

Ürün Bilgisi

Atalet Eşleştirmenin

# Kurallarını Geliştirme

**KOLLMORGEN**





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.**

## KURALIN KÖKENİ

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 artırır. Ataletler eşleştğinde 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 sadece 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.



## TEKNOLOJİ GELİŞİMİ

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 getirse 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.**

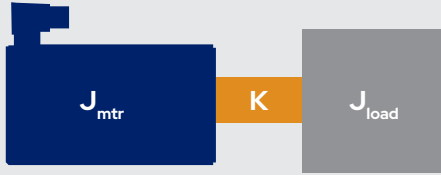
## UYUMLULUK - YÜKSEK BANT GENİŞLİĞİ ÇÖZÜMLERİNİN ÇİLESİ

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 büyük; 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 modellenabilir 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 genişliği 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 KARARLILIK VE AZALAN SİSTEM ATALETİ

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 ÇİZİMİ

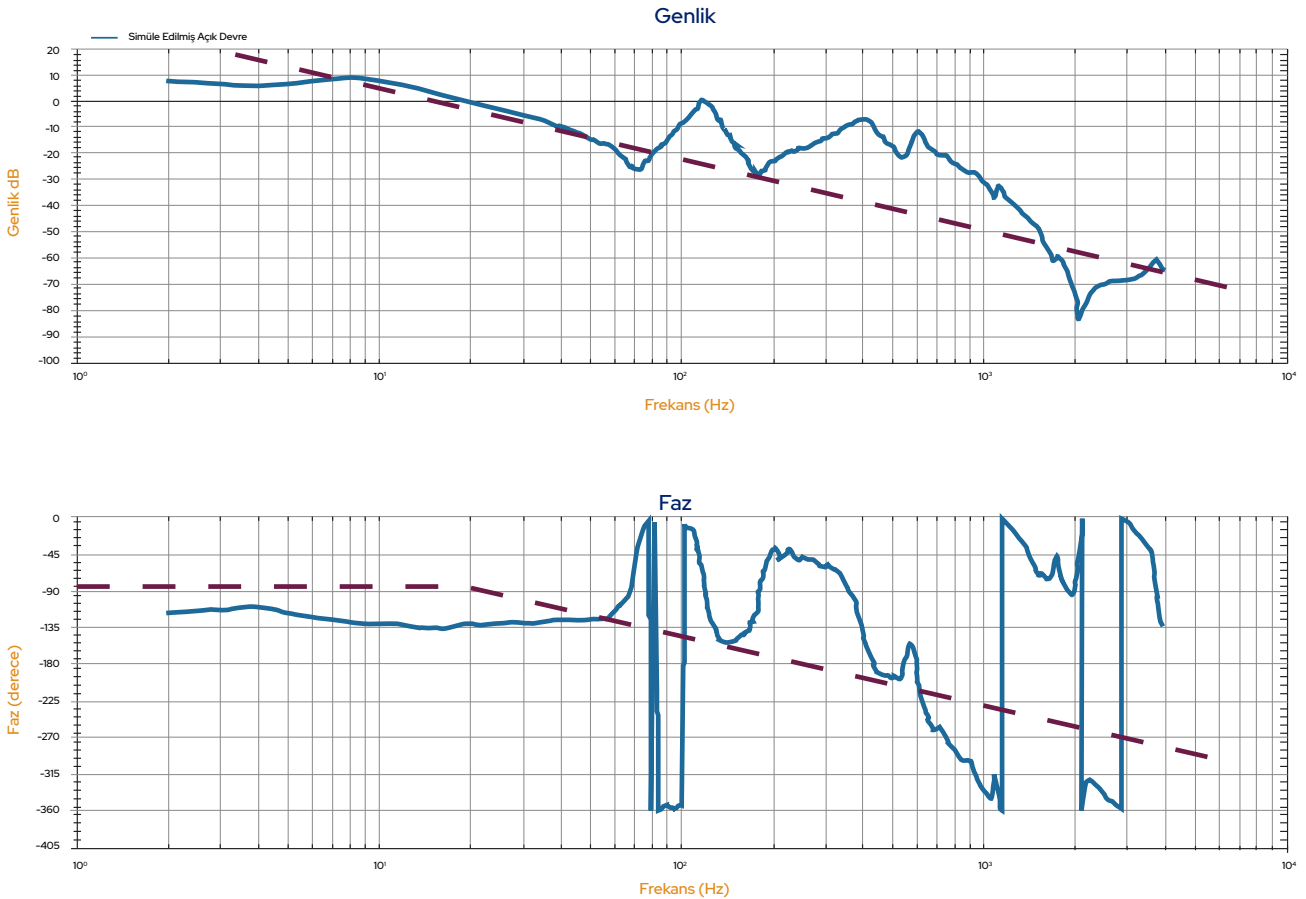
Bode çizimi, sistemin genliğini ve faz gecikmesini tanımlamak için enjekte edilen bir sinyalin frekans yanıtını resmeden iki grafikten oluşan güçlü bir analiz aracıdır. Bant genişliği, faz ve kazanç marjları, rezonans ve anti-rezonans noktaları, bode

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.

## GRAFİK ÖLÇÜMLERİ

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



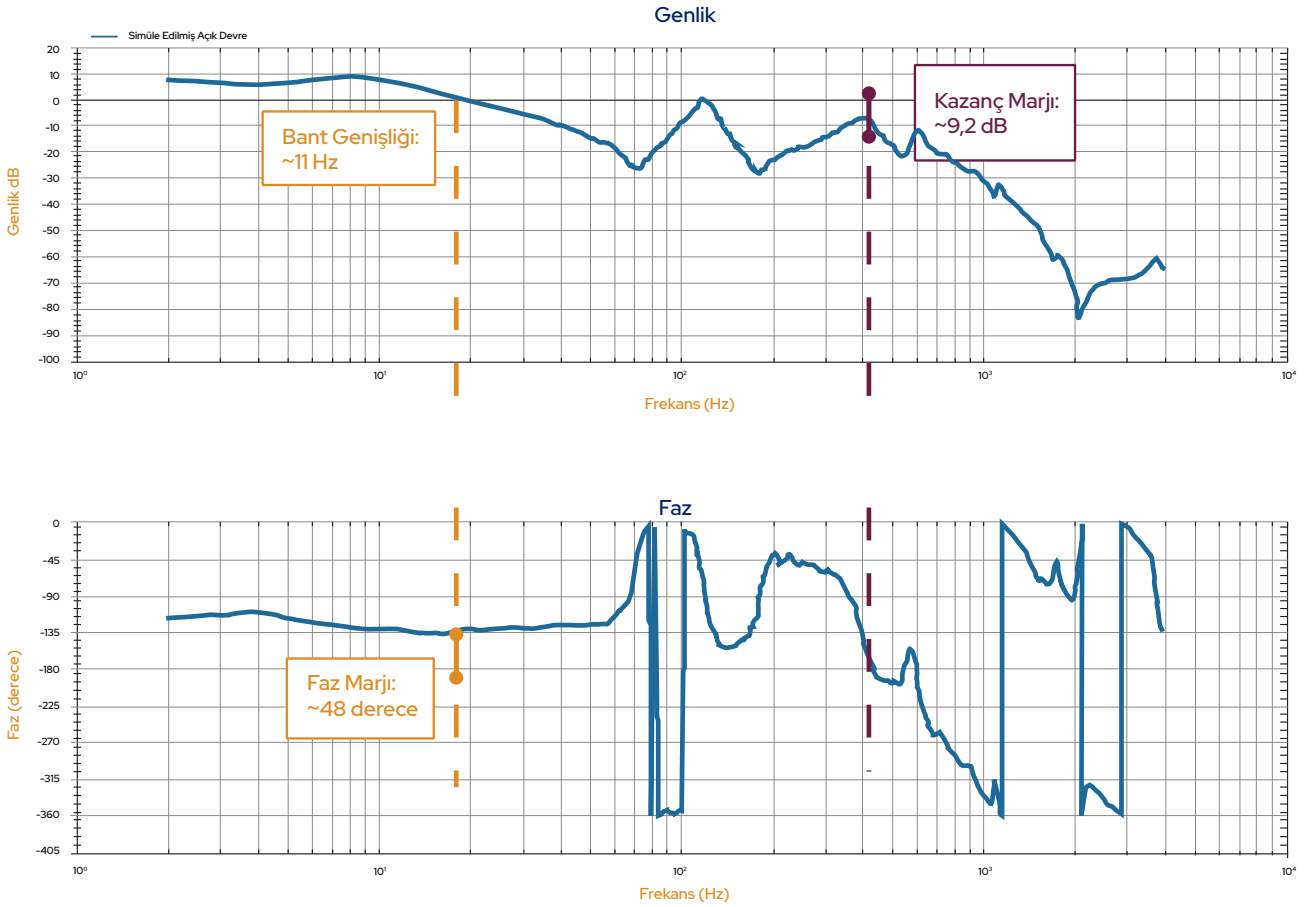
Mükemmel bir sistemde Genlik grafiğinin doğrudan negatif tarafta -20dB/decade olmasını bekleriz. Faz grafiği -90°den başlamalı ve genliğin sıfır dB'den geçtiği noktadan itibaren negatif tarafa düşmelidir.

## BANT GENİŞLİĞİNİ HESAPLAMA - FAZ VE KAZANÇ MARJLARI

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-cm <sup>2</sup> )	Yeni Jm (kg-cm <sup>2</sup> )	Yük ataleti (kg-cm <sup>2</sup> )	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.

## Daha Fazlasını Öğrenmek İster misiniz?

İlave ilgili konular, mekatronik, kontrol teorisi, dijital filtreleme teknikleri, servo döngü ayarlama, matematiksel modelleme ve mekanik rezonansları kapsamaktadır. Kollmorgen, pratik bode grafikleri uygulaması ve dijital filtreleme kullanan ayarlama teknikleri içeren birden çok güne yayılmış bir gelişmiş servo ayarlama kursu sunmaktadır. Benzer konular şu yayınlarda ele alınmaktadır:

### Makaleler (okumak için tıklayın)

[Servo Boyutlandırması ve Seçimi](#)

[Bir Servo Motorun Enerji Yönetimi – Atalet Oranının Etkileri](#)

[Entegre Model Tabanlı Makine Tasarımı](#)

[Optimum Servo Motor Kontrolü için Basitleştirilmiş Makine Tasarımı Yaklaşımı](#)

## Yanıtlar için Kollmorgen ile Ortaklaşa Hareket Edin

Kollmorgen bir tedarikçiden daha fazlasıdır. Başarınız için çalışan bir ortağız. Hareket sistemlerimizi yaratan ve özel metal şekillendirme gereksinimlerinin nasıl karşılanacağını bilen tasarımcılar için doğrudan mühendisten mühendise erişim sunuyoruz. Kendiliğinden kılavuzlu tasarım araçlarımız ürünlerimizi çevrimiçi olarak modellemenize, seçmenize ve optimize etmenize yardımcı olur. Üretim, tasarım, uygulama ve servis merkezlerinin global ağı sayesinde, başka bir ortağın sunamayacağı güvenilir tedarik, ortak tasarlanan uzmanlığa ve kişisel desteğe erişiminiz olur. İster mevcut bir makineyi geliştiriyor olun, ister müşterileriniz için son teknolojiyi tanımlayacak yeni nesil bir makine tasarlayın, olağan dışı olanı tasarlamaya yardım edebiliriz.

Makinenizin neler yapabileceğini keşfetmeye hazır mısınız? [www.kollmorgen.com](http://www.kollmorgen.com) adresini ziyaret edin