

# Resistif Bir Yükün Marx Üretici Çıkış Sinyaline Etkisi

Davut Karameşe, Okan Mert Yücedağ, Özge Eren, Alican Uysal, Hüseyin Avni Serim

TÜBİTAK BİLGEM

Bilişim Teknolojileri Enstitüsü

Kocaeli

[davut.karameşe@tubitak.gov.tr](mailto:davut.karameşe@tubitak.gov.tr), [mert.yucedag@tubitak.gov.tr](mailto:mert.yucedag@tubitak.gov.tr), [ozge.eren@tubitak.gov.tr](mailto:ozge.eren@tubitak.gov.tr),  
[alican.uysal@tubitak.gov.tr](mailto:alican.uysal@tubitak.gov.tr), [huseyin.serim@tubitak.gov.tr](mailto:huseyin.serim@tubitak.gov.tr)

**Özet:** Laboratuvar çalışmaları için üretilmiş bir Marx üreticine ait çıkış sinyal karakteristiğinin çeşitli yük dirençleri ile değişimi deneyler ile gözlenmiştir. Sonuç olarak ise farklı yükler üzerinden ölçülen çıkış sinyalinin teoriye uygun bir biçimde değiştiği görülmüştür.

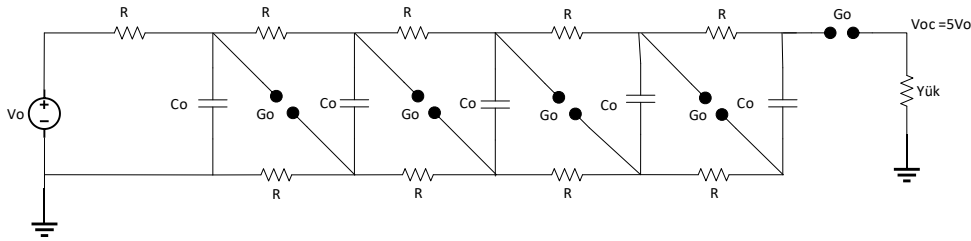
**Abstract:** The variation of the output signal characteristic of a Marx generator produced for laboratory studies with various load resistances has been observed by experimentes. As a result, it was seen that the output signal measured on different loads changed in accordance with the theory.

## 1. Giriş

Marx üreticileri, en genel halde, girişine uygulanan gerilimi katlayarak çıkışına ileten özel elektrik devreleridir [1]. Geliştirilecek bir Marx üreticinin çıkış sinyal karakteristiğinin ölçümü amaçlanan uygulamanın başarımı için önem taşımaktadır. Bu kapsamda Prabaharan ve meslektaşları tarafından geliştirilen bir Marx üreticinin çıkış gerilimi ve akımı 50 Ohm ve 100 Ohm için deneysel olarak incelenmiş ve 2011 yılında sunulmuştur [2]. Öte yandan Pinguet ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları çalışmada bir Marx üreticinin eşdeğer kapasitans değişiminin sistemin verimi üzerine etkisini çıkış geriliminin değişimi üzerinden incelemiştir [3]. Ayrıca, yine Phabaharan tarafından 2014 yılında sunulan çalışmada yük direnç değerinin artırılmasıyla çıkışta yük geriliminin de arttırılabileceği belirtilmiştir [4]. Bu çalışmada ise özgün olarak geliştirilen bir kompakt Marx üreticinin çıkış sinyaline farklı rezistif yüklerin etkisi deneysel olarak incelenerek sunulmuştur.

## 2. Marx Üreteçleri

Marx üreticileri en temel anlamda belirli bir sayıdaki kondansatörün paralel olarak doldurulması ve seri olarak boşaltılması fikrine dayanır [5]. Şekil-1’de temel bir beş katlı Marx üreticinin devre şeması verilmiştir. Bu devre, deneylerde kullanılan sistem için de temel teşkil etmektedir. Direnç, kondansatör ve kıvılcım aralığından oluşan her bir gruba “Marx üretici katı” denir.



Şekil 1. Marx üretici devre şeması

Şekil-1’de temel devresi verilen Marx üreticinin çalışma prensibi şöyledir [6]:

- Devredeki kondansatör kümesinin yüksek değerli R dirençleri üzerinden paralel olarak nisbeten düşük bir DC yüksek gerilim sinyali ile belirli bir Vc gerilim seviyesine kadar elektriksel yüklenmesi (şarj evresi),
- Devredeki ilk kıvılcım aralığının dışarıdan verilen bir tetikleme sinyali ile ya da Vc gerilim seviyesinin aşırı yükselmesiyle gerçekleşecek elektriksel delinme ve sonrasında diğer kıvılcım aralıklarının bir önceki Marx Üretici katında akümüle olarak katlanan yüksek gerilim sinyali tarafından delinmesi ile devrenin seri yapıya dönecek şekilde yüksek gerilimde anahtarlanması (uyarılma evresi),
- Seri devre yapısı üzerinden devrede üretilen yüksek gerilim darbe sinyalinin çıkış yükü üzerinden deşarj edilmesi (deşarj evresi).

Basit bir çalışma prensibine dayanan Marx üreticilerinde yükün karakteristiği [6], kaçak kapasitif ve dâhili indüktif etkiler [7] çıkış sinyalinin yapısını bozabilir ve sistemde karasızlıklara neden olur. Laboratuvar

ortamında yapılan deneylerde yük karakteristiğinin etkileri araştırılmış ve bu çalışmada Marx üretici çıkışındaki sinyale etkisi sunulmuştur.

### 3. Marx Üretici Çıkış Sinyali Teorisi

Marx üretici deşarj safhasında seri RLC devresi olarak modellenenabilir. Bu devreye ilişkin çözüm yapıldığında çıkış direnci üzerindeki gerilimin (aynı zamanda devre üzerinden akan akımın) dalga formunun devredeki  $R$ ,  $L$  ve  $C$  değerlerine bağlı olarak farklı şekiller alabildiği görülmektedir. Bu türde bir devreye ilişkin doğal açılal frekans  $\omega_0$  ve sönüm faktörleri  $\alpha$  sırasıyla,

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad \alpha = \frac{R}{2L} \quad (1)$$

olarak ifade edilir. Buna göre sinyal formunun üç farklı hali

$$U(t) = A_1 t e^{-\alpha t} + A_2 t e^{-\alpha t}, \quad \alpha = \omega_0, \quad \text{Kritik sönümlü durum} \quad (2)$$

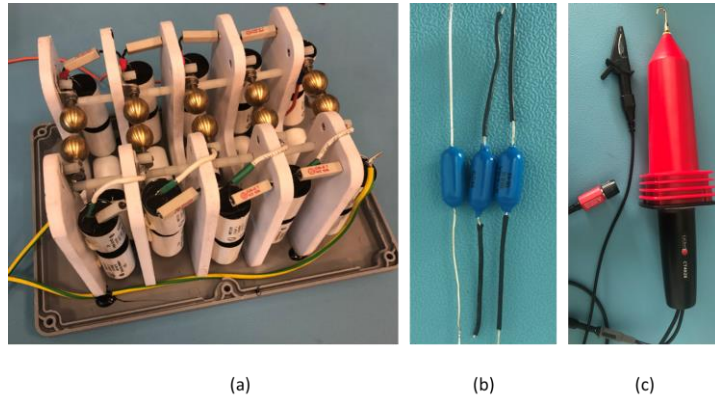
$$U(t) = e^{-\alpha t} (K_1 \cos \omega_d t + K_2 \sin \omega_d t), \quad \alpha < \omega_0, \quad \text{Az sönümlü durum} \quad (3)$$

$$U(t) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t}, \quad \alpha > \omega_0, \quad \text{Çok sönümlü durum} \quad (4)$$

biçimindedir. Burada  $\omega_d \equiv \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$  ve  $s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$  olur.[9]

### 4. Laboratuvar Çalışmaları

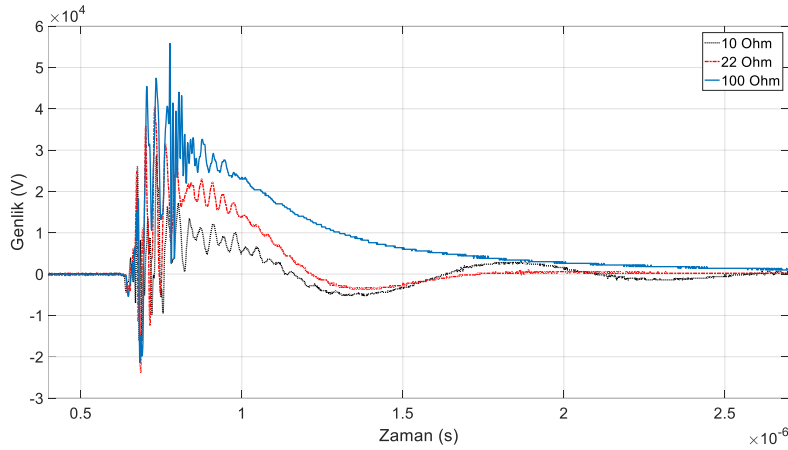
Yapılan deneylerde yük olarak çeşitli değerlerde karbon dirençler kullanılarak bunların Marx üretici çıkış sinyaline olan etkisi gözlemlenmiştir. Üretilen Marx üreticinin bir katında altı adet kapasitör seri bağlanmıştır ve her katta iki adet şarj direnci bulunmaktadır. Kıvılcım aralıkları için elektrotlar pirinçten ve küresel olarak üretilmiştir. Normal atmosfer koşullarında deneyler yapılmış ve kıvılcım aralıkları için herhangi bir yalıtım (yağ, basınçlı gaz vb.) kullanılmamıştır. Toplamda beş katlı olan Marx üreticinin her bir katı 10 kV'a şarj edilerek yük üzerinde azami gerilim seviyesi elde edilmeye çalışılmıştır. Deneylerde kullanılan; TÜBİTAK BİLGEM laboratuvarında üretilen kompakt Marx üretici, karbon direnç yükler ve ticari Cal Test CT4028 yüksek gerilim alması Şekil 2'de görülmektedir. Deney sonuçları gerilim almasının osiloskopa bağlanması ile gözlemlenmiştir. Şekil 1'de verilen devre şeması göz önüne alındığında  $C_0 \approx 0.037 \mu F$ ,  $R = 1 k\Omega$  ve yük değerleri ise sırasıyla 10 $\Omega$ , 22 $\Omega$  ve 100 $\Omega$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. (a) Kompakt Marx üretici, (b) Yük dirençleri ve (c) Cal Test CT4028 gerilim alması

### 5. Laboratuvar Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Sırasıyla 10 $\Omega$ , 22 $\Omega$  ve 100 $\Omega$  yük değerleri ile sonlandırılan Marx üretici çıkışında elde edilen sinyaller Şekil 3'de sunulmuştur.



Şekil 3. 10  $\Omega$  , 22  $\Omega$  ve 100  $\Omega$  değerindeki yük için sistem çıkış sinyali

Sonuçlar incelendiğinde resistif yük değerinin artması ile çıkış sinyal karakteristiğinin 10 $\Omega$ , 22 $\Omega$  ve 100 $\Omega$  yük değerleri için sırasıyla az sönümlü, kritik sönümlü ve çok sönümlü sinyal zarflarının özelliklerini gösterdiği görülmektedir.

## 6. Sonuç

Marx üreticinin çıkış sinyal karakteristiğinin farklı yükler ile değişimi deneyler ile gözlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda çıkış yükünün sisteme etkisinin beklendiği üzere Bölüm 3'te verilmiş olan sistem teorisine uygun bir biçimde değiştiği tespit edilmiştir. Çıkış yükünün değeri küçükten büyüğe doğru değiştirildiğinde sistem çıkış sinyalinin de az sönümlü bir zarf yapısından çok sönümlü zarf yapısına doğru değiştiği gözlenmiştir. 22 Ohm değerindeki yük vasıtasıyla ise kritik sönümlü bir sinyale yakınsama gözlenmiştir. Marx üreticinin kendisi gürültü ve kaçak kapasite üretebildiğinden çıkış sinyalinde bu faktörlerin etkileri bulunmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda Marx üreticinin kapasitif yük ile olan ilişkisi incelenecektir. Böylece verimli bir Marx üreticinden beklenen sinyal zarfının elde edilmesi için en uygun sistem yükü belirlenmeye çalışılacaktır.

## 7. Kaynaklar

- [1] Aydoğan H. F., Tezcan S. S., Yücedağ O. M. ve Serim H. A., “Yüksek Güçlü Geçici Elektromanyetik Gürültü Kaynağının Tasarımı, Üretimi ve Ölçümü”, ELECO 2018, Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı, Bursa, Türkiye, s.377-380, 30 Kasım-01 Aralık 2018.
- [2] Prabakaran T., *et al.*, “Development of 2.4 ns rise time, 300 kV, ~500 MW compact co-axial Marx generator”, Indian Journal of Pure & Applied Physics, cilt 49, s. 64-72, 2011.
- [3] Pinguet S., *et al.*, “ Short-pulse Marx generator for high-power microwave applications”, IEEE Transactions on Plasma Science, cilt 41, No. 10, s.2754-2757, 2013.
- [4] Prabakaran T., *et al.*, “Ultrafast co-axial Marx generator delivering 800 ps risetime high voltage pulse for vacuum breakdowns studies”, XXVI Int. Symp. On discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Mumbai, India, s.41-43, 2014.
- [5] Fitch R.A., “Marx and Marx-like High Voltage Generators”, Maxwell Laboratories, Inc., 1971.
- [6] Jane Lehr, Pralhad Ron, “Foundations of Pulsed Power Technology, First Edition“ s. 1-10, s. 340-350, John Wiley & Sons, Inc. 2017.
- [7] J.F.Francis, “High voltage pulse techniques”, M.S. Thesis, Dept. Elect. Eng., Texas Tech Univ., Lubbock, TX, USA, 1976.
- [8] Jon Cameron Pouncey, Jane M. Lehr, and D. V. Giri , “Erection of Compact Marx Generators”, IEEE Transactions On Plasma Science, Vol. 47, No. 6, June 2019.
- [9] Chaniotakis and Cory, “Introduction to Electronics, Signals and Measurement”, b.18, s.1-20, Course Notes, 2006