

Пристрій відноситься до електротехніки, а саме до пристроїв захисту асинхронних двигунів в аварійних режимах та режимах які мають привести до виходу з ладу і може бути використаний в електричних приводах змінного струму для підвищення ресурсу працездатності за умови попередження розвитку аварійної ситуації.

Відомий пристрій захисту асинхронного двигуна [АС СССР N1220045 Устройство для температурной защиты асинхронного электродвигателя] який включає вмонтовані у кожну обмотку і з'єднані послідовно позистори, вихідна напруга яких, що пропорційна температурі нагрівання обмоток, подається на регулюючий орган, що з'єднаний з ланкою включення магнітного пускача.

Недоліком пристрою є те, що сигнал пропорційний температурі нагрівання обмоток відображає сумарний еквівалент температури нагріву двигуна, тоді як із-за несиметрії фазної напруги, або параметрів двигуна одна з фаз може бути перегрітою, а сумарний сигнал знаходиться в межах норми. Це призведе до виходу з ладу перегрітої фази і двигуна в цілому.

Найбільш близьким до пристрою, що пропонується є пристрій захисту асинхронного двигуна [АС СССР N1226564 Устройство для защиты от перегрузки асинхронного двигателя], який включає два трансформатора струму в різних фазах та один трансформатор напруги включений на дві фази, виходи трансформаторів підключені до реагуючих блоків і при перевищенні струмів фаз над допустимими статорна обмотка відключається від мережі, трансформатор напруги реагує на обрив однієї з фаз і через реагуючі блоки формує сигнал на відключення статорних обмоток двигуна від мережі.

Недоліком указанного пристрою є те, що:

- до перегріву обмоток може призвести не тільки обрив фази, а й несиметрія фазної напруги, що не враховується;

- при несиметрії параметрів двигуна, наприклад активних опорів фаз, у фазі, що не містить датчика струму - трансформатора струму може перевищувати допустимий за рівнем втрат, обмотка перегріється і двигун вийде з ладу.

Цей пристрій приймається в якості прототипу.

Мета винаходу - розширення функціональних можливостей та ефективності захисту асинхронного двигуна в усталеному режимі роботи.

Поставлена мета досягається тим, що у відомий пристрій, який складається з двох трансформаторів струму, одного трансформатора напруги, відключаючий апарат, що відключає статорну обмотку додатково введені трансформатор струму і два трансформатори напруги, причому виходи трансформаторів струму та трансформаторів напруги підключаються до входів блоку прийняття рішення, перший вихід якого підключений до індикатора, другий вихід - вхід відключаючого, статор асинхронного двигуна від мережі, апарата.

Робота пристрою ілюстрована такими фігурами.

Фігура 1. Функціональна схема пристрою.

Фігура 2. Функціональна схема блоку прийняття рішення 5 і індикатора 6.

Фігура 3. Алгоритм роботи пристрою.

Пристрій складається з керованого відключаючого апарата 1, асинхронного двигуна 2, блока датчиків струму 3 та напруги 4, блока прийняття рішення 5 та індикатора 6.

Блок прийняття рішення 5 включає комутатор 7 входи якого підключені до виходів датчиків струму блока 3 та датчиків напруги блока 4, вихід комутатора через АЦП підключений до програмованого мікроконтролера 10, виходи якого через підсилювачі 11-29 відповідно підключені до 1-19 входів індикатора 6, причому виходи 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 21, 23, 25 підсилювачів підключені до входів блока 31, що виконує логічну функцію АБО, вихід якого з'єднаний з керуючим входом апарата 1.

Пристрій працює наступним чином.

При підключеному до мережі через апарат 1 асинхронному двигуні 2 в блоку датчиків струму 3 та датчиків напруги 4 вимірюються миттєві значення фазних струмів і напруг, які подаються до блоку прийняття рішення 5 в якому виконується оцінка режиму роботи асинхронного двигуна та висвітлюється на індикаторі 6. При виникненні аварійної ситуації, що може привести до виходу асинхронного двигуна з ладу в наступному відповідна інформація висвітлюється на індикаторі 6; при виникненні аварійної ситуації формується сигнал на вимикання апарата 1 і відключення асинхронного двигуна від мережі, відповідна інформація висвітлюється на індикаторі 6.

Блок прийняття рішення 5 працює таким чином, через комутатор 7 та АЦП 8 подаються сигнали до програмованого контролера 9, який за заданим алгоритмом (фіг.3) виконує оцінку режиму роботи двигуна 2, та видає на вихід двійковий код, цей код розшифровується у дешифраторі 10 який встановлює на відповідному своєму виході логічний сигнал високого рівня. Цей сигнал підсилюється відповідним підсилювачем до значення необхідного для висвітлення напису на індикаторі 6 або вимкнення апарату 1.

Аналіз інформації в програмованому контролері 9 виконується за алгоритмом зображеним на фіг.3.

Опис алгоритму та математичного забезпечення.

Блок 2 містить паспортні та розрахункові параметри асинхронного двигуна, які використовуються в алгоритму. Вказані параметри записуються в ПЗП мікроконтролера 9 при налагодженні пристрою до експлуатації з конкретним асинхронним двигуном. Запис необхідної інформації здійснюється з допомогою комп'ютеризованого переносного пристрою.

До цих параметрів відносяться паспортні або сертифіковані дані на двигун:

$R_{10\text{ ABC}}, R_{20\text{ ABC}}$  - фазні значення опорів обмоток відповідно статора та ротора,

$I_{10\text{ ABC}}, I_{20\text{ ABC}}$  - фазні значення струмів в обмотках відповідно статора та ротора,

$U_H$  - номінальне значення мережної напруги,

$I_{\text{max}}$  - значення максимального струму,

$I_H$  - номінальне значення струму статора,

$\tau_{1\text{ доп}}, \tau_{2\text{ доп}}$  - значення допустимого перевищення температури нагріву обмоток відповідно статора та ротора, які визначаються класом ізоляції,

$\alpha$  - значення температурного коефіцієнту опору міді - обмоток (дорівнює 0,004 і вважається незмінним),

$m_1, m_2$  - маса міді - відповідно обмоток статора та ротора,

$c$  - питома теплоємність міді,

$k_{\text{TB}}$  - коефіцієнт тепловіддачі,

$S_{10x}, S_{20x}$  - площа поверхні охолодження відповідно обмоток статора та ротора,

$t_{1ABC}, t_{\tau 2}$  - значення часу через який відповідно перевищення температури обмоток статора та ротора

досягнуть значень  $\tau_{1доп}$  та  $\tau_{2доп}$  за умови незмінності (або не швидкої зміни) процесів, що протікають,

$r$  - значення зовнішнього радіусу ротора,

$R_{гг}, R_r$  - табличне та розрахункове значення динамічної вантажопідйомності підшипника (визначається типом підшипника),

$p$  - кількість пар полюсів,

$k_b$  - значення коефіцієнту безпеки,

$k_T$  - значення температурного коефіцієнту.

Блоки 3, 7 забезпечують збереження в пам'яті дискретних миттєвих значень напруги та струму, що надходять з трансформаторів, відповідно  $U_{ABC[j]}, I_{ABC[j]}$  (блок 3), кількість ( $j=1,2,\dots,N$ ) яких контролюється блоком 7.

Блоки 4-6 призначені для ідентифікації ситуації "КЗ" (блок 4) із формуванням команди (блок 5) на відключення асинхронного двигуна від мережі та видачею відповідного повідомлення (блок 6) на табло.

Блок 8 призначений для обчислення діючих значень фазних напруг. Обчислення для кожної фази виконується за формулою:

$$U_d = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_j (U[j])^2}. \quad (1)$$

Блоки 9-14 призначені для ідентифікації ситуації, відповідно до Держстандарту 13109-87, "Пониження напруги" (блок 9) та "Перевищення напруги" (блок 12) напруги мережі з формуванням команди на відключення асинхронного двигуна від мережі та відповідне повідомлення до ситуації блок 10 або блок 13) та видачею повідомлення (відповідно до ситуації блок 11 або блок 14).

Блок 15 призначений для виконання гармонійного аналізу сигналів напруги  $U_{ABC[j]}$  згідно алгоритму дискретного перетворення Фур'є.

Блоки 18-21 призначені для ідентифікації ситуації "Обрив однієї чи двох фаз мереженої напруги" (блок 19) із формуванням команди (блок 20) на відключення асинхронного двигуна від мережі та видачею відповідного повідомлення (блок 21) на табло.

Ідентифікація проводиться шляхом перевірки умов (блок 19):

$$\left. \begin{aligned} U_{AB} &= 0 \\ U_{BC} &= 0 \\ U_{CA} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

виконання хоча б однієї з умов (2) й є до ідентифікацією даної ситуації.

Блоки 22-27 призначені для ідентифікації ситуації "Несиметрія фаз напруги". Дана ситуація ідентифікується відповідно до Держстандарту 13109-87 із допомогою значення коефіцієнта несиметрії фаз напруги  $k_{2U}$  (блок 22) з перевіркою умови 23, за результатом якої формується відповідна їй команда (блок 24) на відключення асинхронного двигуна від мережі та відповідне повідомлення (блок 25) або перевіркою умови 26 за результатом якої формується відповідне їй повідомлення (блок 27).

Блоки 28-33 призначені для ідентифікації ситуації "Несинусоїдальність фаз напруги". Дана ситуація ідентифікується відповідно до Держстандарту 13109-87 із допомогою значення коефіцієнта несинусоїдальності фаз напруги  $k_{нCU}$  (блок 28) з перевіркою умови 29, за результатом якої формується відповідна їй команда (блок 30) на відключення асинхронного двигуна від мережі та відповідне повідомлення (блок 31) або перевіркою умови 32 за результатом якої формується відповідне їй повідомлення (блок 33).

Блоки 35-40 призначені для ідентифікації ситуації "Несинусоїдальності n-ї гармонійної складової фаз напруги". Дана ситуація ідентифікується відповідно до Держстандарту 13109-87 із допомогою значення

коефіцієнта гармонійної складової фаз напруги  $k_{U_v}$  (блок 35) з перевіркою умови 36 за результатом якої формується відповідна їй команда (блок 37) на відключення АД від мережі та відповідне повідомлення (блок 38) або перевіркою умови 39, за результатом якої формується відповідне їй повідомлення (блок 40).

Контроль проводиться тільки для непарного порядку гармонік.

Блок 41 призначений для обчислення діючих значень фазних струмів статора. Обчислення для кожної фази виконується за формулою:

$$I_d = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_j (I[j])^2}. \quad (3)$$

Блоки 42-43 призначені для ідентифікації ситуації "Перевантаження по струму" (блок 42) із видачею відповідного повідомлення (блок 43) на табло.

Блоки 44-45 призначені для ідентифікації ситуації "Несиметрія струмів фаз статора" (блок 44) із видачею відповідного повідомлення (блок 45) на табло.

Ідентифікується виконується шляхом парного порівняння значень (блок 40):

$$\left. \begin{aligned} I_{1A} &\neq I_{1B} \\ I_{1A} &\neq I_{1C} \\ I_{1B} &\neq I_{1C} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

виконання хоча б однієї з умов й є ідентифікацією даної ситуації.

Блоки 46-49 призначені для ідентифікації ситуації "Перевищення температури фаз обмоток статора". Блок 46 обчислює поточні значення перевищення фазних температур обмоток статора, блок 47 забезпечує перевірку умови за результатами якої формується команда (блок 48) на відключення асинхронного двигуна від мережі та видається відповідне повідомлення на табло (блок 49).

Обчислення значень перевищення температури обмоток статора виконується за, наступною методикою (пояснення надано у загальному вигляді відносно однієї фази).

Значення перевищення температури (по фазам ABC) обмоток статора  $\tau_1(T)$  обчислюються в усталеному режимі на кожному періоді (T) зміни сигналів напруги та струму на підставі рівняння теплового балансу:

$$\Delta P dt = c m dt + k_{TB} S_{ox} \tau dt, \quad (5)$$

де  $\Delta P$  - утрати в обмотках. Враховуючи, непостійність утрат, за умови незмінності (або незначної зміни) навантаження машини за період зміни напруги та залежності опору обмоток від температури:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha \tau) \quad (6)$$

утрати в міді (обмотках):

$$\Delta P = I_1^2 R_1 = I_{10}^2 R_{10}(1 + \alpha \tau), \quad (7)$$

де  $I_1^2, R_1$  - діючі значення струму та опору обмоток статора;  $\Delta P_0$  - утрати в міді при початковій температурі.

Або теж саме,  $\Delta P_0 = k_{TB} S_{ox} \tau_0 = I_{10}^2 R_{10}$  - утрати в машині під час нагрівання за умови їх незмінності та незмінності значення  $k_{TB}$ . Отже перевищення температури обмоток статора обчислюється за виразом:

$$\tau_1 = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{R_1}{R_0} - 1 \right) \quad (8)$$

для кожної фази статора ( $\tau_{1ABC}$ ) за період зміни напруги та струму, що минув.

Значення опору  $R_1$  для кожної фази обмоток статора визначається на підставі регресійної моделі визначення фазних струмів статора, яка в загальному випадку записана для значень активних опорів має вигляд:

$$I_{ABC}(\rho) = b_0 + \sum_i^{ABC} b_i \rho_i + \sum_{ij}^{ABC} b_{ij} \rho_i \rho_{ij}, \quad (9)$$

$$\rho = \frac{R_{1\text{реальне}}}{R_{1\text{паспортне}}}$$

де  $\rho$  - коефіцієнт активної несиметрії статорних обмоток двигуна,  $b_i, b_{ij}$  - коефіцієнти моделі.

Блоки 50-54 призначені для виконання прогнозу щодо подальшого нагріву обмоток статора на підставі

обчислених нових значень усталеної температури ( $\tau_{1y}$ ) та параметру часу (T') на підставі рівняння теплового балансу (його рішення) (блок 50).

Далі за результатами перевірки умови (блок 52) обчислюється час (блок 53), по досягненні якого двигун необхідно відключити від мережі при цьому на табло (блок 54), видається відповідне повідомлення.

Прогноз нагріву обмоток статора та обчислення прогнозованого часу відключення асинхронного двигуна проводиться за наступною методикою (пояснення надано у загальному вигляді відносно однієї фази).

Маючи обчислене значення перевищення температури обмоток статора  $\tau_1$ , яке вважається кінченням перевищення температури (тобто  $\tau_{y0} = \tau_1$ ), значення якого залежить від поточних утрат в обмотках для поточного моменту часу. На підставі величини  $\tau_{y0}$  обчислюється нове значення усталеного перевищення температури  $\tau_y$  за формулою:

$$\tau_y = \frac{\tau_{y0}}{1 - \alpha \tau_{y0}} \quad (10)$$

або  $\tau_y = \frac{\Delta P}{k_{TB} S_{ox} / 3}$ , де  $\Delta P$  - поточні утрати в обмотках.

Також вважаючи, що в усталеному режимі рівняння теплового балансу приймає вигляд  $\Delta P dt = k_{TB} S_{ox} \tau_y dt$ ,

враховуючи  $\tau_y = \frac{\Delta P}{k_{TB} S_{ox} / 3}$  рівняння теплового балансу (1) має вигляд:

$$k_{TB} S_{ox} (\tau_y - \tau) dt = c \cdot m dt \quad (11)$$

або  $(\tau_y - \tau) dt = T dt$ .

Рішення якого має вигляд:

$$T' = \frac{cm}{k_{TB} S_{ox}} (1 + \tau_y). \quad (12)$$

Параметр часу  $T'$  залежить від поточного перевищення температури, який визначається поточним навантаженням.

На підставі значень  $\tau_y, \tau_{1\text{доп}}, T'$  за виразом:

$$t_{\tau 1} = -\ln \left( \frac{-\tau_{1\text{доп}} - \tau_y}{\tau_y - \tau_0} \right) \cdot T' \quad (13)$$

визначається шуканий час  $t_{\tau 1}$  - час через який перевищення температури обмоток статора досягне значення  $\tau_{1\text{доп}}$ .

Блоки 55-56 призначені для обчислення дискретних значень динамічного моменту  $M[j]$  (блок 54), швидкості  $\omega[j]$  (блок 55) ( $j=1, 2, \dots, N$ ).

Обчислення моменту, швидкості виконується за наступними методиками.

Обчислення моменту ( $M$ ). На підставі системи рівнянь електричної рівноваги контурів статора, записаної в дискретних, вимірних значеннях, обчислюються значення похідних потокозчеплень статора:

$$\frac{d\psi_{ABC}[j]}{dt} = U_{ABC}[j] - I_{ABC}[j]R_{ABC}, \quad (14)$$

де  $j=1, 2, \dots, N$ ,  $N$  - кількість вимірювань на періоді;

$U_{ABC}[j]$ ,  $I_{ABC}[j]$  - миттєві значення напруги та струму в ланцюгу статора,

$R_{ABC}$  - фазні значення опорів обмоток статора. Вихідні потокозчеплення  $\psi_{ABC}[j]$  обчислюються, застосовуючи метод чисельного інтегрування. Після чого обчислюється електромагнітний момент двигуна за формулою:

$$M[j] = \frac{1}{\omega_0} \left\{ (U_A[j]I_A[j+] + U_B[j]I_B[j+] + U_C[j]I_C[j+]) + \left( \frac{d\psi_A[j]}{dt}I_A[j] + \frac{d\psi_B[j]}{dt}I_B[j] + \frac{d\psi_C[j]}{dt}I_C[j] \right) - (I_A[j]^2R_A + I_B[j]^2R_B + I_C[j]^2R_C) \right\}, \quad (15)$$

яка отримана на підставі рівняння балансу потужностей.

Обчислення швидкості ( $\omega_r$ ) проводиться за виразами:

$$\begin{aligned} \psi_{\alpha r} &= \left[ \frac{1}{\tau_r} \left( \frac{L_\mu}{\tau_r} I_{\alpha s} - \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} \right) - \omega_r \left( \frac{L_\mu}{\tau_r} I_{\beta s} - \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} \right) \right] \cdot \left( \omega_r^2 + \frac{1}{\tau_r^2} \right)^{-1}; \\ \psi_{\beta r} &= \left[ \omega_r \left( \frac{L_\mu}{\tau_r} I_{\alpha s} - \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} \right) - \frac{1}{\tau_r} \left( \frac{L_\mu}{\tau_r} I_{\beta s} - \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} \right) \right] \cdot \left( \omega_r^2 + \frac{1}{\tau_r^2} \right)^{-1}. \end{aligned} \quad (16)$$

Для вирішення (16) відносно вихідної швидкості  $\omega_r$  система рівнянь асинхронного двигуна, що записана відносно потокозчеплень в ортогональній системі координат  $\alpha, \beta$ , нерухомої відносно статора диференціюється:

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{d^2\psi_{\alpha r}}{dt^2} + R_r \frac{dI_{\alpha r}}{dt} + \omega_r \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} + \frac{d\omega_r}{dt} \psi_{\beta r}; \\ 0 &= \frac{d^2\psi_{\beta r}}{dt^2} + R_r \frac{dI_{\beta r}}{dt} + \omega_r \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} + \frac{d\omega_r}{dt} \psi_{\alpha r}, \end{aligned} \quad (17)$$

вирішивши сумісно (16), (17) і вилучивши  $\frac{d\omega_r}{dt}$ , отримується

$$A\omega_r^2 + B\omega_r + C = 0, \quad (18)$$

де

$$\begin{aligned} A &= \left( \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} \right)^2 + \left( \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} \right)^2 - \frac{L_\mu}{\tau_r} \left( I_{\beta s} \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} + I_{\alpha s} \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} \right); \\ B &= \frac{L_\mu}{\tau_r^2} \left( I_{\beta s} \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} - I_{\alpha s} \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} \right) + \left( I_{\alpha s} \frac{L_\mu}{\tau_r} - \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} \right) \left( \frac{d^2\psi_{\beta r}}{dt^2} + R_r \frac{dI_{\beta r}}{dt} \right) - \\ &\quad - \left( I_{\beta s} \frac{L_\mu}{\tau_r} - \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} \right) \left( \frac{d^2\psi_{\alpha r}}{dt^2} + R_r \frac{dI_{\alpha r}}{dt} \right); \\ C &= \frac{1}{\tau_r} \left[ \left( I_{\alpha s} \frac{L_\mu}{\tau_r} - \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} \right) \left( \frac{d^2\psi_{\alpha r}}{dt^2} + R_r \frac{dI_{\alpha r}}{dt} \right) + \left( I_{\beta s} \frac{L_\mu}{\tau_r} - \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} \right) \left( \frac{d^2\psi_{\beta r}}{dt^2} + R_r \frac{dI_{\beta r}}{dt} \right) \right]. \end{aligned}$$

Звідки обчислюються дискретні значення швидкості  $\omega[j]$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ).

Блоки 57-60 призначені для ідентифікації ситуації "Перевищення температури обмоток ротора". Блок 57 обчислює поточне значення перевищення температури обмоток ротора, блок 58 забезпечує перевірку умови за результатами якої формується команда (блок 59) на відключення асинхронного двигуна від мережі та видається відповідне повідомлення на табло (блок 60).

Обчислення значень перевищення температури обмоток ротора виконується за методикою.

Значення температури обмоток ротора  $\tau_2(T)$  також обчислюється в усталеному режимі на кожному періоді ( $T$ ) зміни сигналів напруги та струму але без розділу температур за фазами на підставі виразу для електромагнітного моменту:

$$M = \frac{3I_2^2 R_2}{s\omega_0}. \quad (19)$$

Звідки  $\Delta P = 3I_2^2 R_2 = M(\omega_0 - \omega)$ . Після чого, для обчислення поточної температури застосовується рішення рівняння теплового балансу.

Блоки 61-64 призначені для виконання прогнозу щодо подальшого нагріву обмоток ротора (блок 61) з обчисленням прогнозованого часу (блок 63) відключення асинхронного двигуна яке обчислюється залежно від виконання умови 62 за результатами якої формується та видається відповідне повідомлення на табло (блок 64).

Прогноз нагріву обмоток статора та обчислення часу відключення асинхронного двигуна від мережі проводиться за методикою застосованою для обмоток статора.

Блок 65 призначений для виконання гармонічного аналізу сигналів електромагнітного моменту  $M[j]$  та швидкості  $\omega[j]$  згідно алгоритму дискретного перетворення Фур'є.

Блоки 66-68 призначені визначення "Природи вібрацій" на підставі порівняння гармонік електромагнітного моменту та швидкості (блок 66). За результатами порівняння формується та видається відповідне повідомлення на табло (блок 67 або блок 68).

Блоки 70-72 призначені для ідентифікації ситуації "Перевищення динамічного навантаження на підшипники". Блок 70 обчислює поточне еквівалентне динамічне навантаження на підшипник ( $P_r$ ), блок 71 забезпечує порівняння значень обчисленого еквівалентного динамічного навантаження з табличним значенням. Залежно від виконання умови (блок 61) на табло видається відповідне повідомлення (блок 72).

Обчислення еквівалентного динамічного навантаження на підшипник обчислюється за наступним чином.

Маючи дискретні значення електромагнітного моменту та знаючи зовнішній радіус ротора ( $r$ ), обчислюється еквівалентне динамічне навантаження:

$$P_r = \sigma[M] \cdot r \cdot k_6 \cdot k_T \quad (21)$$

$$\sigma[M] = \frac{1}{N} \sum_N (M[j] - M[M])$$

де - середньоквадратичне значення моменту;

$M[j]$  - дискретні значення моменту;

$M[M]$  - математичне сподівання моменту  $M[j]$ .

Блоки 73-74 призначені для обчислення уособленого коефіцієнту, який характеризує неякість перетворення енергії в двигуні (блок 73) та його виводу на табло (блок 74).

Обчислення проводяться за формулою:

$$\varepsilon_P = \frac{P_0}{P_e} 100\%, \quad (20)$$

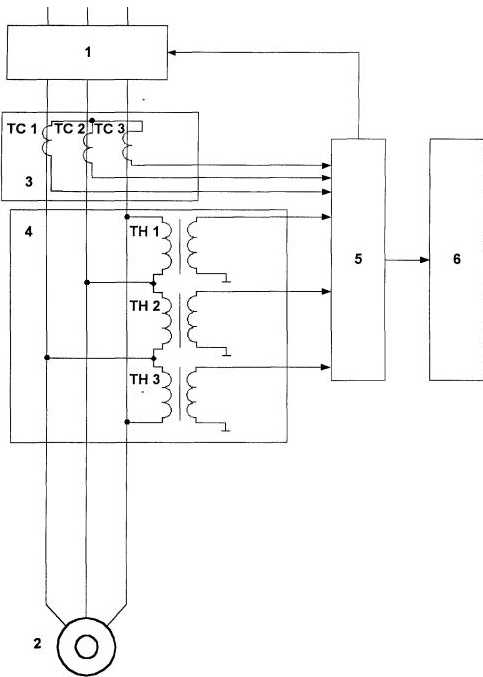
$$P_0 = \frac{1}{N} \sum_j (U_A[j] I_A[j] + U_B[j] I_B[j] + U_C[j] I_C[j]), \quad P_e = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_j (P_0[j])^2}$$

де - відповідно середнє значення потужності

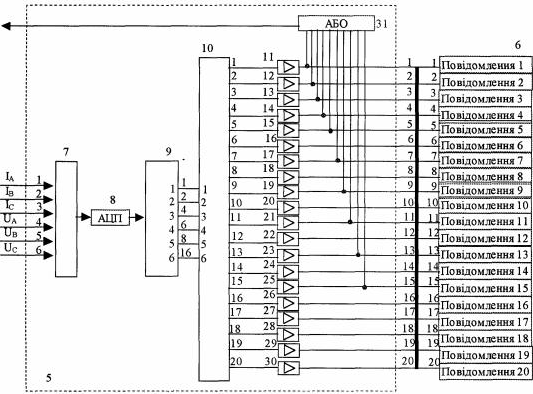
та еквівалентне значення потужності двигуна.

Розшифровка повідомлень, що використовуються при описанні функціонального блоку прийняття рішення (фіг.2) та алгоритму обробки інформації:

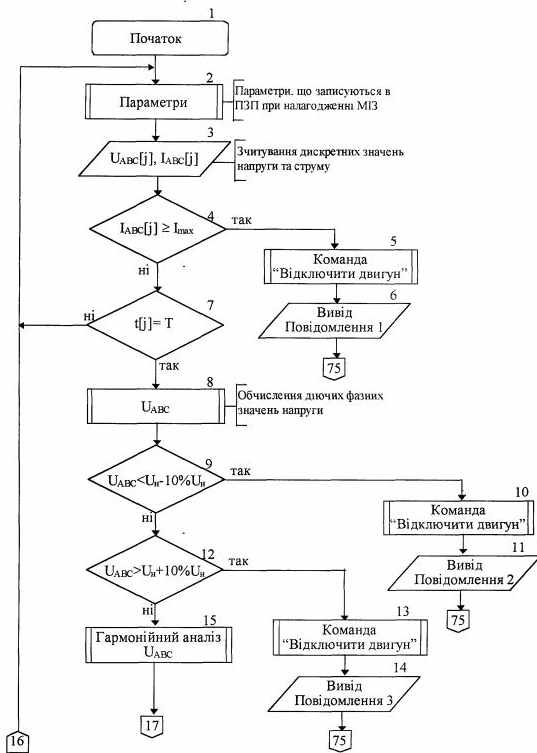
Номер повідомлення	Пояснення повідомлення
Повідомлення 1	«КЗ»
Повідомлення 2	«Пониження напруги»
Повідомлення 3	«Перевищення напруги»
Повідомлення 4	«Обрив фази мереженої напруги»
Повідомлення 5	«Коефіцієнт несиметрії фаз напруги вищий за межу допустимого»
Повідомлення 6	«Коефіцієнт несиметрії фаз напруги вищий за нормально допустимий»
Повідомлення 7	«Коефіцієнт несинусоїдальності фаз напруги вищий за межу допустимого»
Повідомлення 8	«Коефіцієнт несинусоїдальності фаз напруги вищий за нормально допустимий»
Повідомлення 9	«Коефіцієнт несинусоїдальності n-ої гармонійної складової фаз напруги вищий за межу допустимого»
Повідомлення 10	«Коефіцієнт несинусоїдальності n-ої гармонійної складової фаз напруги вищий за нормально допустимий»
Повідомлення 11	«Перевантаження по струму»
Повідомлення 12	«Несиметрія струмів у фазах статора»
Повідомлення 13	«Перевищення температури фази...обмотки статора»
Повідомлення 14	«Час відключення...по нагріву фази...обмотки статора»
Повідомлення 15	«Перевищення температури обмоток ротора»
Повідомлення 16	«Час відключення...по нагріву обмоток ротора»
Повідомлення 17	«Джерелом вібрацій є механіка двигуна»
Повідомлення 18	«Джерелом вібрацій є електромагнітні процеси»
Повідомлення 19	«Еквівалентне динамічне навантаження більше за допустиме»
Повідомлення 20	«Уособлений коефіцієнт перетворення енергії...»



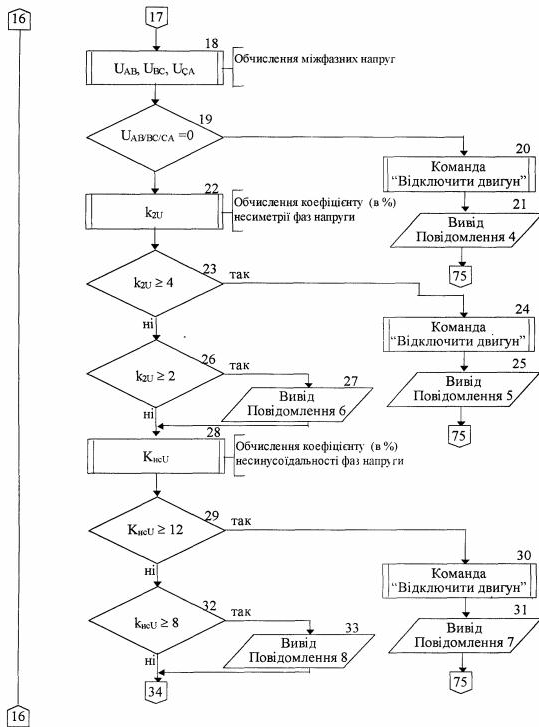
Фіг 1. Функціональна схема пристрою захисту



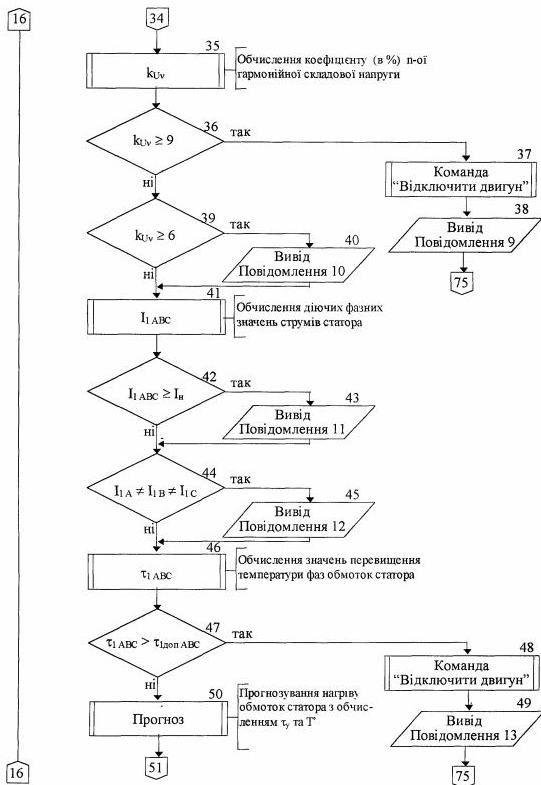
Фіг.2 Функціональна схема блоку прийняття рішення 5 і індикатора 6



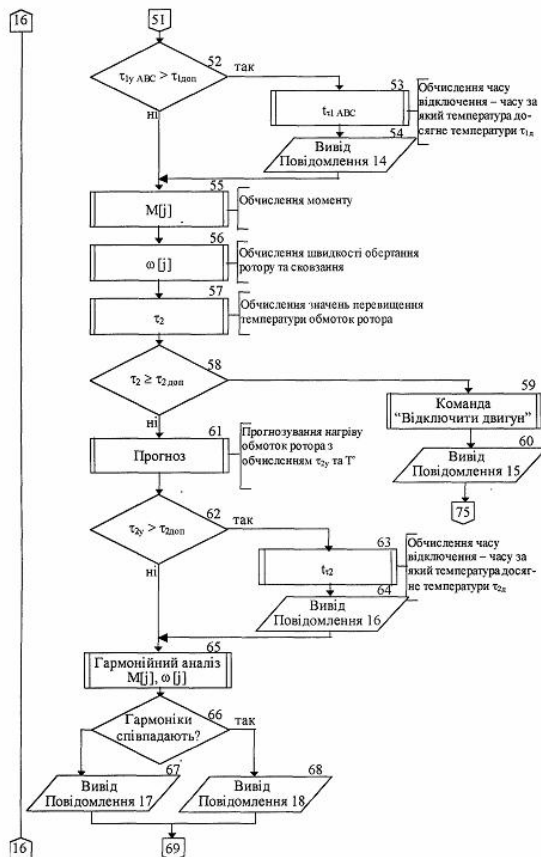
Фіг 3. Алгоритм оцінки роботи двигуна



Фіг 3. Алгоритм оцінки роботи двигуна (продовження)



Фіг 3. Алгоритм оцінки роботи двигуна (продовження)



Фіг 3. Алгоритм оцінки роботи двигуна (продовження)



