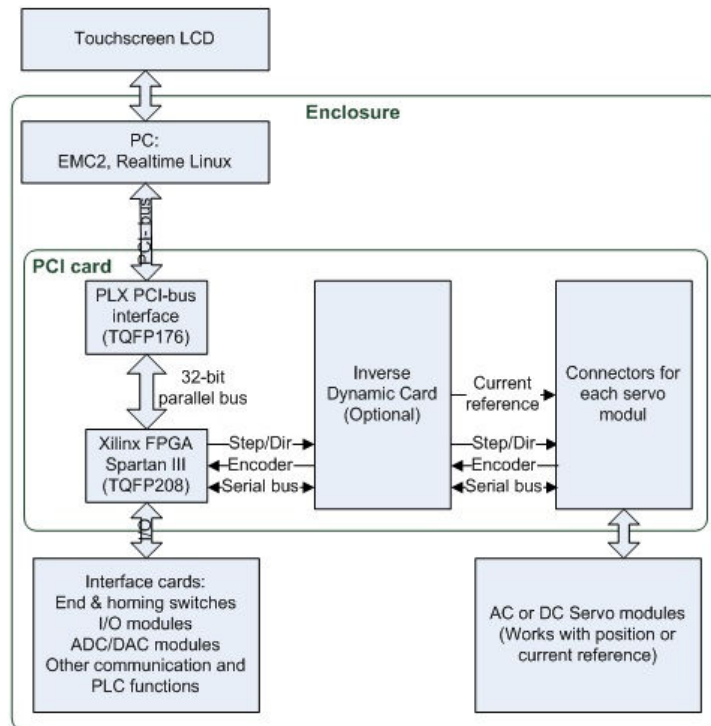


Univerzális robotvezérlő fejlesztése



Tajti Ferenc V. évf.

Konzulensek:

Dr. habil Korondi Péter, MOGI

Kovács Bence, Szayer Géza

Tartalom

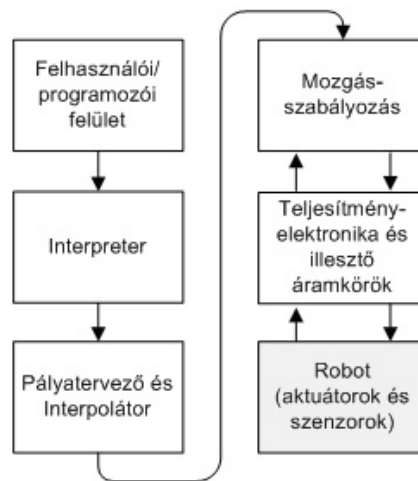
1	A dolgozat felépítése	3
2	Az univerzális robotvezérlő gondolata	3
3	Az első prototípus	6
3.1	A Scara robot	6
3.2	A robot irányítása, [1].....	7
3.2.2	Decentrális irányítás.....	8
3.2.3	Centrális irányítás	11
3.3	A rendszer	13
3.3.1	A PCI kártya, [1].....	15
3.3.2	DC végfok, [2].....	17
3.3.3	IO modulok és futószalag.....	18
3.3.4	Tanítópult	19
3.3.5	Teljesítmény elektronika	20
3.3.6	A jelek szétosztása	22
3.3.7	Eredmények.....	22
4	A második prototípus	24
4.1	Seiko robot.....	24
4.2	Konstrukciós különbségek	24
4.2.1	Gépház	24
4.2.2	Teljesítmény elektronika	26
4.2.3	Tanító pult	26
4.2.4	Az új PCI kártya	27
4.2.5	Az új IO, AD és DA modulok	28
4.2.6	DC végfok	28
5	Háromfázisú végfok	30
5.1	Mezőorientált szabályozás, [3].....	30
5.2	A Texas fejlesztő környezet, [5].....	34
5.3	Saját hardver	37
6	RTM komponensek.....	43
7	Összefoglalás	44
8	Felhasznált irodalom	45

1 A DOLGOZAT FELÉPÍTÉSE

Dolgozatom során a Norvégiában Kovács Bencével és Szayer Gézával közösen fejlesztett ipari robotvezérlőt fogom bemutatni. Bevezetésként olvasható a motiváció, a projekt célja, és a feladat kihívásai. A dolgozat első nagy fejezete az Adept Scara-hoz illesztett első prototípus. Itt említésre kerül a Scara robot geometriája, paraméterei, legfontosabb műszaki tulajdonságai, a robot irányításához szükséges egyenletek, számítások. Ezt követi a robotvezérlő általános felépítése, blokk vázlata, majd a konkrét megvalósítás részletei. A rendszer gépházába került a teljes vezérlő elektronika, a PC, a DC végfokok, a teljesítmény elektronika, és a periféria áramkörök. A robotot az Enchanced Maschine Controller 2 (EMC2) felügyeli. Az ezt követő fejezetben röviden összefoglalom az eddigi eredményeket, majd jön a következő nagy fejezet, a második prototípus. Itt bemutatásra kerül a MOGI tanszék Seiko robotja és a fejlesztések, különbségek az első próbarendszerhez képest, valamint az új modulok, és az RT-Middleware kompatibilis DC motor szabályozó elektronikák. A dolgozatot összefoglalás és kitekintés zárja.

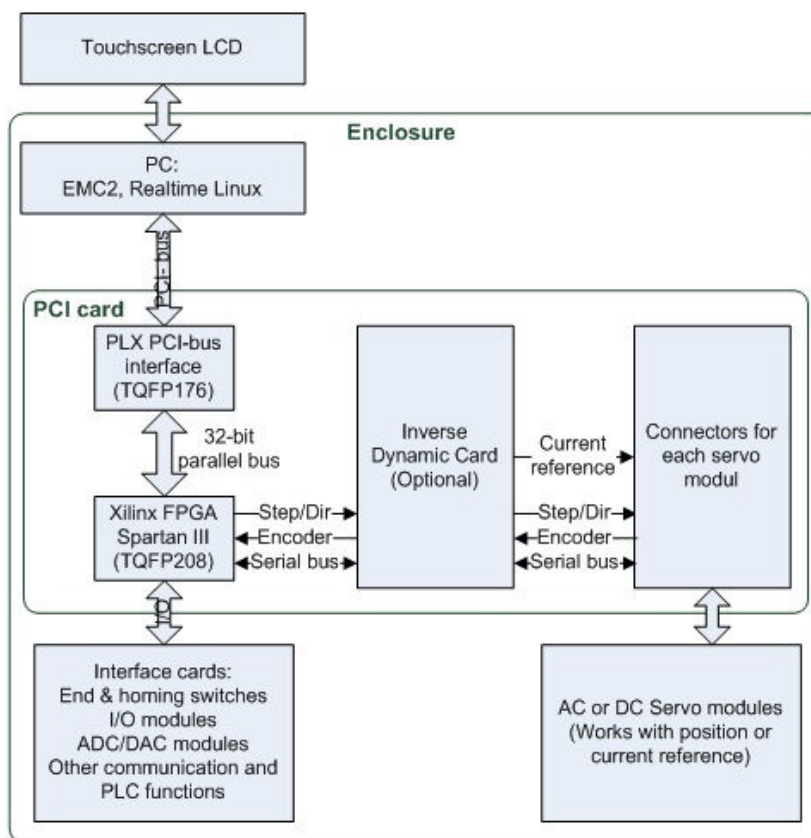
2 AZ UNIVERZÁLIS ROBOTVEZÉRLŐ GONDOLATA

Az ipar folyamatosan fejlődik. A gyártósorok egyre újabb, jobb, és gyorsabb gépekkel rendelkeznek. A korábbi eszközöket általában leselejtezik, vagy eladják. Az elavult, vagy elromlott gépek nagyrészt csak elektronikailag nem megfelelőek. Javításukat nem végzik el, mert elavultak, vagy nem kapni hozzájuk alkatrészt. A robotok a mechanikai konstrukció terén a technika fejlődéséből adódóan nem sokat változtak. Az elektronika fejlődése, viszont nagy léptekkel haladt az elmúlt évtizedekben. A leselejtezett robotok mechanikailag általában jó állapotban vannak. Egy robotnál a költségeket nagyrészt a mechanika adja. A motorok, pontosan legyártott fém alkatrészek, csapágyazások, csatlakozók, hajtóművek stb. Az elavult, tönkrement vezérlők cseréjével a robotok mechanikája újra felhasználható. Egy-egy vezérlő kifejlesztése mérnökcsoportok hónapokon keresztül tartó költséges munkájába kerül, ennél fogva nem éri meg a régi gépek új vezérlővel való felszerelése, amennyiben típusonként új rendszer kell kifejleszteni.



2-1. ábra A robotvezérlés általános folyamata

Egy univerzális robotvezérlő (2-1. ábra) létrehozása nagyobb munkát és energia befektetést igényel, mint egy-egy gép specifikus rendszer, viszont hosszútávon egy működő koncepció, sokkal jobb megoldást jelent az egyre több újra cserélt robot problémájára. A robotok többsége csak néhány alapvető dologban tér el egymástól. Ezek a geometria, a változók mérése, a motorok mérete, fajtája. Lehetnek zárt láncúak, nyílt láncúak, vagy akár a kettő kombinációja is. Nyílt láncú robotoknál az egyes szabadságfokok egymást követik, pozíciójuk és orientációjuk egymás függvényei. A zárt láncú robotok esetében az egyes csuklók egymástól függetlenek lehetnek, de mind hatással vannak a TCP pozíciójára, orientációjára. A vezérlőt modulárisan kell felépíteni, hogy az minden robothoz könnyen és gyorsan illeszthető legyen. Az interpolátor PC-n fut, így a robot geometriája, paraméterei megadhatók szoftveresen. A rendszer folytonos pályairányításra képes. Kisebb robotokban régebben kefések DC motorokat használtak. Mára mindenhol a PMSM és a BLDC motorok terjedtek el. A sebesség, pozíció és nyomaték referenciákat fogadó többféle teljesítményű végfokokkal a legtöbb robot minden szabadságfoka meghajtható. A végállás kapcsolók, enkóderek, homing szenzorok és egyéb specifikus perifériákhoz kell egyedi elektronikát tervezni. A rendszer AD, DA, és digit IO modulokkal kiegészítve szinte bármilyen géphez illeszthető. Az EMC2 köré terveztük a rendszert, ami egy univerzális robotvezérlő platform, létradiagram szerkesztővel és PLC funkcióval, így a vezérlő a robot mellett egyszerűbb perifériákat, szerszámtárat, futószalagot is kezelhet. A realtime Linux alatt futó EMC2-höz szükség van a PC mellett egyéb hardver kiegészítésre a jelek fizikai megjelenítése miatt. Erre a feladatra a legmegfelelőbb a PCI express bus és ebből következően egy PCI kártya. (2-2. ábra)



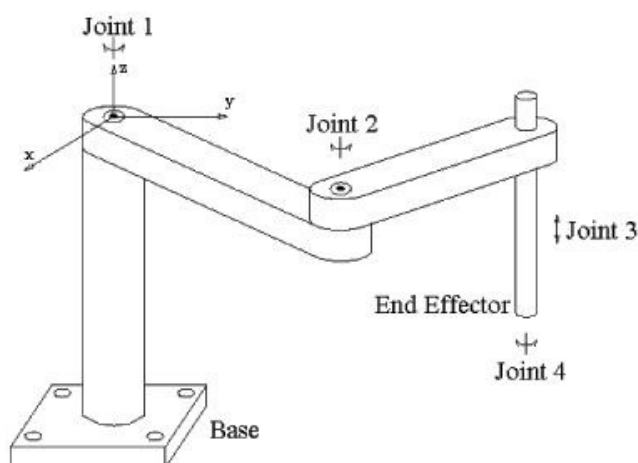
2-2. ábra Az univerzális vezérlő blokkdiagramja

3 AZ ELSŐ PROTOTÍPUS

Az univerzális robotvezérlő első verzióját Norvégiában a Narvik University College részére fejlesztettük a 2010-2011 tanév második félévében egy Adept Scara 604-S robothoz. A robot eredeti vezérlője tönkrement. Működőképesek maradtak a hajtások, a DC motorok, a végállás és homeing szenzorok, valamint az enkóderek. A fejlesztés a HUNOROB (HU0045) projekt keretein belül készült, amely Izalnd, Lichtenstein, Norvégia és Magyarország együttműködése.

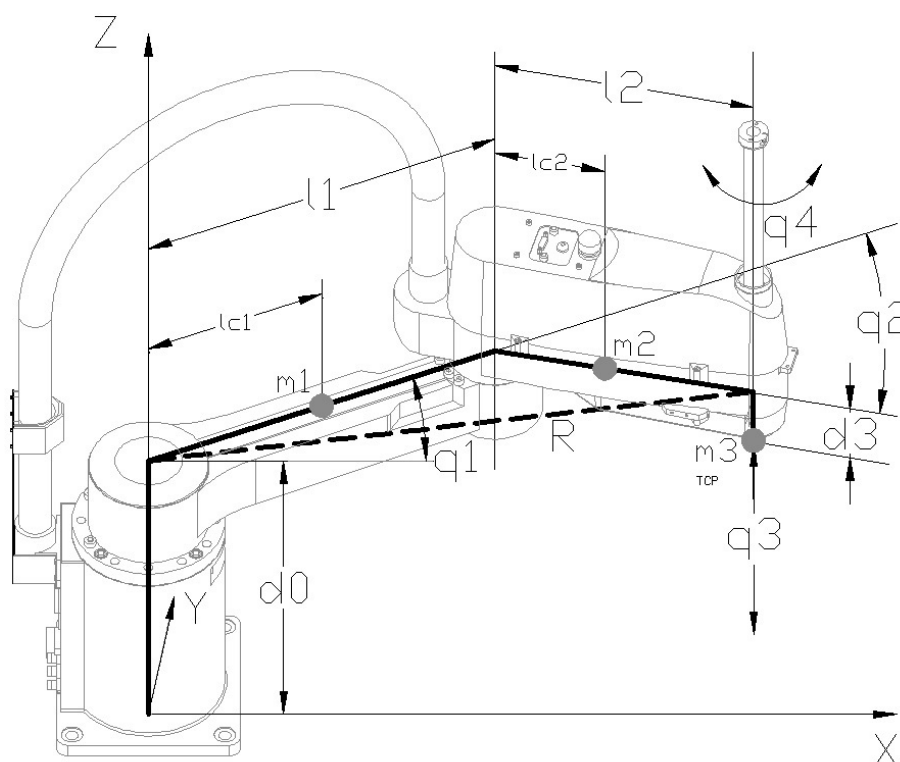
3.1 A SCARA ROBOT

A Scara (Selective Compliant Assembly Robot Arm) robot nyílt láncú 4 szabadságfokú RRTR rendszerű. (3-1. ábra) Kétfés DC motorokkal és harmonic drive áttétellel szerelt. A motorok visszacsatolása inkrementális szögjeladóval (enkóder) történik. A végállás kapcsolók sorba kötöttek. A homing szenzorok optokapukból állnak. Az enkóderek index jellel is rendelkeznek. Végberendezésként megfogó, eltolt szerszámközéppontú ceruza illetve maró is felszerelhető.



3-1. ábra A Scara robot elrendezése

3.2 A ROBOT IRÁNYÍTÁSA, [1]



3-2. ábra A Scara robot geometriája

3.2.1.1 A változók (3-2. ábra)

x, y, z	TCP Descartes koordinátái
ρ	TCP Descartes koordináta rendszer szerinti elfordulása
l_1, l_2	az első és második kar hossza
m_1, m_2	az első és második kar tömege
m_3	a szerszám tömege
l_{c1}	az első kar tömegközéppontja és az első szabadságfok közti távolsága

l_{c2}	a második kar tömegközéppontja és a második szabadságfok közti távolság
q_1, q_2, q_3, q_4	az egyes szabadságfokok pozíciója
$\underline{J}$	a robot Jacobi mátrixa
$\underline{M}$	az első két kar nyomaték mátrixa
T	az első két kar és m_3 kinetikus energiája
J_1, J_2	az egyes és kettes kar tehetetlensége

3.2.2 Decentrális irányítás

A robot első két szabadságfoka a tömegek és tehetetlenségek miatt hatással van egymásra a robot mozgása során. A rendszer robosztus mozgásszabályozásában az inverz kinematikai egyenletekre támaszkodunk, és nem vesszük figyelembe a tömegek egymásra hatását. Ezt az irányítási módszert decentrálisnak nevezzük. Egyes gépeknél (pl. TTT elrendezésű CNC maró) a szabadságfokok nincsenek hatással egymásra. Ezekben az esetekben a rendszer tökéletesen hangolható és irányítható dinamikai egyenletek nélkül. A Norvégiában használt Scara esetében a kis tömegek és tehetetlenségek miatt a robot szépen mozgott decentrálisan is, de egy nagyobb gépnél elengedhetetlen a centrális szabályozás. A rendszer képes volt centrális szabályozásra, de annak élesztésére és behangolására nem maradt idő. A decentrális szabályozás során sebesség vagy pozíció referenciát adunk. Az EMC2 inverz kinematikai modulját módosítottuk a mi paramétereink és csuklóelrendezésünk szerint. A robotvezérlő folytonos pályairányításra volt képes. (Pont-pont irányítás esetén a robothajtások számára csak a következő pont (pozíció, szöghelyzet) adott, és nincs előírva a robot végberendezésének pályája a start és célpozíció között. Folytonos pályairányítás esetén a pályát tervező irányítórendszer már folytonos interpolációt végez a közbenső pályapontok meghatározása érdekében.) (3-3. ábra)

3.2.2.1 Direkt geometria

A TCP Descartes koordinátái a következő egyenletekkel fejezhetők ki (3.1),(3.2),(3.3):

$$x = l_1 \cdot \cos q_1 + l_2 \cdot \cos(q_1 + q_2) \quad (3.1)$$

$$y = l_1 \cdot \sin q_1 + l_2 \sin(q_1 + q_2) \quad (3.2)$$

$$\rho = q_1 + q_2 + q_4 \quad (3.3)$$

3.2.2.2 Inverz geometria

A hatékony számításhoz bevezetjük az $\text{ang}()$ függvényt (3.5).

$\text{ang}(c,a,b)$ jelenti az a és b közötti szöget az a,b,c háromszögben.

A cosinus szabályt (3.4) alkalmazva, $\text{ang}(c,a,b)$ kifejezhető (3.5) szerint.

$$\cos \alpha = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad (3.4)$$

$$\text{ang}(c,a,b) = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot a \cdot b}\right) \quad (3.5)$$

$$R = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3.6)$$

q_1 és q_2 kifejezhető l_1, l_2, R háromszögből, mint (3.7),(3.9)

$$q_1 = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \text{ang}(l_2, l_1, R) \quad (3.7)$$

$$\text{ang}(l_2, l_1, R) = \arccos\left(\frac{l_1^2 + R^2 - l_2^2}{2 \cdot l_1 \cdot R}\right) \quad (3.8)$$

$$q_2 = \pi - \text{ang}(R, l_1, l_2) \quad (3.9)$$

$$\text{ang}(R, l_1, l_2) = \arccos\left(\frac{l_1^2 + l_2^2 - R^2}{2 \cdot l_1 \cdot l_2}\right) \quad (3.10)$$

$$q_4 = \rho - q_1 - q_2 \quad (3.11)$$

$$q_3 = d_0 - d_3 \quad (3.12)$$

3.2.2.3 Kinematika

A direkt kinematika kifejezhető a (3.1), (3.2) egyenletekből deriválással.

$$\dot{x} = -l_2 \cdot \sin(q_1 + q_2) \cdot (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) - l_1 \cdot \sin q_1 \cdot \dot{q}_1 \quad (3.13)$$

$$\dot{y} = l_2 \cos(q_1 + q_2) \cdot (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) + l_1 \cdot \cos q_1 \cdot \dot{q}_1 \quad (3.14)$$

A kapcsolatot a Descartes sebességek és a csukló sebességek közt a egyenlet adja.

$$\dot{\underline{X}} = \underline{J}(q) \cdot \dot{\underline{\Theta}} \quad (3.15)$$

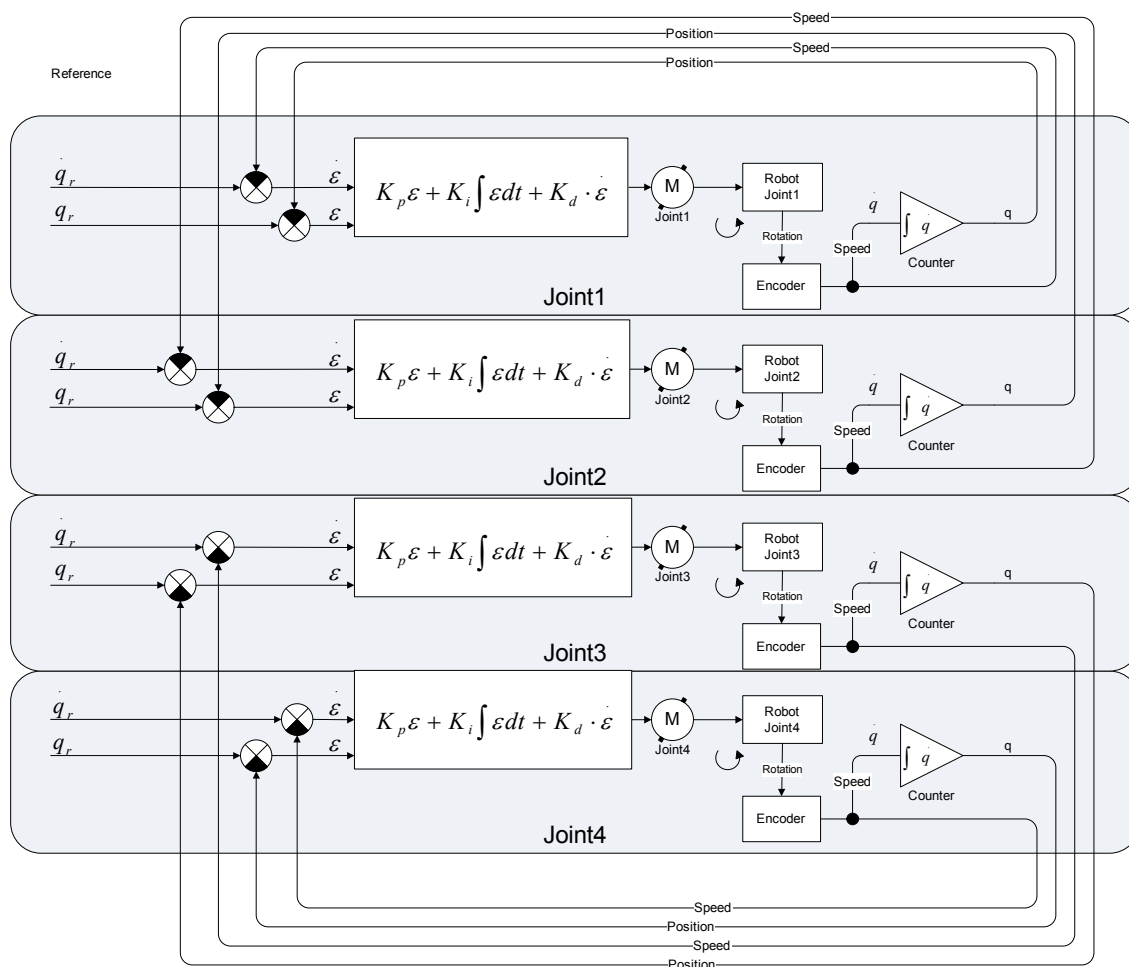
ahol

$$\dot{\underline{X}} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

$$\dot{\underline{\Theta}} = \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

ahol $\underline{J}(q)$ a Jacobi mátrix

$$\underline{J}(q) = \begin{bmatrix} -l_1 \cdot \sin q_1 - l_2 \cdot \sin(q_1 + q_2) & -l_2 \cdot \sin(q_1 + q_2) \\ l_1 \cdot \cos q_1 + l_2 \cdot \cos(q_1 + q_2) & l_2 \cdot \cos(q_1 + q_2) \end{bmatrix} \quad (3.18)$$



3-3. ábra A robosztus irányítás blokkvázlata, [2]

3.2.3 Centrális irányítás

A centrális szabályozás során figyelembe vesszük a robot dinamikai egyenleteit, a tömegeket és tehetetlenségeket. Fontos a szabályozás során az egyes csuklók és tömegek egymásra hatása. Ebben az esetben nyomatékkal kell beavatkozni, ehhez pedig áram szabályozásra van szükség. A nyomaték referenciákat a számított nyomatékok módszere adja.

3.2.3.1 Dinamika

A robot dinamikájának leírása fontos a szabályozó tervezéséhez. Az egyenletek segítségével kapjuk meg a nyomaték referenciákat, melyekhez hangolni kell a rendszert.

Q3 lineáris, mozgást végez és a független a többi szabadságfoktól, Q4 pedig elhanyagolható a szabályozó tervezésének szempontjából. A dinamika egy síkbeli manipulátorra egyszerűsíthető két csuklóval és a (3.19) egyenlettel írható le.

$$\underline{\underline{M}}(q) \cdot \ddot{q} + \underline{\underline{C}}(\dot{q}, q) \cdot \dot{q} = \underline{\tau} \quad (3.19)$$

ahol $\underline{\underline{M}}(q)$ a nyomaték mátrix, amely a rendszer konfigurációtól függő változó, és $\underline{\underline{C}}(\dot{q}, q)$ nemlineáris Coriolis és centrifugális erőt leíró kifejezés.

Tehetlenségi mátrix:

$$\underline{\underline{M}} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

$$[m_{ij}] = \left[\frac{\partial^2 T}{\partial \dot{q}_i \partial \dot{q}_j} \right] \quad (3.21)$$

ahol T a kinetikus energia.

T az első szabadságfok, a második szabadságfok, és a szállított tömeg kinetikus energiájának összege. T a (3.22) egyenlettel írható le.

$$T = \frac{1}{2} \cdot J_1 \cdot \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_{c1}^2 + \frac{1}{2} \cdot J_2 \cdot (\dot{q}_1^2 + \dot{q}_2^2) + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_{c2}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_3 \cdot v_3^2 \quad (3.22)$$

ahol:

$$v_{c1} = l_{c1} \cdot \dot{q}_1 \quad (3.23)$$

$$v_{c2} = l_1^2 \dot{q}_1^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_{c2} \cdot \dot{q}_1 \cdot (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \cdot \cos q_2 + l_{c2}^2 \cdot (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \quad (3.24)$$

$$v_3 = l_1^2 \dot{q}_1^2 + 2 \cdot l_1 l_2 \dot{q}_1 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \cos q_2 + l_2^2 \cdot (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \quad (3.25)$$

(3.23), (3.24), és (3.25) egyenleteket behelyettesítve a (3.21) egyenletbe, a következőt kapjuk.

$$T = \frac{1}{2} l \left[J_1 \cdot \dot{q}_1^2 + m_1 \cdot l_{c1}^2 \cdot \dot{q}_1^2 + J_2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \right] + m_2 \left[l_1^2 \cdot \dot{q}_1^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_{c2} \cdot \dot{q}_1 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \cos q_2 + l_{c2}^2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \right] + m_3 \left[l_1^2 \cdot \dot{q}_1^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \dot{q}_1 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \cos q_2 + l_2^2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \right] l \quad (3.26)$$

(3.26) egyenletet egyenlet szerint deriválva az M mátrix elemei kifejezhetők a következő egyenletekkel.

$$m_{11} = J_1 + J_2 + m_1 \cdot l_{c1}^2 + m_2 (l_1^2 + l_{c2}^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_{c2} \cdot \cos q_2) + m_3 (l_1^2 + l_2^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \cos q_2) \quad (3.27)$$

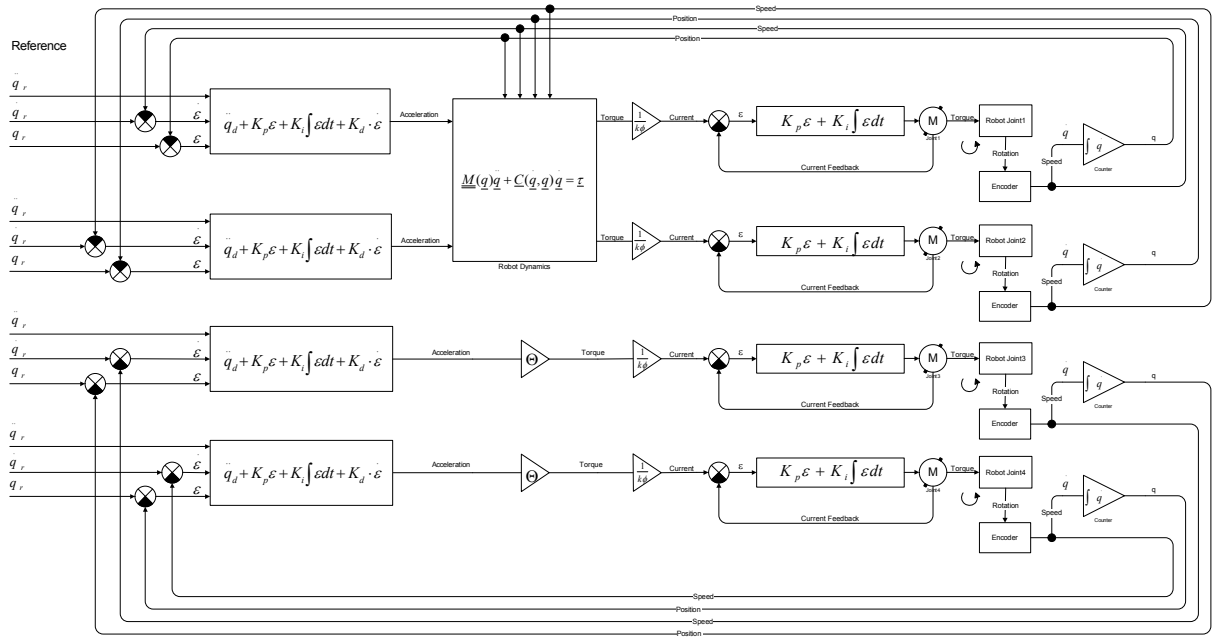
$$m_{12} = m_{21} = J_2 + m_2 \cdot (l_{c2}^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_{c2} \cdot \cos q_2) + m_3 \cdot (l_1^2 + l_1 \cdot l_2 \cdot \cos q_2) \quad (3.28)$$

$$m_{22} = J_2 + m_2 \cdot l_{c2}^2 + m_3 \cdot l_2^2 \quad (3.29)$$

Nemlineáris összefüggések:

$$\underline{\underline{C}}(\underline{\underline{q}}) = \begin{bmatrix} \underline{\underline{q}}, \{\dot{\underline{\underline{q}}}\} & \underline{\underline{c}}(\underline{\underline{q}})_{21} \\ \underline{\underline{q}}, \{\dot{\underline{\underline{q}}}\} & \underline{\underline{c}}(\underline{\underline{q}})_{22} \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

A rendszer hardveresen képes volt a centrális irányításra. A projekt ezen részét sajnos idő hiányában nem tudtuk befejezni.



3-4. ábra A centrális irányítás blokkvázlata, [2]

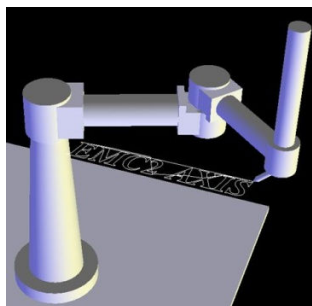
3.3 A RENDSZER

A vezérlőt egy Lian Li gépházba szereltük. Itt kapott helyet a rendszer összes eleme kivéve a PLC funkció egységeit.

A legfelső szint az Enchanced Maschine Controller 2 (továbbiakban EMC2), amely egy opensource robotvezérlő program Linuxra fejlesztve. A program nyílt forráskódjából adódóan folyamatosan fejlesztés alatt áll. Az EMC2 (3-5. ábra), (3-6. ábra), (3-7. ábra), (3-8. ábra) rendelkezik gép konfigurációkkal, de mi magunk is megírhatjuk bármely gép kinematikáját és belefördíthatjuk. A konfigurálás során egyszerűen megadhatjuk grafikus felületen, vagy .ini és .hal fájlokban a kimeneteket, bemeneteket, változókat, a gép paramétereit, maximális gyorsulás, sebesség értékeket, a TCP-re és a tengelyekre egyaránt, valamint a tengelyek homingolásának sorrendjét, limitjeit, 0 helyzetét.



3-5. ábra Az EMC logója

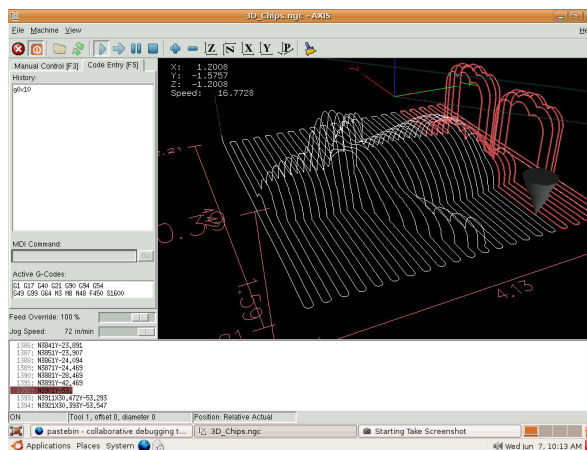


3-6. ábra Az EMC2 3D felülete

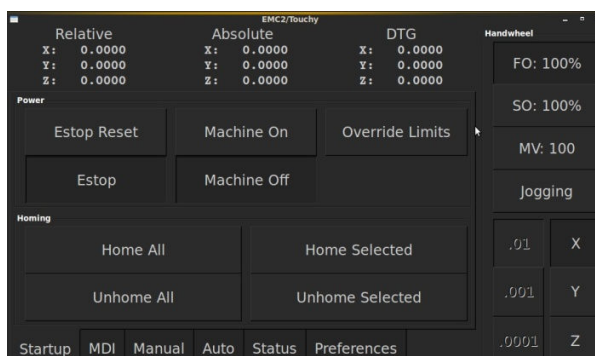
A PC-be egy micro ATX alaplapot, egy 2 GHz-es processzort, 4 Gb memóriát tettünk. Az operációs rendszer és a robotvezérlő egy pendriveon fut. Az EMC2-nek nincs nagy gépigénye, viszont a számítások valósídejű futása nagyon fontos, hogy a PC megfelelő pillanatban tudjon referenciát adni, ezért a konfiguráció összeállítása során arra törekedtünk, hogy a gép realtime latency tesztje minél jobb legyen.

A vezérlő moduláris felépítése mellett RT-middleware (Robotics Technology Middleware) kompatibilis. Az RT-middleware egy „közös” robotirányítási platform, aminek segítségével

különböző robotok könnyen hálózatba köthetők a közös munka érdekében. Az MTA Sztaki-ban megírták az EMC2 RT-Middleware kiegészítő komponensét.



3-7. ábra Az EMC2 általános felülete

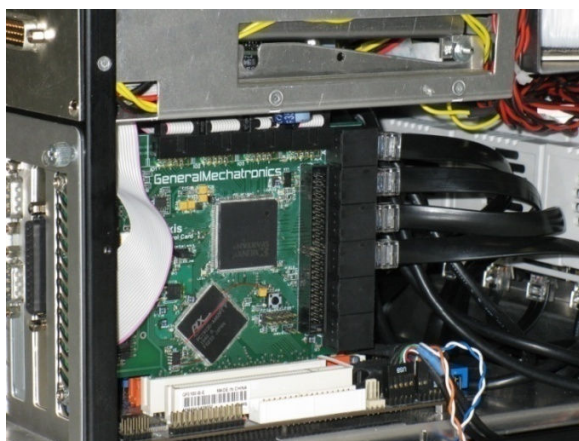


3-8. ábra Az EMC2 „Touchy” felülete

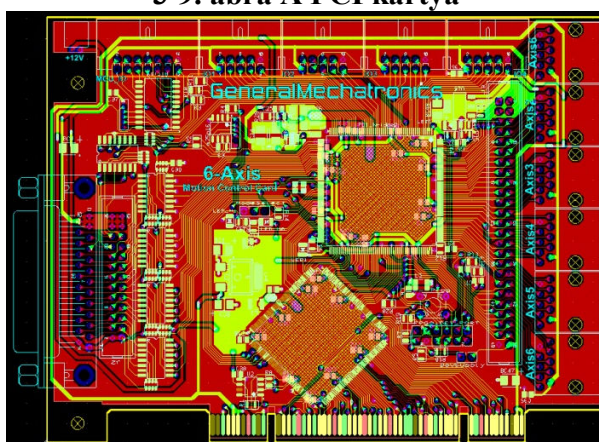
3.3.1 A PCI kártya, [1]

Az EMC2-höz fejlesztett PCI kártya (3-9. ábra), (3-10. ábra) Bence és Géza munkája. A kártya a PCI buszon keresztül megkapja az összes referenciát és továbbadja a megfelelő moduloknak. A PCI busz és a kártyán lévő FPGA között a kommunikációt egy PLX (PCI express kompatibilis IC) végzi el. Ez egy 32 bites párhuzamos kommunikáció. Az FPGA (field-programmable gate array, a felhasználás helyén programozható logikai kapumátrix) olyan félvezető eszköz, amelyik "logikai blokk"-oknak nevezett programozható logikai (programmable logic) komponenseket és programozható összeköttetéseket tartalmaz. Az első kártya adhatott analóg referenciát, STEP/DIR rendszerű referenciát (jobbra, balra lépés és lépés irányjelet

egyaránt), és SPI kommunikációt. Az analóg és az SPI kommunikációs referenciák lehetnek sebesség, pozíció és nyomaték jelek egyaránt. A kártya egyszerre 6 tengelyt tud kezelni. Az EMC2 két PIC kártyát támogat és 9 tengelyt, így akár egy 9 szabadságfokú gépet is megmozgathatunk interpoláltan. Centrális mozgás szabályozás esetén a pozíció referencia jeleket át kell számolni nyomaték értékekre. Az FPGA forráskódjába (a kapu nagy száma miatt) felépíthetünk akár egy Texas DSP-t is, hogy az elvégezze a számított nyomatékok módszerének egyenleteit. Ennek tesztelésére és hangolására már nem maradt idő. A kártyán van továbbá $8 \times 4 = 32$ szabadon konfigurálható láb IO modulok számára, valamint 24 gép specifikus jeleknek. A 32 IO lábra 4 modul köthető modulonként 8 jellel. Ide kötöttem a bemeneti modult, a kimeneti modult, és a tanítópult jeleit. A 24 gép számára fenntartott pinre kerültek a végállás, homing szenzorok jelei és az E-stop. Minden jelet optoleválasztottunk. A PCI kártyán ötféle táp és kétféle föld található, a 208 lábú FPGA, a 176 lábú PLX IC és az egyéb periféria áramkörök mellett.



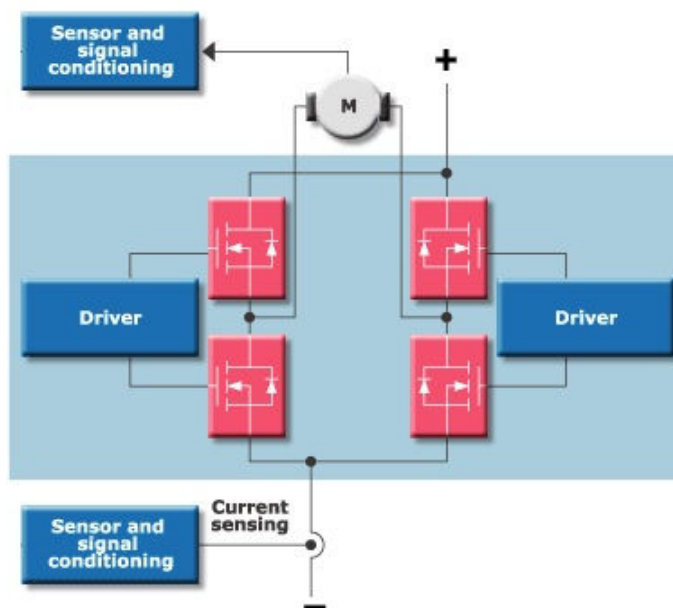
3-9. ábra A PCI kártya



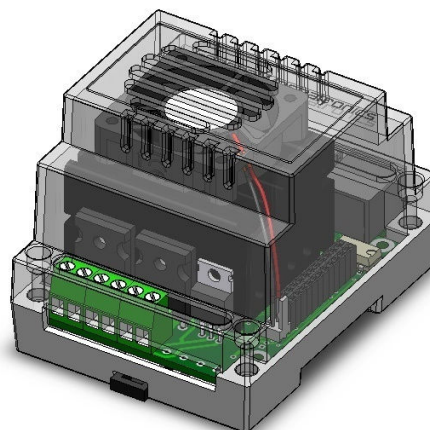
3-10. ábra A PCI kártya nyomtatott áramköri terve

3.3.2 DC végfok, [2]

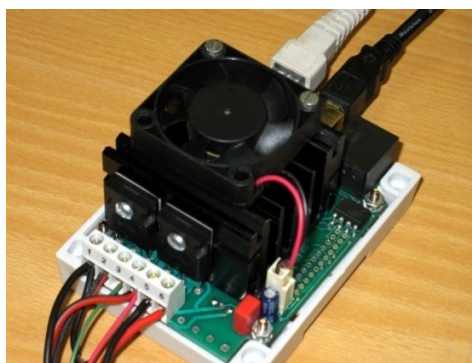
A DC szervo teljesítmény elektronika (3-12. ábra), (3-13. ábra) Géza munkája. DIN sínre szerelhető dobozba tervezte. A modul 80 voltos busz feszültségig, 300 watt teljesítményig használható kefések DC motorokhoz. A végfokban teljes H híd (3-11. ábra) kötött FET-ek vannak áraméréssel kiegészítve. Az áramot a sönt ellenálláson eső feszültségből határozzuk meg, így a végfok áramszabályozásra is képes. Az alsó oldalon találhatók a digitális jelek csatlakozói. Ezek az enkóder csatlakozó, a referencia és az USB port. A végfokhoz tartozik egy PC oldali hangoló program, amelyen a beállításokat, referenciát, követési hibát, áramjelet és egyéb információkat láthatunk a PID szabályozó tagjainak súlya mellett. A modul felső oldalán találhatók a teljesítmény elektronika csatlakozói. Ezek a DC busz, a digitális táp, és a motor kivezetése. A végfokon minden digitális referencia és egyéb jel optoleváltott.



3-11. ábra Teljes H-híd vázlata áraméréssel



3-12. ábra A DC végfok 3D terve



3-13. ábra A DC végfok

3.3.3 IO modulok és futószalag

A rendszerhez terveztünk optoleválasztott bementi és relés kimeneti modult. Ezeket is DIN sínre szerelhető rendszerben raktuk össze. A relé modulon keresztül vezettem az E-stop jelet, így szoftveres probléma esetén az EMC2 is leállíthatja a rendszer teljesítmény elektronikáját. A vezérlő PLC funkciói, az EMC2 létradiagram szerkesztője és a ki-be menetek is kihasználtak. A munkám során kötöttem a modulokhoz egy 3 fázisú futószalagot. Ehhez szereltem három fénysorompót és egy kiegészítő elektronikát, amivel a futószalag enable és irány jeleket kap az EMC2-től, illetve digitális jeleket ad a tárgyak elhaladásáról. A vezérlő moduláris felépítésének köszönhetően így két gép dolgozhat közös irányítás alatt.

3.3.4 Tanítópult

A robot tanítópultját egy 800x600 pixel felbontású VGA érintő képernyő köré terveztem. Az LCD kijelző mellett el kellett, hogy férjen a PC üzemi kapcsolója, egy E-stop kapcsoló, egy kétirányú kapcsoló a Z koordináta tengely szerinti joggoláshoz, valamint egy joystick a többi irány számára. A joystick tengelye mozog X-Y irányba, elfordul a saját tengelye körül (negyedik szabadságfok), valamint rendelkezik egy nyomógommbal a végberendezés ki-be kapcsolására. A tanítópultból digitális jelek jönnek. Z irányba, és az elforduláshoz 2-2, a végberendezéshez 1, X-Y irányokhoz, pedig 4-4 a robot lassú és gyors mozgatásához a vízszintes síkon. A komparátorok referencia feszültségét trimmerekkal állítottam be, hogy a tanítópult könnyen hangolható és ergonómikus legyen. Az elő és hátlapok kivágása után egy keretet hajlítottam a tanpult köré, ami végül egy állványon kapott helyet a gép mellett. (3-14. ábra), (3-15. ábra)



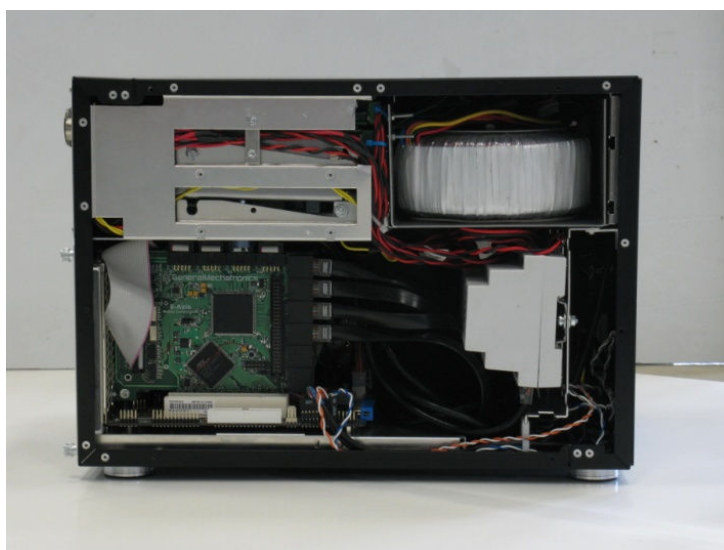
3-14. ábra A tanítópult



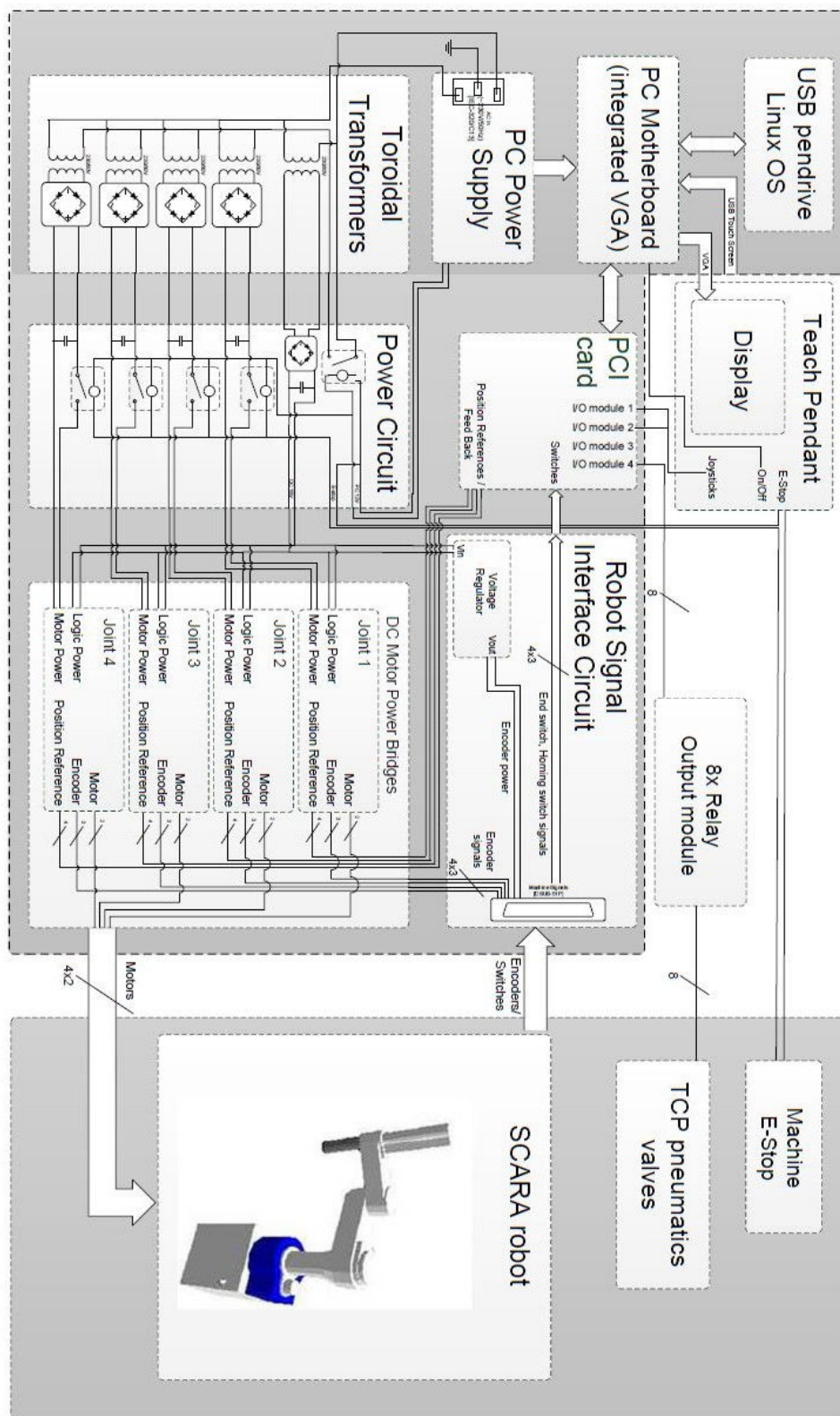
3-15. ábra A tanítópult működés közben

3.3.5 Teljesítmény elektronika

A rendszerben (3-17. ábra) alapvetően két külön táp van. A PC tápja és a teljesítmény táp. A teljesítmény táp nincs feszültség alatt, ha a PC-t nem kapcsoltuk be. A megfelelő feszültségértékeket toroid transzformátorokkal és teljes grates hidakkal állítottam elő. A transzformátorok előtt és után volt primer illetve szekunder oldali biztosíték. A teljesítmény tápok közül van 2x80 volt DC a két nagyobb motor, 2x60 volt DC a két kisebb motor számára, és 16 volt az enkóderek, homing szenzorok tápellátása, jelek szétosztása és a DC végfokok digitális tápellátása miatt. Az összes DC táp pufferezt. A nagy pufferek különösen fontosak voltak a motorok tápellátása esetében, hogy az 50 Hz-es frekvencia sehol ne jelenjen meg a szabályozás során zavarként. Az E-stop kapcsolók megszakítják a végfokok teljesítmény tápját, de a digitálist nem. A robotvezérlő (3-16. ábra) és a teljesítmény elektronika összeállításánál fontos volt az egyes blokkok megfelelő távolsága, szigeteltsége az elektromágneses zavarok miatt.



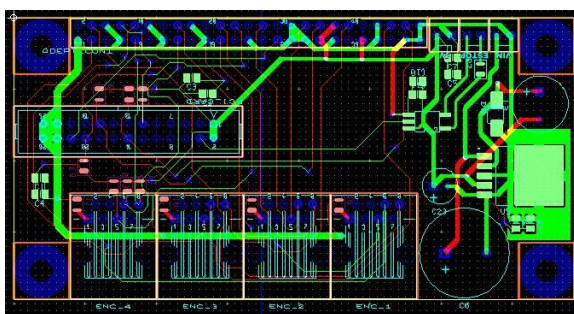
3-16. ábra A vezérlő



3-17. ábra A rendszer blokkvázlata

3.3.6 A jelek szétosztása

A robot összes jele és perifériája egy 51 eres kábelen érkezett be a vezérlőbe. Ezeket a jeleket ki kellett mérni, biztosítani a megfelelő tápellátásokat, leválasztásokat, szűréseket és szétosztani a megfelelő modulok között. Ide tartozott a négy enkóder A, B csatornája illetve Index jele, a négy homing szenzor és a sorba kötött végállás kapcsolók. (3-18. ábra)



3-18. ábra A jeleket elosztó nyomtatott áramkör

3.3.7 Eredmények

A megfeszített munka végeztével hazautazásunk előtt ismét munkába állhatott a Scara. A centrális mozgás hangolására sajnos nem maradt időnk, de a robot a kis tömegei miatt decentrálisan nagyon szépen mozgott. Martunk, rajzoltunk G-kód alapján, interpoláltunk egyenes mentén, pont körül, beállítottuk a joggolást, mértünk beállásokat. (3-19. ábra), (3-20. ábra)



3-19. ábra Rajzolás G-kód alapján



3-20. ábra A marás eredménye

4 A MÁSODIK PROTOTÍPUS

A vezérlő második prototípusát a MOGI tanszék Seiko robotjához tervezzük. Módosítjuk a PCI kártyát, a gépház felépítését, a tanító pultot, a teljesítmény elektronikát (elsősorban a DC buszt), a DC végfokokat, fejlesztünk új IO modulokat, AD, DA átalakítókat, kézi kerék modult, és háromfázisú végfokot AC, BLDC és PMSM motorokhoz.

4.1 SEIKO ROBOT

A Seiko D-TRAN TT 4000SC (4-1. ábra) szintén scara típusú robot, de az Adept-tel ellentétben TRRR elrendezésű. A motorok mérete többszöröse az Adeptnek és a névleges feszültségük is 100 volt. A robot mérete, súlya szintén nagyban eltér, a sebessége viszont lassabb.



4-1. ábra A Seiko robot

4.2 KONSTRUKCIÓS KÜLÖNBSÉGEK

4.2.1 Gépház

Az első prototípusnál sok probléma volt a gépház elrendezésével, fizikai méretével, alkatrészszűrűség, melegedés, és elsősorban szerelhetőség miatt. A Seiko méretéből adódóan nagyobb teljesítményelektronikai alkatrészekre, többféle tápra, több modulra van szükség. Az új rendszert egy rack szekrénybe (4-2. ábra) építettem. A legfelső szinten helyezkedik el a PC, a PCI kártya, és a gép specifikus jeleket elosztó elektronika, egy rack dobozban. Az alatta lévő fiók a DC végfokok, IO, AD és DA modulok helye. A legalsó fiókban pedig a trafók, pufferek, biztosítékok, kismegszakítók, fék ellenállások, relék kerültek beépítésre. A robot csatlakozói

közül mindegyik a neki megfelelő fiók hátsó lapján került beépítésre. Az összes kábel a szekrény hátuljában húzódik végig és a szekrény alján hagyott résen fut a robot felé. A felső fiókból csatlakoznak a PC (4-3. ábra) és a PCI kábelei (táp, LCD táp, VGA, USB, CAN, RS485, homing és végállás jelek), a második fiókból az enkóderek és a TCP jelei, a harmadik fiókból a motorok táp kábele, és az AC teljesítmény táp. A gépház ajtaja zárható plexi. Az oldala leszerelhető, a fiókok pedig kihúzhatóak. A rendszer gyakorlatilag szétszedés nélkül javítható, hangolható és fejleszthető.



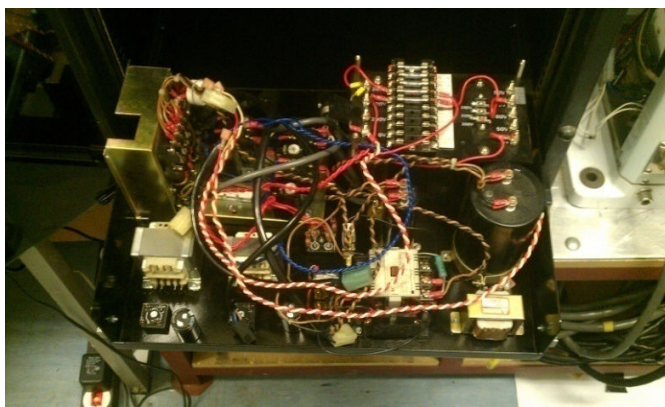
4-2. ábra A gépház



4-3. ábra A PC

4.2.2 Teljesítmény elektronika

A teljesítmény elektronika változott a legnagyobb mértékben az első verzióhoz képest. Az AC teljesítmény táp átmegy egy fojtó tekercsen, majd továbbhalad biztosítékokon keresztül a trafók felé. A rendszerben van 12 volt DC feszültség a végfokok digitális táp ellátására, 24 volt DC a periféria áramkörökhöz, IO, AD és DA modulokhoz, valamint 100 volt DC a motorok számára és 200 volt AC a fő reléhez, illetve ventillátorokhoz. A rendszer fő reléje egy alapértelmezett nyitott kontaktuson keresztül kapcsolja a DC buszt. A relé előtt 6800 uF puffer utána pedig 1000 uF puffer van. Alapértelmezett zárt kontaktusok pedig a relé előtti és relé utáni kondenzátorokra kapcsolják a nagy teljesítményű ellenállásokat, hogy kisűssék azokat. Egy diódákkal leosztott referencia feszültség pedig bekapcsol egy IGBT-n keresztül egy fék ellenállást, ha a DC busz feszültsége 110 volt felé emelkedik. A három legnagyobb motorhoz tartozik egy-egy kismegszakító is állítható leoldással. A kismegszakítók alapértelmezett zárt kontaktusain pedig sorba kötve áthalad az E-stop, így a túl nagy áramfelvétel (zárlat, ütközés) is okozhat leállást. A különböző feszültség szintek előállítása trafókkal, teljes grates hidakkal és puffer kondenzátorokkal történik. (4-4. ábra)



4-4. ábra A teljesítmény elektronika

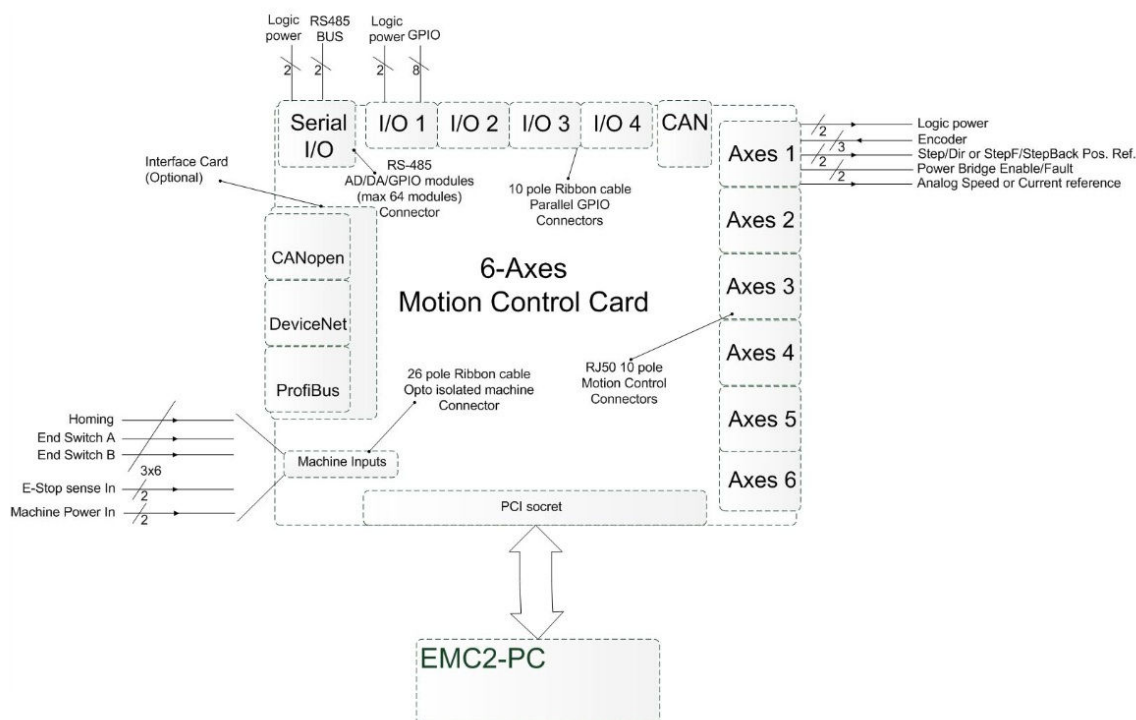
4.2.3 Tanító pult

A tanítópultot elsősorban méretében és súlyában szeretném csökkenteni. A második verzióba keret nélküli LCD kerül, valamint lecseréltem a Z irányú kapcsolót rugós változatra. A digitális jelek pedig RS485-ön fognak a PCI kártyához csatlakozni. Az EMC2-nek több

kezelőfelülete is van, ezek közül a touchy érintő képernyőhöz íródott, így az LCD felületen megoldható a gép betanítása, programozása, tesztelése.

4.2.4 Az új PCI kártya

A PCI kártya 1.1-es verziója rengetek kiegészítést kapott az előző változathoz képest. A legfontosabb, hogy a második változat rendelkezik CAN-bus, és RS485 kommunikációval. A CAN szabványos ipari kommunikációs. CAN-en visszajelzést is kaphatunk a végfokoktól hibáról, pozícióról, hőmérsékletről stb. A kártya alapvetően STEP/DIR rendszerű, analóg és CAN-es végfokokat szolgál ki referenciával. A régi robotok esetében sokszor csak a vezérlő elektronika megy tönkre és a nagyobb költségű teljesítmény elektronika működőképes maradt, viszont csak analóg referenciát fogad. A PIC kártya ezt is ki tudja szolgálni, ebben az esetben a mozgásszabályozást az EMC2 végzi a kártyára bejött enkóder jelek alapján. Az RS485-re köthetőek az új IO modulok, AD és DA átalakítók. Ezekből összesen 64 darab fűzhető fel. Megmaradt az előző kártya pinenként konfigurálható 4x8 IO portja is, valamint a gép specifikus jelek 26 pólusú csatlakozója. Egy kiegészítő kártya segítségével, pedig elérhető lesz a jövőben CANopen, DeviceNet és ProfiBus protokoll is. (4-5. ábra)



4-5. ábra Az új PCI kártya funkciói

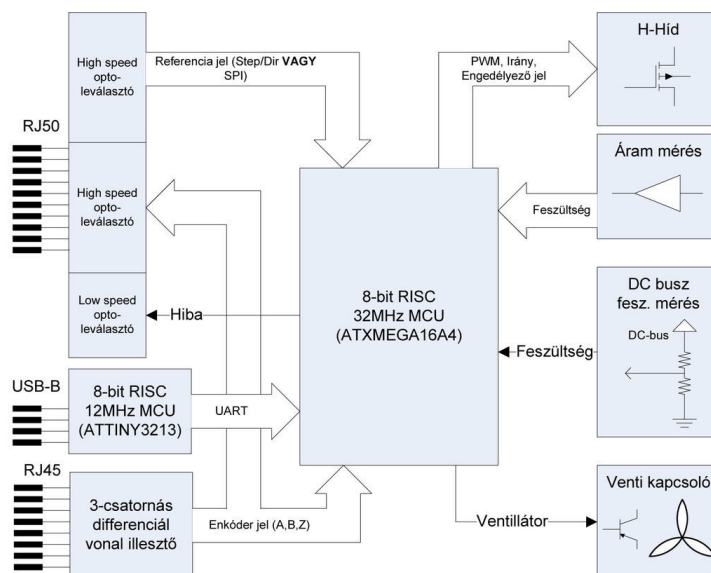
4.2.5 Az új IO, AD és DA modulok

Az előző verzió IO moduljai mellett fejlesztésre került az RS485-ön kommunikáló kimeneti, bemeneti, analóg-digitális és digitális-analóg konverter is. DIN sínes dobozban tervezve, ahogy a rendszer többi modulja is.

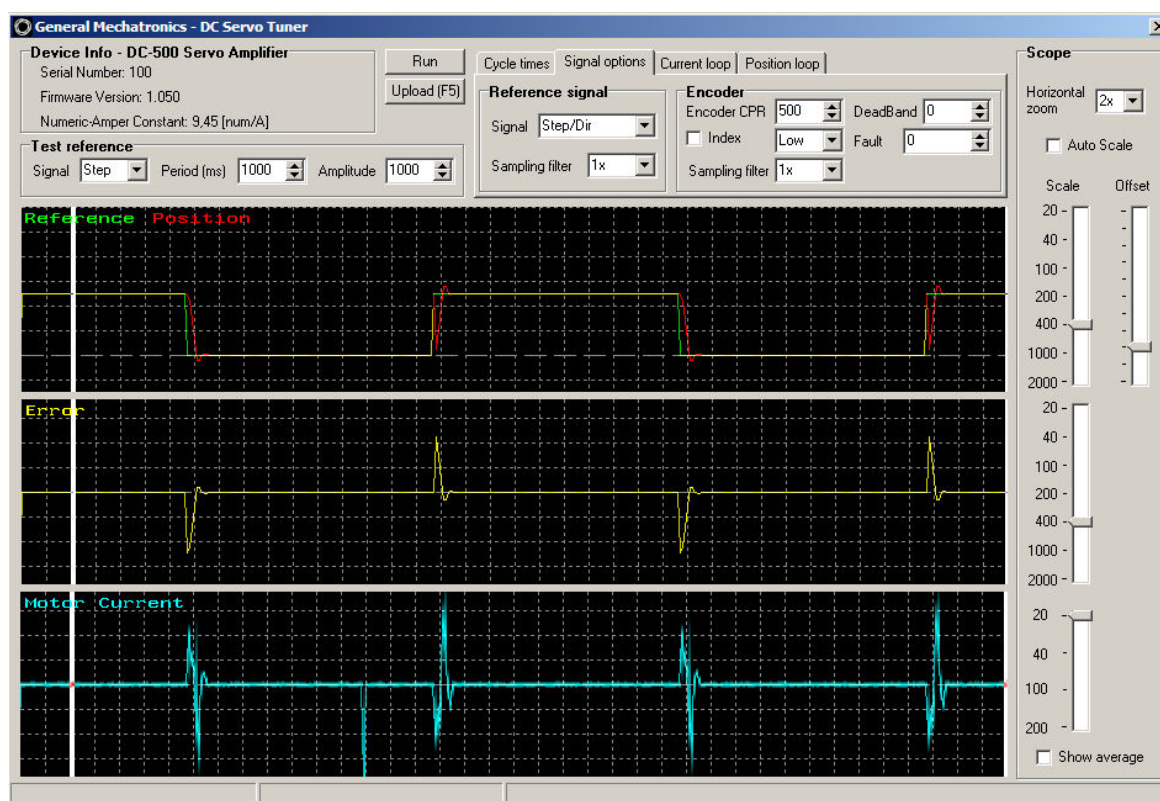
4.2.6 DC végfok

Az új DC végfok is Géza munkája. Az eddigi SPI referencia helyett a végfok STEP/DIR jelet és CAN-bust fogad. A másik fontos változtatás, hogy a teljesítmény elektronika és a vezérlő elektronika külön nyomtatott áramkörön kap helyet a FET-ek kapcsolásakor történő zavarok, a processzor resetelése, a nagy áramfelvételek és a sönt ellenállások melegedése miatt. A rendszer lelke egy 8bit-es Atxmega16 mikrokontroller. A hangoló programon láthatjuk a referenciát, a pozíciót, a hibát és az áram jelet. Beállíthatjuk a motorok tengelyeinek skálázását, a pozíció és

áram szabályozás tagjainak súlyát, az enkóder osztását és a referencia jel tulajdonságait. (4-6. ábra), (4-7. ábra)



4-6. ábra A DC végfok blokkvázlata, [2]



4-7. ábra A hangoló program kezelőfelülete, [2]

5 HÁROMFÁZISÚ VÉGFOK

5.1 MEZŐORIENTÁLT SZABÁLYOZÁS, [3]

A szinkron motornál a rotor gerjesztését a permanens mágnes adja, melyet a tengelyre szerelnek fel. A szinkron motornál az erő és a mágneses mező egyetlen forrása az állórész fázis feszültsége. A DC motorral ellentétben a fluxus és a nyomaték egymás függvénye. A FOC (Field Oriented Control) célja, hogy a szinkron és aszinkron motoroknál külön tudjuk szabályozni a nyomatékot szolgáltató és a mágneses fluxus elemeit. A FOC lehetővé teszi számunkra ezek függetlenítését. A felbontott mágneses és nyomaték fluxusokkal független nyomatékszabályozást hozhatunk létre. A felbontáshoz szükséges matematikai műveleteket a mikrokontroller végzi el. Az elektromágneses törvény szerint a szinkron gép forgatónyomatéka megegyezik a mágneses terek vektoriális szorzatával.

$$T_{em} = \vec{B}_{stator} \times \vec{B}_{rotor} \quad (5.1)$$

Ez a kifejezés azt mutatja, hogy a nyomaték akkor maximális, ha az állórész és a forgórész mágneses tere egymásra merőleges. Ha ezt a feltételt folyamatosan fenn tudjuk tartani a fluxus megfelelő orientációjával, akkor csökkenthetjük a nyomaték lüktetését. Ehhez ismernünk kell a forgórész pozícióját.

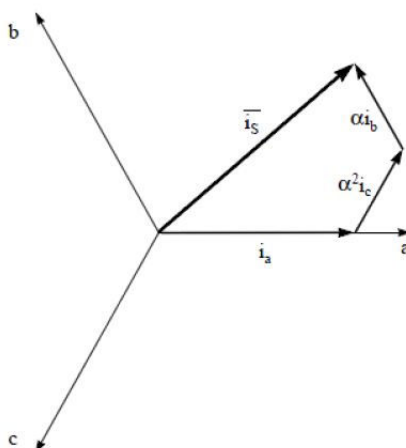
A FOC során az állórész áramát egy vektorral reprezentáljuk. Ehhez a háromfázisú idő és sebesség függő rendszert egy két-koordinátájú (d, és q) idő független rendszerré kell transzformálnunk. A FOC szabályozott motoroknak két referenciára van szüksége: a nyomaték referencia (q-val reprezentálva), és a fluxus referencia (d-vel reprezentálva). Az AC motorok fázisai, áramai és fluxusai komplex térvektorokkal elemezhetők.

Az áramot tekintve a térvektor az egyes fázisok áramának összege a következő egyenlet szerint:

$$\vec{i}_s = i_a + \alpha i_b + \alpha^2 i_c \quad (5.2)$$

$$\text{ahol } \alpha = e^{j\frac{2}{3}\pi}, \alpha^2 = e^{j\frac{4}{3}\pi} \quad (5.3)$$

A következő ábra mutatja a komplex áram vektort. (5-1. ábra)

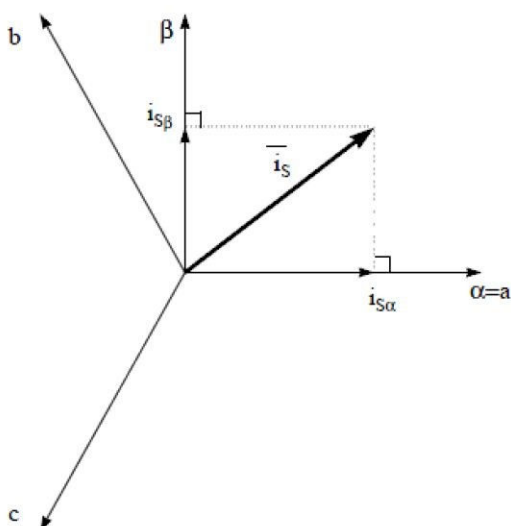


5-1. ábra Az áram vektorok, [3]

Ez egy háromfázisú szinuszos rendszer. Tovább kell alakítani kétkoordinátás idő független rendszerré. (5-2. ábra) Ehhez két lépésre van szükség:

- Clarke transzformáció ($a, b, c \rightarrow \alpha, \beta$) – időfüggő rendszer
- Park transzformáció ($\alpha, \beta \rightarrow d, q$) – idő független rendszer

Clarke transzformációnál egy másik referencia keretet veszünk fel két egymásra merőleges α, β tengellyel. α és a iránya megegyező. A vektorokat és koordináta rendszereket az alábbi ábra mutatja.



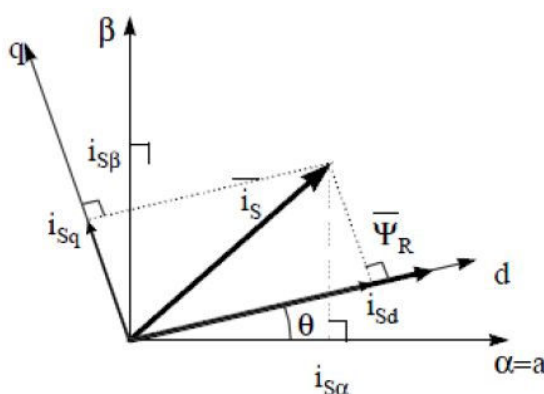
5-2. ábra Clarke transzformáció, [3]

A transzformáció a következő egyenletekkel írható le:

$$i_{s\alpha} = i_a \quad (5.4)$$

$$i_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}}i_a + \frac{2}{\sqrt{3}}i_b \quad (5.5)$$

Park transzformáció során a merőleges α, β koordináta rendszert d, q forgó koordináta rendszerbe alakítjuk. Ha figyelembe vesszük, hogy a rotor fluxus egybe esik a d tengellyel akkor a következő ábra mutatja a pillanatnyi áram vektort. (5-3. ábra)



5-3. ábra Park transzformáció, [3]

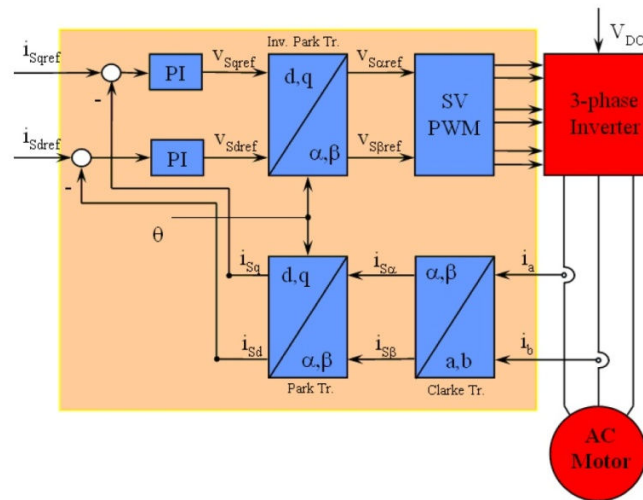
Az áram fluxus és nyomaték komponensei a következő egyenletekkel írhatók le.

$$i_{sd} = i_{s\alpha} \cos \theta + i_{s\beta} \sin \theta \text{ a fluxus komponens} \quad (5.6)$$

$$i_{sq} = -i_{s\alpha} \sin \theta + i_{s\beta} \cos \theta \text{ a nyomaték komponens} \quad (5.7)$$

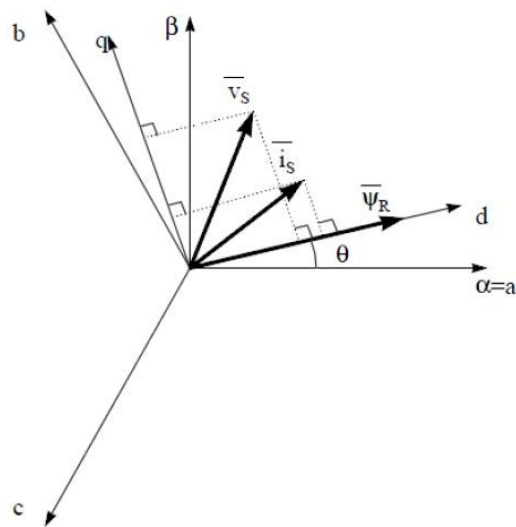
Ezek az egyenletek az α, β áramvektoroktól és a rotor fluxus pozíciójától függenek. Ha tudjuk a rotor pontos pozícióját d, q komponensek konstansok.

A következő ábra összegzi a AC motorok FOC nyomaték szabályozását. (5-4. ábra)



5-4. ábra FOC nyomaték szabályozás, [3]

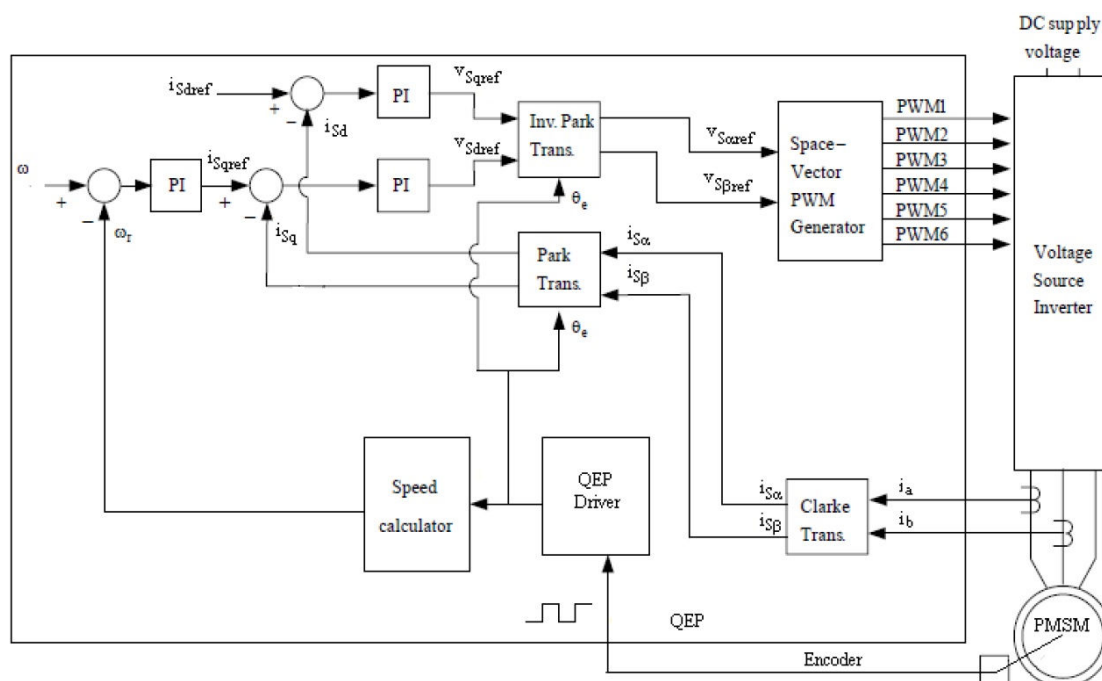
A rotor pozíció a FOC szabályozáshoz elengedhetetlen információ. Az áram, feszültség és rotor fluxus ábrázolható a d,q forgó keretben. (5-5. ábra)



5-5. ábra A forgó keret és vektorai, [3]

Szinkron gépeknél a rotor sebessége megegyezik a rotor fluxus sebességével és a rotor pozíciója is megegyezik a fluxus pozíciójával. Aszinkron gépeknél a rotor sebessége nem egyezik meg a rotor fluxus sebességével, így a rotor pozíció sem azonos a rotor fluxus pozícióval. Aszinkron gépek esetében általában az áramok méréséből kapott értékekkel számítjuk ki a rotor pozícióját.

Ez jóval pontatlanabb érték, mint a szinkron gépeknél. A szinkron gépek pozícióját mérhetjük enkóderrel. A pozíció méréssel megvalósított szabályozó kör az alábbi ábrán látható. (5-6. ábra)



5-6. ábra A háromfázisú motorok FOC szabályozása, [3]

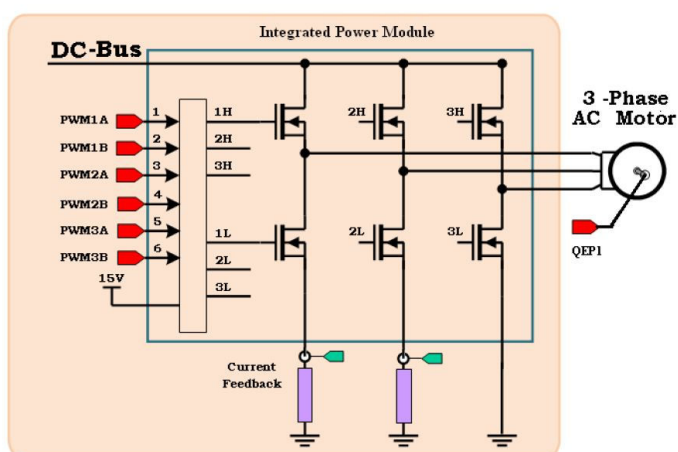
5.2 A TEXAS FEJLESZTŐ KÖRNYEZET, [5]

A háromfázisú végfok fejlesztése az én feladatom. A többi feladatom közül ez követeli meg a legnagyobb szakmai tudást és időráfordítást. Az első prototípus elkészítése folyamatban van. A tervezés megkezdése előtt a Texas Instruments „High Voltage Motor Control and Power Factor Correction” fejlesztő környezetét tanulmányoztam. A fejlesztő környezet háromfázisú (BLDC, AC, PMSM) motorokhoz készült 1,5 kW teljesítményig, 330 volt DC busz feszültséggel. A készlet fejlesztőkörnyezet révén nem stabil, és ipari környezetben egyáltalán nem használható, de rendelkezik a mezőorientált szabályozáshoz szükséges összes modullal. Hardveresen képes sebesség, nyomaték, és pozíciószabályozásra is. Egy háromfázisú végfok alapvetően rendelkezik egy egyenirányítóval a DC busz előállításához (egy vagy háromfázisú egyenirányító), egy háromfázisú inverterrel, az AC és PMSM motorok szinusz illetve a BLDC motorok trapéz feszültségének előállításához különböző frekvenciákon, és egy mikrokontrollerrel a mezőorientált

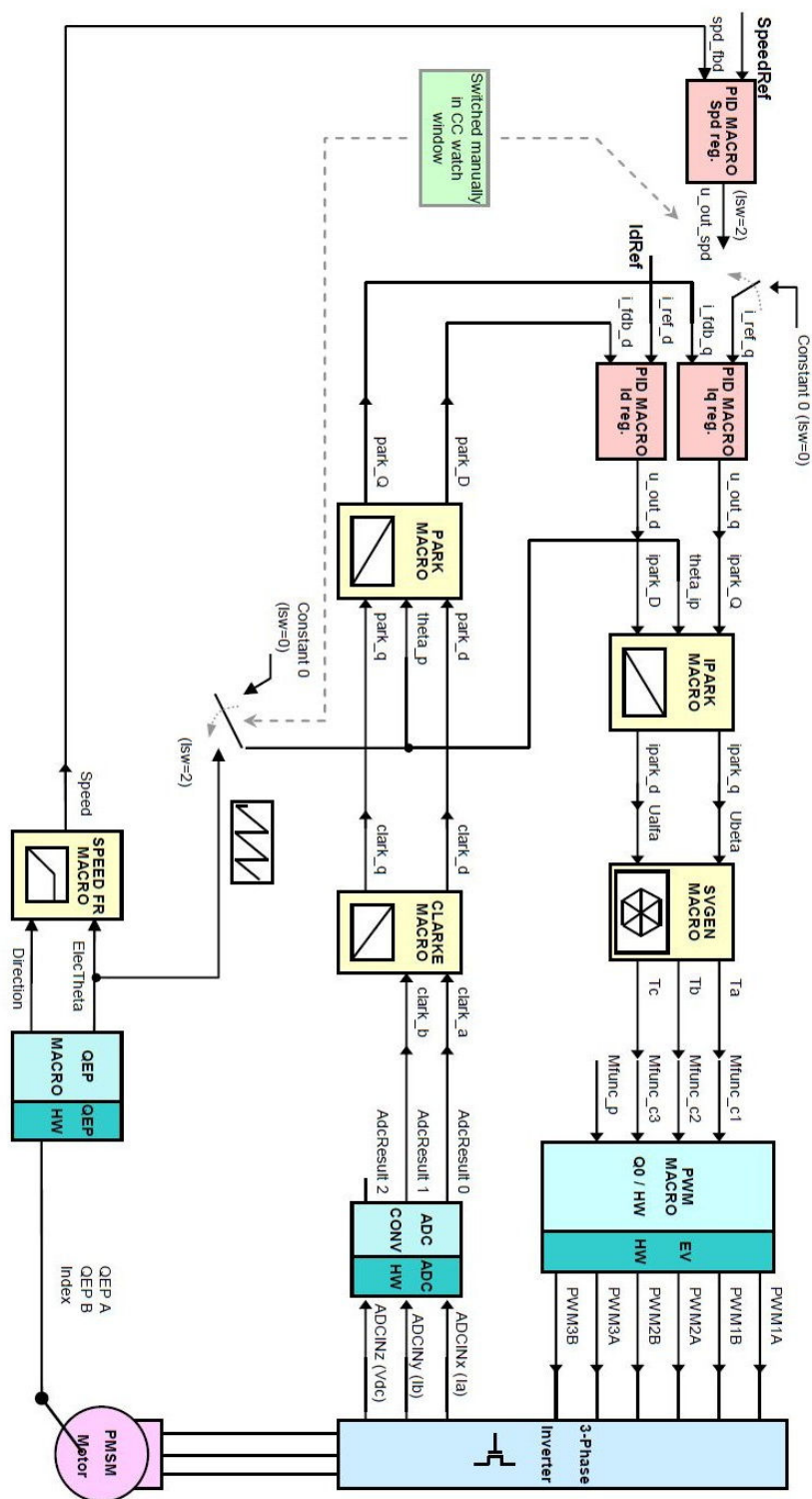
számítások elvégzése miatt. Visszacsatolásként mérhetjük az áramot, a fázisok feszültségértékeit, a sebességet, pozíciót. A fejlesztő környezet tanulmányozása során rengeteg lehetséges hibát találtam. A legfőbb probléma az volt, hogy az elektromos zavarok miatt a processzor resetelte magát, egy nagyobb áramfelvétel, vagy feszültségingadozás esetén. A reset után, mivel a debugger a panelre volt kötve a processzor nem bootolt, így lábait lebegve hagyta. Ha véletlenszerűen egy félhíd alsó és felső PWM bemenete egyaránt magas jelet kapott az IGBT modul elégett a panelen, ami nagyon megnehezítette a mérést is, így fejlesztésre nem volt lehetőség. A hosszas tesztelés, alkatrészcsere és biztosítékok elvégzése után a panellal sikerült elérni a PMSM motor sebesség szabályozását. (5-7. ábra), (5-8. ábra), (5-9. ábra)



5-7. ábra A TI fejlesztő környezet, [5]



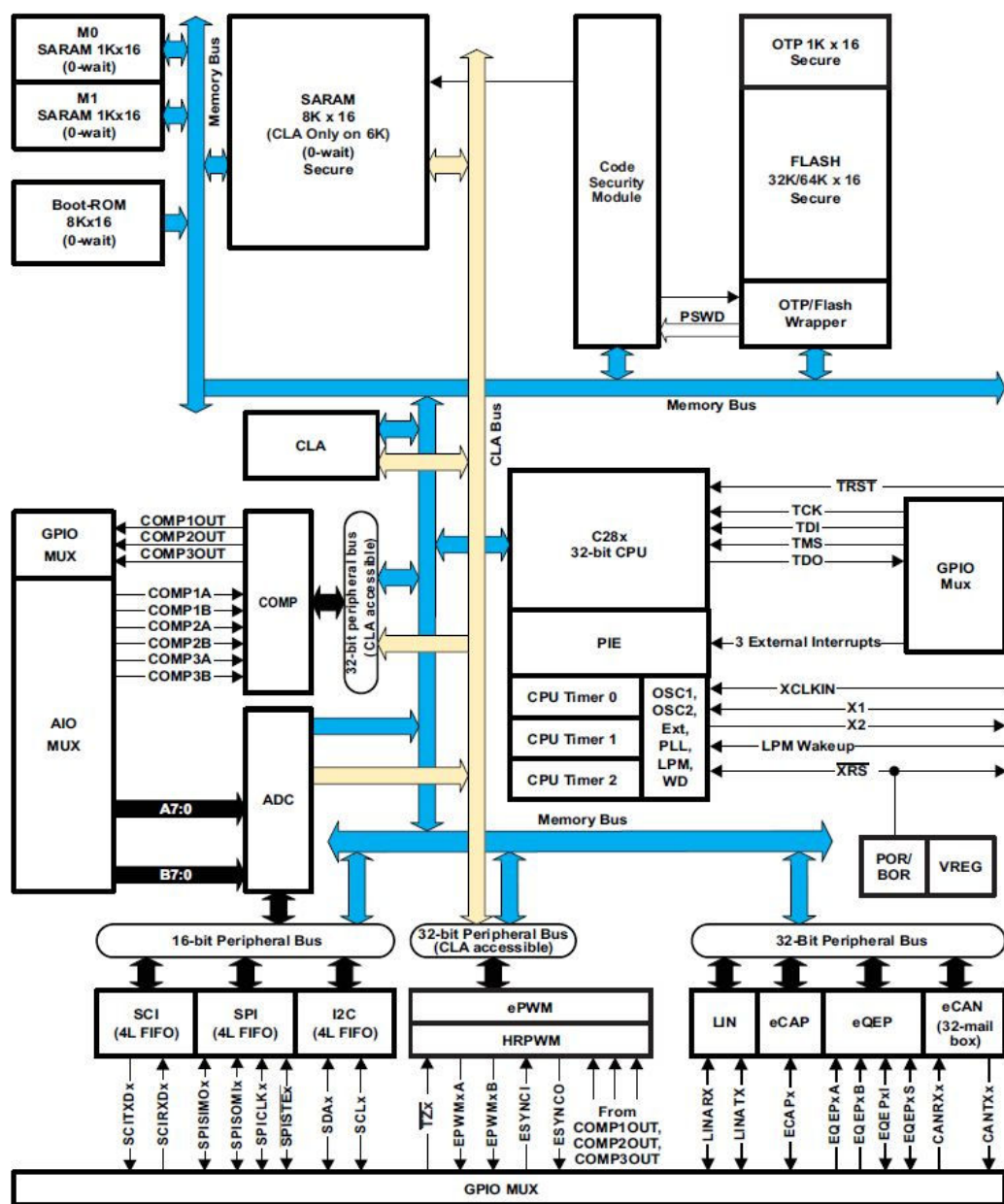
5-8. ábra Az inverter, [3]



36

5.3 SAJÁT HARDVER

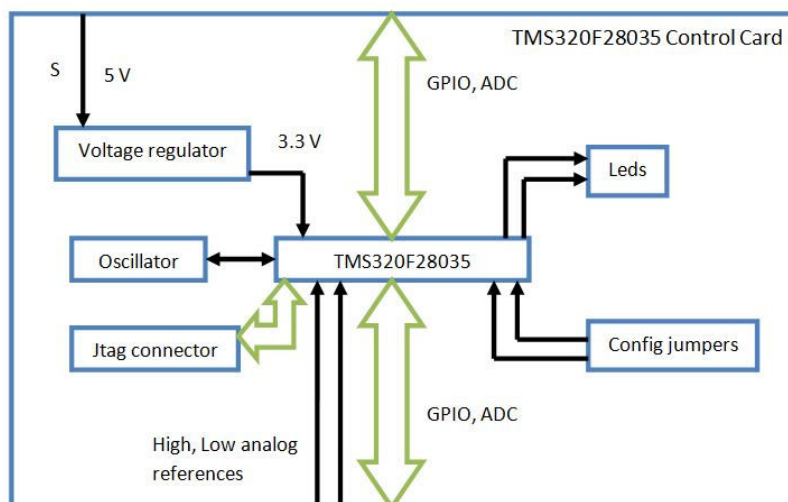
A Texas környezetben használt IGBT modul félhid driverei high illetve low side PWM jelet kaptak, melyek egymásnak invertáltjai. A saját tervezésű végfok első verzióját kisebb (1 kW) teljesítményre méreteztem FET-ekkel és félhidanként in/sd bemenetű FET driverekkel, melyek egy PWM bemenetet és egy engedélyező jelet kapnak. Ezzel a konstrukcióval hardveresen kiküszöböltem a félhidak rövidre zárásának lehetőségét. További probléma volt a processzor és az IGBT modul közös földje, amely tönkretette a mikrokontroller tápellátását és majdnem a magát a kontrollert is. A prototípuson a vezérlő elektronika és a teljesítmény elektronika összes jelét leválasztottam optocsatolókkal. (Az analóg jeleket is.) További fontos kiegészítés a Texas modulhoz képest, hogy a rendszer rendelkezik fék ellenállással, amely a motor generátoros üzeme esetén visszatöltött energiát képes elnyelni, hogy a DC busz feszültsége ne emelkedhessen 350 volt fölé. A modul tervezése során fontos volt a félhidaknál az alsó és felső FET-ek kapcsolási idejének hangolása, az optoleválasztások pontossága, sebessége, a sönt ellenállások, a FET-ek, driverei, a fék ellenállás, az egyenirányító, a DC tápok, biztosíték méretezése, és a számítási kapacitás optimális megválasztása. A feladatra a Texas által ajánlott 32 bites 60 MHz-es TMS320F28035 processzort (5-10. ábra) választottam. A gyártó kiadta az opensource mezőorientált motor control könyvtárát. Ezeket szabadon felhasználhatom a munkám során. A forráskódok egyedül pozíciószabályozással nem rendelkeznek, de ennek felépítése a sebesség szabályozó kör felé már nem nagy feladat. A kapcsolási rajz hosszas tervezése után a nyomtatott áramkör routolása még nagyobb figyelmet igényelt a teljesítmények, zavarvédetség, földek tápok és a nagyfrekvenciás analóg illetve digitális jelek miatt. A rendszerben 7 féle táp és 4 féle föld található.



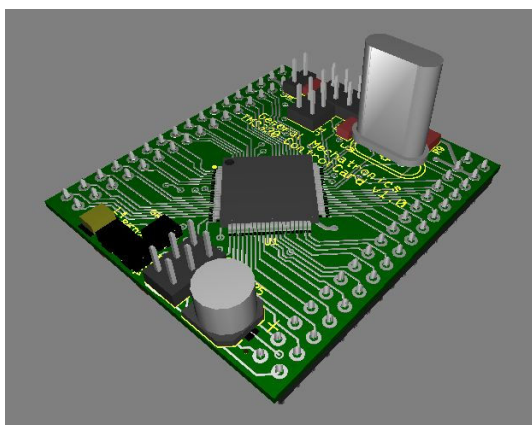
5-10. ábra A TMS320F28035 funciói, blokkvázlata, [4]

A vezérlő elektronika és a teljesítmény elektronika külön nyomtatott áramkörön kapott helyet. A vezérlő elektronikán van a Texas DSP, a DSP tápellátása, debugger ledek, processzor specifikus konfiguráló jumperek, Jtag csatlakozó, és az oscillátor. A DSP megmaradt lábait kivezettem a kártya csatlakozóira. A processzor analóg modulja kaphat alsó és felső mérési referenciát kívülről, illetve a nyomtatott áramkörrel analóg földet és 3,3 V-os tápot szintén referenciaként. Ennek beállítására további jumperekkel van lehetőség. A proceszor alatt közvetlenül földfólia

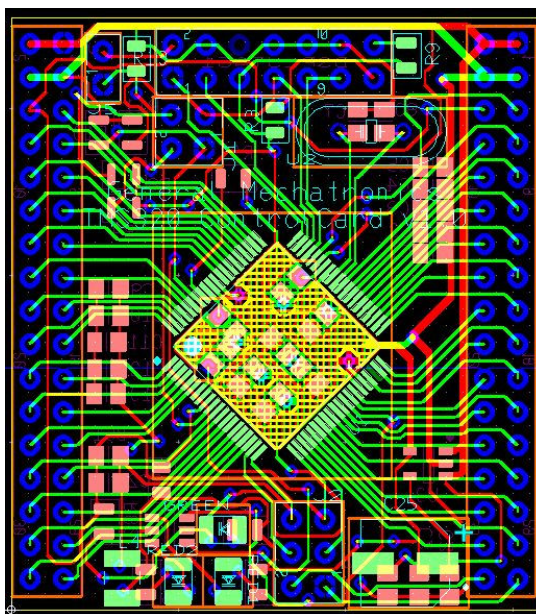
helyezkedik el. A nyomtatott áramkör másik oldalán, pedig ugyanott tápfólia található. A két fólia közt minden táplábnál elhelyeztem egy-egy 100 nF-os hidegítő kondenzátort. (5-11. ábra), (5-12. ábra), (5-13. ábra)



5-11. ábra A control kártya blokkvázlata

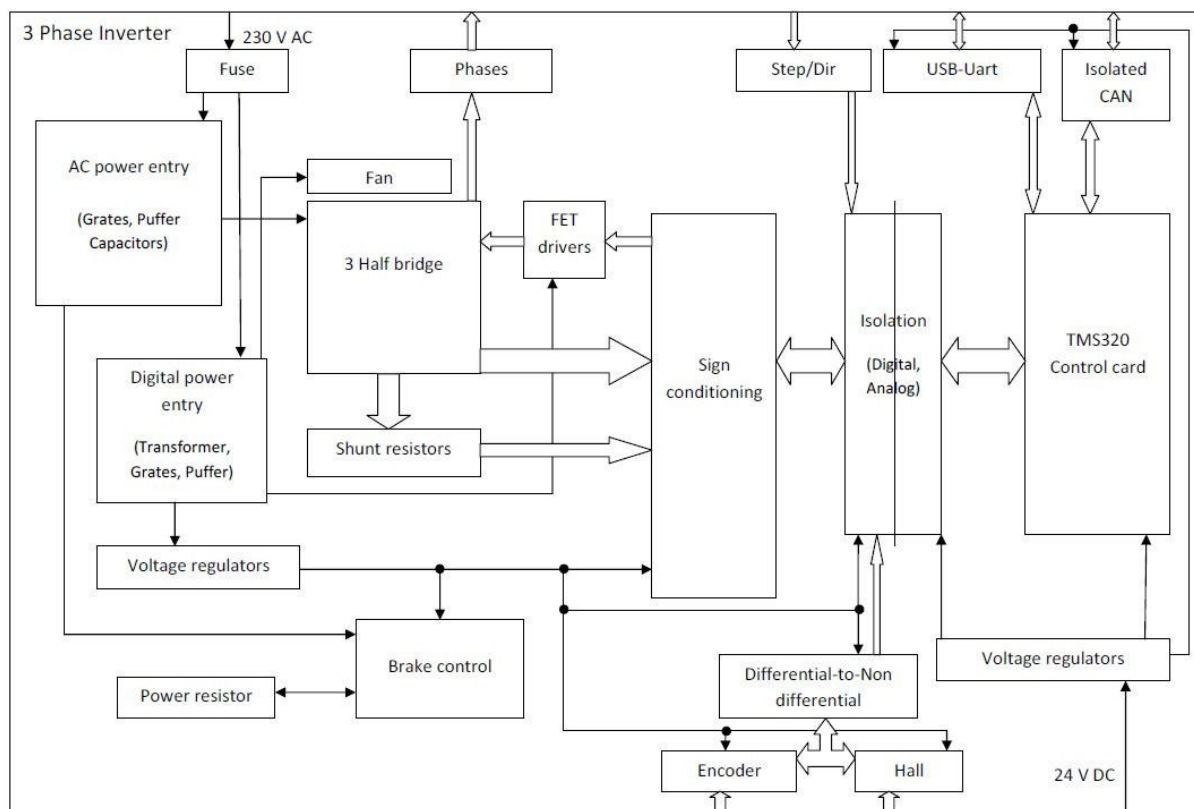


5-12. ábra A control kártya felső oldala

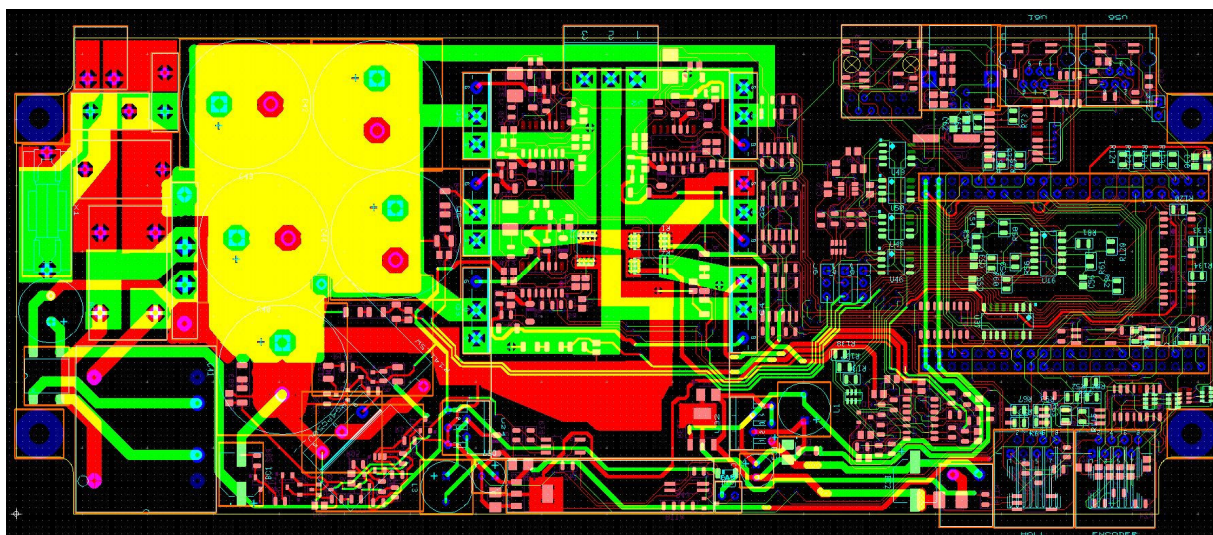


5-13. ábra A control kártya nyomtatott áramköri terve

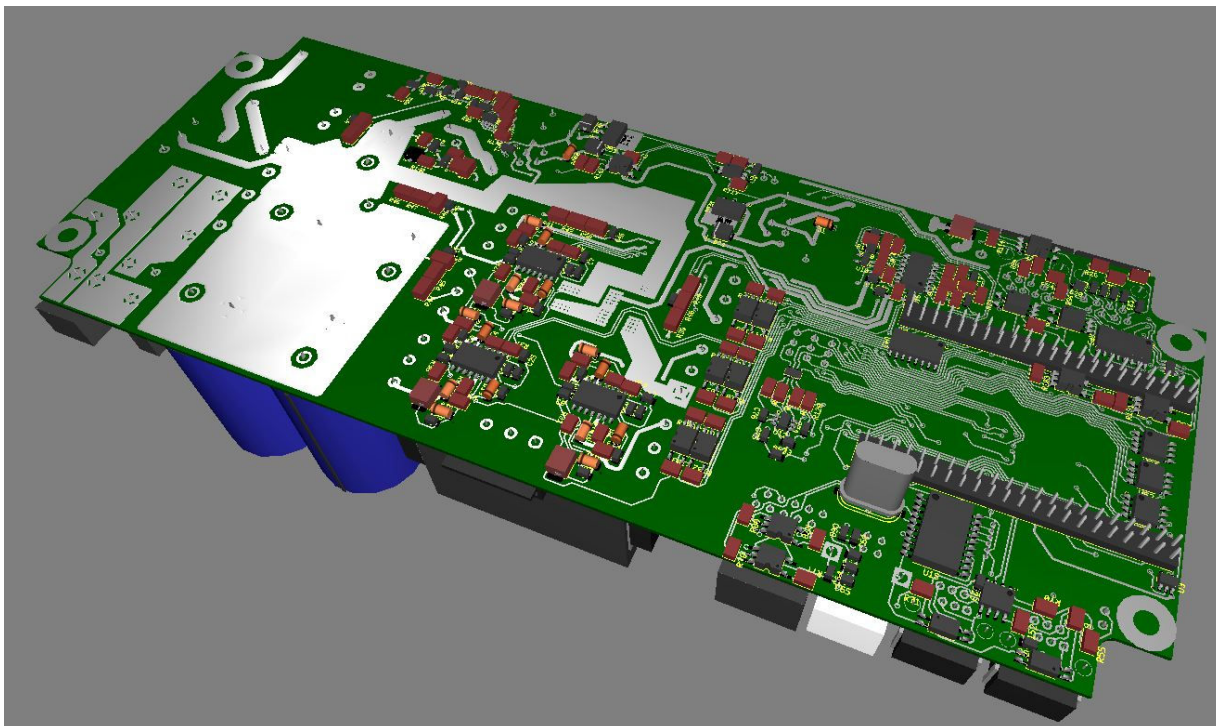
A teljesítmény elektronika nyomtatott áramkörén helyezkedik el a vezérlő elektronika csatlakozóinak párja. A vezérlő elektronika tápját 24 V DC-ből stabilizálom. Ez látja el táppal az USB-Uart átalakítót, a CAN kommunikációt, a control kártyát, és az optoleválásztások vezérlő elektronikai oldalát. A végfok fogad enkóder és hall jeleket. Méri a DC busz és a fázisok feszültségét, valamint áramát. A rendszer teljesítmény tápja 230 V AC egy biztosíték után foyjtótekercsen, valamint egyenirányítón halad át. A FET driverek és egyéb periféria áramkörök tápellátását egy kisméretű transzformátor biztosítja, így a rendszernek csak 24 V DC és 230 V AC tápot kell adni. Található a rendszerben még fék ellenállás, a hozzá tartozó analóg komparátoros áramkör és ventilátor. A teljesítmény elektronika nyomtatott áramkörének tervezése során figyelni kellett az egyes részegységek izolálására. A nyomtatott áramkör egyik végén kapott helyen a DC-busz és a többi teljesítmény táp, illetve teljesítmény elektronikai elem. Középen helyezkedik el a háromfázisú inverter. A másik végén található a vezérlő elektronika. A dolgozat hosszából adódóan a működés további részleteire nem térek ki. (5-14. ábra), (5-15. ábra), (5-16. ábra), (5-17. ábra)



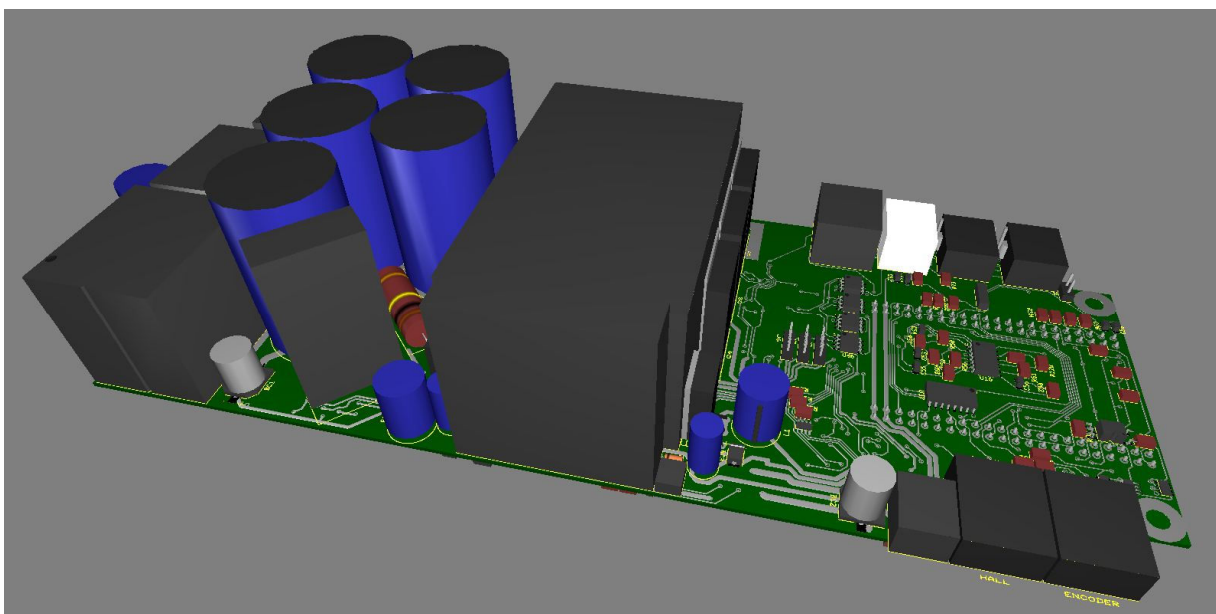
5-14. ábra Az inverter blokkvázlata



5-15. ábra Az inverter nyomtatott áramköri terve



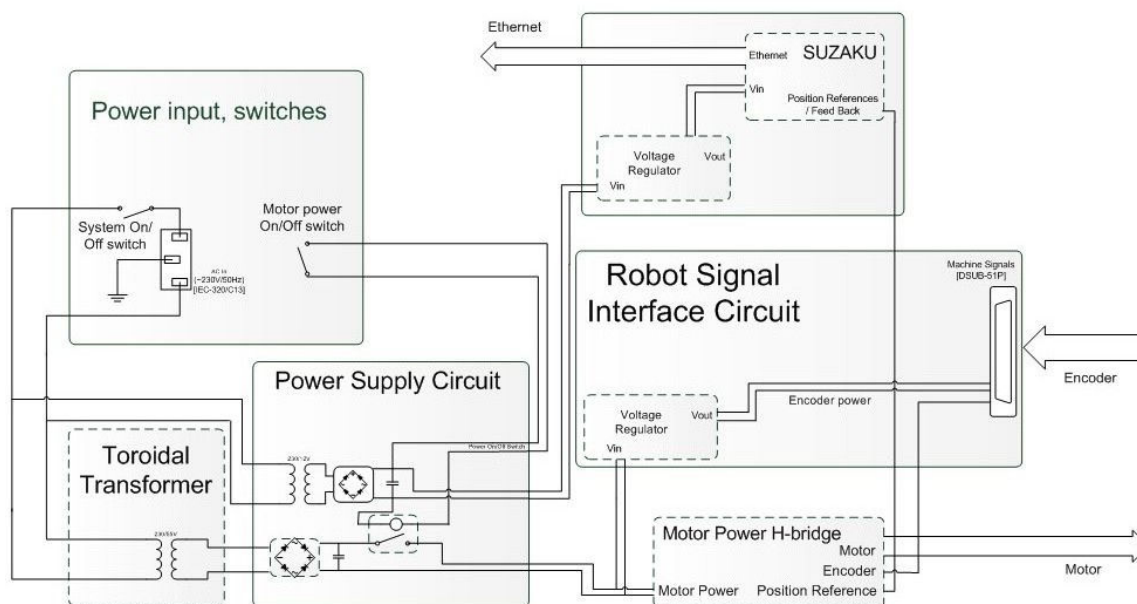
5-16. ábra Az inverter alsó oldala



5-17. ábra Az inverter felső oldala

6 RTM KOMPONENSEK

Munkánk során RT-Middleware kompatibilis komponenseket is fejlesztettünk. A rendszer összeállítása és a teljesítmény elektronika, illetve a jelek szétosztása itt is az én feladatomból volt. A modulokba került egy toroid transzformátor, egy egyenirányító a teljesítmény táphoz, egy DC tápegység, DC végfok, és egy FPGA fejlesztő környezet, melyen Linux fut és etherneton kaphat utasításokat, hogy továbbadhassa a referenciát a végfok vagy végfokok felé. Egy DC motor pozíció, sebesség, vagy nyomaték szabályozására képes a világ bármely pontjáról interneten keresztül. (6-1. ábra), (5-2. ábra)



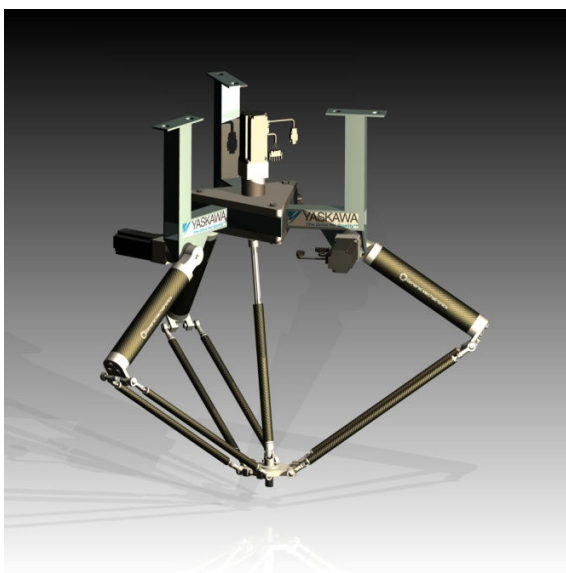
6-1. ábra Az RTM komponenes blokkvázlata



6-2. ábraAz RTM komponens

7 ÖSSZEFOGLALÁS

A közeljövőben szeretnénk kifejleszteni termék szinten egy olyan univerzális robotvezérlőt, amely gyorsan és könnyen illeszthető minden géphez és robothoz 9 tengelyig, BLDC, AC, PMSM és DC motorral szerelve. Az eddigi eredményekkel elégedettek vagyunk. Már az első prototípus is az elvártak szerint működött. Rengeteg munka és fejlesztés áll még előttünk. A jövőben az általunk fejlesztett vezérlővel szeretnénk megépíteni a saját delta típusú ipari robotunkat is.



7-1. ábra A delta robot renderelt képe

8 FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Kovács Bence: „Development of motion controllers: Control units design for CNC milling machines, and industrial robots”, Diplomamunka, 2011
- [2] Szayer Géza: „Development of motion controllers: Hardware development, design and implementing motion control algorithms”, Diplomamunka, 2011
- [3] Bilal Akin, Manish Bhardwaj: „Sensored FOC of PMSM”, Texas Instruments útmutató, 2010
- [4] Texas Instruments: „TMS320F28035 user’s guide”, Texas Instruments adatlap, 2010
- [5] Texas Instruments: „HVMotorCTRL+PFC_HWGuide”, Motor control útmutató, 2010

