كلية العلوم

القسم : **الفيزياء**

السنة : **الثانية**

المادة : كهرباء ومغناطيسية٢

المحاضرة : **الثالثة/نظري/**

{{ مكتبة A to Z }}

2024 2025

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

٨

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

(٦-١١) المولـدات

Generators

(٦-١١-١) طريقة توليد جهد متردد Generation of alternating voltage

إشارة لما درس في البنود السابقة من هذا الفصل فإن كل جهاز يولد تيارا كهربيا نتيجة لحركة نسبية بين الموصل والمجال المغناطيسي يسمى مولدا (generator). وأنواع المولدات كثيرة يتألف الشائع منها من ملف معدني يدور في مجال مغناطيسي ناتج عن قطبي مغناطيس كهربي (electromagnet) ويسمى هذا المولد بالدينامو (dynamo) بينما يسمى المولد ذو المغناطيس الدائم (parmanent magnet) بالمغنيط (magneto).

فالأجزاء الرئيسة للمولد هي:

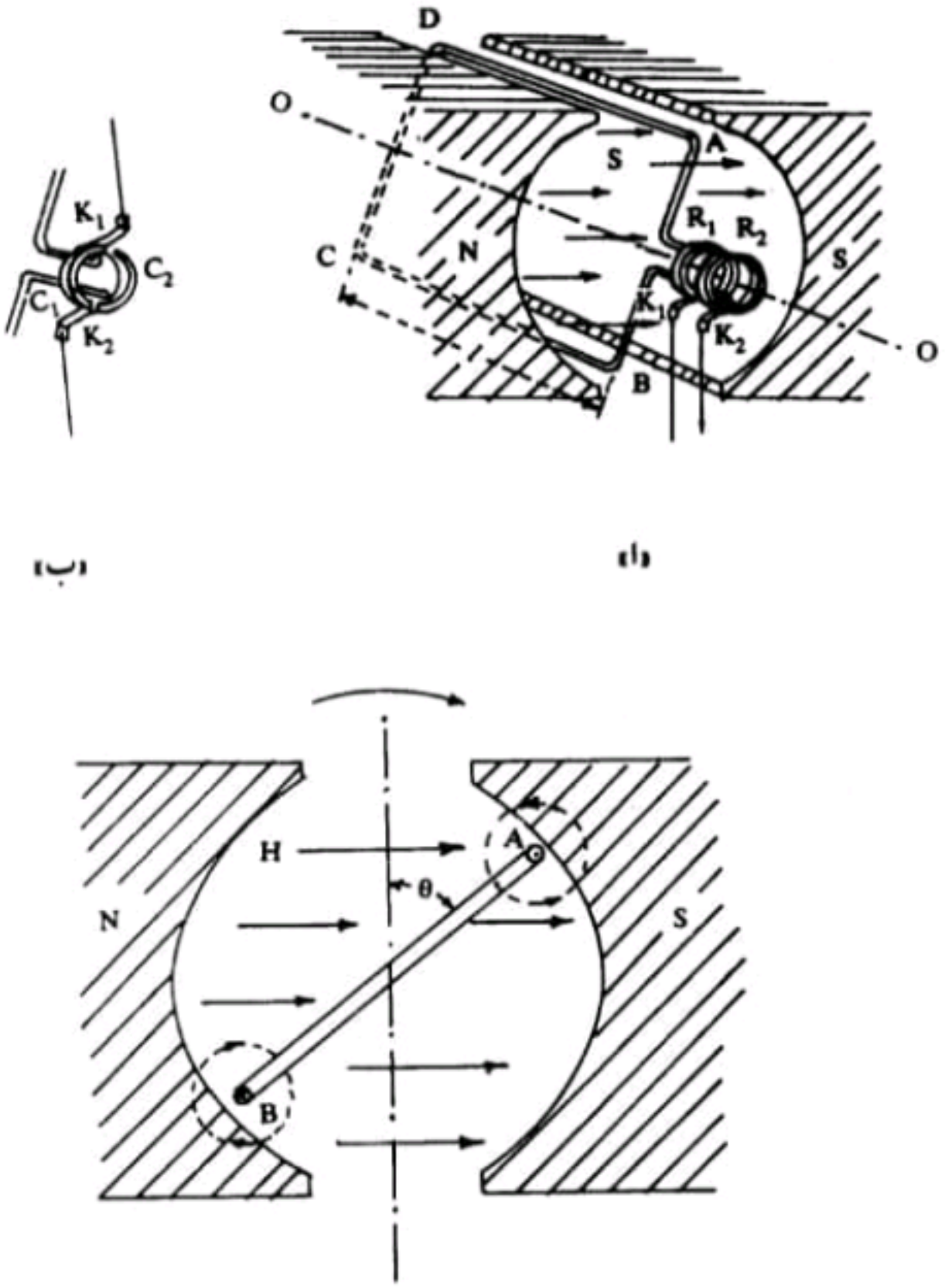
١ ـ مجال مغناطيسي ناتج عن مغناطيس كهربي أو دائم.

٢ ـ ملف دوار (rotating coil) وهو عضو الانتاج الكهربي (armature).

٣ ـ جهاز لتوصيل الملف الدوار بالدوائر الخارجية مثل الحلقات الزالقة (slip rings) أو مبدل (عاكس للتيار commutator) ويلف الملف الدائر بصورة عملية حول قلب حديدي (iron core) للحصول على مجال منتظم قوي.

ويبين الشكل (٦-١٧) طريقة عمل الدينامو، فهو يتكون من ملف مستطيل الشكل ABCD عدد لفاته N ومساحة وجهه S يدور حول محوره O–O في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه B ويتصل طرفا الملف بحلقتين زالقتين R_1 ، R_2 بحيث يمر محور الدوران بمركز هاتين الحلقتين، وتدور الحلقتان بدوران الملف ويمس محيط كل حلقة فرشـاة (brush) K_1 , K_2 وهاتان الفرشاتان تصلان الملف بالدائرة الخارجية، وتعدان مصدرين للقوة الدافعة الكهربية التأثيرية ε التي ستتولد بين طرفي الملف عند الدوران.

وتستخـدم الآلات الحـرارية أو التـوربينات المائية (hydraulic turbines) مثلا لإدارة الملف سالف الذكر.



شكل (١٧-٦): ا ـ ملف مستطيل يتحرك في مجال مغناطيسي (طريقة عمل الدينامو) يتصل طرفاه بحلقتين زالقتين R_1 ، R_2 ويمس محيط كل حلقة فرشاه K_1 ، K_2.
ب ـ استخدام معدلين C_1 ، C_2 بدلا من الحلقتين R_1 ، R_2 للحصول على تيار أحادي الاتجاه.
جـ ـ منظر خلفي للشكل ا يوضح طريقة لحساب القوة الدافعة الكهربية الحثية «التأثيرية» الناتجة عن حركة الملف في المجال المغناطيسي.

ومن الشكل (١٧جـ ـ ٦) والذي يمثل المنظر الخلفي للشكل (١١٧ ـ ٦) يمكن حساب القوة الدافعة التأثيرية ε الناتجة كما يلي :

إذا فرض أنه في لحظة ما أثناء الدوران كان مستوى الملف يصنع مع العمودي على المجال B زاوية قدرها θ كما في شكل (١٧جـ ـ ٦) .

∴ الفيض المغناطيسي الكلِّي Φ العمودي المخترق للملف يساوي :

$$\Phi = NSB \cos\theta$$

حيث $B\cos\theta$ هي مركبة B العمودية على مستوى الملف الذي عدد لفاته N ، ومساحة وجهه S.

وحسب المعادلة (١١١ ـ ٦) تكون القوة الدافعة الكهربية المستحثة في الملف هي :

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -NSB\frac{d}{dt}\cos\theta$$

$$\therefore \varepsilon = -NSB\frac{d}{d\theta}\cos\theta\frac{d\theta}{dt}$$

$$= NSB\sin\theta\frac{d\theta}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (٦\text{-}٨٦)$$

وإذا كانت ω هي السرعة الزاوية (angular velocity) للملف فإن الزاوية θ التي دارها الملف في زمن قدره t هي :

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega \quad , \quad \theta = \omega t$$

وبالتعويض في المعادلة (٦ـ٨٦) يُحصل على :

$$\varepsilon = NSB\,\omega\sin(\omega t) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (٦\text{-}٨٧)$$

وحسب هذه المعادلة فإن $\sin(\omega t)$ يتغير من (+1) عندما تكون $\theta = \omega t = 90°$ إلى (– 1) عندما تكون $\theta = \omega t = 270$ وبهذا فإنه في خلال دورة كاملة تتغير القوة الدافعة التأثيرية المتولدة ε كما يلي:

١ ـ تكون $\varepsilon = 0$ عندما $\theta = \omega t = 0$

٢ ـ تزداد ε بازدياد θ إلى أن تصبح $\theta = 90°$ وعندها تكون ε نهاية عظمى ε_{max} حيث $\varepsilon_{max} = NSB\omega$

٣ ـ تقل ε إلى أن تصل إلى الصفر عند $\theta = 180°$

٤ ـ تزداد ε في الاتجاه المعاكس إلى أن تصل θ إلى $270°$ وعندها تكون نهاية عظمى ε_{max} حيث $\varepsilon_{max} = - NSB\omega$

٥ ـ تقل ε إلى أن تعود إلى الصفر مرة أخرى عند $\theta = 360°$

وبالتعويض عن النهاية العظمى للقوة الدافعة الكهربية في المعادلة (٨٧ـ٦) يُحصل على:

$$\varepsilon = \varepsilon_{max} \sin \omega t \quad \ldots\ldots\ldots \quad (٨٨ـ٦)$$

وهذه المعادلة تمثل معادلة منحنى الجيب (sine curve) أو معادلة الحركة التوافقية البسيطة (simple harmonic motion) وهذه القوة الدافعة الحثية هي الواقعة بين طرفي الفرشاتين K_1 ، K_2

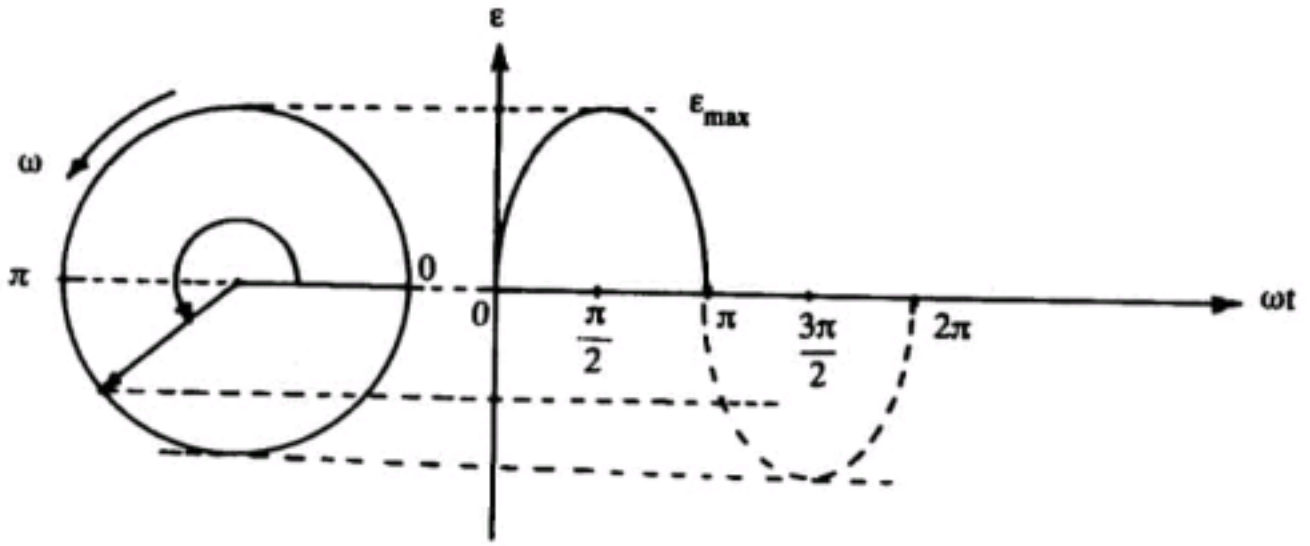
وإذا كانت T تمثل الزمن بالثانية لدورة كاملة للملف حول محوره O–O وتعرف بزمن الدورة، f عدد الدورات الكاملة للملف في الثانية وتعرف بالتردد (frequency) فيمكن التعبير عن السرعة الزاوية ω بالمعادلة:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \ \text{rad/s}$$

$$\therefore \varepsilon = \varepsilon_{max} \sin 2\pi f t \quad \ldots\ldots\ldots \quad (٨٩ـ٦)$$

ويمكن تمثيل منحنى الجيب بيانيا للقوة الدافعة الحثية، المعادلة (٨٨ـ٦)، كما هو مبين بالشكل (١٨ـ٦).

ويلاحظ من الشكل (١٨-٦) أن قيمتها تتغير من لحظة إلى أخرى وتكون موجبة في النصف الأول للدورة وسالبة في النصف الثاني للدورة أي أنها قوة دافعة مترددة (alternating E.M.F.).



شكل (١٨-٦): منحنى جيبي يمثل العلاقة بين القوة الدافعة الحثية والزاوية $\theta = \omega t$ الناتجة عن حركة الملف كما في شكل (١٧-٦).

ولذلك فالجهد المتردد هو جهد يتغير مقداره تغيرا دوريا مع الزمن ويتغير اتجاهه بانتظام كل زمن معين.

٨

التيارات المترددة

Alternating Currents

● مقدمة ● مقاومة أومية في دائرة مترددة ● مكثف في دائرة مترددة ● ملف ذو حث ذاتي فقط في دائرة مترددة ● التوصيل على التوالي في دائرة مترددة ● دائرة التيار المتردد المتوازية ● دوائر الرنين ● استخدام الأعداد المركبة وتطبيقات عليه ● قناطر التيار المتردد ● مسائل.

(٨-١) مقدمة

Introduction

سبق أن ذكر في الفصل السادس، البند (٦-١١-١)، كيفية توليد القوة الدافعة الكهربية المترددة، الجهد المتردد، وحسب المعادلة (٨٨-٦) فإن قيمته تساوي:

$$V = V_m \sin(\omega t) = V_m \sin(2\pi f t) \quad \ldots\ldots \quad (٨-١)$$

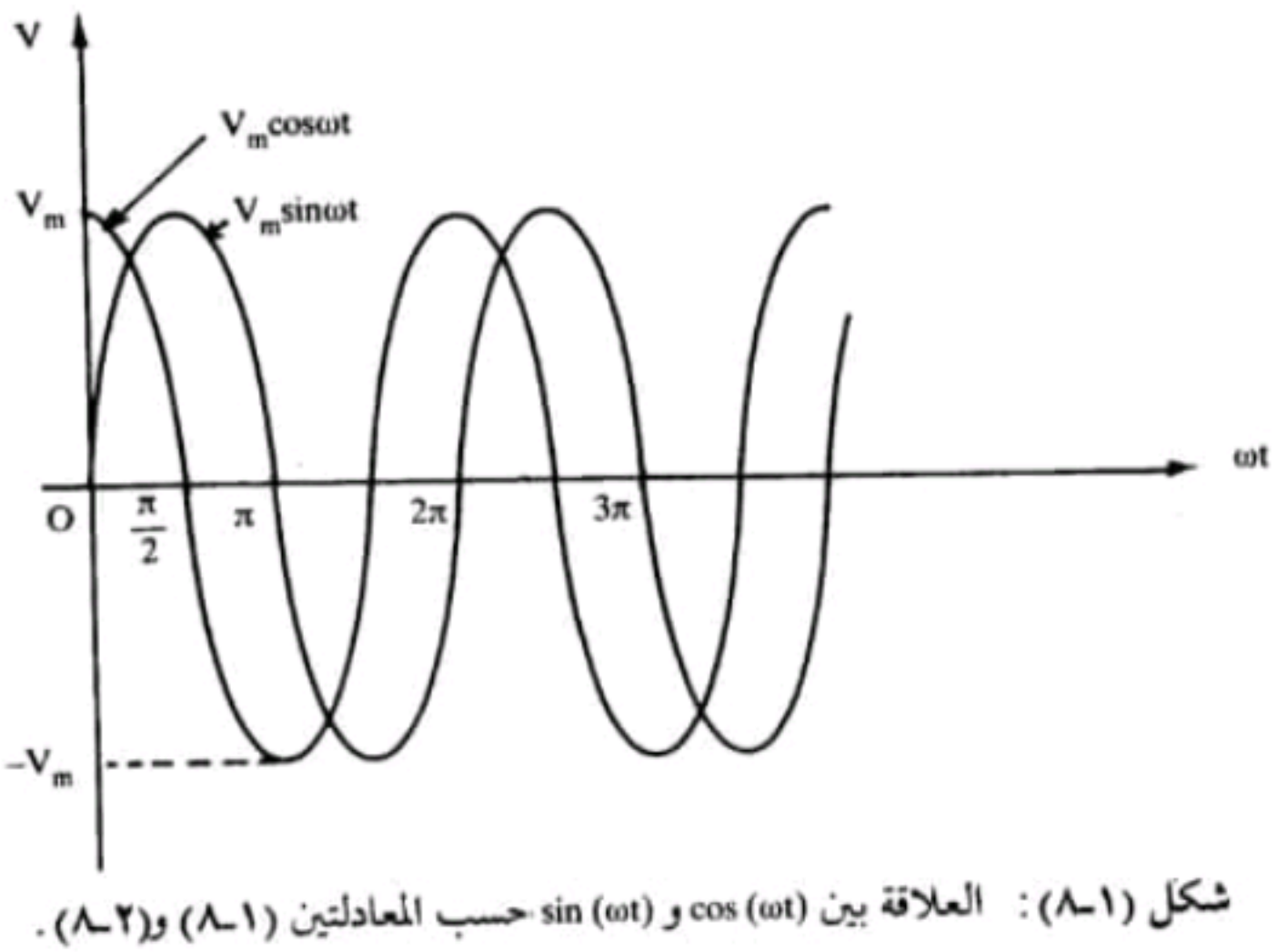
حيث V فرق جهد جيبي يتغير مع الزمن t ويسمى فرق الجهد اللحظي و V_m قيمته العظمى و f التردد الذي يتراوح ما بين ٥٠ و٦٠ دورة في الثانية بالنسبة لمعظم المولدات الاقتصادية. ويقاس التردد بعدد الذبذبات لكل ثانية وهو ما يسمى بالهيرتز (Hertz) نسبة للعالم الفيزيائي هيرتز حيث:

$$1 \text{ Hertz} = 1\text{Hz} = 1 \text{ cycle per second}$$

كما يمكن التعبير عن الجهد المتردد بالمعادلة التالية:

$$V = V_m \cos(\omega t) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (٨-٢)$$

وهذه المعادلة تمثل أيضا موجة جيبية. ولما كان $\cos(\omega t) = \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$ فإن موجة الـ $\cos(\omega t)$ تماثل موجة الـ $\sin(\omega t)$ مع إزاحة مقدارها $\frac{\pi}{2}$ كما في شكل (١-٨).



شكل (١-٨): العلاقة بين $\cos(\omega t)$ و $\sin(\omega t)$ حسب المعادلتين (١-٨) و(٢-٨).

وتعالج نظرية التيار المتردد (alternating current) أو باختصار A.C. ، الجهود والتيارات الناتجة في دوائر كهربية تحتوي على مقاومات وملفات ومكثفات ومحولات وأي دوائر أخرى كهربية عند تسليط قوة دافعة كهربية مترددة.

وسنقتصر في دراسة هذا الموضوع فقط على تأثير تسليط قوة دافعة كهربية مترددة على الدوائر الكهربية المختلفة المكونة من مقاومات، ومكثفات وملفات فقط.

(٨-٢) مقاومة أومية في دائرة مترددة

Resistance in A.C. Circuit

يمثل الشكل (٢-٨) قوة دافعة مترددة V متصلة بمقاومة أومية، أي ليس لها حث، فإذا كانت المعادلة (١-٨) تمثل V فإنه حسب قانون أوم تكون القيمة اللحظة للتيار الكهربي المار في الدائرة هي :

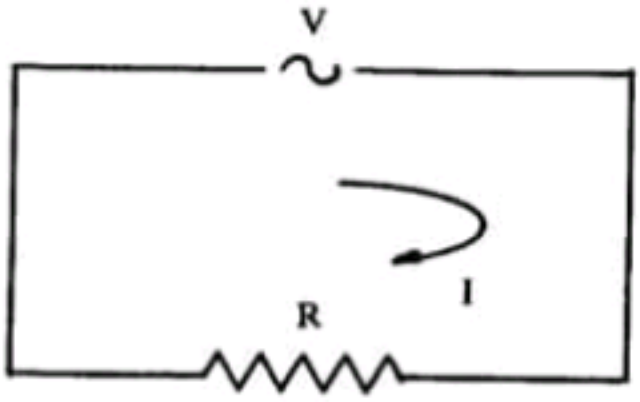
$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_m}{R}\sin(\omega t) \ldots \quad (٨-٣)$$

$$\therefore I = I_m \sin(\omega t)$$

حيث:

$$I_m = V_m / R \quad \ldots\ldots \quad (٨-٤)$$

وتمثل I_m القيمة العظمى للتيار عندما يأخذ V قيمته العظمى V_m.



شكل (٢-٨): دائرة تيار متردد تحتوي على مقاومة أومية فقط.

ويستنتج من المعادلات (١-٨)، (٣-٨) و(٤-٨) ما يلي:

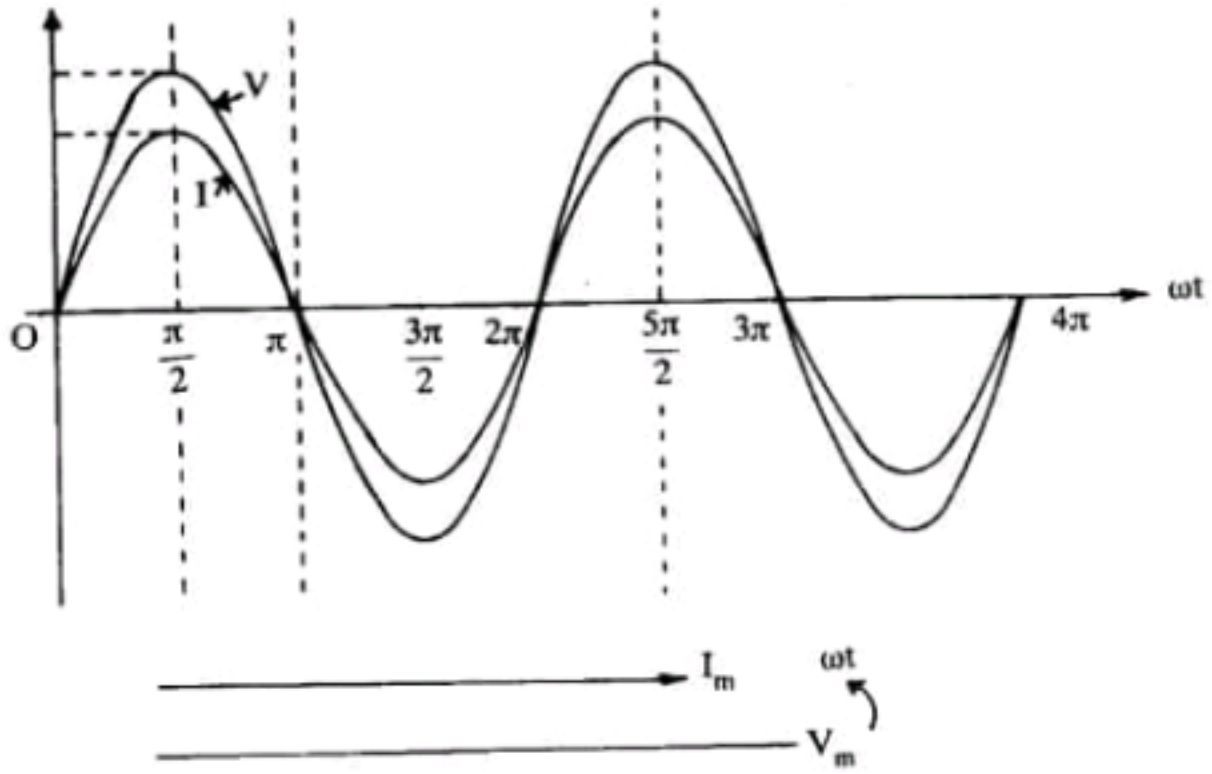
١ ـ تتناسب قيمة التيار، المعادلة (٣-٨)، مع قيمة الجهد الكهربي، المعادلة (١-٨)، بمعامل ثابت هو 1/R. لذلك يلاحظ من الشكل (٣-٨) أن منحنى التيار هو منحنى جيبي يماثل تماما المنحنى الجيبي لفرق الجهد، أي أنهما يمران بنقطة الصفر معا كما أنهما يمران بقيمتي النهاية العظمى في كل من الجهتين الموجبة والسالبة معا، ولذلك يقال إن فرق الجهد والتيار متفقان في الطور In phase وتتوقف قيمة النهاية العظمى للتيار I_m على قيمة المقاومة R.

٢ ـ إذا مثل كل من التيار وفرق الجهد بمتجهين كما في شكل (٣-٨) فإنهما ينطبقان معا ويدوران بالزاوية نفسها. يسمى هذا التمثيل بمخطط ضابط الطور (phasor diagram) أو بمخطط المتجهات (vector diagram) وهو يمثل الجهد والتيار عند لحظة معينة والغرض من ذلك هو معرفة الفرق في الطور (phase difference) بينهما.

٣ ـ حسب تعريف القدرة الكهربية الواردة في الفصل الرابع، البند (٤-٣)، فإن القيمة اللحظية للقدرة P (instant power) عند أي لحظة t هي:

$$P = IV = I^2R = I_m^2 R \sin^2 \omega t \quad \ldots \quad (٨-٥)$$

$$P = \frac{1}{2} V_m I_m (1 - \cos 2\omega t)$$



شكل (٣ـ٨) : ا ـ العلاقة بين فرق الجهد المسلط V و ωt وكذلك التيار المار في الدائرة I و ωt حسب المعادلتين (١ـ٨) و(٣ـ٨).
ب ـ مخطط ضابط الطور بين V و I للدائرة (٢ـ٨).

$$\therefore P = \frac{1}{2}V_m I_m - \frac{1}{2}V_m I_m \cos 2\omega t = P_1 + P_2 \quad (٦ـ٨)$$

تدل المعادلة (٥ـ٨) على أن القدرة اللحظية P دائما موجبة عندما تكون V و I معا موجبتين أو سالبتين وهذا يعني أن الطاقة تعطى للمقاومة عند أي لحظة مهما كان اتجاه التيار.

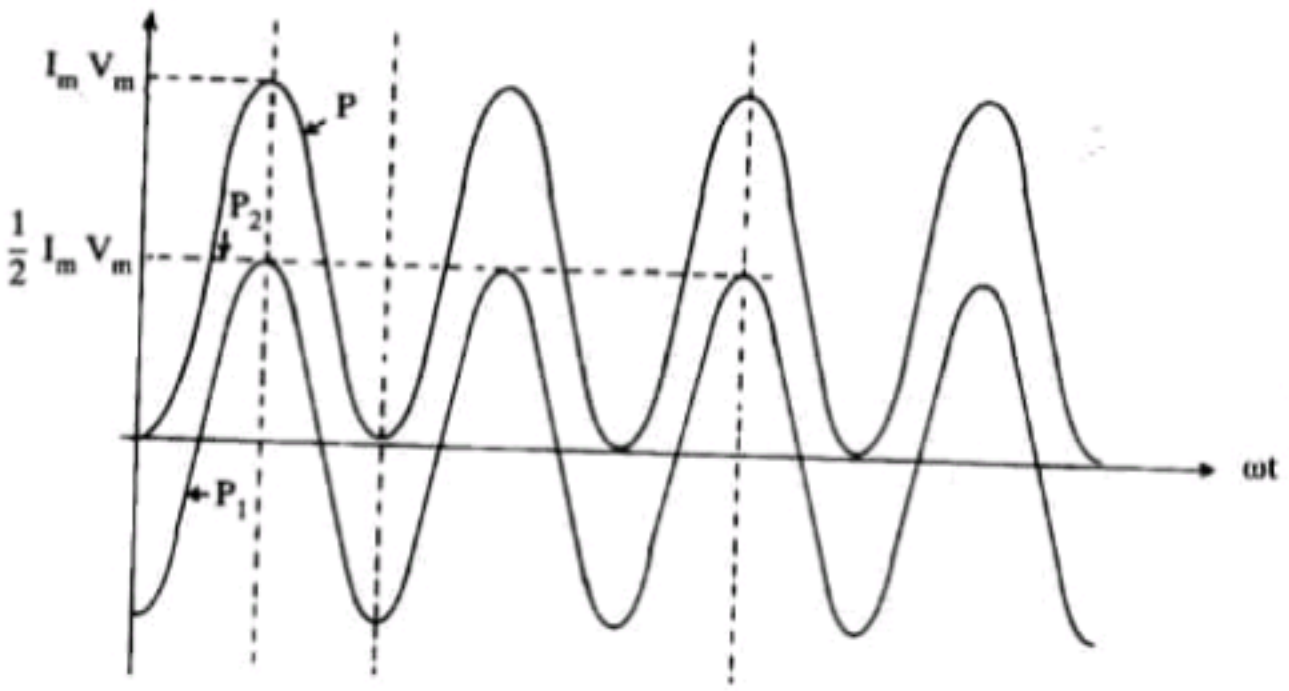
كما يتضح من المعادلة (٦ـ٨) أن القدرة اللحظية P تتكون من حدين هما :

ا ـ حد ثابت P_1 ، يكن كتابته بالصورة التالية :

$$P_1 = \frac{1}{2}V_m I_m = (V_m/\sqrt{2}) \times (I_m/\sqrt{2}) = V_{eff} \cdot I_{eff} \quad (٧ـ٨)$$

تماثل هذه المعادلة تماما المعادلة (٢٨ـ٤) الخاصة بالقدرة في حالة التيار المباشر (D.C). تسمى V_{eff} بالجهد الفعّال و I_{eff} بالتيار الفعّال وهما مقياس للجهد المباشر المكافىء أو التيار المباشر (المستمر) الذي يسبب الحرارة نفسها في المقاومة.

ب ـ حد يتغير مع الزمن t بضعف التردد للجهد والتيار (2ω بدلا من ω). ويبين الشكل (٤ـ٨) العلاقة بين ωt والقدرة اللحظية P حسب المعادلة (٥ـ٨) كما يبين أيضا حديّ المعادلة (٦ـ٨)، حيث يمثل الحد الأول بخط مستقيم مع المحور الأفقي بينما يمثل الحد الثاني بالمنحنى الجيبي الذي قيمة ذروته $\frac{1}{2} V_m I_m$. واضح من الشكل أن القدرة اللحظية هي مجموع هذين الحدين.



شكل (٤ـ٨): العلاقة بين القدرة اللحظة P و ωt حسب المعادلتين (٥ـ٨) و(٦ـ٨) للدائرة (٢ـ٨).

٤ ـ تعني المعادلة (٥ـ٨) أن معدل إنتاج الطاقة الحرارية في المقاومة R يكون متغيرا نظرا لتغير P. ولكن يمكن الحصول في خلال فترة زمنية T على معدل متوسط لإنتاج الحرارة يمكن مساواته بالمعدل الناشىء عن تيار مستمر مكافىء. وتكون قيمة هذا التيار المستمر المكافىء هي القيمة الفعالة للتيار المتردد (effective value) وتعرف بأنها قيمة ذلك التيار المستمر الذي يولد معدل الحرارة نفسها في مقاومة معينة.

إذا كانت الطاقة الحرارية المتولدة في مقاومة R نتيجة لمرور تيار متردد I لفترة زمنية متناهية في الصغر dt هي (dU = Pdt) فإن الطاقة المتولدة خلال دورة كاملة T هي:

$$U = \int_0^U dU = \int_0^T I^2 R dt$$

وإذا كانت شدة التيار المستمر الذي يعطي الطاقة الحرارية نفسها في الفترة T هو I' فإن القدرة المفقودة $P = I'^2R$ وهي ثابتة لا تعتمد على الزمن.
إذن فالطاقة الحرارية نتيجة التيار المستمر هي I'^2RT.

ومن تعريف القيمة الفعالة للتيار ينتج أن:

$$I'^2RT = \int_0^T I^2R\,dt \quad \therefore I'^2 = \frac{1}{T}\int_0^T I^2\,dt$$

∴ القيمة الفعالة للتيار المتردد I' ، ويرمز لها غالبا بالرمز $I_{r.m.s}$ وأحيانا I_{eff} حيث r.m.s هي (root mean square) جذر متوسط مربع التيار، هي:

$$I_{r.m.s} = \left[\frac{1}{T}\int_0^T I^2\,dt\right]^{1/2} \quad \ldots\ldots \quad (٨-٨)$$

وبالتعويض عن I من المعادلة (٨-٣) يُحصل على:

$$\therefore I_{r.m.s} = \left[\frac{1}{T}\int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t\,dt\right]^{1/2}$$

$$\therefore I_{r.m.s} = \left[\frac{I_m^2}{2\pi}\int_0^{2\pi} \sin^2\theta\,d\theta\right]^{1/2} = \left[\frac{I_m^2}{2\pi}\left(\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4}\sin 2\theta\right)_0^{2\pi}\right]^{12}$$

$$\therefore I_{r.m.s} = \left[\frac{I_m^2}{2\pi} \times \pi\right]^{1/2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707\,I_m \quad (٨-٩)$$

ولذلك فالقيمة الفعالة لأي موجة جيبية هي 0.707 من القيمة العظمى وهذه قيمة التيار الفعال I_{eff} التي وردت في المعادلة (٨-٧).

وتستخدم هذه القيمة الفعالة للتيار المتردد في أية حسابات وهي التي تقيسها أجهزة القياس العادية مثل (ammeter) آلة قياس التيار المتردد. كذلك بالطريقة السابقة نفسها يمكن إثبات أن القيمة الفعالة للجهد المتردد تعطى بالمعادلة:

$$V_{r.m.s} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707\,V_m \quad \ldots \quad (٨-١٠)$$

ولـذلـك حينما يقال إن الجهد الكهربي المتردد في المنزل 127V فهذه القيمة تمثّل الـ V_{rms} وهذا يعني أن القيمة العظمى لهذا الجهد 170V ولذلك صنعت أجهزة القياس لقراءة V_{rms} مباشرة.

وبذلك يمكن كتابة المعادلات (١ـ٨)، (٣ـ٨) و(٦ـ٨) بالصورة التالية:

$$V = \sqrt{2}\, V_{r.m.s} \sin \omega t \quad \ldots \quad (٨ـ١١)$$

$$I = \sqrt{2}\, I_{r.m.s} \sin \omega t \quad \ldots \quad (٨ـ١٢)$$

$$P = V_{r.m.s}\, I_{r.m.s} - V_{r.m.s}\, I_{r.m.s} \cos 2\omega t \quad . \quad (٨ـ١٣)$$

٥ ـ القيمـة المتوسطة (average value) للتيار المتردد خلال دورة كاملة يساوي صفرا وذلك بسبب القيمة الموجبة والسالبة للتيار أما القيمة المتوسطة للتيار خلال نصف دورة يمكن حسابها كما يلي:

$$I_{av} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} I dt$$

وبالتعويض عن I من المعادلة (٣ـ٨) يمكن الحصول على:

$$I_{av} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t \, dt = \frac{I_m}{\pi} \int_0^{\pi} \sin\theta \, d\theta$$

$$\therefore I_{av} = (2/\pi)\, I_m = 0.637\, I_m \quad . . \quad (٨ـ١٤)$$

وبالطريقة نفسها يمكن حساب القيمة المتوسطة للجهد خلال نصف دورة أي أن:

$$V_{av} = \frac{2}{\pi} V_m = 0.637\, V_m \quad \ldots \quad (٨ـ١٥)$$

أما القيمة المتوسطة للقدرة خلال دورة كاملة في زمن قدره T فيمكن الحصول عليها من المعادلة:

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^{T} P dt$$

وبالتعويض عن P من المعادلة (٨ـ١٣) يمكن الحصول على :

$$P_{av} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V_{r.m.s}\, I_{r.m.s}\,(1-\cos 2\omega t)\, d(\omega t)$$

$$= \frac{V_{r.m.s}\, I_{r.m.s}}{\pi}\int_0^{\pi} (1-\cos 2\omega t)\, d(\omega t)$$

$$= \frac{V_{r.m.s}\, I_{r.m.s}}{\pi}\left[\omega t - \frac{1}{2}\sin 2\omega t\right]_0^{\pi}$$

$$P_{av} = V_{r.m.s}\, I_{r.m.s} = I_{r.m.s}^2 R = \frac{V_{r.m.s}^2}{R} \quad .. \quad (٨ـ١٦)$$

حيث

$$V_{r.m.s} = I_{r.m.s}\, R$$

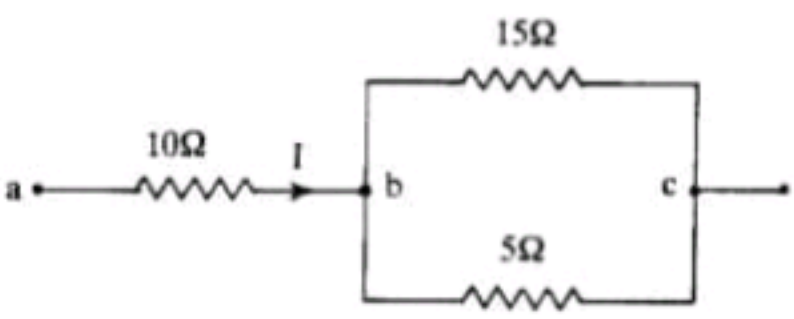
ويستفاد من هذه المعادلة أن القيمة المتوسطة للقدرة تساوي مقدارا ثابتا وهو $V_{r.m.s}\, I_{r.m.s}$. أي أن القدرة المتوسطة المفقودة في مقاومة R تساوي حاصل ضرب القيمة الفعالة للجهد في القيمة الفعالة للتيار الكهربي . تماثل هذه المعادلة المعادلة (٨ـ٧) .

وحدات المقادير الفيزيائية الواردة في هذا البند وردت في الفصول السابقة .

مـثـال (٨ـ١)

إذا كان قيمة التيار المار في المقاومة 5Ω من الدائرة التالية يعطى بالمعادلة :

$$I = 6 \sin \omega t$$



ا ـ احسب التيار المار في المقاومتين 10Ω و 15Ω وفرق الجهد بين ab و bc

ب ـ احسب القدرة اللحظية والمتوسطة في كل مقاومة .

الحـــل

ا ـ فرق الجهد

فرق الجهد V_{bc} عبر المقاومة 5Ω يساوي فرق الجهد عبر المقاومة 15Ω

$$V_{bc} = I_5 R_5 = 6 \sin \omega t \times 5 = 30 \sin \omega t \quad V$$

$$I_{15} = V_{bc}/R_{15} = 2 \sin \omega t \;\&\; I_{10} = I_{15} + I_5 = 8 \sin \omega t \quad A$$

$$V_{ab} = I_{10} R_{10} = 80 \sin \omega t \quad V$$

ب ـ القدرة اللحظية

$$P_5 = I_5 V_5 = 6 \sin \omega t \times 30 \sin \omega t = 180 \sin^2 \omega t \quad W$$

$$P_{15} = I_{15} V_{15} = 2 \sin \omega t \times 30 \sin \omega t = 60 \sin^2 \omega t \quad W$$

$$P_{10} = I_{10} V_{10} = 8 \sin \omega t \times 80 \sin \omega t = 640 \sin^2 \omega t \quad W$$

أما القدرة المتوسطة فهي :

$$P_{av}^{5} = \frac{I_m^5 \times V_m^5}{2} = \frac{6 \times 30}{2} = 90 \, W$$

$$P_{av}^{15} = \frac{I_m^{15} \times V_m^{15}}{2} = \frac{2 \times 30}{2} = 30 \, W$$

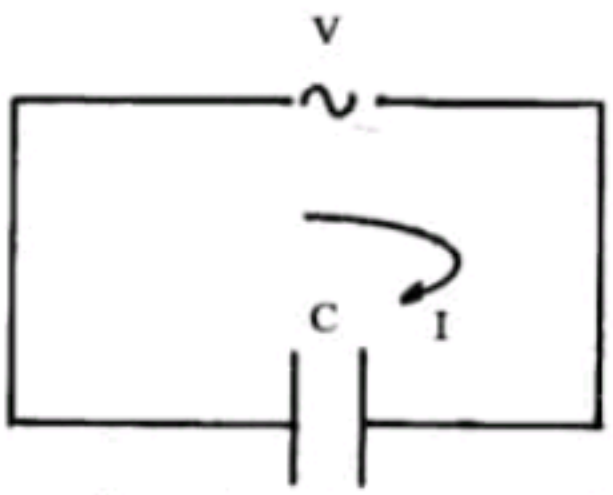
$$P_{av}^{10} = \frac{I_m^{10} \times V_m^{10}}{2} = \frac{8 \times 80}{2} = 320 \, W$$

(٨ـ٣) مكثف في دائرة مترددة

Capacitance in A.C. Circuit

يمثـل شكـل (٨ـ٥) قوة دافعـة كهـربية مترددة، $V = V_m \sin \omega t$ ، متصلة بدائـرة تحتوي على مكثف سعته C فاراد. فإذا كان التيار المـار في الدائرة عند أي لحظة هو I أمبير فإن الشحنة على المكثف عند اللحظة t هي q كولوم قيمتها :

$$q = CV = CV_m \sin \omega t$$



شكل (٨ ـ ٥) : دائرة تيار متردد تحتوي على مكثف سعته C فقط.

مكتبة A to Z