
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2016/2017 Academic Session

December 2016/January 2017

EEE 432/4 – ANTENNAS AND PROPAGATION *[ANTENA DAN PERAMBATAN]*

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please check that this examination paper consists of **FOURTEEN (14)** pages of printed material and **FIVE (5)** pages of Appendix before you begin the examination. English version from page **TWO (2)** to page **SEVEN (7)** and Malay version from page **EIGHT (8)** to page **FOURTEEN (14)**.

*Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **EMPAT BELAS (14)** muka surat bercetak beserta Lampiran **LIMA (5)** mukasurat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini. Versi Bahasa Inggeris daripada muka surat **DUA (2)** sehingga muka surat **TUJUH (7)** dan versi Bahasa Melayu daripada muka surat **LAPAN (8)** sehingga muka surat **EMPAT BELAS (14)**.*

Instructions: This question paper consists of **SIX (6)** questions. Answer **FIVE** questions. All questions carry the same marks.

*[Arahan: Kertas soalan ini mengandungi **ENAM (6)** soalan. Jawab **LIMA** soalan. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama]*

Answer to any question must start on a new page

[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baharu].

“In the event of any discrepancies, the English version shall be used”.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai].

ENGLISH VERSION

1. (a) A uniform plane wave propagating in a medium has V/m . If the medium is characterized by ϵ , μ , and $\sigma = 3 \text{ mS/m}$, find the following
- (i) Attenuation constant (10 marks)
 - (ii) Phase constant (10 marks)
 - (iii) Magnetic field strength (10 marks)
- (b) In free space ($z \leq 0$), a plane wave with E_i is incident normally on a lossless medium (ϵ, μ in region $z \geq 0$). Determine the following:
- (i) The reflected electrical wave, E_r (10 marks)
 - (ii) The reflected magnetic wave, H_r (10 marks)
 - (iii) The transmitted electrical wave, E_t (10 marks)
 - (iv) The transmitted magnetic wave, H_t (10 marks)
- (c) Show that an elliptically polarized wave, E , can be expressed as a sum of left and right handed circularly polarized waves of unequal amplitudes. (Hint: A polarization plot is feasible) (30 marks)
2. (a) (i) Describe what is TM and TE mode of propagation in waveguide. (10 marks)
- (ii) Explain what is the nature of the wave impedance for a TM mode when a rectangular wave guide is excited at a frequency less than its cutoff frequency? (10 marks)
- (iii) What is the lowest order of a TE mode? Provide reasons to support the answer

(10 marks)

- (b) Phase constant in an air-filled rectangular waveguide is 165 rad/m when it is excited with the TM_{21} mode. Calculate its wavelength if the excitation frequency is 10 % higher than the cutoff frequency of the operating mode.

(20 marks)

- (c) An air-filled rectangular waveguide with $a = 2.5$ cm and $b = 1.5$ cm supports TE_{11} mode while operating at 15 GHz. The waveguide is excited by 30 V/cm at $z = 0$. Calculate

- (i) the cutoff frequency

(10 marks)

- (ii) the propagation constant

(10 marks)

- (iii) the phase and group velocities

(10 marks)

- (iv) the intrinsic impedance

(10 marks)

- (v) the average power flow in the waveguide

(10 marks)

3. (a) Write definitions and elaborate on the terms in the context of antenna design and construction.

- (i) Isotropic

- (ii) Radiation resistance

- (iii) Polarisation

- (iv) Power radiation pattern

- (v) Side lobe

(20 marks)

- (b) The electric field intensity in the far field from an antenna is given in terms of its maximum input current I_0 as $\vec{E}_\theta = \frac{35}{r} I_0 \sin \theta$ V/m

- (i) Obtain the corresponding expression for the magnetic field
(10 marks)
 - (ii) What is the total power radiated by the antenna?
(20 marks)
 - (iii) What is the radiation resistance?
(10 marks)
 - (iv) Can this antenna be called an isotropic antenna?
(10 marks)
 - (v) What must I_0 be to radiate a power of 95 W?
(10 marks)
 - (c) (i) Write down the formula relating the gain of an aperture antenna to its effective area for the capture of radiation, and to the wavelength of the radiation. Then, explain why physical antenna are is not considered.
(10 marks)
 - (ii) Estimate the diameter of a dish antenna designed for a 45 dBi gain antenna at a frequency of 20 GHz.
(10 marks)
4. (a) Explain how the presence of a perfectly conducting ground under a stacked antenna might change its radiation properties.
(20 marks)
- (b) Consider two center-fed full wavelength dipole antenna arranged to form a two element end-fire array. The element separation is two-third wavelength and the elements are supplied with equal power signals and 30° phase different. Answer the following question:
- (i) Determine the angular directions of the electric field strength maximal and minimal in the horizontal plane for a horizontal antenna array
(40 marks)

- (ii) Sketch the array radiation pattern and identify the direction(s) of the main beam(s).

(10 marks)

- (iii) Three isotropic sources, which spacing d between them, are placed along the z-axis. The excitation coefficient of each outside element is unity while the phasing between elements is 45° . For a spacing, d of quarter wavelength between the elements, find the array factor.

(30 marks)

5. (a) (i) Name the parameters/factors that can influence radio wave propagation through building interfaces like external and internal walls, windows etc.

(10 marks)

- (ii) Define ionospheric, tropospheric and local radio wave propagation effects.

(10 marks)

- (b) The spacecraft Pioneer 10 has been launched in the year 1972 to explore outer planets of our solar system. By the time of its last contact with earth, in the year 2003, the distance between earth and Pioneer 10 was about 12.3×10^9 km. Considering that the conditions of the downlink (spacecraft to earth) operating is at 2192 MHz. The parabolic dish antenna of Pioneer 10 has a diameter of 274 cm and a depth of 46 cm. On earth, the signal is received by a 70 m diameter dish antenna. For each dish antenna, assume an aperture efficiency of 70 %.

- (i) How much time takes the signal to propagate from spacecraft to earth?

(10 marks)

- (ii) Assume a transmit power of 8 W, calculate the received power.

(20 marks)

- (c) The spacecraft dish in question 5 b) is illuminated by a circular horn antenna. For simplification, assume a circular aperture in infinite ground and uniform distribution for illumination of the dish. The first null in the radiation pattern of this aperture shall coincide with the edge of the dish. The directivity of this aperture is 19.5 dBi.

- (i) Why it is not suitable to use a feed horn with much higher gain, e.g. 29 dBi?
(10 marks)

 - (ii) In reality, the aperture distribution of the feedhorn is non-constant. In particular, the fundamental mode of a circular waveguide, TE_{11} , has no circular symmetry, leading to a radiation pattern without circular symmetry. What can be done to realize a radiation pattern with circular symmetry for the feed horn?
(10 marks)

 - (iii) The large dish on earth is motorized at huge cost, allowing it to “follow” the spacecraft as earth rotates. Assume now that the earth dish is fixed, looking normal to the earth surface, is installed on the earth equator, and at a certain moment, it is pointing perfectly to the spacecraft. Calculate approximately the time after which the received power is reduced to 50 %. Explain why your calculation is an approximate.
(15 marks)

 - (iv) The aperture efficiency of a typical parabolic dish antenna is in the range of 50 % to 75 %. It is impossible to reach 100 %. What factors are degrading the aperture efficiency of a dish antenna?
(15 marks)
6. (a) (i) Suggest the most important PCB EMC design guidelines that is acceptable before full manufacturing of electronic devices.
(20 marks)
- (ii) Provide reasons why EMC is very important in our daily life? Give one application as an example to support the reasons.
(10 marks)
- (b) Calculate the shielding effectiveness of a sheet of 2 mm copper foil, $\sigma = 5.7 \times 10^7$ S/m, at 100 MHz.
(40 marks)
- (c) Hakimi invents a device that keeps a record of the telephone calls made from his phone. The design is relatively simple and is shown in Figure 6. However, when it

is hooked up to the phone line, radiation from the device interferes with his TV reception.

Redesign Hakimi's block board layout in order to reduce the radiated EMI by providing improved layout. You may move components and/or add components, but you must use a single-sided board. Justify the proposed design to reduce the interference.

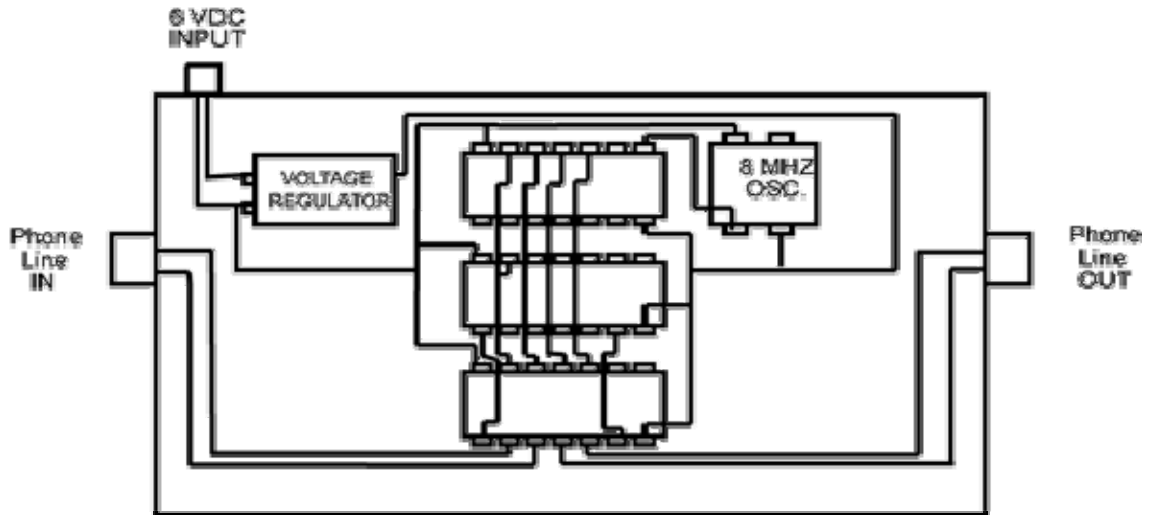


Figure 6

(30 marks)

-oooOOooo-

VERSI BAHASA MELAYU

1. (a) Satu gelombang satah seragam merambat didalam satu media yang mempunyai V/m . Sekiranya media tersebut disifatkan oleh , dan $\sigma = 3 \text{ mS/m}$, dapatkan yang berikut:

- (i) Pemalar pelemahan

(10 markah)

- (ii) *Pemalar pemfasa*
(10 markah)
- (iii) *Kekuatan medan magnet*
(10 markah)
- (b) *Dalam ruang bebas ($z \leq 0$), satu gelombang satah dengan adalah menghentam menegak ke atas satu media tanpa kehilangan (ϵ , μ dalam kawasan $z \geq 0$). Dapatkan yang berikut:*
- (i) *Gelombang elektrik pantulan, E_r*
(10 markah)
- (ii) *Gelombang magnet pantulan, H_r*
(10 markah)
- (iii) *Gelombang elektrik penghantaran, E_t*
(10 markah)
- (iv) *Gelombang magnet penghantaran, H_t*
(10 markah)
- (c) *Tunjukkan bahawa satu polarisasi gelombang, + , boleh dinyatakan sebagai satu jumlah kepada gelombang bulat tangan kiri dan kanan yang beramplitud tidak sama. (Petunjuk: Suatu plot polarisasi adalah selayaknya)*
(30 markah)
2. (a) (i) *Terangkan apa itu mod perambatan TM dan TE dalam pandu gelombang.*
(10 markah)
- (ii) *Jelaskan apakah sifat semulajadi galangan gelombang bagi satu mod TM apabila pandu gelombang segiempat tepat diujakan pada satu frekuensi yang kurang dari frekuensi potong?*
(10 markah)
- (iii) *Apakah aturan terendah bagi suatu mod TE? Berikan sebab-sebab yang menyokong jawapan tersebut.*
(10 markah)
- (b) *Pemalar pemfasa didalam pandu gelombang segiempat tepat dipenuhi udara adalah 165 rad/m apabila ia diujakan dengan mod TM_{21} . Kirakan panjang*

gelombang bagi gelombang tersebut sekiranya frekuensi teruja adalah 10 % lebih tinggi daripada frekuensi potong bagi operasi mod tersebut.

(20 markah)

(c) Satu pandu gelombang segiempat tepat berisi udara mempunyai $a = 2.5$ cm dan $b = 1.5$ cm menyokong mod TE_{11} beroperasi pada 15 GHz. Pandu gelombang tersebut adalah diuja dengan 30 V/cm pada $z = 0$. Kirakan

(i) frekuensi potong

(10 markah)

(ii) pemalar perambatan

(10 markah)

(iii) halaju bagi fasa dan kumpulan

(10 markah)

(iv) galangan hakiki

(10 markah)

(v) purata kuasa yang mengalir dalam pandu gelombang tersebut

(10 markah)

3. (a) Tuliskan definisi-definisi serta huraikan bagi terma-terma berikut mengikut konteks reka bentuk dan pembinaan antena.

(i) Isotropik

(ii) Rintangan radiasi

(iii) Polarisasi

(iv) Corak radiasi kuasa

(v) Lobus sisi

(20 markah)

- (b) Kekuatan medan elektrik dalam medan jauh dari sebuah antena diberikan dalam bentuk terma arus masukan maksima sebagai I_0 sebagai $\vec{E}_\theta = \frac{35}{r} I_0 \sin \theta$ V/m
- (i) Dapatkan ekspresi berkaitan untuk medan magnet
(10 markah)
- (ii) Apakah jumlah kuasa yang disinarkan
(20 markah)
- (iii) Apakah rintangan radiasi?
(10 markah)
- (iv) Bolehkah antenna ini dipanggil antenna isotropik?
(10 markah)
- (v) Apakah nilai I_0 yang mesti untuk menyinarakan kuasa sebanyak 95 W.
(10 markah)
- (c) (i) Tuliskan formula yang mengaitkan gandaan sebuah antena apertur dengan luas berkesan untuk menangkap radiasi, dan kepada panjang gelombang radiasi tersebut. Kemudian, terangkan mengapa keluasan fizikal antena tidak diambil kira.
(10 markah)
- (ii) Anggarkan diameter bagi satu antena cakera yang direkabentuk untuk satu gandaan antena sebanyak 45 dBi pada frekuensi 20 GHz.
(10 markah)
4. (a) Terangkan bagaimana kehadiran bagi satu tanah terkonduk sempurna di bawah satu tindanan antena mungkin mengubah sifat-sifat radiasinya.
(20 markah)
- (b) Pertimbangkan dua suapan tengah antena dwikutub gelombang penuh yang disusun untuk membentuk satu antena tatasusunan hujung-tembakan dua elemen. Pemisahan antara elemen adalah dua pertiga panjang gelombang dan elemen-elemen tersebut dibekalkan dengan isyarat kuasa yang sama dan beza fasa 30° . Jawabkan yang berikut:

- (i) *Tentukan sudut arah kekuatan medan elektrik maksimum dan minimum dalam satah mengufuk bagi tatasusunan antena mengufuk*

(40 markah)

- (ii) *Lakarkan corak sinaran tatasusunan dan kenalpasti arah bagi sinar utama.*

(10 markah)

- (c) *Tiga sumber isotropik dengan jarak d diantara mereka diletakkan sepanjang paksi z . Koefisien yang diujakan bagi setiap elemen diluar adalah unti sementara fasa diantara elemen adalah 45° . Untuk jarak bagi suku panjang gelombang diantara elemen, dapatkan faktor tatasusunan.*

(30 markah)

5. (a) (i) *Namakan parameter-parameter atau faktor-faktor yang boleh merangsang perambatan radio melalui perantara bangunan seperti dinding-dinding dalam dan luaran, tingkap dan sebagainya.*

(10 markah)

- (ii) *Definasikan kesan perambatan bagi ionosfera, troposfera dan gelombang radio tempatan.*

(10 markah)

- (b) *Kapal angkasa Pioneer 10 telah dilancarkan pada tahun 1972 untuk menjelajah planet-planet luar bagi sistem solar kita. Pada masa ketika perhubungannya yang terakhir dengan bumi adalah pada tahun 2003, jarak diantara Bumi dengan Pioneer 10 adalah lebih kurang 12.3×10^9 km. Mengambil kira bahawa operasi kondisi-kondisi bagi perhubungan kebawah (kapal angkasa ke Bumi) adalah pada 2192 MHz. Cakra parabola bagi antena Pioneer 10 mempunyai diameter sepanjang 274 cm dan kedalaman sebanyak 46 cm. Di Bumi, isyarat adalah*

diterima daripada satu antena cakra berdiameter 70 m. Bagi setiap antena cakra, andaikan keberkesanan apertur sebanyak 70 %.

(i) Berapa banyak masa yang diambil oleh isyarat tersebut untuk merambat dari kapal angkasa ke Bumi?

(10 markah)

(ii) Andaikan kuasa penghantaran adalah 8 W, kirakan kuasa yang diterima.

(20 markah)

(c) Cakra kapal angkasa didalam soalan 5 b) adalah di iluminasikan oleh satu antena horn membulat. Untuk diringkaskan, andaikan satu apertur membulat dalam infiniti tanah dan edaran yang seragam untuk iluminasi pada cakra tersebut. Sifar yang pertama dalam corak sinaran bagi apertur tersebut boleh bertindan dengan tebing bagi cakra tersebut. Kearahan bagi apertur ini ialah 19.5 dBi.

(i) Mengapakan ianya tidak sesuai untuk menggunakan suapan horn dengan gandaan yang lebih tinggi, e.g. 29 dBi?

(10 markah)

(ii) Pada realitinya, edaran apertur bagi suapan horn adalah tidak konstan. Secara khususnya, mod asas bagi pandu gelombang segiempat tepat, TE_{11} tidak mempunyai simetri membulat, yang membawa kepada corak sinaran yang tidak simetri membulat. Apakah yang boleh dibuat untuk merealisasikan suatu corak sinaran yang simetri bagi suapan horn?

(10 markah)

(iii) Antena cakra yang besar di atas bumi adalah dibina dengan kos yang tinggi, yang membenarkannya untuk mengikut kapal angkasa semasa ia berpusing. Andaikan sekarang bahawa antena cakra tersebut ditetapkan dengan melihat secara normal ke permukaan bumi dan dipasangkan pada ekuator bumi dan pada ketika tertentu ia mengarah secara sempurna ke kapal angkasa tersebut. Hitung secara anggaran masa ketika kuasa yang

diterima dikurangkan ke 50 %. Terangkan kenapa jawapan anda hanyalah anggaran.

(15 markah)

- (iv) Keberkesanan apertur bagi kebiasaan cakra antena parabola adalah dalam julat diantara 50 % ke 75 %. Ianya adalah mustahil untuk mencapai 100 %. Apakah faktor-faktor yang mengurangkan keberkesanan apertur bagi antena cakra tersebut?*

(15 markah)

6. (a) (i) *Cadangkan panduan merekabentuk EMC PCB yang paling penting yang boleh diterima sebelum pengilangan sepenuhnya peralatan-peralatan elektronik.*

(20 markah)

- (ii) Berikan sebab-sebab mengapa EMC adalah sangat penting dalam kehidupan kita seharian? Berikan satu aplikasi sebagai contoh untuk menyokong sebab-sebab tersebut.*

(10 markah)

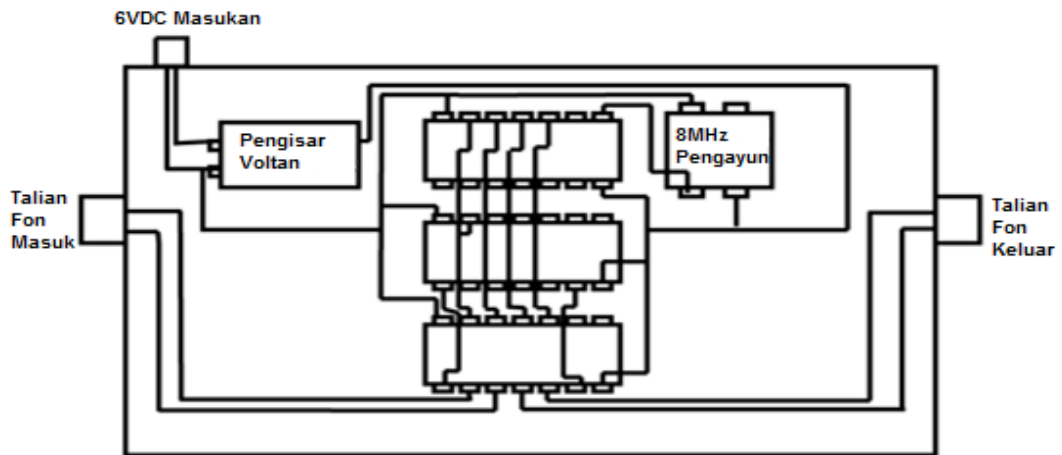
- (b) Hitungkan keberkesanan perlindungan bagi sekeping kerajang kuprum 2 mm, $\sigma = 5.7 \times 10^7$ S/m pada 100 MHz.*

(40 markah)

- (c) Hakimi mencipta satu alat yang menyimpan rekod panggilan telefon yang dibuat oleh telefon beliau. Rekabentuk tersebut adalah ringkas seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 1. Bagaimanapun apabila ia disambungkan ke talian fon, radiasi daripada perantara alatan mengganggu penerimaan TV beliau.*

Reke bentuk semula bentangan blok papan supaya dapat mengurangkan radiasi EMI dengan memberikan bentangan yang lebih baik, Anda boleh menggerakkan

komponen-komponen dan/atau menambah komponen tetapi anda hanya perlu menggunakan papan satu muka sahaja, Justifikasikan rekabentuk yang dicadangkan untuk mengurangkan interferen.



Rajah 6

(30 markah)

-00000000-

Appendix
Lampiran

[EEE432]

Speed of light, $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Boltzmann's constant, $K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$

Free space permittivity, $\epsilon_0 = 8.851 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

Free space permeability, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m

Medan E dan H untuk dwikutub:

$$E_r = \frac{I_0 L \cos \theta e^{j\omega(t - \frac{r}{c})}}{2\pi\epsilon} \left(\frac{1}{cr^2} + \frac{1}{j\omega r^3} \right)$$

$$E_\theta = \frac{I_0 L \sin \theta e^{j\omega(t - \frac{r}{c})}}{4\pi\epsilon} \left(\frac{j\omega}{c^2 r} + \frac{1}{cr^2} + \frac{1}{j\omega r^3} \right)$$

$$E_\phi = 0$$

$$H_\phi = \frac{I_0 L \sin \theta e^{j\omega(t - \frac{r}{c})}}{4\pi} \left(\frac{j\omega}{cr^2} + \frac{1}{j\omega r^3} \right)$$

$$H_r = H_\theta = 0$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

$$\text{Gandaan, } G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$$

[S] matrix:

[EEE432]

$$S_{ij} = \frac{V_i^-}{V_j^+} \Big|_{V_k^+ = 0 \text{ for } k \neq j}$$

For TM_{mn} or TE_{mn} mode:

$$f_{cmn} = \frac{u_p}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

$$m = 1, 2, 3, \dots, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad p = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$u_{gmn} = u_p \sqrt{1 - \left(\frac{f_{cmn}}{f}\right)^2} \quad (\text{group velocity})$$

$$f_{mnp} = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{l}\right)^2}$$

$$m = 1, 2, 3, \dots, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad p = 1, 2, 3, \dots$$

For rectangular waveguide :

$$u_{pmn} = \frac{u_p}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{cmn}}{f}\right)^2}}$$

Phase constant,

$$\beta_{mn} = \beta \sqrt{1 - \left(\frac{f_{cmn}}{f}\right)^2} = \frac{\omega}{u_p} \sqrt{1 - \left(\frac{f_{cmn}}{f}\right)^2} \quad \text{where}$$

$$\beta = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$$

$$\text{Wave impedance, } \hat{\eta}_{mn}^{TE} = \frac{\omega\mu}{\beta_{mn}} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{cmn}}{f}\right)^2}},$$

$$\hat{\eta}_{mn}^{TM} = \eta \sqrt{1 - \left(\frac{f_{cmn}}{f}\right)^2} = -\frac{j\hat{\gamma}_{mn}}{\omega\epsilon}$$

$$u_p = \sqrt{u_{pmn} u_{gmn}},$$

$$\text{Power, } P_{mn}^{TM} = \frac{\beta_{mn}^2 a^3 b^3}{8\pi^2 \eta_{mn}^{TM} (n^2 a^2 + m^2 b^2)} E_{zm}^2,$$

$$P_{mn}^{TE} = \eta_{mn}^{TE} \left[\frac{\beta_{mn}^2 a^3 b^3}{8\pi^2 (n^2 a^2 + m^2 b^2)} H_{zm}^2 \right]$$

E dan H fields:

$$\vec{H} = \frac{j\beta I l}{4\pi r} \sin\theta e^{-j\beta r} \vec{a}_\phi$$

$$\vec{E} = \eta \vec{H}$$

$$\eta = 120\pi, \beta = \frac{\omega}{c}, ,$$

$$\text{Power density, } \vec{S} = \frac{1}{2} [\vec{E} \times \vec{H}]$$

$$\text{Radiated power, } P_{rad} = \frac{\eta}{12\pi} \beta^2 l^2 I^2$$

Antena tatasusunan (array):

$$E_p = \frac{E_0}{\sqrt{n}} [1 + e^{j\theta} + e^{j2\theta} + \dots + e^{j(n-1)\theta}]$$

$$[1 + e^{j\theta} + e^{j2\theta} + \dots + e^{j(n-1)\theta}] = \frac{\sin\left(\frac{n\theta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

$$\theta = \frac{2\pi d \cos\phi}{\lambda} \pm \alpha$$

$$E_p = \sqrt{2} E_0 \cos\left(\frac{\theta + \alpha}{2}\right) \text{ untuk 2 elemen}$$

Propagation Formula:

$$P_r = P_t \cdot G_t \cdot G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$$

$$E = \frac{2A}{d} \sin(kh \sin \theta)$$

$$\text{For } r \gg h, r \gg H, \sin \theta = H/d, \frac{2\pi h H}{\lambda d} = \frac{\pi}{2}$$

Beamwidth, $\theta_{3dB} =$

EMC formula:

Medan H:

$$H = \frac{I}{2\pi r}, H(x) = H_{out} e^{-\alpha x}$$

$$\text{Rintangan, } Z = \frac{E}{H}, \tau = \frac{2Z_L}{Z_L + Z_o} = \frac{E_{out}}{E_{in}}, Z_L = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}}$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\eta_1}{\eta_2}$$

$$\sin \theta_c = \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}}$$

$$\rho_{datar} = \frac{\sqrt{\epsilon_2} \cos \theta_t - \sqrt{\epsilon_1} \cos \theta_i}{\sqrt{\epsilon_2} \cos \theta_t + \sqrt{\epsilon_1} \cos \theta_i}$$

$$\rho_{tegak} = \frac{\sqrt{\epsilon_2} \cos \theta_i - \sqrt{\epsilon_1} \cos \theta_t}{\sqrt{\epsilon_2} \cos \theta_i + \sqrt{\epsilon_1} \cos \theta_t}$$

$$E = \frac{j60\pi\ell \cos[(\pi/2)\cos \theta]}{\lambda r \sin \theta} e^{i\omega(t - \frac{r}{c})}$$

$$|E| = 2 \left(\frac{60P_T G_T}{d^2} \right)^{1/2} \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda_o d} \right)$$

$$E = E_o \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} + \frac{N\alpha}{2} \right)}{\sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} + \frac{\alpha}{2} \right)}$$

Related Trigonometry:

$$\int \sin^3 \theta = \frac{-\cos \theta}{3} (\sin^2 \theta + 2)$$

$$\sin(2\theta) = 2 \sin \theta \cos \theta$$

$$\cos(2\theta) = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta$$

$$= 2 \cos^2 \theta - 1$$

$$= 1 - 2 \sin^2 \theta$$

$$\sin(a + b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b$$

At boundary:

,

,

, ,