كلية العلوم التطبيقية
قسم التغذية الكهربائية

POWER ELECTRONICS
الالكترونيات الصناعية

الدكتور المهندس أحمد محمد رحال

العام الدراسي: ٢٠٢٠- ٢٠٢١

POWER ELECTRONICS
الالكترونيات الصناعية

المحاضرة الثانية: دوائر التقويم غير المحكومة Uncontrolled Rectifier Circuits
(مقوم نصف موجة أحادي الطور The single-phase half-wave rectifier)

د. أحمد محمد رحال

المادة: الكترونيات صناعية ٢
السنة: الثانية – قسم التغذية الكهربائية
العام الدراسي: ٢٠٢٠-٢٠٢١

دوائر التقويم غير المحكومة

الهدف: دراسة دوائر التقويم أحادية االطور وثلاثية الأطوارغير المحكومة وذلك مع حمل مادي. أيضا دراسة دوائر التنعيم والتنقية على الجهد الخارج من دوائر التقويم. وكذلك أهم التطبيقات لتلك الدوائر في المجال الصناعي.

دوائر التقويم (التوحيد) غير المحكومة Uncontrolled Rectifier Circuits

تسمى مغيرات القدرة التي تحول التيار المتناوب الى تيار مستمر بالموحدات (أو المقومات)، والمقومات التي تستخدم دايود القدرة يطلق عليها المقومات غير المحكومة وذلك لأنها تعطي جهد خرج مستمر وثابت القيمة طالما كانت قيمة جهد الدخل (الجهد المتناوب) ثابتة.

يعتبر الدايود عنصر ملائم لدوائر التقويم غير المحكومة بسبب خاصية التوصيل في اتجاه واحد، وتصنف هذه الدوائر على أساس:

١. **عدد أطوار جهد الدخل:** طور واحد أو ثلاثة أطوار؛
٢. **شكل موجة الخرج**: نصف موجة، أو موجة كاملة.

سنستعرض بعض دوائر التقويم (التوحيد) مع افتراض أن الدايود له خواص مثالية، ويعرف الدايود المثالي بأن مقاومته للتيار في الاتجاه الأمامي تساوي الصفر بينما مقاومته للتيار في الاتجاه العكسي لا نهائية، كما أنه يوصل تيارا" اذا كان فرق الجهد بين الأنود والكاثود موجبا" (أي أن جهد الأنود أعلى من جهد الكاثود). وفي حالة التوصيل يكون فرق الجهد على طرفيه مساويا للصفر. وهذ الافتراض مقبول في دوائر الكترونيات القدرة حيث جهود وتيارات الدائرة كبيرة على عكس دوائر الالكترونيات الدقيقة حيث جهود وتيارات الدائرة صغيرة. وبذلك يمكن إهمال الفقد في الجهد على الديود، والذي عادة لا يتعدى ١ فولت، مقارنة بجهد الدائرة والذي يقدر بعشرات الفولتات.

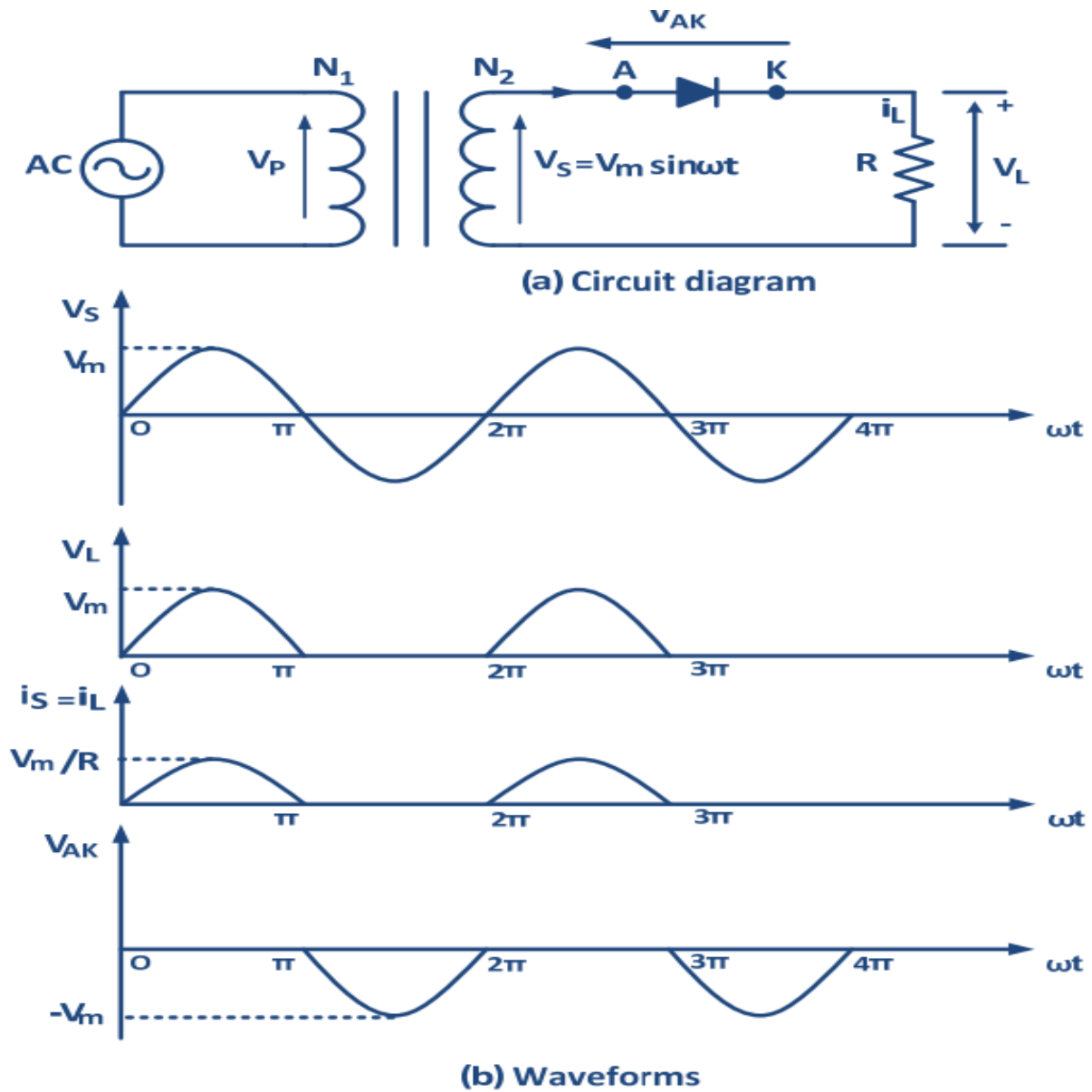
دوائر التقويم أحادية الطور Single-phase rectifier circuits

تصنف دوائر التقويم أحادية الطور من حيث شكل موجة الخرج الى: دوائر تقويم نصف موجة، ودوائر تقويم موجة كاملة. ويوجد شكلان لدوائر تقويم الموجة الكاملة، وهما المقوم ذو نقطة المنتصف **(Center-tap rectifier)** ومقوم القنطرة (الجسر) **(Bridge rectifier)**. وسوف نستعرض بالشرح والتحليل الدوائر المختلفة للتقويم أحادي الطور.

مقوم نصف موجة أحادي الطور The single-phase half-wave rectifier

تعتبر هذه الدائرة من أبسط دوائر المقومات ولكنها لا تستخدم في التطبيقات الصناعية، وذلك نظراً لأنها تسبب مركبة تيار مستمر (DC Component) بالمصدر المتردد مما يحدث أثاراً ضارة جداً بالمحولات والمولدات المتصلة بالشبكة الكهربائية، ولكن دراسة هذه الدائرة ستفيد في فهم عمل دوائر التقويم بصفة عامة.

يوضح الشكل (١) دارة تقويم نصف موجة أحادية الطور موصولة بمصدر تيار متناوب من خلال محول كهربائي خافض أو رافع للجهد حسب حاجة الحمل. ونوع الحمل في هذه الدائرة عبارة عن حمل مادي.



الشكل (١) دارة تقويم نصف موجة أحادية الطور وأشكال موجات الجهد والتيار

نفرض أن جهد الملف الثانوي يعطى بالعلاقة:

$$v_s(t) = V_m \times \sin(\omega . t) \qquad \textbf{1-1}$$

عندما يكون هذا الجهد موجباً أي في الفترة من 0 إلى π، ومن 2π إلى 3π يصبح الدايود في حالة انحياز أمامي ويوصل تياراً إلى الحمل. وبإهمال الهبوط في الجهد عبر الدايود، يصبح تيار الحمل يساوي :

$$i_L(t) = \frac{v_s(t)}{R} = \frac{V_m \times \sin(\omega . t)}{R} \qquad \textbf{2-1}$$

وفي حالة توصيل الدايود يظهر جهد الملف الثانوي v_s (t) على الحمل كما هو مبين في شكل موجه الحمل V_L(t)بالشكل(1).

أما عندما يكون جهد الملف الثانوي سالباً أي في الفترة من π إلى 2π ، ومن 3πإلى 4π يصبح الدايود في حالة انحياز عكسي ولا يوصل تياراً إلى الحمل، ويكون جهدالحمل (الخرج) في هذه الحالة مساوياً للصفر.

ونلاحظ أن جهد الحمل خلال دورة كاملة أصبح موحداً أي في اتجاه واحد كما هو مبين في الشكل (١) الذي يوضح أيضاً الجهد عبر الدايود (VAK):

$$v_{AK}(t) = (v_s(t) - v_L(t)) \qquad \textbf{3-1}$$

خلال فترة توصيل الدايود يكون الجهد $V_{AK}(t)$ مساوياً للصفر، أما في حالة عدم التوصيل يظهر الجهد السالب للمصدر على أطراف الدايود. ولذلك يراعى عند اختيار الدايود أن يتحمل أقصى جهد عكسي مسلط عليه وهو ما يعرف بـ (Peak Inverse Voltage- PIV).

يلاحظ أن جهدالحمل(الخرج) مكون من مركبة DC بالإضافة إلى تموج AC. ويمكن حساب مركبة DC فقط أي القيمة المتوسطة لجهد الخرج V_{av} عن طريق تكامل موجه الخرج وذلك حسب المعادلة التالية:

$$V_{av} = \frac{1}{2 \times \pi} \int_0^{\pi} V_m \times \sin(\omega . t) \times \ d(\omega . t) \qquad \textbf{4-1}$$

$$V_{av} \ = \frac{V_m}{\pi} = 0.318 \times V_m \qquad \textbf{5-1}$$

ويمكن أيضاً حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل I_{av} من العلاقة التالية:

$$I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \ \frac{V_m}{\pi \times R} \qquad \textbf{6-1}$$

يمكن حساب القدرة المتوسطةالمستهلكة في الحمل (P_{oav})من العلاقة التالية:

$$P_{o(av)} = V_{av} \times I_{av} = I_{av}^2 \times R \ = \frac{V_{av}^2}{R} \qquad \textbf{7-1}$$

أيضاً يمكن حساب القيمة الفعالة لجهد الحمل كالتالي :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} (V_m \times \sin(\omega.t))^2 \, d(\omega.t)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{{V_m}^2}{2\pi}\int_0^{\pi} \frac{(1-\cos(2.\omega.t))}{2} d(\omega.t)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{{V_m}^2}{4\pi} \times \left|(\omega.t) - \frac{\sin(2\times\omega\times t)}{2}\right|_0^{\pi}}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} = 0.5 \times V_m \qquad \textbf{8-1}$$

أما القيمة الفعالة لتيار الحمل فيمكن حسابه بدلالة الجهد كالتالي:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{0.5 \times V_m}{R} \qquad \textbf{9-1}$$

بإهمال القدرة المفقودة في الدايود ، يمكن اعتبار أن القدرة الداخلة للدائرة P_{in} هي القدرة الفعالة المفقودة في مقاومة الحمل ويمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$P_{in} = V_{rms} \times I_{rms} = I_{rms}^2 \times R = \frac{V_{rms}^2}{R} \qquad \textbf{10-1}$$

كما سبق يمكن اعتبار أن الجهد الموحد الاتجاه عبارة عن مركبة جهد مستمر بالإضافة إلى مركبة جهد متردد وهي ما تعرف بالتموج (Ripple)، ويمكن حساب القيمة الفعالة لمركبة الجهد المتردد V_{ac} من العلاقة التالية:

$$V_{ac} = \sqrt{{V_{rms}}^2 - {V_{av}}^2} \qquad \textbf{11-1}$$

حساب معاملات الأداء لدائرة التوحيد :

١. **كفاءة دائرة التوحيد (η): تعطي من العلاقة التالية:**

$$\eta = \frac{P_{o(av)}}{P_{in}} \times 100 \qquad \textbf{12-1}$$

٢. **معامل شكل الموجه FF:** هو مقياس لشكل موجه الخرج، أي مدى قربها من الجهد المستمر ويعطى بالعلاقة التالية:

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{av}} \qquad \textbf{13-1}$$

٣. **معامل التموج (Ripple Factor) :** يمكن قياس فاعلية عملية التوحيد بإيجاد معامل التموج لموجه جهد الخرج والذي يحسب بالعلاقة التالية :

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{av}}$$

$$RF = \frac{\sqrt{{V_{rms}}^2 - {V_{av}}^2}}{V_{av}} = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{av}}\right)^2 - 1} = \sqrt{FF^2 - 1} \qquad \textbf{14-1}$$

معامل الاستخدام للمحول (Transformer Utilization Factor-TUF-) :

يعتبر من معاملات الأداء المهمة لدوائر التوحيد، حيث يحدد مقننات المحول المستخدم في دوائر التوحيد. ويمكن حساب هذا المعامل من العلاقة التالية:

$$TUF = \frac{P_{o(av)}}{V_s \times I_s} \qquad \textbf{15-1}$$

حيث إن:

$$V_{s(rms)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{s(rms)} = \frac{V_{s(rms)}}{R}$$

حيث تمثل V_s القيمة الفعالة لجهد الملف الثانوي للمحول، أما I_s فيمثل القيمة الفعالة لتيار الملف الثانوي.

مثال ١:

في دارة تقويم نصف موجة أحادية الطور المبينة في الشكل (١)، إذا كان الجهد الفعال على الملف الابتدائي للمحول 220V ونسبة التحويل (a=N1/N2) تساوي 5 وقيمة مقاومة الحمل Ω 10، احسب:

١. **القيمة المتوسطة لجهد وتيار الحمل.**
٢. **القيمة الفعالة لجهد وتيار الحمل.**
٣. **القدرة المستهلكة في الحمل.**
٤. **القدرة المسحوبة من المصدر.**
٥. **كفاءة الدارة.**
٦. **أقصى جهد عكسي مسلط على الدايود.**
٧. **معامل الاستخدام للمحول.**

الحـــل :-

المعطيات : $R = 10\ \Omega \ ، a = \frac{N_1}{N_2} = 5 \ ، V_P = 220\ v$

قانون نسبة التحويل للمحول : $\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_P}{V_S}$

١.القيمة الفعالة لجهد الثانوي: $V_S = \frac{N_2 \times V_P}{N_1} = \frac{1 \times 220}{5} = 44\ v$

القيمة العظمى لجهدالثانوي: $V_m = \sqrt{2} \times V_S = \sqrt{2} \times 44 = 62.23\ v$

القيمة المتوسطة لجهدالثانوي: $V_{av} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{62.23}{\pi} = 19.8\ v$

القيمة المتوسطة لتيار الثانوي: $I_{av} = \frac{V_{av}}{R} = \frac{19.8}{10} = 1.98\ A$

٢.القيمة الفعالة لجهد وتيار الحمل: $V_{rms} = \frac{V_m}{2} = \frac{62.23}{2} = 31\ v$

$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{31}{10} = 3.1\ A$

٣.القدرة المتوسطة المستهلكة في الحمل

$$P_{o(av)} = V_{av} \times I_{av} = 19.8 \times 1.98$$
$$= 39.204 \ W$$

٤.القدرة المسحوبة من المصدر

$$P_{in} = V_{rms} \times I_{rms} = 31 \times 3.1$$
$$= 96.1 \ W$$

٥.كفاءة الدائرة

$$\eta = \frac{P_{o(av)}}{P_{in}} \times 100 = \frac{39.204}{96.1} \times 100$$
$$= 40.8\%$$

٦. أقصى جهد عكسي مسلط على الدايود

$$PIV = V_m = 62.23 \ V$$

٧. معامل الاستخدام للمحول

$$TUF = \frac{P_{o(av)}}{V_s \times I_s} = \frac{39.204}{44 \times 3.112} = 0.286.$$
$$1/TUF = 1/0.286 = 3.496.$$

ملاحظة

أن :$1/TUF=3.496$يعني أنه يجب استخدام محول في دائرة التوحيد يتحمل قدرة تساوي ٣,٤٩٦ من القيمة المقننة للقدرة المطلوبة للحمل من منبع الجهد المتردد. كما يجب أيضاً ملاحظة أن المحول يحمل تياراً مستمراً نظراً لتوحيد نصف الموجه وهذا بطبيعة الحال يؤدي إلى تشبع المحول وينتج مشاكل للشبكة الكهربائية.

انتهت المحاضرة