

YER DURAĞAN HABERLEŞME UYDULARI İÇİN UYDU SEVİYESİ FAYDALI YÜK BAŞARIM TESTLERİ

Alper Kule¹, M. Mehmet Nefes² ve Dr. Selman Demirel³
Türksat A.Ş., Ankara

ÖZET

Haberleşme uydularının temel misyonu barındırdıkları faydalı yük olarak adlandırılan haberleşme modülü vasıtasıyla Dünya'dan uyduya doğru yönlendirilen yüksek frekans sinyallerinin alınıp kimi işlemlerden geçirilerek haberleşmeye imkân verecek şekilde Dünya'ya geri iletmektir. Haberleşme uydusunun uzaya gönderilmeden önce detaylı test ve kontrol süreçlerinden geçerek çevresel ve fonksiyonel doğrulama aşamalarını başarıyla tamamlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada yer durağan bir haberleşme uydusu için entegrasyon ve test aşamalarında uygulanan genel başarımlar doğrulama testleri ele alınmıştır. Bir haberleşme uydusu faydalı yükünün başarımını değerlendirmek için Montaj-Entegrasyon-Test (MET) süresince yeterli nitelik ve nicelikte testin başarıyla şekilde tamamlanması gerektiği tespit edilerek bu testler detaylandırılmıştır.

GİRİŞ

Bir uydu haberleşme sistemi yer ve uzay bileşeni olmak üzere iki ana öğeden oluşur. Yer istasyonları, kullanıcı terminalleri, mobil platformlar gibi çeşitli yer bileşenleri, uzay bileşeni olan haberleşme uydusuna sinyal iletimi ve gelen sinyalin alınması işlevlerini yerine getirir. Uydu haberleşme sisteminde uzay bileşenini haberleşme uydusu oluşturmakta, haberleşme görevini yerine getiren ve iletişim servisini sağlayan modül ise faydalı yük (payload) olarak adlandırılmaktadır.

Haberleşme uydularının uzaya gönderilmeden önce yer testleriyle uydunun servis ömrü sonundaki en kötü başarımlarının belirlenip faydalı yük tasarımının doğrulanması gerekmektedir. Uzayda bakım, onarım, tamirat vb. imkânı bulunmaması uydunun servis ömrü boyunca maruz kalacağı çevresel etkiler ve operasyonel tüm olası koşullarda yerde yapılacak testler ile doğrudan ya da dolaylı olarak faydalı yükün başarımlarının karakterizasyonunun ortaya çıkarılmasını gerekli kılar. Bu çalışmada, tipik bir yer durağan haberleşme uydusu faydalı yükü için yapılan genel başarımlar testleri incelenmiştir.

Faydalı Yük Kilit Gereksinimleri

Faydalı yük başarımlar test başlıkları ve içerikleri belirlenmesinde uydunun müşterisi / operatörü tarafından talep edilen kilit gereksinimler rol oynar. Uydunun müşterisi / operatörü tarafından tanımlanan gereksinimlerin doğrulanmasında yapılacak testlerin niteliği ve niceliği; faydalı yükün tasarımına bağlı olarak olası tüm konfigürasyonlarda en kötü değerleri kapsayacak şekilde

¹ Teknik personel, E-posta: akule@turksat.com.tr

² Teknik uzman, E-posta: mmnesfes@turksat.com.tr

³ Direktör, E-posta: sdemirel@turksat.com.tr

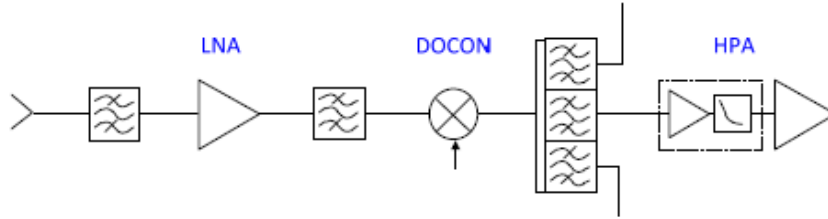
kurgulanmalıdır. Bu bölümde bir yer durağan haberleşme uydusu için genel faydalı yük gereksinimleri kısaca tarif edilmeye çalışılmıştır.

Kapsama alanı faydalı yük tarafından hizmet sağlanması planlanan coğrafi bölgeyi ifade eder. Bir veya daha fazla kapsama alanı tanımlamak mümkündür. Uydu üzerine yerleştirilecek antenlerin sayısı ve tasarımı bu parametreye göre belirlenir. Anten sıcaklığı ise kapsama alanına göre tanımlanması gereken bir diğer parametredir.

G/T (Figure of merit) yüksek bir SNR (sinyal gürültü oranı) ile faydalı yüke ulaşan sinyalin, faydalı yük alıcı sistemi tarafından hangi kalitede alındığının bir ölçüsüdür. Yukarı hatta sağlanacak C/N değerini tespit etmekte kullanılır. $G_{RX}(\theta, \varphi)$ alışı anteninin (θ, φ) yönündeki kazancı (dBi) ve T_{sys} sistem sıcaklığı (dBK) olmak üzere G/T değerini veren bağıntı (1'deki gibidir).

$$\frac{G}{T}(\theta, \varphi) = G_{RX}(\theta, \varphi) - 10 \log_{10} T_{sys} \text{ (dBK)} \quad (1)$$

Sistem sıcaklığı, Şekil 1'deki gibi indirgenmiş bir görev yükü zinciri düşünüldüğünde, sistemdeki temel iki gürültü kaynağı T_a ve T_e olmak üzere lineer toplamalarına denktir; gürültü kaynaklarının bileşkesi olarak ifade edilebilir [Braun, 2012]. Çok katmanlı yükselteçlerden oluşan sistem bloğu için Harald Friis tarafından tanımlanan bu bileşkede gürültü faktörünün sistemdeki her bir ekipmanın gürültü faktörüne bağlı olduğu gibi kazanç değerine de bağlı olduğu görülmektedir [Bensky, 2019]. Buna göre sistem sıcaklığını denklem (2'deki haliyle ifade etmek mümkündür [Johnson, 1984]



Şekil 1: İndirgenmiş faydalı yük zinciri

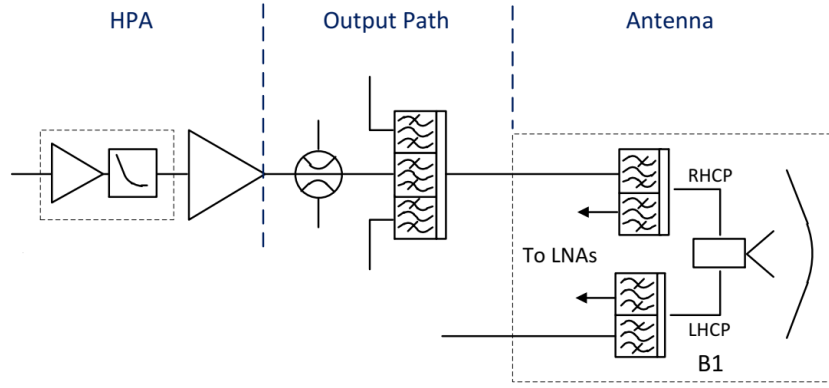
$$T_{sys} = T_a + T_1 + \frac{T_{lna}}{G_1} + \frac{T_2}{G_1 G_{lna}} + \frac{T_{docon}}{G_1 G_{lna} G_2} + \frac{T_3}{G_1 G_{lna} G_2 G_{docon}} + \frac{T_{hpa}}{G_1 G_{lna} G_2 G_{docon} G_3} K \quad (2)$$

Friis bağıntısındaki T_a : yeryüzündeki ışımların anten çıkışında oluşturduğu anten sıcaklığını; T_n, G_n : aktif ekipmanlar arasında konuşlu pasif elemanların etkin sıcaklık ve kazancını; T_{lna}, G_{lna} : LNA (düşük gürültülü yükselteç) etkin sıcaklık ve kazancını; T_{docon}, G_{docon} : Frekans aşağı çevirici etkin sıcaklık ve kazancını; T_{hpa} : HPA (yüksek güç yükselteci) etkin sıcaklığı temsil eder.

EIRP (Etkin izotropik yayılım gücü): Belli bir kapsama alanı üzerine aktarıcı başına yayılan bu güç birimi, kullanılacak HPA'lerin boyutuna karar verir. Aşağı hat C/N değerinin belirlenmesinde rol oynar. EIRP değeri verici anten kazancı G_{TX} ve $P_{o,xpdr}$ aktarıcı çıkış gücünün, genellikle doyum noktasındaki, bir fonksiyonu olarak (3' teki bağıntı ile ifade edilir.

$$EIRP(\theta, \phi) = G_{TX}(\theta, \varphi) + P_{o,xpdr} \text{ dBw} \quad (3)$$

Şekil 2'de $P_{o,xpdr}$ ile ifade edilen aktarıcı çıkış gücü, iletim hattındaki antenden hemen önceki değerdir. Buna göre yüksek güç yükseltecinden antene kadar olan hattaki kayıplar göz önüne alınmalıdır.



Şekil 2: Aktarıcı çıkış gücü hesabında HPA ile anten bloğu arasındaki kayıplar dikkate alınmalıdır

SFD (satüre eden giriş akı yoğunluğu): Uydu tarafından alınan güç akı yoğunluğu (PFD), ilgili HPA'lerin doygunluğa ulaşmasına sebep olur. Yansıtıcının kazanç ayarlama aralığı SFD değeri göz önüne alınarak tespit edilir. Tipik olarak SFD değerinin (-80, -100) dBW/m² aralığında olması beklenir. Giriş güç akı yoğunluğu (IPFD) dikkate alındığında, faydalı yük girişinde elde edilen güç (4'teki gibidir).

$$P_{in} = IPFD + G_{TX}(\theta, \phi) + 10 \log_{10} \frac{\lambda^2}{4\pi} \text{ dBW} \quad (4)$$

Aktarıcı, sabit kazanç modu (FGM) veya otomatik seviye kontrolü (ALC) olmak üzere iki farklı yöntem ile çıkış gücünü ayarlayabilmektedir. Sabit kazanç modunda çıkışta elde edilen güç yükseltece giren güç ile doğrusal olarak değişmekte iken; ALC için çıkışta elde edilmek istenen hedef bir güç seviyesi vardır ve giriş sinyali ne olursa olsun çıkışta hedef seviyeye çıkarılır. ALC menzili tipik olarak 20 dB' dir.

Frekans planı: Kapsama alanlarında yukarı ve aşağı hatlar için kullanılacak frekans bantlarının tanımlanmasıdır. Frekans bantlarının kanalize edilmesi frekans planı baz alınarak gerçekleştirilir.

Faydalı Yük Üzerindeki Tasarım Kısıtlamaları

Faydalı yükü barındıran haberleşme modülü (CM) tasarımına etkiyen kısıtlar platformdan kaynaklananlar ve çevresel etkenlerden kaynaklananlar olarak iki başlıkta sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2 de sunulmaktadır. Başarım testleri içeriği ve başarı kriteri değerleri belirlenmesinde bu kısıtlar belirleyici olmaktadır. Uzun şartlarının tamamı yerdeki test düzenekleriyle oluşturulamamasına karşın, faydalı yük karakterizasyonu için yeterli test düzenekleri sağlanmalıdır.

Tablo 1: Platformun CM üzerindeki kısıtlamaları

Platform ile İlgili Kısıtlar	Açıklama
Yerleşim	• Uzun araca sığacak büyüklükte ve fırlatma aracıyla uyumlu olmalıdır
Kütle	• Fırlatıcı yeterliliği ve platform tarafından belirlenir • Yörünge muhafaza (station keeping) yakıtı, DC güç alt sistemi • Fırlatma ve uzun aracı maliyeti
Isıl yayılım	• Uzun aracının ısı atım kapasitesi kısıtlıdır
Isıl kontrol	• Isıl kontrol alt-sistemi kütle ve güç tüketimi faydalı yük performansı etkileyebilmekte, tasarıma bağlı olarak bazı kısıtlamalar olabilmektedir.
DC güç	• Güç alt sisteminin kütlesi ve yerleşimi
Elektromanyetik uyumluluk	• Faydalı yük alt-sistemin dışarı yaydığı elektromanyetik yayılım ve dışardan gelen yayımlara karşı bağışıklık seviyelerinin belirli limitler içinde olması gerekmektedir.

Tablo 2: Çevresel etkenlerin CM üzerindeki kısıtlamaları

Çevresel Kısıtlar	Sistemde Meydana Getirdiği Etki
Dünyadan yansıyan gürültü	- Faydalı yük sistem gürültü sıcaklığının taban değerini belirler - Frekansa ve dünyadan görülen coğrafik bölgeye göre 100 -300 K arasında katkı sağlar
İyonlaştırıcı radyasyon	Kullanılan materyal ve aktif elektronik uydu yaşam süresi boyunca maruz kalabileceği radyasyona dayanıklılık göstermelidir
Vakum	- Konvektif ısı aktarımı mümkün değildir - Boşluklu filtrelerde vakum ile atmosferik basınç farkı kaynaklı frekans kayması gözlenir. Bu kayma tasarımda ve testlerde dikkate alınır. - Yüksek güç testlerinde filtre, TWT ... vb. ekipman üreticileri tarafından belirlenen limitler dikkate alınır.

Faydalı Yük Test Sistemi Düzenekleri

Faydalı yük testlerinde kullanılan test ve elektriksel yer destek ekipmanları genel olarak aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

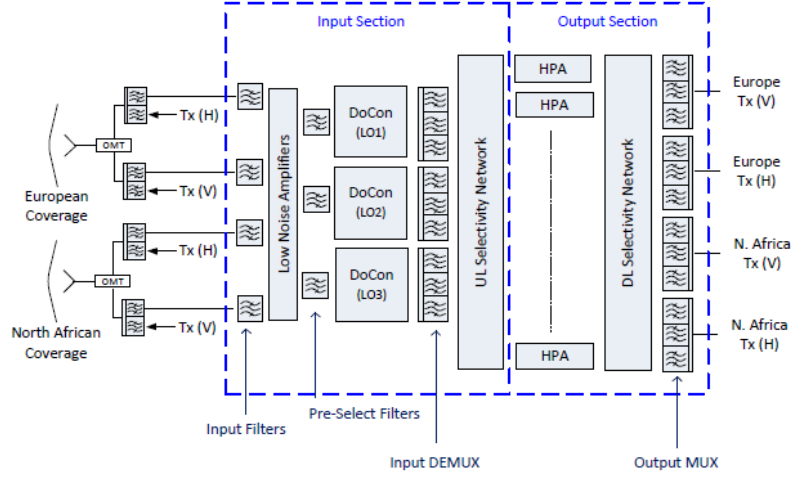
- Network Analizör
- Spektrum Analizör, Sinyal Analizör
- Sinyal üretici
- Frekans karıştırıcı
- Bağlantı modülleri (anahtarlama matrisi, bağlayıcı, ...)
- Referans modülleri
- Güç kaynağı modülleri
- Test sistemi yönetimi yazılımı
- Kablo ve dalga kılavuzu bağlantıları
- Yük ve soğutucular



Şekil 3: Örnek Faydalı Yük Test Sistemi (Telif: Atos.net)

Faydalı Yük Tasarımına Genel Bakış

Şekil 4 'te faydalı yük antenler ve yansıtıcı olarak iki ayrı alt sistemden meydana geldiği görülmektedir. Yansıtıcı alt-sistemi ise kendi içinde çalışılan güç seviyesine göre giriş ve çıkış bölmeleri olarak incelenebilir.



Şekil 4: Faydalı Yük genel yapısı

Giriş filtreleri (IF) alışı anteninde beslemelerin hemen ardında yer alır. IF, bant dışı sinyalleri filtrelemek için kullanılır. Çıkış bölmesinden yansıyabilecek yüksek güçlü sinyallerin LNA üzerinde oluşturabileceği tahribatın engellenmesinde de fayda sağlar.

LNA ile IF' den alınan, piko-wattlar mertebesindeki sinyal en az oranda gürültü eklenecek biçimde 40-50 dB dolaylarında yükseltilir. (2'de ifade edildiği üzere görev yükü zincirinde en başta yer alan ekipmanın gürültü faktörü, sistemin genel gürültü faktörü üzerinde baskın ve belirleyici konumdadır. Bu kapsamda, zincirdeki gürültü faktörü en iyi olan LNA sistemdeki ilk ekipman olarak yer alır.

Ön-seçici filtre frekans aşağı çeviriciye giren sinyalin bant genişliğini sınırlandırır ve bant-dışı sinyallerin çıkışta bant içi parazitler oluşturmalarını engeller.

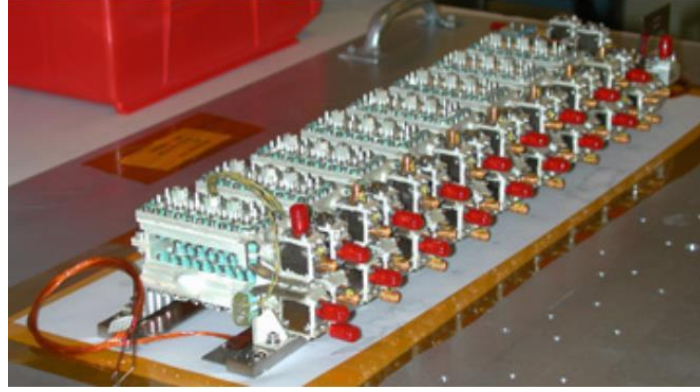
Frekans aşağı çevirici (DoCon) yukarı ve aşağı hat sinyalleri arasında oluşabilecek girişimin önüne geçmek için yüksek frekanslı yukarı hat sinyalinin frekansını aşağı hat frekans planına uygun olacak biçimde düşürülmesinde görevli ekipmandır. Yerel bir salınıcı yardımıyla, alınan sinyal frekans aşağı çeviricilerde daha düşük bir frekansa çevrilir. Nadiren de olsa, bilhassa derin uzay görevleri için, frekans aşağı çevirici yerine frekans yukarı çeviriciler kullanıldığı görülebilmektedir. Frekans çevirimi sırasında, faydalı yük zincirinde doğrusallığı en düşük ekipman olan yerel salınıcıdan kaynaklı harmonikler oluşur. Bu harmoniklerin ilgili bant genişliği içerisinde bir eşik değer altında tutulduğu birtakım testler ile gösterilmelidir.

Frekans aşağı çevirici başarımı temel olarak şu dört parametre ile belirlenir:

- Frekans dönüşüm kararlılığı (<1ppm)
- Portlar arası izolasyon (0,-40dBm)
- Parazit kontrolü (65, 85 dBc)
- Faz gürültüsü

Ters çoklayıcı (IMUX) ise frekans aşağı çeviriciden alınan geniş bant sinyali yükseltilmek üzere HPA' lere iletilmeden evvel daha dar kanallara ayırmakla görevlidir. HPA' ler dar bant genişliklerinde daha iyi sonuç vermektedir. Frekans aşağı çeviriciden sızması olası bant dışı parazitler burada bastırılmalıdır. LNA' dan gelen sinyalin kanallara ayrıştırılması ilk bant geçiren filtrede (BPF) gerçekleşir. Geri yansıyan sinyalin sönmülendirilmesi için ise her bir BPF önünde sirkülatör konuşlandırılır. Sinyal tüm kanallarına ayrıştırılıncaya kadar sırasıyla diğer BPF' lere uğrayarak ilerler ve süreç tamamlanır.

IMUX'un kayıp oranı yüksek bir ekipman olması LNA kazancının bunu telafi edebilecek düzeyde seçilmesini gerekli kılar. Ek olarak IMUX çıkışında yukarı hat kanal seçiminin gerçekleştirilmesi amacıyla anahtarlama ağı yerleştirilebilir.

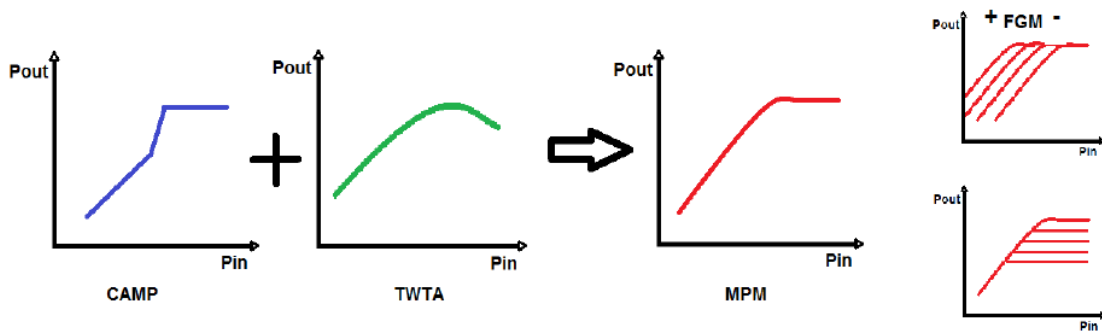


Şekil 5: IMUX

Kanal düzenleyici ve yükselteci (CAMP) modülü bir ön yükselteçtir. Aşağı hat için gerekli güçlendirme tek bir yükselteç tarafından sağlanamayacak kadar yüksektir. Bu sebeple kanal bazlı güçlendirme yoluna gidilerek HPA' lerin doyuma daha yakın bölgede, daha yüksek kazançlarla çalışması sağlanır. 30dB lik bir kazanç ile herhangi giriş seviyesi sinyalini giden dalga yükselteç tüpüne (TWTA) aktarabilecek hale getirir. CAMP modülünden önceki hatta sağlanan kazançlar sabit seviyeli iken CAMP, FGM ve ALC olmak üzere iki farklı kipte değişken kazanç elde etmeye olanak tanır. FGM' de tüm giriş sinyal seviyeleri için aynı kazanç sağlanırken ALC kipinde çıkışta elde etmek istenen sinyal seviyesi sabit tutularak giriş sinyalleri güçlendirilir. CAMP her bir kanal için farklı kazanç kiplerinde çalışabilme avantajı sağlar.

HPA'ler TWTA veya SSPA' lerden meydana gelebilen yüksek güç yükselteçleridir.

TWTA 35-60dB kazanç sağlayabilen, TWT ve TWTA' in çalışması için gereken 2000-5000V gerilimi uydu ana güç barasından sağlayan elektrik güç şartlandırıcıdan (EPC) oluşan güçlendirici bloğudur. Doyum noktasında %60-67 gibi yüksek bir verimle çalışabilir. TWTA doğrusallığının düşük olması çıkışlarında kısıtlayıcı ve doğrusallaştırıcı kullanılmasını gerekli kılar. Kısıtlayıcı sayesinde doyuma girmesi engellenirken; doğrusallaştırıcı daha lineer bir bölgede çalışma imkânı sunar.



Şekil 6: TWTA, CAMP, EPC' den oluşan yapı MPM (mikrodalga güç modülü) olarak isimlendirilir.

OMUX (çıkış çoklayıcı) ise bir diğer filtre bloğudur. Genellikle yüksek güç yükselteçlerinin ardında konuşlandırılır. Farklı yükselteçler tarafından güçlendirilen kanalları tek bir polarizasyonda ilgili anten huzmesinden iletilmek üzere birleştirir. BPF, dağıtım tüpleri ve çeşitli filtrelerden oluşan kompakt bir yapıdır.



Şekil 7: OMUX

FAYDALI YÜK BAŞARIM TESTLERİ

Bu çalışmada servis modülü ile haberleşme modülü birleşimi sonrasında uydu seviyesinde yapılan faydalı yük başarımlarına değinilecektir. Söz konusu testler genelde sistem ve/veya alt-sistem seviyesinde ilk fonksiyonel, ısı testler (öncesi ve sonrası kontrol testleri de dahil), son fonksiyonel testlerde tekrar edilen testlerdir. Bu aşamalarda elde edilen sonuçlar faydalı yükün asgari başarımlar kapasitesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Test aşamalarının artırılması ile daha fazla veri elde edilmesine karşın uydunun üretim/test takvimi ve bütçesi olumsuz etkilenebilmektedir. Bu yüzden uydu endüstrisinde ilgili standartlar ve asgari aşamalar belirlenmiş olup pratikte uygulanmaktadır.

Bu aşamada gerçekleştirilen testler temel olarak faydalı yük kilit gereksinimlerine dayanmaktadır [Hartmann- 2005];

- İşima örüntüsü, kapsama alanı, kazanç
- Polarizasyon yalıtımı
- EIRP
- IPFD
- G/T
- Genlik frekans tepkisi
- Grup gecikmesi
- Pasif iç modülasyon
- Auto compatibility

Gürültü Figürü

Bu test ile faydalı yükün gürültü figürü doğrulanır. Gürültü figürü ölçümü alt-sistem ya da sistem seviyesinde ekipman seviyesi ölçümleri kadar hassas yapılamamaktadır. Bu yüzden performans değerlerinde baskın olan LNA, alıcı gibi ekipmanların detaylı test sonuçları referans alınır. Sistem seviyesi gürültü faktörü ölçümleriyle bu değerlerin sağlanması yapılmakta ve ekipmanların haberleşme modülüne entegrasyonu ile bağlantıların işçiliği doğrulanmaktadır. Bu testin uydu seviyesinde bir kere yapılması yeterli olmaktadır.

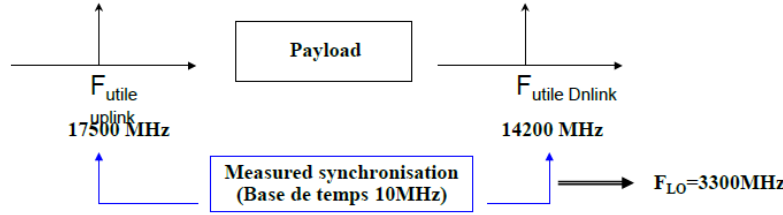
Kanal merkez frekansına sahip modülesiz bir taşıyıcı sinyali doyuma ulaştıran giriş bağlı gücünün 15dB aşağı (IPS -15dB) seviyesinde her bir kanala uygulanarak ilgili kanala ait kazanç ile anten tarafından görülen gürültü sıcaklıkları ölçülür. Bu işlem görev-yükü bağlı ve bağlı değilken her iki durum için de gerçekleştirilerek gürültü faktörü (NF) hesaplanır. Farklı frekans bantlarında hizmet veren bir GEO (yer durağan yörünge) uydusunda kullanılabilecek 40dB kazançlı tipik bir LNA için kabul edilebilir NF değerleri Tablo 3' te sunulmuştur.

Tablo 3: Frekans bantlarına göre beklenen gürültü faktörü değerleri

Frekans Bandı	Gürültü faktörü aralığı
C-band	2.5 – 3.3 dB
Ka-band	3.0 – 3.8 dB
Ku-band	2.5- 3.3 dB

Frekans Dönüşümü

Faydalı yükte gerçekleştirilen frekans dönüşümünün hassasiyetini belirlemek amacıyla yapılması gereken bir testtir. Rubidyum frekans standartlarına uyacak şekilde yukarı hat merkez frekansında bir taşıyıcı üretilerek aşağı hat sinyali ölçülür. Beklenen frekans ile ölçülen frekans değeri arasındaki farkın başarı kriteri aralığında olması gerekir. Yer testlerinde belirlenen başarı kriterleri belirlenmesinde yılanma, uzaydaki radyasyon etkileri dikkate alınmaz. Bu etkiler; test sonuçlarının analizlerle ayrıca işlenmesiyle hesaba katılmaktadır.



Şekil 8: Frekans Dönüşümü Testi

Bant İçi Frekans Tepkisi

Bu test, faydalı yükün genel kazanç- frekans tepkisi arasındaki bağıntıyı karakterize edebilmek için yapılması gereken önemli bir başarımlı testidir. Tüm test konfigürasyonları için yapılması gerekir. Test sonuçları trend analizi olarak ele alındığında kazanç veya grup gecikmesindeki olası salınımlara karşı sistemin kararlılığını tanımlar.

Test sistemi içindeki birincil kaynak, çıkış frekansında, IPS veya IPS -15dB seviyesinde bir taşıyıcı sinyali üretmek için kullanılır. Taşıyıcı frekansı ilgili frekans bandı boyunca taranarak, faydalı yükün çıkışı giriş sinyali ile karşılaştırılır ve kazanç tepkisi elde edilir. Tüm test arayüzleri bu test öncesinde kalibre edilmelidir.

Frekans tepkisinde bazen bozukluklar, atlamalar vs. görmek mümkündür. Bunlar zamana bağlı sıcaklık değişimleri, test sistemi ölçüm hataları veya TWTA' in karakteristiğine bağlı olarak iyonik gevşemelerden kaynaklı olabilir.

Grup Gecikmesi

Grup gecikmesi bir sinyalin iletim kanalında ne kadar sürede yayıldığını ifade eden bir parametredir. Faydalı yüke ait tüm kazanç- frekans tepki gereksinimlerinin karşılandığını gösterebilmek için yapılması gereken bir testtir.

IPS -15dB seviyesinde, faz modüleli bir çıkış sinyali faydalı yük test düzeneğinde üretilerek frekans bandı boyunca adımlanır. Faydalı yükün çıkışı matematiksel olarak analiz edilir.

Bant İçi ve Bant Dışı Parazitler

LO (yerel salınıcı) ve giriş sinyallerinin kullanışlı bant aralığında oluşturması beklenen harmoniklerin ölçülmesi gereklidir. Bu kapsamda, IPS sinyal seviyelerinde f_{c1} ve f_{c2} merkez frekanslarına sahip iki adet modülesiz taşıyıcı sinyali faydalı yüke enjekte edilir. Frekanslar, test altındaki bir diğer kanalda oluşabilecek mikser ürünü şeklinde seçilir. Spektum analizör yardımı ile mikser ürünlerinin konumu ve sinyal seviyesi ölçülür.

Kazanç Kontrolü

Kazanç kontrolü fonksiyonları faydalı yükün FGM ve ALC operasyonel kiplerinde komuta edilerek kazanç aralıklarının beklendiği şekilde çalıştığı doğrulanır.

Merkez frekansta modülesiz tek ton bir taşıyıcı sinyali, yansıtıcı FGM moduna alınarak uygulanır. Giriş sinyal seviyesi ve kazanç adımı ayarlanarak çıkış gücü ölçülür. İşlem farklı giriş gücü seviyesi ve kazanç aralıkları için tekrarlanır. Test sonucunda CAMP MUTE-ON ile belirtilen bir kazanç

adımına alınarak yansıtıcının kazancı ölçülür. Sonuç olarak her bir CAMP kazanç adımına karşılık gelen kazanç değeri grafik üzerinde gösterildiğinde lineer bir eğri beklenir.

ALC kazanç adımı doğrulaması testi ile belirli bir giriş sinyal seviyesi dinamik aralığında, ALC' nin limitler dahilinde çalıştığı doğrulanır.

Merkez frekansta, düşük seviyeli modülesiz bir taşıyıcı sinyali faydalı yük girişine uygulanır. MPM backed-off noktasında çalışacak şekilde, CAMP ALC kipine alınır. Uygulanan giriş gücü kayıt altına alınarak karşılık gelen çıkış gücü ölçülür. Giriş sinyali 1 adım yükseltilecek çıkış gücü ölçülür. Bu işlem dinamik bir giriş sinyal aralığı için tekrar edilerek kayıt altına alınan tüm giriş-çıkış seviyeleri bir grafikte çizdirilir. Çıkış gücü SOP (doyumdaki çıkış bağlı gücü) cinsinden ele alınmalıdır.

AM/ AM, Kazanç Karakteristiği

AM/ AM kazancı görevli olan tüm mikrodalga güç modüllerinin (MPM) önemli bir dinamik aralıkta doğru çalıştığına doğrulanması için yapılması gereken bir testtir. Bu testte amaç MPM'in doğrusal, doyum ve aşırı sürüm bölgeleri dahil olmak üzere tüm giriş ve çıkış güç değer aralığını tespit etmektir.

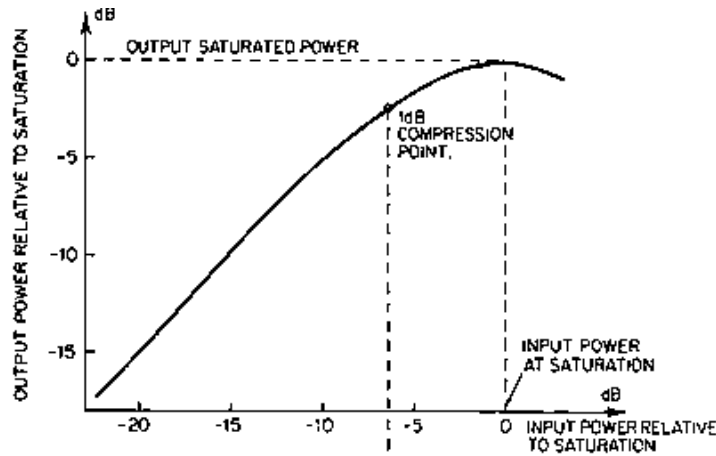
IPS -20dB seviyesinde, merkez frekansında modülesiz bir taşıyıcı test altındaki kanala uygulanır. Giriş gücü 1dB aralıklarla IPS -6dB seviyesine dek artırılır ve çıkış gücü her bir adımda kaydedilir. Çıkış gücünün giriş gücüyle değişimini veren grafik AM/AM karakteristiğine tekabül eder.

Bu test boyunca tüm MPM telemetrisi kayıtlı edilmelidir.

IPS/SOP

Sistem için gerekli IPS, toplam kazanç ve SOP değerlerine karar vermek; tüm konfigürasyonlarda her bir hattın kazanç kontrol yeteneğini tespit etmek için yapılması gereken bir testtir.

f_c merkez frekansına sahip, IPS -2dB sinyal seviyesinde modülesiz bir taşıyıcı sinyali test altındaki ekipmanın girişine uygulanır. Sinyal 0.5dB aralıklarla doyuma ulaştığı gözlenene kadar artırılarak her bir adımda elde edilen çıkış gücü kayıt altına alınır. Ölçümler eğriye uydurma yöntemiyle irdelenerek doyum noktası tespit edilir.



Şekil 8: SOP / IPS

SONUÇ

Bu çalışmada tipik yer durağan bir haberleşme uydusu için temel faydalı yük yapısı incelenmiş ve servis modülü ile haberleşme modülün bütünleştirilmesinden sonra MET süresince uygulanan testler irdelenmiştir. Bu testler özet olarak: gürültü figürü, frekans dönüşümü, bant içi frekans tepkisi, grup gecikmesi, bant içi ve bant dışı parazitler, kazanç denetimi, IPS/SOP ve AM/AM kazancı başlıkları altından toplanabilmektedir. Asgari testlerin belirlenmesinde kilit başarımlar gereksinimleri kadar uydu faydalı yük test takvimi ve bütçesi de etkilidir. Uydu misyonu ve başarımlar gerekleri uydudan uyduya değişkenlik gösterse de çalışma kapsamında ele alınan parametrelerin

bir haberleşme uydusu faydalı yükü için asgari başarımlar doğrulama testleri olduğu ve uydunun uzaya gönderilmeden önce yer testleriyle başarılı bir şekilde doğrulama aşamalarını tamamlaması gerektiği değerlendirilmiştir.

İlerleyen çalışmalarda ekipman seviyesi görev yükü başarımlar testleri ile anten testleri üzerine incelemeler yapmak mümkündür.

Kaynaklar

- Bensky, Alan, 2019. *Short-range Wireless Communication 3rd Edition*, Newnes
- Braun, Teresa M., 2012. *Satellite Payload Communications and Systems*, Wiley
- Hartmann, J., Habersack J., Steiner H.-J. 2005. *Accurate and Efficient Satellite Payload Testing in Compact Ranges*, 28th ESA Antenna Workshop on Space Antenna Systems and Technology, Noordwijk, Hollanda, 31 Mayıs – 3 Haziran
- Kahriman, A., Bulut, M., Sanli, E., Nefes, M.M. ve Demirel, S., 2012. *Uydu Test Merkezi ve Testler*, IV.Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, İstanbul, 12-14 Eylül.
- Roddy, D., 2001. *Satellite Communications (3rd ed.)*. New York: McGraw Hill
- Richard, R., 1984. *Antenna Engineering Handbook (2nd Ed.)* New York, McGraw-Hill
- Yu, M., 2006. *Design of Multiplexers with Many Channels*. IEEE International Microwave Symp., San Francisco, USA