

Piezelektrik Bir Motorun ANSYS'de Dinamik Analizi

Mustafa Reşit Usal¹, Arif Şahin¹, Melek Usal¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Isparta

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Isparta

e-posta: , mrusal@sdu.edu.tr , arifsahin@outlook.com , melekusal@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi:20.11.2013; Kabul Tarihi:13.02.2014

Özet

Anahtar kelimeler

Piezelektrik motor;
Modal analiz;
Harmonik analiz;
ANSYS.

Bu çalışmada model olarak, lineer bir ultrasonik motor tipi olan Piezolegs-LL1011A piezelektrik motor seçilmiştir. Bu motorun modellenmesi yapıldıktan sonra modal ve harmonik analizleri sonlu elemanlar paket programı olan ANSYS ile çözdürülmüştür. Yapılan bu analizler neticesinde Piezolegs motora ait modal frekans değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu modal frekans sonuçlarından harmonik analizde kullanılacak ve sürücü ucun rotor hareketini sağlayacak en uygun frekans aralığı tayin edilmiştir. Piezolegs motora uygulanan yükler doğrultusunda harmonik analizi yapılarak elde edilen frekanslara göre motordaki sürücü uç hareketleri gözlemlenmiştir.

Dynamic Analysis of a Piezoelectric Motor in ANSYS

Abstract

Keywords

Piezoelectric motor;
Modal analysis;
Harmonic analysis;
ANSYS.

In this study, Piezolegs-LL1011A which is linear piezoelectric motor type has been selected as a model. After modelling has been done of this motor, modal and harmonic analysis of same motor have been obtained with finite element package program ANSYS. As a result of these analysis, natural frequency values have been obtained of Piezolegs motor. An appropriate frequency range for motion of drive tip is obtained for harmonic analysis. In according to applied forces, harmonic analysis is done and drive tip motion of motor is observed.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte araştırılması önem arz eden konularda artmaktadır. Günümüzde teknolojik gelişmelere ve endüstriyel uygulamalara paralel olarak, elektrik motorlarının kalite ve çeşitliliğinin geliştirilmesi konusu önem kazanmıştır. Endüstride kullanılacak yeni motorların yüksek hız, yüksek moment, düşük ağırlık, küçük boyut ve uzun ömürlü olmaları istenmektedir. Bu bağlamda birçok motor geliştirilmiştir. Ayrıca yarı iletken teknolojisinin gelişmesi sonucunda sürme devrelerinin daha ucuza mal edilebilmesi de motor tasarımlarına hız verilmesinde etkili olmaktadır. Yeni olarak geliştirilen ve yapısında piezelektrik malzemelerin kullanıldığı motorlardan biri de piezelektrik motorlardır. Piezelektrik (ultrasonik) motorlarla

ilgili ayrıntılı incelemeler, 1980'li yıllarda yarı-iletken teknolojisinde hassas konumlandırıcılara duyulan gereksinim nedeniyle başlamışsa da; titreşim ve sürtünme kuvvetiyle çalışan motor düşüncesi ilk kez 1942 yılında Williams ve Brown tarafından ortaya atılmıştır. 1982 yılında Sashida tarafından geliştirilen motorda kullanılan disk ya da halka şeklindeki piezelektrik malzemenin yüzeyi, dilimli şekilde metal elektrotla kaplanmıştır. Dilimlenmiş elektrotları bulunan piezelektrik halka (ya da disk), aralarında 90 derece faz farkı olan iki alternatif sinyalle uyarılır. Bu uyarım sonucunda, yürüyen dalga oluşur. Sashida tarafından geliştirilen yürüyen dalga tipi motordan sonra birçok yeni piezelektrik motor geliştirilmiştir. Bu USM (ultrasonik motor)'ların çalışma karakteristiklerini tahmin etmek için çeşitli çalışmalara girişilmiştir. Hirata ve Ueha (1993), yürüyen dalga USM' nin

yüklü çalışma karakteristiklerinin hesaplanması için eşdeğer devre modeli geliştirmiştir. Motorun mekanik ve elektriki kısmı eşdeğer devre üzerinde temsil edilerek motorun performansı tahmin edilmektedir. Hagedorn ve Wallashek (1992)' in USM' nin matematik modelini kapsayan makalelerinde, motorun temel çalışma prensiplerini değerlendirmiş ve statorun matematik modelini elde ederek çalışmayı iletmişlerdir. Kullanılan malzemenin doğal frekansını ve dalga sayısını değişken olarak motorun çalışma prensibini doğru olarak tahmin etmişlerdir. Hagood ve McFarland (1995), bu konuda sonraki çalışmalar için çok önemli olan bir model sunmuştur. Bu modelde motor performansı tasarım parametrelerinin bir fonksiyonu olarak tahmin edilmektedir. Aoyagi vd. (1996), motorun modellenmesi için basitleştirilmiş eşdeğer devre modelini kullanmışlardır. Elghouti ve Helbo, (2000), motorun eşdeğer devre modelini sunmuştur. Bu model sistemin fiziki büyüklükleri ile elektriki kısmın teorik yaklaşımını kapsamaktadır. Bu modelde özellikle kuplaj katsayısı ile model kuplaj katsayısı arasındaki fark ortaya konulmuştur. Bal ve Bekiroğlu (2001), USM için eşdeğer devre modeli elde etmiştir. Bu modelde motor hızının gerilim ve frekansla değişim eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca motorun yüklü çalışma ve sıcaklık değişimindeki karakteristikleri elde etmiştir. Chung (2001), motorun hız denetiminde darbe genişlik modülasyonu (DGM) yöntemini kullanmıştır. Hız denetimi için DGM sinyalinin çalışma oranı değiştirilerek motora uygulanan gerilimlerin değiştirilmesi sağlanmıştır. DGM ile uygulanan gerilimlerin genliği ayarlanarak motorun hız ve konum denetimi gerçekleştirilmiştir. Bal vd., (2006), yürüyen dalga tip USM için sayısal olarak kontrol edilebilen bir sürme sistemi geliştirmiş ve bu motorun hız denetimi mikro denetleyici ile gerçekleştirirerek bilgisayarda görsel olarak sunmuştur. Uzel (2006), yürüyen dalga ultrasonik motorun mikro denetleyici ile hız kontrolünü gerçekleştirmiştir. Motoru sürmek için sayısal olarak kontrol edilen bir sürme sistemi geliştirmiş, hız denetiminde kontrol girişi olarak sürme frekansı kullanmıştır. Sharp (2006), bir piezoelektrik lineer

motor tasarımı yapmış ve yaptığı bu tasarımı patentli olarak üretmiştir. Ürettiği bu motorun dinamik analizlerini ANSYS'de yaparak sonuçlarını ürettiği motor ile karşılaştırmıştır.

Bu çalışmada ultrasonik frekans aralığında çalışan bu motorların çalışma prensiplerini incelemek için literatürde mevcut olan motor modellerinin önce dinamik modeli sonra bu motoru harekete geçirecek sürme teknikleri incelenmiştir. Bu motorların karakteristik çalışmasını ortaya koyan Modal ve Harmonik analizleri, Sonlu Elemanlar tabanlı paket programı olan ANSYS ile incelenmiştir. Bu bağlamda incelenen piezoelektrik lineer motor tasarımları ve analizleri doğrultusunda model olarak PiezoMotor firmasına ait PiezoLEGS - LL1011A lineer motor tipi seçilmiştir. Analizler, PZT4 olarak seçilen piezoseramik malzemeleri iki ayrı yüke maruz bırakarak yapılmıştır. İlk olarak piezoelektrik motor modeline kuvvet uygulanıp piezoseramiklerin rezonans frekansı ve sürücü uç hareketleri incelenmiştir. İkinci olarak ise piezoseramikleri rezonansa sokacak gerilim uygulanarak, uygun rezonans frekansı ve motorun hareketini önceden görmemizi sağlayan sürücü uç hareketleri incelenmiştir. Yapılan bu iki farklı analiz modeli sonucunda motorda kayıcı hareketini sağlayacak uygun davranış modeli belirlenerek, sürücü uçta meydana gelecek yer değiştirmeler neticesinde motora hareket sağlayacak frekans değeri ve deformasyonlar elde edilmiştir.

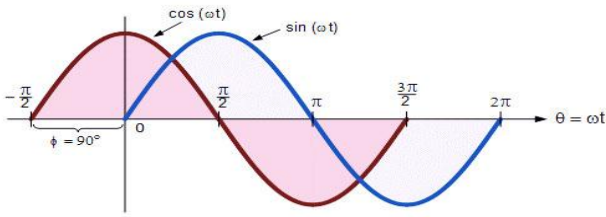
2. Materyal ve Metod

2.1. Piezoelektrik (Ultrasonik) Motorlar

Piezoelektrik (Ultrasonik) motor, sürme kaynağı olarak ultrasonik seviyedeki mekanik titreşimleri kullanan, piezoelektrik seramik parça üzerine uygulanan alternatif gerilim sonucunda elde edilen titreşimin hareketli parçaya sürtünme kuvvetiyle aktararak çalışan motor çeşididir. Buradaki ultrasonik kelimesi bu motorların 20 kHz üzerindeki frekanslarda (ultrasonik frekans bölgesinde) çalışmasından dolayı kullanılmaktadır (Int Kyn. 1).

Ultrasonik motorlarda piezoelektrik davranış gösteren PZT veya PLZT adı verilen maddeler kullanılır. Kuartz ve baryum titanat piezoelektrik etkinin gözlendiği bazı maddelerdir. Daha sonra bu maddelerden daha güçlü piezoelektrik davranış gösteren PZT adlı bir madde türetilmiştir. Bu $PbZrO_3 - PbTiO_3$ karışımı katı bir maddedir. PZT terimi $Pb(Zr-Ti)O_3$ den türetilen bütün maddeler için, PLZT ise $(Pb,La)(Zr,Ti)O_3$ den türetilen maddeler için kullanılır (Uzel, 2006).

Piezoelektrik seramik malzemeler, uygulanan elektrik alanına bağlı olarak genişler veya daralır. Ultrasonik motorda, genişleme veya daralma şeklinde alternatif dalga üretmek için piezoelektrik seramik elemana Şekil 1’de gösterildiği gibi aralarında 90° faz farkı olan yüksek frekanslı iki-faz sinüsoidal gerilim uygulanır.

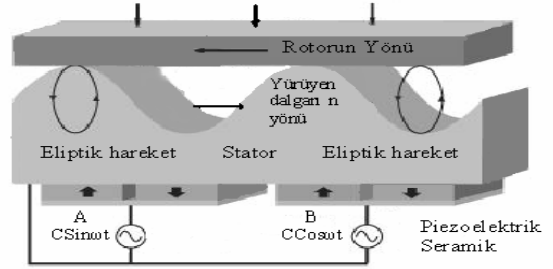


Şekil 1. Kosinüs ve Sinüs Dalga arasındaki faz farkı

Titreşim seramik gövdede veya ona bağlı metal parçada üretilebilir. Osilasyonun genliği ($1 \mu m$) oldukça küçük bir değerdir. Daha yüksek bir kazanç elde etmek için ultrasonik sınırlarda seramiğin rezonans etkisinden yararlanılmaktadır. Tek yönlü bir hareket elde etmek için osilasyonlar motor içinde mekanik olarak düzeltilir. Hareketin her bir saykılının genliği mikrometre seviyesinde olmasına rağmen, daha yüksek hızlar onlarca kHz değerlerindeki yüksek frekanslar ile ifade edilebilir (Bal et al. 2006).

Genelde, USM’ler Şekil 2’de gösterildiği gibi stator ve rotor diye adlandırılan temel iki parçadan oluşmaktadır. Bu motorların statorları; piezoelektrik ve elastik malzemenin değişik şekillerde kullanıldığı kompozit bir yapıdadır. Kompozit statorun dik iki mekanik rezonans frekansı bir yada birden çok alternatif (değişken)

sinyalle elektriksel olarak uyarılması, stator yüzeyinde her noktanın mikroskobik düzeyde eliptik bir hareket yapmasını sağlamaktadır. Stator yüzeyinde oluşan bu hareket, stator yüzeyine temas eden rotorun sürtünme yardımıyla yürüyen dalganın tersi yönünde dönmesine veya doğrusal hareketine neden olmaktadır (Int Kyn. 1).



Şekil 2. YDUSM'nin çalışması

Yürüyen dalga elde etmek için A fazı $\cos(\omega t)$, B fazı ise $\sin(\omega t)$ ile sürülürse bu gerilimler bize bağımsız olarak birer duran dalga üretebilir (Uzel, 2006).

$$\cos(\omega t) \cos(k\theta) \quad (1)$$

$$\sin(\omega t) \sin(k\theta) \quad (2)$$

Bu iki duran dalganın toplamı denklem 2 'de verildiği gibi YDSUM' lerde kullanılan yürüyen dalgayı üretmektedir (Uzel,2006).

$$\underline{w} = \cos(\omega t) \cos(k\theta) + \sin(\omega t) \sin(k\theta) \quad (3)$$

Akıllı mekatronik sistemlerin yaygın olarak kullanılmaya başlandığı bu günkü teknolojiye bu sistemleri oluşturan alt yapı elemanlarının önemi de artmıştır. Piezoelektrik motorlar veya diğer adıyla Ultrasonik motorlar son yıllarda robotik, bilgisayar disk sürücüler, saatler, yarı iletkenleri kullanan test cihazları, inkjet yazıcılar, fotoğraf makineleri, füzelerin ateşleme mekanizmaları, medikal cihazlar, mikro-elektromekanik cihazlar, otomobil endüstrisi, uzay teknolojisi, antenlerin hassas konumlandırılması gibi alanlarda kullanılmaktadır (Uzel, 2006).

Lineer Piezoelektrik Motorun Modal ve Harmonik Analizi, Usal ve ark.

Ultrasonik motorların özellikleri ise aşağıdaki gibidir;

- Birim ağırlık başına üretilen moment yüksektir. Rotorun ataleti küçük tutulabildiğinden dolayı başlatma ve durdurma sırasındaki kontrol karakteristiği düzgündür.
- USM'de düşük hızlarda yüksek moment yüksek verim ile birlikte üretilebilir.
- Hız azaltıcı dişlilerin meydana getirdiği osilasyon hatalarının olmamasından dolayı motor konumunu hassas olarak elde etmek mümkündür.
- Elektrik enerjisi kesildiğinde temas yüzeyleri arasındaki sürtünme kuvvetinden dolayı mevcut konum korunabilir.
- Motor değişik biçimlerde yapılabilir ve küçük boyutlarda tasarlanabilir.
- Doğrusal hareketli (lineer) USM kolaylıkla tasarlanabilir.
- USM'ların sessiz çalışma özelliği vardır.
- USM'da elektromanyetik indüksiyondan dolayı oluşan parazitlerin etkisi yoktur.
- USM'un hızı yük momenti arttıkça azalmaktadır.
- Motoru sürmek için 90° faz farklı yüksek frekanslı iki faz sinüsoidal gerilim kaynağına ihtiyaç vardır.
- Yüksek aşınma direncine sahip piezoelektrik malzemeye ihtiyaç göstermekte olup piezoelektrik malzeme pahalıdır.
- Bu motorda yüksek güç elde etmek zordur.
- Rotor hareketi sürtünme ile elde edildiğinden stator ve rotor malzemelerindeki aşınmalardan dolayı motor ömrü sınırlıdır (Bal et al. 2006).

Diğer taraftan bu motorların bazı sakıncaları da vardır. Sürtünme tahrikli mekanizmalarından dolayı, ömürleri sınırlıdır ve motor dakikalar süren bir çalışma zamanı içerisinde dramatik olarak ısınabilir. Karmaşık sabit-dönen (rotor-stator) eleman temas davranışı ve ısınma probleminden dolayı özel kontrol stratejilerine ihtiyaç duyarlar (Storck, H. and Wallaschek, J., 2000; Lin, F.J. et al.

1999). Dolayısı ile bu motorlara ait tasarım ve çalışma şartlarının, kontrol mekanizmalarının, matematiksel modellemelerin ve sonlu eleman modellerinin sürekli bir şekilde incelendiği ve bazı ilerlemeler kaydedildiği görülmüştür. Yapılan yoğun çalışmalara rağmen ultrasonik motor teknolojisinin henüz olgunluk aşamasına gelmediği ve araştırılması gereken birçok problemin varlığı güncel literatürde belirtilmektedir.

2.2. Piezoelektrik lineer motor

Analizler için Şekil 3'de görülen Piezomotor firmasına ait Piezolegs- LL1011A lineer motor, model olarak kullanılmıştır.



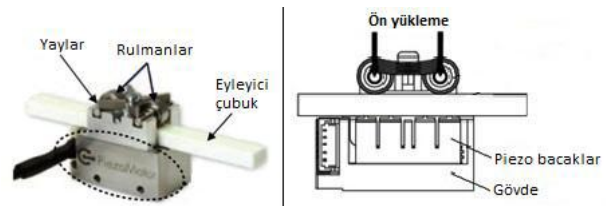
Şekil 3. Piezolegs-LL1011A lineer motor (Int Kyn. 2)

Bu lineer motorun iç yapısı ise Şekil 4'de de görüldüğü gibi dört adet seramik piezoelektrik aktüatörlerin tek bir gövdeye sinterlenmesi ile meydana gelmiştir.



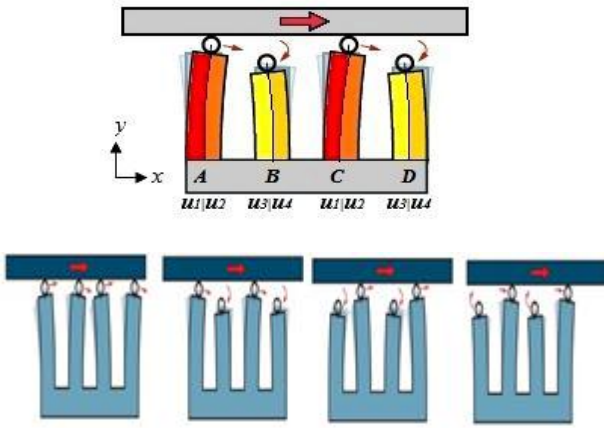
Şekil 4. Piezolegs motorun iç yapısı (Int Kyn. 1)

Motor Şekil 5'de gösterildiği gibi dört ana kısımdan oluşmaktadır: Motor gövdesi, yay gergili rulmanlar, dört adet piezoseramik bimorf bacak ve eyleyici çubuktan oluşmaktadır.



Şekil 5. Piezomotor Yapısı (Zhakypov et al. 2012)

Bacaklara uygulanan dört faz kayması için oluşturulmuş voltaj, bacakların yürüme işlemini gerçekleştirmesini sağlar. Basit bir bimorf bacak için her iki katmanda birlikte uzayabilir. Daha sonra bu katmanlardan biri uzamaya devam ederken ikinci katman daralır. Bu hareket ise bacağın esnemesiyle sonuçlanır. Bacaklardaki bu uzama normal yönde bir kuvvet oluşturur. Bu kuvvet ise çubuğu yay yüklemeli rulmana doğru iter ve bacak bükülmesi hareket yönüne dik olacak şekilde bir kuvvete neden olur bu da çubuğun Şekil 6'da da görüldüğü gibi, lineer bir biçimde itilmesini sağlar.



Şekil 6. Piezo-bacakların yürüme hareketi

Bu motor adım atma ve esneme olarak adlandırılan iki farklı modda sürülebilir. Adım atma modunda bacaklar çubukla sürekli temas etmezler. Böylece bacaklar Şekil 6'da görüldüğü gibi yürüme biçiminde hareket ederler. Esneme modunda 4 bacak birden, hareketli çubuğu kısaçılı tutma yapacak şekilde hareket ettirir. İleri ve geri hareket temas hiç kaybolmayacak şekilde gerçekleşir. Bu hareket şekli ise çok yüksek hassasiyetlere ulaşmayı sağlar ve nanometre altındaki ölçülere ulaşmaya imkân verir. Piezoelektrik eyleyicilerde değişik dalga formları kullanılmaktadır. Dalga formlarının kendileri de değişik şekillerde denetlenebilmektedir. Hareketin olabildiğince düzgün ve hassas olması açısından, piezoelektrik bacaklara uygulanan dalganın frekansının, genliğinin ve fazının denetlenmesi istenilmektedir. Bu sayede farklı bacakların hareketlerinin denetlenmesi için maksimum serbestlik elde

edilebilir. Örneğin sinüzoidal dalga uygulaması bacak ucunun eliptik bir şekilde hareket etmesini sağlar. Dalga formları arasındaki faz farkı ve genlik adım büyüklüğü, frekans ise yürüyüşün hızının belirlenmesi sağlar.

Bacak uç noktasının konumu x ve y yönlerinde (metre cinsinden) aşağıda gösterildiği üzere tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} X_{P1} &= c_1[u_1(t) - u_2(t)] \\ X_{P2} &= c_1[u_3(t) - u_4(t)] \\ Y_{P1} &= c_2[u_1(t) + u_2(t)] \\ Y_{P2} &= c_2[u_3(t) + u_4(t)] \end{aligned} \quad (4)$$

Burada c_1 ve c_2 (metre/volt cinsinden) piezoelektrik malzemenin esneme ve uzama katsayılarıdır (Zhakypov et al. 2012).

2.3. Piezomotorun ANSYS'de analizi

Piezoelektrik motorun karakteristik çalışmasını ortaya koyan modal ve harmonik analizleri, Sonlu Elemanlar tabanlı paket programı olan ANSYS 14 classic versiyonu ile incelenmiştir.

ANSYS 14'de hazırlanan piezolegs model, 0.0003 m hasaslıkta elemanlara bölünerek mesh işlemi uygulanmıştır. Uygulanan mesh neticesinde 34440 eleman oluşmuştur.

Piezoelektrik bacakların analizleri, eleman tipi Solid5 olan PZT4 piezoseramik malzemeleri iki ayrı yüke maruz bırakarak yapılmıştır. İlk olarak piezoelektrik motor modeline kuvvet uygulanıp piezoseramiklerin rezonans frekansı ve sürücü uç hareketleri incelenmiştir. Kuvvet değeri Sharp (2006)'nın tezi referans alınarak 6N olarak seçilmiştir. İkinci olarak ise piezoseramikleri rezonansa sokacak gerilim uygulanarak, uygun rezonans frekansı ve sürücü uç hareketleri incelenmiştir. Gerilim değeri ise Arafa vd., (2009) makalesi referans alınarak 27V olarak seçilmiştir.

3. Bulgular

Model alınan Piezolegs-LL1011A lineer tip motorun tasarımı ANSYS klasikte yapıldıktan sonra literatürdeki bilgiler ışığında doğal frekans ve sürücü uç hareketleri incelenmiştir. Bu analizler neticesinde Piezolegs motorun rezonans frekansı beklendiği gibi ultrasonik bir seviyede elde edilmiştir. Elde edilen frekans değerleri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Piezolegs modelin F kuvveti etkisinde modal analiz rezonans frekansları

SET	TIME/ FREQ (Hz)	** STP	*** CLV	SET	TIME/ FREQ (Hz)	** STP	*** CLV
1	0.0662	1	1	16	97168	16	16
2	0.0718	2	2	17	97231	17	17
3	0.0899	3	3	18	117850	18	18
4	48042	4	4	19	126360	19	19
5	53185	5	5	20	126570	20	20
6	54193	6	6	21	129240	21	21
7	54212	7	7	22	137750	22	22
8	54650	8	8	23	143830	23	23
9	55886	9	9	24	175640	24	24
10	56450	10	10	25	176900	25	25
11	56801	11	11	26	177680	26	26
12	58009	12	12	27	180380	27	27
13	75658	13	13	28	184350	28	28
14	95691	14	14	29	185894	29	29
15	95714	15	15	30	193490	30	30

Tablo 2: Piezolegs modelin Gerilim (V) etkisinde modal analiz rezonans frekansları

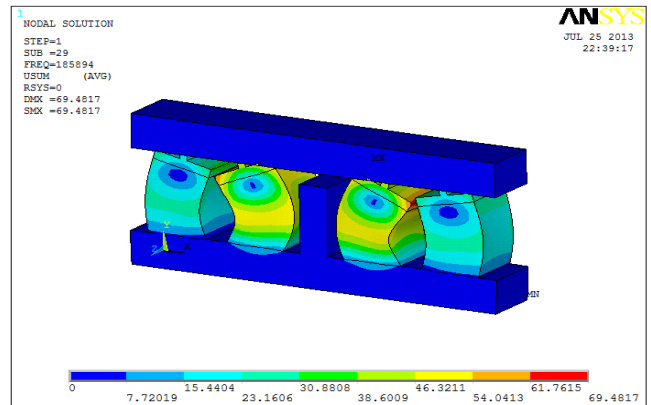
SET	TIME/ FREQ (Hz)	** STP	*** CLV	SET	TIME/ FREQ (Hz)	** STP	*** CLV
1	0.000	1	1	16	97080	16	16
2	0.034	2	2	17	117850	17	17
3	47888	3	3	18	125740	18	18
4	52968	4	4	19	126560	19	19
5	54100	5	5	20	128600	20	20
6	54119	6	6	21	137730	21	21
7	54650	7	7	22	143830	22	22
8	54886	8	8	23	175640	23	23
9	56921	9	9	24	176900	24	24
10	56705	10	10	25	177610	25	25
11	58008	11	11	26	180340	26	26
12	75657	12	12	27	184350	27	27
13	95044	13	13	28	185891	28	28
14	95061	14	14	29	193290	29	29
15	97007	15	15	30	195140	30	30

** STP:Substep

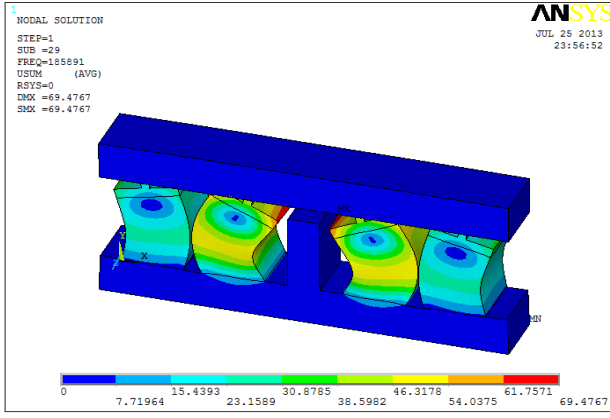
***CLV:Cumulative

Tablo 1 ve Tablo 2’de belirlenen modal frekans değerleri nodal solution'dan tek tek incelendiğinde kayıcıya hareket sağlayacak en uygun sürücü uç hareketleri , F kuvveti etkisinde 185894 Hz, gerilim (V) etkisinde ise 185891 Hz değerleri olarak belirlenmiştir.

Bu frekanslara karşılık gelen sürücü uç hareketi ise piezolegs motorun çalışma karakteristiğine yakın olduğundan düzgün dairesel bir hareket çıkmıştır. Bu mod şekilleri Şekil 7 ve 8’ de gösterilmiştir.

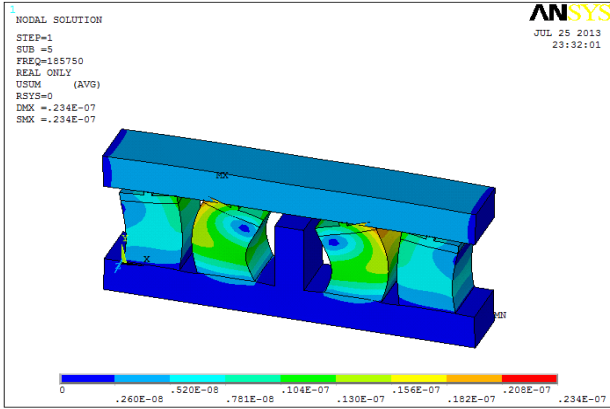


Şekil 7. F Kuvveti etkisinde sürücü uç hareketi

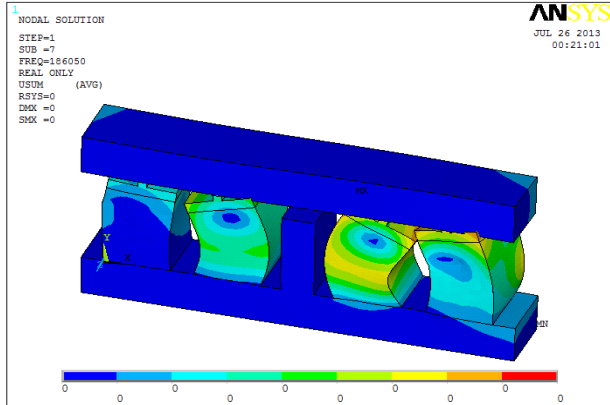


Şekil 8. Gerilim (V) etkisinde sürücü uç hareketi

Elde edilen modal analiz sonucunda belirlenen doğal frekans değerleri neticesinde harmonik analizleri yapıldığında ise en uygun frekans değerleri, F kuvveti etkisinde 185750 Hz, gerilim (V) etkisinde ise 186050 Hz olarak öngörülmüştür. Bu frekanslar neticesindeki sürücü uç hareketleri ise Şekil 9 ve 10' da verilmiştir.



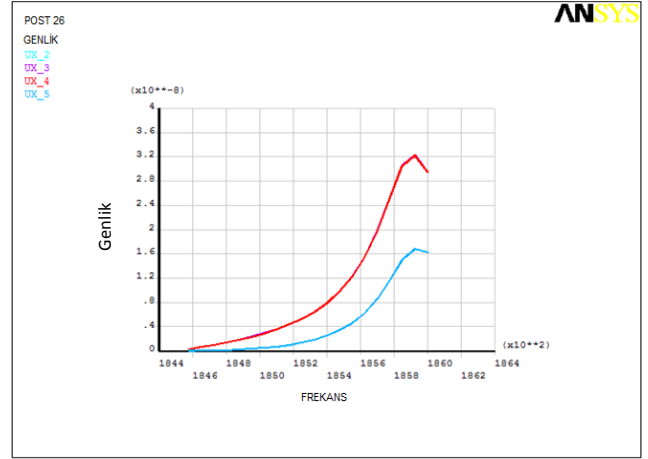
Şekil 9. F Kuvveti etkisinde harmonik sürücü uç hareketi



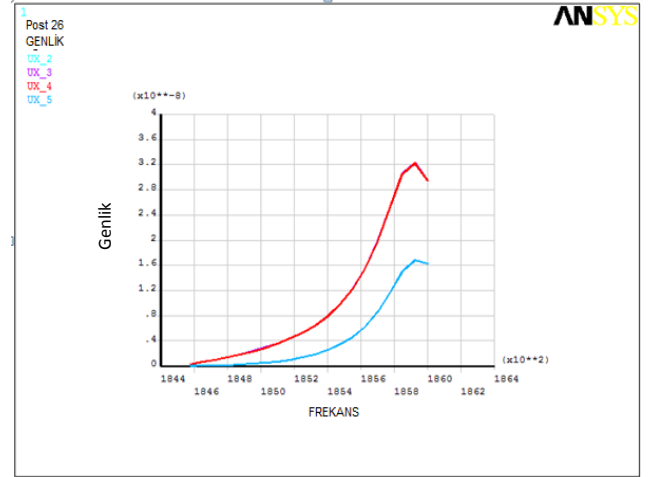
Şekil 10. Gerilim (V) etkisinde harmonik sürücü uç hareketi

Gerilim değerleri çok küçük çıktığından dolayı analiz sonucundaki volt değerleri Şekil 10'da görüldüğü gibi "0" çıkmıştır.

Harmonik analiz sonucunda uygun sürücü uç hareketine göre belirlenen frekans değerindeki sürücü ucun yapmış olduğu genlik grafikleri Şekil 11 ve Şekil 12' de gösterilmiştir.



Şekil 11. F kuvveti etkisinde sürücü ucun göstermiş olduğu genlik grafiği



Şekil 12. F kuvveti ve Gerilim (V) etkisinde sürücü ucun göstermiş olduğu genlik grafiği

Bu grafiklerdeki u_x değerleri, Şekil 8'de görüldüğü gibi hareketi gerçekleştirecek her bir piezoseramik malzemenin uç noktadaki yer değiştirmelerini göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Motorun davranışını önceden görebilmemiz için modal ve harmonik analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen grafikler ile sürücü ucun yapmış olduğu genlik değerleri her frekansta farklılık göstermektedir. Düşey eksen üzerine u_x yer değiştirme değerlerini, yatay eksen üzerine de frekans değerlerini yerleştirerek, en büyük yer değiştirme değerlerinin hangi frekans aralığında meydana geldiği belirtilmeye çalışılmıştır. En büyük genlik değerine karşılık gelen frekans değeri şekil 11 ve şekil 12’de görülmektedir. Piezomotor firmasının yayınlamış olduğu makale incelenerek (Piezomotor.se, 2013), piezomotorun lineer hareketi gerçekleştirmesi için gerekli olan piezo bacakların hareket şekli belirlenmiştir. Her bir genlik değerine karşılık gelen frekanslar ayrı ayrı incelendiğinde, maximum genlik değerindeki frekans değerleri kayıcı hareket ettirecek en ideal hareket olarak belirlenebilir. Bu frekanslar motorun en büyük problemlerinden olan ısınma ile değişkenlik gösterebilir. Isı etkisi, yapılan modal ve harmonik analizlerde ihmal edilmiştir.

Yapılan bu analizler sonucunda belirlenen frekanslar ile piezoseramik malzemelerin göstereceği genlik değerleri, sinterlenen malzemelerle uyumluluğu incelenerek motor üretiminde bize ışık tutacak bilgiler oluşturmaktadır. Piezolegs motorun çalışma karakteristiği, Piezomotor firmasının motor ile ilgili verdiği bilgiler (Int Kyn. 2) ve Sharp (2006)’nın modelinde F kuvveti ile yaptığı çalışma incelendiğinde, ANSYS yazılımı ile bu karakteristiğe yakın sonuçlar elde edilebildiği gözlemlenmiştir. Bu kolaylık piezo motorun tasarımına başlamadan ANSYS’de modellenip analizinin yapılması zamandan, malzemedan ve paradan tasarruf etmemizi sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma 3331-YL1-12 nolu proje ile Süleyman Demirel Üniversitesi BAP birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Arafa, M., Aldraihem, O., Baz, A., 2009., Modeling and Characterization of a Linear Piezomotor, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, (20)
- Aoyagi, M., Tomikawa, Y., Takano, T., 1996, Simplified Equivalent Circuit Of An Ultrasonic Motor and Its Application, Ultrasonics, 34, 275-278.
- Bal, G., Bekiroglu, E., 2001, Characteristics Estimation of Travelling Wave Ultrasonic Motors Using Equivalent Circuit Model, Int. Conf. On Electrical and Electronics Eng. ELECO, Bursa-Turkey, 62-66.
- Bal, G., Bekiroğlu, E., Demirbağ, D., Çolak, İ., 2004. Fuzzy Logic Based DSP Controlled Servo Position Control For Ultrasonic Motor”, Energy Conversion and Management, 45(20), 3139-3153.
- Bal, G., Bekiroğlu, E., Bayındır, R. and Görgün, A., 2006. Yürüyen Dalga Tip Ultrasonik Motor Denetimi ve Bilgisayarla İzlenmesi. Politeknik Dergisi, 9(4), 225-231.
- Chung, S.W., Chau, K.T., 2001. Servo Speed Control of Travelling Wave Ultrasonic Motors Using Pulse With Modulation, Elektrik Power Components and Systems, 29, 707-722.
- Elghouti, N., Helbo, J., 2000, Equivalent Circuit Modelling of a Rotary Piezoelectric motor, Modelling and Simulation, Pittsburgh, USA.
- Hagedorn, P., Wallaschek, J., 1992, Travelling Wave Ultrasonic Motors, Part I: Working Principle and Mathematical Modelling of the Stator, Journal of Sound and Vibration, 155 (1), 31-46.
- Hagood, N.W., McFarland, A.J., 1995, Modelling of a Piezoelectric Rotary Ultrasonic Motor, IEEE Transactions on Ultrasonic, Ferroelectrics and Frequency Control, 42 (2), 210-224.
- Hirata, H., Ueha, S., 1993, Characteristic Estimation of a Traveling Wave Type Ultrasonic Motor, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 40 (4), 402-406.
- Hüner, E., Engin .Ş.N., 2005, Yürüyen Dalga Tipli Ultrasonik Motorun Modellenmesi Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal kongresi ve fuarı.
- Lin, F.J., Wai, R.J., Hong, C.M., 1999. LLC resonant inverter for piezoelectric ultrasonic motor drive, IEE Proc. Electr. Power Applications, 146(1), 479-48.
- Sashida, T., Kenjo, T., 1993, An Introduction to Ultrasonic Motors, Oxford science Publication, Clarendon pres.
- Sharp, L.S., 2006. Design Of A Linear Ultrasonic Piezoelectric Motor, Master of Science, Brigham

Young University, Department of Mechanical Engineering, ABD , 162.

Storck, H., Wallaschek, J., 2000. Experimental investigations on modelling assumptions in the stator rotor contact of travelling-wave ultrasonic motors, Journal of Vibroengineering, I(4)

Şahin A., 2013. Piezoelektrik Motorların Tasarımı, Kontrol Mekanizmaları ve Sonlu Elemanlar Modeli Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta,122.

Uzel, H., 2006. Yürüyen Dalga Ultrasonik Motorun Mikrodenetleyici ile Hız Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara ,73.

Usal, M.R., Şahin, A., 2013. Piezoelektrik motorun modal ve harmonik analizi, 7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13), Yıldız Technical University, İstanbul/Turkey

Williams, W., Brown, W.J. 1942. Piezoelectric Motor, US Patent, 2439499.

Zhakyrov, Z., Golubovic, E., Kurt, T.E. and Sabanovic, A., 2012. Yürüyen Piezoelektrik Motorların Sürülmesi. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 11-13 Ekim, Niğde.

İnternet Kaynakları

1. <http://www.biltek.Tubitak.gov.tr/bilgipaket/robotik/piezo4.html>, (10.02.2013)

2. www.piezomotor.se, (15.03.2013)