

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE KULLANILAN
ANTENLERİN BİLGİSAYAR SİMULASYONU

İBRAHİM ÖLMEZ

KASIM 2006

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

Doç. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU

Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Doç. Dr. Şerafettin EREL

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN

Doç. Dr. Şerafettin EREL

Yrd. Doç. Dr. Eyüp TUNA

ÖZET

UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ANTENLERİN BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU

İBRAHİM ÖLMEZ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Doç. Dr. Şerafettin EREL

Kasım 2006 , 64 Sayfa

Bu tez çalışmasında uydu haberleşme sistemleri incelenmiş, özellikle sayısal uydu haberleşme sistemlerinin gerçekleşmesi sırasındaki işlemler ele alınmıştır. Dijital yayınların analog yayınlara göre avantajları incelenmiştir. Uydu haberleşmesinde önemli rol oynayan anten sistemleri ele alınmış, haberleşme performansını etkileyen parametreler parabolik reflektör ve horn anten için formülüze edilmiş ve bununla ilgili bazı örnek problemlerin çözümü Matlab programındaki çözümleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Parabolik ve horn antenlerinin, yönlendiriciliğini etkileyen parametrelere göre değişimi irdelenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Uydu haberleşmesi, Sayısal haberleşme, Analog haberleşme,

Parabolik reflektör antenler, Horn antenler

ABSTRACT

COMPUTER SIMULATION OF ANTENNA USED IN SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS

IBRAHIM OLMEZ

KIRIKKALE UNIVERSITY

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Electrical-Electronic Engineering Department , M Sc Thesis

Advisor : Assoc. Prof. Dr. Şerafettin EREL

November 2006 , 64 Pages

Satellite communication systems were investigated, particularly, the process of digital satellite communications were concerned in this thesis. Advantages of digital broadcasts over analog broadcasts were investigated. Antennas systems in the satellite communication were studied. The parameters effecting performance of communication were formulated for paraboloid reflector and horn antennas and the solution to some typical problems related to them were evaluated comparing the results of solution using Matlab computer software. The behaviour of paraboloid reflector and horn antennas for parameters affecting the directivity of them was studied.

Key Words: Satellite communication, Digital broadcast, Analog broadcast Paraboloid

Reflector antenna, Horn antenna

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Őerfettin EREL hocama, tezimin hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümündeki Öğretim üyelerine, özellikle sayın Yrd. Doç. Dr. Eyüp Tuna hocama, mesai arkadaşarıma ve aileme teşekkür ediyorum.

KISALTMALAR

- QPSK: Dörtgensel faz kaydırmalı anahtarlama
- QAM: Dörtgensel genlik modülasyonu
- COFDM: Ortogonal kodlu frekans bölmeli çoklama
- SFN: Tek frekanslı şebeke
- CA: Koşullu erişim
- ASI: Asenkron Seri arabirim
- UMTS: Evrensel mobil Telekomünikasyon sistemleri
- ETSI: Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Enstitüsü
- CDMA: Kod bölmeli çoklu erişim
- E.I.R.P.: Etkin izotropik Işıma gücü
- FDMA: Frekans bölmeli çoklu erişim
- FDM/FM: Frekans bölmeli çoklama /Frekans modülasyon
- GEO: Geostationary yörünge
- HEO: Yüksek dünya yörünge
- ITU: Uluslararası Telekomünikasyonlar birliği
- Ka: K-üstü
- Ku: K-altı
- LNA: Düşük gürültü yükselteci
- TDMA: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
- VSAT: Çok Küçük Boşluk Terminali

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 1.1. | Uydu alıcısı | 2 |
| Şekil 1.2. | Habeleşme sisteminin genel yapısı..... | 3 |
| Şekil 1.3. | Sayısal haberleşme sistemlerinin temel elemanları..... | 4 |
| Şekil 2.1 | Uydu vericisi..... | 7 |
| Şekil 2.2. | Üst çevirici ve kuvvetlendirici | 7 |
| Şekil 2.3. | Uydu transponderi | 9 |
| Şekil 2.4. | Uydu alıcısı | 10 |
| Şekil 2.5. | Uydu haberleşme sisteminde verici-alıcı antenler ve kayıplar..... | 11 |
| Şekil 2.6. | Uydu iletişim kazanç-kayıp şeması | 13 |
| Şekil 2.7. | Alıcı - verici simülasyonu | 15 |
| Şekil 2.8. | Frekans modülasyonu şematik gösterimi..... | 26 |
| Şekil 2.9. | PCM modülasyonu örnekleme şematik gösterimi..... | 29 |
| Şekil 2.10. | C bandında çalışan Intelsat v için frekans planı | 31 |
| Şekil 2.11. | TDMA zaman planlaması | 32 |
| Şekil 2.12. | CDMA kodlama tekniği | 33 |
| Şekil 2.13. | Uydu haberleşmesinin gelişimi | 34 |
| Şekil 2.14. | Parabolik reflektör anten(2 boyut) | 37 |
| Şekil 3.1. | Parabolik reflektör anten(3 boyut) | 42 |
| Şekil 3.2. | Parabolik reflektör anten | 43 |
| Şekil 3.3. | Anten yönlendiriciliğinin anten çapına göre grafiği(ro=0.001 iken) | 52 |
| Şekil 3.4. | Anten yönlendiriciliğinin anten çapına göre grafiği(ro=0.002 iken) | 52 |
| Şekil 3.5. | Parabolik anten eşdeğer devresi | 53 |
| Şekil 3.6. | Parabolik anten (kayıp dirençli) eşdeğer devresi..... | 54 |
| Şekil 3.7. | E-düzlem horn anten | 57 |
| Şekil 3.8. | E-düzlem horn antende dbDe-b1 grafiği | 60 |
| Şekil 3.9. | E-düzlem horn antende dbDe-r1 grafiği | 60 |

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| KISALTMALAR..... | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | v |
| İÇİNDEKİLER | vi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Uydu Haberleşme | 1 |
| 1.2. Kaynak Özetleri | 5 |
| 2. MATERYAL VE YÖNTEM | 7 |
| 2.1. Uydu Haberleşme Prensipleri..... | 7 |
| 2.2. Çoklrama Teknikleri | 16 |
| 2.2.1. Kanal Çoklaması | 16 |
| 2.2.2. DSI | 16 |
| 2.2.3. ADPCM | 18 |
| 2.2.4. DCME | 18 |
| 2.3. Modülasyon | 19 |
| 2.3.1. Modülasyon Yöntemleri | 20 |
| 2.3.2. Sağladığı Kolaylıklar | 21 |
| 2.3.3. Modülasyon Teknikleri | 23 |
| 2.3.3.1. Genlik Modülasyonu | 23 |
| 2.3.3.2. Açısal Modülasyon ve Üstel Modülasyon | 23 |

| | |
|---|----|
| 2.3.3.3. Faz Modülasyonu | 24 |
| 2.3.3.4. Frekans Modülasyonu | 25 |
| 2.3.3.5. PCM | 27 |
| 2.3.3.6. QPSK | 29 |
| 2.4. Çoklu Erişim | 30 |
| 2.4.1. Frekans Paylaşımlı Çoklu Erişim | 30 |
| 2.4.2. Zaman Paylaşımlı Çoklu Erişim | 31 |
| 2.4.3. Kod Paylaşımlı Çoklu Erişim | 32 |
| 2.5. Uydu Haberleşme Antenleri | 35 |
| 2.5.1. Anten Geometrisi | 37 |
| 2.5.2. Anten Performansı | 38 |
| 2.5.3. Polarizasyon | 39 |
| 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA | 40 |
| 3.1. Sayısal Uydu Haberleşme Sistemleri | 40 |
| 3.2. Parabolik Reflektör Anten İncelenmesi..... | 42 |
| 3.3. Horn Anten Yönlendiriciliğın İncelenmesi | 56 |
| 4. SONUÇ..... | 61 |
| KAYNAKLAR | 63 |

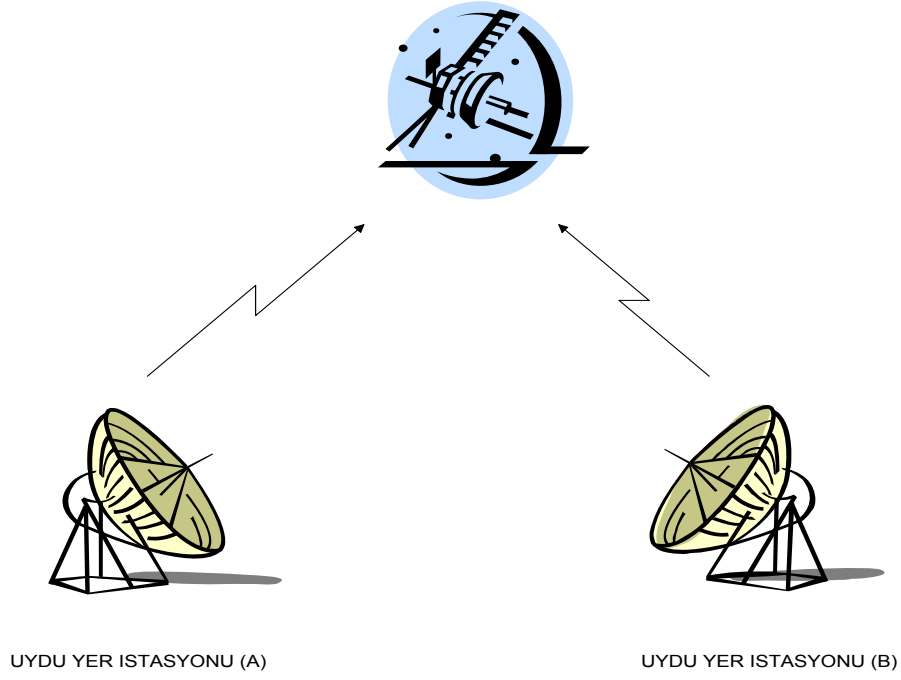
1. GİRİŞ

1.1 UYDU HABERLEŞMESİ

Günümüzde Uydu Haberleşme Sistemleri artık hayatımızın bir parçası olmuştur. Günlük hayatımızda yaptığımız internet erişiminde, yüksek kalitede TV yayınların (sayısal TV yayınlarının) iletiminde, gerçekleştirdiğimiz telefon konuşmalarının, günlük veya haftalık hava tahminlerinin yapılmasında altyapı olarak uydu sistemleri kullanılmaktadır.

Artan iletişim trafiğinden dolayı, gün geçtikçe daha fazla kanal kapasiteli ve daha hızlı haberleşme sistemlerinin kurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Uydu haberleşme sistemleri saydığımız bu ihtiyaçları karşılayabilecek özelliklere sahip teknolojisiyle gelecekte çok daha yaygın ve özel uygulama olarak kullanılacaktır. Uydu haberleşmesinin bazı dezavantajları bulunsa da avantajları ve kullanım kolaylığı oldukça fazladır. Özellikle haberleşmeyi bir noktadan bir çok noktaya kolayca ve en ucuz bir şekilde imkan sağlaması yönüyle büyük bir fayda sağlamaktadır. Bu yönde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarının sonucunda uydu sistemlerinin maliyetleri daha da ucuz hale gelmektedir.

Bir uydu haberleşme sistemi bir veya daha fazla uydu linki içerir. Bu linklerden her biri iki adet yer istasyonu ve bir adet uydu içermektedir. Bu linklerin her biri, elektromanyetik dalga sinyalini uyduya gönderen bir verici yer istasyonu, bu sinyali uydudan alan bir alıcı yer istasyonu ve uygun frekans ve güce sahip bir uydu sisteminden oluşmaktadır(Şekil 1.1). Bir uydu yer istasyonu aynı anda alış ve veriş yapabilmektedir.

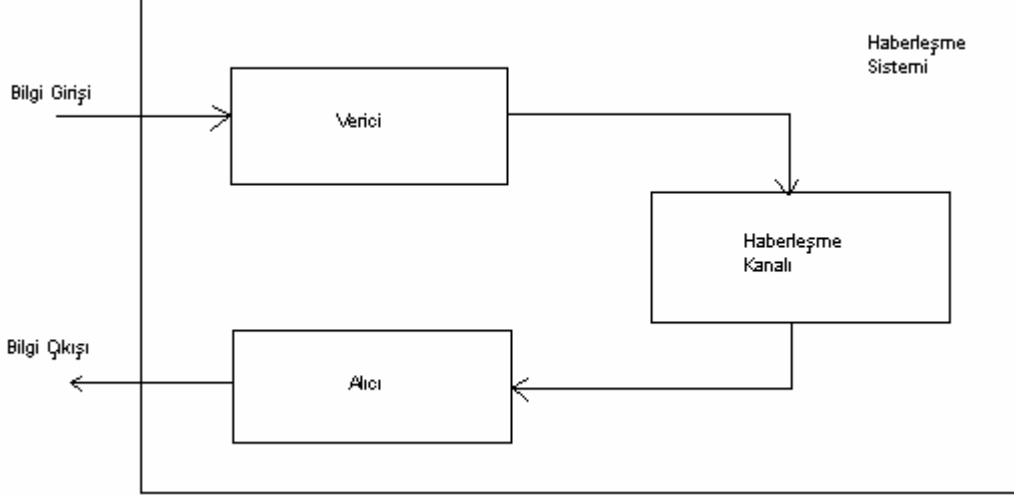


Şekil 1.1. Uydu verici/alıcısı ⁽¹⁾

Uydu linkinde radyo sinyalleri ile gürültü arasındaki ilişkiyi incelersek; elektromanyetik dalga sinyalleri uyduya ve yer istasyonuna atmosferik yol kayıplarından dolayı zayıflayarak ulaşır. Çünkü uydu yörüngesi dünyadan yaklaşık olarak 35.780 km uzaklıktadır. Uydu haberleşmesinde yer istasyonlarının uyduya yeterli güçte ulaşabilmeleri için geniş açıklıklı antenlere ve yüksek güçlü mikrodalga sinyalleri kullanma ihtiyaçları vardır. Aynı zamanda yer istasyonlarının, uydudan gelen zayıf işaretleri almaları için yine geniş açıklıklı parabolik antenler kullanılır. Antenler, aşırı termal gürültülerden veya diğer mikrodalga sistemlerin girişimlerinden kaçınmak için düşük gürültülü ve düşük yan lobe şeklinde olmalıdır. Bir düşük gürültü yükseltici uydudan alınan çok zayıf sinyali kuvvetlendirmek için gereklidir. Uydu haberleşme devrelerinde C/N (işaret gürültü oranı) haberleşme ka -

litesinde ITU kriterlerine göre kabul edilebilir bir seviyede olmalıdır.⁽¹⁾

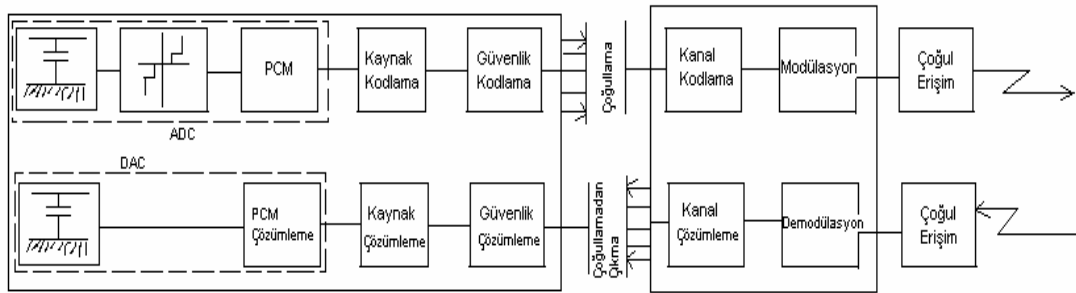
Verici, haberleşme kanalı ve alıcı Şekil 1.2'de gösterildiği gibi bir haberleşme sisteminin temel yapısını oluşturmaktadır.⁽²⁾



Şekil 1.2. Haberleşme sistemlerinin genel yapısı⁽²⁾

Haberleşme kanalı, bükülü tel çifti, dalga kılavuzu ve fiber optik kablo gibi kablolu bir ortam olabileceği gibi hava, boşluk veya deniz suyu gibi kablosuz bir ortam olabilmektedir. Haberleşme kanallarında iletilen işaretlerde zayıflama, kanalın fiziksel özelliklerinden dolayı bozulmalar, gürültü ve karışma meydana gelebilmektedir. Alıcıda haberleşme kanalının işaret üzerinde yol açtığı etkiler giderilmeye çalışılarak, vericinin gerçekleştirdiği işlemlerin tersinin uygulanmasıyla bilgi işaretinin yeniden oluşturulması amaçlanmaktadır. Haberleşme kanalında işarete etki eden dış etmenler (gürültü) bulunmakta ve haberleşme kanalının fiziksel özelliklerinden dolayı işaretin şeklinde bazı bozulmalar olabilmektedir. Sayısal bilgi sadece belli değerleri alabildiği için, hata meydana getirecek etmenlerin işareti bir

seviyeden başka bir seviyeye geçirecek kadar etkili olması gerekmektedir ve seviye değişimine yol açmayan etkilerin giderilmesi kolay olmaktadır. Analog iletimde bilgi işareti sürekli olduğundan oldukça etkisiz gürültülerin dahi giderilmesi zor veya imkansız olmaktadır. Sayısal işaretler analog işaretlere oranla daha kolay yeniden üretilebilmekte, çok daha kolay ve güvenilir yöntemlerle şifrelenebilmekte, sayısal işaretlerin işlenmesi (kodlanması) sayesinde haberleşme kanalı üzerinden daha verimli bir şekilde ve daha az hata ile iletim yapılabilmektedir. Sayısal iletimin bu üstünlüklerinden dolayı uydu haberleşmesi sistemlerinde sayısal haberleşme sistemlerinin temel elemanları ile benzerlik göstermektedir ve bu temel elemanlar Şekil 1.3’de görülmektedir.⁽²⁾



Şekil 1.3. Sayısal haberleşme sisteminin temel elemanları⁽²⁾

Gönderilecek bilgi yapı itibarı ile analog şeklinde ise analog/dijital ve dijital/analog dönüştürücüler kesinlikle kullanılmaktadır. Kaynak kodlamasının amacı veri sıkıştırması sağlayarak iletilmesi gereken veri miktarının artırılmasını sağlamaktır. Güvenlik kodlamasında ise sayısal sinyaller şifrelenmekte ve bu sayede haberleşme esnasında güvenlik sağlanmaktadır. Çoğullama sayesinde aynı anda ortak bir kanaldan birden fazla bilgi iletiminin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Kanal kodlamasının amacı haberleşme kanalının istenmeyen etkilerine karşı dayanıklı hale

getirmektir. Modülasyon sayesinde ise bilgi sinyali iletme uygun bir işaret haline getirilmektedir. Çoğul erişim ile birden fazla alıcı - verici çiftinin haberleşme ortamını paylaşmasına olanak sağlamaktadır.⁽²⁾

1.2. Kaynak Özetleri

Recep Alper Aktuğ⁽²⁾, 1999'da yaptığı tez çalışmasında parabolik reflektör anten tasarımını incelemiş ve uydu haberleşme sistemlerinde kullanılan sistemler hakkında araştırma yapmıştır.

S. L. Chen ve H. R. Chuang⁽³⁾, Eliptik ışımaya üretmek için ofset reflektör antenlerin iki değiştirilmiş şeklini ve Ka bandında (20 GHz) anten ışımaya seviyesinin kıyaslamasını yapmışlardır. Bu çalışmada iki tasarım performansının karşılaştırılması ve incelemesi ele alınmıştır.

S. O. Bashir⁽⁴⁾, Fırtına sırasında nemli kum ve tozun yüzey üzerinde toplanmasından dolayı; kazanç azalması, kros polarizasyon, anten kayıplarının artması ile ışımaya kayması durumlarını incelemiştir. Bu çalışmada teorik sonuçlara göre nemli kum ve tozun reflektör anten üzerinde birikmesinin dünyanın bazı fırtınalı bölgelerinde anten verimliliğinin azalmasında ne denli etkin olduğunu araştırmıştır.

Hung Piu Ip ve Yahya Rahmat Sami⁽⁵⁾, reflektör anten yüzeyinin yağmura ve kara maruz kalmadan önce ve sonraki durumları için fiziksel optik yöntemiyle analizini yapıp yağmur ve kar toplanmasının sonlu kalınlıkta ve sonlu iletkenlikteki bir reflektör anten üzerindeki etkisini incelemiş ve bunun için mükemmel iletken olmayan reflektör antenler denenerek sonuçlar irdelenmiştir. Analiz sonucunda eğer

anten yüzeyi ince ve yüzey iletkenliği yüksek ise sonuçların olumlu olduğu görülmüştür. Çalışmada, her iki durumun fiziksel optik analiz yöntemi ile analiz sonucunun grafikleri verilerek değerlendirilmesi yapılmıştır.

A. V. Dushkin ve S. N. Razin'kov⁽⁷⁾, lineer olmayan voltaj-akım karakteristiği ile bir metal-yalıtkan-metal kontak içeren reflektör anten beslemesi tarafından oluşturulan elektromanyetik dalgaların yayılmasını incelemiştir. Deneysel ve teorik sonuçların incelenmesi sonucunda anten sistemlerinin karakteristiğinde önemli bir azalma olmaksızın ikincil ışımada 20-40 dBmW/m²'lik bir azalma olduğu görülmüştür.

K. Golushko ve A. V. Yurchenko⁽⁶⁾, Reflector anten üzerinde kompozit metaryellerin yapısal ve mekaniksel karakteristiklerinin etkisini incelemiştir. Bu yapının davranışı ile ilgili sistemin kısmi diferansiyel eşitlikleri için sınır değer problemi, değişken katsayılı homojen olmayan sıradan diferansiyel sınır değer problemlerinin sıralamasına indirgenmiştir. Çalışmada yerçekimi, rüzgar, sıcaklık gibi etmenlerin çeşitli kompozit malzeme kullanarak reflektör anten üzerindeki etkileri ele alınmıştır.

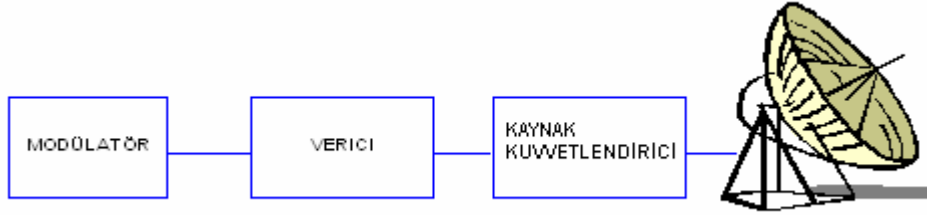
Sudhakar K. Rao⁽¹⁸⁾, reflektör sayısı, frekans hücreleri sayısı, F/D oranı, horn verimliliği ve işaretleme hatası içeren çeşitli ofset parabolik antenler kullanarak çok ışımalı antenler için dizayn ve analiz eşitlikleri geliştirmiştir. Anten ışımalarının çeşitli fiziksel optik analizlerine dayalı çeşitli hesaplamalara uygun analiz sonuçları ele alınmıştır. Parametre olarak horn verimliliğini kullanarak çok ışımalı antenler analiz edilerek dizaynı geliştirilmiş ve bazı önemli sonuçlar bulunmuştur. En uygun horn dizaynı kullanarak çok ışımalı antenler optimize edilmiştir. Yüksek ve orta frekansta daha iyi performans sonuçlarının elde edildiği görülmüştür.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bir uydu haberleşmesinde bilgi sinyalinin uzak bölgelere iletilebilmesi için sinyalin belli aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Bu bölümde sinyal iletiminin modellenmesi yapılarak sinyalin iletiminde gerçekleşen işlemler ele alınmıştır.

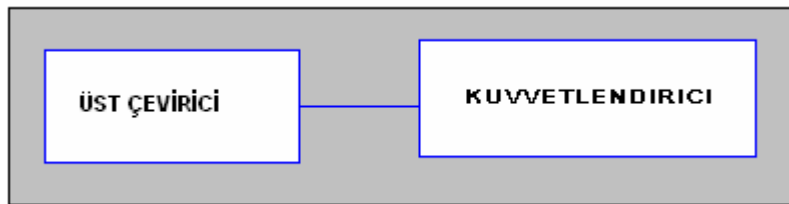
2.1. Uydu Haberleşme Prensipleri

Verici İstasyonu : Yer istasyonundan uyduya erişim vericiyle (uplink) sağlanır. Bir yer istasyonunun verici sistemi; anten, modülatör, verici, besleme ve anten elemanlarından oluşmaktadır.



Şekil 2.1 Uydu vericisi ⁽¹⁾

Verici katı, modülatör katından gelen modüleli işareti iletim ortamına uygun olan frekansa çeviren bir üst çevirici birimi ve uyduya çıkış için gerekli gücü sağlayan güç kuvvetlendirici birimlerinden oluşur.



Şekil 2.2 Üst çevirici ve Kuvvetlendirici ⁽¹⁾

Uydular arası bilgi alışverişinde anten kazancının büyük etkisi vardır. Genel olarak parabolik antenlerin değiştirilmiş şekli olan Cassegrain antenler kullanılır. Besleme sisteminin özelliğine göre bir anten hem verici hem de alıcı olarak kullanılabilir.

Antenin kazancı aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$G_t = (4\pi A_t / \lambda^2) \cdot \eta = (\pi d / \eta)^2 \cdot \lambda \quad (2.1)$$

Burada ;

G_t : verici anten kazancı (dB)

A_t : verici anten yüzeysel açıklığı (m^2)

d : anten çapı (m)

η : anten faktörü

λ : dalga boyudur (m).

Anten kazanç formülünden aynı çapta yüksek kazançlara ulaşabilmek için frekans yükseltilmelidir. Yer istasyonundan çıkılan e.i.r.p. gücü, aşağıda belirtildiği şekilde, verici çıkış gücü P_t , besleme montaj kayıpları L_{ft} ve verici anten kazancı G_t değerleri kullanılarak ifade edilebilir.

$(eirp)_e = G_t \cdot P_t / L_{ft}$ ifadenin logaritmik ifadesi

$$(eirp)_e = (G_t) + (P_t) - (L_{ft}) \quad (2.2)$$

olup, burada ;

$(eirp)_e$: yer istasyonunun dBW cinsinden izotropik yayılım gücü

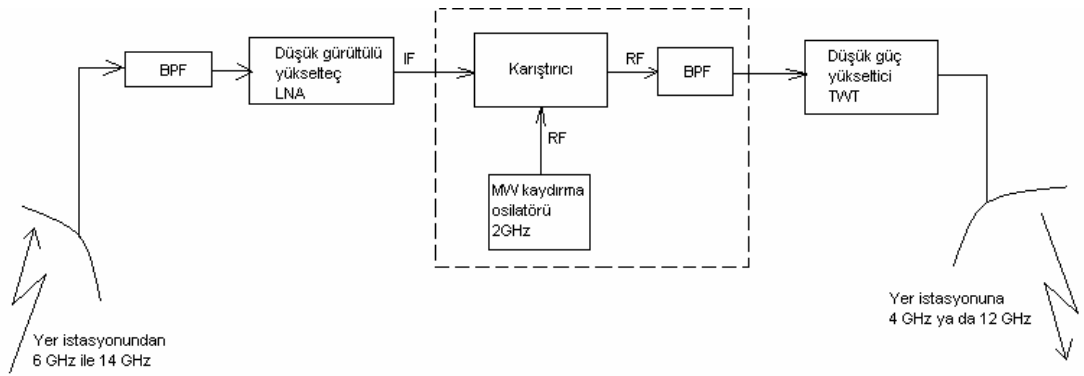
P_t : verici çıkış gücü (dBW)

L_{ft} : besleme montaj kayıpları (dB)

G_t : verici anten kazancı (dB)

Transponder : Bir uydu transponderi ;

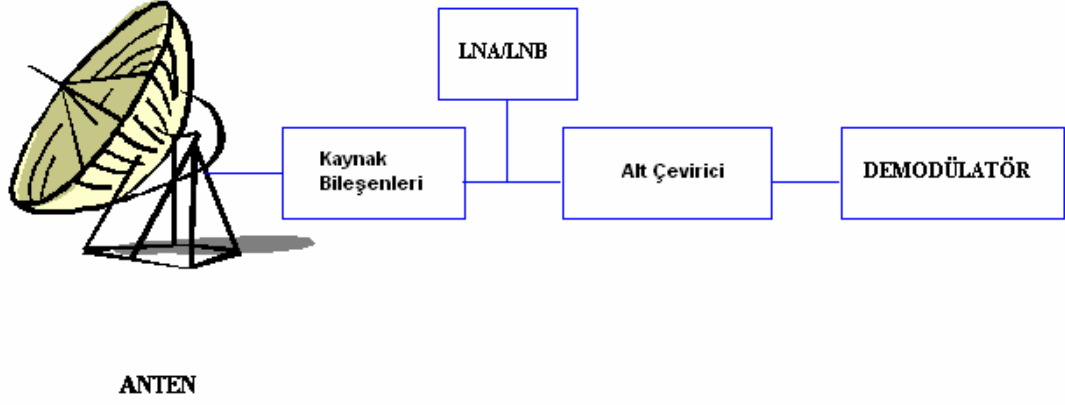
1. Filtre (BPF)
2. Düşük gürültülü giriş yükselteci (LNA)
3. Frekans çevirici
4. Düşük güç yükseltici (LPA)
5. Bant geçiren filtre (BPF)



Şekil 2.3. Uydu transponderi

Girişde bulunan BPF, LNA'nın girişine uygulanan gürültüyü sınırlar. LNA'nın çıkışı, yüksek frekansı düşük frekansa çeviren bir frekans çeviriciye (kaydırma osilatörü ve BPF) bağlanmıştır. Daha sonra indirme hattından yer istasyonu alıcılarına göndermek için frekans yükseltilir.

Alıcı Yer İstasyonu : Uyduya gönderilen bir mikrodalga sinyalinin yer istasyonu tarafından alınır (down-link). Bir yer istasyonunun alıcı sistemi, anten, besleme, alıcı ve demodülatör katlarından oluşur.



Şekil 2.4. Uydu alıcısı ⁽¹⁾

Anten ve besleme ikilisinden gelen RF sinyalinin, düşük gürültülü bir yükselteç veya düşük gürültülü blok çeviriciden geçerek, atmosferik yol alma sırasında sinyalin gürültü gücünü artıran gürültü bileşenleri bastırılır. RF sinyali alt çevirici birimine daha düşük frekanslı IF (intermediate frequency) sinyaline dönüştürülür. Uygun bir demodülatör ile demodüle edilen taşıyıcı sinyalden asıl bilgiyi (ses, görüntü ve bilgi) içeren temelband sinyali elde edilir. Uydu ile yer arasındaki mesafenin uzak olmasından dolayı, uyduya gelen sinyal zayıflar. Bu zayıflama veya kayıp “uzay kaybı” olarak adlandırılır. Uzay kaybı aşağıdaki denklem ile ifade edilir.⁽¹⁾

$$L_p = 10 \cdot \log(4\pi d / \lambda) \quad (2.3)$$

Burada ;

L_p : serbest uzay kaybı (dB)

d : uydunun yer istasyonuna olan uzaklığı (m) dır.

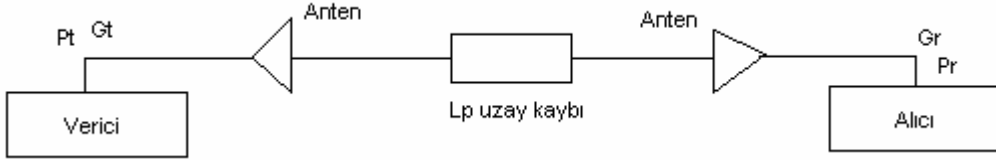
Bununla birlikte, atmosferdeki nemden dolayı oluşan kayıplar vardır.

Atmosferdeki nem kaybı ;

$$L \text{ [dB/m]} = 0,44 \cdot g / \lambda^2 \quad (g = 1 \text{ m}^3 \text{ deki gram nem miktarı})$$

şeklinde hesaplanır.

Sistem uzay kaybına göre analiz edilirse ;



Şekil 2.5. Uydu haberleşme sisteminde verici-alıcı antenler ve kayıplar

Uydu veya yer istasyonunun antenine uzun bir mesafe yayılma yaptıktan sonra ulaşan taşıyıcı güç seviyesi aşağıdaki denklem yardımıyla bulunur.

$$(C) = (Pt) - (Lft) + (Gt) - (Lp) + (Gr) - (Lfr) \text{ dBW} \quad (2.5)$$

$$(C) = (eirp) - (Lp) + (Gr) - (Lfr) \text{ dBW}$$

Burada ;

C : Alınan taşıyıcı güç seviyesi (dBW)

Gr : Alıcı anten kazancı (dB)

Lfr : Alıcı bağlantı kayıpları (dB)

$$eirp = 10 \log_{10} (Pt \cdot Gt) \text{ dBW}$$

Pt : Veriş taşıyıcı gücü (W)

Gt : Veriş taşıyıcı kazancı (dB)

Eşdeğer Gürültü Sıcaklığı : Bir uydu sisteminin performansını değerlendirirken çevresel sıcaklık ve eşdeğer gürültü sıcaklığı göz önüne alınır.

Toplam gürültü gücü ;

$$N = K.T.B \quad (2.6)$$

N : Toplam gürültü gücü (W)

K : Boltzman sabiti (J/K)

B : Bant genişliği (Hz)

T : Çevre sıcaklığı (K)

Gürültü faktörü ;

$$NF = 1 + T_e/T \quad (2.7)$$

T_e : Eşdeğer gürültü sıcaklığı (K)

NF : Gürültü faktörü

T : Çevre sıcaklığıdır.

Denklemler düzenlenirse ;

$$T_e = T.(NF-1) \quad (2.8)$$

olur. Eşdeğer gürültü sıcaklığı hesaplanması mümkün olacak, ölçülemeyen varsa - yıma dayalı değerdir.

Gürültü yoğunluğu : 1 Hz'lik bant genişliğinde normalleştirilmiş toplam gürültü gücü ya da 1 Hz'lik bant genişliğinde mevcut gürültü gücüdür.

Matematiksel ifade ;

$$N_o = N/B = K.T_e \quad (2.9)$$

N_o : Gürültü yoğunluğu (W/Hz)

şeklindedir.

Taşıyıcı – Gürültü Yoğunluğu Oranı : C/N_o , Ortalama genişbant taşıyıcı gücünün gürültü yoğunluğuna oranıdır. Matematiksel ifadesi ;

$$C/ N_o = C/ KTe \quad (2.10)$$

şeklinde olur.

Bit Enerjisi – Gürültü Yoğunluğu Oranı :

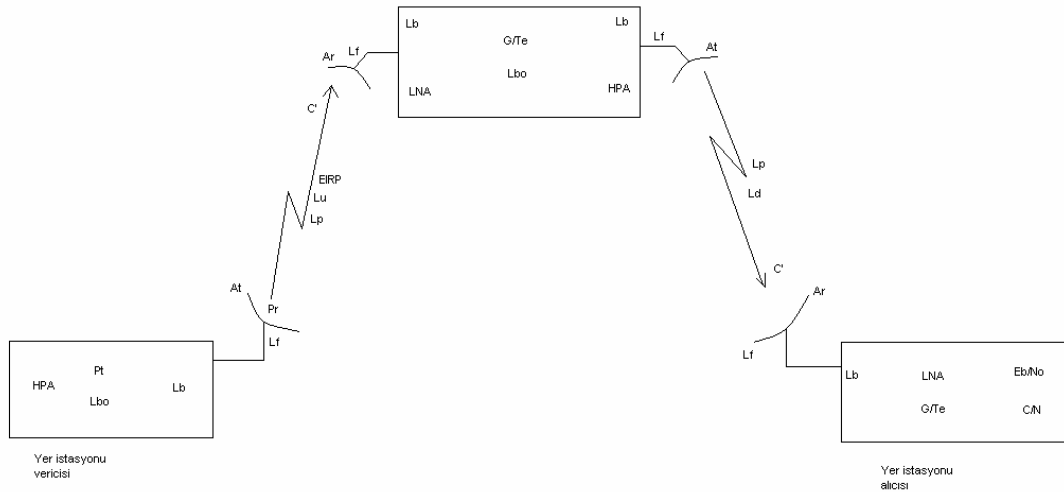
$$E_b / N_o = (C/F_b) / (N/B) = C.B / N.F_b \quad (2.11)$$

bağıntısı ile verilir.

Kazanç – Eşdeğer Gürültü Sıcaklığı Oranı : Alma anteni kazancı ile LNA'nın kazanç toplamının, eşdeğer gürültü sıcaklığına oranıdır. Matematiksel ifade ;

$$G / T_e = [A_r + A (LNA'nın)] / T_e \quad (2.12)$$

bağıntısıyla verilir.



Şekil 2.6. Uydu iletişim kazanç- kayıp şeması

HPA : Yüksek güç yükselteci

Pt : HPA çıkış gücü

Lbo : zayıflama kaybı

Lf : Besleme hattı kaybı

Lb : Dallanma kaybı

At : Gönderme anten kazancı

Pr : Toplam yayılan güç = Pt – Lbo – Lb – Lf

EIRP : Etkili izotrop yayılan güç = Pr.At C/N : Taşıyıcı gürültü oranı

Lu : Atmosferin yol açtığı ek çıkarma hattı kayıpları

Lp : Yol kaybı

Ar : Alıcı anten kazancı

G/Te : Kazanç eşdeğer gürültü sıcaklığı oranı

Ld : Atmosferin yol açtığı ek indirme kayıpları

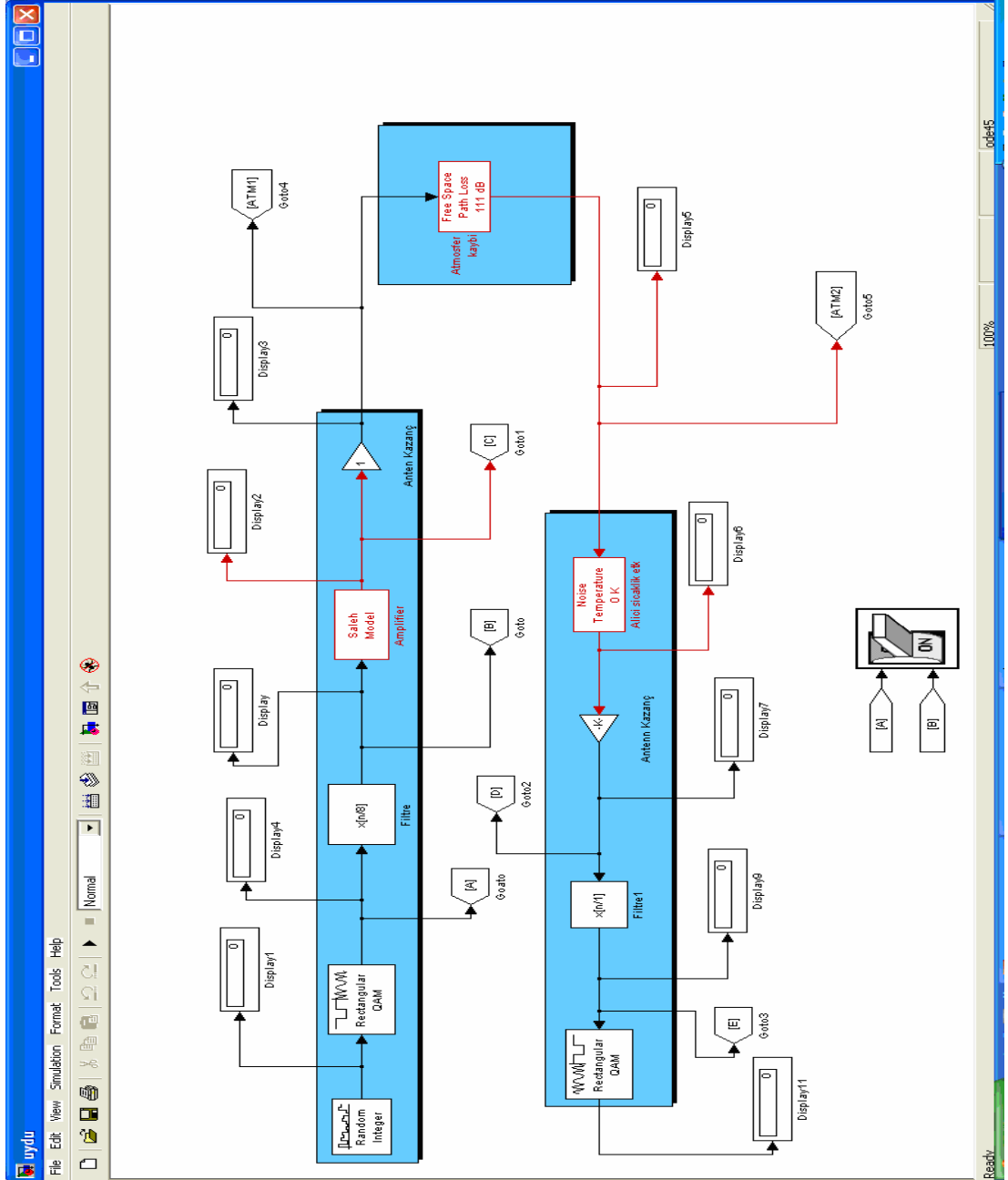
LNA : Düşük gürültülü yükselteç

C/Te : Taşıyıcı eşdeğer gürültü sıcaklığı oranı

C/No : Taşıyıcı gürültü yoğunluğu oranı

Eb/No : Bit enerjisi gürültü yoğunluğu oranı

Bir uydu haberleşme sisteminin transponder – yer istasyonu arasında yapılan sinyal iletimindeki işlemlerden birkaç tanesi kullanılarak Matlab bilgisayar programında simüle edilirse , Şekil 2.7’de görülen alıcı-verici simülasyonu elde edilir.



Şekil 2.7. Alıcı-verici simülasyonu

Simülasyonda girişte üretilen rasgele bilgi sinyali çıkışta da elde edilmiştir. Ara işlemlerde sayısal modülasyon, filtreleme, yükseltme ve uzay kaybı işlemleri uygulanmıştır. Program çalıştırılınca girişteki bilgi sinyalinin uygulanan ara işlemlerden sonra çıkışta da elde edildiği görülmüştür.

2.2. Çoklama Teknikleri

60'lı yılların sonunda PCM tekniğinin kullanılmaya başlanmasıyla, konuşma işlemeye ilişkin ilk kilometre taşı atılmış oldu. 64 Kbit ITU-T G711 PCM tekniği, iletim hatalarının azlığı ile ses ve ses bandında data iletişimi için uygun bir ortam hazırlamıştır. 80'li yılların başında yeni sayısal sinyal işleme tekniklerinin ortaya çıkması ile birlikte iletim sistemlerinin verimliliği artmış, buna karşılık iletim ortamlarının maliyetleri de düşmüştür.⁽¹⁾

2.2.1. Kanal Çoklaması

Kanal çoklaması iki farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilebilir.

- 1) Sayısal Devre Çoklama Techizatı (Digital Circuit Multiplication Equipment)
- 2) Paket Devre Çoklama Techizatı (Packet Circuit Multiplication Equipment)

Her iki devre çoklama yönteminde DSI ve ADPCM tekniklerinden yararlanır.

2.2.2. Sayısal Ses Sıralama (DSI)

Sayısal ses sıralama (DSI), trunk kanallarını daha az sayıda bearer kanalı üzerine sıkıştırma işlemidir. Karşı uçta bearer kanalları, tekrar giren kanal sayısı kadar trunk kanalına çevrilir. DSI çalışma mantığı trunk kanalını sadece üzerinde aktif konuşma varken 'bearer' kanalına bağlamak olarak özetlenebilir. Bir telefon konuşmasında ortalama olarak zamanın % 30-40'ında konuşma vardır. Geri kalan zaman dinleme ve konuşma arası duraklamalar nedeniyle boşa harcanmaktadır.

Normal bir telefon konuşmasında iki kişi aynı anda konuşmayacağından, diğer yön boş kalacaktır. Konuşan kişinin nefes alma süresi ve sözcükler arasındaki

boşlukları da kanalın aktif olarak kullanılmadığı zamanları oluşturur. DSI bu boşlukları değerlendirir ve boşluklarda kanalı ayırıp, konuşma olduğu zamanlarda bearer kanalını trunk'a bağlar. Sonuç olarak DSI trunk kanallarındaki konuşma burst'lerini birleştirip daha az sayıdaki bearer kanalına bağlar.

Her biri % 33'lük aktif ses faktörüne sahip 3 adet trunk kanalının bir adet bearer kanalına yerleştirilmesi gösterilmiştir. Teoride bu üç kanal 1 adet bearer kanalına sıkıştırılabilir. Alış tarafında karışıklılığın engellenmesi amacıyla hangi konuşma türünün hangi trunk'a ait olduğunu göstermek amacıyla yerleştirme ve kontrol bilgileri ayrı bir bearer kanalına bağlanır. Bir trunk kanalı aktif hale gelip karşılığında boş bir bearer bulamadığında, o konuşma burst'ünün başlangıcında bir kesinti oluşur. En kötü durumda aynı anda birden fazla konuşma burst'ü üretilip yeterli bearer kanalı bulamazsa tüm konuşma burst'ü tümünden kesilebilir.

Dondurma (Freezeout), Dondurma orantısı (FOF) olarak tanımlanır ve bir kanalın dondurulma işlemine maruz kaldığı toplam sürenin, aktif olduğu ve askıya alındığı toplam süre ile bütün trunk'ların sabit bir periyottaki aktif hale geçmeden önceki bütün gecikmelerin toplamına olan oranına denir. ITU'nun önerisine göre %2'yi aşmaması gerekir.

DSI fonksiyonu konuşma seviyesinin tespit edilmesi temeline dayalı olup, ses sinyali eşik seviyesine ulaşıldığında bearer eşleme işlemi başlatılmış olur. Konuşma burst'ünün bitmesinin ardından bir askıya alma zamanı sağlanıp FOF'in düşük kalması temin edilmeye çalışılır.⁽¹⁾

2.2.3. Uyarlanabilir Farksal Darbe Kod Modülasyonu

ITU-T nin dört ayrı ADPCM algoritma önerisi vardır :

- 1) ITU-T G721 ilk ADPCM algoritması olup 64 kbit/s sayısal oranını sabit 32 kbit/s 'a çevirir. Bu algortmada 4.8 kbit/s dan yüksek hızda ses bandı data iletimi gerçekleştirilemez 1.2 kbit/s altında düşük hızlı ses iletimi yüksek bit hata oranına sahiptir.
- 2) ITU-T G723 kodlu düzenleme ses bandında data iletiminde değişken ses bandı kullanılarak bant sınırlamasını aşmayı amaçlar. Bit oranı her bir örnek için 3, 4 veya 5 olabilir.
- 3) ITU-T G726 bu önerme G723'ün genişletilmiş şekli olup DCME de ses taşıyan overload kanallarının 2 veya 3 bit'e (16 ve 24 kbit/s) örneklenebileceğini belirtir. Overload kanalları bit çalma yöntemiyle oluşturulur.
- 4) ITU-T G727 yerleştirilmiş ADPCM olarak bilinir ve PCME (paket devre çoklama sistemi) sistemlerinde kullanılır.⁽¹⁾

2.2.4. DCME

Sayısal devre çoklama ekipmanı DCME, ITU-T'nin G763 sayılı önermesiyle DSI ve ADPCM tekniklerinin bir arada kullanılmasıyla gerçekleştirilen bir kanal çoklama yöntemidir.

Bearer Çerçevesi: DCME Bearer çerçeve çıkışı CEPT çerçeve yapısıyla uygundur. (125 Ms) Bir bearer çerçevesi 8 bitlik bir çerçeve düzenleme sözcüğü, bir tane 4 bitlik kontrol kanalı ve 61 tane herbiri 4 bitlik bearer kanalından oluşur.

DCME Çerçevesi: 16 tane bearer çerçevesinden oluşurken DCME Çoklu çerçevesi 64 adet DCME çerçevesinden oluşur.⁽¹⁾

2.3. Modülasyon

Bilginin bir yerden başka bir yere kısa sürede, hatasız ve güvenli bir şekilde taşınması oldukça önemlidir. Bu nedenle iletişim teknolojisi bir çok iş kolunda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İletişimde taşınacak verinin elektronik ortamdaki değişkenlerle ifade edilmesi gerekmektedir. Bunun için veri algılayıcılar ve dönüştürücüler yardımıyla, elektrik sinyaline çevrilmekte ve elde edilen bu sinyalde verinin taşınacağı ortama aktarılmaktadır. Sinyaller, atmosfer, fiberoptik kablo gibi birçok ortamda taşınmaktadır. Bu sinyaller daha sonra, cihaz yardımıyla algılanıp bazı işlemlerden geçirilerek içindeki bilgiler çıkarılmaktadır.

Taşıyıcı sinyal üzerinde bir ortamda taşınan sinyal üzerinde bazı bozulmalar oluşmaktadır. Dış ortamdaki değişimler veya diğer sinyaller, iletilen sinyalin bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle sinyalin mümkün olduğunca az bozulmaya uğraması için, sinyal üzerinde bazı işlemler gerçekleştirilmektedir. Yani sinyalin iletiildiği ortama uygun hale getirilmesi için bir takım işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bilgi sinyalinin karşı tarafa mümkün olduğu kadar az bozularak ulaştırılması için gerekli işleme modülasyon adı verilmektedir.

2.3.1. Modülasyon Yöntemleri

Elektrik sinyaller analog ve dijital olarak iki grupta toplanmaktadır. Analog sinyaller, zamanın sürekli fonksiyonu olan sinyallerdir. Dijital sinyaller ise, herhangi bir zaman aralığında belirli değerler alan sinyallerdir. Dijital ve analog sinyallerde farklı modülasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Analog sinyallerin modülasyonunda, yaygın olarak bilinen iki modülasyon türü kullanılır. Bunlar, Genlik modülasyonu (Amplitude Modulation) ve Frekans modülasyonudur (Frequency Modülasyon). Genlik modülasyonunda bilgi sinyalin genliği ile taşıyıcı sinyalin genliğinde değişimler oluşturulmaktadır. Matematiksel olarak işlem yapıldığında, bilgi sinyali ile yüksek frekanstaki taşıyıcı sinyalin çarpımıyla elde edilen sinyal yine yüksek frekansta taşıyıcı sinyalin frekansına yakın bir frekansa sahip olmaktadır. Analog sinyallerin modülasyonunda yaygın olarak kullanılan bir başka yöntemse, frekans modülasyonudur (FM). Bu modülasyonda, iletilmek istenen bilgi sinyali, taşıyıcı sinyal üzerinde bir faz farkı oluşturmaktadır. Böylece frekansı zamanla değişen bir sinyal elde edilmektedir. Oluşturulan sinyalin frekansındaki değişimler, iletilmek istenen bilgi sinyalinin değişimlerinin göstergesidir. Bilgi sinyalinin taşıyıcı sinyal üzerine bindirilmesi ile oluşan sinyalin frekansı taşıyıcı sinyalin frekansına yakın değerlere sahiptir. Bu yöntemde de iletilmesi gereken bilgi sinyali kendi frekansından farklı bir frekansça iletilmektedir.

Dijital sinyaller ise 0 ve 1 değerlerinden oluşmaktadır. Dijital sinyallerin iletilmesinde çeşitli modülasyon türleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında QPSK, TCM,PAM,...vs. modülasyonları kullanılmaktadır. PAM modülasyonunda kısa süreli kare dalgalar taşıyıcı sinyal olarak kullanılmaktadır. PAM modülasyonunda, 0 değerleri için sinyal göndermemek, 1 değerleri için ise kare dalga göndermektir.

Ancak dijital sinyallerin iletilmesinde daha değişik yöntemler de kullanılabilir. Yani 1'ler için pozitif, 0'lar için negatif genliğe sahip kare dalgalar gönderilebilir. Bu modülasyon türünde, iletişimde kullanılan önemli bir yöntemin temelini oluşturan analog sinyallerin belirli anlardaki genlikleri iletildiğinde, bu değerlerden iletilmesi gereken sinyal elde edilebilmektedir. Başka bir ifadeyle iletilecek sinyalden belirli anlarda örneklemeler alınmakta ve bu belirli anlardaki değerlerden sürekli bir sinyal oluşturabilmektedir.

2.3.2. Sağladığı Kolaylıklar

Daha önce belirtildiği gibi, iletilecek sinyalin, taşınacak ortama uygun yapıda olması gerekir. Bir sinyalin istenilen yapıda olmasını belirleyen en önemli kriter, sinyalin frekansıdır. Haberleşme teknolojisindeki sinyaller, belirli bir frekans aralığına sahiptir. Genel olarak ses bilgi sinyalleri düşük frekans değerlerine sahiptir. Bir ses sinyali 100 Hz'in altındaki bileşenlerden oluşmaktadır. Modülasyon, ses sinyalinin istenen frekansta taşınmasını sağladığından, sağlıklı bir iletişim sağlanmaktadır.

Bir sinyalin taşıyabileceği bilgi miktarını sinyalin frekans aralığı belirlemektedir. Örneğin 5 GHz'lik frekansa sahip bir mikrodalga sistemi, 500 kHz'lik bir radyo kanalından on bin kat fazla bilgi taşıyabilmektedir. Daha yüksek frekansa sahip bir lazer ışını ise on milyon televizyon kanalının gerçekleştirebileceği taşıma potansiyeline sahiptir. Fakat yüksek frekanslarda bilgi taşıma daha yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Maliyetin en uygun değerde olması için, bir kanalda iletilebilecek sinyal aralığının, taşıyıcı sinyalin frekansa oranının % 10'un altında olması gerekmektedir. Yüksek frekansta bilgi taşımak ayrıca anten boyutları

açısından da fayda sağlamaktadır. Bir bilgi sinyalinin iletimi için, kullanılacak antenin minimum boyunun, sinyalin dalga boyunun dörtte biri olması gerekmektedir. Sinyallerin dalga boyu da frekanslarıyla ters orantılıdır. Bir ses sinyalinin frekansı 100 Hz ise bu sinyalin iletilebilmesi için $\lambda = c/f = 3000 \text{ km}$, $3000\text{km}/ 4$ uzunluğunda bir antene ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak frekansı 100 MHz olan bir sinyal kullanılırsa $\lambda = c/f = 3\text{m}$, $3/4$ metrelik bir anten yeterli olmaktadır. Taşınması gereken sinyaller, vericiden alıcıya ulaşması esnasında bazı dış etkenlere maruz kalmakta ve bozunuma uğramaktadır. Bu etkenlerin temel olarak iki önemli nedeni vardır. Birincisi, ortamda bulunan diğer sinyallerdir. Bu sinyaller iletişim için kullanılan sinyaller, yani iletişim sistemlerinin ürettiği sinyallerdir. Bu sinyaller girişime uğradıklarından birbirleri üzerinde olumsuz etkiye sahiplerdir. Sinyallerin bozulmasına etki eden diğer etken ise, doğal şartlardır. Sıcaklık değişimi yada atmosferdeki elektriklenme gibi doğal olaylar gerilim değişimlerine neden olduklarından sinyalleri bozarlar. Gürültü adı verilen bu olayın ne gibi etkilere sahip olacağı önceden tahmin edilemez. Ancak kullanılan filtreler gürültüden korunmada etkin rol oynamaktadır. Sinyaller üzerindeki bu olumsuz etkiler incelendiğinde, bu etkilerin de sinyaller olduğu görülmektedir. Bu sinyaller de belirli bir enerji taşımaktadır. Bir sinyalin bozunuma uğrayıp uğramadığını da, sinyalin enerjisinin bu etkenlerin enerjisine oranı belirlemektedir. Eğer iletilecek sinyalin enerjisi yükseltirse, dış etkenlerin neden olduğu bozulmalar minimuma düşürülecektir. Bir sinyalin enerjisini belirleyen temel kriter de frekanstır.⁽¹⁾

Modülasyonun en önemli faydası, bilgi sinyallerin ayırt edilmesinin sağlanmasıdır. Ses sinyalinin frekansının değeri 100 Hz'in altındadır. Bu durumda yayın yapan radyoların sinyallerinin ayırt edilmesi oldukça zordur. Ancak modülasyon sayesinde her radyonun yayını belirli bir taşıyıcı sinyal frekansında

gerçekleştirmektedir. Böylece her ses sinyali farklı bir frekans değerinde iletilmekte, radyoların alıcıları bu belirli bir frekansta yayın yapan radyoların frekansına ayarlandığında taşıyıcının sinyalinin frekansına yakın değerde bulunan sinyaller filtrelenmektedir. Dolayısıyla modülasyon iletişim sistemlerinin önemli bir aşamasıdır.

2.3.3 Modülasyon Teknikleri

2.3.3.1 Genlik Modülasyonu

Eğer bilgi işareti taşıyıcının genliğini değiştiriyorsa genlik modülasyonu (AM), frekansını değiştiriyorsa frekans modülasyonu (FM), fazını değiştiriyorsa faz modülasyonu (PM), fazını ve genliğini değiştiriyorsa dik modülasyon (Quadrature Amplitude Modulation =QAM) elde edilir.

Modülasyon işlemi aynı zamanda frekans kaydırma işlemidir. Genlik modülasyonunda frekans kaydırma , bilgi işaretiyle taşıyıcı işaretin çarpılması ve elde edilen işarete taşıyıcı işaret eklenmesiyle elde edilir. Burada tekrar taşıyıcı eklenmenin amacı alıcı uçta bilgi işaretinin kolayca elde edilebilmesini sağlamaktır.

Taşıyıcılı genlik modülasyonlu işaretin ifadesini en genel biçimde ;

$$S(t)=A \cdot [1 + m_a \cdot m(t)] \cdot \cos W_c t \quad (2.13)$$

bağıntısı ile verilir.

2.3.3.2. Açısal Modülasyon veya Üstel Modülasyon

Sinüsoidal bir işaret genlik, frekans ve fazı ile tanımlanabilir. Bir sinüsoidal taşıyıcı işaretin bu üç büyüklüğünden genliğinin, bir bilgi (modüle eden) işarete

bağlı olarak değiştirilmesine Genlik modülasyon (lineer modülasyon) denilmektedir. Frekansın ve fazın modüle eden işarete bağlı olarak değiştirilmesine ise açısız veya üstel modülasyon denir ve aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$C(t) = A \cdot \cos\theta(t) \quad (2.14)$$

Modüleli işaretin, frekans veya fazının bildiri işaretiyle değiştirilmesi $\theta(t)$ açısının değiştirilmesidir ve buna da açısız modülasyon denir. Açısız modülasyonlu sinüsoidal işaret üstel biçimde ise aşağıdaki gibi de yazılabilir:

$$C(t) = \text{Re} [A \cdot e^{j\theta(t)}] \quad (2.15)$$

Bilgi işareti, yukarıda verilen modülasyonlu işaretin ifadesinde, üstü değiştirdiğinden yapılan açısız modülasyona üstel modülasyon da denir.

Genlik modülasyonunda, modüle eden işaretin her frekans bileşeni modülasyonlu işaretin spektrumunda bir veya iki bileşen (alt veya üst SSB bileşenleri) bulundurmaktadır. Modülasyonlu işaretin band genişliği de modüle eden işaret band genişliğine (SSB) veya iki katına (Taşıyıcılı AM veya DSB) eşittir. Üstel modülasyonda ise modüle eden işaretin fm frekans bileşeni, modülasyonlu işaret spektrumunda sonsuz sayıda bileşen bulundurur. Bundan dolayı üstel modülasyonlu işaretin band genişliği teorikte sonsuzdur. Dolayısıyla üstel modülasyonlu işaretin genlik modülasyonuna göre daha büyük bant genişliğine ihtiyaç göstermesine karşılık, işaret /gürültü oranı bakımından daha iyi sonuçlar vermektedir.⁽¹⁾

2.3.3.3. Faz Modülasyonu

Sinüzoidal bir $f(t)$ işareti için frekans modülasyon dalga biçiminin ani frekansı

$$W_i(t) = W_c + \Delta W \cdot \cos W_m t$$

şeklinde olur. (2.16)

Aynı sinüzoidal giriş işareti için faz modülasyonlu işaretin açısı ise,

$$\theta(t) = W_c \cdot t + m_p \cdot m(t) \quad (2.17)$$

bağıntısı ile verilir.

2.3.3.4. Frekans Modülasyonu

Frekans modülasyonunda $f(t)$ mesaj işareti için ani frekans,

$$W_i(t) = W_c + k_f \cdot f(t) \quad (2.18)$$

şeklindedir.

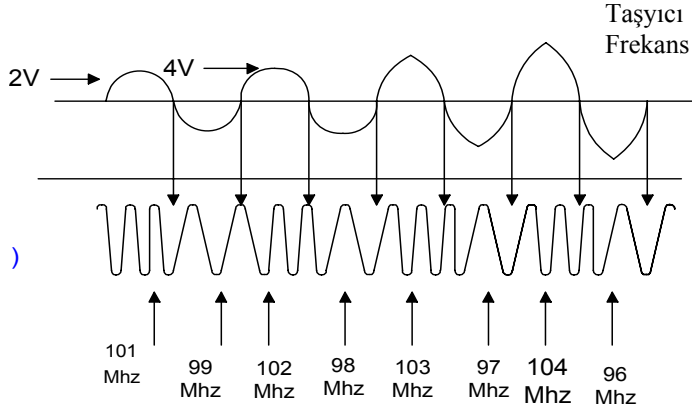
Frekansını modüle edilmiş sinüzoidal açısı ise,

$$\theta(t) = 2\pi \int_{t_0}^t f_i(t) \cdot dt = 2\pi f_c t + 2\pi m_p \int_{t_0}^t m(t) \cdot dt \quad (2.19)$$

ifadesi ile verilir. Frekans modülasyonlu işaret içinde aşağıdaki ifade verilir,

$$S(t) = A \cdot \cos \left[2\pi f_c \cdot t + 2\pi m_p \int_{t_0}^t m(t) \cdot dt \right] \quad (2.20)$$

eşitlikten görüleceği gibi frekans modülasyonunda da işaretin fazı da modüle eden işarete bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca $S(t) = A \cdot \cos [W_c \cdot t + m_p \cdot m(t)]$ ifadesinden faz modülasyon işaretinin de frekansını modüle eden işarete göre değişmektedir. Bu özelliklerinden dolayı frekans ve faz modülasyonları birbirlerine çok benzerler. Dolayısıyla bu türev devresi ve frekans modülatörü kullanarak faz modülasyonu, bir integral devresi ve faz modülatörü kullanarak da frekans modülasyonu gerçekleştirilebilir.⁽¹⁾ Frekans modülasyonun şematik gösterimi Şekil 2.7'de görülmektedir.



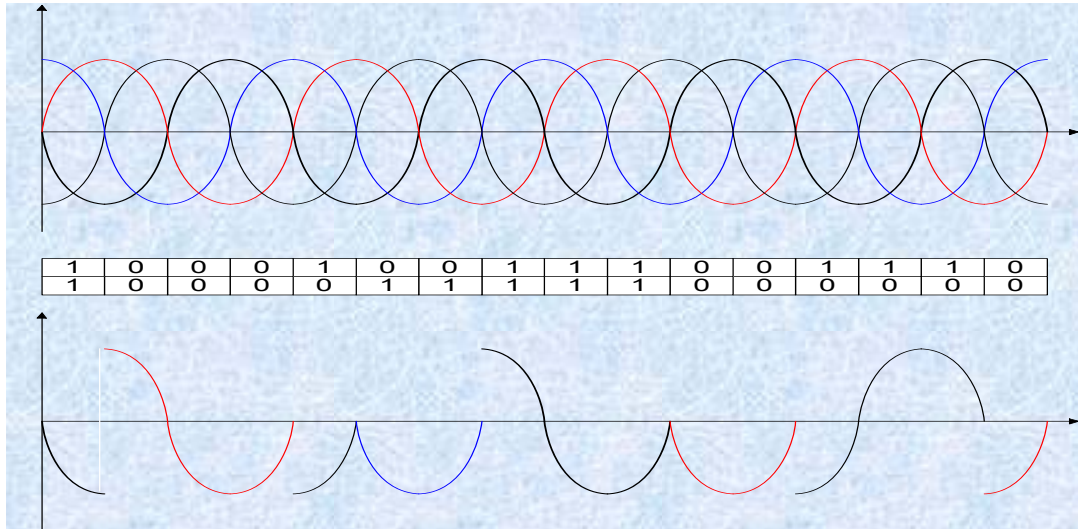
Şekil 2.7. Frekans modülasyonunun şematik gösterimi

Modüle edilmemiş bir taşıyıcının frekansına, merkez frekansı denir. Modülasyon esnasında taşıyıcının frekansı bu merkez frekansının altında ve üstünde değişir. Modüle eden işaretin genliği sıfırsa, FM modülasyonlu işaretin frekansı merkez frekansına eşittir. Modüle eden işaretin genliği pozitif yönde artacak olursa, modüleli işaretin frekansı da buna bağlı olarak yükselir ve modüle eden işaret maksimum genliğe eriştiğinde, modüleli işaretin frekansı da maksimum frekans değerine yükselir. Modüle eden işaretin genliği azalacak olursa, modüleli işaretin frekansı da azalır ve modüle eden işaret sıfır olduğunda modüleli işaretin frekansı da merkez frekansına düşer. Aynı şekilde modüle eden işaretin genliği negatif yönde arttığında, modüleli işaretin frekansı da merkez frekansından aşağıya düşmeye başlar ve modüle eden işaretin genliği minimuma ulaştığında modüleli işaretin frekansı da en düşük frekans değerine ulaşır. Daha sonra genlik değeri sıfıra çıktığında modüleli işaretin frekansı da merkez frekansına ulaşır. Taşıyıcı frekansında, modüle eden işaretin maksimum ve minimum genliklerinin sebep olduğu değişme miktarına frekans sapma miktarı (deviation) denir. Şekil 2.8'den de görüldüğü gibi modüle eden işaretin genliği ne kadar büyük ise FM işaretinin frekans sapma miktarı da buna bağlı olarak o kadar büyük olacaktır. Örneğin, modüle eden

işaret 100MHz'lik bir taşıyıcıyı 99.99MHz ile 100.01MHz arasında değiştirsin, burada maksimum frekans sapma miktarı $100.01-99.99=\pm 20\text{KHz}$ olur. Modülasyonlu işaretteki bu frekans sapma miktarlarının sayısı modüle eden işaretin frekansına bağlıdır. Eğer 4KHz'lik modüle eden işaret bir taşıyıcı modüle ediyorsa, bu FM işaretinde frekans sapması; saniyede 4000 kez tekrarlanıyor demektir.

2.3.3.5. Darbe Kod Modülasyonu

AM ve FM sisteminde, bir sinyal ile değerlendirilmiş sürekli bir taşıyıcı vardır. Herhangi bir veri aktarımı söz konusu olmasa bile, bu sinyal sürekli olarak değerlendirilir. Oysa bu sinyal bu aşamada gerekli değildir. Bu düşünceden yola çıkılarak, sinyal sürekli olarak örneklenip ve dijital dataya çevrildi. Bu şekilde PCM kullanılmaya başlandı. Transmisyon gerekli olduğu durumlarda yapılıp ve data kaybı durumunda tekrardan gönderebilme olanağı vardır.



Şekil 2.8 Darbe Kod Modülasyonu (PCM) 'nun şematik gösterimi.

Şekil 2.8.'de görüldüğü gibi Darbe Kod Modülasyonu'nda sinyalin belli bir

zaman periyoduyla genlik değerleri ölçölür ve bu değerler ikili sayılarla kodlanır.

Örnekleme 8 digitte yapılyorsa, alınan her darbe için 256 farklı değer atayabilme olanağı tanır. Örneklerin kodlanması 256 farklı değerle yapılabileceğinden belirli bir oranda hata yapılacaktır.⁽¹⁸⁾

sinyalin max genliği : +5 V

sinyalin min genliği : -5 V

n : 8 digit

8 digit 256 farklı değer demektir.

$10 \text{ V} \div 256 = 0.039$, kısaca 0.04 V

alınan genlik değeri 1.2 V ise bu değer hatasız olarak kodlanabilecektir. Çünkü 1.2 V'a karşılık gelen binary kodu mevcuttur. ($1.2 \div 0.04=30$)

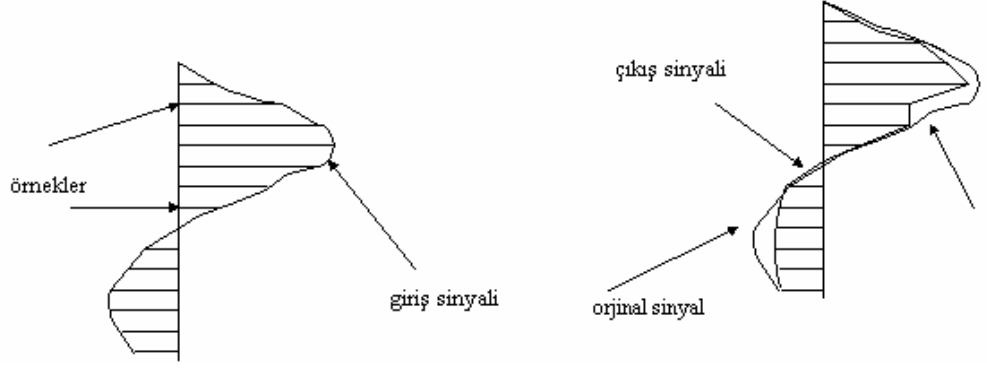
Eğer genlik değeri 1.22 olsaydı;

$30 \times 0.04=1.2$, $31 \times 0.04=1.24$

1.22 V değeri 1.24 V gibi kodlanır. Bu da geri dönüşümde 1.24 V olarak çözölür. Burada 0.02 V'luk bir hata yapılmıştır. Bu da örnekleme hatası (Quantizing Distortion) olarak adlandırılır. Sinyal gücünün örnekleme hatası gücüne oranı,

$$S/D=6n+1.8 \text{ dB} \quad (2.21)$$

ile ifade edilir. Görölüğü üzere n değeri (dijit sayısı) 1 arttırıldığında bu oran 6 dB artacaktır.



Şekil 2.9. Bir PCM modülasyonunun örnekleme şematik gösterimi.

Analog dalga formunun örneklenmesiyle sinyal, darbe genlik modülesi sinyal (PAM) katarına çevrilir. Her örnek , örneğin genliğini içeren bir ikili sayıya kodlanır. Çevre koşullarından oluşan gürültü boşaltılarak yeniden üretilir ve iletilir. Bu yeniden üretme (regeneration) işleminde PCM, analog sisteme göre avantaja sahiptir. Analog sistemde, tekrarlayıcı üzerinde sinyal güçlendirilirken aynı zamanda gürültü de güçlendirilmiş olur, sonuç olarak sinyal gürültü oranı kötüye gider. Oysa PCM sisteminde, Çıkış sinyali gürültüden arındırılmış olacaktır. Çünkü regenerator ve receiver darbe var mı, yok mu şeklinde kontrol eder. Receiver kodlanmış sinyali çözer ve analog sinyale çevirir.⁽¹⁾

2.3.3.6. QPSK

Binary sayılarla kodlanmış bir data katarının faz kaydırılarak ifade edilişi psk formunun en basit halidir. BPSK modülasyonunda Binary kaynak 180 derecelik faz farkıyla şekillendirilir. BPSK de her bit 0 ve 180 derece olmak üzere iki fazın birine kodlanır. QPSK de iki kanal aynı anda modülasyona girer ve bitler ikili olarak 0, 90, 180 ve 270 derece olmak üzere dört fazın birine kodlanır. Bu da QPSK modülasyonunun BPSK ye göre avantajlarından biri olup aynı güç etkinliğini BPSK

'dekinin yarısı kadar bir band aralığında gösterebilme olanağı sağlar.

QPSK uydu data transmisyonu ve IBS , IDR sistemlerinin önemli bir parçasıdır. Dört faz modülasyonda(QPSK) bir taşıyıcı 0 ve 180 derecelik vektörlerle, diğer taşıyıcı 90 ve 270 derecelik vektörlerle ifade edilir. İki kanal birbirinden bağımsızdır.

2.4. Çoklu Erişim

Uydu haberleşme sistemlerinde, mevcut iletişim ağlarını kullanarak daha verimli ve yüksek hızda haberleşme yapabilmek için çeşitli çoklu erişim yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar ;

2.4.1. Frekans Paylaşımli Çoklu Erişim

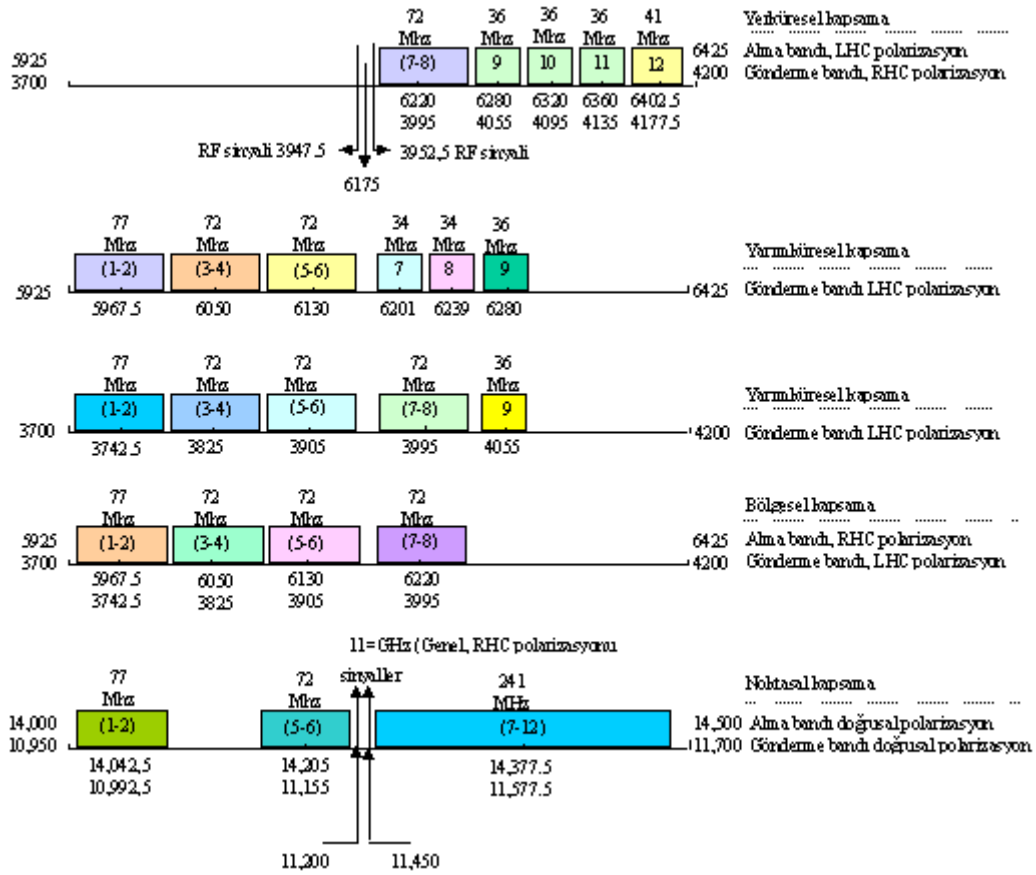
Telefon haberleşmesinin yeni başladığı dönemlerde geliştirilmiştir. Tek bir telefon hattından tek bir görüşme yapılabilmesi zorunluluğundan dolayı frekans bölüşümlü çoğullam kullanılmıştır.

FDM/FM/FDMA : Birçok tek yanbant taşıyıcı telefon kanalını, tek bir taşıyıcı temelbanda frekans paylaşımli çoğullar (FDM-Frequency Division Multiplexing, Frekans Paylaşımli Çoğullama); bu temel bant daha sonra bir taşıyıcıyı bir frekans modülasyonuna tabi tutar ve bu taşıyıcı bir FDMA uydu ağına uygulanır.

Taşıyıcı başına tek kanal : Bu teknikte, her iletişim kanalı ayrı bir radyo frekansı taşıyıcıyı modüle eder.

Örnek olarak C-bandında çalışan Intelsat V transponderi için tipik bir frekans planı Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Uydu aracılığıyla sinyalin yönlendirilmesi, yerden

verilen komutla anahtarlanabilir. Bu özellik, daha fazla sayıda link olasılığı gerçekleştirerek çeşitli alma ve gönderme antenlerinin birçok transpondere bağlanmasına olanak sağlar. FDMA tekniğinde kullanılan polarizasyon yöntemi ile aynı frekans bandından iki sinyal birbirine dik polarizasyonla yollanabilir. Böylece frekans bandının daha verimli kullanılması sağlanmaktadır.⁽¹⁾

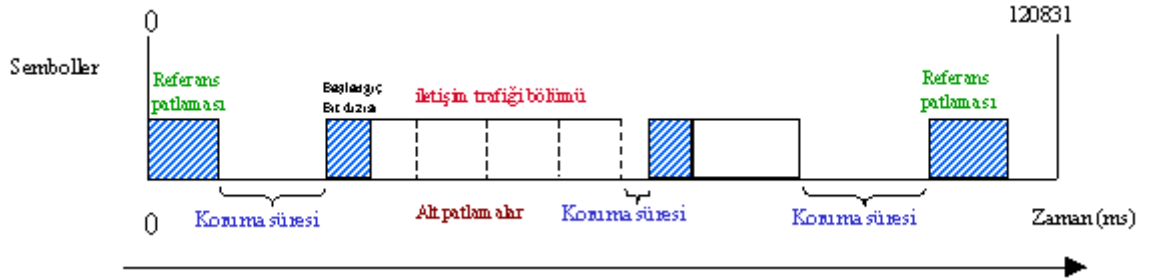


Şekil 2.10. C-bandında çalışan Intelsat V transponderi için tipik bir frekans planı⁽¹⁾

2.4.2. Zaman Paylaşımli Çoklu Erişim (TDMA)

Zaman paylaşımli çoklu erişimde, her kullanıcı uydu transponderine aynı taşıyıcı frekansını kullanarak, belli bir referans zamanına göre belli zaman bölmelerinde erişir. TDMA çerçevesi adı verilen bir zaman aralığı belirlenmiştir, bu

süre içinde, ağdaki tüm kullanıcılar, kendilerine ayrılan zaman bölmeleri içinde bilgi paketlerini iletirler. Her ağ kullanıcılarına tahsis edilen zaman bölmeleri, çerçevede (frame) ne kadar iletişim trafiği iletileceğine ya da alınacağına bağlı olarak değişir. Tipik bir uydu TDMA çalışma sistemi, Şekil 2.11.'da gösterilmiştir.



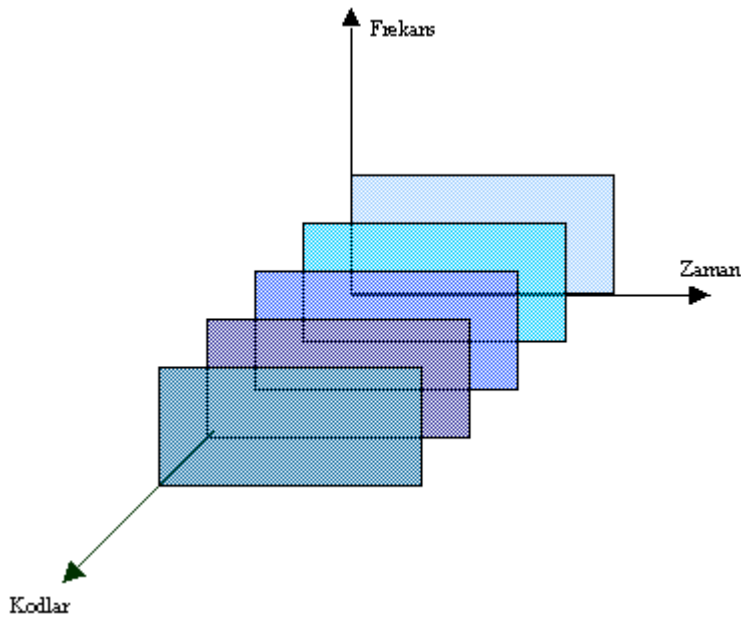
Şekil 2.11. TDMA Zaman Planlaması. (1)

İki ya da daha fazla FDM/FM sinyal aynı anda doğrusal olmayan bir yükselteç tarafından yükseltilirse, bir FDM/FM taşıyıcının temelbandına başka taşıyıcılardan karışma olur. Bu durum oluştuğunda, doğrusal olmayan yükseltecin genlik modülasyonu/faz modülasyonu özellikleri, taşıyıcıda genlik modülasyonu oluşturur, bu da diğer taşıyıcılarda faz modülasyonu meydana getirir (AM/PM dönüşümü). TDMA sayesinde diğer taşıyıcılarda oluşturulacak faz modülasyonu sorunu çözülmektedir, dolayısıyla uydu güç yükselteci, doyum modunda çalıştırılabilir. (1)

2.4.3. Kod Paylaşımlı Çoklu Erişim

Kısaca CDMA olarak adlandırılan Kod Paylaşımlı Çoklu Erişim teknolojisi II. Dünya Savaşı sırasında müttefik kuvvetlerinin, haberleşmeleri sırasında düşman karıştırıcı sinyallerinden etkilenmemesi amacıyla geliştirilmiştir. Günümüzde ise askeri uygulamaların yanı sıra sivil uygulamalarda da sıklıkla kullanılan bir çoklu

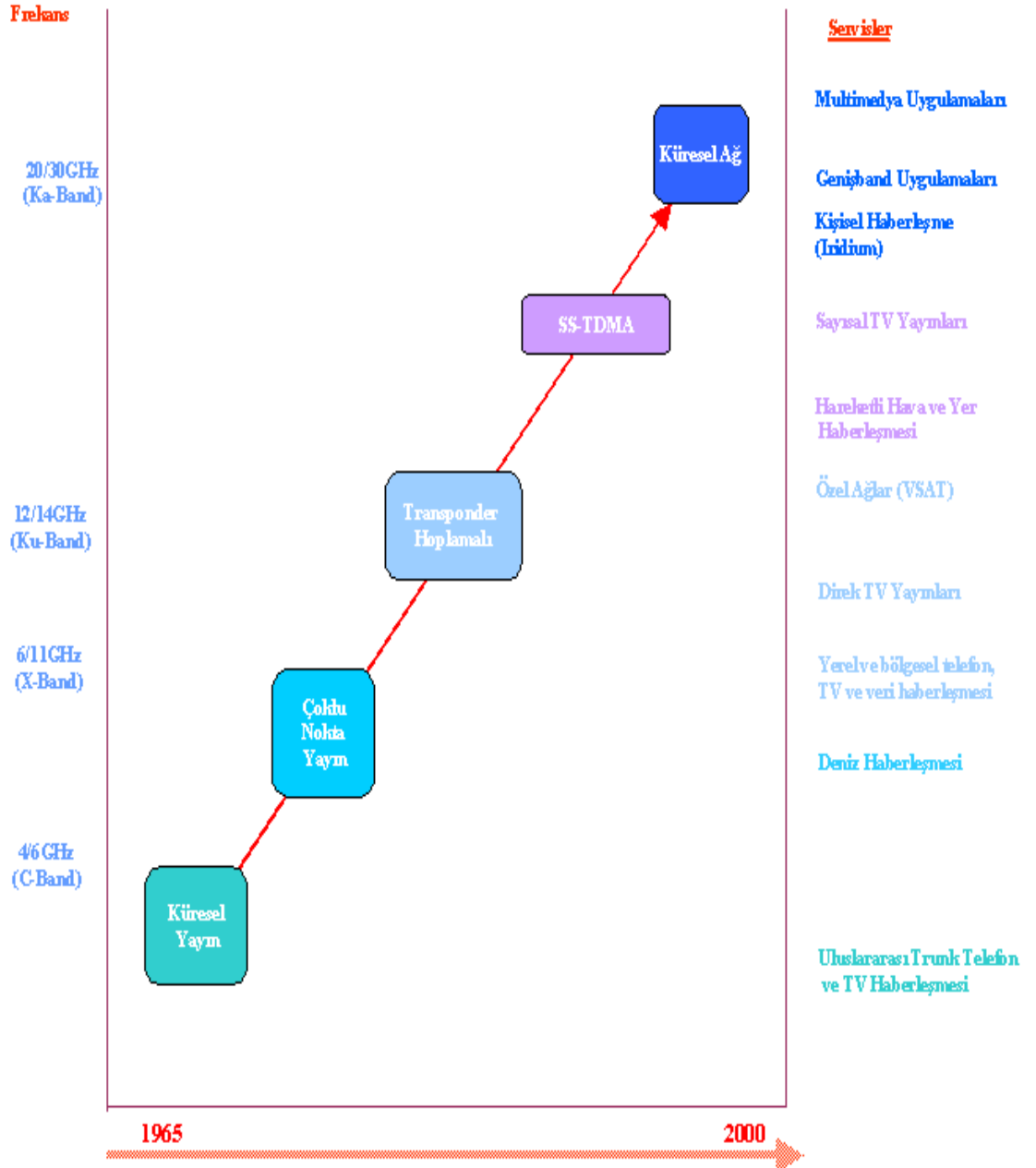
erişim yöntemidir. Bu metot sayesinde tüm kullanıcılar aynı frekans bandını kullanabilirler. Her kullanıcıya ait bilgi yine o kullanıcı için rasgele oluşturulmuş bir kod dizisiyle çarpılarak tüm band boyunca yayılır. Kullanılan kod dizileri birbirlerinden bağımsız olduğu için alıcı tarafında hangi kullanıcıya ait bilgi alınmak isteniyorsa, alınan sinyaller o kullanıcının kodu ile tekrar çarpılarak istenilen bilgiye ulaşılır. CDMA tekniği yukarıda açıkladığımız yöntem sayesinde, kullanıcıların aynı frekans bandını istedikleri zamanda kullanabilmesine olanak vermektedir, literatürde CDMA, SSMA olarak da adlandırılmaktadır. Şekil 2.12'da CDMA modunun basit çalışma sistemi gösterilmektedir.⁽¹⁾



Şekil 2.12. CDMA Kodlama Tekniği⁽¹⁾

Uydu Haberleşmesinde Kullanılan Frekanslar : Uydu haberleşme sistemlerinde genellikle 4 ana frekans bandı kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla C-bandı, X-bandı,

Ku-bandı ve Ka-bandıdır. Çalışma frekansları ve kullanım alanları Şekil 2.13'de gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Uydu Haberleşmesinin Gelişimi⁽¹⁾

2.5. Uydu Haberleşme Antenleri

Uydu antenlerinin temel görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir :

- Kurulduğu bölgede istenen frekans ve polarizasyondaki radyo frekans dalgalarını toplamak.
- İstenmeyen sinyalleri mümkün olduğunca az toplamak.
- İstenen frekans ve polarizasyondaki radyo frekans dalgalarını iletmek.
- Anten hüzmesi dışındaki alanlara minimum güç yaymak.

Uydu haberleşmesinde kullanılan antenler aşağıdaki şekilde sınıflara ayrılabilirler:

Horn Antenler

Dizi (Phased Array) Antenler

Parabolik Antenler

Horn antenler yüksek Kazanç/Gürültü (G/T) oranı sağlasalar da küçük boyutlardaki tipleri dahi çok pahalı olduğundan artık kullanılmamaktadır. Dizi (Phased Array) antenler özellikle hareketli uydu haberleşme sistemlerinde avantaj sağlamasına rağmen kullanılan teknolojinin zorluğu ve maliyetinin yüksek oluşu, bu anten tipinin kullanımını sınırlamaktadır. Kullanılan frekansa göre farklı anten tipleri bulunmaktadır. Uydu Haberleşmesinde mikrodalga frekansla çalışıldığı için Mikrodalga Antenler kullanılır. Mikrodalga antenler dört ayrı grupta sınıflandırılabilir.

MİKRODALGA ANTENLER

- AÇIKLIK ANTENLER
- TRAVELLING ANTENLER
- SLOT ANTENLER
- DİZİ ANTENLER

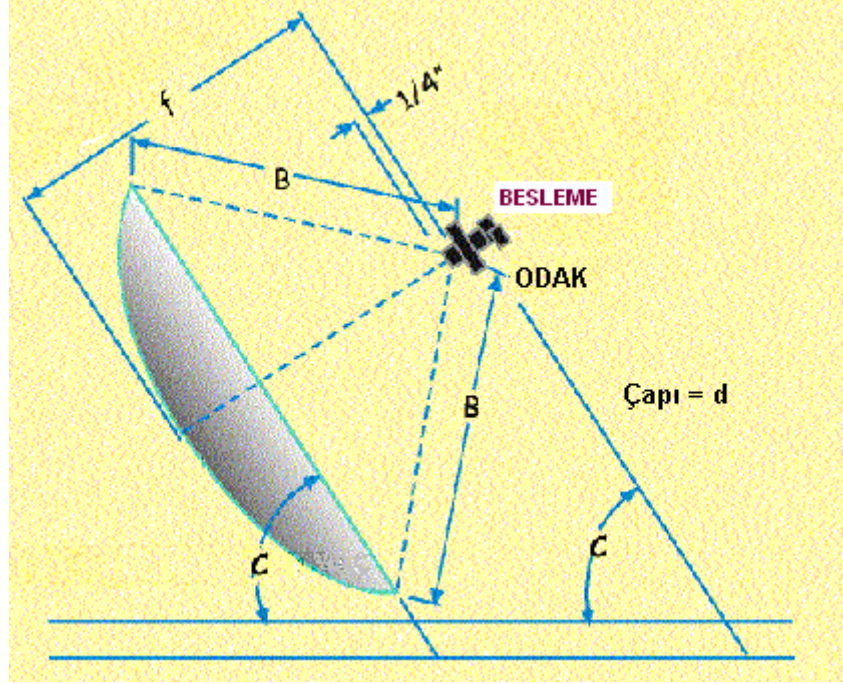
Açıklık antenler de kendi içinde üç ayrı guruba ayrılabilir.

AÇIKLIK ANTENLER

- HORN ANTENLER
- REFLEKTÖR ANTENLER
- MERCEK ANTENLER

Yer istasyonlarında kullanılan antenlerin yapıları diğer sistemlerde kullanılan antenlerden oldukça farklıdır. Yer istasyonlarında uydudan gönderilen ve düzeyi çok düşük olan işaretleri alabilmek için antenlerin kazançları çok yüksek, buna karşılık gürültü sıcaklıklarının çok düşük olması gerekmektedir. Bu iki koşulu sağlayabilmek ise karmaşık bir tasarım gerektirmektedir. Bu tip profesyonel bir yer istasyonunun anteninin maliyeti yaklaşık olarak toplam sistem maliyetinin 1/3'ü kadardır. Uydu haberleşme istasyonlarında en çok Cassegrain tipi reflektör anten kullanılır.

2.5.1. Anten Geometrisi



Şekil.2.14. Bir parabolik antenin gösterimi⁽¹⁾

Şeil 2.14. 'de temsili geometrisi verilen bir parabolik antenin kazancı

$$G = 4\pi A_e / \lambda^2 \quad (2.22)$$

Şeklinde verilir, burada;

$$\lambda : \text{çalışılan frekanstaki dalga boyu} \quad \lambda = c / f$$

$$A_e : \text{antenin etkin alanı} \quad A_e = \eta \pi r^2$$

$$r : \text{anten yarıçapı} \quad r = d / 2$$

η : anten verimi

olmak üzere, yukarıdaki formüllerden anten kazancı tekrar tekrar düzenlenirse;

$$G = \eta \left(\pi d / \lambda \right)^2 \quad (2.23)$$

olarak bulunur. İdealde $\eta = 1$ 'dir. Fakat pratikte bu rakam 0.4 ile 0.84 arası değişir.

Bunun nedenleri ise ;

Antenin odağına gelen mikrodalgaları toplamak için konulan horn bir noktadan ibaret olmayıp belirli bir alanı kaplamasıdır. Bunun sonucunda antenin parabolik eksenine paralel olmayan elektromagnetik dalgaların bir bölümü horn içine gürültü olarak girer.

Antenin yüzeyi hiçbir zaman ideal düzlükte değildir. Bu nedenle parabolik eksene paralel gelen dalgaların bir bölümü horn içine odaklanamaz. Diğer taraftan yansıtıcıya gelen dalgaların tamamı yansıtılmaz, bir bölümü yansıtıcı levhalar tarafından emilir. Bütün bunlar ise kayıp demektir.

Anten geometrisi hiçbir zaman ideal parabol haline getirilemeyeceğinden bu da kazancın idealden sapması demektir.

2.5.2. Anten Performansı

Klasik olarak Anten performansı üç ayrı kriter üzerinden değerlendirilebilir.

Bunlar ;

Anten kazancı :

$$G = \eta \cdot (\pi d f / c)^2 \quad (2.24)$$

şeklinde olup, formülden de anlaşılacağı gibi kullanılan frekans yükseldikçe ve anten çapı büyüdükçe anten kazancı daha yüksek olacaktır.

Anten verimi : Temel olarak η parametresini etkileyen faktörlerdir.

Işın genişliği : Antenin performansının asıl göstergesi anten test örneğidir.

Işın genişliği (Beamwidth) bir antenin uyduya ne kadar dar bir açıyla odaklanabileceğinin göstergesidir. Geostationary yörünge üzerindeki uydular 1.5 - 2

derecelik aralıklarla ve dünyadan 37,800 km uzaklığa yerleştirilmiştir. Dolayısıyla yeryüzündeki çok düşük bir açı aralığı, aynı anda iki yada daha fazla uydunun bir antenin görüş alanına girmesine neden olabilir. Bu bakımdan uyduya çıkış yapan antenlerde ışın genişliğinin dar olmasının çok önemi vardır. Işın genişliğini (beam – width) etkileyen faktörler şunlardır.

Anten çapı

Anten geometrisi

Frekans

Anten çapı büyüdüğünde , frekans ise yükseldiğinde ışın genişliği daralıp ilgili bağıntı;

$$\theta_{1/2} = k \lambda / d = k.c / f.d \quad (2.25)$$

şeklinde verilir.

2.5.3. Polarizasyon

Uydu haberleşmesinde frekanslar GHz'ler mertebesinde olduğundan elektromanyetik dalgaların düzlemsel dalgalar halinde yayıldığı düşünülebilir. Sınırsız ortamda düzlemsel dalgaların polarizasyonu, basit ortamda elektrik alanın yayılım yönüne dik olarak ; doğrusal, dairesel ve eliptik polarizasyonlu olarak tanımlanabilir. Elektrik alan bahsedilen düzlemde bir doğru boyunca değişiyorsa Doğrusal, dairesel bir yörünge çiziyorsa Dairesel , eliptik bir yörünge çiziyorsa Eliptik polarizasyonlu denilmektedir. Uydu iletişim sistemlerinde doğrusal veya dairesel polarizasyonlu antenler kullanılmaktadır. Uydu antenleri işaretlerin bir kısmı için yatay diğer kısmı için düşey olarak polarize edilmektedir. “ Polarizasyon diversitesi “ denilen bu yöntem, uydunun band genişliğini iki kat artırma olanağı sağlamaktadır.⁽¹⁰⁾

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Sayısal Uydu Haberleşme Sistemleri

Uluslararası Uydu Haberleşmesi, Yüksek kapasiteli trafikler için FDM/FDMA tekniği kullanılarak başladı. Analog karasal şebekelerin yavaş yavaş sayısal haberleşme sistemleriyle yer değiştirmesi ve dijital transmisyonun yaygınlaşmasıyla birlikte Telekomünikasyon şirketleri ve ulusal telefon şebekeleri Analog/Dijital çevirici cihazlardan kurtulmak ve haberleşme kalitesini arttırmak, dolayısıyla maliyeti azaltmak amacıyla uydu link'lerinde sayısala dönüştürülmesini tercih etmeye başladılar. Bu sistem ISDN kapasitesi yeterli olan ülkelerde analog devrelerin yerine geçmeye başladı.^(2,10)

Şirketler arasında artan data haberleşme ihtiyacı güvenli haberleşme sistemlerin ve linklerinin gerekliliğini ortaya çıkardı. Buna dayanarak INTELSAT tarafından, FDM/FDMA sistemlerinin yerine kullanılmak üzere IBS, IDR, SCPC ve TDMA sistemleri geliştirildi. Bu sistemler kullanılarak ülkeler ve yerleşim birimleri arasındaki telefon, data ve telgraf haberleşmesinin büyük bir bölümü uydu üzerinden sağlanmaya başlandı. Temel olarak dijital olarak yapılacak iletişim uygulamaları aşağıda sıralanmıştır ;^(2,10)

Ses iletişimi, düşük ve yüksek hızda veri transferi

Faks, CAD/CAM

Elektronik doküman dağıtım

Elektronik stok transferi

Audio program dağıtım

Analog transmisyondan dijitale geçmenin faydaları şunlardır ;

- Sayısal sistemin esnekliği
- Sayısal cihazların güvenilirliğinin geliştirilebilirliği ve bakım kolaylığı
- Uçtan uca kalite ve performansın iyileşmesi (analog sistemlere göre)
- Birbirinden bağımsız çok sayıda alıcıyla birebir alış imkanı
- Kullanıcılar arasındaki uzaklıktan bağımsız olarak değişmez bir transmisyona kalitesi ve maliyeti
- Doğal afetlerin ve olumsuz atmosferik koşullara karşı yüksek bir bağımsızlık

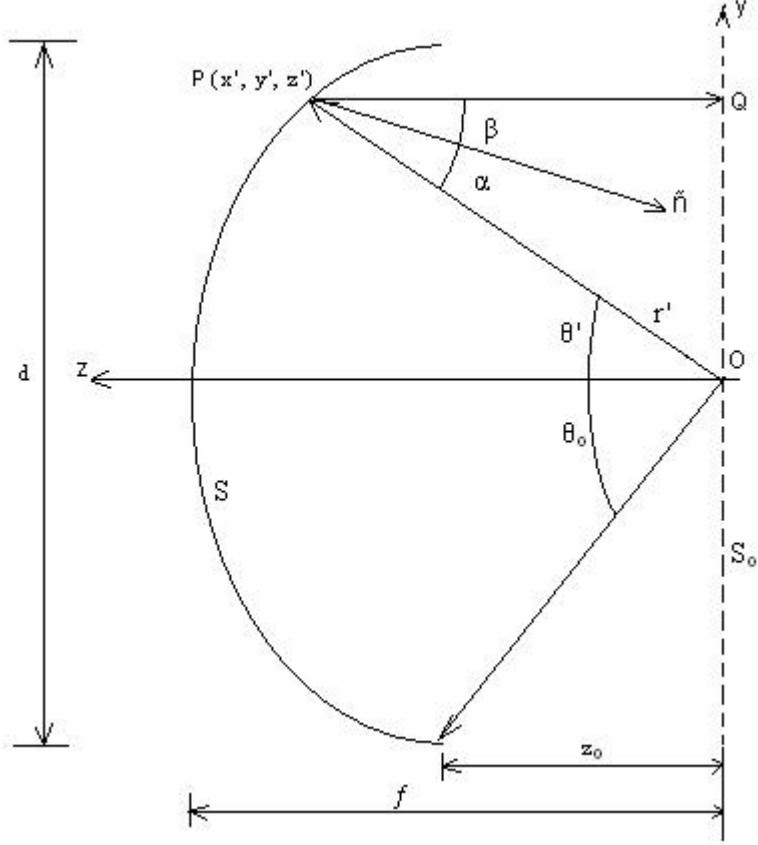
IDR yada IBS, değiştirilebilir (64 kbps- 44Mbps) data hızları için tasarlanmış dijital ses ve data haberleşme olanağı sağlayan ve INTELSAT tarafından tanımlanmış sistemlerdir.

İlk olarak 1978 Kasım ayında 2.048 Mb/s dijital taşıyıcının transmisyonu INTELSAT tarafından ücretlendirilmeye başlanılmış ve 1984 yılından sonra ise bu tip servisler geliştirilerek “Intermediate Data Rate” (IDR) olarak servise verilmiştir. ‘Intermediate’ kelimesi kullanılması zorunluydu çünkü INTELSAT’ın uygulamalarından SCPC (Single Chanel Per Carrier max.rate : 56 kb/s) ve TDMA (Time Division Multiple Access rate: 120Mb/s) sistemlerinin hız olarak arasında yer almaktadır (IDR min.rate: 64kb/s).

Zaman içinde gelişen IDR sistemleri ile beraber yeni bir sayısal servis olan IBS (Intelsat Business Services) ortaya çıkmıştır. Bu servisi IDR dan ayıran en temel fark overhead özelliğinin bulunmasıdır. Bundan dolayı genelde domestic olarak kullanılıyordu. Fakat günümüzde IBS sistemlerde de overhead kullanılmakta ve IDR sistemlerinde çok küçük parametre farklılıkları bulunan IBS’ler de artık, uluslararası devrelerde kullanılmaktadır.

3.2. Parabolik Reflektör Anten

Çalışmada ele alınan bir parabolik reflektör anten Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Parabolik reflektör anten (iki boyutlu)⁽¹¹⁾

$$r'(1+\cos\theta') = 2f$$

$$r' = 2f / (1+\cos\theta')$$

$$r' + r' \cdot \cos\theta' = \sqrt{[(x')^2 + (y')^2 + (z')^2]} + z' = 2f \quad \text{veya}$$

$$\alpha = \cos(\theta'/2)$$

$$\beta = \cos(\theta'/2)$$

$$\theta_0 = \tan^{-1}[(d'/2)/z_0]$$

$$z_0 = f - d^2/16f$$

yerine konulursa;

$$\theta_0 = \tan^{-1} [(d/2) / (f-d^2/16f)]$$

Parabolik reflektör antenlerde J_s akım yoğunluğu olmak üzere;

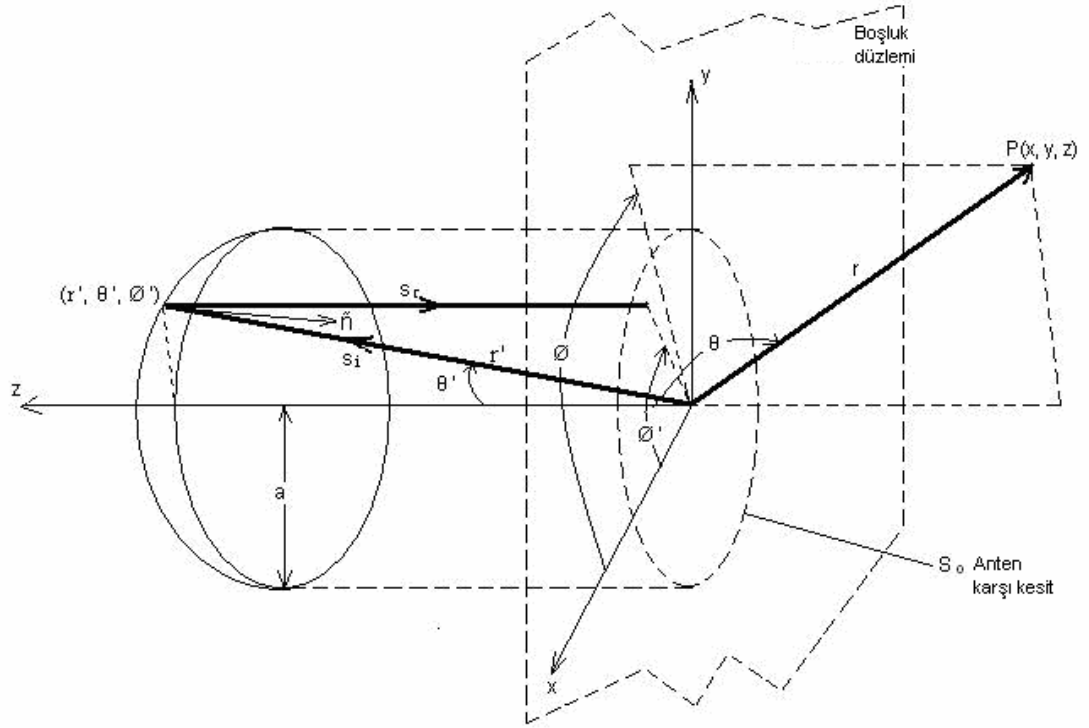
$$J_s = \hat{n} \times H = \hat{n} \times (H_i + H_r)$$

$$\hat{n} \times H_i = \hat{n} \times H_r \text{ (sonsuz yüzey alınırsa)}$$

$$J_s = 2 \cdot \hat{n} \times H_i$$

$$J_s = (2/\eta) \cdot [\hat{n} \times (\hat{s}_i \times E_i)]$$

η = ortamın kendine has ortalama empedansıdır. Parabolik reflektör antenin üç boyutta gösterimi Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Parabolik reflektör anten (3 boyutlu)⁽¹¹⁾

Gelen dalgı

$$E_i(r', \theta', \phi') = \hat{e}_i [(\mu/\epsilon)^{1/2} (P_t/2\pi) \cdot G_f(\theta', \phi')]^{1/2} e^{-jkr'/r'} = \hat{e}_i \cdot C \cdot G_f(\theta', \phi')^{1/2} \cdot e^{-jkr'/r'}$$

$$C = (\mu/\epsilon)^{1/4} (P_t/2\pi)^{1/2}$$

$$J_s = 2 \cdot (\mu/\epsilon)^{1/2} \cdot [\hat{n} \times (\hat{s}_i \times E_i)] = 2 \cdot (\mu/\epsilon)^{1/2} C \cdot G_f(\theta', \phi')^{1/2} \cdot e^{-jkr'/r'} \mathbf{u}$$

$$u = \tilde{n} \times (\hat{a}_r' \times \hat{e}_i)$$

r' uzaklıkta odak noktasında oluşan elektrik alan (odak noktasındaki Eap'yi bulmak için reflektör akımlarının sebep olduğu (Js), yansıyan elektrik alan Er , r' noktasında bulunur.

$$E_r = \hat{e}_r . C . G_f(\theta', \vartheta')^{1/2} . e^{-jkr'} / r'$$

$$J_s = 2(\mu/\epsilon)^{1/2} . [\tilde{n} \times (\hat{s}_r \times E_r)] ; \hat{s}_r = -\hat{a}_z ; \hat{e}_r = \text{ifade}$$

$$u = \tilde{n} \times (-\hat{a}_z \times \hat{e}_r)$$

$$E_{ap}(\text{yaklaşık}) = \hat{e}_r . C . G_f(\theta', \vartheta')^{1/2} . e^{-jkr'(1+\cos\theta')} / r' . (1+\cos\theta') = \hat{a}_x E_{xa} + \hat{a}_y E_{ya}$$

θ' 90 dereceye kadar çıkabilir. Formül ;

$$E_{ap}(\text{yaklaşık}) = \hat{e}_r . C . G_f(\theta', \vartheta')^{1/2} . e^{-jkr'(1+\cos\theta')} / r' = \hat{a}_x E_{xa} + \hat{a}_y E_{ya}$$

$$J's = \tilde{n} \times H_a \quad M's = -\tilde{n} \times E_a$$

şeklinde olur.

Bu formüller kullanılarak reflektör antenin So anten karşı kesit bölgesindeki

elektrik alan durumları;

$$E_{\theta s} = (jke^{-jkr} / 4\pi r) . (1-\cos\theta)_{so} \iint (-E_{ax} \cos\theta - E_{ay} \sin\theta) x e^{-jk(x' \sin\theta \cos\theta + y' \sin\theta \sin\theta)} dx' . dy'$$

$$E_{\vartheta s} = (jke^{-jkr} / 4\pi r) . (1-\cos\theta)_{so} \iint (-E_{ax} \sin\theta - E_{ay} \cos\theta)$$

$$C . G_f(\theta', \vartheta')^{1/2} = [(j\eta k I_0 l) / 4\pi] . \sin\psi = [(j\eta k I_0 l) / 4\pi] . (1 - \sin^2\theta', \sin^2\vartheta')^{1/2}$$

ψ : y ekseninden gözlem noktasına ölçülen açı

$$E_r = [\hat{a}_x . \sin\theta' . \cos\theta' . (1-\cos\theta) - \hat{a}_y . \sin^2\theta' . \cos\theta' + \cos^2\theta'] x (j\eta k I_0 l e^{-jkr'}) / 4\pi r'$$

$$E_{\theta} = (-j\mu\omega e^{-jkr} / 4\pi r) . \iint \hat{a}_{\theta} . J_s . e^{-jkr' \hat{a}_r} . ds'$$

$$E_{\vartheta} = (-j\mu\omega e^{-jkr} / 4\pi r) . \iint \hat{a}_{\vartheta} . J_s . e^{-jkr' \hat{a}_r} . ds' ; ds' = dW . dN ;$$

$$ds' = (r')^2 . \sin\theta' \sec(\theta'/2) . d\theta' d\vartheta'$$

$$\begin{bmatrix} E_{\theta} \\ E_{\vartheta} \end{bmatrix} = (-j\mu\omega e^{-jkr} / 2\pi r) . (\epsilon/\mu)^{1/2} . C \begin{bmatrix} \hat{a}_{\theta} & I \\ \hat{a}_{\vartheta} & I \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} E_{\theta} \\ E_{\phi} \end{bmatrix} = (-j\mu\omega e^{-jk r} / 2\pi r) \cdot [(\epsilon/\mu)^{1/2} \cdot P_t / 2\pi]^{1/2} \begin{bmatrix} \hat{a}_{\theta} & I \\ \hat{a}_{\phi} & I \end{bmatrix}$$

$$I = I_t + I_z$$

$\theta = \pi$ için $I_z = 0$ olacağından

$$E(r, \theta = \pi) = (-j\mu\omega e^{-jk(r+2f)} / r) \cdot [(\epsilon/\mu)^{1/2} \cdot P_t / 2\pi]^{1/2} \int_0^{\theta_0} G_f(\theta')^{1/2} \tan(\theta'/2) d\theta'$$

$$U(\theta = \pi) = 1/2 r^2 (\epsilon/\mu)^{1/2} |E(r, \theta = \pi)|^2$$

$D_0 = 4\pi U(\theta = \pi) / P_t$ yerlerine konup işlem yapılırsa

$$D_0 = (\pi d / \lambda)^2 \cdot \epsilon_{ap} \quad D_0 : \text{directivity (faz hatasız)}$$

$$D = D_0 \cdot (1 - m^2 / 2)^2 \quad D : \text{faz hatalı directivity}$$

Işıma yoğunluğu ;

$$U(\theta', \Phi') = 1/2 \cdot \text{Re} [E_{\theta}(\theta', \Phi') \times H^*(\theta', \Phi')] = 1/(2\eta) \cdot |E_{\theta}(\theta', \Phi')|^2$$

$$\text{Anten yönlendiriciliği } D_0 = 16\pi^2 f^2 \int_0^{\theta_0} \sqrt{G_f(\theta')} \cdot \tan(\theta'/2) \cdot d\theta'^2$$

$$D_0 = (\pi d / \lambda)^2 \{ \text{Cot} 2(\theta_0/2) \int_0^{\theta_0} \sqrt{G_f(\theta')} \cdot \tan(\theta'/2) \cdot d\theta' \}^2$$

Açıklık verimliliği ;

$$\epsilon_{ap} = \text{Cot} 2(\theta_0/2) \int_0^{\theta_0} \sqrt{G_f(\theta')} \cdot \tan(\theta'/2) \cdot d\theta' \int_0^{\theta_0} \sqrt{G_f(\theta')} \cdot \tan(\theta'/2) \cdot d\theta'$$

$$G_0(n) \cdot \text{Cos} n(\theta') \quad 0 \leq \theta' \leq \pi/2$$

$$G_f(\theta') =$$

$$0 \quad \pi/2 \leq \theta' \leq \pi$$

$n = 2$ için

$$\epsilon_{ap} = 24 \{ \text{Sin}^2(\theta_0/2) + \ln[\text{Cos}(\theta_0/2)] \}^2 \cdot \text{Cot}^2(\theta_0/2)$$

$$\epsilon_s (\text{spillover efficiency}) = \int_0^{\theta_0} G_f(\theta') \cdot \text{Sin} \theta' d\theta' / \int_0^{90} G_f(\theta') \cdot \text{Sin} \theta' d\theta'$$

$$\epsilon_t (\text{taper efficiency}) = \epsilon_{ap} / \epsilon_s$$

şeklindedir. Yukarıda parabolik reflektör antenin teorik olarak incelenmesi bir

örnek çalışma ile izah edilirse ;

10 m çaplı bir reflektör anten $f/d = 0.5$ oranı, $f = 3$ GHz ile çalışmaktadır. Reflektör antende $Gf(\theta') = 6 \cdot \cos^2\theta'$ olarak verildiğinde, ϵ_{ap} , D_o , ϵ_s ve ϵ_t değerleri bulunacak olursa;

$$a) \theta_0 = \tan^{-1}[(0.5 \times 0.5 / [(0.5)^2 - 1/16])] = 53.13$$

$$\epsilon_{ap} = 24 \cdot \{ \sin^2(26.57^\circ) + \ln[\cos(26.57^\circ)] \}^2 \cdot \cot^2(26.57^\circ) \quad \epsilon_{ap} = 0.75 = \% 75$$

$$b) D_o = 0.75 \cdot [\pi(100)]^2 = 74,022.03 = 48.69 \text{ dB}$$

$$c) \epsilon_s = \int_0^{53.13} \cos^2\theta' \cdot \sin\theta' d\theta' / \int_0^{90} \cos^2\theta' \cdot \sin\theta' d\theta' = 0.784 = \% 78.4$$

$$\epsilon_t = 2 \cdot (0.75) / 1.568 = 0.9566 = \% 95.66$$

sonuçları elde edilir.

Yukarıda teorik olarak çözümü yapılan örneğin Matlab programında bilgisayar çözümü elde edilerek, bazı parametrelerin değişmesi durumunda anten yönlendiriciliğinin antenin çapına göre değişimi ile ilgili çalışma aşağıda verilmiş ve ilgili grafikler elde edilmiştir.

```
clear;close all

syms tet;

dia=[10 10 10 10; 20 20 20 20; 30 30 30 30; 40 40 40 40]

fd=0.5

Gf=6.*(cos(tet)^2)

tet=atan(fd.*0.5./(fd^2-1./16));

teta=atan(fd.*0.5./(fd^2-1./16)).*180./pi

Eap=24.*(((sin(tet./2))^2+log(cos(tet./2)))^2.*(cot(tet./2))^2)

b=int(Gf.*sin(tet),0,tet)

d=int(Gf.*sin(tet),0,pi./2)
```

```

Es=b./d
Et=Eap./Es
lamda=[1 1 1 1;1 1 1 1 ; 1 1 1 1 ; 1 1 1 1]
Do=(pi.*dia./lamda)^2.*Eap
dbDo=10.*log10(Do)
m=0.3927
D1=Do*(1-m^2./2)^2
dbD1=10.*log10(D1)
ro=0.001
e=2.718281828
lamdamax=4.*pi.*ro
D2=(pi.*dia./lamda)^2.*Eap.*e^(-(lamdamax./lamda)^2)
dbD2=10.*log10(D2)
q=log10(dia./ro)
D2max=10^(2.*q).*Eap.*e^(-1)/16
dbD2max=20.*q-16.38+10.*log10(Eap)
x=dia
g= plot(x,dbD2max);
xlabel('cap uzunlugu(dia)')
ylabel('Logaritmik yönlendiricilik(dbD2max)')
title(' Parabolik reflektör antende yönlendiriciligin farkli anten yarı cap
uzuluguna göre degisimi')
set(g,'Marker','*','MarkerSize','8','MarkerEdgeColor',[0.9 0.1 0.2])

```


dia =

10 10 10 10

20 20 20 20

30 30 30 30

40 40 40 40

fd =

0.5000

Gf =

$6 \cdot \cos(\text{tet})^2$

teta =

53.1301

Eap =

0.7507

b =

$12/5 \cdot \cos(8352332796509007/9007199254740992) \cdot \sin(8352332796509007/9007199254740992) + 25056998389527021/11258999068426240$

d =

$6/5 \cdot \pi$

Es =

$5/6 \cdot (12/5 \cdot \cos(8352332796509007/9007199254740992) \cdot \sin(8352332796509007/9007199254740992) + 25056998389527021/11258999068426240) / \pi$

Et =

$10142244386285883/11258999068426240 / (12/5 \cdot \cos(8352332796509007/9007199254740992) \cdot \sin(8352332796509007/9007199254740992) + 25056998389527021/11258999068426240) \cdot \pi$

lamda =

1 1 1 1

1 1 1 1

1 1 1 1

1 1 1 1

Do =

1.0e+004 *

0.7409 0.7409 0.7409 0.7409

1.4818 1.4818 1.4818 1.4818

2.2227 2.2227 2.2227 2.2227

2.9636 2.9636 2.9636 2.9636

dbDo =

38.6975 38.6975 38.6975 38.6975

41.7078 41.7078 41.7078 41.7078

43.4687 43.4687 43.4687 43.4687

44.7181 44.7181 44.7181 44.7181

m =

0.3927

D1 =

1.0e+004 *

0.6310 0.6310 0.6310 0.6310

1.2621 1.2621 1.2621 1.2621

1.8931 1.8931 1.8931 1.8931

2.5242 2.5242 2.5242 2.5242

dbD1 =

38.0006 38.0006 38.0006 38.0006

41.0109 41.0109 41.0109 41.0109

42.7718 42.7718 42.7718 42.7718

44.0212 44.0212 44.0212 44.0212

ro =

0.0010

e =

2.7183

lamdamax =

0.0126

D2 =

1.0e+004 *

0.7404 -0.0005 -0.0005 -0.0005

-0.0009 1.4808 -0.0009 -0.0009

-0.0014 -0.0014 2.2213 -0.0014

-0.0019 -0.0019 -0.0019 2.9617

dbD2 =

38.6948 6.6968 +13.6438i 6.6968 +13.6438i 6.6968 +13.6438i

9.7071 +13.6438i 41.7051 9.7071 +13.6438i 9.7071 +13.6438i

11.4681 +13.6438i 11.4681 +13.6438i 43.4660 11.4681 +13.6438i

12.7174 +13.6438i 12.7174 +13.6438i 12.7174 +13.6438i 44.7154

q =

4.0000 4.0000 4.0000 4.0000

4.3010 4.3010 4.3010 4.3010

4.4771 4.4771 4.4771 4.4771

4.6021 4.6021 4.6021 4.6021

D2max =

1.0e+032 *

2.2881 2.2881 2.2881 2.2881

2.4602 2.4602 2.4602 2.4602

2.5610 2.5610 2.5610 2.5610

2.6324 2.6324 2.6324 2.6324

dbD2max =

62.3745 62.3745 62.3745 62.3745

68.3951 68.3951 68.3951 68.3951

71.9170 71.9170 71.9170 71.9170

74.4157 74.4157 74.4157 74.4157

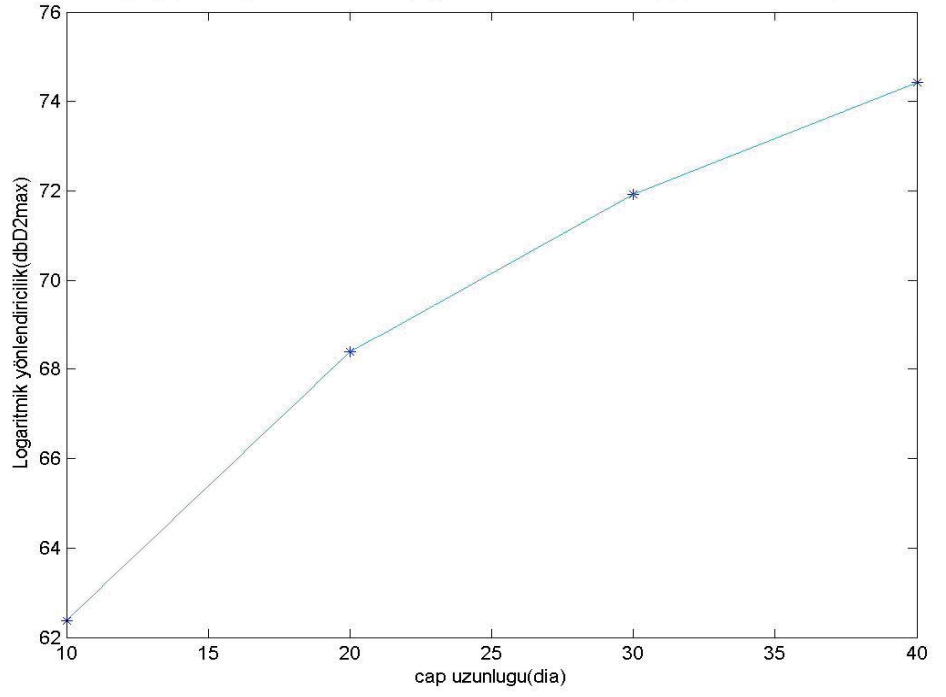
x =

10 10 10 10

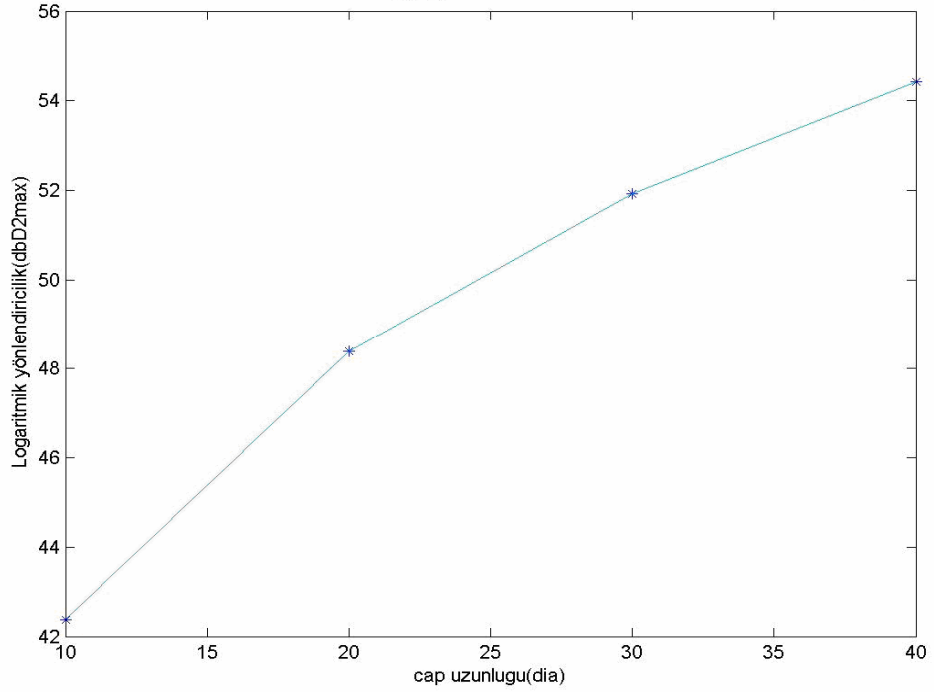
20 20 20 20

30 30 30 30

40 40 40 40



Şekil 3.3. Anten yönlendiriciliğinin anten çapına göre grafiği ($r_0=0.001$ iken)

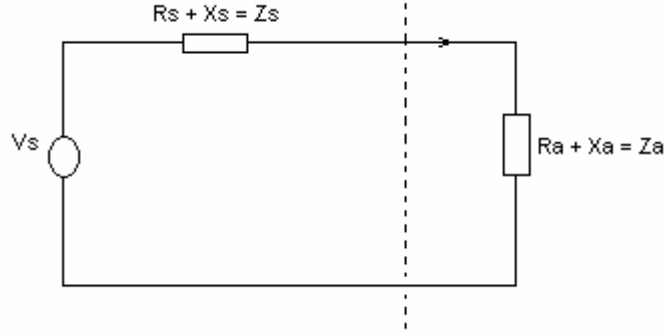


Şekil 3.4. Anten yönlendiriciliğinin anten çapına göre grafiği ($r_0=0.002$ iken)

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi bir uydu haberleşme antenin eşdeğer elektrik devresini çizerek anten kaybı ve optimum ışınma durumu $E_0(\theta, \Phi) = \sin\theta$, $e(\text{anten verimi}) = 0.25$ anten giriş terminalinde $I_A = 1 \text{ A}$ olmak üzere,

- a) $W(r)$ b) $U(\theta, \Phi)$ c) P_R d) $R_R, R_D, R_A,$ e) P_A

değerleri incelenirse;



Şekil 3.5. Bir parabolik antenin eşdeğer devresi

$$P_a = 1/2 \cdot \text{Re} \{ V_a \cdot I_a^* \} \quad V_s = I_a \cdot (Z_s + Z_a)$$

$$I_a = V_s / (Z_s + Z_a) \quad V_a = I_a \cdot Z_a$$

$$V_a = Z_a \cdot V_s / (Z_s + Z_a)$$

$$P_a = 1/2 \cdot \text{Re} \{ Z_a \cdot V_s / (Z_s + Z_a) \cdot V_s^* / (Z_s + Z_a)^* \}$$

Maksimum güç transferi için $Z_a = Z_s^*$ olmalı

$$R_a = R_s ; X_a = -X_s$$

Maksimum güç koşulu sağlandığında

$$P_s = P_a / Z_a = Z_s^*$$

$$|Z_a + Z_s| = 2R_s$$

$$|Z_a + Z_s| = 4R_s^2$$

$$P_s = R_s \cdot |V_s|^2 / 8 \cdot R_s^2 = |V_s|^2 / 8 \cdot R_s = P_s$$

$$P_a = R_a \cdot |V_s|^2 / 2 \cdot |Z_s + Z_a|^2 \text{ idi.}$$

$$P_s = |V_s|^2 / 8 \cdot R_s$$

$$P_a = q \cdot P_s$$

$$q = 4 \cdot R_a \cdot R_s / |Z_s + Z_a|^2$$

$$\Gamma = (Z_a - Z_s) / (Z_a + Z_s)$$

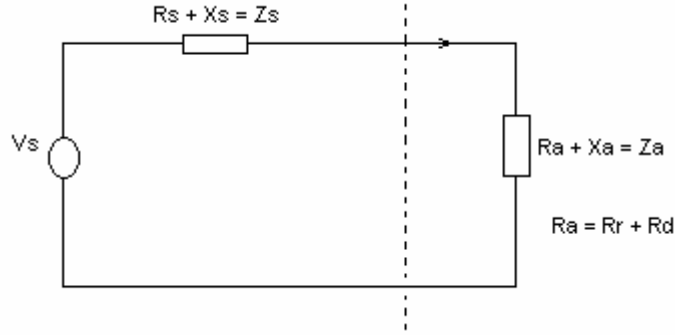
$$1 - \Gamma^2 = q = 4.R_a.R_s / |Z_s + Z_a|^2 = q \quad (X_s = 0)$$

$$P_r = e.P_a ; P_a = q.P_s \quad (P_r = P_a \text{ olması istenir.})$$

$$P_{d(\text{dissipated})} = P_a - P_r = P_a - e.P_a$$

$$P_d = (1-e).P_a$$

şeklinde. Bir parabolik antenin kayıp dirençli eşdeğer devresi Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6. Parabolik antenin (kayıp dirençli) eşdeğer devresi

$$P_a = 1/2 \cdot R_a \cdot |I_a|^2 \quad P_r = 1/2 \cdot R_r \cdot |I_a|^2 \quad P_d = 1/2 \cdot R_d \cdot |I_a|^2$$

$$P_r = e.P_a$$

$$1/2 \cdot R_r \cdot |I_a|^2 = e \cdot 1/2 \cdot R_a \cdot |I_a|^2$$

$$e = R_r / (R_r + R_d)$$

$$E(r) = e^{-jkr} / r \cdot [E_\theta(\theta, \Phi) \cdot e_\theta + E_\Phi(\theta, \Phi) e_\Phi] \quad H(r) = 1/\eta \cdot e_r \times E(r)$$

$$W(r) = 1/2 \cdot \text{Re} \{ E(r) \times H^*(r) \}$$

$$W(r) = 1/(2\eta r^2) \cdot [|E_\theta(\theta, \Phi)|^2 + |E_\Phi(\theta, \Phi)|^2]$$

$$U(\theta, \Phi) = r^2 \cdot W(r)$$

$$P_r = \iint W(r) \cdot ds \quad ; \quad ds = e_r \cdot r^2 \cdot \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\Phi$$

$$P_r = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} 1/2\eta \cdot [|E_\theta|^2 + |E_\Phi|^2] \cdot \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\Phi$$

$$P_r = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} U(\theta, \Phi) d\Omega$$

$$a) W(r) = 1/(2\eta r^2) \cdot [|E_\theta(\theta, \Phi)|^2 + |E_\Phi(\theta, \Phi)|^2] \quad ; \quad \eta = 120\pi$$

$$W(r) = (1/240\pi r^2) \cdot \sin^2\theta$$

b) $U(\theta, \Phi) = r^2 \cdot W(r)$

$$U(\theta, \Phi) = r^2 \cdot (1/240\pi r^2) \cdot \sin^2\theta = (1/240\pi) \cdot \sin^2\theta$$

c) $P_r = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} U(\theta, \Phi) d\Omega$

$$P_r = 1/90 \text{ W}$$

d) $P_r = 1/2 \cdot R_R \cdot |I_A|^2$

$$R_r = 1/45 \text{ ohm}$$

$$e = R_R / (R_R + R_D)$$

$$R_d = 1/15 \text{ ohm} ; R_A = R_R + R_D = 4/45 \text{ ohm}$$

e) $P_a = 1/2 \cdot R_A \cdot |I_A|^2$

$$P_a = 4/90 \text{ W}$$

şeklinde bulunur. Teorik olarak çözümünü yapılan örnek problemin Matlab programı ;

```

syms teta r
e=0.25
Ia=1
n=120*pi
Et=sin(teta)
W=1/(2*n*r^2)*(Et^2)
U=r^2*W
Pr=int(int(U*sin(teta),teta,0,pi),0,2*pi)
Rr=2*Pr/Ia^2
Rd=(1-e)/e*Rr
Ra=Rr+Rd
Pa=1/2*Ra*Ia^2
e = 0.2500

```


$$I_a = 1$$

$$n = 376.9911$$

$$E_t = \sin(\text{teta})$$

$$W = 1/240/\pi/r^2*\sin(\text{teta})^2$$

$$U = 1/240/\pi*\sin(\text{teta})^2$$

$$P_r = 1/90$$

$$R_r = 1/45$$

$$R_d = 1/15$$

$$R_a = 4/45$$

$$P_a = 2/45$$

R_r ve R_d direnç değerlerine göre e katsayısı değişmekte ve yönlendiricilik ve kazançta değişmektedir. R_r direnç değerlerinin artırılması ile ışınma gücünün arttığı görülmektedir. Tezde yapılan çalışmanın diğer bir kısmı ise horn antenlerle ilgili olup bunlar, ilgili kısımda ele alınmıştır.

3.3 Horn Anten

Horn Antenler ; E-düzlem, H-düzlem, piramidal ve konikal olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Şekil 3.7’de bir E-düzlem horn anten görülmektedir. E - düzlem horn antende TE_{10} modunda bir elektrik alanırsa;

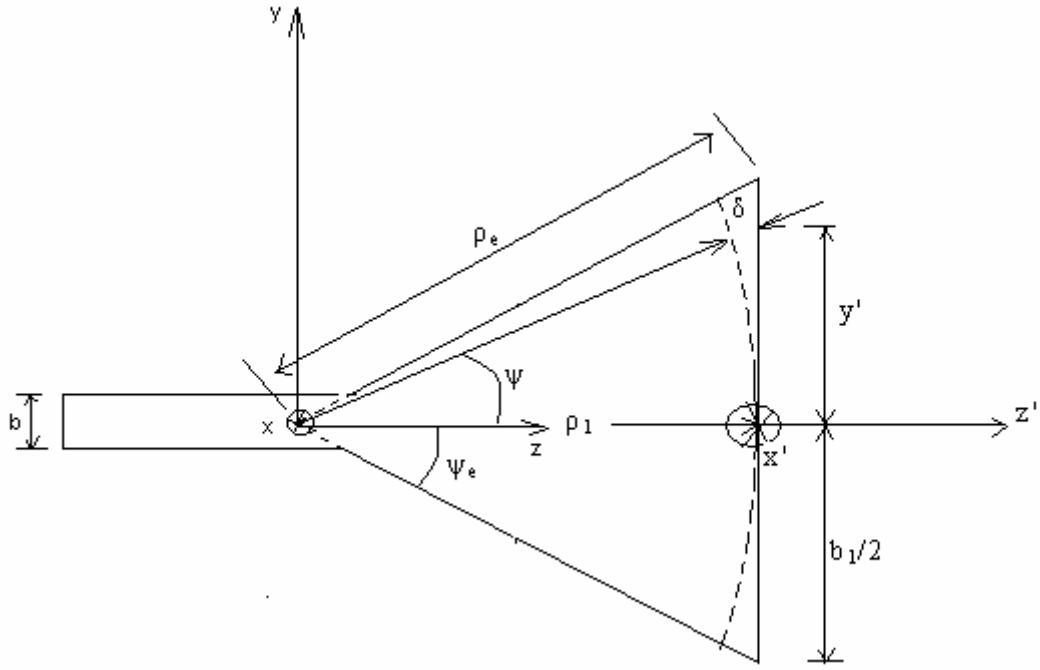
$$E_z' = E_x' = H_y' = 0$$

$$E_y'(x',y') = E_1 \cdot \cos(\pi/a \cdot x') \cdot e^{-j(ky'^2/2\rho_1)}$$

$$H_z'(x',y') = j \cdot E_1 \cdot \sin(\pi/k \cdot a \cdot n) \cdot e^{-j(ky'^2/2\rho_1)}$$

$$H_x'(x',y') = E_1/\eta \cdot \cos(\pi/a) \cdot e^{-j(ky'^2/2\rho_1)}$$

$$\rho_1 = \rho_e \cdot \cos\psi_e$$



Şekil 3.7. E-düzlem Horn anten⁽¹¹⁾

$$[\rho_1 + \delta(y')]^2 = \rho_1 + (y')^2$$

$$\delta(y') = -\rho_1 + [\rho_1^2 + (y')^2]^{1/2} = \frac{1}{2} \cdot (y'^2 / \rho_1)$$

$$\rho_1 = (b_1)^2 \cdot 180\lambda / \Delta\theta$$

$$2\psi_e = 2 \tan^{-1} (b_1/2\rho_1)$$

E düzlem ve H düzlemde elektrik alanlar ;

$$\text{E-düzlemde } (\theta = \pi/2) \quad E_r = E_\theta = 0$$

$$E_\theta = -j(aE_1 \cdot (\pi k \rho_1)^{1/2} \cdot e^{-jkr}) \cdot [-e^{j(k\rho_1 \sin^2\theta/2)} (2/\pi)^2 (1+\cos\theta) F(t_1', t_2')] / 8r$$

$$t_1' = (k/\pi\rho_1)^{1/2} \cdot (-b_1/2 - \rho_1 \sin\theta)$$

$$t_2' = (k/\pi\rho_1)^{1/2} \cdot (b_1/2 - \rho_1 \sin\theta)$$

$$\text{H -düzlemde } (\theta = 0) \quad E_r = E_\theta = 0$$

$$E_\theta = -j(aE_1 (\pi k \rho_1)^{1/2} \cdot e^{-jkr}) \cdot [(\cos(ka \sin\theta/2)) / ((ka \sin\theta/2)^2 - (\pi/2)^2)] \cdot (1+\cos\theta) \cdot F(t_1'', t_2'') / 8r$$

$$t_1'' = (-b_1/2) \cdot (k/\pi\rho_1)^{1/2}$$

$$t_2'' = (-b_1/2) \cdot (k/\pi\rho_1)^{1/2}$$

Yönlendiricilik :

Yönlendiriciliği bulmak için maksimum ışıma;

$$U_{\text{maks}} = U(\theta, \emptyset)_{\text{maks}} = (r^2/2 \eta) \cdot |E|_{\text{maks}}^2$$

Çoğu horn antende $|E|_{\text{maks}}$, z eksenidir ($\theta = 0^\circ$) Böylelikle ;

$$|E|_{\text{maks}} = (|E_\theta|_{\text{maks}}^2 + |E_\emptyset|_{\text{maks}}^2)^{1/2} = [2 \cdot a \cdot (k\pi\rho_1)^{1/2} / \pi^2 \cdot r] \cdot |E_1| |F(t)|$$

$$|E_\theta|_{\text{maks}} = [2 \cdot a \cdot (k\pi\rho_1)^{1/2} / \pi^2 \cdot r] \cdot |E_1 \cdot \text{Sin}\emptyset F(t)|$$

$$|E_\emptyset|_{\text{maks}} = [2 \cdot a \cdot (k\pi\rho_1)^{1/2} / \pi^2 \cdot r] \cdot |E_1 \cdot \text{Cos}\emptyset F(t)|$$

F(t) : Frensel integral

$$D_e = 4\pi U_{\text{maks}} / P_{\text{rad}} = (64a\rho_1 / \pi)\lambda b_1 |F(t)|^2$$

$$D_e = (64a\rho_1 / \pi)\lambda b_1 \cdot [C^2(b_1 / (2\lambda\rho_1)^{1/2}) + S^2(b_1 / (2\lambda\rho_1)^{1/2})]$$

$$D_{e\text{maks}} = (64a\rho_1 / \pi)\lambda b_1 \cdot [C^2(b_1 / (2\lambda\rho_1)^{1/2}) + S^2(b_1 / (2\lambda\rho_1)^{1/2})] \cdot e^{-\pi a(1-\lambda/\lambda_g)/\lambda}$$

Bununla birlikte yukarıda teorik izahı verilen E-düzlem horn anten $a=0.5\lambda$ $b=0.25\lambda$

$b_1 = 2.75\lambda$ ve $\rho_1 = 6\lambda$ değerlerine sahip horn antenin yönlendiriciliği bulunursa ;

$$b_1 / (2\lambda\rho_1)^{1/2} = 2.75 / (2 \cdot (6))^{1/2} = 0.794$$

$$[C(0.794)]^2 = (0.72)^2 = 0.518$$

$$[S(0.794)]^2 = (0.24)^2 = 0.0576$$

$$D_e = 64 \cdot (0.5) \cdot 6 [0.518 + 0.0576] / 2.75\pi = 12.79$$

şeklindedir.

Bu teorik çözüm matlab programında uygulanırsa ;

```
clear;close all
```

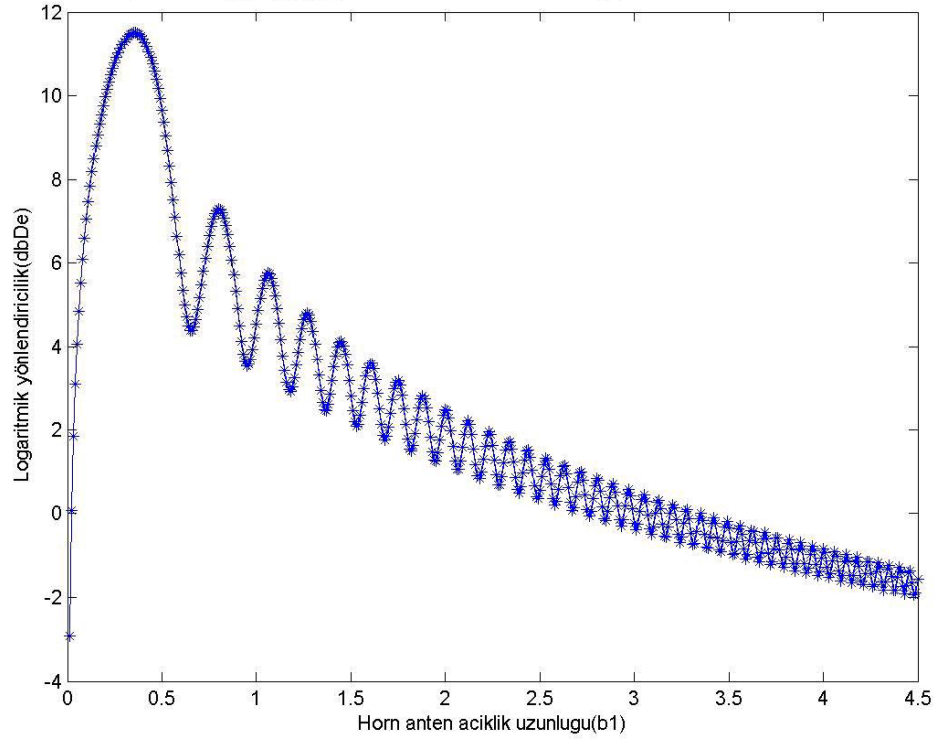
```
C=3.e8
```

```

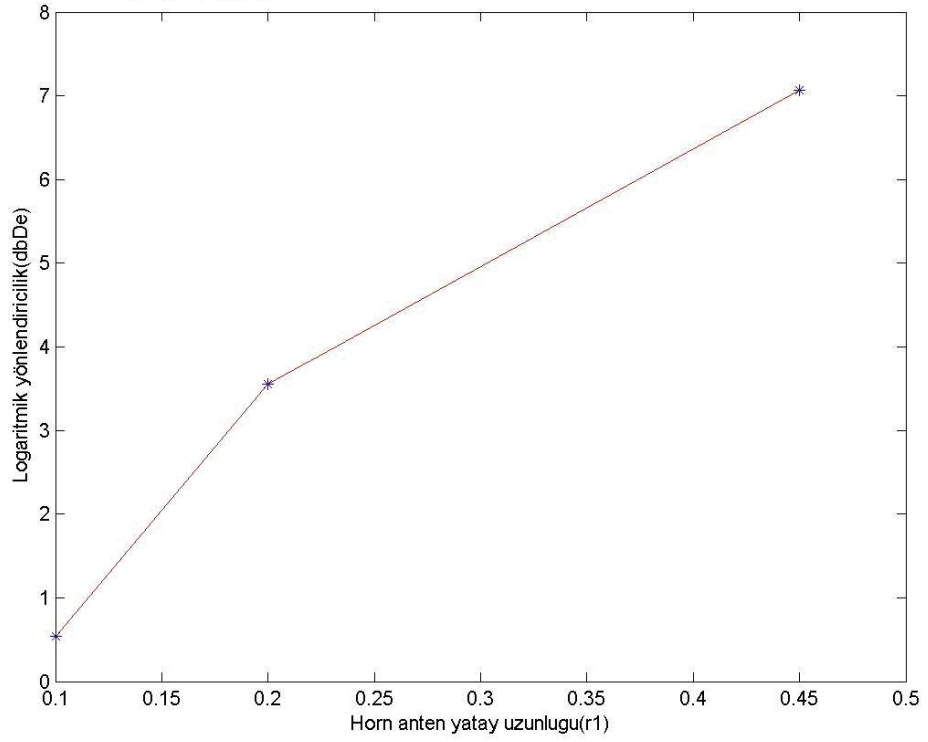
F=3.e9
lamda= C./F
a=0.5.*lamda
b=0.25.*lamda
b1=0.*lamda:0.1.*lamda:45.*lamda
r1=6.*lamda
k1=b1/(2.*lamda.*r1)^(1/2)
C = mfun('FresnelC',k1)
S = mfun('FresnelS',k1)
I = (C).^2 + (S).^2
k2=64.*a.*r1./(pi.*lamda.*b1)
De=k2.*(I)
dbDe=10.*log10(De)
x=b1
y=dbDe
g=plot(x,y);
xlabel('Horn anten aciklik uzunlugu(b1)')
ylabel('Logaritmik yönlendiricilik(dbDe)')
title(' Horn antende E düzlem dalganin yönlendiriciligin farkli anten uzuluguna göre
degisimi')
set(g,'Marker','*','MarkerSize','8','MarkerEdgeColor',[0.9 0.1 0.2])

```

şeklindedir. İlgili grafikler Şekil 3.8 ve 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.8. E-düzlem horn antende dbDe-b1 grafiği.



Şekil 3.9. E-düzlem horn antende dbDe-r1 grafiği.

4. SONUÇ

Günümüzde uzak mesafeler arasında hızlı, kaliteli ve güvenilir şekilde haberleşme yapılması günümüzün vazgeçilmezi haline gelmiştir. Bu açıdan bakıldığında günümüzde uydu haberleşmesi bu alanda çok önemli rol oynamaktadır. Birçok elektronik aygıtta, yapılan bilgi alışverişlerinde, hava tahmin raporlarında, yer-yön bulma cihazlarında, yer altı ve yer üstü kaynaklarının tahmininde, evimize gelen televizyon sinyallerinde, gerçekleştirdiğimiz telefon konuşmalarının çoğunun kökeninde uydu haberleşmesi ve uydu haberleşme sistemleri kullanılmaktadır. Artan iletişim ihtiyacından dolayı , gün geçtikçe daha büyük kapasitede ve daha hızlı haberleşme imkanı sağlayan uydu haberleşme sistemlerinin kurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Uydu haberleşme sistemleri saydığımız bu ihtiyaçları karşılayabilecek özelliklere sahip teknolojisiyle gelecekte çok daha yaygın ve spesifik olarak kullanılacaktır.

Fakat, uydu haberleşmesinin diğer haberleşme türlerine göre bazı dezavantajları bulunmakta olup bunlar;

Mikrodalga ve diğer elektromanyetik kaynakların girişimine neden olması, veri aktarımında gecikme olması, veri aktarımında, emniyet açısından sinyalin kodlanmasının gerekli olması, kullanım ömrünün fiber optik sistemlerine göre daha az olması şeklinde ele alınabilir. Bütün bunlara rağmen uydu iletişimin en önemli avantajları, uydu yörüngesini değiştirerek yayınları, diğer bir bölgeye kaydırabilmesi ve haberleşmeyi bir noktadan bir çok noktaya kolay ve ucuz bir şekilde sağlanmasına imkan vermesidir. Haberleşme kalitesinin ve hızının artırılması için

günümüzde araştırmalar devam etmektedir. Uydu haberleşme sistemlerinde kaliteli ve hızlı haberleşme için sayısal haberleşme sisteminin nasıl gerçekleştiği ve bu gerçekleşmede uydu antenin önemi oldukça büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında uydu haberleşmesindeki aşamalar incelenmiş, dijital yayınların analog yayınlara karşı üstünlüğü anlatılmış, sayısal uydu haberleşme sistemlerinde yapılan işlemler ele alınmıştır. Ayrıca, bu sistemlerdeki bazı işlemler kullanılarak matlab programında simülasyonu yapılmıştır. Uydu haberleşmesindeki sistemlerin performansını etkileyen anten eşitleri (parabolik reflektör anten, horn anten), onların hesaplamaları ve bunlarla ilgili örnek problemler ele alınmış ve Matlab programındaki teorik çözümleri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Türk Telekomünikasyon A.Ş. TURKSAT Project Office, Gölbaşı-Ankara
2. Recep Alper Aktuğ, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,1999.
3. S. - L. Chen and H. – R. Chang, **43** , No : 2, 117-125, (1997).
4. S.O. Bashir, 10th International conference on Antennas and Propagation, 14-17, (1997).
5. Hung Piu Ip and Yahya Ramat-Samii, IEEE Transactions on Antennas and Propagation,**46**, no : 11, 1593-1605 (1998).
6. S. K. Golushko and A. V. Yurchenko, Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, **43**, No. 2, 315-319, (2002)
7. A. V. Dushkin ve S. N. Razin'kov, Measurement Techniques, vol **44**, 645 - 650, (2001)
8. Prof. Dr. H. Ergün Bayrakçı, "Uydu ve Hücreli Mobil Haberleşme Sistemleri", Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002
9. Harold B. Killen, "Modern Elektronik İletişim Teknikleri", M.E.B. Yayınları. Çev.:M.Atakay
10. Wayne Tomasi, Elektronik İletişim Teknikleri, M.E.B., İstanbul, 2002
11. Balanis, C, Antenna Theory, Mc Graw – Hill, New York, USA,1997
12. Dong, Wei-Ren Yang, Jing Lu, Xue-Feng, 1997 Asia Pacific Microwave Conference, 633-636, (1997).
13. Sudhakar K. Rao, IEEE Antennas and Propagation Magazine, **45**, no:4, (2003)

14. H-T. Chou, P. H. Pathak, *Fellow, IEEE*, and P. R. Rousseau, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. **45**, no. 5, 829-836, (1997)
15. Sarp Ertürk, Sayısal Haberleşme, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005.
16. Per-Simon Mldal, IEEE Transactions on Antennas and Propagation ,vol. **AP-32**, no. 6, 533-561, (1984).
17. Y. H. JA , IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. **AP-28**, no. 6, 912-914, (1980)
18. Sudkahar K. Rao, IEEE Antennas and Propagation Magazine, **45**, no. 4, 26 - 34, (2003).
19. Peter T Lam, Shung Wu Lee, Donal C. D. Chang, K. C. Lang Student member, vol. **AP-33**, no.11, 1163 -1174, (1985).
20. A. N. Yakimov, Measurement Techniques, vol. 47, no. 3,271-277,(2004)
21. E Salonen and P Jokela, Helsinki University of Technology, vol:1, 17-20, (1997).
22. Piefro Bolli, Stefano Selleri, and Giuseppe Pelosi, IEEE Antenna's and Propagation Magazine, vol. **44**, no. 5,13-20, (2002).
23. Fernando J. S. Moreira' and Aluizio Prata, IEEE Antenna's and Propagation Magazine, vol: **3**, 2046-2049, (1994).