الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

الآلات الكهربائية

المهندس أحمد حسين

الأكاديمية العربية الدولية – منصة أعد

الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

مخطط المادة

- مقدمة
- المجال المغناطيسي
- التدفق المغناطيسي
- شدة المجال المغناطيسي
- الدائرة المغناطيسية المكافئة

الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

مخطط المادة

- منحنى التمغنط
- الاستخدمات العملية لمنحنى التمغنط
- المحولات الكهربائية
- مجالا ت استخدام المحول الكهربائي
- أنواع المحولات الكهربائية
- تركيب المحول

مخطط المادة

- مبدأ عمل المحول
- النظرية الاساسية للمحول المثالي
- المحولات ثلاثية الأطوار وطرق توصيلها
- توصيل المحولات على التوازي
- أسباب توصيل المحولات على التوازي
- التركيب العام لآلات التيار المستمر

الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

مخطط المادة

- محركات التيار المستمر
- مولدات التيار المستمر
- آلات التيار المتردد
- نظرية عمل آلات التيار المتردد
- خاتمة

مقدمة

تعد الآلات الكهربائية جزءًا أساسيًا من التكنولوجيا الحديثة، حيث تلعب دورًا حيويًا في توليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية وتشغيل الأجهزة المختلفة. تتكون هذه الآلات من مكونات عدة، منها المواد المغناطيسية، التي تشمل الحديد، النيكل والكوبالت، والدائرة المغناطيسية التي توجه الفيض المغناطيسي باستخدام نواة حديدية مغناطيسية لتقليل الفقد. المحولات، وهي أجهزة تستخدم الحث الكهرومغناطيسي لنقل الطاقة الكهربائية بين الدوائر، تلعب دورًا مهمًا في تغيير الجهد والتيار الكهربائيين بكفاءة. بالإضافة إلى ذلك، يتكون العضو الدوار والعضو الثابت من الأجزاء الرئيسية في الآلات الكهربائية الدوارة مثل المولدات والمحركات، حيث يتفاعل المجال المغناطيسي بينهما لتوليد الحركة الدوارة. تساهم المواد الحديدية المغناطيسية مثل الفريت والسيليكون-حديد بخصائصها الممتازة في تصميم نوى المحولات والآلات الكهربائية، مما يجعل هذه الآلات أكثر كفاءة وفعالية في التطبيقات الكهربائية الحديثة.

المجال المغناطيسي

المجال المغناطيسي هو المنطقة الفضائية المحيطة بمادة مغناطيسية أو تيار كهربائي، حيث يؤثر هذا المجال على الأجسام المغناطيسية أو الشحنات الكهربائية التي تمر به. يتميز المجال المغناطيسي بخصائصه الفيزيائية التي تتأثر بالتيار الكهربائي أو المواد المغناطيسية التي تولده.

يتم قياس قوة المجال المغناطيسي بوحدات مثل الأمبير لكل متر A/m أو الجاوس

التدفق المغناطيسي

التدفق المغناطيسي هو مقياس لكمية الفيض المغناطيسي التي تعبر مساحة معينة. يُعرف التدفق المغناطيسي عمومًا بالفيض المغناطيسي، ويتم تعريفه بواسطة المجال المغناطيسي (B) والمساحة (A) التي يمر بها المجال. يتمثل التدفق المغناطيسي في الصيغة التالية:

$$\Phi = B \cdot A$$

حيث: Φ هو التدفق المغناطيسي، بوحدة ويبر (Wb)

B هو الكثافة المغناطيسية، بوحدة تسلا (T)

A هو مساحة التأثير الفعالة للمجال المغناطيسي، بوحدة متر مربع (m^2)

شدة المجال المغناطيسي

الشدة المغناطيسية (H)هي كمية تُستخدم لوصف المجال المغناطيسي الناتج من التيارات الكهربائية أو المواد المغناطيسية. تُمثل Hقوة المجال المغناطيسي بدون النظر في تأثيرات المادة المغناطيسية، بينما تمثل B كثافة المجال المغناطيسي بالاعتماد على المواد المغناطيسية.

الدائرة المغناطيسية المكافئة

- الدائرة المغناطيسية المكافئة هي نموذج يستخدم لفهم وتحليل تدفق الفيض المغناطيسي في الأنظمة التي تتضمن مواد مغناطيسية، مشابهة للدائرة الكهربائية في تحليل التدفقات الكهربائية. في الدائرة المغناطيسية، نستخدم مفاهيم مشابهة لمفاهيم الدوائر الكهربائية، حيث تتكون من مكونات مثل المقاومة المغناطيسية (reluctance)، القوة الدافعة المغناطيسية (magnetomotive force)، والتدفق المغناطيسي (magnetic flux)

منحنى التمغنط

منحنى التمغنط، المعروف أيضًا بمنحنى (B-H Curve)، هو منحنى يوضح العلاقة بين الكثافة المغناطيسية (B) والشدة المغناطيسية (H) لمادة مغناطيسية معينة. هذا المنحنى مهم جدًا في دراسة الخصائص المغناطيسية للمواد ويستخدم في تصميم وتحليل الدوائر المغناطيسية.

❑ الخصائص الأساسية لمنحنى التمغنط:

- التمغنط الابتدائي :(Initial Magnetization) يبدأ المنحنى من النقطة الأصل (0,0) ويمثل العلاقة بين B و H عندما يتم تمغنط المادة لأول مرة.
- منطقة التشبع المغناطيسي (:(Saturationمع زيادة H، تصل B إلى نقطة تصبح فيها الزيادة في H لا تؤدي إلى زيادة كبيرة في B. هذه النقطة تعرف بمنطقة التشبع، حيث تكون معظم المجالات المغناطيسية في المادة قد انحازت في نفس الاتجاه.

منحنى التمغنط

- منحنى التمغنط (Hysteresis Loop) :

عندما يتم تقليل H بعد الوصول إلى التشبع، لا يعود B إلى الصفر مباشرة، بل يتبع مسارًا مختلفًا يعرف بمنحنى التباطؤ أو حلقة الهسترة. يظهر هذا السلوك تأثير التباطؤ المغناطيسي، حيث يحتفظ المادة ببعض التمغنط حتى بعد إزالة القوة المغناطيسية.

الاستخدمات العملية لمنحنى التمغنط

- تصميم المحولات والمولدات الكهربائية:تساعد معرفة خصائص التمغنط للمواد المستخدمة في تصميم نوى المحولات والمولدات لضمان كفاءتها العالية وتقليل الفقد.
- تحديد خصائص المواد المغناطيسية:اختيار المواد المناسبة لتطبيقات محددة بناءً على خصائصها المغناطيسية مثل التشبع، المتبقية، والتباطؤ.
- التحليل الحراري للمواد المغناطيسية:يستخدم منحنى التمغنط لتحليل تأثيرات الحرارة على الخصائص المغناطيسية للمواد.

المحولات الكهربائية

المحول الكهربائي هو جهاز كهربائي يستخدم لنقل الطاقة الكهربائية بين دائرتين أو أكثر من خلال عملية الحث الكهرومغناطيسي. يمكن استخدام المحولات لزيادة أو خفض الجهد الكهربائي في أنظمة توزيع الطاقة. يتكون المحول من ملفين أو أكثر من الأسلاك الملفوفة حول نواة مغناطيسية مشتركة.

مجالا ت استخدام المحول الكهربائي

1. نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية:

- رفع وخفض الجهد: تُستخدم المحولات في محطات توليد الكهرباء لرفع الجهد الكهربائي لتقليل الفقد أثناء نقل الطاقة عبر المسافات الطويلة. ثم تُستخدم محولات خفض الجهد عند نقاط التوزيع لتحويل الجهد إلى مستويات مناسبة للاستخدام المحلي في المنازل والمنشآت التجارية والصناعية.

2. الصناعات

- عمليات التحليل الكهربائي: تستخدم المحولات في عمليات التحليل الكهربائي التي تحتاج إلى جهد منخفض وكبير لتشغيل المعدات.

مجالا ت استخدام المحول الكهربائي

3. الأجهزة الكهربائية والإلكترونية:

- مزودات الطاقة: تُستخدم المحولات في مزودات الطاقة للأجهزة الإلكترونية لتحويل الجهد من المستوى العالي إلى مستوى مناسب وآمن للأجهزة الصغيرة مثل أجهزة الكمبيوتر والتلفزيونات والشواحن.
- الأجهزة المنزلية: تتضمن الأجهزة المنزلية مثل الميكروويف وأفران الطهي الكهربائية محولات لتحويل الجهد الكهربائي بما يتناسب مع متطلبات التشغيل الخاصة بها.

4. مجال الطاقة المتجددة: الألواح الشمسية و توربينات الرياح

أنواع المحولات الكهربائية

1. من حيث الوظيفة:

- محولات رفع الجهد (Step-Up Transformer) الوظيفة: تُستخدم لرفع جهد التيار الكهربائي من مستوى منخفض إلى مستوى أعلى.التطبيقات: تُستخدم في محطات توليد الطاقة لنقل الكهرباء عبر المسافات الطويلة.

- محولات خفض الجهد (Step-Down Transformer) لوظيفة: تُستخدم لخفض جهد التيار الكهربائي من مستوى عالٍ إلى مستوى منخفض.التطبيقات: تُستخدم في محطات التوزيع لتوصيل الكهرباء إلى المنازل والمصانع.

أنواع المحولات الكهربائية

2. من حيث عدد الأطوار:

- محولات الطور الواحد(Single Phase Transformer):الوظيفة: تُستخدم في الأنظمة التي تعمل بتيار متناوب ذو طور واحد.

التطبيقات: تُستخدم في التطبيقات المنزلية والتجارية الصغيرة.

- محولات الثلاثة أطوار (Three Phase Transformer) الوظيفة: تُستخدم في الأنظمة التي تعمل بتيار متناوب ثلاثي الأطوار.

التطبيقات: تُستخدم في التطبيقات الصناعية الكبيرة والمرافق الكهربائية.

أنواع المحولات الكهربائية

3. من حيث التركيب الداخلي:

- محولات ذات ملفين :Two-Winding Transformer) الوظيفة: تتكون من ملفين منفصلين، ملف ابتدائي وملف ثانوي، لعزل الدوائر الكهربائية.التطبيقات: تُستخدم في معظم التطبيقات القياسية حيث يكون العزل الكهربائي ضروريًا.
- المحول الذاتي (Autotransformer) الوظيفة: يحتوي على ملف واحد يعمل كملف ابتدائي وثانوي في نفس الوقت، مما يقلل من حجم وكلفة المحول.التطبيقات: تُستخدم في التطبيقات التي لا تتطلب عزلًا كهربائيًا بين الدوائر.

تركيب المحول

يتكون المحول الكهربائي من الأجزاء الرئيسية التالية:

- اللب الحديدي (Core) يصنع من صفائح رقيقة من الحديد السيليكوني الموجه لتقليل الفقد الناتج عن التيارات الدوامية (Eddy Currents) وتسرب الفيض المغناطيسي.يعمل على تركيز وتقوية الفيض المغناطيسي الذي يمر من خلاله.
- الملفات : الملف الابتدائي (Primary Winding) يتم توصيله بمصدر الجهد الكهربائي.الملف الثانوي (Secondary Winding) يتم توصيله بالحمل الكهربائي.تكون الملفات عادة معزولة عن بعضها البعض وعن اللب الحديدي لمنع حدوث قصر في الدائرة الكهربائية.
- العزل (Insulation) : يستخدم لعزل الملفات عن بعضها البعض وعن اللب الحديدي، مما يمنع حدوث قصر في الدائرة الكهربائية.

مبدأ عمل المحول

مبدأ العمليعتمد مبدأ عمل المحول الكهربائي على الحث الكهرومغناطيسي، ويمكن توضيحه بالخطوات التالية:

- إدخال الجهد الكهربائي:عندما يتم توصيل الملف الابتدائي بمصدر جهد متناوب، يتسبب التيار المتناوب المار فيه في توليد مجال مغناطيسي متغير حوله.
- توليد الفيض المغناطيسي:يتسبب المجال المغناطيسي المتغير في توليد فيض مغناطيسي ينتقل عبر اللب الحديدي للمحول.
- تحريض الجهد في الملف الثانوي:يقطع الفيض المغناطيسي المتغير الملف الثانوي، مما يحث جهدًا كهربائيًا فيه وفقًا لقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي.

النظرية الاساسية للمحول المثالي

محول مثالي: هو محول افتراضي بدون أي خسائر، حيث يتم تجاهل الفقد في الطاقة مثل الفقد بسبب المقاومة الكهربائية للملفات أو الفقد المغناطيسي في اللب الحديدي.

القوانين الأساسية للمحول المثالي:

- نسبة الجهد (Voltage Ratio): $\frac{Np}{N_s} = \frac{v_\rho}{v_s}$ حيث V p هو جهد الملف الابتدائي.

V s هو جهد الملف الثانوي. N p هو عدد لفات الملف الابتدائي. N s هو عدد لفات الملف الثانوي.

النظرية الاساسية للمحول المثالي

- نسبة التيار: $\frac{N_s}{Np} = \frac{\bar{\perp}_P}{\bar{\perp}_s}$

حيث Ip هو تيار الملف الابتدائي Is هو تيار الملف الثانوي.

- قدرة الإدخال والإخراج:في المحول المثالي، تكون القدرة الكهربائية في الملف الابتدائي مساوية للقدرة الكهربائية في الملف الثانوي:

$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$$

المحولات ثلاثية الأطوار وطرق توصيلها

المحولات ثلاثية الأطوار(Three-Phase Transformers) تستخم المحولات ثلاثية الأطوار في الأنظمة الكهربائية التي تتطلب تحويل الجهد في أنظمة ثلاثية الأطوار، وهي شائعة الاستخدام في التطبيقات الصناعية ومحطات توليد الطاقة وشبكات التوزيع.

طرق توصيل المحولات ثلاثية الأطوار:توجد عدة طرق لتوصيل الملفات الابتدائية والثانوية في المحولات ثلاثية الأطوار، ولكل طريقة خصائصها واستخداماتها. أهم طرق التوصيل هي:

1. توصيل دلتا-دلتا (Delta-Delta Connection) الابتدائي: يتم توصيل نهايات كل ملف مع بداية الملف الآخر لتشكيل مثلث مغلق.

الثانوي: يتم توصيل بنفس الطريقة.المزايا: يمكنها التعامل مع تيارات عالية وتتحمل حالات عدم التوازن في الحمل.

العيوب: لا توفر نقطة نيوترال، مما قد يكون مطلوبًا في بعض التطبيقات.

المحولات ثلاثية الأطوار وطرق توصيلها

2. توصيل دلتا-ستار (Delta-Star Connection) الابتدائي (دلتا): يتم توصيل الملفات الابتدائية على شكل دلتا.الثانوي (ستار): يتم توصيل الملفات الثانوية على شكل ستار مع نقطة نيوترال.

المزايا: يوفر نقطة نيوترال، مما يتيح توفير جهدين مختلفين (فاز-نيوترال وفاز-فاز). مناسب لنقل الجهد من مستوى عالٍ إلى مستوى منخفض.

العيوب: تتطلب عزلًا جيدًا بسبب وجود جهد عالٍ في نقطة النيوترال الثانوية.

المحولات ثلاثية الأطوار وطرق توصيلها

3. توصيل ستار-دلتا (Star-Delta Connection) لابتدائي (ستار): يتم توصيل الملفات الابتدائية على شكل ستار مع نقطة نيوترال.الثانوي (دلتا): يتم توصيل الملفات الثانوية على شكل دلتا.

المزايا: مناسب لتحويل الجهد من مستوى منخفض إلى مستوى عالٍ. يسمح بتوزيع تيار بدء التشغيل العالي بشكل متوازن.

العيوب: تعقيد في عزل الملفات الابتدائية.

المحولات ثلاثية الأطوار وطرق توصيلها

4. توصيل ستار-ستار(Star-Star Connection) الابتدائي: يتم توصيل الملفات الابتدائية على شكل ستار مع نقطة نيوترال.الثانوي: يتم توصيل الملفات الثانوية بنفس الطريقة.

المزايا: يوفر نقطة نيوترال في كل من الابتدائي والثانوي، مما يتيح مرونة في توزيع الجهد.

العيوب: يمكن أن يعاني من مشاكل في عدم التوازن وتوافقيات الجهد إذا لم تكن الأحمال متوازنة بشكل جيد.

توصيل المحولات على التوازي

مفهوم توصيل المحولات على التوازي:توصيل المحولات على التوازي هو عملية ربط ملف الابتدائي لمحولين أو أكثر بمصدر الجهد نفسه وربط ملفاتهم الثانوية معًا لتغذية الحمل. هذا النوع من التوصيل يتم لتوزيع الحمل الكهربائي بالتساوي بين المحولات ولزيادة سعة التحميل الإجمالية.

شروط توصيل المحولات على التوازي:

- نسبة التحويل (Turn Ratio):يجب أن تكون نسبة التحويل (الجهد الابتدائي إلى الجهد الثانوي) متساوية بين جميع المحولات المتصلة على التوازي.
- القطبية (Polarity):يجب أن تكون القطبية متوافقة لمنع حدوث دوائر قصر ولضمان توازن الجهد والتيار بين المحولات.

توصيل المحولات على التوازي

- الجهود:يجب أن تكون الجهود الابتدائية والثانوية للمحولات متساوية أو على الأقل متقاربة جدًا.
- المعاوقة المكافئة (Equivalent Impedance) يفضل أن تكون المعاوقة المكافئة للمحولات متساوية لضمان توزيع التيار بالتساوي بين المحولات.
- القدرة الاسمية :(Rated Capacity) يفضل أن تكون القدرة الاسمية للمحولات متساوية، أو يتم أخذ نسب القدرة في الاعتبار عند توزيع الحمل.

أسباب توصيل المحولات على التوازي

- زيادة سعة التحميل توصيل المحولات على التوازي يزيد من سعة التحميل الكلية للنظام، مما يتيح له التعامل مع أحمال أكبر دون الحاجة لاستبدال المحول الواحد بآخر أكبر.
- تحسين استمرارية الخدمة في حالة حدوث عطل في أحد المحولات، يمكن للباقين الاستمرار في العمل وتوفير الطاقة الكهربائية، مما يقلل من احتمالية انقطاع التيار.
- زيادة الكفاءة يمكن أن يؤدي توزيع الحمل بين محولات متعددة إلى تشغيلها بالقرب من قدراتها الاسمية، مما يحسن من كفاءتها العامة.

أسباب توصيل المحولات على التوازي

- التكلفة (Cost Efficiency):في بعض الأحيان، يكون استخدام عدة محولات صغيرة أقل تكلفة من استخدام محول واحد كبير.
- المرونة (Flexibility):يتيح توصيل المحولات على التوازي مرونة أكبر في الصيانة، حيث يمكن فصل أحد المحولات للصيانة دون إيقاف النظام بالكامل.

تطبيقات توصيل المحولات على التوازي:شبكات التوزيع الكهربائية: لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية في المناطق السكنية والتجارية.

الصناعات الثقيلة: لضمان استمرارية العمل وتحمل الأحمال العالية.

محطات الطاقة: لزيادة سعة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية.

التركيب العام لآلات التيار المستمر

تتكون آلات التيار المستمر (DC Machines) من عدة مكونات رئيسية تعمل معًا لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية أو العكس. هنا سنوضح التركيب العام لهذه الآلات مع التركيز على الأجزاء الرئيسية مثل العضو الثابت، العضو الدوار، عضو التوحيد، والفرش الكربونية.

1. العضو الثابت الوصف: هو الجزء الثابت من آلة التيار المستمر، ويحتوي على ملفات الفيلد التي تُستخدم لتوليد المجال المغناطيسي.المكونات:اللب الحديدي مصنوع من صفائح رقيقة من الحديد لتقليل خسائر التيارات الدوامية.

ملفات الفيلد ملفات موضوعة على الأقطاب الحديدية لتوليد المجال المغناطيسي عند مرور التيار فيها.

الوظيفة: توليد مجال مغناطيسي ثابت يمر عبر فجوة الهواء إلى العضو الدوار.

التركيب العام لآلات التيار المستمر

2. العضو الدوار (Rotor) الأرميتشر (Armature) الوصف: هو الجزء المتحرك من الآلة ويحتوي على الملفات التي تتفاعل مع المجال المغناطيسي لتوليد عزم الدوران.

3. عضو التوحيد (Commutator) الوصف: هو جزء اسطواني مكون من شرائح نحاسية معزولة عن بعضها البعض وموصلة بملفات الأرميتشر.

4. الفرش الكربونية (Carbon Brushes) الوصف: هي قطع من الكربون أو الجرافيت تلامس عضو التوحيد وتعمل على نقل التيار الكهربائي من وإلى ملفات الأرميتشر.

محركات التيار المستمر

نظرية الحركة في المحرك : يعتمد عمل محرك التيار المستمر على مبادئ الحث الكهرومغناطيسي، حيث يتولد عزم دوران نتيجة لتفاعل المجال المغناطيسي مع التيار الكهربائي المار في ملفات العضو الدوار. يمكن تلخيص النظرية كما يلي:

- المجال المغناطيسي:يتم توليد مجال مغناطيسي بواسطة ملفات الفيلد أو مغناطيس دائم في العضو الثابت.
- التيار في الأرميتشر:يمر تيار كهربائي عبر ملفات الأرميتشر الموجودة في العضو الدوار عبر الفرش الكربونية وعضو التوحيد.
- قوة لورنتز تفاعل التيار الكهربائي في ملفات الأرميتشر مع المجال المغناطيسي يولد قوة لورنتز، مما يؤدي إلى توليد عزم دوران يدور العضو الدوار.

مولدات التيار المستمر

تُعد مولدات التيار المستمر (DC Generators)جزءًا هامًا من الأنظمة الكهربائية حيث تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية على شكل تيار مستمر. هناك عدة أنواع من مولدات التيار المستمر يتم تصنيفها بناءً على طريقة تهييج (تحفيز) المجال المغناطيسي.

الأنواع الرئيسية هي: التهييج المستقل، التهييج التوازي، التهييج التوالي، والتهييج المركب.

آلات التيار المتردد

تُعد المحركات الحثية ثلاثية الطورمن أكثر أنواع المحركات استخدامًا في التطبيقات الصناعية نظرًا لكفاءتها العالية وموثوقيتها. سنتناول تركيبها وأنواعها المختلفة ونظرية عملها.

التركيب العام لمحركات الحث ثلاثية الطور:

- العضو الثابت : الهيكل الخارجي: إطار مصنوع من الحديد الصلب يحمي الأجزاء الداخلية للمحرك.اللب الحديدي: مصنوع من صفائح حديدية رقيقة لتقليل خسائر التيارات الدوامية.الملفات: تحتوي على ثلاث مجموعات من الملفات موضوعة في فتحات حول محيط العضو الثابت، مرتبة بزاوية 120 درجة كهربائية عن بعضها البعض لتوليد مجال مغناطيسي دوار عند توصيلها بمصدر تيار ثلاثي الطور.

آلات التيار المتردد

- العضو الدوار : يتكون من نوعين رئيسيين:

- محرك ذو قفص سنجابي التركيب: يتكون من قضبان ألومنيوم أو نحاس موصلة بشكل مائل ومتصلة بحلقتين طرفيتين.المزايا: بسيط، متين، وقليل الصيانة.

- محرك ذو العضو الملفوف:التركيب: يتكون من ملفات ملفوفة موضوعة في فتحات على محيط العضو الدوار، تتصل هذه الملفات بحلقات انزلاق يمكن من خلالها التحكم في مقاومة الدائرة الدوارة.

المزايا: يسمح بالتحكم في بدء التشغيل وسرعة المحرك.

نظرية عمل آلات التيار المتردد

يعتمد عمل المحرك الحثي على مبدأ الحث الكهرومغناطيسي الذي اكتشفه فاراداي:

عند توصيل التيار المتردد ثلاثي الطور بملفات العضو الثابت في المحرك الحثي، يتولد مجال مغناطيسي دوار. هذا المجال المغناطيسي الدوار يقطع قضبان العضو الدوار (في حالة المحركات ذات القفص السنجابي) أو الملفات (في حالة المحركات ذات العضو الملفوف)، مما يؤدي إلى توليد تيار كهربائي مستحث في العضو الدوار. يتفاعل هذا التيار المستحث مع المجال المغناطيسي الدوار لتوليد عزم دوران، مما يؤدي إلى دوران العضو الدوار. يحدث الانزلاق (Slip) وهو الفرق بين سرعة المجال المغناطيسي الدوار وسرعة العضو الدوار، ويكون الانزلاق صفريًا عند التشغيل المثالي.

خاتمة

تعد محركات التيار المستمر والمحركات الحثية ثلاثية الطور من أهم الركائز في التطبيقات الصناعية الحديثة، حيث تتميز كل منها بخصائص فريدة تلبي احتياجات متنوعة. فمن مولدات التيار المستمر ذات التهييج المستقل والتوازي والتوالي والمركب التي توفر تحكمًا دقيقًا وكفاءة عالية، إلى المحركات الحثية ذات القفص السنجابي والعضو الملفوف التي تعتمد على مبادئ الحث الكهرومغناطيسي لتوليد عزم الدوران والاستفادة من التيار المستحث لتشغيل العضو الدوار بفعالية. بفضل هذه المحركات والمولدات، نتمكن من تحقيق استقرار عالٍ وكفاءة ممتازة في تشغيل الآلات الصناعية والمعدات الثقيلة، مما يعزز الإنتاجية ويضمن استدامة العمليات الصناعية. إن فهمنا العميق لهذه التقنيات ومبادئ عملها يمكننا من تطبيقها بطرق مبتكرة ومؤثرة في مختلف المجالات الهندسية والصناعية.