

выражения (5) необходимо использовать фильтры типа 1 или 2, а для выражения (6) использовать фильтры типа 3 или 4.

Данный метод измерения частоты наиболее удобно использовать в системах измерения на основе ЭВМ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.
2. Цифровая обработка сигналов в измерительной технике /А. А. Горлач, М. Я. Минц, В. Н. Чинков. – К.: Техніка 1985. – 151с., ил. – Библиогр.: с. 147-149.
3. Петросян Р.В. Программный метод реализации автоподстройки частоты. //Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 40-річчю польоту людини в космос “Сучасні технології в аерокосмічному комплексі”. – 2001. – С.198-199.
4. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 848 с.

УДК 621.313.333.001.4

**В. Кучерук (Україна, Вінниця)**

### **ДІАГНОСТИКА СТАНУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗА ДОПОМОГОЮ ЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ**

Трифазні асинхронні двигуни є найбільш масовою продукцією електромашинобудування. Асинхронні електроприводи складають 95% загальної кількості електроприводів. Тому ефективне визначення показників якості цих двигунів в процесі виробництва, своєчасна діагностика причин розлагодження технологічного процесу і засноване на цьому керування якістю виготовлення електродвигунів є актуальними задачами.

Розглянемо питання побудови алгоритму технічного діагностування асинхронних двигунів за допомогою логічних функцій. Для цього використано 14 найбільш поширених технічних станів  $Q_i$  ( $i=0,1,\dots,14$ ), зведених в таблицю 1. Стан  $Q_0$  відповідає справному стану двигуна.

Таблиця 1. Основні технічні стани асинхронних двигунів

Умовне позначення	Технічний стан
$Q_0$	Справний двигун
$Q_1$	Збільшений розмір повітряного зазору
$Q_2$	Занижена кількість витків обмотки статора
$Q_3$	Відступ у висоті вусика пазів ротора
$Q_4$	Відступ у випалі листів магнітопроводу
$Q_5$	Невідповідність марки сталі
$Q_6$	Завищене число витків обмотки статора
$Q_7$	Завищений опір обмотки статора
$Q_8$	Неякісна заливка ротора
$Q_9$	Підвищені втрати в сталі
$Q_{10}$	Підвищені механічні втрати в підшипниках
$Q_{11}$	Порушення в хімічному складі алюмінієвого сплаву
$Q_{12}$	Невідповідність в обмоточних даних
$Q_{13}$	Взаємне зміщення пакетів статора і ротора
$Q_{14}$	Зменшений розмір повітряного зазору

Для даних технічних станів складена таблиця 2 логічної відповідності їм 18-ти параметрів асинхронних двигунів, які розбиті на 4 групи [1]: 1) параметри холостого ходу (струм  $I_{хх}$ , ККД  $\eta$ , кутова швидкість  $\omega_r$ ,  $\cos\phi_{хх}$ ); 2) параметри короткого замикання (пусковий струм  $I_p$ , пусковий момент  $M_p$ ,  $\cos\phi_{кз}$ ); 3) параметри динамічного режиму (максимальний момент  $M_{max}$ , момент інерції  $J$ , момент опору  $M_0$ , параметри механічної характеристики  $M(\omega_r)$ , параметри дисбалансу); 4) параметри обмоток (активний опір ізоляції  $R_{із}$ , активний опір обмоток  $R_{обм}$ , індуктивність  $L_{обм}$ , ємність  $C_{обм}$ , добротність обмоток  $Q_{обм}$ ).

Аналіз таблиці 2 дозволяє для кожної із груп показників записати логічні рівняння діагностування:

### 1. Показники якості обмоток

Розрізнявані стани:

$$Q_1^1 \in \{Q_1\}; Q_2^1 \in \{Q_2, Q_6\}; Q_3^1 \in \{Q_4, Q_5\};$$

$$Q_4^1 \in \{Q_7\}; Q_5^1 \in \{Q_8\}.$$

Логічні рівняння діагностування:

$$Q_1^1 = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot \overline{a_5} \cdot a_6; Q_2^1 = a_1 \cdot \overline{a_2} \cdot \overline{a_3} \cdot \overline{a_4} \cdot \overline{a_5} \cdot \overline{a_6};$$

$$Q_3^1 = a_1 \cdot a_2 \cdot \overline{a_3} \cdot a_4 \cdot \overline{a_5} \cdot \overline{a_6}; Q_4^1 = a_1 \cdot \overline{a_2} \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot a_5 \cdot \overline{a_6};$$

$$Q_5^1 = \overline{a_1} \cdot \overline{a_2} \cdot \overline{a_3} \cdot \overline{a_4} \cdot a_5 \cdot a_6.$$

Мінімізована функція ознаки несправності:

$$F^1 = \bigvee_{i=1}^6 Q_i^1 = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot \overline{a_5} \cdot a_6 \vee a_1 \cdot a_2 \cdot \overline{a_3} \cdot a_4 \cdot \overline{a_5} \cdot \overline{a_6} \vee$$

$$\vee a_1 \cdot \overline{a_2} \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot a_5 \cdot \overline{a_6} \vee \overline{a_2} \cdot \overline{a_3} \cdot \overline{a_4} \cdot a_5 \cdot \overline{a_6}.$$

### 2. Показники якості динамічного режиму

Розрізнявані стани:

$$Q_1^2 \in \{Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6, Q_7, Q_9, Q_{12}\}; Q_2^2 \in \{Q_8\};$$

$$Q_3^2 \in \{Q_{10}\}; Q_4^2 \in \{Q_{11}\}; Q_5^2 \in \{Q_{13}\}.$$

Логічні рівняння діагностування:

$$Q_1^2 = \overline{b_1} \cdot \overline{b_2} \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5; Q_2^2 = b_1 \cdot b_2 \cdot \overline{b_3} \cdot b_4 \cdot \overline{b_5};$$

$$Q_3^2 = b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot \overline{b_4} \cdot b_5; Q_4^2 = \overline{b_1} \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5;$$

$$Q_5^2 = \overline{b_1} \cdot b_2 \cdot \overline{b_3} \cdot b_4 \cdot \overline{b_5}.$$

Мінімізована функція ознаки несправності:

$$F^2 = \bigvee_{i=1}^5 Q_i^2 = b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot \overline{b_4} \cdot b_5 \vee \overline{b_1} \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5 \vee b_2 \cdot \overline{b_3} \cdot b_4 \cdot \overline{b_5}.$$

Таблиця 2. Таблиця станів асинхронного двигуна

Стани	1. Показники якості обмоток						2. Показники якості динамічного режиму				
	$R_{із}$	$R_{обм}$	$L_{обм}$	$C_{обм}$	$L_{п}$	$Q_{обм}$	$M_{max}$	$M(\omega_r)$	$J$	$M_0$	Дисб.
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$
$Q_0$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$Q_1$	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1
$Q_2$	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
$Q_3$	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
$Q_4$	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1
$Q_5$	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1
$Q_6$	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
$Q_7$	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1

Q <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
Q <sub>9</sub>	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Q <sub>10</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Q <sub>11</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Q <sub>12</sub>	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Q <sub>13</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0
Q <sub>14</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Стани	3. Показники якості холостого ходу				4. Показники якості короткого замикання		
	I <sub>хх</sub>	cosφ <sub>хх</sub>	η	ω <sub>r</sub>	I <sub>п</sub>	M <sub>п</sub>	cosφ <sub>кз</sub>
	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>
Q <sub>0</sub>	1	1	1	1	1	1	1
Q <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	1	1
Q <sub>2</sub>	0	1	1	0	0	1	1
Q <sub>3</sub>	1	0	0	1	0	1	0
Q <sub>4</sub>	1	0	1	1	1	1	0
Q <sub>5</sub>	1	1	0	1	1	1	1
Q <sub>6</sub>	1	1	1	0	1	0	1
Q <sub>7</sub>	1	1	1	0	1	1	1
Q <sub>8</sub>	1	1	0	0	1	0	1
Q <sub>9</sub>	1	1	0	0	1	1	1
Q <sub>10</sub>	1	0	0	1	1	1	0
Q <sub>11</sub>	1	1	0	1	1	1	1
Q <sub>12</sub>	1	0	1	0	1	1	0
Q <sub>13</sub>	1	0	1	1	0	1	1
Q <sub>14</sub>	1	0	0	1	0	1	0

*Примітка:*  
Число "1" відповідає попаданню в зону допуску, а число "0" – непопаданню в зону допуску відповідного параметра асинхронного двигуна

3. Показники якості холостого ходу

Розрізнявані стани:

$$Q_1^3 \in \{Q_1\}; Q_2^3 \in \{Q_2\}; Q_3^3 \in \{Q_3, Q_{10}, Q_{14}\};$$

$$Q_4^3 \in \{Q_4, Q_{13}\}; Q_5^3 \in \{Q_5, Q_{11}\};$$

$$Q_6^3 \in \{Q_6, Q_7\}; Q_7^3 \in \{Q_8, Q_9\}; Q_8^3 \in \{Q_{12}\}.$$

Логічні рівняння діагностування:

$$Q_1^3 = \overline{c_1} \cdot \overline{c_2} \cdot c_3 \cdot c_4; Q_2^3 = \overline{c_1} \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot \overline{c_4}; Q_3^3 = c_1 \cdot \overline{c_2} \cdot \overline{c_3} \cdot \overline{c_4};$$

$$Q_4^3 = c_1 \cdot \overline{c_2} \cdot c_3 \cdot c_4; Q_5^3 = c_1 \cdot c_2 \cdot \overline{c_3} \cdot \overline{c_4}; Q_6^3 = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot \overline{c_4};$$

$$Q_7^3 = c_1 \cdot c_2 \cdot \overline{c_3} \cdot \overline{c_4}; Q_8^3 = c_1 \cdot \overline{c_2} \cdot c_3 \cdot \overline{c_4}.$$

Мінімізована функція ознаки несправності:

$$F^3 = \bigvee_{i=1}^8 Q_i^3 = c_1 \cdot \overline{c_2} \cdot c_3 \vee c_1 \cdot c_2 \cdot \overline{c_3} \vee \overline{c_2} \cdot c_3 \cdot c_4 \vee c_2 \cdot c_3 \cdot \overline{c_4} \vee c_1 \cdot \overline{c_3} \cdot \overline{c_4}.$$

4. Показники якості короткого замикання

Розрізнявані стани:

$$Q_1^4 \in \{Q_1, Q_2, Q_{13}\}; Q_2^4 \in \{Q_3, Q_{14}\};$$

$$Q_3^4 \in \{Q_4, Q_{10}, Q_{12}\}; Q_4^4 \in \{Q_6, Q_8\}.$$

Логічні рівняння діагностування:

$$Q_1^4 = \overline{d_1} \cdot d_2 \cdot d_3; Q_2^4 = \overline{d_1} \cdot d_2 \cdot \overline{d_3}; Q_3^4 = d_1 \cdot d_2 \cdot \overline{d_3}; Q_4^4 = d_1 \cdot \overline{d_2} \cdot d_3.$$

Мінімізована функція ознаки несправності:

$$F^4 = \sqrt[4]{Q_1^4} = d_2 \cdot \overline{d_3} \vee \overline{d_1} \cdot d_2 \vee d_1 \cdot \overline{d_2} \cdot d_3.$$

Знак інверсії означає непопадання в зону допуску (параметр в зоні допуску - логічна одиниця, параметр поза зоною допуску - логічний нуль).

На рисунках 1-4 наведені розроблені алгоритми діагностування асинхронного двигуна. За результатами діагностування в кожному з режимів робиться припущення про ймовірний стан асинхронного двигуна.

При аналізі причин браку можливий нечіткий діагноз, оскільки одна і та ж сама причина може привести до відхилень одночасно кількох параметрів асинхронного двигуна. Тому діагностування можна проводити у такій послідовності дій:

Формування табличних множин для кожної причини браку  $Q_k$ :

$$\begin{aligned} A_{Tk} &= \{a_{i \text{ табл.}k}; i = \overline{1, 6, 1}\}; B_{Tk} = \{b_{i \text{ табл.}k}; i = \overline{1, 5, 1}\}; \\ C_{Tk} &= \{c_{i \text{ табл.}k}; i = \overline{1, 4, 1}\}; D_{Tk} = \{d_{i \text{ табл.}k}; i = \overline{1, 3, 1}\}; \\ Z_{Tk} &= A_{Tk} \cup B_{Tk} \cup C_{Tk} \cup D_{Tk} \text{ для } k = \overline{1, 14, 1}. \end{aligned}$$

Визначення параметрів асинхронного двигуна і формування експериментальних множин:

$$\begin{aligned} A_k &= \{a_{i \text{ експ.}k}; i = \overline{1, 6, 1}\}; B_k = \{b_{i \text{ експ.}k}; i = \overline{1, 5, 1}\}; \\ C_k &= \{c_{i \text{ експ.}k}; i = \overline{1, 4, 1}\}; D_k = \{d_{i \text{ експ.}k}; i = \overline{1, 3, 1}\}; \\ Z_k &= A_k \cup B_k \cup C_k \cup D_k \text{ для } k = \overline{1, 14, 1}. \end{aligned}$$

Знаходження найбільш ймовірної причини браку:

$$Z_k \cap Z_{Tk} \rightarrow \min \{ \dots \}, \quad k = \overline{1, 14, 1}.$$

При  $Z_k \cap Z_{Tk} = \emptyset$  формується чіткий діагноз.

### Висновки

Розроблено логічні моделі та алгоритми діагностування в чотирьох режимах випробувань асинхронного двигуна: випробування обмоток; динамічний режим; режим холостого ходу; режим короткого замикання.

Запропоновано процедуру діагностування, яка враховує нечіткість заповнення таблиці станів асинхронного двигуна.

Розроблені методи технічного діагностування стану асинхронного двигуна можуть бути використані при прогнозуванні тенденцій розлагодження технологічного процесу (попередження браку, формування суджень і рекомендацій для проведення організаційно-технічних заходів підтримки технологічної дисципліни на потрібному рівні), яке відноситься до найбільш важливих елементів керування якістю виробництва асинхронних двигунів.

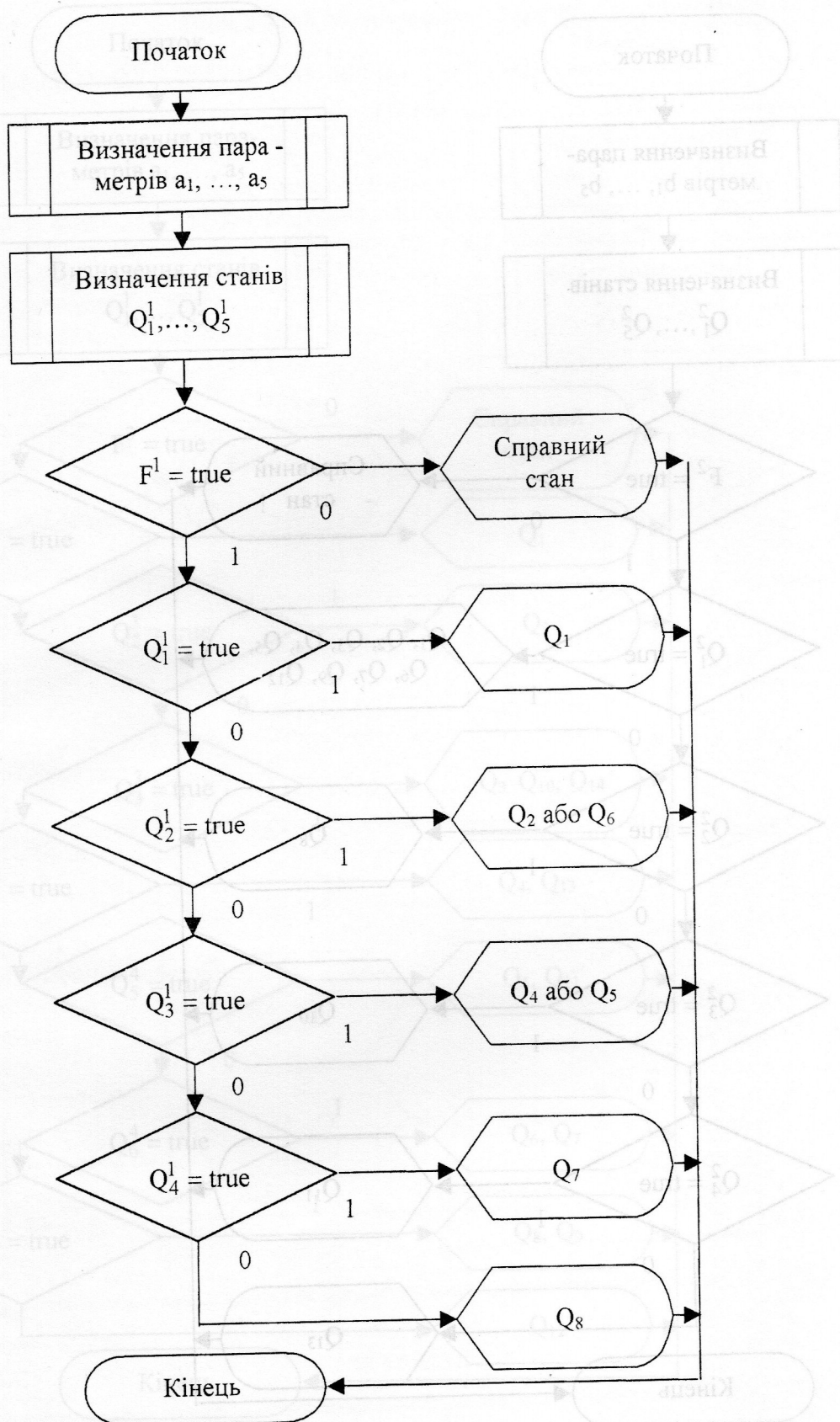


Рисунок 1. Діагностування стану асинхронного двигуна при визначенні параметрів обмоток

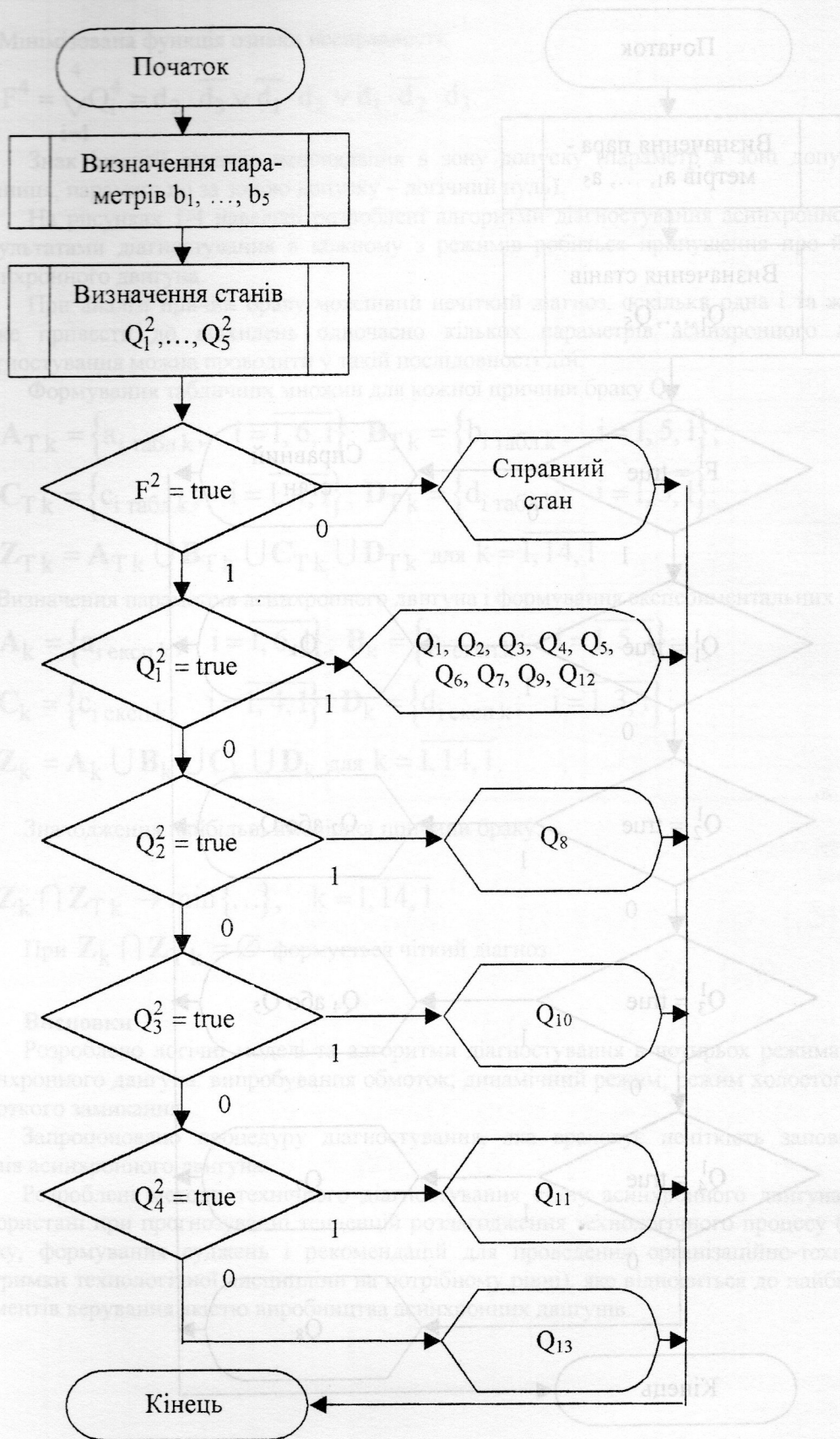


Рисунок 2. Діагностування стану асинхронного двигуна при визначенні параметрів динамічного режиму

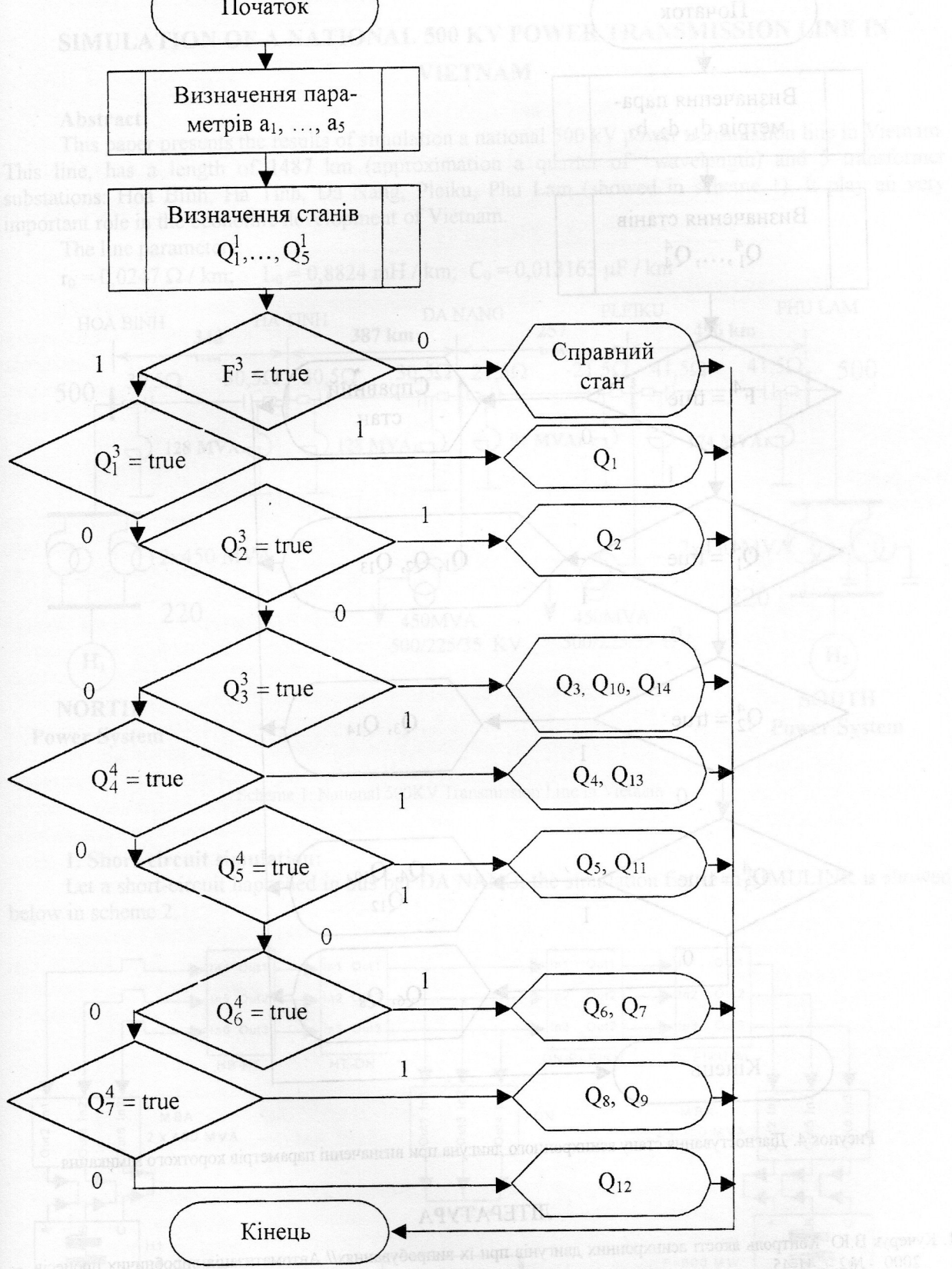


Рисунок 3. Діагностування стану асинхронного двигуна при визначенні параметрів холостого ходу

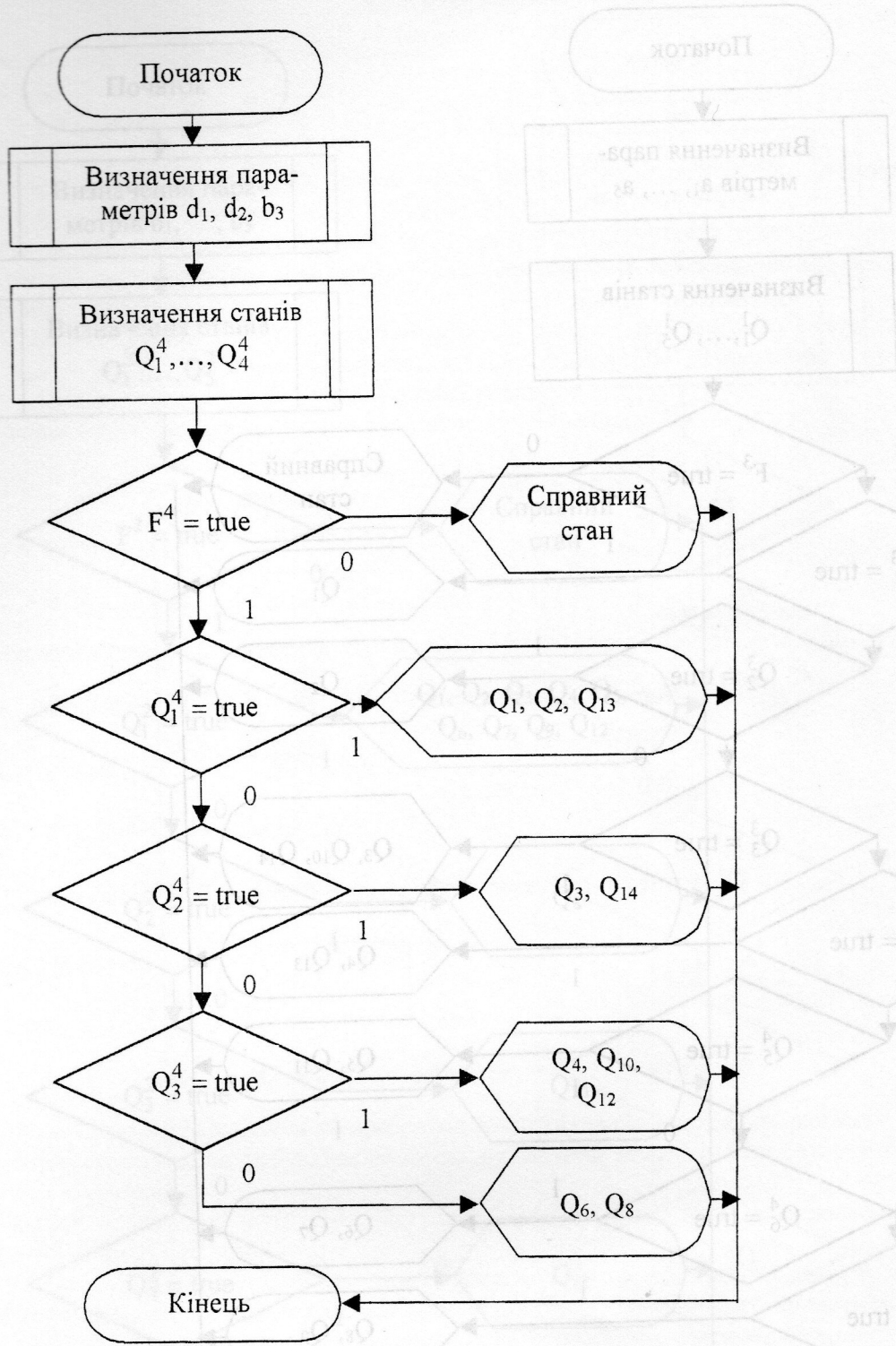


Рисунок 4. Діагностування стану асинхронного двигуна при визначенні параметрів короткого замикання

ЛІТЕРАТУРА

1. Кучерук В.Ю. Контроль якості асинхронних двигунів при їх випробуваннях// Автоматизація виробничих процесів. - 2000. - №2.-с.41-45.



1. Кучерук В.Ю. Контроль якості асинхронних двигунів при їх випробуваннях // Автоматизація виробничих процесів. - 2000. - №2. - с. 41-45.