جامعة المنارة
قسم هندسة الميكاترونكس

الكترونيات الطاقة
Power Electronic

الدكتور المهندس
علاء الدين أحمد حسام الدين

1

مفردات المقرر

- مقدمة.
- عناصر الكترونيات القدرة، وخصائصها.
- عمل دارات المبدلات أحادية الطور على حمولة اومية.
- عمل دارات المبدلات أحادية الطور على حمولة تحريضية.
- عمل دارات المبدلات ثلاثية الأطوار على حمولة اومية.
- عمل دارات المبدلات ثلاثية الأطوار على حمولة تحريضية.
- مقطعات التيار المستمر/ مقطعات التقوية - التضعيف
- القالبات أحادية الطور Single- Phase Inverters.
- القالبات ثلاثية الأطوار Three-Phase Inverter.
- طرق التعديل المستخدمة في تنظيم جهد خرج القالبات.
- المبدلات الترددية الستاتيكية.
- حماية أنظمة القدرة وأجهزة عدم انقطاع التغذية UPS.

مقدمة Introduction:

امتلكت الآلات الكهربائية سابقاً تصميماً تقليدياً للتحكم بسرعتها كإدخال مقاومات إلى دراة المتحرض، أو عن طريق التحكم بدارة التهييج، وهذه الطرق كانت تسبب قفزات في المميزات الميكانيكية أو الكهروميكانيكية تؤدي بدورها إلى زيادة الضياعات نتيجة التنظيم غير الناعم للسرعة، إضافة للعطالة الكبيرة التي تمتلكها تلك الطرق في التحكم، والتي تعتمد على التجهيزات الميكانيكية والكهرومغناطيسية.

حالياً، ونتيجة التطور الهائل في عناصر الكترونيات القدرة، واستخدامها الواسع في القطاع الصناعي بهدف التعامل مع قيمة كبيرة من الاستطاعة المنقولة والتحكم بها بمردود عالي، يكاد لا يخلو مصنع أو منشأة من مجموعة دارات لالكترونيات القدرة.

من أبرز أهداف الكترونيات القدرة استخدام داراتها في تهيئة المنبع الكهربائي ليتكيف مع متطلبات الحمل، إضافة إلى التحكم بسرعة الآلة وضبطها عند قيمة ملائمة أو مناسبة للعملية الإنتاجية. فإذا زادت السرعة عن الحد المطلوب فسيؤدي ذلك إلى حدوث تشويه أو تخريب في القطع المنتجة، بحيث تصبح غير مطابقة للمواصفات، أما إذا كانت السرعة أقل من السرعة المطلوبة فسيؤدي ذلك إلى انخفاض في مردود الآلة، الأمر الذي سيؤثر على الإنتاجية وعلى التكلفة.

من المعلوم أن معادلة سرعة محرك التيار المستمر تعطى بالعلاقة:

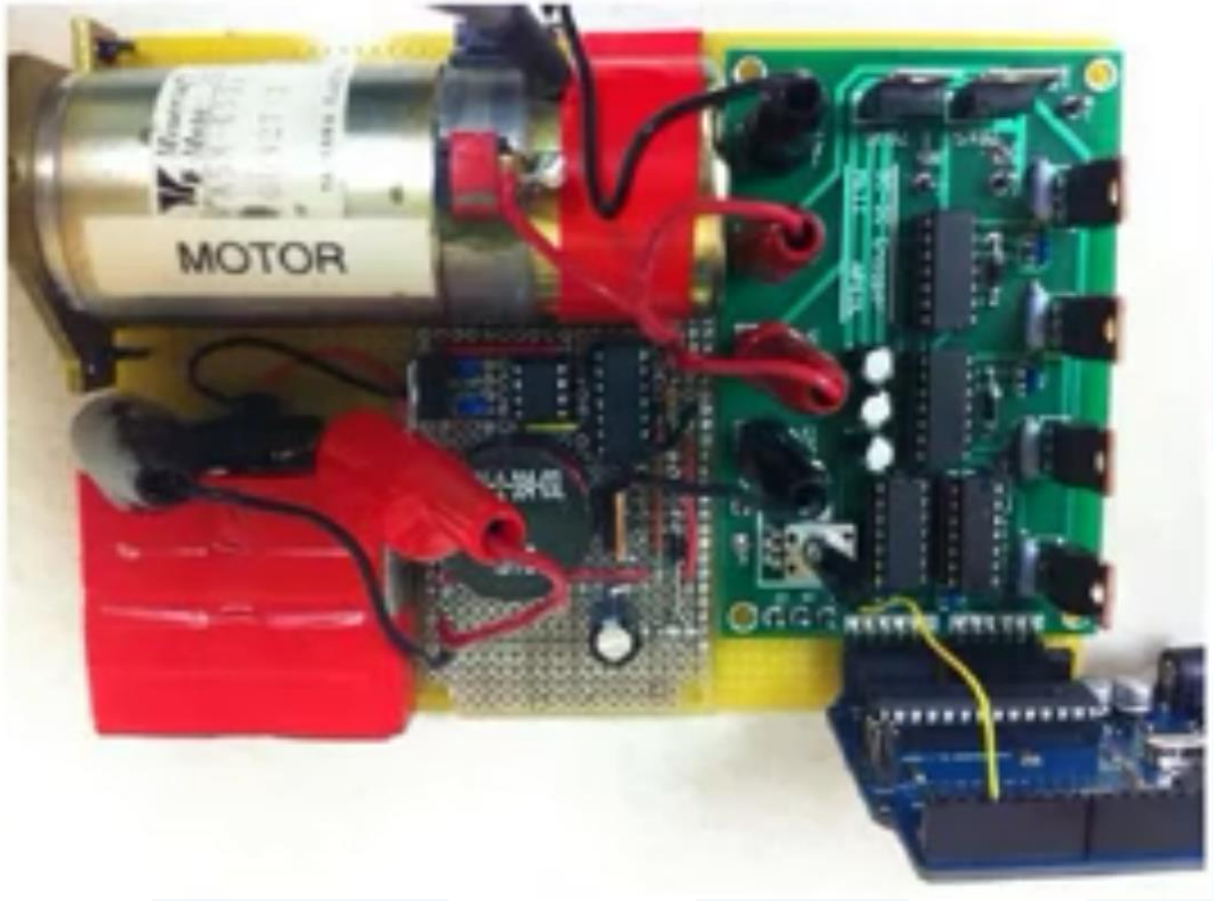
$$\omega = \frac{V}{K \cdot \phi} = \frac{I \cdot \sum R}{K \cdot \phi}$$

نلاحظ من هذه العلاقة إمكانية تغيير السرعة من خلال التحكم بجهد التغذية V، أو بتغيير قيمة مقاومة المتحرض، أو عن طريق تغيير قيمة الفيض المغناطيسي Ø.

عناصر الكترونيات القدرة Power Electronic Devices (P.E.D) :

هي الأجهزة الإلكترونية المستخدمة في نظم التحكم الآلي ودارات التنظيم والتي تعمل على توليد وتبديل الاشارات ذات الأشكال والمطالات المحددة لتقوم بنقل المعلومات، بالإضافة إلى الأجهزة الإلكترونية المستخدمة في نظم التغذية الكهربائية ومنابعها، والتي بدورها تعمل على تبديل التيار والجهد الكهربائيين من شكل إلى آخر.
وباختصار فإن عناصر الكترونيات القدرة تمثل المكونات المستخدمة في تحويل القدرة الكهربائية من شكل إلى آخر، و التحكم بها.

Any device that can be used in the power processing circuits to convert or control the electric power.


MOTOR

تصنف عناصر الكترونيات القدرة Classification of P.E.D.:

تصنف عناصر الكترونيات القدرة إلى ثلاثة أصناف:

Uncontrolled device: diode
Has only two terminals and can not be controlled by control signal.
The on and off states of the device are determined by the power circuit.

Half-controlled device: thyristor
IS turned-on by a control signal and turned-off by the power circuit.

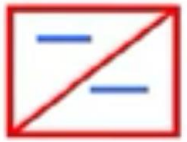
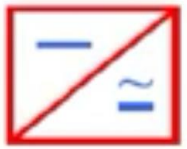
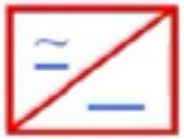
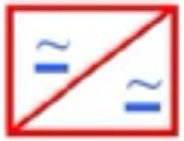
Fully-controlled device: Power MOSFET, IGBT, GTO, IGCT
The on and off states of the device are controlled by control signals.

العناصر غير المقادة: الدايود
له طرفان ولا يمكن التحكم به من خلال إشارة تحكم، إنما يتم التحكم بحالة الـ on و off من خلال جهد منبع التغذية (انحياز أمامي، انحياز عكسي).

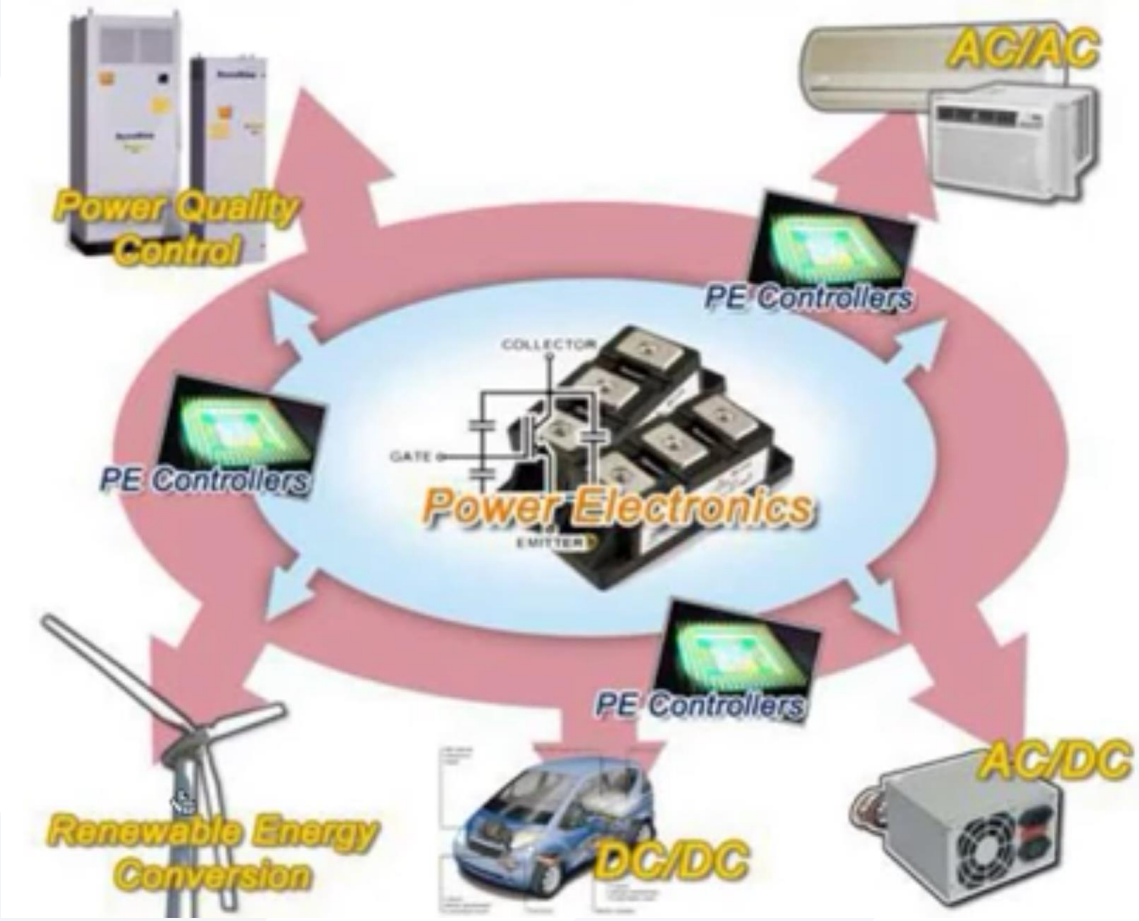
العناصر المقادة جزئياً: الثايرستور
له 3 أطراف، يمكن التحكم بحالة on من خلال إشارة كهربائية على أحد أطرافه (البوابة)، أما حالة الـ off فالتحكم بها من خلال جهد منبع التغذية. فإذا انخفضت قيمة جهد التغذية عن قيمة معينة يصبح الثايرستور في حالة off.

العناصر المقادة كلياً: MOSFET , IGBT , GTO , IGCT
يمكن التحكم بحالة on و off من خلال إشارة خارجية.

Power Conversion

CONVERSION FROM/TO	NAME	FUNCTION	SYMBOL
DC to DC	Chopper	Constant to variable DC or variable to Constant DC	
DC to AC	Inverter	DC to AC of desired voltage and frequency	
AC to DC	Rectifier	AC to unipolar (DC) current	
AC to AC	AC controllers or AC Regulators	AC of desired frequency (and/or) magnitude from generally line AC	

بعض مجالات استخدام الكترونيات القدرة:



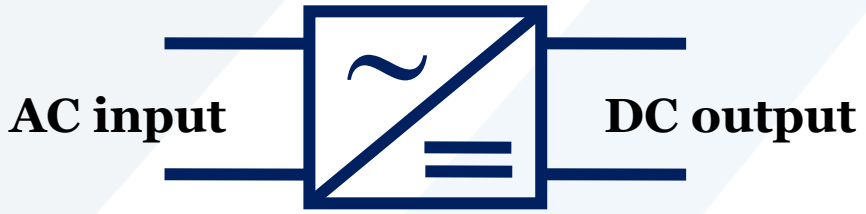
دارات التقويم Rectifier Circuit

المقومات غير المقادة-الدايودية

مفهوم دارة التقويم:

هي دارة كهرومغناطيسية أو كهربائية تحتوي عناصر الكترونية نصف ناقلةتقوم بتبديل الجهد المتناوب AC إلى مستمر DC.

فإذا كانت الدارة بدون تنظيم لجهد الخرج بواسطة العناصر الالكترونية النصف ناقلة فإن الدارة تسمى دارة تقويم غير مقادة، أما عندما يتم تبديل الجهد وتنظيمه والتحكم به بواسطة العناصر الالكترونية النصف ناقلة فتسمى بدارات التقويم المقادة. تمثل دارة التقويم العامة بالمخطط الصندوقي المبين:



تصنف دارات التقويم

شكل الموجة

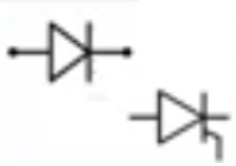
نصف موجة

موجة كاملة

التحكم

غير متحكم بها

نصف متحكم بها

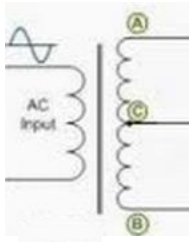


متحكم بها

عدد الأطوار

أحادية الطور

ثنائية الطور



ثلاثية الأطوار

بارامترات العمل في دارات التقويم:

القيمة المتوسطة لجهد الحمل (المستمر) $V_{AC} = V_{DC} = V_0$

القيمة المتوسطة لتيار الحمل (المستمر) $I_{AC} = I_{DC} = I_0$

القيمة الفعالة لجهد الحمل (المتناوب) $V_R = V_{rms}$

القيمة الفعالة لتيار الحمل (المتناوب) $I_R = I_{rms}$

الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في الحمل (المستمرة) $P_{DC} = V_{DC} \cdot I_{DC}$

الاستطاعة الفعالة المستهلكة في الحمل (المتناوبة) $P_{AC} = V_{rms} \cdot I_{rms}$

عوامل الأداء لدارة التقويم: Performance Parameters

كفاءة (مردود) التقويم: Rectification Efficiency:

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}}$$

عامل الشكل: Form Factor:

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{DC}}$$

وهو مقياس لشكل موجة الخرج (أي مدى قربها من الجهد المستمر).

Ripple Factor:

$$RF = \frac{V_{AC}}{V_{DC}}$$

عامل التموج:

لقياس فعالية عملية التقويم

الجهد المقوم هو عبارة عن مركبة مستمرة V_{DC} ومركبة متناوبة V_{AC} وهي ما تعرف بالتموج، ويمكن حساب القيمة الفعالة للمركبة المتناوبة V_{AC} من العلاقة:

$$V_{AC} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{DC}^2}$$

وبالتالي:

$$RF = \frac{V_{AC}}{V_{DC}} = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_{DC}^2}}{V_{DC}} = \sqrt{\frac{V_{rms}^2 - V_{DC}^2}{V_{DC}^2}} = \sqrt{\frac{V_{rms}^2}{V_{DC}^2} - 1} = \sqrt{FF^2 - 1}$$

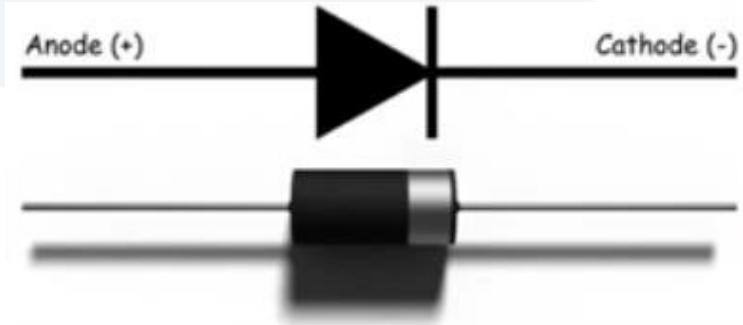
يعد عامل الاستخدام للمحول Transformer Utilization Factor (TUF) من عوامل الأداء الهامة لدارة التقويم، حيث يحدد القيم الاسمية للمحول المستخدم، ويحسب من العلاقة:

$$TUF = \frac{P_{DC}}{V_S \cdot I_S}$$

حيث تمثل V_S القيمة الفعالة لجهد الملف الثانوي للمحول، أما I_S فيمثل القيمة الفعالة لتيار الملف الثانوي.

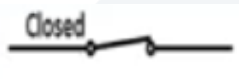
دارة تقويم نصف موجة أحادية الطور غير متحكم بها:

الدايود Diode:



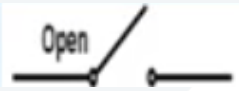
عند الانحياز الأمامي يعمل الدايود كقاطع مغلق

يمرر يتار



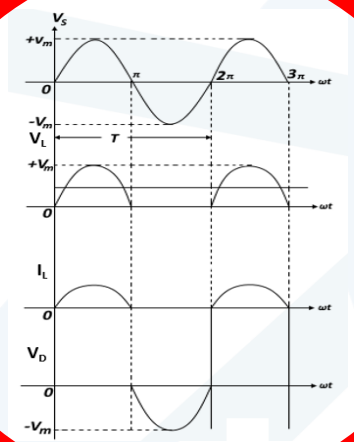
عند الانحياز العكسي يعمل الدايود كقاطع مفتوح

لا يمرر يتار



دراسة الدارة

مبدأ العمل



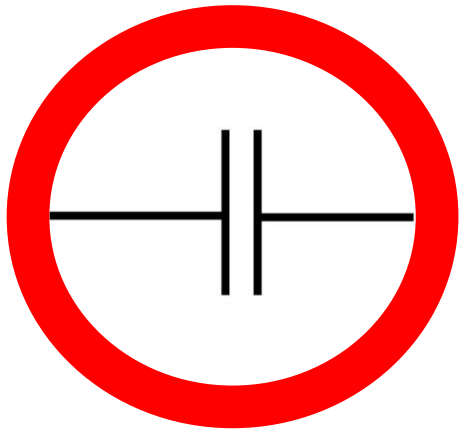
رسم التوترات والتيارات لعناصر الدارة عند الأحمال المختلفة
(الأومية – التحريضية – السعوية)

الحسابات الرياضية

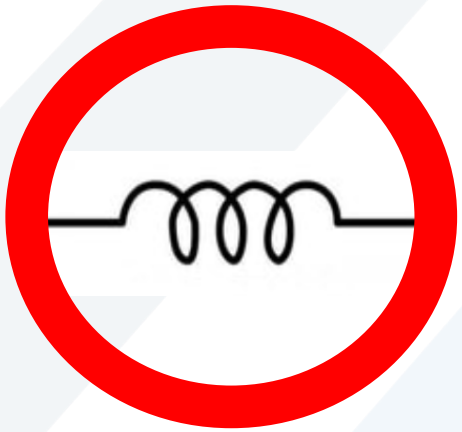
$$\pi \; U_{eff} \; I_d$$

تتضمن حسابات القيمة المتوسطة والفعالة للجهد والتيار المقوم والجهد العكسي على الدايود.

مبدأ العمل
(رسم المخططات)



حمولة سعوية



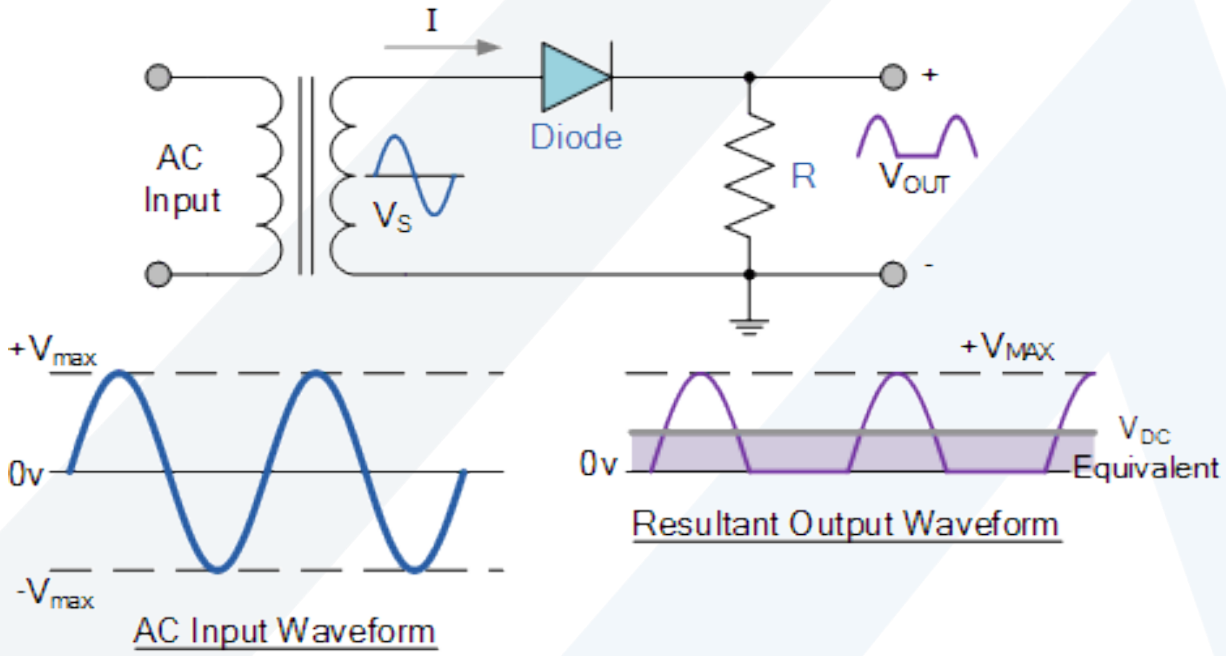
حمولة تحريضية

حمولة أومية

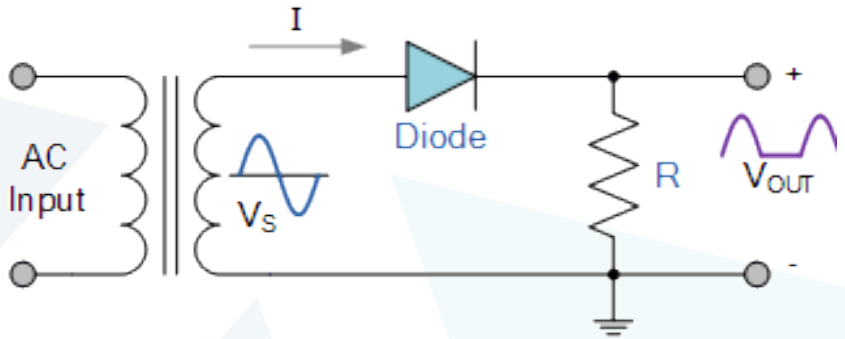
حالة الحمولة الأومية:

يبين الشكل دارة تقويم نصف موجة أحادية الطور باستخدام الدايود وبحمولة أومية Single phase Half Wave Rectifier .

تعد هذه الدارة من أبسط دارات التقويم لكنها لا تستخدم في التطبيقات الصناعية كونها تسبب ظهور مركبة تيار مستمر في موجة المنبع المتناوب، مما يؤدي إلى ضرر كبير بالشبكة الكهربائية وعناصرها، ولكن دراسة هذه الدارات مفيد جداً في فهم عمل المقومات بشكل عام.



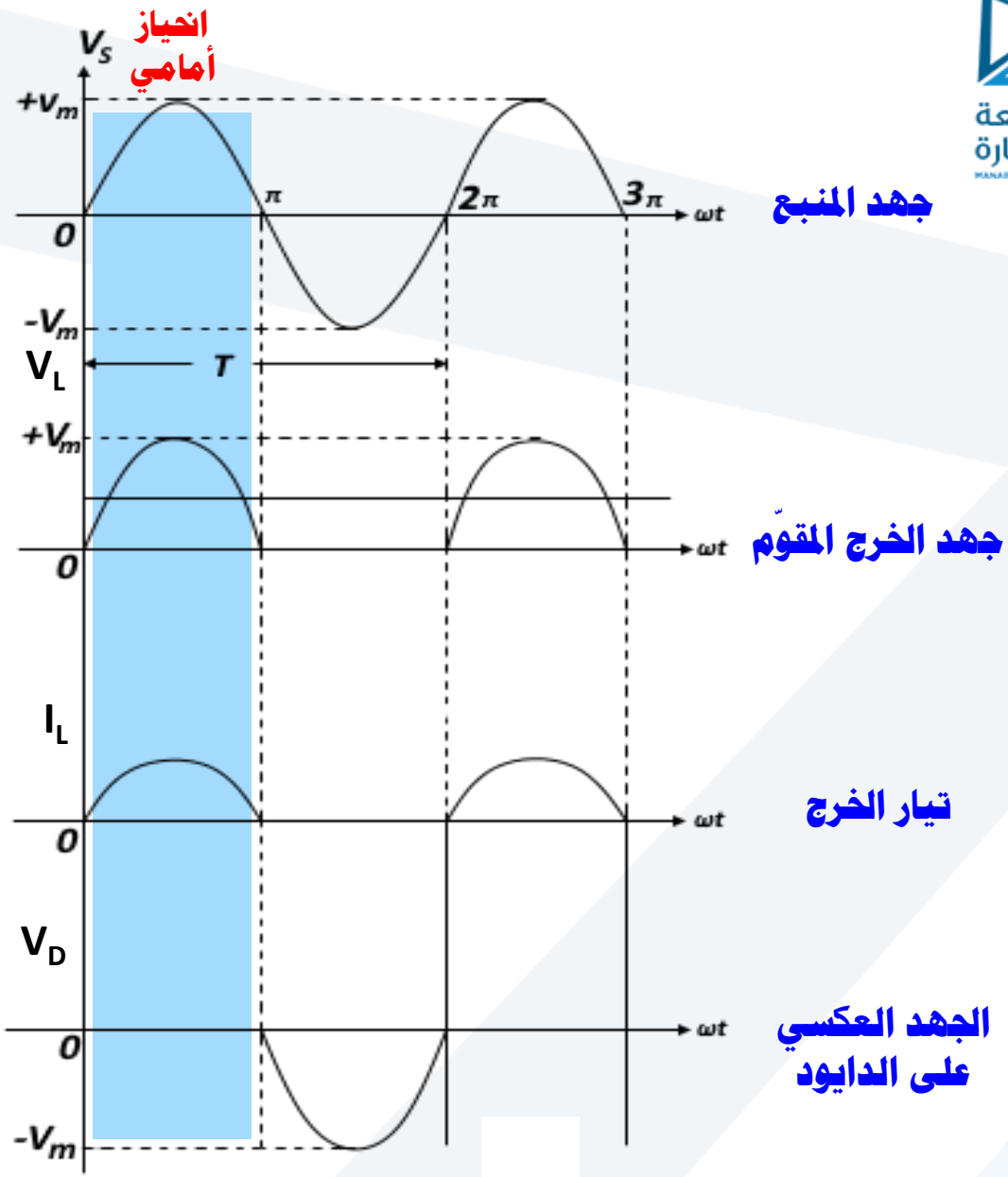
مبدأ عمل الدارة:

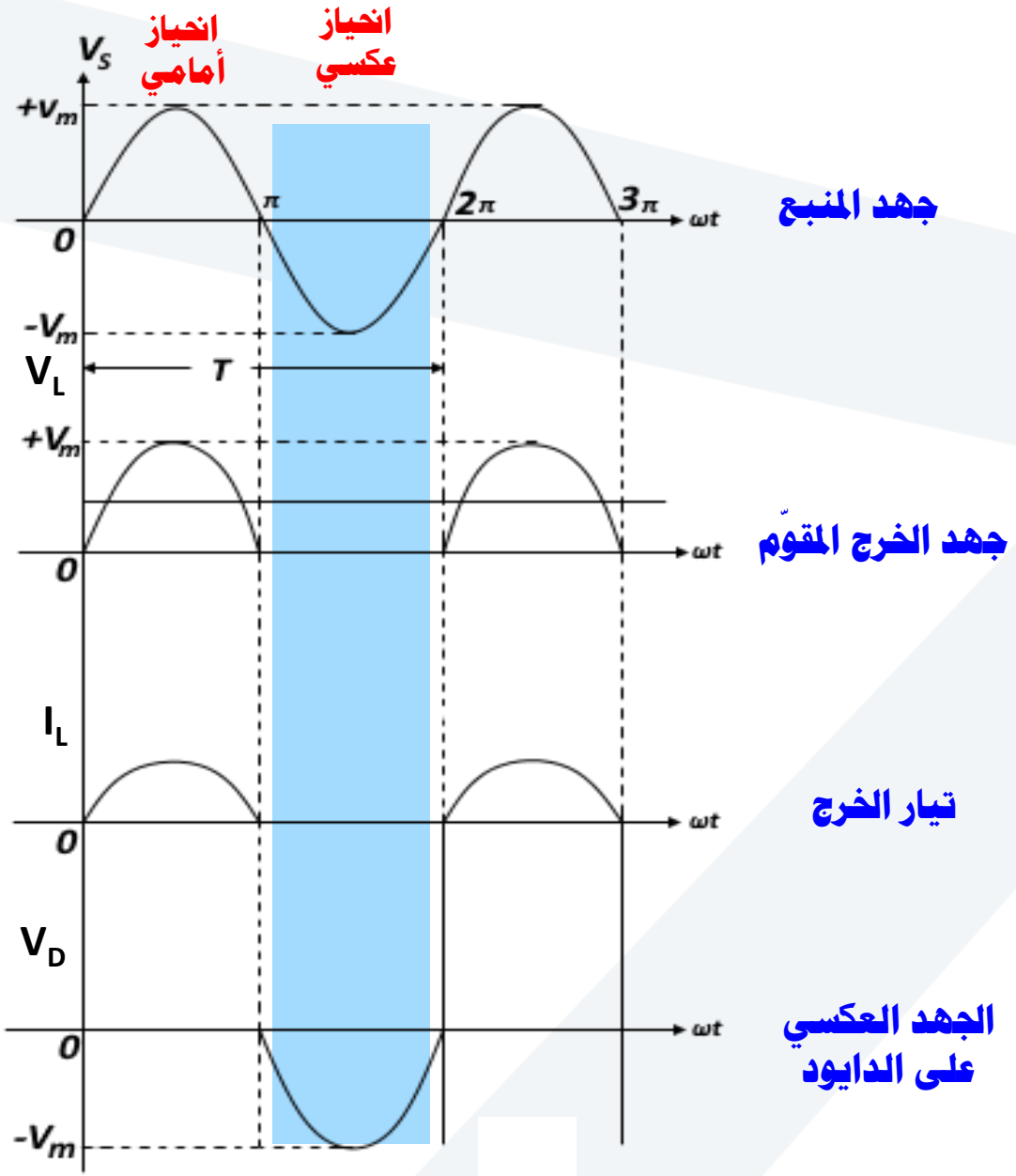


بفرض أن جهد الملف الثانوي يعطى بالعلاقة: $V_S=V_m.\sin \omega t$

خلال المجال [o-π] يكون الجهد موجباً وبالتالي يكون الدايود في حالة انحياز امامي، ويسري التيار إلى مقاومة الحمل. يكون الدايود في حالة انحياز أمامي ويمر التيار ويكون جهد الملف الثانوي للمحول يساوي جهد الحمل $V_S=V_L$. وبإهمال هبوط الجهد على الدايود يكون تيار الحمل يساوي:

$$I_L=V_S/R_L=V_m.\sin \omega t/R_L$$



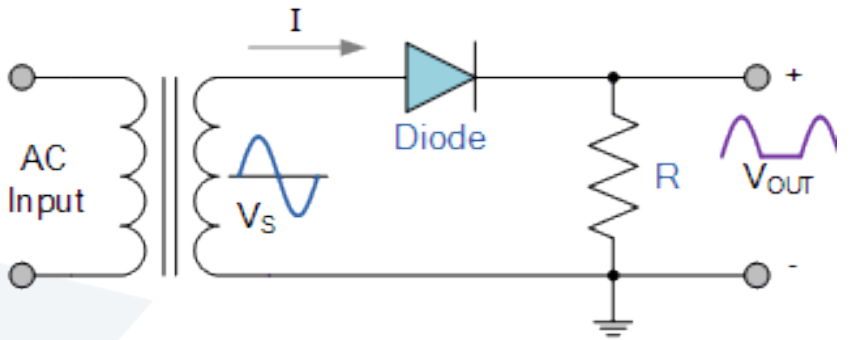


جهد المنبع

جهد الخرج المقوّم

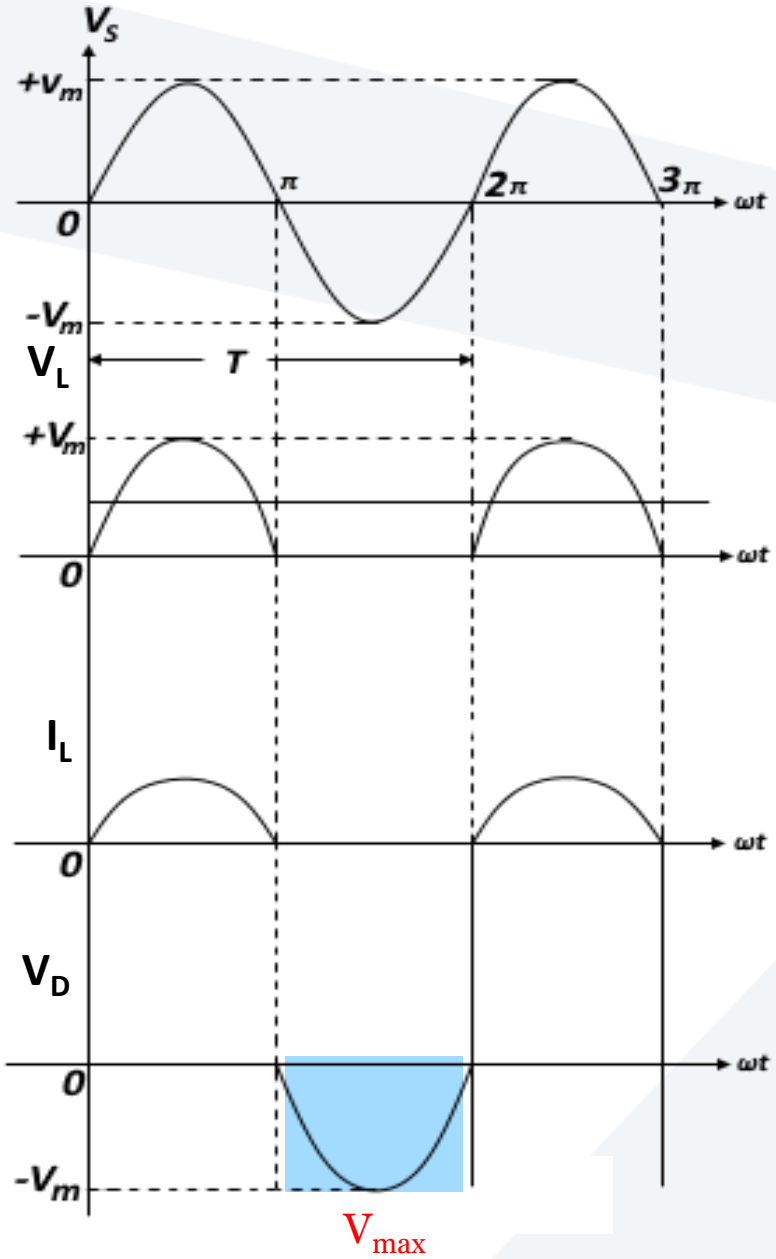
تيار الخرج

الجهد العكسي على الدايود



خلال المجال $[\pi\text{-}2\pi]$ يكون جهد الملف الثانوي سالباً ويصبح الدايود في حالة انحياز عكسي، ولن يصل التيار إلى مقاومة الحمل، ويكون جهد الخرج على الحمل في هذه الحالة مساوياً للصفر $V_L=0$. وفقاً لذلك يصبح جهد الخرج على الحمل خلال دور كامل كما هو موضح بالشكل. ويبين الشكل أيضاً الجهد المطبق على الدايود V_D، وبما أنه (الدايود) موصول على التسلسل مع مقاومة الحمل فإن الجهد عبره في أي لحظة يعطى بالعلاقة:

$$V_D=V_S - V_L$$



خلال فترة توصيل الدايود يكون الجهد المطبق عليه V_D مساوياً للصفر، أما في حالة عدم التوصيل يظهر الجهد السالب للمنبع على أطراف الدايود والذي يسمى الجهد العكسي $V_D=V_{max}$ ، ولذلك يجب أن نأخذ بالحسبان عند اختيار الدايود أن يتحمل أقصى جهد عكسي مطبق عليه Peak Inverse Voltage (PIV).

نلاحظ أن الجهد عبر الحمل مكون من مركبة DC ومركبة متموجة AC، ويمكننا تحديد قيمة المركبة DC (القيمة المتوسطة لجهد الخرج V_{DC}) لمقوم نصف موجة من العلاقة:

$$V_{DC} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} V_m \cdot \sin\omega t \cdot d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi}$$

يمكن حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل I_{LDC} من العلاقة:

$$I_{LDC} = \frac{V_{DC}}{R} = \frac{V_m}{\pi \cdot R}$$

يمكن حساب القدرة المتوسطة P_{DC} المستهلكة في الحمل من العلاقة:

$$P_{DC} = V_{DC} \cdot I_{LDC}$$

يمكن حساب القيمة الفعالة للجهد المطبق على الحمل من العلاقة:

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

أما القيمة الفعالة للتيار المار في الدايود (تيار الحمل) فيحسب من العلاقة:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{V_m}{2R}$$

مثال:

لتكن لدينا الدارة المبينة بالشكل. فإذا كان جهد الملف الأولي للمحول 220V ونسبة التحويل للمحول 5 وقيمة مقاومة الحمل 10Ω. احسب:

1. المردود (الكفاءة)
2. عامل شكل الموجة.
3. عامل التموج.
4. أقصى جهد عكسي مطبق على الدايود.
5. عامل الاستخدام للمحول.