الآلات الكهربائية بالمركبات

منظومة الشحن (CHARGING SYSTEM)

الوحدة الثالثة: منظومة الشحن (CHARGING SYSTEM)

الجدارة: دراسة كل ما يتعلق بالأنواع المختلفة لمولدات التيار الكهربائي ومنظمات الجهد في المركبة ومكوناتها ووظيفتها وخواصها وأعطالها والاختبارات التي تجرى عليها

الأهداف: عند استكمال دراسة هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- عمل رسم تخطيطي لمنظومة الشحن في المركبة وتوضيح مبدأ عملها
- تلخيص تركيب أجزاء منظومة الشحن
- شرح الفرق بين مولد التيار المستمر ومولد التيار المتردد وذكر مميزات وعيوب كل منها
- التعرف على أجزاء مولد التيار المتردد وتسميتها وشرح وظيفتها
- شرح طريقة إنتاج التيار المتردد وتقويمه وتحويله إلى تيار مستمر في مولد التيار المتردد
- شرح أهمية وجود منظمات الشحن ضمن دائرة الشحن في المركبة وأنواعها وأساس عملها
- توضيح كيفية التحكم في منظومة الشحن بواسطة وحدة التحكم الإلكتروني في المركبة
- تحديد الأعطال الشائعة في أجزاء منظومة الشحن في المركبة
- وضع استراتيجية اختبار مولد التيار المتردد ومنظم الشحن على منصة الاختبار
- معرفة طريقة قياس شد سير المولد وكيفية ضبط الشد أو تغيير السير

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة تتراوح ما بين ٩٠٪ و ٩٥٪

الوقت المتوقع للتدريب: ١٠ ساعة

الوسائل المساعدة:

شفافيات + نماذج تدريبية مبسطة

متطلبات الجدارة:

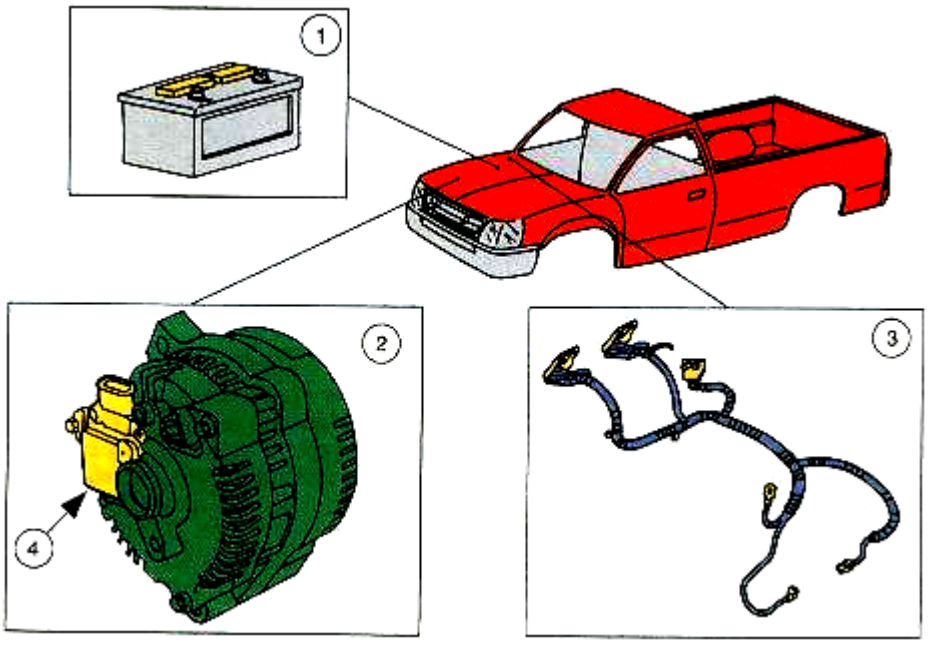
لا يوجد

منظومة الشحن
(CHARGING SYSTEM)

مقدمة (Introduction)

منظومة الشحن بالمركبة (شكل ٣ – ١) عبارة عن القلب بالنسبة للنظام الكهربائي في المركبة، حيث يقوم هذا القلب بضخ التيار الكهربائي اللازم لتشغيل كل الأجهزة والدوائر الكهربائية والإلكترونية في المركبة في أي وقت طالما محرك المركبة يعمل ويدور. هذا يجعل منظومة الشحن بالمركبة هامة جداً لكل من يدرس كهرباء وإلكترونيات المركبات.

هذه الوحدة سوف تناقش عمل وتركيب المكونات الرئيسة في منظومة الشحن في المركبة، وأيضاً التصميمات المختلفة لمنظومات الشحن والتغيرات التي أدخلت على مكونات منظومات الشحن المستخدمة في المركبات القديمة والحديثة. من خلال هذه الوحدة، سوف نتعرف على أهم الأعطال التي تتعرض لها منظومة الشحن في المركبة وكيفية تشخيص وعلاج هذه الأعطال من خلال إجراء مجموعة من الاختبارات.



شكل (٣ – ١): منظومة الشحن في المركبة

(١- البطارية ٢- المُولد الكهربائي ٣- الضفيرة (أسلاك التوصيل) ٤- منظم الجهد)

أهمية منظومة الشحن في المركبة (Importance of Automotive Charging System)

الغرض الأساسي من وجود منظومة الشحن بالمركبة (شكل ٣ – ١) هو إعادة شحن البطارية، وتعويض هذا المخزن الهائل للطاقة الكهربائية عن كل ما يسحب منها أولاً بأول. بعد قيام البطارية المشحونة جيداً بإمداد منظومة بادئ الحركة بالتيار العالي اللازم لبدء إدارة محرك المركبة، فإن حالة شحن البطارية تنخفض. منظومة الشحن مسؤولة عن إعادة شحن البطارية بمعدل شحن ثابت ومنخفض نسبياً عند كل سرعات دوران محرك المركبة.

منظومة الشحن بالمركبة عبارة عن تجهيزة تعمل بأساسيات الحث الكهرومغناطيسي لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. هذا التحويل للطاقة يتم بواسطة الجهد المستحث نتيجة حركة موصل في مجال مغناطيسي.

خرج المُولد الكهربائي وسعة البطارية واحتياج الأحمال الكهربائية من الطاقة اللازمة لتشغيلها، لابد أن تتوافق معاً بطريقة مثالية قدر المستطاع (يتم مع وجود منظمات الشحن) بحيث يمكن أن نعوِّل على عمل منظومة الشحن الكاملة بدون أية مشاكل.

يمكن حصر أهمية منظومة الشحن والغرض منها في المركبة فيما يلي:

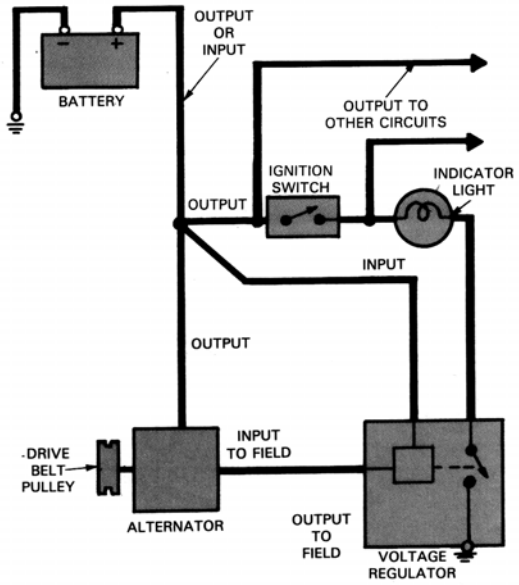
١- تحويل الطاقة الميكانيكية لمحرك المركبة (في صورة سرعة دوران) إلى طاقة كهربائية.
٢- إعادة شحن البطارية بعد إتمام إدارة محرك المركبة (وعند جميع سرعات دورانه)، أو بعد استعمال بعض الملحقات الكهربائية ومحرك المركبة متوقف عن العمل.
٣- إمداد كافة الأجهزة والدوائر الكهربائية والإلكترونية في المركبة بالطاقة الكهربائية التي تحتاجها لأداء عملها في أي وقت أثناء دوران محرك المركبة.
٤- إمداد البطارية بجهد أعلى قليلاً من جهدها الاسمي (١٤ فولت للبطارية ١٢ فولت، و ٢٨ للبطارية ٢٤ فولت).
٥- تغيير خرج منظومة الشحن ليناسب الأحمال الكهربائية المختلفة في المركبة.

مكونات منظومة الشحن (Charging System Components)

تستخدم الدائرة الأساسية لمنظومة الشحن الموضحة في شكل (٣ – ٢): بطارية، مولِّد تيار كهربائي، منظم جهد، مفتاح إشعال، ومبين شحن. مكونات منظومة الشحن تعمل معاً لتكون مصدراً للإمداد بالطاقة الكهربائية في المركبة.

عند عدم عمل محرك المركبة، تتولى البطارية تغذية النظام الكهربائي للمركبة بالطاقة

الكهربائية اللازمة لتشغيله. عندما يعمل محرك المركبة، يقوم سير واصل من بكرة عمود المرفق بإدارة المُوَّلد الكهربائي في منظومة الشحن. يستطيع المُوَّلد الكهربائي عندئذ تقديم خرج كهربائي (electrical output). يسري التيار الكهربائي (تيار خرج الموَلِّد) إلى البطارية لإعادة شحنها، وإلى الدوائر الكهربائية والإلكترونية في المركبة لتشغيلها.



شكل (٣ – ٢): المكونات الأساسية لمنظومة الشحن في المركبة

المكونات الأساسية لمنظومة الشحن في المركبة (شكل ٣ – ٢)، تشمل:

١- **المولِّد الكهربائي (Electrical Generator)**: في المركبات القديمة كان يطلق عليه اسم "موَّلد التيار المستمر" (Direct-current (DC) Generator). أما في المركبات الحديثة، فيطلق على المُوَّلد الكهربائي اسم "موَّلد التيار المتردد" أو "موَّلد التيار ثلاثي الأطوار"(Alternating-current (AC) Generator). مهمة المُوَّلد الكهربائي هي تحويل طاقة المحرك الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.

٢- **منظم الجهد (Voltage Regulator)**: هو وسيلة كهربائية لتنظيم جهد و تيار الخرج للمولِّد الكهربائي.

٣- **سير المُوَّلد الكهربائي (Generator Belt)**: وسيلة لإدارة المحرك الكهربائي عن طريق محرك المركبة، وتصل بين بكرة عمود المرفق في محرك المركبة وبين بكرة المُوَّلد الكهربائي.

٤- مبين الشحن (Charge Indicator): عبارة عن أميتر (ammeter) أو فولتمتر (voltmeter) أو مصباح تحذير (indicator or warning light)، يتم تركيبه في لوحة عدادات المركبة، لإخطار سائق المركبة عن حالة خرج منظومة الشحن.

٥- ضفيرة منظومة الشحن (Charging System Harness): هي مجموعة الأسلاك التي تصل بين المكونات الأساسية لمنظومة الشحن (تصل بين المُوَّلد الكهربائي ومبين الشحن والمكونات الأخرى).

٦- البطارية (Battery): تمد المُوَّلد الكهربائي بتيار الإثارة، كما تساعد في موازنة خرج المُوَّلد الكهربائي.

٧- مفتاح الإشعال (Ignition Switch): عبارة مفتاح متعدد الأغراض لتغذية الدوائر الكهربائية والإلكترونية الأساسية في المركبة بالتيار الكهربائي اللازم لتشغيلها.

أنواع مولِّدات التيار الكهربائي في المركبات (Types of Electrical Generators)

موَّلد التيار الكهربائي عبارة عن وحدة لتوليد الكهرباء (electricity-generating plant) طوال فترة عمل محرك المركبة. تم تصميم المُوَّلد الكهربائي ليقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية (بتحويل الحركة الدورانية لسير المُوَّلد إلى طاقة كهربائية).

واكب تطوير المركبات استحداث بعض المنظومات وتطوير في بعض المنظمات ومكوناتها. منظومة الشحن تعتبر واحدة من هذه المنظومات التي واكبت عملية التطور في المركبات الآلية. شملت عملية التطوير بصفة خاصة تغيير نوعية المُوَّلد الكهربائي ومنظم الشحن (سيرد الحديث عن أنواعه وتطوره من خلال الفصل الثاني لهذه الوحدة).

١- مولِّدات التيار المستمر (Direct-current (DC) Generators)

يطلق عليها أحياناً اسم "مولِّدات التيار المستمر التقليدية (conventional)، حيث قاد استخدام البطارية الرصاصية (الحمضية) إلى تطوير هذا النوع من المُولِّدات. استمر عمل هذا النوع من المُولِّدات لفترة طويلة في المركبات، وكان قادراً على الوفاء بالمتطلبات التي استخدم من أجلها، وظل موجوداً ضمن منظومة الشحن في المركبات إلى أن تلاشى وجوده الآن. ارتبط أداء مولِّدات التيار المستمر بوجود بعض العيوب، أدت إلى تطويرها واستبدالها بمولِّدات التيار المتردد. فيما يلي سيتم تناول مولِّدات التيار المستمر باختصار فقط لإلقاء الضوء على هذه النوعية من المُولِّدات الكهربائية ومكوناتها وأدائها.

٢- مولِّدات التيار المتردد (Alternating-current (AC) Generator)

في الفترة الأخيرة، كانت هناك زيادة في متطلبات الأنظمة والدوائر الكهربائية والإلكترونية في المركبات الحديثة من الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيلها، وحدثت تغيرات متكررة وشاقة وأحياناً معاكسة في ظروف القيادة. أدت هذه الظروف معاً إلى متطلبات قاسية من منظومة الشحن ولم يكن قادراً على الوفاء بها إلا تصميم موَّلدات التيار المتردد أو ما يسمى "موَّلد التيار ثلاثي الأطوار (ثلاثي الأوجه)" (Three-phase generator) ونزول إنتاجه إلى الأسواق في عام ١٩٦٣م. اختصار اسم موَّلد التيار المستمر إلى (Alternator)، هي كلمة مدمجة من أصل كلمتين "التيار المتردد" و"المُوَّلد". سيتم تناول هذا النوع من المُولِّدات بمزيد من التفاصيل من خلال الفصل الأول من هذه الوحدة.

مولِّدات التيار المستمر التقليدية (Conventional DC Generators)

أصبحت موَّلدات التيار المستمر في طي النسيان بالنسبة للعمل في المركبات الحديثة. من هذه الزاوية، سنتناول إلقاء الضوء على هذا النوع من المُوَّلدات الكهربائية حتى يتسنى لنا بعد ذلك عقد مقارنة بينه وبين موَّلد التيار المتردد.

١- مكونات مولِّد التيار المستمر (DC Generator Construction)

مكونات مولِّد التيار المستمر الموضح في شكل (٣ – ٣) هي:

١- هيكل العضو الساكن (stationary stator frame): الجسم الحاوي لأجزاء المُوَّلد الداخلية.

٢- عضو الاستنتاج (armature): ويسمى عضو الاستنتاج الدوار (rotating armature) وهو عبارة عن قلب على شكل صفائح رقيقة مصنوعة من الحديد مركب بداخله ملفات عضو الاستنتاج، ومثبت على عمود عضو الاستنتاج (عمود الإدارة).

٣- أطراف التوصيل (terminals): أطراف الدخل والخرج للموَّلد.

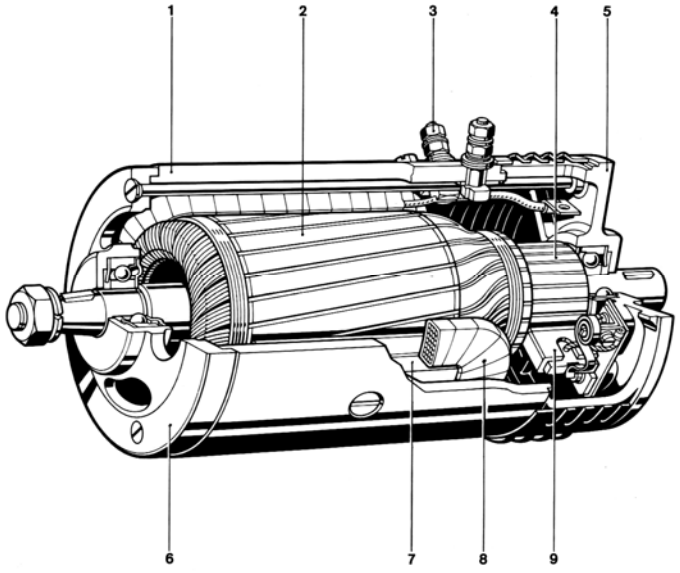
٤- عضو التوحيد (المجمع) (commutator): يتكون من صفائح رقيقة من النحاس معزولة عن بعضها وعن عضو الاستنتاج، ويكون هو وعضو الاستنتاج جسماً واحداً محمولاً على عمود الإدارة ذا نهايتين تحملان على محامل كروية.

٥- غطاء تحميل عضو التوحيد (commutator end shield): مجهز بمحمل كروي لحمل نهاية عمود الإدارة من جهة عضو التوحيد (المجمع).

٦- غطاء محمل عمود الإدارة (drive end shield): مجهز بمحمل كروي لحمل نهاية عمود الإدارة من جهة عضو الاستنتاج.

٧- حذاء القطب (pole shoe): عبارة عن زوج أو زوجين من أحذية القطب مثبتة على السطح الداخلي لهيكل العضو الساكن في وضعية متقابلة.

٨- ملفات الإثارة (excitation windings): ملفات العضو الساكن ومسؤولة مع أحذية القطب عن إثارة المجال المغناطيسي اللازم لتوليد التيار.



شكل (٣ – ٣): مكونات موَّلد التيار المستمر

(١- هيكل العضو الساكن ٢- عضو الاستنتاج ٣- طرف توصيل ٤- عضو التوحيد
٥- غطاء نهاية عضو التوحيد
٦- غطاء تحميل عضو التوحيد ٧- حذاء القطب ٨- ملفات الإثارة ٩- حامل الفرش الكربونية والفرش الكربونية)

٩- حامل الفرش الكربونية والفرش الكربونية (brush holder and carbon brushes): توضع ملامسة لعضو التوحيد بواسطة نوابض ضغط.

١٠- بكرة مع مروحة (pulley with fan): غير موضحة بالرسم، والبكرة مسؤولة عن توصيل سرعة دوران عمود المرفق إلى عضو الاستنتاج عن طريق سير، أما المروحة فهي مسؤولة عن تبريد المُوَّلد بدفع الهواء إلى داخله من خلال فتحات الغطاء الأمامي ويمر ويخرج من خلال فتحات الغطاء الخلفي.

١١- منظم (regulator): غير موضح بالرسم، هو عبارة عن منظم تلامسي كهرومغناطيسي، يعمل على القصر السريع لدائرة مقاومة التنظيم المتصلة على التوالي مع ملفات الإثارة.

موَّلد التيار المستمر على هيئة ماكينة ذات ملفات توازي، أي إن ملفات عضو الاستنتاج وملفات الإثارة متصلة مع بعضها على التوازي. التيار اللازم لإثارة المجال المغناطيسي يتم إنتاجه بواسطة هذه الماكينة (موَّلد التيار المستمر) نفسها ويؤخذ من تيار عضو الاستنتاج (مبدأ الإثارة الذاتية). ملفات الإثارة يتم تثبيتها على السطح الداخلي لهيكل العضو الساكن، وتمثل هي وأحذية القطب ما يسمى بالعضو الساكن للموَّلد (stationary stator). سيتم تناول منظمات الشحن بالتفصيل خلال الفصل الثاني من هذه الوحدة.

٢- أساس عمل موَّلد التيار المستمر (DC Generator Operating principle)

يحتوي عضو الاستنتاج على عدد من الملفات المصنوعة من النحاس، توضع هذه الملفات في المجاري الخاصة بالقلب الحديدي المصنوع من الحديد على شكل مجموعة من الصفائح الرقيقة. عندما يدور عضو الاستنتاج، فإن ملفاته تقطع خطوط قوى المجال المغناطيسي بين أحذية قطب العضو الساكن، يتسبب ذلك في توليد جهد متردد في الملفات.

عندما تغلق الدائرة، التيار المتردد المتولد والذي تم تقويمه وتحويله إلى تيار مستمر عن طريق عضو التوحيد يمر من خلال الفرش الكربونية الملامسة لعضو التوحيد إلى البطارية والأحمال الكهربائية الأخرى عن طريق أسلاك التوصيل. كل التيار المتولد يتم تجميعه من عضو التوحيد (المجمع).

في مدى القدرة المنخفضة، يتم تنظيم الجهد ببساطة عن طريق نقاط تلامس منظم الجهد. عند الخرج العالي للموَّلد، يتم استخدام منظم إضافي للتيار إلى جانب منظم الجهد ليحمي المُوَّلد ضد التحميل الزائد. أيضاً يتم استخدام مُرَّحل كهرومغناطيسي مستقل ليقطع الاتصال بين البطارية والمُوَّلد لمنع مرور التيار من البطارية خلال ملفات المُوَّلد، وبذلك تتم حماية البطارية من التفريغ عند السرعات المنخفضة لمحرك المركبة وعند توقف المُوَّلد عن العمل.

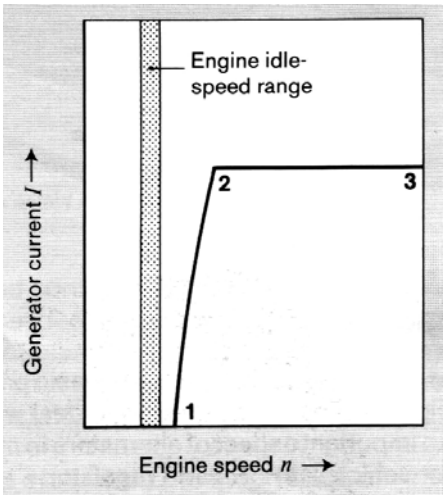
شكل (٣ – ٤) يوضح منحنى خصائص التيار المتولد في موَّلد التيار المستمر في وجود منظم للتيار ومنظم للجهد (العلاقة بين سرعة دوران محرك المركبة (n) وتيار خرج المُوَّلد (I))، ومن خلال هذا الشكل نلاحظ الآتي:

١- عند نقطة (١)، يبدأ الحصول على جهد الشحن ويكون المُوَّلد متصلاً مع البطارية عن طريق مُرَّحل آلي لقطع التيار. يبدأ المُوَّلد في توليد القدرة عند سرعة أكبر من السرعة الخاملة

(سرعة التباطؤ) لمحرك المركبة.

٢- عند سرعة الدوران الممثلة بالنقطة (٢)، يتم الحصول على أقصى قيمة للتيار من المُوَّلد ويتم تحديدها بواسطة منظم التيار.

٣- لا يجب الوصول إلى أقصى سرعة للدوران، والممثلة بالنقطة (٣)، بسبب الصعوبات في عملية تجميع وتقويم التيار (تقويم ميكانيكي بواسطة عضو التوحيد) والحرارة الزائدة المقترنة بذلك والتآكل الشديد الذي يحدث للفرش الكربونية.



شكل (٣ – ٤): منحنى خصائص التيار المتولد في مولّد التيار المستمر في وجود منظم للتيار ومنظم للجهد
(١- الوصول لجهد الشحن (عند سرعة أعلى من سرعة التباطؤ ٢- تحديد قيمة التيار من خلال منظم التيار
٣- قيمة التيار عند أقصى سرعة دوران للمولّد)

٣- عيوب مُوَّلد التيار المستمر (DC Generator Disadvantages)

العيوب التي ظهرت من خلال أداء مُوَّلد التيار المستمر، هي في نفس الوقت من الأسباب التي أدت إلى التفكير في تطويره والوصول إلى مُوَّلد التيار المتردد المستخدم حالياً في المركبات الحديثة.

من أهم عيوب مُوَّلد التيار المستمر:

١- إمكانية مقيدة وشاقة البلوغ للعمل عند مدى سرعات دوران مفتوح.

٢- لا يمكن بلوغ أقصى سرعة دوران مسموح بها و إلا تعرض عضو التوحيد (المسؤول عن تجميع وتقويم التيار) للسخونة الزائدة مما يقلل من العمر الافتراضي للفرش الكربونية.

٣- التحميل على ملفات عضو الاستنتاج كنتيجة لقوى القصور الذاتي، لابد أن تؤخذ في الاعتبار عند البحث عن أسباب تلف المُوَّلد وقصر عمره الافتراضي.

٤- في حالات كثيرة، لا يوجد خرج للمُوَّلد عند دوران محرك المركبة عند السرعة الخاملة (سرعة اللا حمل أو سرعة التباطؤ). عند سرعة التباطؤ لمحرك المركبة، يكون الجهد المتولد منخفضاً جداً (بمعنى أن جهد الشحن الضروري للبطارية والنظام الكهربائي في المركبة لم يتم الوصول إليه).

٥- الحاجة الكبيرة للصيانة المستمرة بسبب التآكل الشديد في الفرش الكربونية.

٦- رفع قدرة الخرج للمُوَّلد يسبب زيادة غير متناسبة في أبعاد ووزن المُوَّلد.

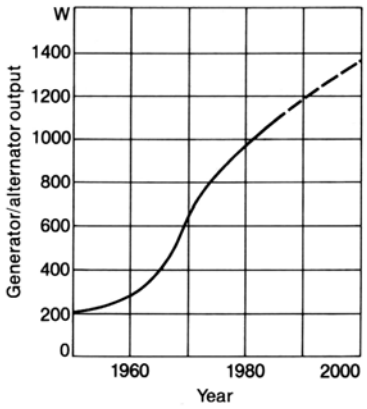
الفصل الأول : موَّلدات التيار المتردد
(ALTERNATORS)

العيوب التي ظهرت في أداء مُوَّلد التيار المستمر، أدت إلى التفكير في تطويره والبحث عن البديل الذي يمكنه تلافي تلك العيوب وتحويلها إلى مميزات. توصل البحث والتطوير إلى الوصول إلى مُوَّلد التيار المتردد أو ما يسمى "مُوَّلد التيار المتردد ثلاثي الأطوار" أو ثلاثي الأوجه **(Alternators)**.

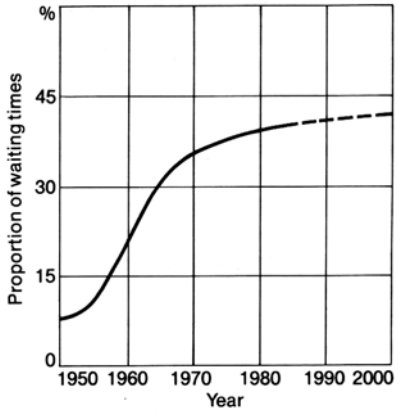
أهمية مُوَّلدات التيار المتردد (Importance of Alternators)

كما أشرنا من قبل، فإن الزيادة في متطلبات الأنظمة والدوائر الكهربائية والإلكترونية في المركبات الحديثة من الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيلها وحدوث تغيرات متكررة وشاقة وأحياناً معاكسة في ظروف القيادة، أدت إلى متطلبات قاسية من منظومة الشحن ولم يكن قادراً على الوفاء بها إلا تصميم موَّلدات التيار المتردد.

شكل (٣ – ٥) يوضح زيادة الطلب من القدرة الكهربائية في المركبات خلال الفترة من عام ١٩٥٠م إلى عام ٢٠٠٠م، وظلت هذه الزيادة في نمو حتى الآن. كما يوضح شكل (٣ – ٦) الزيادة في فترات الانتظار (محرك المركبة يعمل عند السرعة الخاملة) أثناء القيادة داخل المدن خلال نفس الفترة المذكورة وتصل إلى أعلى من ٥٠٪ خلال فترات الذروة، وأيضاً هذه الزيادة في فترات الانتظار تنمو وتزداد حتى الآن.



شكل (٣ – ٥): تطور خرج المُوَّلد للفئة المتوسطة من سيارات الركاب منذ عام ١٩٥٠م



شكل (٣ – ٦): تطور المتوسط التناسبي لأوقات الانتظار أثناء القيادة داخل المدن منذ عام ١٩٥٠م

الازدحام نتيجة زيادة الكثافة المرورية وكثرة التوقفات في الإشارات المرورية، يؤثر على البطارية بحيث يصبح شحنها غير كاف مع عدم إمكانية إصلاح هذا العجز في قدرة البطارية أثناء هذه الظروف. عدم إمكانية إصلاح العجز والتعويض الكامل لقدرة البطارية المستنفذة أثناء التوقفات، يرجع إلى عدم قدرة مُوَّلد التيار المستمر عند سرعة التباطؤ للمحرك على توليد القدرة الكهربائية اللازمة للنظام الكهربائي للمركبة.

إذا صادفت قائد المركبة ظروف غير مواتية مثل القيادة أثناء الظلام الدامس والظروف الجوية السيئة وانخفاض درجات الحرارة، لن يتمكن مُوَّلد التيار المستمر من إمداد المركبة بالقدرة الكهربائية المطلوبة تحت هذه الظروف.

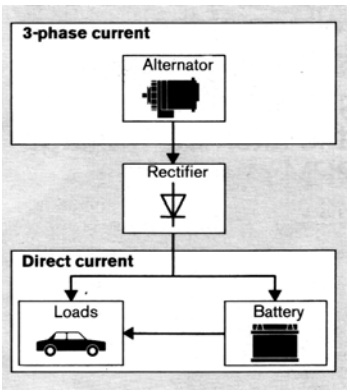
التقدم في مجال تقنية أشباه الموصلات (semi-conductors)، أدى إلى النجاح في تطوير مُوَّلد التيار المستمر والوصول إلى موَّلد التيار المتردد ودخوله إلى عالم المركبات كوحدة مسؤولة ضمن منظومة عن الوفاء بكافة المتطلبات الكهربائية اللازمة لتشغيل الأنظمة والدوائر الكهربائية والإلكترونية في المركبة. أداء مولد التيار المتردد للمهام الموكلة إليه بنجاح تام، يتم تحت أية ظروف عمل للمركبة، يرجع إلى قدرته على توليد الطاقة الكهربائية بكفاءة عند جميع سرعات محرك المركبة دون استثناء مع الإبقاء الدائم على حالة الشحن الجيدة للبطارية.

استخدام أشباه الموصلات لاستنباط مُوَّحِدات تقويم التيار الثابتة (fixed rectifier diodes) المستخدمة في مُوَّلد التيار المتردد بديلاً عن عضو التوحيد في مُوَّلد التيار المستمر، تعتبر من أهم المميزات في عملية تطوير مُوَّلدات التيار في مجال المركبات.

يتم تحديد نوع ومكونات مُوَّلد التيار المتردد (alternator) بناء على الواجب المفروض أن يؤديه في المركبة بإمداد البطارية (battery) والأجهزة والدوائر الكهربائية والإلكترونية (الأحمال loads) بالطاقة

الكهربائية اللازمة كما هو موضح في شكل (٣ – ٧).

يقوم مُوَّلد التيار المتردد بتوليد تيار متردد (ثلاثي الأطوار) (3-phase current)، بينما النظم الكهربائية في المركبة تحتاج إلى تيار مستمر. بدون تيار مستمر، لا يمكن شحن البطارية ولا يمكن تشغيل الأجهزة والدوائر الكهربائية والإلكترونية في المركبة.



شكل (٣ – ٧): الواجب المفروض أن يؤديه مُوَّلد التيار المتردد في المركبة

المتطلبات التي تم أخذها في الاعتبار عند تطوير وتصميم مُوَّلد التيار المتردد (alternator) كثيرة ومتعددة. أهم هذه المتطلبات ما يلي:

١- إمداد جميع الأحمال الكهربائية والإلكترونية بتيار مستمر.
٢- وجود قدرة إضافية احتياطية للشحن السريع للبطارية وعند التشغيل المتواصل للأحمال وعندما يدور محرك المركبة على سرعة التباطؤ.
٣- المحافظة على جهد المُوَّلد ثابتاً عند كامل مدى سرعات محرك المركبة.
٤- عدم الحاجة إلى صيانة قدر المستطاع.
٥- متانة المُوَّلد ومكوناته لمقاومة جميع الأحمال الخارجية المؤثرة عليه بسبب الاهتزازات والتغير في درجة الحرارة والأتربة والرطوبة والوقود ووسائط التزييت (زيوت وشحوم).
٦- وزن أقل وتصميم مدمج.
٧- ضوضاء أقل.
٨- عمر افتراضي أطول.

أساسيات عمل موَّلد التيار المتردد (Principles of Alternator Operation)

يعمل مُوَّلد التيار المتردد (alternator) في المركبة على أساس مبدأ الحث الكهرومغناطيسي

(electromagnetic induction). عندما يتحرك ملف (coil) من السلك خلال مجال مغناطيسي (magnetic field)، يستحث أو يتولد جهد كهربائي (induced voltage) في الملف.

يمكن أن يستحث الجهد الكهربائي بصورة فعلية بإحدى الطريقتين الآتيتين:

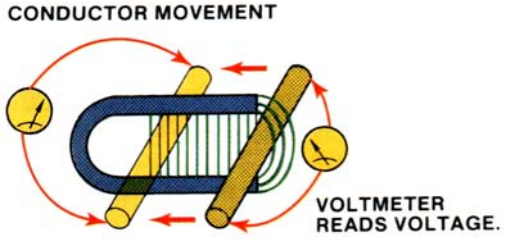
١- بتحريك ملف السلك خلال المجال المغناطيسي الساكن.

٢- الإبقاء على ملف السلك ساكناً وتحريك المجال المغناطيسي.

مُوَّلد التيار المستمر (DC generator) يعمل بالطريقة الأولى، حيث يستحث الجهد الكهربائي في الملفات التي تدور (ملفات عضو الاستنتاج) في مجال مغناطيسي ساكن (أحذية القطب وملفات الإثارة).

مُوَّلد التيار المتردد (AC generator or Alternator) يعمل بالطريقة الثانية، حيث المجال المغناطيسي يدور ويمثله ما يسمى العضو الدوار (rotor) ويتولد الجهد الكهربائي في الملفات الساكنة ويمثلها ما يسمى العضو الساكن (stator).

عند تحريك قطعة مستقيمة من موصل خلال مجال مغناطيسي كما في شكل (٣ – ٨) وتوصيل طرفي جهاز فولتمتر، فإن الفولتمتر يسجل قراءة فولتية صغيرة. تسجيل الفولتمتر للقيمة الفولتية يدل على أن هناك جهد تم حثه في الموصل. يمكن الحصول على جهد كهربائي مستحث، لابد من تحريك موصل ليقطع خطوط الفيض المغناطيسي (magnetic flux lines) في وضع متعامد. لا يستحث أي جهد كهربائي إذا وازى الموصل في أثناء حركته خطوط الفيض المغناطيسي. يمكن أن يستحث جهد كهربائي لنفس الحالة الموضحة في شكل (٣ – ٨) عند الإبقاء على الموصل ساكناً وتحريك المجال المغناطيسي زاوية قائمة. هذا هو مبدأ عمل مُوَّلد التيار المتردد في المركبات، حيث يتم تحريك (دوران) مجال مغناطيسي (العضو الدوار) في محيط ملفات ساكنة (العضو الساكن) لتوليد جهد كهربائي وتيار كهربائي.

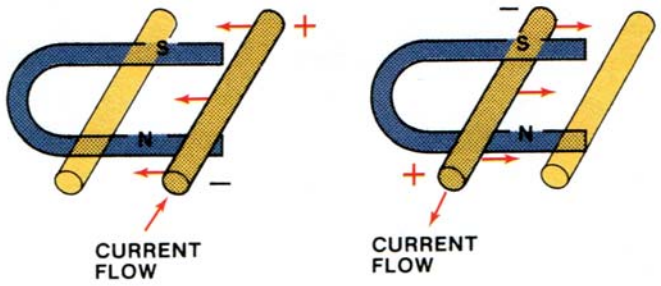


شكل (٣ – ٨): الجهد المستحث من قطع موصل متحرك لخطوط المجال المغناطيسي

(لاحظ أن الفولتمتر يسجل قراءة فولتية)

أصبح الموصل الآن مصدراً للكهرباء وله قطبية واضحة، أي طرف موجب وطرف سالب. يمكن

عكس هذه القطبية اعتماداً على الاتجاه النسبي للحركة بين الموصل والمجال المغناطيسي كما هو موضح في شكل (٣ – ٩) الذي يبين لماذا ينتج مُوَّلد التيار المتردد تياراً متردداً.



شكل (٣ – ٩): تعتمد قطبية الجهد المستحث على اتجاه حركة الموصل لقطع خطوط المجال المغناطيسي

يعتمد مقدار الجهد المستحث على أربعة عوامل:

١- كلما كان المجال المغناطيسي قوياً، كلما كان الجهد المستحث قوياً.

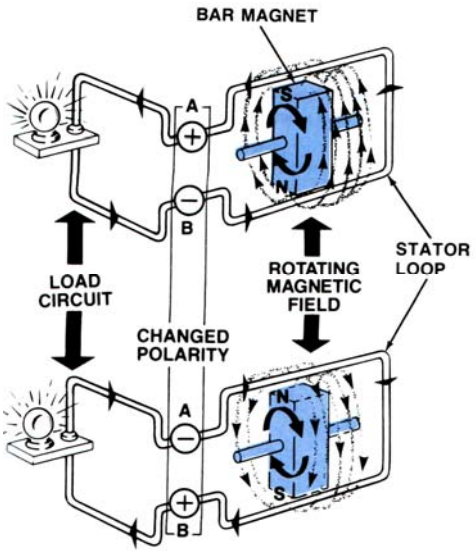
٢- كلما زادت سرعة قطع خطوط الفيض المغناطيسي، كلما زاد عدد الخطوط المقطوعة وكان جهد الحث قوياً.

٣- كلما زاد عدد الموصلات، كلما كان الجهد المستحث كبيراً.

٤- كلما اقتربت الزاوية بين الموصلات والمجال المغناطيسي من زاوية قائمة (وضع تعامد)، كلما كان الجهد المستحث كبيراً.

عندما يدور المغناطيس الموضح في شكل (٣ – ١٠)، فإن المجال المغناطيسي يمر خلال جانبي الملف الساكن. في الجزء العلوي من الشكل (٣ – ١٠)، عندما يتحرك القطب الجنوبي (S) للمغناطيس بالقرب من الجانب العلوي للموصل، يستحث التيار الكهربائي في اتجاه واحد. يستحث التيار في الاتجاه العكسي، عندما يقترب القطب الشمالي (N) من الجانب العلوي للموصل كما هو موضح في الجزء السفلي من شكل (٣ – ١٠). المصباح الموضح في شكل (٣ – ١٠) للدلالة على مرور تيار كهربائي.

نفس الحالة تماماً تحدث مع الجانب السفلي للموصل، لكن اتجاه مرور التيار الكهربائي المستحث يكون معكوساً مع اتجاه مروره في الجانب العلوي من الموصل (شكل ٣ – ١٠)، وهذه دلالة على أن التيار المتولد هو تيار متردد. إذا كان التيار الكهربائي المستحث قوياً، فإن المصباح الموضح في الدائرة سوف يضيء .



شكل (٣ – ١٠): فكرة عمل مُوَّلد التيار المتردد

(عكس القطبية واتجاه سريان التيار خلال دورة واحدة مبين عند النقاط A, B)

نستنتج مما سبق أن هناك ثلاثة شروط هامة لزيادة قيمة التيار (عدد الإلكترونات) المستحث في الموصل، هذه الشروط الثلاثة هي:

١- زيادة قوة المجال المغناطيسي.

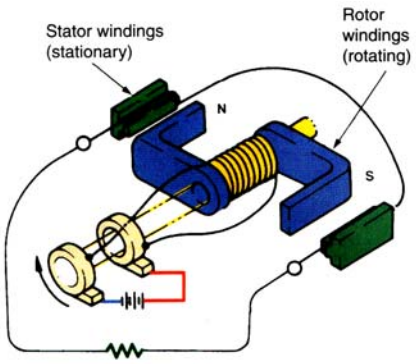
٢- زيادة سرعة دوران المجال المغناطيسي.

٣- زيادة عدد الملفات الساكنة.

في مُوَّلد التيار المتردد، تمت زيادة قوة المجال المغناطيسي وعدد الملفات الساكنة. تم تصميم مُوَّلد التيار المتردد بحيث لا تكون هناك أية خطورة على أجزائه لو وصلت سرعة دورانه القيم القصوى لدوران محرك المركبة، مما يعني ببساطة تحقيق الشروط الثلاثة في تصميم مُوَّلد التيار المتردد (Alternator)، كما سنرى خلال هذا الفصل من هذه الوحدة.

شكل (٣ – ١١) يوضح رسماً تخطيطياً مبسطاً لمُوَّلد التيار المتردد. في مُولّد التيار المتردد (Alternator)، المجال المغناطيسي المتحرك يسمى "العضو الدوار" (Rotor) يدور داخل مجموعة من الموصلات الساكنة تسمى "العضو الساكن" (Stator) وتسمى الموصلات الساكنة "ملفات العضو الساكن" (Stator Windings). عندما يدور القطبان الشمالي (N) والجنوبي (S) بالنسبة للموصلات، فإنها تستحث الجهد الكهربائي ويمر التيار الكهربائي المستحث في اتجاه ثم في الاتجاه العكسي (تيار متردد AC) (التيار يمر دخولاً وخروجاً خلال فرشتين (two brushes) مركبتين على حلقتين منزلقتين (two slip rings)). يجب تقويم هذا الجهد وهذا التيار (التحويل من متردد إلى مستمر) حتى يمكن

استخدامه في المركبة لأنها تستخدم تياراً مستمراً (DC). تتم عملية التقويم (rectification) من خلال مجموعة المُوحِدات (الدايودات أو الصمامات الثنائية) (Diodes) كما سنوضح ذلك خلال هذا الفصل.



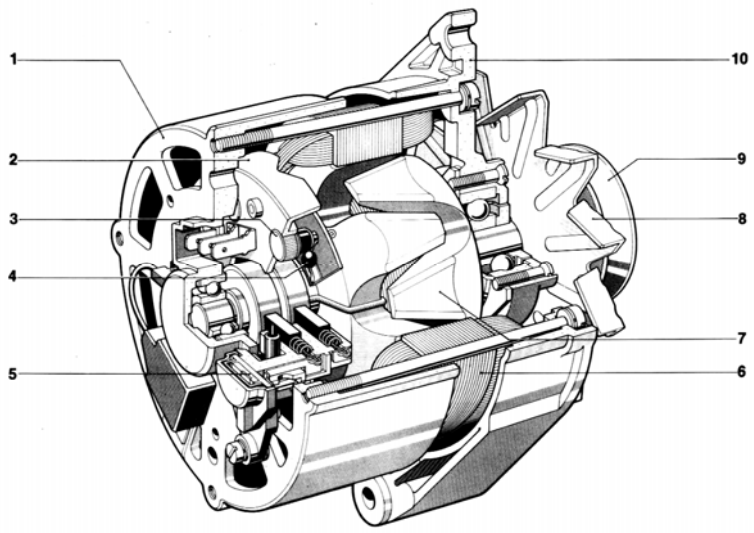
شكل (٣ – ١١): مُوَّلد التيار المتردد البسيط

تركيب موَّلد التيار المتردد (Construction of an Alternator)

أساسيات عمل مُوَّلد التيار المتردد التي تناولناها قبل، هي مرآة تقنية لتركيب مُوَّلدات التيار المتردد المستخدمة حالياً في المركبات. قد تختلف مُوَّلدات التيار المتردد فيما بينها في التفاصيل الداخلية، لكنها تشترك جميعاً في أساسيات وفكرة العمل. شكل (٣ – ١٢) و شكل (٣ – ١٣) يوضحان المكونات الداخلية لتركيب مُوَّلد التيار المتردد ذي الأقطاب المخلبية (claw-pole alternator) مع مجموعة مدمجة من المُوحِّدات (compact diode assembly)، الشائع الاستخدام في معظم المركبات الحديثة (مثال لشرح مكونات مُوَّلد التيار المتردد). يتكون مُوَّلد التيار المتردد من الأجزاء التالية:

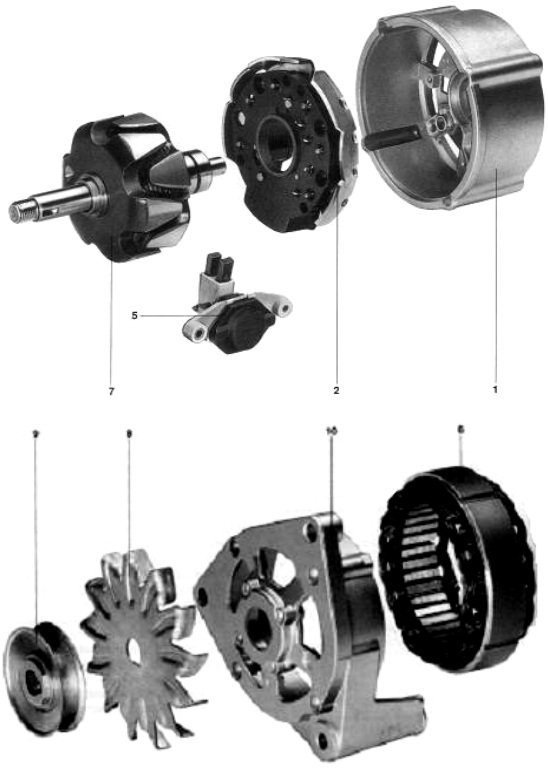
١- غطاء نهاية حلقة المُجَمِعْ (Collector-ring end shield): لتثبيت عمود العضو الدوار من ناحية حلقات المُجَمِّعْ المنزلقة (slip rings)، ويتم حمل نهاية العمود على محمل كروي.

٢- المُقـوِّمْ (Rectifier): لوح به مجموعة ثقوب تماثل الثقوب الموجودة في اللوح الحامل للمُوَّحِدات (الثقوب تستخدم للتخلص من الحرارة). يتم تجميع اللوحين بالشكل الموضح وتوجد مجموعة من المُوحِّدات (الدايودات) فيما بينها. الدايودات عددها على الأقل ٩ (تسعة)، منها ٦ (ستة) تسمى دايودات القدرة (جزء رقم ٣) و ٣ (ثلاثة) تسمى دايودات الإثارة (جزء رقم ٤) ومهمتها تحويل التيار المتردد ثلاثي الأطوار المتولد إلى تيار مستمر. المُقَوِّم من الأجزاء الساكنة مثل العضو الساكن.



شكل (٣ – ١٢): المكونات الداخلية لمُوَّلد التيار المتردد

(١- غطاء جهة حلقات المُجَمِّعْ المنزلقة ٢- المُقَوِّمْ ٣- دايود قدرة ٤- دايود إثارة ٥- منظم وحامل الفرش والفرش الكربونية
٦- العضو الساكن ٧- العضو الدوار ٨- مروحة ٩- بكرة ١٠- غطاء جهة الإدارة (المقدمة))



شكل (٣ – ١٣): الأجزاء الداخلية لمُوَّلد التيار المتردد

(أسماء الأجزاء كما في الشكل ٣ – ١٢)

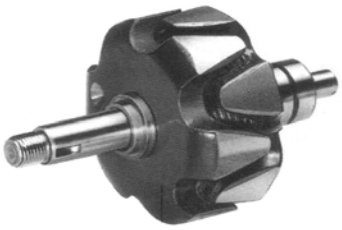
٣- مُوحِّد (دايود) القدرة (Power diode): عددها ٦ (ستة دايودات) ضمن المُقَّومْ كما أوضحنا في الجزء رقم (٢). الدايودات تصنع من مواد أشباه الموصلات (تصنع عادة من السليكون)، وتعمل كصمام كهربائي أحادي الاتجاه بحيث يسمح للتيار بالمرور في اتجاه واحد فقط.

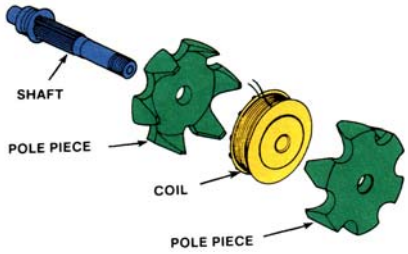
٤- مُوَّحِد (دايود) الإثارة (Exciter diode): عددها ٣ (ثلاثة دايودات) خاصة بدائرة الإثارة ضمن المُقَّومْ كما أوضحنا في الجزء رقم (٢).

٥- منظم وحامل الفرش والفرش الكربونية (Regulator, Brushes holder, and Carbon Brushes): المنظم يعمل على تنظيم التيار والجهد ويثبت إما داخل المُوَّلد أو على سطحه الخارجي أو بعيداً عنه في مكان آمن في غرفة محرك المركبة. يتم توصيل المنظم مع حامل الفرش بواسطة مقبس توصيل كهربائي مكونة جزءاً واحداً. حامل الفرش الكربونية يحمل فرشتين يتم ضغطهما على حلقات مُجمِّعْ العضو الدوار المنزلقة، وتقوم بتوصيل تيار الإثارة إلى ملف الإثارة في العضو الدوار.

٦- العضو الساكن (Stator): مع ملفات العضو الساكن (stator windings) ثلاثية الأطوار (three-phase) التي توصل التيار المتولد إلى المُقَّومْ (rectifier) (ساكن أيضاً). يتكون العضو الساكن من مجموعة رقائق تبادلية ذات مجرى معزولة مضغوطة على بعضها مكونة القلب المصمت للعضو الساكن، وتدفن ملفات العضو الساكن في مجاري القلب.

٧- العضو الدوار (Rotor): عبارة عن عمود (عمود العضو الدوار) يحمل الأقطاب المغناطيسية المخلبية (claw poles)، كما يحمل مُجَّمِعْ العضو الدوار وهو عبارة عن حلقتين (two collector rings). يتم تقسيم الأقطاب المخلبية على نصفين متداخلين كما هو موضح بالشكل بينهما ملف واحد يسمى ملف الإثارة (excitation winding). ملف الإثارة عبارة عن ملف دائري مفرد كما هو موضح ضمن أجزاء العضو الدوار في شكل (٣ – ١٤). يتكون المجال المغناطيسي بواسطة تيار صغير (من ٤ إلى ٦ أمبير) يمر في ملف العضو الدوار من البطارية مباشرة عن طريق الفرش الكربونية كما في شكل (٣ – ١٥ إلى اليمين). عدد الأقطاب المغناطيسية ١٢ أو ١٤ وقد يصل إلى ١٦ (نصفها شمالي (N) ونصفها جنوبي (S)) حسب تصميم المُوَّلد، ويتحرك المجال المغناطيسي بين مخالب الأقطاب من القطب الشمالي (N) إلى القطب الجنوبي (S) المجاور له مباشرة كما في شكل (٣ – ١٥ إلى اليسار).



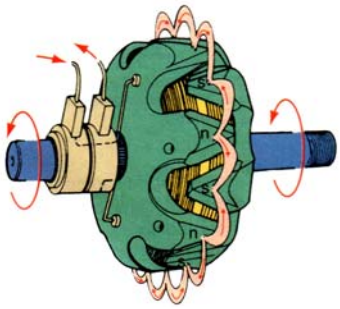


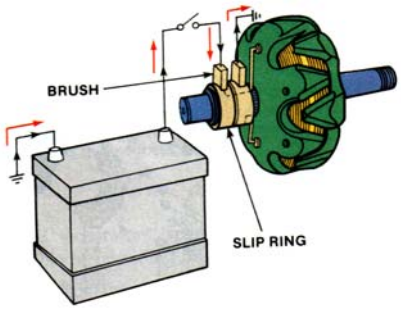
شكل (٣ – ١٤): أجزاء العضو الدوار (إلى اليمين: العضو الدوار مجمع، إلى اليسار: العضو الدوار مفكك)

٨- مروحة (Fan): تثبت على عمود العضو الدوار، وتستخدم لتبريد المُوَّلد من خلال سحب أو دفع الهواء (حسب اتجاه ريش المروحة) من خلال فتحات الغطاء الأمامي والغطاء الخلفي واللوح الحامل للدايودات كما هو موضح في شكل (٣ – ١٦).

٩- بكرة (Pulley): تثبت في مقدمة عمود العضو الدوار، وتستخدم لنقل سرعة دوران عمود مرفق محرك المركبة إلى العضو الدوار عن طريق سير إدارة (belt drive). يمكن للعضو الدوار أن يدور في اتجاه عقارب الساعة أو عكس اتجاه عقارب الساعة حسب نوع مروحة التبريد المناسبة واتجاه ريش المروحة.

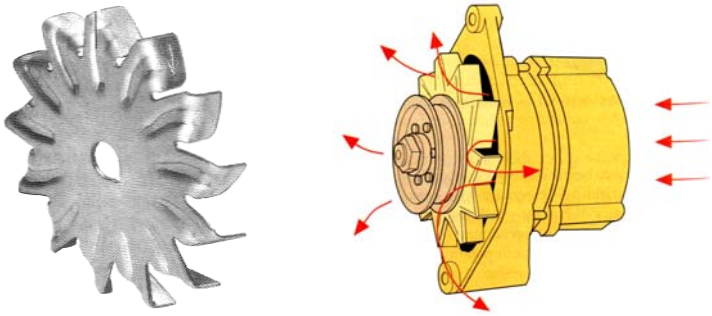
١٠- غطاء نهاية جهة الإدارة (Drive end shield): لتثبيت عمود العضو الدوار من ناحية مروحة التبريد وبكرة الإدارة، ويتم حمل نهاية العمود على محمل كروي.





شكل (٣ – ١٥): إلى اليمين: مرور التيار من البطارية مباشرة إلى ملف العضو الدوار عن طريق الفرش

إلى اليسار: انتقال المجال المغناطيسي من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي المجاور له مباشرة



شكل (٣ – ١٦): إلى اليمين: سحب الهواء من الخلف إلى الأمام لتبريد الدايودات

إلى اليسار: مروحة التبريد ويعتمد اتجاه سريان الهواء على اتجاه ريش المروحة

أنواع التوصيلات لملفات العضو الساكن (Types of Stator Windings Connections)

العضو الساكن، كما أشرنا من قبل، مصنوع من عدد من الموصلات أو الأسلاك يمر فيها التيار بواسطة المجال المغناطيسي الدوار. تستخدم معظم مُوَّلدات التيار المتردد ثلاثة من الملفات لتوليد تيار الخرج المطلوب.

يمكن ترتيب وتوصيل الملفات الثلاثة للعضو الساكن بأحد الأشكال الآتية:

١- ملفات على شكل نجمة أو حرف Y (نجمة (star) وحرف واي بالإنجليزية (WYE))

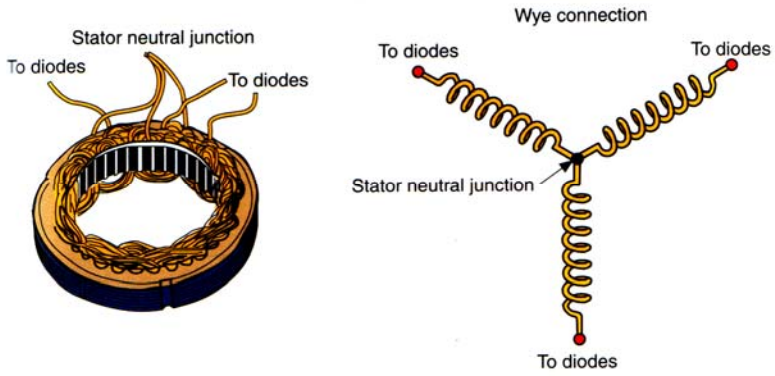
٢- ملفات على شكل دلتا Δ (دلتا هو حرف لاتيني، ويمكن أن يسمى شكل التوصيل مثلثاً)

يستخدم مُوَّلد التيار المتردد إحدى التوصيلات الموضحة لملفات العضو الساكن. يدور العضو الدوار داخل العضو الساكن دون أن يلامسه، حيث يكون هناك فراغ هوائي صغير بينهما (small air gap). المجال المغناطيسي للعضو الدوار يكون قادراً على إمداد الملفات الثلاثة للعضو الساكن في نفس الوقت بالطاقة الكهربائية المطلوبة، لذلك يكون التيار المتردد الناتج ذا قيمة عالية علواً كافياً إذا أردنا ذلك.

١- توصيل ملفات العضو الساكن على شكل نجمة (Y) (Star (Wye) - connected Stator Windings)

يستخدم توصيل ملفات العضو الساكن على شكل (Y) الموضح في شكل (٣ – ١٧) في مُوَّلد التيار المتردد في الحالات التي يكون مطلوب فيها جهد شحن عال عند سرعات الدوران المنخفضة لمحرك المركبة. تيار الخرج يكون ثابتاً على مدى واسع من سرعات دوران المحرك. يعتبر توصيل ملفات العضو الساكن على شكل (Y) الأكثر استخداماً في مُوَّلدات التيار المتردد.

يستحث التيار في كل ملف من الملفات الثلاثة بطريقة الحث الكهرومغناطيسي من المجالات المغناطيسية للعضو الدوار. في طريقة توصيل ملفات العضو الساكن على شكل (Y)، لابد أن يتوحَّد التيار لأن دائماً هناك ملفان من الثلاثة متصلة على التوالي والملف الثالث يكون متعادلاً. التيار الناتج في كل ملف يضاف إلى تيار الملف الآخر ثم يمر خلال الدايودات إلى طرف خرج المُوَّلد (شكل ٣ – ١٩ إلى اليمين). نصف التيار الناتج متاح عند نقطة التعادل (نقطة الحياد) (neutral junction). يستخدم الجهد عند نقطة التعادل، إما للتحكم في مصباح مبين الشحن أو في منظم الجهد للتحكم في تيار ملف العضو الدوار.

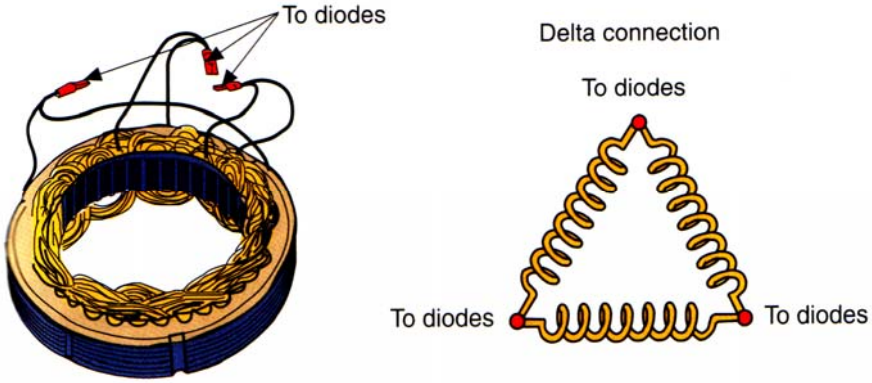


شكل (٣ – ١٧): توصيل ملفات العضو الساكن على شكل (Y)

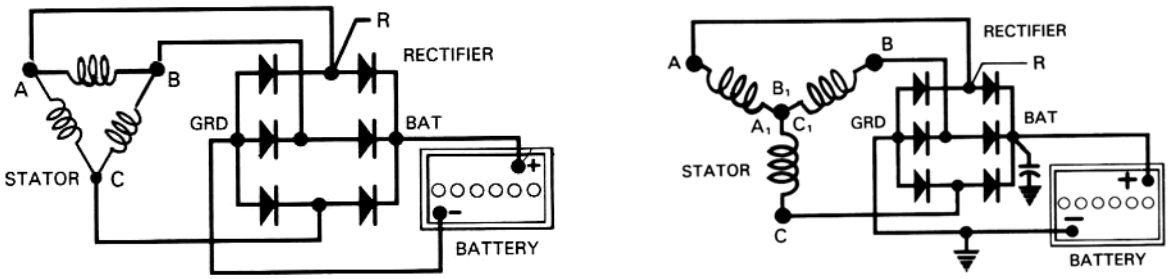
٢- توصيل ملفات العضو الساكن على شكل دلتا (Δ) (Delta - connected Stator Windings)

في حالة استخدام توصيل ملفات العضو الساكن على شكل دلتا (Δ) الموضح في شكل (٣ – ١٨) في مُوَّلد التيار المتردد، فإن المُوَّلد يكون قادراً على توليد تيار عال عند السرعات العالية ولكن عند السرعات المنخفضة لمحرك المركبة يكون تيار الخرج ضعيفاً، ويجب أن يدور المُوَّلد بسرعة عالية للحصول على أقصى خرج.

يستحث التيار في كل ملف، ثم يمر إلى الدايودات في دائرة توازي (شكل ٣ – ١٩ إلى اليسار). يمكن أن يمر تيار خلال دائرتي توازي أكبر من حالة مروره خلال دائرة توالي. توصيل ملفات العضو الساكن على شكل دلتا (Δ) ينتج حوالي ٧٣٪ تياراً أكثر من التيار المنتج في توصيل ملفات العضو الساكن على شكل (Y) (إذا التيار المنتج في حالة توصيل (Y) ٣٢ أمبير مثلاً، سنجده في حالة توصيل (Δ) يساوي ٥٥ أمبير (٣٢ X ١,٧٣)) (راجع العلاقة بين الجهد والتيار في ملفات العضو الساكن).



شكل (٣ – ١٨): توصيل ملفات العضو الساكن على شكل دلتا (Δ)



شكل (٣ – ١٩): توصيل ملفات العضو الساكن مع دايودات القدرة الستة

(إلى اليمين: توصيل على شكل Y ، إلى اليسار: توصيل على شكل Δ)

٣- العلاقة بين الجهد والتيار (U-I Relationship)

٣- ١- حالة توصيل ملفات العضو الساكن على شكل (Y):

جهد مُوَّلد التيار المتردد (alternator voltage) (U) و جهد الطور (الوجه) (phase voltage) (U_p) (مُرَكَّبة الجهد) يختلفان في القيمة بمعامل يساوي ($\sqrt{3}$) أي ١,٧٣ (شكل ٣ – ٢٠ إلى اليسار)، أما تيار المُوَّلد (alternator current) (I) فيساوي تيار الطور (الوجه phase) (I_p). العلاقة بين تيار وجهد المُوَّلد وتيار وجهد الطور تربطها المعادلات التالية:

$$U = U_p . \sqrt{3}$$

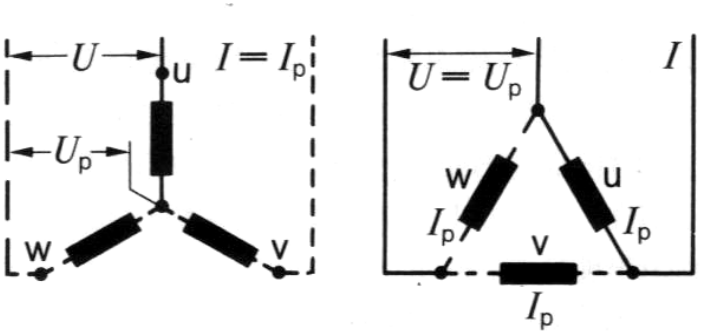
$$I = I_p$$

حيث:

U = جهد المُوَّلد (فولت) ، U_p = جهد الطور (فولت)

I = تيار المُوَّلد (أمبير) ، I_p = تيار الطور (أمبير)

p ترمز للطور أو الوجه (phase)



شكل (٣ – ٢٠): العلاقة بين التيار والجهد في ملفات العضو الساكن

(إلى اليمين: توصيل على شكل Δ ، إلى اليسار: توصيل على شكل Y ، u, v, w الأطوار (الأوجه) الثلاثة)

٣- ٢- حالة توصيل ملفات العضو الساكن على شكل (Δ):

يتطابق جهد مُوَّلد التيار المتردد (alternator current) (U) مع جهد الطور (phase current) (U_p). أما تيار المُوَّلد (alternator current) (I) و تيار الطور (الوجه) (phase current) (I_p) فيختلفان في القيمة بمعامل يساوي ($\sqrt{3}$) أي ١,٧٣ (شكل ٣ – ٢٠ إلى اليمين). العلاقة بين تيار وجهد المُوَّلد وتيار وجهد الطور تربطها المعادلات التالية:

$$U = U_p$$

$$I = I_p \cdot \sqrt{3}$$

حيث:

U = جهد المُوَّلد (فولت) ، U_p = جهد الطور (فولت)

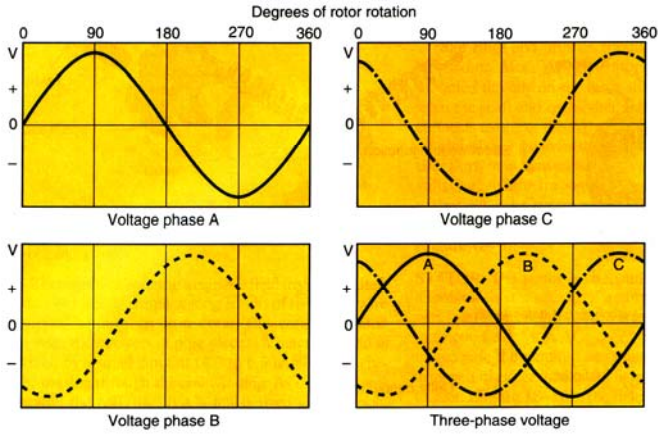
I = تيار المُوَّلد (أمبير) ، I_p = تيار الطور (أمبير)

p ترمز للطور أو الوجه (phase)

تقويم التيار المتردد (Rectifying Alternating Current (AC))

التيار في مُوَّلد التيار المتردد ينتج موجة من النبضات، نبضة موجبة (positive pulse) ثم بعد ذلك نبضة سالبة (negative pulse)، وهكذا. المحصلة النهائية لشكل الموجة (wave form)، يعرف باسم "موجة على شكل منحنى الجيب" (sine wave). الموجة التي على شكل منحنى الجيب تبدأ عند الصفر، ثم تأخذ قيماً موجبة وتهبط إلى الصفر قبل أن تأخذ قيماً سالبة. زاوية وقطبية مخالب ملف المجال في العضو الدوار، هي التي تسبب هذه الموجة على شكل منحنى الجيب في العضو الساكن.

عندما يُقطَع المجال المغناطيسي للقطب الشمالي (N) من أحد ملفات العضو الساكن، يُولِّدْ جهد موجب (positive voltage) في الملف. يُستَحَث الجهد السالب (negative voltage)، عندما يُقطَع المجال المغناطيسي للقطب الجنوبي (S) يقطع في نفس الملف. المحصلة النهائية في هذا الملف، هي تكوين جهد ذي طور واحد أو وجه واحد (single-phase voltage). الملفات الثلاثة المتداخلة مع بعضها في العضو الساكن، تنتج ثلاث موجات جهد متداخلة مع بعضها وكل منها على شكل منحنى الجيب كما في شكل (٣ – ٢١).



شكل (٣ – ٢١): الجهد المستحث في كل ملف من ملفات العضو الساكن تضاف مع بعضها مكونة جهداً ثلاثي الأطوار (الأوجه) (three-phase voltage)

مُوَّلد التيار المتردد ينتج تياراً متردداً (AC)، يجب أن يتم تحويله أو تقويمه إلى تيار مستمر (DC). تتم عملية التقويم (rectification) بتمرير التيار المتردد (AC) من خلال الموحدات (أو الدايودات أو الصمامات الثنائية) (diodes) الموضحة في شكل (٣ – ٢٢ إلى اليمين).

شكل (٣ – ٢٢): إلى اليمين: دايودات السليكون ولوح تثبيت الدايودات، إلى اليسار: الدايود الثلاثي

(a: دايود قدرة (دايود تقويم)، b: دايود إثارة)

تنقسم الدايودات في مُوَّلد التيار المتردد إلى نوعين:

١- دايودات قدرة (power diodes): عددها ٦ (ستة)، منها ٣ (ثلاثة) موجبة و ٣ (ثلاثة) سالبة، مهمتها تقويم التيار المتردد ويطلق عليها اسم "دايودات التقويم" (الدايودات ٤، ٥ في شكل ٣ – ٢٤). يستهلك دايود القدرة حوالي ٢٥ وات من قدرة الخرج للمُوَّلد.

٢- دايودات الإثارة (exciter diodes): عددها ٣ (ثلاثة) تعمل ضمن دائرة الإثارة لتوليد المجال المغناطيسي في ملف العضو الدوار (الدايودات ٦ في شكل ٣ – ٢٤). يستهلك دايود الإثارة حوالي واحد وات من قدرة الخرج للمُوَّلد.

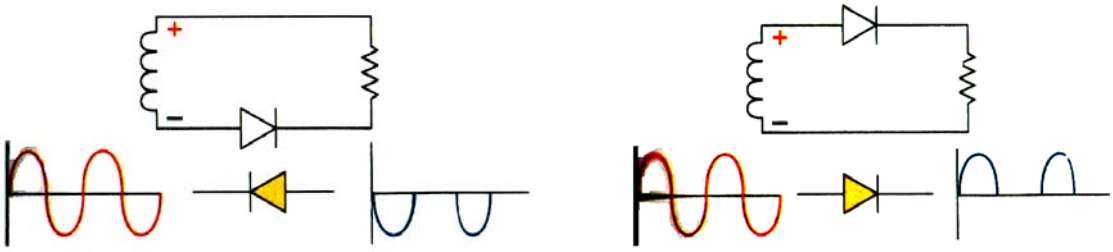
بعض أنواع مُولدات التيار المتردد تستخدم ضمن تركيبها مجموعة إضافية من ثلاثة دايودات تسمى "الدايود الثلاثي" (diode trio) (شكل ٣ – ٢٢ إلى اليسار). يستخدم الدايود الثلاثي لتقويم التيار القادم من ملفات العضو الساكن، وتستخدم في نفس الوقت لتوليد المجال المغناطيسي في ملف العضو الدوار (يعتبر بديلاً لدايودات الإثارة في الشق الثاني من الاستخدام).

١- تقويم نصف الموجة (Half-wave Rectification)

عندما يمر تيار متردد خلال دايود موجب كما في شكل (٣ – ٢٣ إلى اليمين)، يتم حجز (كبت) النبضات السالبة ونحصل على النبضات الموجبة فقط (الأنصاف الموجبة للموجة). يحدث نفس الأسلوب إذا

تم عكس الدايود (مع مرور التيار خلال دايود سالب)، حيث يتم حجز النبضات الموجبة ونحصل على النبضات السالبة فقط (الأنصاف السالبة للموجة) كما في شكل (٣ – ٢٣ إلى اليسار).

تسمى كل عملية من العمليتين السابقتين بتقويم نصف الموجة (half-wave rectification) نظراً لقدرة نصف الموجة فقط (الموجبة أو السالبة) على المرور خلال الدايود (شكل ٣ – ٢٤ إلى اليسار).



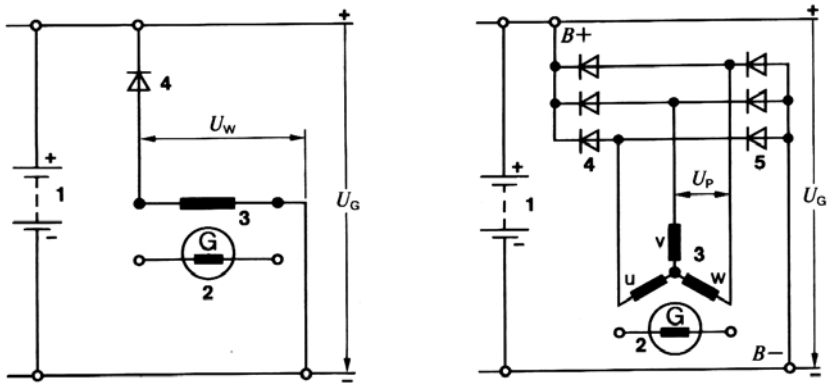
شكل (٣ – ٢٣): تقويم نصف الموجة من خلال دايود

(إلى اليمين: تقويم نصف موجة باستخدام دايود موجب، إلى اليسار: تقويم نصف موجة باستخدام دايود سالب)

٢- تقويم الموجة الكاملة (Full-wave Rectification)

بإضافة عدد أكبر من دايودات التقويم للدائرة البسيطة السابقة الموضحة في شكل (٣ – ٢٤ إلى اليسار)، نحصل على دائرة التقويم الموضحة في شكل (٣ – ٢٤ إلى اليمين) ويمكن تقويم كم أكبر من الموجات. تقويم كل موجات تيار ملفات العضو الساكن المتردد (جميع أنصافها الموجبة وأنصافها السالبة) وتحويله إلى تيار مستمر، تسمى هذه العملية "تقويم الموجة الكاملة" (full-wave rectification).

بالرجوع إلى شكل (٣ – ٢٤ إلى اليمين)، نجد أن دائرة تقويم تيار ملفات العضو الساكن الموصلة على شكل (Y) الموضحة عبارة عن ٦ (ستة) دايودات تقويم نصفها دايودات تقويم موجبة والثلاثة الأخرى دايودات سالبة. من أجل تقويم أنصاف الموجات بما فيها الأنصاف السالبة المكبوتة، هناك اثنان من الدايودات لكل طور (وجه) أحدهما على الجانب الموجب (عند الطرف +B) والآخر على الجانب السالب (عند الطرف – B). تمر أنصاف الموجات الموجبة (positive half-waves) خلال دايودات اللوح الموجب (الدايودات الموجبة الثلاثة) وتمر أنصاف الموجات السالبة (negative half-waves) خلال دايودات اللوح السالب (الدايودات السالبة الثلاثة)، وبذلك يتم تقويمها جميعاً من خلال دائرة التقويم ذات الدايودات الستة الموضحة في شكل (٣ – ٢٤ إلى اليمين).

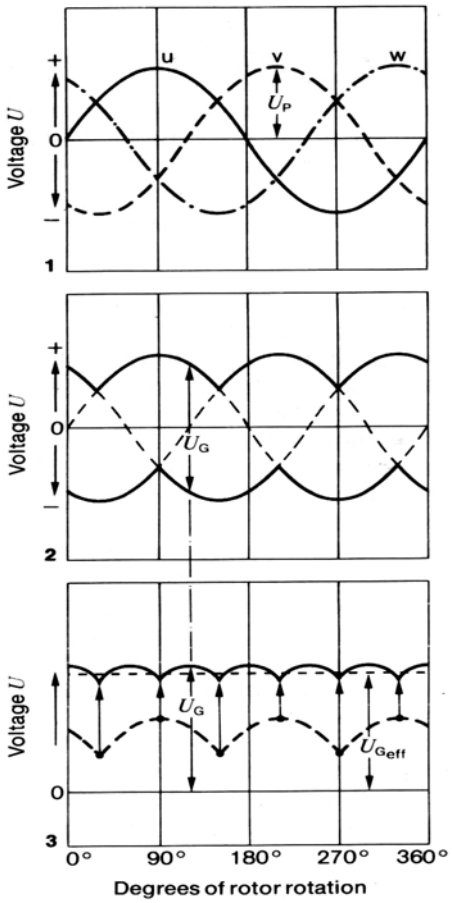


شكل (٣ – ٢٤): دائرة تقويم التيار المتردد في ملفات العضو الساكن موصلة على شكل (Y)

(إلى اليسار: دائرة تقويم نصف موجة في ملف واحد ، إلى اليمين: دائرة تقويم الموجة الكاملة في كل الملفات)

(١- بطارية ٢- ملف الإثارة ٣- ملفات العضو الساكن ٤- دايودات تقويم موجبة ٥- دايودات تقويم سالبة)

(U_W: الجهد قبل الدايود ، U_P: جهد الطور ، U_G: الجهد النبضي بعد الدايود (جهد المُوَّلد))



شكل (٣ – ٢٥): تقويم الموجة الكاملة لأنصاف الموجات الموجبة والأنصاف السالبة

(١- موجات الجهد ثلاثي الأطوار ٢- تشكيل جهد المُوَّلد من قمم الأنصاف الموجبة والأنصاف السالبة للموجات

٣- الجهد المُقَوَّمْ للمُوَّلد تم تشكيله بتجميع القمم في شكل (٢)، u, v, w الأطوار الثلاثة)

شكل (٣ – ٢٥) يوضح تقويم الموجات الكاملة للملفات الثلاثة للعضو الساكن المتصلة على شكل (Y) (شكل ٣ – ٢٥ – ١)، ويظهر تقويم الأنصاف الموجبة للموجات في النصف العلوي من شكل (٣ – ٢٥ – ٢) وتقويم الأنصاف السالبة للموجات السالبة في النصف السفلي من نفس الشكل. بإضافة القمم الموجبة إلى القمم السالبة من منحنيات أنصاف الموجات، نحصل على الشكل النهائي لتقويم موجات الملفات الثلاثة للعضو الساكن المبين في شكل (٣ – ٢٥ – ٣). الجهد المُقَوَّم للمُوَّلد عبارة عن جهد في صورة تتابع موجي صغير (slightly rippled rectified voltage). تتم معالجة التموج في الدائرة باستخدام المكثفات. القيم الفعلية النهائية للجهد المُقَوَّمْ (جهد الخرج للمُوَّلد) معبراً عنها بالقيمة (U_{eff}).

تيار الإثارة المار إلى ملف العضو الدوار، يؤخذ من الدائرة ثلاثية الأطوار ويتم تقويمه أيضاً قبل مروره إلى ملف العضو الدوار.

٣- إعاقة التيار العكسي (Reverse-current Block)

دايودات المُقَوِّمْ في مُوَّلد التيار المتردد، لا تقوم فقط بتقويم تيار الإثارة وتيار المُوَّلد، ولكنها تحمي البطارية من التفريغ خلال الملفات ثلاثية الأطوار في العضو الساكن فيما يسمى بإعاقة التيار العكسي (reversed-current block).

عندما يتوقف محرك المركبة عن العمل أو أثناء دورانه بسرعة منخفضة جداً (أثناء بدء الإدارة)، لا تحدث إثارة ذاتية للمُوَّلد ويحاول تيار البطارية المرور خلال ملفات العضو الساكن لكن وجود الدايودات يمنع ذلك. تسمح الدايودات فقط بمرور التيار من المُوَّلد إلى البطارية ولا يسمح بالعكس.

دوائر موَّلدات التيار المتردد ثلاثية الأطوار (The Circuits of the Alternators)

في مُوَّلد التيار المتردد، توجد الدوائر الثلاث الآتية:

١- دائرة الإثارة الأولية (Pre-excitation Circuit): (إثارة خارجية بواسطة تيار البطارية)

٢- دائرة الإثارة أو دائرة الإثارة الذاتية (Excitation or Self-excitation Circuit)

٣- دائرة المُوَّلد أو الدائرة الرئيسة (Alternator or Main Circuit)

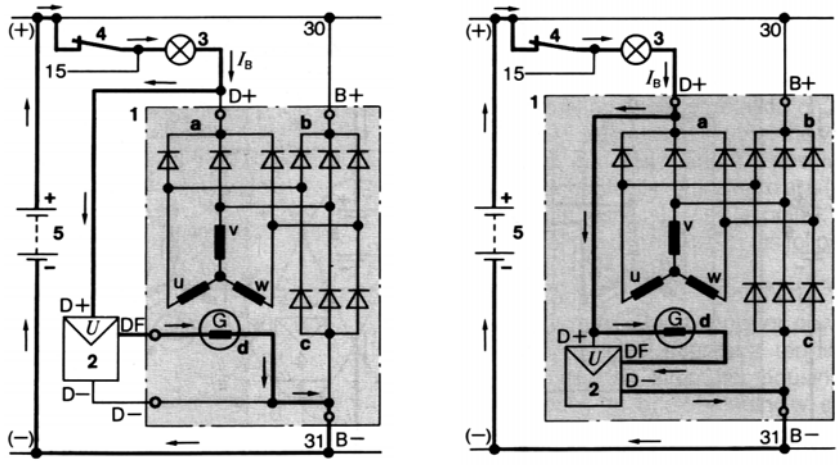
سيتم فيما يلي تناول هذه الدوائر بالتفصيل على أحد المُوَّلدات التي يستخدم العضو الساكن بها ملفات موصلة على شكل (Y) الأكثر استخداماً في غالبية المُوَّلدات.

١- دائرة الإثارة الأولية (Pre-excitation Circuit)

عند تشغيل مفتاح الإشعال (٤) كما هو موضح في شكل (٣ – ٢٦ إلى اليمين)، يمر تيار البطارية (I_B) عن طريق مصباح بيان الشحن (٣) إلى ملف الإثارة (d) في العضو الدوار ومنه إلى الأرضي عن طريق المنظم (٢). في حالة المنظم المثبت على الجسم الخارجي للمُوَّلد (G) (شكل ٣ – ٢٦ إلى اليسار)، يمر التيار أولاً من خلال المنظم (٢) وفقط بعد ذلك إلى ملف الإثارة في العضو الدوار (d). بهذه الطريقة يكون تيار البطارية قد أحدث إثارة أولية في المُوَّلد.

السؤال هو: لماذا يجب عمل إثارة أولية في المُوَّلد ؟. الإجابة: أن المغناطيسية المتبقية في القلب الحديدي لملف الإثارة في لحظة بدء الإدارة أو عند السرعات المنخفضة لمحرك المركبة، ليست كافية لإحداث الإثارة الذاتية اللازمة لبناء المجال المغناطيسي وبالتالي لتوليد الجهد المطلوب.

في دائرة الإثارة، يتصل دايود قدرة (دايود سالب)(c) مع دايود إثارة (a) على التوالي مع كل طور من الأطوار الثلاثة. لا يمكن أن تبدأ الإثارة الذاتية قبل أن يتغلب المُوَّلد على الهبوط في الجهد لهذه الدايودات (مقداره ٠,٧X٢ = ١,٤ فولت)، وهذا بالتحديد ما يفعله تيار الإثارة الأولية. المجال المغناطيسي الكبير الذي يسببه الاستهلاك الكافي للتيار في مصباح بيان الشحن (٣)، يساعد في بدء الإثارة الأولية. حتى لو كان محرك المركبة يدور عند سرعة التباطؤ، فإن مجال الإثارة يكون قوياً بدرجة تجعل الإثارة في المُوَّلد تحدث ذاتياً دون إثارة خارجية من تيار البطارية.



شكل (٣ – ٢٦): دائرة الإثارة الأولية

(إلى اليمين: مع منظم مثبت داخل المُوَّلد ، إلى اليسار: مع منظم مثبت على الجسم الخارجي للمُوَّلد)

(١- المُوَّلد ، a: دايودات الإثارة، b: الدايودات الموجبة، c: الدايودات السالبة، d: ملف الإثارة، ٢- المنظم، ٣- مصباح بيان الشحن،
٤- مفتاح الإشعال، ٥- البطارية)

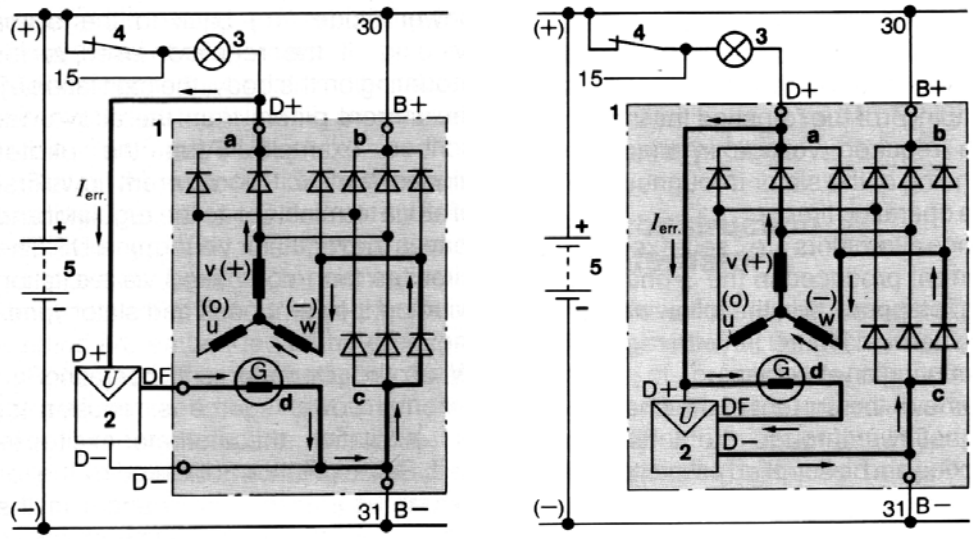
١- ١- مصباح التحذير بالمُوَّلد (Alternator Warning Lamp)

مصباح التحذير بالمُوَّلد أو مصباح بيان الشحن، يوجد أمام قائد المركبة ضمن مجموعة العدادات ولمبات البيان الأخرى، لبيان عمل المُوَّلد من عدمه.

مصباح التحذير بالمُوَّلد (٣) يعمل ضمن دائرة الإثارة الأولية، ويعمل كمقاومة عندما يوضع مفتاح الإشعال (٤) أو مفتاح القيادة في وضع تشغيل. أثناء بدء إدارة محرك المركبة وعندما يمر تيار كافٍ خلال المصباح، يسبب تيار الإثارة الأولية مجالاً مغناطيسياً قوياً بالدرجة التي تجعل دائرة الإثارة الذاتية تبدأ عملها.

نتيجة لفرق الجهد بين المُوَّلد (G) والبطارية (٥)، يمر تيار الإثارة الأولية من القطب الموجب للبطارية إلى الطرف الموجب للمُوَّلد عن طريق مصباح التحذير بالمُوَّلد. استمرار مصباح التحذير مضيئاً يعني أنه لا يمر تيار في دائرة الإثارة، وعندما تنطفئ يعني ذلك بدء عمل دائرة الإثارة الذاتية وأن المُوَّلد قد بدأ يغذي النظام الكهربائي في المركبة بالطاقة الكهربائية اللازمة.

المقننات الطبيعية لمصباح التحذير بالمُوَّلد هي: ٢ وات للأنظمة ١٢ فولت، و ٣ وات للأنظمة ٢٤ فولت.



شكل (٣ – ٢٧): دائرة الإثارة الذاتية

(إلى اليمين: مع منظم مثبت داخل المُوَّلد، إلى اليسار: مع منظم مثبت على الجسم الخارجي للمُوَّلد)

(١- المُوَّلد، a: دايودات الإثارة، b: الدايودات الموجبة، c: الدايودات السالبة، d: ملف الإثارة، ٢- المنظم، ٣- مصباح بيان الشحن،
٤- مفتاح الإشعال، ٥- البطارية)

٢- دائرة الإثارة (دائرة الإثارة الذاتية) (Excitation (Self-excitation) Circuit)

واجب دائرة الإثارة (شكل ٣ – ٢٧)، هو إنتاج المجال المغناطيسي في ملف الإثارة (d) في العضو الدوار ومن ثم حث الجهد المطلوب في الملفات ثلاثية الأطوار للعضو الساكن (u, v, w) طوال زمن التشغيل.

في حالة المنظم المثبت داخل المُوَّلد، جزء من تيار ملفات العضو الساكن الثلاثية الأطوار يمر خلال دايودات الإثارة الثلاثة، ثم يتم إمداد ملف الإثارة بالعضو الدوار والمنظم (الطرف DF) بهذا التيار عن طريق الفرش الكربونية وحلقات المُجَمِّع المنزلقة. المسار الآخر عن طريق الطرف (– D) و دايود القدرة (1c) ويرجع إلى ملفات العضو الساكن (شكل ٣ – ٢٧ إلى اليمين).

إذا كان المنظم المستخدم مثبتاً على جسم المُوَّلد، فإن مسار التيار يختلف عن الحالة السابقة (شكل ٣ – ٢٧ إلى اليسار). بعد ملفات الإثارة، يمر تيار الإثارة أولاً إلى المنظم عن طريق الطرف، (+D) ثم يترك المنظم عن طريق الطرف (DF). تكتمل الدائرة بعد ذلك عن طريق ملف الإثارة و دايودات القدرة وملفات العضو الساكن.

عندما يعمل المُوَّلد، لا تعدد هناك حاجة لأية طاقة خارجية لعمل الإثارة الذاتية، حيث تتم الإثارة عن طريق المُوَّلد نفسه (إثارة ذاتية). الإثارة الذاتية تبدأ بواسطة المغناطيسية المتبقية في القلب الحديدي لملف الإثارة. عندما يبدأ المُوَّلد في العمل، تستحث المغناطيسية المتبقية (بمعاونة الإثارة الأولية) جهداً بسيطاً في ملفات العضو الساكن. يتسبب هذا الجهد وبأثر رجعي في مرور تيار صغير في ملف العضو الدوار، ومن ثم يقوي المجال المغناطيسي فيزيد جهد العضو الساكن مرة أخرى.

يتكرر هذا الفعل المتبادل باستمرار كلما تزداد سرعة الدوران، إلى أن تحدث الإثارة الكاملة في المُوَّلد ويتم الوصول إلى الجهد المطلوب للمُوَّلد.

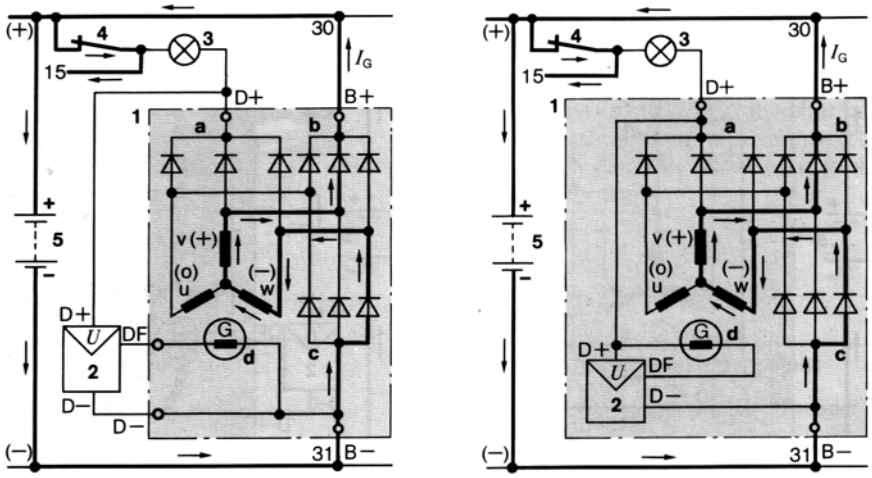
٣- دائرة المُوَّلد (الدائرة الرئيسة) ((Alternator Circuit (Main Circuit))

جهد المُوَّلد المستحث في الأطوار الثلاثة لملفات العضو الساكن، يجب تقويمه بواسطة دايودات القدرة في دائرة التقويم (راجع شكل ٣ – ٢٤ إلى اليمين). مسار تيار المُوَّلد (التيار الرئيس) يمكن ملاحظته في شكل (٣ – ٢٨).

مثال: عند زاوية دوران ٣٠° للعضو الدوار ذي ستة أزواج من الأقطاب، يكون الجهد في نهاية الملف (v) موجباً، بينما يكون سالباً في نهاية الملف (w) وصفراً عند نهاية الملف (u) (شكل ٣ – ٢٩). مسار التيار في هذه الحالة كما هو موضح في شكل (٣ – ٢٨) كالتالي: نهاية الملف (v)، دايود القدرة (1b)،

طرف المُوَّلد (+B)، البطارية، الأرضي، طرف المُوَّلد (– B) (عادة يكون جسم المُوَّلد)، دايود القدرة (1c)، نهاية الملف (w)، ثم نقطة التعادل (نقطة الحياد) لملفات العضو الساكن.

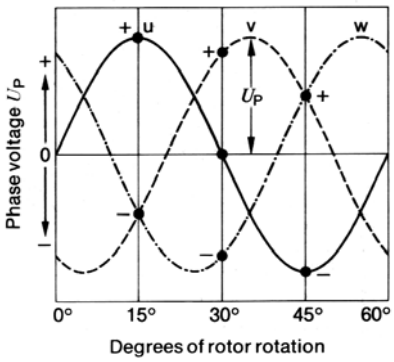
مثال آخر: عند زاوية دوران ٣٠° للعضو الدوار (شكل ٣ – ٢٩)، نجد أن جميع الملفات بها جهد (موجب في (v, w) وسالب في (u)). يكون مسار التيار بنفس الكثافة من نهايات الملفات (v, w) إلى البطارية والأحمال الكهربائية الأخرى عن طريق الدايودات الموجبة (1b)، ثم يعود إلى نقطة التعادل (نقطة الحياد) عن طريق الدايودات السالبة (1c).



شكل (٣ – ٢٨): الدائرة الرئيسة (دائرة المُوَّلد)

(إلى اليمين: مع منظم مثبت داخل المُوَّلد، إلى اليسار: مع منظم مثبت على الجسم الخارجي للمُوَّلد)

(١- المُوَّلد، a: دايودات الإثارة، b: الدايودات الموجبة، c: الدايودات السالبة، d: ملف الإثارة، ٢- المنظم، ٣- مصباح بيان الشحن، ٤- مفتاح الإشعال، ٥- البطارية)



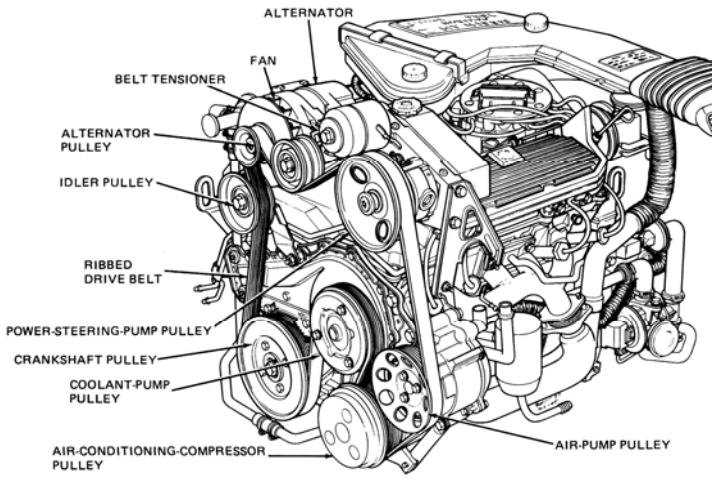
شكل (٣ – ٢٩): منحنى الجهد في ملفات العضو الساكن (u, v, w) كدالة في زاوية دوران العضو الدوار ذي ستة أزواج من الأقطاب

المثالان السابقان مرتبطان بأوضاع لحظية للعضو الدوار، لكن في الواقع، فإن جهود الأطوار تتغير قيمها واتجاهاتها باستمرار. على العكس، نجد أن التيار المستمر (عند الطرف +B و الطرف 15) الذي يقوم بشحن البطارية ويغذي الأحمال الكهربائية في المركبة، يحافظ دائماً على نفس اتجاه مروره. لكي يمر التيار من المُوَّلد إلى البطارية، لابد أن يكون جهد المُوَّلد أعلى من جهد البطارية.

يجب عدم الخلط بين الجهد المقرر للمُوَّلد وجهد البطارية، فإذا كان الجهد المقرر للمُوَّلد ١٤ فولت فإن جهد البطارية المستخدمة يكون ١٢ فولت، أما إذا كان الجهد المقرر للمُوَّلد ٢٨ فولت فإن جهد البطارية المستخدمة يكون ٢٤ فولت.

إدارة موَّلد التيار المتردد (Alternator Drive)

تتم إدارة مُوَّلدات التيار المتردد مباشرة عن طريق محرك المركبة كما في شكل (٣ – ٣٠). تتم عملية إدارة المُوَّلد، إما بواسطة سير إدارة (drive belt) على شكل حرف (V) (V-belt)، وإما في حالات قليلة بواسطة ازدواج مرن (flexible coupling).



شكل (٣ – ٣٠): إدارة المُوَّلد عن طريق محرك المركبة مباشرة

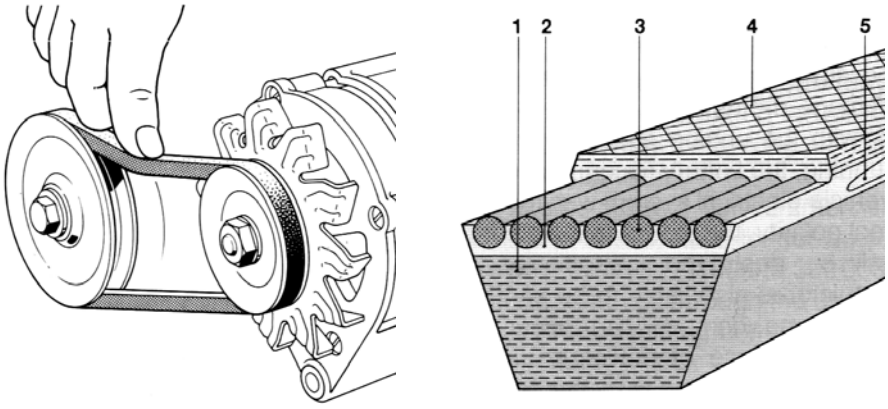
يعتبر سير الإدارة أهم جزء في عملية نقل القدرة من محرك المركبة إلى المُوَّلد، لذلك يجب أن يتمتع بالمواصفات الآتية:

١- مادة صنع سير الإدارة، يجب أن تكون ذات مقاومة انحناء كبيرة.

٢- أن يكون معامل التمدد الطولي قليلاً لمنع الانزلاق المرتبط بالحرارة وتآكل جوانب السير.

من المهم استخدام سير إدارة على شكل حرف (V) بالمواصفات المذكورة ويكون ذا عمر افتراضي طويل. يمكن أن يكون هناك سير إدارة خاص بالمُوَّلد يصل بين بكرتين (two pulleys) إحداهما مثبتة على عمود مرفق محرك المركبة والأخرى مثبتة في نهاية عمود العضو الدوار من جهة مروحة التبريد، كما يمكن أن تتم إدارة بكرة المُوَّلد ضمن سير خاص يدير مجموعة بكرات لمكونات أخرى في محرك المركبة في آن واحد (مثل بكرة مضخة التوجيه المساعد ومكيف الهواء وغيرها) كما هو مبين في شكل (٣ – ٣٠). المُوَّلدات الصغيرة تدار بواسطة سير واحد، أما المُوَّلدات الكبيرة فتدار بواسطة اثنين من سيور الإدارة.

سير الإدارة على شكل حرف (V) يتم تصنيعه طبقاً لتصميم الجانب المفتوح (open flank) كما في شكل (٣ – ٣١ إلى اليمين)، وهذا يعطي السير جساءة مستعرضة (transverse rigidity) تجعله يقاوم التآكل. يركب شداد لسير الإدارة حتى يكون الشد في السير (V-belt tension) دائماً صحيحاً، حيث إن العمر الافتراضي للسير والمحامل الكروية للمُوَّلد (alternator bearings) يعتمد على الشد الصحيح لسير الإدارة (شكل ٣ – ٣١ إلى اليسار). يستخدم مقياس شد لمعرفة قيمة الشد في السير، كما يمكن تقدير الشد بضغط اليد حسب خبرة الفني القائم بالإصلاح.

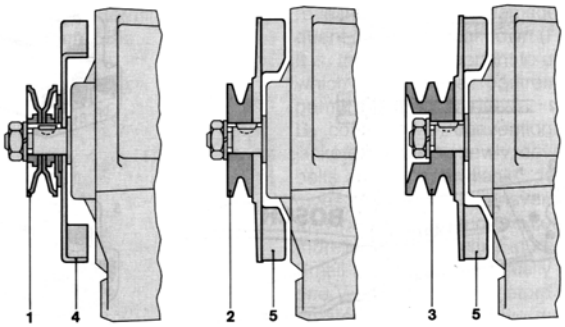


شكل (٣ – ٣١): تصميم سير إدارة المُوَّلد ذي الجانب المفتوح وأهمية التأكد من الشد في السير
(١- خليط من قطع ألياف قصيرة ٢- وسادة مُرَكَّبة ٣- خيوط خاصة ٤- غطاء نسيجي ٥- الجوانب المفتوحة)

يجب أن يكون هناك توافق بين نوع بكرة إدارة المُوَّلد ومروحة التبريد كما في شكل (٣ – ٣٢)،

حيث يمكن أن يتم تصنيعها بالكبس أو بالخراطة.

اختيار قطر بكرة المُوَّلد يعتمد على نسبة نقل الحركة (transmission ratio) بين محرك المركبة والمُوَّلد.



شكل (٣ – ٣٢): التوافق بين نوع بكرة إدارة المُوَّلد ومروحة التبريد

(بكرة الإدارة: ١- بالكبس ٢- بالخراطة ذات مجرى لسير واحد ٣- بالخراطة ذات اثنين من المجاري لاثنين من السيور)

(مروحة التبريد: ٤- بالكبس ٥- بالسباكة من الألمنيوم)

تبريد موَّلد التيار المتردد (Alternator Cooling)

الحرارة المتولدة من المحرك ومجمع العادم، تنتقل إلى المُوَّلد بالإشعاع (radiation) وبالتوصيل (conduction)، إلى جانب الحرارة المتولدة داخل المُوَّلد نفسه من مكوناته الداخلية، تؤثر تأثيراً كبيراً على أداء المُوَّلد وعمره الافتراضي.

التأثير المباشر للحرارة التي يتعرض لها المُوَّلد، يظهر على أداء الدايودات ويجب التخلص الفوري من هذه الحرارة. يجب ألا تزيد درجة الحرارة المسموح بها للجو المحيط بالمُوَّلد عن ٧٠ أو ٨٠°م حسب نوع المُوَّلد.

تنقسم مُوَّلدات التيار المتردد بحسب طريقة التبريد، إلى نوعين هما:

١- مُوَّلدات ذات تهوية داخلية (internally ventilated alternators)

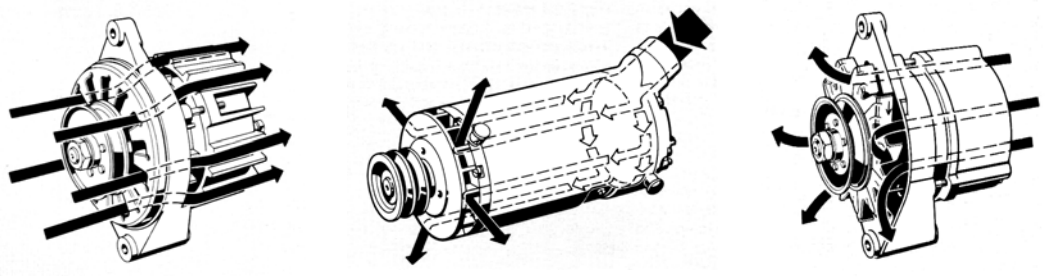
٢- مُوَّلدات ذات تبريد خارجي (externally cooled alternators)

١- مُوَّلدات ذات تهوية داخلية (Internally Ventilated Alternators)

تعتبر التهوية الداخلية من أفضل طرق التبريد شيوعاً في مُوَّلدات التيار المتردد. تستخدم مروحة تبريد ذات الاتجاه الأوحد للدوران (شكل ٣ – ٣٣ إلى اليمين)، أو مروحة ذات اتجاهين للدوران (شكل ٣ – ٣٣ في الوسط). المروحة ذات الاتجاه الأوحد للدوران، تستخدم مع مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب

المخلبية (claw-pole alternators)، بينما تستخدم المروحة ذات الاتجاهين للدوران مع مُولدات التيار المتردد ذات الأقطاب البارزة (salient-pole alternators).

يجب أن توضع ريش المروحة بطريقة لا تماثلية على محيطها، حتى لا يحدث الصفير المسبب للضوضاء عند سرعات دوران معينة.



شكل (٣ – ٣٣): أنواع مُولدات التيار المتردد بحسب طريقة التبريد

(إلى اليمين: مُوَّلد ذو أقطاب مخلبية ومروحة تهوية داخلية ذات اتجاه دوران أوحد، في الوسط: مُوَّلد ذو أقطاب بارزة ومروحة تهوية داخلية ذات اتجاهين للدوران ومأخذ هواء، إلى اليسار: مُوَّلد ذو أقطاب مخلبية ومروحة تبريد خارجي ذات مسار انحنائي لمرور الهواء)

في مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب المخلبية (claw-pole alternators) (شكل ٣ – ٣٣ إلى اليمين)، مروحة التبريد تدور في اتجاه عقارب الساعة لتسحب الهواء خلال المُوَّلد. يدخل الهواء من فتحات الغطاء الخلفي للمُوَّلد ويمر على ألواح الدايودات وحلقات المُجَمِّعْ المنزلقة، ويكمل مساره خلال المُوَّلد ويخرج من فتحات الغطاء الأمامي جهة مروحة التبريد.

في مُولدات التيار المتردد ذات الأقطاب البارزة (salient-pole alternators) (شكل ٣ – ٣٣ في الوسط)، تم استبدال فتحات دخول وخروج الهواء بمأخذ خاص للهواء. يتم سحب الهواء البارد من خارج غرفة محرك المركبة (لتفادي بلوغ درجة الحرارة داخل غرفة المحرك قيمة أكبر من المسموح بها). يسحب الهواء البارد خلال المُوَّلد ويخرج من بين ريش المروحة التي يمكن أن تدور في اتجاه أو عكس اتجاه عقارب الساعة. في بعض الحالات، توضع المروحة داخل المُوَّلد في نهاية الحلقات المنزلقة على عمود العضو الدوار، ويجب أن يكون غطاء المُوَّلد جهة المروحة به فتحات لخروج الهواء المسحوب بواسطة المروحة الداخلية.

٢- مُوَّلدات ذات تبريد خارجي (Externally Cooled Alternators)

تستخدم طريقة التبريد الخارجي (شكل ٣ – ٣٣ إلى اليسار) مع المُوَّلدات التي تعمل في الظروف

الجوية المترية والعالية الرطوبة ولها جسم خارجي مغلق، لذلك يجب تبريدها من الخارج. توضع على الجسم الخارجي مجموعة أضلاع على شكل زعانف تمتص الحرارة من داخل المُوَّلد بالتوصيل، وتستخدم مروحة تبريد ذات مسار انحنائي للهواء بحيث يمر الهواء على الزعانف ويأخذ الحرارة بالحمل (convection). الهواء المسحوب من الأمام بواسطة المروحة يمر من خلال فتحات في الغطاء الأمامي للمُوَّلد.

تشبه طريقة التبريد الخارجي، إلى حد ما طريقة تبريد محركات الاحتراق الخارجي بالهواء.

٣- تبريد الدايودات (Diodes Cooling)

يجب التخلص من الحرارة المتولدة في الدايودات المصنوعة من أشباه الموصلات والمصممة بحيث تتحمل درجة حرارة معينة، حتى نضمن أداء جيداً لها طوال عمل المُوَّلد.

الألواح الحاملة للدايودات بها فتحات ومصممة بحيث تكون مساحات سطحها كبيرة ومن مواد لها توصيل حراري جيد، تسمح لها بنقل الحرارة المتولدة في الدايودات إلى هواء التبريد المار من خلالها.

٤- مُوَّلدات التيار المتردد ذات التبريد بالماء (Water-cooled Alternators)

هو تصميم حديث من المُوَّلدات، يستخدم الماء أو أي سائل تبريد آخر للتبريد. (في بعض الأحيان يستخدم الزيت كسائل تبريد) في عملية تبريد المُوَّلد، يجعل عملية التبريد ذات كفاءة عالية جداً ويضمن عمل الدايودات في درجة حرارة منخفضة. تتميز هذه الأنواع من المُوَّلدات بالانخفاض الشديد في مستوى الضوضاء الصادر أثناء عملها بسبب عدم وجود مروحة التبريد التي تعتبر أحد مصادر الضوضاء في غرفة محرك المركبة. يحتوي جسم المُوَّلد على قميص ماء (يشبه قمصان تبريد أسطوانات محركات المركبات). تتميز هذه الأنواع من المُوَّلدات، إلى جانب قلة الضوضاء، بقدرة خرج عالية وقدرة على تحمل درجات الحرارة العالية في غرفة المحرك.

أنواع موَّلدات التيار المتردد (Types of Alternators)

عند تصميم مُوَّلدات التيار المستمر، يجب الاهتمام الشديد بالمعايير التالية:

١- نوع المركبة وظروف التشغيل المصاحبة لها.
٢- الحجم، والنوع، ومدى سرعات دوران محرك المركبة التي سيستخدم عندها المُوَّلد.
٣- جهد النظام الكهربائي في المركبة.
٤- القدرة المطلوبة للأحمال الكهربائية والإلكترونية المختلفة في المركبة.
٥- التأثيرات الجوية المحيطة مثل: الحرارة، الأتربة، الرطوبة، الاهتزازات، وغيرها.

٦- العمر الافتراضي المتوقع.

٧- المساحة المخصصة في غرفة المحرك لتركيب المُوَّلد.

إلى جانب هذه المعايير، لابد أن يؤخذ الجانب الاقتصادي في الاعتبار عند تصميم مُوَّلد التيار المتردد. لابد من التأكيد على أنه لا يمكن الحصول على مُوَّلد يلبي جميع المتطلبات المختلفة للاستخدام في المركبات المتعددة. من أجل ذلك، تم تطوير أنواع مختلفة من مُوَّلدات التيار المتردد وبأعداد كبيرة من الطرز والموديلات التي تعطي صانعي المركبات فرصة الاختيار المناسب لمُوَّلد التيار المتردد المستخدم في مركباتهم.

يختلف تصميم وتركيب مُوَّلد التيار المتردد بالنسبة لطبيعة استخدام المركبة و المتطلبات الكهربائية للمركبة.

هناك الكثير من مُوَّلدات التيار المتردد مختلفة الأنواع والأحجام والمواصفات، والتي تجعل عملية اختيار المُوَّلد فيما بعد تتم على أساس صحيح، ومن أمثلة ذلك:

١- مقنن تيار الخرج: في المركبات الصغيرة من ٤٠ إلى ٨٥ أمبير، المركبات ذات الاستخدام الخاص (مثل مركبات الشرطة) من ٩٠ إلى ١٢٠ أمبير، والشاحنات من ١٠٥ إلى ١٦٠ أمبير.

٢- عدد الأقطاب: بعض المُوَّلدات ذات ١٢ قطب أو ١٤ قطب أو ١٦ قطب.

٣- مكان المنظم: قد يكون داخل المُوَّلد أو على جسم المُوَّلد الخارجي (على غطاء مجموعة الدايودات) أو بعيداً عن المُوَّلد.

٤- طريقة التبريد: تبريد خارجي أو تبريد داخلي.

٥- مكان مروحة التبريد: داخل المُوَّلد أو خارجه

٦- شكل مروحة التبريد، بكرة الإدارة، ونوع محامل العضو الدوار.

٧- تثبيت الدايودات: بالكبس في أماكنها أو بالقلاووظ أو تأتي وحدة واحدة مثل الدايود الثلاثي (diode trio).

٨- نوع العضو الدوار: ذو أقطاب مخلبية أو ذو أقطاب بارزة أو بدون ملف إثارة.

هذه الفروق في التصميمات، تفيد في تأكيد حقيقة تقول بأنه مهما يكن تصميم المُوَّلد، تقوم الدايودات بتقويم التيار المتردد من ملفات العضو الساكن ليمر في صورة تيار مستمر عند طرف خرج المُوَّلد. العضو الدوار (المجال المغناطيسي)، العضو الساكن (الموصلات)، الدايودات (المُقوِّمَات)، تعمل كفريق واحد لإنتاج تيار مستمر يحفظ البطارية في حالة شحن تام ويمد الدوائر والأنظمة الكهربائية والإلكترونية في المركبة بالطاقة الكهربائية اللازمة.

عملية اختيار مُوَّلد معين للتيار المتردد، محكومة بعدة أمور كهربائية (إلى جانب المعايير التي تم ذكرها في بداية هذا الجزء)، منها (راجع اختيار المُوَّلد المناسب للمركبة خلال هذا الفصل):

١- جهد المُوَّلد (١٤ فولت، ٢٨ فولت)

٢- مقنن التيار أو التيار الأقصى

٣- القدرة الكهربائية الممكنة (بضرب التيار X الجهد)

من أهم أنواع مُوَّلدات التيار المستمر التي تم تطويرها لتناسب ظروف الخدمة المختلفة، و مدى القدرة، والأنواع المختلفة للمركبات ومحركاتها، ما يلي:

١- مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب المخلبية مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة
(Claw-pole Alternators with Collector Rings)

٢- مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب البارزة مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة
(Salient-pole Alternators with Collector Rings)

٣- مُوَّلدات التيار المتردد ذات العضو الدوار بدون ملف (بدون حلقات مُجَمِّعْ منزلقة)
(Alternators with Winding less rotor (without collector rings))

١- مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب المخلبية مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة
(Claw-pole Alternators with Collector Rings)

تم تناوله من قبل خلال هذه الوحدة بالتفصيل، من حيث التركيب وطريقة العمل والدوائر الكهربائية المختلفة الخاصة به. سنكتفي ببعض الملحوظات حول هذا النوع من المُوَّلدات.

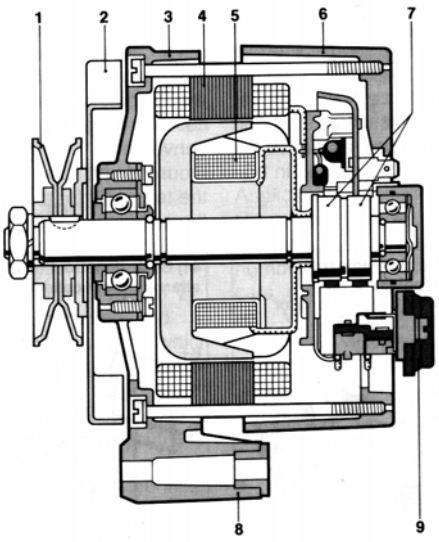
يتميز مُوَّلد التيار المتردد ذو الأقطاب المخلبية مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة (شكل ٣ – ٣٤) بأنه مدمج التكوين مع خصائص قدرة مناسبة، ووزن صغير.

يستخدم مُوَّلد التيار المتردد ذو الأقطاب المخلبية مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة في المركبات الصغيرة ومركبات الأغراض التجارية ومركبات الجر. تستخدم مركبات الإشعال بالشرارة، الأنواع من الطراز G1 وK1 وN1 (شكل ٣ – ٣٥) من مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب المخلبية مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة. النوع من طراز T1 (شكل ٣ – ٣٥)، ذو قدرة خرج عالية، ويستخدم مع المركبات ذات المتطلبات العالية من القدرة الكهربائية مثل الأتوبيسات.

يتوافر مُوَّلد التيار المتردد ذو الأقطاب المخلبية مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة بحيث يكون عدد الأقطاب ١٢ أو ١٤ أو ١٦. يتم تقويم التيار المتردد بواسطة ٦ دايودات قدرة (٣ موجبة، ٣ سالبة) لتحويله إلى تيار مستمر. تقويم تيار الإثارة يتم بواسطة ٣ دايودات إثارة.

يستخدم منظم جهد ترانزستوري تكاملي في معظم أنواع مُوَّلد التيار المتردد ذي الأقطاب المخلبية

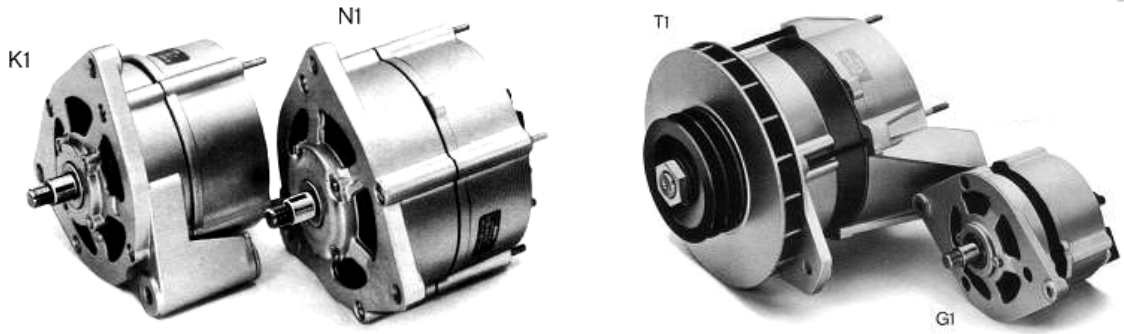
مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة.



شكل (٣ – ٣٤): مُوَّلد التيار المتردد ذو الأقطاب المخلبية مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة

(١- بكرة الإدارة ٢- مروحة تبريد ٣- غطاء جهة الإدارة ٤- العضو الساكن ٥- ملف الإثارة ٦- غطاء جهة المُجَمِّعْ

٧- حلقات المُجَمِّعْ المنزلقة ٨- منظم جهد مثبت على الغطاء الخلفي للمُوَّلد)



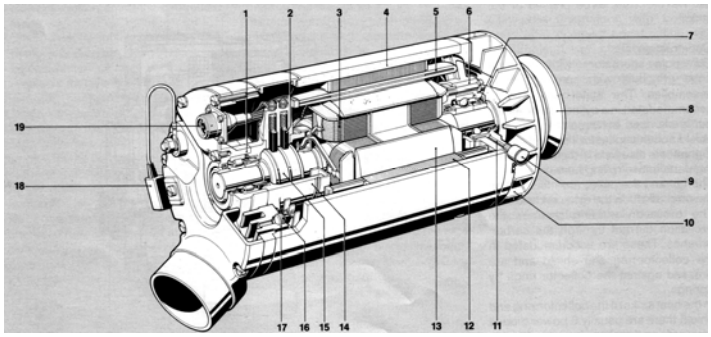
شكل (٣ – ٣٥): بعض الطرازات من مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب المخلبية مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة

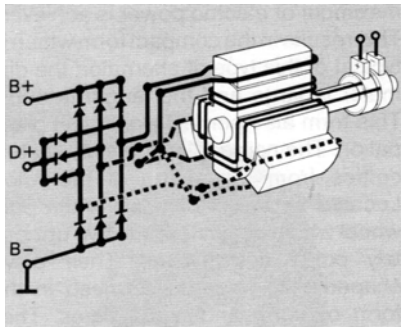
٢- مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب البارزة مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة
(Salient-pole Alternators with Collector Rings)

تستخدم مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب البارزة مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة (شكل ٣ – ٣٦) في المركبات الكبيرة (جهد النظام الكهربائي بها ٢٤ فولت) حيث تحتاج إلى متطلبات قدرة كهربائية عالية. يعطي هذا النوع من المُوَّلدات خرج قدرة عال (مقنن التيار ١٠٠ أمبير وأكثر)، كما يتميز بمدى قدرة عال أيضاً.

تستخدم مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب البارزة مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة على سبيل المثال في الأتوبيسات الكبيرة وفي السفن وفي المركبات الكبيرة ذات الأغراض الخاصة.

يتم تبريد مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب البارزة مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة بطريقة التهوية الداخلية عن طريق سحب الهواء البارد خلال المُوَّلد من خلال مأخذ، ثم يطرد من بين ريش المروحة في مقدمة المُوَّلد.





شكل (٣ – ٣٦): مُوَّلد التيار المتردد ذو الأقطاب البارزة مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة (T2)

(١- غطاء جهة المُجَمِّعْ ٢- الفرش الكربونية ٣- ملف الإثارة ٤- جسم المُوَّلد ٥- ملفات العضو الساكن

٦- غطاء جهة الإدارة ٧- حلقات حبك المحمل ٨- بكرة إدارة ٩- مشحمة ١٠- مروحة تبريد ١١- مجرى مرور الشحم

١٢- قلب العضو الساكن ١٣- العضو الدوار ذو الأقطاب البارزة ١٤- غلاف حلقات المُجَمِّعْ المنزلقة ١٥- حلقات المُجَمِّعْ المنزلقة

١٦- دايود قدرة ١٧- بالوعة حرارة ١٨- مكثف كبت ١٩- مقبس متعدده البنان)

شكل (٣ – ٣٧): مُوَّلد التيار المتردد ذو الأقطاب البارزة مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة طراز (T2, U2)

مُوَّلد التيار المتردد ذو الأقطاب البارزة مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة المبين في شكل (٣ – ٣٦ إلى

اليمين)، يحتوي على أربعة أقطاب بارزة. خلال دورة واحدة للعضو الدوار، تدور الأقطاب الأربعة بالنسبة لملفات العضو الساكن، فيستحث أربعة أنصاف موجة لكل طور من الأطوار (أي إن لدينا في الدورة الواحدة للعضو الدوار ١٢ نصف موجة). التيار الذي تم تقويمه، يمر عن طريق أطراف منفصلة (B+, B-) إلى البطارية والأحمال الكهربائية الأخرى. هذا الطراز من مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب البارزة مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة المبين في شكل (٣ – ٣٦)، يأخذ كود النوع (الطراز) (T2) (شكل ٣ – ٣٧).

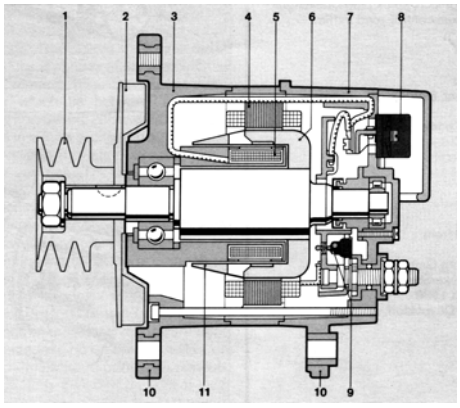
في الطراز (U2) من مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب البارزة مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة (شكل ٣ – ٣٧)، يتم تركيب المُقَوِّمْ والمنظم خارج المُوَّلد على السطح الخارجي.

وجود غطاء لحلقات المُجَمِّعْ المنزلقة والمشحمة، تجعل هذا النوع من المُوَّلدات مناسباً لخدمة طويلة الأجل.

٣- مُوَّلدات التيار المتردد ذات العضو الدوار بدون ملف (بدون حلقات مُجَمِّعْ منزلقة)
(Alternators with Winding less rotor (without collector rings))

يطلق عليها أحياناً اسم " مُوَّلدات التيار المتردد بدون فرش كربونية" (Brushless Alternators). يستخدم هذا النوع من المُوَّلدات في القطارات لتشغيل نظام إضاءة العربات، ويتم تثبيته بحيث يدور بواسطة محور العجلات عن طريق نقل الحركة بالترس الدودي (worm-gear transmission). يستخدم أيضاً مُوَّلد التيار المتردد ذو العضو الدوار بدون ملف في معدات البناء والشاحنات الطويلة ومركبات الخدمة الشاقة للأغراض الخاصة.

مُوَّلد التيار المتردد ذو العضو الدوار بدون ملف، لا يحتاج إلى صيانة حيث لا يحتوي على حلقات مُجَمِّعْ منزلقة ولا على فرش كربونية (شكل ٣ – ٣٨)، وهو من طراز (N3) (شكل ٣ – ٣٩ إلى اليمين).



شكل (٣ – ٣٨): مُوَّلد التيار المتردد ذو العضو الدوار بدون ملف طراز (N3)

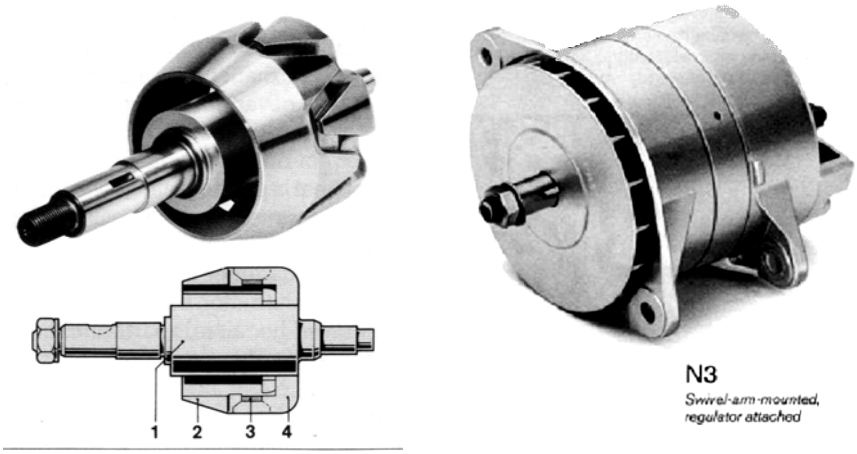
(١- بكرة إدارة ٢- مروحة تبريد ٣- غطاء نهاية الإدارة مع القطب الداخلي الساكن ٤- قلب العضو الساكن
٥- ملف الإثارة الساكن ٦- العضو الدوار بدون ملف إثارة ٧- غطاء خلفي ٨- منظم ترانزستوري ٩- دايود قدرة
١٠- ذراع متراوحة ١١- عضو توصيلي)

يتم تثبيت نصفي الأقطاب المخلبية مع بعضها عن طريق حلقة غير مغناطيسية توضع أسفل المخالب كما هو موضح في شكل (٣ – ٣٩ إلى اليسار).

مُوَّلد التيار المتردد ذو العضو الدوار بدون ملف، يتحمل العمل لفترات زمنية طويلة وفي ظروف خدمة شاقة وعسيرة.

يعتمد عمل الإثارة الذاتية لمُوَّلد التيار المتردد ذي العضو الدوار بدون ملف بواسطة ملف إثارة ساكن. حيث إن المغناطيسية المتبقية تعتبر كافية للإثارة الذاتية، فليست هناك حاجة لوجود ملف إثارة في العضو الدوار. العضو الساكن والمجال يكونان في حالة سكون.

يستخدم منظم جهد تكاملي لتنظيم الجهد في هذا النوع من المُوَّلدات، ويتم تثبيته مع دائرة التقويم وأجزاء أخرى تحت غطاء قابل للفك.



شكل (٣ – ٣٩): إلى اليمين: مُوَّلد التيار المتردد ذو العضو الدوار بدون ملف طراز (N3)

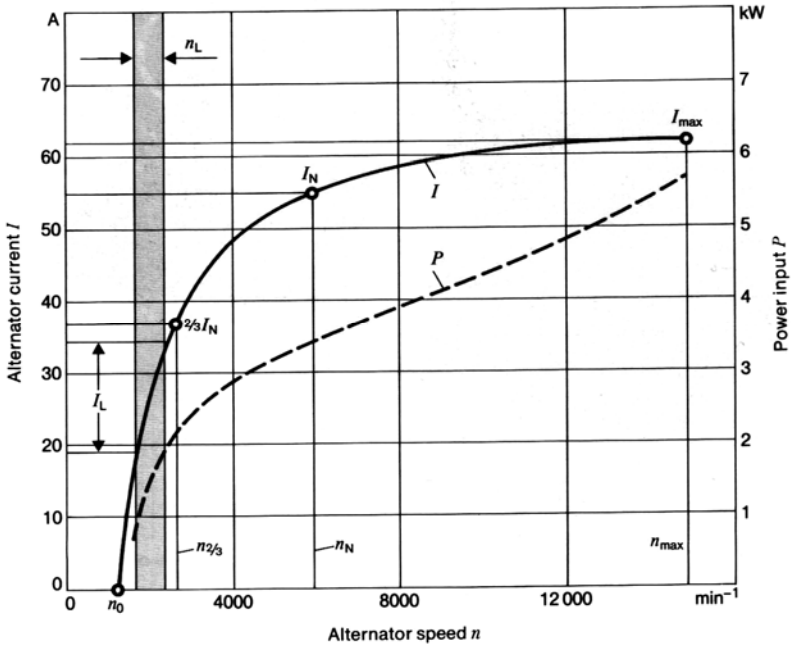
إلى اليسار: العضو الدوار بدون ملف

(١- عمود العضو الدوار مع جسم الأقطاب ٢- تاج مخالب الأقطاب جهة اليسار ٣- حلقة احتجاز غير مغناطيسية
٤- تاج مخالب الأقطاب جهة اليمين)

المنحنيات الخصائصية لمولَّد التيار المتردد ثلاثي الأطوار (Alternators Characteristic Curves)

توضح المنحنيات الخصائصية قيم التيار الناتج من المُولَّد عند سرعات الدوران المختلفة. عندما يبدأ محرك المركبة في إدارة المُولَّد ، فإن المُولَّد يبدأ الدوران من السكون حتى يصل إلى أقصى سرعة. خلال التغير في السرعة (من السكون إلى أقصى سرعة) ، يمر المُولَّد بسرعات معينة لكل منها اسم معين ولها أهمية خاصة في فهم المُولَّد.

يتم رسم المنحنيات الخصائصية لقدرة الدخل (P) وتيار الخرج (I) كدالة في سرعة الدوران (n)، كما هو مبين في شكل (٣ – ٤٠). ترسم هذه المنحنيات عند درجات حرارة محددة ومعروفة، وعند جهد ثابت للمُولَّد. تختلف المنحنيات الخصائصية للأنواع المختلفة من المُولَّدات في القيم، ولكنها تتفق في شكل المنحنيات. أيضاً القيم تعتمد على مواصفات محرك المركبة المستخدم معه المُولَّد.



شكل (٣ – ٤٠): المنحنيات الخصائصية لمُولَّد التيار المتردد ذي الأقطاب المخلبية مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة من طراز N1

١- المنحنى الخصائصي للتيار (*I*) (Current Characteristic Curve (I))

n_0 : أقل سرعة دوران (Minimum speed)

أقل سرعة دوران (n_0) (حوالي ١٠٠٠ لفة/دقيقة)، وتسمى سرعة الصفر أمبير، عندها يصل جهد المُولَّد إلى قيمة مقنن الجهد. يستطيع المُولَّد فقط تسليم القدرة الكهربائية عند سرعات أعلى.

n_L: سرعة المُوَّلد عند سرعة تباطؤ محرك المركبة (Speed when engine idling)

I_L: تيار المُوَّلد عند n_L (Current when engine idling)

عند سرعة تباطؤ محرك المركبة، تزيد سرعة دوران المُوَّلد وتصل إلى n_L. هذه السرعة موضحة على المنحنى في شكل (٣ – ٤٠) بالمساحة المظللة. يجب أن يكون تيار المُوَّلد (I_L) كافياً لتغطية الأحمال المستمرة (مثل الإضاءة الداخلية للمركبة، الراديو، إلى آخره). لضمان بقاء البطارية مشحونة، يجب أن يكون (I_L) أكبر من التيار اللازم لهذه الأحمال بمقدار من ١,١ إلى ١,٤ مرة حسب نوع المركبة والمُوَّلد.

$N_{2/3}$: السرعة عند ٣/٢ مقنن التيار (Speed at 2/3 rated current)

تعطى قيمة هذه السرعة بالمئات على لوحة بيانات المُوَّلد (مثلاً ٢٥ = ٢٥٠٠). يتم بلوغ ٣/٢ مقنن التيار (I_N) عند هذه السرعة. تستخدم هذه السرعة على المنحنى لتوضيح كيفية زيادة التيار (زيادة حادة أم متدرجة).

في الأنواع المختلفة من مُوَّلدات التيار المتردد، تتماثل السرعة (n_L) مع السرعة ($n_{2/3}$) عند نسبة نقل حركة معطاة، كما يتماثل (I_L) مع ($2/3I_N$).

n_N: السرعة عند مقنن التيار (Speed at rated current)

I_N: مقنن التيار (Rated current)

النقطة المهمة التالية على المنحنى هي (n_N)، التي عندها يستطيع المُوَّلد تسليم التيار المقنن (I_N). يجب أن تكون قيمة (I_N) أكبر من قيمة التيار اللازمة لكل الأحمال الكهربائية المختلفة في المركبة مجتمعة.

n_{max}: أقصى سرعة دوران (Maximum speed)

I_{max}: أقصى تيار (Maximum current)

(I_{max}) هي أقصى قيمة للتيار يمكن الحصول عليها عند أقصى سرعة دوران للمُوَّلد (n_{max}). تحديد أقصى سرعة للمُوَّلد يعتمد على متانة المحامل ومدى مقاومة الفرش الكربونية للتآكل ونوع مروحة التبريد. هذه السرعة بين ١٠٠٠٠ و ١٥٠٠٠ لفة/دقيقة، وتعلو هذه القيمة في بعض الأنواع الخاصة من المُوَّلدات.

٢- المنحنى الخصائصي لقدرة الدخل (P) (Characteristic Curve of Power Input (P))

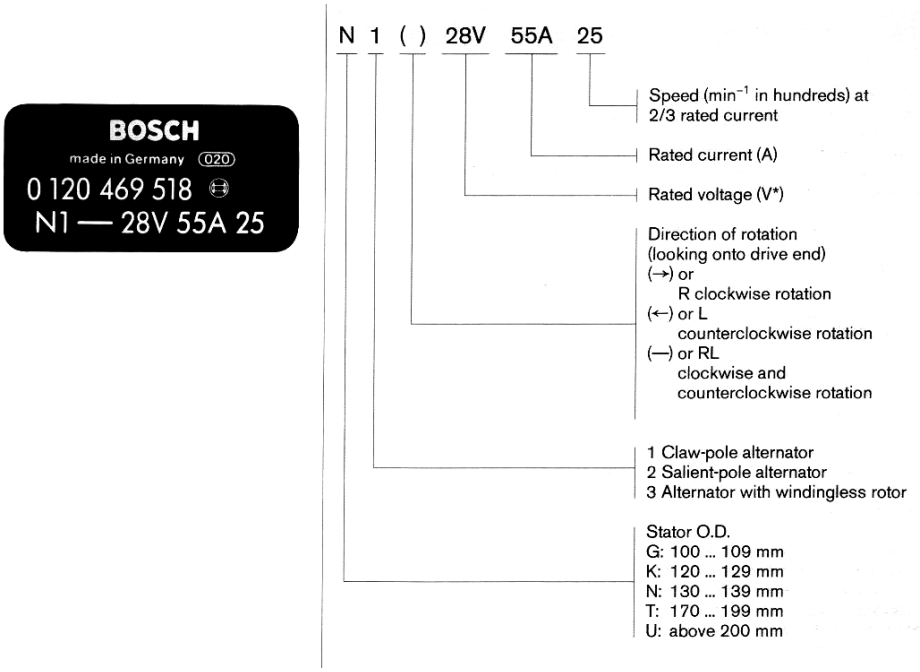
يعتبر المنحنى الخصائصي للقدرة الداخلة (قدرة الدخل) ذا أهمية خاصة بالنسبة لتصميم سير إدارة المُوَّلد (سير المروحة). هذا المنحنى يعطي المعلومات عن أقصى قدرة يجب أن يخرجها محرك المركبة لإدارة

مُوَّلد التيار المتردد عند أية سرعة معطاة.

٣- شرح اصطلاح (كود) نوع مُوَّلد التيار المتردد (Explanation of Alternator Type-Code)

لكل مُوَّلد تيار متردد ، لوحة بيانات مدوَّن عليها رقم الجزء والبيانات الفنية للمُوَّلد.

شكل (٣ – ٤١) يبين لوحة بيانات لمُوَّلد تيار متردد مقنن الجهد له ٢٨ فولت (يستخدم مع أنظمة ٢٤ فولت) ، ويبين شكل اللوحة التي تثبت على جسم المُوَّلد وتحتوي هذه البيانات (إلى اليسار) ، كما يبين شكل (٣ – ٤٢) نفس البيانات ولكن لمُوَّلد مقنن جهده ١٤ فولت (أي إنه يستخدم مع أنظمة ١٢ فولت). هناك اختلاف قليل في طريقة إعطاء بيانات التيار سوف نوضحها في نهاية هذا الجزء.



شكل (٣ – ٤١): إلى اليمين: تفسير البيانات المكتوبة على مُوَّلد التيار المتردد المستخدم مع أنظمة ٢٤ فولت، إلى اليسار: لوحة البيانات التي توجد على جسم المُوَّلد

فيما يلي، تفسير البيانات المدونة على لوحة المُوَّلد في شكل (٣ – ٤١):

N: القطر الخارجي للعضو الساكن (مم) (في هذه الحالة من ١٣٠ إلى ١٣٩ مم) (راجع الشكل للتعرف على مقاسات العضو الساكن الأخرى والحروف الدالة عليها)

1: نوع المُوَّلد:

١ : مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب المخلبية مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة

٢ : مُوَّلدات التيار المتردد ذات الأقطاب البارزة مع حلقات مُجَمِّعْ منزلقة

٣ : مُوَّلدات التيار المتردد ذات العضو الدوار بدون ملف (بدون حلقات مُجَمِّعْ منزلقة)

( ): اتجاه الدوران:

(R) أو (⟶): دوران في اتجاه عقارب الساعة

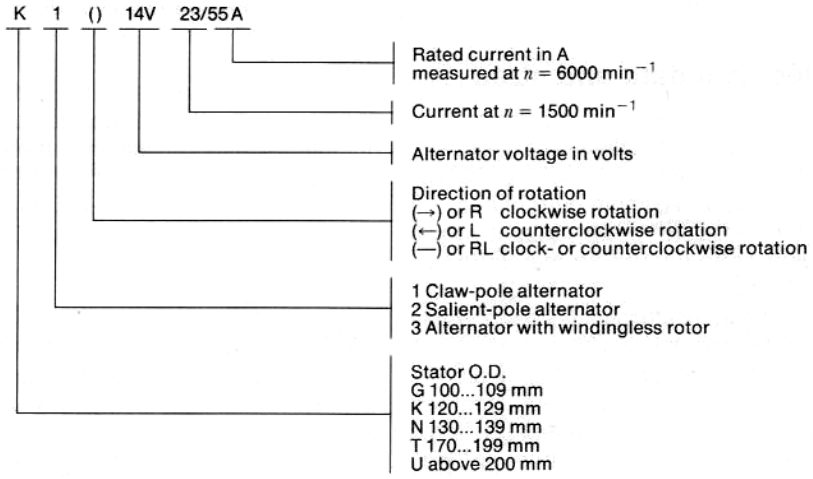
(L) أو (⟵): دوران في عكس اتجاه عقارب الساعة

(RL) أو (⟷): دوران في كل من الاتجاهين السابقين

28 V: مقنن الجهد ٢٨ فولت

55 A: مقنن التيار ٥٥ أمبير

25: السرعة (بالمئات) عند ٣/٢ مقنن التيار (السرعة ٢٥٠٠ لفة/دقيقة)



شكل (٣ – ٤٢): البيانات المكتوبة على مُوَّلد التيار المتردد المستخدم مع أنظمة ١٢ فولت

البيانات في شكل (٣ – ٤٢)، تتفق مع البيانات في شكل (٣ – ٤١) في طريقة كتابة القطر الخارجي للعضو الساكن، نوع المُوَّلد، اتجاه الدوران، ومقنن الجهد (١٢ فولت بدلاً من ٢٤). تختلف البيانات قليلاً عن البيانات في شكل (٣ – ٤١) في طريقة إعطاء مقنن التيار حيث يعطى كآخر بيان، وقبله مباشرة تعطى قيمة التيار عند سرعة تساوي ١٥٠٠ لفة/دقيقة (بدلاً من إعطاء السرعة عند ٣/٢ مقنن التيار).

أهم الفروق بين مولّد التيار المستمر ومولّد التيار المتردد

(Major Differences between DC & AC Generators)

هناك الكثير من الفروق ظهرت نتيجة تطوير مُوَّلد التيار المستمر، والوصول إلى مُوَّلد التيار المتردد. تعتبر جميع هذه الفروق في صالح مُوَّلد التيار المتردد ، لأن عيوب مُوَّلد التيار المستمر تمت معالجتها عند تطوير مُوَّلد التيار المتردد وأصبحت مزايا خاصة به.

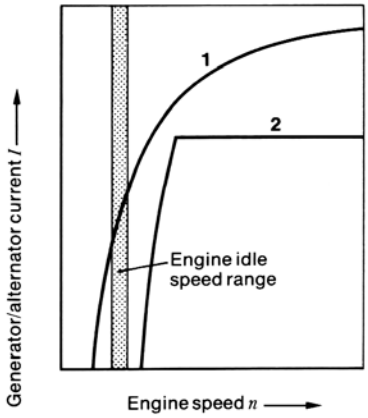
جدول (٣ – ١) يوضح أهم هذه الفروق بين مُوَّلد التيار المستمر ومُوَّلد التيار المتردد ، وقد حصرنا بنود المقارنة في أهم الفروق وليس كلها كما سنلاحظ في الجدول.

نوعية الفرق	مُوَّلد التيار المستمر	مُوَّلد التيار المتردد
ملفات تيار المُوَّلد	دوارة (عضو الاستنتاج)	ساكنة (العضو الساكن)
ملفات الإثارة	ساكنة (هيكل العضو الساكن)	دوارة (العضو الدوار) (ملف واحد)
المُقَوِّم	دوار (عضو التوحيد أو المجمع)	ساكن (نظام المُوحدات، أيضاً إعاقة التيار العكسي)
المنظم	منظم جهد مع مُرَّحل قاطع للتيار (أيضاً منظم تيار في بعض الحالات)	منظم جهد فقط
خَرجْ المُوَّلد بالنسبة لسرعة محرك المركبة	عند سرعات أعلى من سرعة التباطؤ	عند جميع السرعات بلا استثناء
الوزن	أثقل	أخف
العمر الافتراضي	أقصر	أطول
كفاءة التبريد	غير جيدة	أفضل بكثير
الحاجة إلى الصيانة	يحتاج بصورة دورية	قد لا يحتاج إلا نادراً
العمل لفترات زمنية طويلة	لا يتحمل	يتحمل
الأداء في ظل درجات الحرارة العالية في غرفة محرك المركبة	أقل	أفضل

الأبعاد الرئيسة	القطر	أصغر	أكبر
	الطول	أطول	أقصر (نظام القطب المخلبي)

جدول (٣ – ١): أهم الفروق بين مُوَّلد التيار المستمر ومُوَّلد التيار المتردد

شكل (٣ – ٤٣) يوضح الفرق بين قيم تيار الخرج لمُوَّلد التيار المستمر ومُوَّلد التيار المتردد، التي يمكن الحصول عليها عند سرعات دوران مختلفة لمحرك المركبة (من أهم الفروق).



شكل (٣ –٤٣): مقارنة بين خصائص تيار الخرج (I) لمُوَّلد التيار المستمر ومُوَّلد التيار المتردد عند سرعات دوران مختلفة لمحرك المركبة (n)

(١- مُوَّلد تيار متردد مع مُقَّوم ومنظم جهد ٢- مُوَّلد تيار مستمر مع منظم تيار للجهد والتيار)

مُوَّلد التيار المستمر لا يعطي تيار خرج إلا عند سرعات أعلى من سرعة تباطؤ محرك المركبة، في حين نجد أن مُوَّلد التيار المتردد يعطي تيار خرج عند جميع سرعات دوران محرك المركبة.

أقصى قيمة تيار الخرج يصل إليها مُوَّلد التيار المستمر عند سرعة معينة لمحرك المركبة وتظل هذه القيمة ثابتة، ولا يعطي قيمة أعلى منها مهما زادت سرعة دوران محرك المركبة. على الجانب الآخر، نجد أن مُوَّلد التيار المتردد يعطي قيماً لتيار الخرج تزيد مع زيادة سرعة دوران محرك المركبة.

كيفية حساب التيار واختيار المُوَّلد المناسب للمركبة

(Current Calculation and Determining Correct Alternator)

يمكن اتباع الخطوات التالية للتأكد من مناسبة مُوَّلد التيار المتردد في المركبة (حساب تيار المُوَّلد)، لإمداد النظام الكهربائي بها بالطاقة الكهربائية المطلوبة لتشغيلها:

١- احسب القدرة المطلوبة لجميع الأحمال الكهربائية المستمرة، والأحمال التي تعمل لفترات طويلة ولتكن (P_{w1}) بالوات.

٢- احسب القدرة المطلوبة لجميع الأحمال الكهربائية التي تعمل لفترات وجيزة ولتكن (P_{w2}) بالوات.

٣- اجمع القدرة في بند (١) مع القدرة في بند (٢)، فتحصل على القدرة الإجمالية المستهلكة ولتكن (P_w). أي إن، $P_w = P_{w1} + P_{w2}$

٤- من الجداول التي تربط القدرة المستهلكة مع تيار المُوَّلد، قم بتحديد قيمة التيار المقرر (I_N) والمناظرة لقيمة (P_w).

٥- يمكن تحديد المُوَّلد المناسب لقيمة مقنن التيار (I_N) والذي يمكن تركيبه في هذه المركبة، مع الأخذ في الاعتبار المعايير والأمور الكهربائية الأخرى.

<u>للتأكد من صحة الخطوة السابقة، يجب حساب قيمة تيار المُوَّلد (I_L) عند سرعة تباطؤ المحرك كما يلي:</u>

١- بقسمة القدرة (P_{w1}) على مقنن جهد المُوَّلد نحصل على التيار اللازم لتغطية الأحمال المناظرة للقدرة (P_{w1})، وليكن (I_{w1}).

٢- بضرب (I_{w1}) في معامل ظروف القيادة ومقداره ١,٣ (نتيجة التوقف ثم السير وهكذا أثناء القيادة) نحصل على قيمة التيار المناظر للقدرة (P_{w1}) وليكن (I_1).

٣- من المنحنى الخصائصي للتيار، نحصل على قيمة (I_L) المناظرة لسرعة دوران المُوَّلد (n_L) عند سرعة التباطؤ لمحرك المركبة ($I_L = 2/3\ I_N$).

٤- يجب أن يكون ($I_L \geq I_1$)، لضمان بقاء البطارية مشحونة عند سرعة تباطؤ محرك المركبة.

مثال: لديك مركبة بها مُوَّلد تيار متردد من طراز K1-14 V 55 A 20، وكانت الأحمال المؤثرة ومعامل الحمل كما هو موضح في الجدولين المرفقين. المطلوب التأكد من أن المُوَّلد المذكور يناسب هذه المركبة أم لا؟ (معطى أيضاً جدول العلاقة بين القدرة المستهلكة وتيار المُوَّلد).

- جدول معطى رقم (١) للأحمال المستمرة والأحمال التي تعمل لفترات طويلة

الأحمال (معامل الحمل = ١)	القدرة W (وات)	الأحمال (معامل الحمل = ١)	القدرة W (وات)
نظام الإشعال	٢٠	المصابيح الجانبية	٨
مضخة الوقود الكهربائية	٧٠	المصابيح الخلفية	١٠
حقن الوقود	١٠٠	إضاءة لوحة المركبة	١٠
الراديو	١٢	إضاءة أجهزة البيان	١٠
الإضاءة	١١٠		

- جدول معطى رقم (٢) للأحمال التي تعمل لفترات وجيزة

الأحمال	القدرة الفعلية W (وات)	معامل الحمل	القيمة المتوقعة للقدرة W (وات)
التدفئة وخلافه	٨٠	٠,٥	٤٠
تدفئة الزجاج الخلفي	١٢٠	٠,٥	٦٠
الماسحات	٦٠	٠,٢٥	١٥
مصابيح التوقف	٤٢	٠,١	٤,٢
مصابيح اتجاه الدوران	٤٢	٠,١	٤,٢
مصابيح الضباب	٧٠	٠,١	٧
مصابيح التحذير عند الضباب	٣٥	٠,١	٣,٥

- جدول معطى رقم (٣) للعلاقة بين القدرة المستهلكة وتيار المُوَّلد المناظر (لنظام ١٢ فولت)

P_w (W)	أقل من ٢٥٠	من ٢٥٠ لأقل من ٣٥٠	من ٣٥٠ لأقل من ٤٥٠	من ٤٥٠ لأقل من ٥٥٠	من ٥٥٠ لأقل من ٦٧٥	من ٦٧٥ لأقل من ٨٠٠	من ٨٠٠ لأقل من ٩٥٠
I_N (A)	٢٨	٣٥	٤٥	٥٥	٦٥	٧٥	٩٠

الحل:

١- من الجدول المعطى رقم (١): $P_{w1} = 350$ (W)

٢- من الجدول المعطى رقم (٢): $P_{w2} = 134$ (W)

٣- القدرة الكهربائية الكلية المستهلكة: $P_w = P_{w1} + P_{w2} = 350 + 134 = 484$ (W)

٤- من الجدول المعطى رقم (٣): $I_N = 55$ (A)

٥- التيار اللازم لتغطية جميع الأحمال المستمرة والتي تعمل لفترات طويلة:

$$I_{w1} = P_{w1}/14 = 350/14 = 25 \text{ (A)}$$

٦- القيمة الفعلية للتيار المناظر للقدرة الكهربائية (Pw1):

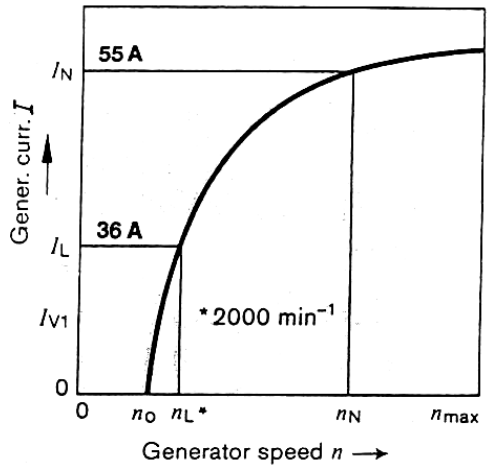
$$I_1 = 1.3 \times I_{w1} = 1.3 \times 25 = 33 \text{ (A)}$$

٧- من المنحنى الخصائصي للتيار شكل (٣ – ٤٤): $I_L = 2/3\ I_N = 2/3 \times 55 = 36$ (A)

٨- نجد أن $I_L > I_1$

المُوَّلد المعطى يفي بالغرض تماماً (مقنن التيار ٥٥ أمبير، وسرعة الدوران عند تباطؤ المحرك تساوي ٢٠٠٠ لفة/دقيقة).

لو كان طراز ونوع المُوَّلد (في المثال الموضح)، غير معطى وكان المطلوب اختيار مُوَّلد يفي بالغرض، كنا سنتبع نفس الخطوات ونصل إلى قيمة مقنن التيار وسرعة الدوران عند تباطؤ محرك المركبة. عندها، يمكن اختيار المُوَّلد المناسب، بالاستعانة بالمنحنيات الخصائصية للتيار وجدول القدرة المستهلكة والتيار المناظر لعدد من المُوَّلدات ونختار ما يناسب.



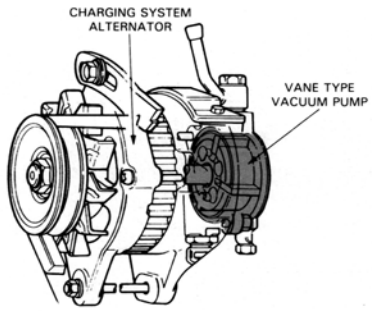
شكل (٣ – ٤٤): المنحنى الخصائصي للتيار

ملحقات مُوَّلد التيار المتردد (Alternator Accessories)

١- مضخة تخلخل (تفريغ) مُوَّلد التيار المتردد (Alternator Vacuum Pump)

مضخة تخلخل (تفريغ) مُوَّلد التيار المتردد عبارة عن مضخة ذات ريش (vane pump) يتم تثبيتها على مؤخرة مُوَّلد التيار المتردد في منظومة الشحن بالمركبة، كما في شكل (٣ – ٤٥). تأخذ مضخة التخلخل (التفريغ) حركتها الدورانية عن طريق عمود دوران المُوَّلد (العضو الدوار)، الذي يقوم بإدارة ريش المروحة لتوليد ضغط التخلخل المطلوب كمصدر لعمل بعض الأنظمة في المركبة.

تستخدم مضخة تخلخل (تفريغ) مُوَّلد التيار المتردد عادة مع المركبات ذات محركات الديزل، حيث لا يوجد صمام خانق (throttle valve)، وبالتالي ليس هناك مصدر لضغط التخلخل اللازم لتشغيل بعض الأنظمة في المركبة.



شكل (٣ – ٤٥): مضخة التخلخل المثبتة على السطح الخارجي لمُوَّلد التيار المتردد تأخذ حركتها منه

٢- مكثفات مُوَّلد التيار المتردد (Alternator Capacitors)

يمكن استخدام المكثفات مع مُوَّلد التيار المتردد لمنع التداخل (الشوشرة) مع راديو المركبة، ولحماية دايودات دائرة التقويم من حدوث خلل في أدائها أو أن تصاب بالتلف من تأثير الجهد العالي.

مزايا استخدام موَّلدات التيار المتردد (Alternators Advantages)

مُوَّلدات التيار المتردد تتميز بالعديد من المميزات مقارنة بمُوَّلدات التيار المستمر التي استخدمت من قبل في المركبات الآلية. هذه المميزات أعطت للمُوَّلد الاستمرارية في العمل في المركبات الآلية حتى الآن عن جدارة واستحقاق.

أهم مزايا استخدام مُوَّلدات التيار المتردد في المركبات الآلية، ما يلي:

١- يعطي المُوَّلد تياراً عند سرعة الدوران الحر (سرعة اللاحمل أو سرعة التباطؤ)

٢- يضمن شحناً عالياً مستمراً للبطارية

٣- يتطلب صيانة أقل لعمر أطول، بسبب استبدال المجمع بحلقات منزلقة، ومن ثم تستهلك الفرش الكربونية بمعدل أقل.

٤- تصميمه أصغر ووزنه أقل.

٥- يحوِّل التيار المتردد المأخوذ من المُوَّلد ثلاثي الأطوار (الأوجه) إلى تيار مستمر، عن طريق الدايودات، التي تسمح بمرور التيار في اتجاه واحد فقط. وتوضع الدايودات على الجانب الأمامي للموَّلد، لتوفير تبريد أفضل لها.

٦- تبريد أفضل للمُوَّلد.

٧- يتحمل العمل لفترات زمنية طويلة.

٨- كفاءة عالية في الأداء.

٩- يتحمل الاهتزازات والرطوبة ودرجات الحرارة العالية.

الفصل الثاني : منظمات الشحن
(VOLTAGE REGULATORS)

وظيفة المنظمات في دائرة الشحن (Voltage Regulators Function)

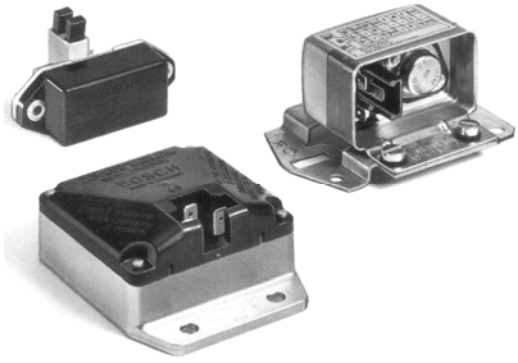
عند سرعة التباطؤ لمحرك المركبة، تكون سرعة دوران العضو الدوار للمُوَّلد بطيئة نسبياً، ويكون المُوَّلد قادراً بالكاد على الوفاء بمتطلبات النظام الكهربائي للمركبة.

عند سرعات الدوران الطبيعية لمحرك المركبة، يستطيع المُوَّلد إنتاج جهد وتيار أعلى بكثير مما هو مطلوب في الدوائر والأنظمة الكهربائية والإلكترونية في المركبة.

من أجل حماية المُوَّلد وبقية الدوائر والأنظمة الكهربائية والإلكترونية في المركبة من التلف، يجب البحث عن وسيلة لتقليل خرج المُوَّلد.

هناك وسيلتان للتحكم في كمية الكهرباء المُنتَجة في سلك: إما بالتحكم في سرعة دوران العضو الدوار، وإما بالتحكم في قوة المجال المغناطيسي. لا يمكن التحكم في سرعة دوران العضو الدوار للمُوَّلد لأنه يدار مباشرة بواسطة عمود المرفق بمحرك المركبة. الطريق الأسهل للتحكم في خرج المُوَّلد، هو التحكم في قوة المجال المغناطيسي.

للتحكم في خرج مُوَّلد التيار المتردد، يتم استخدام منظم الجهد (Voltage Regulator) كما في شكل (٣ – ٤٦).



شكل (٣ – ٤٦): منظمات الجهد المستخدمة مع مُوَّلدات التيار المتردد

منظم جهد مُوَّلد التيار المتردد عبارة عن مفتاح تلقائي (آلي) للتحكم في خرج منظومة الشحن بحيث لا يتعدى الجهد أو التيار القيم المحددة سلفاً.

يمكن إيجاز وظيفة المنظم في منظومة الشحن كما يلي:

١- الإحساس بقيمة الجهد في دائرة منظومة الشحن، وبالتالي تحديد مدى حاجة البطارية إلى الشحن (خاصة مع تغير درجة حرارة الجو المحيط).

٢- التحكم في جهد الخرج للمُوَّلد.

٣- وقاية الدوائر والمنظومات الكهربائية والإلكترونية ضد الجهد الزائد.

٤- حماية البطارية من الشحن الزائد.

تنظيم الجهد و الوقاية من زيادة الجهد (Voltage Regulation and Over-voltage Protection)

١- كيفية تنظيم الجهد (Voltage Regulation)

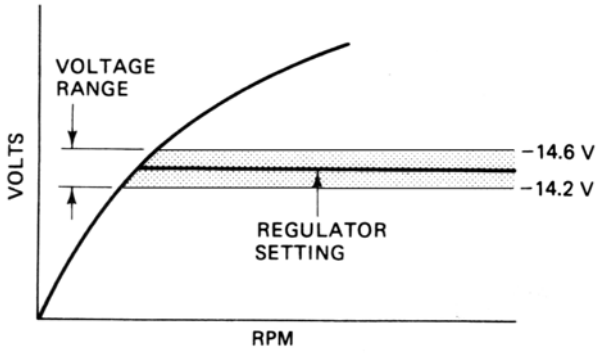
من أجل ضمان شحن جيد للبطارية، لا بد أن يكون مُوَّلد التيار المتردد في المركبة قادراً على إنتاج جهد كهربائي أعلى من جهد البطارية. الجهد العالي أكثر من اللازم يعرض البطارية والمكونات الكهربائية في المركبة (خاصة دائرة الإضاءة) للتلف. إذا لم يمر تيار في ملف الإثارة للعضو الدوار (قيمة التيار تساوي صفراً)، فإن خرج المُوَّلد يساوي صفراً أيضاً (لا يوجد خرج للمُوَّلد) لعدم تكوين مجال مغناطيسي. يحتاج ملف الإثارة للعضو الدوار في معظم مُوَّلدات التيار المتردد إلى تيار قيمته أقل من ٣ أمبير. التحكم في تيار ملف الإثارة يعني التحكم في خرج المُوَّلد.

يمر التيار اللازم لملف الإثارة في العضو الدوار للمُولد، من البطارية عبر الفرش الكربونية إلى حلقات المُجَمِّعْ المنزلقة. عندما يبدأ خرج المُوَّلد، يقوم منظم الجهد بالتحكم في التيار المار إلى ملف العضو الدوار.

ببساطة، يقوم منظم الجهد بفتح دائرة تغذية ملف المجال إذا كان وصل جهد خرج المُوَّلد المستوى المحدد سلفاً للمنظم (قيم ضبط المنظم)، ثم يغلق الدائرة مرة أخرى عند الحاجة للحفاظ على جهد شحن صحيح. عمل المنظم يبدأ مع بداية خرج المنظم (عند السرعات المنخفضة)، ويستمر طوال عمل المُوَّلد وعند جميع سرعات دوران المُوَّلد كما في شكل (٣ – ٤٧).

تصل قيمة مدى الجهد الموضحة في شكل (٣ – ٤٧) (مابين ١٤,٢ فولت و ١٤,٦ فولت)، إلى ما بين ١٤,٥ فولت و ١٥,٥ فولت في بعض منظومات الشحن (في بعض الأنظمة من ١٣ إلى ١٥ فولت).

لابد أن يستقبل المنظم قيمة جهد منظومة الشحن كقيمة مدخلة، ثم يستطيع بعدها التحكم في جهد خرج المُوَّلد. القيمة المدخلة لجهد منظومة الشحن تسمى "جهد الإحساس" (sensing voltage).



شكل (٣ – ٤٧): مدى جهد منظم الجهد عند جميع سرعات دوران المُوَّلد

إذا كان جهد الإحساس أقل من القيمة المضبوط عليها المنظم، يسمح بزيادة في قيمة تيار المجال وبالتالي زيادة جهد الشحن الخارج (خرج المُوَّلد)، والعكس صحيح. يقوم المنظم بتقليل جهد الشحن إلى المستوى الذي يسمح بتشغيل نظام الإشعال وشحن البطارية بمعدل بطيء (trickle charge).

عند تشغيل حمل كهربائي كبير مثل دائرة الإضاءة الرئيسة بالمركبة وسحب تيار إضافي من البطارية، يحس المنظم بانخفاض جهد البطارية، فتتم زيادة قيمة التيار المار إلى ملف العضو الدوار في المُوَّلد، ومن ثم تزيد قوة المجال المغناطيسي التي تزيد بدورها جهد خرج المُوَّلد. عند إيقاف تشغيل دائرة الإضاءة، يحس المنظم بارتفاع جهد منظومة الشحن، فيتم تقليل قيمة التيار المار إلى ملف العضو الدوار، فتقل قوة المجال المغناطيسي وبالتالي يقل جهد خرج المُوَّلد، وهكذا يظل يعمل المنظم طوال عمل منظومة الشحن في المركبة.

٢- معادلة درجة الحرارة (Temperature Compensation)

جميع منظمات الجهد الحديثة مزودة بوسيلة لزيادة جهد شحن البطارية قليلاً عند درجات الحرارة المنخفضة للجو المحيط، وخفض جهد شحن البطارية عند درجات الحرارة العالية.

تحتاج البطارية إلى جهد شحن عال عند درجات الحرارة المنخفضة لتنشيط التفاعلات الكيميائية. عدم تخفيض جهد شحن البطارية عند درجات الحرارة العالية يؤدي إلى تعرض البطارية للشحن الزائد.

تحتوي منظمات الجهد الإلكترونية (الترانزستورية) في دائرتها على مقاوم حساس لدرجة الحرارة (مقاوم ذي معامل حراري سالب كبير) (temperature-sensitive resistor). هذا المقاوم يسمى "ثرمستور" (thermistor)، تقل مقاومته مع زيادة درجة الحرارة، والعكس صحيح.

يستخدم المقاوم الحساس لدرجة الحرارة ضمن الدوائر الإلكترونية لمنظمات الجهد، ليتحكم في

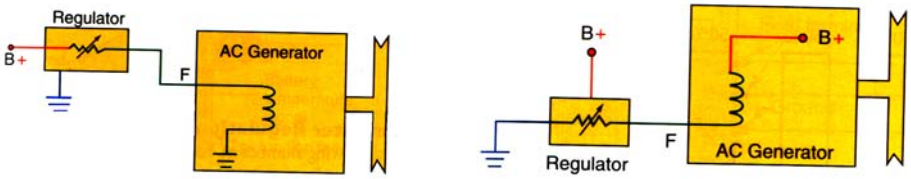
جهد الشحن على المدى الواسع لتغيرات درجة الحرارة في غرفة محرك المركبة.

تظهر أهمية منظم الجهد الإلكتروني (الترانزستوري) ذو المقاوم الحساس لدرجة الحرارة عند الممانعة الكبيرة التي تبديها البطارية لقبول الشحن في درجات الحرارة المنخفضة، حيث يقوم بزيادة جهد منظومة الشحن عند أعلى حد تقبل عنده البطارية الشحن وتستطيع أن تصل إلى حالة الشحن التام.

٣- دوائر المجال (Field Circuits)

من أجل عمل الاختبارات والخدمة والصيانة لمنظومة الشحن، لابد من تحديد نوع دائرة المجال في مُوَّلد التيار المتردد. هناك ثلاثة أنواع من دوائر المحال هي:

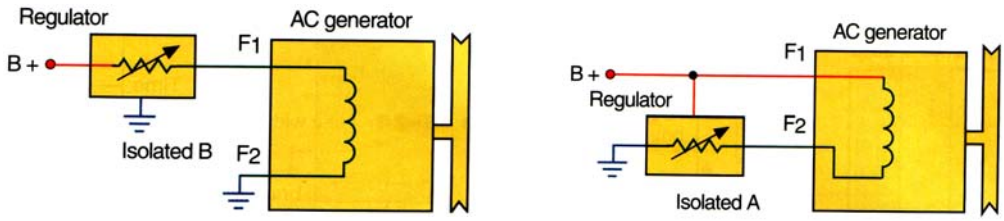
١- دائرة المجال من النوع A (Field B-circuit): هي الأكثر استخداماً في مُوَّلدات التيار المستمر. المنظم موجود على جانب التوصيل الأرضي لملف المجال، طرف التغذية من البطارية (+B) موجود داخل المُوَّلد كما في شكل (٣ – ٤٨ إلى اليمين). وضع المنظم على جانب التوصيل الأرضي لملف المجال، سوف يسمح للمنظم بالتحكم في تيار المجال بتغيير مرور التيار إلى الأرضي.



شكل (٣ – ٤٨): إلى اليمين: دائرة مجال من النوع A، إلى اليسار: دائرة مجال من النوع B

٢- دائرة المجال من النوع B (Field A-circuit): في هذه الحالة، يتحكم في جانب القدرة لدائرة المجال. يتصل ملف المجال بالأرضي داخل المُوَّلد كما في شكل (٣ – ٤٨ إلى اليسار). من الطبيعي، أن يكون تثبيت المنظم خارج المُوَّلد في دائرة المجال من النوع (B).

٣- دائرة المجال المعزول (isolated field circuit): طرفا سلك المجال موجودان على السطح الخارجي للمُوَّلد، أحدهما للاتصال بالأرضي والآخر (+B) للتغذية من البطارية. يمكن وضع منظم الجهد إما على الطرف الأرضي لملف المجال (شكل ٣ – ٤٩إلى اليمين)، أو على طرف التغذية من البطارية (+B) (شكل ٣ – ٤٩إلى اليسار).



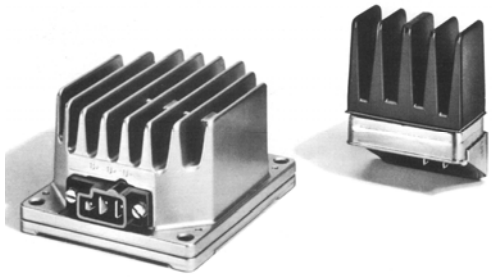
شكل (٣ – ٤٩): دائرة المجال المعزول وتوصيل المنظم على طرفي ملف المجال

(إلى اليمين: توصيل المنظم على الطرف الأرضي لملف المجال، إلى اليسار: توصيل المنظم على طرف التغذية من البطارية +B)

٤- الوقاية من زيادة الجهد (Over-voltage Protection)

التثبيت الجيد للبطارية والمقاومة الداخلية الصغيرة جداً لها، يجعلنا لسنا في حاجة للبحث عن وسيلة حماية إضافية للمكونات الإلكترونية في المركبات الحديثة تحت ظروف قيادة طبيعية.

أجهزة الوقاية من زيادة الجهد (شكل ٣ – ٥٠) عبارة عن وسيلة قياس حساسة ومانعة ضد ظروف التشغيل غير الطبيعية أو الخلل في الأداء الوظيفي في النظام الكهربائي للمركبة.



شكل (٣ – ٥٠): بعض أجهزة الوقاية من زيادة الجهد

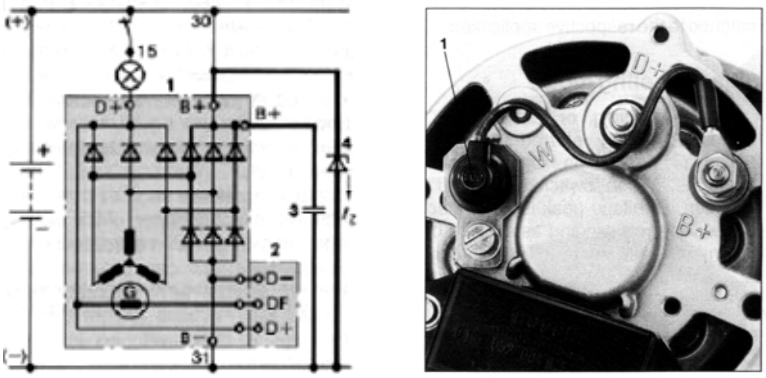
تحدث زيادة الجهد في النظام الكهربائي للمركبة نتيجة القصور أو العجز في أداء المنظم، أو نتيجة تأثير نظام الإشعال، أو إيقاف تشغيل الأحمال التي يغلب عليها الطابع الحثي (التي تعمل بمحركات كهربائية)، أو التلامس غير المحكم، أو انقطاع الكيابل. زيادة الجهد، أو ما يطلق عليه ذروة الجهد، تحدث في أجزاء صغيرة من الثانية. أقصى ذروة جهد تنمو من ملف أنظمة الإشعال، ويمكن أن تبلغ حوالي ٣٥٠ فولت.

ذروة الجهد، بدون وسيلة حماية، تعتبر مصدراً للخطر على أشباه الموصلات (مثل الدايود والترانزستور و الثايرستور) في المُوَّلد والمنظم وأنظمة حقن الوقود ذات التحكم الإلكتروني وتسبب عجزاً في أدائها.

للحماية من ذروة الجهد الخطرة، يجب ألا يعمل مُوَّلد التيار المتردد بدون بطارية (ألا تنفصل كيابل البطارية لأي سبب) في ظروف القيادة الطبيعية.

تحتاج الحماية من ارتفاع الجهد إلى الاستعانة بدوائر إضافية، أو التوصيل مع وسائل الحماية (مثل الموضحة في شكل ٣ – ٥٠، وغيرها). تتم الاستعانة ببعض المكونات مثل دايود زينر (zener diode ZD) أو دايود الاضمحلال (decay diode).

المثال التالي يوضح دائرة حماية نظام ١٢ فولت تستخدم دايود زينر، الذي يتم تركيبه على مؤخرة مُوَّلد التيار المتردد كما في شكل (٣ – ٥١ إلى اليمين – الجزء رقم ١). يتم توصيل دايود زينر بين الطرف (+B) والأرضي في الاتجاه العكسي لجهد البطارية (شكل ٣ – ٥١ إلى اليسار). عند حدوث زيادة للجهد في النظام الكهربائي للمركبة، التيار (I_z) يمر من خلال دايود زينر إلى الأرضي.



شكل (٣ – ٥١): استخدام دايود زينر للحماية من ارتفاع الجهد لنظام ١٢ فولت

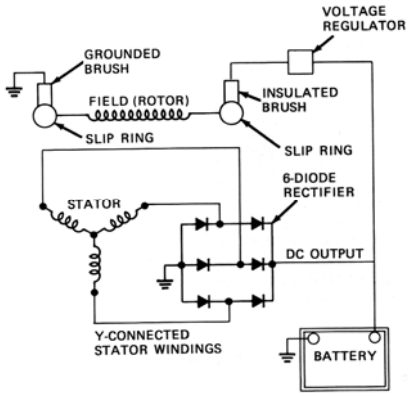
(إلى اليمين: تثبيت دايود زينر (١) على مؤخرة المُوَّلد، إلى اليسار: دائرة الحماية (١- مُوَّلد التيار المتردد ٢- المنظم ٣- مكثف ٤- دايود زينر))

الأنواع المختلفة لمنظمات الجهد (Voltage Regulators Types)

تستخدم بعض المركبات منظماً كهروميكانيكياً (electromechanical regulators) (كهرومغناطيسياً electromagnetic) ذا مُرَّحلات ونقاط تلامس. معظم منظومات الشحن الآن تحتوي على منظم ترانزستوري/ إلكتروني (transistorized/electronic regulators)، يتم تثبيته داخل المُوَّلد أو على سطحه الخارجي أو بعيداً عنه في غرفة محرك المركبة. بعض منظومات الشحن لا تحتوي على منظم منفصل، حيث تقوم وحدة التحكم الإلكترونية (ECM) في المركبة بتنظيم تيار المجال في مُوَّلد التيار المتردد فيما يعرف باسم التحكم بواسطة الحاسب (computer-controlled) في منظومة الشحن.

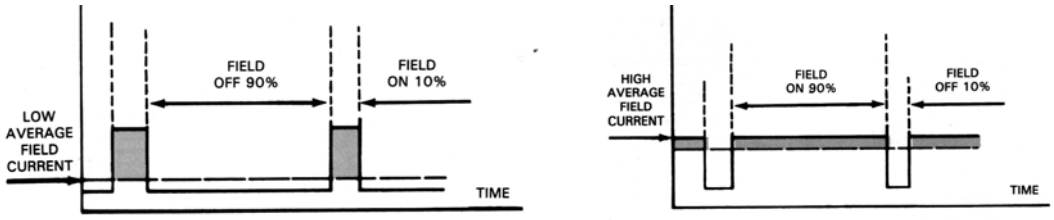
يتم التحكم في التيار المار في ملف المجال بالفتح والإغلاق السريع لدائرة المجال كما في شكل

(٣ – ٥٢). بعض المنظمات تفتح وتغلق الدائرة من ١٠ إلى ٧٠٠٠ مرة في الثانية (عدد دورات العمل في الثانية تسمى التردد). المنظمات الأخرى تعمل عند تردد ثابت مع تغيير دورة العمل كنسبة مئوية من فترة عمل المنظم والسماح بمرور التيار إلى ملف المجال من كل دورة عمل ولا عمل (ON-OFF cycle).



شكل (٣ – ٥٢): المنظم يتحكم في خرج مُوَّلد التيار المتردد ، بالتحكم في تيار المجال

المنظمات المثبتة داخل المُوَّلد تفتح وتغلق دائرة المجال بتردد ثابت مقداره ٤٠٠ دورة في الثانية. عند سرعات الدوران العالية ، يكون زمن الفتح (ON) ١٠٪ وزمن الإغلاق (OFF) ٩٠٪. عند سرعات الدوران المنخفضة ، يكون زمن الفتح (ON) ٩٠٪ وزمن الإغلاق (OFF) ١٠٪. تغيير زمن الفتح والإغلاق، يغير تيار المجال للتحكم في جهد منظومة الشحن (خرج المُوَّلد) كما في شكل (٣ – ٥٣).



شكل (٣ – ٥٣): تغير زمن فتح وإغلاق المنظم لتغيير خرج المُوَّلد حسب سرعات الدوران

(إلى اليمين: عند السرعات المنخفضة ، إلى اليسار: عند السرعات العالية)

تحتوي منظمات عديدة على وسيلة لمعادلة درجة الحرارة (temperature compensation)، كما تحتوي على وسيلة حماية و وقاية ضد زيادة الجهد. يقوم المنظم بزيادة جهد الشحن في الأجواء الباردة، حيث تحتاج البطارية الباردة إلى معدل شحن عال.

بعد هذا الاستعراض السريع لطبيعة المنظمات المستخدمة مع منظومات الشحن، يمكن تقسيم

أنواع منظمات الجهد في منظومات الشحن إلى ثلاثة أنواع رئيسة، هي:

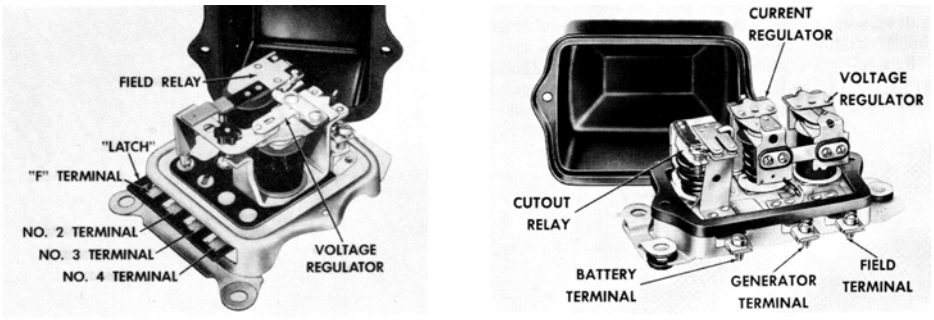
١- منظمات الجهد الكهروميكانيكية (أو الكهرومغناطيسية)
(Electromechanical or electromagnetic Voltage Regulators)

٢- منظمات الجهد الترانزستورية/ الإلكترونية
(Transistorized/Electronic Voltage Regulators)

٣- نظام التحكم باستخدام وحدة التحكم الإلكترونية لمحرك المركبة (التحكم في تنظيم الجهد بواسطة وحدة التحكم الإلكترونية). (Engine Computer Control System)

١- منظمات الجهد الكهروميكانيكية (الكهرومغناطيسية)
(Electromechanical (electromagnetic) Voltage Regulators)

يطلق عليها اسم "منظمات الجهد الكهروميكانيكية" أو اسم "منظمات الجهد الكهرومغناطيسية" (شكل ٣ – ٥٤)، أو منظمات الجهد الكهرومغناطيسية من النوع الاهتزازي" (شكل ٣ – ٥٥ إلى اليسار). استخدمت منظمات الجهد الكهروميكانيكية منذ وقت طويل في منظومات الشحن مع كل من مُوَّلد التيار المستمر ومُوَّلد التيار المتردد وكانت تثبت في غرفة محرك المركبة على جسم السيارة، وتم استبدالها بمنظمات الجهد الترانزستورية.



شكل (٣ – ٥٤): منظمات الجهد الكهروميكانيكية (الكهرومغناطيسية)
(إلى اليمين: منظم ذو ثلاث وحدات (مع مُوَّلد التيار المستمر ومُوَّلد التيار المتردد)، إلى اليسار: منظم ذو وحدتين (مع مُوَّلد التيار المتردد)

١- ١- منظمات الجهد الكهرومغناطيسية المستخدمة مع مُوَّلد التيار المستمر

المنظمات التي استخدمت مع مُوَّلدات التيار المستمر (شكل ٣ – ٥٤ إلى اليمين)، عبارة عن ثلاث وحدات هي: مُرَّحل قاطع للتيار (cutout relay)، ومنظم التيار (current Regulator)، ومنظم الجهد (voltage regulator). هناك نوع آخر من هذه المنظمات، عبارة عن مُرَّحل قاطع للتيار و حدة تحكم في الجهد المتدرج. النوع الأخير من هذه المنظمات، عبارة عن مُرَّحل قاطع للتيار ومنظم جهد اهتزازي، أو

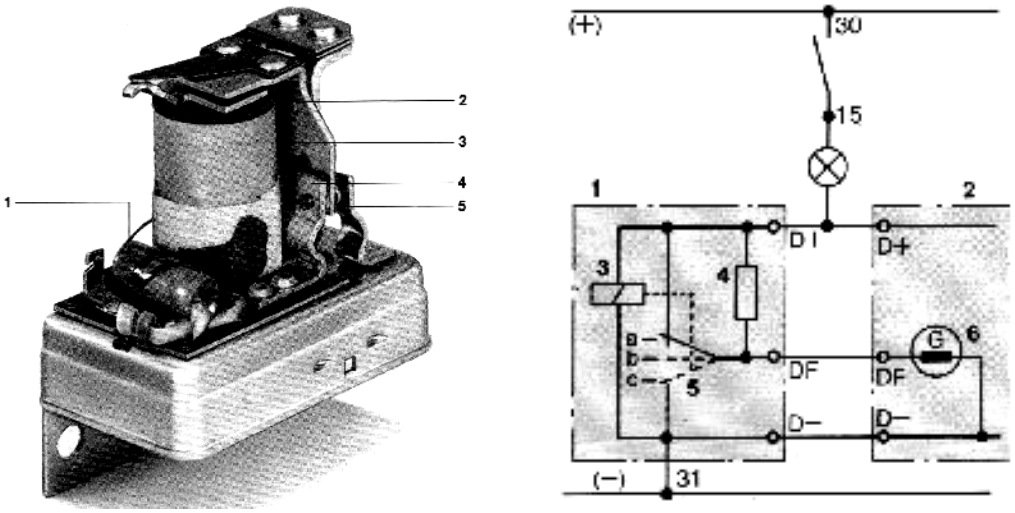
مُرَّحل قاطع للتيار مع وحدة مركَّبة لتنظيم الجهد والتيار معاً.

وظيفة المُرَّحل القاطع للتيار هي حماية البطارية من التعرض للتفريغ من خلال المُوَّلد، عند إيقاف عمل محرك المركبة أو دورانه عند سرعات منخفضة.

وظيفة منظم التيار (عبارة عن مفتاح مغناطيسي في دائرة الشحن) هي تحديد قيمة آمنة لتيار الخرج من أجل حماية مُوَّلد التيار المستمر من الحمل الزائد.

منظم الجهد، يتحكم في دائرة الشحن لكي لا تزيد قيمة الجهد عن قيمة آمنة. عندما تحتاج البطارية إلى شحن، يقوم منظم الجهد بفصل مقاومة التنظيم (٤) (regulating resistance) عن دائرة المجال (شكل ٣ – ٥٥ إلى اليمين)، فيسمح بزيادة مرور التيار الذي يساعد في زيادة خرج المُوَّلد. عندما تصبح البطارية تامة الشحن، يقوم منظم الجهد بإدخال مقاومة التنظيم ضمن دائرة المجال، فيقل معدل شحن البطارية نظراً لقلة خرج المُوَّلد.

نظراً لزيادة الأحمال الكهربائية في المركبات، فقد تم إمداد العديد من منظمات الجهد المستخدمة في منظومات الشحن التي تستخدم "أميتر" لبيان الشحن، بوحدات تنظيم الجهد مزدوجة نقاط التلامس فيما عرف باسم "منظمات الجهد الكهرومغناطيسية ذات الوحدة الواحدة من النوع الاهتزازي" (single-unit electromagnetic vibrating-type regulators) ٠شكل (٣ – ٥٥ إلى اليسار)

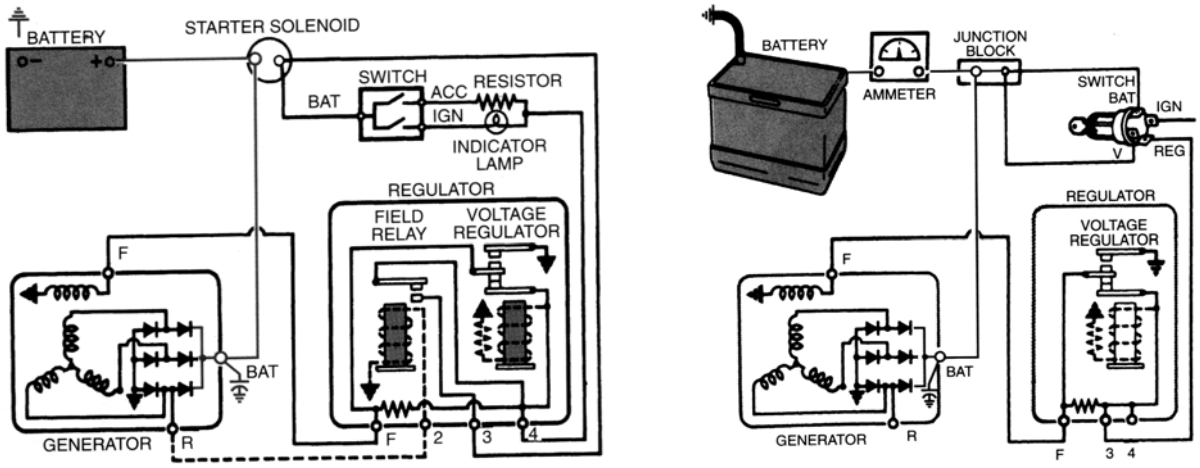


شكل (٣ – ٥٥): المنظمات الكهرومغناطيسية من النوع الاهتزازي (وحدة واحدة مزدوجة نقاط التلامس)
(إلى اليمين: دائرة عمل المنظم (١- المنظم، ٢- المُوَّلد، ٣- مجال كهرومغناطيسي، ٤- مقاومة التنظيم، ٥- نقاط التلامس، ٦- ملف المجال G)، إلى اليسار: المنظم (١- وسيلة كبت تداخل، ٢- عضو استنتاج، ٣- مجال كهرومغناطيسي، ٤- نقاط تلامس لتنظيم تيارات الإثارة العالية، ٥- نقاط تلامس لتنظيم تيارات الإثارة المنخفضة))

١- ٢- منظمات الجهد الكهرومغناطيسية المستخدمة مع مُوَّلد التيار المتردد

منظمات الجهد التي استخدمت مع مُوَّلدات التيار المتردد في بدايات استخدامها (شكل ٣ – ٥٤، وشكل ٣ – ٥٥ إلى اليسار)، احتوت على وحدة تنظيم جهد لتحديد جهد الخرج عند قيمة محددة سلفاً. تم دمج هذه الوحدة في صورة منظمات ذات وحدة واحدة، أو منظمات ذات وحدتين، أو منظمات ذات ثلاث وحدات (كما هو مبين بالأشكال السابق الإشارة إليها).

يستخدم منظم الجهد ذو الوحدة الواحدة ومزدوج نقاط التلامس (من النوع الاهتزازي) فقط مع منظومة الشحن التي تحتوي على أميتر لبيان الشحن (شكل ٣ – ٥٦ إلى اليمين). منظم الجهد ذو الوحدتين ومزدوج نقاط التلامس (شكل ٣ – ٥٦ إلى اليسار)، يستخدم مع منظومة الشحن التي تحتوي على أميتر أو مصباح تحذير لبيان الشحن. منظم الجهد ذو الثلاث وحدات ومزدوج نقاط التلامس، يحتوي على منظم جهد و مُرَّحل مجال ومُرَّحل مصباح بيان الشحن.



شكل (٣ – ٥٦): منظمات الجهد المستخدمة مع مُوَّلدات التيار المتردد

(<u>إلى اليمين</u>: منظم جهد ذو وحدة واحدة ومزدوج نقاط التلامس (مع أميتر)، <u>إلى اليسار</u>: منظم جهد ذو وحدتين ومزدوج نقاط التلامس)

فيما يلي (كمثال لعمل منظمات الجهد الكهرومغناطيسية)، <u>طريقة عمل منظم الجهد ذي الوحدتين مزدوج نقاط التلامس والمستخدم مع مركبات جنرال موتور (شكل ٣ – ٥٦ إلى اليسار)</u>:

١- عند بدء إدارة محرك المركبة، تغلق نقاط تلامس مُرَّحل المجال، ولا يكون هناك جهد في ملفات العضو الساكن للمُوَّلد. بمجرد إغلاق نقاط تلامس مُرَّحل المجال، يتم مرور تيار المجال من البطارية بدلاً من المرور خلال مفتاح الإشعال والمقاومة السلكية.

٢- عندما تكون سرعة دوران محرك المركبة منخفضة، والبطارية والملحقات الكهربائية الأخرى (الحمل) في حاجة إلى كمية من التيار، تظل نقاط التلامس السفلية في منظم الجهد (voltage Regulator) مغلقة للسماح بمرور تيار المجال بأكمله (حوالي ٢ أمبير).

٣- كلما زادت سرعة دوران محرك المركبة أو انخفض الحمل، كلما اهتزت نقاط التلامس السفلية لمنظم الجهد بين وضعي الفتح والإغلاق لتقليل تيار المجال بين ٢ أمبير و ٤/٣ أمبير.

٤- عندما تصل سرعة الدوران ومتطلبات الحمل إلى الحالة التي تكون فيها قيمة تيار المجال ٤/٣ أمبير، وخرج المُوَّلد يكفي الاحتياج، يمر تيار المجال بالكامل خلال المقاوم (resistor) الذي يحد من قيمة التيار إلى ٤/٣ أمبير. في هذه الحالة، يكون عضو استنتاج المنظم (regulator armature) عائماً بين نقاط التلامس العلوية والسفلية، مما يسمح بمرور التيار من خلال المقاوم.

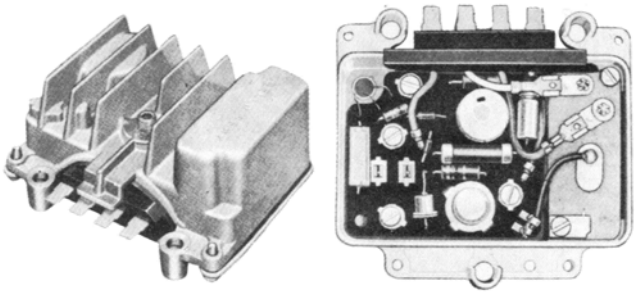
٥- عندما تكون سرعة دوران محرك المركبة عالية والحمل منخفضاً، تتسبب زيادة الجهد في دائرة الشحن في تحريك عضو استنتاج المنظم ليغلق نقاط التلامس العلوية ويصلها بالأرضي، وبالتالي لا يمر تيار مجال.

٦- كلما انخفضت سرعة دوران محرك المركبة، كلما كانت هناك حاجة شحن قليل حسب متطلب الحمل. في هذه الحالة، سوف تهتز نقاط التلامس العلوية ويمر تيار المجال بين صفر و ٤/٣ أمبير حسب معدل الاهتزاز.

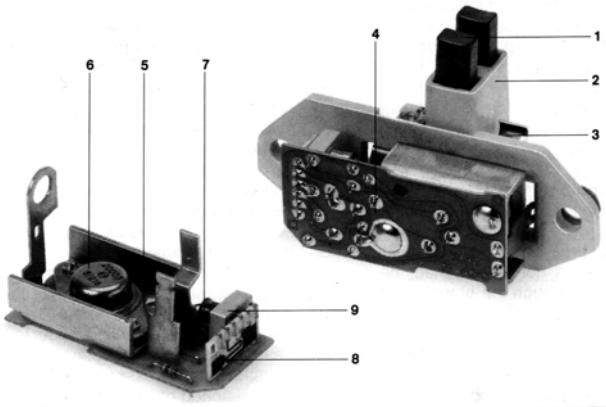
٢- منظمات الجهد الترانزستورية/ الإلكترونية (Transistorized/Electronic Voltage Regulators)

الغالب من المركبات التي صنعت خلال العشرين سنة الأخيرة وأكثر، تستخدم منظم الجهد الترانزستوري (transistorized voltage regulators) أو الإلكتروني (electronic voltage regulators) (يشمل أيضاً الأنواع ذات الدوائر التكاملية - integrated circuit voltage regulators)، حيث بدأ استخدام منظمات الجهد الترانزستورية والإلكترونية من بداية السبعينات من القرن الماضي. منظمات الجهد الترانزستورية والإلكترونية وذات الدوائر التكاملية، كلها مسمى واحد لمنظمات الجهد التي تستخدم المكونات المصنوعة من أشباه الموصلات في تركيبها الداخلي، المُكَّون الأساسي في هذه المنظمات هو الترانزستور و الدايود ومعها بعض المقاومات، أي إنها ترانزستورية في مكونات دوائرها التكاملية وإلكترونية في أدائها. يتم تقسيم الدوائر التكاملية لمنظمات الجهد الترانزستورية والإلكترونية إلى عدة مراحل أو دوائر جزئية، كل مرحلة تقوم بوظيفة معينة ضمن أداء منظم الجهد.

للتحكم في خرج المُوَّلد ، يستخدم منظم الجهد الترانزستوري والإلكتروني، ترانزستورات القدرة (power transistors) والدوائر التكاملية (integrated circuits) و الدايودات (diodes) وأجزاء أخرى في حالة جامدة (solid state parts). باستخدام منظم الجهد الترانزستوري والإلكتروني، تم التخلص من نقاط التلامس والأجزاء المتحركة في المنظمات الكهرومغناطيسية، والتي كانت معرضة للالتصاق أو الأكسدة أو التآكل. بعض أنواع منظمات الجهد الإلكترونية يتم تثبيتها بعيداً عن المُوَّلد (شكل ٣ – ٥٧). يمكن الاعتماد على منظمات الجهد الإلكترونية في أداء وظيفتها، لقدرتها على التحمل وصغر حجمها الذي يجعلها سهلة الدمج داخل المُوَّلد نفسه (شكل ٣ – ٥٨).



شكل (٣ – ٥٧): أحد أنواع منظمات الجهد الترانزستورية التي يتم تركيبها بعيداً عن المُوَّلد



شكل (٣ – ٥٨): أحد أنواع منظمات الجهد الترانزستورية التي يتم دمجها داخل المُوَّلد

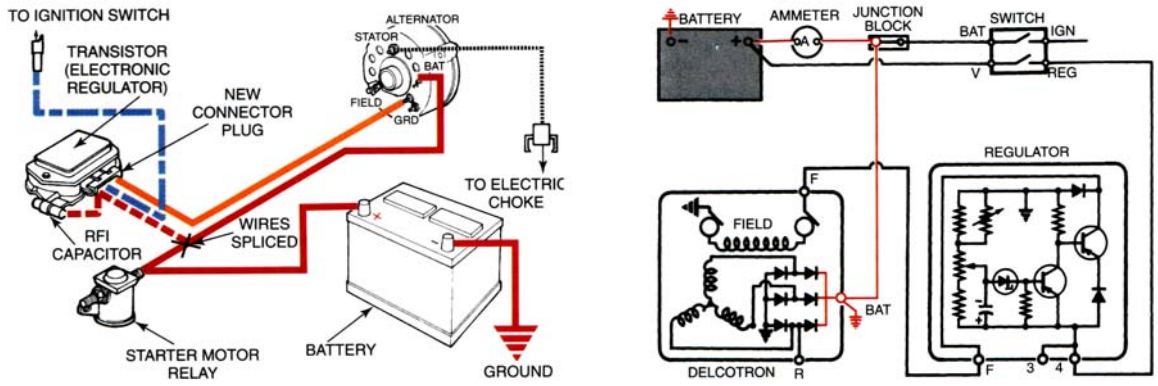
(١- الفرش الكربونية، ٢- حامل الفرش، ٣- ملامس ضغط، ٤- لوحة الدائرة المطبوعة مع الموصلات ووصلات اللحام، ٥- مرحلة التحكم، ٦- مرحلة القدرة، ٧- الدايودات، ٨- المقاومات على لوحة من السيراميك، ٩- مكثف)

أهم الأجزاء في منظم الجهد الترانزستوري هي الترانزستورات و الدايودات من نوع زينر، حيث

يعمل الترانزستور كمفتاح عمل/لا عمل (on/off) لتيار ملف الإثارة في تتابع سريع يصل إلى حوالي ٧٠٠٠ مرة في الثانية (بديلاً عن نقاط التلامس)، أما دايود زينر فهو يتحمل الارتفاع الحاد في درجة الحرارة نتيجة الزيادة المفرطة في الجهد والمسببة لزيادة التيار، كما يتحكم دايود زينر في عمل الترانزستورات.

منظمات الجهد الترانزستورية، تقوم بالتحكم في جهد خرج المُوَّلد إلكترونياً باستخدام الترانزستورات و الدايودات. دايود زينر هو عنصر الإحساس بالجهد، ويقوم بتغيير مقاومته لتتناسب مع متطلبات الجهد.

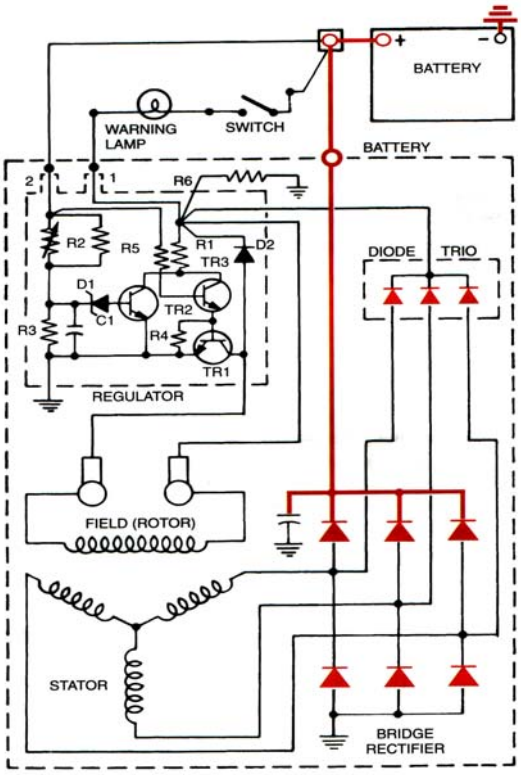
شكل (٣ – ٥٩ إلى اليمين) يوضح دائرة شحن تستخدم منظماً ترانزستورياً (عبارة عن ٢ ترانزستور، دايود زينر، وعدد من المقاومات، ومكثف) من النوع المثبت بعيداً عن المُوَّلد (شكل ٣ – ٥٩ إلى اليسار). أهم جزء في هذا المنظم هو دايود زينر، الذي يتم ضبطه عند نقطة انهيار (break-down point) تماثل الجهد الأقصى لدائرة الشحن (دايود زينر يكون غير موصل حتى يبلغ هذه القيمة من الجهد). عندما تبلغ قيمة الجهد في دائرة الشحن القيمة المضبوط عليها دايود زينر، يبدأ انهيار الدايود ويصبح موصلاً للكهرباء ويسمح بمرور التيار إلى الترانزستورات، ويوقف عمل ترانزستور القدرة وبالتالي يوقف مرور تيار المجال. يتسبب ذلك في هبوط قيمة جهد الخرج عن قيمة جهد انهيار دايود زينر، فيعود دايود زينر مرة أخرى ليصبح غير موصل للكهرباء، فيوقف مرور التيار إلى الترانزستورات ويسمح باستعادة مرور تيار المجال. تتكرر هذه الدورة آلاف المرات في الثانية.



شكل (٣ – ٥٩): دائرة شحن تستخدم منظم جهد ترانزستوري يثبت بعيداً عن المُوَّلد

(إلى اليمين: دائرة الشحن، إلى اليسار: التوصيلات الخارجية للمنظم ضمن دائرة الشحن في المركبة)

دائرة منظومة الشحن التي تستخدم منظم الجهد الترانزستوري (regulator) (راجع شكل ٣ – ٥٨) الذي يتم دمجه داخل المُوَّلد (يستخدم وحدة دايود ثلاثي - diode trio)، موضحة في شكل (٣ – ٦٠). الطرف (٢) على المُوَّلد، يتم توصيله دائماً مع البطارية.



TR_1 : ترانزستور رقم (١)

TR_2 : ترانزستور رقم (٢)

TR_3 : ترانزستور رقم (٣)

C_1 : مكثف رقم (١)

D_1 : زينر دايود

D_2 : دايود تفريغ المجال

R_2 : معادل حراري (thermistor)

R_1, R_3, R_4, R_5 : مقاومات

شكل (٣ – ٦٠): دائرة منظومة الشحن التي تستخدم منظم الجهد الترانزستوري المدمج داخل المُوَّلد

يمر تيار صغير من العضو الساكن (stator) خلال وحدة الدايود الثلاثي (diode trio) إلى المنظم، فيتعادل الجهد على جانبي مصباح بيان الشحن (indicator light)، ويحاول الوصول إلى الأرضي عن طريق المقاومة (R_3).

عندما يبلغ جهد العضو الساكن (stator) قيمة معينة، الجهد الذاهب إلى الأرضي خلال المقاومة (R_3) سيزداد إلى القيمة التي تجعل دايود زينر (D_1) موصلاً للكهرباء، وبالتالي يكون الترانزستور (TR_2) في حالة عمل (on) والترانزستورات (TR_1, TR_3) في حالة لا عمل (off)، وفي هذه اللحظة تنخفض فوراً قيمة تيار المجال وجهد دائرة الشحن بسبب لا عمل (TR_1).

عندما ينخفض جهد دائرة الشحن، يقل الجهد خلال المقاومة (R_3) ويتوقف دايود زينر (D_1) عن توصيل الكهرباء، مما يجعل الترانزستور (TR_2) في حالة لا عمل (off) و الترانزستورات (TR_1, TR_3) في حالة عمل (on)، وفي هذه الحالة سوف يزداد جهد الخرج و تيار المجال. تتكرر هذه الدورة آلاف المرات في الثانية، للحفاظ على جهد الخرج عند القيمة المحددة سلفاً.

المكثف (C_1) يمنع التغير المفاجيء في الجهد خلال المقاومة (R_3)، والمقاومة (R_4) تمنع التيار المفرط المُعَارِضْ خلال الترانزستور (TR_1) عند درجة الحرارة العالية.

تتم حماية الترانزستور (TR_1) بواسطة الدايود (D_2)، حيث يتم منع الجهد المستحث العالي في ملف

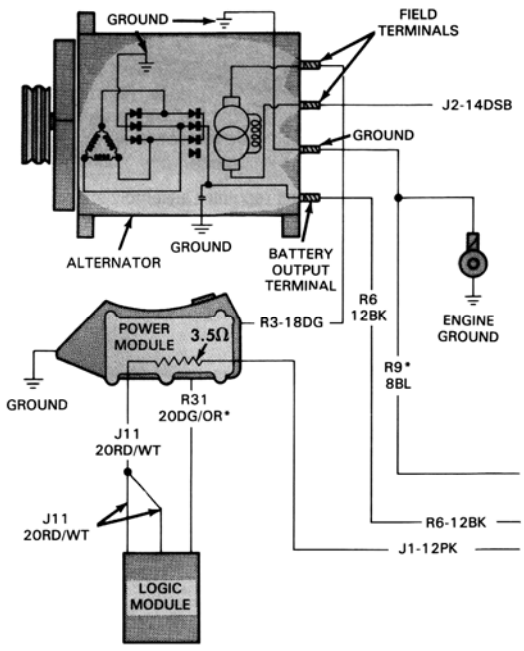
المجال عندما يكون (TR_1) في حالة لا عمل (off). يتم التحكم في تصحيح درجة الحرارة بواسطة معادل درجة الحرارة (thermistor) (R_2).

٣- التحكم في تنظيم الجهد بواسطة وحدة التحكم الإلكترونية (باستخدام وحدة التحكم الإلكترونية للمحرك)
(Computer-Controlled Voltage Regulation or Engine Computer Control System)

معظم المركبات في الوقت الحاضر، تمتلك وحدات تحكم إلكترونية عديدة (ECUs)، للتحكم في عمل محرك المركبة والأنظمة الأخرى بها.

يمكن استخدام وحدات التحكم الإلكترونية ((electronic control units (ECUs) (وحدة التحكم في عمل محرك المركبة - engine computer)، للتحكم في جهد ملف المجال في العضو الدوار لمُوَّلد التيار المتردد (التحكم في خرج المُوَّلد)، وبالتالي يمكن الاستغناء عن منظم الجهد التقليدي المستقل ضمن منظومة الشحن.

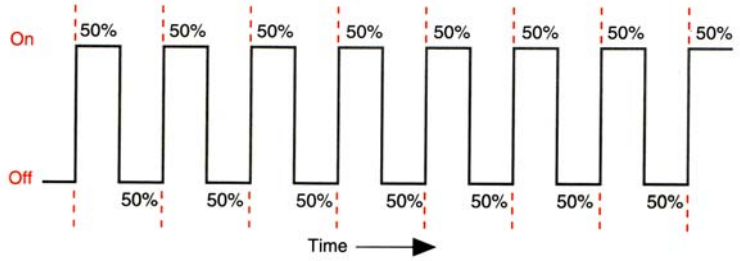
في وحدة التحكم الإلكترونية، يقوم الموديول المنطقي (logic module) بإخطار موديول القدرة (power module) عما سيفعله حيال هذه المنظومة للشحن كما في شكل (٣ – ٦١).



شكل (٣ – ٦١): استبدال منظم الجهد بوحدة التحكم في عمل المحرك

تقوم وحدة التحكم بتغيير مقدار الزمن الذي يقوم فيه التيار بتغذية ملف المجال في العضو الدوار، ويطلق على هذا الزمن اسم "دورة التشغيل" (the duty cycle) ويعبر عنها كنسبة مئوية. كلما كان

الحمل الكهربائي كبيراً، كلما كانت دورة التشغيل لملف المجال طويلة، والعكس صحيح. دورة التشغيل في معظم منظومات الشحن تكون حوالي ٥٠٪ (شكل ٣ – ٦٢).



شكل (٣ – ٦٢): دورة التشغيل (زمن العمل/زمن اللا عمل – on-time/off-time)

تقوم وحدة التحكم الإلكترونية بتشغيل وإيقاف مرور تيار المجال عند تردد ثابت مقداره حوالي ٤٠٠ دورة في الثانية. يمكن الحصول على تيار المجال الصحيح (وبالتالي خرج المُوَّلد الصحيح)، بتغيير أزمنة العمل و اللا عمل لدورة التشغيل.

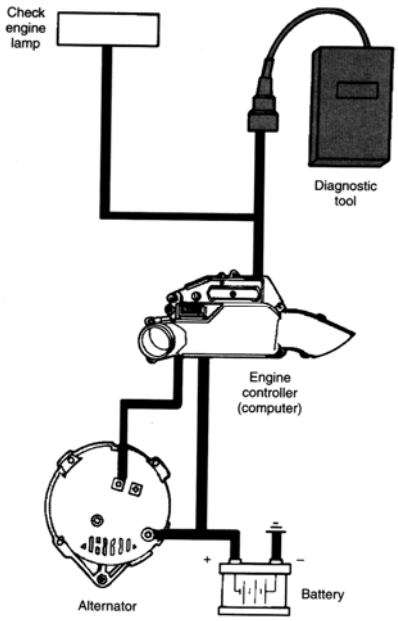
عند سرعات الدوران العالية لمحرك المركبة مع وجود أحمال قليلة من النظام الكهربائي للمركبة، فإن زمن عمل (on-time) تيار المجال ينخفض إلى ١٠٪.

عند سرعات الدوران المنخفضة لمحرك المركبة مع وجود أحمال عالية من النظام الكهربائي للمركبة، تقوم وحدة التحكم الإلكترونية بزيادة زمن عمل تيار المجال إلى ٧٥٪ وأكثر لتوليد تيار المجال بقيمة متوسطة عالية تتناسب مع متطلبات خرج المُوَّلد.

<u>من مميزات نظام التحكم الإلكتروني في خرج مُوَّلد التيار المتردد</u>:

١- القدرة على تغيير مقدار الجهد بالنسبة لمتطلبات المركبة ودرجات الحرارة المحيطة.
٢- تحكم دقيق يسمح باستخدام بطاريات صغيرة وخفيفة.
٣- يقلل السحب المغناطيسي (magnetic drag) للمُوَّلد، مما يزيد خرج محرك المركبة بعدة أحصنة قدرة (horsepower).
٤- يسمح باستخدام مقدرة تشخيص الأعطال بالحاسب لتحري أسباب المشاكل التي تحدث في منظومة الشحن (تعتبر ميزة ذاتية لوجود كمبيوتر المحرك) (مثل جهد خرج المُوَّلد عالي أو جهد خرج المُوَّلد منخفض) (شكل ٣ – ٦٣)

العيب الوحيد في نظام التحكم الإلكتروني في منظومة الشحن، يكمن في حالة تلف الجزء المسؤول عن التحكم في تنظيم الجهد في منظومة الشحن، ويتم تغيير وحدة التحكم بالكامل.



شكل (٣ – ٦٣): استخدام كمبيوتر المحرك مع أداة التشخيص لتحري الأعطال في منظومة الشحن

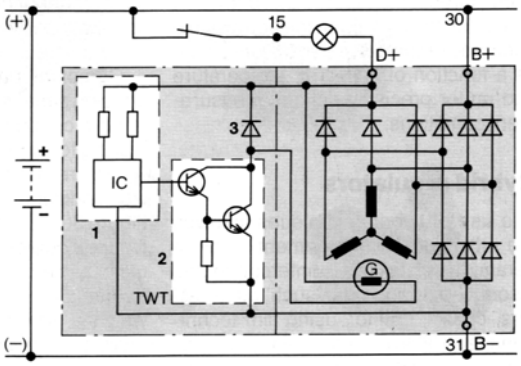
٤- المنظمات المُهَجَنة (Hybrid Regulators)

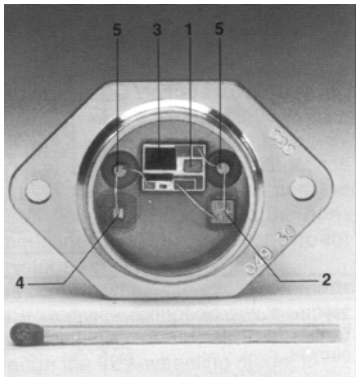
يشمل استخدام التقنيات المُهَجَنة (hybrid techniques)، الترتيب المدمج للمكونات المتواصلة (مثل المقاومات والمكثفات وغيرها) والمكونات الفاعلة (مثل الترانزستورات والدوائر التكاملية) على لوح من مادة السيراميك (ceramic plate) مستخدماً تقنيات الغشاء (film techniques) في تثبيت المكونات.

التقنيات المُهَجَنة، بالإضافة إلى التكوين المدمج، تقدم فائدة أخرى وهي تقليل عدد الوصلات بين المكونات المدمجة (تقليل وصلات اللحام التقليدية)، حيث إن عدد المكونات قليل.

المنظم المُهَجَن هو تطوير آخر وحديث للمنظم الترانزستوري والإلكتروني (شكل ٣ – ٦٤ إلى اليمين). يحتوي المنظم المُهَجَن على مرحلتين إحداهما هي مرحلة التحكم (control stage) والثانية هي مرحلة القدرة (power stage). الدائرة التكاملية ((integrated circuit (IC)) تمثل مرحلة التحكم، وتضم كل دوال التحكم (مثل مقارنة القيم السابقة الضبط مع القيم الفعلية، معادلة درجة الحرارة وغيرها)، وتعتبر قلب المنظم المُهَجَن، وهي المرحلة الأساسية الأولى التي تقود إلى مرحلة القدرة أو مرحلة

خرج المُوَّلد. توصيل مكونات المنظم المُهَّجَن ضمن دائرة المنظم موضحة في شكل (٣ – ٦٤ إلى اليسار).





شكل (٣ – ٦٤): إلى اليمين: المنظم المُهَّجَن (١- الدائرة التكاملية (مرحلة التحكم)، ٢- مرحلة القدرة، ٣- مقاومات على التوالي، ٤- دايود الاضمحلال، ٥- أسلاك توصيل الكهرباء)، إلى اليسار: دائرة توصيل المنظم المُهَّجَن (١- مرحلة التحكم، ٢- مرحلة القدرة، ٣- دايود الاضمحلال)

بالرجوع إلى شكل (٣ – ٦٤ إلى اليمين)، نجد أن جميع مكونات المنظم المُهَّجَن مرتبة داخل غلاف معدني متين ممتلئ بغاز وقاية. أسلاك التوصيل الكهربائية ظاهرة خارج المنظم من خلال محور معدني محاط بزجاج معزول. مكونات القدرة في مرحلة الخرج (ترانزستورات و دايود الاضمحلال)، مثبتة مباشرة على اللوح الصلب لضمان تبديد حراري جيد. الدائرة التكاملية والمقاومات (مرحلة التحكم) مرتبة على شريحة صغيرة من السيراميك باستخدام تقنية الغشاء السميك. يتم تجميع المنظم مع حامل الفرش الكربونية لتكوين وحدة واحدة تثبت مباشرة مع المُوَّلد بدون أية أسلاك.

المنظم المُهَّجَن به حساس درجة حرارة داخلي، وموصل مع حساس درجة حرارة خارجي يقيس درجة حرارة البطارية عند قاعدتها. وجود حساس درجة الحرارة الخارجي، يسمح بتنظيم معدل شحن البطارية

حسب التغيرات في درجة حرارة الجو المحيط حتى لا تتعرض البطارية للتلف بسبب خطأ في معدل الشحن المطلوب (يقل معدل الشحن عند درجات الحرارة العالية، والعكس صحيح). تتم مقارنة درجة الحرارة الواردة من الحساس الخارجي مع درجة الحرارة من الحساس الداخلي للمنظم. في حالة وجود اختلاف في القيم المُقَارنة، تستكشف الدائرة المنطقية في المنظم سبب ذلك (هل قطع توصيل الحساس الخارجي أو وجود دائرة قصر به) ثم يتم تحويل مهمة قياس درجة الحرارة إلى الحساس الداخلي للمنظم حتى يتم إصلاح الحساس الخارجي.

الفصل الثالث: اختبار وصيانة منظومة الشحن

(Charging System Maintenance and Testing)

تحتاج منظومة الشحن ذات مُوَّلد التيار المتردد إلى عمليات فحص منتظم وصيانة. الفحص الدوري يعتمد على ظروف تشغيل منظومة الشحن. سرعات التشغيل العالية، ودرجات الحرارة العالية، والأتربة والغبار، والرطوبة، كلها تسبب زيادة تآكل مكونات منظومة الشحن خاصة مكونات المُوَّلد.

فحص وصيانة منظومة الشحن (Charging System Inspection and Maintenance)

قبل عمل الاختبارات و استبدال الأجزاء في منظومة الشحن، قم بإجراء فحص سريع لعناصر المنظومة. قد يقود أحد الفحوصات إلى مصدر الخلل في منظومة الشحن.

منظومة الشحن لا تحتاج إلى صيانة دورية باستثناء الكشف عن حالة وشد سير الإدارة. العديد من أنواع مُوَّلدات التيار المتردد بها منظمات جهد مثبتة على سطحها أو موجودة بداخلها، كما تحتوي على محامل محكمة ضد التسرب وممتلئة دائماً بوسيط تزييت.

<u>فيما يلي أهم الفحوصات وأعمال الصيانة التي تُجرى على منظومة الشحن قبل إجراء أية اختبارات</u>:

١- فحص حالة شحن البطارية
٢- فحص حالة وشد سير المُوَّلد.
٣- فحص سلامة المنصهرات و الوصلات المنصهرة واستبدال التالف منها.
٤- فحص حالة كيابل وأسلاك وتوصيلات منظومة بدء الحركة ومنظومة الشحن، من حيث عدم وجود آثار حرارة زائدة أو التآكل أو القطع.
٥- فحص حالة البطارية ومنظومة بدء الحركة قبل إجراء الاختبارات الكهربائية على منظومة الشحن.
٦- فحص التثبيت والربط لكل من المُوَّلد وبادئ الحركة والمنظم جيداً في أماكنها، للتأكد من وجود توصيل أرضي جيد لدوائرها الكهربائية.
٧- المنظم التالف يتم تغييره في المعتاد.
٨- الكشف على المحامل والفرش الكربونية والحلقات المنزلقة، التي تسبب معظم مشاكل منظومة الشحن (يتم ذلك عند فك المُوَّلد لإصلاح أي عطل به).

٩- استبدال الفرش الكربونية المتآكلة بأخرى جديدة (طول الفرش الجديدة حوالي ١٣ مم) (يجب استبدال الفرش إذا وصل طولها إلى ٦ مم فأقل).

١٠- فحص حالة الدايودات واستبدال الدايودات.

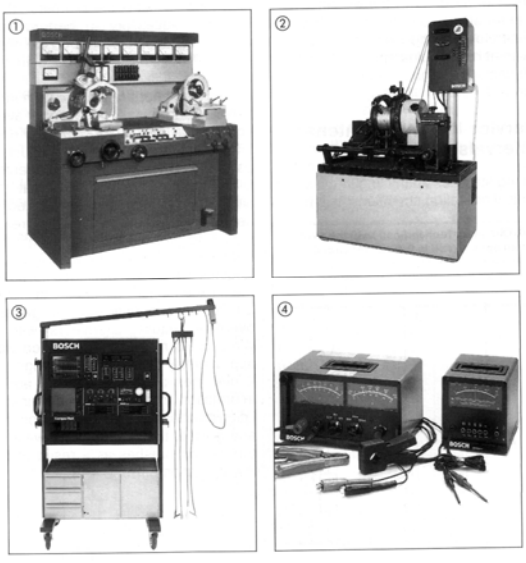
١١- استبدال المُوَّلد التالف إذا لم يكن هناك جدوى من إصلاحه.

اختبار منظومة الشحن (Charging System Testing)

يمكن إجراء اختبارات منظومة الشحن والحصول على نتائج دقيقة، باستخدام الأجهزة الصحيحة الخاصة باختبارات المنظومة. شكل (٣ – ٦٥) يوضح بعض الأجهزة المستخدمة في اختبارات منظومات الشحن في المركبات. يتم تقسيم اختبارات منظومة الشحن إلى نوعين من الاختبارات، هما:

١- اختبارات تجرى على المركبة (Area Tests) (تجرى على المنظومة وهي في مكانها بالمركبة) (مزيد من التفاصيل حول هذه الاختبارات، تجدها في الحقيبة العملية للمقرر).

٢- اختبارات تجرى على منصة الاختبار (Bench Tests) (تجرى فقط على أجزاء المُوَّلد المفككة).



شكل (٣ – ٦٥): بعض الأجهزة المستخدمة في اختبارات منظومة الشحن

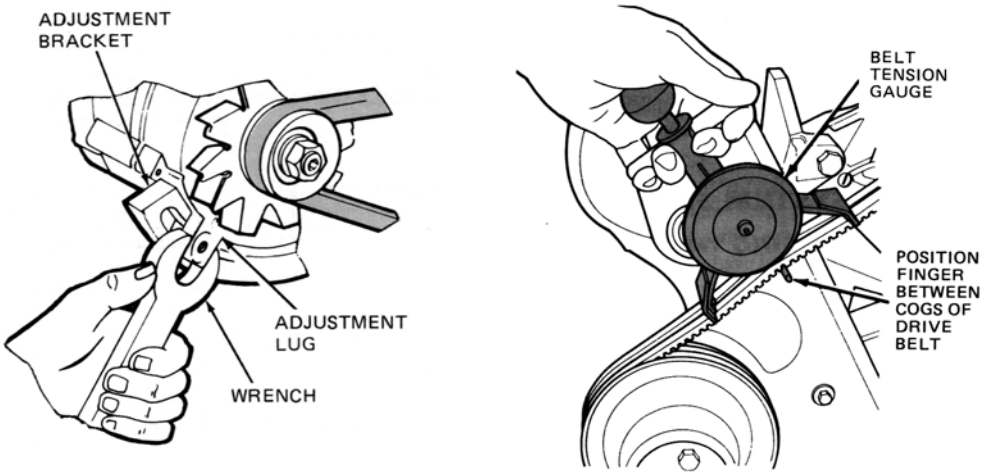
(١- منصة اختبار المُوَّلد وبادئ الحركة و الدايودات وموزع الشرر وملفات الإشعال، ٢- منصة اختبار خاصة بالمُوَّلد فقط،

٣- مجموعة أجهزة محمولة منها مرسمة الذبذبات (الأوسيليسكوب) لاختبار الدايودات، ٤- جهاز فولتمتر- أميتر مع مقاوم تحميل، وجهاز اختبار الدايودات والمُقَوِّم وملفات العضو الساكن والعضو الدوار)

١- اختبارات منظومة الشحن على المركبة (Charging-system Area Tests)

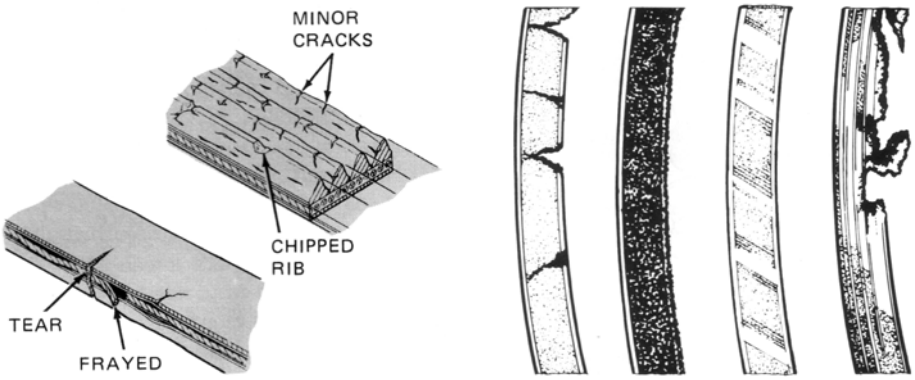
١- ١- اختبار شد سير الإدارة (Testing the Drive Belt Tension)

قبل إجراء بقية اختبارات منظومة الشحن، يجب اختبار الشد في سير إدارة المُوَّلد بعد التأكد من حالته وسلامته. شكل (٣ – ٦٦ إلى اليمين) يوضح طريقة استخدام مقياس الشد في السير للتأكد من قيمة الشد بحسب كتيب الصيانة. يمكن شد السير بالطريقة الموضحة في شكل (٣ – ٦٧ إلى اليسار) عن طريق الشَدَّاد، ثم يعاد قياس الشد مرة أخرى.



شكل (٣ – ٦٦): إلى اليمين: مقياس الشد في سير الإدارة، إلى اليسار: شد السير عن طريق الشَدَّاد

شكل (٣ – ٦٧) يوضح أمثلة للتلف الذي يحدث في سير الإدارة، والذي يمكن ملاحظته عند فحص السير بالنظر واللمس. يتم استبدال السير في حالة حدوث انزلاق بعد ضبط قيمة الشد فيه.



شكل (٣ – ٦٧): أمثلة للتلف الذي يحدث في سير الإدارة

١- ٢- اختبار خرج منظومة الشحن (Charging-system Output Test)

يقيس هذا الاختبار أقصى قيمة للتيار أو الخرج التي يمكن للمُوَّلد إنتاجها عند جهد معين. لقياس خرج منظومة الشحن، اتبع الخطوات التالية:

١- قم بتوصيل جهاز اختبار الفولت – أمبير للبطارية وهي في المركبة كما هو موضح في شكل (٣ – ٦٨).

٢- قم بتشغيل أنوار المركبة والملحقات الكهربائية.

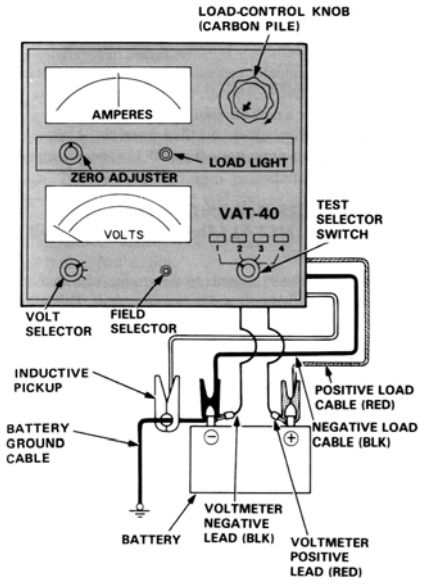
٣- أدر محرك المركبة عند سرعة ٢٣٠٠ لفة/دقيقة.

٤- اضبط مفتاح التحكم في الحمل في جهاز الاختبار حتى يبين الأميتر أقصى قيمة للتيار القادم من المُوَّلد.

٥- إذا كان ضرورياً، اضبط الحمل لتفادي هبوط الجهد عن ١٣ فولت أثناء الاختبار.

٦- أعد مفتاح التحكم في الحمل إلى وضع عدم التشغيل (off).

٧- راعي ألا يزيد زمن الاختبار عن ١٥ ثانية حتى لا تحدث زيادة سريعة في الحرارة أو تلف.



شكل (٣ – ٦٨): توصيل جهاز اختبار خرج منظومة الشحن

تكون منظومة الشحن جيدة إذا كان خرج منظومة الشحن في حدود ١٥ أمبير، أما إذا كان الخرج ليس في هذه الحدود، فتكون المنظومة في حالة غير جيدة ويكون هناك تلف ملفات العضو الساكن (دائرة قصر) أو تلف في المنظم أو تلف في التوصيلات أو في الأسلاك.

إذا كانت قراءة الأمبير صفراً، يكون السبب وجود دائرة مفتوحة في ملف مجال العضو الدوار أو

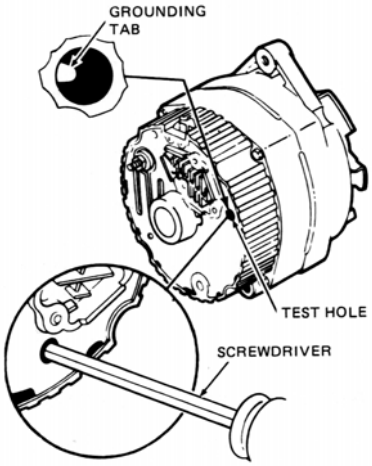
في دائرة المجال.

بعد إيقاف عمل حمل جهاز الاختبار، استمر في إدارة محرك المركبة بنفس السرعة مع ملاحظة قراءة الفولتمتر و الأميتر. عندما يهبط تيار الشحن إلى أقل من ١٥ أمبير، سجل قراءة الفولتمتر لتكون هي جهد ضبط المنظم.

١- ٣- اختبار المجال الكامل (Full-field Test)

عند عدم تطابق خرج منظومة الشحن مع المواصفات والخصائص المحددة في كتيب الصيانة، يجب إجراء اختبار المجال الكامل. يتم تحييد منظم الجهد قبل إجراء اختبار المجال الكامل (عمل مرور التفافي حول المنظم كأنه مفصول عن المنظومة)، أي إنه يتم اختبار منظومة الشحن وقياس الخرج غير المنظم لها. أحياناً يسمى هذا الاختبار "اختبار تحييد المنظم" (regulator by-pass test).

تحييد المنظم يتم بعدة طرق ومحرك المركبة لا يعمل وبحسب الطريقة المنصوص عليها في كتيب الصيانة. على سبيل المثال هناك فتحة اختبار (test hole) في مؤخرة بعض المُوَّلدات، يمكن وضع مفك داخل هذه الفتحة لتحييد منظم الجهد كما هو موضح في شكل (٣ – ٦٩).



شكل (٣ – ٦٩): تحييد منظم الجهد بوضع مفك في فتحة اختبار المُوَّلد الخلفية

يستخدم جهاز الاختبار السابق توضيحه في شكل (٣ – ٦٨) لإجراء اختبار المجال الكامل على النحو التالي:

١- أدر محرك المركبة على سرعة اللا حمل (سرعة التباطؤ).

٢- اضبط مفتاح التحكم في الحمل في جهاز الاختبار حتى تصل قراءة الفولتمتر إلى ١٥ فولت.

٣- لا تسمح بزيادة الجهد عن ١٦ فولت (بعض المصنعين يسمح بالوصول إلى ١٨ فولت)

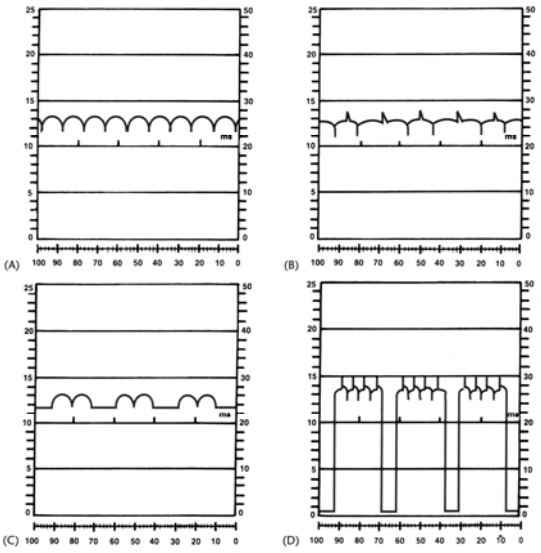
٤- أعد مفتاح التحكم في الحمل إلى وضع عدم التشغيل (off).

٥- أوقف عمل محرك المركبة وأعد الوضع إلى ما كان عليه.

إذا كان خرج المُوَّلد في حدود مواصفات الجهة المنتجة، يحتمل أن يكون منظم الجهد تالفاً. إذا كان خرج المُوَّلد بعيداً عن حدود مواصفات الجهة المنتجة، قم بإصلاح المُوَّلد أو استبدله.

١- ٤- الفحص بواسطة جهاز مرسمة الذبذبات (الأوسيليسكوب) (Oscilloscope Checks)

يمكن اختبار خرج المُوَّلد باستخدام مرسمة الذبذبات (الأوسيليسكوب). شكل (٣ – ٧٠) يوضح نمط تدفق الجهد للمُوَّلد الجيد وللمُوَّلد الذي به عيوب. تطابق نمط تدفق الجهد للمُوَّلد المختبر مع نمط التدفق القياسي للجهد، يدل على جودة المُوَّلد. في حالة اختلاف النمطين، يتم الرجوع إلى منحنيات الاختبار المختلفة لمعرفة مكان العيب في المُوَّلد (الملفات أو الدايودات أو الدايود الثلاثي أو دائرة التقويم وغيرها). معظم أجهزة اختبار البطارية والمُوَّلد يمكنها تقصي حالة الدايودات.



شكل (٣ – ٧٠): شكل نمط تدفق جهد المُوَّلد باستخدام مرسمة الذبذبات (الأوسيليسكوب)
(A: مُوَّلد جيد عند حمل كامل، B: مُوَّلد جيد عند لا حمل، C: دائرة قصر في دايود أو ملف العضو الساكن عند حمل كامل،
D: دايود مفتوح في الدايود الثلاثي)

٢- اختبارات المُوَّلد على منصة الاختبار (Alternator Bench Tests)

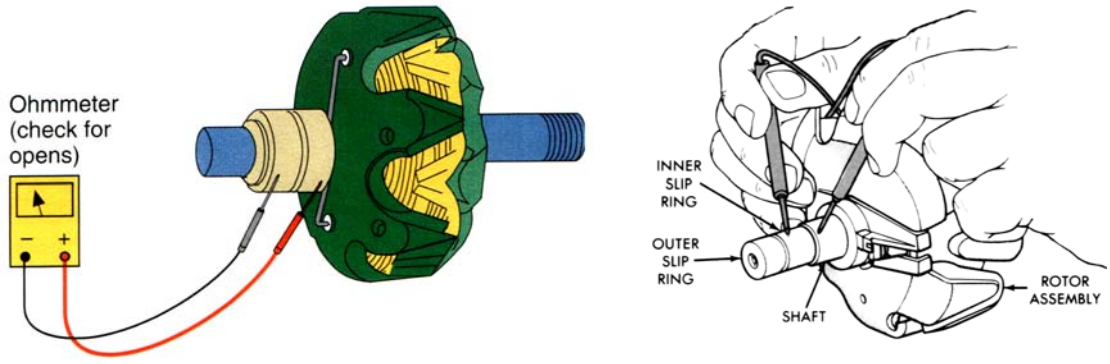
في حالة وجود عيب في المُوَّلد نفسه، ينبغي فك المُوَّلد من المركبة وفكه إلى مكونات وأجزاء ثم تجرى الاختبارات التالية على هذه الأجزاء لتحديد صلاحيتها. في أحيان كثيرة ومن وجهة نظر اقتصادية، يُنصَح بعدم إعادة تأهيل المُوَّلد للعمل مرة أخرى ويفضل استبداله بآخر جديد. هناك أنواع من المُوَّلدات لا يسمح بإعادة تأهيلها ويجب استبدالها فوراً. عند فك وإعادة تركيب المُوَّلد، يجب اتباع التعليمات الخاصة بذلك الموجودة في كتيب الصيانة. تتم الاختبارات على منصة الاختبار الخاصة بالمُوَّلد أو باستخدام أجهزة قياس أخرى مثل مصباح الاختبار أو جهاز قياس المقاومة.

٢- ١- فحص الفرش (Check Brushes)

يجب فحص أطوال الفرش واستبدالها في حالة وجود تآكل بها (عندما يكون الطول أقل من نصف الطول القياسي). أيضاً، يجب اختبار نوابض الفرش. يجب أن تكون الفرش خالية من أية آثار للزيوت أو الشحوم.

٢- ٢- اختبارات العضو الدوار (Rotor Tests)

لاختبار العضو الدوار للبحث عن دائرة مفتوحة (open circuit)، يتم توصيل أسلاك مصباح الاختبار (test lamp) بكل حلقة من الحلقات المنزلقة. إذا لم يضئ المصباح، دل ذلك على وجود دائرة مفتوحة.



شكل (٣ – ٧١): إلى اليمين: اختبار دائرة القصر بالعضو الدوار (باستخدام مصباح الاختبار)، إلى اليسار: اختبار الدائرة المفتوحة بالعضو الدوار (باستخدام جهاز قياس المقاومة)

لاختبار العضو الدوار للبحث عن دائرة قصر للأرضي (short to ground circuit) (شكل ٣ – ٧١

إلى اليمين)، يتم توصيل أحد أسلاك مصباح الاختبار بعمود العضو الدوار والطرف الآخر بإحدى الحلقات المنزلقة. إذا أضاء المصباح، دل ذلك على وجود دائرة قصر للأرضي بين الملف أو الحلقات المنزلقة وبين عمود العضو الدوار.

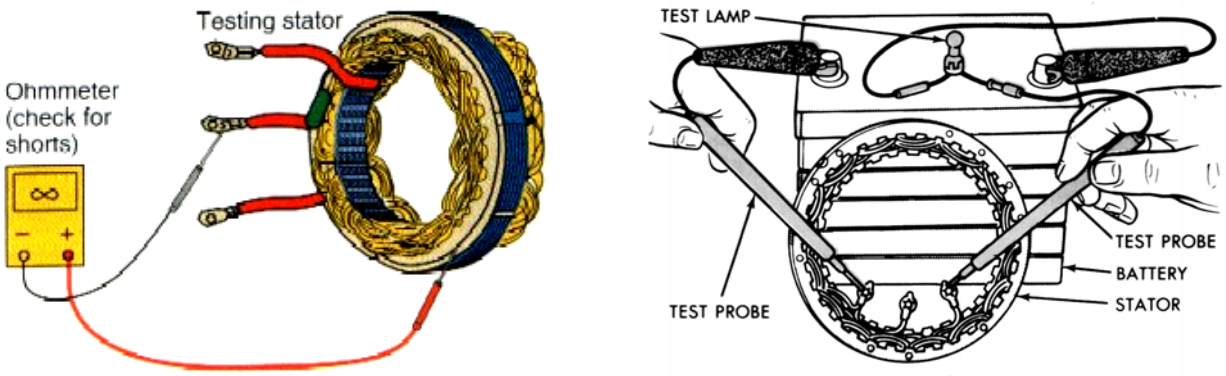
يمكن إجراء اختبارات العضو الدوار باستخدام جهاز قياس المقاومة (ohmmeter) بدلاً من مصباح الاختبار (شكل ٣ – ٧١ إلى اليسار). إذا فشل العضو الدوار في اجتياز الاختبارين، يجب استبداله.

٢- ٣- اختبارات العضو الساكن (Stator Tests)

لاختبار العضو الساكن للبحث عن دائرة مفتوحة (open circuit)، تتم ملامسة أسلاك مصباح الاختبار لملفات العضو الساكن (اثنان منها في كل مرة). إذا لم يضئ المصباح، دل ذلك على وجود دائرة مفتوحة في ملفات العضو الساكن (شكل ٣ – ٧٢ إلى اليمين).

لاختبار العضو الساكن للبحث عن دائرة قصر للأرضي (short to ground circuit)، يتم توصيل أحد أسلاك مصباح الاختبار بقلب العضو الساكن (قم بإزالة الطلاء أولاً) والطرف الآخر بكل ملف من ملفات العضو الساكن الثلاثة. إذا أضاء المصباح، دل ذلك على وجود دائرة اتصال الملفات بالأرضي.

يمكن إجراء اختبارات العضو الساكن باستخدام جهاز قياس المقاومة بدلاً من مصباح الاختبار (شكل ٣ – ٧٢ إلى اليسار). إذا فشل العضو الساكن في اجتياز الاختبارين، يجب استبداله.



شكل (٣ – ٧٢): إلى اليمين: اختبار الدائرة المفتوحة بالعضو الساكن (باستخدام مصباح الاختبار)، إلى اليسار: اختبار دائرة القصر بالأرضي بالعضو الساكن (باستخدام جهاز قياس المقاومة)

٢- ٤- اختبارات الدايودات (Diodes Tests)

يمكن اختبار الدايودات وهي مثبتة في أماكنها على حامل الدايودات أو اختبارها منفصلة بعد فكها من الحامل. تتم عملية الاختبار إما بواسطة مصباح الاختبار وإما بواسطة جهاز قياس المقاومة.

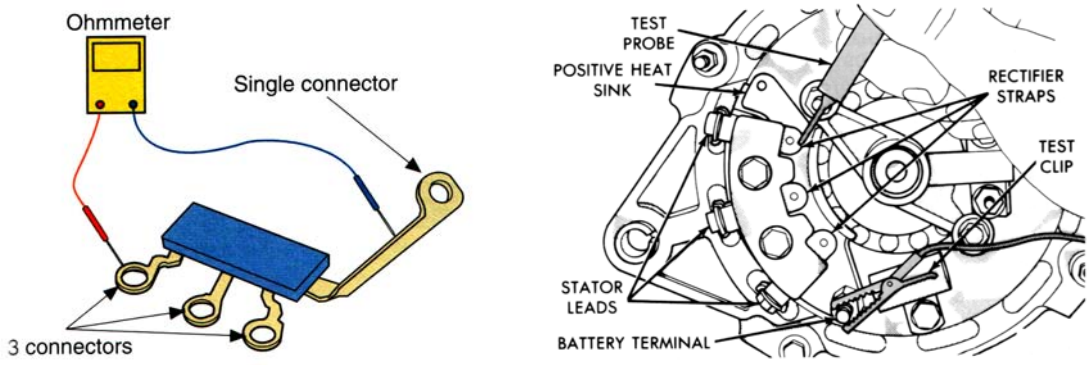
تسمح أجهزة اختبار عديدة بإجراء اختبار الدايودات دون الحاجة إلى فك أطراف ملفات العضو الساكن من أماكنها، بينما تسمح أجهزة اختبار أخرى بإجراء الاختبارات وأطراف الملفات في أماكنها.

لإجراء اختبار الدايود الموجب، وصل طرفاً من أطراف جهاز قياس المقاومة بطرف خرج المُوَّلد ووصل الطرف الآخر بإطار دايود أو بمحوره، وذلك لكل الدايودات بالترتيب (شكل ٣ – ٧٣إلى اليمين). قراءات الجهاز لابد أن تكون في مدى جيد ومتقاربة من بعضها لكل الدايودات للدلالة على جودة الدايودات.

لإجراء اختبار الدايودات السالبة، وصل طرف الجهاز بغطاء نهاية المُقَّوِم والطرف الآخر بكل دايود من الدايودات السالبة بالترتيب. أيضاً، قراءات الجهاز لابد أن تكون في مدى جيد ومتقاربة من بعضها لكل الدايودات للدلالة على جودة الدايودات.

لاختبار الدايود المنفصل، استخدم مصباح الاختبار بتوصيل أحد أطرافه بقاعدة الدايود والطرف الآخر بمحور (دليل) الدايود، ثم اعكس التوصيل ولاحظ المصباح في الحالتين. إذا كان الدايود سليماً، سيضاء المصباح مرة واحدة في حالة من الحالتين، أما إذا أضاء المصباح في الحالتين فهو دلالة على وجود دائرة قصر بالدايود. إذا لم يضئ المصباح في الحالتين، دل ذلك على وجود دائرة مفتوحة في الدايود.

يمكن اختبار الدايود الثلاثي (diode trio) باستخدام جهاز قياس المقاومة كما هو مبين في شكل (٣ – ٧٣ إلى اليسار).



شكل (٣ – ٧٣): إلى اليمين: اختبار الدايودات الموجبة باستخدام جهاز قياس المقاومة
إلى اليسار: اختبار الدايود الثلاثي باستخدام جهاز قياس المقاومة

الفصل الرابع: الأعطال الشائعة في منظومة الشحن

(Charging System Troubles)

جدول (٣ – ٢) عبارة عن خريطة لتشخيص الأعطال في منظومة الشحن، حيث يوضح قائمة بالأعطال المحتملة وأسباب هذه الأعطال، ثم كيفية التأكد من العطل وبالتالي يمكن تصحيحه. مزيد من التفاصيل عن الأعطال في منظومة الشحن ومسبباتها تجدها في الحقيبة العملية.

الظواهر الآتية، تعطي أيضاً دلالة على وجود خلل في منظومة الشحن:

١- شحن منخفض للبطارية: بدء الإدارة البطيء لمحرك المركبة، يعتبر إشارة أولية عن الشحن المنخفض للبطارية. مبين شحن البطارية، يعطي إشارة أخرى عن حالة شحن البطارية، إذا كان لون عين الشفافة أصفر فاتحاً أو شفافاً فيجب تغيير البطارية فوراً.

٢- شحن زائد للبطارية: الشحن الزائد يسبب التوهج الشديد لمصابيح الإضاءة عند زيادة سرعة دوران محرك المركبة، مما يقصر من عمر البطارية والمصابيح، وقد يسبب تلف أجزاء كهربائية أخرى. الشحن الزائد عادة يكون بسبب جهد الخرج العالي للمُوَّلد الناتج عن تلف منظم الجهد أو دائرة قصر أو توصيل أرضي في ملف العضو الدوار.

٣- مصباح بيان الشحن يعمل بصورة غير طبيعية: يجب أن ينطفئ مصباح بيان الشحن في لوحة العدادات بعد إتمام دوران محرك المركبة. في بعض المركبات، يظل المصباح يضيء وينطفئ إذا كان جهد الشحن عالياً أو منخفضاً. في حالة استخدام أميتر لبيان الشحن، فإن سريان تيار الشحن يجب أن يظهر على الأميتر طوال دوران محرك المركبة. في حالة وجود فولتمتر لبيان الشحن، فإن القراءة يجب أن تكون ما بين ١٣ و ١٦ فولت. أية ظروف أخرى غير هذه الظروف، فإن هناك خلل في منظومة الشحن.

٤- مصباح الخلل في التشغيل يضيء: يعتبر جهد منظومة الشحن (جهد البطارية) أحد المدخلات لوحدة التحكم الإلكتروني بالمركبة. في منظومات الشحن التي يتم التحكم فيها بواسطة كمبيوتر المركبة، تحس وحدة التحكم الإلكتروني في المحرك بأي خلل في دائرة المجال أو أي خلل في منظومة الشحن. كل خلل في منظومة الشحن أو دائرة المجال، له رقم كودي مخزن في وحدة التحكم، ويظهر عند إضاءة مصباح الخلل في التشغيل.

العطل	أسباب العطل	علاج العطل
يتم بدء إدارة محرك المركبة بصورة طبيعية، لكن البطارية لا تبقى مشحونة	١- تلف البطارية ٢- عدم الشد الجيد أو تلف سير المُوَّلد ٣- تلف أو تآكل الأسلاك أو الكيابل ٤- تلف في المُوَّلد ٥- تلف في المنظم ٦- خلل في تشغيل الأنظمة الكهربائية الأخرى للمركبة	١- اختبر البطارية واستبدلها إذا لزم الأمر ٢- اضبط الشد أو استبدل السير ٣- أجر الصيانة بحسب المطلوب ٤- اختبر المُوَّلد واستبدل ما يلزم من المكونات ٥- اختبر المنظم، استبدل المنظم إذا لزم الأمر ٦- اختبر هذه الأنظمة من حيث سحب التيار، وأجر الصيانة بحسب المطلوب
صدور ضوضاء من المُوَّلد	١- عدم الشد الجيد أو تلف سير المُوَّلد ٢- وجود انحناء حافة(شفة) في بكرة إدارة المُوَّلد ٣- تلف في المُوَّلد ٤- المُوَّلد غير مثبت جيداً في مكانه	١- اضبط الشد أو استبدل السير ٢- استبدل بكرة إدارة المُوَّلد ٣- تجرى الصيانة، أو يستبدل المُوَّلد ٤- اربط المُوَّلد جيداً في مكانه
تكرار احتراق الأنوار والفيوزات	١- تلف أو تآكل في الأسلاك ٢- تلف في المُوَّلد أو في المنظم ٣- تلف في البطارية	١- أجر الصيانة بحسب المطلوب ٢- اختبر المُوَّلد والمنظم وقم بإجراء الصيانة، واستبدل إذا لزم الأمر ٣- اختبر البطارية، واستبدل إذا لزم الأمر
ارتعاش مصباح بيان الشحن بعد بدء إدارة محرك المركبة، بعدها يضيء أثناء القيادة	١- عدم الشد الجيد أو تلف سير المُوَّلد ٢- تلف في المُوَّلد ٣- تلف في التوصيل الأرضي لدائرة المجال ٤- تلف في المنظم	١- اضبط الشد أو استبدل السير ٢- اختبر المُوَّلد واستبدل ما يلزم من المكونات، أو استبدل المُوَّلد نفسه ٣- قم بالإصلاح أو استبدل الأسلاك أو استبدل التوصيلات ٤- اختبر المنظم، استبدل المنظم إذا

	٥- تلف في أسلاك أو في توصيلات دائرة مصباح بيان الشحن	لزم الأمر ٥- قم بالإصلاح بحسب المطلوب
ارتعاش مصباح بيان الشحن أثناء القيادة	١- عدم الشد الجيد أو تلف سير المُوَّلد ٢- عدم إحكام أو عدم صحة وصلات الأسلاك ٣- تلف في المُوَّلد ٤- تلف في المنظم	١- اضبط الشد أو استبدل السير ٢- قم بالإصلاح بحسب المطلوب ٣- اختبر المُوَّلد واستبدل ما يلزم من المكونات، أو استبدل المُوَّلد نفسه ٤- اختبر المنظم، استبدل المنظم إذا لزم الأمر
أميتر أو فولتمتر بيان الشحن يظهر وضع "تفريغ"	١- عدم الشد الجيد أو تلف سير المُوَّلد ٢- تلف أو تآكل الأسلاك (توصيل أرضي أو دائرة مفتوحة بين المُوَّلد والبطارية) ٣- تلف التوصيل الأرضي لدائرة المجال ٤- تلف في المُوَّلد ٥- تلف في المنظم ٦- تلف في الأميتر أو الفولتمتر ٧- خلل في تشغيل الأنظمة الكهربائية الأخرى للمركبة	١- اضبط الشد أو استبدل السير ٢- قم بإصلاح الأسلاك أو استبدلها ٣- قم بإصلاح الأسلاك أو استبدلها ٤- اختبر المُوَّلد واستبدل ما يلزم من المكونات، أو استبدل المُوَّلد نفسه ٥- اختبر المنظم، استبدل المنظم إذا لزم الأمر ٦- استبدل الأميتر أو الفولتمتر ٧- اختبر هذه الأنظمة من حيث سحب التيار، وأجر الصيانة بحسب المطلوب

جدول (٣ – ٢): الأعطال الشائعة في منظومة الشحن بالمركبة

امتحان ذاتي رقم (١)

أولاً : ضع علامة (√) أمام العبارة الصحيحة وضع علامة (X) أمام العبارة الخطأ ، في العبارات التالية :

١- منظمات الجهد الترانزستورية والإلكترونية لا تحتوي على أجزاء متحركة ( ).

٢- مُوَّلدات التيار المتردد لم تعد تستخدم منذ زمن طويل في المركبات نظراً لانخفاض خرجها عند سرعة تباطؤ محرك المركبة ( ).

٣- يمكن تثبيت منظم الجهد الكهروميكانيكي (الكهرومغناطيسي) داخل المُوَّلد ( ).

٤- لا يسمح بتآكل الفرش الكربونية إلى أقل من نصف طولها الأصلي ( ).

٥- يسمح لمُوَّلد التيار المتردد بالدوران في اتجاه عقارب الساعة فقط ( ).

ثانيا : ضع دائرة حول الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المرفقة مع كل سؤال من الأسئلة الآتية :

١- أي من الأجزاء الآتية تستخدمها منظمات الجهد الحديثة للتحكم في مُوَّلدات التيار المتردد؟:

أ – نقاط تلامس

ب – ملفات كهرومغناطيسية

ج – فرش

د – مكونات إلكترونية

٢- في معظم مُوَّلدات التيار المتردد ، أي من الأجزاء التالية يمثل المجال المغناطيسي المتحرك؟:

أ – عضو الاستنتاج

ب – العضو الدوار

ج – ملف المجال

د – العضو الساكن

٣- النوعان الأساسيان لمنظمات الجهد هما :

أ – مفرد نقاط التلامس ومزدوج نقاط التلامس

ب – ذو وحدتين و ذو ثلاث وحدات

ج – تكاملي و مثبت خارج المُوَّلد

د – كهرومغناطيسي و إلكتروني

٤- يقيس اختبار خرج منظومة الشحن:

أ – الخرج غير المنظم لمُوَّلد التيار المتردد

ب – دورة التشغيل لمنظم التيار

ج – أقصى جهد مسموح به لمنظومة الشحن

د – أقصى قيمة للتيار يمكن أن ينتجها مُوَّلد التيار المتردد

٥- ينتج المُوَّلد تياراً متردداً في:

أ – ملف مجال العضو الدوار

ب – ملفات العضو الساكن

ج – المنظم

د – دائرة الحمل

ثالثاً: أجب عن الأسئلة التالية:

١- ما هي المكونات الأساسية لمنظومة الشحن في المركبة؟

٢- اذكر أهم عيوب استخدام مُوَّلدات التيار المستمر في المركبات.

٣- ما هي وظيفة منظم الجهد في منظومة الشحن؟

٤- لماذا تستخدم المكثفات أحياناً داخل مُوَّلدات التيار المتردد؟

٥- ما هي الأسباب المؤدية إلى صدور ضوضاء من المُوَّلد؟

امتحان ذاتي رقم (٢)

أولاً : ضع علامة (√) أمام العبارة الصحيحة وضع علامة (X) أمام العبارة الخطأ، في العبارات التالية :

١- كفاءة تبريد مُوَّلد التيار المستمر أفضل بكثير من كفاءة تبريد مُوَّلد التيار المتردد ( ).

٢- مُوَّلد التيار المتردد يُحَوِّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية في صورة حركة ( ).

٣- كلما كان المجال المغناطيسي قوياً كلما كان الجهد المستحث قوياً ( ).

٤- يطلق اسم "مُوَّلدات التيار المتردد بدون فرش كربونية" على مُوَّلدات التيار المتردد ذات العضو الدوار بدون ملف ( ).

٥- يقوم المنظم بزيادة جهد الشحن في الأجواء الحارة ( ).

ثانيا : ضع دائرة حول الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المرفقة مع كل سؤال من الأسئلة الآتية :

١- في مُوَّلدات التيار المتردد ، أي من الأجزاء التالية يُحَوِّل التيار من متردد إلى مستمر؟:

أ – المُجَمِّعْ

ب – المُحَوِّلْ

ج – المنظم

د – الدايود

٢- في المركبات الحديثة ، أصبحت وظيفة منظم الجهد جزءاً من:

أ – نظام الإشعال الإلكتروني

ب – وحدة التحكم الإلكتروني في محرك المركبة (ECM)

ج – نظام التحكم في انبعاث غازات العادم

د – نظام حقن الوقود الإلكتروني

٣- طرف المُوَّلد الذي يتم توصيله مع الكيابل لشحن البطارية هو:

أ – طرف مصباح بيان الشحن (L)

ب – طرف المجال (F)

ج – طرف الطور (الوجه) (P)

د – طرف البطارية (BAT)

٤- محرك المركبة يعمل بصورة طبيعية لكن البطارية لا تبقى مشحونة، كل من الآتي يمكن

أن يكون السبب، ماعدا:

أ – عدم الشد الجيد لسير المُوَّلد

ب – تلف البطارية

ج – احتراق مصباح بيان حالة محرك المركبة

د – تلف الأسلاك

٥- يمكن وضع منظم الجهد في الأماكن التالية، ماعدا:

أ – غرفة محرك المركبة

ب – داخل مُوَّلد التيار المتردد

ج – على البطارية

د – داخل وحدة التحكم الإلكتروني في محرك المركبة (ECM)

ثالثاً: أجب عن الأسئلة التالية:

١- اذكر أنواع مُوَّلدات التيار الكهربائي المستخدمة في المركبات.

٢- ما هي أهم مميزات استخدام مُوَّلدات التيار المتردد في المركبات؟

٣- لماذا تحتوي بعض منظمات الجهد على معادل لدرجة الحرارة؟

٤- اذكر الأنواع الثلاثة الرئيسة لمنظمات الشحن.

٥- اذكر أنواع دوائر مُوَّلد التيار المتردد.

إجابة امتحان ذاتي رقم (١)

أولاً:

١- √
٢- X (مُوَّلدات التيار المستمر)
٣- X (لا يمكن)
٤- √
٥- X (يمكن أن يدور في اتجاه أو عكس اتجاه عقارب الساعة أو في الاتجاهين)

ثانيا:

١- د
٢- ب
٣- د
٤- د
٥- ب

ثالثاً:

١- المكونات الأساسية لمنظومة الشحن في المركبات: المُوَّلد الكهربائي، منظم الجهد، سير المُوَّلد الكهربائي، مبين الشحن، ضفيرة منظومة الشحن، البطارية، ومفتاح الإشعال.

٢- أهم عيوب استخدام مُوَّلدات التيار المستمر في المركبات:
أ- إمكانية مقيدة وشاقة البلوغ للعمل عند مدى سرعات دوران مفتوح.
ب- لا يمكن بلوغ أقصى سرعة دوران مسموح بها و إلا تعرض عضو التوحيد (المسؤول عن تجميع وتقويم التيار) للسخونة الزائدة مما يقلل من العمر الافتراضي للفرش الكربونية.
ج- التحميل على ملفات عضو الاستنتاج كنتيجة لقوى القصور الذاتي، لابد أن تؤخذ في الاعتبار

عند البحث عن أسباب تلف المُوَّلد وقصر عمره الافتراضي.

د- في حالات كثيرة، لا يوجد خرج للمُوَّلد عند دوران محرك المركبة عند السرعة الخاملة (سرعة اللا حمل أو سرعة التباطؤ). عند سرعة التباطؤ لمحرك المركبة، يكون الجهد المتولد منخفضاً جداً (بمعنى أن جهد الشحن الضروري للبطارية والنظام الكهربائي في المركبة لم يتم الوصول إليه).

هـ- الحاجة الكبيرة للصيانة المستمرة بسبب التآكل الشديد في الفرش الكربونية.

و- رفع قدرة الخرج للمُوَّلد يسبب زيادة غير متناسبة في أبعاد ووزن المُوَّلد.

٣- <u>وظيفة منظم الجهد في منظومة الشحن</u>:

أ- الإحساس بقيمة الجهد في دائرة منظومة الشحن، وبالتالي تحديد مدى حاجة البطارية إلى الشحن (خاصة مع تغير درجة حرارة الجو المحيط).

ب - التحكم في جهد الخرج للمُوَّلد.

ج - وقاية الدوائر والمنظومات الكهربائية والإلكترونية ضد الجهد الزائد.

د - حماية البطارية من الشحن الزائد.

٤- لمنع التداخل مع راديو المركبة، ولحماية دايودات دائرة التقويم من حدوث خلل في أدائها أو أن تصاب بالتلف.

٥- <u>الأسباب المؤدية إلى صدور ضوضاء من المُوَّلد</u>:

أ- عدم الشد الجيد أو تلف سير المُوَّلد

ب- وجود انحناء حافة(شفة) في بكرة إدارة المُوَّلد

ج- تلف في المُوَّلد

د- المُوَّلد غير مثبت جيداً في مكانه

إجابة امتحان ذاتي رقم (٢)

أولاً:

١- X (العكس صحيح)

٢- X (العكس صحيح)

٣- √

٤- √

٥- X (الأجواء الباردة)

ثانيا:

١- د

٢- ب

٣- د

٤- ج

٥- ج

ثالثاً:

١- <u>أنواع مُوَّلدات التيار الكهربائي المستخدمة في المركبات</u>:

أ- مُوَّلدات التيار المستمر

ب- مُوَّلدات التيار المتردد

٢- <u>أهم مميزات استخدام مُوَّلدات التيار المتردد في المركبات</u>:

أ- يعطي المُوَّلد تياراً عند سرعة الدوران الحر (سرعة اللاحمل أو سرعة التباطؤ)

ب - يضمن شحناً عالياً مستمراً للبطارية

ج - يتطلب صيانة أقل لعمر أطول، بسبب استبدال المجمع بحلقات منزلقة، ومن ثم تستهلك الفرش الكربونية بمعدل أقل.

د - تصميمه أصغر ووزنه أقل.

هـ - يحوِّل التيار المتردد المأخوذ من المُوَّلد ثلاثي الأطوار (الأوجه) إلى تيار مستمر، عن

طريق الدايودات، التي تسمح بمرور التيار في اتجاه واحد فقط. وتوضع الدايودات على الجانب الأمامي للموَّلد ، لتوفير تبريد أفضل لها.

و - تبريد أفضل للمُوَّلد.

ز - يتحمل العمل لفترات زمنية طويلة.

ح - كفاءة عالية في الأداء.

ط - يتحمل الاهتزازات والرطوبة ودرجات الحرارة العالية.

٣- لزيادة جهد الشجن في الأجواء الباردة حيث تحتاج البطارية الباردة إلى معدل شحن عال.

٤- <u>الأنواع الرئيسة لمنظمات الشحن</u> :

أ- منظمات الجهد الكهروميكانيكية (أو الكهرومغناطيسية)

ب- منظمات الجهد الترانزستورية/ الإلكترونية

ج- نظام التحكم باستخدام وحدة التحكم الإلكترونية لمحرك المركبة (التحكم في تنظيم الجهد بواسطة وحدة التحكم الإلكترونية).

٥- <u>دوائر مُوَّلد التيار المتردد</u>:

أ- دائرة الإثارة الأولية

ب- دائرة الإثارة أو دائرة الإثارة الذاتية

ج- دائرة المُوَّلد أو الدائرة الرئيسة