

**Паскаль-программа  
“Расчет рабочих характеристик асинхронного двигателя”**

{Эта Паскаль-программа обеспечивает расчет рабочих характеристик асинхронного двигателя.

Исходные данные (см. табл. 9.36, с.467, [1]), принятые для примера, считываются из файла AD\_Inp.txt

Файл AD\_Inp.txt редактируется студентом–пользователем в соответствии с данными своего расчета (см. текст на с. 6 и список ввода в операторе read).

Результаты расчета помещаются в файл AD\_Out.txt (см. с. 4).

Результаты расчета для построения графиков помещаются в файл AD\_Gr.dat (см. с. 5 и с. 6).

Файлы AD\_Out.txt и AD\_Gr.dat создаются турбосредой и автоматически помещаются C:\AD .

Обозначения физических величин, которые приняты в учебной литературе [1] и в Паскаль-программе, совпадают}

{Руководство пользователю приведено на страницах 6, 4 и 5}

const n = 7;
type vector = array[1..n] of real;
var P2n, U1n, I1n, Pct, Pmex, Pdob_n, I0a, I0p, r1, r2_sht,
c1, a_sht, a, b_sht, b, sn : real;
i, p : integer;
s, R, X, Z, I2_2sht, cos_fi2_sht, sin_fi2_sht, I1a, I1p, I1,
I2_1sht, P1, Pe1, Pe2, Pdob, sum_P, P2, kpd, cos_fi : vector;
f1, f2, f3 : text;
begin
assign(f1,'c:\RX_AD_dn.dat'); reset(f1);
assign(f2,'c:\RX_AD_tb.txt'); rewrite(f2);
assign(f3,'c:\RX_AD_gr.dat'); rewrite(f3);
{Ввод и печать исходных данных}
read(f1, P2n, U1n, I1n, Pct, Pmex, I0a, I0p, r1, r2_sht,
c1, a_sht, a, b_sht, b, sn); s[n] := sn;
for i:=1 to n-1 do read(f1,s[i]);
writeln(f2,'                  Результаты расчета рабочих характеристик');
writeln(f2,'                  асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором');
writeln(f2);
writeln(f2,'                  1. Исходные данные');
writeln(f2);
writeln(f2,' P2n = ',P2n:4:2,' кВт;',' U1n = ', U1n:3:0,' В;','
' I1n = ',I1n:4:2,' А;');
writeln(f2);
writeln(f2,' Pct = ',Pct:5:3,' кВт;',' Pmex = ',Pmex:5:3,' кВт;');
writeln(f2);
writeln(f2,' I0a = ',I0a:5:3,' А;',' I0p = ',I0p:5:3,' А;','
' r1 = ',r1:5:3,' Ом;',' r2` = ',r2_sht:5:3,' Ом;');
writeln(f2);
writeln(f2,' c1 = ',c1:5:3,';',' a` = ',a_sht:5:3,' Ом;',' a = ',a:5:3,' Ом;');
writeln(f2);
writeln(f2,'                  b` = ',b_sht:5:3,
' Ом;',' b = ',b:5:3,' Ом;',' s_ном = ',sn:5:3);
writeln(f2);
writeln(f2,'                  2. Результаты расчета (см. таблицу 9.36 на с. 467 [Л.1]);');
{Расчет рабочих характеристик}
for i := 1 to n do begin
R[i] := a + a_sht*r2_sht/s[i];
X[i] := b + b_sht*r2_sht/s[i];
Z[i] := sqrt(sqr(R[i]) + sqr(X[i]));
I2_2sht[i] := U1n/Z[i];
cos_fi2_sht[i] := R[i]/Z[i];
sin_fi2_sht[i] := X[i]/Z[i];
I1a[i] := I0a + I2_2sht[i] * cos_fi2_sht[i];

I1p[i] := I0p + I2_2sht[i] * sin_fi2_sht[i];
I1[i] := sqrt(sqrt(I1a[i]) + sqrt(I1p[i]));
I2_1sht[i] := c1 * I2_2sht[i];
P1[i] := 3 * U1n * I1a[i] * 0.001;
Pe1[i] := 3 * sqrt(I1[i]) * r1 * 0.001;
Pe2[i] := 3 * sqrt(I2_1sht[i]) * r2_sht * 0.001;
{Pdob[i] := Pdob_n * sqrt(I1[i]/I1n); }
Pdob[i] := 0.005 * P1[i];
sum_P[i] := Pct + Pmex + Pe1[i] + Pe2[i] + Pdob[i];
P2[i] := P1[i] - sum_P[i];
kpd[i] := 1 - (sum_P[i]/P1[i]);
cos_fi[i] := I1a[i]/I1[i]
end;
{Печать таблицы 9.36, с.467, [1]}
write(f2, ' ');
for i := 1 to n do write(f2, ' '); writeln(f2);
write(f2, ' Скольжение s = ');
for i := 1 to n do write(f2, 's[i]:5:3, '); writeln(f2);
write(f2, ' ');
for i := 1 to n do write(f2, ' '); writeln(f2);
write(f2, ' 3   R   Ом ');
for i := 1 to n do write(f2, R[i]:5:2, '); writeln(f2);
write(f2, ' ');
for i := 1 to n do write(f2, ' '); writeln(f2);
write(f2, ' 4   X   Ом ');
for i := 1 to n do write(f2, 'X[i]:5:3, '); writeln(f2);
write(f2, ' ');
for i := 1 to n do write(f2, ' '); writeln(f2);
write(f2, ' 5   Z   Ом ');
for i := 1 to n do write(f2, Z[i]:5:2, '); writeln(f2);
write(f2, ' ');
for i := 1 to n do write(f2, ' '); writeln(f2);
write(f2, ' 6   I2"   A ');
for i := 1 to n do write(f2, I2_2sht[i]:5:2, '); writeln(f2);
write(f2, ' ');
for i := 1 to n do write(f2, ' '); writeln(f2);
write(f2, ' 7   cos_fi2` - ');
for i := 1 to n do write(f2, 'cos_fi2_sht[i]:5:3, '); writeln(f2);
write(f2, ' ');
for i := 1 to n do write(f2, ' '); writeln(f2);
write(f2, ' 8   sin_fi2` - ');
for i := 1 to n do write(f2, 'sin_fi2_sht[i]:5:3, '); writeln(f2);
write(f2, ' ');
for i := 1 to n do write(f2, ' '); writeln(f2);
write(f2, ' 9   I1a   A ');
for i := 1 to n do write(f2, I1a[i]:5:2, '); writeln(f2);
write(f2, ' ');
for i := 1 to n do write(f2, ' '); writeln(f2);
write(f2, ' 10   I1p   A ');
for i := 1 to n do write(f2, I1p[i]:5:2, '); writeln(f2);
write(f2, ' ');
for i := 1 to n do write(f2, ' '); writeln(f2);
write(f2, ' 11   I1   A ');
for i := 1 to n do write(f2, I1[i]:5:2, '); writeln(f2);
write(f2, ' ');
for i := 1 to n do write(f2, ' '); writeln(f2);
write(f2, ' 12   I2`   A ');
for i := 1 to n do write(f2, I2_1sht[i]:5:2, '); writeln(f2);
write(f2, ' ');

```

for i := 1 to n do write(f2,'————','|—'); writeln(f2);
write(f2,' | 13 | P1      | кВт | ');
for i := 1 to n do write(f2,P1[i]:5:2,' | '); writeln(f2);
write(f2,' |————|————| ');
for i := 1 to n do write(f2,'————','|—'); writeln(f2);
write(f2,' | 14 | Pэ1      | кВт | ');
for i := 1 to n do write(f2,Pe1[i]:5:2,' | '); writeln(f2);
write(f2,' |————|————| ');
for i := 1 to n do write(f2,'————','|—'); writeln(f2);
write(f2,' | 15 | Pэ2      | кВт | ');
for i := 1 to n do write(f2,Pe2[i]:5:2,' | '); writeln(f2);
write(f2,' |————|————| ');
for i := 1 to n do write(f2,'————','|—'); writeln(f2);
write(f2,' | 16 | Pдоб      | кВт | ');
for i := 1 to n do write(f2,Pdob[i]:5:2,' | '); writeln(f2);
write(f2,' |————|————| ');
for i := 1 to n do write(f2,'————','|—'); writeln(f2);
write(f2,' | 17 | sum_P      | кВт | ');
for i := 1 to n do write(f2,sum_P[i]:5:2,' | '); writeln(f2);
write(f2,' |————|————| ');
for i := 1 to n do write(f2,'————','|—'); writeln(f2);
write(f2,' | 18 | P2        | кВт | ');
for i := 1 to n do write(f2,P2[i]:5:2,' | '); writeln(f2);
write(f2,' |————|————| ');
for i := 1 to n do write(f2,'————','|—'); writeln(f2);
write(f2,' | 19 | КПД      | - | ');
for i := 1 to n do write(f2,kpd[i]:5:3,' | '); writeln(f2);
write(f2,' |————|————| ');
for i := 1 to n do write(f2,'————','|—'); writeln(f2);
write(f2,' | 20 | cos_φ    | - | ');
for i := 1 to n do write(f2,cos_φ[i]:5:3,' | '); writeln(f2);
write(f2,' |————|————| ');
for i := 1 to n do write(f2,'————','|—'); writeln(f2);
writeln(f2);
writeln(f2,' МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ студенту-расчетчику по анализу результатов:');
writeln(f2,' 1) сравнить рассчитанное значение мощности P2 на валу двигателя');
writeln(f2,' (см. в таблице строку 18) с заданным значением P2 (см. Задание);');
writeln(f2,' 2) сравнить рассчитанные значения КПД и коэффициента мощности ');
writeln(f2,' (см. в таблице строки 19 и 20) с принятыми значениями (см. Задание).');
writeln(f2,' Если рассчитанные величины отличаются от заданных более чем на 15 %, ');
writeln(f2,' то необходимо внести коррективы в расчет и выполнить его еще раз. ');
writeln(f2);
writeln(f2,' © Copyright, кафедра “Электроснабжение и электрические машины”, МГАУ, Москва. ');
writeln(f2,' Паскаль-программу составил профессор Забудский Е.И., 10 сентября 2000 года');
{Формирование файла RX_AD_gr.dat для графической интерпретации}
for i := 1 to n-1 do
writeln(f3, P2[i]:6:3,' ', l1[i]:6:3,' ',kpd[i]:6:3,' ',cos_φ[i]:6:3,' ',s[i]:6:3);

close(f1);
close(f2);
close(f3);
end.

```

**Результаты расчета рабочих характеристик  
асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором**

(это содержимое файла **AD\_Out.txt**)

**1. Исходные данные**

$P_{2н} = 15.00$  кВт;  $U_{1н} = 220$  В;  $I_{1н} = 28.40$  А;  
 $P_{ст} = 0.369$  кВт;  $P_{мех} = 0.117$  кВт;  
 $I_{оа} = 0.520$  А;  $I_{ор} = 7.910$  А;  $r_1 = 0.355$  Ом;  $r_2' = 0.186$  Ом;  
 $c_1 = 1.025$ ;  $a' = 1.051$  Ом;  $a = 0.364$  Ом;  
 $b' = 0.000$  Ом;  $b = 1.650$  Ом;  **$s_{ном} = 0.024$**

**2. Результаты расчета** см. табл. 9.36 на с. 467 [Л.1]

Скольжение $s =$			0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.024
3	R	Ом	39.46	19.91	13.40	10.14	8.18	6.88	8.51
4	X	Ом	1.650	1.650	1.650	1.650	1.650	1.650	1.650
5	Z	Ом	39.50	19.98	13.50	10.27	8.35	7.08	8.67
6	$I_2''$	А	5.57	11.01	16.30	21.42	26.35	31.09	25.38
7	$\cos_{fi_2'}$	-	0.999	0.997	0.993	0.987	0.980	0.972	0.982
8	$\sin_{fi_2'}$	-	0.042	0.083	0.122	0.161	0.198	0.233	0.190
9	$I_{1a}$	А	6.09	11.49	16.70	21.66	26.35	30.76	25.44
10	$I_{1p}$	А	8.14	8.82	9.90	11.35	13.12	15.16	12.74
11	<b><math>I_1</math></b>	А	10.17	14.49	19.41	24.45	29.44	34.29	<b>28.45</b>
12	$I_2'$	А	5.71	11.29	16.71	21.95	27.01	31.87	26.02
13	$P_1$	кВт	4.02	7.59	11.02	14.30	17.39	20.30	16.79
14	$P_{\text{э}1}$	кВт	0.11	0.22	0.40	0.64	0.92	1.25	0.86
15	$P_{\text{э}2}$	кВт	0.02	0.07	0.16	0.27	0.41	0.57	0.38
16	$P_{\text{доб}}$	кВт	0.02	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.08
17	$\text{sum}_P$	кВт	0.63	0.82	1.10	1.46	1.90	2.41	1.81
18	<b><math>P_2</math></b>	кВт	3.38	6.77	9.92	12.83	15.49	17.89	<b>14.98</b>
19	<b>кпд</b>	-	0.842	0.892	0.900	0.898	0.891	0.881	<b>0.892</b>
20	<b><math>\cos_{fi}</math></b>	-	0.599	0.793	0.860	0.886	0.895	0.897	<b>0.894</b>

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ студенту-расчетчику по анализу результатов:

- 1) сравнить **рассчитанное** значение мощности  **$P_2$**  на валу двигателя (см. в таблице **строку 18**) с **заданным** значением  **$P_2$**  (см. Задание);
- 2) сравнить **рассчитанные** значения **КПД** и коэффициента мощности (см. в таблице строки 19 и 20) с **принятыми** значениями (см. Задание).

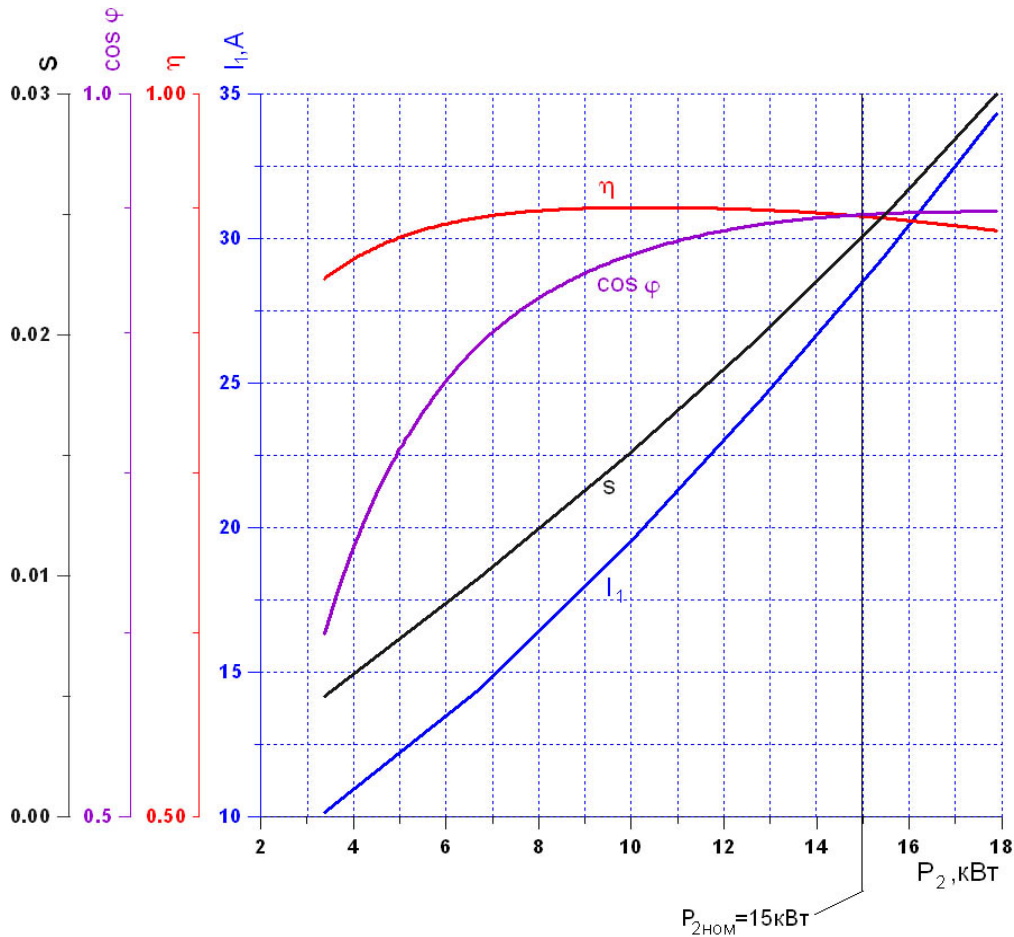
**Если рассчитанные величины отличаются от заданных более чем на 15 %, то необходимо внести коррективы в расчет и выполнить его еще раз.**

Рабочие характеристики асинхронного двигателя:  $I_1$ ,  $\eta$ ,  $\cos\varphi$ ,  $s = f(P_2)$ .

Значения номинальных величин:

$P_{2\text{НОМ}}=15$  кВт,  $U_{1\text{НОМ}}=220/380$  В,  $I_{1\text{НОМ}}=28,4$  А,  $\cos\varphi_{\text{НОМ}}=0,894$ ,  $\eta_{\text{НОМ}}=0,892$ ,  $s_{\text{НОМ}}=0,024$

(это графическая интерпретация содержимого файла [AD\\_Gr.dat](#) )



## Литература

1. **Проектирование электрических машин:** Учеб. пособие для вузов / Под ред. И.П. Копылова. – Москва: Высшая школа, 2002. – 757 с.
2. Забудский Е.И. Техническое задание и Методические рекомендации к курсовой работе **“Расчет асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором”**. – Москва: МГАУ. Кафедра Электроснабжение и электрические машины, 2000. – 3 с.

Порядок формирования файла `AD_Inp.txt` с исходными данными для расчета «Рабочих характеристик АД»

В файл `AD_Inp.txt` помещаются **только** 21 **значение** следующих 16-ти физических величин (значения отделяются друг от друга пробелом):

$P_{2ном}, U_{1ном}, I_{1ном}, P_{ст}, P_{мех},$ $I_{0a}, I_{0p}, r_1, r_2',$ $c_1, a', a, b', b,$ $S_{ном},$ $S = 0.005, 0.01, 0.015, 0.02, 0.025, 0.03$
Файл сохраняется с именем <code>AD_Inp.txt</code>

Текст файла `AD_Inp.txt`, соответствующий примеру расчета (см. табл. 9.36, с. 467 [1]), приводится ниже:

$15 \ 220 \ 28.4 \ 0.3695 \ 0.117$ $0.52 \ 7.91 \ 0.355 \ 0.186$ $1.025 \ 1.051 \ 0.364 \ 0 \ 1.65$ $0.024$ $0.005 \ 0.01 \ 0.015 \ 0.02 \ 0.025 \ 0.03$
--

<b>NB</b>	Для получения файла <code>AD_Inp.txt</code> со значениями величин, соответствующими конкретному Проекту, студенту необходимо внести в прилагаемый файл <code>AD_Inp.txt</code> соответствующие изменения
-----------	--

**Порядок выполнения студентом** расчета и анализа Рабочих характеристик асинхронного двигателя:<sup>1</sup>

1. **Расположить** выполнимый файл `RX_AD.exe` и **отредактированный** студентом файл исходных данных `AD_Inp.txt` `C:\AD` ;
2. **Запустить** файл `RX_AD.exe` на выполнение (это можно сделать двумя способами: 1) из среды Windows, 2) из командной строки);
3. В результате **создаются** файлы `AD_Out.txt` и `AD_Gr.dat`, которые помещаются автоматически `C:\AD`
4. **Открыть** файл `AD_Out.txt` в Блокнот'е. Для отображения кириллического текста **реализовать** шрифт Times New Roman. В этом файле содержится **Таблица** (см. с. 4), в которой размещены результаты расчета Рабочих характеристик. **Проанализировать** результаты в соответствии с Методическими указаниями, приведенными ниже **Таблицы**.
5. **Реализовать** файл `AD_Gr.dat`, в интерактивном пакете / zB., Grafer / для построения графиков (см. с. 5).

<sup>1</sup> **Примечание.** Автором файлы `RX_AD.exe` и `AD_Inp.txt` помещены в архивный файл `RX_AD.rar`.

Студенту необходимо:

- А.** Этот файл 1) **копировать** (см. гиперссылку [rx\\_ad.rar](#) на Web-странице Учебно-методического комплекса), 2) **сохранить** `C:\AD` ; и 3) **распаковать** `C:\AD` ;
- Б.** **Запустить** файл `RX_AD.exe` на выполнение и убедиться что **результаты расчета** (они в файле `AD_Out.txt`, для просмотра реализовать шрифт Times) полностью совпадают с результатами, приведенными в табл. 9.36, с. 467 [1].
- В.** Затем **отредактировать** файл `AD_Inp.txt` в соответствии с **данными выполненного студентом расчета**.
- Г.** Далее выполнить последовательно пункты 1, 2, ..., 5