



Karıştırma duyarsız frekans atlamalı metamalzeme tabanlı elektromanyetik çit uygulaması

Hüseyin Akçelik^{1*}, Çağdaş Tuna², Şafak Saraydemir², Yılmaz Durna², Hasan Koçer²

¹Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 06654, Türkiye

²Kara Harp Okulu, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 06654, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Doğal malzemelerden farklı elektromanyetik özellikler gösteren yapay malzeme
- Küçük boyutlarda, bant genişliği ve kazancı artırılmış metamalzeme anten tasarımı
- Elektromanyetik girişim ve kasıtlı karışımlara karşı frekans değiştirmeye imkân sağlayan geniş bant metamalzeme antenlere dayalı elektromanyetik çit

Makale Bilgileri

Geliş: 23.04.2016

Kabul: 06.11.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.322179

Anahtar Kelimeler:

Geniş bant yama anten,
elektromanyetik çit,
karıştırma,
metamalzeme,
yazılım tabanlı telsiz

ÖZET

Günümüzde kullanılan ve en iyi bilinen gözetim ve çevre koruma sistemleri, çitler, duvarlar ve kameralar gibi geleneksel araçlarla birlikte kişi odaklı hizmetlerle sağlanmaktadır. Ancak, geleneksel teknikler her zaman etkili bir şekilde tehditleri tespit edemez. Üstelik çeşitli sensörlerden faydalanan çitler reaksiyon süresi açısından meydana gelen sızmalara karşı zayıf kalabilmektedir. Bu çalışmada, yeterli reaksiyon süresi sağlayıp tehditleri önleyebilmek amacıyla, laboratuvar şartlarında yazılım tabanlı telsiz destekli elektromanyetik çit uygulaması önerilmiştir. Önerilen çit, elektromanyetik girişimlere ve kasıtlı karışımlara karşı frekans değiştirmeye imkân sağlayan geniş bant metamalzeme antenler kullanılarak oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlara göre, önerilen çit sistemi hat boyunca veya ötesindeki hareketliliği tespit etme amacıyla kullanılabilirliği öngörülmektedir.

Jamming insensitive frequency hopping metamaterial based electromagnetic fence application

H I G H L I G H T S

- Artificial material which shows different electromagnetic properties than natural materials
- Metamaterial antenna design with increased bandwidth and gain in small dimensions
- An electromagnetic fence based on broadband metamaterial antennas which allow to change frequency against interference and intended jamming

Article Info

Received: 23.04.2016

Accepted: 06.11.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.322179

Keywords:

Broadband patch antenna,
electromagnetic fence,
jamming,
metamaterial,
software defined radio.

ABSTRACT

The most well-known surveillance and perimeter protection systems used today count on person-centered services with conventional tools such as fences, walls and cameras. However, conventional techniques cannot always detect threats effectively. Moreover, fences using different sensors are weak for reaction time when an infiltration occurs. In order to provide sufficient response time to prevent a threat, we propose an electromagnetic fence application based on software defined radio in the laboratory conditions. The fence is formed with two broadband metamaterial antennas which allow to change frequency against interference and intended jamming. According to the experimental results, it is predicted that the proposed fence system can be used to detect an activity beyond or along the perimeter.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: h034626@gmail.com / Tel: +90 312 417 5190

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

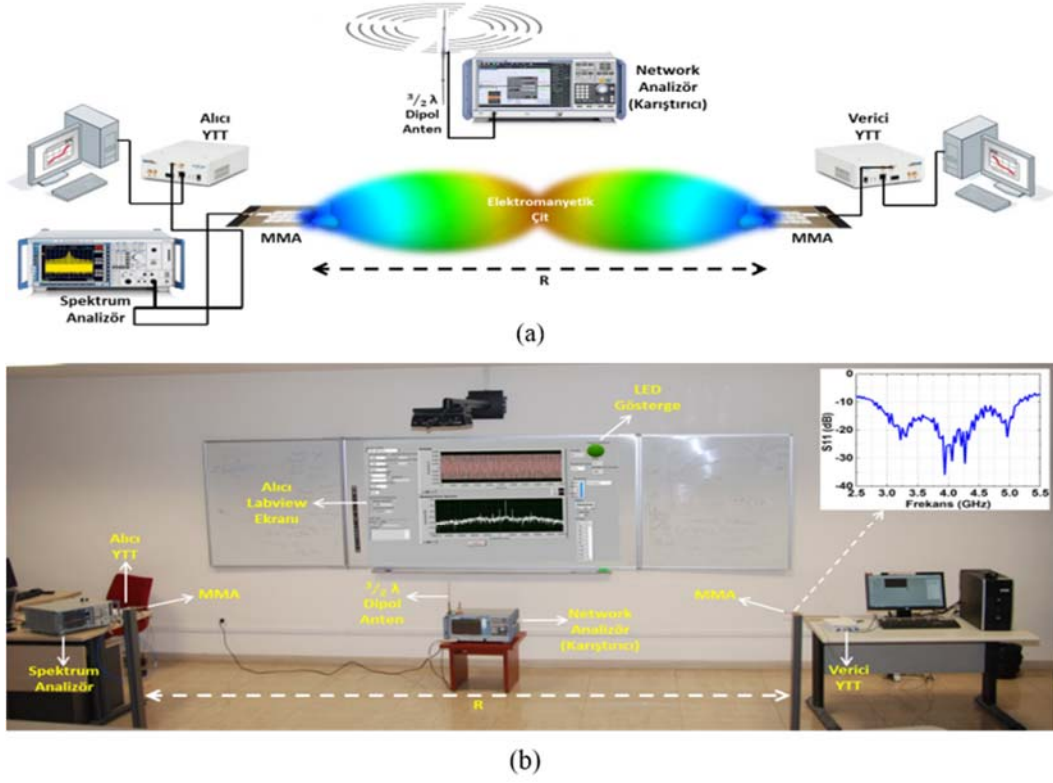
Bir bölge ya da tesisin korunmasının tarihi temelleri çit inşa etmeye dayanır. Çit, bir alanı çevreleyen, sınırlarını belirlemeyi sağlayan; genellikle tahta ve demir kazıkların dikenli tel veya örgü tel ile desteklendiği bir yapıdır [1]. Bu yapılar, çevreledikleri alanlara yetkisiz girişlerin belirli bir kısmını ancak engeller, ya da kısa bir süreliğine geciktirir. Son zamanlarda askeri üsler, havaalanları, ülke sınırları ve diğer kritik tesislere karşı oldukça artan tehdit/sızmaları tespit ve izlemek amacıyla emniyetli gözetim ve güvenlik sistemlerine olan ihtiyaç artmıştır. Geleneksel olarak geniş alanların sınırlarının korunmasında dikenli, jiletli veya elektrik akımı ile destekli yüksek yapılı çitler kullanılır. Bu tarz caydırıcı özelliklere sahip çitler çocuklar gibi az kararlı kişileri bu bölgelerden uzak tutmaya yarayacaktır. Ancak, daha kararlı olan yetişkin kötü niyetli kişiler, sıradan aletlerle kolayca bir geçiş yolu açarak bu bölgelere sızabilirler. Çoğu zaman bu çitler, maliyetli olması ve kesin sonuç alamadığından nöbetçiler tarafından sürekli devriye gezilmez. Özellikle yüksek koruma gerektiren geniş bir alanı kaplayan askeri tesisler ve cezaevleri çevresinde devriye faaliyeti esnasında çoğu alan uzun süre devriye gezilemez. Bu gibi olumsuz sebeplerden dolayı, basit yapılı çitler genellikle sensörler ile desteklenirler. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte mevcut çitleri desteklemek, korunaklı bölge ve tesislerin sınırları boyunca hareketliliği tespit edebilmek amacıyla birçok farklı fiziksel güvenlik cihazı ve elektronik gözetim sistemi tasarlanmıştır. Literatürde, çit üzerine yerleştirilmiş çeşitli fiber [2, 3] sensörler olduğu gibi; çit hattı boyunca konuşlandırılmış farklı özelliklerde kablosuz [4, 5], kızılötesi [6, 7], radar [8, 9], sismik ve akustik [10, 11] sensörler bulunmaktadır. Bununla birlikte, hayvanları kontrol etmek ve onları belirli bir alan içerisinde fiziki çit kurmadan tutmak amacıyla sanal çit [12, 13] uygulamaları da kullanılmıştır. Ayrıca, farklı sensörler ile destekli güvenlik sistemlerini tamamlamak amacıyla kameralar kullanılmaktadır. Bazen sadece kamera kullanmak, azımsanamayacak uzunluktaki sınırları kontrol etmekte yetersiz kalabilmektedir. Bu sistemler, şiddetli yağmur, kar, sis ve kum fırtınası gibi çevresel faktörlerden dolayı sızma girişimlerini tespit edemeyebilirler. Üstelik bu sistemleri takip eden tam zamanlı bir operatör, yorgunluktan dolayı dikkati dağılmış ve meydana gelen sızmayı tespit edememiş olabilir. Son yıllarda hızlı yükselişe geçen radyo frekans (RF) teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte (düşük maliyet, yüksek performans, küçük boyutlar ve üretim kolaylığı vb.), mevcut güvenlik sistemlerinin dezavantajlarının üstesinden gelmek amacıyla elektromanyetik (EM) çit konseptleri geliştirilmiştir [14]. Ancak, EM çit için kullanılan antenlerin dar bantlı olması; güvenilir bir güvenlik sisteminin gereksinimlerini tam olarak karşılamamaktadır. Elektromanyetik spektrumu ve özellikle de mikrodalga kısmını kullanan bir gözetleme ve algılama sistemi, karıştırma gibi kasıtlı EM girişimlere karşı dayanıklı olmalıdır. Bant genişliğini artırmak amacıyla doğada bulunmayan elektromanyetik özellikler gösteren suni yapılar (metamalzemeler) kullanılmıştır. İlk olarak 1968 yılında Rus

fizikçi Victor G. Veselago tarafından bu malzemelerde elektrik alan vektörü \vec{E} , manyetik vektör \vec{H} ve dalga vektörü \vec{k} 'nin solak üçlü vektör formu ve Poynting vektörü \vec{S} ile dalga vektörü \vec{k} 'nin zıt yönlerde olduğu ispatlanmıştır [15]. Metamalzemeler, doğada var olmayan elektromanyetik özellikler gösterebilmeleri sebebiyle günümüze kadar birçok alandaki çalışmaya konu olmuştur [16, 17]. Özellikle metamalzemelerin bu alışılmadık özellikleri ve faydaları, daha küçük boyutlarda, bant genişliği ve kazancı artırılmış anten tasarımlarının ortaya çıkmasını sağlamıştır [18]. Bu malzemelerdeki temel yapı blokları, etkileşime girdiği elektromanyetik dalganın dalga boyundan çok daha küçük olması sebebiyle, teorik limitler dâhilinde istenilen elektromanyetik değerlerde metamalzeme özellikli yapılar tasarlanabilmektedir. Ayrıca mevcut gelişmelere paralel olarak, yazılım tabanlı telsiz (YTT)'in laboratuvar ortamında farklı uygulamalarda kullanılmasıyla birlikte daha hızlı ve doğru sonuç alma imkânı artmıştır [19]. Bu çalışmada, laboratuvar ortamında YTT destekli frekans atlamaya imkân sağlayan geniş bant metamalzeme antenler [20, 21] ile sınır ihlallerini tespit edebilen karıştırma duyarsız sanal EM çit uygulaması anlatılmıştır.

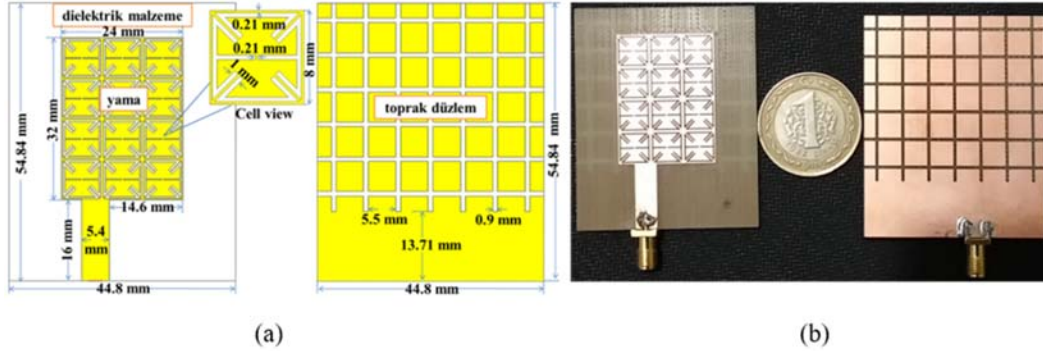
2. DENEY DÜZENEGİ (EXPERIMENTAL SETUP)

Şekil 1 (a, b)'de ölçüm düzeneğinin blok diyagramı ve deney ortamı gösterilmiştir. Ölçüm düzeneğinde, bir adet spektrum analizör (Rohde & Schwarz FSP, 9 KHz – 7 GHz), bir adet vektör network analizör (Rohde & Schwarz ZNB, 9 KHz - 8.5GHz), bir adet dipol anten ($3/2 \lambda$), birer adet alıcı ve verici YTT (NI-USRP 2922, 400 MHz - 4.4 GHz), birer adet alıcı ve verici anten (geniş bant metamalzeme anten (MMA), 2.89 ile 5.31 GHz arasında çalışan, $|S_{11}| > -10$ dB) kullanılmıştır. Ayrıca MMA'lar, yere paralel olacak şekilde 1 metre yüksekliğe ve birbirlerinden $R=3$ metre uzaklığa yerleştirilmiştir. Bu çalışmada vektör network analizör, çok yönlü dipol anten ile birlikte karıştırıcı (jammer) olarak kullanılmıştır. Bu karıştırıcı, alıcı ve verici YTT'lerin arasına yerleştirilmiştir. Laboratuvar koşullarında vektör network analizör ve verici YTT'nin çıkış güçleri sırasıyla 13 dBm ve 1 dBm olarak seçilmiştir. Bu deneyde kullanılan MMA'nin geometrik parametreleri ile antenin ön ve arka görünümü Şekil 2'de gösterilmiştir. Antende kullanılan dielektrik malzemenin üst ve altındaki metal tabakalar, $5,8 \times 10^7$ S/m elektriksel iletkenliğe ve 0.035 mm kalınlığa sahip bakır malzemenin; dielektrik malzeme ise bağıl dielektrik geçirgenliği (ϵ_r) 4,6, kayıp tanjant değeri ($\tan \delta$) 0,025 ve kalınlığı 1,6 mm olan FR4 malzemenin oluşmaktadır [22].

Tasarlanan anten simülasyonu 1-7 GHz frekans bant aralığında transient çözücü ile tüm sınır koşullarının $\lambda / 4$ uzaklıkta açık (open-add space) olduğu bir ortamda çalıştırılmıştır. Anten, simülasyonda ayrık giriş (discrete port) ile uyarılmıştır. Üretilen antenin merkez dışı mikroserit besleme noktası SMA konektör ile irtibatlandırılmıştır. Metamalzeme antenin yönlülük (ana ışın lobu $\theta = 103^\circ$ 'deki yönlülüğü 4.31 dBi) ve verimlilik (çalışma bant aralığında toplam verimlilik %70'in üzerinde ve



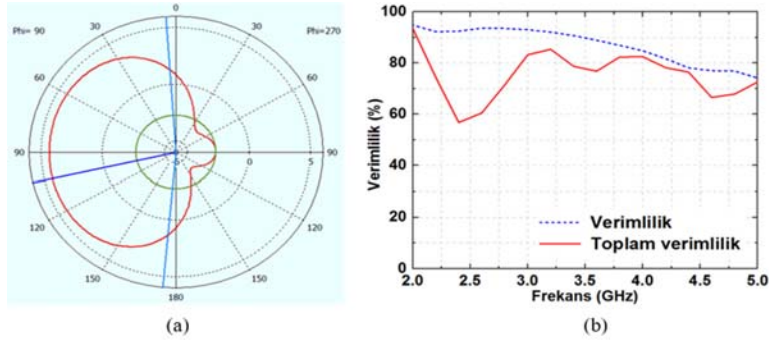
Şekil 1. a) Ölçüm düzeneği blok diyagramı b) Deney ortamı (a) Block diagram of the experimental setup b) Experimental setup



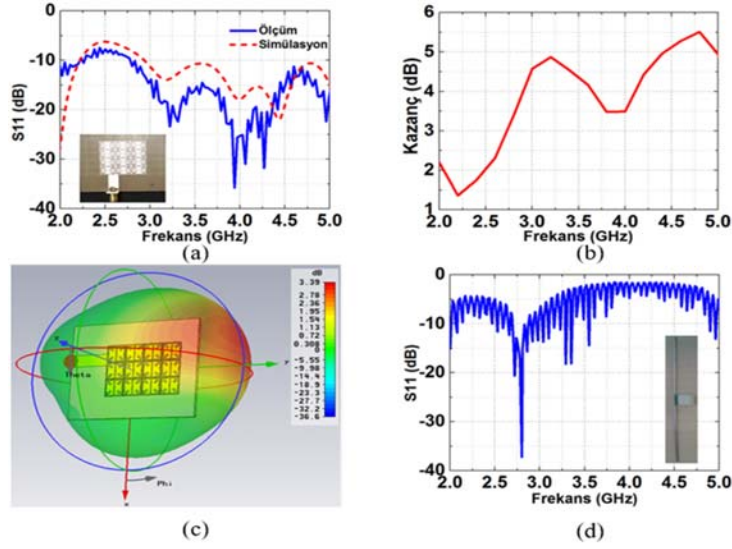
Şekil 2. a) MMA'nın geometrik parametreleri b) MMA'nın ön ve arka resmi
(a) Geometric parameters of MMA b) Top and bottom pictures of MMA

maksimum %85, verimlilik ise %70 - %93 aralığında) grafikleri Şekil 3'te gösterilmiştir. MMA'ya ait karşılaştırmalı ölçüm ve simülasyon S_{11} grafiği, simülasyon kazanç grafiği ve 2.8 GHz frekansındaki üç boyutlu ışına örüntüsü ile vektör network analizöre bağlı olarak kullanılan $3/2 \lambda$ dipol antenin ölçülen S_{11} grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir. YTT'ler, ethernet kablosu ile farklı iki ana bilgisayara bağlanmıştır. Bu bilgisayarlarda, iletilen sinyallerin NI-USRP donanımı ile en optimal seviyede işlenip sentezlenmesi için ara yüz sağlayan LabVIEW yazılımı kullanılmıştır. Deneyde, eş-faz (I) ve kuadratik-faz (Q) bileşenlerine sahip bir sinüs eğrisi ($f(t)$) şeklinde sinyal kullanılmıştır. Burada $I(t) = r \cos \theta$, $Q(t) = r \sin \theta$ 'dir. r vektörünün büyüklüğü $\sqrt{I^2 + Q^2}$ 'ye eşittir. r vektörünün fazı θ , $\tan^{-1}(I/Q)$ 'ye eşittir. (I) ve (Q) bileşenleri birbirine dik

olduğundan girişime uğramazlar [23]. Alıcı YTT'nin bağlı olduğu bilgisayardaki LabVIEW blok diyagramı ve EM çit aktif durumda iken LabVIEW ön paneli Şekil 5'te görülmektedir. Ön panel ara yüzünde, alınan sinyalin zaman ekseninde genlik voltajını ve frekans ekseninde dB cinsinden temel bant genliğini takip edebilmekteyiz. Ayrıca alınan sinyalin zaman eksenindeki genliğine bağlı olarak değiştirilebilir eşik seviyesi (threshold) ve bu seviyedeki değişime göre kırmızı veya yeşil yanak hedef tespit LED göstergesi de LabVIEW ön paneline eklenmiştir. Geliştirilen LabVIEW yazılımı blok diyagram kodu incelendiğinde; en dış bölümde yer alan çerçeve While sonsuz döngüsüne karşılık gelmektedir ve vericiden sürekli sinyal okuma işlemini sağlamaktadır. En dış çerçeve (While döngüsü) içerisinde yer alan YTT'ye ait CDB WDT bloğu ile vericiden



Şekil 3. a) MMA'nın 2.8 GHz'deki yönlülük polar gösterimi b) MMA'nın verimlilik grafiği
(a) Polar directivity of MMA at 2.8 GHz b) Efficiency graph of MMA



Şekil 4. a) Metamalzeme antenin ölçüm ve simülasyon S11 grafiği b) MMA'nın simülasyon kazanç grafiği c) MMA'nın 2.8 GHz'deki ışınma paterni d) $3/2 \lambda$ dipol antenin ölçüm S11 grafiği (a) Measured and simulated S11 graph of metamaterial antenna b) Simulation gain graph of metamaterial antenna c) Radiation pattern of metamaterial antenna at 2.8 GHz d) S11 graph of $3/2 \lambda$ dipole antenna

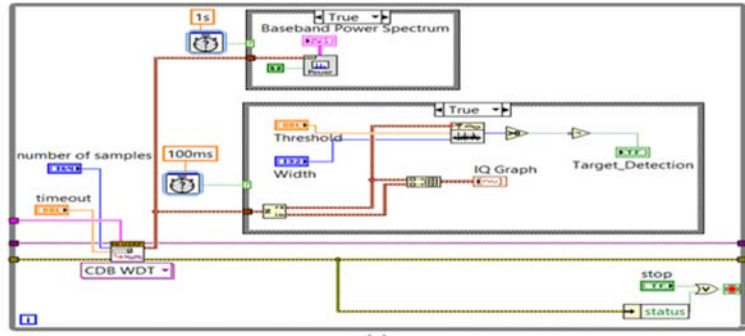
gelen sinyal içerisindeki taşıyıcı frekansı ayırarak çıkışta kompleks yapıdaki temel bant I ve Q işaretleri elde edilmektedir. Kompleks yapıdaki IQ sinyali ayrıştırılarak I ve Q temel bant işaretleri IQ Graph ile gösterilmektedir. I kanalından gelen reel işaret tepe dedektörü (peak detector) girişine bağlanmıştır. Tepe dedektörü girişine bağlanan eşik seviyesi ile I kanalından gelen $I(t) = r \cos \theta$ reel sinyali kıyaslanmaktadır. Genişlik olarak 1 değeri alındığından her 100 ms de I sinyali en az bir defa eşik değerini aştığında çıkışın lojik değeri değiştirilerek ön panelde hedef tespit LED'inin yeşil yanması sağlanmaktadır.

3. ELEKTROMANYETİK ÇİTİN ÇALIŞTIRILMASI (OPERATION OF THE ELECTROMAGNETIC FENCE)

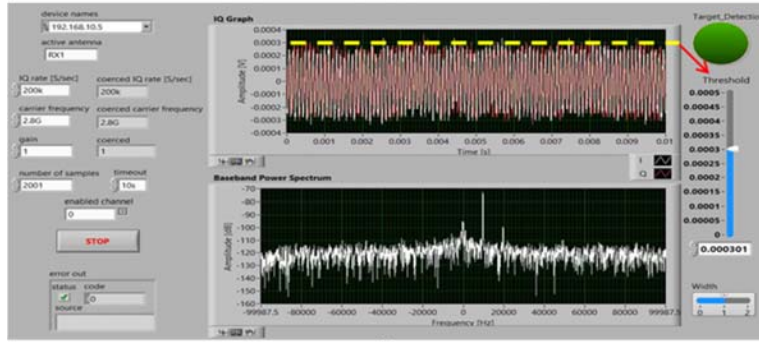
EM çit çalıştırılmadan önce, YTT'ler kapalı durumda iken spektrum analizör (SA) ile ortam gürültüsü Şekil 6 (a)'da görüldüğü gibi ölçülmüştür. Şekillerde frekans eksenine, MMA ile YTT'nin çalışma bantlarının kesişimi olan 2-5 GHz aralığında gösterilmiştir. Ortam gürültüsünün elde edilmesinden sonra, YTT'ler 2.8 GHz frekansında çalıştırılarak Şekil 6 (b)'de görüldüğü gibi sanal EM çit

oluşturulmuştur. Alınan sinyalin dBm cinsinden gücü spektrum analizör ile voltaj cinsinden genliği ise LabVIEW ara yüzü ile ölçülmüştür. Ara yüzde, sinyalin ortalama genlik değeri okunarak bu değer Şekil 5 (b)'de görüldüğü gibi eşik seviyesi değeri olarak sisteme girilmiştir. Eşik seviyesi değeri, verici gücüne ve mesafeye bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Sinyal genliğindeki değişim kararlı durumda olduğunda ve bu duruma bağlı eşik seviyesi sisteme girildiğinde, LED gösterge sistemin aktif ve yakınında herhangi bir hareketliliğin olmadığını ifade eden yeşil renk yanmaktadır.

Şekil 7'de görüldüğü gibi, EM çit arasından bir hedef geçtiğinde sinyal genliği kararsızlaşır ve eşik seviyesinin altına düşer. Aynı zamanda Şekil 6 (c)'de görüldüğü gibi, 2.8 GHz'de sinyal gücü önemli ölçüde azalır. Sinyal genliğinin eşik seviyesi altına düşmesi LED göstergeyi tetikler ve bir hedef veya hareketliliğin olduğunu ifade eden kırmızı renge dönüştürür. Bir hedef EM çiti oluşturan antenlerin ışınma örüntüsüne yaklaşır ise alınan sinyalde bozulmalar oluşmakta ancak maksimum bozulma hedef tam olarak antenlerin arasında iken meydana gelmektedir.

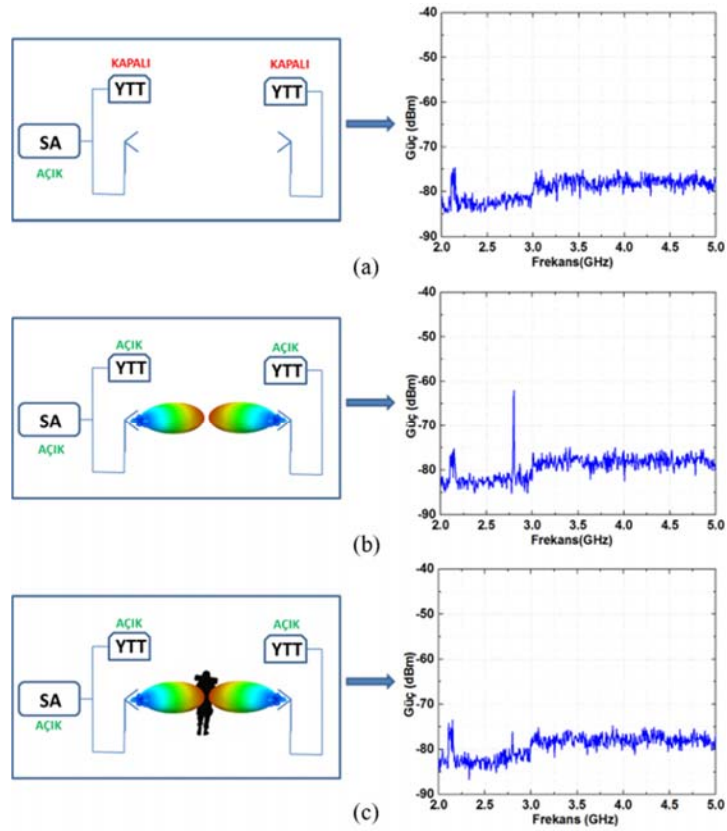


(a)

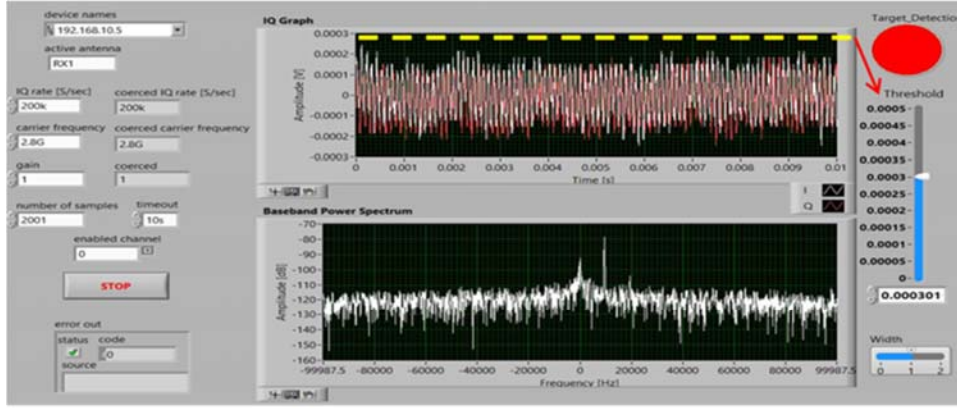


(b)

Şekil 5. a) LabVIEW blok diyagramı b) EM çit aktif durumdayken LabVIEW ön paneli
(a) LabVIEW block diagram b) LabVIEW interface while EM fence is active)



Şekil 6. a) Ölçülen ortam gürültüsü b) 2.8 GHz de çalışan elektromanyetik çit c) Bir hedefin elektromanyetik çitten geçtiği durum (a) Measured ambient noise level b) EM fence operating at 2.8 GHz c) A target is passing through the EM fence)



(a)



(b)

Şekil 7. a) EM çit 2.8 GHz’de aktif durumda iken hedef tespit edildiğinde LabVIEW ekranı b) EM çit tarafından hedef tespiti deney ortamı

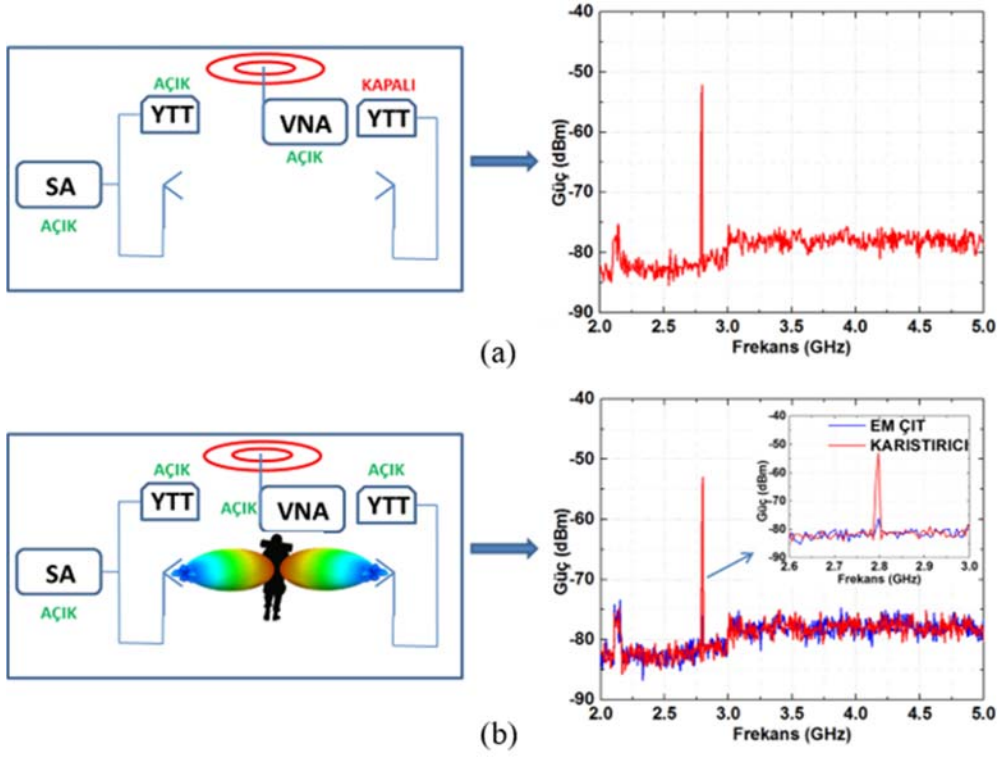
(a) LabVIEW interface when a target is detected while EM fence is active b) Target detection experimental setup by EM fence)

Böylelikle sistem bir geçiş esnasında alarm vermektedir. Bununla birlikte, alınan sinyaldeki sistemi tetiklemeyen değişimler, EM çitin yakınında bir nesne veya kişinin olabileceği hakkında ön bilgi vermektedir. Bu sebeple, ekran üzerindeki küçük sinyal değişimlerini takip eden bir operatör için söz konusu verinin erken ikaz vazifesi görebileceği değerlendirilmektedir.

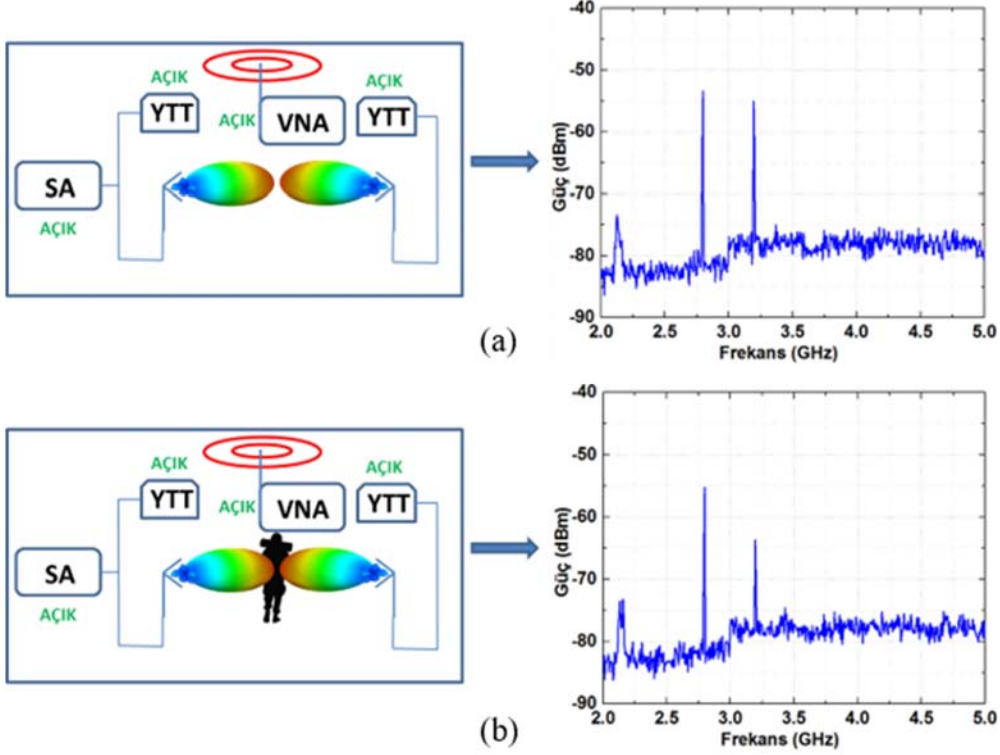
4. ELEKTROMANYETİK ÇİTİN KARIŞTIRILMASI (JAMMING THE ELECTROMAGNETIC FENCE)

Laboratuvar ortamında vektör network analizör (VNA), EM çiti karıştırmak amacıyla kullanılmıştır. Öncelikle karıştırıcı, EM çitin çalıştığı 2.8 GHz frekansında çalıştırılmış ve EM çit kapalı konumdayken Şekil 8 (a)’daki güç seviyesi elde edilmiştir. Karıştırıcı sinyalin güç seviyesine bağlı olarak artan sinyal genliği, eşik seviyesi değerinin üzerine çıkmıştır. Karıştırıcı çalışır durumda iken, Şekil 8 (b)’deki gibi EM çit aynı frekansta aktif hale getirilmekte ve çit içerisinde bir hedef geçmektedir. Karıştırıcı sinyal, Şekil 8 (b)’de yakınlştırılmış iç şekilde görüldüğü gibi, karıştırıcı sinyali çit sinyalini bastırdığından; alıcı, hedefin varlığına rağmen çit sinyalindeki değişimi fark edememiştir. Sinyal genliği eşik seviyesi değerinin altına düşmediğinden, LED

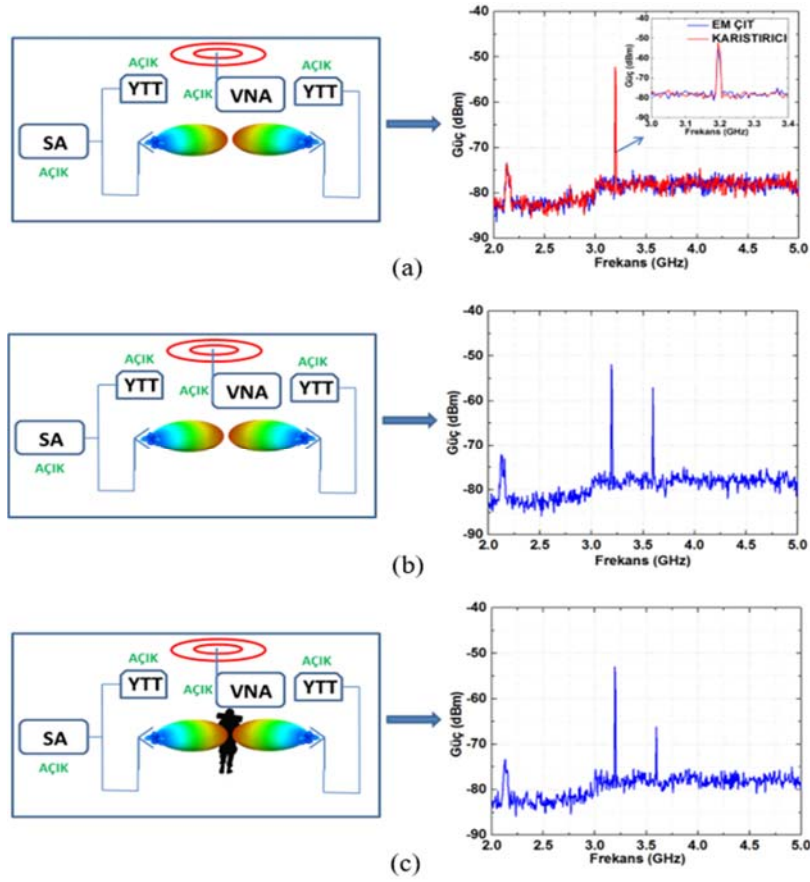
göstergesi halen yeşil rengi göstermektedir. Bu sebeple de sistem, karıştırma süresi boyunca alarm veremeyecektir. Bu durumun üstesinden gelebilmek için, EM çitin verici gücü artırılarak karıştırma sinyali bastırılabilir ve eşik seviyesi değeri yeni duruma göre tekrar uyarlanarak sistemin aktif duruma getirilmesi sağlanabilir. Ancak bu yöntem vericinin güç kapasitesiyle sınırlıdır. Bu çalışmada; EM çiti oluşturmak için, sistem karıştırmaya maruz kaldığında verici gücünü artırmak yerine frekans atlamaya imkân veren geniş bant MMA’lar kullanılmıştır. Sistem karıştırmaya maruz bırakıldığında, frekansı 2.8-5.3 GHz aralığındaki herhangi bir değere değiştirerek sistemin aktif olarak çalışmasını sağlamak mümkün olacaktır. Bununla birlikte, frekans değişse de antenlerin ışınma örüntüsü yönü değişmediğinden EM çit aynı şartlarda uygun şekilde çalışmaya devam edecektir. Şekil 9 (a)’da görüldüğü gibi, karıştırıcı 2.8 GHz’de çalışmaya devam ederken, EM çit frekansı manuel olarak 3.2 GHz frekansına atlatılmıştır. Daha sonra, çit arasından bir hedef geçtiğinde alınan sinyal gücü seviyesinin Şekil 9 (b)’de görüldüğü gibi düştüğü gözlemlenmiştir. Güçteki değişime bağlı olarak, alınan sinyal genliği eşik seviyesinin altına düşmekte ve LED gösterge kırmızı renge dönüşerek karıştırma altında hedef tespiti icra edilebilmektedir.



Şekil 8. a) Karıştırıcı 2.8 GHz de çalışırken b) 2.8 GHz de EM çitten hedef geçerken sistemin karıştırılma durumu
(a) Jammer is working at 2.8 GHz, b) System is jammed when a target crosses between antennas at 2.8 GHz)



Şekil 9. a) Karıştırıcı 2.8 GHz frekansında iken EM çit frekansı 3.2 GHz'e atlama yaptığı durum b) Karıştırıcı 2.8 GHz frekansında iken 3.2 GHz frekansında çalışan EM çit tarafından hedef tespit edilebilmesi (a) EM Fence frequency is hopped to 3.2 GHz while jammer frequency is still 2.8 GHz b) A target is detected at 3.2 GHz while the jammer is working at 2.8 GHz)



Şekil 10. a) EM çit 3.2 GHz frekansında çalışırken karıştırıcının da aynı frekansta sisteme bastırma durumu b) Karıştırıcı 3.2 GHz frekansında iken EM Çit frekansı 3.6 GHz e atlama yaptığı durum c) Karıştırıcı 3.2 GHz frekansında iken 3.6 GHz frekansında çalışan EM çit tarafından hedef tespit edilebilmesi (a) The system is suppressed by jammer at 3.2 GHz b) EM Fence frequency is hopped to 3.6 GHz while jammer frequency is still 3.2 GHz c) A target is detected at 3.6 GHz while the jammer is working at 3.2 GHz)

Sistem 3.2 GHz frekansında aktif halde çalışırken, Şekil 10 (a)'da görüldüğü gibi ikinci kez karıştırılmaktadır. Karıştırma sinyali Şekil 10 (a)'da yaklaşılmış iç şekilde görüldüğü gibi çit sinyalini bastırıldığından, EM çit sinyali eşik seviye değeri yükselmiş olur. Bu sebeple, çit yakınında veya arasında oluşabilecek hareketlilikten kaynaklı sinyal değişimleri gözlemlenemeyecek ve sistem alarm vermeyecektir. Bunun üzerine karıştırıcı 3.2 GHz frekansında çalışmaya devam ederken, EM çit frekansı Şekil 10 (b)'de görüldüğü gibi manuel olarak 3.6 GHz frekansına atlatılmaktadır. Sistem karıştırmaya maruz iken, çit içerisinden Şekil 10 (c)'de görüldüğü gibi bir hedef geçtiğinde sinyal güç seviyesi önemli ölçüde azalmaktadır. Buna bağlı olarak sinyal genliği belirlenen eşik seviyesi değerinin altına düşeceğinden sistem LED göstergesi tetiklenerek kırmızı renge dönüşmektedir. Böylelikle, sistem karıştırmaya karşı tepki vererek düzgün şekilde çalışmayı ve çit yakınında veya içerisinde oluşabilecek hareketliliği tespit etmeyi sürdürebilmektedir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu makalede, laboratuvar ortamında kurulan deney düzeneğinde alınan sinyaldeki değişimlere bağlı olarak

hareketliliği tespit edebilen bir elektromanyetik çit uygulaması anlatılmıştır. Geniş bant metamalzeme antenler sayesinde, sistem 2.8-5.3 GHz frekans çalışma bant aralığında atlama yaparak olası karıştırma teşebbüslerine karşı koymuştur. Bu koşullar altında hedefler tespit edilebilmiş ve sistem düzgün şekilde çalışmıştır. Önerilen bu sistemin, erken ikaz destek sistemi olarak fiziksel bir çitin parçası ya da fiziki şartlardan dolayı geleneksel çitlerin kurulmadığı arazi ve bölgelerde sanal güvenlik çiti olarak kullanım alanı bulabileceği öngörülmektedir.

6. SİMGELER (SYMBOLS)

I	: Eş faz (In-phase)
Q	: Kuadratik faz (Quadratic-phase)
S_{11}	: Yansıma katsayısı (Scattering Parameter)

Kısaltmalar (Abbreviations)

CDB WDT	: Bir dalga formunda çift duyarlıklı akan veri (Complex double precision numbers waveform data type)
EM	: Elektromanyetik (Electromagnetic)
LabVIEW	: Görsel programlama dili (Laboratory

	virtual instrument engineering workbench)
MMA	: Metamalzeme anten (Metamaterial antenna)
NI-USRP	: National instruments universal software radio peripheral
RF	: Radyo frekansı (Radio Frequency)
SA	: Spektrum analizör (Spectrum analyzer)
YTT	: Yazılım tabanlı telsiz (Software Defined Radio)
VNA	: Vektör network analizör (Vector network analyzer)

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar olarak, antenlerin üretim ve ölçüm sürecindeki katkılarından dolayı Dr. O. M. Yücedağ'a ve Ankara Üniversitesi personeline teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Farlex. The Free Dictionary. <http://www.thefreedictionary.com/fence>. Erişim tarihi Mart 3, 2016.
2. Juarez J.C., Maier E.W., Choi K.N., Taylor H.F., Distributed fiber-optic intrusion sensor system, *J. Lightw. Technol.*, 23 (6), 2081-2087, 2005.
3. Li X., Sun Q., Wo J., Zhang M., Liu D., Hybrid TDM/WDM-based fiber-optic sensor network for perimeter intrusion detection, *J. Lightw. Technol.*, 30 (8), 1113- 1120, 2012.
4. Libby V., A wireless perimeter protection and intrusion detection system, *IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)*, San Jose-CA, 364-368, 5-8 Ekim, 2010.
5. Onur E., Ersoy C., Delic H., Akarun L., Surveillance wireless sensor networks: deployment quality analysis, *IEEE Network*, 21 (6), 48-53, 2007.
6. Russomanno D.R., Chari S., Jacobs E.L., Halford C., Near-IR sparse detector sensor for intelligent electronic fence applications, *IEEE Sensors J.*, 10 (6), 1106-1107, 2010.
7. Makino H., Hayashide K., Infrared security sensor, U.S. Patent 9046624 B2, 2015.
8. Butler W., Poitevin P., Bjornholt J., Benefits of wide area intrusion detection systems using FMCW radar, *IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)*, Ottawa-Ont., 176-182, 8-11 Ekim, 2007.
9. Salman A.O., Dibekci D., Gavrilo S.P., Vertiy A.A., The radiation properties of a novel wire antenna for the security fence radar, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 56 (9), 2852-2864, 2008.
10. Dibazar A., Yousefi A., Park H.O., Lu B., George S., Berger T.W., Intelligent acoustic and vibration recognition/alert systems for security breaching detection, close proximity danger identification, and perimeter protection, *IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, Waltham-MA, 351-356, 8-10 Kasım, 2010.
11. Yousefi A., Dibazar A.A., Berger T.W., Aggregating seismic, acoustic and vibration sensor outputs for enhancing threat detection performance and estimating threat-level, *IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, Waltham-MA, 202-207, 15-17 Kasım, 2011.
12. Monod M.O., Faure P., Moiroux L., Rameau P., A virtual fence for animals management in rangelands, *14th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)*, Ajaccio-France, 337-342, 5-7 Mayıs, 2008.
13. Umstatter C., The evolution of virtual fences: a review, *Computers and Electronics in Agriculture*, 75 (1), 10-22, 2011.
14. Ipekoglu Y., Yucedag O.M., Saraydemir S., Kocer H., Microstrip patch antenna array design for C-band electromagnetic fence applications, *9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa-Türkiye, 355-358, 26-28 Kasım, 2015.
15. Veselago V.G., The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ , *Soviet Physics Uspekhi*, 10, 509-514, 1968.
16. Özden K., Özer A., Yücedağ O.M., Koçer H., Reduction of radar cross section using metamaterial based broadband absorbers, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (4), 1105-1112, 2016.
17. Ozden K., Yucedag, O. M., Kocer H., Metamaterial based broadband RF absorber at X-band, *AEU Int. J. Electron. Commun.*, 70, 1062-1070, 2016.
18. Alù A., Subwavelength, compact, resonant patch antennas loaded with metamaterial, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 55 (1), 13-25, 2007.
19. Welch T.B., Shearman S., Teaching software defined radio using the USRP and LabVIEW, *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Kyoto-Japan, 2789-2792, 25-30 Mart, 2012.
20. Akcelik H., Yucedag O.M., Torun E., Kocer H., A metamaterial based broadband microstrip antenna, *9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa-Türkiye, 954-957, 26-28 Kasım, 2015.
21. Akcelik H., Durna Y., Saraydemir S., Kocer H., Measurement of a metamaterial antenna angular power reception performance utilizing Software Defined Radio, *AEU Int. J. Electron. Commun.*, 75, 91-97, 2017.
22. Hartley R., Base Materials for High Speed, High frequency PC Boards, *PCB&A West Conference*, Mart, 2002.
23. National Instruments. I/Q Data. <http://www.ni.com/tutorial/1720/en/>. Yayın tarihi Aralık 30, 2013. Erişim tarihi Mart 3, 2016.

