EEM 423
ELEKTROMANYETİK II

POLARİZASYON

2013 – 2014 GÜZ DÖNEMİ

Prof. S. Gökhun Tanyer

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

Önemli not: Ders notlarındaki şekillerin hazırlanmasında internet ortamından faydalanılmıştır. Özellikle belirtilmeyen tüm şekil, tablo, eşitlik ve denklemler vb. "Balanis, Antenna Theory" ile "Collin, Antennas and Radiowave Propagation" kitabından taranarak elde edilmiştir. Alıntıların kaynağına kolay ulaşılabilmesi maksadıyla numarası ve altyazıları da gösterilmektedir.

ELEKTROMANYETİK DALGANIN POLARİZASYONU

EM dalganın polarizasyonu, elektrik alanın polarizasyonu olarak tanımlanmıştır.

Dalganın ilerleyişine göre polarizasyon farklı yönlerde gözlenebilir. Eğer özellikle belirli bir yön belirtilmediyse, dalganın ilerlemekte olduğu yönden dalgaya doğru bakış yönü esas alınmaktadır.

Polarizasyon çeşitleri;

- Doğrusal (linear)
- Dairesel (circular)
  - Saat yönünde
    - LHP - Left Hand Polarisation
    - Clockwise)
  - Saatin ters yönünde
    - RHP - Right Hand Polarisation
    - Counter clockwise)
- Eliptik (elliptical)
  - Saat yönünde
    - LHP - Left Hand Polarisation
    - Clockwise)
  - Saatin ters yönünde
    - RHP - Right Hand Polarisation
    - Counter clockwise)

Saat yönünde = Sol-el polarizasyonu (LHP)

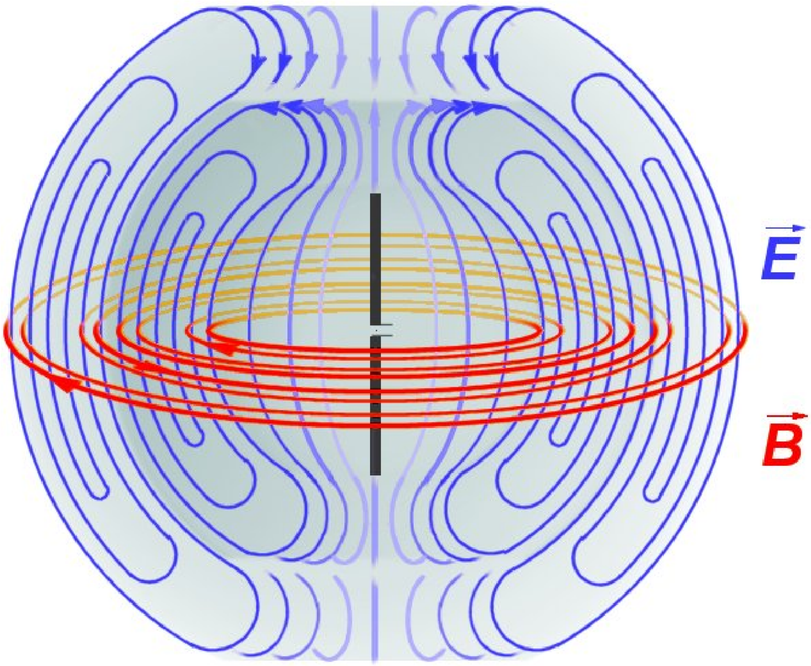
Saatin ters yönünde = Sağ-el polarizasyonu (LHP)

Polarizasyon

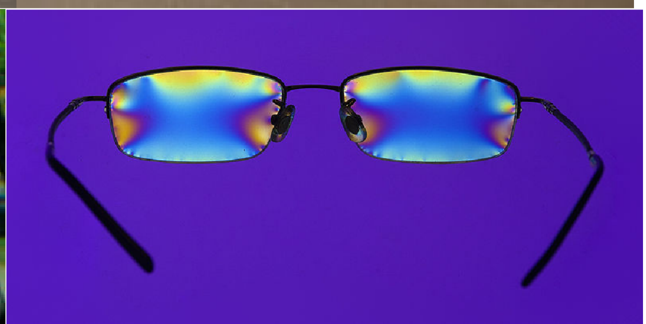
Doğrusal Dairesel Eliptik

polarizasyon.gif

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rising_circular.gif#file



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Felder_um_Dipol.jpg



http://bobatkins.com/photography/tutorials/polarizers.html

ÖDEV (İnternet araştırması)

http://www.enzim.hu/~szia/cddemo/edemo0.htm

ÖDEV (İnternet araştırması)

Polarize gözlük gerektiren 3 boyutlu TV ve sinemaların çalışma prensibini inceleyiniz.

http://www.youtube.com/watch?v=rb7EJXiBQfA vb.

Polarizasyon

- *z* yönünde ilerleyen Elektrik alanının kartezyen koordinatlarda ve uzak alandaki gösterimi (Balanis'in örnek olarak tercihi); Elektrik alanının x bileşeni;

$$\mathcal{E}_x(z;t) = \mathrm{Re}\left[E_x \, e^{j(\omega t + kz)}\right]$$

E_x: komplex sayı

$$E_x = E_{xo} \, e^{j\phi_x}$$

E_{xo}: reel sayı

$$\mathcal{E}_x(z;t) = E_{xo} \cos(\omega t + kz + \phi_x)$$

Benzer şekilde,

$$\mathcal{E}_y(z;t) = E_{yo} \cos(\omega t + kz + \phi_y)$$

Doğrusal Polarizasyon (ilerleme yönü = -z doğrultusunda):

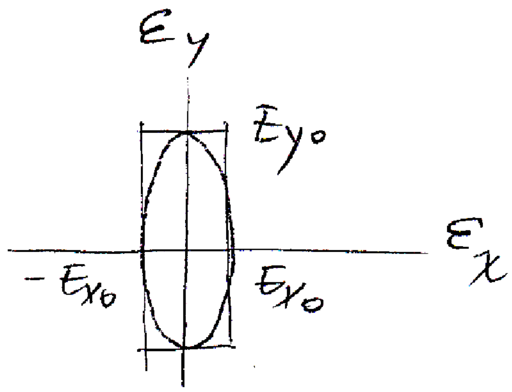
$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi \qquad n = 0, 1, 2, \ldots$$

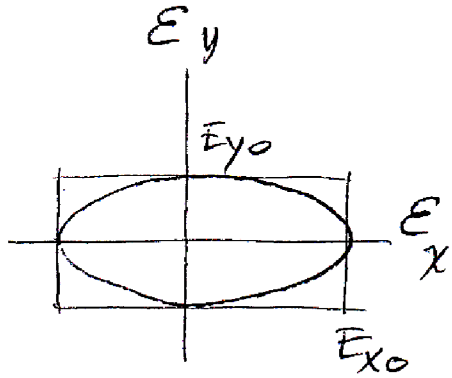
Dairesel Polarizasyon (circular polarization):

$$E_{xo} = E_{yo},$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \begin{cases} \pi/2 + (2\pi)n & cw \\ -\pi/2 + (2\pi)n & ccw \end{cases}$$

Eliptik Polarizasyon (eliptical polarization)





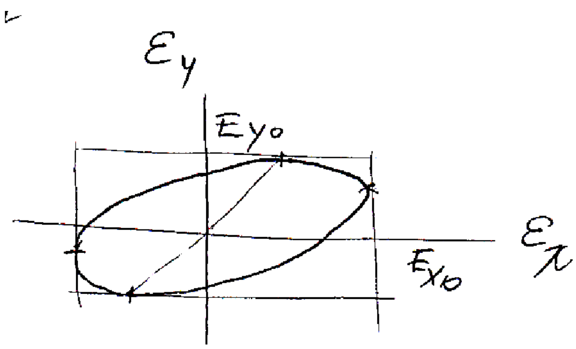
$$E_{xo} < E_{yo} \qquad\qquad E_{xo} > E_{yo}$$

x - yönünde eliptik y - yönünde eliptik

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \begin{cases} \pi/2 + (2\pi)n & cw \\ -\pi/2 + (2\pi)n & ccw \end{cases}$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \begin{cases} \pi/2 + (2\pi)n & cw \\ -\pi/2 + (2\pi)n & ccw \end{cases}$$

Genel eliptik polarizasyonu:

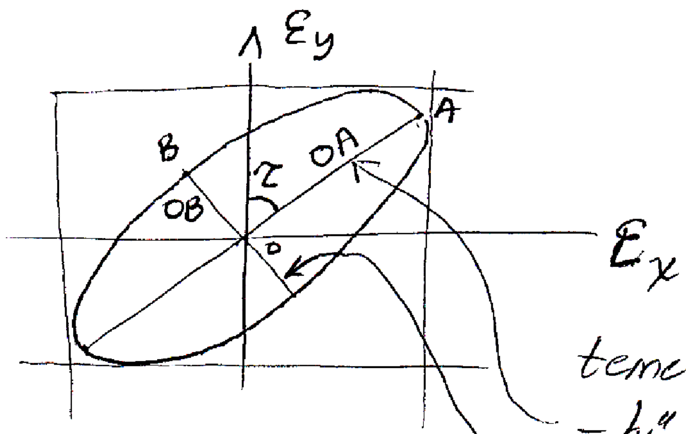


$E_{xo} \neq E_{yo}$

$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x \neq \pm(\pi/2)n$

$\Delta\phi > 0$ CW Clockwise

$\Delta\phi < 0$ CCW Counter clockwise



temel eksenler
- büyük eksen
- küçük eksen

Eksen oranı (EO)

Axial ratio (AR)

$$EO = \frac{\text{Büyük eksen}}{\text{Küçük eksen}} = \frac{OA}{OB} > 1$$

Eliptik polarizasyonda açısal eksen sapması (axis tilt):

Y eksenine göre açısal sapma (tilt) $= \tau$

$$= \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2}\tan^{-1}\left[\frac{2E_{xo}E_{yo}}{E_{xo}^2 - E_{yo}^2}\cos(\Delta\phi)\right]$$

''

SORU:

66 Eşitlik (2-66, 67, 68)

Balanis, Antenna Theory.

Ödev:

a) Büyük eksen E_y yönündeyse $\Delta\phi = ?$

b) Bu durumda $\tau = ?$

Bu ders kapsamında, farklı kitaplara erişim ve dolayısıyla farklı formülasyon ile matematiksel gösterim farklılıklarından rahatsız olmadan araştırma yapabilme kabiliyetini kazanmayı hedefliyoruz.

Düzlemsel elektromanyetik dalgalar farklı ilerleme yönlerine sahip olabilir. Bu dalgaların matematiksel gösterimlerinde de bu farklılıkları içerilmiş olması gerekmektedir.

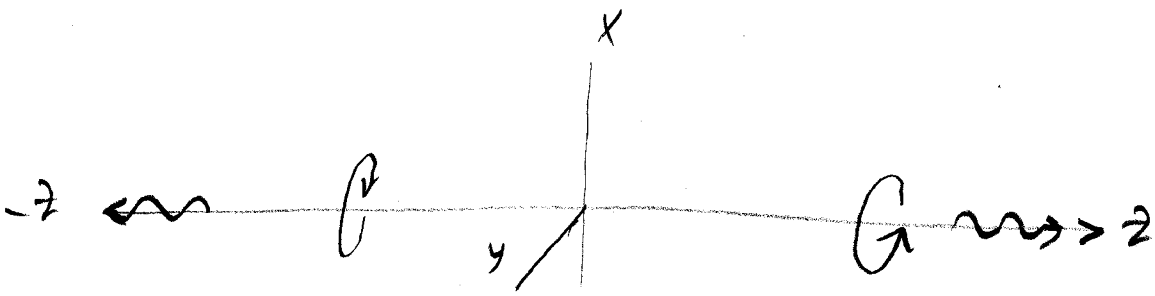
Bu farklılıklara örnek olarak, EEM 224 / EEM 323 Elektromanyetik 1 ,2 derslerinde kullandığımız CHENG'e ait kaynak kitabımız ile EEM 423 dersimizin BALANIS'e ait kaynak kitabı arasındaki temel örneklerdeki tercih farkını ve her iki durumda polarizasyonun belirlenmesini inceleyelim.

BALANİS: -z yönünde ilerleyen doğrusal polarizasyona sahip düzlemsel dalgayı incelemiştir.

CHENG ise +z yönündeki benzeri dalgayı incelemiştir.

Herhangi bir yönde ilerleyen dalga polarizasyonu, EEM 423 dersi kapsamı içerisindedir ! O zaman inceleyelim.

BALANIS CHENG



Sağa ve sola doğru ilerleyen dalgaları inceleyelim.

$$\mathcal{E}_x^-(z;t) = Re\left[E_x e^{j(wt+kz)}\right], \quad E_x = E_{xo}\, e^{j\phi_x}$$

$$\mathcal{E}_x^+(z;t) = Re\left[E_x e^{+j(wt-kz)}\right], \quad E_x = E_{xo}\, e^{+j\phi_x}$$

Her birini zamanda incelemek istersek,

$$\mathcal{E}_x^-(z;t) = E_{xo} \cos(wt + kz + \phi_x)$$

$$\mathcal{E}_x^+(z;t) = E_{xo} \cos(\underbrace{wt - kz + \phi_x}_{wt - (kz - \phi_x)})$$

Dalganın fazına bakalım.

ϕ_x : $\bar{E}$ $\hat{a}_x$ yönündeyken tanımlı.

O zaman

$$\mathcal{E}_y^-(z;t) = E_{y0} \cos(\omega t + kz + \phi_y)$$

$$\mathcal{E}_y^+(z;t) = E_{y0} \cos(\omega t - (kz - \phi_y))$$

ϕ_y : $\bar{E} = \hat{a}_y E_y$ için tanımlıdır.

Dalganın her iki bileşeni de olması durumunda;

$$\bar{E} = \hat{a}_x E_x + \hat{a}_y E_y$$

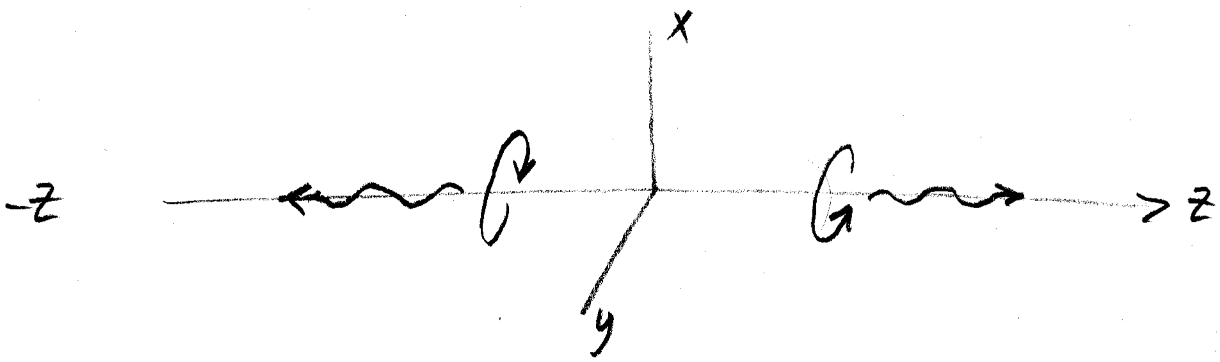
$-z$ yönünde ilerleyen dalga;

$$\bar{\mathcal{E}}^-(z;t) = \hat{a}_x \mathcal{E}_x^-(z;t) + \hat{a}_y \mathcal{E}_y^-(z;t)$$

$+z$ yönünde ilerleyen dalga;

$$\bar{\mathcal{E}}^+(z;t) = \hat{a}_x \mathcal{E}_x^+(z;t) + \hat{a}_y \mathcal{E}_y^+(z;t)$$

Artık her iki yöne ilerleyen dalganın polarizasyonunu inceleyebiliriz.



$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x$$
$= \pi/2$ cw
$= -\pi/2$ ccw

$$\Delta\phi = \phi_x - \phi_y$$
$= \pi/2$ için cw
$-\pi/2$ için ccw

Önemli Not: Dikkat edilecek olursa, şekilde gösterilen oklar her iki yöne ilerleyen dalga için sağ-el yönünü göstermektedir. Görülüyor ki her iki yönde bu yönler birbirinin tersi yöndeler!

Ayrıca (ÖNEMLİ ÖRNEK), +z yönünde ilerleyen dalganın $\Delta\phi$ değerinin pozitif olması halinde polarizasyonun saat yönünde (CW) olduğunu, yani ok ile gösterilen sağ-el yönünün tersinde olduğunu görüyoruz.

ÖRNEK: +z yönünde ilerleyen dalga

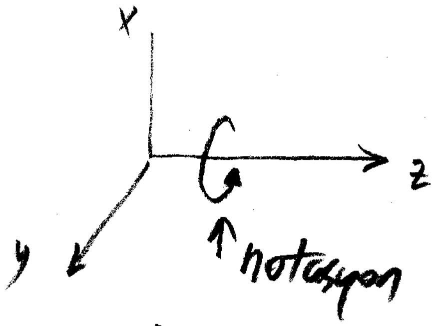
$$\bar{E}^{+}(z) = \hat{a}_x E_{xo} e^{-jkz} - \hat{a}_y\, j E_{yo} e^{-jkz}$$

fazör reel reel

$$\bar{E}(z;t) = Re\left\{\left[\hat{a}_x E_x(z) + \hat{a}_y E_y(z)\right] e^{j\omega t}\right\}$$

$$= \hat{a}_x E_{xo} \cos(\omega t - kz)$$

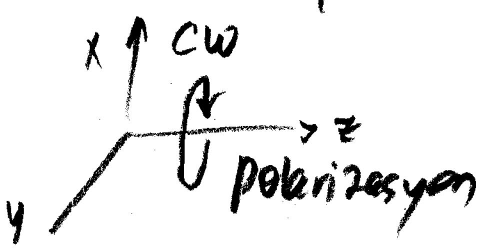
$$+ \hat{a}_y E_{yo} \cos(\omega t - kz - \pi/2)$$



$$\Delta\phi = \phi_x - \phi_y$$

$$= 0 - (-\pi/2)$$

$$= \pi/2 \quad CW$$

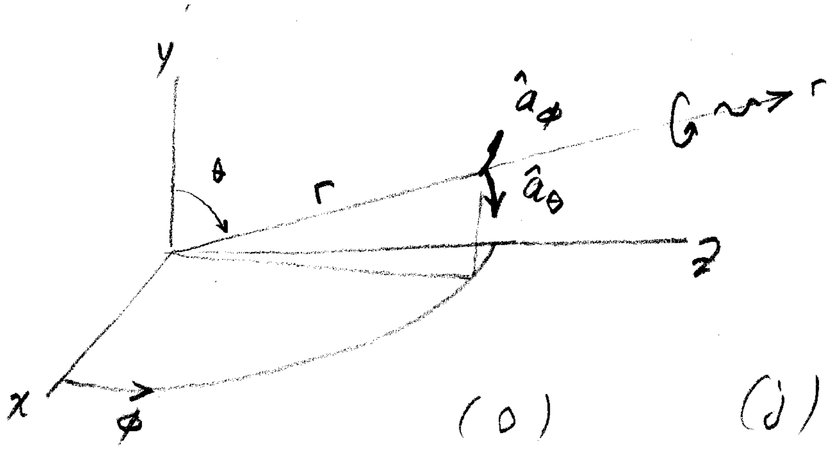


Sağ-el (saatin tersi yönünde) polarizasyon.

ÖRNEK: uzak alanda r yönünde ilerleyen dalga

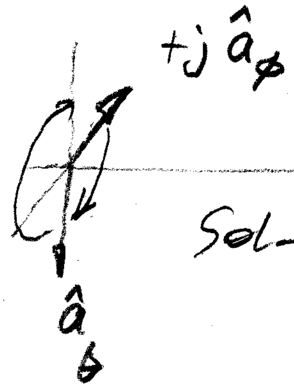
$$\bar{E}(r,\theta,\phi) = (\hat{a}_\theta + j\,\hat{a}_\phi)\; E(r,\theta,\phi)$$

dalgası için polarizasyonu belirleyiniz. Cevap:



(0) (j)

$$\Delta\phi = Phase_\theta - Phase_\phi = +\pi/2$$



Sol-el polarizasyonu.

$$|E_{\theta 0}| = |E_{\phi 0}| \Rightarrow \text{Dairesel Sol-el}$$

Polarizasyon belirleme örneklerini matematiksel olarak hayal etmenin sıkıntısından dolayı, bu problemi bir örnek üzerinden detaylı olarak incelemek oldukça faydalı olacaktır. Böylece, polarizasyon bilgisi kalıcı olacaktır.

SORU: Matlab yazılımını kullanarak zaman içerisinde elektrik alan vektörünün çizdirirseniz elektrik alan vektörününün değişmini (polarizasyonu) ne şekilde gözlersiniz?

· Düzlemsel dalga için bir koordinat sistemi ve ilerleme yönü belirleyiniz (seçiniz)

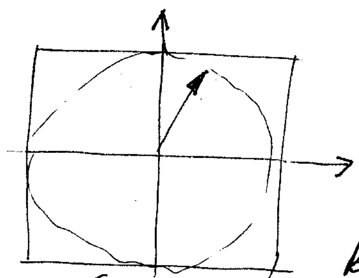
a) $\bar{E} = ?$ yazınız, şekilde gösteriniz.

Sağ el veya sol el polarizasyon (daire) olarak seçeceğiniz dalga için

b) $\bar{\mathcal{E}}(\cdot, t) = ?$

c) $\bar{\mathcal{E}}(\cdot\cdot, t=0, T/4, 2T/4, 3T/4, 4T/4)$

zaman değerlerinde elektrik alan vektörünü Matlab kullanarak aşağıdaki polarizasyon şekli üzerinde gösteriniz.



Şekil

Polarizasyon gösterimi

$\omega = 2\pi f$

$T = 1/f$