/Zavod za elektrostrojarstvo i automatizaciju

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Fakultet elektrotehnike i računarstva

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektrostrojarstvo i automatizaciju

OSNOVE UPRAVLJANJA ELEKTRIČNIM STROJEVIMA

Laboratorijske vježbe

Vježba 2

Vanjska karakteristika istosmjernog motora s nezavisnom uzbudom

Autori: Dr. sc. Filip Jukić
Dr. sc. Luka Pravica
Ivana Pavlić, mag. ing.
Izv. prof. dr. sc. Martina Kutija

Zagreb, 2024.

1. Matematički model istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom

1.1. Dinamički i statički model istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom

1.1.1. Električne jednadžbe

Matematički model istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom izvodi se primjenom II. Kirchoffovog zakona na uzbudni i armaturni krug (slika 1.1) uz zanemarenja pada napona na četkicama i reakcije armature:

$$u_u = R_u i_u + L_u \frac{di_u}{dt}, \tag{1.1}$$

$$u_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e, \tag{1.2}$$

gdje je:
u_u - trenutna vrijednost napona uzbude, i_u - trenutna vrijednost struje uzbude, R_u - otpor uzbudnog namota, L_u - induktivitet uzbudnog namota, u_a - trenutna vrijednost napona armature, i_a - trenutna vrijednost struje armature, R_a - otpor armaturnog namota, L_a - induktivitet armaturnog namota, e - inducirani napon armature (protuelektromotorna sila).

Za inducirani napon armaturnog kruga prema Faradayevom zakonu vrijedi:

$$e = k_e \omega \phi, \tag{1.3}$$

gdje je:
k_e - konstrukcijska konstanta, ω - brzina vrtnje i ϕ - magnetski tok.

Budući da se magnetski tok do nazivne brzine vrtnje drži konstantnim, izraz za inducirani napon se može pojednostavniti:

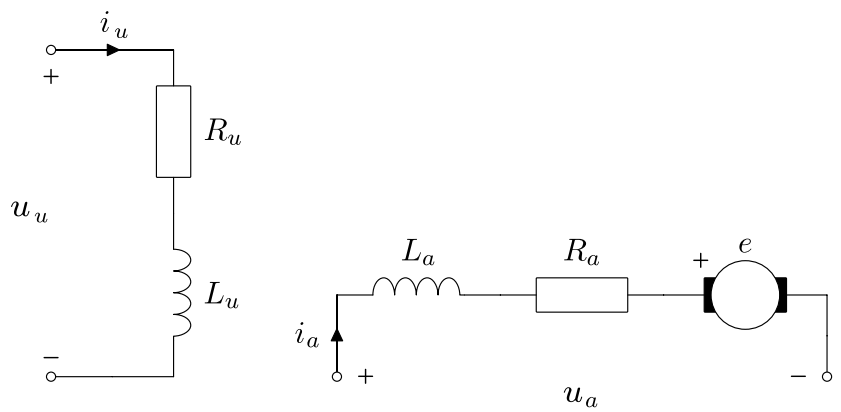
$$e = c_e \omega, \tag{1.4}$$

gdje je $c_e = k_e \phi$.

U stacionarnim radnim točkama naponi, struje i brzina vrtnje konstantnog su iznosa ($\frac{du}{dt} = \frac{di}{dt} = \frac{d\omega}{dt} = 0$) pa se istosmjerni stroj opisuje statičkim matematičkim modelom dobivenim iz (1.1) i (1.2):

$$U_u = R_u I_u, \tag{1.5}$$

$$U_a = R_a I_a + \underbrace{E}_{c_e \omega}. \tag{1.6}$$



Slika 1.1: Električna shema istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom

1.1.2. Mehaničke jednadžbe

Elektromagnetski moment električnih strojeva definira se kao vektorski umnožak magnetskog toka i struje:

$$m_{em} = \boldsymbol{\phi} \times \mathbf{i_a} = \phi \cdot i_a \cdot \sin(\angle(\boldsymbol{\phi}, \mathbf{i_a})). \tag{1.7}$$

Budući da su magnetski tok i vodiči kroz koje teče struja armature istosmjernog stroja međusobno okomiti, izraz za elektromagnetski moment istosmjernog stroja može se zapisati kao skalarni umnožak:

$$m_{em} = k_m \phi i_a, \tag{1.8}$$

gdje je:
k_m - konstrukcijska konstanta.

Uz konstantan magnetski tok dobiva se konačni izraz za elektromagnetski moment istosmjernog stroja:

$$m_{em} = c_m i_a, \tag{1.9}$$

gdje je $c_m = k_m \phi$.

U motorskom režimu rada moment motora na osovini m_m je manji od razvijenog elektromagnetskog momenta m_{em} za moment trenja i ventilacije:

$$m_m = m_{em} - m_{tr,ven}. \tag{1.10}$$

Razvijeni elektromagnetski moment istosmjernog stroja (1.9) i svi momenti kojima je stroj opterećen (moment tereta koji je priključen na osovinu, moment trenja i ventilacije) definirat će dinamiku gibanja rotora prema mehaničkoj jednadžbi za rotirajuće gibanje:

$$J\frac{d\omega}{dt} = m_m - m_t, \tag{1.11}$$

gdje je:
J - moment tromosti, m_m - moment na osovini istosmjernog stroja, m_t - moment tereta.

U stacionarnom stanju brzina istosmjernog stroja je konstantnog iznosa ($\frac{d\omega}{dt} = 0$) te vrijedi:

$$M_m = M_t = \frac{P_m}{\omega}, \tag{1.12}$$

$$M_{em} = c_m I_a = M_m + M_{tr,ven}, \tag{1.13}$$

gdje je:
P_m - mehanička snaga na osovini.

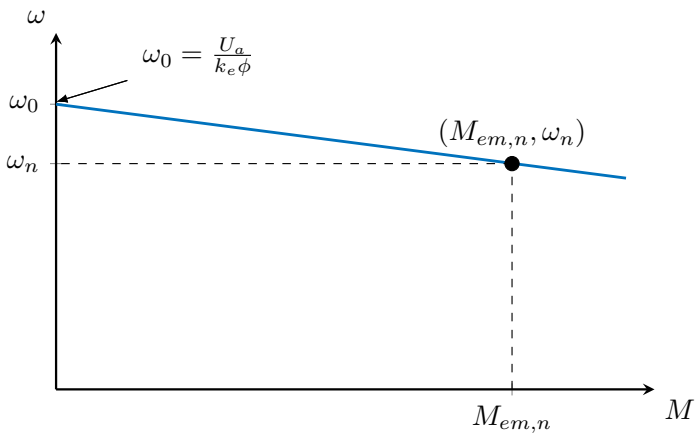
2. Momentna karakteristika istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom

Izraz (1.13) određuje odnos armaturne struje, elektromagnetskog momenta i uzbudnog magnetskog toka:

$$I_a = \frac{M_{em}}{c_m} = \frac{M_{em}}{k_m \phi}. \tag{2.1}$$

Uvrštavanjem izraza (2.1) u naponsku jednadžbu armaturnog kruga u stacionarnom stanju (1.6), dobiva se:

$$U_a = \frac{R_a}{k_m \phi} M_{em} + k_e \omega \phi. \tag{2.2}$$



Slika 2.1: Momentna karakteristika istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom

Iz prethodne jednadžbe dobiva se jednažba ovisnosti brzine vrtnje o momentu koja opisuje momentnu karakteristiku istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom:

$$\omega = \frac{U_a}{k_e\phi} - \frac{R_a}{k_m k_e \phi^2} M_{em}. \tag{2.3}$$

Momentna karakteristika istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom je pravac u (M, ω) ravnini (slika 2.1) s odsječkom na osi ordinata i negativnim nagibom. Odsječak na osi ordinata predstavlja brzinu praznog hoda istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom:

$$\omega_0 = \frac{U_a}{k_e\phi}. \tag{2.4}$$

Istosmjerni stroj vrtit će se brzinom ω_0 samo u idealnom praznom hodu u kojem je $I_a = 0$. U realnom slučaju istosmjerni stroj će u praznom hodu pokrivati gubitke trenja i ventilacije te će se vrtiti brzinom manjom od ω_0.

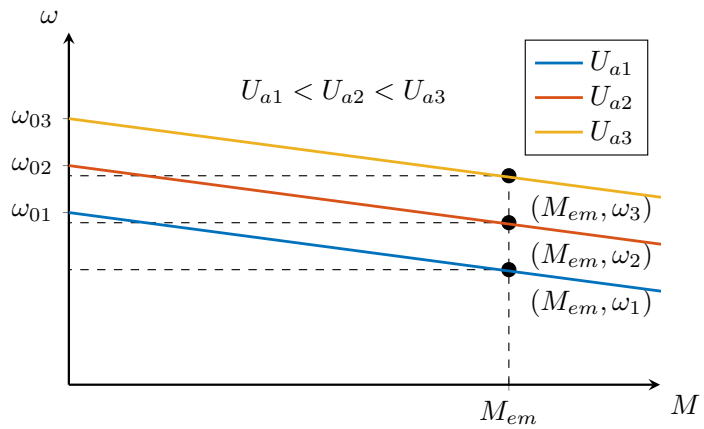
Nazivna radna točka na momentnoj karakteristici (2.3) definirana je nazivnim elektromagnetskim momentom $M_{em,n}$ i nazivnom brzinom vrtnje ω_n istosmjernog stroja.

3. Upravljanje brzinom istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom

Upravljanje brzinom vrtnje istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom moguće je postići promjenom brzine praznog hoda ili nagiba momentne karakteristike. Iz jednadžbe momentne karakteristike (2.3) očito je da se navedene promjene mogu postići na sljedeće načine:

1) promjenom armaturnog napona U_a,
2) promjenom magnetskog toka ϕ i
3) promjenom otpora armature R_a.

Najčešće korištena metoda upravljanja brzinom vrtnje istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom temelji se na upravljanju iznosom armaturnog napona U_a uz održavanje konstantne uzbude, tj. konstantnog magnetskog toka ϕ.
Promjena armaturnog napona U_a pri konstantom magnetskom toku ϕ prema izrazu (2.4) utječe na promjenu brzine praznog hoda istosmjernog stroja ω_0. Budući da brzina praznog hoda ω_0 predstavlja odsječak momentne karakteristike na osi ordinata, njenom promjenom dolazi i do pomicanja momentne karakteristike. Povećanje armaturnog napona U_a uzrokuje pomak momentne karakteristike



Slika 3.1: Momentna karakteristika istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom - $U_{a1} < U_{a2} < U_{a3}$

u (M, ω) ravnini prema gore, dok se smanjenjem armaturnog napona U_a momentna karaktersitika pomiče prema dolje. Promjena armaturnog napona U_a ne mijenja nagib karakteristike.
Na slici 3.1 prikazane su momentne karateristike istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom za različite iznose armaturnog napona U_a. Ukoliko se promatra neka radna točka definirana momentom M_{em} očito je da se povećanjem armaturnog napona U_a uz nepromijenjen teret postiže veća brzina vrtnje istosmjernog stroja ω, dok se smanjenjem armaturnog napona uz isti teret postiže manja brzina vrtnje.

Upravljanje armaturnim naponom U_a na laboratorijskom postavu

Upravljanje iznosom armaturnog napona U_a moguće je postići korištenjem uređaja energetske elektronike koji se temelje na poluvodičkim ventilima poput IGBT tranzistora ili tiristora, a nazivaju se pretvarači. Iz tog razloga u upravljačku kutiju laboratorijskog postava ugrađen je pretvarač *Baldor BC204* koji služi za upravljanje brzinom vrtnje i momentom istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom (slika 3.2). Pretvarač *Baldor BC204* se sastoji od:

1) jednofaznog punovalnog ispravljača (Graetzov spoj),
2) jednofaznog tiristorskog usmjerivača u antiparalelnom spoju.

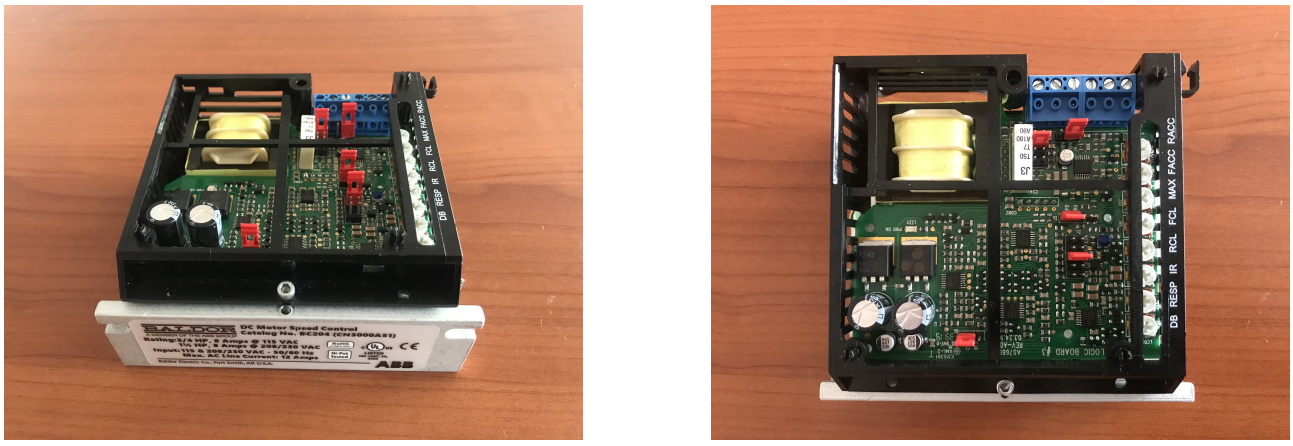
Jednofazni punovalni ispravljač čini diodni most (slika 3.3a) čija je uloga punovalno ispravljanje ulaznog sinusnog mrežnog napona čime se na izlazu osigurava ispravljeni napon konstantne srednje vrijednosti U_u. Takav napon u uzbudnom krugu osigurava konstatni magnetski tok ϕ.

Kako bi se osiguralo upravljanje armaturnim naponom, armaturni krug spaja se na mrežu preko jednofaznog tiristorskog usmjerivača u antiparalenom spoju (slika 3.3c). Jednofazni tiristorski usmjerivač u antiparalelnom spoju sastoji se od dva tiristorska mosta u protuparalelnom spoju što omogućava četverokvadrantni rad istosmjernog stroja, odnosno rad u oba režima za lijevi i desni smjer vrtnje:

1) motorskom (I. i III. kvadrant) i
2) generatorskom (II. i IV. kvadrant).

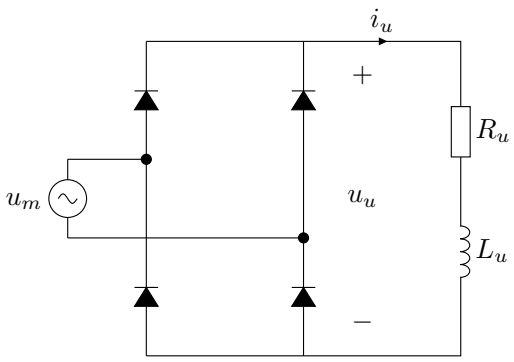
Za jedan smjer vrtnje u motorskom režimu rada istosmjerni stroj s nezavisnom uzbudom uzima energiju iz mreže i tok energije između mreže i istosmjernog stroja zatvara se preko lijevog tirstorskog mosta (označen crveno na slici 3.3c). U generatorskom režimu rada istosmjerni stroj predaje energiju mreži putem desnog tiristorskog mosta (označen crno na slici 3.3c). Za drugi smjer vrtnje situacija je obrnuta.

Na slici 3.3d prikazani su ulazni i izlazni naponi jednofaznog tiristorskog usmjerivača. Armaturni napon istosmjernog stroja jednak je izlaznom naponu jednofaznog tiristorskog usmjerivača čija je

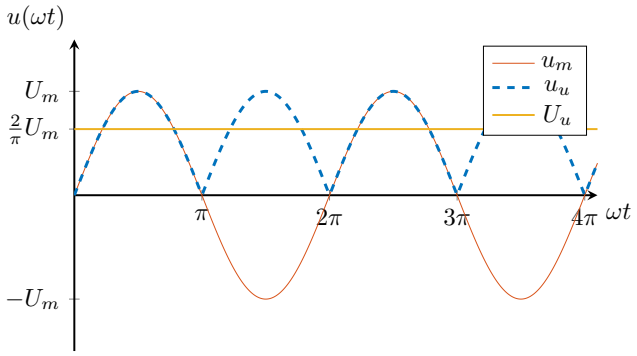


(a) **(b)**

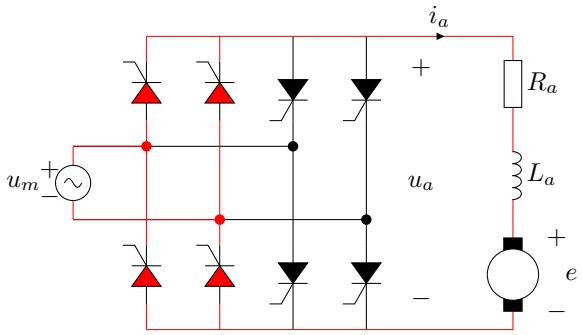
Slika 3.2: Pretvarač *Baldor BC204*



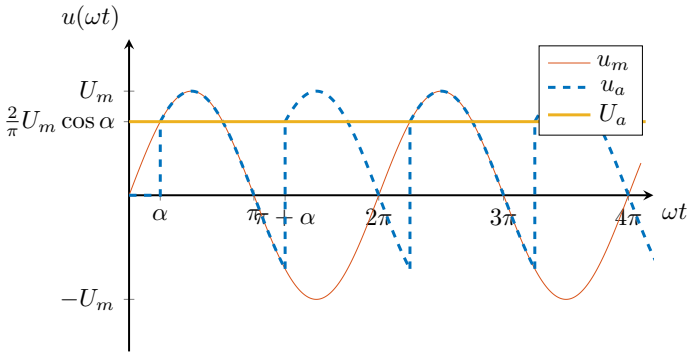
(a) Uzbudni krug spojen na mrežu preko punovalnog ispravljača



(b) Ulazni i izlazni napon punovalnog ispravljača



(c) Armaturni krug spojen na mrežu preko tiristorskog usmjerivača



(d) Ulazni i izlazni napon tiristorskog usmjerivača

Slika 3.3: Električne sheme i valni oblici pretvarača *Baldor BC204*

srednja vrijednost:

$$U_a = \frac{2}{\pi} U_m \cos\alpha, \tag{3.1}$$

gdje su:
U_m - maksimalna vrijednost mrežnog napon, α - okidni kut tiristora.

Iz izraza za srednju vrijednost armaturnog napona (3.1) očito je da se promjenom okidnog kuta α postiže promjena srednje vrijednosti armaturnog napona U_a, a time i promjena brzine vrtnje ω.

4. Laboratorijski postav

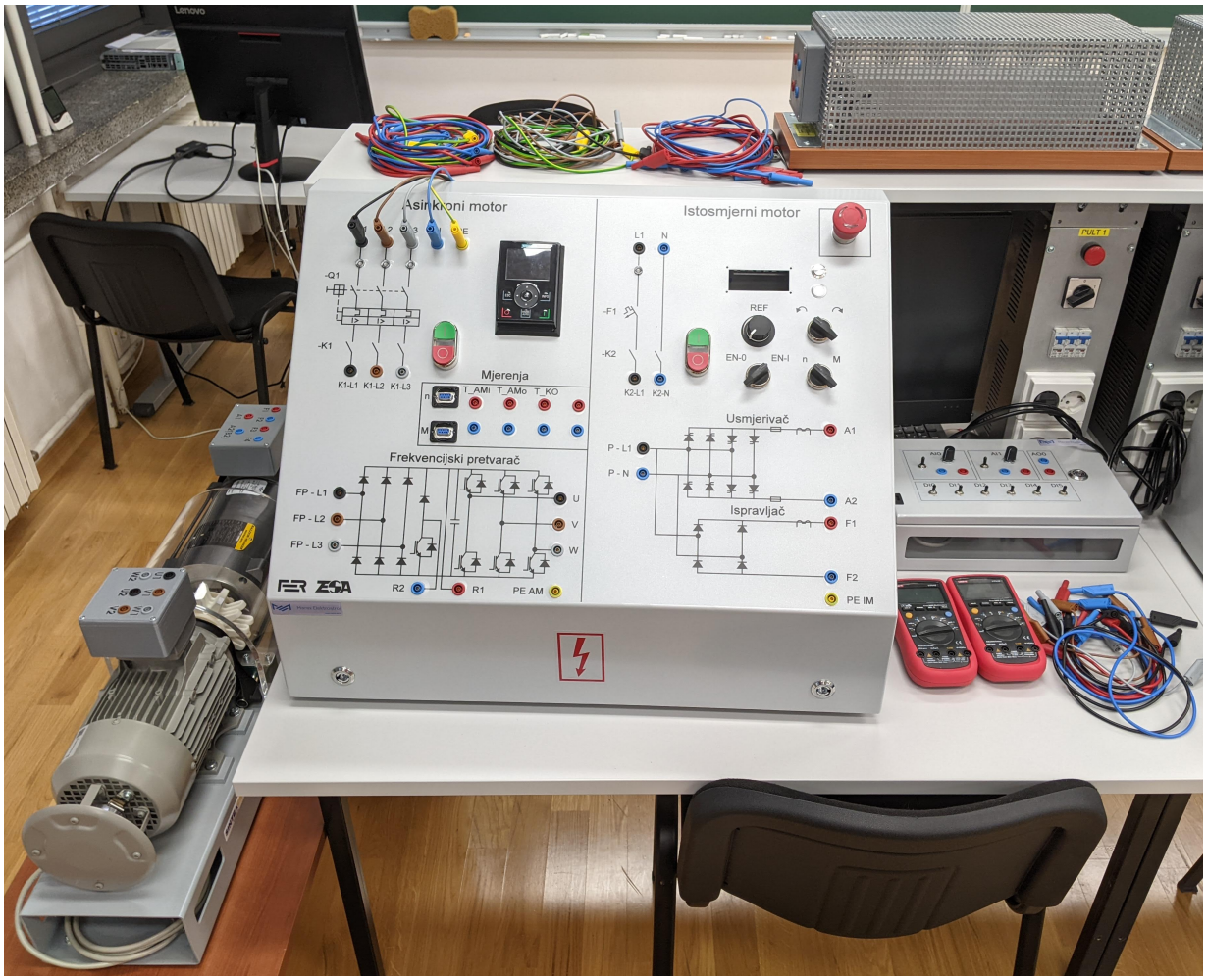
Laboratorijski postav (slika 4.1) za upravljanje brzinom vrtnje i momentom istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom sastoji se od:

1) upravljačke kutije,
2) kočnog otpornika,
3) kutije sa sklopkama i potenciometrima i
4) pogona (istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom mehanički povezanog na osovini s asinkronim strojem).

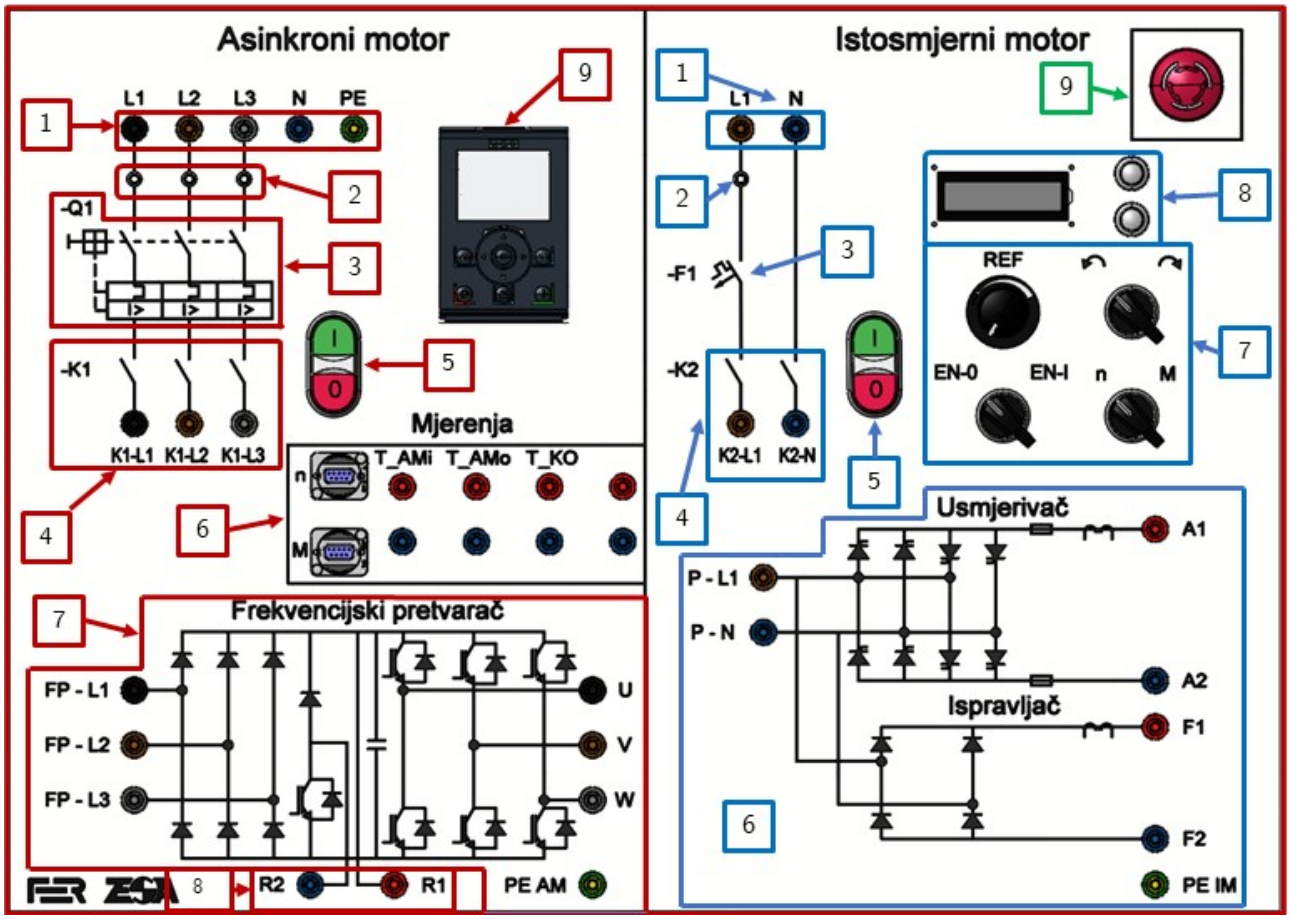
4.1. Upravljačka kutija

Glavne komponente upravljačke kutije su pretvarač za upravljanje asinkronim strojem (*SINAMICS G120*) i pretvarač za upravljanje istosmjernim strojem s nezavisnom uzbudom (*Baldor BC240*) te pripadajuća zaštitna i sklopna oprema. Ulazi i izlazi pretvarača, te potrebni elementi i ulazi i izlazi sklopne i zaštitne opreme, izvedeni su na gornju plohu upravljačke kutije koja se naziva upravljačka ploča. Svi ulazi i izlazi su izvedeni pomoću sigurnosnih banana utičnica kako bi se omogućilo povezivanje komponenti upravljačke kutije te izvora i pogona koji se nalaze izvan kutije.

Detaljan prikaz upravljačke ploče je na slici 4.2. Lijevi dio upravljačke ploče koristi se za upravljanje asinkronom strojem, dok se desni dio koristi za upravljanje istosmjernim strojem.



Slika 4.1: Laboratorijski postav



Slika 4.2: Upravljačka ploča

Sigurnosne banana utičnice i kabeli sa sigurnosnim banana utikačima označeni su bojama prema IEC 60445-2017 standardu:

- U sustavima s **izmjeničnim** napajanjem:
  1) crna ⟶ 1. faza (L1, U),
  2) smeđa ⟶ 2. faza (L2, V),
  3) siva ⟶ 3. faza (L3, W),
  4) plava ⟶ nula (N),
  5) žuto - zelena ⟶ zaštitni vodič (uzemljenje)
- U sustavima s **istosmjernim** napajanjem:
  1) crvena ⟶ + istosmjernog napona,
  2) plava ⟶ − istosmjernog napona,
  3) žuto - zelena ⟶ zaštitni vodič (uzemljenje).

Upravljačka ploča - asinkroni stroj

Dio upravljačke ploče koji se koristi za upravljanje asinkronim strojem obuhvaća:

1) utičnice L1, L2, L3, N i PE ⟶ dovod trofaznog mrežnog napona i uzemljenja na upravljačku kutiju.
2) LED lampice ⟶ signalizacija napona na L1, L2 i L3.
3) motorska zaštitna sklopka -Q1 ⟶ termička zaštita i zaštita od kratkog spoja.

4) sklopnik -K1 i utičnice K1-L1, K1-L2, K1-L3 ⟶ kada je sklopnik -K1 uklopljen, na utičnice K1-L1, K1-L2, K1-L3 je doveden napon utičnica L1, L2, L3 (npr. sklopnik -K1 uklapa frekvencijski pretvarač *SINAMICS G120* na mrežu ako su utičnice K1-L1, K1-L2 i K1-L3 spojene na ulazne utičnice frekvencijskog pretvarača FP-L1, FP-L2 i FP-L3 i ako je na utičnice L1, L2, L3 doveden napon napajanja.)
5) dvostruko tipkalo ⟶ pritiskom na zelenu tipku I uklapa kontakte sklopnika -K1, a pritiskom na crvenu tipku 0 isklapa kontakte sklopnika -K1.
6) konektori n i M, utičnice T_AMi, T_AMo i T_KO ⟶ na konektore n i M spajaju se enkoder i mjerač momenta, dok se na utičnice T_AMi, T_AMo i T_KO dovode temperaturne sonde asinkronog stroja i kočnog otpornika. Navedeni signali su unutar upravljačke kutije provedeni do digitalnih i analognih ulaza/izlaza frekvencijskog pretvarača *SINAMICS G120*.
7) frekvencijski pretvarač *SINAMICS G120* ⟶ ulazne utičnice pretvarača FP-L1, FP-L2 i FP-L3 spajaju se na mrežu preko utičnica sklopnika K1-L1, K1-L2 i K1-L3, dok se izlazi pretvarača U, V i W spajaju na priključnu kutiju asinkronog stroja.
8) kočni otpornik ⟶ na utičnice R1 i R2 spaja se kočni otpornik kako bi se omogućio generatorski rad asinkronog stroja.
9) upravljački panel IOP (engl. *Intelligent Operator Panel*) ⟶ IOP omogućava zadavanje referentne vrijednosti brzine ili momenta asinkronom stroju. Na zaslonu IOP-a moguće je pratiti mjerene veličine pogona kao što su brzina vrtnje, moment ili temperatura asinkronog stroja.

Digitalni i analogni ulazi frekvencijskog pretvarača *SINAMICS G120*

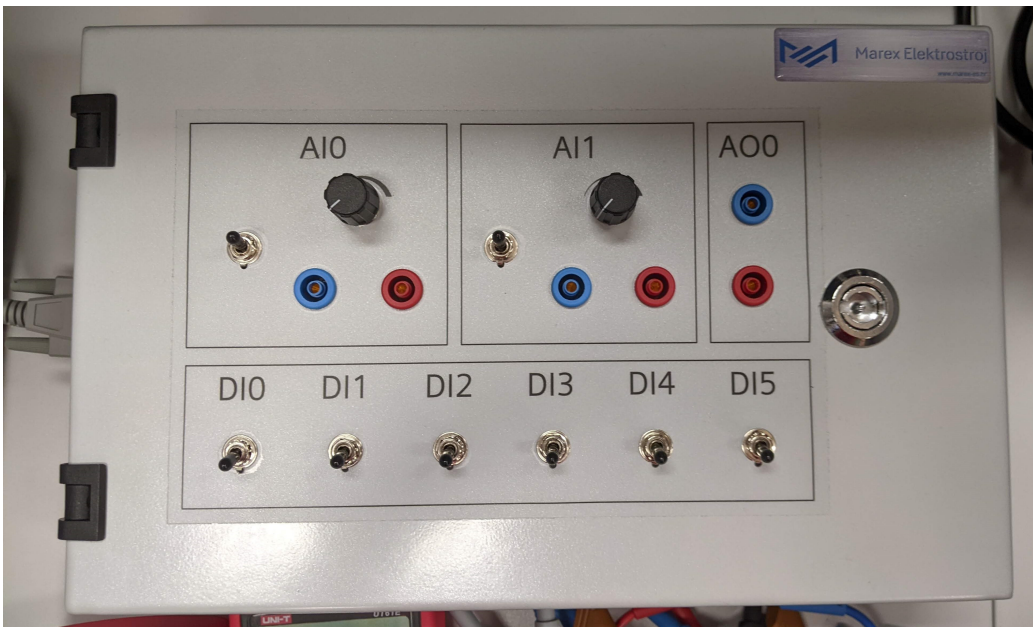
Na ovoj vježbi asinkroni stroj se koristi za terećnje istosmjernog stroja pri čemu se upravlja momentom kojim asinkroni stroj opterećuje istosmjerni stroj na osovini. Upravljanje asinkronim strojem putem frekvencijskog pretvarača *SINAMICS G120* odvija se pomoću digitalnih i analognih ulaza na koje su spojene sklopke i potenciometri kutije prikazane na slici 4.3.

Sklopka DI0 služi za uključenje i isključenje frekvencijskog pretvarača *SINAMICS G120*, dok se referentna vrijednost momenta asinkronog stroja zadaje pomoću potenciometara AI0 i AI1 te digitalnim ulazima. Frekvencijski pretvarač *SINAMICS G120* podešen je tako da se sve referentne vrijednosti zbrajaju, a njihovo podešenje je

1) Potenciometrom AI0 zadaje se moment u rasponu od 0 do 100 % nazivnog momenta istosmjernog stroja,
2) Potenciometrom AI1 zadaje se moment u rasponu od 0 do –100 % nazivnog momenta istosmjernog stroja,
3) Podešenja digitalnih ulaza prikazana su u tablici 4.1 gdje su navedeni postotci nazivnog momenta istosmjernog stroja.

Tablica 4.1: Digitalni ulazi i referentni moment

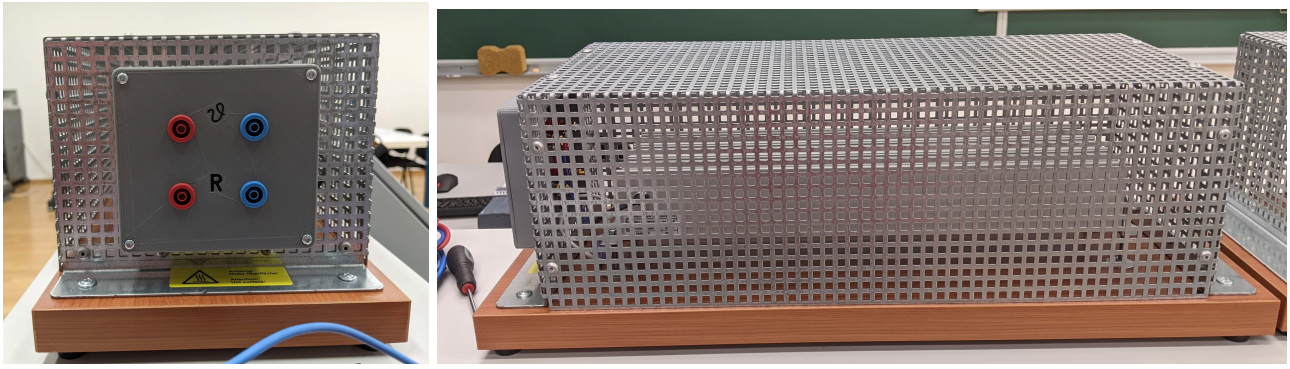
DI4	DI3	DI2	DI1	Ref. moment
0	0	0	0	0%
0	0	0	1	25%
0	0	1	0	50%
0	0	1	1	75%
0	1	1	1	100%
1	0	0	0	$k\omega^2$



Slika 4.3: Kutija sa sklopkama i potenciometrima

Kočni otpornik

Kočni otpornik (slika 4.4) omogućava generatorski režim rada asinkronog stroja. Pomoću priključaka označenih s R otpornik se spaja na utičnice R1 i R2 upravljačke kutije. Kočni otpornik sadrži temperaturni senzor koji detektira kada temperatura kočnog otpornika prijeđe maksimalnu dopuštenu. Senzor se pomoću priključaka označenih s ϑ spaja na utičnice T_KO na upravljačkoj kutiji. Unutar kutije je signal proveden do digitalnih ulaza frekvencijskog pretvarača *SINAMICS G120*.



Slika 4.4: Kočni otpornik

Upravljačka ploča - istosmjerni stroj

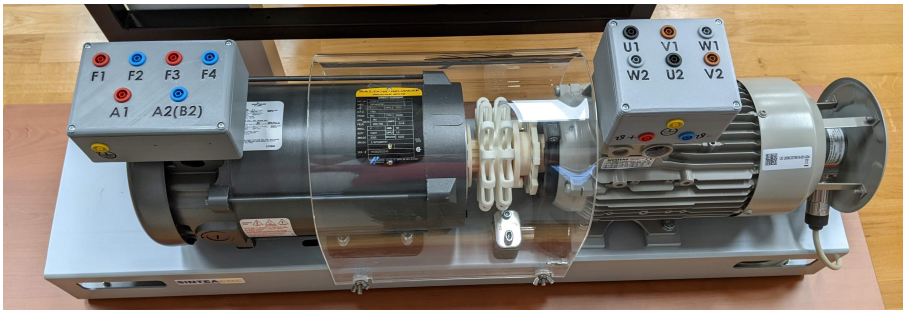
Dio upravljačke ploče koji se koristi za upravljanje istosmjernim strojem s nezavisnom uzbudom obuhvaća:

1) utičnice L1 i N ⟶ dovod jednofaznog mrežnog napona.
2) LED lampica ⟶ signalizacija napona na L1.
3) automatski osigurač -F1 ⟶ zaštita od kratkog spoja.
4) sklopnik -K2 i utičnice K2-L1 i K2-N ⟶ kada je sklopnik -K2 uklopljen, na utičnicu K2-L1 je doveden napon utičnice L1 (npr. sklopnik uklapa pretvarač *Baldor BC204* na mrežu ako su utičnice K2-L1 i K2-N spojene na ulazne utičnice pretvarača P-L1 i P-N i ako je na L1-N doveden mrežni napon).

5) dvostruko tipkalo ⟶ pritiskom na zelenu tipku I uklapa kontakte sklopnika -K2, a pritiskom na crvenu tipku 0 isklapa kontakte sklopnika -K2.
6) pretvarač *Baldor BC204* ⟶ ulazne utičnice pretvarača P-L1 i P-N spajaju se na mrežu preko utičnica sklopnika K2-L1 i K2-N. Izlazne utičnice usmjerivača A1 i A2 i ispravljača F1 i F2 spajaju se na odgovorajuće utičnice na priključnoj kutiji istosmjernog stroja.
7) potenciometar i dvopoložajne sklopke ⟶ služe za upravljanje brzinom ili momentom istosmjernog stroja:
   a) sklopka EN-0/EN-I ⟶ ukoliko je pretvarač *Baldor BC204* spojen na mrežu okretanjem sklopke u položaj EN-I omogućen je rad usmjerivačem. Ako je sklopka u položaju EN-0 rad usmjerivača je onemogućen.
   b) sklopka n/M ⟶ sklopka određuje način upravljanja - po brzini vrtnje (n) ili momentu (M).
   c) sklopka lijevo/desno ⟶ sklopka za promjenu smjera vrtnje.
   d) potenciometar REF ⟶ ovisno o položaju sklopke n/M potenciometrom se zadaju referentne vrijednosti brzine vrtnje ili momenta istomjernog stroja.
8) sigurnosna gljiva ⟶ za isklop u nuždi. Iako se sigurnosna gljiva nalazi u desnom dijelu upravljačke ploče, pritiskom na sigurnosnu gljivu izbacuju se kontakti oba sklopnika te se na taj način isključuju i oba pretvarača te motori ostaju bez napajanja.

4.2. Pogon

Pogon laboratorijskog postava čine istosmjerni stroj s nezavisnom uzbudom mehanički povezan na osovini s asinkronim strojem (slika 4.5). Počeci i krajevi svih namota istosmjernog i asinkronog stroja izvedeni su na priključnu kutiju pomoću sigurnosnih banana utičnica kako bi se omogućilo povezivanje pogona s upravljačkom kutijom.



Slika 4.5: Pogon laboratorijskog postava

Priključne kutije istosmjernog i asinkronog stroja

Na priključnoj kutiji istosmjernog stroja (slika 4.6a) nalazi se 7 sigurnosnih banana utičnica:

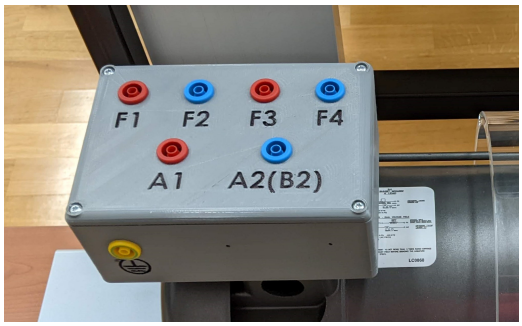
1) F1 - F2 ⟶ početak i kraj prvog uzbudnog namota,
2) F3 - F4 ⟶ početak i kraj drugog uzbudnog namota,
3) A1 - A2 ⟶ početak i kraj armaturnog namota,
4) uzemljenje.

Uzbudni namot istosmjernog stroja izveden je pomoću dva namota. Namoti F1-F2 i F3-F4 mogu se spojiti serijski ili paralelno. Na vježbi se koristi serijski spoj namota F1-F2 i F3-F4.

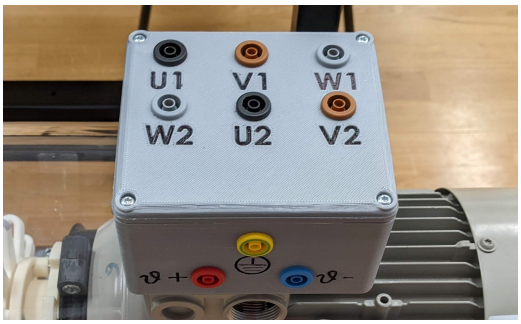
Na priključnoj kutiji asinkronog stroja (slika 4.6b) nalazi se 9 sigurnosnih banana utičnica:

1) U1 - U2 $\longrightarrow$ početak i kraj namota faze U,
2) V1 - V2 $\longrightarrow$ početak i kraj namota faze V,
3) W1 - W2 $\longrightarrow$ početak i kraj namota faze W,
4) $\vartheta+$ i $\vartheta-$ $\longrightarrow$ priključci temperaturne sonde,
5) uzemljenje.

Način spajanja namota faze U, V i W ovisi o tome želi li se postići spoj zvijezda (Y) ili trokut (Δ). Izlaze temperaturne sonde $\vartheta+$ i $\vartheta-$ moguće je spojiti na analagone ulaze frekvencijskog pretvarača *SINAMICS G120* ili mjerni instrument, međutim u ovoj vježbi se ne koriste.



(a) Priključna kutija istosmjernog stroja



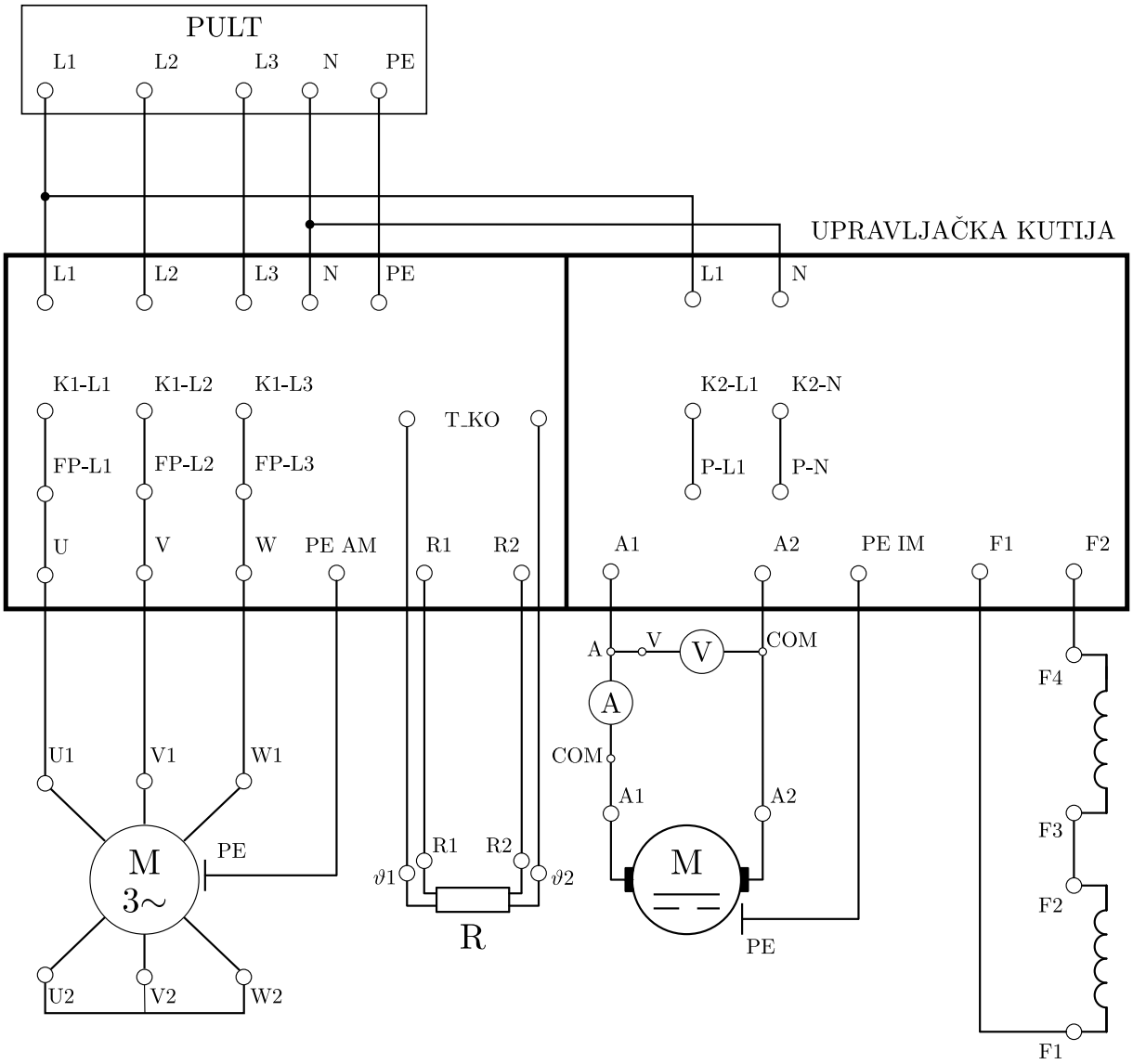
(b) Priključna kutija asinkronog stroja

Slika 4.6: Priključne kutije pogona

4.3. Ožičenje upravljačke kutije i pogona

Za izvođenje laboratorijske vježbe potrebno je ispravno ožičiti upravljačku kutiju i pogon. U ožičenju laboratorijskog postava koristi se prethodni opis upravljačke ploče i shema prikazana na slici 4.7.

Upravljačka kutija se spaja na mrežni napon pod nadzorom asistenta nakon što je provjereno da je sve ostalo ispravno ožičeno. Za početak je potrebno preko upravljačke kutije dovesti napajanje do asinkronog i istosmjernog stroja. Asinkroni stroj je potrebno spojiti na mrežni napon preko motorske zaštitne sklopke, sklopnika i frekvencijskog pretvarača. Budući da istosmjerni stroj zahtijeva jednofazno napajanje, potrebno je dovesti jednu faznu trofaznog mrežnog napona na desni dio upravljačke ploče i zatim spojiti istosmjerni motor na jednofazni napon preko automatskog osigurača, sklopnika i pretvarača.



Slika 4.7: Shema ožičenja upravljačke kutije i pogona

Spajanje multimetra u energetski krug

Armaturni napon i struja u različitim radnim točkama mjere se pomoću multimetra *Fluke* (koji dolazi u dvije inačice) ili *Uni-T UT61E* prikazanih na slici 4.8. Multimetar je višenamjenski mjerni uređaj koji se najčešće koristi za mjerenje istosmjernih i izmjeničnih napona i struja te otpora.

Multimetri *Fluke* 87, *Fluke 179* i *Uni-T UT61E* imaju četiri ulaza od kojih su dva strujna, jedan naponski dok jedan predstavlja zajedničku točku mjernog kruga.

Raspored i oznake ulaza kod multimetra *Fluke* 87 su:

1) A ⟶ strujni ulaz opsega 10 A,
2) COM ⟶ zajednička točka,
3) VΩ ⟶ naponski ulaz.

Oznake ulaza kod multimetra *Fluke 179* razlikuju se od oznaka kod *Fluke* 87 iako im je funkcionalnost ista:

1) 10A ⟶ strujni ulaz opsega 10 A,
2) COM ⟶ zajednička točka,
3) VΩ ⟶ naponski ulaz.

Oznake ulaza kod multimetra *Uni-T UT61E* jednake su kao kod *Fluke 179*:

1) 10A ⟶ strujni ulaz opsega 10 A,
2) COM ⟶ zajednička točka,
3) VΩ ⟶ naponski ulaz.

Ulazi mAμA kod *Fluke* 87 i *Uni-T UT61E* te 400mA kod *Fluke* 179 se **ne koriste** budući da maksimalna očekivana mjerena struja armaturnog kruga iznosi 5A (nazivna struja istosmjernog stroja).

Spajanje multimetra u energetski krug zahtijeva oprez kako ne bi došlo do oštećenja uređaja. Mjerenje napona uvijek se izvodi na način da se multimetar spoji **paralelno** dijelu energetskog kruga na kojem se želi mjeriti napon, dok se prilikom mjerenja struje multimetar spaja isključivo **serijski** u dio energetskog kruga gdje se želi mjeriti struja.

(a) *Fluke* 87 (b) *Fluke* 179 (c) *Uni-T UT61E*

Slika 4.8: Multimetri *Fluke* i *Uni-T*