



Atalet Eşleştirmenin Kurallarını Geliştirme

Motoru yükün ataleti ile eşleştirmenin kabul edilen kuralı, günümüzün daha hızlı işlemcileri ve gelişmiş kontrol algoritmaları ile artık geçerli değil.

Bu eskiyen yöntem maliyetleri artırıyor ve yük ataletinin yüksek ve sürekli tork gereksinimlerinin düşük olduğu uygulamalarda gereksiz ağırlık yapıyor. Motor ataleti iyi bir bant genişliği ve servo kararlılığı gerektiren optimum performanslı bir çözüm geliştirirken düşünülecek hususlardan yalnızca biri.

Kuralın Kökeni

Atalet eşleştirmenin, bir servo motora bağlı sürülen bir yükün kararlı kontrolüne yönelik olduğuna inanılırdı. 70'lerde fırça tipi servo motorlar makine aletleri dünyasındaki hidroliklerin yerini alırken tasarımcılar yük ataleti, tork ve hız gereksinimlerini makinenin beklenen performansına göre hesaplardı. Gerekli tork ve hız gereksinimlerini karşılayan bir motor seçerken motor/yük ataleti oranı 1:1'e yakın değilse daha yüksek ataletli bir motor ile değiştirmek ya da bir dişli kutusu (servo motor tarafından görülen yansıyan ataleti azaltabiliyordu) kullanmak düşünülürdü, bu da sistemin maliyetini artırırdı. Ataletler eşleştiğinde optimum güç aktarımı gerçekleşse de bu yaklaşım verimli çalışan bir sistemi garanti etmiyordu. İdealde, toplam sistem ataleti daha az enerji harcayacak şekilde azaltılmalıydı. Bununla birlikte, daha büyük bir motor, eklenen motor ataletine ivme kazandırmak için tork gereksinimlerini artırır.

Uygulama boyutlandırma yalnızca atalet eşleştirmeden daha fazla göz önünde bulundurulacak hususlar var. Hidrolikten elektrik motoruna geçiş sırasında, komple mekanik ve kontrol sistemlerinin hızlı analizi mevcut teknolojinin sınırlarına tabiydi. Bu kapalı döngü servo sistemlerin inşası; makine performansını ciddi şekilde etkileyebilecek motor, takılan geri besleme cihazı, yükün

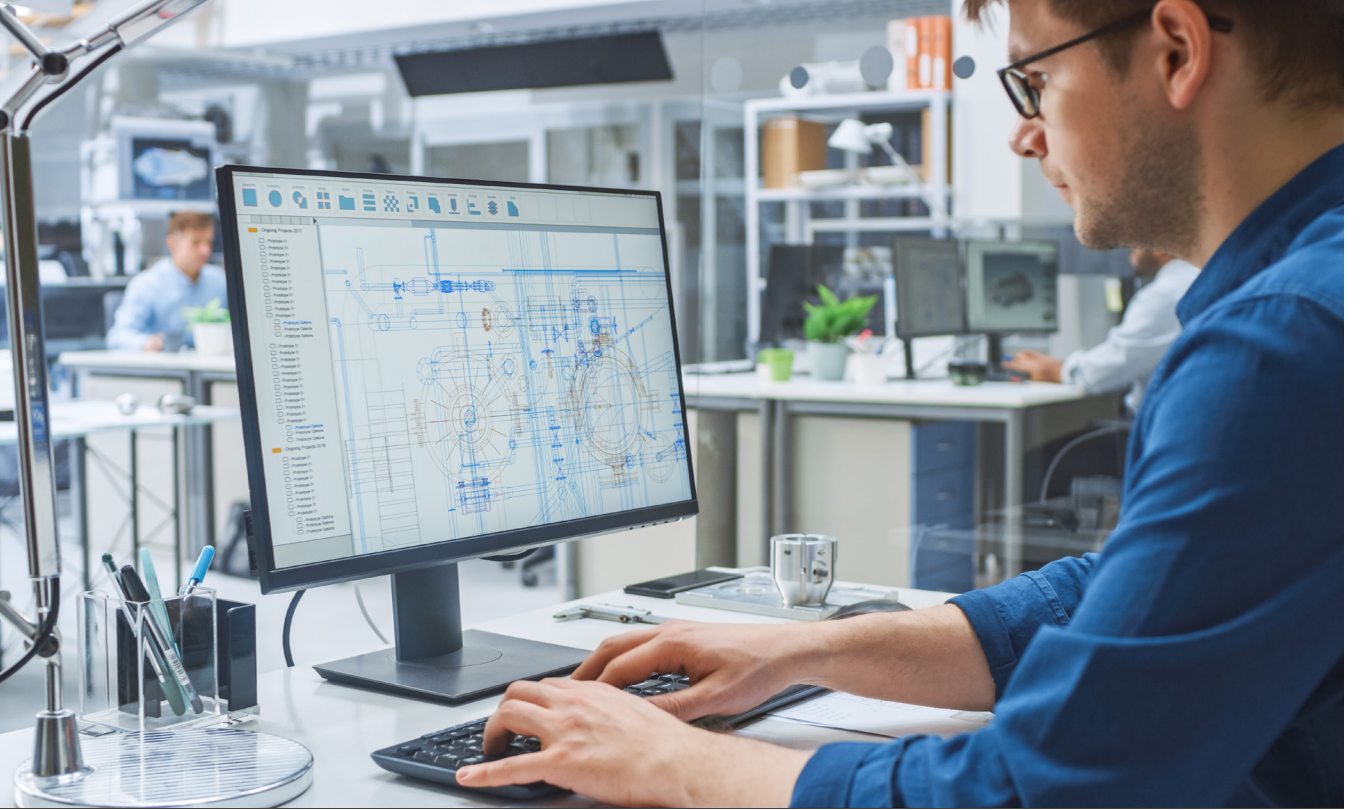
bağlantısı ve servo döngüleri ayarlama yetenekleri gibi bileşenler içermektedir. İyi performans sunmak için servo döngüler, istenen bant genişliği ve servo kararlılık ile çalışacak şekilde ayarlanır; bu da kontrol biriminin komutalarına minimal aşım ile yanıt vermeyi optimize eder. Servo motor, akım, hız ve konum döngülerini kullanan bir servo sürücü tarafından kontrol edilir. Her döngü; kararlılık, tork ya da hız bozulmalarına hızlı tepkiler ve sorunsuz çalışma üzerinden gelişmiş bir sistem yanıtı oluşturacak şekilde ayarlanır. İlk yıllarda servo döngü ayarında, deneme yanılma ile belirlenen döngü kazançlarını ayarlamak için belirgin bileşenler ve potansiyometreler kullanılırdı. Sınırlı analiz araçları ve işlem gücü bu ayrı bileşenlerle bir araya geldiğinde motor ile yük arasında kapalı bir atalet eşleşmesini zorunlu kılıyordu. İşlemciler ve analiz araçları iyileşmesine ve dijital olarak ayarlanan servo döngüler geliştirilmesine rağmen eski optimum 1:1 eşleşme kuralı devam etti.

Teknoloji Geliři

Fırçasız motor teknolojisinin, yüksek enerjili NeFeB mıknatısların ve dijital ayarlı döngülerin çıkmasıyla, atalet eşleştirme protokolü yeni sorunlarla karşı karşıya geldi. Rotora yerleştirilen yüksek enerjili mıknatıslar motor ataletini fırçalı tip motorlara göre belirgin ölçüde azalıyordu. Uygulama için gereken sürekli ve tepe tork yeteneklerini karşılayan motorlar, daha yüksek yük/motor ataleti uyumsuzluklarına sahipti. Servo motorun dijital ayarlanan döngüleri kararlı kontrol sağlamak adına kazançları ve filtreleri ayarlamayı çok daha kolay hale getirirse de; düşük işlemci hızları, düşük çözünürlüklü geri besleme cihazları ve diğer sınırlayıcı faktörler fırçasız motor seçeneklerinin ek atalet ile geliştirilmesine yol açtı.

Artan işlem gücü, doğru matematiksel modelleme ve sistem tepkisi simülasyonu yaratmak için karmaşık analizlere olanak sağladı. Güçlü entegre servo sürücü araçlarında bulunan modern yetenekler, karmaşık mekanik sistemler için etkileşimli analiz araçları yaratarak servo sistemlerin optimizasyonunu basitleştirdi. Gelişmiş analiz araçları ayrıca makine tasarımcılarının, mekanik sistemin hassas ayak izini ve performans sınırlarının nasıl giderileceğini ayrıntılı olarak anlamasını da sağladı.

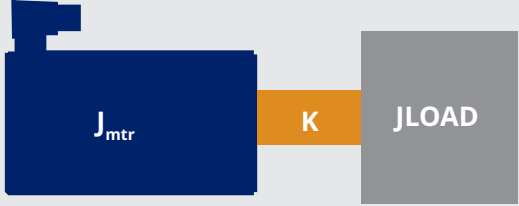
Artan işlem gücü, doğru matematiksel modelleme ve sistem tepkisi simülasyonu yaratmak için karmaşık analizlere olanak sağladı.



Uyumluluk – Yüksek Bant Genişliği Çözümlerinin

Bir mekanik sistemde uyumluluk sürücü yükü ile motor arasındaki mekanizmaların doğal esnekliğidir ve geciken yanıt süreleri yarayarak sistem bant genişliğinin azalmasına yol açar. Sisteme büyük bir atalet uyumsuzluğu eklendiğinde sorun daha da büyür; bu durum olağanüstü büyük bir yükü hareket ettirecek torka sahip ama bir bağlantı aracılığıyla bağlanmış küçük bir motora benzer. Küçük motor büyük yüke gerekli torku hızla uygularken büyük yük yanıt vermekte tereddüt eder; çünkü duran bir nesne durmaya devam etmek ister. Bu gecikme, motor ile yük arasındaki, yük harekete başlamadan önce bükülmeyi dâhil eden bağlantı uyumluluğunun bir sonucudur. Yük sonunda motor ile senkronize olduğunda büyük atalet hedef hızı aşacak ve küçük motorun yavaşlayarak ayarlama yapmasına neden olacaktır. Sistem büyük ataletin aşırı hızını ayarladığında hedef hız yeniden geçilecek ve küçük motorun daha fazla ayarlama yapmasına neden olacaktır. Bu sürekli döngü rezonans ve kararsız bir sistem yaratır.

Çoğu mekanik sistem, rezonansın olduğu frekans yanıtını hızlı şekilde tanımlamak için çeşitli uyarım frekansları kullanarak matematiksel olarak modellenilebilir ve simüle edilebilir. Bir sistemin bant genişliği sistemin başlangıçtaki anti-rezonans noktasını hiçbir zaman geçemez. Artan bant genişliğinin amacı, rezonansın nedenini tanımlayarak ve gidererek başlangıç rezonans frekansını daha yüksek bir değere itmektir. Uyumlu bir sistemde, uyumluluk ya da esneklik arttığında başlangıç rezonans noktasının frekansı azalır; bu da bant genişliğini azaltır. Sürülen yük, uyumluluk sorununu en aza indirmek için doğrudan motora bağlandığında, uyumsuzluk azalır; başlangıç rezonans frekansı artar ve daha yüksek bant genişliği olan bir sistem yaratılır.


$$J_e = \frac{J_{mtr} J_{load}}{J_{mtr} + J_{load}} \quad F_{antires} = \sqrt{\frac{K}{J_{load}}} \quad F_{res} = \sqrt{\frac{K}{J_e}}$$

J_{load} ve J_{mtr} arasındaki oran arttıkça J_e değeri J_{mtr} değerine yaklaşır, yani J_{mtr} azalır J_e azalarak rezonans frekansının artmasına yol açar. K değerinin artması ayrıca frekansın da artmasına neden olur. Anti-rezonans frekansı değişmeyecektir; çünkü yük ataleti sabittir ancak kararlılık halinde artacaktır. Frekansın (F) bu denklemde rad/sn cinsinden olduğuna dikkat edin.

Artan Kararlılık Ve Azalan Sistem Atalet

Bir mekanik sistemi temsil eden matematiksel modeller, daha yüksek bant genişliğine sahip ve daha düşük maliyetli bir sisteme yönelik nihai çözümün, mekanik kararlılığı artırmak ve toplam sistem ataletini azaltmak olduğunu göstermektedir.

Yükün doğrudan motora bağlandığı ve sifıra yakın uyumsuzluğu olan doğrudan tahrikli bir çözüm düşünün. İyi bir bant genişliği ile sistemin hassas şekilde kontrolü, 1000:1'i aşan atalet uyumsuzluklarında bile sağlanabilir. Aşırı

katı (uyumsuz) bir sistemde servo sistem, sistemin ataletini, spesifik uygulamanın gerektirdiği şekilde harekete geçirmek için gereken torku sağlayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Doğrudan tahrikli çözümler tüm uygulamalar için uygun olmadığından, sisteme uyumlu bileşenler dâhil edilecektir. Mevcut gelişmiş analitik araçlar, sistem performansını azaltan uyumlu bileşenleri kolayca tanımlamaktadır.

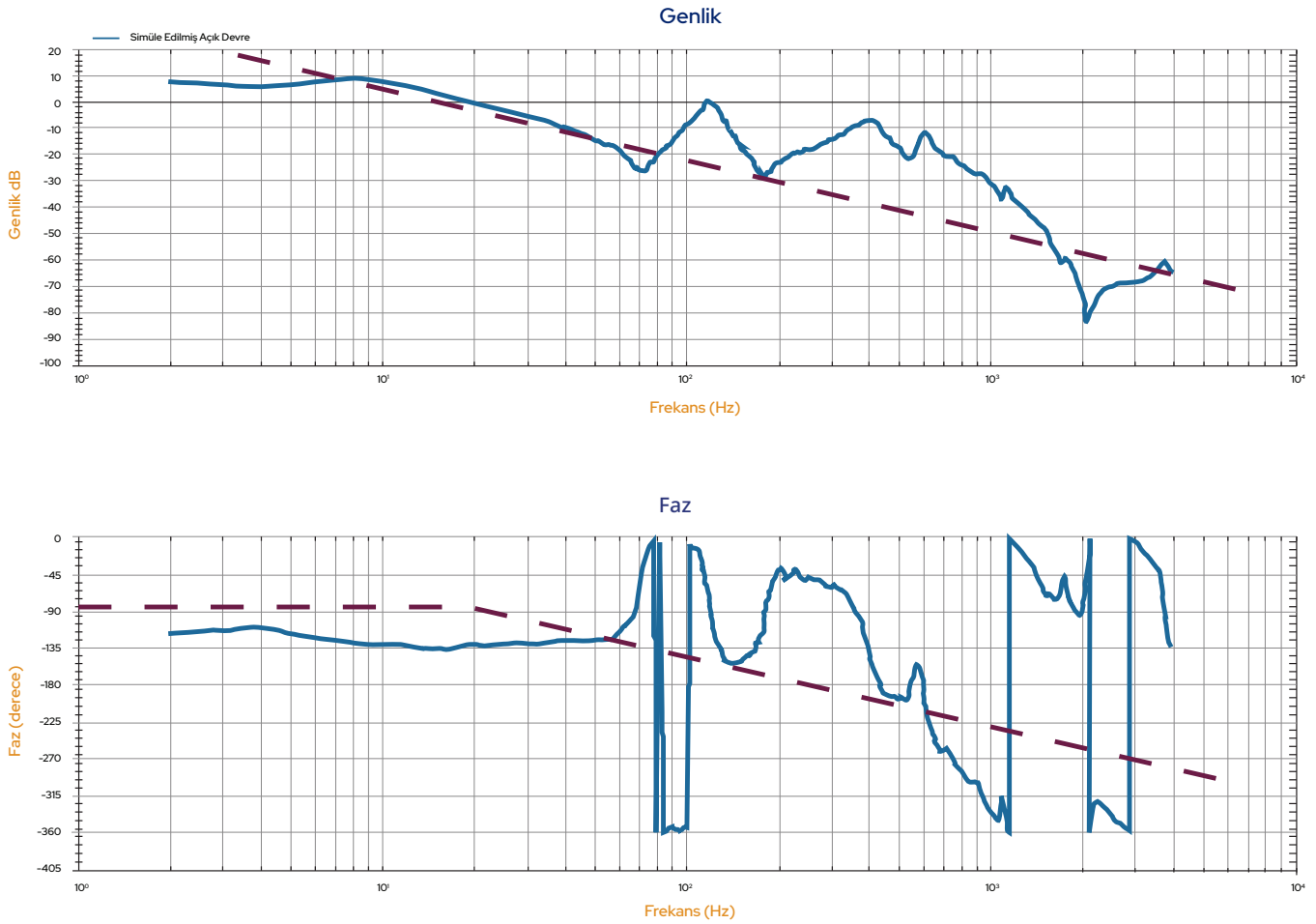
Bode Çizimi

Bode çizimi, sistemin genliğini ve faz gecikmesini tanımlamak için enjekte edilen bir sinyalin frekans yanıtını resmeden iki grafikten oluşan güçlü bir analiz aracıdır. Bant genişliği, faz ve kazanç marjları, rezonans ve anti-rezonans noktaları, bode çiziminde yer alan bileşenlerden yalnızca birkaçıdır. Ayrıca atalet uyumsuzluğunun işaretlerini, bağlanan birim sayısını, sürtünme seviyelerini de sunar

ve açık ve kapalı döngü bant genişliğini, faz ve kazanç marjlarını ve rezonans frekanslarını tanımlar. Bu bilgiler, döngü kazançları ayarlanarak, çeşitli dijital filtreler takılarak ve mekaniklerin ayarlanması düşünülerek sistemin optimum performansa getirilmesi sürecinde paha biçilmezdir.

Grafik Ölçümler

Bode grafikleri bir kazanç ve faz grafiğinden oluşur ve aşağıda gösterilen karakteristiklere sahiptir.



Mükemmel bir sistemde Genlik grafiğinin doğrudan negatif tarafta -20dB/decade olmasını bekleriz. Faz grafiği -90°den başlamalı ve genliğin sıfır dB'den geçtiği noktadan itibaren negatif tarafa düşmelidir.

Bant Genişliğini Hesaplama - Faz Ve Kazanç Marj

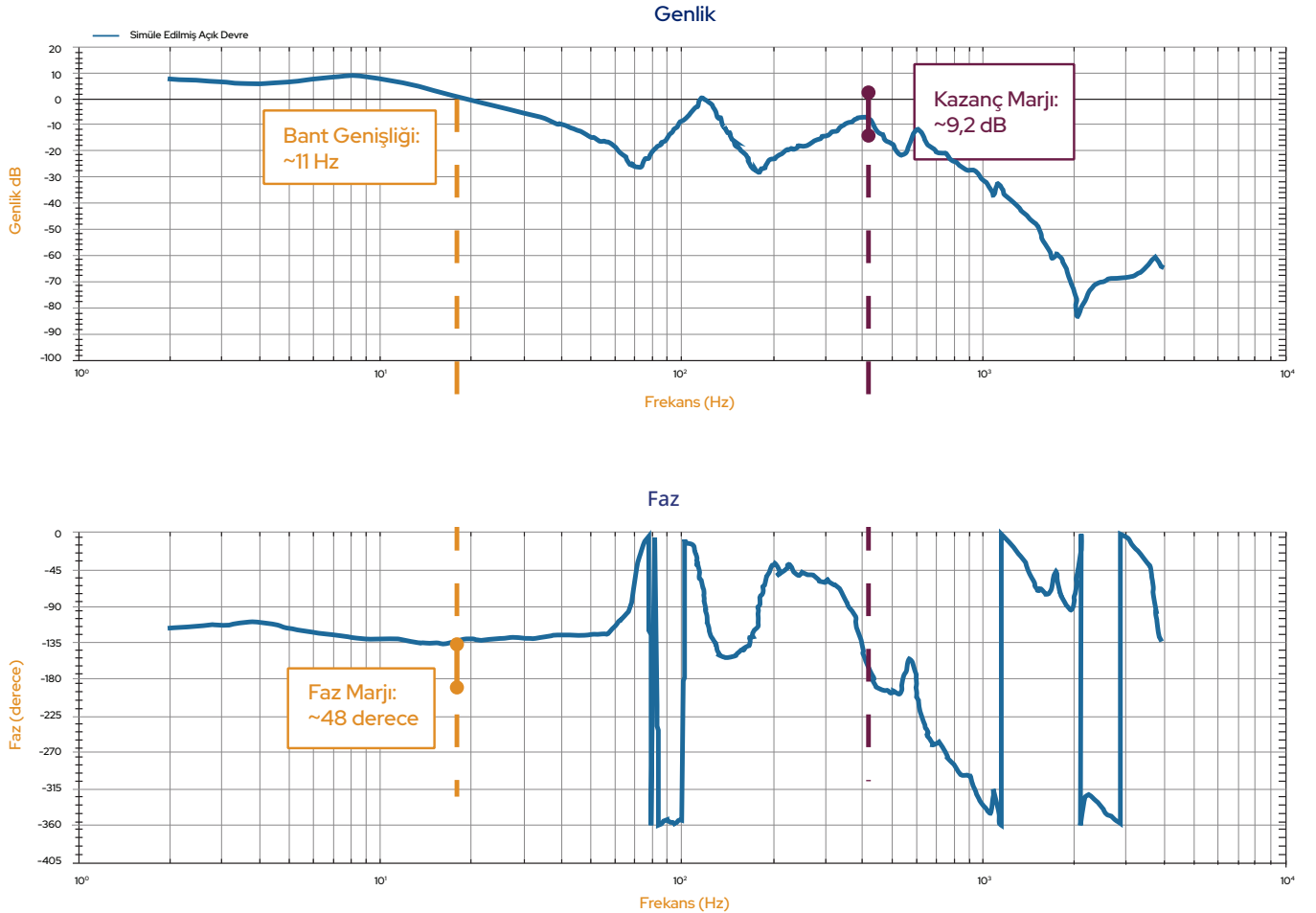
Geçerli bir bode grafiği kullanılarak açık ve kapalı döngü bant genişlikleri, yanı sıra ilişkilendirilmiş kazanç ve faz marjları belirlenebilir. Bant genişliği, açık döngü grafiğinin 0 dB'e eriştiği frekans (~11 Hz) ile temsil edilir. Faz marjı, -180 derecenin üzerindeki derece sayısıdır (~48 derece) ve kazanç marjı, -180 derecelik bir faza (~9,2 dB) karşılık gelen genlik ölçümüdür.

Aşağıdaki örnekte, optimize atalet uyumsuzluğu endişesi olmadan çözüme iyileştirilmiş sistem kararlılığı uygulanarak hem performans hem de maliyetin nasıl başarıyla optimize edileceği resmedilmektedir.

3 eksenli bir lazer kesim makinesi, eksen motorlarının seçimi için atalet eşleştirme yaklaşımı kullanılarak tasarlanmıştır. Makinenin maliyetini azaltmak ve performansını iyileştirmek için yeniden bir tasarım talep edilmiştir. Uygulama

gereksinimlerine ilişkin yapılan bir inceleme, alternatif motor çözümlerinin, ilave kazanç ve faz marjları ve iyileştirilmiş kararlılık sağlamak için sistem rezonans noktasını düşürebileceğini göstermiştir. Seçilen servo motor toplam sistem ataletini azaltmış, daha geniş bir şaft çapı (daha yüksek rezonans frekansı) ile eksenin kararlılığını artırmış ve daha küçük bir paket içinde daha yüksek bir güç yoğunluğu sunmuştur. Artırılan şaft katılığı, uyumsuzluğu azaltmış ve bu da performansı artırmıştır.

Aşağıdaki grafikte, daha yüksek mekanik katılık ve daha düşük atalet için atalet eşleştirme yaklaşımının ortadan kalkmasıyla elde edilen iyileştirilmiş performans ve maliyet tasarrufları resmedilmektedir.



EKSEN	Orijinal Jm (kg-cm2)	Yeni Jm (kg-cm2)	Yük ataleti (kg-cm2)	Orijinal atalet uyumsuzluğu	Yeni atalet uyumsuzluğu	% Artış	% maliyet tasarrufu
X	120	67.7	256.75	2.14	3.79	77%	17%
Y	17	4.58	9.56	0.56	2.09	273%	34%
Z	121.6	80	29.4	0.24	0.37	54%	17%



Sonuç

Gelişmiş ayarlama yetenekleri olan modern servo sürücüler ve yüksek çözünürlüklü geri besleme kullanan yüksek performanslı servo motor tasarımları, yük/motor ataleti uyumsuzluğu endişelerini ortadan kaldırır. Uygun uygulama boyutlandırması ve kararlı bir mekanizma tasarlamadaki en iyi pratikler, yüksek bant genişlikleri, iyileştirilmiş hareket ve durma süreleri ve sağlam dinamik kontrolleri olan yüksek performanslı bir hareket sistemi sağlamaktadır.

Kollmorgen Hakkında

Bir Regal Rexnord Markası olan Kollmorgen, sektörün en yüksek performanslı, en güvenilir motorları, sürücülerini, lineer aktüatörleri, AGV kontrol çözümleri ve otomasyon platformlarında kanıtlanmış 100 yılı aşkın hareket deneyimine sahiptir. Eşsiz bir performans, güvenilirlik ve kullanım kolaylığına sahip üstün çözümler sunuyor, makine üreticilerine kesin bir pazar avantajı sunuyoruz.