

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Магістерська кваліфікаційна робота

Методи та засоби діагностування електричних двигунів

Виконав: студент групи ЕПА-17м Хайнацький Д.С.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є підвищення надійності роботи асинхронного двигуна шляхом розробки структури системи для діагностування його технічного стану в процесі функціонування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі *задачі*:

- 1) здійснити аналіз існуючих методів та засобів для діагностування асинхронних двигунів;
- 2) обрати найбільш ефективний метод діагностування асинхронних двигунів та визначити найбільш інформативні параметри, що формуватимуть діагностичні ознаки зміну його технічного стану;
- 3) розробити математичну модель для діагностування асинхронного двигуна;
- 4) синтезувати структуру пристрою для діагностування асинхронного двигуна;
- 5) здійснити мікропроцесорну реалізацію пристрою для діагностування електродвигуна.

Розв'язанню поставлених задач присвячена дана робота.

Об'єкт, предмет та методи дослідження

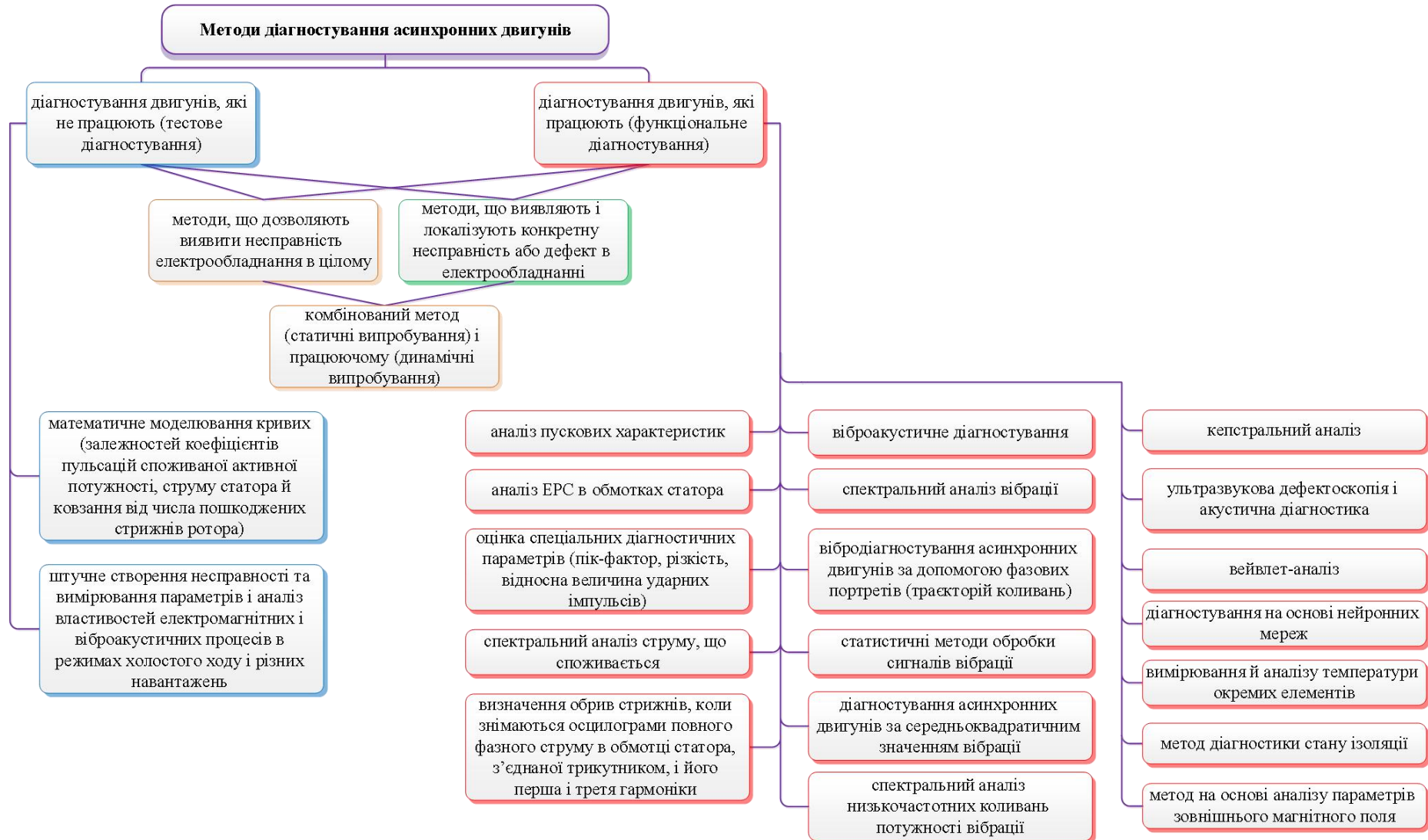
Об'єктом дослідження в роботі є процеси зміни технічного стану в асинхронному двигуні.

Предметом дослідження є математичні моделі та структура пристрою для підвищення надійності функціонування асинхронного двигуна.

Методи дослідження:

- секвенційний апарат;
- математичне моделювання

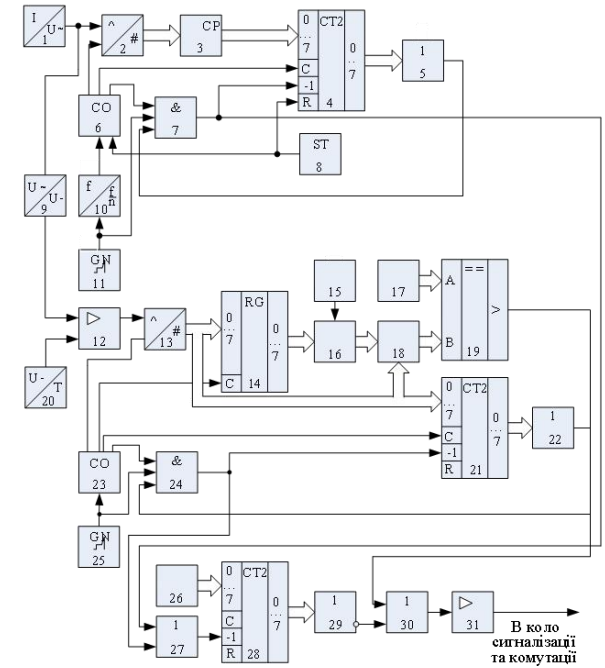
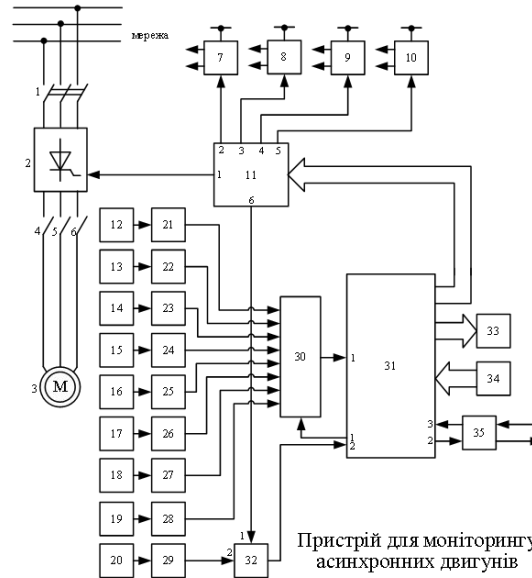
Класифікація методів діагностування асинхронних двигунів



Засоби діагностування асинхронних двигунів



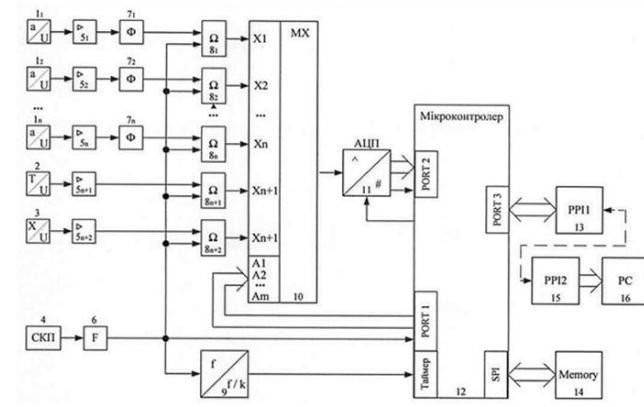
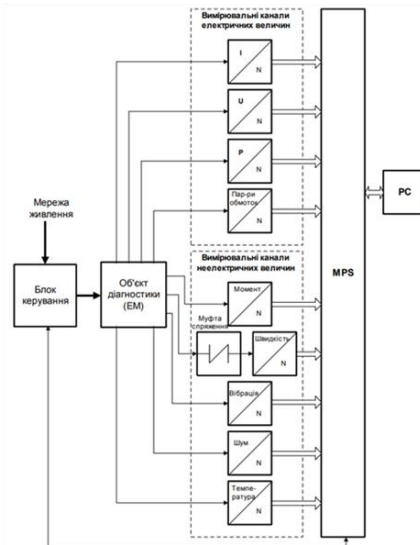
Вимірвальні комплекси для діагностування електричних машин за спектром струму



Пристрій «система автоматизованої інтелектуальної діагностики»



Узагальнений алгоритм технічного діагностування електромоторів



МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Вираз для використаної за час t_1 частини загального ресурсу:

$$V_{z1} = \frac{\Delta \vartheta}{\ln 2} \cdot \frac{t_1}{\vartheta_1 - \vartheta_n} \cdot \left(\frac{1}{D_{z1}} - \frac{1}{D_n} \right) \cdot 100\%,$$

де $\Delta \vartheta$ – розмір зміни температури обмотки;

t_1 – тривалість зміни температури;

ϑ_n – номінальна температура для даного класу ізоляції;

D_n – термін служби ізоляції при номінальній незмінній температурі;

D_1 – термін служби, що залишився, ізоляції.

Залишковий ресурс двигуна за станом ізоляції:

$$D_{z1} = \frac{D_n \cdot \Delta \vartheta_s \cdot t_1}{100 \cdot \Delta \vartheta_s \cdot t_1 + \ln 2 \cdot V_{z1} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_n)} \cdot 100\%.$$

Перевищення температури в момент часу t_1 при нагріванні тіла:

$$\Delta \vartheta = \Delta \vartheta_\infty \left(1 - e^{-\frac{t_1}{T_0}} \right) + \Delta \vartheta_0 e^{-\frac{t_1}{T_0}},$$

де – встановлене перевищення температури;

T_0 – стала часу;

$\Delta \vartheta_0$ – початкове перевищення температури.

Зміна ресурсу ізоляції:

$$\Delta R = k^{-1} \int_0^{t_1} e^{-B \left(273 + \vartheta_0 + \frac{t \Delta p_1}{C_1} \right) + G} dt,$$

де k – коефіцієнт пропорційності;

B – відношення енергії активації молекули до універсальної газової сталої;

ϑ_0 – температура охолоджувального середовища;

p_1 – потужність втрат в обмотці;

C_1 – теплоємність обмотки.

Сумарне зношення ресурсу:

$$\Delta R = \frac{T_0 e^{b \vartheta_n}}{b \Delta \vartheta_n (k_i - 1) t_1} \left[4 e^{\frac{b \Delta \vartheta_n (k_i - 1) t_1}{2 T_0}} + e^{\frac{b \Delta \vartheta_n (k_i - 1) t_1}{T_0}} \left(1 + \frac{t_1}{T_0} \right) - 5 - \frac{t_1}{T_0} \right],$$

де b – коефіцієнт;

k_i – кратність струму в обмотці по відношенню до номінального

Процес нагрівання можна описати рівнянням:

$$\Delta \vartheta = \Delta \vartheta_0 \frac{a + \left(\frac{I}{I_n} \right)^2}{1 + a - \alpha \Delta \vartheta_0 \left[\left(\frac{I}{I_n} \right)^2 - 1 \right]} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_0}} \right) + \Delta \vartheta_0 e^{-\frac{t}{T_0}},$$

де α – коефіцієнт номінальних втрат в електродвигуні

Нормальна і тангенціальна складові тензора натягу в точці на коронці зубця статора:

$$T_{nM}(t) = \frac{1}{2\mu} \left[B_{nM}^2(t) - B_{zM}^2(t) \right] \quad T_{zM}(t) = \frac{B_{nM}(t) \cdot B_{zM}(t)}{\mu}$$

Модель діагностичного сигналу асинхронного двигуна за станом вібрацій:

$$\begin{cases} I(t) = (1 + r(I_p(t, I_z) + s I_z(t))) \cos(\omega_z t), \\ I_p(t, I_z) = \cos(\omega_p t + \phi + h I_z(t)) + k(Y - 1) \cos(2\omega_p t) + \\ \quad + (Y - 2) \cos(3\omega_p t) s(1 + r I_z(t)), \\ I_z(t) = \gamma + s \sum_1^W \cos(W \omega_z t) \end{cases}$$

де I_p – коливання ротора;

r – коефіцієнт, який відображає чутливість двигуна до механічних коливань;

s – коефіцієнт, який відображає чутливість ротора збурювальних факторів;

k – співвідношення амплітуд гармонік ротора;

W, Y – число гармонік вимушеного впливу і ротора відповідно;

ϕ – різниця між гармоніками ротора;

γ – шум, що виникає при роботі механізму і пов'язаний з наявністю дефекту;

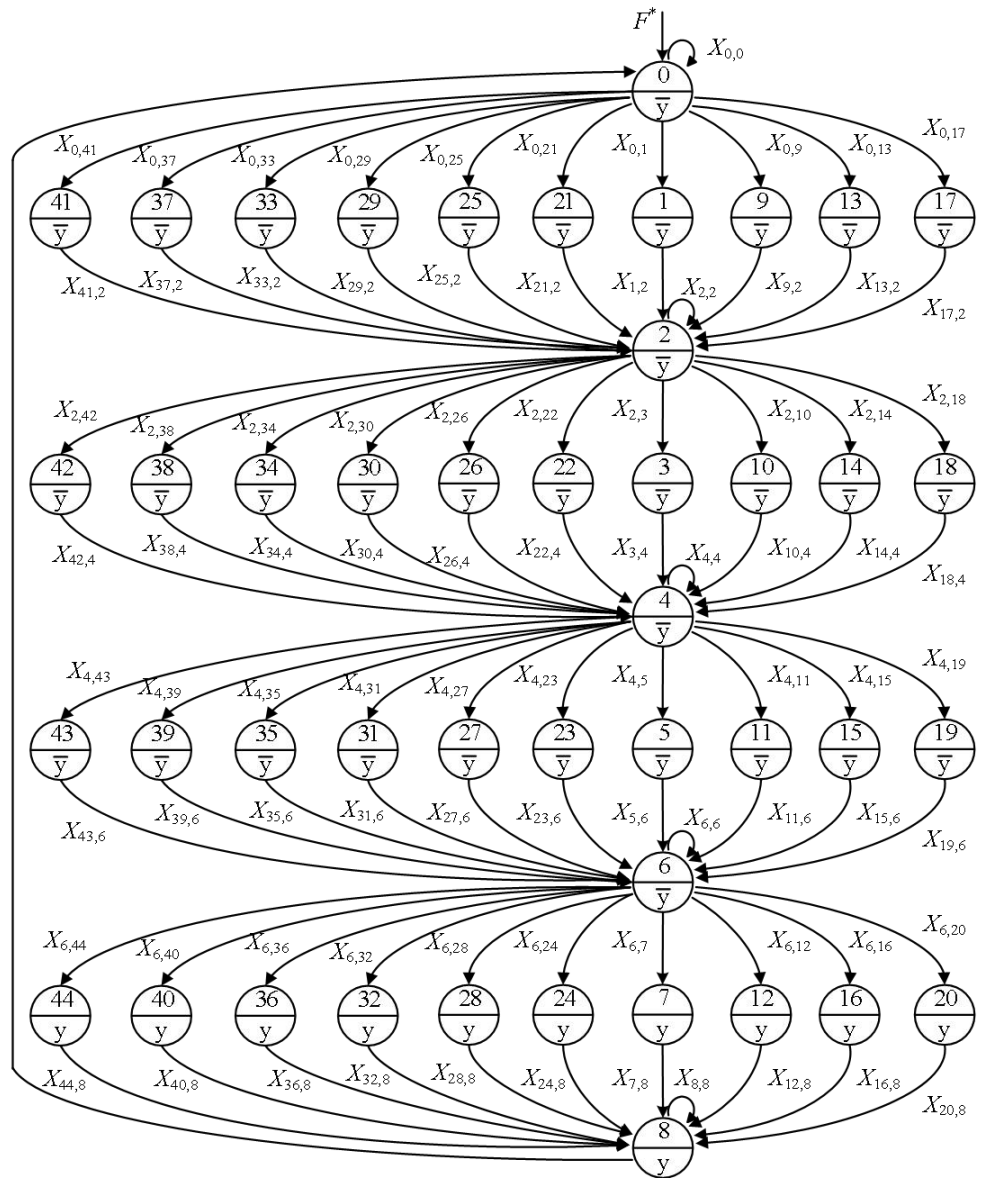
$I(t)$ – збурювальний фактор;

ω_z – основна частота збудження (зубцева або підшипникова).

Граф функціонування блока обчислення залишкового ресурсу системи діагностування електродвигуна

Процес синтезу з застосуванням апарату секвенцій для:

- 1) двох значень струму I_1 та I_2 ($I_1 < I_2$);
- 2) двох значень температури обмотки t_1^0 та t_2^0 ($t_1^0 > t_2^0$);
- 3) двох значень добутку цих струмів та температур обмоток $I_1 t_1^0$ та $I_2 t_2^0$ ($I_1 t_1^0 < I_2 t_2^0$);
- 4) дох значень вібрацій L_1 та L_2 ($L_1 < L_2$);
- 5) двох значень температур підшипників t_3^0 та t_4^0 ($t_3^0 > t_4^0$)



Результат мінімізації та оптимізації секвенційних виразів

$$I_1 \tau_2 \bar{T}_1 \vdash T_1;$$

$$\tau_1 T_1 \vdash \bar{T}_1;$$

$$I_2 \tau_4 \bar{T}_2 \vdash T_2;$$

$$\tau_3 T_2 \vdash \bar{T}_2;$$

$$t_1^0 \tau_6 \bar{T}_3 \vdash T_3;$$

$$\tau_5 T_3 \vdash \bar{T}_3;$$

$$t_2^0 \tau_8 \bar{T}_4 \vdash T_4;$$

$$\tau_7 T_4 \vdash \bar{T}_4;$$

$$I_1 t_1^0 \tau_{10} \bar{T}_5 \vdash T_5;$$

$$\tau_9 T_5 \vdash \bar{T}_5;$$

$$I_2 t_2^0 \tau_{12} \bar{T}_6 \vdash T_6;$$

$$\tau_{11} T_6 \vdash \bar{T}_6;$$

$$L_1 \tau_{14} \bar{T}_7 \vdash T_7;$$

$$\tau_{13} T_7 \vdash \bar{T}_7;$$

$$L_2 \tau_{16} \bar{T}_8 \vdash T_8;$$

$$\tau_{15} T_8 \vdash \bar{T}_8;$$

$$t_3^0 \tau_{18} \bar{T}_9 \vdash T_9;$$

$$\tau_{17} T_9 \vdash \bar{T}_9;$$

$$t_4^0 \tau_{20} \bar{T}_{10} \vdash T_{10};$$

$$\tau_{19} T_{10} \vdash \bar{T}_{10};$$

$$T_1 \vee T_2 \vee T_3 \vee T_4 \vee T_5 \vee T_6 \vee T_7 \vee T_8 \vee T_9 \vee T_{10} \vdash T_{11};$$

$$\tau_{20} (T_1 \vee T_2 \vee T_3 \vee T_4 \vee T_5 \vee T_6 \vee T_7 \vee T_8 \vee T_9 \vee T_{10}) T_{11} \vdash T_{12};$$

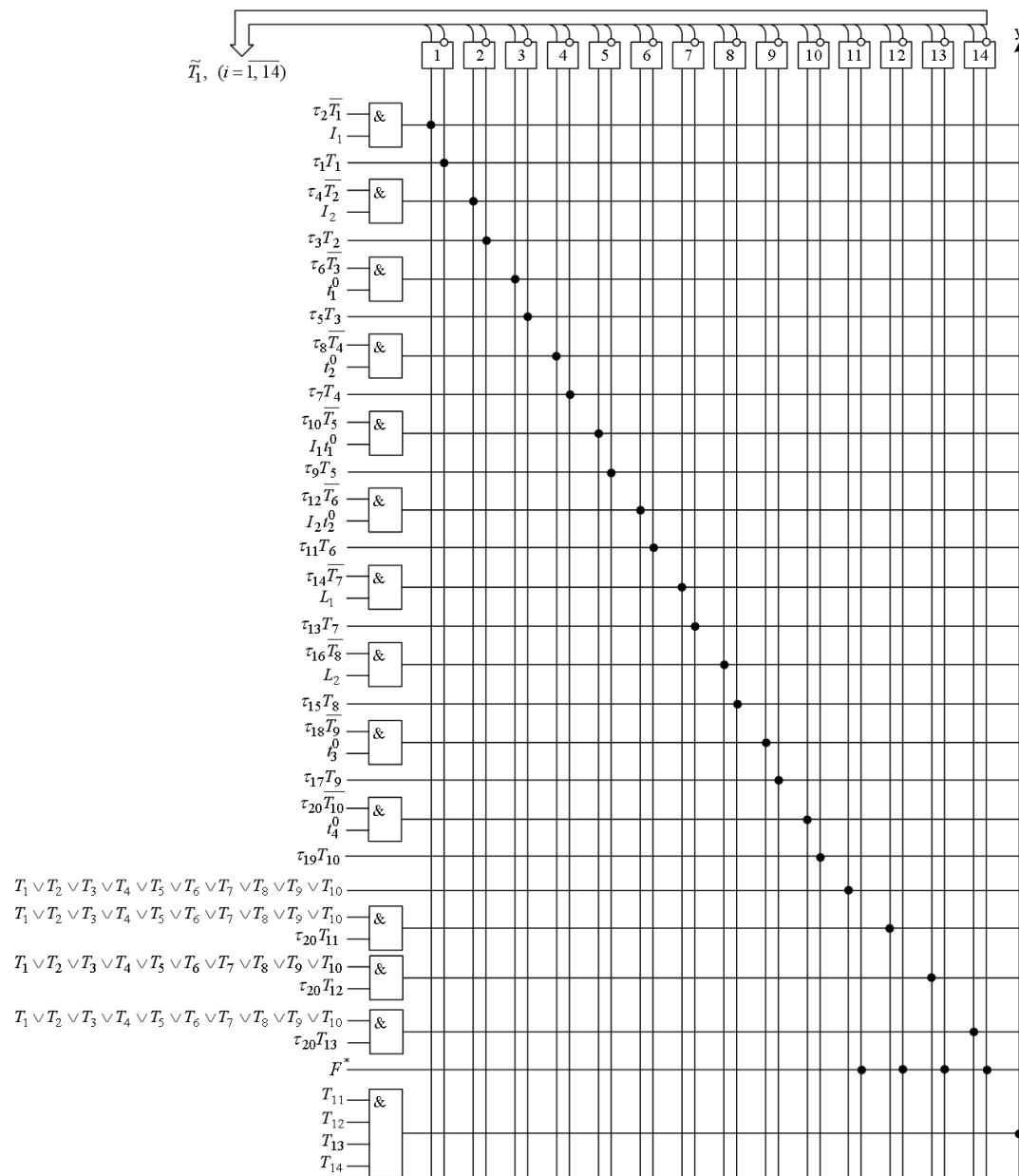
$$\tau_{20} (T_1 \vee T_2 \vee T_3 \vee T_4 \vee T_5 \vee T_6 \vee T_7 \vee T_8 \vee T_9 \vee T_{10}) T_{12} \vdash T_{13};$$

$$\tau_{20} (T_1 \vee T_2 \vee T_3 \vee T_4 \vee T_5 \vee T_6 \vee T_7 \vee T_8 \vee T_9 \vee T_{10}) T_{13} \vdash T_{14};$$

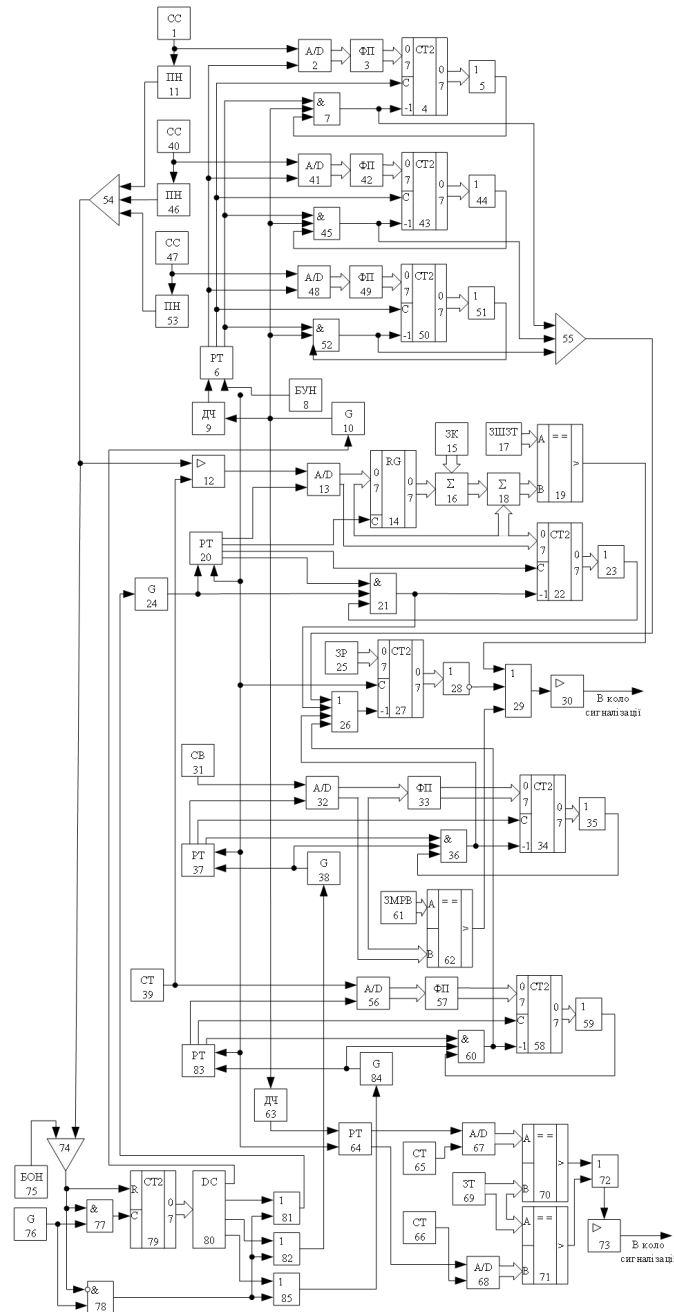
$$F^* \vdash \overline{T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}};$$

$$T_{11} T_{12} T_{13} T_{14} \vdash y.$$

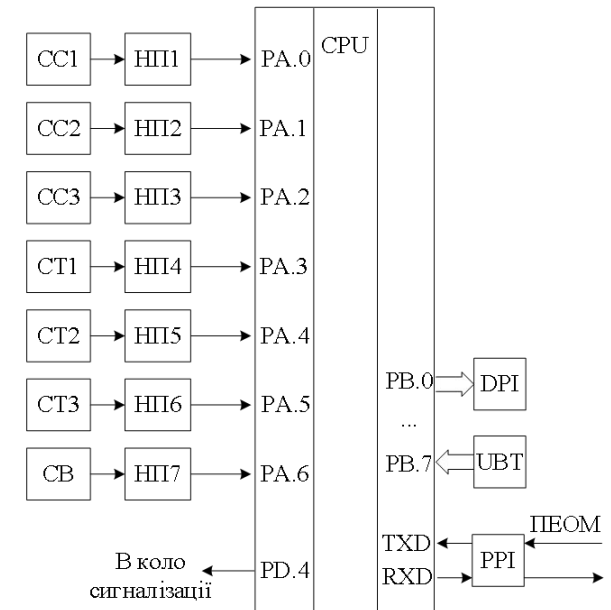
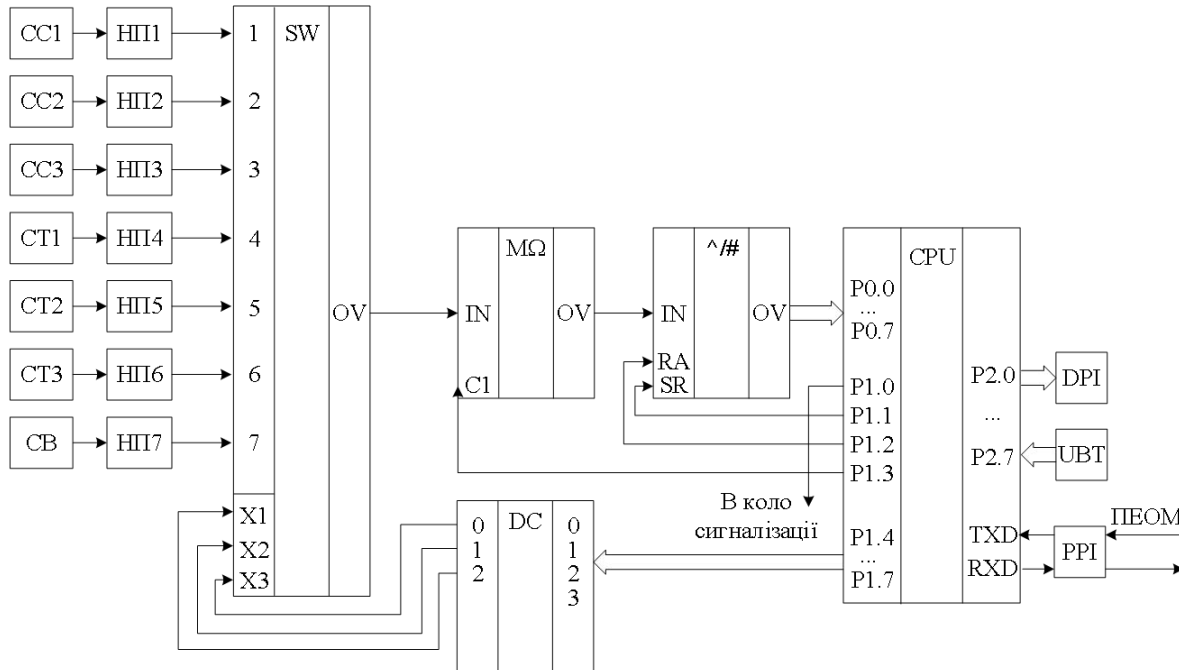
Функціональна схема блока обчислення залишкового ресурсу системи діагностування електричного двигуна



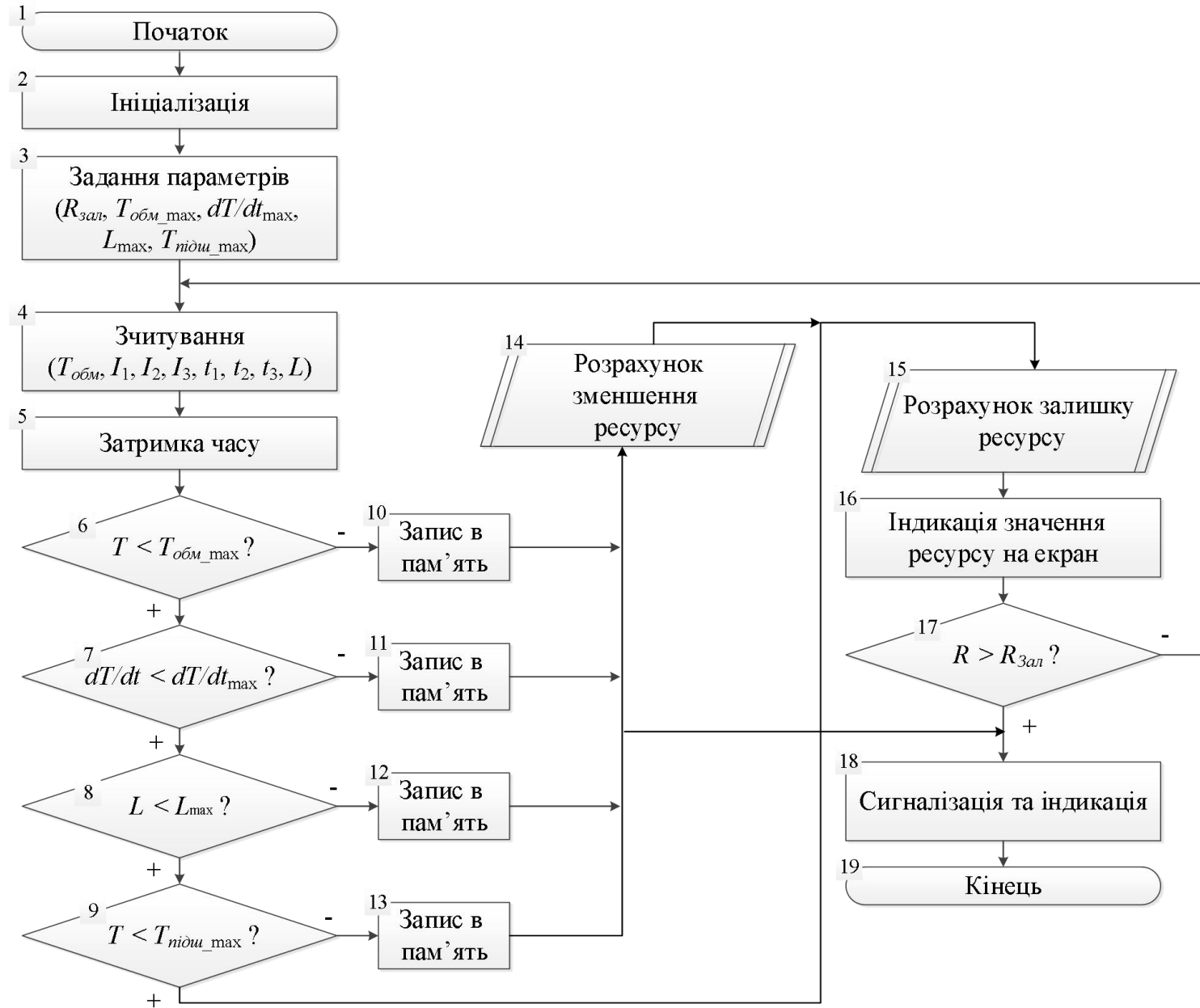
Структурна схема пристрою для діагностування електродвигуна



Мікропроцесорна реалізація системи діагностування електродвигуна



Алгоритм роботи пристрою діагностування електродвигуна



Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів.

Апробація результатів.

Наукова новизна одержаних результатів.

У роботі отримано такий новий науковий результат:

– вперше синтезовано структуру пристрою для діагностування асинхронного двигуна, яка, на відміну від існуючих, дозволяє контролювати струми у кожній фазі двигуна, температуру найбільш нагрітої точки обмотки, швидкість зміни цієї температури, температуру підшипникових вузлів та рівень вібрації.

Практичне значення одержаних результатів.

Використання одержаних результатів дозволить підвищити надійність роботи асинхронних двигунів, зменшити кількість простою технологічного обладнання через аварійні ситуації, обумовлені виходом з ладу асинхронних двигунів.

Апробація результатів.

Основні положення та результати, виконаних у магістерській кваліфікаційній роботі досліджень, доповідались та обговорювались на конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2019)».

Основний зміст роботи опубліковано в 1 тезі.

Подано заявку на отримання патенту України на корисну модель.

Дякую за увагу!

Доповідь завершено.