

Szervóhajtás méretezési példa

Tibor45 (Szabó Tibor) Hobby CNC fórum
2009 November 29.

Üdv. Mindenkinek!

Ahogy ígértem, közérthető, maximum középiskolás képleteket, alkalmazva egy konkrét példán vezetem le a szervo méretezés elemi tényezőit.

Példa gépünk legyen egy közepesen erős Hobbysta CNC kategória. Golyós orsós, lineáris gördülő kocsikon összesen 20 kg tömeget mozgatunk ezen a szánon. Szeretnénk komolyabb alu marásokat készíteni, így 1000N (!!! ez 100kp!!) előtoló erőre méretezünk. Anyagban 600 mm/perc előtolással forgácsolunk. Erre a sebességre 10 ms idő alatt szeretnénk felgyorsulni, tehát nem egy lomha gép a cél, sőt.

1. és fő kérdés:

Vajon mekkora teljesítményű motort válasszunk ehhez?

Megoldás:

Álló helyzetből először fel kell gyorsulnunk a 600-as állandó előtolási sebességre, majd egy állandó szakaszon ezt tartani kell, végül megállunk.

Először számítsuk ki az állandó sebességű szakasz teljesítmény igényét. Több képlet van erre, én egy általános iskolai fizika

képlettel számolok: $P=F \cdot v$ ahol

- P:teljesítmény (W)

- F:erő (N)

- v: sebesség (m/s)

Behelyettesítés a példa adataival:

$$P=1000 \cdot 0.01=10 \text{ W}$$

Az egyszerűség érdekében tételezzünk fel egy nagyon rossz hatásfokú áttételt, súrlódásokra egyéb veszteségekre vegyünk fel $h=50\%$ hatásfokot.

$$\text{Így } P_{\text{névleges motor}}=P/h=10 / 0.5=20 \text{ W}$$

Azaz 20W-os MOTOR elegendő ide! Ugye milyen meglepítő ez a tényező??, pedig nem kis gépről van szó!!

Na ezzel meg is volnánk az állandó szakaszra, a folytatásban majd következik az ennél még meglepőbb dinamikai teljesítmény igény számítás.

(Közben már most erősen lehet azon egyeseknek gondolkodni, minek is használnak 500W++ szervo motort??)

Mi ennek a műszaki indoka? Várnám a választ pl. VP-től.)

#9358 folytatás:

Tehát ott tartottunk, hogy állandósult állapotban remekül dolgozik a nem is kicsi példa CNC gépünk 20W-os szervomotorral.

Most jön a dinamikai teljesítmény igény meghatározása. Erre is sok lehetőség, képlet van.

Íme az egyik választható számolási út az energiamegmaradás törvénye. Minden CNC gépnek van mozgatott tömege, ennek sebesség változtatásához energia kell. A példánkban álló helyzetből indulva állandó gyorsulással felgyorsítunk 20 kg tömeget 600-as előtolásra, azaz $v=0.01$ m/s.

Általános iskolai tanulmányainkból ugyancsak tudjuk, hogy a mozgási energia képlete egy egyenes vonalú mozgásnál:

$$W=0.5*m*v*v$$

ahol

- W: mozgási energia (Nm vagy J)

- m: mozgó tömeg (kg)

- v: mozgási sebesség (m/s)

Behelyettesítés:

$$W=0.5*20*0.01*0.01=0.001J$$

Ugyancsak ismeretes az a képlet is, hogy

$$P=W/T, \text{ azaz a teljesítmény=munka/idő}$$

Jelen esetben a megkívánt gyorsítási idő $T=0.01s$, így

$$P=0.001/0.01=0.1W$$

HOPPÁ!!! Gyakorlatilag ez csak 1%-a az állandósult szakasznak, így akár el is hanyagolhatjuk.

Ez megint magáért beszél, és máris súlyos következtetéseket vonhatunk, le ugyanis már csak egy dinamikai teljesítmény összetevőt kell kiszámítani, ez pedig a hajtómotor saját tehetetlenségi nyomatéka (J motor) valamint a motor tengelyére redukált J dönti el. Ez lesz a 3. folytatásban.

Az már most is látszik a tényszámok, kiszámolt eredmény tükrében, hogy óriási tévhit az, hogy egy Hobby CNC asztal mozgatásához micsoda gyorsítási teljesítmények kellenek.

Hát igen jelen esetben 0.1 W !!! Lehet megint picit - vagy nagyon csodálkozni!

#9386 szervó méretezés folytatás:

Egy kritikus ponthoz értünk. Dönteni kell, milyen legyen a gép áttelezése, azaz az eddigiek alapján kiszámolt minimum 20.1 W körüli motort hogyan illesszük a hajtáshoz. Ennek kulcskérdése az áttétel, ezalatt értsük a következőt:

1 motor fordulatra mekkora legyen a lineáris elmozdulás.

Ha itt rosszul döntünk, számolunk, tervezünk, nagyon sokat veszíthetünk. Ugyanis a forgó mozgás csak látszólag egyszerű a felületes szemlélőnek. Nagy "tisztelettel, kellő alázattal" viseltessünk iránta, ez hamarosan ki fog derülni miért írtam.:)

Sajnos mielőtt bármit teszünk ez ügyben, meg kell ismerkedni a már annyit emlegetett J-vel, azaz tehetetlenségi nyomatékkal.

Itt már kénytelen vagyok megemlíteni, hogy pontosan ezeket egy adott forgástestre csak integrál egyenlettel lehet meghatározni, kiszámolni. Igen jó közelítéssel azonban ha ráfogjuk egy motor forgórészre, orsóra, hogy az egy tömör henger-tárcsa-rúd, aminek van tömege (m), sugara (r - henger átmérő/2) akkor az alábbi képlettel tudjuk kiszámítani

$$a \text{ J-t: } J=.5*m*r*r$$

Egy komolyabb motor katalógus adataiban a motor J szerepel, a mi példánkban egyelőre csak azt tudjuk, hogy 20.1W+X lesz a teljesítmény igény. Most éppen az X kiszámítása történik. Első megközelítésben nézzük meg, egy katalógusban, hogy 20-50 W körül mekkora egy korszerű

már DC szervónak mondható motor J-je, így ezt nem kell kiszámolni. Azt fogjuk találni, hogy 50 - 150 gcm² körül mozognak ezek ilyen motoroknál (természetesen vannak profi vas nélküli szervomotorok, tárcsamotorok, ... aranyárban, ahol a J sokkal kisebb is lehet, de mi most itt Hobby gépet építünk, alpméretezünk), így a könnyebb számolás miatt J motor legyen 100gcm², ez SI mértékegységben egy szörnyű szám, de sajnos át kell váltani, mert csak így lehet számolni vele a későbbiekben: tehát $J_m = 10E-5 \text{ kgm}^2$, azaz 10 a mínusz ötödiken, azaz egy százezred.

Egy körmozgást a fordulatszáma (n) alapfokon jellemzi.
Ha ezt a megtett ívszögre vonatkoztatjuk, a szögsebességet (A) kapjuk meg, azaz $A = 2 \cdot \pi \cdot n$.

Hasonlóan mint az egyenes vonalú mozgásnál egy m tömegű forgó tömeg is mozgási energiával jellemezhető, levezetés nélkül ennek a képlete:

$$W = 0.5 \cdot J \cdot A^2$$

Azt is tudjuk már az előzőekből, hogy $P = W/T$, azaz

$$P = 0.5 \cdot J \cdot A^2 / T$$

Válasszuk továbbra is az energiamegmaradás törvényét, itt is így fogjuk kiszámolni az előző alapfogalmak segítségével a gyorsításhoz szükséges forgómozgások teljesítményét.

Itt álljunk meg egy pillanatra "matekozni", mert egy nagyon fontos megállapítás előtt állunk, ha figyelmesek vagyunk. "Vészjósló" képletet kaptunk, kicsit elemezzük, gondolkozzunk el a hatásmechanizmusán. Nézzük csak ezt a tagot:

résztényező $= J \cdot A^2$ a fentiek alapján $J = 0.5 \cdot m \cdot r^2$. behelyettesítve:

résztényező $= 0.5 \cdot m \cdot r^2 \cdot A^2$. Jézus Mária!!! Kettő darab, egyenként is négyzetes hatású műszaki paramétert láthatunk:

r forgó henger sugár, A szögsebesség.

Mivel ezek még összeszorozandók, együttes hatásuk brutális lesz, NEGYEDIK hatvánnyal fejtik ki eredő hatásukat. Na itt bukik el végképp az az "ész nélküli" Hobbyista, aki nem veszi azt a minimális fáradságot, hogy ezt megértse alapfokon. Akinek van egy kis műszaki-matematikai érzéke, már sejtheti, ha itt behelyettesítjük az adatokat, micsoda észbontó dolgok fognak kiderülni. Nincs az a tápegység, nincs az a PID algoritmus, FET végfok, ami ezt már helyreteszi, optimálissá teszi, ha itt hibázunk, és csak megyünk előre mint a faltörő kos ész nélkül.
Sorsdöntő "izgalom", és egyben talán zárófejezet következik. :)

#9391 szervó méretezés folytatás:

Miután megismertük az előbb, hogy a szögsebesség négyzetes hatású, pusztán emiatt is ökölszabályként kimondhatjuk, nagy fordulat felett (3000 1/min) lehetőleg ne használjunk mellékajtásban motort.

Amiatt sem, hogy a kopások is intenzívebbek lesznek, kefezaj és rohamosan növekszik. Hiszen így élettartamot, zavarbiztonságot is nyerünk, ami nem mellékes. Mivel ha már egyszer motort választottunk, annak J-jétől nem szabadulhatunk, azzal együtt kell élni a CNC gépnek.

Ráadásul az a szörnyű az egészben, hogy a teljes hajtásláncban minden ami forog, sebesség változtatáskor csak viszi a teljesítményt, semmi "hasznunk" nincs belőle.

Hiszen a CNC marógép azért van, hogy minél optimálisabb körülmények között forgácsoljon (ott

minél dinamikusabban), azaz minden más haszontalan, de elkerülhetetlen teljesítményvesztés a mai energiaválságos időkben minimalizálni kell.

Tehát a fenti érvek jegyében: N motor $\max=3000 \text{ 1/min}=50 \text{ 1/s}$.

Még nem tudjuk az áttételt, de egy felső és döntést elősegítő határpontként nézzük, meg azt az esetet, amikor a példánkban az előtolást csak ekkora motor fordulaton tudnánk létrehozni, de azt is mondhatnám, gyorsmenetben (G0 kódok) így is-úgyis fel kell pörgetni a motort, vajon ez dinamikailag mit jelent?

Behelyettesítés:

$$A=2*\pi*n=6.28*50=314 \text{ 1/s}$$

$$P=0.5*J*A*A/T=0.5*10E-5*314*314/0.01=\sim 50W$$

Huhha, a mindenét, milyen hasznos tényt! És mennyire érződik a már említett negyedik hatvány effektus! Gondolkozzunk csak! A gép a maximális forgácsoláskor is a már kiszámolt 20W-ot igényli csak, viszont a majdnem semmiért (hiszen a dinamikai teljesítményigény csak egy nyűg a nyakunkon, amitől nem tudunk szabadulni) 50W-ot, azaz a motor teljes tényleges teljesítménye ilyenkor ehhez kell, azaz legjobb esetben is 40% a kihasználási tényező, és ez csak a motor saját J-jéből adódik. De semmi gond hiszen szervomotorról lévén szó egy 50W-os motor rövid impulzus üzemmódban károsodás nélkül leadja a névleges teljesítményének az 5-10 szeresét, többek között ettől nevezhető szervó motornak. Egy 50-100W körüli Greatz hidas tápegység pedig még nem drága, alap dolog, ami ehhez villamos energiát biztosít rövid időre.

Konkrétan megkaptuk tehát a ledöbentő számszerű választ a fizikából, hogy a J és A az úr, így már kezdjük sejteni a hatékony és optimális ellenszert is. Így itt megint nagyon fontos megállapítást tehetünk: aki hasra ütés alapján, minimális hozzáértés nélkül, "csak" alapon fölöslegesen nagy, a hasznos forgácsolásból adódó előtolási teljesítményhez képest túlzó hajtómotort motort választ (paradox módon de pont ez a lényege az egésznek), az a hajtáslánc dinamikailag "halálra ítéltetett", igen messze kerül az optimumtól, de nézzük ennek tényszerű bizonyítását a fentiek tükrében. Van itt köztünk egy Hobbysta kolléga, Varsányi Péter, aki csak nagy motorokat használ, erről vitázunk két éve, hogy ennek mi az értelme. Az Ő gépe kb. pont az a kategória, amit most méretezünk.

Nézzük csak számokba öntve: 20 W körül járunk, ami biztos kell, ezzel szemben áll egy 400W-os vagy még nagyobb kiválasztott, beépített SD szervomotor. $400/20=20$ -szoros túl méretezés!!! Na ez önmagában már baj, ilyen pazarlóan nem bánhatunk a pénzünkkel sem egy gép beruházáskor (Megjegyzés: az egy külön dolog, hogy a méhtelepen vagy az e-bayon irreálisan alacsony áron esetleg valaki szerez olcsón motort, mivel itt mégis csak méretezésről van szó, abból kell kiindulni, hogy, mi a motor bolti ára, értéke. Egy ilyen SD400W-os motornál ez minimum 200 ezer Ft!) Azonban számoljunk tovább, ahogyan ezt már az előbb a kicsi (csak 50W), de ide a számok alapján reálisan elégnek tűnő motornál tettük. Egy ilyen 400W-os DC szervó motor J-je katalógus szerint $J=0.0005 \text{ kgm}^2$

így ennek 3000-es felpörgetéséhez 10 ms alatt:

$$P=0.5*J*A*A/T=0.5*0.0005*314*314/0.01=\sim 2500W$$

szükségeltetik.

Emlékeztek? Jézus Máriát emlegettem az előző fejezetben a negyedik hatvány brutál hatás miatt.

Íme a tényszerű is kijózanító adat, micsoda hibát vét, aki nem tiszteli a forgómozgások dinamikáját és nem veszi figyelembe ezt minimális szinten CNC gépének tervezésekor!

Azért a valóságban 2500W-ot előteremtteni nem olyan egyszerű dolog minden mozgás elindulásakor. Gondoljuk végig, micsoda teljesen fölösleges csúcsáramokat tranzienseket gerjesztünk és egyelőre a semmiért, hiszen mindösszesen 20 W állandó P kell a hasznos cél érdekében, azaz hogy

forgácsoljunk ezt vessük össze 2500W-al! Ez már 125-szörös túlzás, melléfogás!!

Sajnos még mindig nem tudtam a végére érni, és elég fárasztó is így utólag bevallhatom így összeszedve, talán érthetően is leírni, számokkal is bizonyítani egy hajtás alapméretezést. De haladunk szép lassan, azonban biztosan a végcél felé:.)

#9394 szervo méretezés folytatás:

Mivel gépünkben orsó-anya kapcsolattal valósítjuk meg a forgó mozgás átalakítását egyenesvonalúvá, ismernünk kell a mozgató orsó adatait.

Példánkban 1000N erő a mozgató erő, ez nem kevés!

Kihajlásra, csapágyazásra is kell méretezni a mechanikát, ezektől most eltekintve, de ezekből következően legyen

az orsónk $d=16$ mm középméretű, és $L=500$ mm hosszú.

Acél az anyaga, ennek sűrűsége: $Q=7.8$ kg/dm³

Az orsónk térfogata:

$$V=d*d*\pi/4*L=0.16*0.16*3.14/4*5=0.1\text{dm}^3$$

$$\text{így tömege: } m_{\text{orsó}}=Q*V=7.8*0.1=0.78\text{kg}$$

Az orsó tehetetlenségi nyomatéka:

$$J_{\text{orsó}}=0.5*m_{\text{orsó}}*r_{\text{orsó}}^2=0.5*0.78*0.008^2\approx 2.5\text{E-5 kgm}^2$$

Fontos adathoz jutottunk, kiszámoltuk így az orsónk inercianyomatékát, J -jét.

Az előzőek alapján tudjuk, hogy bizony ez nem elhanyagolandó, különös tekintettel arra, hogy az 50W-os kiválasztott hajtómotorunké ettől 2.5-szer kisebb. Ha direktben rákötnénk a motort, akkor a már ismert képlettel számolva csak az orsó forgatáshoz $n_{\text{max}}=50$ 1/s esetén ezen gépelem megint felemésztené $2.5*50=125$ W-ot!

Ha így döntenénk, "baj" lenne, mert a motorunk "csak" 50W névleges teljesítményű, és a P motor + P orsó gyorsítási teljesítmény szükséglet összege ha direktben hajtunk már 175 W.

Egy szervo motort nem illik folyamatosan túlterhelni, mert ha éppen bonyolultabb 3D-ben marunk, bizony sűrűn kell irányt váltani, azaz gyorsulni-lassulni. És közben az se feledjük, a valóságos, hasznos munkához csak 20 W kell, így összesen 195W-nál járunk.

De nem kell megijednünk, hiszen az egész méretezést azért végezzük, hogy az Urat, jelen esetben a J -t ésszel szolgáljuk:.)

Nagyon nagy segítségünkre van azonban a már megismert négyzetes hatás ismerete. Erre alapozva, de a részletes levezetést itt most elkerülve alkalmazzuk $J_{\text{redukált}}=J/(i^2)$

képletet, ahol:

- $J_{\text{redukált}}$: a módosult, redukált tehetetlenségi nyomaték

- J : eredeti hajtott tengely tehetetlenségi nyomatéka

(jelen esetben ez a mozgató orsóé)

- i : mechanikai fordulatszám áttételi arány, amit pl. fogazott szíjhajtással valósíthatunk meg.

Tehát most "visszavágunk" a J -nek, meghúzzgáljuk az oroszán bajsztát, mert ismerjük a hatalmát, de azt is, hogy négyzetesen csökkenteni is képesek vagyunk. J -t válasszuk meg tehát valahol 2-3 között, hiszen így egyből a négyzetes hatás miatt 4 - 9-szeres javulást fogunk elérni!!!

Maradjunk az alsó határnál, tehát $i=2$ ezzel egyszerűbb lesz számolni, és talán elég is lesz minden szempontból.

Fontos megjegyzés: az áttételezéshez mindenképpen a szíjhajtás méretezésekor a lehető legkisebb tömegű fogazott szíjtárcsákat szereljük fel, így a gyakorlatban az a minimális plusz J , amit az áttétel okoz, nulla közeli lesz, így itt most ezt el is hanyagoljuk. De természetesen komoly, ipari esetben ezt is ki kell számolni. Jobb minőségű szíj-tárcsa esetén gyakorlatilag 1 fokozatban kottyánás mentesen tudunk áttételt megvalósítani.

Azt hiszem, hamarosan minden összeáll, és készen vagyunk. Folyt. Köv...

#9396 szervó méretezés folytatás, utolsó 6. fejezet:

Tehát lassan számításainkkal elértük a célunkat, meghatároztuk a feladathoz szükséges szervomotor teljesítményt, és az áttételt, ami 1:2 lassítás, tehát $i=2$. Az orsónk legyen $H=4$ mm-es menetemelkedésű.

Ellenőrző számításokkal győződjünk meg a tényleges, immáron kialakult véglegesnek és optimálisnak tűnő megoldás helyességéről:

Az előtolási sebességünk anyagban, forgácsoláskor

$$v=600 \text{ mm/min}=10 \text{ mm/s}$$

tudjuk másrésztől, hogy $v=n \text{ motor}/i \cdot H$, ebből

$$n \text{ motor}=v \cdot i/H=10 \cdot 2/4=5 \text{ 1/s}$$

Ilyenkor a motor szögsebessége:

$$A=2 \cdot \pi \cdot n \text{ motor}=6.28 \cdot 5=31.4 \text{ 1/s}$$

Ehhez a gyorsítási teljesítmény:

$$P \text{ forgó előtol}=0.5 \cdot (J \text{ motor} + J \text{ redukált}) \cdot A \cdot A/T= \\ =0.5(1+2.5/4)E-5 \cdot 31.4 \cdot 31.4/0.01=0.8125 \approx 0.8 \text{ W}$$

$$P \text{ totál}=P \text{ lin}+P \text{ forgó}=0.1+0.8=0.9 \text{ W} \approx 1 \text{ W}$$

Remek eredményre jutottunk, ez összesen kisebb mint 1 W, akár el is hanyagolhatjuk, és így teljesül az az optimum, hogy amikor anyagban forgácsolunk és gyorsulunk is, a 20 W-hoz csak 1 W a hasznos munkavégzéshez képest "meddő" dinamikai teljesítmény kell.

Gyorsmenet ellenőrzés:

$$V \text{ szán max}=n \text{ motor max}/i \cdot H=50/2 \cdot 4=100 \text{ mm/s}$$

Ez gyönyörű érték, 10-szeres sebességi átfogásunk van, ami szinte túl sok is levegőszántáshoz egy hobby gépen, tehát akár még az 1:3-as módosítás felé is mehettünk volna.

Ha ezt is 0.01s gyorsítási idővel, azaz igen függően hajtjuk végre, akkor ehhez a forgó alkatrészek gyorsítási teljesítmény szükséglete:

$$P \text{ gyorsmenet}=P \text{ forgó előtol} \cdot 10 \cdot 10=81.25 \text{ W}$$

Ezt bőven leadja egy 50W-os kis szervó motor csúcsban, még langyos sem lesz, hiszen a felgyorsulás után csak levegőben rohan.

Összefoglalás:

A fent említett számítások közelítő jellegű, alapszámítások, az érthetőség kedvéért a háttérben sok-sok egyszerűsítő feltételt (végig állandó gyorsulás, mindig 0-ról indultunk, ...stb)

Ez azonban a lényegét nem befolyásolja, és számos nagyon fontos alap dolgot tudhattunk meg, és a gyakorlatban jól használható eredményekre jutunk ezen számításokkal.

Az is mindegy, hogy mi a hajtó motor (léptető, DC-AC szervó, aszinkron szervó, ...), minden ilyen jellegű hajtásnál ezek alapproblémák, kell velük törődni.

Tanulságok egy ilyen Hobby gép építésnél:

- Ha valaki egy Hobby gépnél 100W-nál nagyobb tengelyenkénti motort akar beépíteni, gondolja végig, valami nagyon nem stimmel a hajtásláncában.

- A forgó tengelyek rendkívül "csalósak", totál kudarcra ítélik a Hobbystát, ha nem számolgat picit, különös tekintettel a megismert négyzetes hatványok eredőjével, J és társait mindig vegyük figyelembe!

- Nagyon gondoljuk meg, mit kötünk direktbe egy motor tengelyre, step motornál de pláne! Az egész gépünk minősége, megbízhatósága múlik ezen!!

- Tiszteljük az 10 W villamos teljesítményt is, ha az hasznos teljesítmény, elképesztően túlzó tápegységek áramok betervezése teljesen fölösleges (ráadásul P vill veszteség= $I \cdot I \cdot R$, hopp egy négyzetes tag itt is!!!), és rosszul illesztett hajtásra-elektronikára utalnak.

Nos ezek után elővehetjük a forrasztó pákát, Nyáktervező programot, és olyan vezérlőket igyekezzünk készíteni, ami ezen most ismeretett mechanikai-fizikai-technológiai paramétereknek is megfelelnek, és felejtjük el a több 10A-es mese birodalmakat. De ezelőtt azt ismerjük meg, mi is az a DC szervó motor, önmagában milyen egyenletek, képletek jellemzik.

De ez már egy másik fejezet, gyanítom itt is hasonló meglepetéseket okozhatnánk magunknak, hiszen idáig egy árva szó nem esett a visszacsatolásról, egy egyszerű mezei 50 W körüli mozgást méreteztünk hajtástechnikai alapokon.

Remélem meggyőző volt ezen alappélda számszerű végig tárgyalása, és végre pár embernek tisztult a kép ezzel kapcsolatban, és új alapokra helyezi ezek után a CNC dolgait. Ehhez sok sikert kívánok Mindenkinek!

The End!:)

