоніки	$S_{(1)\Sigma} = P_{дб} \left[ \left( \sum_{i=1}^n K_i \cdot C_{pi} \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^n K_i \cdot C'_{pi} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$
4. Діюче значення k-ї гармоніки первинного струму	$I_{(k)\Sigma} = \left[ \left( \sum_{i=1}^n A_{(k)i} \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^n B_{(k)i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$
5. Діюче значення первинного струму	$I_{1\Sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ \sum_{k=1}^p \left[ \left( \sum_{i=1}^n A_{(k)i} \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^n B_{(k)i} \right)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$
6. Повна потужність	$S_{\Sigma} = m \cdot U \cdot I_{1\Sigma}$
7. Потужність спотворення	$P_{c\Sigma} = (S_{\Sigma}^2 - S_{(1)\Sigma}^2)^{\frac{1}{2}}$
8. Коефіцієнт зсуву	$K_{z\Sigma} = P_{(1)a\Sigma} / S_{(1)\Sigma}$
9. Коефіцієнт спотворення	$K_{c\Sigma} = S_{(1)\Sigma} / S_{\Sigma} = I_{(1)\Sigma} / I_{1\Sigma}$
10. Коефіцієнт потужності	$K_{i\Sigma} = K_{c\Sigma} \cdot K_{z\Sigma} = P_{(1)a\Sigma} / S_{\Sigma}$ (1)

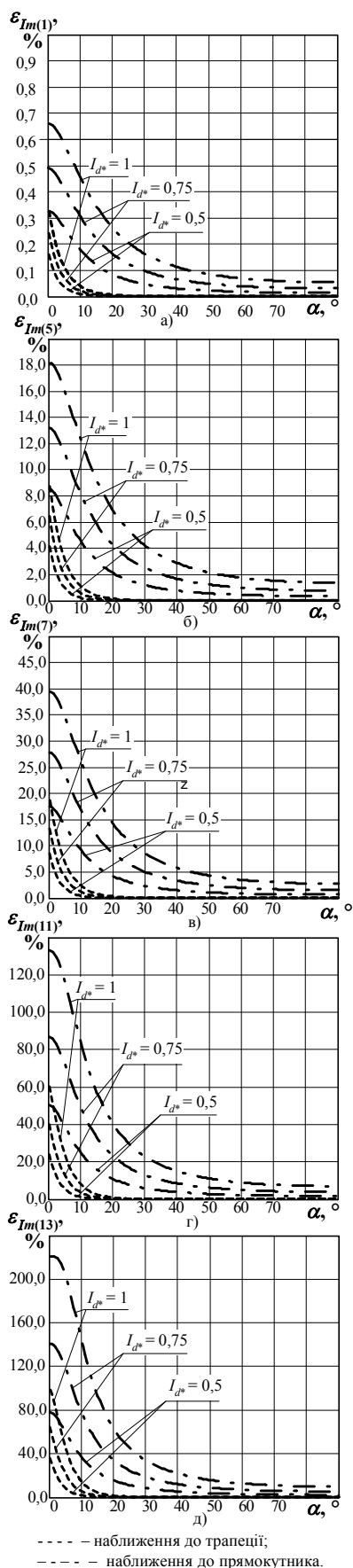


Рис. 1. Залежності похибок розрахунку вищих гармонік струму за різними методами

тропривода похибка розрахунків за спрощеними формулами визначається переважно розбіжністю кутів керування  $i$ -ми перетворювачами і для зазначених вище реальних умов не перевищує 1–1,5% для діючих значень первинного струму (рис.2). Для гармонік вищого порядку (19-ї, 23-ї і 25-ї) максимальні похибки знаходяться в межах розбіжностей кутів керування  $\Delta\alpha=25\text{--}20^\circ$  і характеризуються значною нестабільністю, але вплив їх на розрахунки діючих значень первинного струму незначний (рис.1,б – рис.1,д). На цій підставі в усіх випадках побудови систем автоматизованого розрахунку, контролю та прогнозування, алгоритми яких реалізують розрахункові операції згідно з табл. 1, доцільно використовувати спрощені формули коефіцієнтів Фур'є за табл. 1 (рядок №1).

Використання запропонованого підходу забезпечує створення різноманітних систем як для визначення лише окремих енергетичних показників (складових потужності, гармонік і енергетичних коефіцієнтів), так і для розрахунку показників електроспоживання в повному обсязі згідно з табл. 1.

#### Висновки.

1. Використання запропонованого нетрадиційного підходу щодо розрахунків, контролю та прогнозування енергетичних показників групових систем електропривода дозволяє в умовах реально діючих енергоємних установок визначити якісні і кількісні показники енергоспоживання на технологічних рівнях.

2. При використанні обмеженого числа вихідних параметрів (струму і напруги  $i$ -х перетворювачів) на основі апроксимованих функцій струму і реальних умовах експлуатації похибка визначення енергетичних показників на технологічних рівнях електроспоживання не перевищує 1–2% від теоретично визначених, а витрати на впровадження таких систем розрахунку, контролю та прогнозування енергетики групового електроприводу на порядок нижчі у порівнянні з існуючими на цей час системами.

#### Література.

1. Синолицький А.Ф. Энергетические зависимости групповых преобразовательных устройств // Технічна електродинаміка. – К.: Інститут електродинаміки, 1998. – С. 30–34.
2. Пивняк Г.Г., Синолицький А.Ф. Метод анализа и расчета систем группового питания и управления // Электричество. – 2005. – №6. – С. 2–8.
3. Глинтерник С.Р. Электромагнитные процессы и режимы мощных статических преобразователей. – Л.: Наука, 1968. – 308 с.
4. Маевский О.А. Энергетические показатели вентильных преобразователей. – М.: Энергия, 1978. – 320 с.

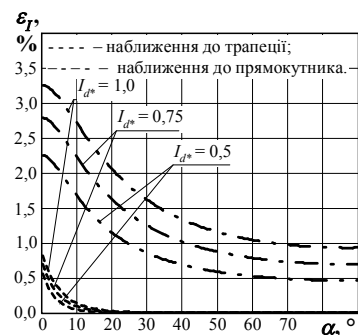


Рис. 2. Похибка визначення діючого струму