

S-Band Aktif Faz Dizili RF Hüzme Yönlendirme Yapılarının Performansı

¹Ahmet Hastürk and ^{*2}Nursel Akçam

¹ASELSAN A.Ş. Ankara, Türkiye

^{*2}Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Özet:

Hüzme yönlendirme yapıları, elektronik harp sistemlerinde kendini koruma ve hedef radara karıştırma tekniği uygulamak için anten huzmesinin istenilen yönde oluşturulmasında kullanılan önemli bloklardandır. Faz dizili sistemlerde kullanılan hüzme yönlendirme yapıları sayesinde, anten huzmesi mekanik bir yapı kullanılmadan elektronik olarak yönlendirilebilir. Bu makale çalışmasında, aktif faz dizili yapılar için gerekli radyo frekans (Radio Frequency-RF) hüzme yönlendirme kartının tasarımı yapılmıştır. S-bandında (2-4 GHz) çalışan ve içerisinde gerçek zaman gecikmesi (True Time Delay-TTD) yapıları içeren 8 kanallı aktif analog hüzme yönlendirme yapısı tasarlanmıştır. Tasarlanan kartın performansı; kazanç, faz kaydırıcı, TTD, sayısal zayıflatıcı ve giriş-çıkış geri dönüş kayıplarının simülasyon sonuçları incelenerek yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Aktif fazlı dizi, hüzme yönlendirme, tarama, gerçek zaman gecikmesi (TTD).

Abstract:

Beamforming networks are important blocks of directing antenna beam in a desired direction for self-protection and target radar jamming in electronic warfare systems. Due to the using beamformer in phased array system, antenna beam can be electronically steered without rotating the antenna. In this paper, the design a Radio Frequency (RF) beamforming card, which is necessary for active phased-array structures, are made. 8-channel active analog beamformer with True Time Delay (TTD) networks for 2-4 GHz (S-band) frequency range is designed. The performance of the designed card is examined with the simulation of gain, phase shifter, TTD, numerical attenuator, and input-output return loss. The simulation results are discussed.

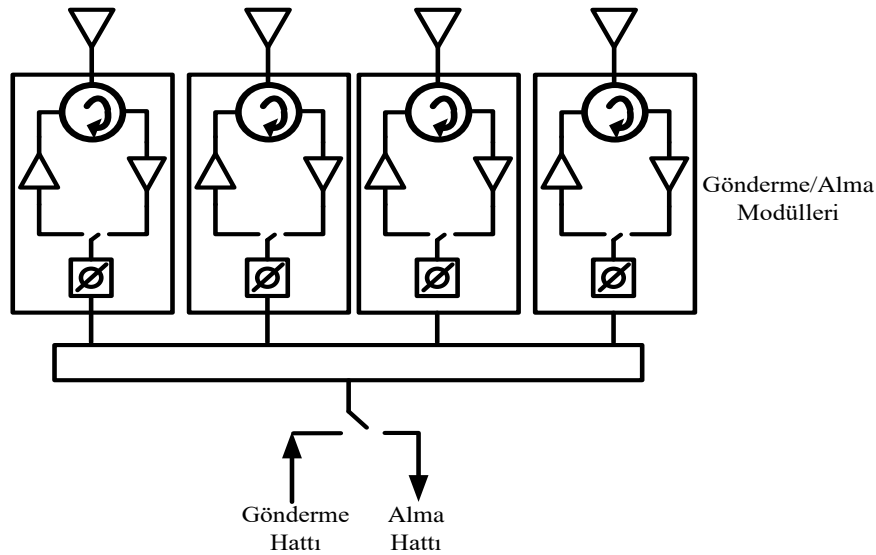
Key words: Active phased-array, beamforming, scanning, True Time Delay (TTD).

1. Giriş

Hüzme yönlendirme Elektronik Harp (EH) sistemlerinde düşman radarlarını karıştırarak etkisiz hale getirmek için kullanılan yapılardır. Farklı konumlardaki hedefleri karıştırabilmek için anten huzmesinin yönlenebilir olması gerekir. EH sistemleri, huzmenin yönlendirilme biçimine göre; mekanik olarak döndürülen sistemler ve faz dizili sistemler [1-3] olarak iki gruba ayrılır.

Huzme yönlendirme yapısı mekanik olarak kontrol edildiği için huzme oluşturma için gereken süre milisaniye mertebesindedir. Ayrıca aynı anda sadece tek bir huzme oluşturabilir. Aynı anda birbirinden bağımsız ve elektronik olarak daha hızlı yönlenebilen ve daha küçük boyutlu yapılar tasarlamak için faz dizili yapılar geliştirilmiştir [2]. Faz dizili sistemlerde ise birden fazla anten elemanı farklı fazlarda uyarılarak huzme yönlendirilir [1]. Bu sistemlerde huzme yönlendirme elektronik olarak faz kaydırıcılar ile yapıldığı için huzme yönlendirme için gereken süre mikro saniye (μs) mertebesindedir.

Aktif faz dizili yapılarda her bir anten elemanın genlik kontrolü, kendine özgü yükselteç yapısı ile yapılır. Bir adet yüksek çıkış gücüne sahip yükselteç yerine her anten elemanı için daha düşük çıkış gücüne sahip yükselteçler kullanılır. Bu yapılarda anten elemanları; gönderme, alma veya alma-gönderme modülleri diye adlandırılan yükselteçlerle beslenir (Şekil 1)



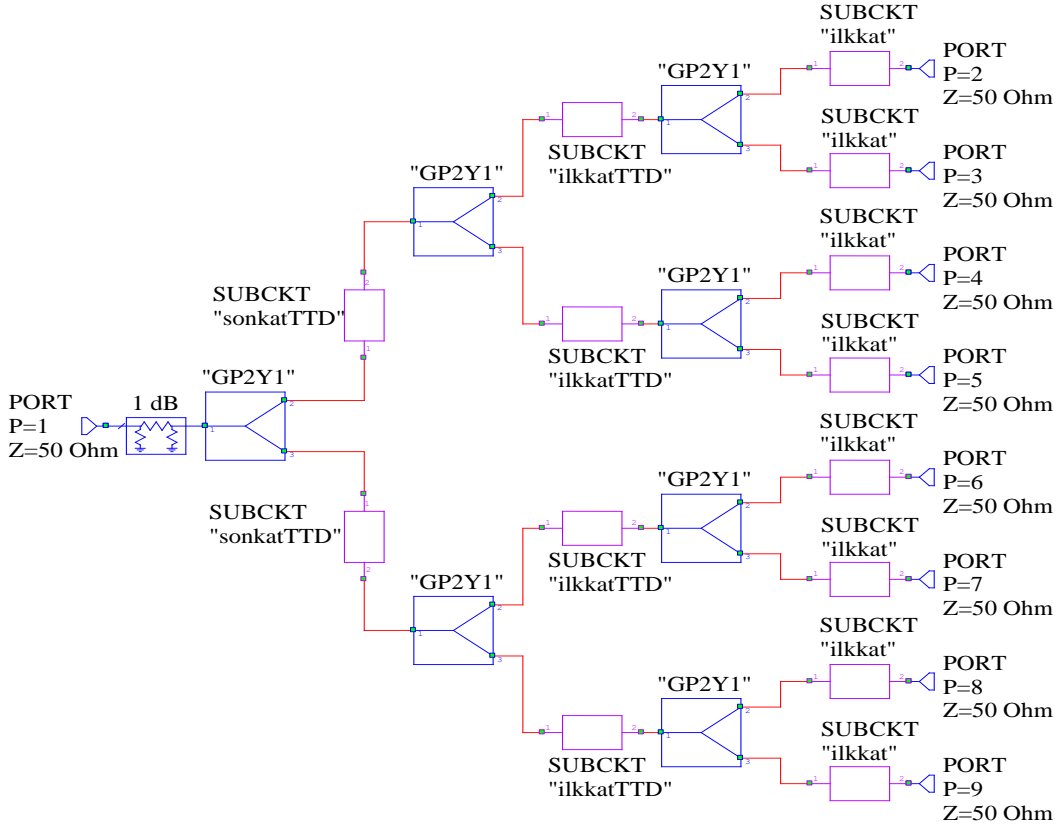
Şekil 1. Analog huzme yönlendirme yapısı blok diyagramı

Faz dizili yapılarda; analog, sayısal ve fotonik gibi tek bir huzme yönlendirme tekniği kullanılabilirdiği gibi birden fazla tekniğin aynı sistemde kullanıldığı karma huzme yönlendirme yapıları da mevcuttur [4]. Analog Huzme Yönlendirme tekniğinde her bir anten elemanı için gereken faz değeri, analog veya sayısal faz kaydırıcı kullanılarak verilir. Anten elemanlarının farklı fazlarla uyarılmasıyla huzme yönlendirilmesi sağlanır [5-7].

Analog huzme oluşturmada yayın yapılan frekans bandı geniş ve dizi çok elemandan oluşuyorsa huzme kaymasından kaynaklı kazanç kayıplarını azaltmak için TTD yapıları kullanılır. TTD yapıları frekanstan bağımsız olduğu için geniş bantlı sistemlerde huzme yönlendirme sırasında ortaya çıkan kazanç kayıpları ortadan kaldırılmış olur [8]. TTD faz kaydırıcıdan farklı olarak frekans ile negatif olarak artan bir faz performansına sahiptir.

2. Nihai Huzme Yönlendirme Kartı Tasarımı

Bu çalışmada, tasarımı ve benzetimi yapılan 3 farklı blok güç bölücülerle birleştirilerek 8 kanallı huzme yönlendirme yapısı oluşturulmuştur. Tasarımın nihai durumu için devre şeması Şekil 2'de gösterilmektedir.



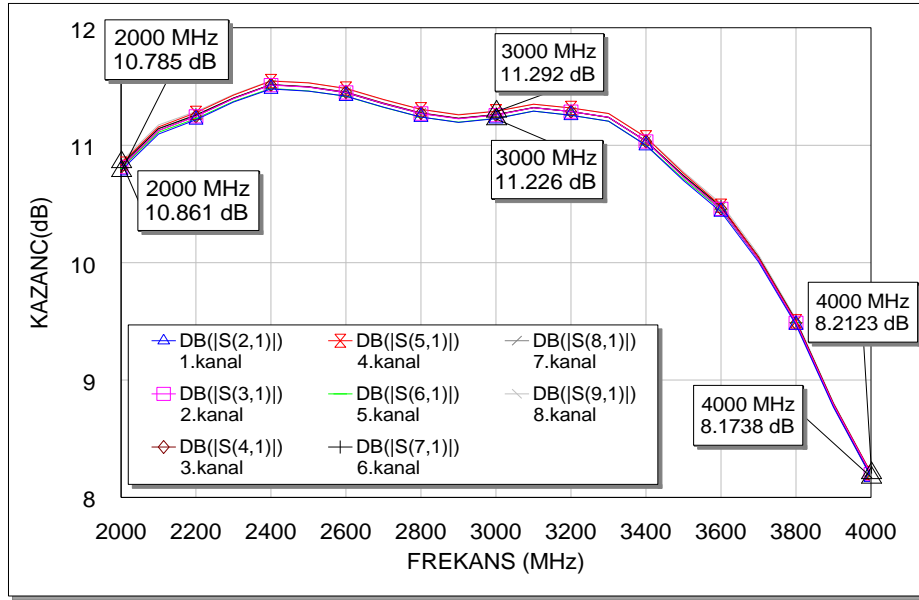
Şekil 2. Nihai huzme yönlendirme kartı devre şeması

Faz kaydırma ve genlik ayarlama blokları (ilk kat) ikiye bölücüler ile birleştirilerek 8 kanal haline getirilmiştir. Daha sonra her 2 kanal için ilk kat TTD blokları eklenmiştir. Son olarak her 4 kanalı ortak olarak besleyen son kat TTD blokları eklenerek nihai tasarım tamamlanmıştır. Giriş geri dönüş kaybını iyileştirmek için pi şeklinde zayıflatıcı tasarıma eklenmiştir. Çıkış için faz kaydırma ve genlik ayarlama bloğunda bu iyileştirme yapıldığı için herhangi bir işlem yapılmamıştır.

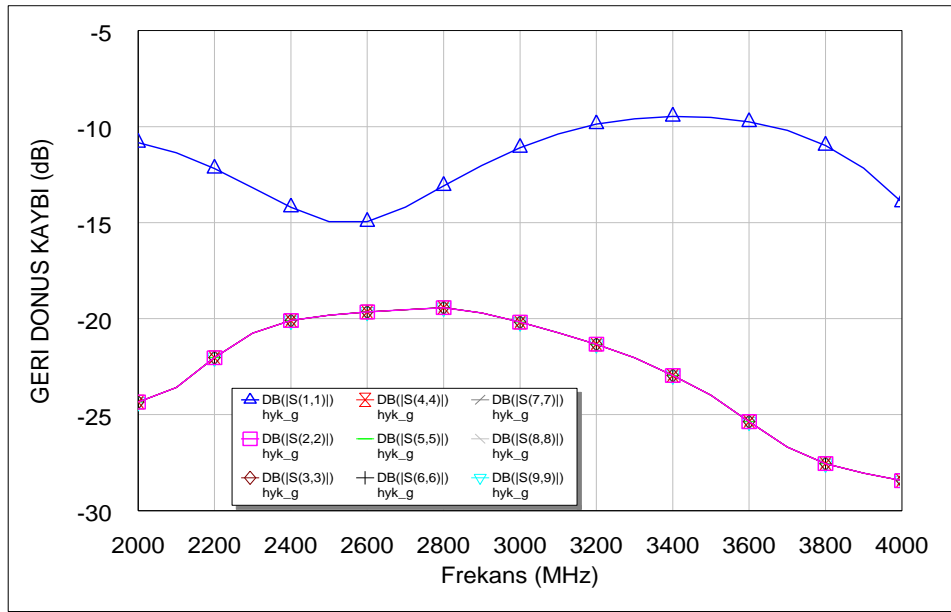
3. Similasyon Sonuçları

Şekil 2'de tasarlanan huzme yönlendirme yapısı kartı bütün kanallar için kazanç benzetim sonuçları Şekil 3.'de görülmektedir. Her bir kanal aynı faz ayarlama ve genlik bloğu, ilk kat TTD

bloğu ve son kat TTD bloğu ile beslendiği için kazanç değeri bütün kanallar için benzer seviyededir. 8 kanal için kazanç değerinin birebir eşit çıkmamasının nedeni yapı oluşturulurken kullanılan 2 kollu güç bölücünün kolları arasındaki genlik farkından kaynaklanmaktadır. Simülasyon sonucu her kanal için faz kaydırıcı, sayısal zayıflatıcı, ilk ve son TTD blokları referans durumunda iken oluşturulmuştur. Şekil 3'e göre bant başında kazanç 10,8 dB seviyelerinde iken bant sonunda 8,2 dB seviyesine düşmektedir.



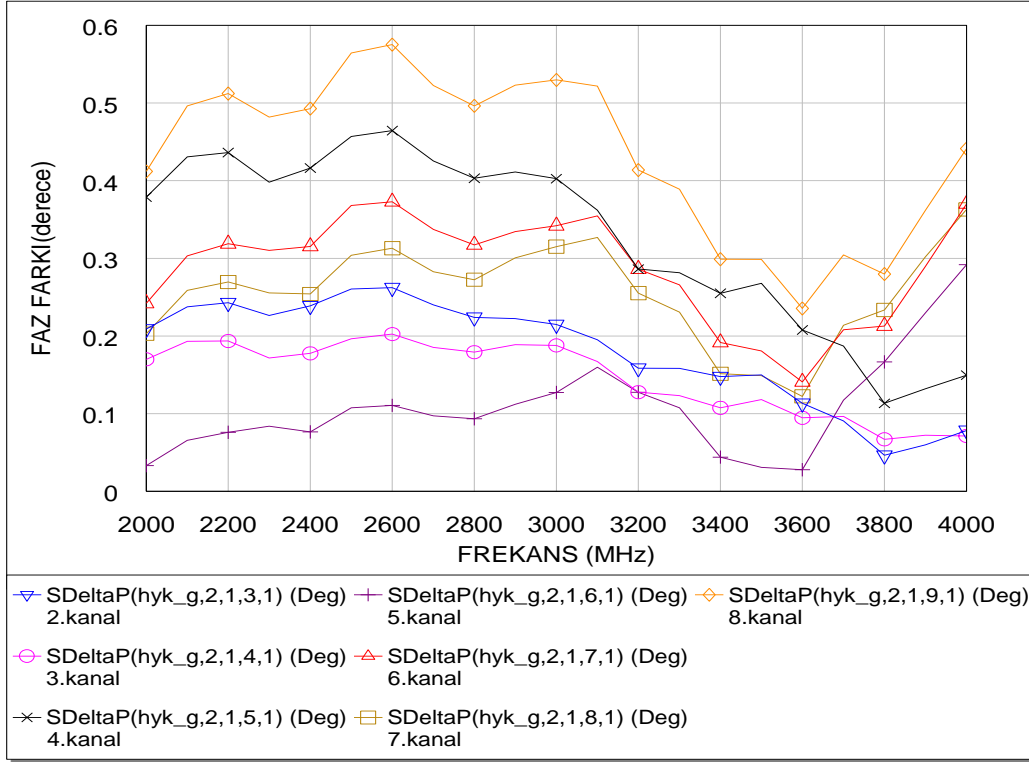
Şekil 3. Nihai huzme yönlendirme kartı bütün kanallar için kazanç



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Nihai huzme yönlendirme kartı giriş ve çıkış geri dönüş

kayıpları

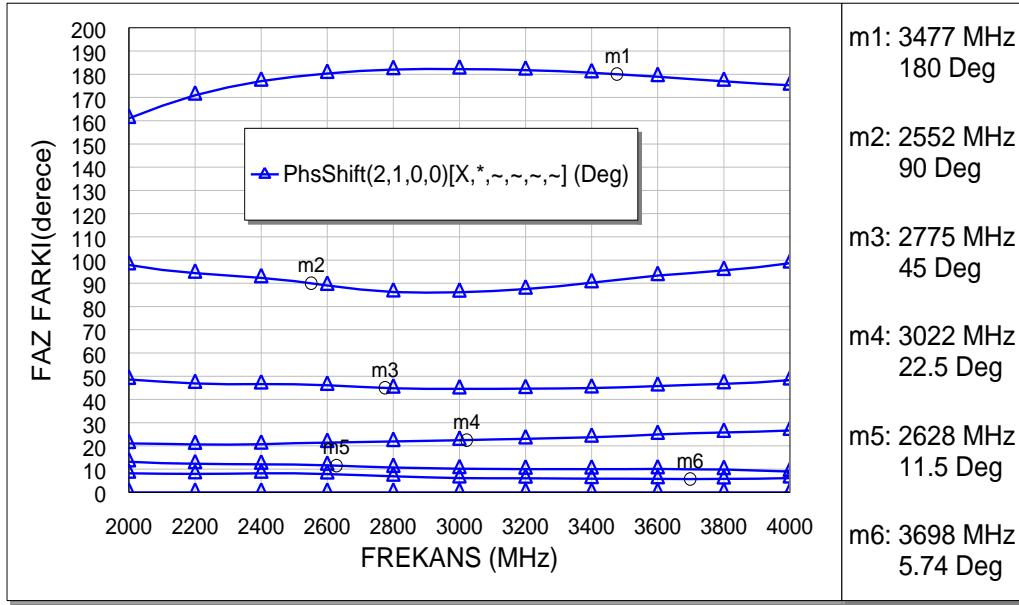
Kartın giriş ve çıkış geri dönüş kaybı faz kaydırıcı, sayısal zayıflatıcı, ilk kat ve son kat TTD blokları referans durumda iken frekans bandı boyunca 10 dB'den daha iyi seviyededir (Şekil 4). Güç transferi için empedans uyumlandırma önemli bir parametredir, bu sonucun 10 dB'den iyi çıkması, elemanların birbirleriyle olan empedans uyumunun bozulmadan sağlandığının ifadesidir.



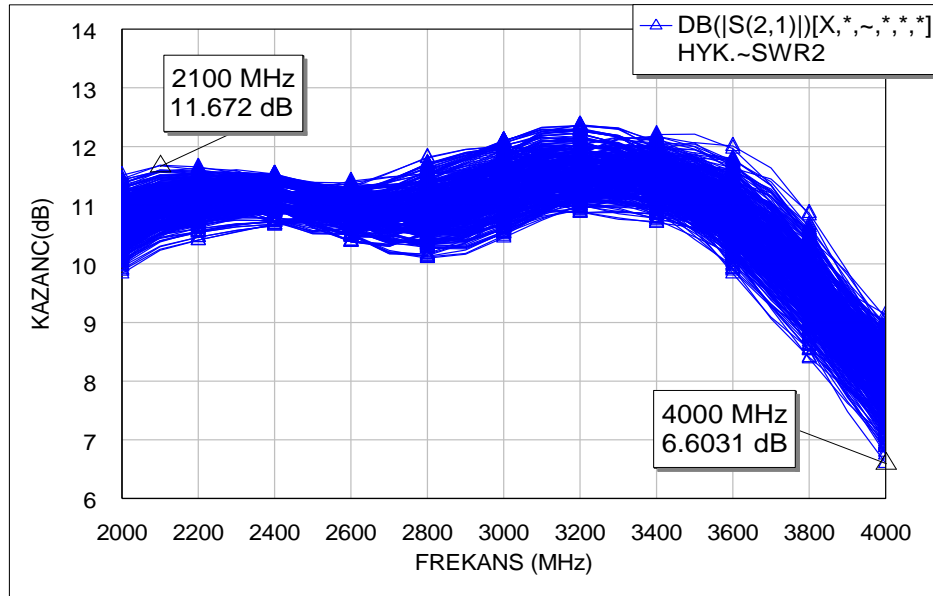
Şekil 5. Nihai huzme yönlendirme kartı kanallar arası faz farkı

Huzme yönlendirmede her kanalın eşit faz ve genliğe sahip olması, huzmenin istenen yönde ve istenen genlikte yönlendirilmesi için gerekli bir durumdur. Kartın birinci kanalı referans alınarak diğer kanalların birinci kanalla olan faz farkı Şekil 5'de görüldüğü üzere maksimum 0,6 derece eş fazlı olarak tasarlanmıştır. Burada kanallar arası faz farkının 0,6 derece gibi oldukça düşük bir değer tasarlanmasının sebebi, yapı oluşturulurken kullanılan ikiye bölücünün kolları arasındaki faz dengesizliğinin oldukça düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Huzme yönlendirme kartının faz kaydırma performansı (ana bitler için) Şekil 6'da görüldüğü gibi istenen faz farkları karşılamaktadır. Bant başında ve sonunda oluşan faz hataları kullanılan sayısal faz kaydırıcıdan kaynaklanmaktadır. Tasarımda faz kaydırıcı 6 bitten oluştuğu için 6 ana bit kullanılarak her bir kanal için 360 dereceye kadar faz farkı, birbirinden bağımsız bir şekilde verilebilmektedir.



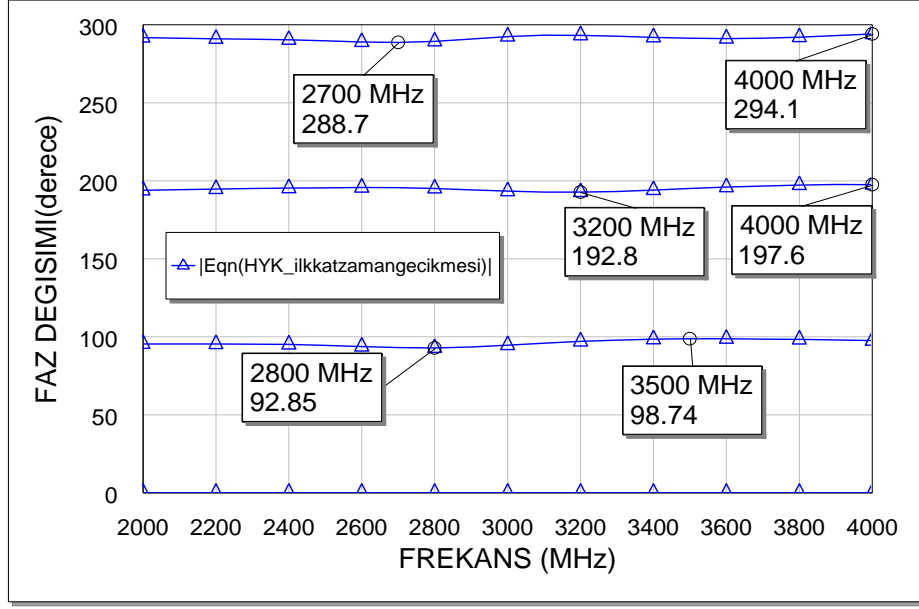
Şekil 6. Nihai huzme yönlendirme kartı faz kaydırma performansı



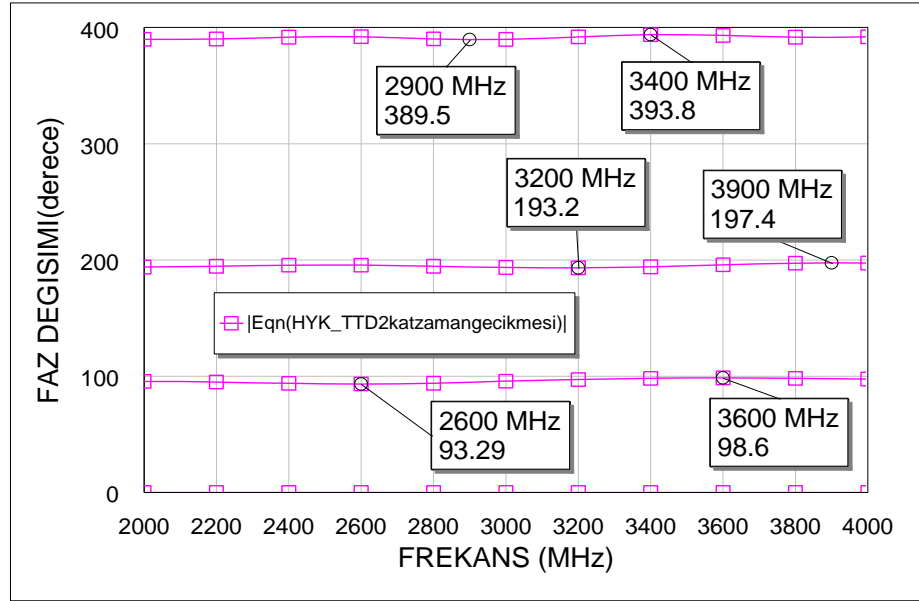
Şekil 7 Nihai huzme yönlendirme kartı tüm durumlar için kazanç

Huzme yönlendirme için her bir elemana artan faz farkı verilerek huzme yönlendirme gerçekleştirilir. Bu esnada faz farkına ek olarak dizi boyutuna ve anlık bant genişliğine göre TTD yapıları da kullanılabilir. Elemanlar için faz ayarlaması yapılırken elemanların genlik seviyesinin değişen faz durumları için mümkün olduğunca aynı kalması huzmenin güçlü iletimi için önemlidir. Kullanılan faz kaydırıcının 6 bitlik olmasından dolayı 2^6 adet faz durumu, ilk kat TTD

katındaki 2 bitlik zaman gecikmesinden dolayı 2^2 adet TTD durumu ve son katta kullanılan 4 bitlik TTD için 2^4 TTD durumu için toplam faza etki eden $2^6 \times 2^2 \times 2^4 = 4096$ durum mevcuttur. Şekil 7'de 4096 farklı durum için her bir kanaldaki genlik değişimi maksimum 2 dB seviyesinde olduğu görülmektedir. Ayrıca faza etki eden tüm durumlar incelendiğinde minimum kazanç değeri 6,6 dB seviyesindedir.

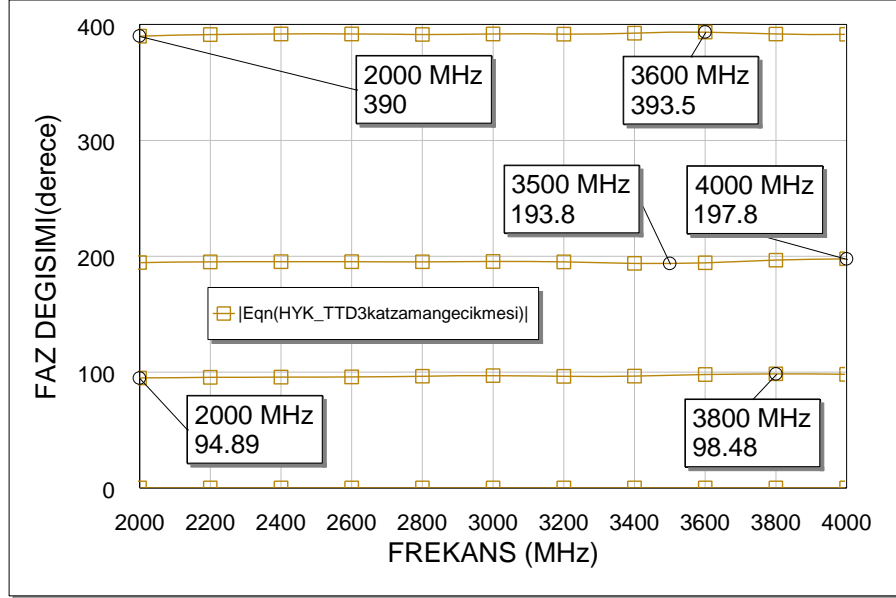


Şekil 8. Nihai huzme yönlendirme yapısı ilk kat zaman gecikmesi

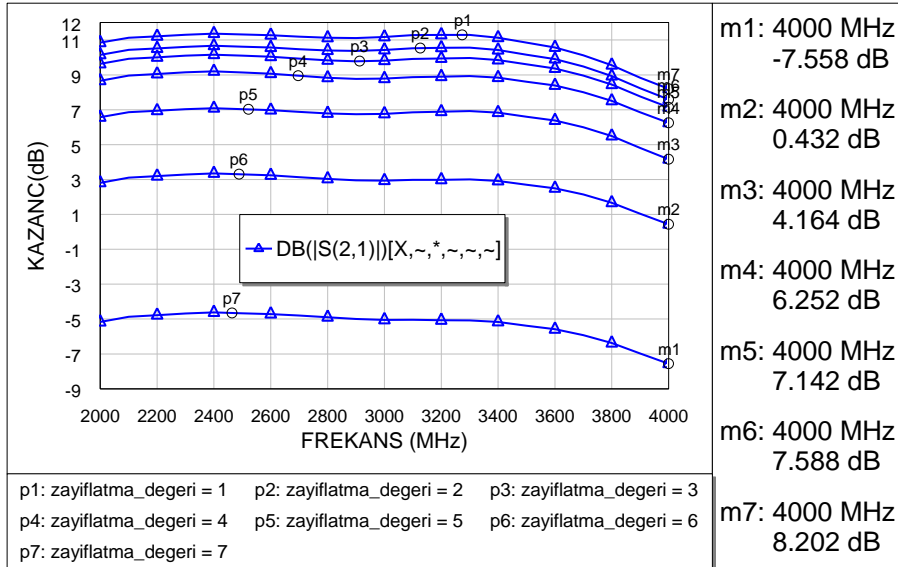


Şekil 9. Nihai huzme yönlendirme yapısı ikinci kat zaman gecikmesi

Huzme yönlendirme mimarisinde ilk kat TTD için 300 ps, 200 ps, 100 ps ve zaman gecikmesi verilmeyen durum olmak üzere 4 adet farklı durum bulunmaktadır. İlk kat TTD yapısı her 2 kanal için ortak bir adet kullanılmıştır. Şekil 8'e göre istenen tüm zaman gecikmesi durumları maksimum 12 ps zaman gecikmesi hatası ile sağlanabilmektedir.



Şekil 10. Nihai huzme yönlendirme yapısı üçüncü kat zaman gecikmesi



Şekil 11. Nihai huzme yönlendirme yapısı zayıflatıcı durumlarına göre kazanç

Son kat zaman gecikmesi birbirinin aynısı 2 bloktan oluştuğu için benzetim sonuçları

oluşturulurken, bir blok zaman gecikmesi verilmeyen durumda bırakılarak diğer blok için tüm bitler taranmıştır. Şekil 9 ve Şekil 10 incelendiğinde istenilen tüm zaman gecikmesi adımları her bir blok için maksimum 11 ps zaman gecikmesi hatası ile sağlanmıştır. İlk kat TTD bloğundan 300 ps ve her biri 400 ps maksimum gecikme sağlayan 2 bloktan oluşan son kat TTD bloğu ile huzme yönlendirme kartı, maksimum 1100 ps zaman gecikmesini 100 ps adımlarla sağlayabilmektedir.

Şekil 11'de görüldüğü gibi her kanalda kullanılan sayısal zayıflatıcı sayesinde ana bitler kullanılarak her bir kanalın kazanç değeri birbirinden bağımsız olarak 8,2 dB ile 0,4 dB arasında ayarlanabilmektedir. Zayıflatıcının ana bitlerinin değişik durumlarının kullanılmasıyla maksimum 16 dB ye varan zayıflatma değeri 0,5 dB adımlarla elde edilebilmektedir (Şekil 11).

Sonuç

Bu çalışmada; analog huzme yönlendirme yapısı alt bloklar halinde AWR (Applied Wave Research – Uygulamalı Dalga Araştırma) benzetim programı ile tasarlanarak nihai tasarım elde edilmiştir. Tasarlanan huzme yönlendirme yapısının performansını belirlemek üzere; kazanç, giriş-çıkış geri dönüş kaybı, kanallar arası faz farkı, faz kaydırma, zayıflatma ve TTD ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların, S-bandında (2-4 GHz) çalışan ve içerisinde TTD yapıları içeren 8 kanallı aktif analog huzme yönlendirme yapısı tasarımının performansının istenen seviyede olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] Balanis, C. A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. New York: Wiley; 1997.
- [2] Elliot, R. S. *Antenna Theory and Design*. New Jersey: Prentice-Hall; 1981.
- [3] Lo, Y. T., Lee, S. W. *Antenna Handbook, Theory, Applications, and Design*. New York: Van Nostrand Reinhold; 1993.
- [4] M. I. Skolnik. *Introduction to Radar Systems*. New York. NY: McGraw-Hill Mailloux; 2001.
- [5] Babakhani B., Sharma S. K. and Labadie N.R, A Frequency Agile Microstrip Patch Phased Array Antenna With Polarization Reconfiguration, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2016: 64, 10, 4316-4327.
- [6] Labadie N. R., Sharma S. K. and Rebeiz G.M. Novel Approach to Beam Steering Using Arrays Composed of Multiple Unique Radiating Modes, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2015: 63, 7, 2932-2945.
- [7] Garakoui S. K., Klumperink E. A. M., Nauta B. and. Van Vliet F.E. Compact Cascadable g m -C All-Pass True Time Delay Cell With Reduced Delay Variation Over Frequency, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2015: 50, 3, 693-703.
- [8] Helmy A. A., and Entesari K., Reduced-Size Ultra-Wideband True-Time-Delay Beam-Forming Receivers. *IEEE ISCAS*, Rio de Janeiro; 2011.