



Deney 6: Antenlerde Kutuplanma (Polarizasyon) Ölçümü

1 Amaç

1. RF frekanslarında çalışan anten çiftleri kullanılarak polarizasyon uyumunun iletim performansı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemek.
2. Lineer–lineer anten çiftinde alınan gücün, alıcı anten döndürüldükçe $\cos^2 \Psi_p$ ile orantılı değişip değişmediğini ölçmek.
3. Lineer–dairese, dairese–dairese (aynı el) ve dairese–dairese (zıt el) anten çiftlerinde ölçülen güç düzeylerini kuramsal PLF değerleriyle karşılaştırmak.

2 Ön Hazırlık Soruları

1. Hangi antenler lineer polarizedir? Hangi antenler dairese polarizedir? Buna nasıl karar verilir? Bu karar mekanizmasında en kolay karar verme yöntemi nedir?
2. Eksenlerin oranı (Axial Ratio) nedir? Bir antenin dairese kutuplamalı olup olmamasında eksenlerin oranı ne gibi rol oynar?
3. Gerçek hayatta lineer polarize antenlere örnek uygulamalar bulunuz; hangi tür kablosuz haberleşmede kullanılan antenler lineer polarizedir?
4. Gerçek hayatta dairese polarize antenlere örnek uygulamalar bulunuz; hangi tür kablosuz haberleşmede kullanılan antenler dairese polarizedir?
5. Çanak anteni hangi polarizasyondaki haberleşmelerde kullanılır?
6. İki lineer polarize anten arasındaki açı 30° , 45° ve 60° iken polarizasyon kayıp faktörü (PLF) lineer olarak ve dB cinsinden ne olur? Hesabını gösteriniz.
7. Frekans 2.45 GHz ve anten aralığı $R = 4$ m iken serbest uzay terimi $20 \log_{10}(\lambda/4\pi R)$ kaç dB'dir? $P_t = 0$ dBm, $G_t = G_r = 0$ dBi ve PLF = 1 varsayarak alınan gücü hesaplayınız.

3 Temel Kavramlar

3.1 Giriş

Serbest uzayda iki anten arasındaki alınan güç Friis iletim bağıntısıyla verilir (lineer form):

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \times \text{PLF} \quad (6-1)$$

Burada:

- P_t : verici çıkış gücü (lineer),
- G_t, G_r : verici ve alıcı antenlerin lineer kazançları,
- λ : dalga boyu, R : iki anten arası mesafe,
- PLF: Polarizasyon Kayıp Faktörü (Polarization Loss Factor, lineer); antenlerin polarizasyonlarının birbirine göre uyumsuzluğundan kaynaklanan ekstra çarpandır.



dB cinsinden yazılırsa:

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_t(\text{dBi}) + G_r(\text{dBi}) + 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) + 10 \log_{10}(\text{PLF}) \quad (6-2)$$

Polarizasyon Kayıp Faktörü (PLF), verici ve alıcı antenlerin polarizasyon vektörlerinin iç çarpımıyla tanımlanır; basitçe:

$$\text{PLF} = |\rho_t \cdot \rho_r^*|^2 \quad (6-3)$$

Burada ρ_t ve ρ_r birim (normalleştirilmiş) polarizasyon vektörleridir ve * kompleks eşlenmeyi gösterir. PLF lineer aralıkta $0 \leq \text{PLF} \leq 1$ arasındadır; dB cinsinden ifade için $\text{PLF}_{dB} = 10 \log_{10}(\text{PLF})$ yazılır.

Bazı yaygın durumlar (2.45 GHz deneyinizde beklenen teorik değerler):

- **İki lineer anten**, aralarındaki açı θ (birini döndürerek):

$$\rho_t \cdot \rho_r = \cos \theta \Rightarrow \text{PLF} = \cos^2 \theta \quad (6-4)$$

Yani $\theta = 0^\circ$ için $\text{PLF} = 1$ (0 dB kayıp), $\theta = 90^\circ$ için $\text{PLF} = 0$ (ideal durumda sonsuz izolasyon; pratikte çok büyük kayıp).

- **Lineer (herhangi açıda) ile dairesel (ideal RHCP veya LHCP) anten arasında:**

Bir ideal dairesel polarizasyon, herhangi bir doğrusal polarizasyonun bileşenlerini eşit ve 90° faz farkıyla içerir; lineer–daireysel etkileşiminde teorik $\text{PLF} = 1/2$ (yani –3 dB kayıp) olup açığa bağlı değildir:

$$\text{PLF}_{\text{lineer-dairesel}} = 0.5 \text{ (–3 dB)} \quad (6-5)$$

- **İki dairesel anten, aynı el** (ör. RHCP–RHCP):

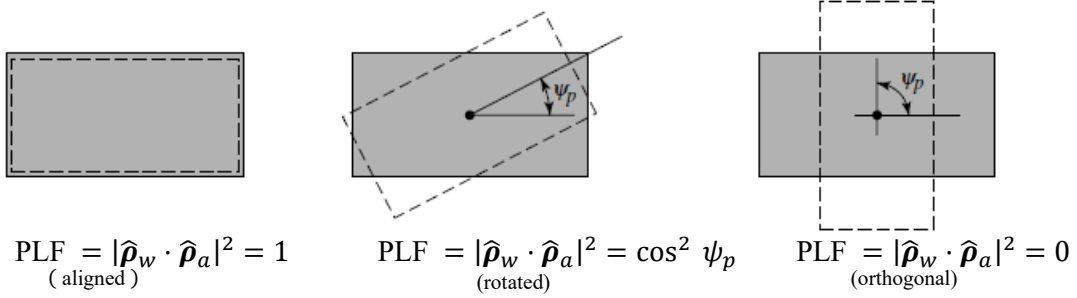
$$\text{PLF} = 1 \text{ (0 dB)} \quad (6-6)$$

- **İki dairesel anten, zıt el** (RHCP–LHCP):

$$\text{PLF} = 0 \quad (6-7)$$

(İdeal olarak tam sönüm; pratikte çok büyük kayıp.)

Bu ilişkilere dayanarak deneyde yapılacak ölçümler şunları sağlayacaktır: bir anteni döndürerek (lineer–lineer durumda açı θ değişimi) alınan gücün $\cos^2 \theta$ şeklinde değişip değişmediği; lineer–daireysel düzende yaklaşık –3 dB sabit kayıp gözlenip gözlenmediği; dairesel–daireysel aynı/ters el uyumlarının beklenen 0 dB veya çok yüksek kayıp (pratikte ≥ 20 –30 dB veya daha fazla) ile sonuçlanıp sonuçlanmadığı deneysel olarak doğrulanacaktır.



Şekil 6-1. Alıcı ve verici anten arasındaki Polarizasyon Kayıp Faktörü (PLF) durumları: hizalı (aligned), döndürülmüş (rotated) ve dik (orthogonal).

4 Gerekli Ekipmanlar

- Vektör Network Analizörü (VNA)
- RF Sinyal Üretici (3 GHz)
- Spektrum Analizörü (3 GHz)
- Mikroşerit yama anten (2.45 GHz’de çalışan)
- Dairesel polarize (heliks) antenler (sağ-el ve sol-el)
- Kablo ve konnektörler

5 Deneyin Yapılışı

5.1 Ölçüm Düzenegi ve Deney Adımları

Bu deneyde; (a) iki lineer polarize anten, (b) iki dairesele polarize (heliks) anten, (c) bir lineer polarize + bir dairesele polarize anten ve (d) sağ-el dairesele polarize + sol-el dairesele polarize anten düzeneklerinde alınan güç ve polarizasyon kayıp faktörü (PLF) değişimi açıya göre ölçülecektir. Sonuçta lineer–lineer, lineer–dairesele ve dairesele–dairesele (aynı/zıt el) eşleşmelerinin farkları gözlemlenecek ve yorumlanacaktır. Ölçümlerde RF Sinyal Üretici ve Spektrum Analizörü kullanılacaktır.

1. İki adet birbirine eş lineer polarize anteni karşılıklı konumlandırınız. Friis denkleminde göre anten ölçüm düzenegini kurunuz. (Verilen güç: 0 dBm, antenler arası R mesafesi 4 m, frekans: 2.45 GHz verilerini giriş kabul ediniz.)
2. Sinyal Üreticiden RF-On tuşuna basarak antenleri karşılıklı konumlandırınız ve alıcıdan alınan gücü ölçünüz.
3. Alıcı anteni (karşınıza aldığınızda) saat yönünde sırasıyla 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°’lik Ψ_p açısı ile döndürünüz. Her seferinde spektrum analizöründe gördüğünüz güç değerlerini not ediniz.
4. 1., 2. ve 3. adımları iki dairesele polarize (heliks) anten için tekrarlayınız.
5. 1., 2. ve 3. adımları bir lineer polarize ve bir dairesele polarize (heliks) anten için tekrarlayınız.
6. 1., 2. ve 3. adımları biri sağ-el dairesele polarize ve diğeri sol-el dairesele polarize anten için tekrarlayınız.

5.2 Ölçüm Kayıtları

Ölçüm sonuçlarını aşağıdaki tablolara not alabilirsiniz.

**Tablo 6-1.** Lineer polarize – lineer polarize anten ölçümleri.

Döndürme Açısı (Ψ_p)	Ölçülen Güç	Max. ölçülen güç $\times \cos^2 \Psi_p$
0°		
15°		
30°		
45°		
60°		
75°		
90°		

Tablo 6-2. Lineer polarize – dairesel polarize anten ölçümleri.

Döndürme Açısı (Ψ_p)	Ölçülen Güç	Max. ölçülen güç $\times \cos^2 \Psi_p$
0°		
15°		
30°		
45°		
60°		
75°		
90°		

**Tablo 6-3.** Dairesel polarize – dairesele polarize anten ölçümleri.

Döndürme Açısı (Ψ_p)	Ölçülen Güç	Max. ölçülen güç $\times \cos^2 \Psi_p$
0°		
15°		
30°		
45°		
60°		
75°		
90°		

Tablo 6-4. Sağ el dairesele polarize (RHCP) – sol el dairesele polarize (LHCP) anten ölçümleri.

Döndürme Açısı (Ψ_p)	Ölçülen Güç	Max. ölçülen güç $\times \cos^2 \Psi_p$
0°		
15°		
30°		
45°		
60°		
75°		
90°		

6 Deney Sonu Soruları

- Ölçüm sonuçlarınıza göre Ψ_p açısı değişimine göre aldığınız güçler $\cos^2 \Psi_p$ ile orantılı şekilde değişiyor mu? Bu durumu açıklayınız.
- Sadece ölçümden elde edilen sonuçlarınıza göre, size şöyle bir soru sorulsa: “Herhangi bir (lineer ya da dairesele) anten polarizasyonundaki haberleşme sistemi için, uygun olmayan polarizasyonda bir anten kullanılsa haberleşmede ne gibi durumlar meydana gelirdi? Olumlu ya da olumsuz yanlarını yazınız.” (Bu madde tüm ders boyunca en kritik sorudur. Friis denklemini de dikkate alarak detaylı şekilde araştırınız ve yorumlayınız.)
- Bu deneyden öğrenilenleri maddeler hâlinde yazınız.
- Lineer–dairesele anten çiftinde ölçtüğünüz kayıp, kuramsal –3 dB değerinden ne kadar sapmıştır? Sapmanın olası nedenlerini (anten eksen oranı, hizalama, çok yollu yayılım vb.) yorumlayınız.