

Óbudai Egyetem

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

Mikroelektronika és Technológia Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

ÖTPÓLUSÚ LÉPTETŐMOTOR- VEZÉRLŐ ÉS A BENNE REJLŐ LEHETŐSÉGEK

Szerzők: Törőcsik Márton

villamosmérnök MSc. szak, I. évf.

Kovács János

villamosmérnök BSc. szak, III. évf.

Konzulens: Mészáros András

intézeti mérnök

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	1
1. Bevezetés.....	4
1.1 A dolgozat célja.....	4
1.2 Az EMCO F1-CNC gép bemutatása	5
1.2.1 Általános jellemzők.....	5
1.2.2 Az ötfázisú léptetőmotor	6
1.2.3 A léptetési szekvencia	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2. A STEPDRV motorvezérlő áramkör.....	7
2.1 Tervezési irányelvek.....	7
2.2 Tápellátás	8
2.2.1 Motorok áramgenerátoros meghajtása	8
2.2.2 Teljesítményelektronika tápellátása	8
2.2.3 A logikai áramkör tápellátása.....	9
2.2.4 Fejlesztési lehetőségek	9
2.3 A MACH3 program.....	9
2.4 Az LPT port.....	10
2.5 STEP/DIR.....	10
2.6 Számláló	11
2.7 Az EPROM	12
2.7.1 A szükséges 10 kimenet, azaz miért nem elég 8 bit	12
2.7.2 Miért EPROM?.....	13
2.7.3 Az EPROM-ról általában	14
2.8 H-hidak.....	14
2.8.1. Az L298N H-híd és hűtése	15
3. Tervezett továbbfejlesztések	17
3.1 A CMOS technológiában rejlő lehetőségek	17
3.2 A CPLD, mint az EPROM alternatívája.....	18
3.3 Konfigurálhatóság, komplett CNC vezérlés üzemmód	18
4. Gazdasági lehetőségek	18
4.1 A továbbfejlesztésből adódó lehetőségek.....	19
4.2 Piaci lehetőségek	19
4.2.1 Nyílt hardware-es értékesítés	20
4.2.2 A kit-ben történő szállítás.....	20
4.2.3 A teljesen összeszerelt kártya értékesítése	21

4.3 A piaci szintér	21
4.3.1 A STEPDRV alapmodell távol-keleti konkurenciái	21
4.3.2 A STEPDRV2 lehetséges konkurenciái	22
4.4 Gyártási költségek.....	24
5. Konklúzió.....	25
Felhasznált irodalom:	27

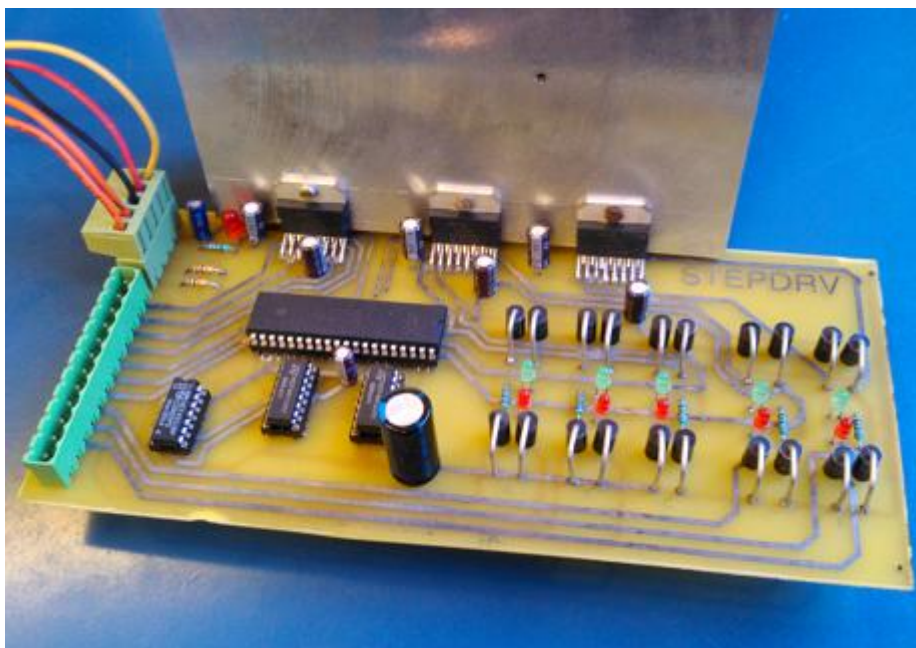
1. Bevezetés

1.1 A dolgozat célja

A STEPDRV léptetőmotor-vezérlő áramkör megalkotását az az igény hívta életre, hogy intézetünk egyik laborjában évek óta kihasználatlanul állt egy CNC marógép.

Karunk profiljából adódóan a hallgatók gyakran terveznek áramköröket iskolai és önálló projektek keretében. Ezek az esetek nagy többségében közel, vagy teljesen egyedi darabok, melyek előállítása sok esetben egyszerűbb, gyorsabb lenne mechanikai úton, marással, mint vegyi úton, amivel nagy darabszámú termék előállítása gyors csupán, kis sorozatok esetében az egy darabra vonatkoztatott előállítási idő több nagyságrenddel nagyobb lehet.

Célunk volt, hogy egy gyors működésű, kis alkatrészigényű, üzembiztos áramkört alkossunk meg, mely újra működésbe hozhatja a marógépet, felfrissen ezzel a Szensor laboratórium produktivitását, emellett a frissen megalakult ÁramKör nevű hallgatói kör tevékenységét is támogathassa.



1. ábra A STEPDRV léptetőmotor-vezérlő kártya

A rendelkezésünkre álló marógép EMCO F1-CNC típusú, osztrák gyártmányú, múlt század végi darab. Találkozhatunk benne néhány igazán ritka megoldással, ami megnehezíti az alkatrész-utánpótlását. Mivel ez a gép túlnyomórészt a műszaki oktatásban volt használatos a régióban, elképzelhető, hogy különböző

szakközépiskolák, hobbisták raktárában még akad néhány többé-kevésbé üzemképes darab belőle. Ezen gépek tulajdonosainak segítséget jelenthet az általunk tervezett vezérlő áramkör, mely a felhasznált alkatrészek minőségét figyelembe véve gazdaságosan előállítható, használatához nem szükséges komolyabb átalakítás sem a számítógép, sem a célhardver oldaláról.

Ezen felül a STEPDRV léptetőmotor vezérlő áramkör még számos lehetőséget rejt magában, melyekről az ennek szentelt fejezetben esik szó.

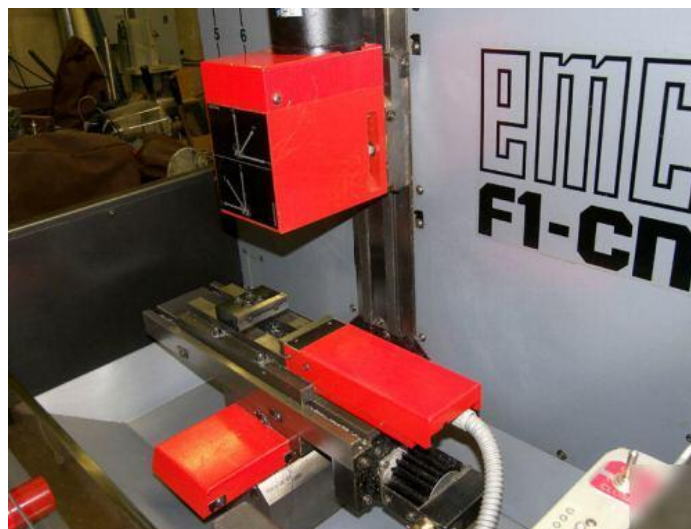
1.2 Az EMCO F1-CNC gép bemutatása

1.2.1 Általános jellemzők

A marógép, amihez a STEPDRV-t terveztük, sok szempontból jelentett számunkra kihívást.

Sajnos a gép üzemeltetésével és életben tartásával foglalkozó szakember évekkel ezelőtt elhunyt, és amellet, hogy esszenciális ismeretekkel rendelkezett az EMCO maróról, a kódot is csak ő tudta, ami szintén nélkülözhetetlen volt a géppel való munkához.

Sajnos a marógépről található gépkönyvek, egyéb dokumentációk is elég szegényes információmennyiséget tartalmaznak, inkább üzemeltetési utasítások összességei, minimális karbantartási segédlettel, mintsem átfogó kézikönyvek, ami érthető annak tükrében, hogy az otthoni újragyártás nem általános dolog az ilyen gépeknél. Nekünk azonban ez újabb nehézséget jelentett.



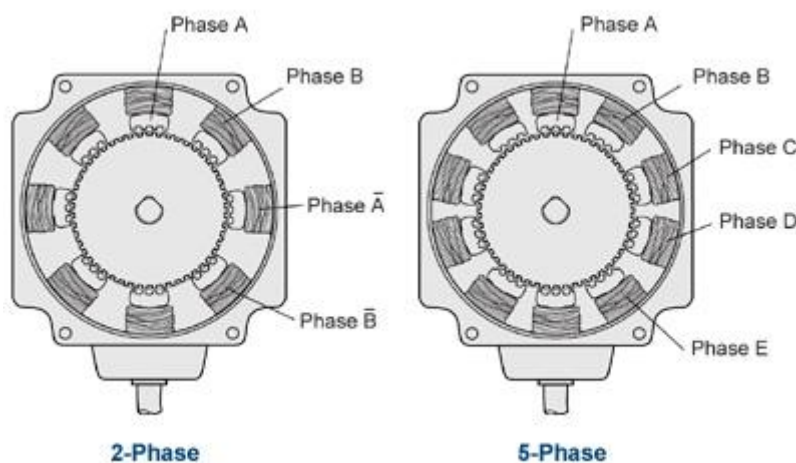
2. ábra AZ EMCO F1-CNC

A feladat egyértelmű volt, ha valaha is használni akarjuk a gépet, a vezérlő elektronikáját teljesen le kell cserélni, és jóformán csak a léptetőmotorokat illetve a géptestet örökítjük tovább az újra használatba vételhez.

Ez azonban nem ment egyről a kettőre, hiszen a benne használt léptetőmotorokat mérésekkel meg kellett ismerni, és ekkor jött a következő probléma: kiderült, hogy a marógépben használt léptetőmotor se nem unipoláris, se nem bipoláris, hanem öt póluspárral rendelkezik.

1.2.2 Az ötfázisú léptetőmotor

A kettőnél több póluspárral rendelkező, úgynevezett többfázisú motorok felhasználása napjainkra szórványossá vált, mivel előállítási költségük az unipoláris, vagy bipoláris, két póluspárral rendelkező motorokhoz képest jelentősen nagyobb, összetettségük, szerkezetük bonyolultsága a gyártás mellett a karbantartásukat is megnehezíti.



3. ábra Kétfázisú és ötfázisú léptetőmotorok összehasonlítása

Mint fentebb már említettük, a többfázisú motorok drágábbak, s ez jórészt a gyártás bonyolultságából adódik. Egy ötfázisú léptetőmotor tíz pólust tartalmaz, az öt elektromágneses tekercset egyenként tekercselik az állórészben, ezt mind a tervezés, mind a gyártási eljárás során számos többletmunkát jelent.

Joggal merül fel a kérdés, mégis, mi okból választhatott az EMCO gyár a mind gazdaságosság, mind a vezérlés összetettsége szempontjából is egyszerűbb bipoláris motorok helyett egy ilyen, speciálisabb motort?

Ennek több oka is lehetett. Egyrészt az EMCO F1-CNC gépet jórészt a műszaki szakképzés és felsőoktatás műhelyei használták a CNC marás demonstrálására, gyakorlására, a tanulóknak pedig a javára válhatott, ha ilyet is látnak.

Másrészt, e gép megszületésének idején, ha precíz léptetési szögre volt szükség, a többfázisú motorok voltak kézenfekvő megoldások, nyomtatókban, és más, pontos pozicionálást igénylő műveletet végző gépekben ilyeneket alkalmaztak.

Ugyanis a többfázisú motorok a korábban említett hátrányaik mellett számtalan előnnyel is rendelkeztek. Alacsony elfordulási szög mellett is a kétfázisú motorokhoz képest jelentősen nagyobb nyomatékot szolgáltatottak, mindehhez kisebb vibrációt produkálva, köszönhetően jórészt a tekercsek nagyobb számának. A lépésenkénti szögelfordulást, valamint a produkált nyomatékot beépített mechanikával tovább lehetséges optimalizálni, függően a gép által végzett feladatnál a jellemzően rendelkezésre álló időtől, és a megadott minimális tűréstől.

Ehhez a szinte már egzotikus motorhoz kellett keresni egy jól működő, nagy nyomatékot produkáló léptetési szekvenciát.

2. A STEPDRV motorvezérlő áramkör

2.1 Tervezési irányelvek

A tervezés során az elsődleges szempont egy minél olcsóbb, üzembiztosabb áramkör megalkotása volt.

Fontosnak tartottuk, hogy minél több mindent felhasználjunk a laborban és otthon megtalálható alkatrészekből, ezért nem mindig vettük figyelembe a technika mai állását, a megvalósítás korszerűségét, viszont ügyeltünk rá, hogy a spórolás sehol se menjen a minőség rovására.

A tekercseket vezérlő H-hidak kimeneteire LED-eket illesztettünk, ami a fejlesztéskor sokat segített a teszt-diagnosztika során, valamint a későbbiekben, amikor megindul az áramkör értékesítése, pozitívum lehet a potenciális vásárlók szemében.

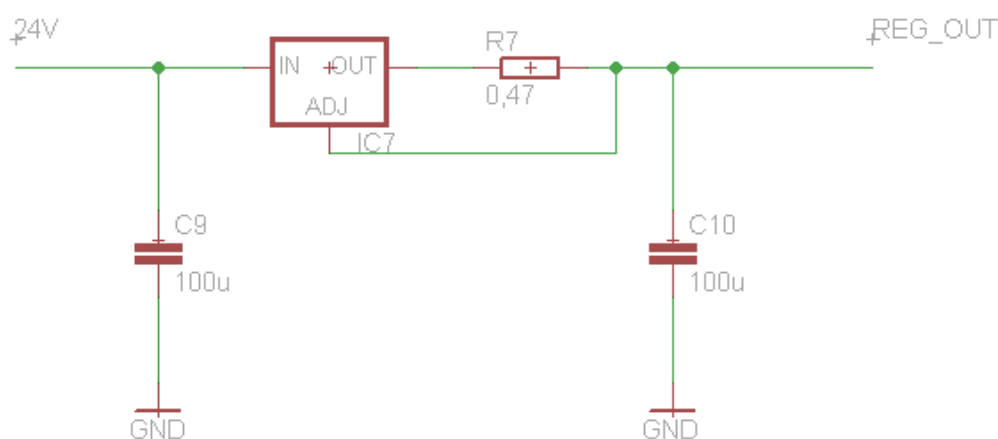
Annak, hogy az áramkör mikroprocesszort nem tartalmaz, a kellemes hozadéka a nagyon gyors (ns-os nagyságrendű) válaszidő, valamint a rendszer teljes lefagyás biztonsága. Amennyiben a CNC szoftver lefagyna, ugyanabból a marási pozícióból folytatható a marás, így nem vesz időt a felhasználó, nem kell az elejétől újraindítani a marást.

Annak, hogy zömében furatszerelt alkatrészekből épül fel az áramkör, az oka az, hogy igyekeztünk „a fiókból” előteremteni a szükséges áramköri elemeket, valamint a könnyű javíthatóság, szervizelhetőség is fontos szempont volt, hazai forgalmazású termékről lévén szó.

2.2 Tápellátás

2.2.1 Motorok áramgenerátoros meghajtása

Mivel a motorok tekercsei valamilyen induktivitást képviselnek, ezért az áramfelvételük frekvenciafüggő, és éppen ezért függetlenné kell tenni az áramkört a frekvenciától. Álló helyzetben rövidzárat jelent a tekercs, míg magasabb frekvencián nagy a reaktanciája. Ez indokolja, hogy áramgenerátoros meghajtást kell alkalmazni, amit LM338-as IC-vel oldottunk meg.



4. ábra A motort tápláló áramgenerátor kapcsolása

2.2.2 Teljesítményelektronika tápellátása

A léptetőmotorok áramigénye akár 2,5A is lehet folyamatos üzemben, ami 24V-os tápfeszültségnél körülbelül 60W-ot jelent. Mivel három motor van, ez összeadódva 180W. Erre a tápigényre egy 260W-os transzformátort alkalmazva, bőven megoldott a tápellátás a motorok számára.

Jelenleg a tápellátás teljesen disszipatív. A transzformátor által kiadott váltófeszültséget először egyenirányítjuk, Graetz-híd segítségével, majd pufferkondenzátorokkal szűrjük. Ez körülbelül 40V-os egyenfeszültség, terheletlenül. Egy 10A-es híd megfelelő.

Az első aktív fokozat egy soros feszültséggenerátor, mely a bejövő feszültséget stabilizálja.

A választott eszköz egy N-csatornás MOSFET, az IRFP460, mely nagyon jó tulajdonságokkal rendelkezik, és térvezérelt jellegéből adódóan nem számottevő számára a meghajtóáram. Ezért feszültségreferenciának egy Zener-dióda szolgáltat

feszültség is megfelel. A Gate nyitófeszültség 5V körüli, így a 24V kívánt feszültségre ezt rászámolva egy 29V-os Zener-dióda megfelel.

A disszipált teljesítmény legrosszabb esetben, amikor a tranzisztoron körülbelül 10V esik, és 8A áram folyik, 80W.

Ez a feszültség oszlik el aztán a motorok között. Mivel a motorok áramgenerátoros meghajtást igényelnek, azért mindegyik számára külön áramgenerátor biztosítja ezt. Ez szintén áteresztő-tranzisztoros megoldás, így jelentősen disszipatív. Az alkalmazott eszköz egy LM338-as áramgenerátor, mely akár 5A-t is képes átengedni, megfelelő hűtés mellett. Az áramérték beállításához egy ellenállás szükséges, mely egyszerűen számolható. A szabályzó 1,2V feszültséget szeretne látni a kimenet, és visszacsatoló láb között, illetve ismerjük a kívánt áramot, ami 2,5A, így ebből adódóan $R = U/I = 1,2/2,5$ V/A = 0,48 Ohm (a szabványérték 0,47 Ohm).

Az ellenállás szükséges mérete, $P = I^2 \cdot R = 2,5^2 \cdot 0,48 = 3$ W. Ezért egy 5W-os ellenállás már megfelelő.

Ezt az áramstabilizált tápot kapják meg a meghajtó IC-k, így nekik már csak a szekvenciális meghajtásról kell gondoskodni.

2.2.3 A logikai áramkör tápellátása

A szükséges tápfeszültség 5V. Ez a választás szerencsére egyértelmű, mivel az L298 logikai feszültsége 5V, az EPROM feszültsége 5V, illetve a CMOS áramkörök 5-18V tartományban üzemelnek, minden áramkör számára megfelelő az 5V-os tápfeszültség. Itt nincs nagy áramigény, pár 10 mA-ekről van szó, így egy LM7805 stabilizátor alkalmas a feladatra.

2.2.4 Fejlesztési lehetőségek

A mai kor igényeinek megfelelően, törekedve a legjobb hatásfokra, a léptetőmotorok megtáplálása esetében már csak kapcsolóüzemű tápegységek jöhetnek szóba.

A tápfeszültség előstabilizálására egy standard IC alkalmas az LM26XX sorozatból, mely kevés kiegészítő alkatrészrel már üzemképes, viszont nem feltétlenül szükséges az alkalmazása. Ez a későbbiekben kifejtésre kerül.

2.3 A MACH3 program

Ez egy ingyenesen használható szoftver, mely bizonyos korlátozásokkal használható. Képes esztergák, marók vezérlésére. Gerber kóddal működik. Kapunk egy nagyon jó grafikus felületet, mely a high-end CNC gépek kezelőfelületére emlékeztet. Megoldott a

kézzel való léptetés, kurzorbillentyűk segítségével. A szerszám pozícióját számon tartja, így beállíthatunk kezdőpozíciót. Ez nullázható, így a munkadarabhoz igazíthatjuk.

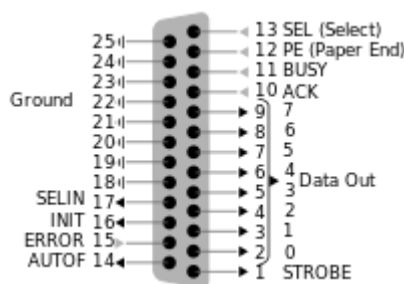
Vezérli a főorsót, akár fordulatszám-szabályozásra is képes, PWM segítségével, PID szabályozást alkalmazva. A főorsó forgásiránya változtatható.

2.4 Az LPT port

A program LPT porton keresztül vezérli a szerszámgépet, mely parallel interfész, így az adott tengelyek információi egyidejűleg jelennek meg. Ezt egy soros felület nem tudja garantálni, időzítések, megszakítások miatt elcsúszás lehetséges. A port párhuzamos jelátvitelre képes, így megoldható a folyamatos 45°-os főorsó vezetés, melyre a piac résztvevőinek több terméke nem képes.

A kommunikáció sebessége állítható, 25-100 kHz között. Ez a PWM frekvenciája is.

Az LPT port egy 8 bites felület, mely alapvetően csak kimenőirányban működik. Bemenetekre az egyéb vezérlőjeleket használja fel. Az LPT port feszültsége névlegesen 5V, de ez változó.

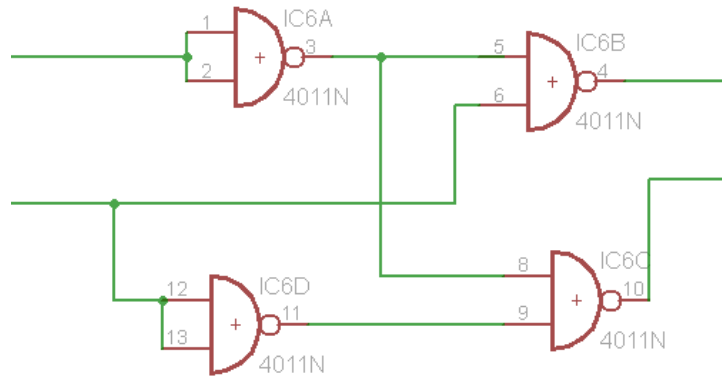


5. ábra Az LPT port lábkiosztása

2.5 STEP/DIR

A motorok vezérlésére elegendő két jel, egy forgásirány, és egy órajel. A Dir (Direction) szabja meg az irányt, merre lépjen tovább a motor. A Step jel az órajel, melynek minden pulzusa egy lépést jelent.

Az általunk használt számláló viszont nem a szabványos Dir, CLK bemenetekkel rendelkezik, ezért egy átalakítóra van szükség. A számlálóknak Up, Down órajelbemenete van, ezért amelyekre érkezik impulzus, abba az irányba számol. Lefutó élre történik a számlálás, ezért a kimenő jelet invertálni kell. Abban a szerencsés esetben vagyunk, hogy ez a művelet egy tokkal megvalósítható. Tulajdonképpen egy irányválasztó dekódert kell alkalmazni, mely engedélyezi a megfelelő órajel bemenetet.



6. ábra Az LPT port jelét a számlálók felé csatoló NAND kapus megoldás

2.6 Számláló

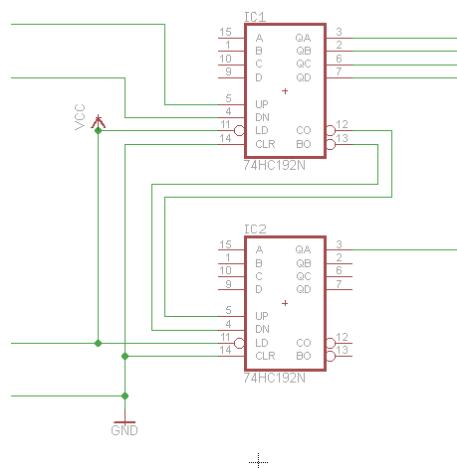
A motor lépési szekvenciájának megfelelően a számláló tartja számon, épp hol tart a motor. Ez az információ a szoftver számára nem érdekes, ez motorspecifikus. Jelen esetben a motor szekvenciája 20 lépésből áll. Ehhez egy 20 állapotú számláló szükséges. Mivel ilyen nem létezik, több lehetőség van a realizációra.

Megkonstruáljuk magunknak a számlálót flip-flop-okból. Ennek legalább 20 állapotot kell számontartania, ezért egy 32 állapotos, azaz 5 bites számláló szükséges. Ez 5 flip-flop-ot feltételez. Legjobb esetben ezek két tokban megtalálhatóak. Egy D flip-flop lábszáma 4, mely a D, CLK, Q, /Q ki/bemeneteből áll. Az órajel bemenetek közösek, így csökkentve a lábszámot. Ami itt sajnos probléma, hogy kétirányú számlálásra van szükség, emiatt bonyolult kombinációs hálózatra van szükség. A szükséges bemenetek száma: az irányválasztó bemenet és az 5 flip-flop kimenete. Ez egy 6 bemenetű kombinációs hálózatot feltételez, melynek realizációja nem egy könnyű feladat. A Reset funkcióról szerencsére nem nekünk kell gondoskodni, ezt az IC-k maguktól tudják.

Másik megoldás, meglévő 4-bites számláló IC-k felhasználásával megalkotni a kívánt számlálót. Bináris számláló esetén a resetfeltételt kell kikapuzni, és 0-ba, vagy épp 20-ba kell állítani a számlálót. Felfele számlálás esetén, a 19 érték esetén kell reset-állapotot létrehozni, ami egy 8 bemenetű ÉS kapuval történhet. Lefele számláláskor 0 állapot után 19-et kell visszatölteni a számlálóba. Ilyenkor a Load bemenetekre be kell állítani a kívánt értéket, majd a 0 állapotot kikapuzva megtörténhet a betöltés. Ehhez a megvalósításhoz már legalább 4 tok kell.

Egy másik, és egyben legjobb megoldás dekádszámlálók alkalmazása. A BCD dekádszámláló 0-tól 9-ig számol, mely 10 állapotot jelent. Ezek kaszkádosításával, két

számláló esetén már 100 állapotunk van. Ennek lecsökkentésére szintén alkalmazható lenne a fent említett megoldás. Viszont ha belátjuk, hogy számláláskor, a 8 bitből az alsó négy bit az első helyiértéket tartja számon dekadikusan, az 5. bit, hogy a második dekad 10, vagy 20, a felső 3 bit pedig már ezek többszörösét, ezért ezeket elhagyva, csak az alsó 5 bitet figyelve megkaptuk az általunk kívánt mod20-as számlálót. Ehhez mindössze két tokra volt szükség.



7. ábra A számlálók kapcsolása

2.7 Az EPROM

A mai világban a mikrovezérlők virágkorát éljük, jelenleg az ARM processzorok tarolnak a piacon, mobil és tablet eszközökben kizárólagosan ezeket alkalmazzák. Bármely jelenlegi tervezendő eszközben, szinte kötelezően kell, hogy szerepeljen legalább egy vezérlő. Napjaink mérnökei már el sem tudják képzelni néhány feladat megvalósítását ezek nélkül. Például számlálók, ADC, PWM.

Éppen ezért bizonyítva, hogy a tiszta hardvernek igenis van létjogosultsága, mi nem alkalmazunk az áramkörben ilyet. Az egyetlen előnye a mikrokontrolleres vezérlésnek az lenne, hogy egy tokban helyet kaphatna a vezérlés. A Step lábbal lehet megszakítást kérni, melyet a lekezelő interrupt vektor, attól függően, hogy a Dir láb jelenleg milyen állásban van, felhasznál egy belső számlálóciklus megfelelő irányú léptetésére.

2.7.1 A szükséges 10 kimenet, azaz miért nem elég 8 bit

Mivel a H-hidak vezérlésére 10 kimenetre van szükség, ezért adódik, hogy nem elegendő egy 8 bites port. Ahhoz, hogy a bit egyszerre kikerüljön, két 8 bites portot kell alkalmazni. Mivel a pineket csak portonként lehet vezérelni, ezért külön kell választani

az alsó, és a felső bitek vezérlését. 10MHz-es órajelet feltételezve, ideális esetben a kiírás egy ciklus alatt megtörténik, tehát az ehhez szükséges idő $1/10\text{M} = 100\text{ns}$. Ez az idő CNC esetében bőven megfelelő, ugyanis a maximális lépési frekvencia ideális esetben 10kHz körüli, tehát 1000-szeres ideje van váltani a kimenetet.

Alkalmazhatunk 16, vagy akár 32 bites processzort is, viszont ezek ára, ha nem Cortex processzorról van szó, nagyon magas, meghaladva bármely egyéb megoldás költségét.

Ez a 10 kimenet igénye ugyanúgy fennáll EPROM esetén is. Kevésbé elterjedt ugyan, viszont kapható (még) 16 bites EPROM, melyből számunkra csak az alsó 10 bitre van szükség.

2.7.2 Miért EPROM?

Olyan feladatot kell ellátni, ahol adva van 0-tól 19-ig egy érték, és erre 10 bites kimeneti kombinációkat kell generálni. Kombinációs hálózat alkalmazása lassú öngyilkossággal ér fel, ezért ezt az ötletet már az elején elvetjük. Multiplexerek alkalmazásával szintén megvalósítható kombinációs hálózat, ámde ezek alkalmazása az előzőével egyenértékű.

Végül az ideális megoldás, egy 16 bites EPROM alkalmazása.

Ennek követelménye, legalább 5 címző bemenet. Ilyen sajnos nincs, a minimális bemenet száma 8. Ez $(2^8) \cdot 16$ bit információt jelent, ami 4096 bit. Sajnos ilyen sem áll rendelkezésünkre. A minimális címzőbemenet szám 16. Ez $(2^{16}) \cdot 16$ bitnyi információt jelent, ami 1048576 bit, ez megfelel 1Mb-nak! Ez számunkra tetemes mennyiségű információ, melyből mindösszesen $20 \cdot 10$, azaz 200 bitre van szükségünk. A tárolási igény az 5000-ed része a rendelkezésre állóénak.

Nagy előnye az EPROM-nak, hogy a kimenet egyszerre változik, és a késleltetési idő akár 35ns alatt is lehet! Ezzel az alacsonykategóriás mikrovezérlők nem tudják felvenni a versenyt.

Az általunk választott típus a 27C1024. Ez rendelkezik 16 címzőbemenettel, és 16 bites kimenettel. A kezdeti próbálkozásokat egy törölhető változaton teszteltük, mely egy ST gyártmányú ablakos EPROM volt. A végleges programot már OTP, azaz One Time Programmable EPROM-ba égettük, ami csak egyszer írható, ezért üveglap sem található rajta, ezért nem szükséges kerámiatokozás használata. Ez egy Atmel gyártmányú AT27C1024.

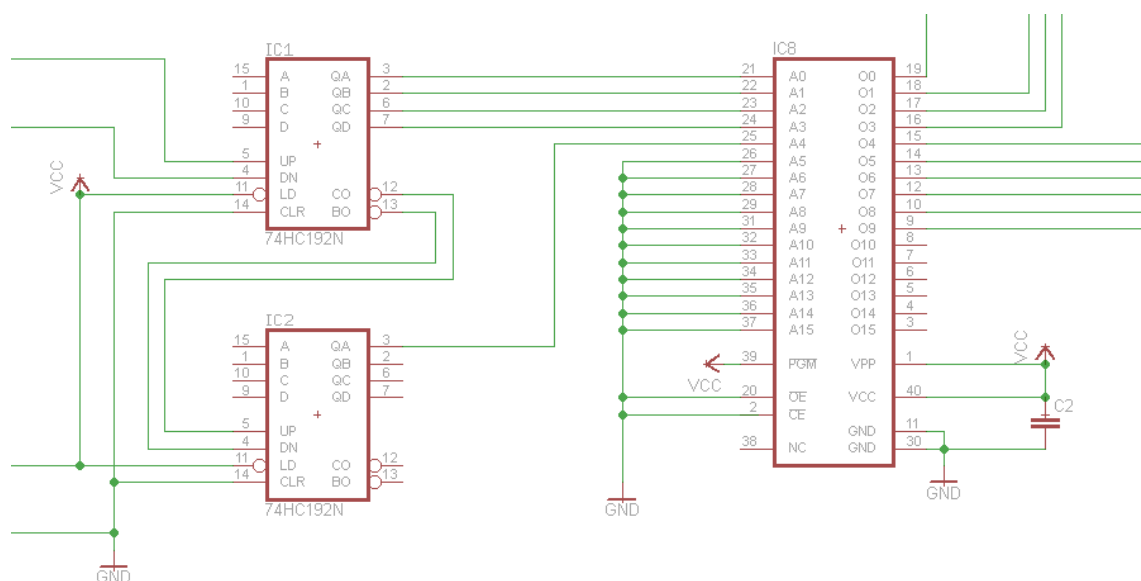
2.7.3 Az EPROM-ról általában

Az EPROM egy csak olvasható memória, mely memóriablokkok mátrixából áll. Belül egy dekóder kiválasztja az aktív sort, oszlopot.

Az írás folyamata

Az EPROM alapértelmezésben csupa „1”-eket tartalmaz, ezek írhatóak át 0-ba. Tehát ha 1-est akarunk, akkor nem kell tennünk semmit. A tárolás lebegőkapus tranzisztorokon történik. Ez egy kapacitást alkot a szubsztráttal, melyre töltéseket lehet vinni, feszültség segítségével. A programozó feszültség egy viszonylag magas, 13V körüli érték. Ez azért kell, hogy az elektronok képesek legyenek a lebegőelektródára átugrani. A beírás impulzusokkal történik, ugyanis lehetséges a túlírás. Ekkor az elektronok képesek, és átugranak a szomszédos cellákba. Ezáltal téves adat jelenik meg.

Különböző író-algoritmusok léteznek, mely gyártó, illetve típusspecifikus. Ezek általában úgy működnek, hogy beírja az adott cellát, majd megnézi, hogy ténylegesen értéket váltott-e. Ha nem, akkor újra megpróbálja írni. Ezt legfeljebb 25x végzi el. Ha sikerült, a programozó a tápfeszültséget leveszi 4,75V-ra, és megnézi így is olvasható-e a tartalom. A végén újraellenőrzi a teljes tartalmat.



8. ábra A számlálók és az EPROM kapcsolása

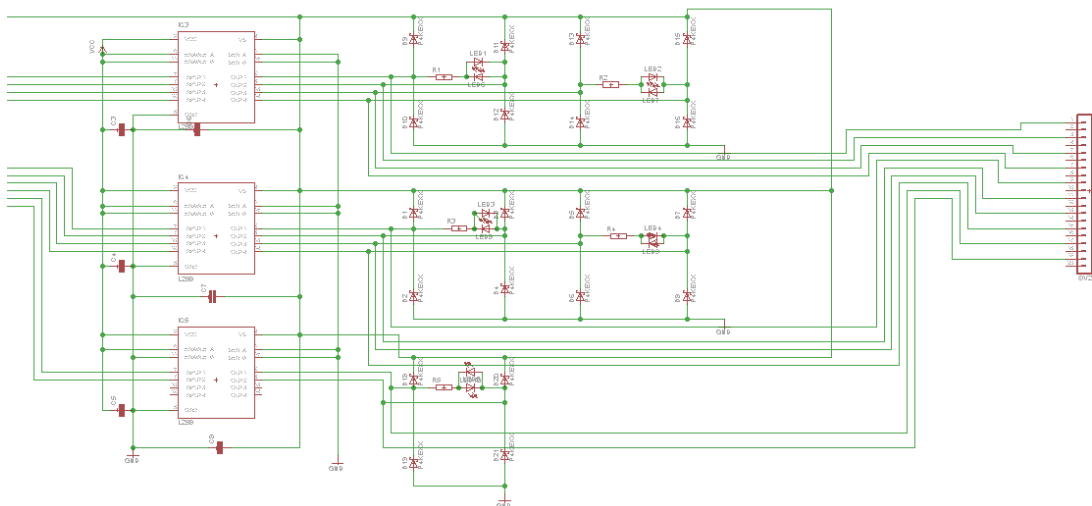
2.8 H-hidak

Mivel a léptetőmotorok 5 fázisú, bipoláris motorok, ezért meghajtásukra teljes hidak alkalmazása szükséges. 5 tekercs van, ezeknek mindegyik vége egy félhídhoz kapcsolódik. Ha a kapcsolóelemeket számoljuk, egy félhíd 2, egy tekercshez 4, és a

teljes motorhoz 20 kapcsolóelem szükséges. Itt még nincs kikötve, hogy bipoláris, vagy térvezérlésű eszközt alkalmazunk.

Lehetséges spórolni, ha totem-pole hidakat alkalmazunk, azaz az alsó, illetve felsőági eszköz is ugyanolyan típusú. Ennek vezérlése ugyan bonyolultabb, illetve szükséges előállítani egy, a tápfeszültségnél magasabb feszültségértéket.

Magyarországon kiskereskedelembe kapható eszközök ára, körülbelül 200 Ft körül van. Ebből 20 db szükséges, ezért $20 \cdot 200 = 4000$ Ft. Ezek ismeretében egy egyszerűbb alternatíva, a már készen a feladatra alkalmas vezérlő IC-k alkalmazása. Ezek tartalmazzák a szükséges vezérlőelektronikát, illetve a kapcsolóeszközöket. Legolcsóbb elérhető verzió, mely sajnos bipoláris, 1000 Ft körüli áron kapható. Ebben 2 teljes híd található, emiatt 3 IC-re van szükség. Ennek költsége körülbelül 3000Ft. Megspórolva a kiegészítő áramkörök értékét, ez tűnik a logikus választásnak. A 20 eszköz még nagyobb felületet is igényel. Ez a típus az ST gyártmányú L298. Nem tartalmaz belső lefajtá-diódákat, ezért ezeket nekünk kell mellékelni, szám szerint 20 darabot. Ezek lehetőleg Schottky diódák, a gyors működés, és az alacsony nyitófeszültség miatt. A választott típus 1N5822. Ez 3A 40V-ra minősített eszközök, 3A esetén 525mV nyitófeszültséggel rendelkezik. Lezárási árama 500nA.



9. ábra A H-hidak és diódáik bekötése

2.8.1. Az L298N H-híd és hűtése

A CNC gép léptetőmotorjainak meghajtásáról az L298N H-híd gondoskodik. Ez egy monolit technológiával elkészített integrált áramkör, mely viszonylag nagy feszültséggel is meghajtható, emellett a standard TTL jeleket képes kezelni.

Tokozás szempontjából a Multiwatt15 mellett döntöttünk, mivel ennek hátlapja a hűtőbordára megfelelően illeszthető.

A hűtés feladata nem elhanyagolható, hiszen az L298N nem a valamivel korszerűbb CMOS, hanem bipoláris tranzistorokból épül fel, melyeknél a disszipált hő elvezetésével mindenképp számolnunk kell az üzembiztos működés érdekében.

Bár léteznek modernebb motorvezérlő IC-k is, az L298N kedvező árával kiemelkedik a mezőnyből, bár teszi ezt némi megalkuvás árán. Az egyik a fent említett hűtés, a másik az, hogy a piacon kaphatóak már olyan motorvezérlő chipek, melyekbe a motor áramának „visszarúgásait” elvezető diódák is integrálva vannak.

Egy panelen három L298N található. Mivel három, ötfázisú léptető motort kell meghajtani a CNC marógép üzemeltetéséhez, az már háromszor három, kilenc L298N hűtésének megoldását teszi szükségessé.

Ezt a prototípusnál egyetlen nagy hűtőbordán oldottuk meg. Ez egy kellően nagy, sőt, valamennyire túlméretezett borda, robosztus, 20x20x5 cm-es fém, mely többszörösen is elegendő a 3 STEPDRV áramkör hídjainak hűtésére.

Amennyiben viszont a STEPDRV áramkört sikerül továbbfejlesztenünk, és világos megtalálható régi, ötfázisú léptetőmotorok hibás vezérlőinek cserealkatrészeiként kínáljuk a piacon, ki kell számítani, hogy három L298N hűtése milyen bordát igényel.

Ehhez szükséges, hogy kiszámítsuk az L298N hőellenállásait. A hőellenállás nevében nem véletlenül van benne az ellenállás, egy könnyen érthető villamosságtani analógiával nem nehéz kiszámítani a szükséges adatot.

Az adatok, amikre szükségünk van: a chip és a tokozás közti hőellenállás (R_{JC}), amit az L298N áramkör katalógusából tudunk kiolvasni, valamint a bipoláris tranzistorok kollektor-emitter feszültsége, ezt lemértük üzem közben, illetve a kollektor áram, melyet mi állítottunk be áramgenerátorral a szükséges értékre.

Fontos emellett, hogy mekkora az a hőmérséklet, amit az IC meghibásodás veszélye nélkül még el tud viselni (ez szintén kiolvasható a katalógusból), valamint a műhely legmagasabb hőmérséklete, ahol ezzel az áramkörrel CNC gépet hajtani fognak.

A katalógus szerint a chip és a tokozás közötti hőellenállás 3 K/W, a kollektor-emitter feszültség 4 V, az áramgenerátoron pedig 2,5 A kollektoráramot állítottunk be. Az IC által elviselhető legmagasabb hőmérséklet 130 Celsius fok, a műhely (a környezet) legmagasabb hőmérsékletét 30 Celsius foknak vettük, hiszen ennél magasabb hőmérsékleten a hőtágulás hatása már nem elhanyagolható, és a marás pontossága nagyban csökken. Természetesen, ha a leendő vásárló tisztában van vele, hogy a műhelyében 30 Celsius foknál magasabb lehet a hőmérséklet, úgy az alábbi számítás segítségével könnyedén számolhat magának hűtőborda hőellenállást:

Az L298N hőellenállás számítása

$$R_{JC} = 3 \text{ K/W}$$

$$U_{CE} = 4 \text{ V}$$

$$I_C = 2,5 \text{ A}$$

$$T_{\max} = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{A\max} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{TOT}} = U_{CE} * I_C = 4 \text{ V} * 2,5 \text{ A} = 10 \text{ W}$$

$$R_{HA} = (T_{\max} - T_A) / P_{\text{TOT}} - R_{JC} = (130^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}) / 10 \text{ W} - 3 \text{ K/W} = 7 \text{ K/W}$$

A villamos analógia alapján a három IC együttes hűtése esetében a 3 IC együttes R_{HA} -ja
 $= R_{HA} \times R_{HA} \times R_{HA} = 2,33 \text{ K/W}$

$$R_{HA \text{ borda}} \leq 2,33 \text{ K/W}$$

Ezen számítás eredményei alapján a következő hűtőborda jöhet szóba:



10. ábra ZH-753/200/AL hűtőborda

Mivel némi megmunkálással ez a dióda alkalmassá tehető a Multiwatt15 tokozáshoz illesztésre, és a hőtelvezője is bőven megfelelő, ezért választottuk ezt beépítésre.

3. Tervezett továbbfejlesztések

3.1 A CMOS technológiában rejlő lehetőségek

A legjobb alternatíva a bipoláris technológiát kiváltani tervezérlésű eszközökkel, melyek disszipációja a töredéke az előbbiének, ezért gyakorlatilag nem igényel hűtést. Ez már gyártástechnológiából adódóan tartalmaz belső védődiódákat, ezért ezeket sem kell mellérakni. Ezek ára 2000Ft körüli, viszont figyelembe véve, hogy nem igényel hűtést, és diódákat, ez egy korszerűbb alternatíva.

A MOSFET előnye még bipoláris társához képest, hogy a csatornaellenállása pár mOhm, mely 3A-t feltételezve 100mV körüli feszültségesést jelent. Bipoláris esetben ez a 3-4V-ot is eléri, melynél 12W teljesítmény disszipálódik.

3.2 A CPLD, mint az EPROM alternatívája

Mivel az EPROM beszerzése napjainkban nem problémamentes, s a boltokban fellelhető IC-k árában is megmutatkozik ez, felmerült az igény az EPROM korszerűbb megoldásra cserélésére.

Egy CPLD (Complex Promramable Logic Device) kiváltaná az EPROMOT, valamint a dekád számlálókat, és a NAND kapus csatoló konvertert is. Egy CPLD ára körülbelül harmada az EPROM-énak, ezáltal a jövőbeni fejlesztések során további költségcsökkentés érhető majd el.

3.3 Konfigurálhatóság, komplett CNC vezérlés üzemmód

Mivel egy ilyen kártyánál 3 dupla H hidat használunk, kézenfekvőnek tűnik a lehetőség, hogy egy komplett, bipoláris léptetőmotorokkal rendelkező CNC gépet, mindhárom tengelyen vezérelhessük. A 12 pólusú csatlakozó tűszáma elég hozzá, plusz csatlakozó legfeljebb az esetleges USB kapcsolat számára lehet szükséges.

Az USB-n keresztül a felhasználó a végsőkéig módosíthatja a CPLD programját, de az ennyire hozzá nem értők számára is adódhat konfigurálási lehetőség, mégpedig jumperen keresztül, egy jumper állásával beállítható, hogy egy darab, ötfázisú, vagy három darab bipoláris motor hajtható meg a STEPDRV2 áramkörrel.

4. Gazdasági lehetőségek

Napjainkban már kifutóban vannak a többfázisú léptetőmotorok a CNC – és minden más – alkalmazások területéről. Így a korábban a bipoláris motorosoknál sokkal drágább, összetettebb felépítésű, pontosabb, ötfázisú léptetőmotoros gépek most azoknál jóval alacsonyabb áron kaphatóak használtan, aminek egyik oka a modernebb, egyszerűbb felépítésű, hatékonyabb elektronikával kompenzált pontosságú, bipoláris léptetőmotoros gépek térhódítása.

A másik ok viszont a régi, ötfázisú motoros gépek meghibásodása esetén jelentkező probléma az alkatrészek pótlása terén. Ezen gépek gyártói nem, vagy alig gyártanak ma már pótalkatrészeket ezekhez a gyakran több évtizedes kort megélő gépekhez, hiszen az olykor kötelezően vállalt támogatási idő megszűnt, s a gyártók érdeke az, hogy a

felhasználók megvásárolják a drága, újabb modellt, ahelyett, hogy olcsó cserealkatrészek vásárlásával életben tartásuk régi gépüket.

Mivel a mechanikai alkatrészek robusztusságukból adódóan igen tartósak, az esetek többségében nem is ezekkel gyűlik meg az üzemeltetők baja, hanem az elektronikával. Egy ötfázisú motor vezérlőkártyájának ára több tízezer forint magasságában mozog, és ezeket Kínából, vagy Hong Kongból kell behozatni, s az azzal járó adminisztráció, valamint a termékkel kapcsolatos reklamációk érvényesítése nem kevés gonddal jár.

Ezen kívül a STEPDRV áramkör fellendíthetné a gépészetet hobbijuknak tekintők tevékenységét, hiszen „kibelezett” gépekhez viszonylag olcsón hozzá tudnak jutni, s az általunk tervezett áramkört áron alul hozzávásárolva komplett, nagytudású és pontos géppel tudnák hobbijukat gyakorolni

Ezt, amit akár piaci résnek is nevezhetünk, figyelembe véve alkottuk meg a STEPDRV áramkört.

4.1 A továbbfejlesztésből adódó lehetőségek

Mivel a STEPDRV áramkörben három darab kettős H-híd IC található, ezért – mint korábban írtuk – alkalmassá tehető lenne megfelelő átalakítások után egyetlen ilyen kártya egy komplett, bipoláris léptetőmotorokkal rendelkező CNC gép mindhárom tengelyének a meghajtására. A továbbfejlesztések irányát ez is meghatározza.

Az L298N IC-t helytakarékosabb, nagyságrendekkel alacsonyabb disszipációjú, korszerűbb CMOS integrált áramkörre lehetne cserélni, így felszabadítva sok helyet a kártyán.

Ez elengedhetetlen lenne ahhoz, hogy a kártyánk mérete körülbelül ugyanekkora – ha nem kisebb – maradjon, és mégis legyen elég hely a csatlakozók – a három tengely miatt – megnövekedett számának.

Figyelembe vettük a felhasználó általi minél egyszerűbb konfigurálhatóságot is, a számítógépes beállításhoz kevésbé értők jumper segítségével választhatnának üzemmódot (ötfázisú/komplett bipoláris), míg azok, akik jobban el kívánnak mélyedni a STEPDRV2 programozásában, számítógép segítségével a legmélyebb szintekig konfigurálni tudják a kártyát.

4.2 Piaci lehetőségek

A STEPDRV, majd később a STEPDRVx család értékesítésére több lehetőség is adott, melyek megtervezésénél elsősorban az internetes lehetőségekre koncentráltunk, egyrészt mivel azok, akiknek a STEPDRV alaptípusára szükségük van, nincsenek többen globálisan pár száznál, másrészt a STEPDRV2 reményeink szerint fel tudná venni a versenyt árban a világpiacon kapható alsókategóriás CNC vezérlők jórészeivel, így az iránta való potenciális érdeklődés szintén globális.

A jelenleg hódító értékesítési trendek alapján három módszert találtunk alkalmasnak esetünkben.

4.2.1 Nyílt hardware-es értékesítés

Az egyik, hogy a kártya hardware-ét nyílttá tesszük, a kapcsolási rajzot, a nyomtatott áramköri ábrát az interneten, egy erre a célra létre hozott honlapon közzéteesszük, s csak az EPROM-ba, vagy CPLD-be írandó programot tesszük fizetőssé.

Ennek legnagyobb előnye, hogy nem kell a termék gyártására erőforrásokat elkülönítenünk, a programot egyszer kell feltenni, és a fizetős hozzáférést megtervezni. A legkisebb tőkebefektetéssel ez valósítható meg, s a szoftver ára így viszonylag könnyű pénznek ígérkezik.

Hátrány viszont, hogy a szoftver kalózkodás elleni védelme nehezen megoldható, főként a programok mindenkori egyszerűségéből adódóan.

A nyílt hardware-es értékesítést több cég is sikeresen alkalmazza, a mindenki által jól ismert Arduino kapcsolási rajza, nyomtatott áramköri ábrája is nyíltan elérhető, ők azonban főként a kiegészítők, perifériák révén termelnek nyereséget.

4.2.2 A kit-ben történő szállítás

A – főként hobbi célú - elektronikai árucikkek internetes kereskedelmében régóta bevett gyakorlatnak számít, hogy a megrendelt áramkört összeszeretlenül küldik ki a vevőnek.

Ez feltételez a vevő részéről némi forrasztási gyakorlatot, ami a hobbielektronika világában nem ritka, valamint legalább alapfokú hozzáértést, hogy a beültetési rajz alapján képes a vásárló összerakni, beforrasztani az áramkör minden elemét.

A kit-ben történő szállítás előnye, hogy nem szükséges energiát és tőkét fektetni az összeszerelésbe, elég a (szükség esetén felprogramozott) hozzávalókat becsomagolni, s az előre legyártott, vagy legyártatott NYHL-lel postára adni a megfelelő címre.

Hátránya, hogy így alacsonyabb árréssel értékesíthető a termék.

4.2.3 A teljesen összeszerelt kártya értékesítése

A legáltalánosabb, és elsőre legkézenfekvőbb megoldás az internetes értékesítésnek a teljesen összeállított, felprogramozott kártya árusítása.

Ennek előnye, hogy a legnagyobb árréssel bonyolítható az értékesítés, hátránya azonban, hogy a magyar munkaerő jóval drágább a távol-keletinél, s így kevésbé lehet versenyképes a végfelhasználói ár.

A forrasztáshoz, otthoni, önálló építéshez kevésbé értők számára viszont ez lehet a legoptimálisabb ajánlat, természetesen, csak amennyiben sikerül a végfelhasználói árat kellően alacsonyan tartani.

Az értékesítéshez a legcélszerűbb felület mindenképpen az ebay.com, valamint a hazai árusításhoz a vatera.hu, bár az itthoni eladások feltehetően meg sem közelítenék a külföldi eladásokat.

Az ebay.com előnye, hogy a világon mindenkit elérhetünk vele, aki csak potenciális vásárlónk lehet.

4.3 A piaci szintér

4.3.1 A STEPDRV alapmodell távol-keleti konkurenciái

A STEPDRV alapmodell konkurenciája jelenleg egyedül az ebay.com alapján az ORIENTAL MOTOR nevű gyártó VEXTA termékcsaládja lehet.

Ezeknek a vezérlőknek a többségét Japánban gyártották, minőségük megfelelő mind az ipari, mind a hobbi jellegű felhasználásra. Igényesen dobozolva szállítják őket, többségükben postaköltség felszámolása nélkül. Üzemi jellemzőiket tekintve széles skálára terjednek ki, ez megmutatkozik a termékek árában is. Hátrányuk az áruk, mely 15 ezer forinttól (leharcolt állapot, nincs dobozolva, nincs tesztelve) az 50 ezres nagyságrendig terjed, sokszor azonban a legdrágább daraboknál is írja az eladó, hogy használt termékről van szó, s ez meg is látszik az állapotukon, s a kártya tesztelése sem megoldható.

Az ORIENTAL MOTOR VEXTA családján kívül csak néhány, szintén használt állapotú vezérlő kapható, szintén a 30-50 ezer forintos árkategóriában.



11. ábra ORIENTAL MOTOR 5 PHASE CSD5814N-T DRIVE CONTROL BOARD, használt, ára 19,866 HUF



12. ábra SUPER VEXTA ORIENTAL MOTOR UDK5114N-M DRIVER CONTROLLER 5-PHASE 4.8A, ára 33,569 HUF

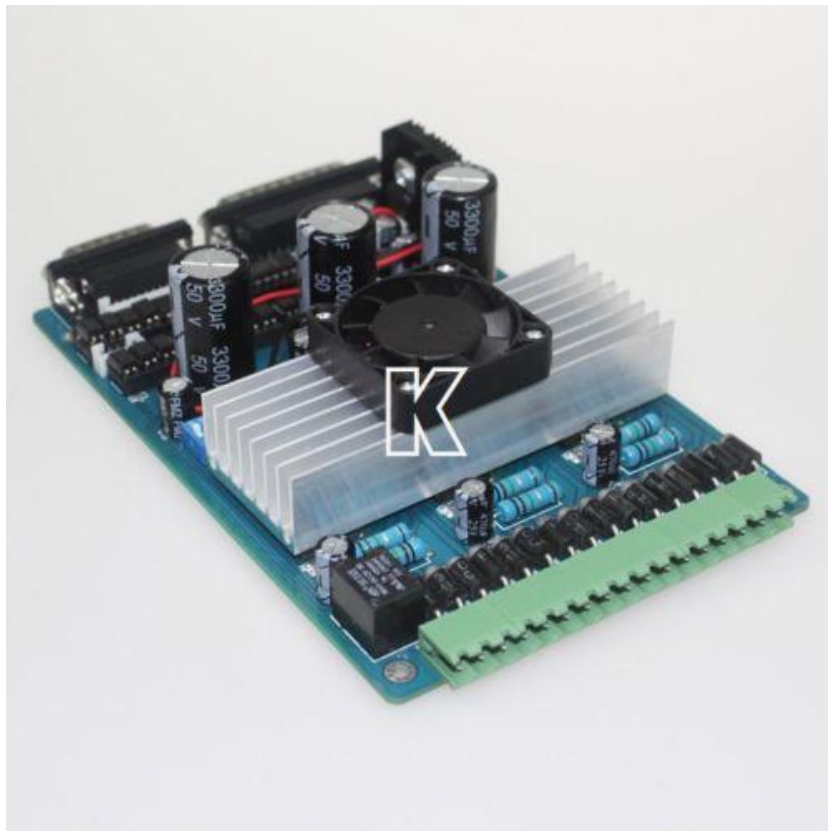
4.3.2 A STEPDRV2 lehetséges konkurenciái

Háromtengelyű CNC motorvezérlőkből már jóval nagyobb, jóval korszerűbb a választék. Mivel ezeket a termékeket nagyobb mennyiségekben tudják a Távol-Keleten

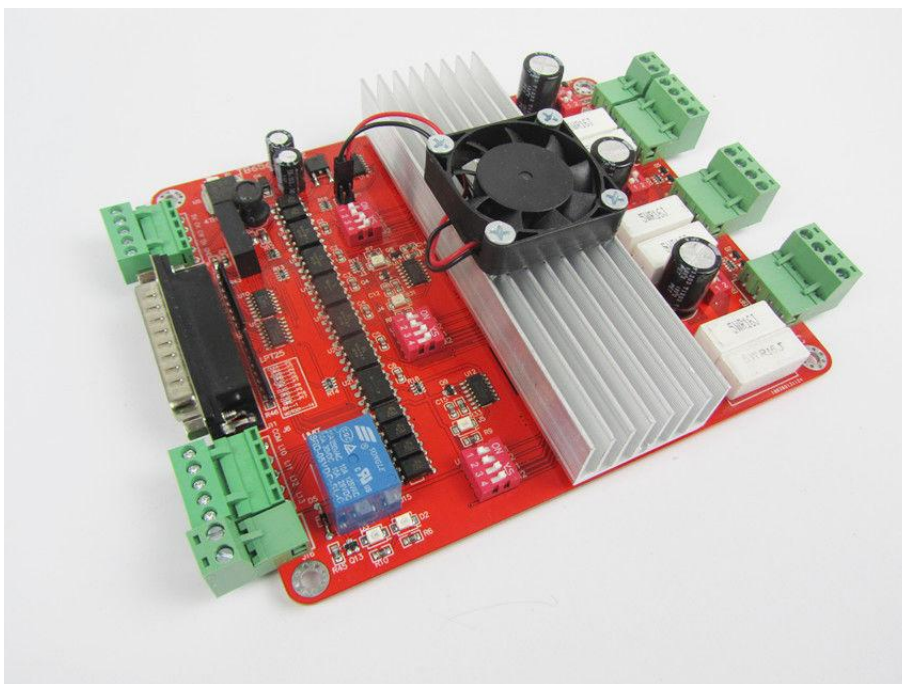
gyártani, így nagyságrendekkel olcsóbban megvalósítható az egyszerű, 3 tengelyt kezelő vezérlőkártyák sorozatgyártását.

Amiben a STEPDRV2 felveheti a versenyt ezekkel a kártyákkal, az a nagyfokú konfigurálhatóság, a kétféle üzemmód (egy ötfázisú motoros CNC-gép bipoláris motoros marógépre cseréje után is van a vevőnek egy használható vezérlőáramköre), valamint az igényes összeállítás, válogatott alkatrészforrások.

A legolcsóbb ilyen kártya 9000 forintba kerül behozatallal együtt, a következő legolcsóbb viszont 13000 forint postaköltséggel. Ez az az ár, amit talán minden, minőségromlással nem járó költségoptimalizálással el tudnánk érni, s akkor a STEPDRV2 is egy versenyképes kártya lehetne.



13. ábra A legolcsóbb 3 tengelyű kontrollerek kártya



14. ábra A második legolcsóbb kontrolller kártya

4.4 Gyártási költségek

Az, hogy egy termék sikeres lehet-e, jórészt azon múlik, hogy a megfelelő üzembiztosság, minőség megtartása mellett mennyire sikerül optimalizálni a gyártási költségeket.

A STEPDRV alapmodell tervezésénél maximálisan erre törekedtünk. Árjajánlatokat kértünk több nagy NYHL gyártó cégtől¹, hogy a lehető legmagasabb minőségű kártyára építkezhessünk. Végül az MMAB Group Kft. ajánlata bizonyult a legkedvezőbbnek², ahol ráadásul biztató, hogy svéd gyártmányú NYHL-t építhetünk a kártyába kínai helyett.

A többi alkatrésznél kikerestük, mely cégek árulják az adott alkatrészt a legkedvezőbb áron.

Alkatrész	Darabszám	Forrás	Egységár (Ft)	Összár
MSTBA 12 csatlakozóaljzat	1	RS-Online	562	562
MSTBA 5 csatlakozóaljzat	1	Elektrokontha	307	307
1 N 5822 Schottky dióda	20	HEStore	37	740
L298N	3	HEStore	651	1953
El. Kondenzátor 100uF 25V	6	HEStore	10	60

¹ Hitelap International Zrt, MMAB Group Kft., Eurocircuits

² 100 db NYHL rendelése esetén az egyedi kártyaár :1,15 USD/db (kínai gyártással kb.: 0,9 USD /db) és a tooling 120 USD,a szállítás pedig 50 USD. Ezekből az egy darabra vonatkoztatott ár 2.85 USD/db.

El. Kondenzátor 47uF 100V	1	HEStore	1	1
Ellenállás 6,2k	2	HEStore	3,1	6,2
Ellenállás 1,2k	6	HEStore	3,1	18,6
DIL14 socket	1	HEStore	12	12
DIL16 socket	2	HEStore	15,75	31,5
DIL40 socket	1	HEStore	27,56	27,56
LED zöld 3mm	5	HEStore	14	70
LED piros 3mm	5	HEStore	13,54	67,7
LED piros 5mm	1	HEStore	8,65	8,65
Hűtőborda	1	HEStore	2844	2844
HCF40192BE	2	Elektrokontha	156	312
HEF4011BP	1	HQ Elektronika	159,36	159,36
AT27C1024 EPROM	1	Epromírók	1325	1325
NYHL	1	MMAB Group Kft.	655	655

Nettó összár (Ft)	9160,57
Bruttó összár (Ft)	11633,92

Látható, hogy a STEPDRV alapmodell előállítási költségei olyan alacsonyok, hogy amennyiben húszezer forintért árusítanánk, ami igen nagy haszonkulcsot jelentene, még úgy is versenyképes lenne a kínai versenytársakkal szemben, s ez a tény megerősíteni látszik a feltevésünket, hogy a STEPDRV motorvezérlő áramkör alapmodelljének helye lenne a piacon.

Amennyiben ezt továbbfejlesztve kiegészítenénk egy 3 tengelyű CNC vezérlő funkcióval, úgy a CPLD kiváltaná a HCF40192BE, valamint a HEF4011BP IC-ket, valamint az EPROM-ot. A CPLD alacsonyabb ára miatt a továbbfejlesztett STEPDRV2 áramkörnél nemcsak, hogy sikerülne elkerülni a költségnövekedést, de további költségcsökkentés válna lehetővé, ami vagy megjelenne a fogyasztói árban, vagy a gyártás minőségének növelésére fordítódna.

5. Konklúzió

A STEPDRV léptetőmotor vezérlő áramkör megalkotásánál az volt a célunk, hogy a nemzetközi piac egy magyar gyártmányú, minőségi termékkel gazdagodjon, mely számos továbbfejlesztési lehetőséget rejt magában. A kártyánál – a technikai paraméterekről nem is beszélve - fontos vonzerő lehet a minőségi alkatrészfelhasználás, valamint a hazai, európai szervizlehetőség.

A STEPDRV áramkörrel megmutattuk, hogy elavult, vagy elavulófélben lévő technikával is lehet újszerűt alkotni, gondolunk itt az EPROM-os vezérlés ns-os nagyságrendbe eső válaszüdejére, valamint a mikroprocesszor nélküli digitális vezérlés megbízhatóságára, lefagyástól való védettségére. Bár a sorozatgyártás szempontjából az alkatrész-beszerzés miatt a CPLD jobb választás lesz nagyobb tételű gyártásnál, bebizonyosodott, hogy az EPROM-nak is lehet még keresnivalója egy vezérlésben.

Felhasznált irodalom:

1. 2-phase vs. 5-phase Stepper Motors

<http://www.orientalmotor.com/technology/articles/2phase-v-5phase.html> (Utolsó letöltés: 2014.04.07.)

2. A méret igenis számít, avagy mekkora hűtőbordát vegyek?

http://www.hobbielektronika.hu/cikkek/a_meret_igenis_szamit_avagy_mekkor_huto_bordat_vegyek.html (Utolsó letöltés: 2014.04.07.)

3. E-kereskedelem

<http://hu.wikipedia.org/wiki/E-kereskedelem> (Utolsó letöltés: 2014.04.07.)

4. Epromírók

http://www.epromirok.hu/index.php?route=product/product&product_id=132 (Utolsó letöltés: 2014.04.07.)

5. HESore.hu

<http://www.hesore.hu/> (Utolsó letöltés: 2014.04.07.)

6. HQ Elektronika

https://www.hqelektronika.hu/product/4011_hef4011bp (Utolsó letöltés: 2014.04.07.)

7. KONTAELEKTRO Kft. Webáruház

<http://aruhaz.elektrokontha.hu/> (Utolsó letöltés: 2014.04.07)

8. L298 Datasheet

https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf (Utolsó letöltés: 2014.04.07.)

9. Léptetőmotorok alapjai, működésük

http://qtp.hu/elektro/leptetomotor_mukodese.php (Utolsó letöltés: 2014.04.07.)

10. Lomex Webáruház

<http://lomex.hu/hu/webshop/#/page,0> (Utolsó letöltés: 2014.04.07.)

11. Napiárfolyam³

<http://napiarfolyam.hu/%C3%A1rfolyam/Amerikai+Doll%C3%A1r/valuta/> (Utolsó letöltés: 2014.04.07.)

12. RS-Online Webáruház

<http://hu.rs-online.com/web/p/nyak-csatlakozok/1896183/> (Utolsó letöltés: 2014.04.07.)

³³ AZ MMAB Group Kft. árajánlatának átváltására a 2014. április 7-ei árfolyam alapján.

13. What is a Stepper Motor? Stepper Motors: Multiphase Motors

<http://www.amci.com/tutorials/tutorials-what-is-stepper-motor-6.asp> (Utolsó letöltés:
2014.04.07.)