كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : كهرطيسية

المحاضرة:العاشرة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2026

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

مقرر: الكهرطيسية — السنة: الثالثة

المحاضرة: العاشرة — د. علي أسد

6 نظرية نقل الاستطاعة العظمى:

a الاستطاعة المتوسطة المقدمة للحمل: نعرف الاستطاعة المتوسطة على خط نقل عديم الفقد بالشكل التالي:

$$P_{av} = \frac{1}{2} Re\{V(3) I^*(3)\} = \frac{1}{2} \frac{|V_0^+|^2}{Z_0}(1-|\Gamma_L|^2) \quad (1)$$

لاحظ أن P_{av} ثابتة على طول خط النقل عديم الفقد، وتمثل الاستطاعة المتوسطة المقدمة للحمل المثل بمعامل الانعكاس Γ_L. ولاحظ أن:

$$P_{inc} = \frac{1}{2} \frac{|V_0^+|^2}{Z_0} \quad (2)$$

هي الاستطاعة المتوسطة المحمولة بالموجة الواردة وتسمى اختصاراً الاستطاعة الواردة، كذلك:

$$P_{ref} = \frac{1}{2} \frac{|V_0^+|^2}{Z_0} |\Gamma_L|^2 = |\Gamma_L|^2 P_{inc} \quad (3)$$

هي الاستطاعة المتوسطة المحمولة بالموجة المنعكسة، تسمى اختصاراً الاستطاعة المنعكسة، ونستنتج أن مربع طويلة معامل الانعكاس يمثل نسبة الاستطاعة المنعكسة إلى الواردة على خط النقل.

لاحظ أن الاستطاعة المتوسطة المقدمة للحمل تساوي إلى فرق الاستطاعة الواردة والاستطاعة المنعكسة

أي :

$$P_L = P_{av} = P_{inc} - P_{ref} \quad (4)$$

نعرف المقدار

$$RL[dB] = -10\log|\Gamma_L|^2 = -20\log|\Gamma_L| \quad (5)$$

وتسمى فقد الإرجاع ويقدر بالديسيبل dB. إنه قياس للفقد في الاستطاعة المحقنة إلى الحمل بسبب الانعكاس مقارنة بالاستطاعة المتاحة من المنبع P_{avs}. وهذه الاستطاعة المتاحة من المنبع ماهي إلا الاستطاعة الواردة أي $P_{avs} = P_{inc}$

ونعرف المقدار

$$IL[dB] = -10\log|T|^2 = -20\log|T|$$

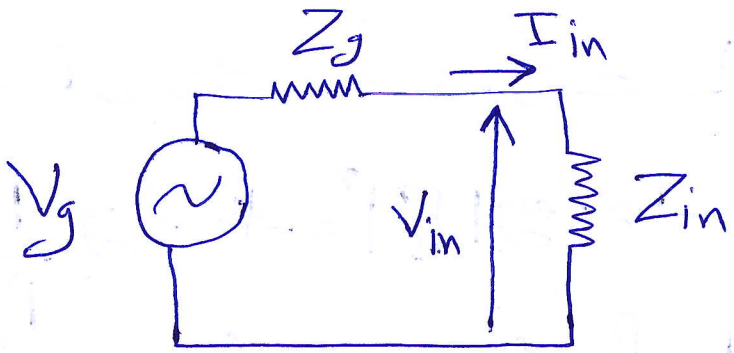
وتسمى فقد الإدخال ويقدر بالديسيبل dB. إنه قياس للاستطاعة المرسلة إلى الحمل مقارنة بالاستطاعة المتاحة من المنبع P_{avs}. لاحظ أن

$$\frac{P_L}{P_{inc}} = 1 - \frac{P_{ref}}{P_{inc}} \Leftrightarrow |T|^2 = 1 - |\Gamma_L|^2$$

$$\Leftrightarrow P_L = |T|^2 P_{inc}$$

b) الاستطاعة العظمى المحقنة للحمل:

من وجهة نظر استطاعة، يمثل خط النقل في المسألة الهندسية النموذجية المبينة في الشكل مع المعاوقة Z_L حملاً للمولد ممانعة الحمل الذي «يراه» المولد هي ممانعة الدخل لخط النقل المنتهي بالحمل Z_L. بمعنى أن الدارة في الشكل أعلاه تصبح تصبح مكافئة من وجهة نظر المولد



تكون الاستطاعة المقدمة للحمل أعظمية إذا تحققت الشرط

$$Z_{in} = Z_g^* \Leftrightarrow R_{in} + jX_{in} = R_g - jX_g$$

$$\Leftrightarrow R_{in} = R_g \; ; \; X_{in} = -X_g$$

لأن الممانعات في الحالة العامة تكون عقدية، يمثل هذا الشرط نظرية نقل الاستطاعة العظمى من المولد إلى الحمل بشرط النقل. تعطى الاستطاعة العظمى في هذه الحالة بالعلاقة التالية:

$$P_{max} = \frac{1}{2}|V_g|^2 \frac{1}{4R_g} = \frac{|V_g|^2}{8R_g}$$

ملاحظة: لقياس الاستطاعة بـ dBm نعتمد مرجع الاستطاعة عند 1mW ويصبح قياس الاستطاعة بالـ dBm على النحو التالي

$$P[dBm] = 10 \log \frac{P(mw)}{1mW}$$

وهكذا يكون مستوى الاستطاعة المرجعية 1mW عند 0 dBm والاستطاعة 2mw تكافئ 3 dBm في حين الاستطاعة 1W تكافئ 30dBm.

تمرين (1): يسبب الحمل Z_L فقدان إرجاع مقداره $RL = 6\,dB$ فإذا كانت الاستطاعة الواردة $P_{inc} = 10\,dBm$، احسب الاستطاعة المنعكسة والمقدمة للحمل بالـ dBm و mW

الحل: يمكن أن نكتب من تعريف RL

$$RL[dB] = -10\log|\Gamma_L|^2 = -10\log\frac{P_{ref}}{P_{inc}}$$

$$= 10\log P_{inc} - 10\log P_{ref}$$

ومنه

$$RL[dB] = P_{inc}[dBm] - P_{ref}[dBm]$$

$$P_{ref}[dBm] = P_{inc}[dBm] - RL[dB]$$

$$P_{ref}[dBm] = 10[dBm] - 6[dB]$$

$$= 4\ [dBm]$$

بالاستفادة من العلاقة

$$P_{ref}[dBm] = 10\log\frac{(P_{mW})_{ref}}{1mW}$$

$$4 = 10\log\frac{P(mW)_{ref}}{1mW} \Rightarrow P(mW)_{ref} = 2.5mW$$

وتكون الاستطاعة الضائعة للحمل

$$P_L = P_{inc} - P_{ref} = 10mW - 2.5mW = 7.5mW$$

$$P_L = 10\log\frac{7.5mW}{1mW} = 8.75dBm$$

7 الطول الكهربائي لخط النقل: يقدر بالراديان أو الدرجات ويعبر عن الطول الفيزيائي لخط النقل بالنسبة لطول الموجة المنتشرة على خط النقل، بعد ضرب هذه النسبة بالطور 2π

يعني ذلك أن معامل الانعكاس عند دخل خط النقل Γ_{in} يتأخر في الطور عن معامل الانعكاس عند الحمل بمقدار يعتمد على الطول الكهربائي لخط النقل. تفسير ذلك أن الموجة المنعكسة عندما تصل إلى دخل خط النقل تكون قد غيرت الخط (انتشرت على الخط) ذهاباً (من الدخل إلى الحمل) وإياباً (من الحمل إلى الدخل) نلاحظ أن $|\Gamma_L| = |\Gamma_{in}|$ لأن خط النقل عديم الفقد.

نستنتج مما سبق مفهوم ممانعة الدخل لخط نقل عديم الفقد طوله الكهربائي βl وممانعته المميزة Z_0 ومنتهي بالحمل Z_L ونكتب:

$$Z_{in} = Z_0 \cdot \frac{1+\Gamma_{in}}{1-\Gamma_{in}} = Z_0 \frac{1+\Gamma_L e^{-2j\beta l}}{1-\Gamma_L e^{-2j\beta l}}$$

حيث نكتب هذه العلاقة على الشكل

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan\beta l}{Z_0 + jZ_L \tan\beta l}$$

هذه الصيغة لعلاقة ممانعة الدخل هامة عملياً لأنها تربط بين معطيات خط النقل (الطول الكهربائي والممانعة المميزة) وممانعة الحمل.

8 خط النقل مقصور النهاية:

عندما ينتهي خط النقل ببارة مقصورة، أي $Z_L = 0$، يكون

الانعكاس كلياً أي $|\Gamma_L|=1$ ، لأن $\Gamma_L=-1$ بمعنى أن طويلة الموجة المنعكسة تساوي طويلة الواردة، وأن الموجتين على تماكس في الطور، ينتج عن ذلك أن $V_{SWR}=\infty$ لأن $|\Gamma_L|=1$ ، و $V_{min}=0$ لأن الجهد يكون معدوماً عند الدارة المقصورة، ويتكرر كل $\lambda/2$ ، بينما يكون التيار أعظمياً، يكون الموجة المستقرة الشكل التالي:

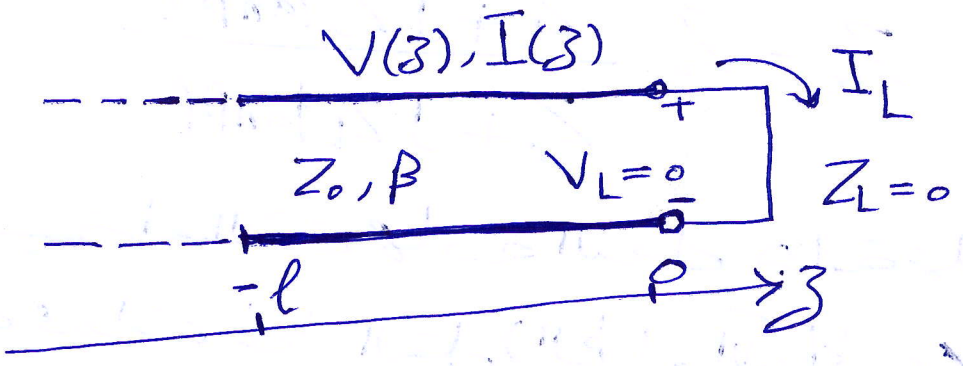
$$V(z)=V_0^+\left(e^{-j\beta z}-e^{j\beta z}\right)=-2jV_0^+\sin\beta z$$

$$I(z)=\frac{V_0^+}{Z_0}\left(e^{-j\beta z}+e^{j\beta z}\right)=2\frac{V_0^+}{Z_0}\cos\beta z$$

ويكون ممانعة الدخل لخط نقل مقصور النهاية من الشكل

$$Z_{in}=jZ_0\tan\beta\ell$$

أي أنها ممانعة تخيلية صرفة (سعوية أو تحريضية) وهما كان طول خط النقل وتتغير بين $-j\infty$ و $+j\infty$



تطبيق (2): خط نقل ذو مقاومة مميزة $Z_0 = 50\Omega$ ومعامل انعكاس الحمل $\Gamma_L = 0.3 e^{j30°}$. ارسم أطوال الموجة المستقرة على طول خط النقل، واستنتج نسبة الأمواج المستقرة. نفرض $|V_0^+| = 1V$

الحل: لدينا في هذه الحالة

$$|V(l)| = |V_0^+| \left| 1 + |\Gamma_L| e^{j(\theta - 2\beta l)} \right|$$

$$= \left| 1 + 0.3 e^{j\left(\frac{\pi}{6} - 2\beta l\right)} \right|$$

$$I(z) = \frac{V_0^+}{Z_0} \left(e^{-j\beta z} - \Gamma_L e^{j\beta z} \right)$$

يكون الجهد أعظمي بعد الحمل مباشرة عند المسافة:

$$\frac{\pi}{6} - 2\beta l_{max} = 0 \iff \frac{\pi}{6} = 4\pi \frac{l_{max}}{\lambda}$$

$$\Rightarrow l_{max} = 0.042\lambda$$

ويكون الجهد أصغري بعد الحمل مباشرة عند المسافة

$$\frac{\pi}{6} - 2\beta l_{min} = \pi \Rightarrow \frac{-5\pi}{6} = 4\pi \frac{l_{min}}{\lambda} \Rightarrow l_{min} = -0.21\lambda$$

وبما أن المسافة يجب أن تكون موجبة والجهد الأصغري يتكرر كل $\frac{\lambda}{2}$، نضيف $\frac{\lambda}{2}$ إلى النتيجة

$$l_{min} = -0.21\lambda + 0.5\lambda = 0.29\lambda$$

قيمة مطال الجهد العظمى

$$V_{max} = |V_0^+|(1 + |\Gamma_L|) = 1 + 0.3 = 1.3V$$

وقيمة مطال الجهد الصغرى

$$V_{min} = |V_0^+| (1 - |\Gamma_L|) = 1 - 0.3 = 0.7 V$$

عندما يكون الجهد أعظمياً يكون التيار أصغرياً ويكون قيمته الصغرى

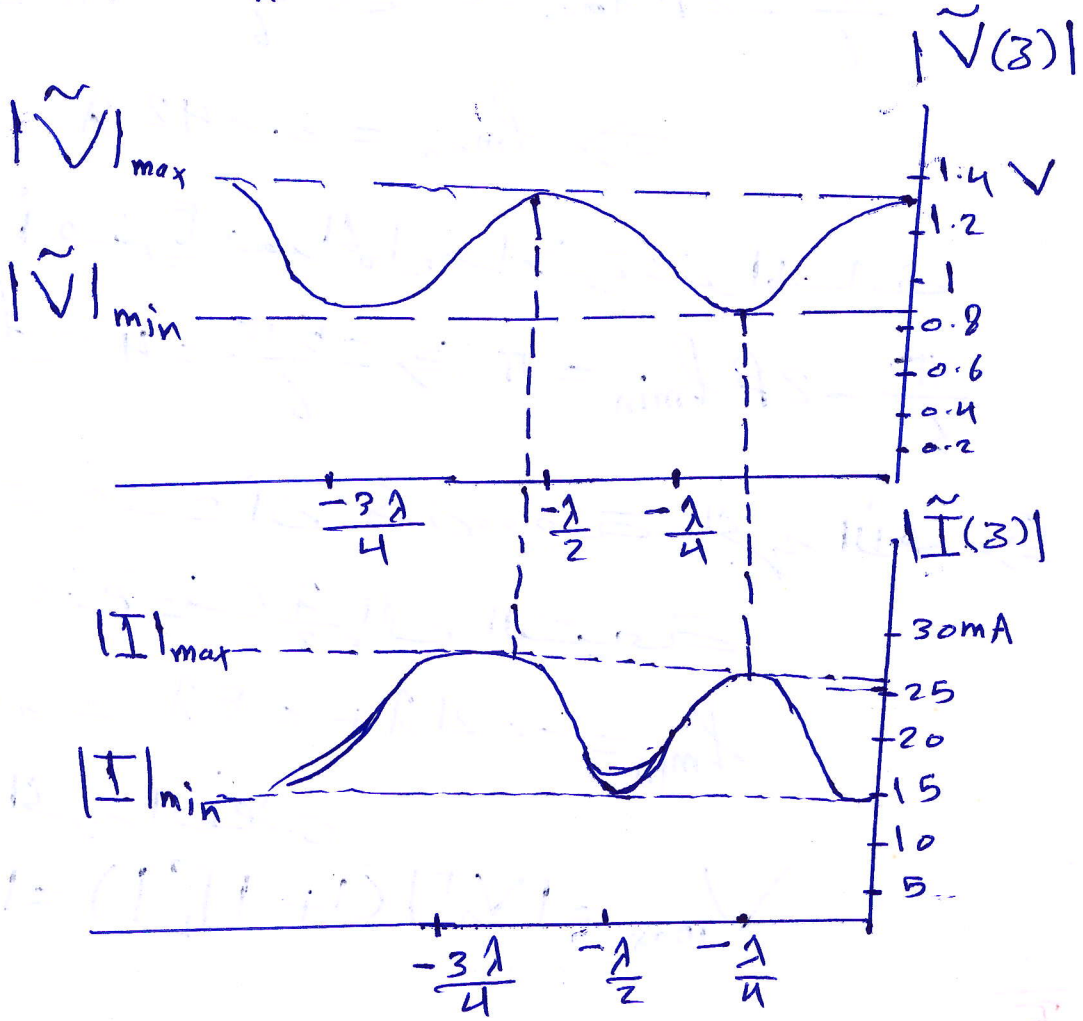
$$I_{min} = \frac{V_{min}}{Z_0} = \frac{0.7}{50} = 14 mA$$

عندما يكون الجهد أصغرياً يكون التيار أعظمياً ويكون قيمته العظمى

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{Z_0} = \frac{1.3}{50} = 26 mA$$

ويكون نسبة الأمواج المستقرة

$$V_{SWR} = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1.3}{0.7} = 1.86$$



تطبيق (3): احسب الطول الكهربائي ومعاوقة الدخل لخط النقل في الحالات التالية

$$\ell = \frac{\lambda}{2}$$

الحل: يكون الطول الكهربائي لخط النقل الذي طوله الفيزيائي $\frac{\lambda}{2}$

$$\beta\ell = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{\lambda}{2} = \pi = 180^\circ$$

ونعلم أن المعاوقة تتكرر على خط النقل كل $\frac{\lambda}{2}$ بالتالي

$$Z_{in} = Z_L$$

$$\ell = \frac{\lambda}{4}$$

يكون الطول الكهربائي لخط النقل الذي طوله الفيزيائي $\frac{\lambda}{4}$

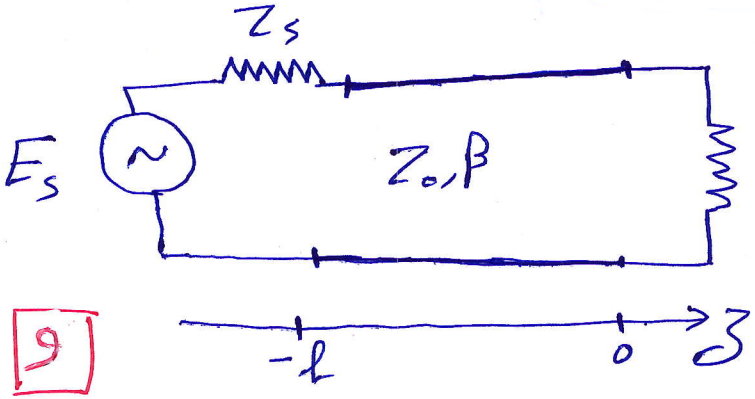
$$\beta\ell = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$$

لما يؤول معاوقة الدخل لخط النقل $\tan\beta\ell \to \infty$ تؤول في علاقة معاوقة الدخل

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0\tan\beta\ell}{Z_0 + jZ_L\tan\beta\ell}$$

$$Z_{in} = Z_0 \frac{jZ_0}{jZ_L} = \frac{Z_0^2}{Z_L}$$

تطبيق (4): لتكن مواصفات الدارة المبينة في الشكل أدناه



$\ell = \frac{\lambda}{8}$

$E_s = 10V\ \angle 0^\circ$

$Z_s = 100 + j50\ \Omega$

$Z_0 = 50\ \Omega$

$Z_L = 50 + j50\ \Omega$

a) اوجد الطول الكهربائي ومعاوقة الدخل لخط النقل

باعتبار أن طول الخط $l = \frac{\lambda}{8}$ فالطول الكهربائي $\beta l = 45°$

وبالتالي $\tan\beta l = 1$ وتصبح معاوقة الدخل:

$$Z_{in} = 50\,\frac{50 + j50 + j50}{50 + j(50 + j50)} = 50\,\frac{50 + j100}{j50}$$

$$= 50(2 - j) = 100 - j50\,\Omega$$

b) اوجد الاستطاعة المتصة للحمل.

نلاحظ أن $Z_s = Z_{in}$ وبالتالي تكون الاستطاعة المتصة للحمل أعظمية وتساوي إلى:

$$P_{max} = \frac{|E_s|^2}{8R_s} = 0.125\,W = 125\,mW$$

$$= 10\log\frac{125}{1} = 21\,dBm$$

c) اوجد الطول الفيزيائي (بالسنتمتر) لخط النقل عند التردد 1GHz بفرض أن العازل هو الهواء

لحساب طول الموجة عند التردد 1GHz نكتب:

$$\lambda = \frac{v_p}{f} = \frac{c}{f} = \frac{3\times10^8}{1\times10^6} = 0.3\,m = 30\,cm$$

لأن العازل هو الهواء. يكون الطول الفيزيائي (بالسنتمتر) لخط النقل عند التردد 1GHz

$$l = \frac{\lambda}{8} = \frac{30}{8} = 3.75\,cm$$

مكتبة A to Z