

Вінницький національний технічний університет  
Магістерська кваліфікаційна робота

Методи та засоби технічної діагностики  
тягового електродвигуна

Виконав ст. гр. ЕПА-14м:  
Гоноровський В. В.

Науковий керівник к.т.н. доц.:  
Розводюк М. П.

Вінниця 2015

## Мета, предмет, об'єкт та задачі дослідження

**Мета дослідження** : підвищення надійності технічного стану тягового двигуна.

### **Задачі дослідження :**

- 1) проаналізувати методи та засоби діагностики тягових двигунів;
- 2) розробити математичні моделі, придатні для визначення ресурсу тягового електродвигуна;
- 3) розробити структуру пристрою визначення ресурсу тягового двигуна.

**Об'єктом дослідження** в роботі є процеси нагріву в обмотках тягового електродвигуна.

**Предметом дослідження** є математичні моделі для вдосконалення методів оцінки ресурсу тягового електродвигуна.

# Класифікація методів і засобів діагностування тягового електродвигуна



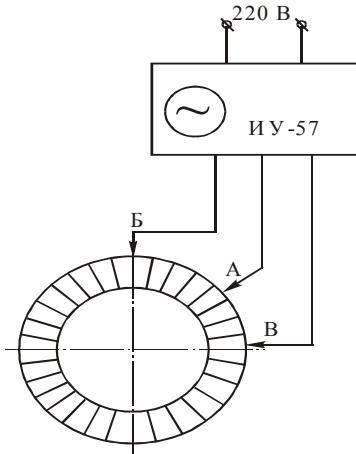
Класифікація відмов тягового електродвигуна

# Класифікація методів і засобів діагностування тягового електродвигуна

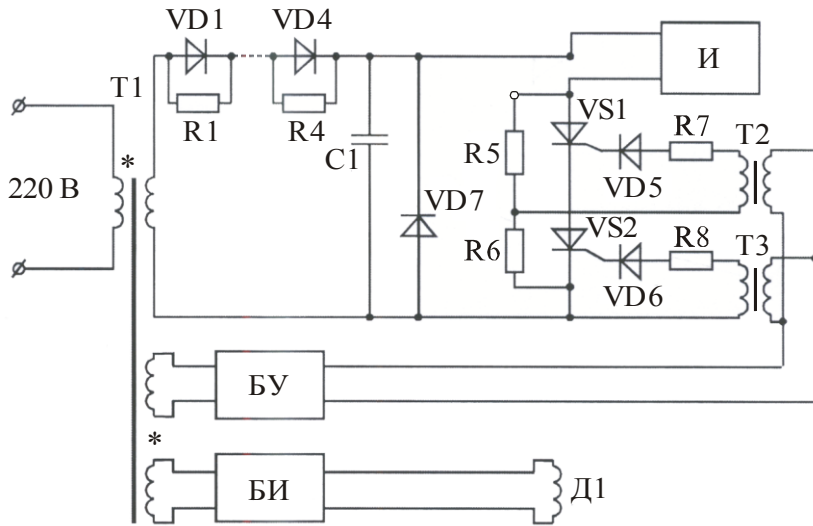


Методи неруйнівних випробувань для виявлення дефектів ізоляції

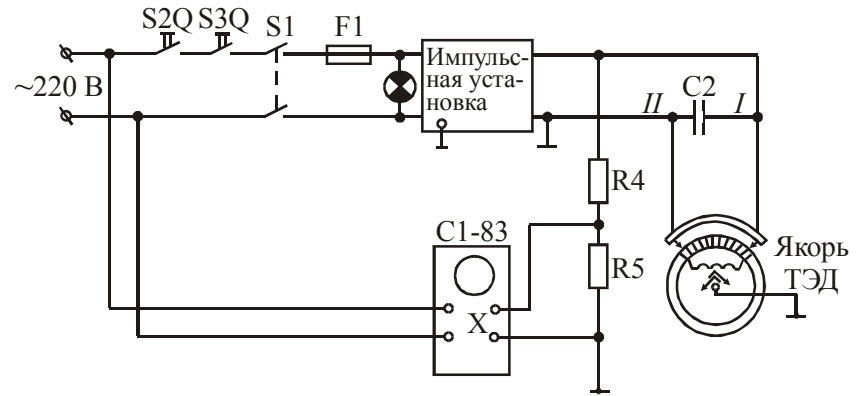
# Класифікація методів і засобів діагностування тягового електродвигуна



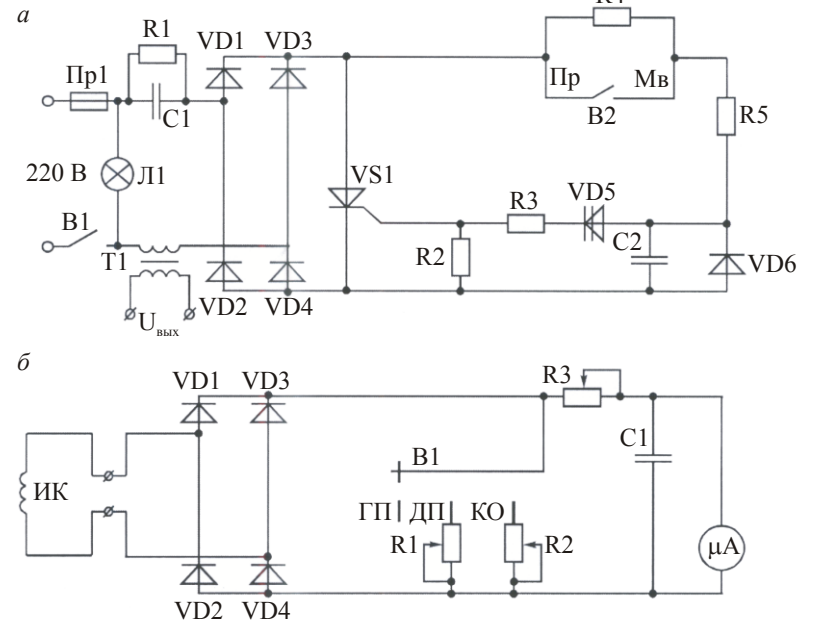
Дослідження якоря на імпульсній установці



Пристрою для визначення наявності міжвиткових замикань в обмотці якоря



Імпульсна установка А-1840 ПКБ ЦТ



Пристрої для визначення міжвиткових замикань в полюсних катушках

# Математична модель для діагностування тягового електродвигуна

Значення ресурсу

$$R = R_{0я} \cdot 2^{-\frac{\vartheta}{\Delta\vartheta_{я}}} + R_{0п} \cdot 2^{-\frac{\vartheta}{\Delta\vartheta_{п}}} + R_{в} \cdot 2^{-\frac{L}{L_{д}}}, \quad (5.1)$$

Перегрів якоря

$$\Delta\vartheta_{я} = \vartheta'_{п} + \vartheta_{в.п} - \vartheta_{кл.із}, \quad (5.2)$$

Нагрів якоря

$$\vartheta'_{п} = \frac{P_{М} \left( 1 + \frac{\alpha}{\lambda \cdot p'} \cdot \left( t_1 + \frac{m_k \cdot \pi \cdot d_k}{2 \cdot Z} \right) \right) + P_{с} \left( 1 - \frac{\alpha}{\lambda \cdot p'} \cdot t_1 \cdot \frac{0.5\sigma}{l_{\alpha}} \right)}{\alpha \cdot \left( \pi \cdot D_{\alpha} (l_{\alpha} + 0.5\sigma) + \frac{m_k \cdot \pi \cdot d_k}{2} \cdot l_{\alpha} \right)} k' \quad (5.3)$$

Перегрів полюсів

$$\Delta\vartheta_{п} = \vartheta''_{п} + \vartheta_{в.п} - \vartheta_{н.с} \quad (5.4)$$

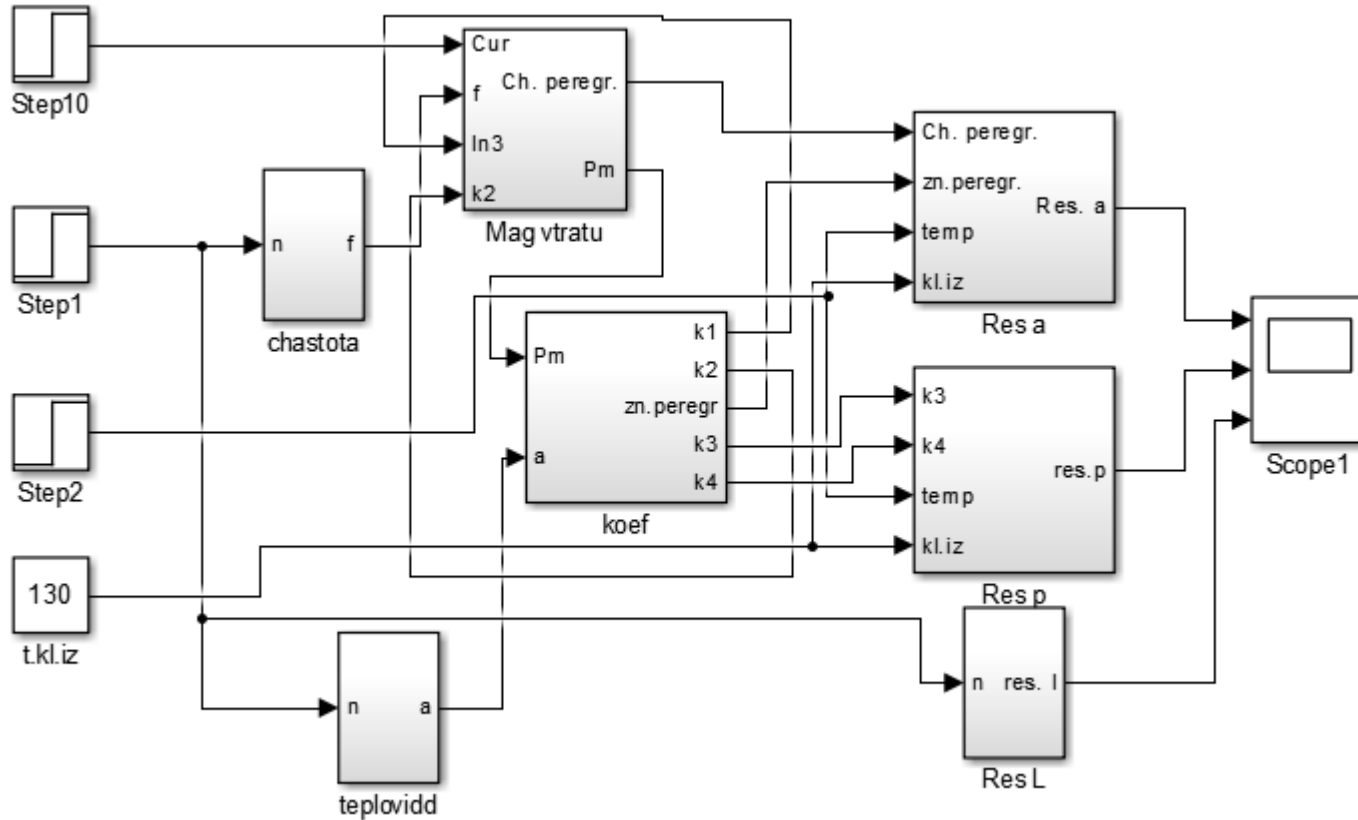
Нагрів полюсів

$$\vartheta''_{п} = \frac{P_{М}' \left( \frac{p''}{p} + \frac{\alpha'}{\lambda} \right)}{\alpha' \cdot p'' \cdot l_{ср}} \quad (5.5)$$

Віброприскорення

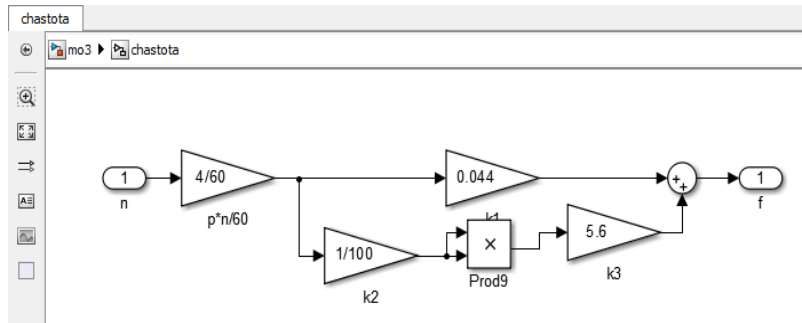
$$L_{д} = 10 \lg \left( \frac{N \cdot n^2}{l_s^2} \right) + \text{const.} \quad (5.6)$$

# Математична модель для діагностування тягового електродвигуна

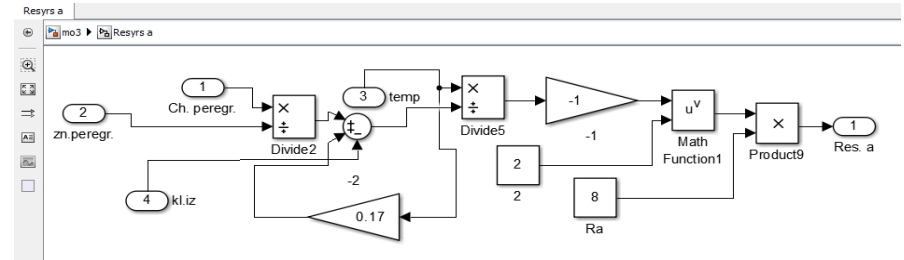


Структурна схема математичної моделі визначення залишкового ресурсу спрощена

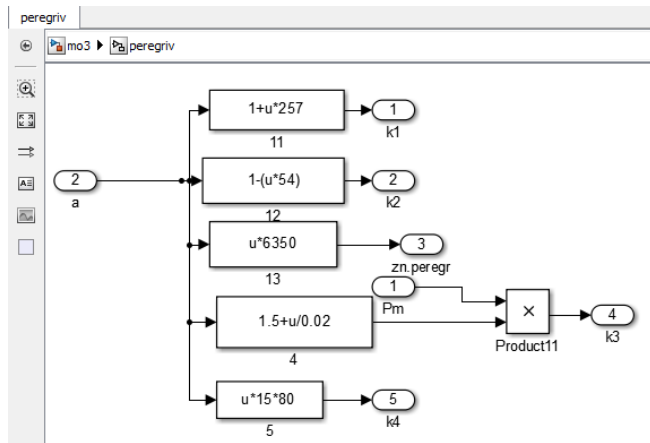
# Математична модель для діагностування тягового електродвигуна



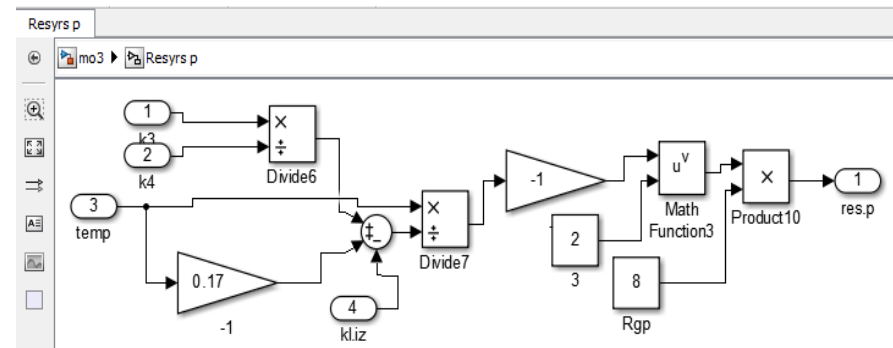
Структурна схема підсистеми визначення частоти



Структурна схема підсистеми визначення ресурсу якоря



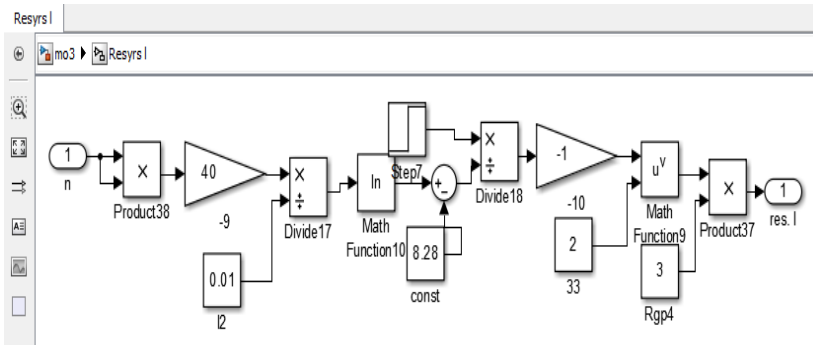
Структурна схема підсистеми визначення перегріву



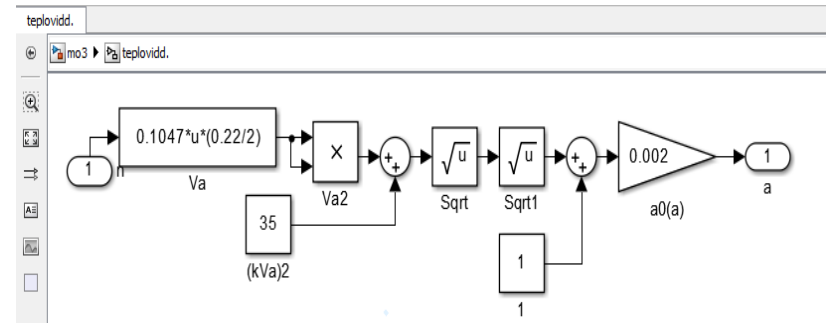
Структурна схема підсистеми визначення ресурсу полюсів



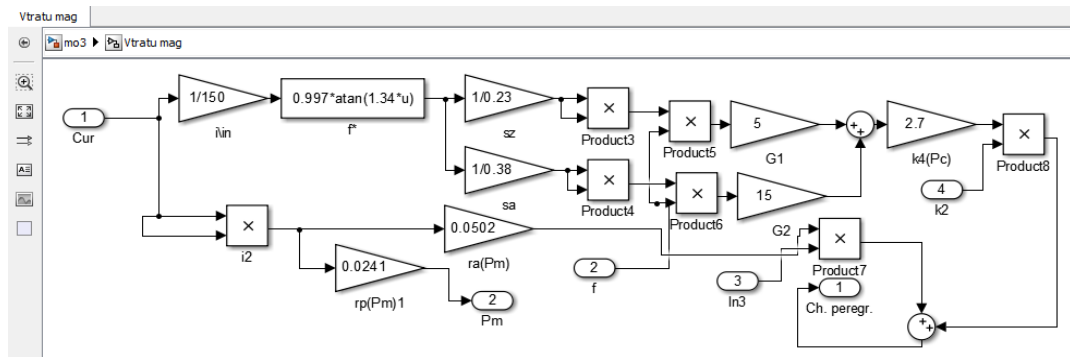
# Математична модель для діагностування тягового електродвигуна



Структурна схема підсистеми визначення вібрації

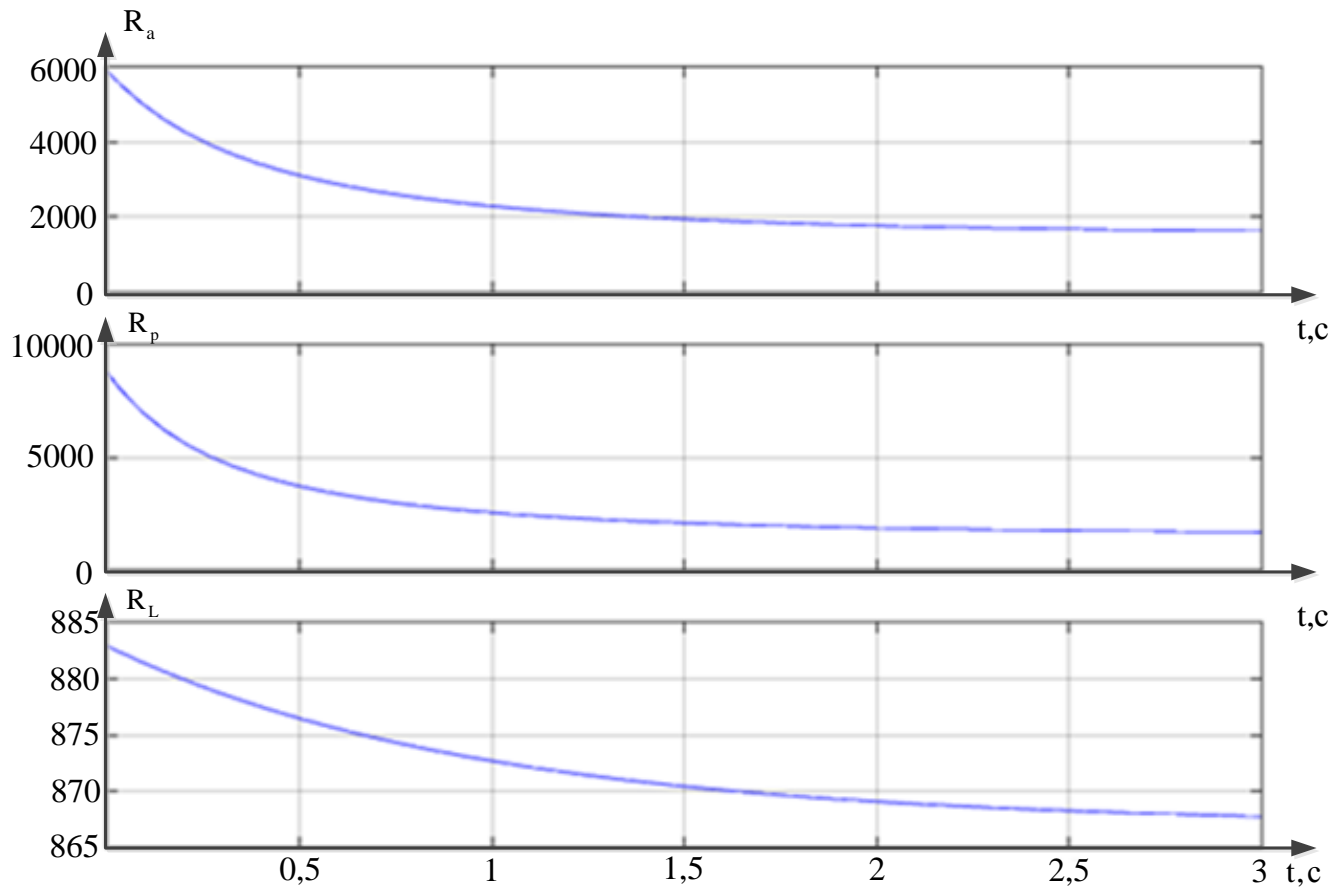


Структурна схема підсистеми визначення тепловіддачі



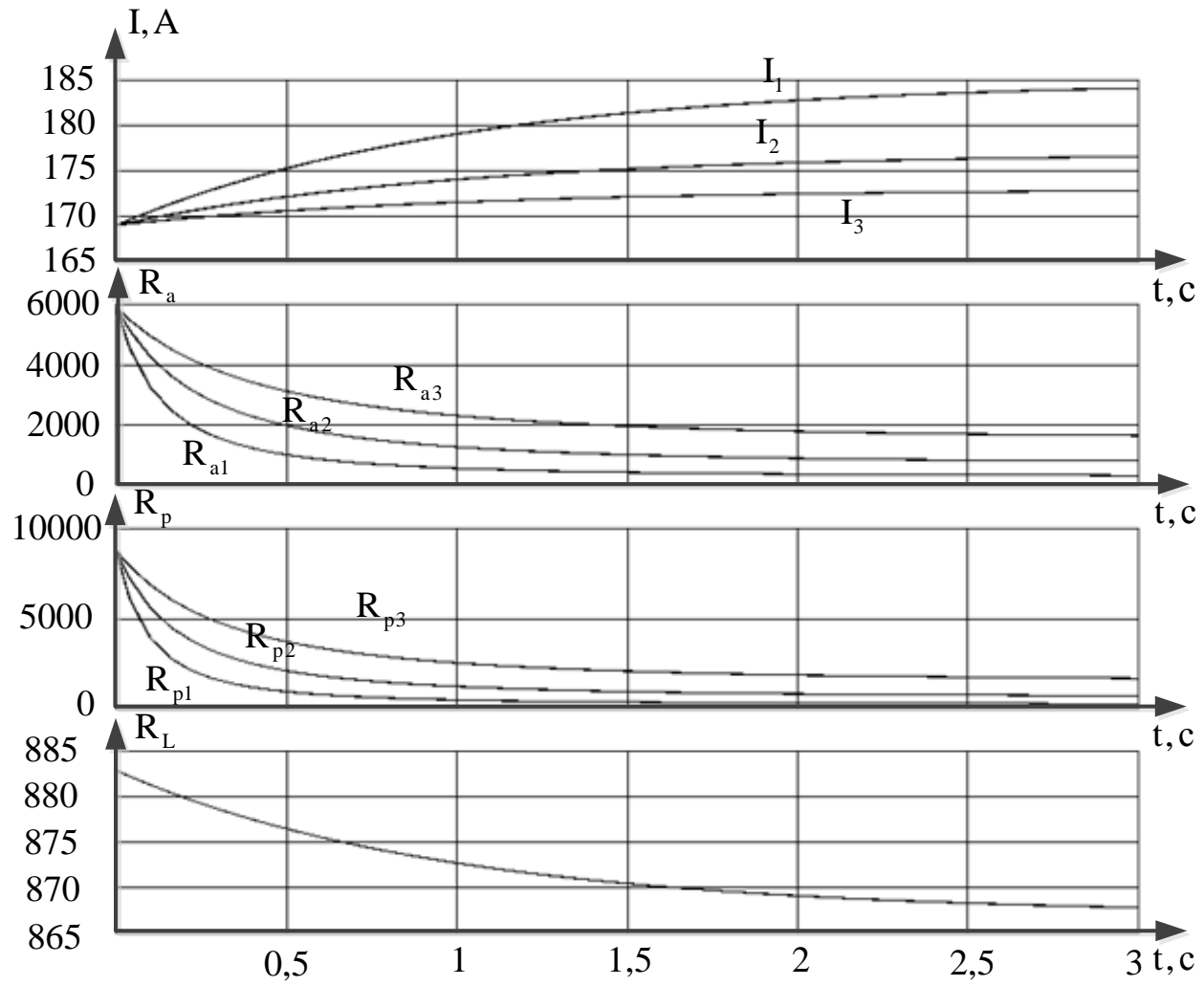
Структурна схема підсистеми визначення втрат на перемагнічення

# Перевірка адекватності математичної моделі



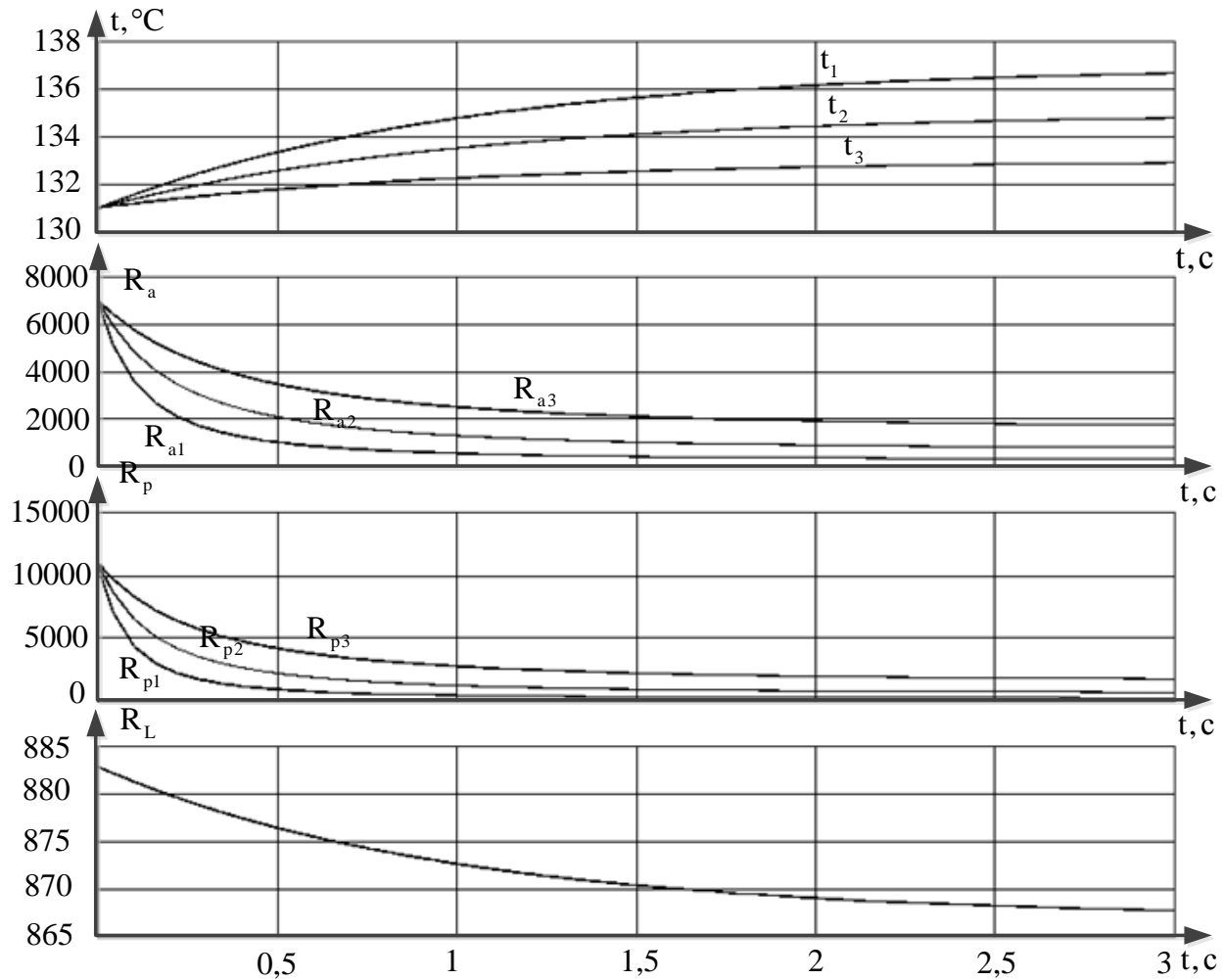
Зменшення ресурсу тягового двигуна, при параметрах, що перевищують «норму»

# Перевірка адекватності математичної моделі



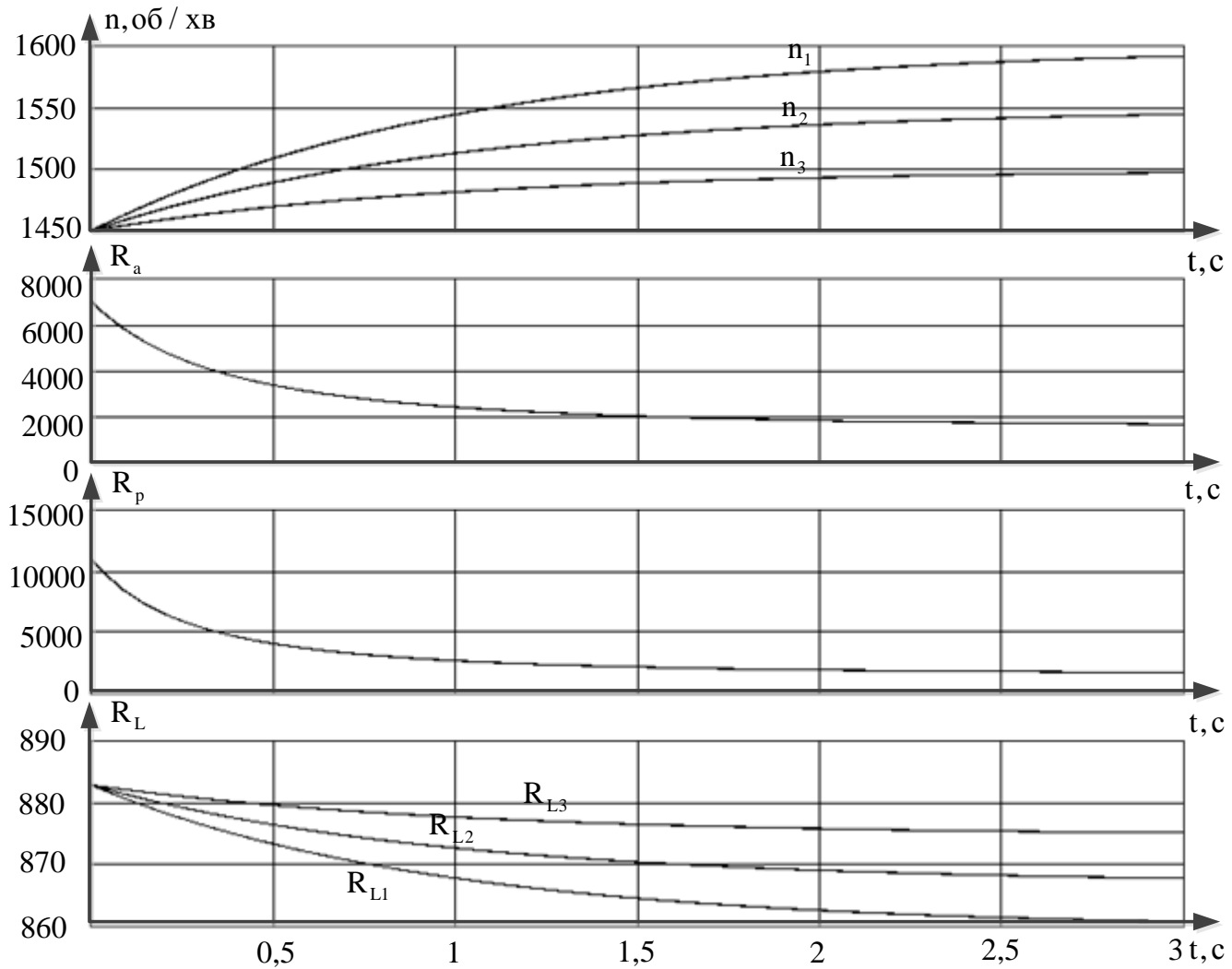
Залежність ресурсу якоря, полюсів та вібрації від струму, що протікає через двигун

# Перевірка адекватності математичної моделі



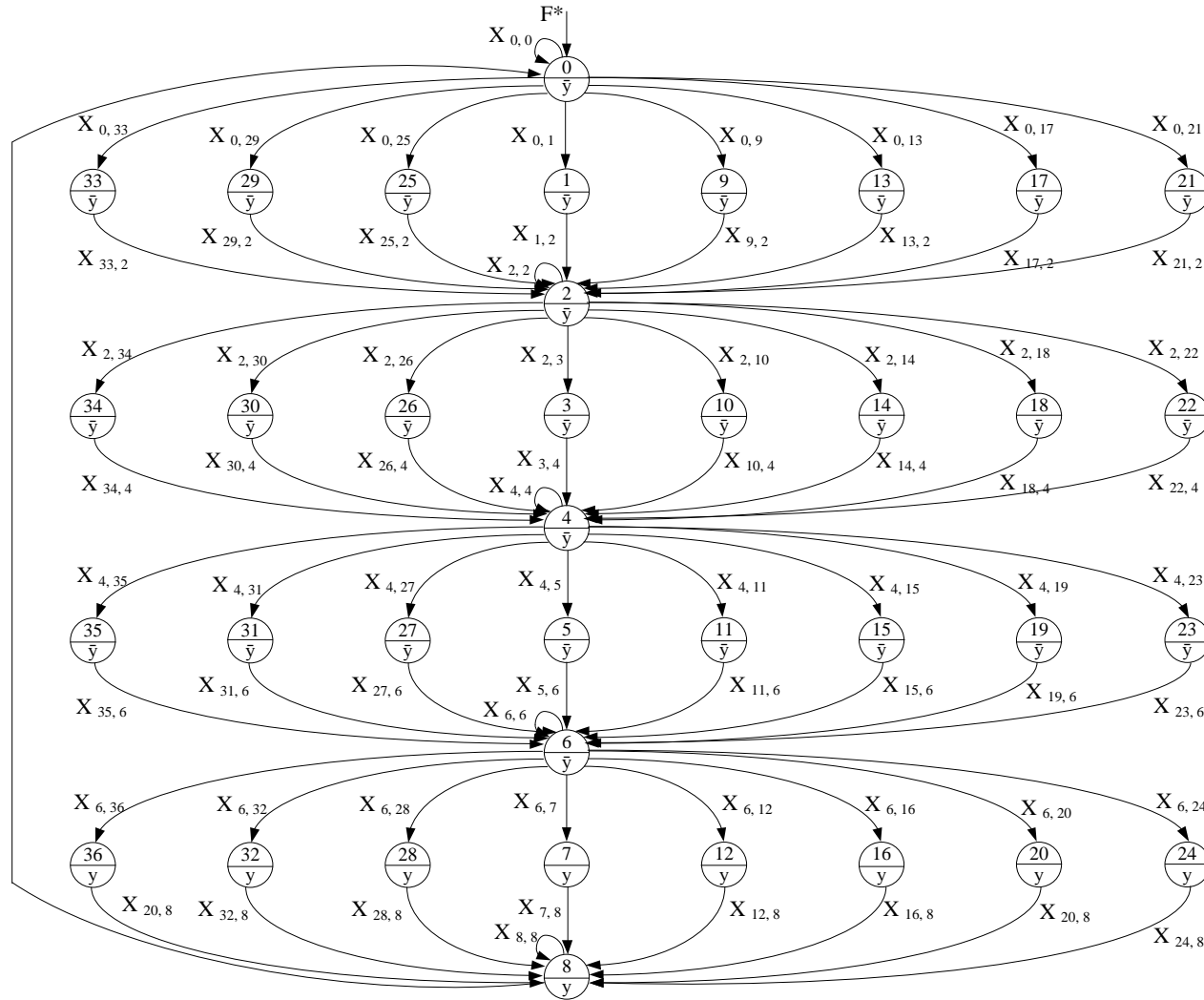
Залежність ресурсу якоря, полюсів та вібрації від температури

# Перевірка адекватності математичної моделі



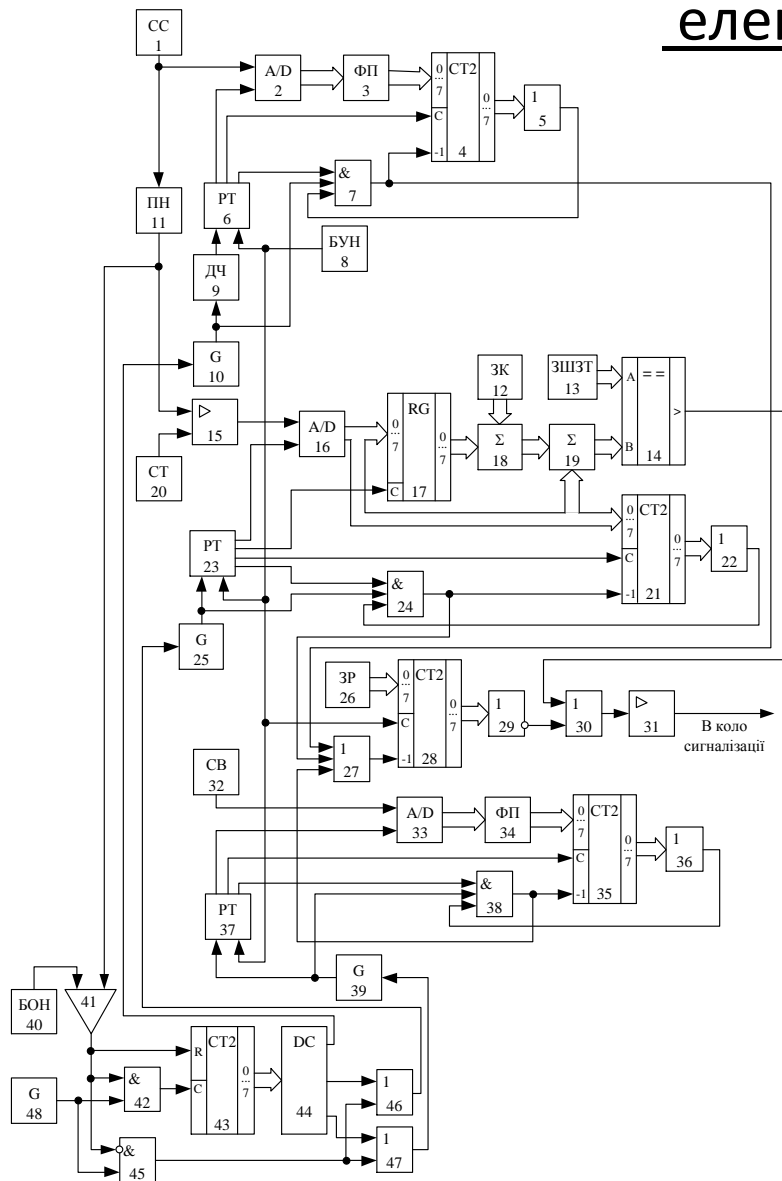
Залежність ресурсу якоря, полюсів та вібрації від обертів ротора двигуна

# Структура пристрою для діагностування тягового електродвигуна



Граф функціонування блока обчислення залишкового ресурсу системи діагностування тягового двигуна

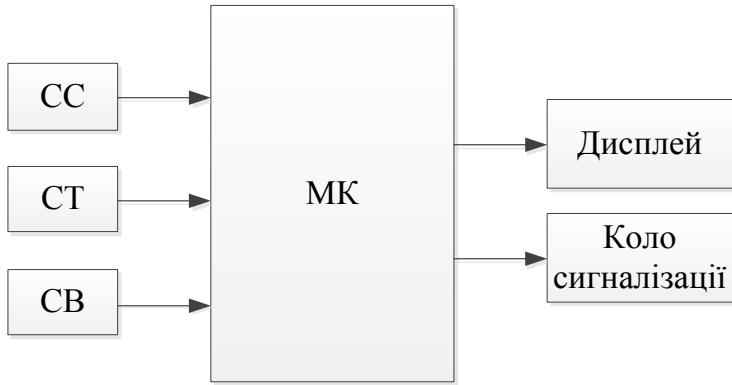
## електродвигуна



1 – сенсор температури; 2, 16, 33 – відповідно перший, другий і третій аналого-цифрові перетворювачі; 3, 34 – відповідно перший і другий функціональні перетворювачі; 4, 21, 35, 43 – відповідно перший, другий, третій і четвертий лічильники імпульсів; 5, 22, 27, 30, 36, 46, 47 – відповідно перший, другий, третій, четвертий, п’ятий, шостий та сьомий логічні елементи АБО; 6, 23, 37 – відповідно перший, другий і третій розподільники тактів; 7, 24, 38, 42, 45 – відповідно перший, другий, третій, четвертий і п’ятий логічні елементи І; 8 – блок установки нуля; 9 – діляник частоти; 10, 25, 39, 48 – відповідно перший, другий, третій і четвер генератори імпульсів; 11 – перетворювач напруги; 12 – задавач коду; 13 – задавач швидкості зміни температури; 14 – цифровий компаратор; 15 – диференціальний підсилювач; 17 – регістр з інверсними виходами; 18, 19 – перший і другий суматори відповідно; 20 – сенсор температури; 26 – задавач ресурсу двигуна; 28 – двійковий лічильник ресурсу; 29 – логічний елемент АБО-НІ; 31 – підсилювач сигналу; 32 – сенсор вібрації; 40 – блок опорної напруги; 41 – компаратор; 44 – дешифратор

Структурна схема системи діагностування тягового електродвигуна

# Мікропроцесорна реалізація пристрою для діагностування тягового електродвигуна



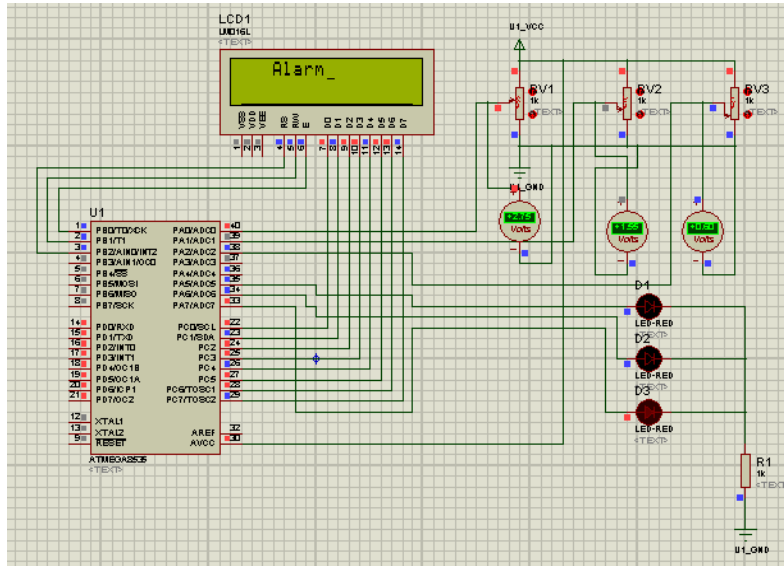
Структурна схема пристрою

Алгоритм роботи пристрою діагностики тягового двигуна





# Програма контролера



```

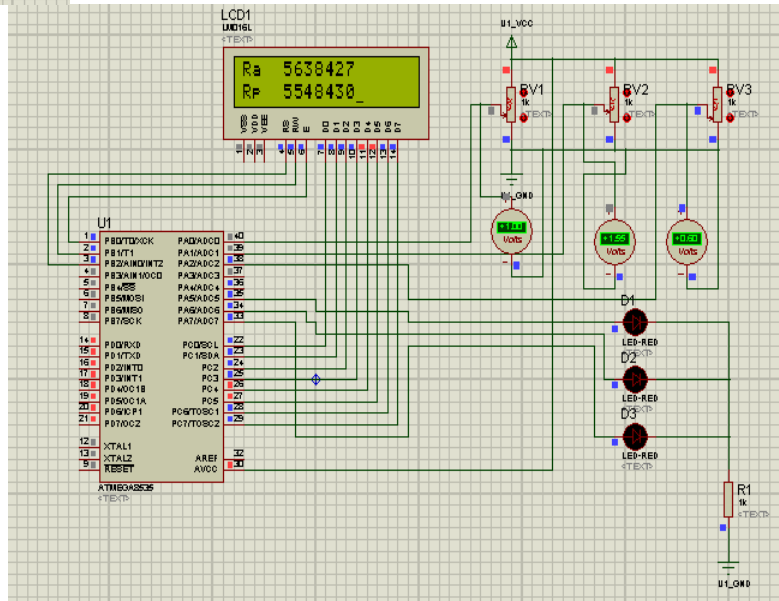
2
#include <iom8535.h>
#include <delay.h>
#include <LCD Atmel 8 bit.h>
void main(void)
{
  long int cc,ccl,vv,tt,c1,c,t1,v,t2,dt,Ra=630000,Rp=630000;
  int dtmax=18,end;
  LCD_Init();
  DDRA=0xFF;
  PORTD=0xFF;
  DDRD=0x00;
  DDRC=0xFF;
  while(1)
  {
    ADMUX=0x40;
    ADCSRA=0x8F;
    Delay_ms(100);
    ADCSRA|=0x40;
    while((ADCSRA&0x10)==0);
    t1=ADC;
    ADMUX=0x41;
    ADCSRA=0x8F;
    Delay_ms(100);
    ADCSRA|=0x40;
    while((ADCSRA&0x10)==0);
    c=ADC;
  }
}

```

```

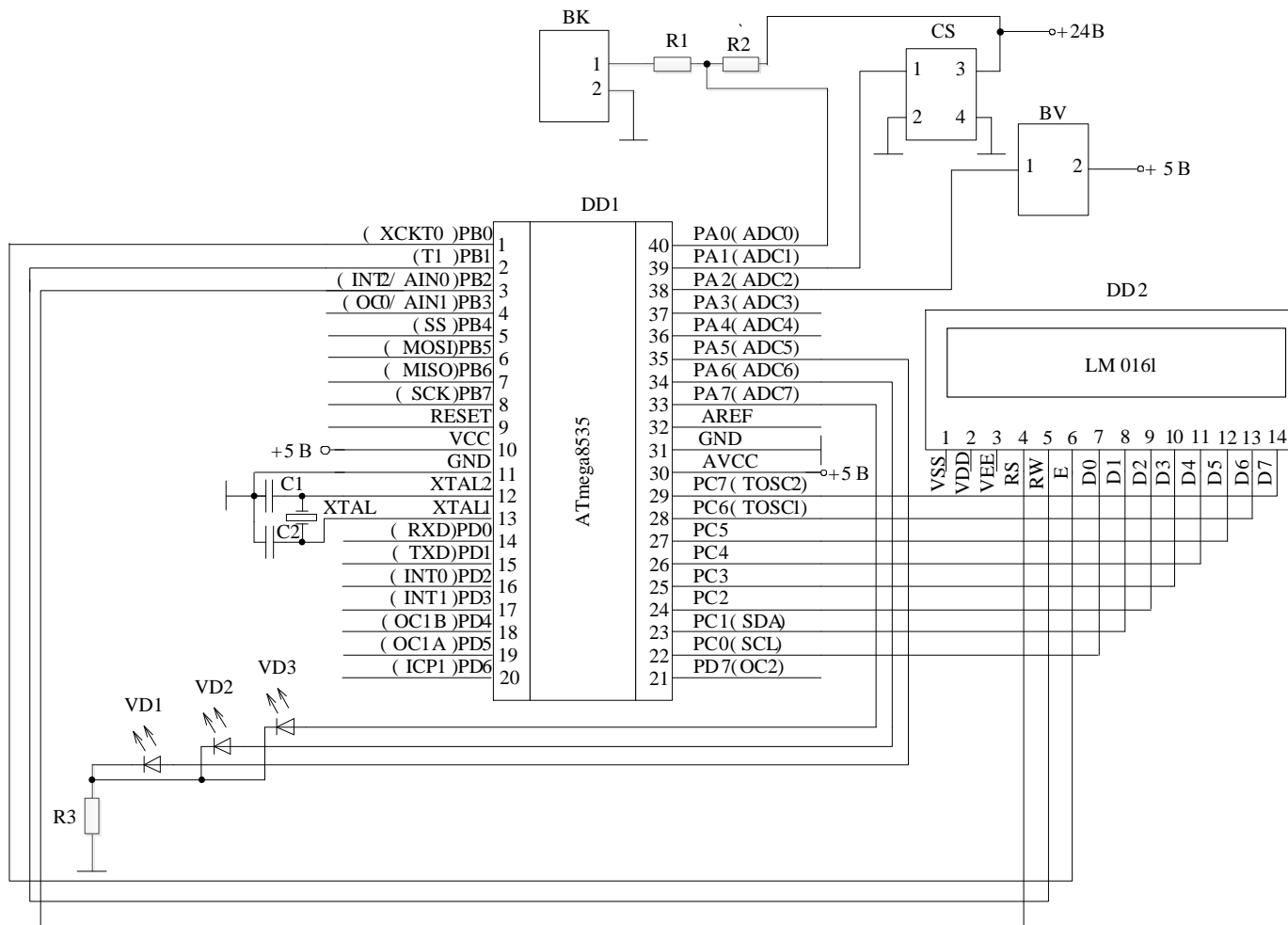
2
Delay_ms(1000);
Ra=Ra-(c+t2+v);
Rp=Rp-(c1+t2+v);
if(Ra<0)
{end=2;
Ra=0;}
if(Rp<0)
{end=3;
Rp=0;}
Display_String(0x00,"Ra",10);
Display_String(0x40,"Rp",10);
Display_Int_Var(0x03,Ra);
Display_Int_Var(0x43,Rp);
if(end==1||end==2||end==3)
{
  while(1)
  {
    Display_String(0x00,"",1);
    Display_String(0x40,"",1);
    Display_String(0x03,"Alarm",1);
    while(end==1)
    {PORTA=0x80;}
    while(end==2)
    {PORTA=0x40;}
  }
}

```



Написання програми та перевірка її працездатності

# Мікропроцесорна реалізація пристрою для діагностування тягового електродвигуна

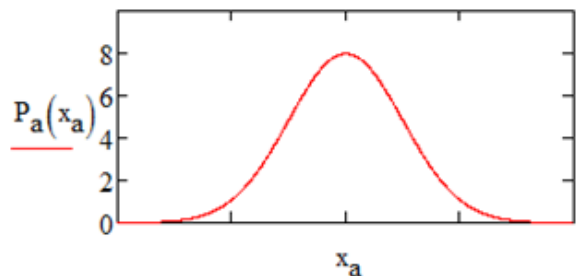


Принципова електрична схема пристрою визначення ресурсу тягового електродвигуна

# Оцінка похибок першого та другого роду

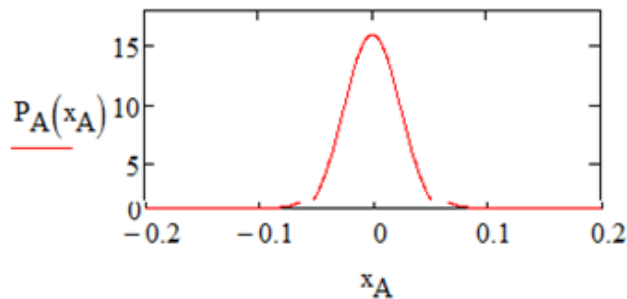
Закон розподілу

$$P_a(x_a) := \frac{1}{S_a \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left[ \frac{-(x_a - M_a)^2}{2 \cdot S_a^2} \right]$$



Закон розподілу похибки

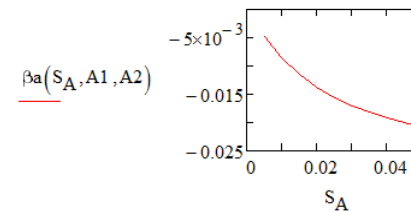
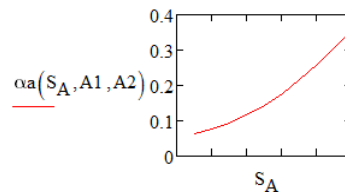
$$P_A(x_A) := \frac{1}{S_A \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left[ \frac{-(x_A - M_A)^2}{2 \cdot (S_A)^2} \right]$$



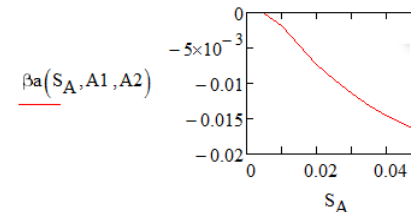
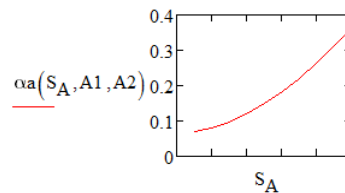
+

$S_A := 0.005, 0.01 \dots 0.05$

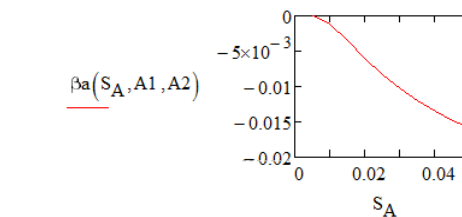
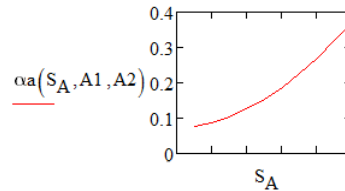
При  $M_A = 0$      $A1 := \Delta - M_A = 0.1$      $A2 := -K \cdot \Delta - M_A = -0.1$



$M_A := 0.01$      $A1 := \Delta - M_A = 0.09$      $A2 := -K \cdot \Delta - M_A = -0.11$



$M_A := 0.0125$      $A1 := \Delta - M_A = 0.088$      $A2 := -K \cdot \Delta - M_A = -0.113$



# Наукова новизна та практичне значення результатів дослідження

## **Наукова новизна:**

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі отримано такі наукові результати:

1) удосконалено існуючу математичну модель для визначення залишкового ресурсу тягового двигуна, яка, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати вплив температури обмоток якоря, збудження та додаткових полюсів, швидкість зміни цієї температури, а також вплив струму й вібрації;

2) синтезована структура системи технічної діагностики тягового електродвигуна на основі запропонованої математичної моделі з використанням розробленої секвенційної моделі, яка, на відміну від існуючих, враховує такі параметри, як струм, температуру, швидкість зміни температури та вібрацію.

**Практичне значення одержаних результатів.** Використання одержаних результатів дозволить підвищити ефективність визначення технічного стану тягового електродвигуна за рахунок наявності можливості в реальному часі здійснювати контроль його залишкового ресурсу, спланувати необхідні ремонтні роботи, зменшити ймовірність виходу з ладу електродвигуна, тобто зупинки технологічного процесу, а як наслідок – збільшити надійність перевезення вантажу чи пасажирів.

Дякую за увагу