

Oktatási segédlet

(Mechatronikai laboratóriumok GEMRB004M című tantárgyhoz)



Robert Bosch Mechatronikai Intézeti Tanszék

Miskolci Egyetem, GÉIK

Miskolc, 2017

Készítette: Rónai László PhD hallgató



AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA ÚNKP-17-3 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG
PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

A motorok ismertetése

A motor: Többnyire forgómozgást előállító erőgép, amely mechanikai munkavégzésre képes.

Vannak a belsőégésű motorok, villanymotorok, stb. A tantárgy keretén belül a villanymotorokkal foglalkozunk (villamos energia hatását hasznosító erőgépek).

Villanymotor: Az elektromos áram energiáját mechanikus energiává alakítja. Fontos megjegyezni, hogy az első villanymotort Jedlik Ányos készítette 1825-ben. Főbb részei: a kommutátor, a kefe, rotor, a tekercselés és a ház/burkolat stb.

Egy lehetséges csoportosításuk az egyenáramú motoroknak:

- Gerjesztés szerint: A gerjesztő tekercsek és az armatúra tekercsek kapcsolódási módjai;
 - Soros: A fluxus nagymértékben függ a terheléstől;
 - Párhuzamos (sönt gerjesztés): A fluxus kismértékben függ a terheléstől;
 - Vegyes: Két gerjesztő tekercs;
 - Állandó mágnesű;
 - Külső: A gerjesztő tekercset egy külső áramforrás táplálja.

A kommutáció módja adhat egy másik lehetséges csoportosítást.

- Mechanikus (kefés gép): Hagyományos DC motor pl.: Régi kazettás magnóban, RC autókban stb. Hátrány: kefe elkopik, kefezaj, körtűz keletkezhet, RFI! Előnye az olcsóság.
- Elektronikus (kefe nélküli gép): Ezek a BLDC motorok: A kommutációt félvezető eszközök oldják meg (tranzisztor, vagy akár FET). Ilyen motor pl.: a PC ventilátora, vagy az FDD lemezforgató egysége. Kapcsolgatás szinkronizálása: Hall szenzorok segítségével (Hall effektus ismertetése). Tulajdonképpen egy szinkron motorról van szó, amelynél a kommutáló tranzisztorok kapcsolgatásával érhető el a motor forgása. Az előírtnál gyorsabb kapcsolgatás hatására a motor kieshet a szinkronból. Fontos megjegyezni, hogy a tekercselés, itt az állórészen található, a forgórész pedig állandó mágnes, leggyakrabban kerámia mágnes. Hátránya, hogy viszonylag drága.

Csoportosítás pólusszám alapján:

- Homopoláris: Ez a legegyszerűbb motor. Otthon is megépíthető! Összesen 3 dologra van szükség: rézdrót, AA (AAA) alkáli elem, ritkaföldfém (neodímium) mágnes. Áram indul meg a vezetőben, erre merőlegesen hat a mágneses tér -> forgás.

Fleming szabályok, amelyek megkönnyítik az elektromos gépekben a mágneses tér, az áram és az erő egymásra vonatkozó irányának megjegyzését. A bal kéz a motorokra vonatkozik, a jobb kéz a generátorokra. Ha a bal kéz mutatóujját, középső ujját és hüvelykujját egymásra merőlegesen kinyújtjuk, akkor a mutatóujj a mágneses tér irányába, a középső ujj az áram irányába, és a hüvelykujj az erő irányába mutat. A jobb kéz használata esetén ezek az irányok a generátorra vonatkoznak. Ezeket az emlékeztető szabályokat Sir John Ambrose Fleming (1849–1945) találta ki [16], amely összhangban van a Lorentz erővel.

$$d\vec{F} = I(d\vec{l} \times \vec{B}),$$

ahol dF a Lorentz erő.

- Bipoláris: Például a hagyományos DC motor. Ebben az esetben kétféle áramirány lehetséges.

Váltakozó árammal működtetett motorok:

- Szinkron motorok: Működésük csak egy bizonyos fordulatszámon, az ún. szinkron fordulatszámon lehetséges. Állórész hornyában 3 fázisú tekercselés. Forgórész: Hengeres, vagy kiálló pólusú.
- Aszinkron motorok: Ezt használják a leggyakrabban. Forgórész tekercselése: kalickás, vagy csúszógyűrűs (ugyanolyan póluspárú tekercselés, mint az állórésznél, tengelyre szigetelten felerősített 3 csúszó kontaktus -> forgórész áramának kivezetése).

Működése: Állórész tekercselt \rightarrow Forgó mágneses mező \rightarrow A forgórészben feszültség indukálódik \rightarrow Áram indul meg \rightarrow Lenz törvénye \rightarrow A forgórész el fog fordulni

Lenz törvénye: Az indukált áram iránya olyan, hogy mágneses hatásával gátolni igyekszik az őt létrehozó indukáló folyamatot.

Összefüggések: Felvett teljesítmény: $P_1 = U \cdot I$;

Leadott teljesítmény: $P_2 = T \cdot \omega$, ahol T a nyomaték (torque);

Körfrekvencia: $\omega = 2\pi \frac{n}{60}$, vagy $\frac{n}{9,5488}$,

így a leadott teljesítmény képlete: $P_2 = T \cdot \frac{n}{9,5488}$;

A hatásfok: $\eta = \frac{P_2}{P_1} 100$ [%].

1. feladat: Univerzális motor bekötése, forgásirány megváltoztatása

Szükséges eszközök:

- Univerzális motor (732 00 cikkszámú);
- Banándugós vezetékek;
- DC tápegység (725 852D cikkszámú);
- Feszültség/Árammérő;
- 3 pólusú be/ki kapcsoló panel;
- Univerzális motor ellenoldali tengely elzáró modul (731 07 cikkszámú).

A motor paramétereit az 1. táblázat ismerteti.

Név	AC üzem	DC üzem
Névleges feszültség:	230 V	140 V
Névleges áramerősség:	2,5 A	3 A
Névleges fordulatszám:	3000 rpm	3000 rpm
Névleges teljesítmény	0,3 kW	0,3 kW

1. táblázat: A feladat során alkalmazott motor főbb paramétereit

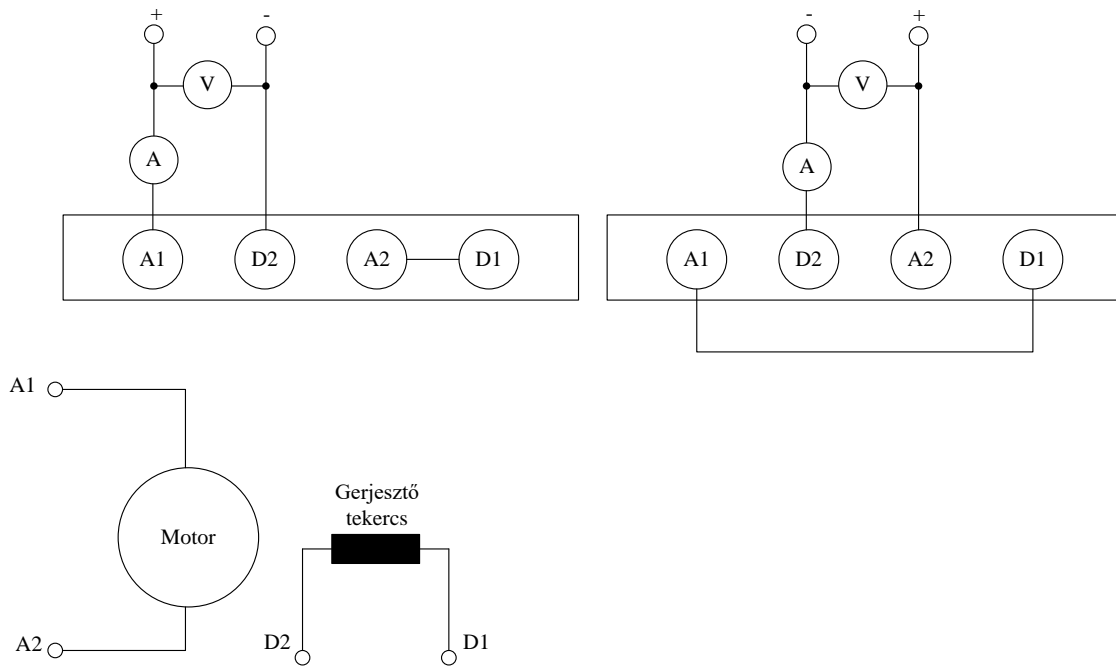
Számoljuk ki a motor névleges nyomatékát DC üzem esetén a fenti paraméterek ismeretében:

$$T_{névl} = \frac{9,5488}{n} P_2 = \frac{9,5488}{3000 \frac{1}{min}} 300 W = \underline{\underline{0,95488 Nm}}$$

Bekötési séma: A forgási irány megváltoztatásához a gerjesztő tekercs bekötését kell megfontolni. A tápegységen állítsuk be a feszültséget és az áramkorlátot:

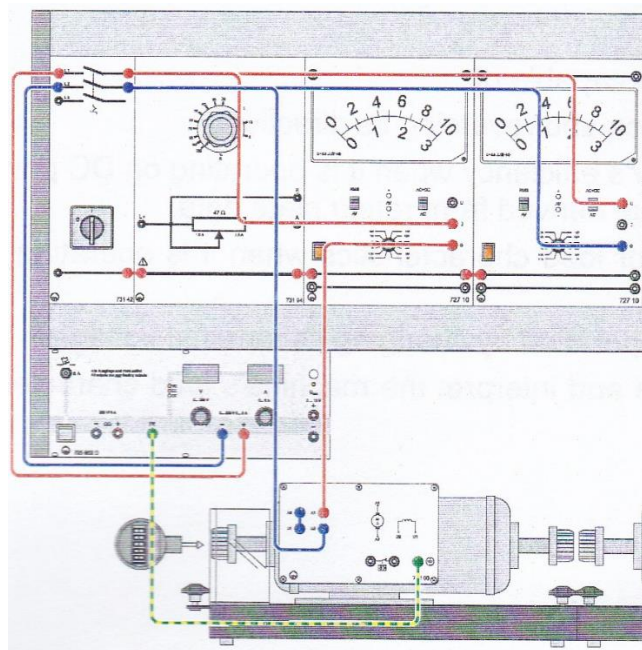
$$U = 70 V, \quad I_{max} = 3 A.$$

Az 1. ábra szemlélteti a feladat során megvalósítandó huzalozásokat.



1. ábra: Az univerzális motor bekötése különböző forgásirányok esetén

Az összeállítási rajzot a Leybold Didactic eszközeivel a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: A tényleges bekötés

2. feladat: A terhelési karakterisztika felvétele CBM10 szoftverrel. A mérés elvégzéséhez be kell kötni a terhelőgépet. A szoftverben ki kell választani az „Univerzális motor DC-n lehetőségét” a Motor fülön. A tengely skálázását, valamint a terhelés jellegét a Konfigurációs beállításoknál lehet beállítani. A program baloldalán található gombsorral lehet beállítani a

mérendő paramétereket, valamint a terhelő gépet be/ki kapcsolni, vagy a mérést elindítani. A konfigurációs beállításoknál megadható a minimális fordulatszám, ameddig a gép terhelni fogja a motort.

Szükséges eszközök a fentiekén túl:

- Terhelő gép és annak elektronikája (731 989 cikkszámú);
- Hőelem bekötése;
- CMB 10 szoftvert futtató számítógép;
- Tengelykapcsoló (731 06 cikkszámú);
- Tengelyeket elzáró plexi (731 08 cikkszámú).

A terhelő gép elektronikájának üzemi módjai:

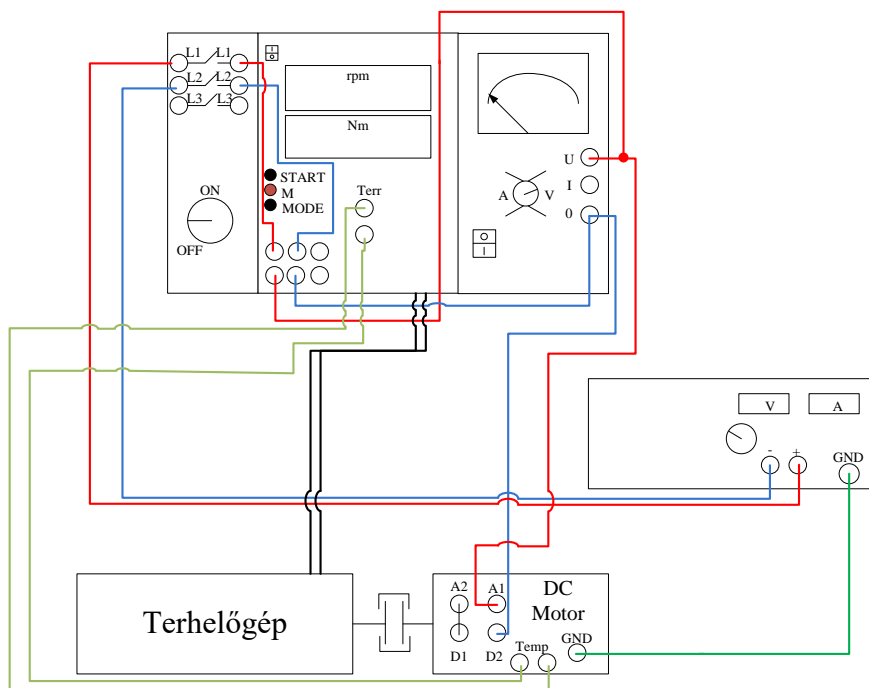
1. Terhelési karakterisztika (Fordulatszám, nyomaték jelleggörbe)
2. Felfutási karakterisztika: A sebesség, amit vagy a panelen, vagy a PC-n beállítunk állandó marad a mérés közben. A tápfeszültséget a rendszer automatikusan állítja, a terhelés függvényében, hogy a sebességet tartani tudja.
3. Automatikus nyomaték szabályozás: A beállított nyomaték értéket tartja.
4. Egyéb szimulációs mérések pl. lendkerék stb.

A panel kijelzi, hogy az adott hajtás melyik negyedben van, ezt a négy LED valamelyikével teszi meg. A panel T_{err} foglalataiba a motorról felvezethetjük a beépített hő-elemről érkező jeleket, hogy túlterhelés védelem legyen aktív. A fordulatszám- és a nyomaték kijelző mellett található nyomógombokkal be lehet állítani a sebesség limitet, valamint a maximális nyomatékot, ezeket a középen található potenciométerrel tehetjük meg.

A számítógéppel az egység soros porton keresztül kommunikál.

A kapcsolási rajz: A terhelő gép elektronikai moduljába a tápegységből kijövő tápkábeleket át kell vezetni, hogy a mérés lehetővé váljon.

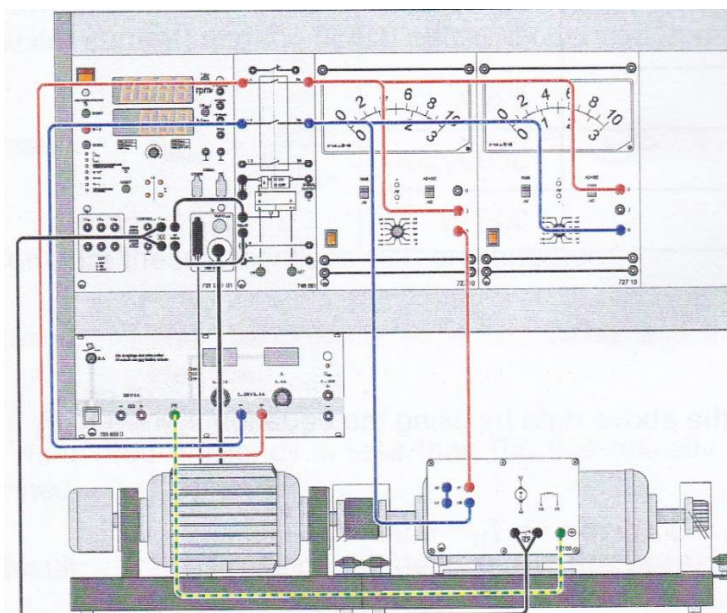
A mérés során legyen $U = 70 V, I_{max} = 3 A$. A szoftverben állítsuk be, hogy a motor $1500 \frac{1}{min}$ fordulatszámra legyen leterhelve minimálisan. $n = 0 \frac{1}{min}$ esetén rövidzár lenne! A 2. feladathoz tartozó bekötési vázlatot a 3. ábra mutatja.



3. ábra: Terhelési karakterisztika felvételéhez a bekötési vázlat

A szoftverben lehetőség van különböző mérések elvégzésére, fontos, hogy a megfelelő motort válasszuk. Az adott motor neve a szoftverben: Univerzális motor (DC). A mérés végeztével a motorra jellemző karakterisztikák előállnak.

Számítógépes karakterisztika felvétel nélkül, nem kell átvezetni a terhelő elektronikán a tápkábeleket, ezt a 4. ábrán látható módon kell megtenni.



4. ábra: CBM10 nélküli terheléses vizsgálat

Üzemképes szénkefés motor (univerzális) készíthető váltakozó áramú táplálás esetére. A forgórész és állórész egyaránt tekercselve van. Ez a motortípus képes egyen- és váltakozó feszültségről működni. Oka a hálózati áram polaritásának megfordulásakor egyszerre változik az álló- és a forgórész mágneses tere, megőrizve az egymás közötti eltérést, így a tekercsek közötti kölcsönhatás ugyanolyan irányú marad [7].

A háztartásokban gyakori: kávédaráló, fűró stb. Kefét, kommutátor szeleteket tartalmaz. Nagy indítónyomatékkal rendelkeznek.

A háztartásokban többnyire egyfázisú aszinkronmotort alkalmaznak [8], pl. mosógépben, fűnyíróban. Egy fázis miatt, nem keletkezik forgó mágneses mező, csak lüktető/pulzáló mágneses tér, a motor így képtelen megfelelően üzemelni (indító nyomatéka zérus). Segédfázisra van szükség, amely lehet mechanikus (berántás), vagy elektromos. A két tekercselés, a főfázis és a segédfázis egymással 90 fokot zárnak be. A segédfázis kondenzátoron keresztül kapcsolódik a tápellátáshoz, ez biztosítja a fáziseltérést. A kondenzátor miatt a segédfázis árama 90 fokkal sietni fog.

A laborban van külön indító és üzemi kondenzátor is. Az indító kondenzátor csak a billenő nyomaték eléréséig üzemel, az üzemi működik tovább. A két kondenzátor egymással párhuzamosan van kötve. A lekapcsolást végezheti: centrifugál kapcsoló, vagy valamilyen relés megoldás. A 8. ábra szemlélteti a kondenzátorok, valamint a tekercselések elhelyezését.

Toroid transzformátorok:

A hagyományos transzformátorokkal szemben több előnye is van, például a jobb hatásfok, kisebb tömeg és helyigény.

A vasmag egy gyűrűt alkot. A primer tekercselés menetszáma fix, a 230 V hálózati feszültséghez mérten általában. Egyszerre akár több szekunder tekercs is lehet, a különböző feszültség szintek levétele miatt.

A méretezéshez a következő adatokat kell megadni pl. [9] szerint:

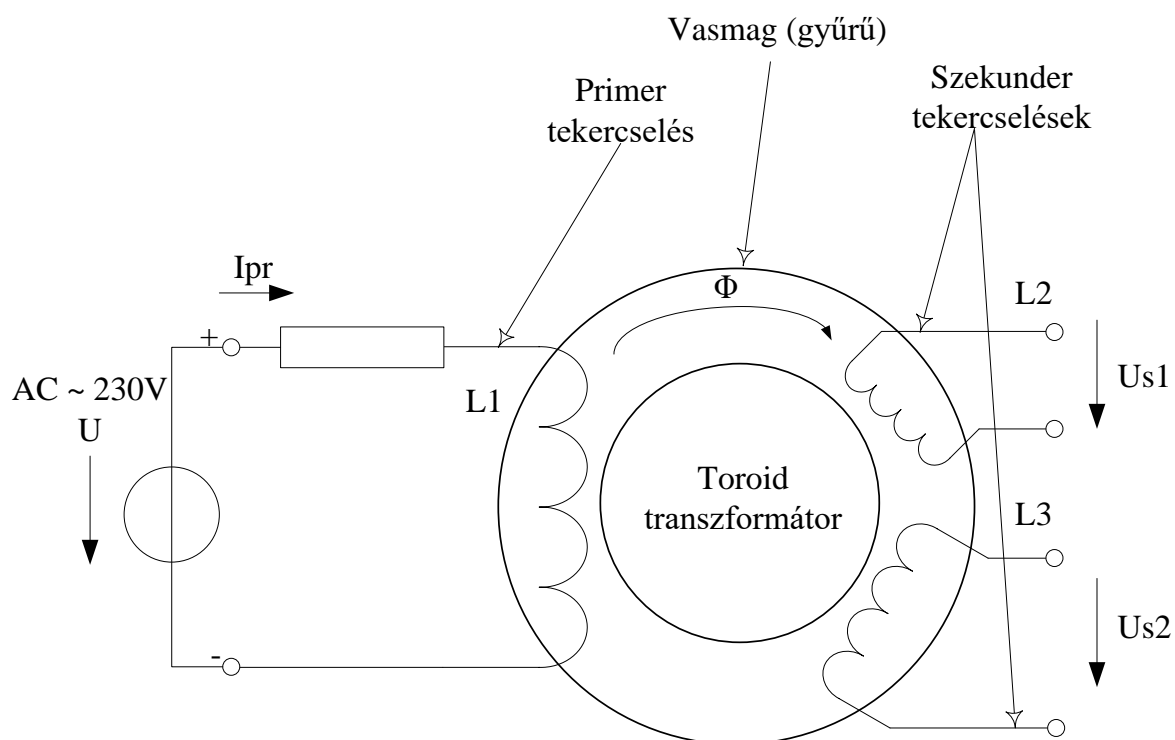
- kimenő teljesítmény (VA);
- hálózati frekvencia;
- primer feszültség(ek);
- szekunder feszültség teljes terhelésnél és a tekercs terhelése (szekunder tekercsenként);
- elvi rajz;

- működés típusa (ha nincs megadva, akkor folyamatos üzemre méretezzük);
- vonatkozó biztonsági követelmények és szabványok;
- árnyékolás (csak külön kérésre);
- felerősítés módja.

A transzformátorokkal kapcsolatban megjegyzések:

Nagy menetszámhoz nagy feszültség és kis áram tartozik (mikrohullámú sütő), viszont kis menetszám esetében kis feszültség és nagy áram tartozik (hegesztő transzformátor).

A szekunder részt lehet akár diszkrét helyeken megcsapolni, így elérve a kívánt feszültségértéket, de lehet több különálló szekunder tekercselést is készíteni.



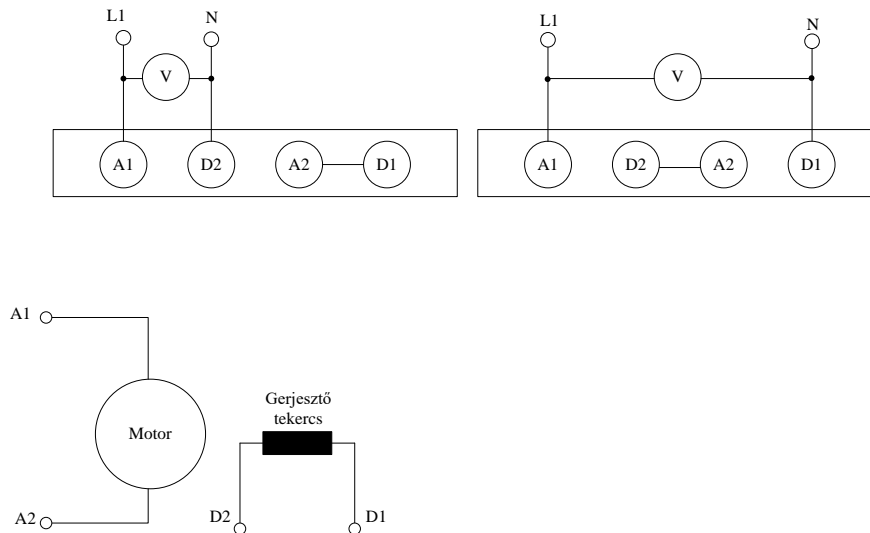
5. ábra: A toroid transzformátor felépítése, diszkrét szekunder tekercselésekkel

1. feladat: Váltakozó áramú kefések motor bekötése (Univerzális motor):

Szükséges eszközök:

- Univerzális motor (732 00 cikkszámú);
- Banándugós vezetékek;
- Feszültség/Árammérő (AC állásban);
- 3 pólusú be/ki kapcsoló panel;
- Univerzális motor ellenoldali tengely elzáró modul (731 07 cikkszámú);
- Toroidos AC tápegység.

A motor maximális beállítandó feszültsége legyen: 120 V. A bekötéshez a 6. ábrán látható módon kell eljárni.



6. ábra: Univerzális motor bekötése AC üzem esetére

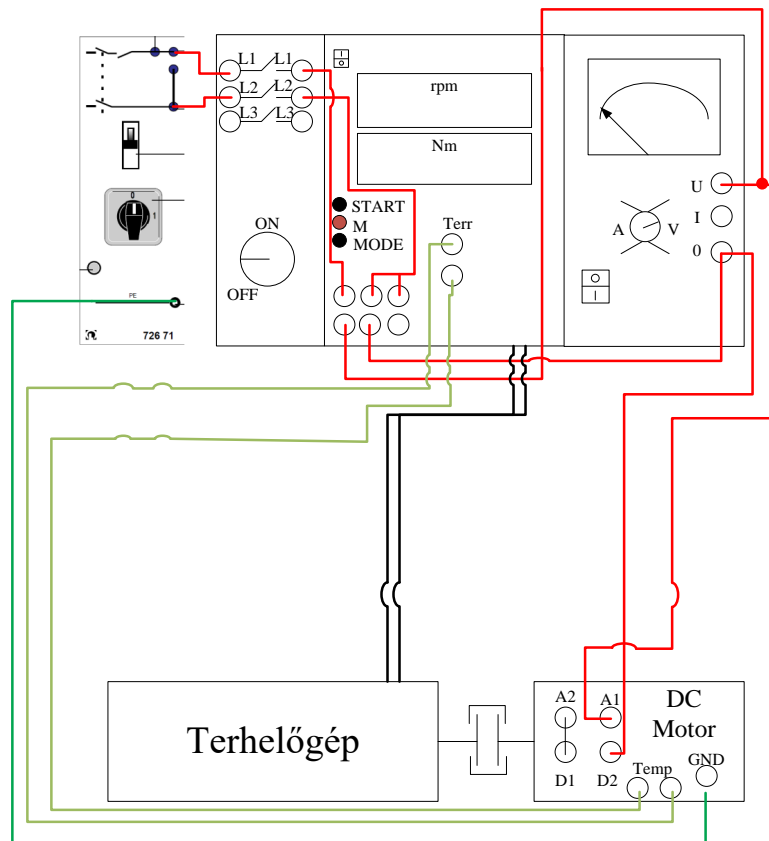
2. feladat: Univerzális motor terhelési karakterisztika felvétele CBM10 szoftverrel

Szükséges eszközök a fentiekén túl:

- Terhelő gép és annak elektronikája (731 989 cikkszámú);
- Hőelem bekötése;
- CBM10 szoftvert futtató számítógép;
- Tengelykapcsoló (731 06 cikkszámú);
- Tengelyeket elzáró plexi (731 08 cikkszámú).

A szoftverben ki kell választani az Univerzális motor AC üzemmód opciót. A terhelő gép elektronikai moduljába a tápegységből kijövő tápkábeleket át kell vezetni, hogy a mérés lehetővé váljon.

CBM10 szoftverrel történő kiértékeléshez a 7. ábra szerinti kapcsolást kell összeállítani.



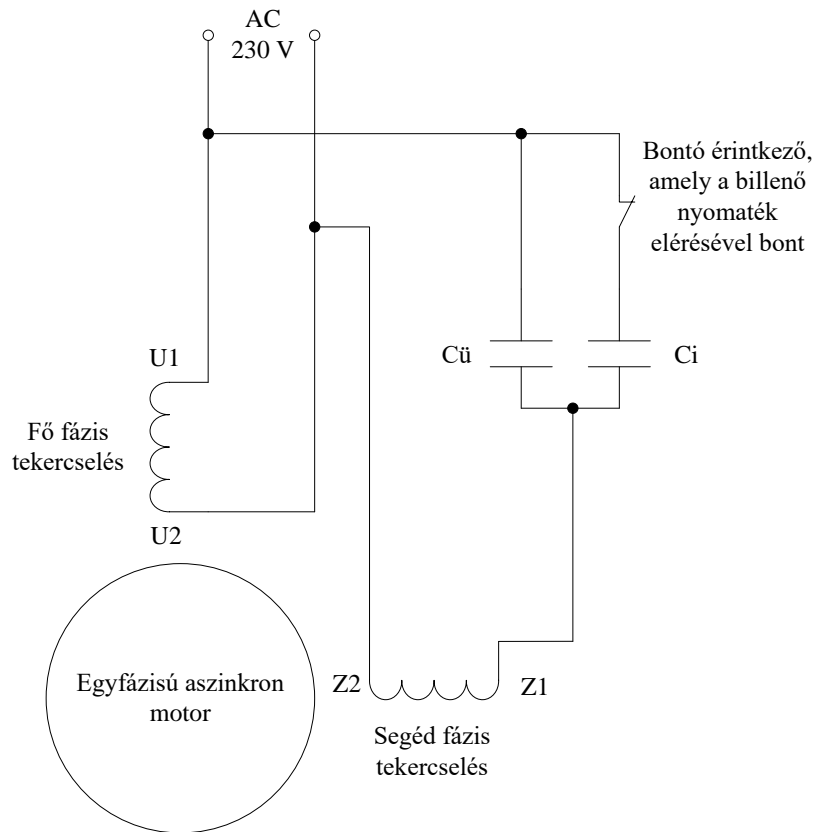
7. ábra: Számítógépes kiértékeléshez szükséges kapcsolás

3. feladat: Egyfázisú aszinkronmotor bekötése indító/üzemi kondenzátorokkal

Szükséges eszközök:

- Egyfázisú aszinkronmotor;
- Banándugós vezetékek;
- Feszültség/Árammérő (AC állásban);
- 3 pólusú be/ki kapcsoló panel;
- Toroidos AC tápegység.

A feladat megoldásához magyarázatot ad a 8. ábra.

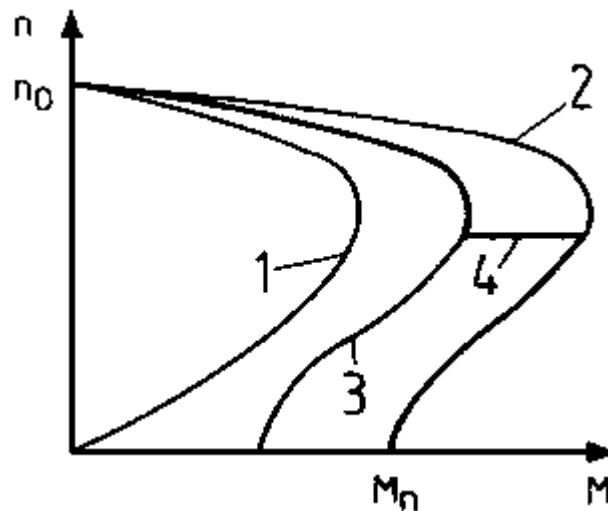


8. ábra: Egyfázisú aszinkronmotor bekötése $C_{\bar{u}}$ (üzemi) és C_i (indító) használatával

A laboratóriumban a C_a jelenti az indító kondenzátort, míg C_b az üzemi kondenzátort.

A feladat az egyfázisú aszinkronmotor bekötése úgy, hogy a motor jobbra forogjon, valamint csak az üzemi kondenzátor bekötése legyen meg.

Megoldás: U2 és Z2 közösítése, majd nullára kötése. A fázist közvetlenül U1-re kötöm, valamint elágaztatom C_b egyik lábára, majd C_b másikat összekötöm Z1-el. Balra forgatás esetén a fő- és segéd fázis tekercseinek bekötésén kell változtatni, úgy, hogy U2 és Z1 csatlakozik a nullára, valamint U1 kapcsolódik a fázishoz, de leágaztatjuk C_b üzemi kondenzátor egyik lábára, a másik láb csatlakozik Z2-re.



9. ábra: Az alkalmazott kondenzátoroktól függő üzemmódok [10]

Az ábrán az **1** jelű görbe lesz a kondenzátor nélküli eset, jól látható, hogy ebben az állapotban bekapcsoláskor nincs indítónyomaték. A **2** jelű görbe szemlélteti a csak indító kondenzátoros esetet, míg a **3** jelű a csak üzemi kondenzátoros esetet. A nyomaték fordulatszám jelleggörbe **4** jelű tagjánál mind a két kondenzátor be van kötve, és a billenő nyomatékot elérve, csak az üzemi kondenzátor fog működni.

4. feladat: Egyfázisú aszinkronmotor terhelési karakterisztika felvétele CBM10 szoftverrel

Szükséges eszközök a fentiekén túl:

- Terhelő gép és annak elektronikája (731 989 cikkszámú);
- Hőelem bekötése;
- CBM10 szoftvert futtató számítógép;
- Tengelykapcsoló (731 06 cikkszámú);
- Tengelyeket elzáró plexi (731 08 cikkszámú).

A szoftverben ki kell választani a Segédfázisú motor R, vagy F opciót. A terhelő gép elektronikai moduljába a tápegységből kijövő tápkábeleket át kell vezetni, hogy a mérés lehetővé váljon.

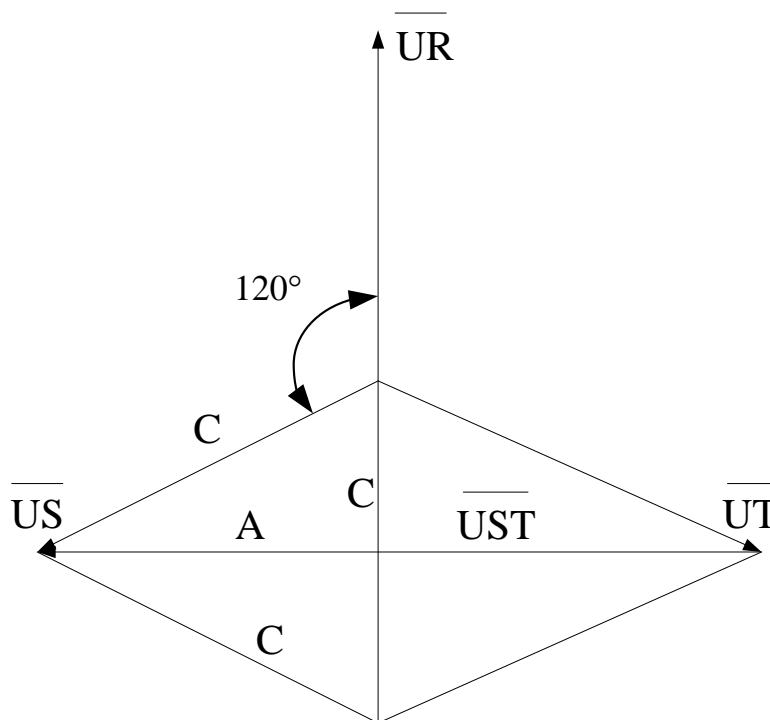
Háromfázisú aszinkron motorok

Háromfázisú aszinkronmotor bekötések ismertetése:

A lehetséges bekötési módok: csillag-, vagy delta bekötés. Kialakítástól függ, hogy melyikbe köthető az adott motor. Például egy 230/400V motor nem köthető delta kapcsolásba, mert a vonali feszültséget a rendszer nem bírná el.

Delta kapcsolás esetén érvényes az $U_v = U_f$, azaz a fázis- és vonali feszültségek megegyeznek.

Csillag kapcsolás esetén $U_v = \sqrt{3}U_f$. Ez a 10. ábrából következik.

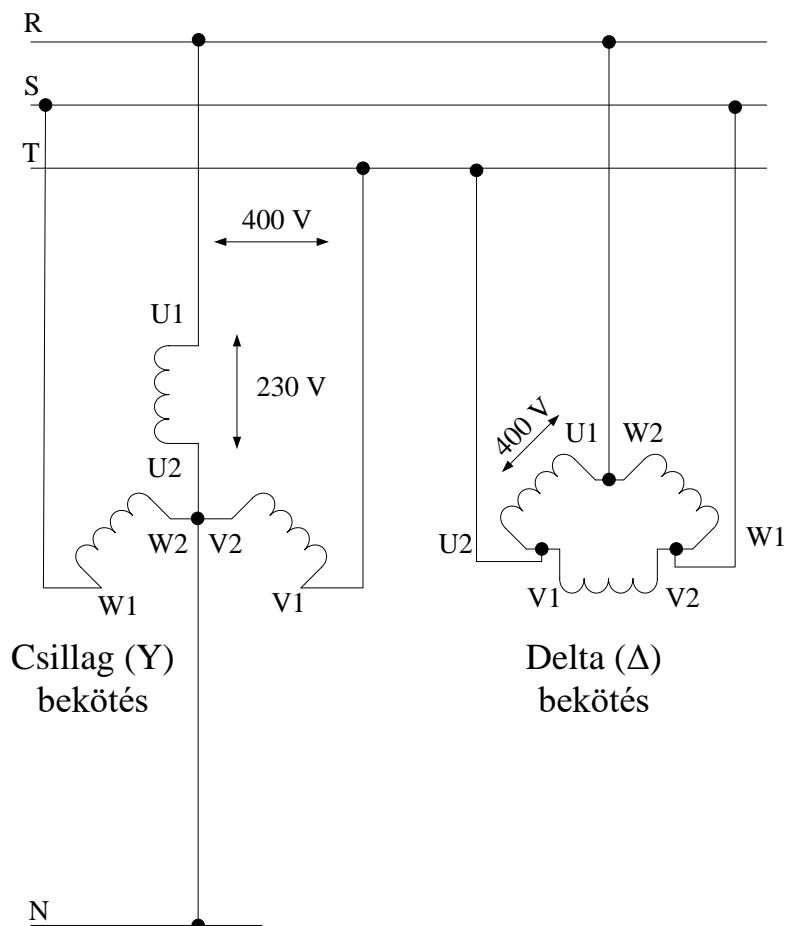


10. ábra: Az egyes feszültségek vektoros ábrája

Ha megnézzük a vektorábrát, akkor az $\overrightarrow{U_{ST}}$ vonali feszültség két egyenlő oldalú háromszög magasságát képezi. Az oldalhosszúság, valamint a háromszög magassága közötti összefüggés:

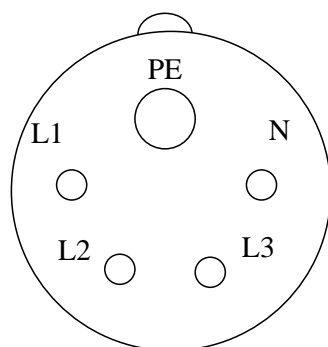
$$A = \frac{\sqrt{3}}{2} C,$$

mivel a vonali feszültség két A-nak felel meg, ezért $U_v = \sqrt{3}U_f$. A 11. ábrán látható a csillag- és delta kapcsolások részletes bekötési sémája.



11. ábra: A csillag- és delta kapcsolások

Ipari csatlakozók között sokféle létezik, jelen segédlet a 400 V-os típusokra tér ki. Ebben az esetben mind a 3 fázis ki van vezetve. Kétféle kialakítás terjedt el: van, amelyiken csak 4 csatlakozás van (nullavezető nélkül 4P), és van, amelyiken 5 csatlakozás van (nullavezetővel 5P). Ipari csatlakozók szabványa: IEC 60309. A 400 V-os ipari csatlakozók színe piros, ezt is a szabvány foglalja magában. PE jelenti a védőföldet (Protective Earth), N a nullavezetőt, L1, L2 és L3 pedig a három fázist. Az 5P csatlakozó tűkiosztását a 12. ábra részletezi.



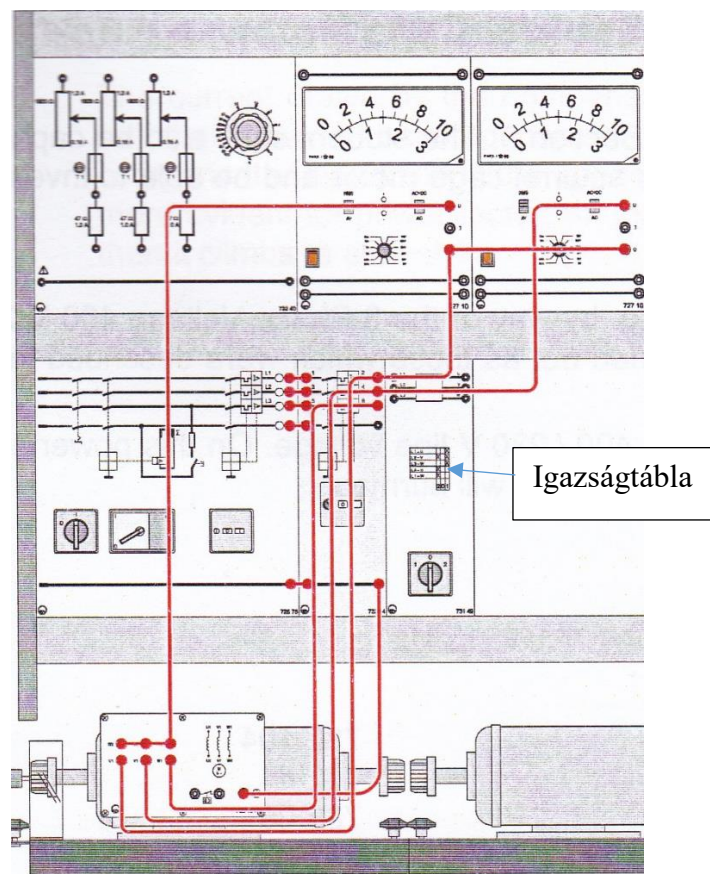
12. ábra: A 400 V 5P csatlakozó tűkiosztása

1. feladat: 230/400 V háromfázisú aszinkronmotor tekercseinek csillag kapcsolása.

Szükséges eszközök:

- Háromfázisú aszinkronmotor (732 104 -> 230/400V);
- Banándugós vezetékek;
- Feszültség/Árammérő (AC állásban);
- 3 pólusú be/ki kapcsoló panel;
- 3 fázisú feszültségforrás (726 75 cikkszámú).

A megoldás menete: Áramtalanított körülmények között a kapcsolás elkészítése, majd ellenőrzése. Megfelelő kapcsolás esetén a motor indítható. A feladat második részében kössük be az irányváltó kapcsolót, és figyeljük meg annak igazság tábláját. A panelen található háromállású kapcsolóval a motor forgásiránya változtatható. A 13. ábra részletesen bemutatja a bekötési sémát.



13. ábra: A bekötés

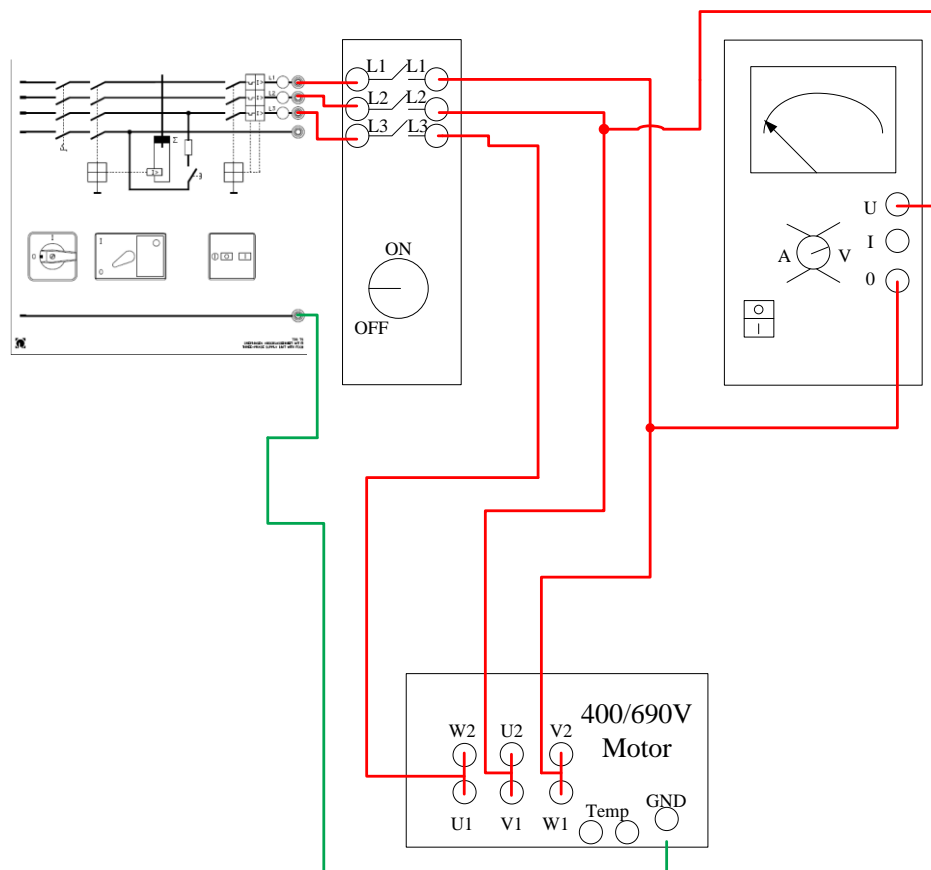
2. feladat: A 400/690 V háromfázisú aszinkronmotor tekercseinek delta kapcsolása.

Szükséges eszközök:

- Háromfázisú aszinkronmotor (732 11 -> 400/690V);
- Banándugós vezetékek;
- Feszültség/Árammérő (AC állásban);
- 3 pólusú be/ki kapcsoló panel;
- 3 fázisú feszültségforrás (726 75 cikkszámú).

A megoldás menete: Áramtalanított körülmények között a kapcsolás elkészítése, majd ellenőrzése. Megfelelő kapcsolás esetén a motor indítható. A feladat második részében kössük be az irányváltó kapcsolót, és figyeljük meg annak igazság tábláját. A panelen található háromállású kapcsolóval a motor forgásiránya változtatható.

A 14. ábrán vázoltak alapján kell a kapcsolást kivitelezni.



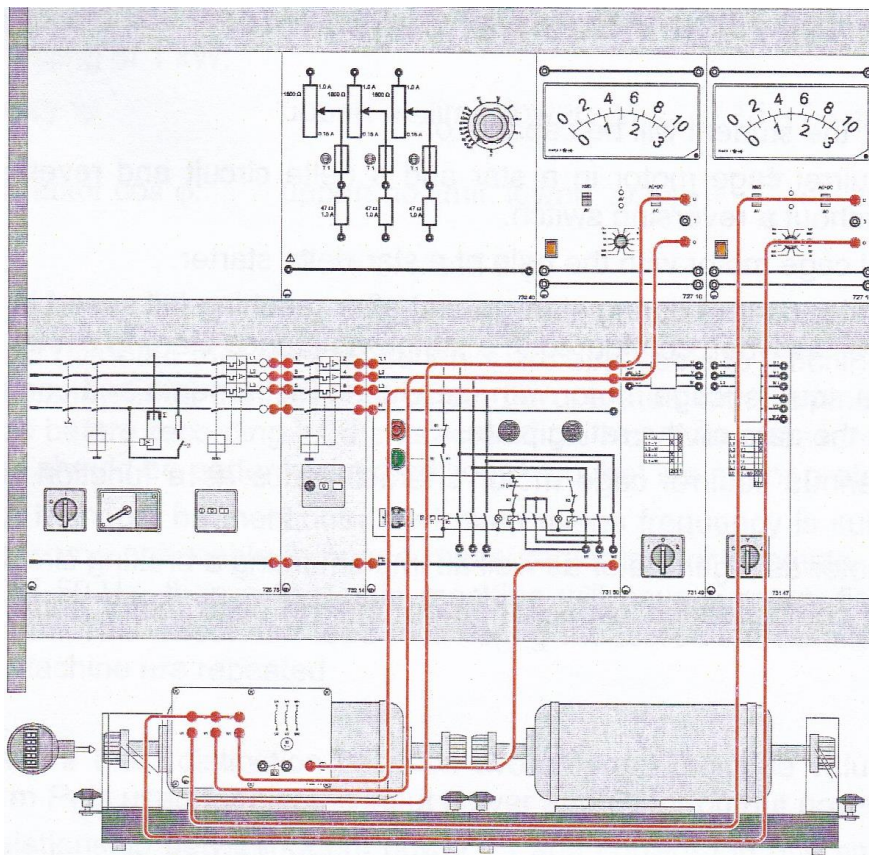
14. ábra: A delta kapcsolás ismertetése

3. feladat: Az előző feladatban szereplő motort kössük be csillagba, figyeljük meg, hogy miképp változtak a delta kapcsoláshoz képest. (Nehezebb elindulás, viszont az üzemi fordulatszám megegyezik a delta kapcsolásnál mérttel). A 2 kW-nál nagyobb teljesítményű motorokat célszerű először csillag kapcsolásban indítani, mivel ekkor az indításkori áramérték a harmadára fog lecsökkenni. Az üzemi fordulatszámot elérve átkapcsolható a motor deltába. Az átkapcsolás csillag-delta között történhet kézi- vagy automata módon.

Szükséges eszközök:

- Háromfázisú aszinkronmotor (732 11 -> 400/690V);
- Banándugós vezetékek;
- Feszültség/Árammérő (AC állásban);
- 3 pólusú be/ki kapcsoló panel;
- 3 fázisú feszültségforrás (726 75 cikkszámú).

Egy másik feszültségmérő bekötésével a csillagpont és egy fázis közötti feszültséget tudjuk mérni, amelyet a 15. ábra mutat.



15. ábra: Az egyes feszültségek mérése

Frekvenciaváltók

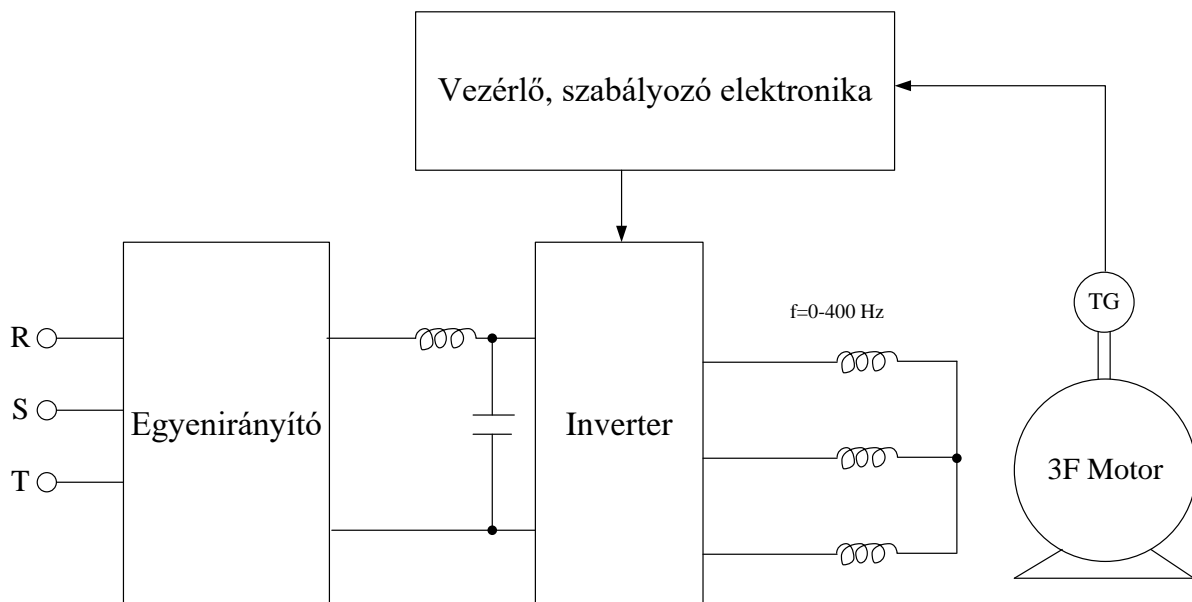
Fordulatszám változtatása kalickás motoroknál: Fázisfeszültség csökkentése, póluspár szám változtatása, a frekvencia változtatása.

Manapság a leggyakoribb fordulatszám változtatási mód a **frekvenciaváltók alkalmazása**.

Frekvenciaváltók (VFD – Variable Frequency Drive) csoportosítása:

- Közvetlen: pl. ciklokonverterek;
- Közvetett.

Közvetett frekvenciaváltók: Négy fő részből tevődnek össze: Egyenirányító, Szűrő kör, Inverter, Vezérlő/szabályozó elektronika, ezt a 16. ábrán lehet megfigyelni.



16. ábra: Közvetett frekvenciaváltók felépítése

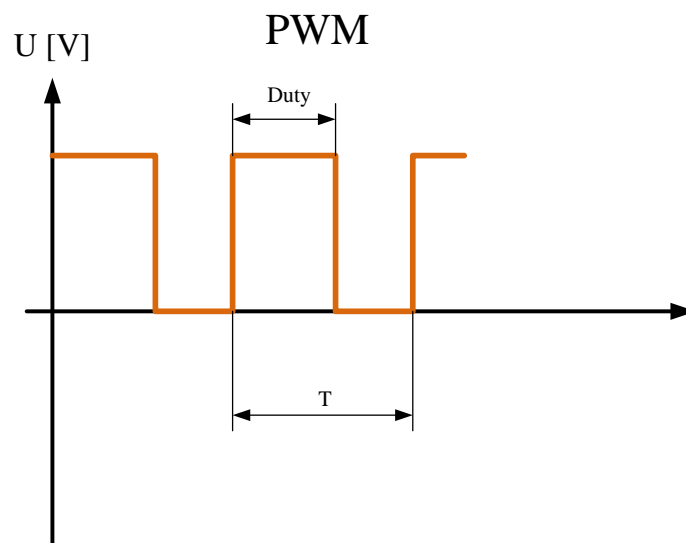
- Egyenirányító egység: 6 darab diódát tartalmaz, amennyiben a feszültségforrás 3 fázisú.
- Szűrő kör: Tekercseket, kondenzátorokat tartalmaz (Kondenzátor simítja a feszültséget, míg a tekercs az áramot fogja simítani).
- Inverter: Kapcsolgatható félvezetőket, valamint diódákat foglal magában.
- Szabályozó elektronika: A PWM jeleket állítja elő.

Az egyenirányított rendszert az inverter fogja visszaalakítani háromfázisú rendszerré. A szabályozó elektronika a tranzisztorok kapcsolgatását végzi el. A laboratóriumban egy közbenső egyenáramkörös feszültség inverteres frekvenciaváltó található. Tartalmaz egy szűrő kondenzátort és egy szűrőtekercset is. Általában a közbenső körű egyenfeszültségből a PWM

(Impulzus szélesség moduláció) jelekkel vezérelt tranzisztorok (Félvezetős 3 fázisú híd) (IGBT) [11] előállítják a megfelelő frekvenciát és feszültséget. $U/f = \text{const}$.

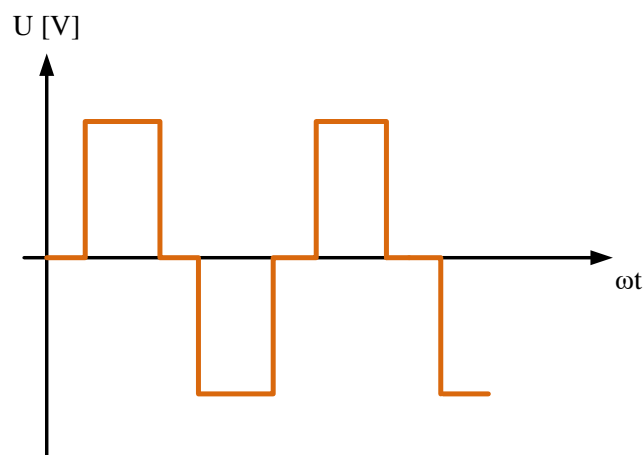
Az ISZM:

Elektronikai eszközök szabályozására esetünkben motoroknál. A feszültséget, áramerősséget gyors kapcsolgatással szabályozzák. Így egy motor fordulatszáma tetszőlegesen változtatható. A PWM technika esetében a kitöltési idő változtatható, a periódusidő fixen van, ezt a 17. ábra érzékelteti.



17. ábra: A PWM technika

A frekvenciaváltóval előállított jelalak a szinusz jelalaktól láthatóan nagyon eltér, de a motor számára ez megfelelő. Így például adódhat egy olyan alak is, amelyet a 18. ábra tartalmaz.

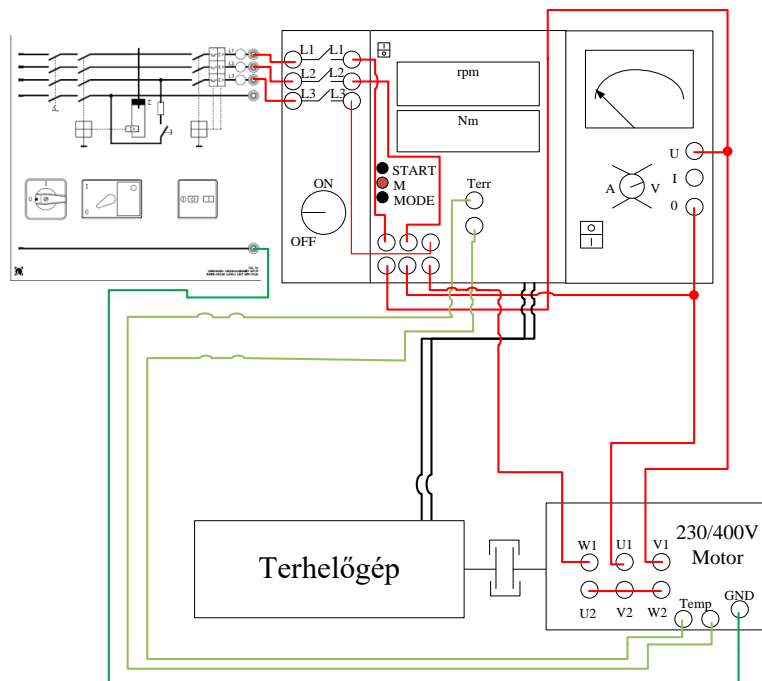


18. ábra: Egy lehetséges frekvenciaváltóval előállított jelalak

1. feladat: Egy 230/400 V háromfázisú aszinkronmotor tekercseinek csillag kapcsolása, karakterisztika felvétele CBM10 szoftverrel. Szükséges eszközök:

- Háromfázisú aszinkronmotor (732 104 -> 230/400V);
- 3 fázisú feszültségforrás (726 75 cikkszámú);
- Banándugós vezetékek;
- Feszültség/Árammérő (AC állásban);
- 3 pólusú be/ki kapcsoló panel;
- Terhelő gép és annak elektronikája (731 989 cikkszámú);
- Hőelem bekötése;
- CBM10 szoftvert futtató számítógép;
- Tengelykapcsoló (731 06 cikkszámú);
- Tengelyeket elzáró plexi (731 08 cikkszámú).

A megoldás menete: Áramtalanított körülmények között a kapcsolás elkészítése, majd ellenőrzése. Megfelelő kapcsolás esetén a motor jelleggörbéi felvehetőek. Fontos, hogy a szoftverben válasszuk ki a megfelelő motort, illetve a mérendő paramétereket. A feladat megoldásához használatos kapcsolást a 19. ábra foglalja magában.



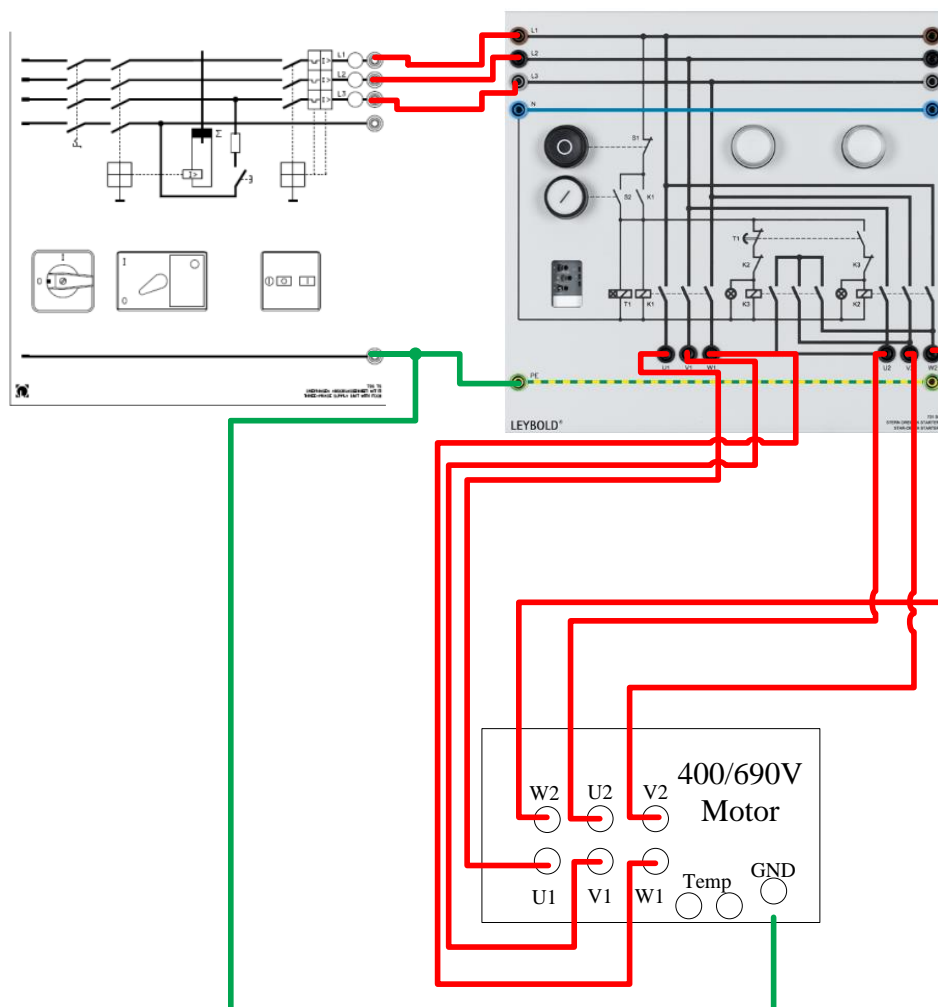
19. ábra: Aszinkronmotor csillag kapcsolása

2. feladat: Egy 400/690V típusú aszinkronmotor csillag/delta automata kapcsolása.

Szükséges eszközök:

- Háromfázisú aszinkronmotor (732 11 -> 400/690V);
- Banándugós vezetékek;
- 3 fázisú feszültségforrás (726 75 cikkszámú);
- Csillag-delta automata.

A 20. ábra mutatja a bekötési sémát.



20. ábra: A csillag/delta automata kapcsolása

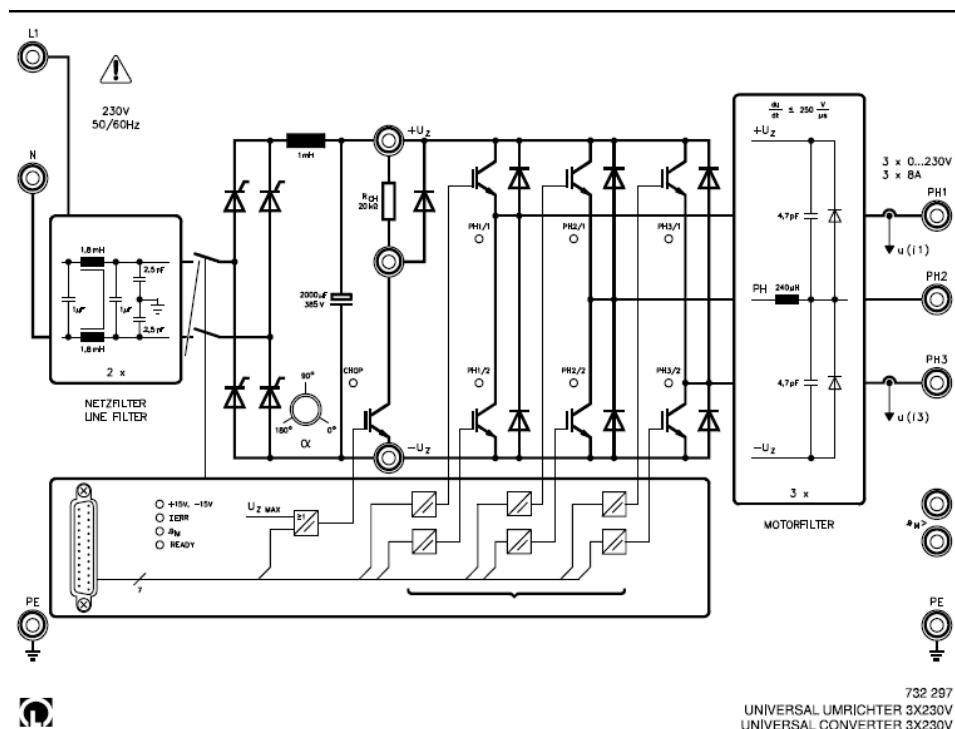
A bekötés után látható, hogy a nyomógombok segítségével könnyen válthatunk a csillag-delta opciók között. A 230/400V motort nem lehet bekötni, mert a delta kapcsolás esetén leégne.

3. feladat: Egy 400/690V típusú aszinkronmotor frekvenciaváltós kapcsolása. A motor alapkapcsolása legyen delta.

Szükséges eszközök:

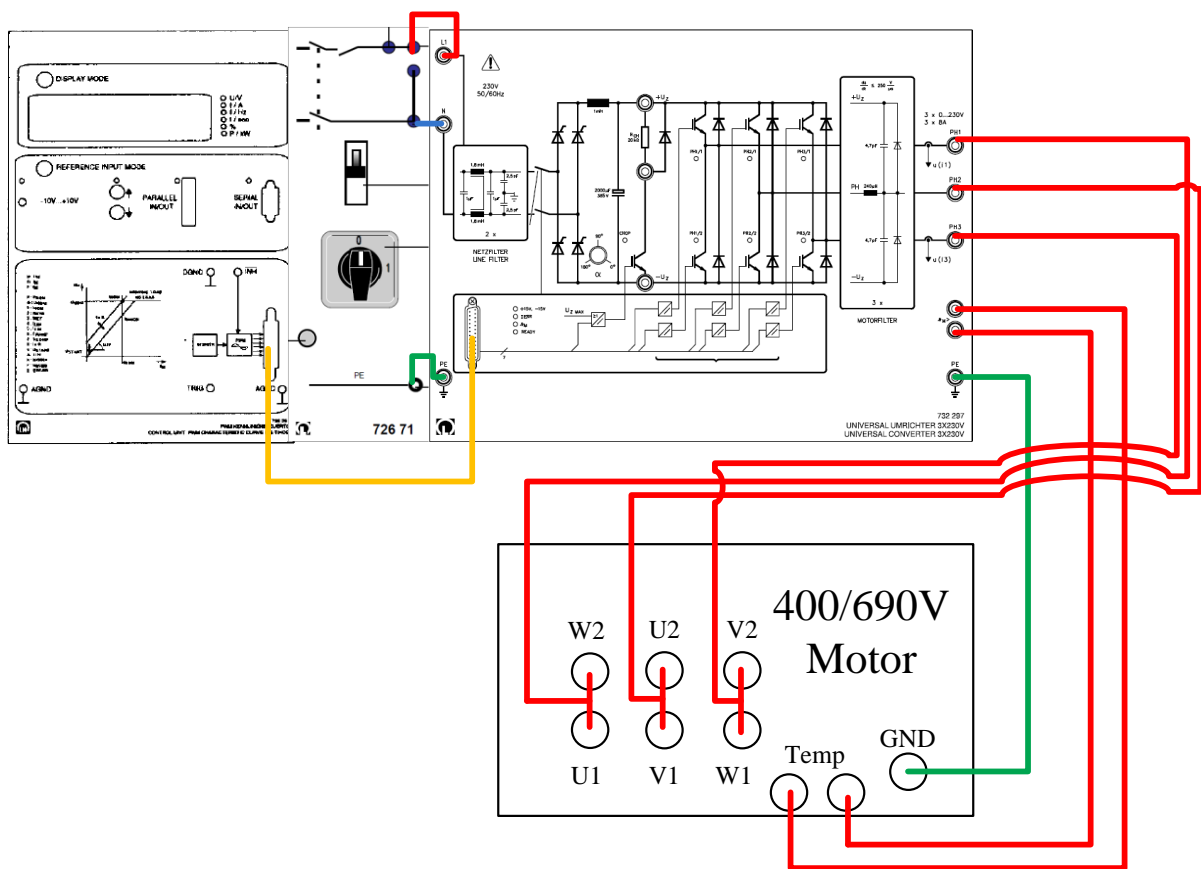
- Háromfázisú aszinkronmotor (732 11 -> 400/690V);
- Banándugós vezetékek, hőelem bekötése;
- 1 fázisú feszültségforrás (726 71 cikkszámú);
- Frekvenciaváltó (735 297);
- PWM vezérlő egység.

Az előző héten megismert delta kapcsolást kell alkalmazni, valamint a berendezéshez hozzá kell kötni a frekvenciaváltót. A helyesen összerakott kapcsolás után a rendszer elindításakor próbáljuk a motor fordulatszámát változtatni. A frekvenciaváltó L1 és N bemeneteire kötjük a tápegység vezetékait. A Line Filter tömb zavarshűzőként funkcionál (tekercsek, kondenzátorok), ezt a 21. ábra szemlélteti. Az egyenirányítás tirisztorokkal történik, a gyújtásszögüket lehet állítani. PH1, PH2 és PH3 lesz a kimenő 3 fázis, amelyeket csatlakoztathatunk a motorhoz. Az inverter IGBT-eket tartalmaz. Maximális PWM frekvencia 20 kHz. A PWM szabályozó berendezéssel egy 25 eres szalagkábelrel van összekötve. A hőelemet a frekvenciaváltón található helyekre kell kötni, ha túlmelegszik a motor, akkor leold.



21. ábra: A laboratóriumban található frekvenciaváltó

A frekvenciaváltós kapcsolásra ad példát a 22. ábra



22. ábra: Frekvenciaváltós kapcsolás, amelyben delta alapkapcsolás található

A frekvenciaváltó kapcsoló elektronikája számítógéppel is vezérelhető, ehhez a soros kábelt kell bekötni az *IN/OUT* csatlakozási pontra. A PC-n a MOMO szoftvert kell elindítani, majd utána a *Váltás erre* fülön át kell kattintani a frekvenciaváltó szoftverére (FCCP). A kapcsoló elektronika panelen át kell váltani a soros kommunikációra, ezt az *Input mode* nyomógombbal lehet megtenni. A piros LED kivillanása jelzi a csatlakozó mellett, hogy aktív a soros kommunikáció.

A program betöltése után a moduláció típusa változtatható (Blokk, PWM, Trapéz stb.), a forgásirány is tetszés szerint beállítható, felfutási idő-, a névleges paraméterek is megadhatók.

Mivel a frekvenciaváltó kimenetén 3x230/133 V van, ezért a 230/400V motort deltába is lehet kötni. A 400/690V-os motor a katalógusban megadott névleges paramétereit nem tudja teljesíteni a frekvenciaváltó kimeneti feszültsége miatt.

Szervo motorok

Ezen motorokban található egy jeladó, amely segítségével az aktuális pozíció meghatározható. Egy kívánt érték megadásával a motor diszkrét helyzetbe állítható. PWM jelekkel vezérelhető, így a kitöltési tényezőt változtatva, a sebesség állítható.

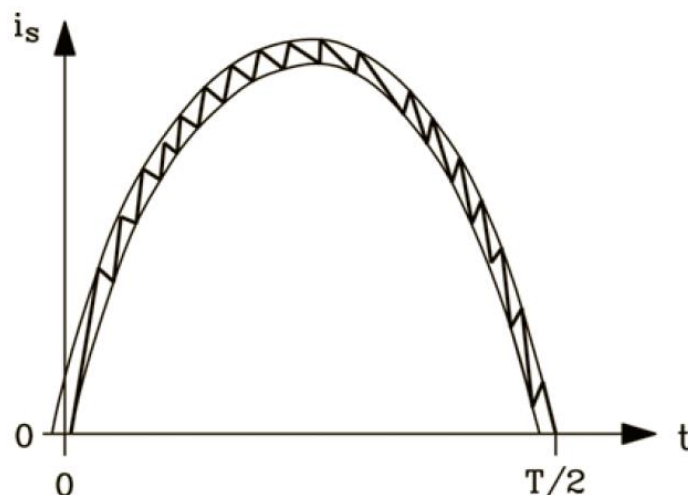
A DC szervo motorok vezérelhetők például H-hidak segítségével, a forgásirányt, valamint a forgási sebességet lehet állítani.

Fontosabb részei: Állórész tekercselés, forgórész tekercselés/állandó mágnes, csapágyazások, enkóder, tömítések, ház/burkolat.

A forgórész, hogy elforogjon, forgó mágneses térre van szükség. Az állórész gerjesztésével, az áramok irányának-, nagyságának állításával érhető el, ez a kommutáció.

Típusai:

- Blokk kommutáció: Ha tekercsek áramirányát blokkonként változtatjuk. Hasonló a léptetőmotoroknál alkalmazott elvhez.
- Szinuszos kommutáció: A tekercsre adott áram szinuszos jelleget mutat (3 fázissal, vagy inverterrel érhető el). PWM segítségével állítható elő a szinuszos feszültség. A blokk kommutációhoz hasonlóan, itt is a tekercsre kapcsolt tápfeszültség ki-be kapcsolásával érjük el a kívánt áramot, annyi különbséggel, hogy ebben az esetben nem konstans az áram, hanem szinuszos az alapjel.



23. ábra: Szinuszos kommutáció [12]

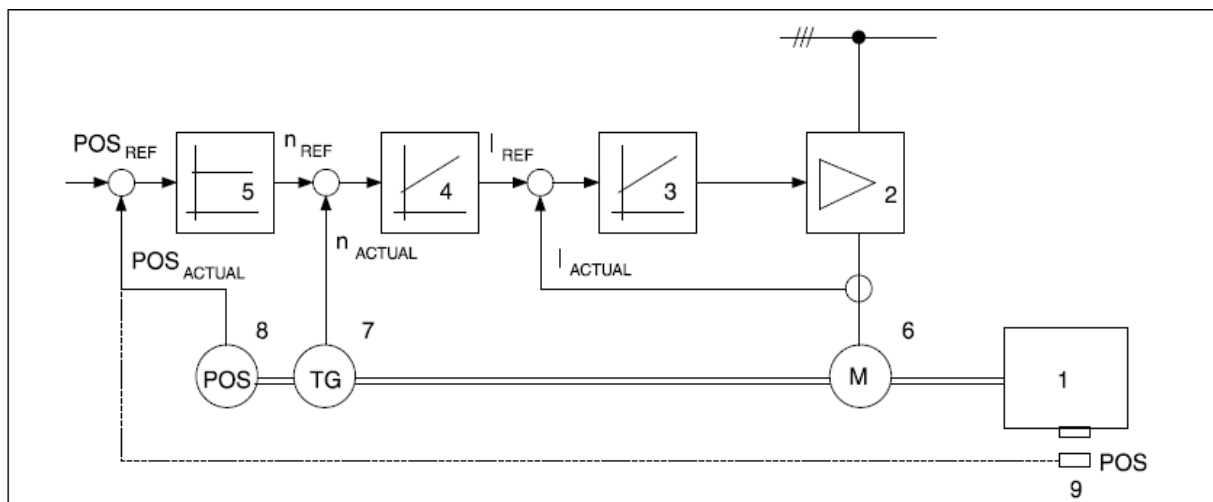
A rotor pozíciójából (rezolver szolgáltatja) fogja a vezérlő elektronika generálni a megfelelő mezőt az állórész számára.

A laboratóriumban található AC szervo (Állandó gerjesztésű kefenélküli DC motor) paramétereit a 2. táblázat tartalmazza.

Sorsz.	Név	Érték
1.	Névleges fordulatsz.	$6000 \frac{1}{min}$
2.	Névleges teljesítmény	415 W
3.	Névleges áram	4,5 A
4.	Hőelem leold	120 °C
5.	Névleges nyomaték	0,65 Nm
6.	Pólusok száma	4

2. táblázat: AC szervo paramétereit

Az elektromos szervo rendszerek struktúráját mutatja a 24. ábra.



24. ábra: A szervo rendszerek struktúrája [6]

Részei:

1. A Működő gép;
2. Erősítő;
3. Zárt hurkú áramszabályozás, árammérővel;
4. Zárt hurkú fordulatszám szabályozás, tachogenerátorral;
5. Zárt hurkú pozíció szabályozás, pozíció detektorral;
6. Hajtó motor;

7. Tachogenerátor;
8. Pozíció enkóder.

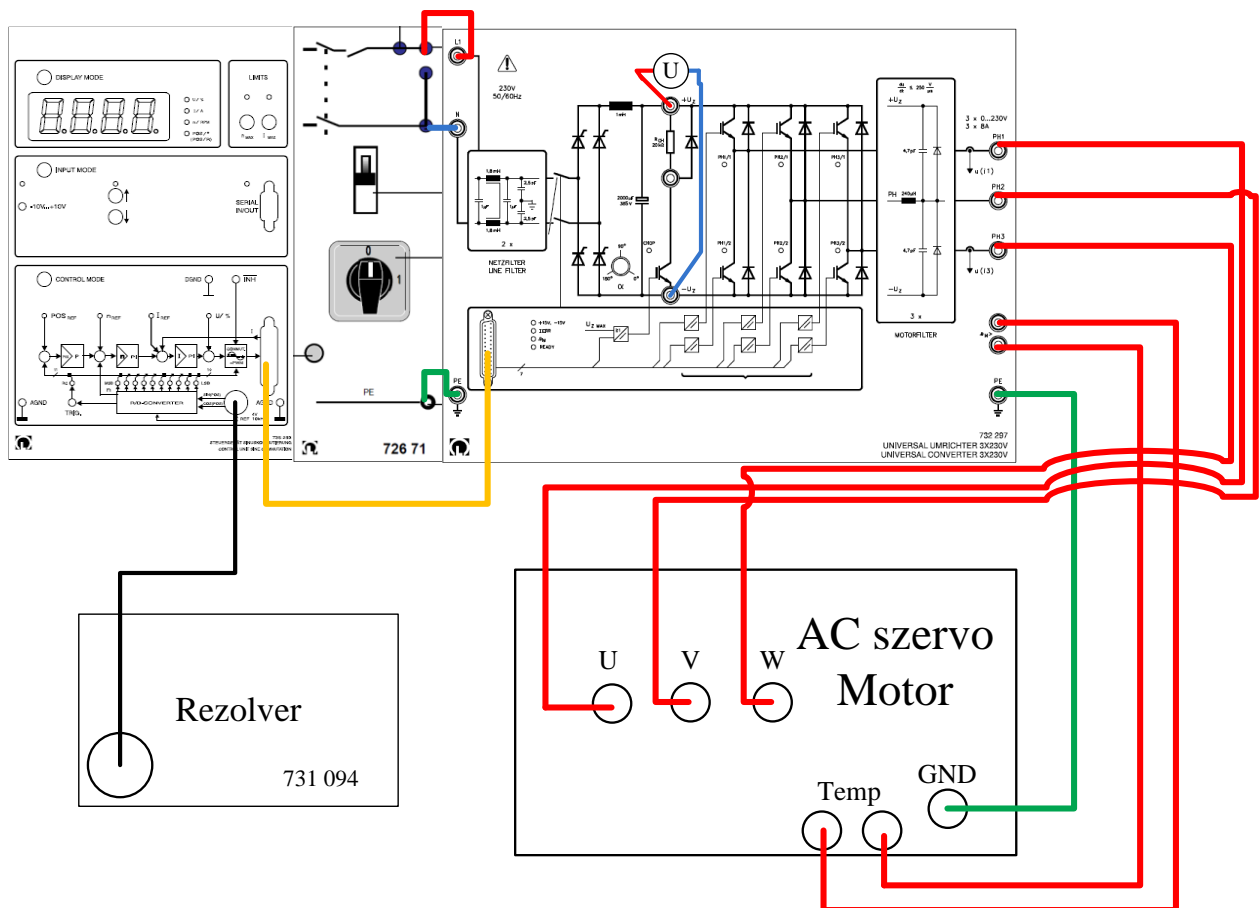
Szervo motorokat használnak például a robotikában, CNC gépeknél, hobbi szinten pedig az RC autóknál fordulhat elő.

1. feladat: AC szervo motoros kapcsolás összeállítása. Forgó jeladó bekötésével az adott motor meghajtása.

Szükséges eszközök:

- Háromfázisú kefenélküli AC szervo motor (731 994);
- Banándugós vezetékek, hőelem bekötése;
- 1 fázisú feszültségforrás (726 71 cikkszámú);
- Frekvenciaváltó (735 297);
- PWM vezérlő egység, szinuszos kommutációs (735 293 cikkszámú);
- Rezolver (731 094);
- Feszültségmérő.

A bekötést a 25. ábrán látható módon kell kivitelezni.



25. ábra: A feladathoz tartozó bekötés

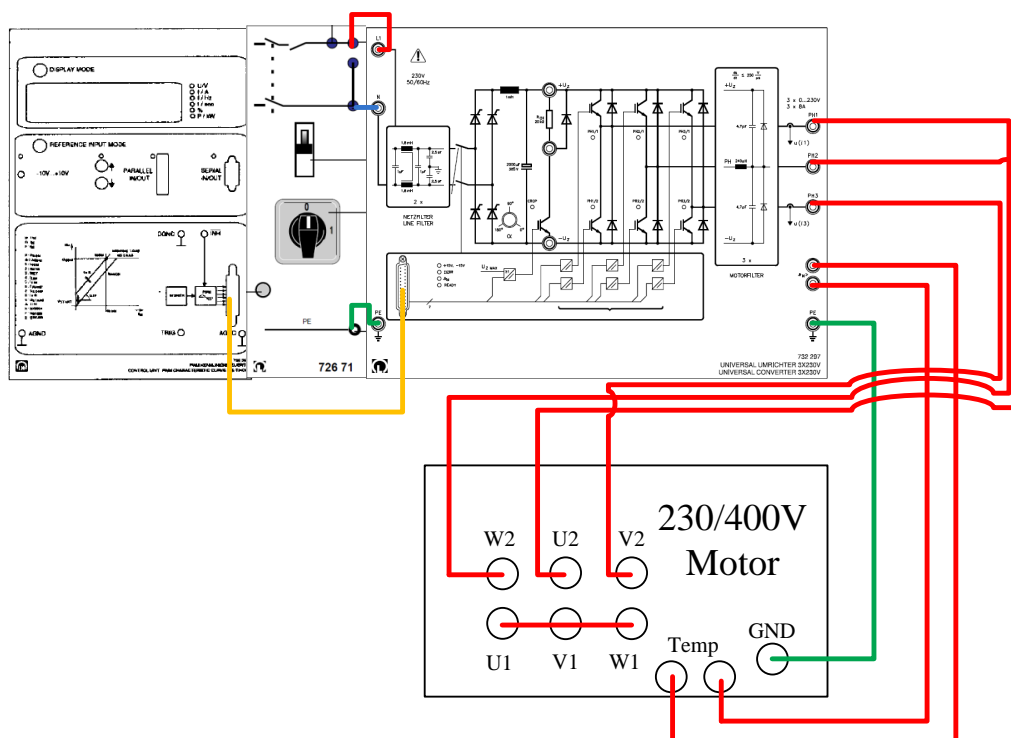
A helyes bekötés után, a tápegységet be kell kapcsolni. A frekvenciaváltó megfelelő beállítása után a rezolvert kézzel megforgatva a szervo motor leköveti a jeladó mozgását.

2. feladat: Egy 230/400V típusú aszinkronmotor frekvenciaváltós kapcsolása, számítógépes vezérlés. A motor alapkapcsolása legyen csillag.

Szükséges eszközök:

- Háromfázisú aszinkronmotor (732 104 -> 230/400V);
- Banándugós vezetékek, hőelem bekötése;
- 1 fázisú feszültségforrás (726 71 cikkszámú);
- Frekvenciaváltó (735 297);
- PWM vezérlő egység.

A 26. ábra mutatja az elkészítendő kapcsolást.



26. ábra: Egy frekvenciaváltós kapcsolás

A frekvenciaváltó kapcsoló elektronikája számítógéppel is vezérelhető, ehhez a soros kábelt kell bekötni az *IN/OUT* csatlakozási pontra. A PC-n a MOMO szoftvert kell elindítani, majd utána a *Váltás erre* fülön át kell kattintani a frekvenciaváltó szoftverére (FCCP). A kapcsoló elektronika panelen át kell váltani a soros kommunikációra, ezt az *Input mode* nyomógombbal lehet megtenni. A piros LED kivillanása jelzi a csatlakozó mellett, hogy aktív a soros kommunikáció.

A program betöltése után a moduláció típusa változtatható (Blokk, PWM, Trapéz stb.), a forgásirány is tetszés szerint beállítható, felfutási idő-, a névleges paraméterek is megadhatók.

Lézerek ismertetése [13]

Az első lézert 1960-ban készítették el, amely szilárdtest lézer volt. A 60-as évek végére megszületett az első gázlézer is, amely hélium-neon töltetű volt. Az elméleti alapokat Einstein már 1917-ben lefektette. A magyar lézer szó a Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER) angol kiejtéséből származik. A kor fejlődésével a lézereket egyre újabb területeken alkalmazzák pl.: a nanotechnológiában. A hadiipartól az űrtechnikán át a hétköznapi életben is használják különböző célokra. A teljesség igénye nélkül a hétköznapi alkalmazások közé tartozik a DVD meghajtók olvasása/írása, pointerek, valamint a lézer nyomtatók. Az ipari alkalmazások közé sorolható a lézeres vágás, lézeres hegesztés és rezgésmérés.

A lézerek alkalmazása manapság már nagyon elterjedt, főbb specifikációi a következők:

- a) Nagyfokú monokromatikusság jellemzi.
- b) Kis divergenciával rendelkezik, tehát irányítottsága kitűnő.
- c) Nagyfokú térbeli- és időbeli koherencia.
- d) Nagy spektrális teljesítménysűrűség (egy pontba koncentrálódik az energia).

A lézer által kibocsátott fényforrás az indukált emisszió által jön létre, amelyet a 27. ábra vázol. Az E_2 felső energiaszinten levő atom és az érkező foton kölcsönhatásának eredménye az indukált emisszió. A két energiaállapot közötti ($E_2 - E_1$) különbség $h\nu$ -vel egyenértékű, amely nem más, mint a (h) Planck állandó és a (ν) frekvencia szorzata. A fotonok száma tehát megváltozik a részecskével történő kölcsönhatás révén. A lézerek működésének alapfeltétele az, hogy a fotonok számának növekednie kell a kölcsönhatásban.

Lézertípusokat mutat a 3. táblázat.

1.	Gázlézerek ($He - Ne, CO_2$)
2.	Ionlézerek
3.	Szilárdtest lézerek (pl.: rubinlézer)
4.	Félvezető lézerek

3. táblázat: A főbb lézertípusok

A gázlézerek között a legnagyobb jelentősége a hélium-neon- és a széndioxid lézernek van.

A *He – Ne* lézer egy pár milliméter átmérőjű kisülési cső, amelyben kisnyomású nemesgáz keverék található. A *He – Ne* aránya tipikusan 7:1. Elektromos kisülés hatására a gáztatomok ionizálódnak.

Maga a lézer kb. 633 nm-es hullámhosszúságú vörös fénycsövet bocsát ki az alsó- és a felső lézernívó közötti átmenetnél. A tulajdonságai közé tartozik, hogy folytonos üzemű és négyszintű. Hátránya, hogy nagyon magasan helyezkedik el a hélium gerjesztett állapota (20,5 eV), amely nagyon kis működési hatásokra vezet. A nemesgáz töltet nagy előnye, hogy nem használódik el, bár az idő előrehaladtával a mikro repedéseken keresztül szivároghat a rendszerből.

A széndioxid lézer esetében a gerjesztés molekuláris energiaszinteken történik. Az energiaszintek a molekulák forgásából (rotálásából), valamint vibrációjából származtathatók le. Az általa kibocsátott fény hullámhossza a távoli infravörös tartományba esik (10,6 μm). Ez a lézertípus is négyszintű, valamint ugyancsak folytonos üzemű. Hatásfoka és teljesítménye meglehetősen nagy, amely igen körültekintő vízűtést igényel, a túlzott melegedés csökkentése érdekében. Itt a gáz elhasználódik egy idő után, tehát meg kell oldani a folyamatos be-, illetve kivezetését a gáznak.

Az ionlézerek esetében a lézernívókat a gerjesztett ionállapotok fogják jelenteni. Legfontosabb ionlézer az Argon ion lézer. Működése esetén két tartományt lehet megkülönböztetni a teljesítmények alapján. A 488 nm-es hullámhossz nagyobb teljesítménnyel, valamint az 514,5 nm-es hullámhossz kisebb teljesítménnyel ultraibolya közeli tartományok érhetőek el. A lézercső melegedésre hajlamos, ezért javallott a megfelelő hűtés alkalmazása.

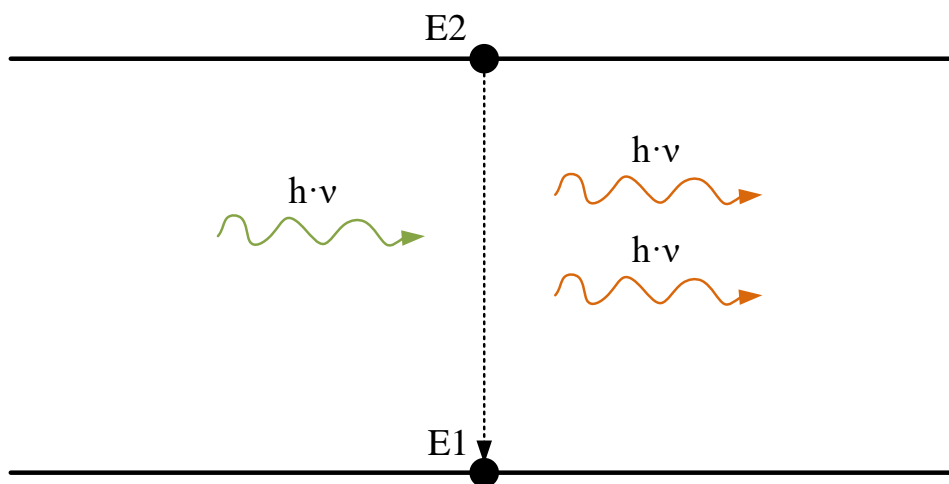
A szilárdtest lézereken belül is található különböző változatok, a teljesség igénye nélkül a rubinlézer specifikációi kerülnek leírásra. Az első megépített lézer is rubinlézer volt. Maga a lézereközeg egy 100 mm hosszú hengeres rubinkristály volt. A kristály gerjesztése xenon villanólámpa használatával valósult meg. A rubin krómionokkal szennyezett alumínium oxid. A kibocsátott fény hullámhossza 694,3 nm.

Háromszintű energia-állapot jellemzi:

- Alapállapot
- Abszorpciós sáv → Villanó fény hatására ebbe az állapotba jutnak az elektronok;
- Metastabil állapot → Az elektronok sugárzásmentes folyamattal kerülhetnek ide.

Fontos megjegyezni, hogy ennek a lézertípusnak a hatásfoka meglehetősen kicsi, de emellett a teljesítménye nagy. Impulzus üzemműnek számít.

A mai korszerű technológiák megjelenésével megalkották a félvezető lézereket, amelyek úgynevezett félvezető rétegekből tevődnek össze. A félvezető rétegek lehetnek n-, vagy p típusúak, attól függően, hogy milyen szennyezettségűek. A lézersugár e két réteg közötti határátmeneten alakul ki. Hatékony erősítés kell, mivel ennek hiányában a populációinverzió nem fog fennállni. Az erősítést tükörrezonátorral lehet megoldani.



27. ábra: Az indukált emisszió

Az első interferométert Albert Abraham Michelson amerikai fizikus alkotta meg 1881-ben. A Michelson-Morley kísérlet során interferométert használtak, hogy megmérjék a Földnek az „éterhez” viszonyított sebességét 1887-ben.

Egy adott típusú lézer egység által kibocsátott nyaláb először a nyalábosztó egységen keresztül halad át. A másik részét pedig a rendszer egy polarizációs osztóprizma két egymásra merőleges nyalábra bontja, az intenzitásuk megközelítőleg egyforma marad. Az egyik nyaláb a referencia sarokprizmából, a másik a mozgatható mérő sarokprizmából fog visszaverődni. A nyalábok a polarizációs osztóprizmában találkoznak, ahol előzőleg szétváltak. A két nyaláb fázisviszonyát a két ág úthossz különbsége fogja meghatározni. Természetesen ennek az útkülönbségnek a lézer koherencia hossz- tartományán belül kell lennie. Az interferométerek ily módon rendkívül pontos távolságmérést tesznek lehetővé.

A Tanszék rendelkezik egy Renishaw XL 80 típusú interferométerrel. A lézerinterferométer specifikációját a 4. táblázat foglalja össze.

Sorsz.	Megnevezés	Érték
1.	Felfűtési idő	< 6 min
2.	Mérési tartomány	0 – 40 m, 0 – 80 m (kapcsolható)
3.	Csatlakozás típusa	hagyományos USB
4.	Pontosság	~ 1 nm

4. táblázat: Renishaw XL-80 főbb specifikációi

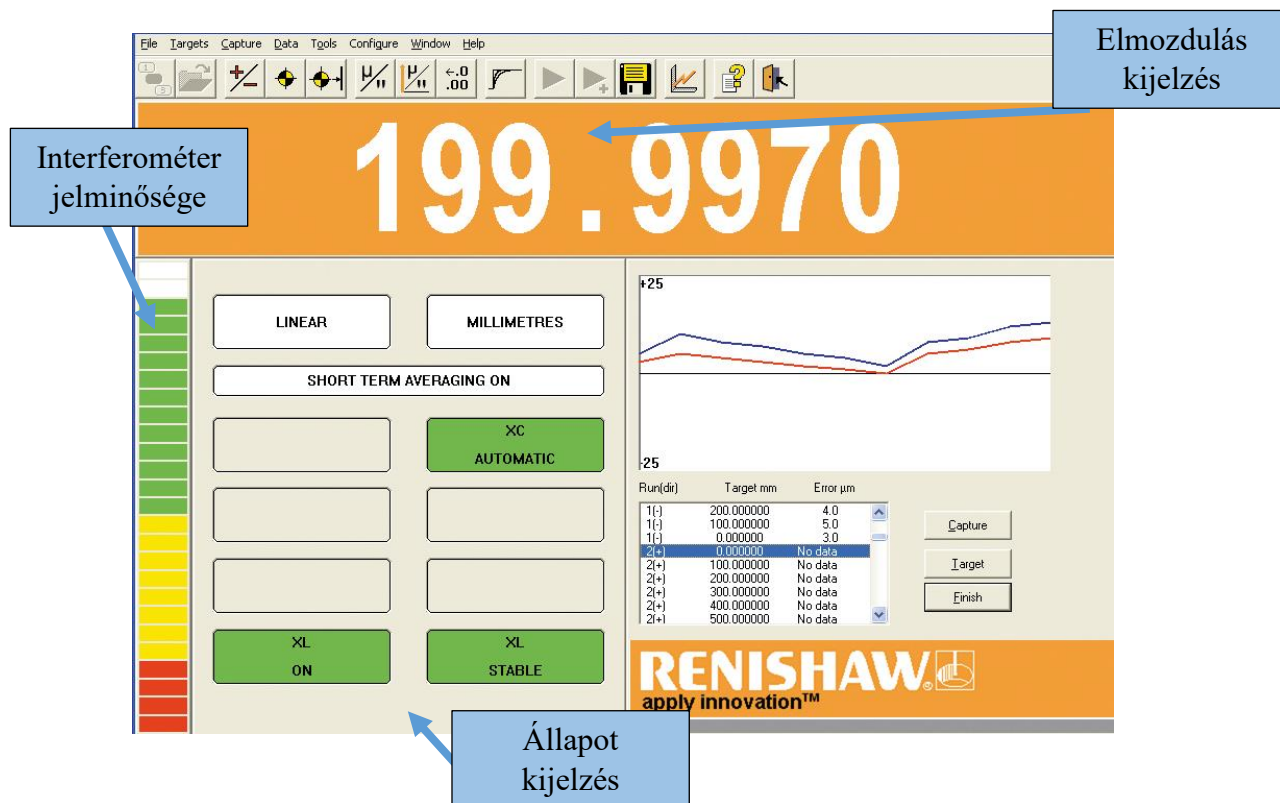
A berendezést leggyakrabban szerszámgépek hitelesítésére, kalibrálására szokták használni. Az egység kompakt kivitelű, tehát bővítési lehetősége nincsen, viszont különböző korrekciós elemekkel lehet javítani a mérés helyességét. Ilyen korrekciós kiegészítők a páratartalom-, hőmérséklet- és a nyomásmérő szenzorok. A szerszámgépek (pl.: marógépek) bemérésénél fontos megemlíteni a hőtágulás jelenségét, az egység többek között ezért is tartalmaz különböző szenzorokat, hogy kiküszöbölhető legyen a jelenség által okozott zavar.

A Renishaw által forgalmazott QuickViewXL™ szoftverrel történik a rezgések kiértékelése, amelyre a 28. ábra mutat egy példát.



28. ábra: A QuickViewXL™ szoftver kezelőfelülete

A LaserXL™ szoftverrel lehet a lineáris elmozdulást, az egyenességet, valamint a szöghibákat számszerűen elemezni (29. ábra).



29. ábra: A LaserXL™ kezelőfelülete

Az elmozdulás kijelzés valós idejű. A jelminőség akkor a legjobb, ha a zöld tartományban van a skála, ez a skála összhangban van az eszközön található LED sorral. Az állapot kijelzés segítségével nyomon követhető az elemek (interferométer, kompenzáló egység stb.) státusza. Lehetőség van az aktuális hőmérséklet, a légnyomás, a páratartalom kijelzésére.

Az interferométer képes ún. „kis” távolság- (max. 40 m), vagy nagy távolságú (max 80 m) üzemmódra.

1. feladat: A gyakorlatvezető összeállít egy próbamérést, amellyel bemutatja az eszköz működését, valamint a mérés pontosságát.

A feladat megoldásának lépései:

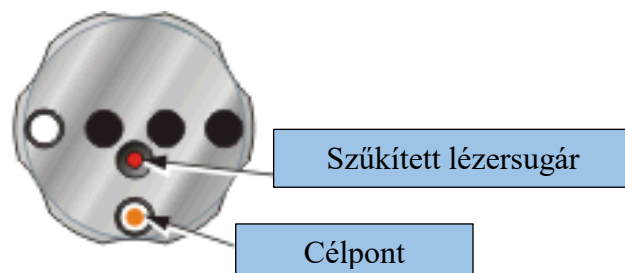
- Az interferométer fejegységének felszerelése a tripodra (vízmértékkel a vízszint könnyen beállítható);
- Tápellátás (Optika elzáró legyen zárva, biztonsági okok pl. szemkárosodás elkerülése miatt);



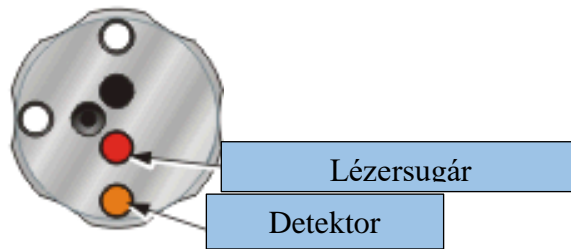
- Mérő számítógép bekapcsolása, interferométer, XC kompenzáló egység csatlakoztatása;
- A fejegység kb. 6 perc alatt melegszik be;

A pozícióra állási pontosság mérésének a beállítása:



- Az optika elzárót el kell tekerni a 1. nyitott állásba;



- A mérő sarokprizma beállítása, úgy, hogy a célpontra érkezen vissza a lézersugár, a mérési tartomány egészén (esetleges utánállítást a fejegység állító mechanikájával lehet megtenni);
- A jó beállítás esetén a nyalábosztó/referencia sarokprizmát is be lehet tenni;
- A lézersugár megfelelő helyzetéről a sarokprizmákra szerelhető indikátor kupakkal lehet meggyőződni;
- A mérés előtti utolsó lépés az optika elzáró fedelet mérő állásba kell eltekerni;



- Ha jó az összeállítás, akkor fejegységen az 5 darab LED közül minimum kettő világít (A legjobb beállítás esetén mind az 5 LED zölden világít);
- A fejegység bemelegedésének akkor van vége, ha a pulzálás megszűnik;
- A számítógépen a megfelelő szoftvert elindítva (LaserXL™/Linear Measurement) a mérés kezdetét veheti.

Az érzékelési irány beállítását az alábbi  ikonnal lehet megtenni. A nullpont beállítását  ikonnal lehet megoldani.

A mérés lefolytatásának szoftveres háttere:

Az  ikonra kattintva jelennek meg a beállítások az aktuális méréssel kapcsolatban (30. ábra).

30. ábra: Mérési beállítások

Az első lépés a kezdő pozíció megadása. A 2. lépés (31. ábra) a végpozíció rögzítése, majd megadni a lépésközök nagyságát, jelen példában ez 10 mm. A rögzítendő pontok számát a szoftver automatikusan meghatározza. A kijelzés pontosságát is külön be lehet állítani.

31. ábra: Mérési beállítások 2. lépés

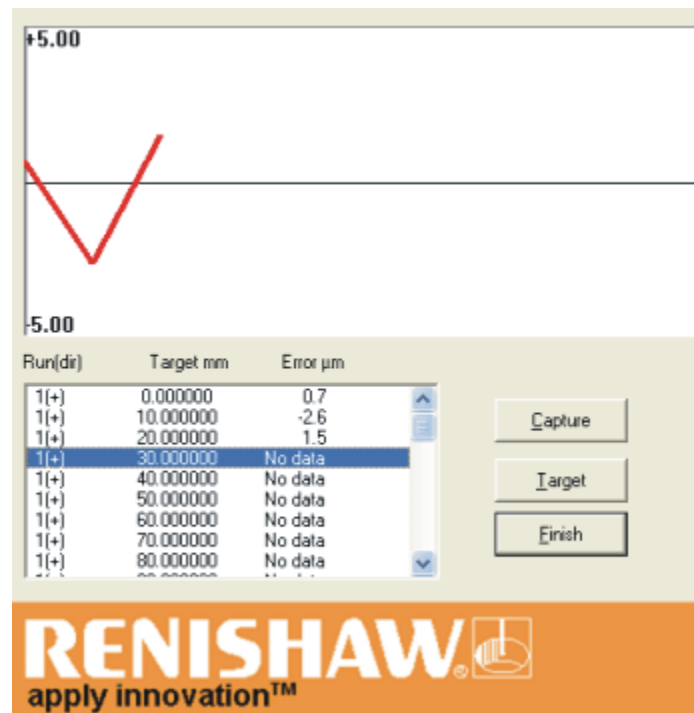
A következő pontban (31. ábra) az elmozdulás milyenségét (Lineáris) állíthatjuk be. A futások számát, valamint az irányt is beállíthatjuk. Jelen példában kétirányúra van állítva, tehát figyeljük, az oda- és a vissza utat is.

32. ábra: Mérési beállítások 3. lépés


A következő pontban (3) megadhatók a gép adatai, valamint a mérés neve, tengelye, ezt a 32. ábra mutatja. Az utolsó pontban (33. ábra) a mérésre jellemző adatokat lehet megadni: felvétel típusa, olvasás stabilitása, minimum állási idő, automatikus indítás stb.



33. ábra: Mérési beállítások 4. lépés

Tovább lépve, a környezeti paramétereket kijelző rész helyett megjelenik az adatrögzítő ablak.

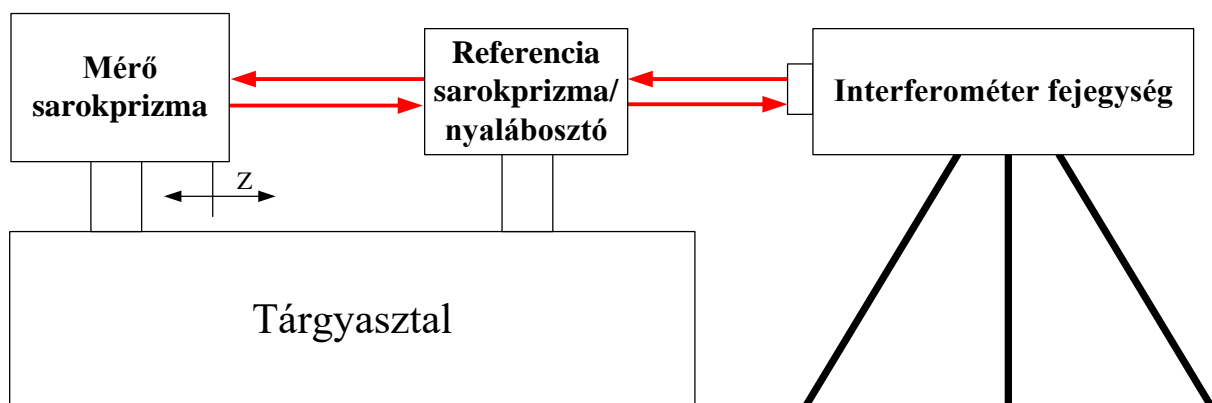


34. ábra: Az adatrögzítő ablak

A mérés befejeztével a mért adatokat el lehet menteni az  ikonra kattintva utófeldolgozásra.

Az  ikonra kattintva elérhetők a mért adatok, és kielemezhetők. Az analízáló szoftverből való kilépéshez az  ikonra kell kattintani.

A feladat elrendezési ábráját a 35. ábra érzékelteti.

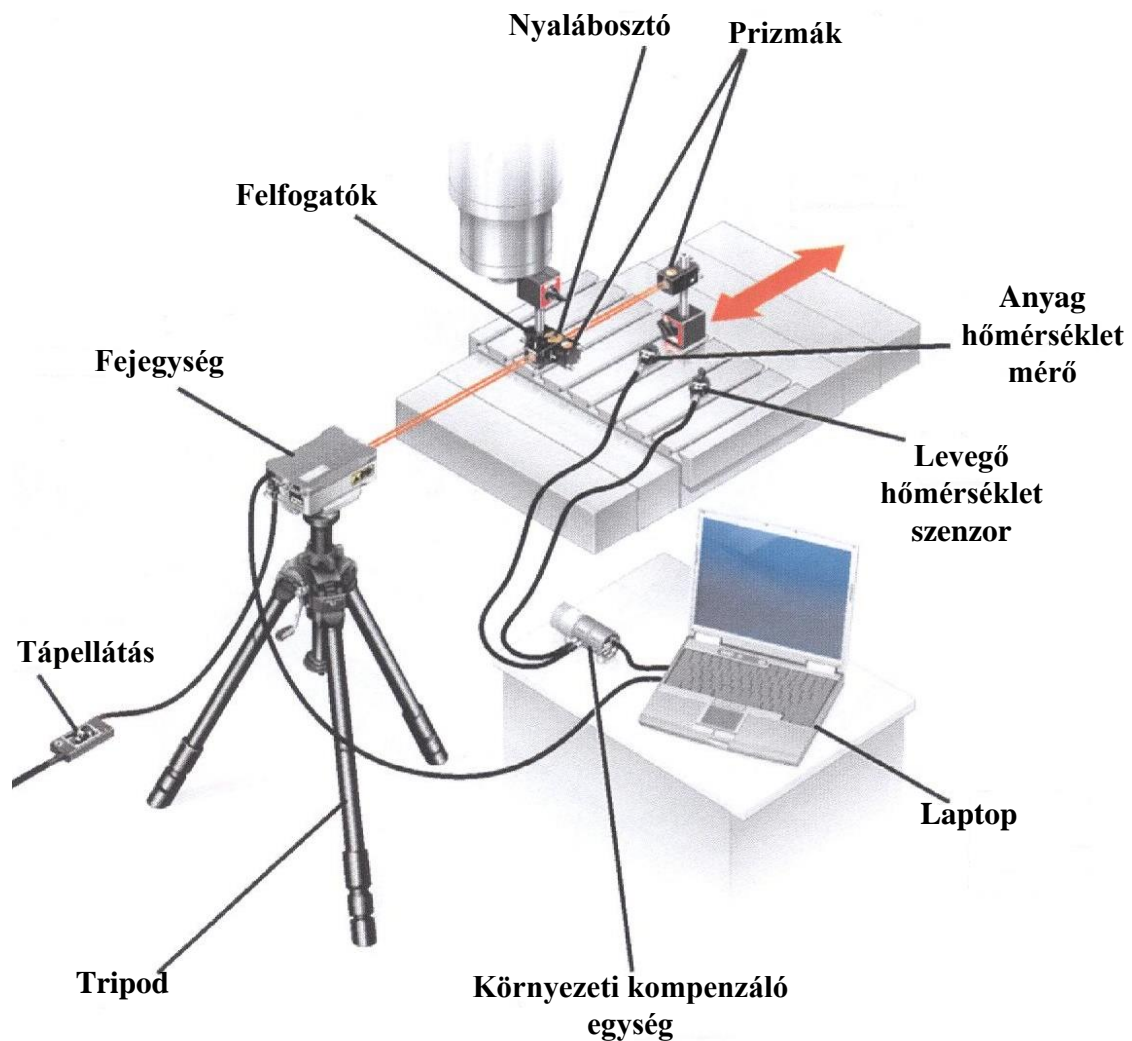


35. ábra: A kiadott feladat során követendő elrendezés

Lézerinterferométeres mérések

A lézerinterferométerek ipari alkalmazásokban. Pár példafeladat bemutatása.

1. Pozíció mérése, például egy szán pozícióra állási pontossága (36. ábra)

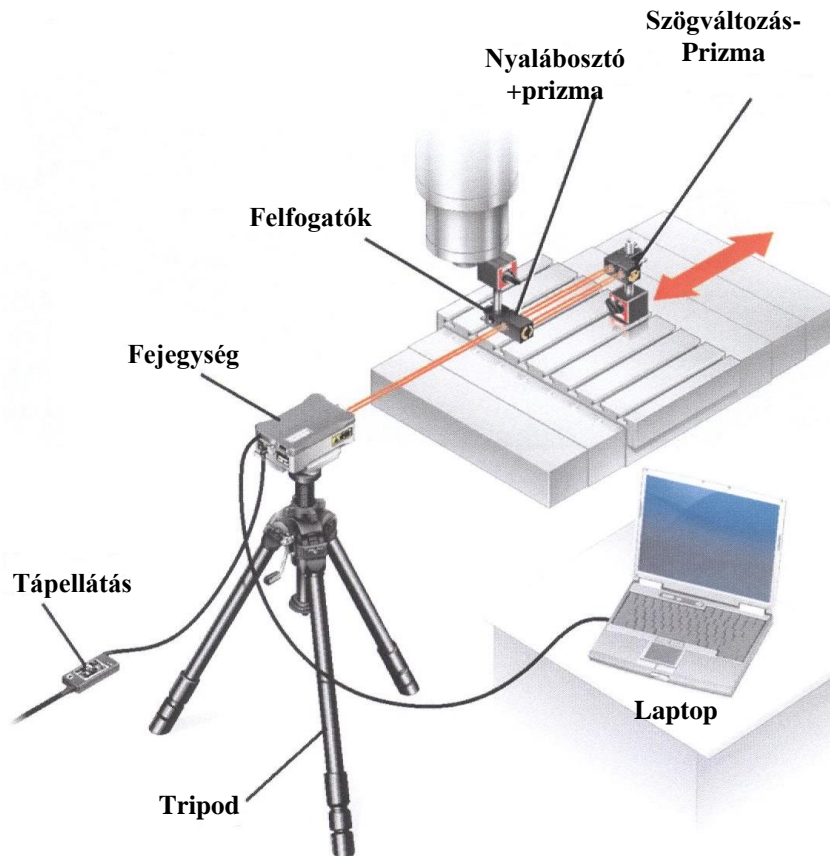


36. ábra: Pozíció mérése

A mérés menete: A gyakorlaton ismertetett összeállítási lépéseket kell elvégezni, majd a szán egységet bizonyos pozíciókban meg kell állítani, és figyelni kell, hogy az adott pontban a ráállási pontosság mekkora. Az ismételhetőségi pontosságot is szokás megvizsgálni. Az ábra is

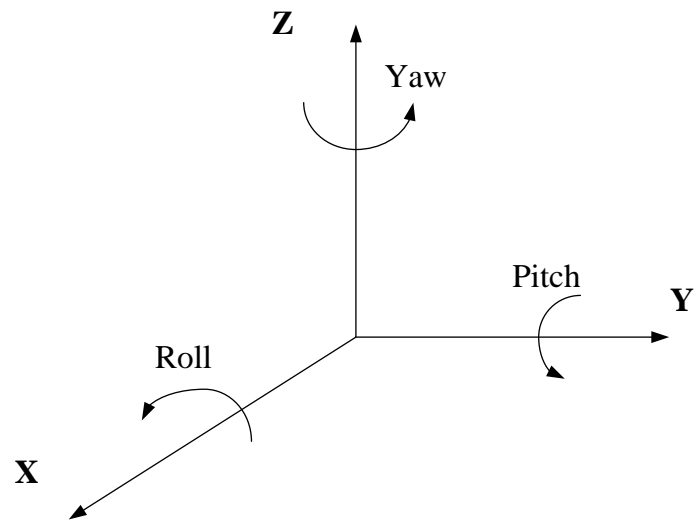
mutatja, hogy a gyakorlatban például szerszámgépek szánjának a pozícióra állási pontosságát lehet megmérni. Ez a leggyakoribb mérési módszer a szerszámgépek esetében.

2. Tengely szöghibájának (Pitch, Yaw) mérése (37. ábra)



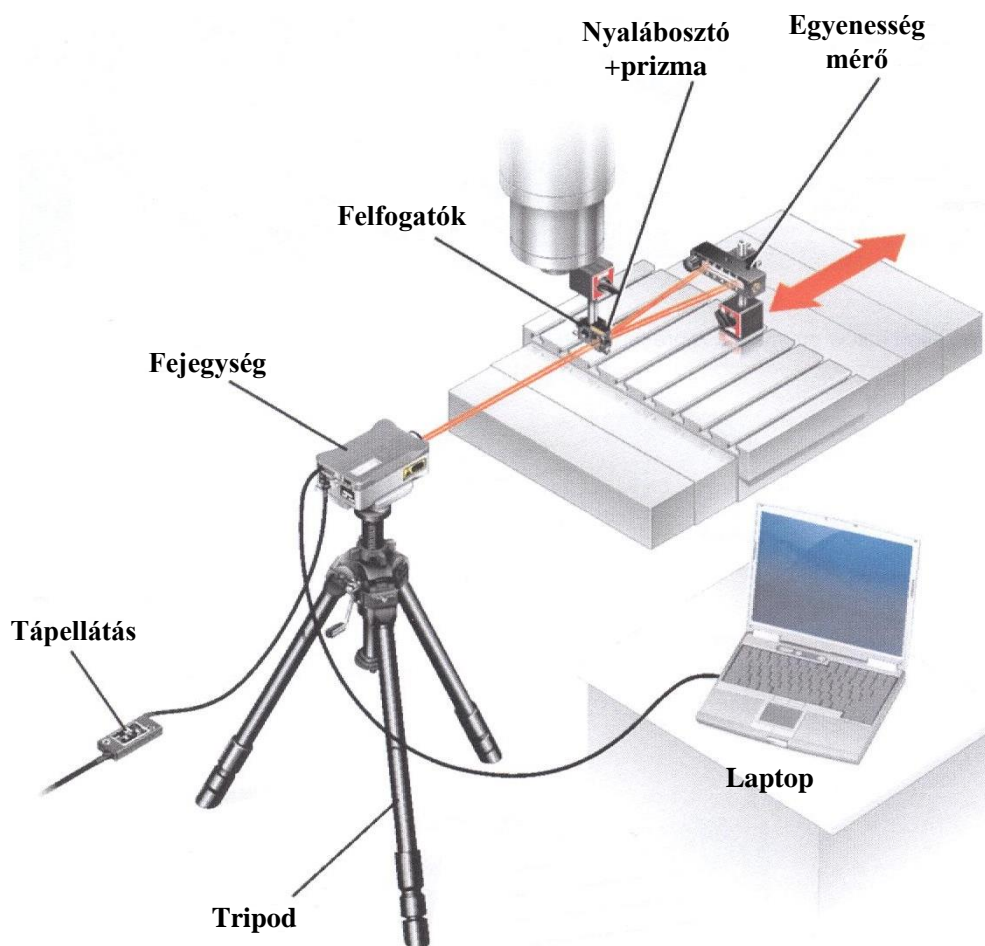
37. ábra: Tengelyek szöghibájának mérése

A nyalábosztó+prizma egység fixen van felfogtatva, a szögváltozás mérő prizma fog mozogni. A fejegység érzékeli majd a mozgás során létrejövő szögváltozásokat a nyalábosztó+prizma, és a szögváltozás mérő prizma között. A Roll, Pitch, Yaw jelentései a billentés, bólintás, elfordulás, ezekkel a paraméterekkel az orientáció megadása lehetséges, pl.: repülőgépeknél, személyautóknál, hajóknál és robotoknál. Az R-P-Y definíciójának szemléltetésére a 38. ábra szolgál. Yaw szöghiba -> Pl.: A szerszámgép egyenetlenül mozgatja a laza szánt, a Pitch szöghiba a szán hajlítási hibáiból származtatható.



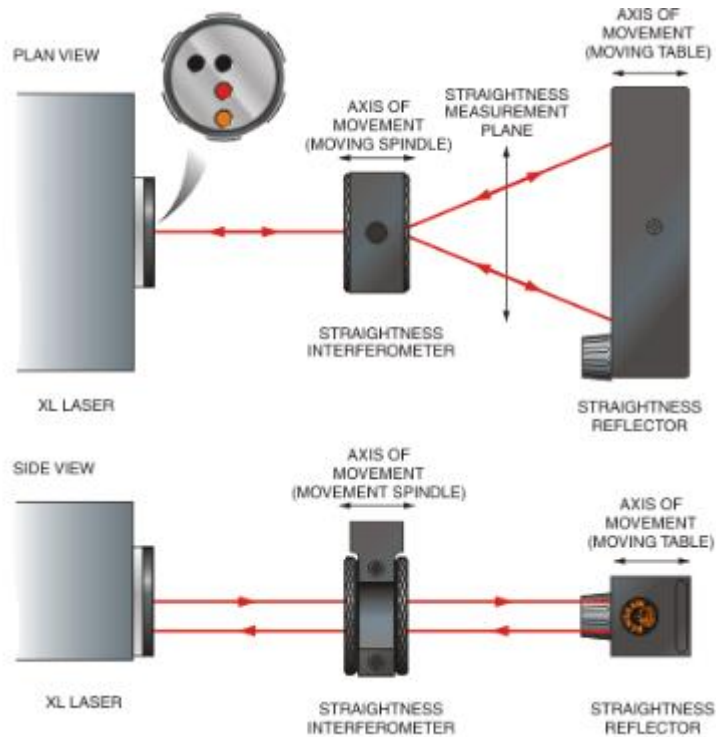
38. ábra: R-P-Y szögek értelmezése

3. Egyenesség mérése egy tengelynek (39. ábra):



39. ábra: Egy példa egyenesség mérésre

A mozgó prizma helyett ebben a mérési típusban egy úgynevezett egyenesség mérőt alkalmazunk. Mérjük az egyenességet, valamint az ismételhetőséget. Több pozícióban történik a mérés. Összesen kétféle egyenességet lehet mérni, ezek a horizontális, valamint a vertikális egyenesség mérések. Mivel az interferométerhez nincsen külön egy speciális optikai fedél, ezért a gyakorlaton csak a horizontális egyenesség méréssel fogunk foglalkozni.



40. ábra: Horizontális egyenesség mérés értelmezése

A mérési összeállítást két nézetből, a 40. ábrán figyelhetjük meg. Az egyenesség eltérést a két lézersugár fáziskülönbségéből számolja a rendszer.

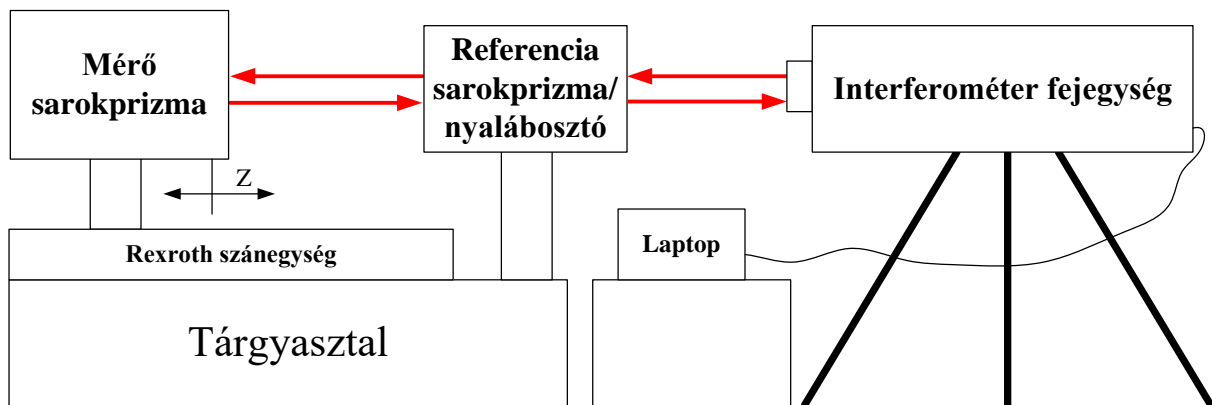
1. feladat: A hallgatók csoportonként összeállítják az interferometrikus mérőrendszert, majd elvégzik minden csoport egy mérési sorozatot (**Szán pozícióra állási pontossága**), és kiértékelik a kapott eredményeket.

A feladat megoldási menete:

- Az interferométer fejegységének felszerelése a tripodra (vízmértékkel a vízszint könnyen beállítható);
- Tápellátás (Optika elzáró legyen zárva, biztonsági okok pl. szemkárosodás elkerülése miatt);
- Mérő számítógép bekapcsolása, interferométer csatlakoztatása;
- A fejegység kb. 6 perc alatt melegszik be;

A mérés során használandó szoftver az előzőekben már ismertetésre került.

A feladat elrendezése a 41. ábrán látható.



41. ábra: A lézerinterferometrikus rendszer elrendezése

2. feladat: FFT analízis elvégzése a lézerinterferometrikus berendezéssel.

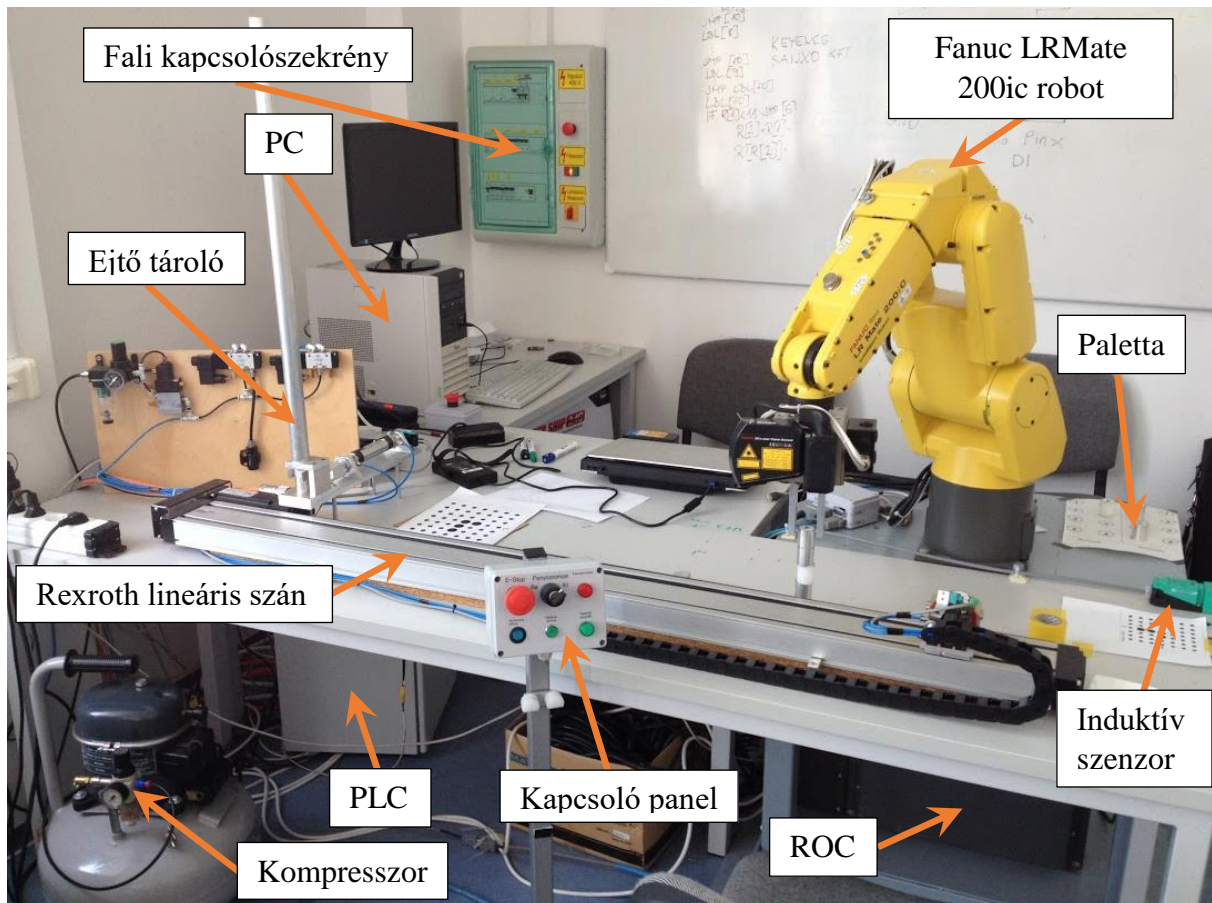
A feladat megoldási menete:

Az előző feladat során használt mérési összeállítást használjuk. A laptopon található FFT analyser szoftverrel fogunk megismerkedni.

A feladat elrendezési ábrája megegyezik a 41. ábrán látottakkal.

Ipari robot

1. Intelligens palettázó rendszer bemutatása (42. ábra):
 - a. Rendszer fő elemei (Adagoló, szánegység, robot, paletta);
 - b. Vezérlő elemek (ROC [robot controller], PLC (Rexroth));
 - c. Munkadarabok;
 - d. Szenzorok (Optikai-, induktív, szenzorok).



42. ábra: Az intelligens palettázó rendszer

Robotok ismertetése: [14]

A robot olyan komplex vezérlő elemek és aktuátorok szinergikus rendszere, amelyben biztonsági alrendszerek is találhatóak, tulajdonképpen egy összetett mechatronikai szerkezet.

Robotok osztályozása:

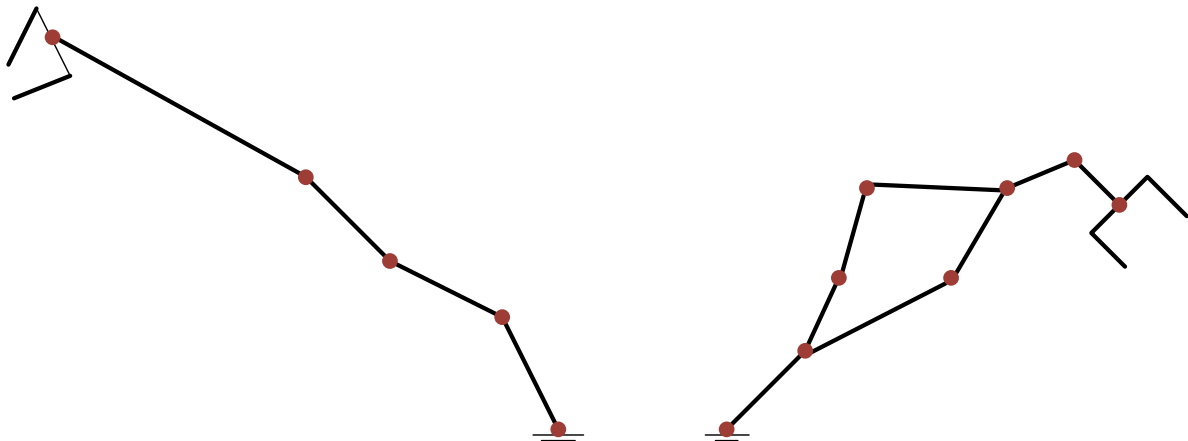
A különböző robotokat sokféleképpen lehet osztályokba sorolni, ennek egyik lehetséges módja például:

- kinematikai lánc (43. ábra)

- végrehajtandó feladat típusa
- szabadsági fokok száma
- vezérlés típusa
- energetikai egység (driver)
- kinematikai struktúra
- alkalmazott terület szerint

Osztályozás kinematikai lánc szerint:

Egy robot esetében két típus lehetséges: zárt, vagy nyílt kinematikai lánc. Zárt kinematikai lánc alatt az egyes csuklórészek hurkot alkotnak. Nyílt kinematikai lánc esetén a csuklók egymás után következnek.



43. ábra: Nyílt és zárt kinematikai lánc

Végrehajtandó feladat típusa szerint:

A robotok esetén kétféle kinematikai feladat fogalmazható meg. Egyik a direkt kinematikai feladat, amikor előírjuk a csuklók paramétereit és ennek függvényében megkapjuk a megfogó helyzetét, orientációját. A másik az inverz kinematikai feladat, amikor előírjuk a megfogó helyzetét és orientációját, melyeknek függvényében meghatározzuk a csuklók megfelelő paramétereit.

A robotkarok közötti kinematikai kényszer kapcsolatokat különböző típusú csuklók határozzák meg. Ezek lehetnek 1 szabadságfokúak: csavar, csukló (R), csuszka (P); 2 szabadságfokúak:

csúszó csukló, kardáncsukló; 3 szabadságfokúak: gömbcsukló érintkező síkfelületek; 4 szabadságfokú: pl.: egy síkfelületen fekvő henger; 5 szabadságfokú: pl. az egy pontban érintkező két test.

Direkt kinematikai feladaton a robot megfogójának orientációjának megadását értjük a csuklók változásának függvényében:

$$\mathbf{s} = f(\mathbf{q}),$$

ahol \mathbf{q} a csuklók koordinátáinak vektora, \mathbf{s} a világkoordináták vektora

Az inverz kinematika egyenlete:

$$\mathbf{q} = f^{-1}(\mathbf{s}),$$

Osztályozás szabadsági fokok szerint:

A legtöbb ipari robot 6, vagy ennél kevesebb szabadságfokkal rendelkezik, az osztályozásuk a robotkar első három csuklója alapján szokás megkülönböztetni:

- RRR (emberi kézhez hasonló)
- RRP (SCARA típusú robot)
- RPP (hengeres)
- PPP (kartézusi)

A gyakorlat során használt robot paraméterei:

A robot típusa: FANUC LR Mate 200ic (44. ábra)

Maximális terhelhetőség: 5 kg

Szabadságfokok száma: 6 (RRRRRR)

Maximális kinyúlása: 750 mm

A robot kezelőfelületének szoftver verziója: 6.40 Rev.g

A robot által használható koordináta-rendszer típusok: W: World (Descartes-koordináta-rendszer), T: Tool (Szerszám koordináta-rendszer), J: Joint (egy csukló használata), USER (felhasználó által definiált).



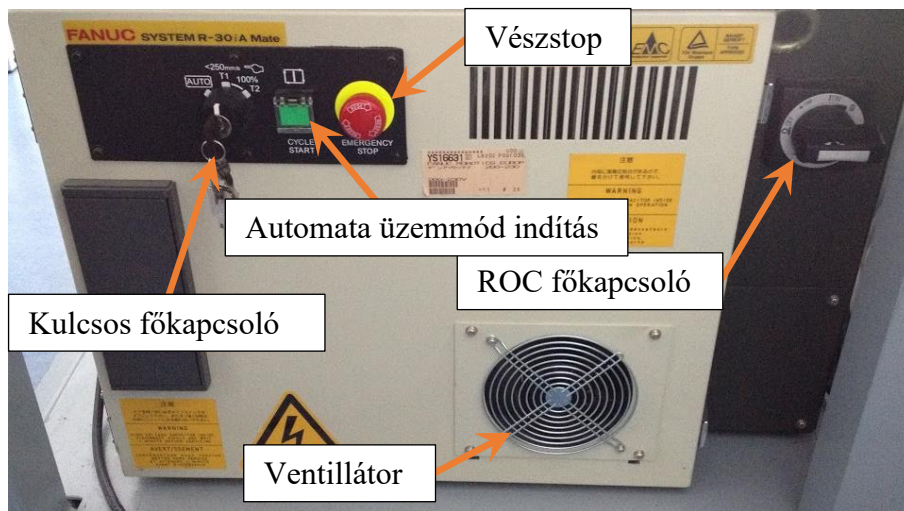
44. ábra: A tanszéken található Fanuc LR Mate 200iC típusú robot

A robotot a Teach Pendant-nak nevezett vezérlőkonzolon keresztül vezérelhetjük. A konzol segítségével lehetőségünk van közvetlenül programot írni és feltölteni a robot memóriájába, ezen kívül a konzol rendelkezik vészstoppal is, amellyel a rendellenes működés azonnal leállítható. A Teach Pendant-on található egy Dead Man kapcsoló is, amely egy háromállású gomb, a robot működtetése során középső állásban kell tartani.

A robot beüzemelésének lépései

A beüzemeléshez szükséges kezelőszerveket a 45. ábra mutatja.

1. Fali főkapcsoló bekapcsolása
2. Robot munkaterébe ne tartózkodjon senki se
3. Kulcsos főkapcsoló elfordítása, a kívánt üzemmódhoz:



45. ábra: A ROC

- a. AUTO: A végleges program futása, maximális sebesség mellett.
 - b. T1: Betanítási mód: A sebesség korlátozva van max. 250 mm/s, csak a Dead Man kapcsoló benyomásával mozgatható a robot
 - c. T2: Betanítási mód: A sebesség nincs korlátozva, csak a Dead Man kapcsoló benyomásával mozgatható a robot
4. ROC főkapcsoló elfordítása az ON állásba

A Teach Pendant, és főbb elemei:

Dead Man (biztonsági) kapcsoló: Betanítás közben nyomva kell tartani. Megjegyzés: A két kapcsoló közül, elég csak egyet használni. Ezek a kapcsolók 3 állással rendelkeznek, amelyek biztonsági okokból vannak kialakítva. Középső állásban kell tartani, a robot mozgásakor. A két szélső állásban nem indul el a program.

A billentyűzet elemei: Funkciógombok (F1, F2, F3, F4), Enter (pl. program megnyitáshoz), Menu (A program menü eléréséhez), Select (Programválasztó ablak megnyitása), Edit (Szerkesztés), Data (A regiszterek elérése, módosítása, köztük a pozíció regisztereké is), Nyilak (Lépkedéshez), Numerikus billentyűzet (Számok bevitele). Ezeket a funkciókat 46. ábra

szemlélteti. A Prev/Next (Több lehetőség közötti lépés), Shift (pl. lépés közben nyomvatartva, nagyobb közöket ugorhatunk), FWD/BWD (Program futtatáshoz), stb.



46. ábra: A TeachPendant és annak elemei

1.feladat: A robot mozgatása, a koordinátarendszerek megismerése.

1. Kapcsoljuk be a robotot, vészgombokat oldjuk fel
2. T1 üzemmód kiválasztása
3. Teach Pendant indítása, Dead Man kapcsolók benyomása
4. COORD billentyűvel válasszuk ki a megfelelő koordinátarendszert:
 - a. JOINT: az egyes csuklók mozgatása
 - b. WORLD: DDKR-ben mozog
 - c. TOOL: Szerszám koordinátarendszer, amely lehet DDKR, vagy HKR.
 - d. USER: Felhasználó specifikus
 - e. JFRAME: Jogframe, Descartes-i rendszer
5. A RESET gombbal oldjuk fel a hibajelzéseket

6. A +% és a -% gombokkal állítsuk be a sebességet. (FINE és VFINE impulzus sebességek, gombnyomásra egységnyi mozgást végez a robot).
7. SHIFT gomb folyamatos nyomvatartása mellett mozgatható a robot, a mozgató gombok segítségével (+X, -X, +Y, -Y, stb.)

2.feladat: Egyszerű program írása, a robot A pontból B pontba való eljuttatásához, egy lámpa jelezze, hogy mozog!

A programkód:

```
UFRAME_NUM=3 /Koordinátarendszer definiálás (User)
UTOOL_NUM=6 / Szerszám kr. definiálás
DO[106]= ON / Digitális kimenet, ami egy lámpa
J PR[A] 20% CNT100 / Joint a mozgás típusa, A sorszámú pozíció regiszter alapján tárolt helyre mozog a robot, 20%-os sebességgel a maximumhoz képest, valamint köztes pontként definiálva
J PR[B] 20% CNT100 / Joint a mozgás típusa, B sorszámú pozíció regiszter alapján tárolt helyre mozog a robot, 20%-os sebességgel a maximumhoz képest, valamint köztes pontként definiálva
J PR[A] 20% FINE / Joint a mozgás típusa, A sorszámú pozíció regiszter alapján tárolt helyre mozog a robot, 20%-os sebességgel a maximumhoz képest, valamint végpontként definiálva
DO[106]=OFF /Lámpa kikapcsol
```

Programozás menete [15]

Új program írása

- 1) A **SELECT** gomb megnyomása a Teach Pendant-on
- 2) . **F2 [CREATE]** megnyomása
- 3) Amennyiben nem enged létrehozni új programot, a Menu gomb megnyomása után a Passwords lehetőségre kattintva, majd 2x Login, meg kell adni a jelszót (0000).
- 4) Programnév megadása, amelyre több módszer is létezik:

Words: segítségével kiválaszthat előre beállított szavakat, mint program neveket **F1-F5** segítségével. (A Config-menüben lehet ezeket megváltoztatni.)

Upper Case (Nagy betűk): segítségével be lehet írni a program nevét, a betűket **F1-F5** billentyűkkel írjuk.

Lower Case (Kis betűk): segítségével be lehet írni a program nevét, a betűket **F1 - F5** billentyűkkel írjuk.

Options választása után törölni lehet CLEAR segítségével.

A hibás karakter törléséhez a kurzort állítsa a karaktertől jobbra, azután nyomja meg a **BACKSPACE** billentyűt.

5) A programnév megadása után nyomjon **ENTER**-t.

A program tulajdonságainak a beállítása:

Az F2 [DETAIL] gomb segítségével juthatunk a program tulajdonságaihoz. (A NEXT gombbal léptethetjük a parancslistát.) A következő tulajdonságokat állíthatjuk be.

- Program name: A programnév beírásához mozgassuk rá a kurzort, nyomjunk **ENTER**-t, majd válasszunk beviteli módot. A programban máshol már nem használhatjuk a megadott kifejezést (változók, konstansok elnevezésére például.)
- Sub Type (Program típus): **F4** [CHOICE] megnyomása után választhatunk None (egyszerű program) és Macro (néhány parancs összefogása egy programmá, hogy egy sorral meg lehessen hívni más programokba) közül.
- Comment (Megjegyzés): A programhoz fűzhető például magyarázat, ismertetés.
- Group Mask (Csoport maszk): mozgó csoportot lehet aktiválni (írjon be 1-et), vagy deaktiválni (írjon *-ot).
- Write Protect (Írásvédelem): **F4** [ON] és **F5** [OFF] billentyűkkel állítható.
- Ignore Pause: Megszakítás figyelmen kívül hagyása.
- Stack Size: A paraméterek és változók átmeneti tárolására szolgáló memória (Stack) méretét adja meg, alapértelmezetten 300-as értékkel inicializálja a KAREL.

Az **F1** [END] megnyomása után megjelenik a programszerkesztő képernyő.

Létező program szerkesztése

1. Nyomja meg a **SELECT** billentyűt, mely megjeleníti a programlistát.
2. Lépjen a szerkeszteni kívánt programra és nyomjon **ENTER**-t.

Ha a programot nem engedi kiválasztani, mert más program Paused állapotban van (a Teach Pendant jobb felső sarkában megjelenik az „Already locked by another task.” felirat), akkor a **FCTN** billentyű lenyomása után az **ABORT ALL** lehetőséget használva megszakíthatjuk a szüneteltetett program futását.

Program másolása

- I. A **SELECT** gomb megnyomása után a kurzorral álljunk a listában a másolni kívánt programra.
- II. Az **F1 [COPY]** gomb megnyomása után írjuk be az új program nevét, majd nyomjunk **ENTER**-t.

Program törlése

- I. A **SELECT** gomb megnyomása után a kurzorral álljunk a listában a törölni kívánt programra.
- II. Az **F3 [DELETE]** gomb megnyomása után rákérdez a robot, hogy biztosan törölni kívánjuk-e, ha igen, nyomjunk **F4 [YES]**-t, ha nem, **F5 [NO]**-t.

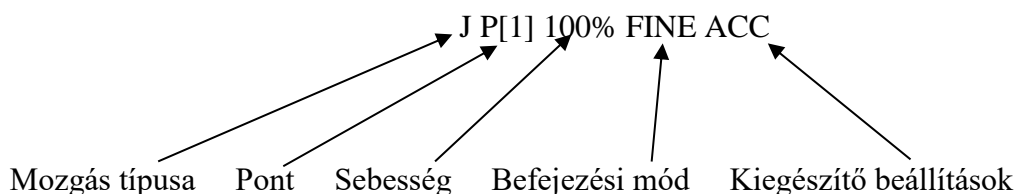
Program indítása

A program Teach módban való folyamatos futtatásához a listából lépjen be a megfelelő programba, majd a **Dead Man kapcsoló** és a **SHIFT** folyamatos nyomva tartása mellett nyomja meg a **FWD** gombot. Lépésenkénti futtatáshoz először nyomja meg a **STEP** billentyűt.

A program leállításához elég a **Dead Man kapcsolót**, vagy a **SHIFT** gombot elengedni.

Utasítások

Mozgás utasítások

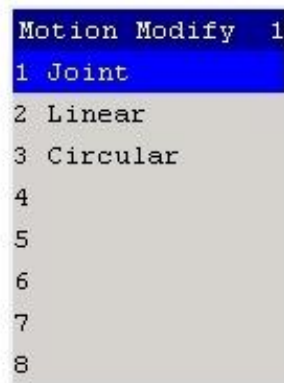


Mozgás típusok: három választási lehetőség van, J (Joint), L (Linear), C (Circular). (47. ábra)

Utólag megváltoztatható, ehhez nyomja meg az **F4 [CHOICE]** billentyűt, majd válassza ki az új mozgás típust.

PROBA

```
1:L @P[1] 100mm/sec FINE  
[End]
```



47. ábra: A mozgástípus kiválasztása

Joint (szögmozgás): nem meghatározott pályán mozog pontból pontba. Az összes tengely egyszerre indul és áll meg a célpozíció elérésénél, a szerszám orientációja eközben változik. Megadhatjuk a mozgás sebességét (százalékos érték), vagy a mozgás időtartamát (sec, msec). A valódi sebesség a leglassabb tengely sebességétől függ.

Példa: J P[1] 100% FINE

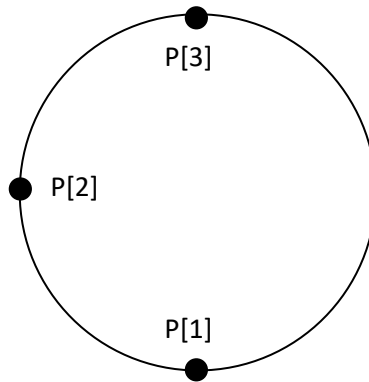
Linear (egyenes mozgás): a robot a TCP-t egyenes mentén mozgatja pontból pontba, a szerszám orientációját megőrizve. Megadhatjuk a mozgás sebességét (mm/sec, cm/min, inch/min, °/sec), vagy a mozgás időtartamát (sec, msec).

Példa: L P[1] 1000 mm/s FINE

Circular (körpálya): a TCP a kezdő pozícióból (P1) a közbenső pozíción (P2) át a végpontba (P3) körpályán mozog (48. ábra). Megadhatjuk a mozgás sebességét (mm/sec, cm/min, inch/min, °/sec), vagy a mozgás időtartamát (sec, msec). Teljes kört két körmozgással lehet programozni.

Példa: C P[2]

P[3] 100 mm/s FINE



48. ábra: Körpálya definiálása

Megjegyzés: a mozgás értéket a numerikus billentyűkkel írhatjuk felül, majd nyomjunk ENTER-t, a mértékegységet pedig az **F4** [CHOICE] billentyű használatával változtathatjuk meg.

Pont: A robotot mozgassuk az utasítás létrehozása előtt a kívánt pozícióba, majd hozzuk létre az utasítást. Már létező parancs pontjának felülírásához mozgassuk a robotot a kívánt pozícióba, majd a kurzorral lépünk az utasítás sorának elejére és a **SHIFT** és az **F5** [TOUCH UP] gombok együttes megnyomásával írjuk felül a korábban mentett pozíciót (ha nem jelenik meg a TOUCH UP, nyomja meg a **NEXT** gombot).

A pont közvetlen beviteléhez álljunk rá a kurzorral a pozíció indexére (**P[1]**), majd nyomjuk meg az **F5** [POSITION] gombot. Megadhatjuk az adatokat derékszögű (Cartesian) KRSZ-ben, vagy szögekkel Joint KRSZ-ben, ezek között **F5** [REPRE] gombbal válthatunk. Az adatok bevitele után nyomja meg a **PREV** billentyűt.

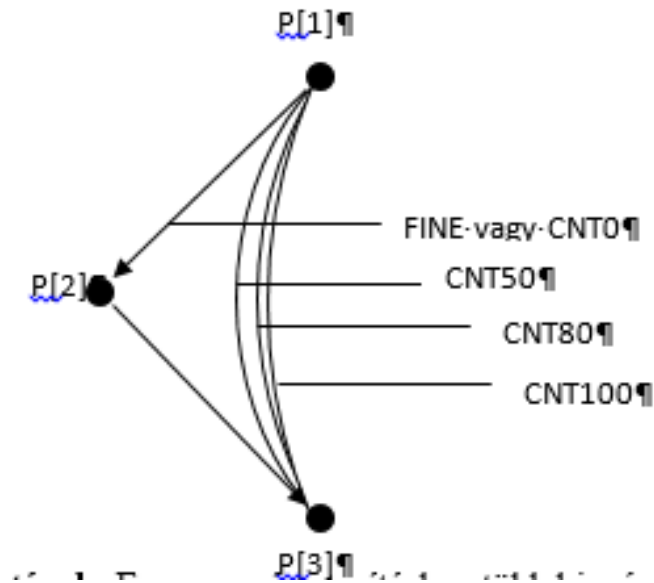
A pozíció indexre való ráállás után **ENTER**-rel írhatunk megjegyzést a ponthoz.

Mozgás befejezésének módjai

Utólag megváltoztatható, ehhez nyomja meg az **F4** [CHOICE] billentyűt, majd válassza ki az új befejezési módot, az 49. ábra mutatja a lehetőségeket.

Fine: A robot pontosan a célpozícióban áll meg, majd elindul a következő pozícióba.

CNT: A robot megközelíti a célpozíciót, de nem áll meg, hanem folytatja a mozgást a következő pozícióba. A megközelítés pontosságát 0-100 tartományban lehet megadni.



49. ábra: A robotmozgás lehetséges módjai

Kiegészítő beállítások: Egy mozgás utasításhoz több kiegészítő beállítás is megadható, mindig a sor végére állva az **F4** [CHOICE] használatával. A kiválasztott beállítás törlésére az **F4** [CHOICE] megnyomása után a NO OPTION választásával van lehetőség.

Gyorsulás (ACC): segítségével növelni vagy csökkenteni lehet a robot gyorsulását és lassítását. Százalékos értékkel lehet megadni, például az 50% azt jelenti, hogy az adott sebesség elérése kétszer annyi időt igényel. A mozgást így optimalizálni lehet.

Példa: J P[4] 100 % FINE ACC150

Offset és Offset Condition (Eltolás és Eltolási Feltétel): megváltoztatja a célpozíció értékét a megadott pozícióregiszterben (PR) tárolt értékkel. Az Offset Condition szabja meg az eltolás feltételeit. Beilleszteni a sor végére állva, az F1 [INST] gomb megnyomása után az Offset/Frames menüpontban lehet.

Példa: 1: OffsetCondition, PR[1]

2: J P[1] 100% FINE Offset

Offset PR[]: Az Offset Condition használata nélkül, közvetlenül az Offset parancs után adhatjuk meg az eltoláshoz használt pozícióregisztert. Beilleszteni a sor végére állva, az **F1** [INST] gomb megnyomása után az Offset/Frames menüpontban lehet.

Példa: 1: J P[1] 100% FINE

2: J P[2] 100% FINE **Offset PR[1]**

Tool-Offset és Offset Condition; Tool-Offset PR[]: működésük megegyezik az Offset-tel, az eltolást a szerszám (TOOL) koordináta-rendszerben végzi.

PTH: a folyamatos mozgás végrehajtását javítja CNT típusú befejezésnél, rövid távok esetén. Beilleszteni a sor végére állva, az **F1 [INST]** gomb megnyomása után a PTH menüpontban lehet.

Példa: J P[2] 100% CNT 100 **PTH**

Skip, LBL [] és Skip Condition: az utasítás végrehajtásának feltétele a Skip Condition segítségével van megadva. Ha a Skip feltétel teljesül a robot félbehagyja a mozgást és a következő sorban folytatja a programot. Ha nem teljesül, a LBL[] címkére ugrik. Beállítani az F4 [CHOICE] megnyomása után kiválasztva lehet.

Példa:

```
Skip Condition DI[1]= ON
J P[1] 100% FINE
J P[2] 100% FINE Skip, LBL[1]
J P[3] 100% FINE
LBL[1]
J P[4] 100% FINE
```

Regiszterek

A regiszterek számokat tárolnak. Példa: R[1]=2 után az első regiszter tartalma 2 lesz. Összesen 200 regisztert tárolhatunk, melyeket közvetlenül vagy közvetve címezhetünk. Közvetlen címzés esetén a regiszter indexét beírjuk mint számot: R[1]. Közvetett címzésnél egy másik regisztert adunk meg: R[R[1]]=5, ahol az R[1]=2 esetén a második regiszter értéke 5 lesz. A regiszterekkel műveleteket is végezhetünk:

Összeadás: $R[] = \dots + \dots$

Kivonás: $R[] = \dots - \dots$

Szorzás: $R[] = \dots * \dots$

Osztás: $R[] = \dots / \dots$

Egész szám osztás: $R[] = \dots \text{DIV}$

Maradékosztás: $R[] = \dots \text{MOD}$

A regiszter típusát a sor beszúrásakor választhatjuk ki, az elvégzendő művelet elemeit pedig amikor a kurzorral ráállunk a tagokra. Egy parancson belül maximum öt, azonos műveletet végezhetünk. A programba az **F1** [INST] gomb megnyomása után a Register menüponttal hívhatjuk meg ezeket. A műveleteknél konstans és regisztert is megadhatunk, A regiszter számát a kurzorral a regiszterre állva a numerikus billentyűkkel beírjuk és **ENTER**-rel rögzítjük.

Pozíció regiszterek

A pozíció regiszterek három eltolás (X, Y, Z) és három orientáció (W, P, R) adatot tárolnak, ezekből a vezérlő legfeljebb 100 darabot képes tárolni. A listában a csillaggal jelölt regiszter üres, az R pedig foglalt, ezt az 50. ábra érzékelteti.

DATA Position Reg					
PR[2]	UF:F	UT:F		CONF:NDB	000
X	*****.***	mm	W	*****.***	deg
Y	*****.***	mm	P	*****.***	deg
Z	*****.***	mm	R	*****.***	deg
Position Detail					
PR[1:]=R
PR[2:]=*
PR[3:]=*
PR[4:]=*

50. ábra: Egy konkrét pozíció regiszter tartalma

Működésük hasonlít a regiszterekére, hasonlóan lehet műveleteket végezni velük, melyek vagy a regiszter teljes tartalmára vonatkoznak (Példa: $PR[1] = PR[2] + PR[3]$), vagy egy értékre azon belül (Példa: $PR[1,2] = 100$ esetében a pozíció regiszter Y értéke 100 lesz). Betanításkor a robot aktuális pozícióját elmenthetjük egy PR-be, ha a **DATA** gombot megnyomjuk és a POS.REGISTER-be belépünk. Itt válasszuk ki a kívánt regisztert, majd a **SHIFT** és az **F3** [RECORD] gombokkal mentjük el. Kézi adatbevitelhez álljunk a megfelelő regiszterre, nyomjuk meg az **F4** [POSITION] gombot, írjuk be az értékeket és az **F4** [DONE] megnyomásával véglegesítsük.

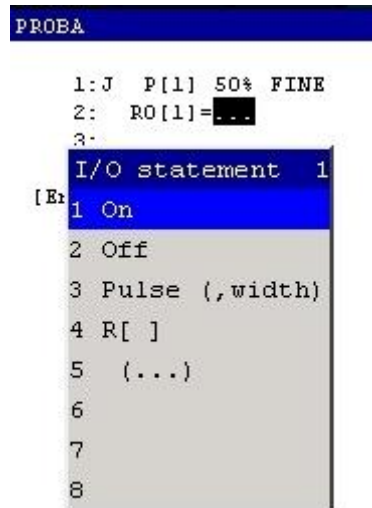
Be- és kimenetek beillesztése

A digitális kimenetek írhatók, a bemenetek pedig beolvashatók a programokba. Ezek beillesztésének folyamata:

F1 [INST]; I/O

Kiválasztjuk a kívánt típust, például DO [] = ...

A zárójelre állva adjuk meg a kimenet számát, majd a ...-ra állva az értéket (51. ábra):



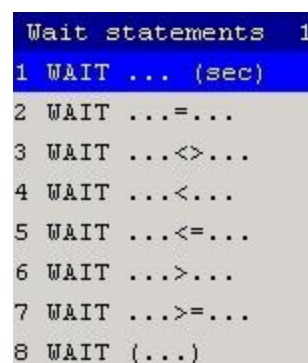
51. ábra: I/O állapotának definiálása

Egyéb parancsok

WAIT parancs

Leállítja a program futását adott időre, vagy adott feltétel teljesüléséig (52. ábra).

Példa: WAIT 1.00(sec)



52. ábra: A WAIT parancs változatai

JMP LBL[] és LBL[] parancs

Feltétel nélküli ugrás a megadott sorszámú címkére (LBL[]). Beillesztése:

F1 [INST]; JMP/LBL;

Címke beszúrásához a LBL-t, az ugráshoz a JMP_LBL-t választjuk (53. ábra).

A címkéhez lehet megjegyzés fűzni, ha a sorszámra állva **ENTER**-t nyomunk.

```
PROBA
1: LBL[1:CIMKE]
2:J P[1] 50% FINE
3:L @P[2] 100mm/sec FINE
4: JMP LBL[1]
[End]
```

53. ábra: A LBL és JMP_LBL használata

CALL

A parancs segítségével a robot meghív egy másik programot, melynek végrehajtása után folytatja a főprogram futtatását. Beillesztése:

F1 [INST]; CALL PROGRAM

A listából válasszuk ki a megfelelő programot.

IF (Feltétel)

Feltétel, melynek teljesülése esetén a program végrehajtja az általunk megadott parancsot.

Beillesztése:

F1 [INST]; IF/SELECT

Kiválasztjuk a listából a feltételt (54. ábra) és a végrehajtandó műveletet.

```
IF statement 1
1 IF ...=...
2 IF ...<>...
3 IF ...<...
4 IF ...<=...
5 IF ...>...
6 IF ...>=...
7 IF (...)
8 --next page--
```

54. ábra: Az IF feltétel megadási lehetőségek

SELECT

A C nyelvben használt Case struktúra Karel-beli megfelelője, használatát az 56. ábrán lehet megfigyelni. Egy regiszter értékét hasonlítja össze más regiszterek vagy konstansok értékével és ettől függően más utasításokat hajt végre.

Beillesztése:

F1 [INST]; IF/SELECT

Kiválasztjuk a struktúra első sorát, majd ismételjük meg az első ponttól, míg az összes szükséges sort létrehoztuk.

```
PROBA  
  
1:J P[1] 50% FINE  
2:L @P[2] 100mm/sec FINE  
3: LBL[2]  
4: SELECT R[1]=5,JMP LBL[2]  
5:           =6,CALL SZIV  
6:           ELSE,CALL SMILE  
7:  
[End]
```

55. ábra: A SELECT struktúra használata

REMARK (Megjegyzés)

F1 [INST]; Miscellaneous; REMARK

A kurzort mozgassa a „!” mögé és nyomjon **ENTER**-t.

Írja be a szöveget és nyomjon **ENTER**-t.

USER ALARM (Felhasználói hibajelzés)

Az általunk megadott hibajelzés megjelenik a Teach Pendant képernyőjén a parancs végrehajtása után. A robot megáll, a végrehajtást folytatni csak a **RESET** gomb megnyomása után lehet.

A hibaleírást a **MENU; SETUP; USER ALARM** menüpontban adhatunk meg, ezt az 56. ábra mutatja.

Setting/User Alarm		1/10
Alarm No.	User Message	
[1]:	[NINCS ANYAG]	
[2]:	[]	
[3]:	[]	
[4]:	[]	
[5]:	[]	
[6]:	[]	
[7]:	[]	
[8]:	[]	
[9]:	[]	
[10]:	[]	

56. ábra: A hibaleírás megadása

A programba való beillesztéshez nyomjuk meg az **F1 [INST]** gombot, majd a Miscellaneous-on belül válasszuk a UALM[] menüpontot.

A zárójelen belül adja meg a hibaüzenet számát, majd nyomja meg az **ENTER**-t.

MESSAGE (Üzenet)

A parancs végrehajtása után az üzenet megjelenik a Teach Pendant képernyőjén, miközben a program tovább fut. A programba való visszatéréshez nyomja meg az **EDIT** gombot.

A programba való beillesztéshez nyomjuk meg az **F1 [INST]** gombot, majd a Miscellaneous-on belül válasszuk a MESSAGE[] menüpontot (57.ábra).

Miscellaneous statements 1	
1	RSR[]
2	UALM[]
3	TIMER[]
4	OVERRIDE
5	Remark
6	Message
7	Parameter name
8	--next page--

57. ábra: A MESSAGE lehetőség beillesztése

A zárójelen belül adja meg az üzenet szövegét, majd nyomja meg az **ENTER**-t.

TIMER (Idómérő)

A programba való beillesztéshez nyomjuk meg az **F1 [INST]** gombot, majd a Miscellaneous-on belül válasszuk a TIMER[] menüpontot.

A zárójelen belül adja meg az időmérő számát, majd nyomja meg az **ENTER**-t.

Válassza ki a **START**, **STOP** vagy **RESET** funkciót. Használatára mutat megoldást az 58. ábra.

```
PROBA  
  
1:  TIMER[1]=RESET  
2:  TIMER[1]=START  
3:J  @P[1] 100% FINE  
4:J  @P[2] 100% FINE  
5:  TIMER[1]=STOP  
[End]
```

58. ábra: A **TIMER** funkció használata egy adott programban

A **TIMER** aktuális értékét megtekinteni a **MENU**; 0 [**NEXT**]; **STATUS**; **PROGRAM TIMER** pontban lehet.

OVERRIDE (Sebesség szabályozó)

A robot mozgási sebességét a maximális sebesség megadott százalékára állítja be.

A beillesztéshez nyomjuk meg az **F1** [**INST**] gombot, majd a **Miscellaneous**-on belül válasszuk az **OVERRIDE** menüpontot.

Írjuk be a százalékos értéket, majd nyomjunk **ENTER**-t.

MAX_SPEED (Sebesség korlátozó)

A robot maximális sebességét határozza meg, lineáris vagy joint mozgás esetén.

A beillesztéshez nyomjuk meg az **F1** [**INST**] gombot, majd a **Miscellaneous**-on belül válasszuk az **MAX_SPEED** menüpontot.

Válasszuk ki a típust (**Joint** vagy **Linear**).

Írjuk be az értéket, majd nyomjunk **ENTER**-t.

PAYLOAD (Hasznos teher)

A robot által mozgatott hasznos teher megadására szolgál, melyet beállítani a **MENU**; **SYSTEM**; **PAYLOAD** pontban lehet.

A beillesztéshez nyomjuk meg az **F1** [**INST**] gombot, majd válasszuk a **Payload** menüpontot.

Írjuk be az előre megadott **Payload** számát, majd nyomjunk **ENTER**-t.

ARMLOAD (Kar terhelés)

A robot 1-es és 3-as tengelyeire adhatunk meg terhelést. Beállítása:

MENU; 0 [NEXT]; SYSTEM; Motion; **F4** [ARMLOAD]

Írjuk be tömegeket, majd nyomjunk **ENTER**-t (59. ábra).

```
MOTION/ARMLOAD SET
1/2
Group 1
1 ARM LOAD AXIS #1 [kg] 0.00
2 ARM LOAD AXIS #3 [kg] 0.00
```

59. ábra: A kar terhelés beállítása

FRAME (Koordinátarendszer kiválasztása)

A programon belül megadhatjuk a használni kívánt koordinátarendszert.

F1 [INST], Offset/Frames

Válasszuk ki a megfelelő parancsot (UTOOL, UFRAME, UTOOL_NUM, UFRAME_NUM).

Írja be a PR sorszámát, vagy a megfelelő értéket, majd nyomjon **ENTER**-t (60. ábra).

```
Offset/Frames 1
1 OFFSET CONDITION
2 UFRAME_NUM=...
3 UTOOL_NUM=...
4 UFRAME[ ]=...
5 UTOOL[ ]=...
6
7
8
```

60. ábra: A koordinátarendszer kiválasztása

PAUSE (Szünet)

Szünetelteti a program futását, míg Start jelet nem kap.

F1 [INST]; Program Control; Pause

ABORT (Megszakítás)

Megszakítja a program végrehajtását.

F1 [INST]; Program Control; Abort

Programszerkesztési műveletek

Sor törlése

A kurzort állítsa be a törlendő sor elé, majd nyomja be az **F5** [EDCMD] gombot; DELETE; **ENTER**; (több sor törlése esetén a kurzor segítségével válassza ki a törlendő sorokat, de csak összefüggő tartományt lehet kijelölni); **F4** [YES] (61. ábra).



61. ábra: Sor(ok) törlése

Sor beszúrása

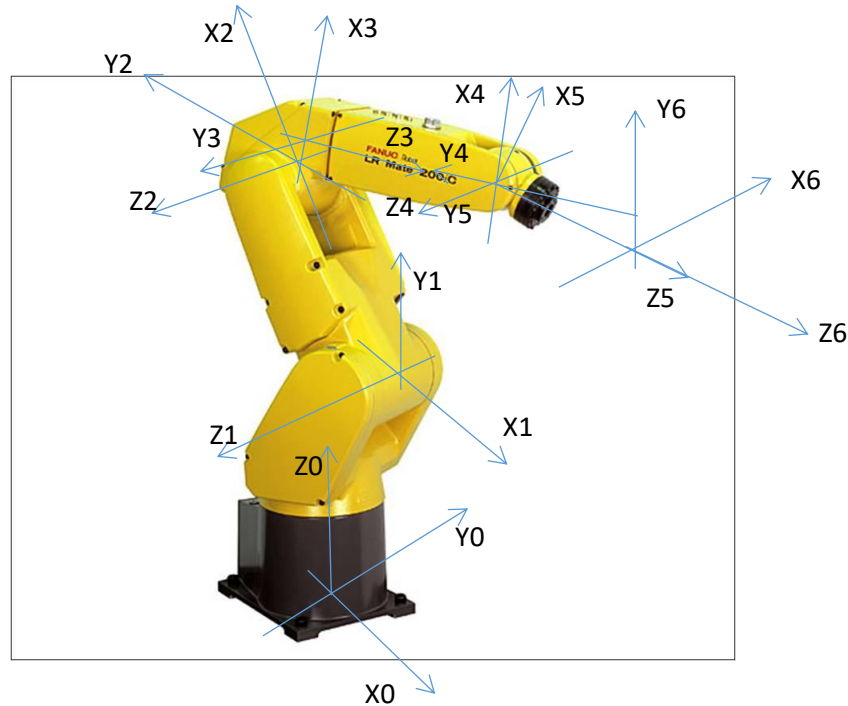
Állítsa be a kurzort a megfelelő helyre (a beszúrás a kurzor elé történik), majd nyomja meg az **F5** [EDCMD] gombot, INSERT; a „HOW MANY LINES?” kérdésre adja meg a beszúrandó sorok számát; **ENTER**.

Sor másolása

1. Az átláthatóbb lépések kedvéért pontokba szedve:
2. A kurzort állítsa be a másolandó sor elé.
3. Nyomja meg az **F5** [EDCMD] gombot, majd a COPY alpontot.
4. Válassza ki a másolandó területet.
5. Nyomja meg az **F2** [COPY] gombot.
6. A kurzort állítsa be oda, ahová másolni szeretne (a másolás a kurzor elé történik).
7. Nyomja meg az **F5** [PASTE] gombot; **F3** [POS_ID].
8. Nyomja meg a **PREV** gombot, hogy kilépjen a másolás módból.

Denavit-Hartenberg paraméteres leírás [14]

A robotkar tagjainak merev testszerű mozgását megadhatjuk az Euler-szögekkel és a Kardán-szögekkel is, de a legjobban elterjedt a Denavit- Hartenberg paraméteres leírás.



62. ábra: A Fanuc robot csuklókhöz rögzített koordinátarendszere

Az a_i , b_i , β_i , α_i Denavit-Hartenberg paramétereket az ábrán feltüntetett koordinátarendszerekhez határozzuk meg.

Először a robot csuklókhöz egy-egy koordinátarendszert rendelünk, amelyet a 62. ábrán lehet megfigyelni:

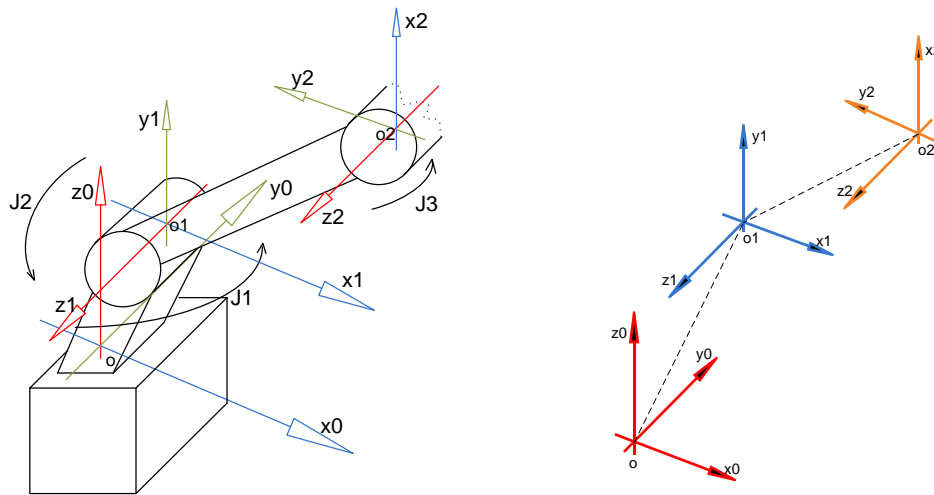
1. Z_i tengely legyen az i -edik csukló forgási tengelye.
2. A Z_i és Z_{i-1} közös normáltranszverzálisának (mindkét tengelyre merőleges szakaszt értünk alatta) irányába mutasson az X_i tengely.
3. Ha két forgástengely egybeesik, azaz párhuzamos, akkor szinguláris megoldásról beszélhetünk, azaz végtelen sok közös normális állítható elő.
4. Z_i és X_i ismeretébe Y_i tengely felvétele már nem okozhat gondot (jobbsodrású koordinátarendszer).

Majd ezek segítségével adjuk meg a paramétereket:

- a_i a Z_{i-1} és Z_i tengelyek távolsága (a transzverzális hossza, amely nem lehet negatív),

- b_i a Z_{i-1} és X_i tengelyek metszéspontjának Z_{i-1} koordinátája,
- α_i a Z_{i-1} tengely körüli forgás előjeles szöge, amely az X_{i-1} tengelyt az X_i tengelybe viszi,
- β_i az X_i tengely körüli forgás előjeles szöge, amely a Z_{i-1} tengelyt a Z_i tengelybe viszi.

A következő ábrán külön is feltüntetjük a mozgó tagok által meghatározott koordinátarendszerek $o_1 - o_3$, középpontjait, valamint a J1, J2 és J3 csuklókat, azaz a tagok forgási lehetőségeit (63. ábra).



63. ábra: A Fanuc robot első három koordinátarendszerének definiálása

A Hartenberg paraméterek négy egymás utáni merev testszerű relatív mozgásnak felelnek meg, amelyek mátrixszorzásával állítható elő az ún. relatív helyzetmátrix:

$$\mathbf{D}_{i-1,i} = \mathbf{Trans}_Z * \mathbf{Rot}_Z * \mathbf{Trans}_X * \mathbf{Rot}_X, \quad (3)$$

ahol \mathbf{Rot}_Z , \mathbf{Rot}_X a forgási transzformációs mátrixok (X_i , Z_{i-1} tengelyekre), \mathbf{Trans}_Z , \mathbf{Trans}_X az eltolási transzformációs mátrixok (X_i , Z_{i-1} tengelyekre), amelyek részletesen az alábbi módon írhatók fel

$$\mathbf{Rot}_Z = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_i) & -\sin(\alpha_i) & 0 & 0 \\ \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Rot}_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta_i) & -\sin(\beta_i) & 0 \\ 0 & \sin(\beta_i) & \cos(\beta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\mathbf{Trans}_Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & b_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Trans}_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

A kijelölt műveletek elvégzése után a relatív helyzetmátrix végleges alakja:

$$\mathbf{D}_{i-1,i} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_i) & -\sin(\alpha_i) * \cos(\beta_i) & \sin(\alpha_i) * \sin(\beta_i) & a_i * \cos(\alpha_i) \\ \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) * \cos(\beta_i) & -\cos(\alpha_i) * \sin(\beta_i) & a_i * \sin(\alpha_i) \\ 0 & \sin(\beta_i) & \cos(\beta_i) & b_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

A mátrix leegyszerűsítve a következőképpen néz ki:

$$\mathbf{D}_{i-1,i} = \left[\begin{array}{ccc|c} \mathbf{R} & & & \mathbf{t} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right], \quad (7)$$

ahol \mathbf{R} a forgási (rotációs) mátrixot jelöli, a \mathbf{t} a eltolási (transzlációs) oszlopvektort.

Az 1. táblázat példaként bemutatja a robot első két tagjának Hartenberg paramétereit. Ezután megadjuk a megfelelő relatív helyzetmátrixokat.

Tag	a_i	β_i	b_i	α_i
1.	a_1	90°	b_1	$\alpha_1 = J1$
2.	a_2	0	b_2	$\alpha_2 = J2$

A megfelelő relatív helyzetmátrixok:

$$\mathbf{D}_{0,1} = \begin{bmatrix} \cos(J1) & 0 & \sin(J1) & a_1 * \cos(J1) \\ \sin(J1) & 0 & -\cos(J1) & a_1 * \sin(J1) \\ 0 & 1 & 0 & b_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\mathbf{D}_{1,2} = \begin{bmatrix} \cos(J2) & -\sin(J2) & 0 & a_2 * \cos(J1) \\ \sin(J2) & \cos(J2) & 0 & a_2 * \sin(J1) \\ 0 & 0 & 1 & b_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

Mivel a robot 6 szabadságfokkal rendelkezik, így még további 4 mátrixot szükséges felírni. A mátrixok formális felírása és összeszorozása után megkapjuk a megfogó és az állvány közötti helyzetmátrixot.

$$\mathbf{DH} = \prod_{i=1}^6 \mathbf{D}_i, \quad (10)$$

Robot programozási feladat:

1. feladat: A robot fogjon meg egy hengeres munkadarabot, majd rakja le egy adott helyre, annak függvényében, hogy a munkadarab fém, vagy műanyag. A feladat megoldása során a műanyag munkadarabok kerüljenek egy tárolóba, a fém munkadarabok, meg a fém palettára. A robot megfelelő mozgatása érdekében köztes pontokat vegyenek fel.

A feladat egy lehetséges megoldása:

```
UFRAME_NUM=3
UTOOL_NUM=6
CMD_ACK
DO[106]=ON
J PR[80] 10% CNT100
WAIT 3.00 (sec)
J PR[75] 10% CNT100
20mm
WAIT 3.00 (sec)
CLOSE_GYENGE
J PR[80] 10% CNT100
J PR[76] 10% CNT100
J PR[77] 10% CNT100
J PR[93] 10% CNT100
WAIT 3.00 (sec)
IF DI[106]=ON, JMP LBL[1]
J PR[77] 10% CNT100
J PR[79] 10% CNT100
20mm
JMP LBL[2]
LBL[1]
J PR[77] 10% CNT100
J PR[78] 10% CNT100
20mm
LBL[2]
J PR[77] 10% CNT100
```

J PR[76] 10% CNT100

J PR[80] 10% CNT100

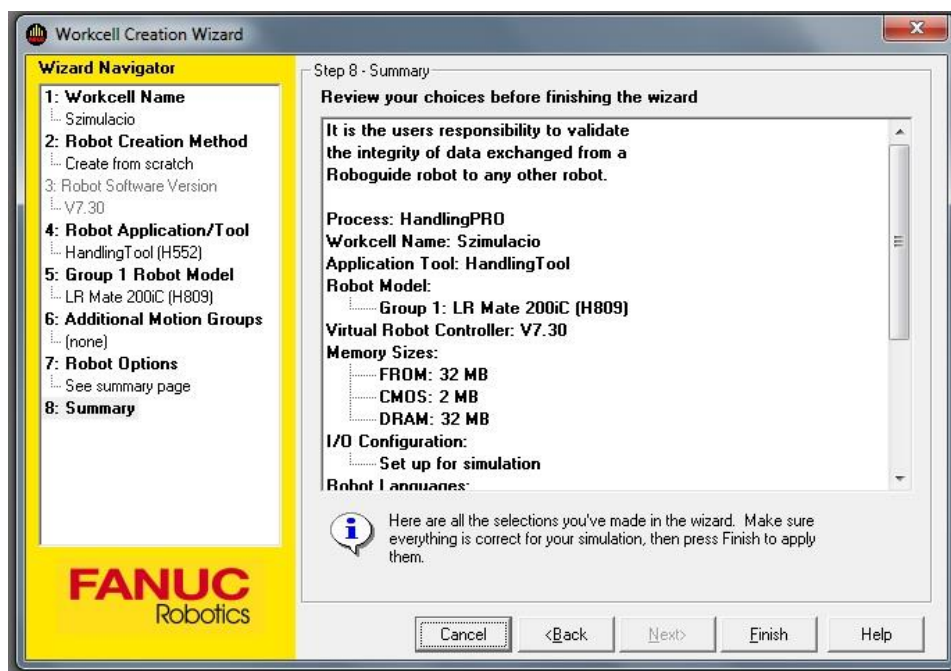
DO[106]=OFF

[END]

A Roboguide szimulációs szoftver ismertetése [14]

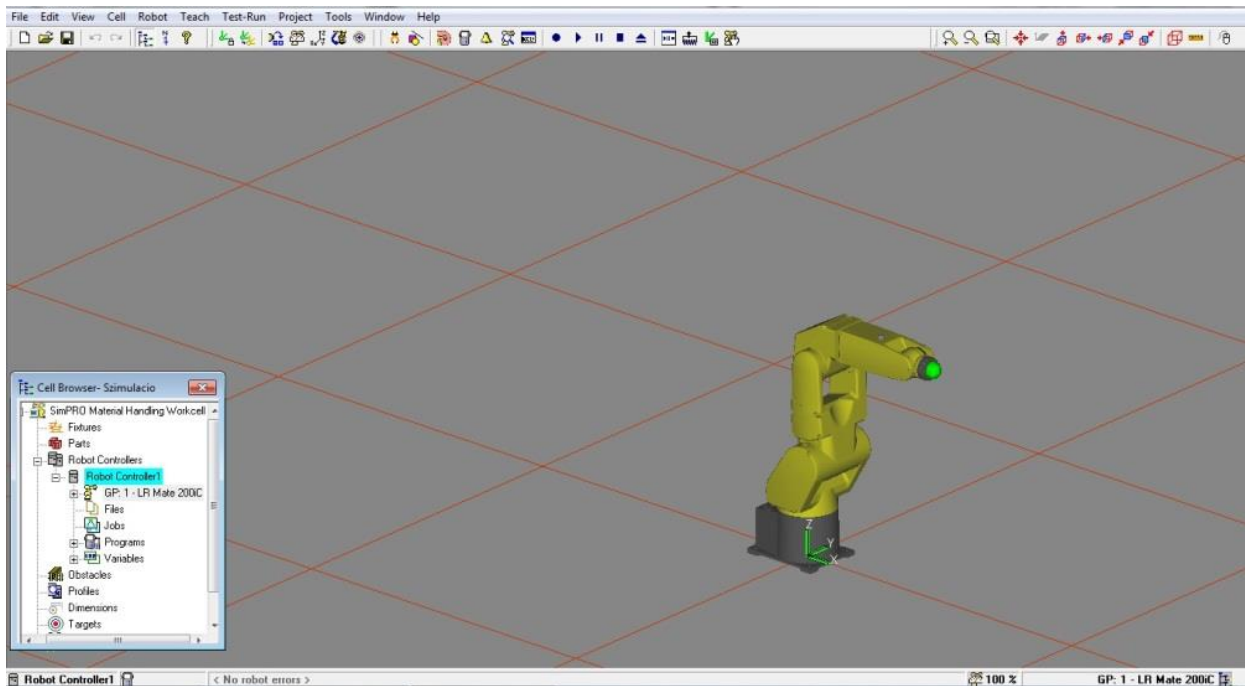
Ez egy zárt forráskódú szimulációs szoftver. A rendszer lehetővé teszi, egy megírt program UTP kábelén keresztül a robotra való feltöltését. A szoftver a 32 bites Windows operációs rendszereket támogatja. A grafikusan működő szimulációs rendszer segítségével többféle Fanuc típusú robot is programozható. A szoftverben lehetőség nyílik 3D-s modellek importálására pl.: .IGS fájlformátum támogatott. A Virtual Robot Controller-nek sok verziója elérhető (v7.30, v7.40, vagy akár régebbiek).

A szoftver elindítása után különböző menüpontokon keresztül elvégezhető a szimulációs környezet felkonfigurálása. Különböző programok megírásához külön-külön egy ún. Workcell-t kell létrehozni, amely tartalmazza a szimulációs környezet alapvető tulajdonságait. Megadható az alkalmazni kívánt robot típusa, felszereltsége. A kiválasztott robot tulajdonságai tovább bővíthetők, így például a robot felruházható akár egy IRVision rendszerrel is. A következő ábra egy példát mutat egy Workcell létrehozásának összefoglaló menüpontjára.



64. ábra: Workcell létrehozása

A *Finish* gombra rákattintva betölti a program a kezelőfelületet és kiválasztott robotot, ezt a 64. ábra szemlélteti.





65. ábra: A szoftver kezelőfelülete

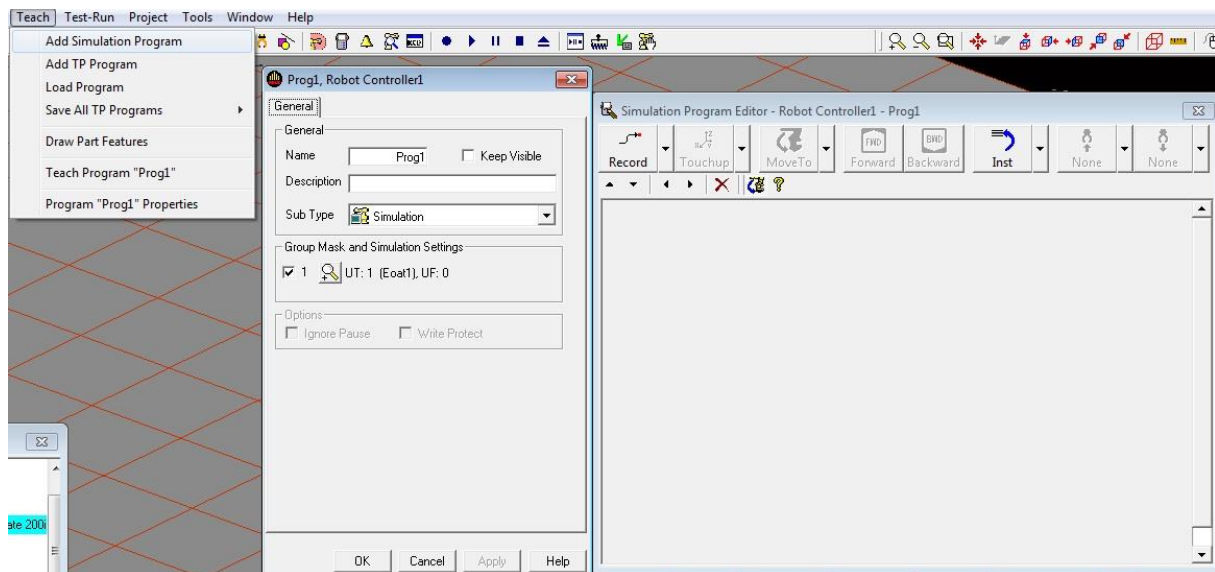
A 65. ábra bal alsó sarkában láthatók az egyes lehetőségek, amelyekkel például magát a robotot is testreszabhatjuk, vagy akár megfogókat, különböző tárgyakat applikálhatunk bele. Egyes elemek: *Fixtures*, *Parts*, *Programs*, *Robot Controllers*, *Obstacles* stb. A *Fixtures* pontban lehetőségünk van CAD fájlból szállítószalag, asztal stb. importálására. A *Parts* opció lehetőséget ad a munkadarab definiálására, kiválasztásra. A *Programs* ikon alatt megtekinthetjük a megírt program kódját. Az *Obstacles* menüpontban biztonsági elemeket lehet importálni, mint például elválasztó kerítés, vagy acél asztal a robot stabil pozíciója érdekében.

Első lépésben a *Fixtures* menüpontot fogjuk használni, itt a feladat elvégzése érdekében definiálunk két asztalt és két egymástól független szállítószalagot, valamint két görgős szállítókoszt is. A definiált elemek színét, kiterjedését szabadon meg lehet választani, lehetőség van a szimuláció integrálására is, ahol később megadhatjuk, hogy melyik munkadarabot rögzítjük például az asztalhoz. A szimulációban meg kell adni, hogy az asztalon található munkadarabot a robot felvegye, vagy lerakja, az opciók mellé társulnak késleltetési idők megadása lehetőségek is.

A következő lépésben létrehozunk a felhasználni kívánt munkadarabokat, amely jelen esetben egy alumínium kék kocka, és egy 8 szögletű üreges acélidom. Itt is természetesen CAD fájlokat rakhatunk a programba. A munkadarab definiálása során meg kell adni annak tömegét, kiterjedését, akár a színét is. Ezután a robotra applikálunk egy megfogót. A *Robot Controller*

menüponton belül található a *Tooling* opció, ahol létrehozhatjuk a megfogót. Itt lehetőség van a méreteinek, tömegének a megadására, nyitó és záró állapot felvételére, valamint az egyes munkadarabok hozzárendelésére is. Megjegyezzük, hogy a robothoz illesztett megfogó orientációját, a hozzárendelt referenciapontot be kell állítani, a referenciapont megadása a megfogó definiálási menüben belül az *UTOOL* fül alatt lehetséges. Mindezek után a robot alá az *Obstacles* menüponton belül létrehozunk egy acél asztalt, amely a robot stabil rögzítéséért felelős, utána a munkateret biztonsági előírások miatt kerítéssel vesszük körül.

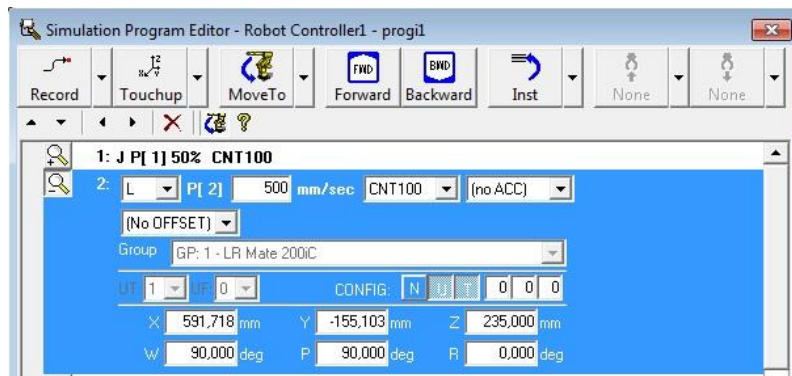
Az egyes tárgyak elhelyezése után el is lehet kezdeni a szimulációs program megírását. Először pontokat kell definiálni, amelyek mentén a robot mozogni fog, ehhez nagy segítséget ad a programba integrált Teach Pendant  vezérlő konzol, melynek használatával a robot könnyen mozgatható. Megírásnál fontos a megadott pontok helyzete, mivel a robot maximális kinyúlása 750 mm, ezt legegyszerűbben a  *Show/Hide Work envelope* ikonnal érhetjük el, amely megmutatja a robot munkaterének határát. A pontok megadása után a *Teach/ Add Simulation program* opcióval megírható a szimulációs program, erre megoldást mutat a 67. ábra.



66. ábra: Szimulációs program beviteli ablaka

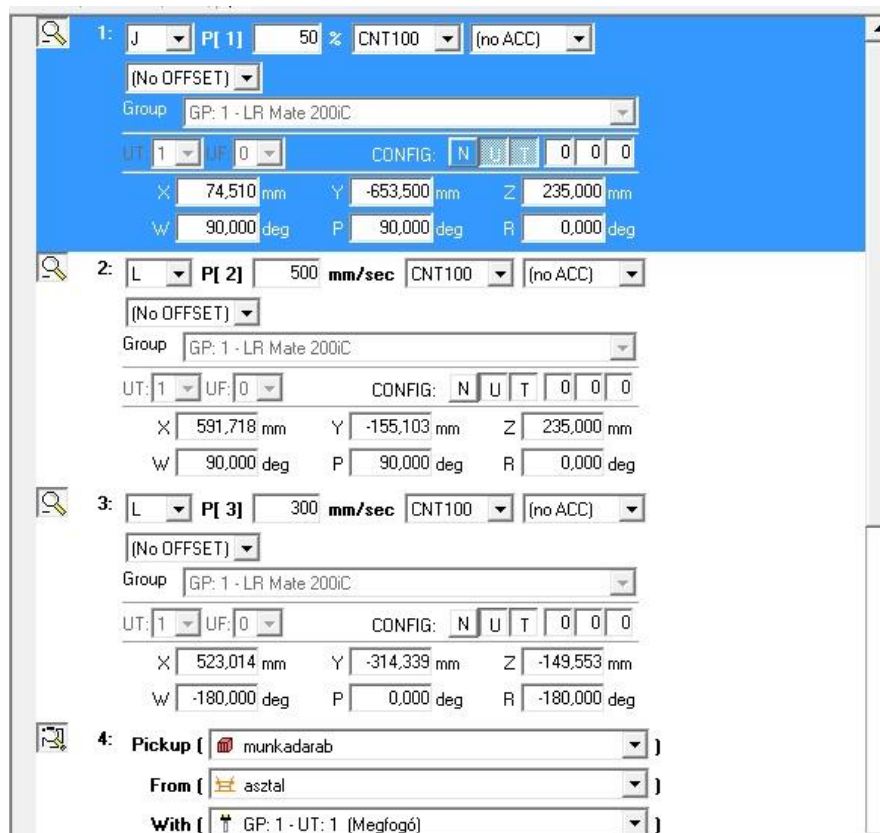
A 66. ábrán látható, hogy első lépésben meg kell adni a program nevét, utána az *OK* gomb megnyomása után a *Simulation Program Editor* ablak segítségével lehet az adott pontokhoz a robotmozgást rendelni a *Record* gombbal el is menti a pozíciót. A *Record* fülön belül meg lehet adni, a pozícióra állás milyenségét (CNT, vagy FINE). Ezek után megjelenik a program első blokkja, amelyben beállítható a mozgás pályája, például egyenes (L) mentén haladjon.

Blokkonként még be lehet állítani a robot mozgási sebességét [mm/sec], eltolását *Offset*. Ilyen blokkra mutat megoldást a 67. ábra.



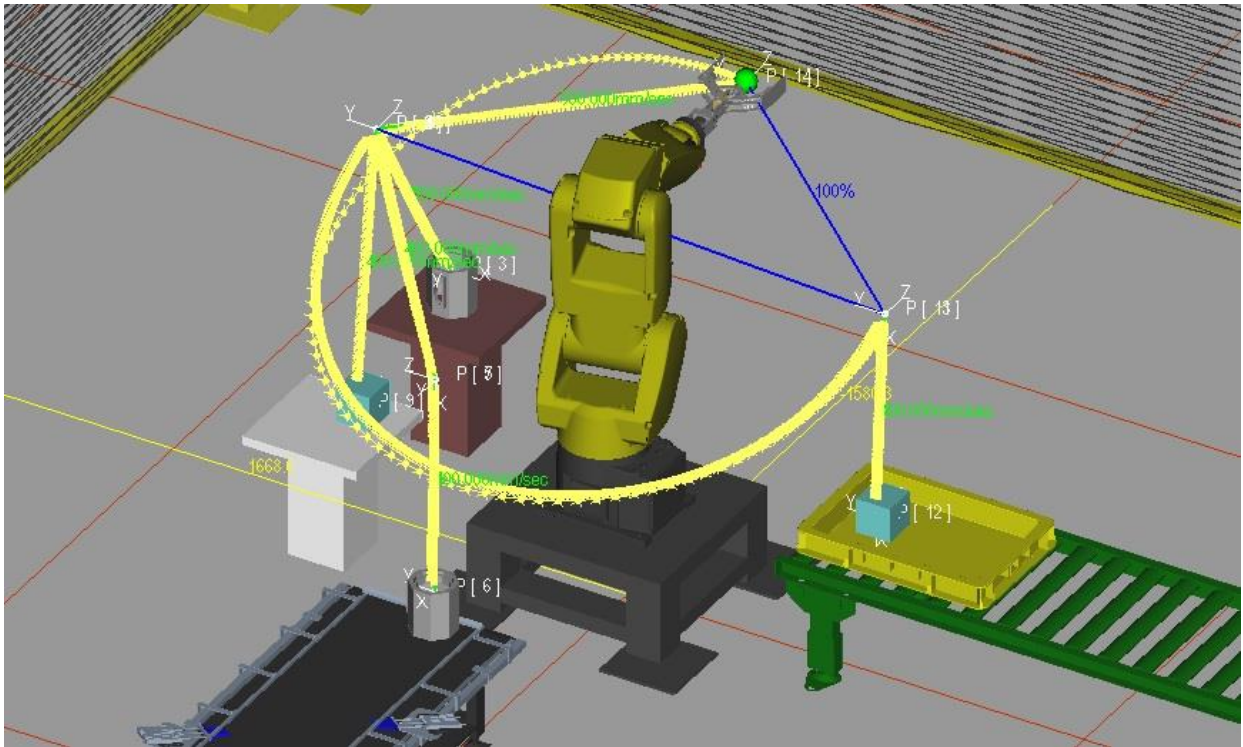
67. ábra: Egy program blokk definiálása

A program megírásánál nagy segítséget jelent a *MoveTo* ikon, amely révén a robot mozgásának helyessége leellenőrizhető. Az egyes blokkok törölhetők az ábrán látható X ikon használatával. A megírt blokkok után egy próba futtatást követően ellenőrizhető a program helyessége. A 68. ábra egy megírt program első 4 blokkját mutatja.



68. ábra: Egy program részlete

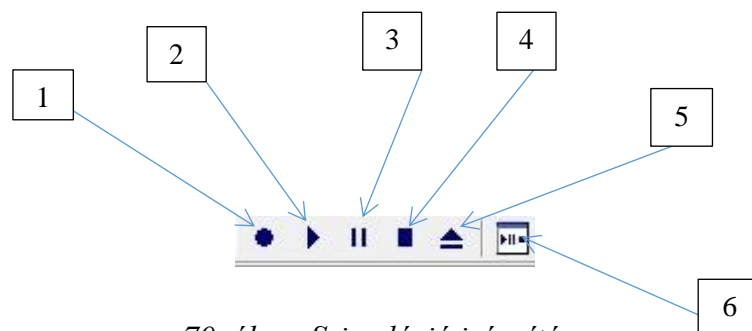
A 68. ábrán jól látható, hogy a munkadarab megfogásához, illetve elengedéséhez meg kell adni annak típusát, helyét, hogy melyik asztalon található és hogy melyik megfogóhoz társítjuk. Az X, Y, Z koordináták a felvett referenciaponttól való távolságot mutatják. A W, P, R lehetőségek az egyes tengelyek körüli forgatást reprezentálják, a bevinni kívánt értéket természetesen fokban kell megadni.



69. ábra: A megfogó által befutott pálya

Az 69. ábrán már láthatók a beprogramozott pályák, amelyek mentén a robot megfogója fog haladni.

A program megírása után célszerű elvégezni egy próbafuttatást, használatával meg lehet győződni az egész rendszer helyes működéséről. A 70. ábrán található kezelőfelületet a főprogram főpaneljén találhatjuk.



70. ábra: Szimuláció irányítása

Az egyes ikonok jelentése:

1. Felvétel: .avi kiterjesztésű fájlként
2. Folyamat lejátszása
3. Aktuális futás szüneteltetése
4. Folyamat végleges leállítása
5. Hiba esetén Reset
6. Futtatási panel elrejtése, vagy mutatása

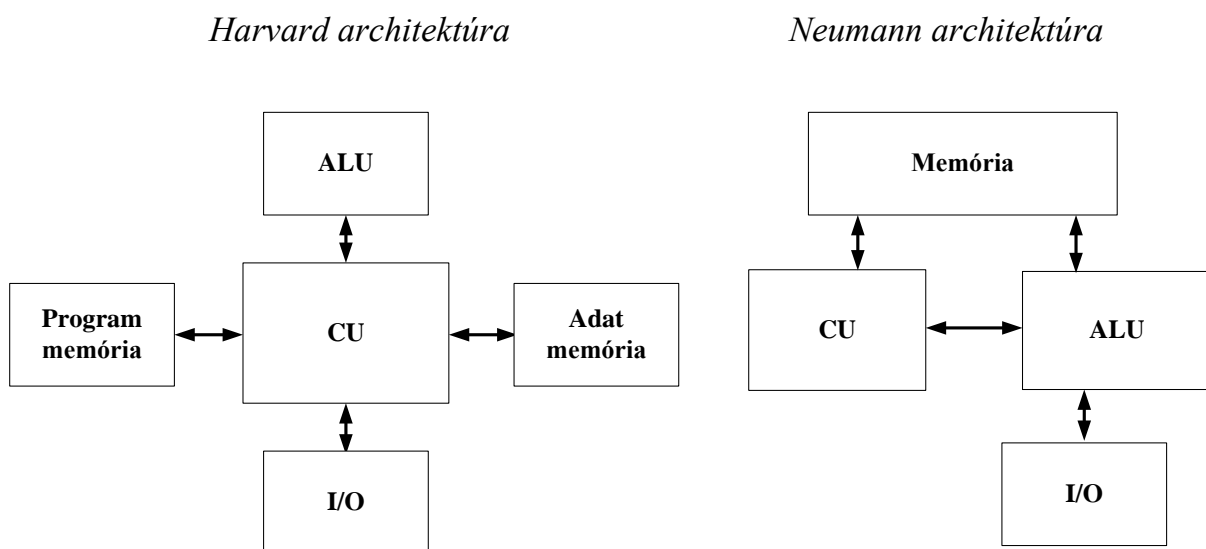
Ha a program futása közben semmilyen rendellenesség nem tapasztalható, akkor a projektet el lehet menteni, melyet a *File/ Save As* opcióval lehet megvalósítani.

Mikrovezérlő programozás

Néhány alapvető információ a mikrovezérlővel kapcsolatban:

- Harvard architektúra
- RISC utasításkészlet
- Utasításszélesség alapján van: 12, 14 és 16 bites (baseline, mid-range, high performance).

A Harvard és a Neumann architektúra közötti különbségek (71. ábra):



71. ábra: A Neumann és a Harvard architektúrák közötti eltérések

Fejlesztői környezetek pl. MPLAB, Piklab.

Compiler/fordító: van sokféle, amit használunk: XC8.

Programozók: Pickit, Pickit2, Pickit3, ICD2, ICD3 stb. Az ICD modulokat többnyire hibák felderítésére és nyomkövetésre használják.

A PICDEM Mechatronics board ismertetése:

A rajta található fontosabb elemek:

Mikrovezérlő (PIC16F917), LCD kijelző, DC motor, Léptető motor, Pickit csatlakozó, ICD csatlakozó, potenciométerek, hőmérséklet mérő szenzor, fotoelem, mikrokapcsolók, LED-ek, optikai szenzor, COM port.

A panel tartalmaz: H hidat, jumperelési lehetőségeket, tápellátási lehetőségeket (9 V-os elem, jack csatlakozó stb.).

A board azoknak készült, akik a mechatronikai eszközök megismerést, automatizálását szeretnék elsajátítani. A gyakorlaton pár feladatot fogunk megoldani, hogy a programozást, valamint a bekötési módokat kellőképpen megismerjük.

A gyakorlatokon: LED villogtatását, kapcsolók bekötését, hőmérséklet mérő szenzor bekötését, skálázását, valamint a DC motor működtetését nézzük meg.

Programozás megkezdése előtt: Telepítések: Pickit2, MPLAB, XC8 elemek installációja.

Programozás:

1. MPLAB X IDE elindítása;
2. File/New Project;
3. Microchip Embedded -> Standalone project;
4. MCU kiválasztása (Demo board: PIC16F917);
5. Select tool -> Pickit2 (sárga színű);
6. Fordító kiválasztása ->XC8;
7. Projekt neve -> Finish;
8. Baloldalon Projects fül/Source files -> jobb klikk;
9. New pl.: C main file;
10. Fájl nevének megadása;
11. Programozás.

1.feladat: LED villogtatása, nyomógombok ÉS kapcsolatának feltételével

A header fájlok megadása (xc.h, stdio.h, stdlib.h), majd a *Window* fül *PIC Memory Views/Configuration bits* lehetőségre kattintva a konfigurációs biteket lehet személyre szabni (pl. Oszcillátor típusa). Miután megvan, akkor a *Generate Source Code to Output* lehetőségre kattintva beilleszthető lesz a fő programunkba.

TRIS és PORT regiszterek:

TRIS = Tri State: ha 1, akkor Input az adott pin, ha viszont 0, akkor output lesz.

PORT: Adat olvasás/írás GPIO pinről/pinre. Ha logikai 0, akkor LOW, ha logikai 1, akkor HIGH.

Számrendszerek szerinti megadási módok:

pl. 0b00000000 ->bináris

pl. 0xff -> hexadecimális

TRISC5=0; -> Az 5. bit output lesz

RB7=0; PORT B 7. bitje logikai 0

A kész program:

// CONFIG

A megírás után a *Run/Build project* lehetőségre kattintva a .HEX fájlt elkészíti a fordító, ami a project mappában lesz a *dist/default/production* helyen. Ezek után a Pickit2 program segítségével áttöltethető a .HEX kiterjesztésű fájl a *File/Import Hex, Write* lehetőségek után. A VDD kapcsolható/állítható, ezt a szoftver jobb oldalán található négyzet bepipálásával érhetjük el.

```
#pragma config FOSC = HS      // Oscillator Selection bits (HS oscillator: High-speed
crystal/resonator on RA6/OSC2/CLKOUT/T1OSO and RA7/OSC1/CLKIN/T1OSI)
#pragma config WDTE = OFF     // Watchdog Timer Enable bit (WDT disabled and can
be enabled by SWDTEN bit of the WDTCON register)
#pragma config PWRTE = OFF    // Power Up Timer Enable bit (PWRT disabled)
#pragma config MCLRE = ON     // RE3/MCLR pin function select bit (RE3/MCLR pin
function is MCLR)
#pragma config CP = OFF // Code Protection bit (Program memory code protection is
disabled)
#pragma config CPD = OFF     // Data Code Protection bit (Data memory code protection
is disabled)
#pragma config BOREN = ON     // Brown-out Reset Selection bits (BOR enabled)
#pragma config IESO = ON     // Internal External Switchover bit (Internal/External
Switchover mode is enabled)
#pragma config FCMEN = ON    // Fail-Safe Clock Monitor Enabled bit (Fail-Safe Clock
Monitor is enabled)
#include <xc.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define _XTAL_FREQ 8000000
void main()
{
    TRISD7=0;
    TRISD6=0;
    TRISD4=1;
    TRISD1=1;
    RD7=0x00;
    RD6=0x00;
    while(1)
    {
        if(RD4 == 0 && RD1 ==0)
        {
            RD7=0xff;
            __delay_ms(200);
            RD7=0x00;
        }
    }
}
```

```
    __delay_ms(200);  
    RD6=0xff;  
    __delay_ms(200);  
    RD6=0x00;  
    }  
    }  
}
```


Irodalomjegyzék

- [1] SPONG, W. M. – HUTCHINSON, S. – VIDYASAGAR, M.: Robot Modelling and Control, Wiley, 2006
- [2] PIC mikrovezérlők: <http://www.microchip.com/>
- [3] PARIPÁS B.: Lézerfizika című előadás internetes jegyzet, Miskolci Egyetem
- [4] RENISHAW: Brochure of the XL-80 laser measurement system, 2015
- [5] MÁDAI F.: Villamos hajtások, 2014
- [6] Leybold Didactic: Feladatgyűjtemény
- [7] www.villanyszaklap.hu
- [8] Váltakozó áramú gépek: Óbudai Egyetem Mechatronikai és Autótechnikai Intézet
- [9] www.toroid.hu, Toroid tekercsek méretezése
- [10] www.fastonline.org
- [11] www.szirty.uw.hu
- [12] Kovács A.: Kefenélküli DC motor pozíciójának meghatározása abszolút jeladó nélkül
- [13] Rónai L.: Lézerinterferométer mérő egységének korszerűsítése, rezgések precíziós vizsgálata, ME-TDK konferencia, 2015
- [14] Rónai L., Cservenák Á.: Robotkiszolgáló-rendszer kinematikai szimulációja, ME-TDK konferencia, 2011
- [15] Olasz A., Jászka T.: Teach Pendant programozás
- [16] www.tankonyvtar.hu