
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2012/2013 Academic Session

January 2013

EEE 432 – ANTENNAS AND PROPAGATION
[ANTENA DAN PERAMBATAN]

Masa : 3 jam

Please check that this examination paper consists of **FIFTEEN (15)** pages including Appendices (1 pages) of printed material before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **LIMA BELAS (15)** muka surat beserta Lampiran **SATU (1)** muka surat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini]*

Instructions: This question paper consists **SIX (6)** questions. Answer **FIVE (5)** questions. All questions carry the same marks.

[Arahan: Kertas soalan ini mengandungi **ENAM (6)** soalan. Jawab **LIMA (5)** 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 baru]

“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]

1. Gelombang satah seragam dituju secara tidak langsung dari udara ke permukaan rata tasik air tawar. Anggapkan tasik adalah tiada kehilangan dengan $\epsilon_r = 81$.

A uniform plane wave is obliquely incident from air onto the surface of a smooth freshwater lake. Assume the lake to be lossless with $\epsilon_r = 81$.

- (a) Tentukan sudut Brewster untuk pengutuban selari dan sudut penghantaran sepadan.

Determine the Brewster angle for the parallel polarization and the corresponding angle of transmission.

(40 markah/marks)

- (b) Jika gelombang satah seragam adalah pengutuban tegak dan ia dituju dari udara ke permukaan tasik ini pada sudut Brewster dihitung dari bahagian (a) kemudian tentukan pekali pembalikan dan pekali penghantaran.

If the uniform plane wave is perpendicularly-polarized and it is incident from air onto the surface of this lake at the Brewster angle calculated in part (a) then determine the reflection and transmission coefficients.

(40 markah/marks)

- (c) Jika gelombang tidak berkutub sekarang dituju ke tasik ini pada sudut Brewster dihitung dari part (a), sila jelaskan apakah pengutuban gelombang balikan (tiada pengiraan dan terbitan diperlukan)

If an unpolarized wave is now incident onto this lake at the Brewster angle calculated in part (a), please explain what will be the polarization of the reflected wave (no calculations or derivations are required).

(20 markah/marks)

...3/-

2. (a) Pandu gelombang plat selari terisi udara dengan pemisahan plat 1 cm akan digunakan untuk menyambung pemancar gelombang mikro 25 GHz ke antenna.

An air-filled parallel-plate waveguide with a plate separation of 1 cm is to be used to connect 25 GHz microwave transmitter to an antenna.

- (i) Dapatkan semua mod perambatan untuk pandu gelombang ini.
Find all the propagating modes in this waveguide.

(20 markah/marks)

- (ii) Tentukan mod perambatan jika pandu gelombang diisi dengan polietilena (anggapkan ia adalah tiada kehilangan dengan $\epsilon_r = 2.25$)

Determine the propagating modes if the waveguide is filled with polyethylene (assume it is lossless with $\epsilon_r = 2.25$).

(25 markah/marks)

- (b) Isyarat 10 GHz akan dipancarkan di dalam pandu gelombang geronggang bulat.

A 10 GHz signal is to be transmitted inside a hollow circular waveguide.

- (i) Tentukan garispusat dalaman bagi pandu gelombang itu agar frekuensi potong terendah ialah 20% di bawah frekuensi isyarat.

Determine the inside diameter of the waveguide such that its lowest cut-off frequency is 20% below this signal frequency.

(25 markah/marks)

- (ii) Jika pandu gelombang akan beroperasi pada 15 GHz, mod manakah boleh merambat di dalam pandu gelombang ini.

If the waveguide is to operate at 15 GHz, which modes can propagate inside this waveguide?

(30 markah/marks)

3. (a) Pandu gelombang segiempat dengan ukuran dalaman 3.484 cm x 1.58 cm dicadangkan untuk digunakan bagi mod dominan untuk julat frekuensi 5.85 GHz to 8.2 GHz.

A WR-137 rectangular waveguide with inside dimensions of 3.484 cm x 1.58 cm is recommended for use in the dominant mode for a frequency range of 5.85 GHz to 8.2 GHz.

- (i) Tentukan frekuensi potong untuk tiga turutan mod terendah.
Determine the cut-off frequencies of the three lowest-order modes.

(30 markah/marks)

- (ii) Dapatkan halaju fasa v_p dan jarak gelombang terpandu λ untuk mod dominan pada kedua-dua hujung julat frekuensi yang telah ditentukan.

Find the phase velocity v_p and the guided wavelength λ for the dominant mode at the two ends of the specified frequency range.

(35 markah/marks)

- (b) Pandu gelombang segiempat WR-16 mempunyai ukuran 2.29 cm x 1.02 cm. Jika diperlukan WR-16 hanya beroperasi dalam mod dominan dan frekuensi operasi sekurang-kurangnya 25% di atas frekuensi potong mod dominan tetapi tidak melebihi 95% dari frekuensi potong untuk mod tertinggi berikutnya, tentukan frekuensi operasi yang dibenarkan untuk pandu gelombang ini.

An X-band rectangular waveguide WR-16 has dimensions of 2.29 cm x 1.02 cm. If it is desired that WR-16 must operate only in the dominant mode and that the operating frequency be at least 25% above the cut-off frequency of the dominant mode but no higher than 95% of the cut-off frequency of the next higher mode, determine the allowable operating frequency range of this waveguide.

(35 markah/marks)

List of formulas:

Oblique incidence on a dielectric interface

$$\theta_B = \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{\epsilon_{2r}}{\epsilon_{1r}}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right), \quad \sin \theta_B = \sqrt{\frac{\beta_2^2 (\eta_1^2 - \eta_2^2)}{\beta_2^2 \eta_1^2 - \beta_1^2 \eta_2^2}}, \quad \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \sqrt{\frac{\mu_2 \epsilon_2}{\mu_1 \epsilon_1}}$$

$$\Gamma_T^\square = \frac{E_0^t}{E_0^i} = \frac{2\eta_2 \cos \theta_i}{\eta_1 \cos \theta_i + \eta_2 \cos \theta_t}, \quad \Gamma_R^\square = \frac{E_0^r}{E_0^i} = \frac{-\eta_1 \cos \theta_i + \eta_2 \cos \theta_t}{\eta_1 \cos \theta_i + \eta_2 \cos \theta_t}, \quad 1 + \Gamma_R^\square = \Gamma_T^\square \left(\frac{\cos \theta_t}{\cos \theta_i} \right)$$

$$\Gamma_T^\perp = \frac{E_0^t}{E_0^i} = \frac{2\eta_2 \cos \theta_i}{\eta_2 \cos \theta_i + \eta_1 \cos \theta_t}, \quad \Gamma_R^\perp = \frac{E_0^r}{E_0^i} = \frac{\eta_2 \cos \theta_i - \eta_1 \cos \theta_t}{\eta_2 \cos \theta_i + \eta_1 \cos \theta_t}, \quad 1 + \Gamma_R^\perp = \Gamma_T^\perp$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad \epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

Parallel-plate waveguide

$$\beta_m = \beta \sqrt{1 - \left(\frac{f_{cm}}{f} \right)^2} \quad f_{cm} = \frac{m}{2a} \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{mv_p}{2a} \quad \lambda_m = \frac{2\pi}{\beta_m} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{cm}}{f} \right)^2}}$$

$$v_{pm} = \frac{\omega}{\beta_m} = \frac{v_p}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{cm}}{f} \right)^2}} \quad Z_{TE_m} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{cm}}{f} \right)^2}} \quad Z_{TM_m} = \eta \sqrt{1 - \left(\frac{f_{cm}}{f} \right)^2}$$

Circular waveguide (TM modes)

$$f_{c_{nl}} = \frac{t_{nl}}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}} \qquad \beta_{TM_{nl}} = j\beta \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{nl}}}{f}\right)^2} \qquad \lambda_{nl} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{nl}}}{f}\right)^2}}$$

$$v_{p_{nl}} = \frac{v_p}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{nl}}}{f}\right)^2}} \qquad Z_{TM_{nl}} = \eta \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{nl}}}{f}\right)^2}$$

*l*th roots (*t_{nl}*) of the *n*th-order Bessel function *J_n*(.) (TM modes)

<i>l</i>	<i>n</i>							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	2.405	3.832	5.136	6.380	7.588	8.771	9.936	11.086
2	5.520	7.016	8.417	9.761	11.065	12.339	13.589	14.821
3	8.654	10.173	11.620	13.015	14.372	15.700	17.004	18.288
4	11.792	13.323	14.796	16.223	17.616	18.980	20.321	21.642

Circular waveguide (TE modes)

$$f_{c_{nl}} = \frac{s_{nl}}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}} \qquad \beta_{TE_{nl}} = \beta \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{nl}}}{f}\right)^2} \qquad \lambda_{nl} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{nl}}}{f}\right)^2}}$$

$$v_{p_{nl}} = \frac{v_p}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{nl}}}{f}\right)^2}} \qquad Z_{TE_{nl}} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{nl}}}{f}\right)^2}}$$

*l*th roots (s_n) of the *n*th-order function $J'_n(\cdot)$ (TE modes)

<i>l</i>	<i>n</i>							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	3.832	1.841	3.054	4.201	5.317	6.416	7.501	8.578
2	7.016	5.331	6.706	8.015	9.282	10.520	11.735	12.932
3	10.173	8.536	9.969	11.346	12.682	13.987	15.268	16.529
4	13.324	11.706	13.170	14.586	15.964	17.313	18.637	19.942

Rectangular waveguide

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

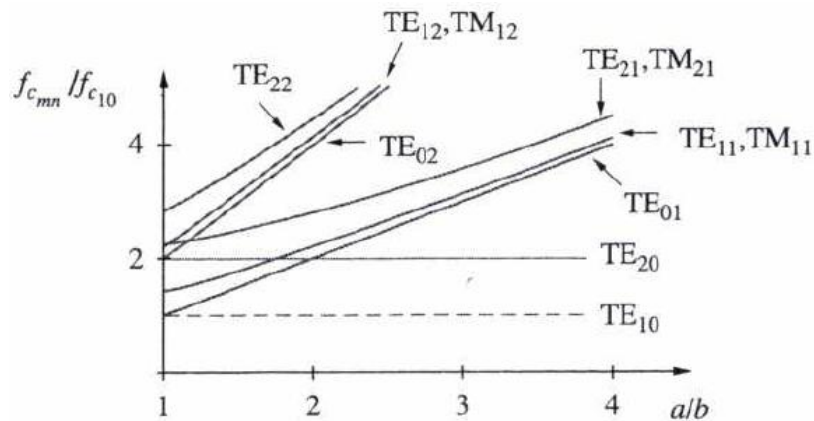
$$\beta_{mn} = \beta \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{mn}}}{f}\right)^2}$$

$$v_{p_{mn}} = \frac{v_p}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{mn}}}{f}\right)^2}}$$

$$\lambda_{mn} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{mn}}}{f}\right)^2}}$$

$$Z_{TM_{mn}} = \eta \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{mn}}}{f}\right)^2}$$

$$Z_{TE_{mn}} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c_{mn}}}{f}\right)^2}}$$



4. (a) (i) Adakah sebuah konduktor membawa arus berperanan sebagai sebuah antena? Justifikasikan jawapan anda.

Does a current-carrying conductor act as an antenna? Justify your answer.

- (ii) Nyatakan perbezaan antara sistem penyinar yang lemah dan yang berkesan.

State the differences between a poor and an efficient radiating system.

- (iii) Dapatkan frekuensi yang dikehendaki untuk berfungsi bagi satu antena dwikutub yang dipotong dengan panjang sebanyak 3.5 m. Andaikan halaju untuk gelombang elektromagnet antena tersebut ialah $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Find the intended frequency of operation of a dipole antenna cut to a length of 3.5 m. Assume a velocity of $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ for electromagnetic waves of an antenna.

- (iv) Satu antena mempunyai gandaan sebanyak 6 dB dibandingkan dengan satu antena rujukan yang menyinar sebanyak 700 W. Berapakah kuasa yang mesti antena rujukan tersebut pancarkan supaya dapat sama menyinar dengan berkesan di dalam arah yang paling dikehendaki.

An antenna that has a gain of 6 dB over a reference antenna is radiating 700 W. How much power must the reference antenna radiate in order to be equally effective in the most preferred direction?

(40 markah/marks)

...10/-

- (b) Kekuatan satu medan elektrik di dalam zon jauh daripada satu antena adalah diberikan dalam terma arus masukan maksimumnya, I_0 sebagai

The electric field intensity in the far zone from an antenna is given in terms of its maximum input current I_0 as

$$\tilde{E}_\theta = \frac{15}{r} I_0 \sin \theta \text{ V/m}$$

- (i) Dapatkan persamaan berkaitan untuk medan magnet
Obtain the corresponding expression for the magnetic field
- (ii) Apakah jumlah kuasa yang disinarkan?
What is the total power radiated?
- (iii) Apakah rintangan radiasi?
What is the radiation resistance?
- (iv) Bolehkah antena ini dipanggil sebuah antena isotropik?
Can this antenna be called an isotropic antenna?
- (v) Apakah nilai I_0 yang mesti untuk menyinaran kuasa sebanyak 75 kW.
What must I_0 be to radiate a power of 75 kW.

(60 markah/marks)

5. (a) Mengapa ianya digalakkan menggunakan tatasusunan untuk tujuan penyinaran? Apakah ciri-ciri bagi tatasusunan lurus seragam.

Why is it essential to use arrays for radiation purposes? What are the traits of a uniform linear array?

(15 markah/marks)

...11/-

- (b) Apakah yang dimaksudkan dengan keluasan berkesan bagi satu antenna? Apakah kepentingannya? Bagaimanakah ia dihubungkan dengan panjang gelombang dan gandaan berarah?

What is meant by the effective area of an antenna? What is its importance? How is it related to the wavelength and the directive gain?

(15 markah/marks)

- (c) Tunjukkan bahawa corak medan untuk 4 elemen setengah gelombang antenna dwikutub tatasusunan di dalam satah xy adalah bercorak medan "broadside" apabila arusnya adalah sefasa dan jarak antara elemen adalah satu setengah gelombang.

Show that the field pattern of a 4-element half-wave dipole antenna array in the xy plane is a broadside field pattern when the currents are in phase and the spacing between the elements is one-half wavelength.

(30 markah/marks)

- (d) Ambilkira satu tatasusunan bagi 2 elemen dijarakkan dengan satu panjang gelombang pemisahan dengan arus yang sama dalam amplitud dan berbeza fasa sebanyak 180° .

Consider an array of two elements spaced one wavelength apart with currents that are equal in amplitude and 180° out-of-phase.

- (i) Lakarkan plot polar untuk faktor tatasusunan
Sketch the polar plot of the array factor

- (ii) Terbitkan faktor tatasusunan yang tepat sebagai satu fungsi θ sekiranya elemen-elemen tersebut adalah di atas paksi z.

Derive the exact array factor as a function of θ if the elements are on the z-axis.

- (iii) Untuk sudut θ apakah faktor tatasusunan adalah yang maksima?
For what angles of θ is this array factor is maximum?

(40 markah/marks)

6. (a) Sebuah antena akan dipasang untuk menerima satu gelombang penglihatan terus yang dihantar dari sebuah antena yang terletak pada suatu jarak sebanyak 25 km dari pemasangan ini dan ianya berketinggian sebanyak 70 meter. Dapatkan ketinggian minima yang diperlukan untuk antena penerima tersebut.

An antenna is to be installed to receive a line of sight wave transmitted from an antenna located at a distance of 25 km from this installation and which is 70 meter in height. Determine the minimum necessary height of the receiving antenna.

(20 markah/marks)

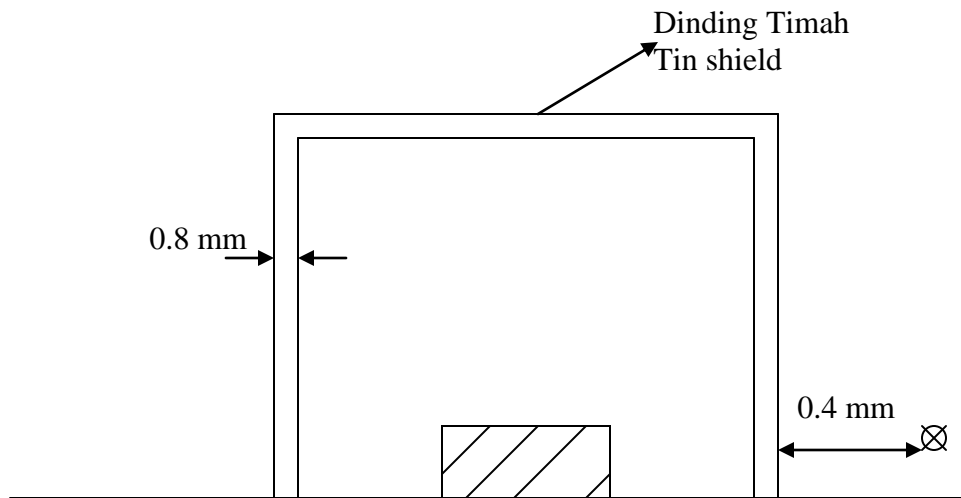
- (b) Sebuah antena semua arah diletakkan di dalam sebuah belon udara panas adalah bersentuh langsung dengan stesen pangkalan. Stesen pangkalan tersebut turut mempunyai satu antena semua arah. Stesen pangkalan tersebut menerima kuasa sebanyak 10 mW apabila belon tersebut adalah 500 m darinya. Sekiranya kuasa minima untuk dikesan untuk unit pangkalan adalah 10 μ W, berapa jauhkah mestinya belon tersebut bergerak sebelum ia hilang hubungan dengan stesen pangkalan?

An omnidirectional antenna fitted inside a hot air balloon is in direct touch with the base station. The base station also has an omnidirectional antenna. The base station receives a power of 10 mW when the balloon is 500 m from it. If the minimum power for detection for the base unit is 10 μ W, how far must the balloon travel before it loses contact with the base station?

(20 markah/marks)

- (c) Dinding antara dua pengalir diperlukan seperti dalam Rajah 1 di bawah. Dinding timah mempunyai ketebalan 0.8 mm. Anggarkan disebelah kanan kekuatan medan magnet dan elektrik pada permukaan dan juga permukaan disebelah bawah pendinding. Dengan demikian anggarkan medan yang hampir sebelum antaramuka udara/timah. Anggap arus 12A mengalir di dalam dawai dengan frekuensi 150MHz. (Timah (Sn) : $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$, $\sigma=0.4MS/m$, $Z_0=377\Omega$)

Shielding is to be provided between two conductors as shown in Figure 1 below. The tin shield has a thickness of 0.8 mm. Estimate at the right hand side, the magnetic and electric field strength at the surface and just below the surface of the shield. Hence estimate the field just before the tin/air interface and the field after the tin/air interface. Assume a current of 12 mA flows through the wire at a frequency of 150 MHz. (Tin (Sn) : $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$, $\sigma=0.4MS/m$, $Z_0=377\Omega$)



Rajah 1
Figure 1

(40 markah/marks)

...15/-

- (d) Namakan dua jenis pengukuran biasa untuk EMI (Electromagnetic Interference) dan berikan penyusunan pengukuran bagi setiap EMI tersebut dengan menggunakan ilustrasi.

Name two common measurement type of EMI (Electromagnetic Interference) and provide the measurement setup for each EMI with illustrations.

(20 markah/marks)

Medan E dan H untuk dwikutub:

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

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

$$E_\phi = 0$$

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

$$H_r = H_\theta = 0$$

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

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

Antena tatasusunan (array):

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

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

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

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

EMC formula:

Medan H:

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

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