

MİKRODALGA RADYO-RÖLE SİSTEMLERİ ÜZERİNDEN SAYISAL BİLGİ İLETİMİ

Sadık ARF

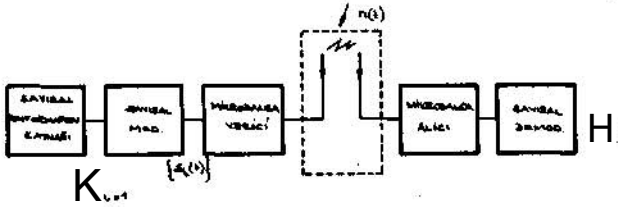
1. GİRİŞ

Günümüzde genellikle analog haberleşme için tasarlanmış ve FDM/FM tekniğiyle çalışan mikrodalga radyo-röle sistemleri üzerinden yüksek hızlarda sayısal bilgi

iletimini gerçekleştirmek için iki temel ve farklı yol izlenmektedir.

1. Hibrid analog/sayısal iletim : Sayısal ve analog bilgiler frekans spektrumları birbirleriyle çakışmayacak biçimde iki ayrı taşıyıcı dalga ile modüle edilerek birleşik bir temelband işareti oluşturulur ve bu işaret yeni bir modülasyon işlemiyle, örneğin: FM modülasyonu ile istenen radyo frekans bandında iletilir: Bu yöntem özellikle var olan radyo-röle sistemlerinden yararlanılması arzu edildiğinde ve genellikle küçük ve orta kapasiteli sayısal bilgi iletimlerinin sözkonusu olduğu durumlarda, uygun bir çözüm oluşturmaktadır.

2. Salt sayısal radyo-röle sistemleri üzerinden iletim : Bu yöntemle genellikle küçük, büyük ve çok büyük kapasiteli sayısal bilgi iletimini sağlayan sistemlerin tasarımı üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır.



Şekil - 1. Tek yönlü iletim yapan bir sayısal mikrodalga radyo-röle sisteminin blok şeması.

Genel bir sayısal radyo-röle sisteminin blok şeması Şekil-1'de gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği gibi, sayısal enformasyon kaynağı bilgiyi (m_1, m_2, \dots, m_M) ile gösterilen simgelerle üretmektedir. Örneğin, enformasyon kaynağının bir bilgisayar olması durumunda, bilgi (0,1) simgeleriyle ya da Türkçe yazılmış bir metin olması durumunda (a,b,c,...,z) simgeleriyle oluşturulacaktır. Kaynağın m_i simgelerinin birbirlerinden bağımsız olarak ve $P(m_j)$, $j = 1, 2, \dots, M$, olasılıkları ile ürettikleri düşünülürse, her simgenin taşıdığı bilgi

$$I_{m_i} = -\log_2 P(m_i) \quad (\text{bit})$$

ve simgelerin taşıdığı ortalama bilgi

$$H = -\sum P(m_j) \log_2 P(m_j) \quad \text{bit/simge}$$

bağıntılarından hesaplanacaktır (1).

Enformasyon kaynağı çıkışındaki sayısal bilgi önce bir sayısal modülasyon işlemiyle arzu edilen frekans spektru-

muna sahip bir elektriksel işarete dönüştürülür ve bu işaret daha sonra mikrodalga vericisiyle iletilecek mikrodalga bandına kaydırılır. Alıcı tarafta ise, vericideki işlemlerin tam tersi yapılarak, çıkışta yine (m_i) simgeleri elde edilir. Ancak sisteme giren gürültü ve öteki bozucu etkelerin bir sonucu olarak, çıkışta m_i simgelerinden bazıları hatalı olarak alınacaktır. Çıkıştaki her simgenin ortalama olarak hatalı alınması olasılığına sistemin "hata yapma olasılığının sisteme giren gürültü gücüne, daha doğrusu, işaretin taşıdığı gücün gürültü gücü (işaret/gürültü) oranına bağlı olduğu görülmektedir.

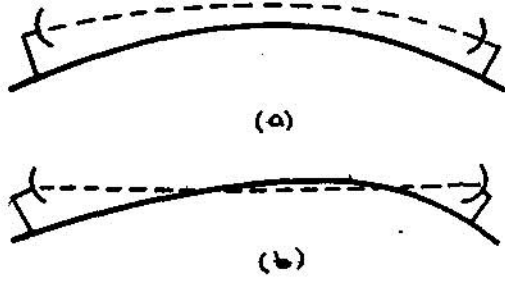
Bir sayısal röle sisteminde temel problem, sistemin belli bir hata olasılığının altında çalışacak biçimde tasarlanmasıdır. Alıcıya gelen işaretin genliğindeki, iletim ortamının neden olduğu, rastgele değişmelerin (fading), bir sonucu olarak, işaret/görüntü oranı değişecek ve dolayısıyla sistemin hata olasılığı sistem için belirlenmiş üst sınırı aşabilecektir. Bu durumda sistem devre dışı kalacaktır. Sistemin devre dışı kalma sürelerini minimuma indirmek için, sistem tasarımında öngörülen hata olasılığının verilen üst sınırdan daha küçük seçilmesi yoluna gidilmektedir. Zayıflama payı (fading margin) adı verilen bu yulla, sistemin devre dışı zamanlarının belli bir düzeyi akması sağlanmaktadır.

Sistem kalitesini belirleyen yukardaki özelliklere ek olarak işaretin frekans spektrumunun da sistem tasarımında gözönüne alınması, gerekli ve önemli bir etkidir. Genellikle, daha dar bir frekans bandından daha fazla bilgi iletiminin gerçekleştirilmesi arzu edilir. Bu şekilde belli bir haberleşme bandından en etkin bir biçimde yararlanılmış olunacaktır. Bunun için, band genişlik verimi adı verilen bir ölçü kullanılır. Band genişliği verimi, işaretin birim frekans başına taşıdığı bilgi miktarı olarak tanımlanır ve birimi (bit/s/Hz)'dir.

Sonuç olarak, bir sayısal radyo-röle sisteminin tasarımında gözönüne alınması gereken temel konular, seçilecek modülasyon türü, kullanılacak gönderme-alma taşıyıcı frekansları, atlama (hop) uzaklıkları, anten türü ve boyutları, gönderilecek enformasyon miktarı, kullanılacak band genişliği ve dışardan karışmalara (interference) karşı duyarlılık olmaktadır.

2. YAYILIM (PROPAGASYON) ÖZELLİKLERİ

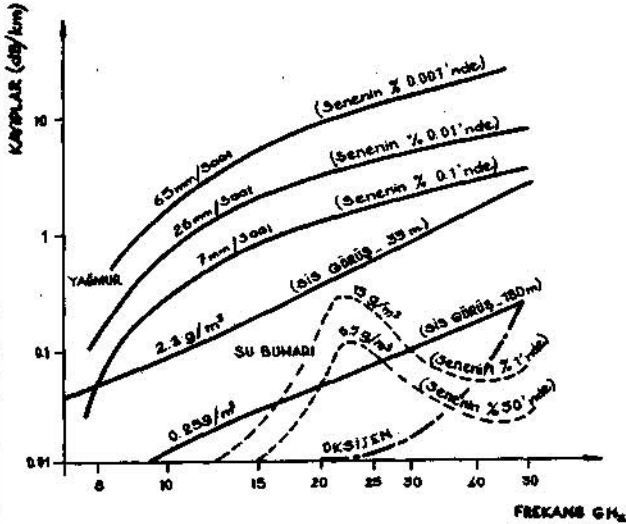
Mikrodalgalar atmosferde doğrusal olarak yayılırlar. Alıcı ve verici antenlerin birbirlerini doğrudan doğruya görme zorunluluğu, sıçrama (hop) uzaklıklarını, yeryüzü engellerinden dolayı, 50 km civarında sınırlandırır. Ancak atmosfer yoğunluğunun yükseklikle azalması nedeniyle, dalganın üst kısımları biraz daha hızlı yayılır. Bunun sonucu olarak doğrusal yayılma yerine, Şekil-2'de görüldüğü gibi, bir kıvrılma oluşur.



Şekil-2.

- j) Atmosfer yoğunluğunun yükseklikle azalması nedeniyle birbirlerini doğrudan doğruya görmeyen iki anten arasında mikrodalga iletiminin mümkün olduğu durum.
- b) Atmosfer yoğunluğu ve nemindeki değişiklikler nedeniyle kıvrılmanın azalması ve iletimin yeryüzü tarafından engellenmesi durumu.

Atmosferde yayılan radyo dalgaları frekanslarına, uzaklığa ve atmosfer koşullarına göre belirli bir zayıflama ile alıcıya ulaşırlar. Bu zayıflama aşağıdaki (1) bağıntısıyla verilmiş olup,



Şekil - 3. Yağmur, sis su buharı (nem) ve oksijen kayıplarının yer seviyesinde normal bir iklimde frekansa bağlı miktarları. (Kaynak)

$$\text{Zayıflama}_{dB} = 32.45 + 20 \log D_{km} + 20 \log F_{MHz} + a + b + c + d + e \quad (1)$$

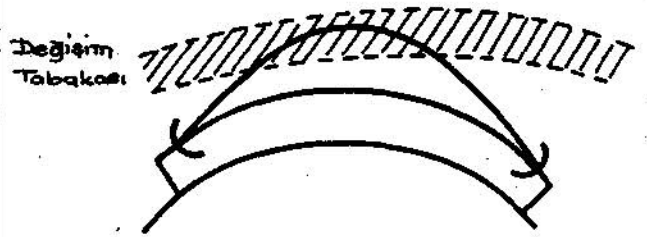
burada;

- a = Su buharının neden olduğu zayıflama (dB)
- b = Sisinden neden olduğu zayıflama (dB)
- c = Oksijenin neden olduğu zayıflama (dB)
- d = Öteki gazların neden olduğu zayıflama (dB)
- e = Yağışların neden olduğu zayıflamalar (dB)

dir. Belirtilen bu kayıplar frekansa bağlı olarak Şekil-3'de gösterilen biçimde değişirler. Ayrıca, bu kayıplar zamanın belirli bir yüzdesinde, çevrenin iklim koşullarına göre, belirli değerler alırlar. İletimin yapılacağı yöredeki yağış nem ve sis miktarları kayıpların bulunması için gereken verilerdir.

Şekil-3'de görüldüğü gibi, iklim koşullarının doğurduğu kayıplar 10 GHz'in üzerindeki frekanslarda etkili olmaktadır. Bu kayıpların içinde en önemli olanı ise yağışlar nedeniyle olan kayıplardır ve bunlar sistemin bazı zamanlarda devre dışı kalmasına neden olabilirler.

Yukarıda belirtilen kayıpların olmadığı normal koşullarda bir ikinci etken, çok-yollu zayıflama (multipath fading) ile ortaya çıkar. Bu durumda Şekil-4'de görüldüğü gibi, değişik uzunluktaki yollardan alıcıya gelen işaretler bazı frekanslarda aynı ya da yakın fazlı olmalarından dolayı birbirlerine eklenip işaret gücünü arttırdığı halde, bazı frekanslarda ters ya da çok farklı fazlarda olmalarından dolayı birbirlerinin gücünü azaltabilirler. Bu etki altında alıcıdaki işaretler önemli ölçüde grup gecikme bozulmalarına uğurlar. Bu bozulmanın etkisinde kalan alıcının doğru kararlar vermemesi, hata oranını sistemin devre dışı kalma seviyesine kadar çıkartabilir.



Şekil - 4. Çeşitli yollardan alıcıya ulaşan dalgaların karışım problemi. Bu durum sıcak ve kuru yaz gecelerinde atmosferde sabit değişim tabakalarının oluştuğu durumlarda ortaya çıkmaktadır.

Çok-yollu zayıflama etkilerinin giderilmesi için iki yöntem kullanılabilir. Aynı bilginin iki ayrı frekanstaki taşıyıcı dalgalarla gönderilmesi olan frekans ıraksanması

(frequency diversity) ile bir frekansta çok-yollu zayıflama olsa bile her iki frekansta birden bozulmanın olması ihtimali azaltılabilir. Alıcıda birbirlerinden dikey yönde uzaklaştırılmış iki antenin kullanıldığı konum ıraksanması (space diversity) ile bir antenin aldığı işarette çok-yollu zayıflamanın olması halinde öteki antende bu etki azaltılmış olmakta ve antenlerden alınan işaretlerin güçlü olanı kullanılmaktadır.

Belirtilmesi gereken önemli bir konu da, çok-yollu zayıflama ile iklim koşullarından doğan zayıflamaları aynı anda etkilerini göstermedikleri gerçeğidir. Bu nedenle, 10 GHz'in üzerindeki frekanslarda yağış kayıpları bunun altındaki frekanslarda da çok-yollu zayıflama iletim kaybı olarak sistem tasarımında gözönüne alınabilir.

İletimin yapılacağı yörenin iklim ve çevre koşullarına göre yukarıda belirtilen iletim kayıplarının bilinmesi farklı sıçrama aralıkları için verici çıkış gücünün bulunmasını sağlar. Ancak, bu gücün bulunması için sistemde kullanılan elemanların ve zayıflama payının da belirlenmiş olması gerekir.

a) Alıcı ve verici anten kazançları

Kullanılan antenlerin fiziksel büyüklükleri arttıkça kazançları da artar. Kullanılan frekansın yükselmesiyle aynı kazancı veren antenlerin küçülmesi tasarımda frekansın ve anten büyüklüklerinin, ekonomik ve teknolojik açıdan belirlenmesini gerektirir. Kullanılan parabolik yansıtıcı antenler hakkında gerekli geniş bilgiler ilişikte verilen referanslarda bulunabilir. Ancak anten sisteminde ek kayıplara neden olan "sirkülatörler", "yönlü kuplörler" "radomlar" ve "dalga kılavuzları" gibi elemanlar da vardır. Bu elemanların kayıpları ayrıca gözönüne alınmalıdır.

b) Zayıflama payı

Sistemde iki tekrarlayıcı arasındaki uzaklığa bağlı olarak belirlenen iletim kaybı, daha önce de belirtildiği üzere yılın bazı zamanlarında çok artıp sistemin devre dışı kalmasına neden olabilir. Tasarımda varsayılan en fazla devre dışı kalma zamanının aşılması için belirli bir zayıflama payı bırakılma zorunluluğu vardır.

c) İşaret-gürültü oranı

Seçilen modülasyon türüne bağlı olarak istenen hata oranı sınırının aşılması için gerekli alıcı giriş işaret/gürültü oranı belirlidir. Sisteme giren gürültü ve kullanılan band genişliğine bağlı olarak, alıcı giriş işaret gücü belirlenir.

Bu verilerden yararlanarak değişik uzaklıklar için gerekli verici çıkış gücü aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$G_G = A_0 + A_{ZP} - K_G - K_A + G_A + K_E \quad (2)$$

Burada,

$$G_G = \text{Verici çıkış gücü} \quad (\text{dBm})$$

$$A_0 = \text{İletim kaybı} \quad (\text{dB})$$

$$A^p = \text{Zayıflama payı} \quad (\text{dB})$$

$$K_G = \text{Verici anten kazancı} \quad (\text{dB})$$

$$K^A = \text{Alıcı anten kazancı} \quad (\text{dB})$$

$$G_A = \text{Alıcı işaret gücü} \quad (\text{dBm})$$

$$K_j = \text{Sistemin toplam eleman kayıpları} \quad (\text{dB})$$

dir. Genel olarak, bütün verilerin belirlenmesi sistemde beklenen performansa bağlıdır. Frekans bandının ve kullanılacak band genişliğinin seçimi iletilmesi istenen bilgi miktarına ve CCIR tavsiyelerine göre yapılır. 10 GHz'in altındaki frekans bandları analog sistemler tarafından kullanıldığı halde, eşdeğer performansa sahip sayısal radyo-röle sistemleri içinde kullanılabilir. Ancak 10 GHz'in üzerinde iletim kayıplarının yağışların etkisi ile çok artması tekrarlayıcılar arasındaki sıçrama uzaklıklarını çok azaltır. Bu durumda gürültünün birikme etkisi nedeniyle analog sistemlerin kullanılması zorlaşacağından, "regeneratif" tekrarlayıcılar in kullanıldığı sayısal radyo-röle sistemleri için frekans band ve düzenlemeleri CCIR tarafından tavsiye edilmektedir. Bu frekans bandları ve kanal düzenlemeleri hakkında bilinen tavsiyelerin yanısıra daha yenilerinin yapılmasına ve araştırılmasına devam etmektedir.

3. MODÜLASYON YÖNTEMİNİN SEÇİMİ

Sayısal işaretlerin radyo-röleler aracılığıyla iletiminde üç temel modülasyon yöntemi kullanılır. Şekil-1'de $S_j(t)$ işareti her T süresince kaynaktan üretilen m j ayrıık değerleriyle modüle edilmiş taşıyıcı dalgayı göstermektedir. Bu dalgaların biçimleri kullanılan modülasyon yöntemlerine göre aşağıdaki biçimde belirlenir.

a) Genlik kaydırmalı modülasyon (Amplitude Shift Keying, ASK) :

Bu modülasyon yönteminde, f_c sabit taşıyıcı frekansında ki taşıyıcı dalganın genliği (m_i) değerlerine bağlı olarak değişmemektedir.

$$\text{ASK: } m = m_j \quad S_j(t) = A_j \cos w_c t ; \quad w_c = 2\pi f_c$$

$$i = 1, 2, \dots, M$$

b) Faz kaydırmalı modülasyon (Phase Shift Keying, PSK) :

Bu modülasyon yönteminde f_c frekansındaki sabit genlikli taşıyıcı dalganın fazı, (m_i) değerlerini bağlı olarak değiştirilmektedir.

$$\text{PSK : } m = m_j ; \quad S_j(t) = A \cos(w_c t + \frac{2\pi i}{M}),$$

$$i = 1, 2, \dots, M$$

c) Frekans kaydırmalı modülasyon (Frequency Shift Keying, FSK) :

Bu modülasyon yönteminde, sabit genlikli taşıyıcı dalga-

nin frekansı, (m;) değerlerine bağlı olarak değişik f j frekansları arasında kaydırılır.

$$\text{FSK : } m = m_i \quad S_j(t) = A \cos (w_c + W_j)t,$$

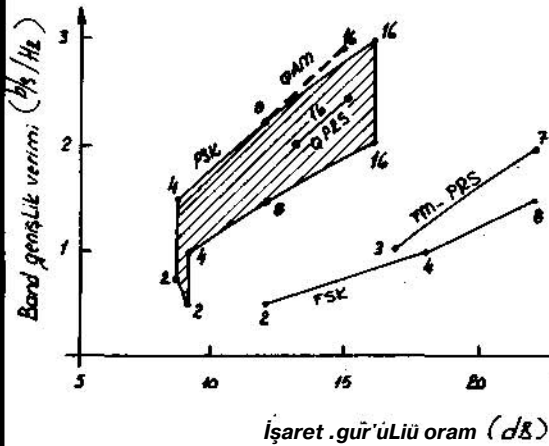
$$i = 1, 2, \dots, M$$

Sayısal radyo-röle sisteminde uygulanacak modülasyon yönteminin seçiminde iki ana etken gözönüne alınır.

a) Alıcı girişindeki çeşitli işaret/gürültü oranlarıyla elde edilen hata oranları. Bu oranlar modülasyon türlerine bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilirler.

b) Belirli hızda üretilen bilgiyi iletebilmek için gerekli band genişliği. Bunun ölçüsü "band genişlik verimi" (bandwidth efficiency) olarak belirlenmektedir ve birimi (bit/saniye/Hz)'dir.

Bu etkenlere göre çeşitli modülasyon türlerinin birbirleriyle karşılaştırılması için gerekli veriler Şekil-5'de gösterilmiştir. Bu şekilde, ÇAM (Çuadrature Amplitude Modulation), aralarında 90° faz farkı bulunan, aynı frekanslı iki taşıyıcı dalganın birbirinden bağımsız iki işaret ile modüle edilmesidir.



Şekil - 5. 10^{-4} Hata oranı için çeşitli modülasyon yöntemlerinin belirli band genişlik verimine göre gereken işaret/gürültü oranları. Taralı alan pratikteki PSK sistemlerinde elde edilebilen band genişlik verimlerini göstermektedir.

PRS (Partial Response), sayısal bir kodlama yöntemi olup, sayısal haberleşmede bilgi iletimi hızını etkileyen en önemli nedenlerden biri olan simgelerarası girişimleri (intersymbol interference) minimum yapmak için özellikle son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

QPRS (Quadrature Partial Response), ÇAM modülasyonunda, belirtilen birbirinden bağımsız iki sayısal işaretin PRS yöntemi ile kodlanmış halidir.

FM-PRS, belli frekanstaki bir taşıyıcı dalganın PRS yöntemi ile kodlanmış bir sayısal işaret ile FM modülasyonunu göstermektedir.

Şekil-5'de genlik modülasyonu için ayrıca bir bilginin verilmemesinin nedeni ise, yalnız başına uygulandığı durumlarda bu modülasyon türünün verici gücünü çok verimsiz biçimde kullanmasıdır. Ayrıca, genlik modülasyonu, sistemdeki lineer olmayan elemanların neden olduğu bozulmalara karşı çok hassastır.

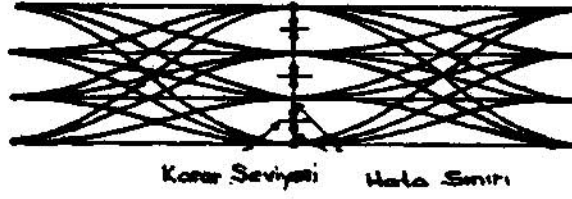
Modülasyon yöntemleri, band genişlik verimi ve belirli hata oranı için gerekli işaret/gürültü oranının yanı sıra, bozulmalara karşı duyarlık ve uygulanabilme kolaylığı yönünden de karşılaştırılırlar. Önce ilk iki etken gözönüne alınarak bir ön tasarım biçimi belirlenir ve sonra öteki iki etkenin gözönüne alınmasıyla sonuca varılır.

Şekil-5'de de PSK ile FSK modülasyon türlerinin birbirleriyle karşılaştırılmaları sonucunda, PSK'nın band genişlik verimi ve hata oranına karşılık gerekli işaret/gürültü oranı açısından çok daha uygun olduğu görülür. Ancak uygulama zorluğu ve bozulmalara karşı duyarlı olması nedeniyle, PSK yerine verici gücünün artırılması ya da atlama uzaklıklarının (Hop) azaltılması ile uygulamasının daha kolay olabileceği FSK modülasyonu kullanılabilir. Daha fazla bilginin belirli bir bandtan gönderilme zorunluluğunun ortaya çıkması durumunda, 4 ya da 8 seviyeli PSK ya da FSK modülasyonları kullanılabilir. Ancak bu durumda, FSK için gereken işaret gürültü oranı çok fazla artacağından, ya PSK ya da öteki daha karmaşık modülasyon yöntemlerinin kullanılması zorunlu olur.

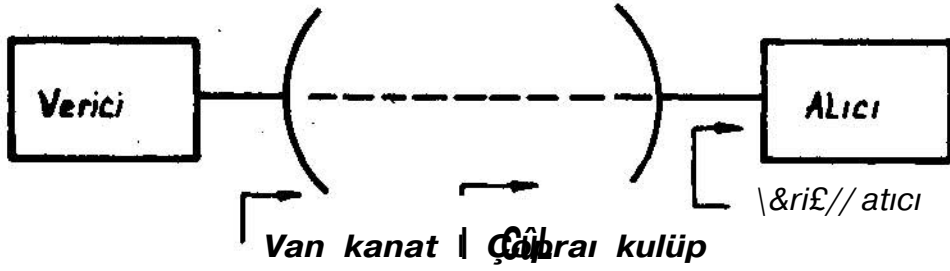
4. FİLTRELER

Sayısal işaretlerin öteki kanallar üzerindeki karışım etkileri gücün frekans dağılımına bağlıdır. Aynı sayısal işaret ve değişik modülasyon yöntemleriyle modüle edilmiş taşıyıcı dalganın frekans spektrumu çeşitli dağılımlar gösterir. Tasarımda bu spektruma amaca uygun bir biçim vermek ve gücü bir frekans civarında yoğunlaştırmak çözülmesi gereken önemli bir problemdir.

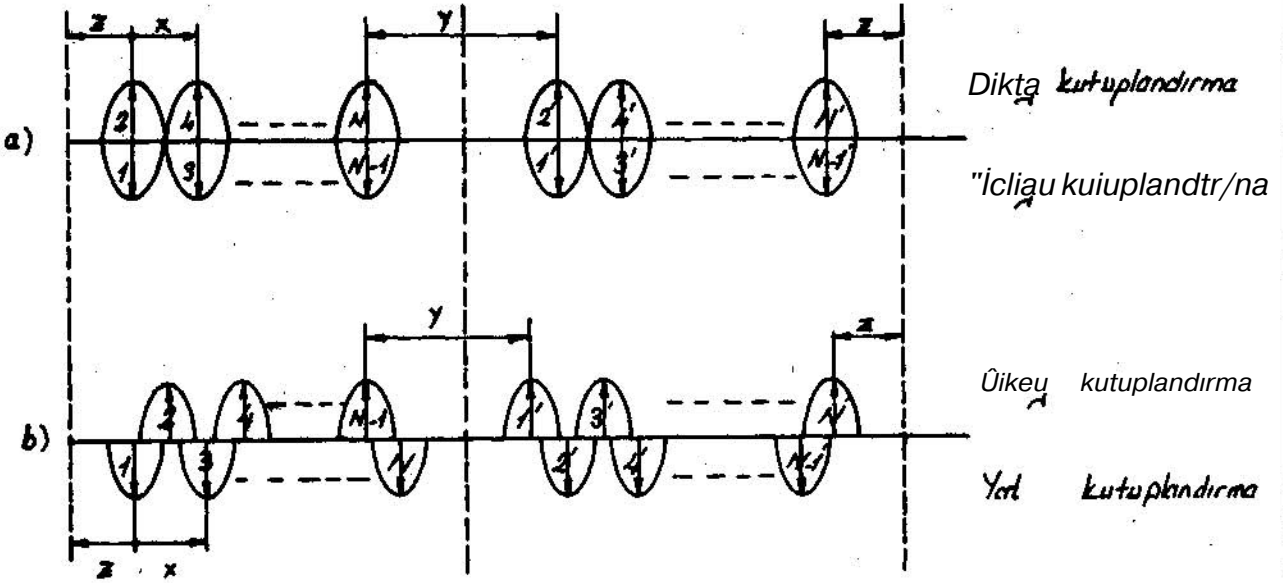
Sayısal işaretlerin frekans spektrumlarına iki farklı yöntemle biçim vermek mümkündür; a) Kodlama (zaman domeninde) filtreleme (frekans domeninde). Zaman domenindeki biçimlendirme, kısaca, simgelerin daha önceki simgelerle birleştirilmiş ağırlıklı toplamlarının alınmasıyla yapılır. Bu biçimde gönderilen bir simgenin seviyesi, o andaki giriş seviyesi ve daha önceki giriş simgelerinin se-



Şekil - 6. 4 seviyeli göz örüntüsü.



Şekil - 7. Karışım kaynakları.



Şekil - 8.

- a) (Çapraz kutuplu ortak) düzenleme.
- b) (Atlamalı, çapraz kutuplu) düzenleme.
- X Van kanal frekans aralığı
- Y Aynı verici alıcı alıcı frekans aralığı
- Z En dış kanalların band sınırı ile alan frekans aralığı.

viyeleri tarafından belirlenir. Çeşitli kurallar uygulayarak, değişik spektrum biçimlerinin elde edilmesi mümkündür. Filtre ile bandın sınırlandırılması halinde de aynı işlem yapılmıştır, çünkü bu halde gönderilen simgelerin enerjisi bir zaman aralığı yerine birçok zaman aralığına dağılmış olur. Spektrum biçimlendirilmesiyle ortaya çıkan simgelerarası girişim bazı durumlarda alıcıda yanlış kararlar verilmesine neden olacak seviyelere ulaşabilir. Bu girişimin etkisinde demodüle edilmiş işaretin değerlendirilmesi için bir ölçüt "göz diyagramı"dır. (eye pattern). Göz diyagramı temel bandtaki çeşitli dalga biçimlerinin bir sembol aralığında üst üste bindirilmesinden oluşur. Şekil-6'da 4 seviyeli bir göz diyagramı verilmiştir.

Yan kanal karışımı filtrelerin özelliğine bağlıdır ve yan kanal frekans bandında yeterli zayıflama veren filtrelerin kullanılması gerekir. Aynı yerdeki alıcı ile verici arasındaki karışım Y aralığına ve yine bu aralıktaki kanal filtrelerinin yeterli zayıflama vermesine bağlı olarak azaltılır. Düşey ve yatay polarizasyonlar arası ayırımın analog sistemler için en az 70 dB olması gerekli iken, sayısal sistemlerde 30 dB lik bir ayırım yeterli olur.

Bu şekilden de görüleceği gibi, göz açıklığının azalması ya da karar verme anının göz açıklığının daraldığı kısımlara kayması hata yapılma olasılığını arttıracaktır.

PRS kodlama yönteminde, simgelerarası girişim kontrolü olarak oluşturulur ve alıcıda bu girişimin etkisi ortadan kaldırılır. Bu işlem genlik ve faz karakteristikleri çok hassas olarak hesaplanmış filtrelerle yapılır. Filtreler alıcı ve vericide kanal karakteristiğine bağlı olarak uygun bir biçimde dağıtılır. Sonuç olarak filtre tasarımı sistemin tüm tasarımı içinde önemli bir yer tutar.

5. KANAL DÜZENLENMESİ

Bir sayısal radyo-röle sisteminde karışımın ana kaynakları Şekil-7'de gösterildiği gibi;

- 1) Yan kanal (adjacent channel)
- 2) Karşı kutup (cross-polar)
- 3) Aynı noktadaki verici ile alıcı (local transmitter to receiver)

arası karışımlardır. Bu karışımlara karşı, mümkün olan iki kanal düzenlenmesi Şekil-8'de gösterilmiştir. Bu düzenlemeler,

- a) Çapraz kutuplu ortak kanal (cross-polar) düzeni
- b) Atlamalı, çapraz kutuplu (interleaved cross-polar) düzeni'dir.

6. SONUÇLAR

Bu yazıda sayısal işaretlerin radyo-rölelerle iletiminde karşılaşılan problemler genel olarak ele alınmıştır. Bir sa-

yısal radyo-röle sistemi tasarımında mikrodalgaların yayılma özelliklerinin, modülasyon yönteminin, sistem elemanlarının ve kanal düzenlenmesinin etkileri incelenmiştir.

10 GHz'in üzerindeki frekanslarda yağmur kayıplarının artışı ile regeneratif tekrarlayıcıların kullanılabilirdiği kısa atlama aralıklı sayısal radyo-röle sistemlerinin uygunluğu belirlenmiştir. Düşük kapasiteli sistemler için alçak seviyeli PSK ya da Duobinary FM sistemlerinin kullanımı yeterli olmaktadır. Ancak yüksek kapasiteli sistemler için karışık modülasyon yöntemleri ve bunlara uygun demodülatörlerin kullanım zorunluğu bu alanda çalışmaların yapılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, gelişmiş ülkelerde haberleşme alanındaki araştırmalar yüksek kapasiteli ve kaliteli sayısal radyo-rölelerin gerçekleştirilmesine yönelmiştir. Ayrıca, alçak kapasiteli sistemlerde, uygulama kolaylığı nedeniyle yüksek kapasitenin gerekmediği yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

KAYNAKLAR

- (1) L.J. Stagg, "High-Capacity Digital Microwave Radio Systems", Microwaves, Optics and Acoustics, September 1976, Vol. 1, No. 1, pp. 1-12.
- (2) S.G. Ailen, "A Comparison of PCM and FDM-FM Microwave Radio Systems", The Radio and Electronic Engineer Vol. 41, No. 5, May 1971, pp. 195-205.
- (3) G.CRIPPA-A. MAGNONI-F. GAGLIARI, "Compatibility of Digital and Analog Transmission in Microwave Radio Relay Systems", Alta Frequenza. Vol. XLIII, No. 1, Gennaio 1974, pp. 16-28 E.
- (4) Robert K.Kwan, "Advances in Digital Radio Systems", IEEE Trans.Commn., Vol.Com-21, pp. 147-151, Feb. 1973.
- (5) "OPRS. 8 Digital Radio System" Telesis, BNR, Vol. 5, No. 6, Dec. 1977.
- (6) Roger L. Freeman, "Telecommunication Transmission Handbook", John Wiley and Sons, Inc., Cop. 1975.
- (7) P.Bylansk, and D.G.W Ingram, "Digital Transmission Systems", IEE Publication, Cop. 1976.
- (8) J.R.Davey, "Modems", Proc. of IEEE, Vol. 60, No. 11, November 1972, pp. 1284-1292.
- (9) A. Beygu -S. Arf-D. Navaro, "11 GHz Bandında Çalışan Bir Sayısal Radyo-röle Sistemi Proje Önerisi", T.B.T.A.K. Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü. Elek. Araş. Bölümü, Ünite içi Rapor No: UI-78/8.