

CNC KONTROLLÜ PUNCH MAKİNASI OTOMASYONU ve HIZI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ANALİZİ

Bülent GİRAY

BOSCH REXROTH OTOMASYON SAN. ve TİC. A.Ş.
Söğütlüçeşme Mah. Fevzi Çakmak Cad. No:3 34295 Sefaköy - İstanbul

e-posta: bulent.giray@boschrexroth.com.tr

Anahtar sözcükler: CNC Kontrol, Punch, Servo Motor, Servo Eksen Dinamiği, SERCOS

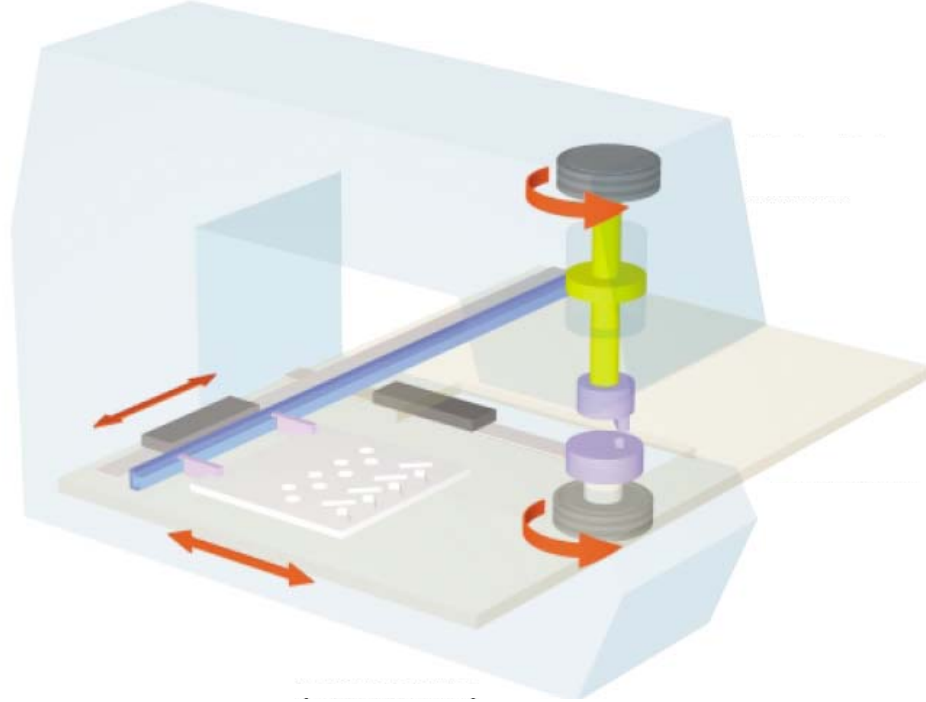
ÖZET

Bu yazı, artık günümüzde çok çeşitli alanlarda yoğun kullanım bulan CNC kontrol sistemlerinin metal şekillendirme sektöründeki bir uygulamasını anlatmaktadır. İşleme ve tahrik organlarını sürme açısından dijital bir mantığa sahip olan kontrol sisteminin yapısı ve makina kontrol süreci anlatılmış, makinanın hızını etkileyen önemli faktörlere değinilerek bir AC fırçasız servo eksenin pozisyonlama karakteristiği verilmiştir.

1. GİRİŞ

Bilgisayarda CAD ortamında tasarlanan şekillerin/kabartmaların sac üzerine yüksek kuvvetler gereksinimi nedeniyle hidrolik bir

silindir vasıtası ile işlenmesi bir CNC punch presinin görevini tanımlamaktadır. Şekillerin makina gövdesine sabit hidrolik silindirin her bir stroğu ile sac üzerinde istenilen koordinatlara işlenebilmesi için, sac X ve Y eksenleri olmak üzere iki eksende hareket ettirilerek hidrolik silindirin tahrik edeceği takım altında pozisyonlanır. Her bir X veya Y pozisyonlaması sonrasında silindir sac kalınlığına göre belirlenmiş bir strokta üst pozisyonundan alt pozisyonuna ulaşarak tekrar yukarı çıkar. Bu esnada silindirin altında pozisyonlanmış olan takım saca işlenir. Bir CNC punch presi belli şartlar altında bu işlemi dakikada yaklaşık 1200 kez tekrarlayabilir.

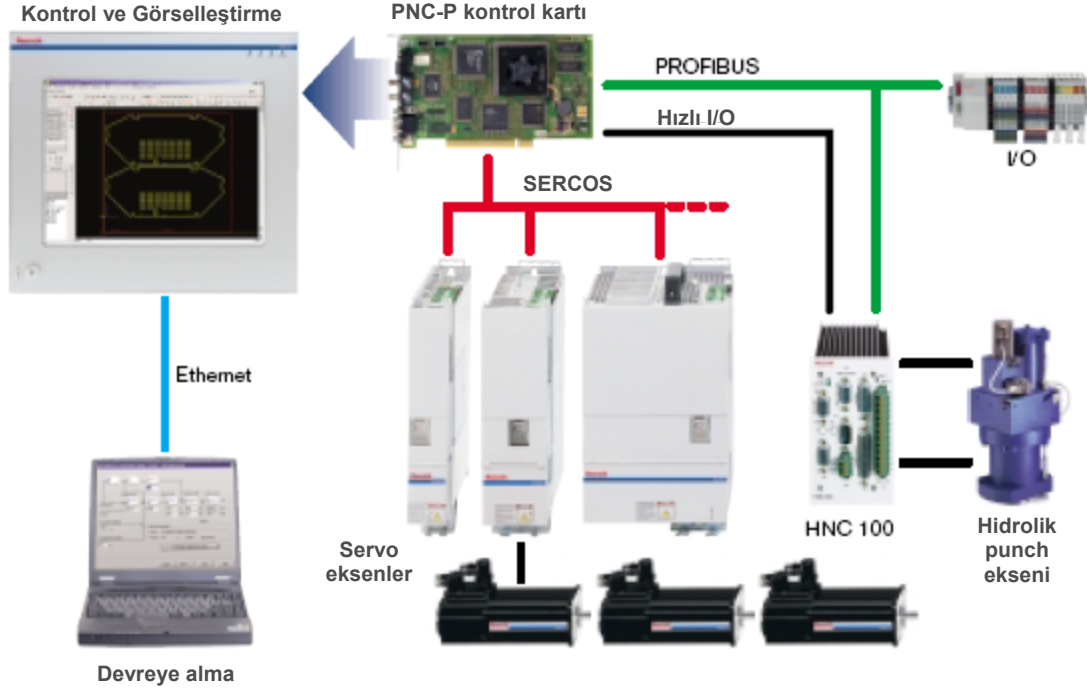


Şekil-1. Punch presi

2. SİSTEM TANITIMI

Bir CNC punch presi tahrikler anlamında bir çok alternatifi bünyesinde barındırabilir. Punch ekseninde yüksek güçler için hidrolik veya daha yüksek hızlar için elektromekanik, yardımcı hareketlerde hidrolik veya pnömatik, iş parçasını

taşıyan eksenlerde ise yüksek hızlar ve hassas pozisyonlama için doğrusal hareket teknolojileri, rotatif ve doğrusal servo motorların oluşturduğu elektromekanik tahrik teknolojileri kullanılmaktadır.



Şekil-2. Örnek bir kontrol yapısı

Sistemin tümünün kontrolü PNC ailesinden PNC-P plug-in CNC kontrol kartı ile sağlanmaktadır. PNC-P kontrol kartı, üzerinde Windows NT, 2000 veya XP çalışan herhangi bir bilgisayarın (endüstriyel tip olması önerilir) PCI yuvasına takılarak ve PC ile TCP/IP protokolü vasıtasıyla haberleşerek çalışmak üzere tasarlanmıştır. Günümüz PC işletim sistemlerinin giderek daha güvenilir ve kararlı bir hal alması bu tür PCI plug-in CNC denetleyicilerin kullanımını yaygınlaştırmıştır.

PNC-P kontrol kartı genel olarak üç bağımsız temel işlemeye ayrılabilir; 1-) Network adaptörü, 2-) NC işlemcisi, 3-) PLC işlemcisi. Network adaptörü, kartın takıldığı PC'nin network adaptörü ile haberleşme kurarak kartın işlemcisi ile kendi hafızasında çalışan işletim sistemine, PC'deki standart HMI yardımı ile operatörün ulaşabilmesini sağlar. NC işlemcisi esas olarak G kodları ile yazılmış parça programını işleterek SERCOS bus hattı üzerindeki sürücülerini kontrol eder. PLC işlemcisi de makina üzerindeki diğer tüm girişleri

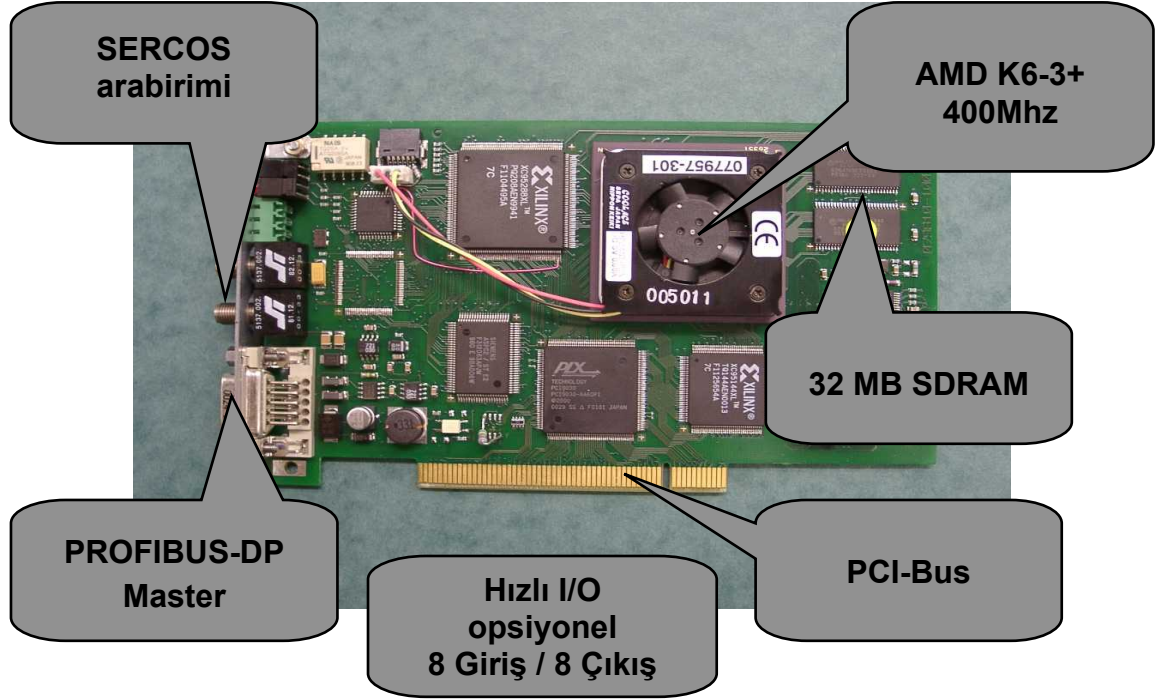
değerlendirerek yardımcı fonksiyonları kontrol eder.

Dakikada 600 vuruş yapan bir punch presinin günde ortalama 4 saat çalıştığı kabul edilirse, hidrolik punch silindiri bir ayda 3.5 milyon, yılda 41.5 milyon gibi çok yüksek strok sayılarına ulaşır, silindir seçiminde bu rakamlar dikkate alınmalıdır. Bu şartlarda çalışmaya uygun bir silindir, high-response oransal valve ile tahrik edilmektedir. Oransal valfin kontrolü ise HNC100 hidrolik eksen denetleyicisi ile gerçekleştirilmektedir. Her bir punch stroğunun tetiklenmesi direkt olarak NC işlemcisi tarafından hızlı I/O'lar ile sağlanmakta, yani PLC çevrim süresinden bağımsız kılınmaktadır.

İşlenecek saçın pozisyonlanması, punch silindirinin çekicinin istenilen takım üzerinde pozisyonlanması, alt ve üst kalıpların açılı vuruş yapmak için senkron bir şekilde pozisyonlanması ve de otomatik kalıp değiştirme (turret) işlemleri için seri ve hassas pozisyonlama yapabilen servo motorlar kullanılmaktadır. Servo sürücüler direkt olarak NC işlemcisi tarafından, 16 Mbaud hızla

kadar veri aktarımını destekleyen fiber optik SERCOS bus hattı üzerinden kontrol edilmektedir. Bu sayede düşük eksen sayılarında (≤ 8 eksen) 1

ms gibi çok düşük interpolasyon çevrim sürelerine erişmek mümkündür.



Şekil-3. Plug-in CNC kontrol kartı

Makinanın saç tutucu klempleri, reposizyon pistonları, hidrolik ünitesi, butonlar ve lambalar gibi tüm diğer yardımcı hareketler ve alarm/uyarı mesajları organizasyonu PLC işlemcisi tarafından kontrol edilmektedir. PNC-P kartı üzerindeki bu soft PLC (iPCL) 1 bitlik komut satırını 90 ns'de gerçekleştirerek, günümüz mevcut rack tipi PLC'lerinden çok daha yüksek bir program işleme hızına ulaşmaktadır. Örnek olarak mevcut punch presi uygulamalarımızda makinanın tüm fonksiyonlarını kontrol eden bir PLC programı için toplam çevrim süremiz 1.5 ms'nin altında kalmaktadır.

Makinanın kontrolünde NC ve PLC işlemcilerinin kontrol ettiği iki ayrı bus sistemi bulunmaktadır, NC işlemcisinin koordine ettiği SERCOS bus hattı, ve PLC işlemcisinin koordine ettiği PROFIBUS-DP bus hattı. Tüm servo eksenlerin kontrolü ve parametre atamaları SERCOS hattı üzerinden NC işlemcisi tarafından gerçekleştirilmektedir. Makina üzerindeki diğer giriş çıkışlar ve HNC 100 eksen denetleyicisi, PROFIBUS hattı üzerinden PLC tarafından sürülmektedir. Fakat NC işlemcisi ile PLC işlemcisi bir arabirim üzerinden devamlı olarak bir real-time haberleşme buldukları için, her iki işlemci de birbirinin sorumlu olduğu bus hatlarındaki elemanlara müdahale edebilirler.

Örneğin PLC işlemcisi istediği zaman her hangi bir servo sürücünün her hangi bir parametresini NC işlemcisini devreye sokarak okuyabildiği gibi, NC işlemcisi de PROFIBUS üzerindeki her hangi bir dijital çıkışı PLC işlemcisine emrederek set ettirebilir veya HNC 100 denetleyicisindeki bir parametreyi değiştirebilir.

3. SİSTEMİN ÇALIŞMASI

Parça programı ister elle yazılmış olsun, isterse CAD/CAM dönüştürücü bir postprocessor ile CAD ortamından G kodlarına dönüştürülmüş olsun, NC işlemcisi seçilmiş olan parça programını satır satır işleyerek yürütmektedir. Parça programında G kodları ile eksen hareketleri gerçekleşirken, önceden PLC içinde tanımlanmış M kodları (yardımcı fonksiyonlar) ile de diğer yardımcı hareketler tetiklenebilir. Burada NC işlemcisi, PLC işlemcisi ile paslaşarak parça programında yapılması istenen bir yardımcı hareketi (örnek; reposizyon pistonlarının aşağı inmesi gibi...) PLC'ye yaptırır.

NC parça programı standart DIN programlama dili ile yazılabileceği gibi, Basic benzeri yüksek seviyeli bir dil olan CPL (Bosch Customer Programming Language) dili ile de veya ikisi

birden karışık bir şekilde yazılabilir. Bu sayede çok daha esnek çevrimler ve dallanmalar gerçekleştirilebildiği gibi PLC işlemcisinin bütün datalarına ulaşmak ve giriş/çıkışları değiştirmek mümkün olmaktadır. Ayrıca NC ve PLC işlemcilerinin tamamen ortak kullanımına yönelik bir arabirim hafıza alanı mevcuttur. NC işlemcisinin yardımcı fonksiyonlar ile PLC işlemcisine servo eksenler ile ilgili veri aktarımı ve iş yaptırması, PLC işlemcisinin belli fonksiyonlar ile NC işlemcisine iş yaptırması ve PLC işlemcisinin alarm durumlarını NC işlemcisi HMI'ında oluşturması bu ara hafıza alanı ile mümkün olmaktadır.

4. PRES HIZININ ANALİZİ

Bir punch presinin hızından kastedilen bir dakika içerisinde yaptığı vuruş sayısıdır. Tahmin edileceği gibi bu, hidrolik silindirin ve de iş parçasını pozisyonlayan doğrusal eksenlerin hareket yoluna bağlı olarak göreceli bir kavramdır. Dolayısıyla aynı dili konuşmak üzere bu hareket boyları standartlaştırılmış, hidrolik eksen için 3 mm, doğrusal eksenler için 1 mm olarak kabul edilmiştir. 600 vuruşluk bir punch presi dendiğinde bu strok koşulları dahilinde bu sayıyı gerçekleştiren bir makina anlaşılmalıdır.

Dakikada 600 vuruş yapan bir punch presinde her bir çevrim için gereken süre 100 ms'dir. Bu 100 ms içerisinde şu işlemler sırası ile yapılmaktadır;

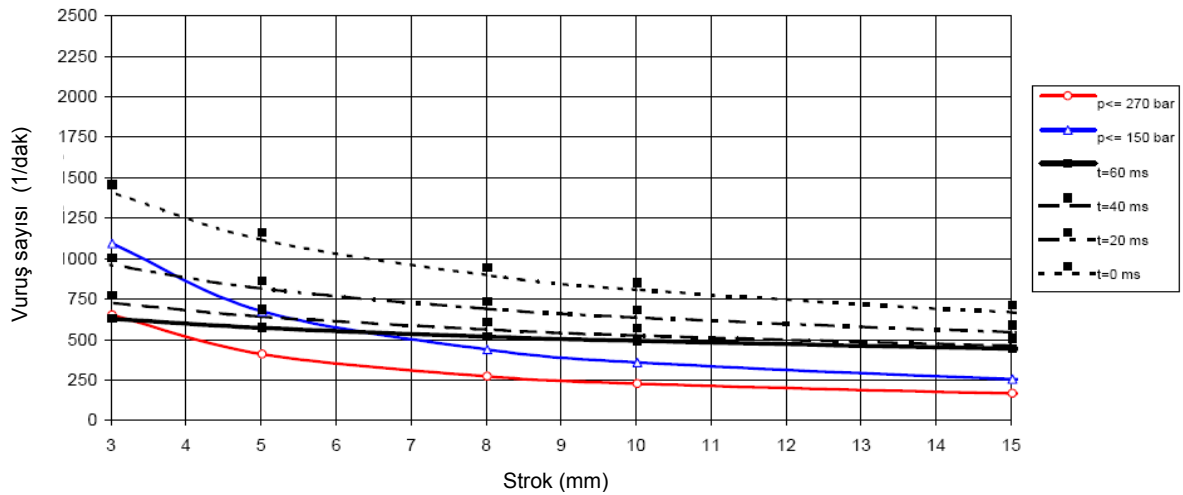
- Punch silindiri üst limitine ulaştığı anda X ve Y eksenleri saç pozisyonlamaya başlar.
- CNC, eksenlerin hedef noktaya ulaşması için t_1 zamanını hesaplar.
- Eksenler hedef noktaya t_2 süresinde ulaşarak CNC'ye pozisyona ulaştım işareti verir.
- Eksenlerin pozisyona ulaşmasından t_3 zamanı kadar sonra punch stroğu serbest bırakılır.
- Silindir hareketine başlamasından itibaren t_4 süresinde alt limite ulaşır.
- Silindir t_5 süresi boyunca alt limitte bekler.
- Silindir tekrar üst limite t_6 süresinde çıkar.

Bu şekilde bir punch çevrimi $t_2+t_3+t_4+t_5+t_6$ süresi içinde (seçime bağlı olarak $t_1+t_3+t_4+t_5+t_6$ süresi geçerlidir) tamamlanmış olur. İncelemeye punch silindirinin hareketleri açısından başlayalım.

Punch silindirinin toplam harcayacağı süre;

$$t_{\text{punch}} = t_4 + t_5 + t_6 \text{ ms olacaktır.} \quad (1)$$

Burada t_5 süresi tamamen seçime bağlı bir süre olup ancak formlama işlemi gerekiyor ise 0'dan farklı bir bekleme süresi verilebilecektir. Bunun dışında tüm kesme/delme işlemlerinde $t_5 = 0$ ms'dir. Yani t_{punch} silindir hareket süresi yapılacak olan strok boyuna, devrede kullanılan pompaya ve de silindiri süren oransal valfin cevap süresine bağlıdır ve 3mm strok için yaklaşık olarak 40-50 ms'dir.



Şekil-4. Çeşitli X-Y stroklarında vuruş sayıları

Mevcut uygulamalarımızda kullandığımız hidrolik sisteme ilişkin strok boyuna bağlı olarak ulaşılabilecek vuruş sayıları farklı saç pozisyonlama zamanları için şekil 4'de verilmiştir.

Bu şekilden de anlaşılacağı gibi genel kanı olan sadece pompayı büyütürük vuruş sayısını artırmak (5 mm'den kısa stroklarda), oransal valfin cevap süresinin kısıtlamasından dolayı mümkün değildir.

Hidrolik kontrol açısından daha yüksek vuruş sayılı sistemlere; daha hızlı cevap süresine ve yüksek debi geçirgenliğine sahip valf ve daha yüksek pompa debileri ile ulaşmak mümkündür. Bu durum yeni bir sistem tasarımı gerektirir.

X ve Y eksen pozisyonlamalarında CNC'nin davranışını, punch stroğunun nasıl serbest bırakıldığı anlamında ikiye ayırarak incelememiz gerekmektedir.

INPOS:

Punch stroğu, servo sürücülerden pozisyona ulaşım işaretinin gelmesinden t_3 ms sonra serbest bırakılır. Burada t_3 yine isteğe bağlı bir bekleme süresidir ve 0 veya pozitif değerler alabilir. CNC'nin bu şekilde çalışması seçildiğinde, eksenlerin pozisyona ulaşım işaretinin tam olarak ne zaman geleceği bilinmediği için t_3 süresi negatif değerler alamaz. Pozisyonlama süresi;

$$t_{\text{pos}} = t_2 + t_3 \text{ ms olur.} \quad (2)$$

Bu seçenek ile her koşulda tam olarak istenilen pozisyona vuruş yapılacağı kanısı doğru değildir. Çünkü eğer söz konusu eksen için pozisyonlama kazancı optimum değerinden daha yüksek

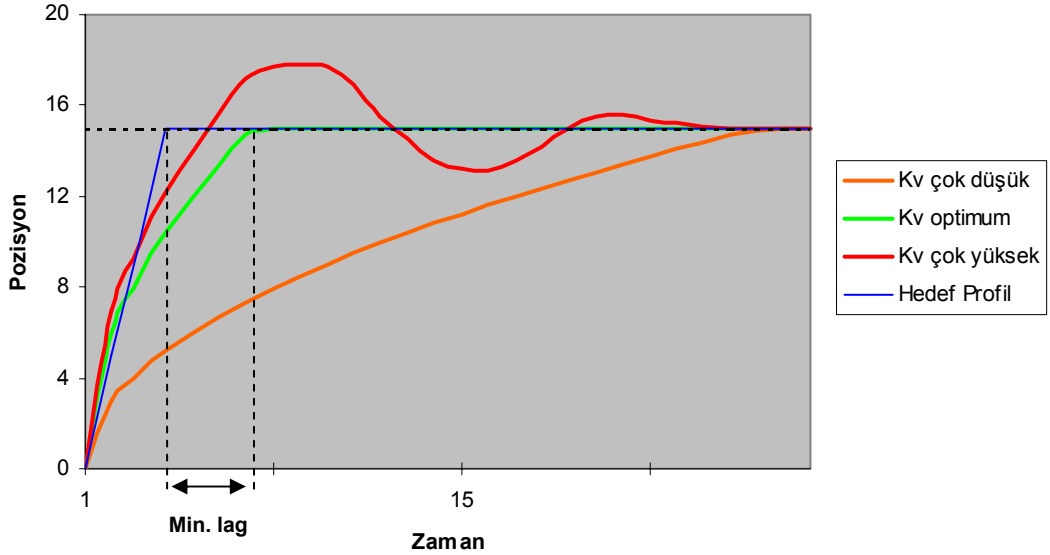
ayarlanmış ise eksen pozisyonlamasını hedef noktayı geçip geri dönüş yaparak tamamlar (bkz. Şekil-5). Bu durumda sürücünden pozisyona ulaşım işareti geldiğinde punch stroğu vurulur, fakat eksen pozisyonu geçtiği için istenilen noktaya vuruş yapılamaz. Bu durum ya eksenin pozisyonlama kazancı optimum ayarlanarak, ya da t_3 süresi uzatılarak bertaraf edilebilir. Elbette pres hızını düşüreceği için t_3 süresini uzatmak tercih edilmeyen bir çözümdür.

IPO ENDPOINT:

Punch stroğu, CNC'nin hesapladığı interpolasyon sonu süresinden t_3 ms sonra veya önce serbest bırakılır. Burada t_3 değişkeni, interpolasyon süresi CNC tarafından hesaplanabilen bir zaman olduğu için negatif değerler de alabilir. Pozisyonlama süresi;

$$t_{\text{pos}} = t_1 + t_3 \text{ ms olur.} \quad (3)$$

Stroğun nasıl serbest bırakılacağı konusunda her iki yöntem de makinanın çalışması esnasında ilgili G kodları istenildiği zaman aktif edilerek kullanılabilir. Burada bilinmesi gereken bu pozisyonlama süresini belirleyecek ana kriterler şunlardır;



Şekil-5. Kv optimizasyonu

- Motorların hedef pozisyona ulaşması için gereken zaman hiç bir zaman CNC'de hesaplanan süreye eşit veya kısa olamaz ($t_2 > t_1$).

- Hesaplanan t_1 süresinin düşük olması ekseninde sağlayabildiğimiz max. hız ve max. ivme değerlerine, bunlar da eksenlerin mekanik yapılarının rijitliğine, yataklamalarına, servo

motorun maksimum hızına, vidalı mil boyuna ve aktarma oranına bağlıdır.

pozisyonlama kazanç faktörüne (Kv - position loop proportional gain) bağlıdır.

- t_2 ile t_1 arasındaki farka gecikme (lag) diyebiliriz ve bu gecikme servo motorun

$$KV = \frac{V \left[\frac{m}{min} \right]}{S \left[mm \right]} \quad V = \text{Hız}, S = \text{Gecikme (lag)} \quad (4)$$

- Ayarlanmış sabit bir Kv değerinde gecikme eksen hızına yukarıdaki gibi bağlıdır.

1'er mm'lik eksen hareketlerinde 20 ms'lere ulaşmak mümkündür.

- Yukarıdaki denklemden de görülebileceği gibi düşük gecikmeler için en yüksek optimum pozisyonlama kazançlarına ihtiyaç duymaktayız. Yani ya eksen mekaniği iyileştirilerek aynı güçteki motor ile daha yüksek optimum Kv değerlerine ulaşılmalı, ya da mevcut mekanik, daha dinamik ve güçlü bir motor ile sürülmelidir. Bakınız şekil 5.

5. SONUÇ

Sonuç olarak motor seçimi bu açıdan bakıldığında çok önemlidir. Yüksek vuruş sayılarına ulaşmak için mevcut ekseni yerinde tutma ve hareket ettirmeye yeterli olmasının üstünde yüksek pozisyonlama kazançlarını sağlayacak bir motor kullanılmalı, ve de eksen mekaniği hem yüksek ivmelere olanak verecek rijit bir yapıda olmalı, hem de motor tarafından düşük gecikmeler ile pozisyonlanabilecek kadar basit, atalet momenti düşük ve hafif olmalıdır.

- Kv'yi yüksek tutmak için mevcut motor ve mekanik korunarak optimum KV'nin üzerine çıkılması durumunda, eksen hedef pozisyonunu geçip kısa bir rezonans sonucu son pozisyonunu alacaktır ve bu optimum Kv ile olan pozisyonlamadan daha uzun bir süre gerektirecektir. Bakınız şekil 5.

KAYNAKLAR

Bu yaklaşımlar ile maksimum vuruş sayısına ulaşmak için gecikmeyi o kadar düşük tutmalıyız ki, CNC tarafından hesaplanan süreden belli bir t_3 süresi bile önce silindiri serbest bırakırsak, silindir in takıma vurarak saça ulaşması için geçen sürede saç hedef pozisyonunu bularak hareketsiz hale gelsin. Bu ideal durumda $t_{pos} = t_1 - t_3$ olup,

[1] Hydraulics Trainer - Volume 1 & 2, Bosch Rexroth A.G.

[2] SYHNC100-NIB-2X Double Axis Control For Punching Machines, RE 30 131-B-NIB/01.02, Bosch Rexroth A.G.

[3] Rexroth PNC DIN Programming Instructions – Edition11, 1070 073 078, Bosch Rexroth A.G.

[4] Rexroth PNC Description of Functions – Edition 02, 1070 073 871, Bosch Rexroth A.G.