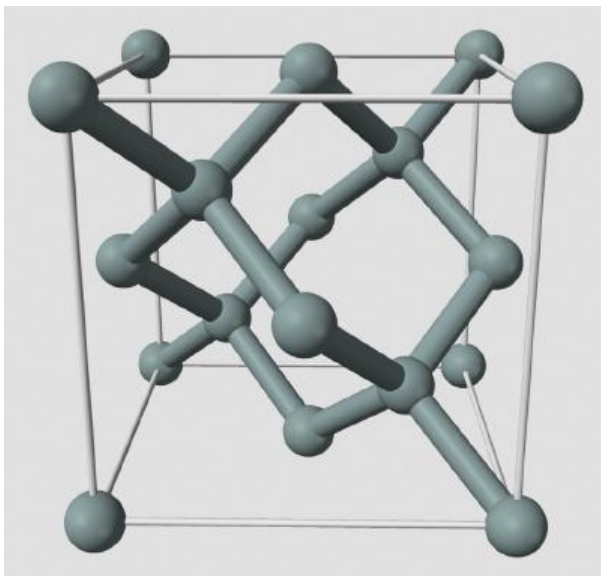


Félvezetők

A dióda olyan nemlineáris kétpólus, amely első közelítésben jellemzően egyenirányítóként működik, azaz az egyik irányban vezeti az áramot, a másik irányban gyakorlatilag nem. A dióda régebben vákuumcső (elektroncső) technológiával készült, napjainkban szinte kizárólag félvezető diódát használunk (korábban germánium, ma főleg szilícium alapanyag, illetve fénykibocsátó diódákhoz gallium-arsenid és egyéb összetett félvezetők). A továbbiakban a félvezető elektronikával foglalkozunk. A diódák működési elve alapul szolgál az összetettebb félvezetők (tranzisztor, tirisztor, stb.) megértéséhez is. A félvezető eszközök kifejlesztéséhez és mélyebb megértéséhez a kvantumfizika eszközei voltak szükségesek. A mélyebb kvantumfizikai levezetésektől jelen írásban eltekintünk a gyakorlati működés ismertetésének javára.

A félvezetők olyan anyagok, amelyek vezetőképességük alapján a vezetők és a szigetelők között helyezkednek el. Jellemzően kovalens kötést alkotnak, így pl. a szilícium és a germánium négy vegyértékű, amelyből mind a négy elektron kötésben vesz részt, ezért alapesetben nem jó vezetők. A vegyértéksáv és a vezetési sáv között lévő ún. tiltott sáv (bandgap, forbidden gap) elég kicsi ahhoz, hogy a hőmérséklet növekedtével néhány elektron átkerülhessen a vezetési sávba. (A fémeknél a vegyértéksáv és a vezetési sáv átfed, ezért jó vezetők; a szigetelőknél nagy a tiltott sáv.) Idegen atomokkal való adalékolással (angolul doping) a félvezetők vezetőképessége nagymértékben javítható, és ezzel érjük el a "különleges képességeiket" is.



1. ábra: Szilícium és germánium kristályszerkezete

A szilícium 4 vegyértékű félfémes elem. A Föld anyagában a második leggyakoribb az oxigén után, de tiszta állapotában nem fordul elő (többnyire oxidált állapotban, lásd kvarc, homok). A szilícium (a szénhez és germániumhoz hasonlóan) gyémántszerkezetben kristályosodik (a félvezetőgyártás egyik fontos problémája az ún. egykristályok gyártása, vagyis a minél nagyobb és minél kevesebb rácshibával rendelkező kristályok növesztése). Mivel mind a négy vegyértékelektronja kapcsolódik egy-egy szomszédos atomhoz, nem marad elektronja a vezetési sávra, így alapesetben rosszul vezet. A hőmérséklet hatására viszont egyes elektronok átkerülhetnek a vezetési sávba, tehát a hőmérséklet növelésével nő a

szabad töltéshordozók száma (azonban a töltéshordozók mozgékonyasága csökken).

A félvezetőket idegen atomok beépítésével adalékoljuk. Már ezred százaléknyi idegen anyag bevitele is tízezerszeresére javíthatja a vezetőképességet. A négy vegyértékű félvezetőt többnyire 3 és 5 vegyértékű anyagokkal adalékoljuk. (Vannak más típusú félvezetők is, ezekről később szólunk.)

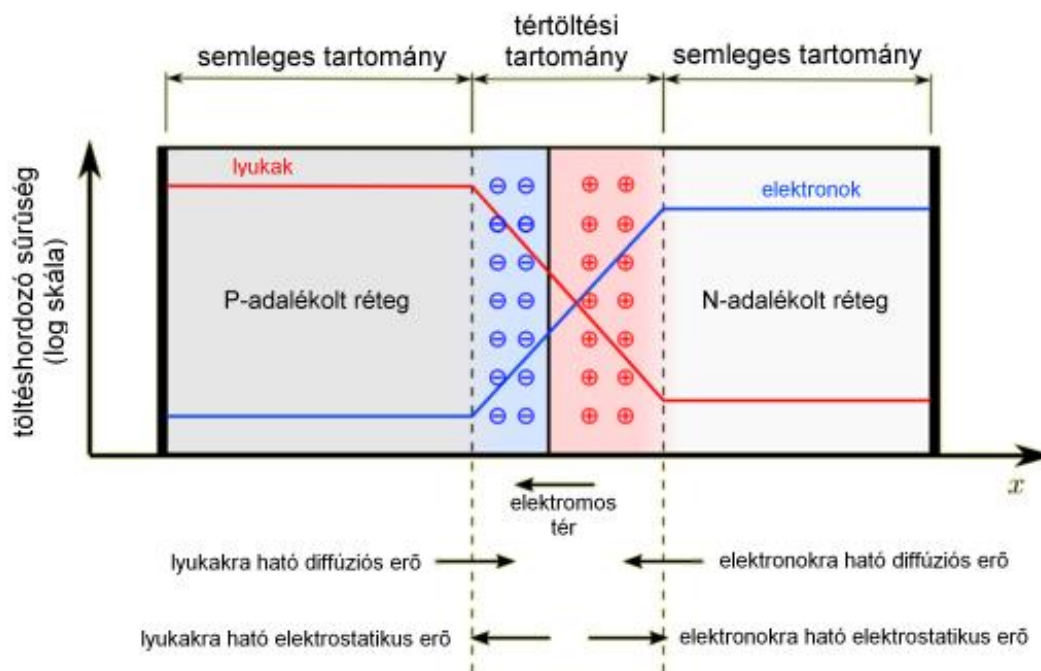
Egy 3 vegyértékű atom (pl. bór, alumínium) három elektronja kovalens kötést létesít a szomszédos szilíciumatomokkal, a negyedik kötéshez azonban hiányzik egy elektronja. Az idegen atomunk azonban "szeretne" a befogadó anyag rácsszerkezetébe "beilleszkedni". (Megj. a kvantumfizikai magyarázatok elkerülése érdekében egyfajta megszemélyesítést használunk; a valóságban ezeknek megvan a bonyolultabb fizikai leírása.) Ilyenkor egy szomszédos atomtól tud elvenni elektront, aminek helyén "lyuk" keletkezik, ami pozitív töltésként viselkedik (elektronhiány). Ezt a lyukat aztán egy megint másik atom elektronja tudja betölteni, akkor ott keletkezik lyuk, és így azt mondhatjuk, hogy a lyuk vándorol a rácspan, pozitív töltéshordozóként viselkedik. Az így adalékolt anyagot P-típusú félvezetőnek nevezzük, az adalékanyagot pedig akceptornak (mert elektront vesz fel, akceptál).

Egy 5 vegyértékű atom (pl. foszfor, arzén) elektronjaiból négy kovalens kötést létesít a kristályrács szilíciumatomjaival, az ötödik elektron azonban nem tud, így már szobahőmérsékleten is könnyen kiszabadul a vegyértéksávból, és a vezetési sávba kerül, tehát negatív töltésű töltéshordozóink lesznek. Az így adalékolt anyagot N-típusú félvezetőnek nevezzük, az adalékanyagot pedig donornak (mert elektront ad, donál).

A PN-átmenet

A félvezető dióda készítésekor egy szilícium lapkán egymás mellé egy P és egy N típusú tartományt hoznak létre, egy ún. PN átmenetet (angolul PN junction). A P rétegben pozitív töltésű lyukak, az N rétegben negatív töltésű elektronok a töltéshordozók. (Az ilyen szerkezetben ha egy irányba folyik az áram, akkor az azt jelenti, hogy az egyik irányba mennek az elektronok, az ellenkezőbe a lyukak. A konvencionális áramirány a pozitív töltésé, tehát a rajzokon jelölt irányba haladnak a lyukak, az ellenkezőbe az elektronok, de ez mind ugyanaz az áram.)

A töltéshordozók külső feszültség híján rendezetlen mozgást végeznek a félvezetőn belül. A két réteg találkozásánál az egyik részből átléphetnek a másikba. Ha egy elektron az N tartományból átkerül a P tartományba, akkor ott nagy eséllyel beugrik egy lyuk helyére (hiszen ott egy atomnak "elektronhiánya" volt). Ekkor az elektron (és az előtte ott lévő lyuk) megszűnik szabad töltéshordozónak lenni. Ha egy akceptor (szennyező) atomhoz ugrott be, akkor az az atom innentől negatív töltésű lesz (hiszen eredetileg 3 vegyértékű volt, vagyis 4 elektronnal felszerelve 1 negatív töltése lesz). (Ha szilícium atomhoz ugrott be, akkor is ugyanott vagyunk, a szilícium visszaáll semlegesre, azonban az ő elektronját korábban egy akceptor "elvette".) Hasonlóan, az N tartományból az elektron eljött, tehát ott is csökkent a szabad töltéshordozók száma, és az ottani donor atomok pozitív töltésűvé válnak (hiszen eredetileg 5 elektronjuk volt, abból elvesztettek egyet). Így a P tartományban negatív, az N tartományban pozitív töltésű ionok lesznek az adalékatomokból, a határréteg közelében. Fix töltések (az ionok helyhez kötöttek) ilyen elrendezése elektromos teret kelt (E vektor), ami a pozitív töltéstől mutat a negatív fele. Az elektromos tér jellemzője, hogy erővel hat a töltésekre; a vektor iránya mutatja a pozitív töltésre ható erő irányát, az ellenkező irányba hat a negatív töltésekre: $F=Q \cdot E$



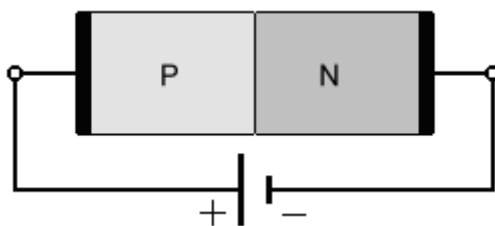
2. ábra: Hőmérsékleti egyensúlyban lévő PN-átmenet

Az így kialakult elektromos tér meggátolja, hogy további elektronok és lyukak tudjanak áthaladni a határon (hiszen pont ellenkező irányba küldi őket, az elektronokat vissza az N tartomány felé, a lyukakat vissza a P tartomány felé). A középben kialakult réteget kiürített rétegnek illetve tértöltési tartománynak (angolul "space charge region") is nevezik (előbbinek a mozgó töltéshordozók hiánya miatt, utóbbinak a kialakult elektromos tér miatt). A rajta kialakult elektromos tér tehát nehezíti a töltések áramlását.

Külső feszültség hiányában a PN-átmeneten az ún. diffúziós és az ún. drift áram kiegyenlíti egymást, az eredő áram nulla. A diffúziós áramot a töltéshordozók koncentráció-különbsége okozza (a nagyobb koncentrációjú helyről a kisebb koncentrációjú felé mozognak). Jelen esetben a többségi töltéshordozók (P-rétegben a lyukak, N-rétegben az elektronok) egy kis része nagy energiája folytán átjut a kiürített réteg potenciálgátján, ez adja a diffúziós áramot. Drift áramnak a töltéshordozóknak elektromos tér hatására történő mozgását hívjuk. Jelen esetben a tértöltési tartomány térerőssége a többségi töltéshordozók számára akadály, a kisebbségi töltéshordozókat (P-rétegbeli elektronok, N-rétegbeli lyukak) viszont N->P irányban gyorsítja, ez lesz a drift áram.

Nézzük meg, mi történik, ha külső feszültséget kapcsolunk a PN-átmenetre.

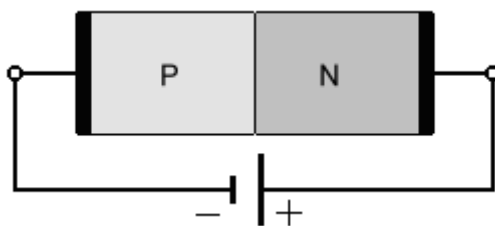
Nyitóirányú előfeszítés:



3. ábra: Nyitóirányú előfeszítés

Ha az N-tartományra a negatív, a P-tartományra a pozitív sarkot kapcsoljuk, akkor nyitóirányú előfeszítésről beszélünk. Ekkor az elektronokra olyan erő hat, ami a kiürített réteg felé taszítja őket, a lyukakra pedig olyan erő, ami szintén a kiürített réteg felé irányul. Ha elég nagy a feszültség, akkor a töltéshordozók beljebb tudják nyomni a kiürített réteg határait, ezáltal lecsökken annak a vastagsága és tere. Ha elég kicsi lett, a töltések már könnyen át tudnak hatolni ezen a rétegen, a PN átmeneten a külső feszültséggel exponenciálisan megnő a diffúziós áram, pár tized volt felett meredeken nő a P->N irányú áram.

Záróirányú előfeszítés:



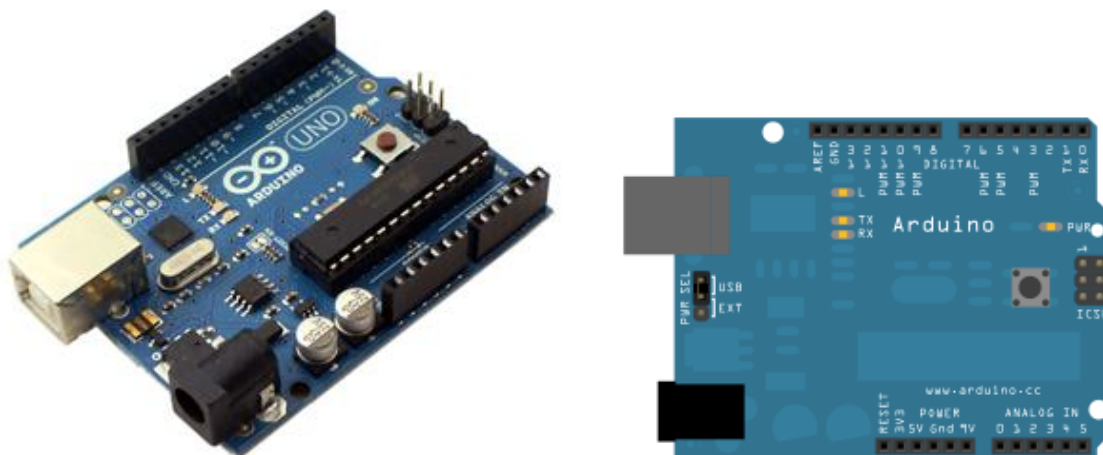
4. ábra: Záróirányú előfeszítés

Ha fordított feszültséget kötök a PN átmenetre, akkor a pozitív potenciál az elektronokat elvonzza a kiürített réteg közeléből, a negatív pedig a lyukakat, így a kiürített réteg vastagsága nőni fog (nem maradnak középen töltéshordozók). Ekkor olyan vastag a kiürített réteg, hogy nem tud diffúziós áram folyni rajta keresztül, csak a kisebbségi töltéshordozók drift árama, ami nagyon kicsi - szilícium diódáknál pA-nA nagyságrendű - tehát a PN-átmenet árama ilyenkor jó közelítéssel nulla, az átmenet lezár.

Ha azonban záróirányban nagyon nagy feszültséget kötünk rá (letörési feszültség), akkor a Zener- illetve a lavinahatás miatt itt is megindul a vezetés. Az egyenirányítás céljára készített diódáknál ez a letörési feszültség nagyobb kell, hogy legyen, mint a bemenő feszültség negatív csúcserőértéke, tehát pl. egyfázisú hálózati egyenirányításnál 325V-nál nagyobbak kell lennie (abszolútértékben), a gyakorlatban így a 400V-os letörési feszültségű diódákat lehetne használni (az egyenirányító diódáknál megadott értékek általában minimum értékek). Ezt az értéket azonban meg kell dupláznunk a pufferkondenzátor miatt; erre az egyenirányító kapcsolás ismertetésénél visszatérünk.

A letörési feszültség normál szilícium diódáknál akár 40V-tól akár 1600V-ig is lehet. A világítódiodáknak (LED-ek) a letörési feszültsége nagyon alacsony, akár 5V is lehet, ezért ezeknél külön ügyeljünk arra, hogy ne kerüljenek záróirányú előfeszítésbe. A Zener-, vagy Z-diódáknak gyárilag relatíve pontosan beállított letörési feszültsége van, ezekről később szólunk.

Az Arduino felépítése és működése



Az arduino board az USB vagy soros porton keresztül a számítógéphez kapcsolható interfész, mely programozható elektronikus környezetet teremtve kiterjeszti a PC és a külvilág összekapcsolásának lehetőségét.

A kártya fejlesztési koncepciója egységes, de a gyártó többféle változatban készíti az eszközt. Használati utasítás igen egyszerű! Írd meg a programot a számítógépen, majd töltsd fel a mikrovezérlőre! Ezután kapcsold rá a megfelelő eszközöket (érzékelőket és egyéb elektronikus alkatrészeket) és már használhatod is a saját magad által kifejlesztett digitális eszközt. Az eszköz fejlesztői természetesen gondoltak az oktatási felhasználásra és a kísérletező kedvű kezdőkre is. Az interfész többféle védelemmel is el van látva, így bírja a rövidzárlatot, fordított bekötéseket is és egyéb botlásokat. Ez elengedhetetlen ahhoz, hogy viszonylag kevés elektronikai-műszaki tapasztalattal rendelkező tanulók is sikerrel használhassák az eszközt.

A továbbiakban az USB kapcsolattal rendelkező Arduinoval fogunk megismerkedni (Arduino UNO), mert a legkönnyebben és legolcsóbban beszerezhető változat. Későbbiekben a nagy ágyúval is szembenézünk ami Arduino MEGA 2560 névre hallgat.

A panel felépítése:

Az arduino az elektromos ellátást az USB porton keresztül vagy önálló tápegységről, esetleg telepről is kaphatja. A lapka programozása és a programok feltöltése csak USB kapcsolat során valósulhat meg. A mikrokontroller nem felejtő memóriával van felszerelve, így ha az elektromos tápellátás megszűnik, a feltöltött program nem vész el, egészen addig, amíg a memóriában egy újabb feltöltéskor másik programmal felül nem írjuk.

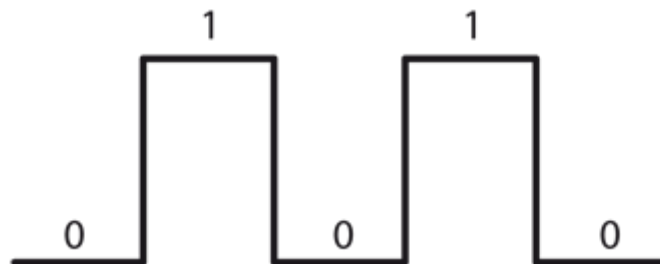
Digitális jelek

A board egyik oldalán található csatlakozó sor digitális jelek fogadására és kibocsájtására alkalmas. A csatlakozókat egyenként sorszámozták 0-13-ig a könnyebb azonosíthatóság érdekében. A sor elején az első csatlakozó a GND felirat van. Bármelyik sorszámozott portot is használjuk, a használt eszköz egyik lába a GND feliratú csatlakozóba kell, hogy kapcsolódjon.

Legegyszerűbben úgy definiálhatjuk a digitális jeleket, mint egy kapcsoló által előállított elektronikus jelet. Ha a kapcsoló bekapcsolt állapotban van, áram folyik rajta át, ezt az állapotot jelöljük 1-es számmal. Ha kikapcsoljuk nincs áram, ennek az állapotnak a jelölése legyen 0. A kapcsoló ki-be kapcsolgatásával jelsorozatot állítunk elő: hol van áram hol pedig nincs. Lejegyezni egyesek és nullák sorozatával lehet ezt a folyamatot. Az alkalmazott jelrendszer két-elemű, más néven bináris jelek.

Az Arduino digitális kapuinak jellemzője még, hogy könnyen programozhatók kifelé és befelé is. Állapotukat szabályozhatjuk a programból kifelé, mikor a külvilág felé adhatunk jeleket. Például egy LED-et villogtatunk. Képesek vagyunk a programmal kiolvasni egy digitális port állapotát, ilyenkor befelé irányuló információkat dolgozunk fel. (Pl. egy kapcsolót kötünk rá és annak az állapotát vizsgáljuk meg.) Az Arduino lapka digitális oldala ki és bemeneti csatlakoztatásra egyformán alkalmas. Digitális jelek egyszerű grafikus megjelenítése

Digitális jelalak:

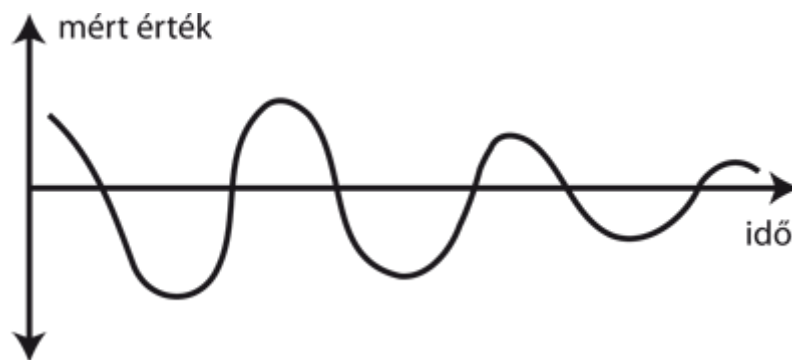


Analóg jelek

Az Arduino képes analóg jelek fogadására. Analóg jeleknek nevezzük az olyan folyamatos jeleket, amelyek időben bármilyen értéket felvehetnek. Az analóg kifejezés arra utal, hogy a végbemenő változás (történés) ok és okozat összefüggése. Például a lázmérő mutatójának pillanatnyi helyzete a pillanatnyi testhőmérséklettől függ, ha a testhőmérséklet változik, akkor annak arányában változik a mutató helyzete is. Az analóg jelek grafikus megjelenítésére is szemléletes példa a lázgörbe. Az információtartalom továbbítása szempontjából az analóg jeleknek fontos szerepük van, mivel az érzékelők által küldött üzeneteket analóg jelsorozatként tudjuk kezelni. Az érzékelők segítségével (idegen kifejezéssel szenzorok) a környező világ tulajdonságait tudjuk vizsgálni. A fényerőt, hőmérsékletet, elmozdulást, mágneses tér nagyságát, hangerőt a megfelelő eszközök segítségével megmérhetjük. Az Arduinohoz kapcsolható érzékelők mindegyike analóg oldali kapcsolatot fog jelenteni.

Egy fényérzékelőt az Arduinohoz kapcsolva nem csak azt tudja eldönteni, hogy sötét van vagy világos, (ez csak digitális jel lenne), hanem képes a fényerő nagyságának a megállapítására is. PL a sötétség, derengés, szürkület, nappali világosság szakaszainak megkülönböztetésére is képes a reggeli napfelkeltekor.

Analóg jelek sorozatának grafikus megjelenítése:

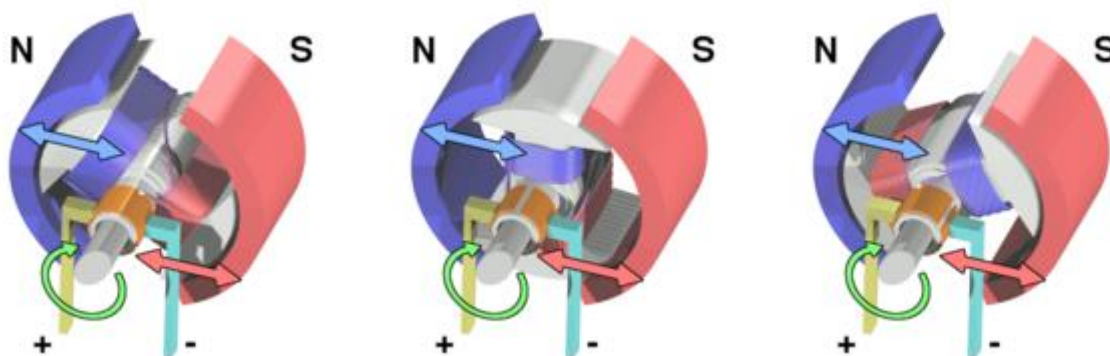


Kefés és kefe nélküli motorok

A kefe nélküli egyenáramú motor (BLDC) vagy elektronikus kommutációjú egyenáramú motor (ECDC) egy szinkron villanymotor, egyenáramú táplálással (DC), ami elektronikusan vezérelt kommutációs rendszerrel rendelkezik a kefés mechanikus kommutáció helyett. Az ilyen motorokban az áram és a nyomaték, a feszültség és a fordulatszám egyenesen arányos.

A hagyományos (kefés) egyenáramú motornál a kefék létesítenek mechanikai kapcsolatot a forgórészen lévő villamos érintkezőkkel (ezt hívják kommutátornak), így elektromos áramkört létrehozva az egyenfeszültségű forrás és az armatúra tekercselése között. Miközben az armatúra forog a tengelye körül, a mozdulatlan kefék kapcsolatba kerülnek a forgó kommutátor különböző részeivel. A kommutátor és kefe rendszer villamos kapcsolók sorozatát alkotják, mindegyik sorrendben kapcsol úgy, hogy az áram mindig az állórészhez (állandómágnes) legközelebb lévő armatúratekercsen folyik keresztül.

Egyenáramú kefés motor felépítése és működése



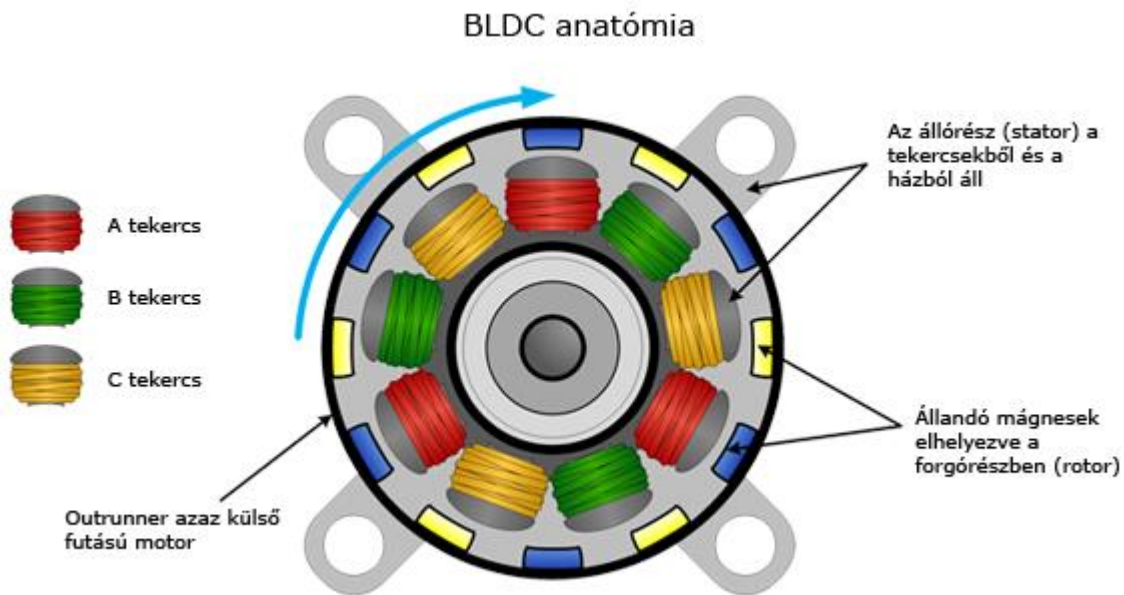
Egyenáramú motor elvi felépítése és működése. Ha a tekercsben áram folyik, körülötte mágneses mező létesül, amely igyekszik az állórész mező irányába állni.

A forgórész a kommutátorral együtt forog, a kefék az állórészhez rögzítettek, és a kommutátor egymástól elszigetelt lemezein csúsznak.

Minden fél fordulatnál a stabil helyzet elérésekor a kommutátor megfordítja a tekercsben folyó áram irányát, így a forgás folytatódik.

Egy BLDC motorban, az elektromágnesek nem mozognak; helyettük az állandómágnesek forognak, és az armatúra marad nyugvó. Ezzel megoldódik az a kérdés, hogy miként lehet átvinni az áramot egy mozgó armatúrába. Ebből a célból a kefe-kommutátor rendszert felváltja egy elektronikus vezérlő. A vezérlő hasonlóan osztja el az áramot, mint az az egyenáramú kefés motornál történik, de ez egy félvezetős áramkör a kefe-kommutátor rendszer helyett.

Egyenáramú kefe nélküli motor felépítése



A BLDC motorok számos előnnyel rendelkeznek a kefés egyenáramú motorokhoz képest, olyanokkal mint a jobb hatékonyság és megbízhatóság, kisebb zaj, hosszabb élettartam (nincs kefe, ami elkopjon), nem keletkeznek szikrák a kommutátornál, és kisebb az elektromágneses interferencia (EMI). Mivel a forgórészen nincs centrifugális erők hatásának kitett huzalozás, és mivel az elektromágnesek a motorházhoz vannak rögzítve, vagyis hővezetéssel tudják leadni a keletkezett hőt, így nincs szükség légáramra a motor belsejében hűtés céljából. Ez azt jelenti, hogy a motor belseje teljesen zárt lehet, így védve marad a szennyeződésektől. A BLDC motoroknál elérhető legnagyobb teljesítmény rendkívül magas, szinte kizárólag a melegedés korlátozza, ami a mágnesekben kárt tehet. A BLDC hátránya a magasabb költség, aminek két oka van. Az első az, hogy a BLDC motoroknak összetett elektronikus sebességvezérlőre van szükségük a működéshez. A kefés egyenáramú motorokat egész egyszerű vezérléssel lehet működtetni, ilyen például a rheostat. A második ok, hogy több hasznos alkalmazásra még nincs kifejlesztett megoldás a kereskedelmi szektorban. Például a távirányítós hobbistáknál, a gyakori kereskedelmi forgalomban kapható BLDC motorok kézzel tekercseltek, míg a kefés motorok armatúra tekercseit olcsóbban, tekercselő géppel csévélik.

A BLDC motorok sokkal hatékonyabban alakítják át az elektromosságot mechanikai erővé, mint a kefés egyenáramú motorok. Ez főleg annak köszönhető, hogy a kefék hiánya miatt mentesek az elektromos és súrlódási veszteségektől. A nagyobb hatékonyság a terhelésmentes és kis terhelésű tartományokban érzékelhető leginkább. Nagy terhelésnél a BLDC motorok és a jó minőségű szénkefés egyenáramú motorok hasonló hatékonyságúak.

Mivel a vezérlőnek kell irányítania a forgást, szüksége van a forgórész állására, valamint az állórész tekercseihez képesti helyzetére vonatkozó információra. Néhány kivitelnél Hall-jeladókat vagy forgás jeladót használnak, amivel közvetlenül lehet mérni a forgórész helyzetét. Más esetekben a visszaható elektromotoros erőt mérik a használaton kívüli tekercsekben, hogy következtetni tudjanak a forgórész helyzetére, így nincs szükség külön Hall-jeladókra, ezeket

gyakran érzékelő nélküli vezérlőknek hívják. Ahogy egy váltakozó áramú motornál, a használaton kívüli tekercseken mérhető feszültség szinuszos, de a kommutáció közben a kimenetek trapéz alakúak, a vezérlő egyenáramú kimenete miatt.

A vezérlő három darab kétirányú meghajtóval rendelkezik, amivel a nagy teljesítményigény kiszolgálható, és amit egy logikai áramkör vezérel. Az egyszerű vezérlőkben komparátorokat használnak, amivel meghatározzák a kimenetnek előnyös fázist, míg a fejlettebb vezérlőknél mikrovezérlőt alkalmaznak, amivel a gyorsulást, a vezérlés sebességét és hatékonyságot lehet javítani. Azok a vezérlők, amelyek a visszaható elektromotoros erő alapján érzékelik a forgórész helyzetét, több feladatot kell, hogy végrehajtsanak a mozgás elindításához, mivel ilyenkor még nincs visszaható elektromotoros erő, mely nem jön létre álló forgórész esetében. Ezt általában úgy valósítják meg, hogy a forgás tetszőleges fázison indul meg, és ha az nem megfelelő, akkor átugrik egy másik fázisra. Ez azt okozhatja, hogy motor rövid ideig visszafele forog, tovább bonyolítva az indítási folyamatot.

A BLDC motorok különböző fizikai kivitelezésekben készülhetnek: A „hagyományos” („inrunner”) kivitelnél az állandó mágnesek a forgó armatúrára vannak szerelve (rotor). Három állórész tekercs veszi körül a forgórészt. Az „outrunner” kivitelnél fordított a sugárirányú kapcsolat a tekercsek és a mágnesek között; az állórész tekercsei alkotják a motor közepét (magját), míg az állandó mágnesek egy fölé lógó rotoron forognak, ami körülveszi a magot. Lapos típust használnak ott, ahol korlátozott a rendelkezésre álló hely, állórész és forgórész tányérokát használ egymással szembe fordítva. Az outrunner típusoknak általában több pólusa van, hármasával elrendezve, amivel biztosítják a tekercsek hármas csoportját, és alacsony fordulatszámon nagyobb lehet a forgatónyomaték. Az állórész tekercsei minden BLDC motornál rögzítettek.

Még két villamos kivitel létezik, ami a tekercsek huzalozásának egymással való összeköttetésében különbözik (nem a fizikai alakjukban vagy elhelyezkedésében). A háromszög kapcsolású kivitelnél a három tekercs egymáshoz van kapcsolva (sorosan), és minden csatlakozási ponton táplálva van. A csillag kivitelnél minden tekercs egy középső közös pontba csatlakozik (párhuzamosan), és a táplálást minden tekercs szabad végén oldják meg.

A háromszög kivitelű tekercselésnél alacsony a forgatónyomaték alacsony fordulatszámon, de magasabb lehet a legnagyobb fordulatszám. Csillag kivitelnél magas a forgatónyomaték alacsony fordulatszámon is, de nem olyan magas a legnagyobb fordulatszám.

Bár a hatékonyságot nagyban befolyásolja a motor felépítése, a csillagkapcsolás általában nagyobb hatékonyságú. A háromszög huzalozásnál káros magas frekvenciás áramok folyhatnak végig a motoron. A csillagkapcsolás nem tartalmaz zárt hurkot, amiben káros áram folyhatna, így nem jelentkeznek ilyen veszteségek.

A vezérlő szempontjából a két kivitel kezelése egyforma, bár az olcsóbb vezérlők a csillagkapcsolás közös csatlakozási pontjáról olvassák a feszültséget.

A BLDC motorok minden olyan területen alkalmazhatók, ahol a kefék egyenáramú motorok. A magasabb költségek és a vezérlés összetettsége miatt BLDC motorok nem helyettesítik a kefék egyenáramú motorokat az általános felhasználási területeken. Mindazonáltal a BLDC motorok több területen uralkodóvá váltak: számítógépes merevlemezekben, CD/DVD lejátszóknál és

PC-s hűtőventilátoroknál szinte kizárólag BLDC motorokat használnak. Kis sebességű, kis teljesítményű elektronikus kommutációjú egyenáramú motorokat használnak a közvetlen hajtású lemezjátszóknál is. Nagy teljesítményű BLDC motorok villamos járművekben találhatóak, és néhány ipari gépben. Ezek a motorok lényegében váltakozó áramú szinkronmotorok, állandó mágneses forgórészsel.

A villamos hibrid járművek, mint a Toyota Prius vagy a Honda autói, BLDC motorokat használnak, hogy kiegészítsék a belső égésű motort. Arra is használják, hogy beindítsák a motort, a hagyományos önindító és behúzó mágneses eljárás helyett.

A Segway Scooter és a Vectrix Maxi-Scooter is BLDC technológiát használ.

Számos elektromos kerékpár BLDC motort használ, amit gyakran a kerékagyba építenek, az állórészt szilárdan a tengelyhez rögzítve, a mágnesek együtt forognak a kerékkel. A kerékpár kerékagya maga a motor. Ez a fajta általános váltóval is fel van szerelve, pedálokkal, fogaske-rekkel és láncsal, így lehet tekerni a motor használatával vagy, ha szükséges, nélküle.

Bizonyos légkondicionáló rendszerek, főleg amelyek változó sebességűek és/vagy terhelésűek, elektronikus kommutációjú, kefe nélküli egyenáramú motort használnak. A BLDC-k jobb hatékonysága mellett a motorok beépített mikroprocesszora lehetővé teszi a programozhatóságot, a légáram jobb befolyásolhatóságát, és soros kommunikációt

Léptetőmotor

A léptetőmotor alapvetően különbözik az egyszerű egyenáramú motoroktól. Ez a különbség abban áll, hogy a léptetőmotort digitális jellel kell vezérelni. Előnye, hogy a jel hatására előre meghatározott szöggel fordul el. Elsősorban olyan helyeken alkalmazzák e motorokat, ahol amúgy is digitális jelekkel dolgoznak, illetve ahol lényeges a pontos pozícióba állás. Tehát megtalálhatók a számítógép perifériákban (nyomtató, floppy, winchester, scanner, CD-rom), az ipari termelés sok területén, valamint a modellezésben. Egy mutatós kvarcóra is léptetőmotorral működik... kb 300 W teljesítményig viszonylag olcsó, felette azonban már egyre gazdaságtalabb.

A számítógépekben még a ventilátorok is léptetőmotorok (a vezérlése is bele van építve) Sajnos manapság egyre több siklócsapágyas léptetőmotort építenek be, ami olcsóbb, de lényegesen gyengébb minőségű. (régebbi számítógépekben gyakran zörög a ventilátor, amit általában a műanyag siklócsapágy elkopása okoz).

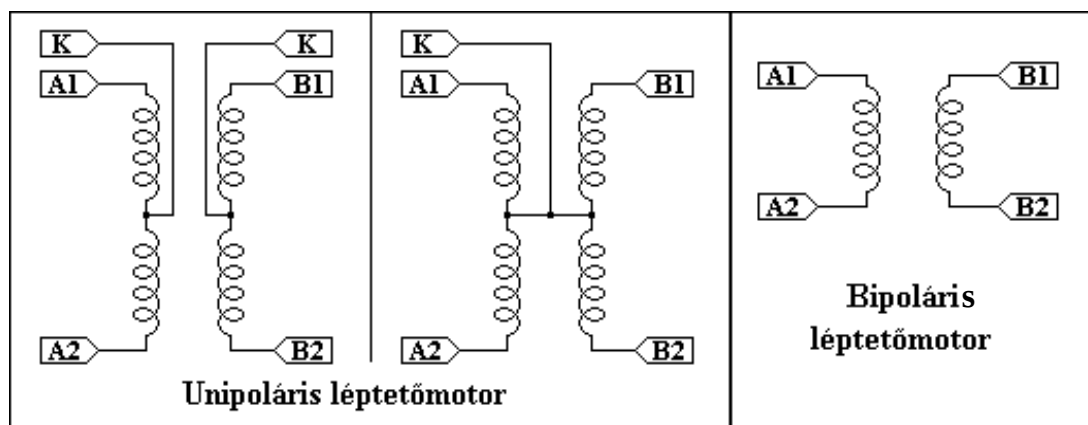
Előnyök:

- Nincs benne szénkefe, így tartósabb lehet (gyakorlatilag a csapágy minősége határozza meg az élettartamot)
- A pontos pozícióba álláshoz nem szükséges bonyolult visszacsatolás (tehát megfelelő vezérlés, és határértéken belüli terhelés esetén biztos, hogy a megfelelő pozícióba fordul)

Hátrányok:

- Alacsony fordulatszám (a maximális fordulatszám tipikusan 500-600 fordulat/perc)
- Azonos teljesítmény mellett nagyobb méret és tömeg
- Nem számítógépes környezetben bonyolultabb vezérlés
- Vezérléssel együtt már viszonylag drága

Léptetőmotorok fajtái

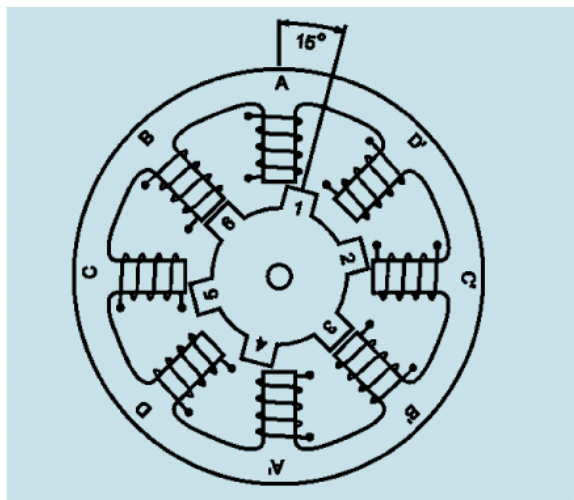


A léptetőmotoroknak alapvetően két fajtája létezik, az unipoláris és a bipoláris vezérlésű. A **bipoláris léptetőmotor** tekercsein mindkét irányban folyhat áram. Általában 4 kivezetése van.

Az **unipoláris**nak 5 vagy 6 kivezetése van legtöbbször, és a tekercseiben csak egy irányban folyhat áram. (Természetesen ettől eltérhetnek a tekercsek és kivezetések számai.)

A forgórész lehet állandómágneses, vagy kiképzett pólusú (reluktancia) lágyvasas. Az állandómágnesű forgórész hengeres pólusú, sugár irányban mágnesezett, és a mágnes miatt hasonló méret esetén nagyobb nyomatékú, mint a lágyvasas.

4 fázisú VR (változó mágneses ellenállású – reluktancia) motor



AA', BB', CC', DD' tekercsek tartoznak egy-egy fázishoz. Az állórész pólusszáma és a forgórész fogszáma eltér egymástól. Ez teszi lehetővé a forgást.

Lépésszám: $4 \cdot 6 = 24$

Lépésszög: $360^\circ / 24 = 15^\circ$

Fázisszám: $m = 4$

Rotor pólusszám (fogsám): $Z_r = 6$

Paraméterek

A léptetőmotorok lényeges tulajdonsága, hogy egy körülforduláshoz hány lépés szükséges, vagy megadhatják az egy lépésre eső szögelfordulást fokban. Természetesen fontos paraméter a motor terhelhetősége, teljesítménye és nyomatéka is. A kivezetések száma azért változhat, mert növelhetik a tekercsek számát.

A fordulatonkénti lépésszámot a fázisszám, az állórész és a forgórész pólusszáma, és a vezérlési mód (egész lépés, fél lépés, mikrolépéses üzemmód) határozzák meg.

A léptetőmotorok rövid szakaszos üzemre vannak méretezve. Amikor nem léptet, akkor egy alacsonyabb feszültséget kell rákapcsolni, ellenkező esetben akár le is éghet. Ez a tartófeszültség azért szükséges, hogy a motor ne tudjon kimozdulni az adott pozícióból.

A motor kikapcsoláskor megpróbál a legközelebbi teljes lépés pozícióba fordulni, tehát a fél lépés pozíció nem stabil. Erre a program tervezésekor figyelni kell.

Szervomotorok



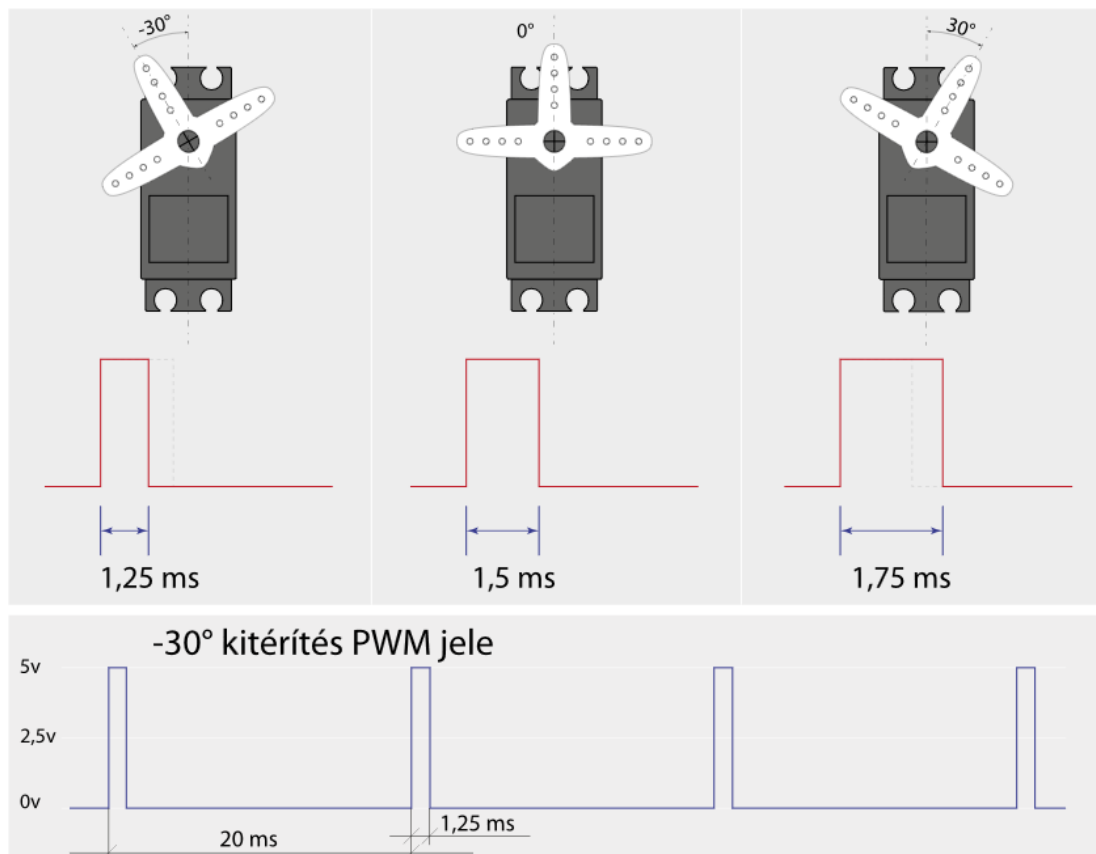
Felépítésében viszonylag egyszerű szerkezet, mely egy nyáklapból, rajta vezérlő elektronikával, egy egyenáramú motorból, fogaskerekekből áll, melyek egy csinos kis dobozba vannak zárva. Az erőátviteli lánc utolsó fogaskerekének a tengelye ki van vezetve a dobozból. Erre kerül majd csatlakoztatásra a szervókar és arra a tolórudak. Ugyanennek a fogaskeréknek az alsó része pedig egy potméterhez van erősítve, hogy visszajelzést tudjon adni a vezérlő elektronikának. A fogaskerekek anyagukban eltérnek tervezett terhelések függvényében. Leggyakrabban poliamid vagy egyéb műanyag-fogaskerekű szervók-

kal találkozunk, de készülhetnek fémből, karbonból és az extrém terheléseknek kitett szervók akár titánból is. Nagyobb terhelésre szánt szervók utolsó fogaskerekét egy vagy két csapággal is alá szokták támasztani.

Táplálás illetve parancstovábbítás céljából 3 vezeték van kivezetve a szervóból: test, táp és bemeneti jel. Sajnos a vezetékek színe, sorrendje és csatlakozója gyártóként változhat. Modellezésben alkalmazott szervók táplálása általában 4,8-7,2V feszültséggel folyik. Fontos megjegyezni, hogy minél magasabb a feszültség, annál nagyobb nyomatékot fejt ki a szervó, de ezzel csökken az élettartalma is – érdemes a gyártó által ajánlott értékeken belül üzemeltetni. A harmadik vezeték jeltovábbítás céljából lett kivezetve és általában 5V feszültségű PWM jelekkel közöljük a szervóval, mekkora szögben térítse ki az a kart.

Pulse Width Modulation – impulzusszélesség vezérlés

Impulzusszélesség vezérlés magáról beszél: az információtovábbítást egy jel szélességének változtatásával érjük el. A modellezésben használt szervomotorok vezérlése 50 Hz-es, vagyis 20ms hosszúságú keretben zárt jelekkel vezéreljük. A keretben levő **1500 μ s** (1,5ms) hosszúságú jel középpállásba kényszeríti a szervó karját. A gyártók eltérő mozgásterű szervókat gyártanak. Leggyakrabban használtak -60° és 60° között mozognak, és általában **1000-2000 μ s** jelszélességet igényelnek. Vannak nagyobb mozgásterű szervók is, így például futóműmozgató szervók általában 180° azaz $\pm 90^\circ$ -ra képesek elfordulni a középpállástól számítva. Ezeknél vagy a visszajelzést biztosító potmétert, vagy az alkalmazható jelszélesség tartományát szélesítik, így a vezérlő 650 és 2350 μ s hosszú lehet. Robotikában előfordulnak 360° -os vagy korlátozás nélküli szervók is, melyeknél a pozíciómeghatározására enkodert használnak.



Az analóg módon működő servók számára nem elegendő egyszer kiadni az impulzust, mert lehet, hogy a szervókar még nem éri el a végső pozícióját. Azonkívül a jel nélkül a feszültségátalakító nem táplálja a motort, így nem keletkezik nyomaték a karon, “ernyed” a szervó. Digitális servók esetében egy jel kiküldése elegendő, mert a beépített mikrokontroll gondoskodik a végső pozíció eléréséről, utána, jel hiányában azonban a digitális szervó is “ernyed”. A digitális szervót ezenkívül eltérő válaszreakcióra is programozhatjuk, amivel optimalizálhatjuk bizonyos feladatokhoz. Vezérfrekvencia terén a servók elég rugalmasak. Analóg verziók 30-60 Hz-en, digitális példányokat pedig akár 300 Hz-en is vezérelhetjük. Ha kissé terheljük egy analóg szervó karját, halhatjuk a “cicergést”, mely a jelmentes és aktív szakok váltakozásából adódik.

A servók elektronikája úgy van kialakítva, hogy meg tudja határozni, a vezérlésnek megfelelő pozícióban tartózkodik-e a kar, és ha nem, akkor melyik irányba kell elmozdulnia. A PWM jel feldolgozása során a feszültségkonvertáló egység a jel alapján egy adott feszültséget állít elő. A szervóra jellemző maximális jel esetén a generált feszültség eléri a tápfeszültség értékét – ez a referencia feszültség. A szervókar tengelyére kötött potméter a kar elfordulása során nulla és tápfeszültség közötti értéket ad vissza és ezáltal a egy belső monostabil oszcillátor impulzus-szélességét szabályozza. Ha a bemenő jel pozitív (és általában azt alkalmazzák), akkor a monostabil jele negatív. A két jel egy komparator fokozatba kerül és a szélesebb jel különbsége kerül a kimenetre, tehát lehet + vagy – jel a komparator kimeneten meghatározva a végfok hídjának a vezérlését, tehát a motor forgási irányát. Mihelyt a két jel szélessége azonos, a komparatoron megszűnik a jel és a motor nem kap feszültséget.

Tartalomjegyzék

Félvezetők.....	1
A PN-átmenet	2
Nyitóirányú előfeszítés:.....	4
Záróirányú előfeszítés:	4
Az Arduino felépítése és működése.....	5
Digitális jelek	6
Analóg jelek	7
Kefés és kefe nélküli motorok	8
Egyenáramú kefés motor felépítése és működése	8
Egyenáramú kefe nélküli motor felépítése	9
Léptetőmotor	12
Léptetőmotorok fajtái	12
Paraméterek	13
Szervomotorok.....	14
Pulse Width Modulation – impulzusszélesség vezérlés	14
Tartalomjegyzék.....	16