



УКРАЇНА

(19) UA (11) 24488 (13) U

(51) МПК (2006)

H02K 9/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ КЕРОВАНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1

2

(21) u200606812

(22) 19.06.2006

(24) 10.07.2007

(46) 10.07.2007, Бюл. № 10, 2007 р.

(72) Родькін Дмитро Йосипович, Бялобрежський
Олексій Володимирович, Дергачов Євгеній Івано-
вич, Волошин Олексій Миколайович(73) КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХ-
НІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Пристрій керованого охолодження машин постійного струму, що містить вентилятор, який механічно з'єднаний з валом асинхронного двигуна, що з'єднаний з тиристорним регулятором напруги; блок обчислень із математичною моделлю функціонування пристрою керованого охолодження електричних машин, який враховує експлуатаційні режими роботи машини і розраховує зміну значення температури обмотки якоря, що контролюється; для контролю струму навантаження й напруги живлення машини постійного струму, температури охолоджуючого повітря введено відповідні датчики, який відрізняється тим, що пристрій додатково містить асинхронний двигун для приводу машини постійного струму, який з'єднаний з тиристорним регулятором напруги, механічну муфту, яка з'єднує ротор привідного асинхронного двигуна з якорем машини постійного струму, перетворювач частоти, який з'єднаний з асинхронним двигуном вентилятора, реверсивний тиристорний перетворювач, з яким з'єднана як ірнова обмотка машини постійного струму, тиристорний перетво-

рювач, який з'єднаний з обмоткою збудження машини постійного струму, електронно-обчислювальну машину, що містить математичну модель роботи системи керованого охолодження, яка враховує втрати в сталі і демонструє протікання процесів в електричних машинах; датчики для вимірювання струму і напруги живлення асинхронного привідного двигуна, асинхронного двигуна вентилятора, струму збудження машини постійного струму, швидкості обертання якоря машини постійного струму, виходи з датчиків з'єднані з відповідними входами електронно-обчислювальної машини через аналого-цифровий перетворювач, виходи електронно-обчислювальної машини з'єднані через цифро-аналоговий перетворювач з відповідними входами перетворювача частоти асинхронного двигуна вентилятора, реверсивного тиристорного перетворювача як ірної обмотки машини постійного струму, тиристорного перетворювача обмотки збудження машини постійного струму, тиристорного регулятора напруги привідного асинхронного двигуна, контрольно-вимірювальні прилади для контролю струму і напруги живлення асинхронного двигуна вентилятора, струму і напруги живлення як ірної обмотки машини постійного струму, струму і напруги живлення обмотки збудження машини постійного струму, струму, напруги живлення і споживаної потужності привідного асинхронного двигуна, автоматичні вимикачі для комутації і захисту електричних ланцюгів.

Корисна модель відноситься до галузі електротехніки й може використовуватися в електромеханічних системах для демонстрації роботи пристрою керованого охолодження машини постійного струму, а також розрахунку втрат енергії, що призводять до нагріву, поточного перегріву повітря в середині машини, необхідної кількості охолоджуючого машини повітря.

Відомий винахід [А.С. №1274061, H02H7/08, H02H5/04, SU, "Пристрій для теплового захисту

електродвигуна", Шумський А.М., Кобилянський А.В., Рубаненко А.Е., "Бюлетень винаходів", 25.02.85]. При підвищенні температури обмоток електродвигуна величина опору позистора стрімко зростає, що викликає зміну початкового стану RS-тригера. Відкривається праве плече RS-тригера й закривається транзисторний ключ. У результаті цього знеструмлюються ланцюги живлення керуючих електродів симісторів й розривається ланцюг живлення обмоток електродвигуна. Зважаючи на

(13) U

(11) 24488

(19) UA

те, що RS-тригер прийняв новий стійкий стан, повернення його у початковий стан можливе лише після повного охолодження позистора й повторного підключення двигуна до мережі, тим самим виключаючи можливість самовільного підключення електродвигуна до мережі після відкриття позистора.

Недоліками цієї системи є:

- відсутність демонстрації процесу роботи пристрою керованого охолодження машини;
- зупинка двигуна для його охолодження;
- необхідність розташування позистора безпосередньо біля обмотки, що не завжди можливо;
- пристрій не дозволяє оцінити середню температуру обмоток машини, так як датчик (позистор) розташований в одному місці.

Відомий винахід [А.С. №1229883, H02H5/04, SU, "Пристрій для контролю температури електроустановки постійного струму", Баклушин В.Н., Винс А.Д., "Бюлетень винаходів", 16.08.84]. Пристрій складається з двох ланцюгів, один із яких складається з датчика напруги якоря й датчика ЕРС якоря, приєднаних до послідовно з'єднаних суматора, блока ділення й масштабуючого підсилювача. Другий ланцюг складається з датчика напруги на додаткових полюсах ділителя й масштабуючого підсилювача. В пристрої виділяється величина сигналу, пропорційна опорі будь-якої з обмоток якірного ланцюга двигуна, й при даному перевантаженні викликає певне перегрівання обмоток. Контроль температури всіх обмоток двигуна дозволяє виключити недопустимі перевантаження двигуна.

Даний пристрій має наступні недоліки:

- здійснення тільки контролю температури й неможливість регулювання ступеню вентиляції електричної машини;

відсутність демонстрації процесу роботи пристрою;

пристрій не враховує нагрів, пов'язаний з дією втрат у сталі якоря працюючої машини.

Відомий винахід [пат. №97102016/09А, H02K9/04, RU, "Пристрій для автоматичного регулювання температури електричної машини", Космодамианський О.С., "Роспатент", www.fips.ru, 27.01.99], що складається з вентилятора, який механічно з'єднаний з валом асинхронного двигуна, що з'єднаний з тиристорним регулятором напруги; блоку обчислень з математичною моделлю функціонування пристрою керованого охолодження електричних машин, який враховує експлуатаційні режими її роботи і розраховує зміну значення температури обмотки якоря, що контролюється; для контролю струму навантаження й напруги живлення машини постійного струму, температури охолоджуючого повітря введено відповідні датчики.

Даний пристрій має наступні недоліки:

- не враховується нагрів, пов'язаний з дією втрат у сталі якоря працюючої машини;

система керування не дозволяє здійснювати регулювання температури при зміні навантаження; відсутність демонстрації процесу роботи пристрою.

Відоме технічне рішення приймається за про-

тотип, бо має спільні суттєві ознаки з технічним рішенням, що пропонується.

Спільними для запропонованого технічного рішення і прототипа є наступні риси:

контроль температури охолоджуючого повітря машини, що охолоджується, за допомогою відповідних датчиків;

регулювання частоти обертання двигуна вентилятора;

наявність математичної моделі, яка розраховує температуру нагріву обмоток машини, що охолоджується.

В основу корисної моделі поставлено задачу демонстрації процесу роботи електричних машин шляхом введення в систему електронно-обчислювальної машини, яка містить математичну модель функціонування автоматичної системи регулюваного охолодження електричної машини постійного струму.

Запропоноване технічне рішення відрізняється від прототипа наступними блоками та зв'язками:

для демонстрації протікання робочих процесів і керування роботою пристрою введено ЕОМ;

для живлення асинхронного двигуна вентилятора введено перетворювач частоти;

введено зв'язок між ЕОМ та перетворювачем частоти для керування швидкості обертання вентилятора.

Перелік фігур корисної моделі:

Фіг.1 Блок-схема пристрою керованого охолодження машин;

Фіг.2 Алгоритм роботи пристрою;

Фіг.3 Електрична принципова схема пристрою;

Фіг.4 Зовнішній вигляд пристрою спереду;

Фіг.5 Зовнішній вигляд пристрою зліва.

Пристрій керованого охолодження машин постійного струму, що складається з вентилятора 9, який механічно з'єднаний з валом асинхронного двигуна 8 (тип АРН 21/2, номінальна напруга $U_n=220/380V$, номінальний струм $I_n=2,47/143A$, номінальна потужність $P_n=0,4кВт$, номінальна частота обертання $n=2750об/хв$, коефіцієнт корисної дії $\eta=70\%$, $\cos\phi=0,7$), що з'єднаний з тиристорним регулятором напруги; блоку обчислень з математичною моделлю функціонування пристрою керованого охолодження електричних машин, який враховує експлуатаційні режими її роботи і розраховує зміну значення температури обмотки якоря, що контролюється. Для контролю струму навантаження й напруги живлення машини постійного струму введено датчики 23 і 24 (LEM тип LA-25, LV-25), для контролю температури охолоджуючого повітря - датчики 18, 19 (тип ММТ-8, робочий діапазон температури $-40^{\circ}C$ - $+70^{\circ}C$), який відрізняється тим, що він додатково обладнаний асинхронним двигуном 33 (тип АО42-4, номінальна напруга $U_n=220/380V$, номінальний струм $I_n=10,5A$, номінальна потужність $P_n=2,8кВт$, номінальна частота обертання $n=1420об/хв$, $\cos\phi=0,85$, коефіцієнт корисної дії $\eta=83,5\%$) для приводу машини постійного струму 22 (тип П-41, номінальна напруга $U_n=230V$, номінальний струм $I_n=11,7A$, номінальна потужність $P=2,7кВт$, номінальна частота обертання $n=1450об/хв$, коефіцієнт корисної дії $\eta=75,5\%$), який з'єднаний з тиристорним регулятором напру-

ги 26 (діапазон регулювання напруги 0-220В, крок регулювання 1°); механічною муфтою 32, яка з'єднує ротор приводного асинхронного двигуна 33 з якорем машини постійного струму 22; перетворювачем частоти 3 (марка Mitsubishi FS-520, діапазон регулювання частоти 0-120Гц, крок зміни частоти 0,1Гц, діапазон регулювання пускового моменту 0-15%Мн), який з'єднаний з асинхронним двигуном 8 вентилятора 9; реверсивним тиристорним перетворювачем 17 (діапазон регулювання напруги 0-220В, крок регулювання 1°), з яким з'єднана якорна обмотка машини постійного струму 22; тиристорним перетворювачем 11 (діапазон регулювання напруги 0-220В, крок регулювання 1°), який з'єднаний з обмоткою збудження машини постійного струму 22; електронно-обчислювальною машиною 36, що містить математичну модель роботи системи керованого охолодження, яка враховує втрати в сталі і демонструє протікання процесів в електричних машинах; датчиками (LEM тип LA-25, LV-25) для вимірювання струму 30 і напруги живлення 31 приводного асинхронного двигуна 33, датчиками для вимірювання струму 4 і напруги живлення 5 асинхронного двигуна 8 вентилятора 9, струму збудження 12 машини постійного струму, швидкості обертання якоря 34 (тип ТМГ-30) машини постійного струму 22; виходи з датчиків 4, 5, 12, 18, 19, 23, 24, 30, 31, 34 з'єднані з відповідними входами електронно-обчислювальної машини 36 через аналого-цифровий перетворювач 35 (має 8 аналогових входів і 2 цифрових виходи, розрядність 12 біт, час перетворення 1,47мкс, швидкість перетворення 500кБіт/с, вхідна аналогова напруга 0-2,5В), виходи електронно-обчислювальної машини 36 з'єднані через цифро-аналоговий перетворювач 35 з відповідними входами перетворювача частоти 3 асинхронного двигуна 8, з відповідними входами реверсивного тиристорного перетворювача 17 якорної обмотки машини постійного струму, з відповідними входами тиристорного перетворювача 11 обмотки збудження машини постійного струму, з відповідними входами тиристорного регулятора напруги 26 приводного асинхронного двигуна; контрольно-вимірювальними приладами для контролю струму 6 (амперметр тип Е8030, похибка вимірювання 2,5%, діапазон вимірювання 0-2А) і напруги живлення 7 (вольтметр тип Е-421, похибка вимірювання 2,5%, діапазон вимірювання 0-250В) асинхронного двигуна 8 вентилятора, струму 20 (амперметр тип М381, похибка вимірювання 1,5%, діапазон вимірювання 0-20А) і напруги живлення 21 (вольтметр тип М381, похибка вимірювання 1,5%; діапазон вимірювання 0-150В) якорної обмотки машини постійного струму 13 (амперметр тип М42100, похибка вимірювання 1,5%, діапазон вимірювання 0-1А) і напруги живлення 14 (вольтметр тип М-330, похибка вимірювання 1,5%, діапазон вимірювання -250...+250В) обмотки збудження машини постійного струму 22, струму 27 (амперметр тип М381, похибка вимірювання 1,5%, діапазон вимірювання 0-10А), напруги живлення 28 (вольтметр тип Е-421, похибка вимірювання 2,5%, діапазон вимірювання 0-250В) і споживаємої потужності 29 (ватметр тип Д365, похибка вимірювання 1,5%, діапазон вимірювання

0-2000кВт) приводного асинхронного двигуна 33; автоматичними вимикачами 1, 2, 10, 16, 25, 37, 52 для комутації і захисту електричних ланцюгів (автоматичний вимикач 1 тип АЕ-46М-10Р, ~660В, 50А; автоматичний вимикач 2 тип АП-50Б-3МТЗ, ~500В, 16А; автоматичні вимикачі 16, 25 тип АП-50Б-3МТ2, ~500В, 16А; автоматичний вимикач 10 тип АП-25-220В, 6,3А; автоматичний вимикач 37 тип АЕ 30, 220В, 1А).

Роботу пристрою керованого охолодження докладно пояснюють за допомогою алгоритма (Фіг.2).

Для підключення мережі пристрою до джерела живлення вмикають автоматичний вимикач 1. Також на цьому кроці вмикають автоматичні вимикачі 2, 10, 25, 37, 52, подаючи цим напругу живлення на перетворювач частоти 3, тиристорні регулятори напруги 11 й 26 та ланцюги керування.

На наступному етапі вводять в електронно-обчислювальну машину 36 параметри машини 22, що охолоджується: номінальну потужність і швидкість обертання, кількість полюсів, кількість пазів якоря, клас нагрівостійкості ізоляції (її допустимий перегрів і теплоємність), діаметр і довжину якоря і колектора, внутрішній діаметр станини, розміри паза і зубця якоря, кількість витків у секції і елементарних провідників у пазі, параметри обмоточного дроту (діаметр з ізоляцією і без неї), а також параметри сталі, з якої виготовлене осердя якоря (товщина листа, коефіцієнт заповнення осердя), значення теплоємності й робочого діапазона перевищення температури охолоджуючого повітря, робочого діапазона перевищення температури обмотки якоря. Також задають номінальну швидкість обертання вентилятора 9, подаючи керуючий сигнал з ЕОМ 36 через цифро-аналоговий перетворювач 35 на перетворювач частоти 3.

На наступному етапі розраховують параметри теплової схеми заміщення машини 22, що охолоджується, для визначення температури, до якої будуть розігріватися основні її частини (а особливо ізоляція) при номінальному режимі роботи. В ході роботи машини 22 параметри її теплової схеми заміщення не змінюються.

Визначають кутові швидкості активної частини якоря v_a й колектора v_k :

$$v_a = \frac{D_a \omega}{2}, \quad v_k = \frac{D_k \omega}{2},$$

де D_a й D_k - діаметри якоря й колектора;

$$\omega - \text{швидкість обертання якоря, } \omega = \frac{\pi \cdot n}{30};$$

n - частота обертання якоря.

Визначають коефіцієнти тепловіддачі активної й лобової частин, а також колектора по емпіричним формулам:

$$a_a = 9.5 \cdot (1 + 0.6 v_a^{0.9}), \quad a_n = 12.5 \cdot (1 + 0.85 v_a^{0.85}),$$

$$a_k = 16 \cdot (1 + 0.6 v_k^{0.75}).$$

Тепловий опір від поверхні активної частини обмотки до повітря:

$$R_a = \frac{1}{\pi \cdot D_a \cdot l \cdot a_k},$$

де l - довжина якорної частини обмотки.

Тепловий опір від поверхні лобової частини:

$$R_{ла} = \frac{1}{S_n \left(a_n \left(1 - \frac{l_6}{l'_f} \right) + \left(\frac{1}{\rho_6} \right) \cdot \left(\frac{l_6}{l'_f} \right) \right)},$$

де S_n - площа поверхні на одну сторону якоря
 $S_n = 0.95 \cdot \pi \cdot D_a \cdot l'_f$;
 l_6 - довжина лобової частини обмотки;
 l'_f - розрахунковий виліт лобової частини обмотки;

$$\rho_6 = \frac{\Delta_6}{\lambda_n} + \frac{1}{a_n} \quad \text{- середня температура плоскої}$$

стінки;

Δ_6 - товщина ізоляції під бандажами;
 λ_n - коефіцієнт теплопередачі ізоляції.

Визначають тепловий опір колектор-повітря:

$$R_{ко} = \frac{1}{\pi \cdot D_k \cdot 1.25 \cdot l_k \cdot a_k},$$

де l_k - довжина колектора.

Визначають еквівалентний поперечний коефіцієнт теплопередачі пучка дротів λ_e :

$$\lambda_e = \frac{25\lambda_n}{\sqrt{1.1 \cdot \left(\frac{d_i}{d_m} \right) - 1}},$$

де λ_n - коефіцієнт теплопередачі ізоляції обмоточного дроту;

d_i, d_m - діаметри обмоточного дроту з ізоляцією і без неї.

Визначають внутрішній опір пазу за допомогою коефіцієнта:

$$\nu = \frac{\pi}{4} + \frac{(h_1 - h_k)}{(r_1 - r_2)},$$

де h_1, h_k, r_1, r_2 - геометричні розміри пазу.

Тепловий опір пазової ізоляції:

$$R_{ін} = \frac{1}{z \cdot l} \cdot \left[\frac{\Delta_{ін}}{\pi \cdot \lambda_i} + \frac{1}{12\lambda_e \cdot \left(\nu + \frac{0.33}{\nu} \right)} \right],$$

де π - периметр пазової ізоляції,

$$\pi = 2h_1 + \left(\frac{2}{3} \right) r_1 + \pi \cdot r_2;$$

z - кількість пазів якоря;

$\Delta_{ін}$ - товщина ізоляції пазу;

λ_i - коефіцієнт теплопровідності пазової ізоляції.

Розраховують тепловий опір від пазів до поверхні якоря:

$$R_z = \frac{r_2 + h_1 + 0.5 \cdot r_1}{3 \cdot z \cdot b_z \cdot l \cdot k_c \cdot \lambda_{Fe}},$$

де b_z - відстань між пазами якоря;

k_c - коефіцієнт заповнення якоря;

λ_{Fe} - коефіцієнт теплопередачі сталі якоря;

l - довжина яркової частини обмотки.

Розраховують результуючий тепловий опір R_{co} :

$$R_{co} = R_z + R_a.$$

Розраховують тепловий опір лобових частин машини:

$$R_{мл} = \frac{l_n}{0.5 \cdot S_m \cdot \lambda_m},$$

де l_n - довжина лобової частини обмотки якоря;

$$S_m = z \cdot N_n \left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot d_m^2 \quad \text{- загальна площа перерізу}$$

дротів;

N_n - кількість провідників у пазі;

λ_m - коефіцієнт теплового опору міді.

Тепловий опір $R_{ін}$ знаходять, виходячи з припущення, що $\lambda_m \rightarrow \infty$:

$$R_{ін} = \frac{h_n}{12 \cdot S_n \cdot \lambda_{ел}},$$

де $\lambda_{ел}$ - коефіцієнт теплопередачі пучка дротів;

h_n - товщина лобової частини обмотки.

Результуючий тепловий опір для обох лобових частин яркової обмотки машини:

$$R_{мо} = \frac{R_{ла} + R_{ін} + \frac{R_{мл}}{30}}{2}.$$

Визначають тепловий опір зв'язку обмотки з колектором:

$$R_{мк} = 0.6 \cdot (\omega_c - 1) \sqrt{\frac{R_{мл} R_{ін}}{\omega_c}},$$

де ω_c - кількість витків у секції.

Знаходять результуючу теплову провідність від обмотки якоря до охолоджуючого повітря:

$$\Lambda_i = \frac{1}{R_{мо}} + \frac{1}{(R_{co} + R_{ін})} + \frac{1}{(R_{ко} + R_{мк})}.$$

Для того, щоб забезпечити безаварійну роботу машини 22, що охолоджується, задають робоче перевищення температури обмотки якоря

$$\Theta_{мр} = 0.8 \cdot \Theta_{із}.$$

На наступному етапі натискають кнопку 45, чим вмикають асинхронний двигун 8, який приводить у дію вентилятор 9. Вентилятор вмикають на швидкість обертання $0.8\omega_{ном}$, так як номінальна швидкість обертання вентилятора розраховується на найважчий режим його роботи.

На наступному етапі подають керуючий сигнал з ЕОМ 36 через цифро-аналоговий перетворювач 35 на тиристорний перетворювач 11, що регулює напругу обмотки збудження 15.

Через 1 хвилину після ввімкнення вентилятора 9, натиснувши кнопку 43, запускають асинхронний двигун 33. Ротор двигуна 33 через механічну муфту 32 приводить у рух ярк машини 22, що працює у генераторному режимі.

На наступному етапі проводиться реєстрація сигналів датчиків, які визначають поточні значення струму $I_a[i]$ і напруги якоря $U_a[i]$, струму збудження $I_{зб}[i]$, швидкості обертання якоря охолоджуємої машини $\omega[i]$ і температури охолоджуючого повітря на вході і виході його з машини, $T_1[i]$ і $T_2[i]$ відповідно. Значення температури охолоджуючого повітря на вході його в машину $T_1[i]$ не повинно перевищувати 20°C . Температуру охолоджуючого повітря на виході з машини $T_2[i]$ використовують для додаткового контролю за температурою обмотки якоря машини 22.

На наступному етапі за методом діагностики машин постійного струму визначають опір якірного ланцюга машини 22, що охолоджується.

Для цього за вимірними даними складається система диференціальних рівнянь:

$$U_{я[i]} \cdot I_{я[i]} = L_{я[i]} \cdot I_{я[i]} \cdot \frac{dI_{я[i]}}{dt} + I_{я[i]}^2 \cdot R_{я[i]} + J[i] \cdot \omega[i] \cdot \frac{d\omega[i]}{dt} + a \cdot \omega^2[i],$$

$$U_{зб[i]} \cdot I_{зб[i]} = L_{зб[i]} \cdot I_{зб[i]} \cdot \frac{dI_{зб[i]}}{dt} + I_{зб[i]}^2 \cdot R_{зб[i]},$$

де $L_{я[i]}$ - індуктивність якірного ланцюга;

$R_{я[i]}$ - опір обмотки якоря;

$cliY[$

$\frac{dI_{я[i]}}{dt}$ - похідна струму якоря машини;

$J[i]$ - момент інерції частин машини, що обертаються;

a - момент опору обертанню;

$\frac{d\omega[i]}{dt}$ - похідна швидкості обертання якоря машини;

$U_{зб[i]}$ - напруга збудження машини;

$L_{зб[i]}$ - індуктивність обмотки збудження;

$\frac{dI_{зб[i]}}{dt}$ - похідна струму збудження;

$R_{зб[i]}$ - опір обмотки збудження.

$$U_{я0} I_{я0} = I_{я0}^2 R_{я,дп} + \Delta P_{мех\omega1} + U_{я0}^2 C_{0\omega1} + I_{з0} U_{я0} C_{1\omega1} + I_{з0}^2 C_{2\omega1}$$

$$U_{я1} I_{я1} = I_{я1}^2 R_{я,дп} + \Delta P_{мех\omega1} + U_{я1}^2 C_{0\omega1} + I_{з1} U_{я1} C_{1\omega1} + I_{з1}^2 C_{2\omega1}$$

$$U_{я2} I_{я2} = I_{я2}^2 R_{я,дп} + \Delta P_{мех\omega1} + U_{я2}^2 C_{0\omega1} + I_{з2} U_{я2} C_{1\omega1} + I_{з2}^2 C_{2\omega1}$$

$$U_{я3} I_{я3} = I_{я3}^2 R_{я,дп} + \Delta P_{мех\omega1} + U_{я3}^2 C_{0\omega1} + I_{з3} U_{я3} C_{1\omega1} + I_{з3}^2 C_{2\omega1}$$

Вирішують систему і визначають $\Delta P_{мех\omega1}$ і коефіцієнти $C_{0\omega1}$, $C_{1\omega1}$, $C_{2\omega1}$ питомих втрат у сталі, за допомогою яких визначають втрати в сталі:

$$\Delta P_{ст\omega1} = U_{я0}^2 C_{0\omega1} + I_{з0} U_{я0} C_{1\omega1} + I_{з0}^2 C_{2\omega1}.$$

У процесі роботи поточне значення втрат у сталі визначається наступним чином:

$$P_{ст[i]} = U_{я[i]}^2 C_{0\omega1} + I_{з[i]} U_{я[i]} C_{1\omega1} + I_{з[i]}^2 C_{2\omega1}.$$

На наступному етапі проводять розрахунок поточних приведених втрат обмотки якоря $P_{а[i]}$:

$$P_{а[i]} = P_{я,дп[i]} + \frac{P_{ст[i]}}{1 + \frac{R_{п}}{R_{со}}},$$

де поточні втрати у сталі $P_{ст[i]}$ враховують поточні додаткові втрати $P_{дод[i]}$.

На наступному етапі розраховують перевищення температури повітря при поточному нагріві:

$$\Theta_v[i] = \Theta_{мр} - \frac{P_{а[i]}}{\Lambda_i}.$$

Розраховують кількість повітря, необхідну для охолодження машини 22 при поточному нагріві:

$$Q_v[i] = \frac{0.5 \cdot K_v \cdot (\Sigma P[i])}{1100 \cdot \Theta_v[i]},$$

де K_v - коефіцієнт заповнення якоря сталлю;

$\Sigma P[i] = P_{я,дп[i]} + P_{ст[i]}$ - сума поточних втрат.

На наступному етапі знаходять необхідну частоту обертання вентилятора і подають керуючий сигнал на перетворювач частоти 3:

У відповідність з виразом складається система рівнянь, з якої визначають опір якірного ланцюга (який складається з суми опору обмотки якоря $R_{я[i]}$ і додаткових полюсів $R_{дп[i]}$).

На наступному етапі розраховують втрати, що призводять до нагріву: втрати в обмотці якоря $P_{я[i]}$ і додаткових полюсах $P_{дп[i]}$, втрати у сталі $P_{ст[i]}$.

Суму втрат, що приводять до нагріву, в обмотці якоря $P_{я[i]}$ і додаткових полюсах $P_{дп[i]}$, визначають наступним чином:

$$P_{я,дп[i]} = (R_{я[i]} + R_{дп[i]}) \cdot I_{я[i]}^2$$

Питомі втрати у сталі якоря визначають при випробуваннях під час яких з якоря машини 22 обов'язково знімається навантаження, тобто машина працює у режимі холостого ходу. Проводять діагностику машини 22 шляхом завдання швидкості при номінальному потоці, зміні струму збудження, вимірі струму якоря, напруги на якорі, струму збудження при чотирьох значеннях струму збудження (1,0; 0,75; 0,5; 0,3) $I_{збн}$ шляхом зміни напруги на обмотці збудження. Повторюють виміри при чотирьох заданих значеннях швидкості (1,0; 0,75; 0,5; 0,3) ω_n , складають систему з рівнянь для кожного з заданих значень швидкості:

$$n_{необ} = \frac{Q_v[i] \cdot n_{ном}}{Q_{ном}}$$

де $n_{ном}$ - номінальна частота обертання вентилятора;

$Q_{ном}$ - кількість охолоджуючого повітря для номінального режиму.

Якщо машина постійного струму 22 продовжує працювати, то повторюється цикл вимірювання за допомогою датчиків і т.д.

Для припинення роботи охолоджуємої машини 22 вимикають приводний асинхронний двигун 33, для чого натискають на кнопку 44.

Вимикають збудження машини постійного струму 22, вимкнувши для цього автоматичний вимикач 10.

Асинхронний двигун 8 з вентилятором 9 на його валу продовжує працювати з попередньою частотою обертання, охоложуючи непрацюючу машину постійного струму 22 на протязі 5 хвилин для її повного охолодження. Після 5 хвилин роботи асинхронний двигун 8 зупиняється. Для цього від'єднується від мережі перетворювач частоти 3 натисканням кнопки 46.

На наступному кроці вимикають автоматичні вимикачі 2, 10, 25, 37, 52, позбавляючи цим живлення перетворювач частоти 3, тиристорні регулятори напруги 11 й 26 та схеми керування. Потім для відключення пристрою від джерела живлення вимикають автоматичний вимикач 1.

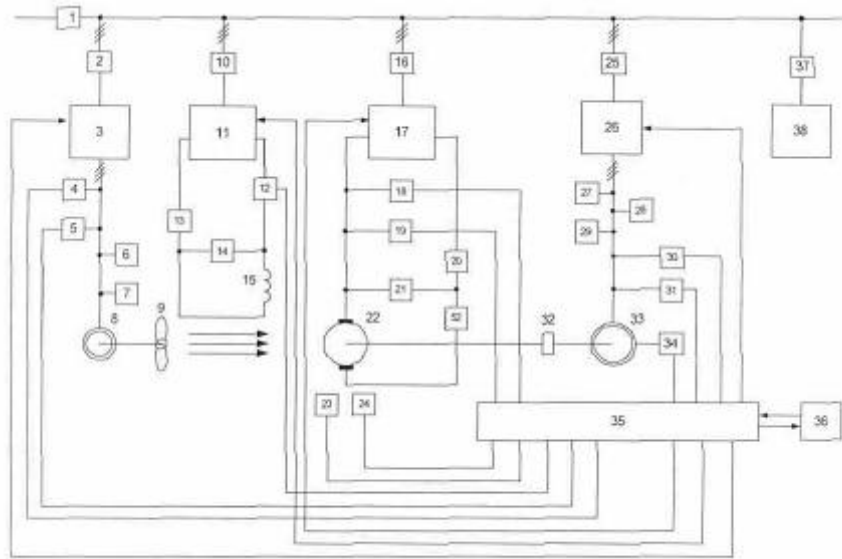


Fig. 1

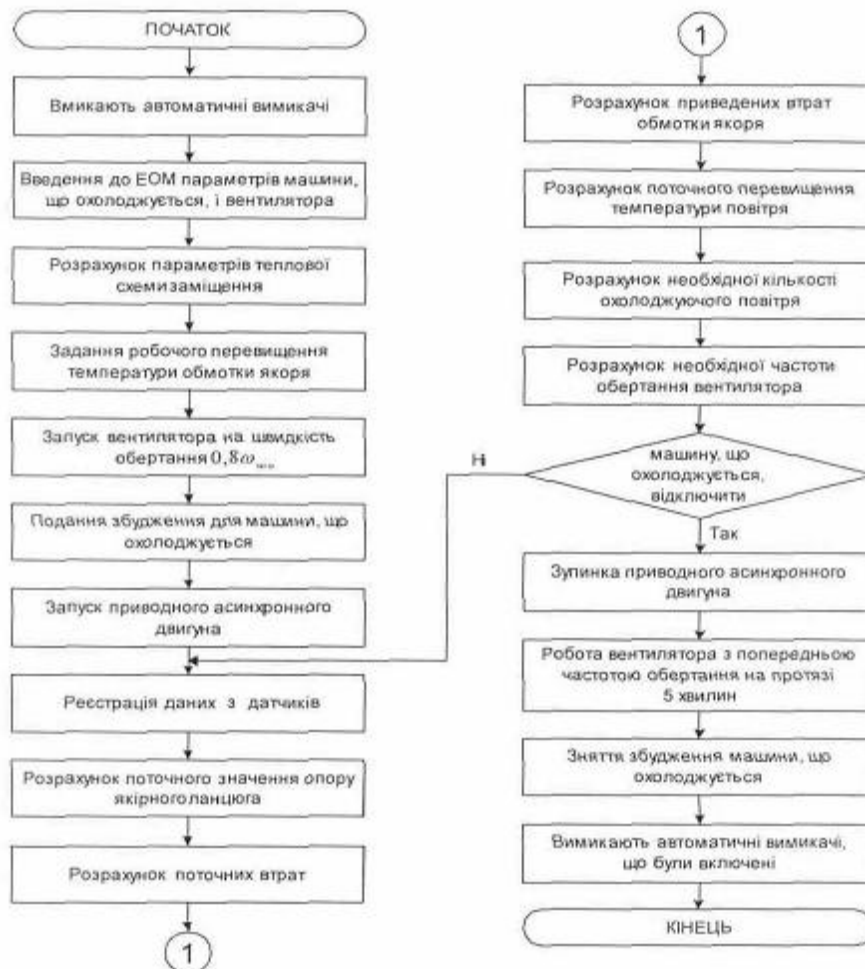


Fig. 2

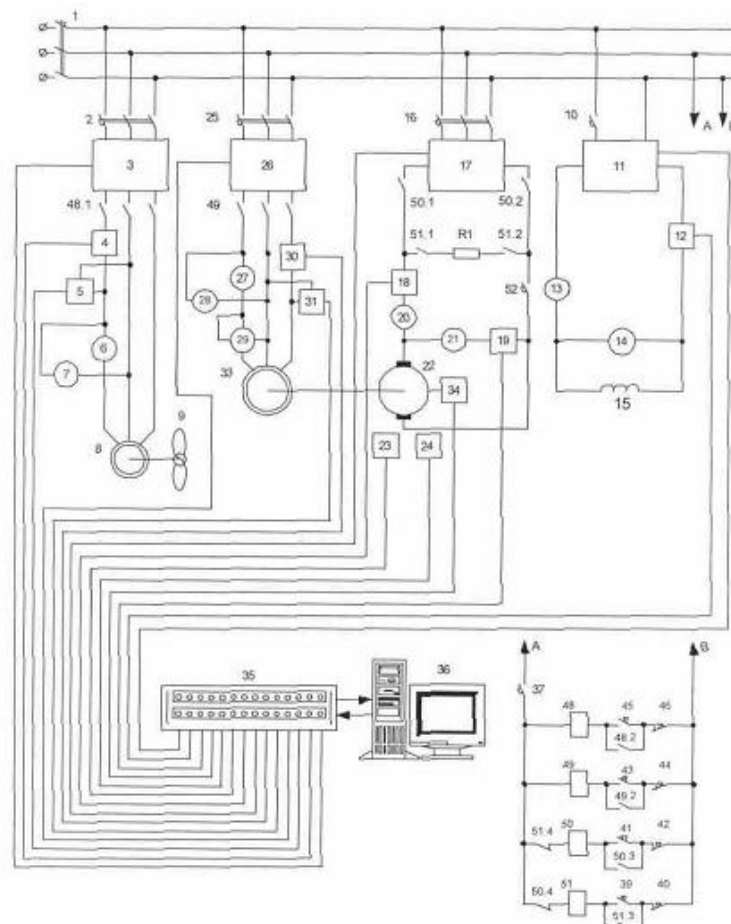


Fig. 3

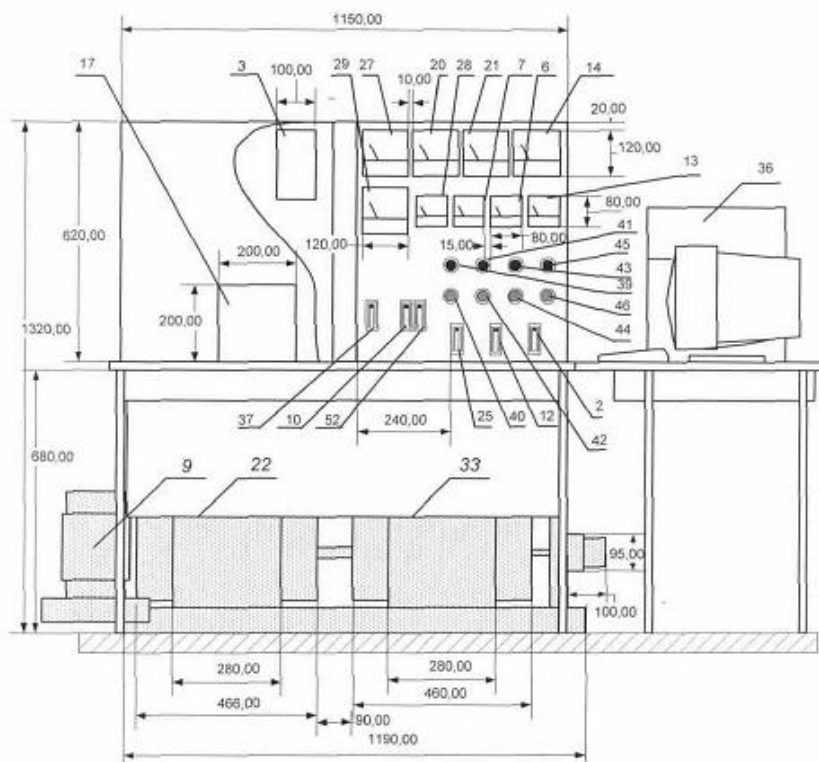
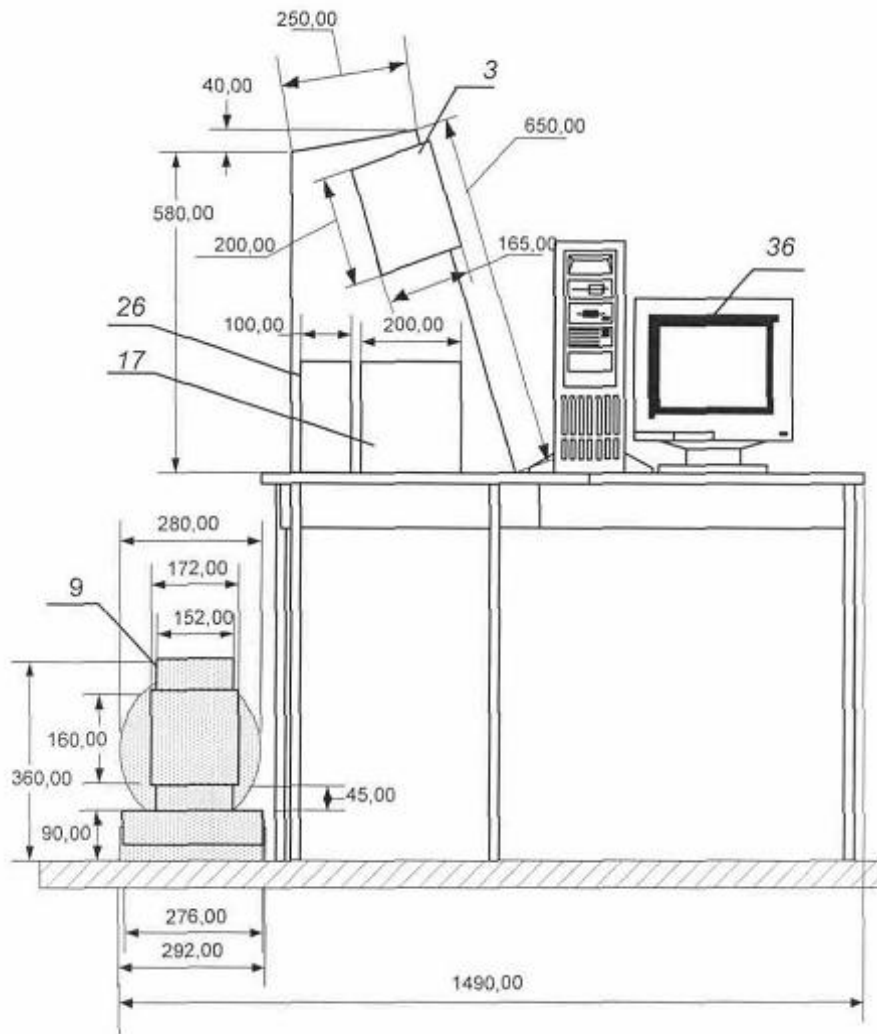


Fig. 4



Фіг. 5