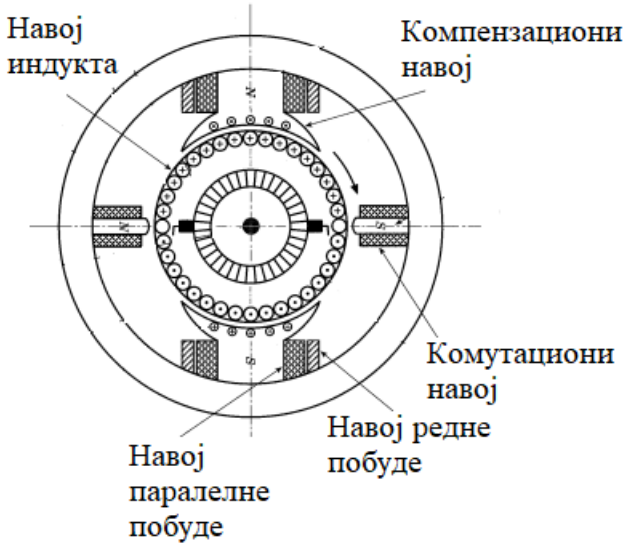
# 2. ИДЕНТИФИКАЦИЈА ПОЈЕДИНИХ НАВОЈА У МАШИНАМА ЈС, ПОБУЂИВАЊЕ ГЕНЕРАТОРА СА СЛОЖЕНОМ ПОБУДОМ И АНАЛИЗА КРИТИЧНЕ ВРЕДНОСТИ ОТПОРА ПАРАЛЕЛНЕ ПОБУДЕ И КРИТИЧНЕ БРЗИНЕ ОБРТАЊА

## 2.1 ТЕОРИЈСКИ ДЕО

На слици је приказан попречни пресек машине ЈС.




Врсте навоја:

1) Побудни навој
   a. Навој паралелне побуде
   b. Навој редне побуде
2) Навој индукта
3) Комутациони навој
4) Компензацио навој

**Правила о означавању крајева и спрезању машине за ЈС**

Ознаке крајева навоја су стандардизоване и то:

| Навој | Улазни крај нове ознаке | Излазни крај нове ознаке | Улазни крај старе ознаке | Излазни крај старе ознаке |
|---|---|---|---|---|
| Навој индукта | A1 | A2 | A | B |
| Комутациони навој | B1 | B2 | G | H |
| Компензациони навој | C1 | C2 | G | H |
| Навој редне побуде | D1 | D2 | E | F |
| Навој паралелне побуде | E1 | E2 | C | D |
| Навој независне побуде | F1 | F2 | J | K |

Сматра се да струја у навоју тече у позитивном смеру ако има смер од улазног ка излазном крају навоја.

Смер обртања се може одредити или са стране колектора или са стране ременице. Може бити десни (позитиван) или леви (негативан). **Ако се са стране ременице машина обрће у смеру кретања казаљке на сату онда се каже да машина има десни смер обртања (позитиван). У супротном случају има леви смер обртања (негативан).**

Правилан рад машине за ЈС је остварен у случају:

- ✓ Ако машина ради као мотор, обртаће се у десном смеру уколико у свим навојима машине струје теку у истом (позитивном или негативном смеру).
- ✓ Ако машина има улогу генератора, а струје у свим навојима машине теку у истом (позитивном или негативном) смеру, погонски мотор мора да обрће индукт у левом смеру да би се генератор побудио.

Значи, за рад машине потребно је посматрати 4 битне величине:

- смер струје кроз навој индукта ( A → B ), односно ( A1 → A2 );
- смер струје кроз навој главне побуде ( C → D ), односно ( E1 → E2 ) или ( F1 → F2 );
- функција машине ( мотор (+) или генератор (-) )
- смер обртања ( десни ( + ) или леви ( - ) ).

У случају да се једна од 4 битне величине промени долази до промене још једне величине (битне величине се мењају у пару – ПРАВИЛО ЧЕТИРИ ЧИНИОЦА).

Према начину везивања побудних навоја са навојем индукта, разликују се три врсте машина за једносмерну струју:

1. машине са редном побудом;
2. машине са оточном (паралелном) побудом;
3. машине са сложеном побудом.

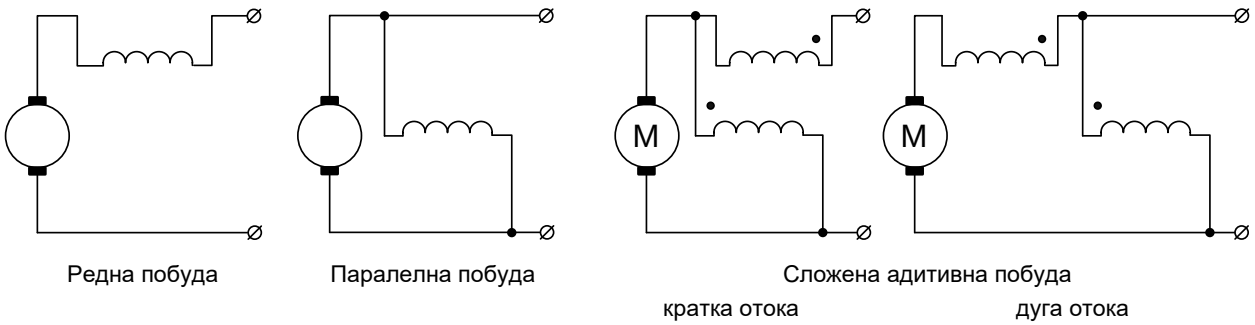
1. Код редног побуђивања побудни навој и навој индукта везани су на ред. При оваквом везивању струја индукта пролази и кроз побудни редни навој.

2 При оточном побуђивању побудни навој се везује паралелно са навојем индукта. Кроз навој тада протиче само део (2-5%) струје индукта. Ограничење струје оточне побуде постиже се великим отпором кола тог навоја (напон побуде и напон индукта су једнаки).

3 При сложеном побуђивању машина има и редни и оточни побудни навој који се сваки на свој начин везује са навојем индукта. Највећи део МПС ствара оточни навој и он представља главну побуду. Постоје два начина везивања оточног побудног навоја у односу на редни навој: директно на крајеве индукта (кратка отока) и на прикључне крајеве машине (дуга отока).

Оточни и редни навој могу бити везани тако да им се у заједничком побуђивању магнетног флукса МПС сабирају или одузимају. У првом случају ради се о компаундној машини са адитивном, а у другом случају о компаундној машини са диференцијалном побудом.

На следећој слици су приказани ови начини побуђивања машине за једносмерну струју:




*Слика 2.1: Начини побуђивања машине за једносмерну струју*

## 2.2 ЛАБОРАТОРИЈСКА ВЕЖБА

**Задатак вежбе:**

1) Одредити улазне и излазне крајеве свих навоја мерењем електричног отпора између њих и идентификовати којој врсти навоја припадају прикључци на прикључној плочи. Извршити њихово повезивање тако да образују сложену адитивну побуду, а затим извршити њихово повезивање на електричну мрежу.

2) Шта се дешава са самопобуђивањем генератора са паралелном побудом ако се:
а) повећава отпорност у колу паралелне побуде
б) смањује брзина обртања генератора.

Резултате је потребно представити табличним и графичким путем.

**Примењена метода и опис вежбе:**

За навој паралеле побуде карактеристично је то што има велики електрични отпор, тако да кроз његово електрично коло протиче електрична струја која износи (2-5)% вредности номиналне струје индукта. Овако велики отпор сам навој обично не може постићи, па се на ред са њим обично мора везати још и променљиви отпорник који једновремено служи и за регулацију јачине магнетног флукса главних магнетних полова. Ова врста навоја у машинама са компаундном побудом увек производи главну магнетопобудну силу, док редни навој производи само један део магнетопобудне силе у циљу промене карактеристика машина за једносмерну струју.

За навој редне побуде карактеристично је то што му је електрични отпор веома мали, реда величине отпора електричног кола индукта.

За навој независне побуде обично је карактеристичан велики електрични отпор, али то не мора бити увек случај. Галвански је одвојен од навоја индукта и напаја се из страног извора.

**Спецификација опреме и прибора за вежбу:**

Унимер:
Модел: Agilent U1232A
Напон: 600 V AC/DC

Стабилисани исправљач:
Модел: MA 4171
Опсег: 0-25V DC, 1A

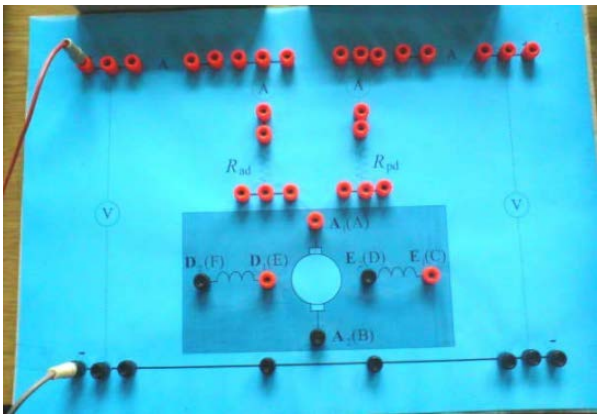
Аналогни волтметар „DC“:
Модел: Искра Крањ
Класа тачности: 1

Спрега једносмерне машине и асинхроне машине:

Једносмерна машина:
Напон: 115 V
Струја: 7 A
Брзина обртања: 1500 obr/min

Асинхорона машина:
Струја: 3,45A / 6,1A
Напон: 220V / 380V
Брзина обртања: 1400 obr/min

Демо табла „DC“ машине:
произвођач: ФТН Чачак



**Поступак извођења вежбе:**

Поступак идентификације крајева се обавља на следећи начин:

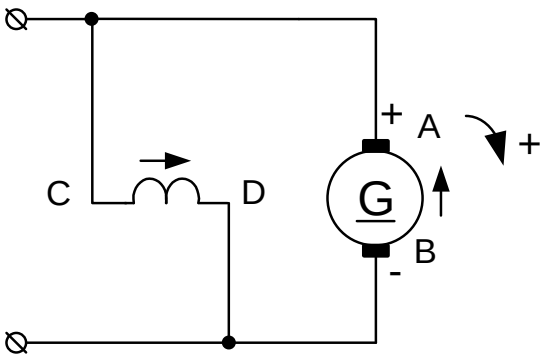
1. развезати међусобне везе на прикључној плочици;
2. помоћу Витстоновог моста утврдити парове прикључница које припадају једном навоју;
3. помоћу Витстоновог моста утврдити која је од прикључница повезана са диркама машине. **То је навој индукта**;
4. поређењем величина измереног електричног отпора одредити навој паралелне побуде и навој редне побуде.

Поступак означавања крајева навоја је следећи:

1. са скинутим везама на плочици пустити, помоћу помоћне машине, да се испитивана машина обрће у десном смеру;

2. услед реманентног магнетизма у навоју индукта индуковаће се нека емс. Онај крај који је позитиван означити са А, а негативан са В (у односу на дефинисан правилан рад машине две битне величине су се промениле: смер струје кроз индукт и функција машине за ЈС);

1. C->D (+)
2. Десни смер (+)
3. B->A (-)
4. G (-)




3. оставити волтметар ЈС прикључен на прикључнице А и В, а на крајеве паралелне побуде прикључити ћепну батерију напона 4,5 V и пажљиво пратити да ли ће се напон између прикључница А и В повећати или смањити. Ако се напон повећа, онда са С означити онај прикључак навоја паралелне побуде на који је био доведен позитиван крај ћепне батерије, а са D други крај намота. Ако је напон пао онда се са С означава она прикључница на коју је био прикључен негативан пол ћепне батерије, а са D други крај навоја;

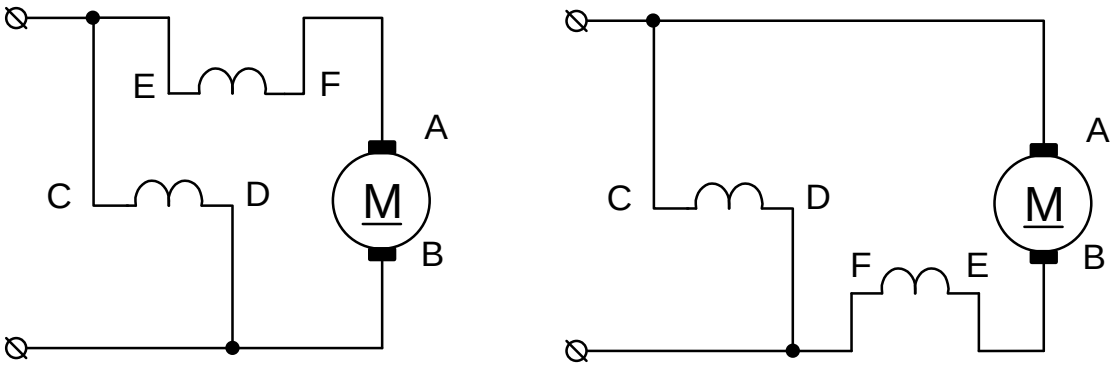
4. оставивши и даље прикључен волтметар на крајевима А и В, прикључити на крајеве навоја редне побуде ћепну батерију, али обавезно преко једног отпорника око (2-3) Ω. Посматра се промена напона између крајева А и В. Ако напон порасте онда са Е означити онај крај навоја на којој је био прикључен позитиван пол батерије, а са F други крај навоја. Ако напон на волтметру опадне онда се са Е означава онај крај навоја који је био прикључен на негативан пол батерије, а са F други крај навоја.

Тиме је машина правилно обележена.

Навоји помоћних полова односно компензациони навоји или оба ова навоја, ако их машина има, повезани су на ред са навојем индукта у самој машини и њихови крајеви се не изводе на посебне прикључке изван машине.

За мотор ЈС са компаундном адитивном побудом, потребно је крај навоја означен са А спојити са крајем навоја редне побуде означен са F (или В са Е). Сада се са овим галвански повезаним навојима повезује навој паралелне побуде и то спајајући крајеве Е и С и крајеве В и D (или крајеве А и С и крајеве F и D), ако се примени дуга веза паралелне побуде.

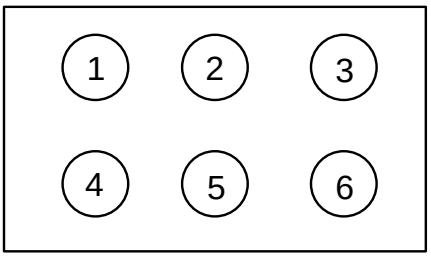
Овим начином повезивања је остварено побуђивање машине једносмерне струје са сложеном адитивном побудом. У односу на претходно одређене крајеве машине, две битне величине су се промениле: функција машине (**Г** → **М**) и смер струје кроз индукт (**А** → **В**).




*Слика 2.3: Мотор ЈС са компаундном адитивном побудом*

**Резултати мерења:**

1)




*Слика 2.4: Прикључна плочица*

2)

a)

| | $J$ [A] | $E$ [V] | $R_{pp}$ [Ω] | $R_d$ [Ω] |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 0 | 0 | 162 | 520 |
| 2. | 0,3 | 114 | 162 | 208 |
| 3. | 0,35 | 123 | 162 | 190 |
| 4. | 0,383 | 127 | 162 | 160 |
| 5. | 0,535 | 144 | 162 | 100 |
| 6. | 0,812 | 163 | 162 | 44 |
| 7. | 1 | 172 | 162 | 0 |

б)

| $n$ min$^{-1}$ | $U$ | $I$ |
|---|---|---|
| 1500 | 169 | 0,95 |
| 1350 | 150 | 0,85 |
| 1200 | 130 | 0,73 |
| 1050 | 109 | 0,61 |
| 900 | 88 | 0,498 |
| 750 | 65 | 0,38 |
| 600 | 45 | 0,26 |

**Обрада резултата:**

1) Омметром је извршено мерење отпорности између прикључака на плочици машине JC и измерене су следеће вредности:

$R_{12} = \infty\ \Omega$

$R_{13} = \infty\ \Omega$

$R_{14} = 7{,}1\ \Omega$

$R_{25} = 162\ \Omega$ - Намотај паралелне побуде има највећу отпорност

$R_{36} = 0{,}4\ \Omega$

Све преостале отпорности имају вредност $\infty\ \Omega$.

Да би утврдили који крајеви припадају намотају индукта, док меримо отпорност између прикључака на плочици, треба одвојити једну четкицу од ламеле индукта. Ако омметар притом покаже $\infty$ отпорност, значи да је посматрани намотај, намотај индукта.

На овај начин је утврђено да намотај индукта има изводе 1 и 4, односно да је његова отпорност $R_{14} = 7{,}1\ \Omega$.

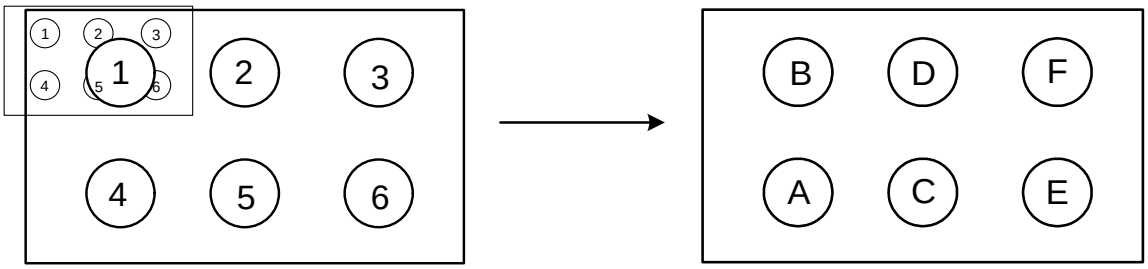
Прикључци 3 и 6 на плочици припадају намотају редне побуде и његова отпорност је $R_{36} = 0{,}4\ \Omega$.

Идентификација крајева навоја машине JC

Крајеви намотаја индукта:
- прикључак **4** је улаз намотаја индукта (**А крај**)
- прикључак **1** је излаз намотаја индукта (**В крај**)

Крајеви намотаја паралелне побуде:
- прикључак **5** је улаз намотаја паралелне побуде (**С крај**)
- прикључак **2** је излаз намотаја паралелне побуде (**D крај**)

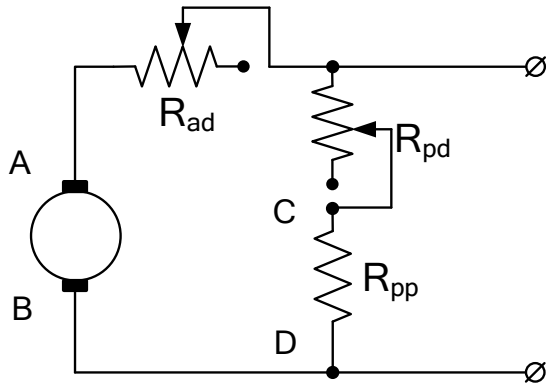
Крајеви намотаја редне побуде:
- прикључак **6** је улаз намотаја редне побуде (**Е крај**)
- прикључак **3** је излаз намотаја редне побуде (**F крај**)




*Слика 2.5: Прикључна плочица*

2)

**а)** Услед реманентног заосталог магнетног флукса и обртања навоја индукта генератора у том пољу, долази до ефекта самопобуђивања генератора ЈС.




*Слика 2.6: Дуга отока са додатом отпорношћу $R_{ad}$ и $R_{pd}$*

Ако се повећава отпорност гране паралелне побуде додавањем отпорности $R_{ad}$ на ред са $R_{pp}$, ефекат самопобуђивања и даље постоји, али са све мањом вредношћу индуковане емс.

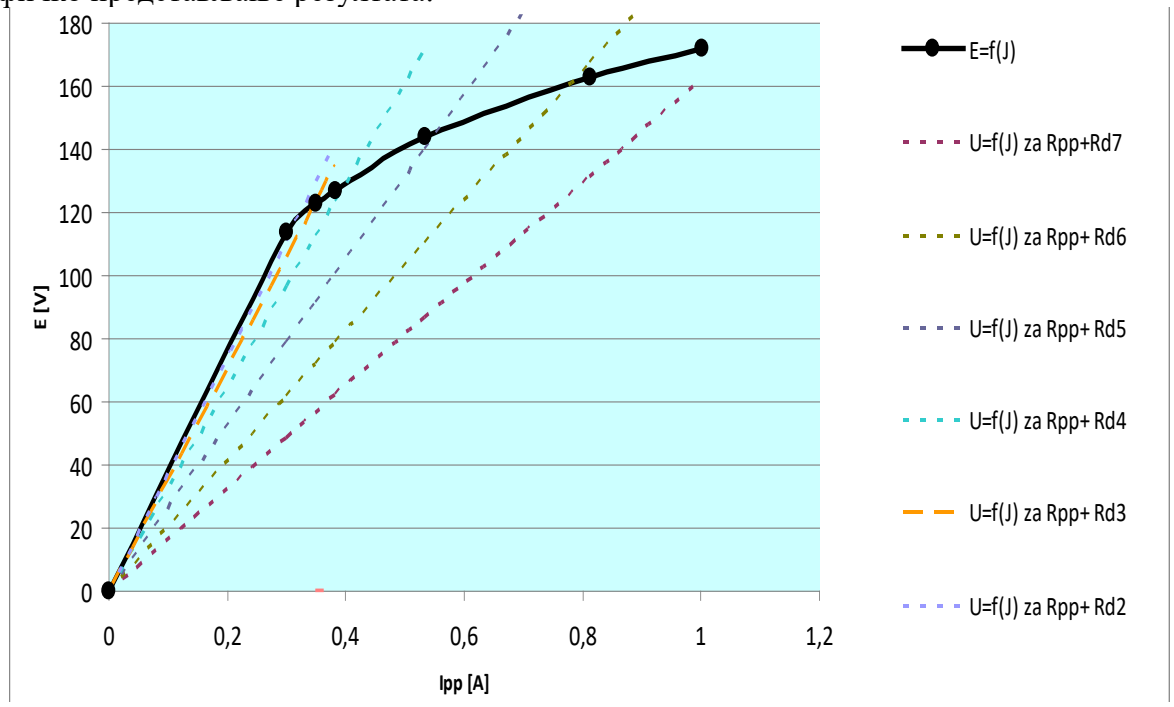
Самопобуђивање ће постојати све док се не достигне одређена **критична (максимална) вредност отпорности кола паралелне побуде:**

$$R_{ppmax} = R_{pp} + R_{dmax}$$

На следећој табели су приказане вредности за $R_d$, као и за $R_{ppmax}$ при којој ефекат самопобуђивања више није могућ.

| | Ip [A] | E [V] | $R_{pp}$ | $R_d$ | $R_{pp}+R_d$ | $J*(R_{pp}+R_{d7})$ | $J*(R_{pp}+R_{d6})$ | $J*(R_{pp}+R_{d5})$ | $J*(R_{pp}+R_{d4})$ | $J*(R_{pp}+R_{d3})$ | $J*(R_{pp}+R_{d2})$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 0 | 0 | 162 | 520 | 682 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2. | 0,3 | 114 | 162 | 208 | 370 | 48,6 | 61,8 | 78,6 | 96,6 | 105,6 | 111 |
| 3. | 0,35 | 123 | 162 | 190 | 352 | 56,7 | 72,1 | 91,7 | 112,7 | 123,2 | 129,5 |
| 4. | 0,383 | 127 | 162 | 160 | 322 | 62,046 | 78,898 | 100,346 | 123,326 | 134,816 | 141,71 |
| 5. | 0,535 | 144 | 162 | 100 | 262 | 86,67 | 110,21 | 140,17 | 172,27 | | |
| 6. | 0,812 | 163 | 162 | 44 | 206 | 131,544 | 167,272 | 212,744 | | | |
| 7. | 1,002 | 172 | 162 | 0 | 162 | 162,324 | 206,412 | | | | |

Графичко представљање резултата:




**b)** Самопобуђивање машине ЈС поред тога што може бити онемогућено услед превелике отпорности гране паралелне побуде, оно може бити онемогућено и превише малом брзином обртања генератора.

Што је брзина обртања ротора генератора мања, то је карактеристика празног хода $E = \mathrm{f}(J)$ све нижа, тако да је у случају **критичне (минималне ) брзине обртања** ротора могуће да радна права $U = \mathrm{f}(J)$ постане тангентна криве карактеристике празног хода, тако да је радна тачка у координатном почетку. У овом случају је $R_{\mathrm{d}} = 0$.

Резултати који су добијени, када се помоћу фреквентног регулатора смањује брзина обртања генератора ЈС :

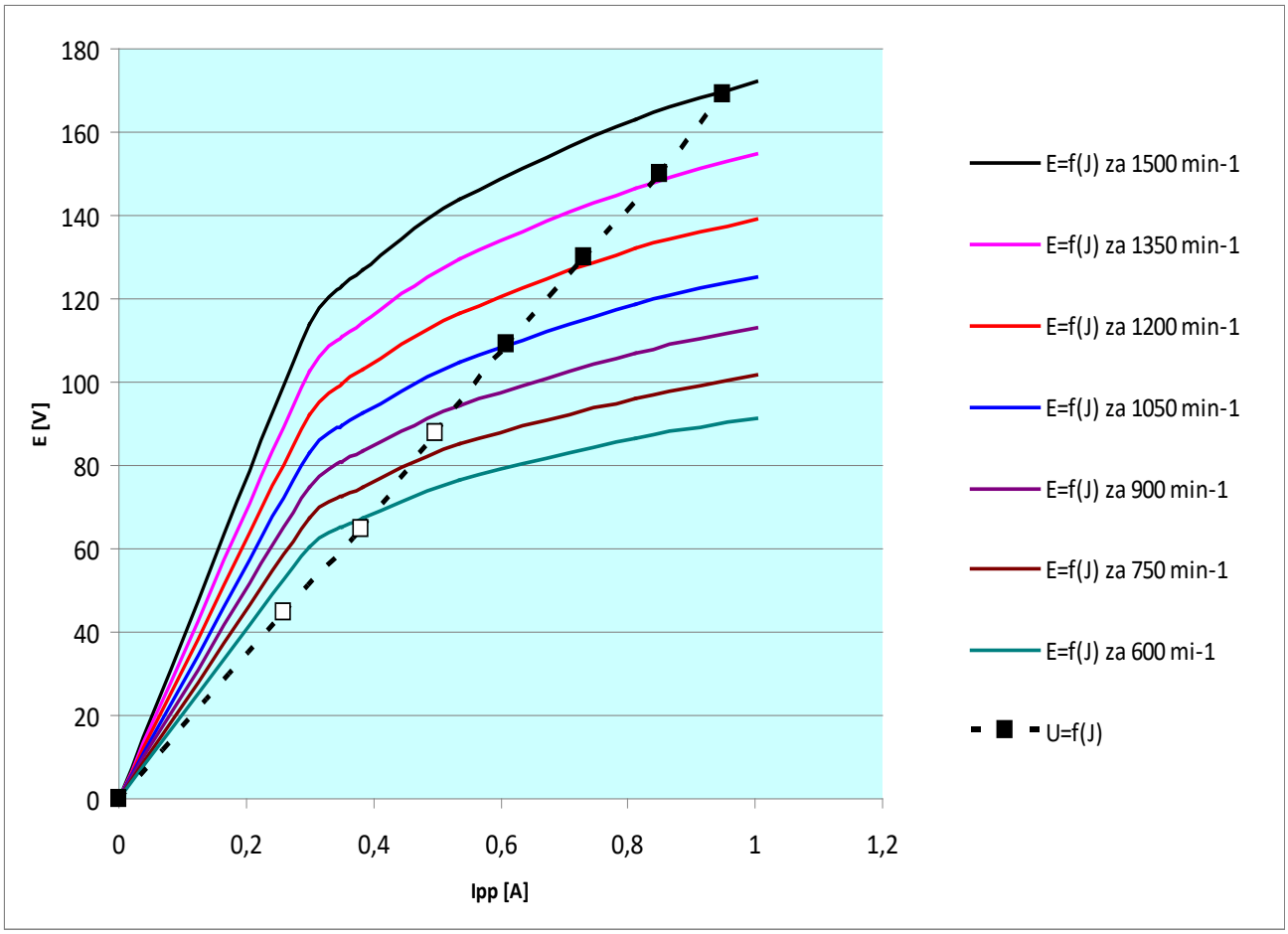
| $n$ min$^{-1}$ | $U$ | $I$ |
|---|---|---|
| 1500 | 169 | 0,95 |
| 1350 | 150 | 0,85 |
| 1200 | 130 | 0,73 |
| 1050 | 109 | 0,61 |
| 900 | 88 | 0,498 |
| 750 | 65 | 0,38 |
| 600 | 45 | 0,26 |

Резултати сређени у excel табели су следећи:

| | | | | 1500 | 1350 | 1200 | 1050 | 900 | 750 | 600 | I | U |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Ip [A]** | **$R_{pp}$** | **J*($R_{pp}$)** | **E1 [V]** | **E2 [V]** | **E3 [V]** | **E4 [V]** | **E5 [V]** | **E6 [V]** | **E7 [V]** | 0 | 0 |
| 1. | 0 | 162 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,26 | 44,7 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2. | 0,3 | 162 | 48,6 | 114 | 102,6 | 92,34 | 83,106 | 74,7954 | 67,316 | 60,584 | 0,38 | 65 |
| 3. | 0,35 | 162 | 56,7 | 123 | 110,7 | 99,63 | 89,667 | 80,7003 | 72,63 | 65,367 | 0,498 | 88 |
| 4. | 0,383 | 162 | 62,046 | 127 | 114,3 | 102,87 | 92,583 | 83,3247 | 74,992 | 67,493 | 0,61 | 109 |
| 5. | 0,535 | 162 | 86,67 | 144 | 129,6 | 116,64 | 104,976 | 94,4784 | 85,031 | 76,528 | 0,73 | 130 |
| 6. | 0,812 | 162 | 131,544 | 163 | 146,7 | 132,03 | 118,827 | 106,9443 | 96,25 | 86,625 | 0,85 | 150 |
| 7. | 1,002 | 162 | 162,324 | 172 | 154,8 | 139,32 | 125,388 | 112,8492 | 101,56 | 91,408 | 0,95 | 169 |

Графичко представљање резултата:




Са слике се може учити поклапање радних тачака пресека праве $U$=f($I_{pp}$) и кривих празног хода.

Ово поклапање је одлично при већим брзинама обртања (означени пуним црним квадратићима ■).

На нижим брзинама обртања ово поклапања су лошија, јер су брзине обртања мање, права напона и крива емс се приближавају једна другој и њихов пресек постаје, у деловима поклапања уместо једна тачка, цела област. То је и подручје нестабилног режима рада (означени црним квадратићима без попуне □).