

Ka-BAND UYDU AKTARICILARDAKİ BANT İÇİ ve DIŞI KARIŞTIRICI SINYALLERİN İNCELENMESİ

Burak TOS¹, Mustafa Mehmet NEFES² ve Fatih AYHAN³
Türksat A.Ş, Ankara

ÖZET

Günümüz dünyasında, bant genişliği ve veri iletim kapasitesi ihtiyacı ile birlikte artan talebe cevap verebilmek ve kapasite artışına olanak sağlamak adına yeni bantlar kullanılmaya başlanmıştır. Artan bir ivmeyle yüksek frekans bandındaki çözümlerin operatör firmalar tarafından tercih edilmeye başlandığı görülmüştür. Uydu haberleşmesinde Ku frekans bandı günümüzde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle yeni servislere olanak sağlayabilmek için yeni frekans bantlarının kullanılmaya başlandığı görülmüştür. Yüksek frekans bantlarının sağladığı yüksek bant genişliği ve düşük kullanım oranı sayesinde yüksek veri iletiminde ihtiyaç duyulan yeni geniş bant servislere hizmet sağlanabilecektir. Daha önce belirttiğimiz nedenlerle yeni sistem tasarımlarında yüksek frekans bantlarının kullanımı hedeflenebilir. Yazımızda Ka bant transparan aktarıcı özellikleri, performansa etki eden faktörler ve bunların değerlendirilmesinden bahsedilmiştir. Bant içi karıştırıcı seviyeleri, bant dışı karıştırıcı seviyeleri, osilatörden kaynaklanan harmonik sinyaller ve sistemin toplam kazanç değeri gibi parametreler gözden geçirilmiştir. Ayrıca frekans değişiminde kullanılan karıştırıcı nedeniyle ortaya çıkan farklı frekanslardaki karıştırıcı ve görüntü sinyallerinin filtrelenmesi üzerinde durulmuştur. Gerekli filtreleme aralıklarıyla bant içi ve bant dışı karıştırıcı sinyallerin bastırılması istenilen seviyelerde olmuştur. Bant içi ve dışı sinyallerin etkisini en aza indirmek için uygulanan filtrelerin performanslarını incelemek için karıştırıcı, yükseltici ve osilatör gibi elemanlardan sonra ortaya çıkan simülasyon grafikleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bant dışı karıştırıcı sinyallerin filtrelendiği görülmüş ve bu çalışmamızda sunulmuştur. Bant içinde oluşabilecek sinyallerin ise oluşum nedenleri ve alınabilecek önlemlerden kısaca bahsedilmiştir.

GİRİŞ

Uydu haberleşmesinde kullanılan bant genişlikleri bölgeden bölgeye ve ulusal/uluslararası düzenlemelere göre değişiklik göstermektedir. Hâli hazırda uydu haberleşmesinde en yoğun olarak kullanılan frekans bandı Ku banttır(12 -18 GHz). Ka bant telaffuz edildiğinde ise 18 GHz – 40 GHz aralığını kullanmaktadır. Ancak uluslararası düzenlemeler ve frekans kullanım tahsisleri bakımından verilmiş olan aralıkların daha altı(Ku: 10,7-18,1 GHz, Ka:17,7-31 GHz) veya daha üstü de Ku veya Ka bant içerisinde değerlendirilmektedir. Ka bandın sağladığı daha yüksek bant genişliği, aynı boyutlardaki antenlerin Ku banda göre daha fazla kazanç sağlaması, yeni bant genişliklerinde yayın yapılabilmesi, küçük huzmeli antenlerin kullanımındaki ihtiyaç artışı ve eskiye oranla daha kompakt son kullanıcı ürünlerinin yaygınlaşması gibi nedenlerle Ku bant yerine tercih edilmeye başlanmıştır.[Khamis ve Yussuf, 2012]

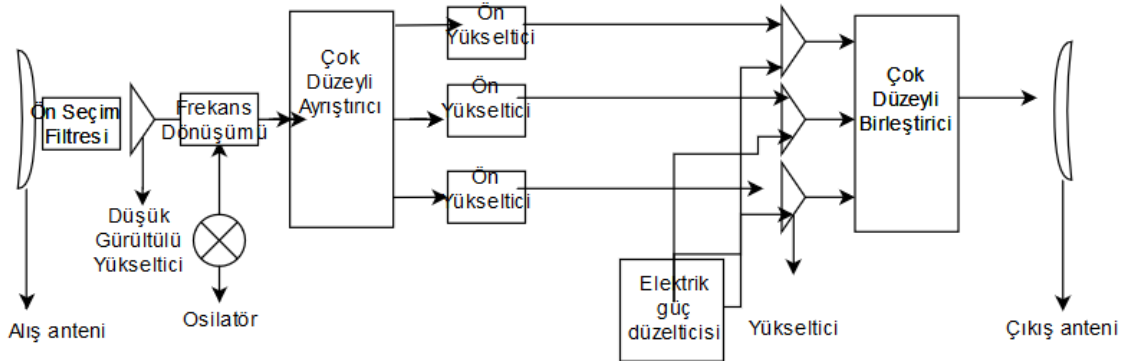
¹ Teknik Personel, E-posta: btos@turksat.com.tr

² Teknik Uzman, E-posta: mmnefes@turksat.com.tr

³ Teknik Uzman, E-posta: fayhan@turksat.com.tr

Japonya 1979 yılında Ka bant görev yüküne sahip deneysel amaçlı ilk Ka bant uydusunu uzaya göndermişse de görev başarılı olmamıştır. 10, 40 ve 120 MHz bant genişlikleri programlanarak ve 31.65 GHz merkez frekansta kullanılması hedeflenmiştir. Japonya'nın balıkçılık filolarıyla, havacılık iletişimde, navigasyonda ve trafik kontrolünde kullanılması amaçlanmıştır. Fakat bu projede tam anlamıyla iletişim uydularında kullanıma uygunluk test edilememiştir. Ardından ETS-VI uydusu geliştirilmiş ve 1994 yılında fırlatılmıştır[Martin, 2000]. Ayrıca İridyum takım uydu yer istasyonu ve uydular arası iletişimde 1997 yılından başlayarak Ka bandı aktif olarak kullanmaya başlamıştır. Uydu yer bağı(UYB) için 19.5 GHz, yer uydu bağı(YUB) için ise 29.2 GHz bandı kullanılmıştır. Günümüzde ise yüksek verimli uydularda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yeni frekans bantlarının kullanılması bu bantlarda elde edilen sinyal ve sistem performansının da değerlendirilmesi gereğini ortaya çıkarmıştır. Frekans aralığı sistemin performansına etki eden etmenlerin başında gelmektedir. Fakat aktarıcıda sinyal kalitesine doğrudan etki eden ve performans kaybına neden olan ve sistemin kendisinden dolayı oluşan etmenlerin de belirli seviyelerde bulunması veya filtrelenmesi gereklidir. Modülasyon, maksimum sembol oranı, verici tipi ve frekans koordinasyon parametreleri farklı bant genişlikleri için değişebilmektedir. Aktarıcı üzerinde farklı modülasyonların, sembol oranlarının kullanılabilmesi için transparan aktarıcı yerine dijital aktarıcı kullanılması gerekir.[Stecher ve Wolf, 2000] Transparan aktarıcılarda farklı kanal bant genişlikleri seçilebilmektedir. Bunu belirleyen parametrelerden en önemlisi ise kanalın kullanım amacıdır. Bunun yanı sıra kanaldan geçecek taşıyıcı sinyal sayısı da kanal bant genişliklerinin belirlenmesinde ve planlanmasında başlıca faktörlerden biridir. Aktarıcı performansının belirlenmesinde kanal bant genişliğinin 2.5 katına kadar olan frekans bölgesi bant içi bölge olarak alındığı Stecher ve Wolf'ün yayınında görülmektedir. Bant içi karıştırıcı(mixing product) sinyal araması kullanımda olan bandın aktarıcı frekans genişliğinin 2.5 katına kadar olan kısmında yapılmalıdır. Bant dışı istenmeyen karıştırıcı sinyal araması ise bant genişliğinin 3 katına kadar olan kısımda gerçekleştirilir. Bant dışı sinyaller ise genellikle giriş filtrelemesi, giriş çoklayıcısı(input multiplexer, IMUX) gibi donanımlarda filtrelenir. Kullanılan bant genişliğine göre ayırım katsayıları değişkenlik gösterebilmektedir. Yazımızda bant içi ve bant dışı istenmeyen karıştırıcı sinyallerin oluşum sebepleri, seviyeleri ve bu yapay sinyallerin filtrelenmesi frekans bölgesi grafikleri ve genlik grafikleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir.



Şekil 1:Transparan Aktarıcı[Braun, 2012]

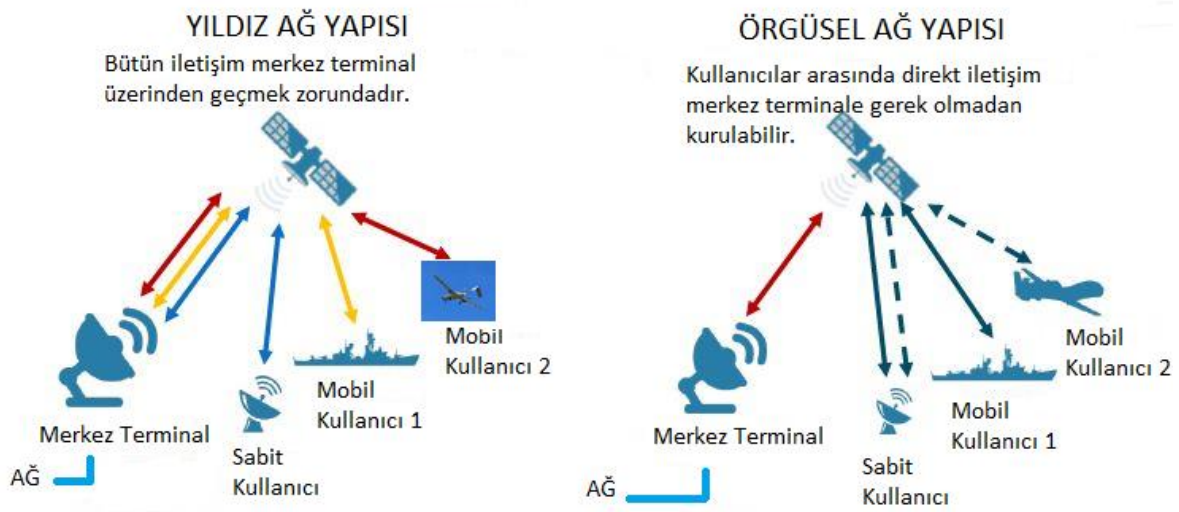
Transparan aktarıcılarda gelen sinyal güçlendirilir, gerekli kanal filtrelemeleri uygulanır ve kullanılmayan bant genişliğinden kaynaklanan gürültü sinyali filtrelenerek iletim antenine gönderilir. Anten ise yayın bölgelerine göre tasarlanmıştır. Dijital aktarıcı tasarımında ise gelen sinyal çözülür, gerekirse sinyal işleme yöntemleri kullanılır veya farklı modülasyon teknikleri uygulanır. Dijital aktarıcıların transparan aktarıcılara göre daha karmaşık işlemleri yapmasını sağlayan alıcı, verici, dijital sinyal işleme elemanları gibi elemanlardır. RF sinyalin uyduya ulaşana kadar maruz kaldığı olumsuz koşullara daha etkili çözüm dijital aktarıcılarla sağlanabilir. Uyarlanabilen kod ölçekleriyle mümkün olan daha etkin çözümler ise sinyalin çözüm süresini arttırır. Çünkü dijital örnekleme ve dijital dönüşüm yöntemleri sistem karmaşıklığını arttırmaktadır. Transparan aktarıcılarda ise dijital sinyal işleme teknikleri uydunun telemetri ve tele-komut sistemlerinde kullanılmamaktadır. Şekil 1'de görülen alış anteni ve ön seçim filtresi tek bir yapı olarak düşünülmüştür ve bu nedenle antenden sonra alçak gürültülü yükseltici yerleştirilmiştir. Antene ulaşan 120-130 pW seviyesindeki sinyal gürültü figürü gözetilerek yükseltilir. Faydalı yük boyunca sinyalin güç seviyesi arttırılırken

kanal gürültüsünün bozucu etkisini, karıştırıcı sinyallerin seviyelerini ve iletimden kaynaklanan kaybı en düşük seviyede tutmak amaçlanmaktadır. Yükseltim işleminin ardından sinyal osilatör frekansına bağlı olarak frekans dönüşümüne tabi olur. Kanallara ayrılan sinyal daha sonra yüksek kazançlı yükselticiden geçer ve birleştirilerek antene iletilir.

YÖNTEM

Sistemin İşleyiş Kistaslarının Belirlenmesi

Aktarıcının etkin alışı genişliği (yukarı hat bant genişliği) 28.5-30.4 GHz bandı olarak seçilmiştir. Aktarıcının çıkış frekansı ise 18.3-20.2 GHz bant genişliği olarak seçilmiştir. Aktarıcının çıkışı iki farklı bant genişliğinde 18.3-19.7 GHz ve 19.7-20.2 GHz olarak seçilmiştir. Aktarıcının alışı frekansı ile çıkış frekansı arasındaki değişimi gerçekleştirebilmek için osilatör ile sinyal karıştırıcı kullanılmıştır. Alış ve iletim antenini temsil edebilmek için 50 Ω 'luk direnç kullanılmıştır. Bant içi istenmeyen karıştırıcı seviyesinin -65 dBc seviyesinden, bant dışı istenmeyen karıştırıcı seviyesinin ise -35 dBc seviyesinden düşük olması hedeflenmektedir. 65 dBc seviyesi filtreleme seviyesi olarak düşünülebilir. Bu durum taşıyıcı sinyalin zirve noktasına göre yan lob sinyalin zirve seviyesinin 65 dB'lik oranda daha düşük olması anlamına gelmektedir.



Şekil 2:Uydu-Son Kullanıcı Ağ Yapıları

Örgüsel veya yıldız ağ yapısı kullanılarak istenilen servis sağlanabilmektedir. YUB için 28.5-30.4 GHz aralığına gelen sinyalin frekans dönüşümüyle UYB için 18.3-20.2 GHz bandına indirgenmesi hedeflenmektedir.

Harmonik Analiz: Aktarıcıyı oluşturan yükseltici, bant geçirgen filtreleri ve diğer elemanları analiz edebilmek için "harmonik analiz metodu(HB)" kullanılmıştır. Benzetim mertebesi, giriş ve çıkış güçlerinin benzetim mertebesine göre değişimi, giriş ve çıkış gücü grafiğinin doğrusal ve doğrusal olmayan denklemlerinin kesişim noktasının etkileri(1 dB sıkıştırma noktası) gözlemlenebilecektir. Bu sayede mertebenin sistemin yakınsamasına ve kararlı hal çözümüne ulaşması hedeflenmektedir. Sistemin mertebesi ile istenmeyen yayınların arasındaki ilişki de görülebilecektir.

Giriş Yükselticisi: Alış anteni ve ön seçmeli filtreden sonra gelmesi gereken sistem elemanı alçak gürültülü yükselticidir. Alış anteni ve ön seçmeli filtre sistem analizi sırasında P_{nTone} frekans kaynağı olarak tanımlanmıştır. Bu kullanımla giriş anteni ve ön seçim filtrelemesi ihmal edilmiş olsa da hedeflenen aktarıcı elemanlarının parametrelerini incelenmesi için yeterlidir. Alçak gürültülü yükselteç kazancı 15.5 dB olarak seçilmiştir. Yükselticinin doyum noktası ise 9 dBm olarak belirlenmiştir. Yükseltici giriş kapısı geri dönüş kaybı -25 dB(S_{11}), çıkış kapısındaki geri dönüş kaybı ise -25 dB olarak belirlenmiştir(S_{22}).

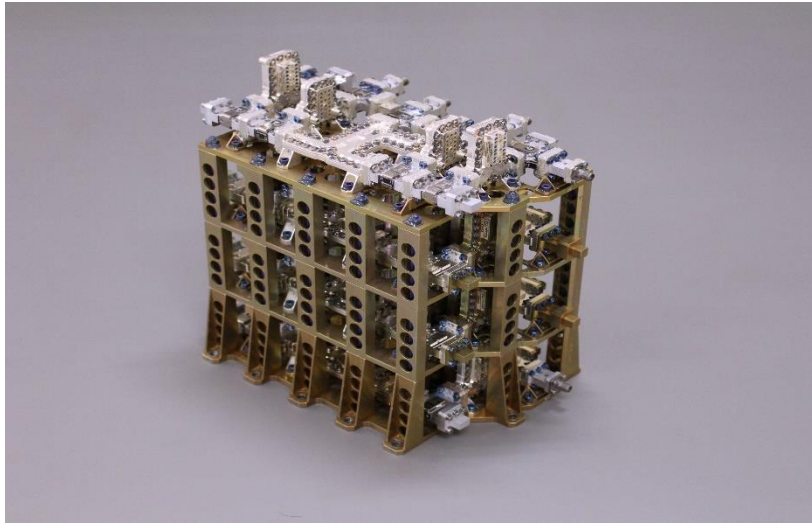
Çıkış Yükselticisi: Çıkış yükselticisi Şekil 1'de görülen HPA kısmıdır. Bu kısımda sinyal çıkış filtrelemesi(çoklayıcı) kısmına iletilmeden önce son kez yükseltilir. Sinyalin faydalı yük üzerinde

maruz kalacağı yol kaybı gözetilmeli ve yükselticinin hassasiyeti ve kazancı buna göre seçilmelidir. Kazanç 65 dB olarak seçilmiştir. İki farklı alt kanal bulunduğu için bu yükseltici iki tanedir. Normal bir çıkış çoklayıcısı(output multiplexer, OMUX) için ise kanal sayısı ikiden çok daha fazladır.

İzolatör: Yüksek güçlü yükselteçten dönebilecek yansıma sinyallerini engellemek için kullanılır.

Frekans Dönüşümü: Frekans dönüşümünü sağlayacak olan karıştırıcı için 10.2 GHz de çalışan osilatör seçilmiştir. Osilatör sinyalinin güç seviyesi 10 dBm olarak belirlenmiştir. Karıştırıcının sinyal girişi, osilatör sinyal girişi ve çıkış kapısındaki geri dönüş kaybı seviyesi 20 dB olarak belirlenmiştir. Karıştırıcı kaybı 11dB olarak belirlenmiştir. Karıştırıcı RF sinyal giriş kapısı geri dönüş kaybı $-20 \text{ dB}(S_{11})$, osilatör sinyal giriş kapısı geri dönüş kaybı $-20 \text{ dB}(S_{22})$ ve son olarak frekansı düşürülmüş sinyalin çıkış kapısı geri dönüş kaybı da $-20 \text{ dB}(S_{33})$ olarak belirlenmiştir. Karıştırıcının istenmeyen sinyalleri bastıracak tipte seçilmesi sayesinde frekans dönüşümü işleminde ortaya çıkan istenmeyen(spurious) ve görüntü sinyallerinin RF çıkış kapısına geçmemesi sağlanmış olur. Karıştırıcının RF sinyal girişinde ve osilatör girişinde 15 dB seviyesinde güç sinyali bastırılır.

Alış Filtrelemesi: Görev tanımı dışında kalan frekanslardaki sinyalin bastırılmasını ve oluşacak olan ara modülasyon ürünlerinin güç seviyelerinin düşük tutulmasını sağlar. Simülasyonda filtre düşük gürültülü yükselticiden sonra yerleştirilmiştir. Bu filtre geniş bant filtreleme yaptığı için, düşük gürültülü yükselticinin neden olduğu bozucu harmonikler ve dışardan etki eden karıştırıcılar frekans değişimi öncesinde filtrelenmiş olur. Bu filtrelemenin bant dışı harmonikleri filtreleyecek şekilde tasarlanmış olması ve faydalı yük için gerekli olan bastırmayı yapması gerekmektedir. Bant içi sinyaller için aynı durum geçerli değildir. Bant içi karıştırıcılara uygulanacak geniş bant filtrelemesi faydalı sinyalin C/N değerini düşürmektedir ve bu nedenle geniş bant olarak uygulanamaz. Giriş çoklayıcısı bu görev yükünün en önemli örneğidir.

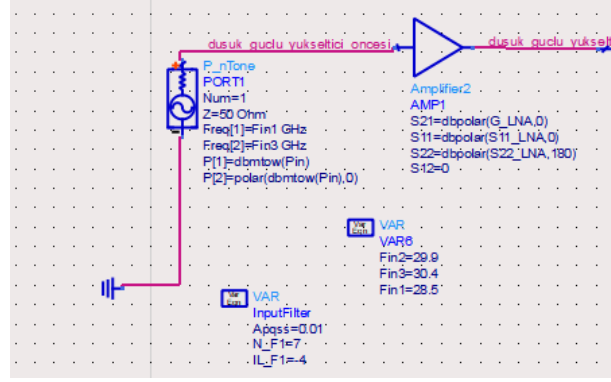


Şekil 3: Giriş Çoklayıcısı Örneği(IMUX)

Çıkış Filtrelemesi: İki farklı alt banttaki, bant dışında kalan sinyal kısmını bastırmak için kullanılır. Faydalı yük üzerinde çıkış çoklayıcısı olarak adlandırılır.

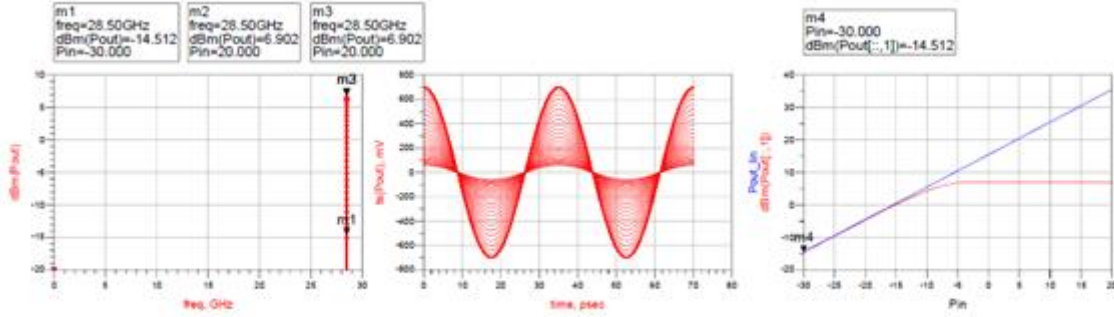
UYGULAMALAR ve DEĞERLENDİRME

Harmonik analizin grafiklerini gözlemlemek için öncelikle alçak gürültülü yükseltici ile P_ntone analizi yapılmıştır. Harmonik analiz yöntemiyle frekans bölgesi benzetimi yapılarak gerçeğe en yakın sonuçları elde edilmiştir. Şekil 4'de gösterilen düşük gürültülü yükseltici analizde giriş yükselticisi olarak kullanılmıştır.



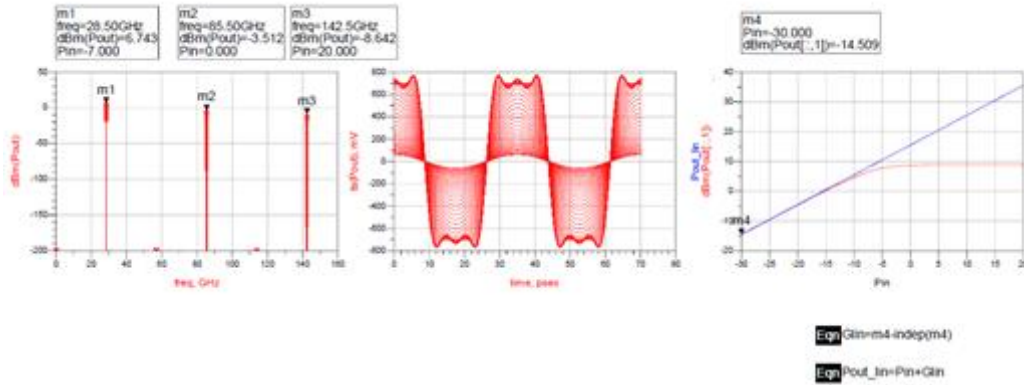
Şekil 4: Düşük Gürültülü Yükseltici Benzetimi

Şekil 4'te birinci seviye harmonik analiz sonucuna göre sadece 28.5 GHz frekansında bileşenler elde edilmiştir. Zaman sinyali tek sinüs eğrisi olarak ifade edilebildiği anlaşılmıştır fakat 28.5 GHz frekansında -6.902 dBm seviyesine yükseltilebilir yapılabilmektedir. Yükselticinin doyuma ulaştığı 9 dBm seviyesinde fakat doyum noktasını aşmayacak şekilde ayarlanmış ve maksimum kazanç elde edilmiştir.



Şekil 5: 1. Seviye Harmonik Benzetim

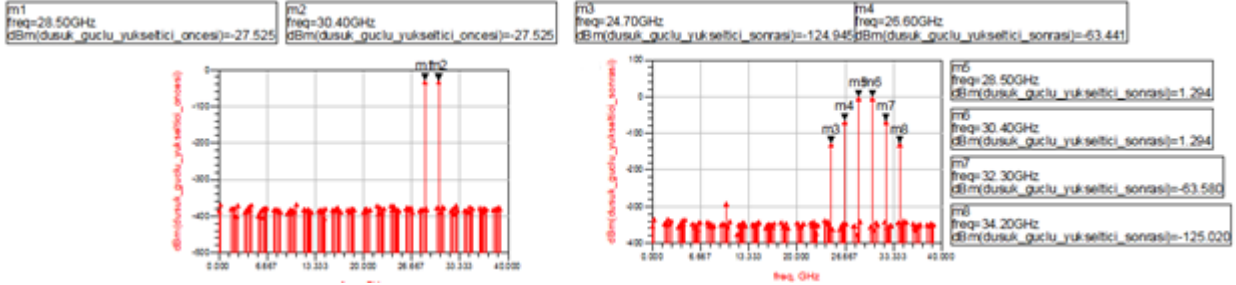
Şekil 5'te beşinci seviye harmonik analiz sonucuna göre istenilen çıkış sinyalinin gücü 6.743 dBm seviyesinde yakınsamıştır ve istenilen harmonik seviyesine ulaşılmıştır. Birinci seviyede sadece 28.5 GHz frekansında gözlemlenen çıkış sinyali, benzetim seviyesi 5'e çıkarıldığında 85.5 GHz (3.harmonik) ve 142.5 GHz (5.harmonik) frekanslarında da bileşenler elde edildiği görülmüştür. Görülen 2 farklı frekanstaki sinyaller, karıştırıcı bant dışı sinyallerdir ve çalışmanın ilerleyen kısımlarında bant filtreleri kullanılarak filtrelenecek bileşenlerdir. Zaman sinyali ise yapay kare dalga formuna benzer bir yapıya geçmiştir ve birinci seviye analize göre daha keskin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6: 5. Seviye Harmonik Benzetim

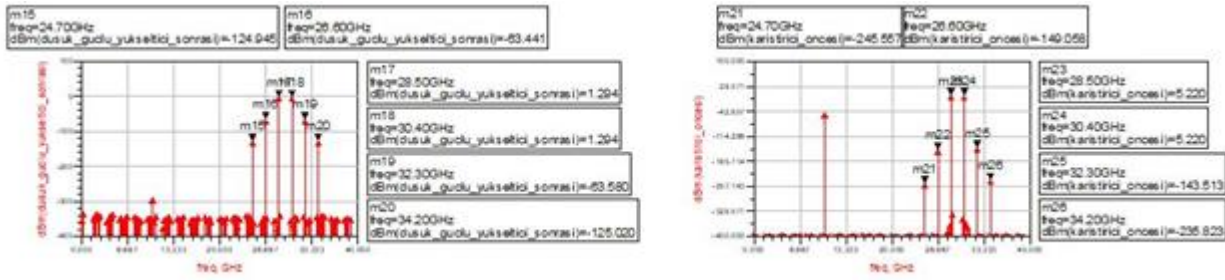
Harmonik simülasyon kriterleri belirlendikten sonra sistemin tamamı simülasyon programına aktarılmıştır. Aış sinyali düşük güçlü yükselticiden geçtikten sonra 28.5 GHz ve 30.4 GHz seviyelerindeki taşıyıcı sinyalin -27.525 dBm seviyesinden 1.294 dBm seviyesine çıktığı

gözlemlenmiştir. Fakat dışında bant içi karıştırıcı sinyalin -27.525 dBm seviyesinden 1.294 taşıyıcı sinyaller haricinde bant içi karıştırıcı sinyallerin seviyelerindeki artış gözlemlenmiştir. Şekil 7'deki ikinci grafikte görülen bant dışı sinyaller aktarıcısındaki taşıyıcı sinyalde bozulmalara neden olabilir. Frekans değişimi için sabit osilatör frekansı kullanıldığı için çalışmamızda gözlemlenemeyen bu durum, farklı frekanslarda çalışan osilatörler kullanılarak frekans değişimi yapıldığında bant içerisine gelecek şekilde dönüşüme uğrayabilmektedir. Bu nedenle tanımlı bant genişliği ve osilatör frekanslarının birbirine uyumlu ve yansımayla neden olmayacak şekilde izolasyonlarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.



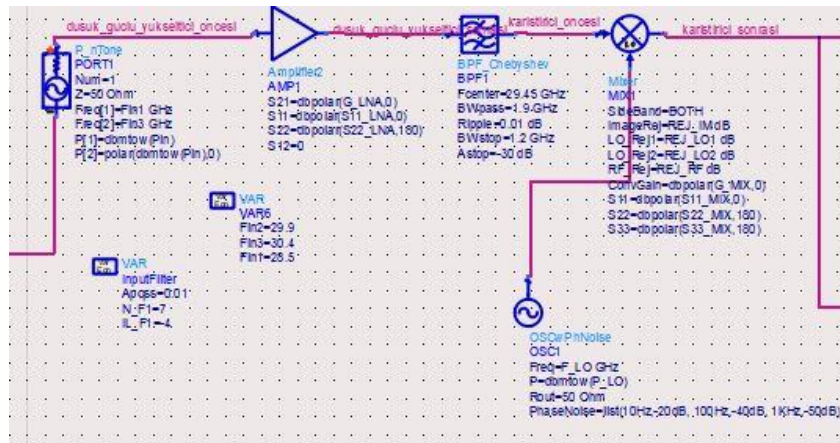
Şekil 7: 5. Taşıyıcı Sinyallerin Düşük Güçlü Yükseltici Sonrası Seviyeleri

Düşük güçlü yükselticinin ardından bant geçiren filtre kullanılarak bant dışında kalan sinyallerin filtrelenmesi sağlanmıştır. Bant dışı sinyaller düşük seviyelerde olsalar bile bu sinyaller “chebyshev” filtre kullanılarak bastırılmıştır. Şekil 8 de filtrelemenin etkisi spektrum grafiklerinde gözlemlenebilir. 28.5 GHz ile 30.4 GHz kullanışlı bant genişliği olduğu için güçlendirilmiş, bu bandın dışında kalan sinyaller ise filtrelenmiştir ve seviye düşüşleri şekil 8’de gösterilmiştir.



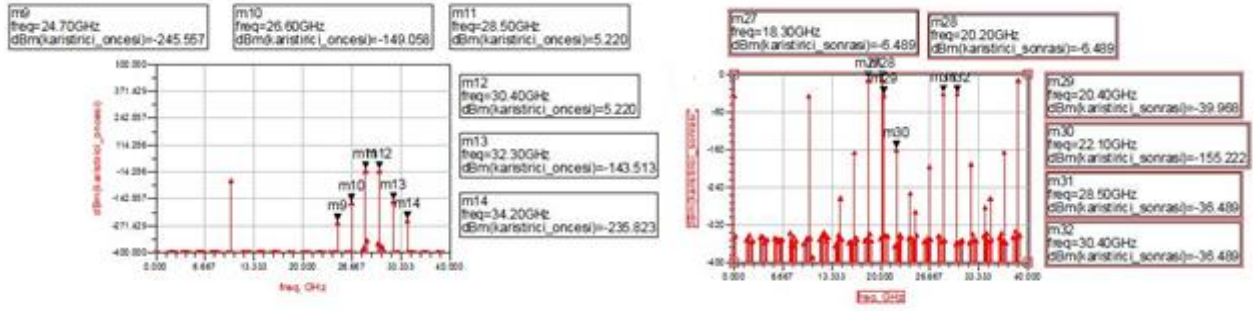
Şekil 8: Bant Geçiren Filtrelemenin Etkisi

Giriş filtrelemesi bölümünden sonra sinyal frekans dönüşümünün yapılabilmesi amacıyla karıştırıcıya girer. Frekans dönüşümü için gerekli olan osilatör tipi seçimi, çalışma frekansı, gürültü seviyeleri gibi özellikler dikkate alınarak frekans planlamasına uygun yapılır. Uydu üzerindeki faydalı yükte farklı frekanslardaki osilatörler kullanılabilir.



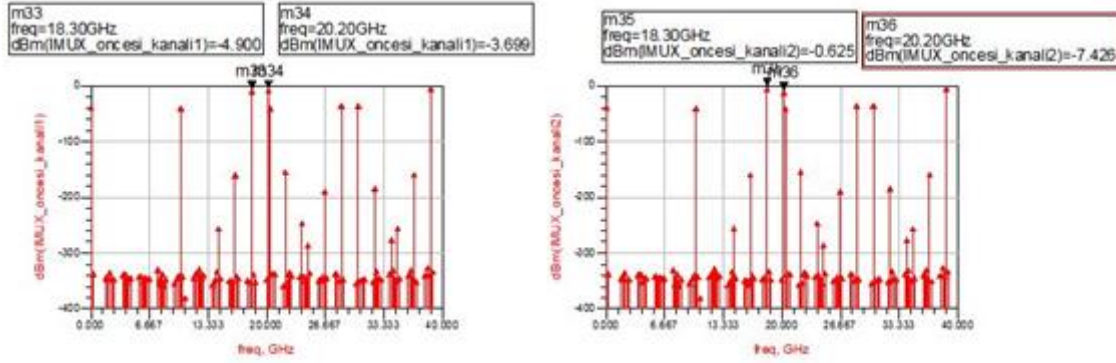
Şekil 9: 1. Lokal Osilatör ve Karıştırıcı Bölümü

28.5 GHz'deki taşıyıcı sinyal 18.3 GHz'e indirgenmiştir. 30.4 GHz'de bulunan taşıyıcı ise 20.2 GHz'e indirgenmiştir. Şekil 10'da taşıyıcı sinyallerin yerleşimi ve güç seviyeleri gösterilmiştir. Radyo frekans sinyalin güç kaybı 11.709 dBm seviyesinde gerçekleşmiştir.



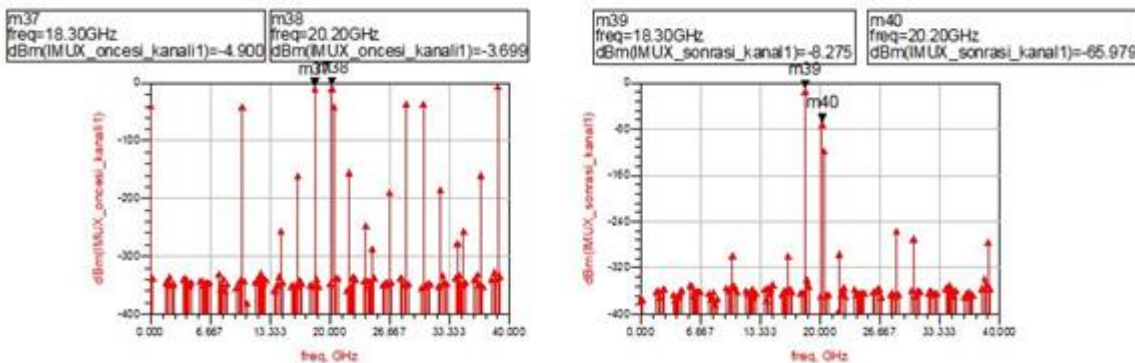
Şekil 10: Frekans Dönüşümü Sonrası Spektrum Analizi

Giriş çoklayıcısından önce kullanılan izolatör donanımı oluşabilecek yansıma sinyallerini engellemek için kullanılmıştır. Böylece geri saçılma engellenmiştir. Tek kanal üzerinden gelen sinyalin iki beslemeye iki kanala ayrılması işleminin ardından sinyaller çoklayıcı(IMUX) yapısından geçecektir. Alt bantlar 18.3-19.7 GHz ve 19.7-20.2 GHz aralıkları olarak belirlenmiştir.



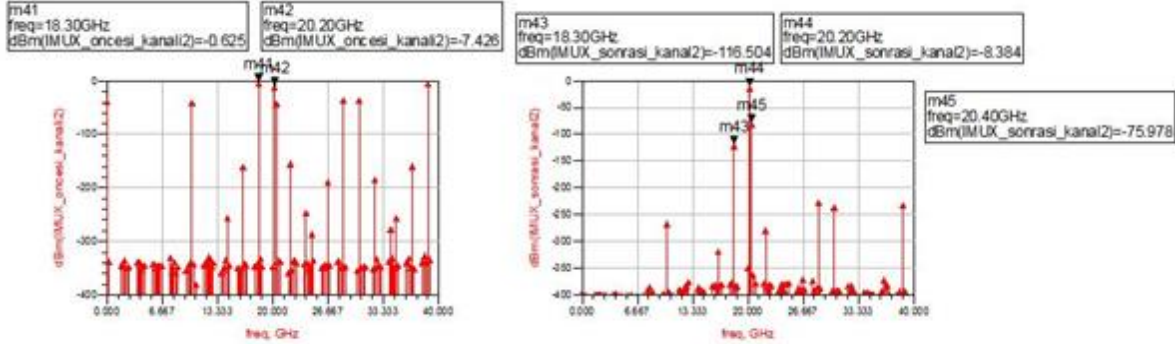
Şekil 11: Kanalların IMUX Öncesi Son Durumları

Şekil 11'de birinci grafikte birinci kanaldaki 18.3 GHz'de bulunan taşıyıcı sinyalin gücü -4.9 dBm olarak görülmektedir. Sinyal giriş çoklayıcısından geçtikten sonra -8.275 dBm seviyesine çıkmıştır. Buradaki giriş çoklayıcısı filtresi için 1.4 GHz geçirgenlik sınırı belirlenmiştir. 18.3-19.7 bandı efektif filtre bandı olarak adlandırılabilir ve bunun dışında kalan bantlar bastırılır. 20.2 GHz seviyesindeki ikinci taşıyıcı ise bu kanala ait olmadığı için filtrelemenin bir sonucu olarak bastırılmıştır. -3.699 dBm seviyesindeki 20.2 GHz'de bulunan sinyal -65.979 dBm seviyesine düşürülmüştür. Şekil 12'de sağdaki grafikte bant dışında kalan sinyallerden güçlü olanların da bastırıldığı gözlemlenmiştir. Taşıyıcı sinyallerde bozulmalara yol açabilen bant dışı karıştırıcı sinyaller bant geçirgen filtreler yardımıyla bastırılmıştır.



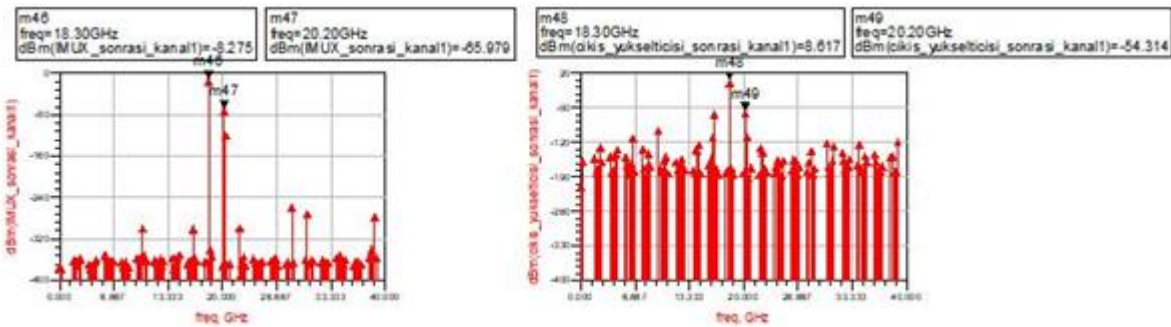
Şekil 12: 1. Kanal(18.3-19.7 GHz) Üzerinde Filtreleme Etkisi

Şekil 13’de birinci grafikte ikinci kanaldaki 18.3 GHz’de bulunan taşıyıcı sinyalin gücü -0.625 dBm olarak görülmektedir. Sinyal giriş çoklayıcısından geçtikten sonra -116.504 dBm seviyesine gelmiştir. 2. kanaldaki filtrenin bant genişliği 0.5 GHz olarak belirlenmiştir. 19.7-20.2 bandı filtrenin geçirgen olduğu bölgedir ve bunun dışında kalan bant bastırılır. 20.2 GHz seviyesindeki ikinci taşıyıcı ise filtre frekanslarına uygun olduğu için bastırılmamıştır. -0.625 dBm seviyesindeki 20.2 GHz’de bulunan sinyal -8.384 dBm seviyesine düşmüştür fakat sinyal tekrar yükseltilecektir.



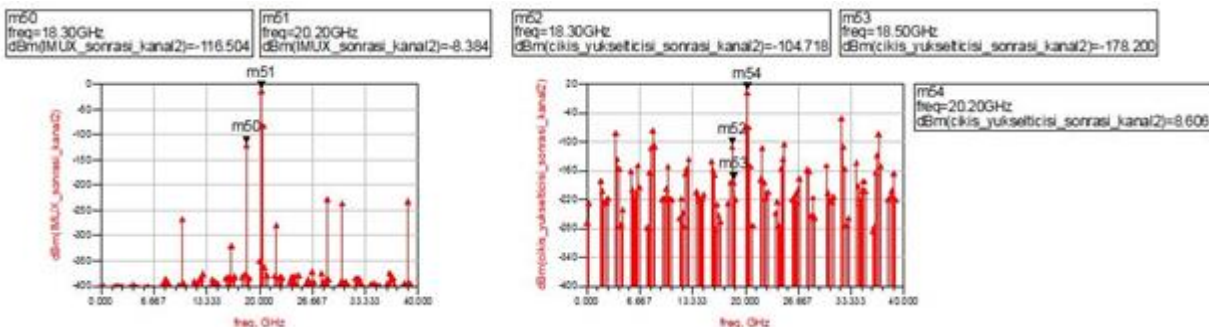
Şekil 13: 2. Kanal(19.7-20.2 GHz) Üzerinde Filtreleme Etkisi

Taşıyıcı sinyallerin yüksek güçlü yükselticiden sonraki durumları Şekil 14’de verilmiştir. 1. Kanal için 18.3 GHz’de bulunan taşıyıcının -8.275 dBm seviyesinden 8.617 dBm seviyesine yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu taşıyıcının güçlenmesi istenilen bir etki olsa da diğer frekanslarda bulunan ve karıştırıcı etki yapabilecek olan sinyallerin de güçlendiği görülmüştür. Bu nedenle çıkıştan önce kullanılması için yeni bant geçirgen filtrelerin sisteme eklenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Çıkış çoklayıcısı olarak adlandırılan çıkış filtreleri, yüksek güçlü yükseltici tarafından güçlendirilmiş olan bant dışı sinyalleri bastırmak için kullanılır.



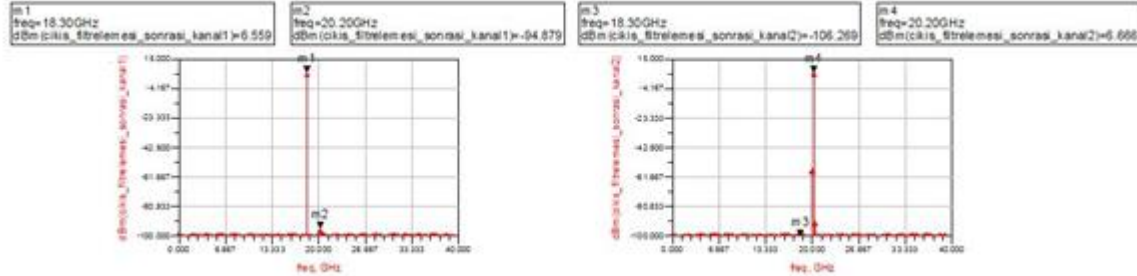
Şekil 14: 1. Kanal(18.3-19.7 GHz) Yükseltici Sonrası

İlk alt bant için geçerli olan yükseltme işlemi bu bant için de geçerlidir. Yükseltici öncesinde filtreleme sayesinde bastırılan sinyaller yükselticinin ardından bu kanalda da ortaya çıkmıştır. 20.2 GHz seviyesinde bulunan taşıyıcı -8.384 dBm seviyesinden 8.606 dBm seviyesine yükseltilmiştir. Taşıyıcı sinyalin bulunduğu frekans haricindeki sinyallerin bastırılması için çıkış filtrelemesi diğer adıyla çıkış çoklayıcısını temsil etmek için “chebychev” filtre kullanılacaktır.



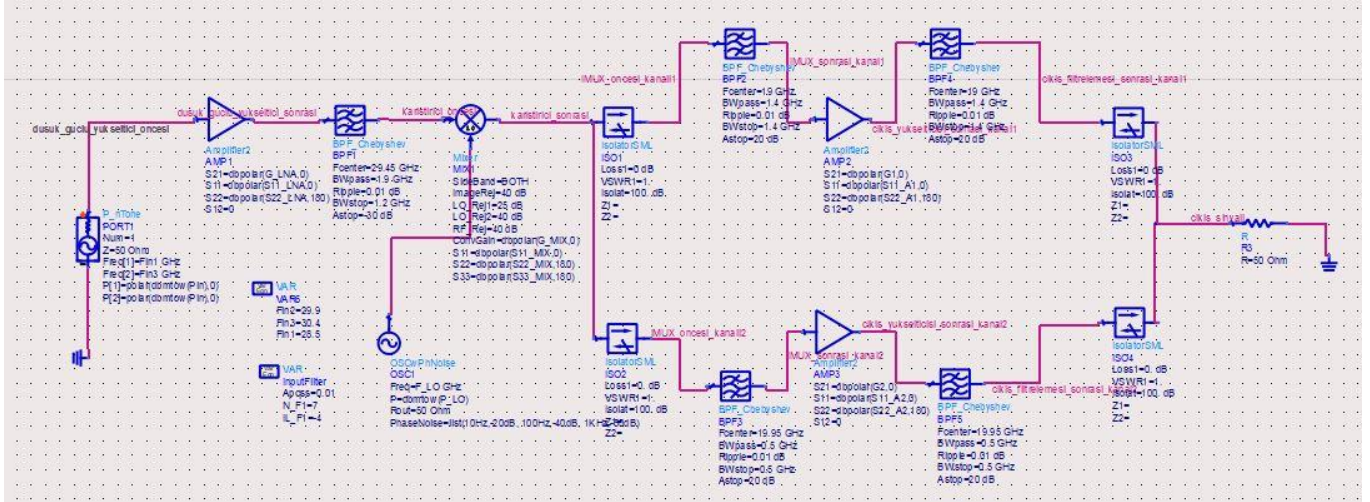
Şekil 15: 2. Kanal(19.7-20.2 GHz) Yükseltici Sonrası

Şekil 14 ve 15’de görülen kullanışlı bandın içerisinde kalan karıştırıcı sinyaller çıkış güçlendiricisinin etkisiyle istenmeyen seviyelere çıkmıştır ve bu durum faydalı yüklerde her zaman görülen bir durumdur. Çalışmamızda iki kanallı bir yapı tasvir edilmiş olsa da uydu üzerinde kullanılan faydalı yüklerde 36-72 gibi çok daha yüksek sayıda kanallar bulunmaktadır. Çıkış çoklayıcısı filtrelerden ve sinyal toplamayı sağlayan alt birimlerden oluşmaktadır. Şekil 16’da 1. kanaldaki 18.3 GHz’lik taşıyıcının filtreleme etkisi nedeniyle 8.617 dBm’den 6.659 dBm’e düştüğü görülmüştür. 2. kanalda ise 20.2 GHz’deki sinyal 8.606 dBm seviyesinden 6.666 dBm seviyesine düşmüştür.



Şekil 16: 1. ve 2. Kanal (19.7-20.2 GHz) Çıkış Filtrelemesi Sonrası

16. şekilde -100 dBm seviyesinin altında kalan sinyaller gürültü eşiğinin altında kaldıkları için gösterilmemesi tercih edilmiştir. Kanal üzerinde bulunan gürültü sinyalini temsilde kullanılan ortalama gürültü değeri -100 dBm seviyesinden düşük sinyalleri temsil etmek için yeterlidir. Şekil 14 ve Şekil 15’te görülen -60 dBm seviyelerine kadar çıkmış olan karıştırıcı sinyallerin çıkış çoklayıcısı yardımıyla filtrelendiği Şekil 16’te görülmüştür. Şekil 17’de gösterilen aktarıcı benzetimi analiz edilmiş ve performans parametreleri incelenmiştir. Bant içi ve bant dışı karıştırıcı sinyaller gerekli seviyelere düşürülmüş ve taşıyıcı performansını etkileyebilecek karıştırıcı sinyaller chebyshev bant geçirgen filtreler kullanılarak bastırılmıştır.



Şekil 17: Aktarıcı Son Adım

SONUÇ

Ka bant aktarıcı yapısı farklı yönlerden irdelenmiş ve performans sonuçları yazımızda incelenmiştir. Bant içi ve dışı sinyallerin oluşum nedenleri ve performansa etkileri simülasyon grafiklerinden faydalanılarak sunulmuş ve yorumlaması yapılmıştır. -27.525 dBm seviyesinde alınan 30.4 GHz seviyesindeki sinyal 20.2 GHz’e indirgenmiş ve 6.666 dBm seviyesine çıkartılmıştır. -27.525 dBm seviyesinde alınan 28.5 GHz seviyesindeki sinyal 18.3 GHz’e indirgenmiş ve 6.659 dBm seviyesine çıkartılmıştır. İki taşıyıcı sinyalde istenildiği gibi muhafaza edilebilmiştir. Oluşabilecek bant içi ve bant dışı sinyaller de gerekli filtreler kullanılarak ayrıştırılmıştır ve çıkış sinyaline olan etkileri en aza indirgenebilmiştir.

Tablo 1: Taşıyıcı Sinyallerin Adım Adım Seviyeleri

	1. Kanal	2. Kanal
Frekans	28.5(Giriş)/18.3(Çıkış) GHz	30.4(Giriş)/20.2(Çıkış) GHz
Düşük Güçlü Yükselticiden (DGY) önce	-27.525 dBm	-27.525 dBm
DGY'den sonra	1.294 dBm	1.294 dBm
Karıştırıcıdan önce	5.220 dBm	5.220 dBm
Karıştırıcıdan sonra	-6.489 dBm	-6.489 dBm
IMUX öncesi 1. Kanal	-4.900 dBm	-3.699 dBm
IMUX sonrası 1. Kanal	-8.275 dBm	-65.979 dBm
Çıkış yükselticisi sonrası 1. Kanal	8.617 dBm	-54.314 dBm
OMUX sonrası 1. Kanal	6.559 dBm	-94.879 dBm
IMUX öncesi 2. Kanal	-0.625 dBm	-7.426 dBm
IMUX sonrası 2. Kanal	-116.504 dBm	-8.384 dBm
Çıkış yükselticisi sonrası 2. Kanal	-104.718 dBm	8.606 dBm
OMUX sonrası 2. Kanal	-106.269 dBm	6.666 dBm
Çıkış sinyali	3.038 dBm	3.145 dBm

Taşıyıcı sinyallerin alışı aşamasından çıkış aşamasına kadar olan seviyeleri Tablo 1’de verilmiştir. İlk olarak DGY donanımının kullanılması sistemin performansı için kritik öneme sahiptir. Çok düşük seviyelerde gelen alışı sinyalinin giriş filtrelemesinde kaybolmamasını sağlar ve bu nedenle kritik öneme sahiptir. Giriş filtrelemesinin ise bant dışında kalan kısımları bastırarak gelen sinyalde bulunan bant dışı karıştırıcı sinyalleri bastırarak frekans dönüşümü öncesinde istenmeyen sinyallerden kaynaklanabilecek harmoniklerin oluşmasını engellemiş olur. Giriş çoklayıcısının uyguladığı filtrelemeye rağmen çıkış yükselticisinden geçen sinyalde birçok farklı spektrumda karıştırıcı sinyallerin ortaya çıktığı görülmüştür. Düşük güçlü yükselticiden sonra kullanılan filtrelemenin uygulanmadığı bir durumunda ise çıkış yükselticisinden sonra gördüğümüz bant dışı karıştırıcı sinyallerin seviyelerinin çok daha yüksek seviyelerde olacağı sonucuna varabiliriz. Giriş çoklayıcısı kullanılarak sinyal farklı bantlara ayrılmış ve kullanım dışı olan bant bastırılmıştır.

Kaynaklar

- Braun, T. M., 2012. *Satellite Communications Payload and System*, John Wiley & Sons Inc., Cilt.1, s.182
- Khamis, N. H., Yussuff A. I., 2012. *Rain Attenuation Modelling and Mitigation in The Tropics: Brief Review*, International Journal of Electrical and Computer Engineering, Cilt.2, s.748-757
- Martin, H. D., 2000. *Communication Satellites Fourth Edition*, American Institute of Aeronautics&Astronautics, Cilt.1, s.33
- Stecher, M., Wolf, J., 2000. *Detectors and Procedures for the Measurement of Out-of-band Emissions*, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Washington, DC, USA, 21-25 Ağustos.