مؤسسة التدريب المهني
Vocational Training Corporation

المملكة الأردنية الهاشمية

مؤسسة التدريب المهني

مديرية البرامج والاختبارات ومصادر التعلم

سلسلة الوحدات التدريبية المبنية على الكفايات المهنية

كهروميكانيك مركبات هجينة

الوحدة: صيانة نظام نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة

(Maintenance of Power Distribution System in Hybrid Vehicles)

USAID
من الشعب الأمريكي

يعتبر الأردن من بين أكثر الدول التي تعاني نقصاً في موارد الطاقة مما يحتمّ على المسؤولين البحث عن مصادر بديلة للطاقة التقليدية وتوفير الوسائل المناسبة للحد من إستهلاكها. وأحد هذه الوسائل يكمن في إستخدام المركبات الهجينة وفي التشجيع على إستخدامها كبديل للمركبات التقليدية. ونتيجة للإستخدام المتزايد للمركبات الهجينة بادر مشروع تطوير القوى العاملة الممول من الوكالة الامريكية للتنمية الدولية ومشروع ليدرز الممول من صندوق الائتماني الأوربي "مدد" بالتعاون مع مؤسسة التدريب المهني والمختصين ومزودي التدريب في القطاع الخاص ووكالات صيانة المركبات بتطوير مادة صيانة المركبات الهجينة ووضع برامج تعليمية وتدريبية لتأهيل كوادر فنية متخصصة في خدمة وإصلاح هذا النوع من المركبات ورفع كفاءة العاملين في هذا القطاع وتوفير فرص عمل جديدة لرفد مراكز إصلاح المركبات الهجينة وتطويرها.

مؤسسة التدريب المهني www.vtc.gov.jo

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الأيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2017 / 7 / 3653)
يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبر هذا
المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية

سلسلة الوحدات التدريبية
المبنية على أساس الكفايات المهنية

المهنة: كهروميكانيك المركبات الهجينة

الوحدة: صيانة نظام نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة

(Maintenance of Power Distribution System in Hybrid Vehicles)

إعــداد:

م. سفيان توفيق أحمد السعيد

لا يجوز استنساخ أيِّ جزء من هذه النشـرة، أو تخزينهـا على نظام اسـترجاعي، أو تحويلهـا إلى أيِّ شكل أو وسيلة سواء كانت إلكترونيـة، أو تصويريـة، أو تسـجيلها، أو أيِّ أسـلوب أخرى دون الحصـول على إذن خطـي مسـبق من مؤسسـة التدريب المهنـي ومشـروع تطوير القوى العاملة في الأردن المُمول من الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية.

ولقد بذل الناشـرون كافة الجهـود الممكنـة للاعتـراف لأصحـاب حقـوق النشـر والإشارة إليهم، وفي حال تم إغفال أيٍّ منهم سيتم إجراء الترتيبات اللازمة لحفظ حقوق النشر لهم.

ونرحب بأيِّ معلومـات من شـأنها أنْ تمكننـا من تصحيـح أيِّ حقـوق ملكيـة غير دقيقـة أو محذوفة في طبعة لاحقة.

ويُفترضُ عدم تحمل أيِّ مسؤولية حول المعلومـات الواردة في هذه النشـرة، وتم النشـر من قِبَلِ مؤسسـة التدريب المهني وبدعم من مشروع تطوير القوى العاملة في الأردن المُمول من الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية، حيث تم العمل على تطوير الكفايات المهنية وإعتمادها بالتعاون مع مشروع ليدرز الممول من الصندوق الائتماني الأوربي "مدد".

تعتبر هذه الوحدة نسخة تجريبية قابلة للتعديل بعد مرورها على الميـدان لمدة دورة تدريبية كاملة على أن يتم تزويد مديرية البرامج والإختبارات بالتغذية الراجعة.

©مؤسسة التدريب المهني (٢٠١٧)م.

قررت مؤسسة التدريب المهني تطبيق هذه الوحدة التدريبية بموجب قرار لجنة الاعتماد الفنية رقم (٢٠١٧/١١) تاريخ ٢٠١٧/٤/٢٣ بدءاً من العام الدراسي ٢٠١٧-٢٠١٨.

الإشراف العام:

مديرية البرامج والاختبارات ومصادر التعلم

مشروع تطوير القوى العاملة في الأردن

الممول من الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية (USAID)

التدقيق والاشراف الفني:

د. محمود عبدالله الديسي، م. أحمد عثمان عقل

لجنة الاعتماد الفنية:

المدير العام: م.هاني خليفات (رئيساً)

م. إبراهيم أحمد الطراونة

م. أحمد مصطفى عبدالله

م. داود محمود شقبوعة

م. عبدالله محمود الهور

م. "محمد خير" ارشيد

م. علي حابس البدارين

د.محمود عبدالله الديسي (مقرراً)

التحرير اللغوي: جمال ذيب طه

التصميم: مشروع تطوير القوى العاملة في الأردن الممول من الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية (USAID)

تدقيق الطباعة ومراجعتها: جمال ذيب، م. عصام الشامي، نور زعبلاوي.

الطبعة التجريبية الأولى (٢٠١٧)م

ص.ب (925835) الرمز البريدي (111101) عمان ، الأردن تلفون: 4873031 - 4884144 فاكس: 4895619

فهرس المحتويات

الموضوع:	رقم الصفحة:
• دليل الوحدة	
١ المقدمة	٥
٢ المتطلبات المسبقة	٥
٣ نتاجات التعلم	٥
٤ أهداف التعلم	٦
٥ الزمن المقترح	٦
٦ أدلة التقييم الذاتي	٦
هدف التعلم الأول:	
١. أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة	٧
١-١ مكونات منظومة توليد القدرة، ونقلها، وتوزيعها في المركبات الهجينة	٨
١-٢ تصنيف أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة	١٦
١- ٣ أوضاع عمل المركبة الهجينة العامة	٢٨
١-٤ مجموعة تروس نقل وتوزيع القدرة (وحدة تقسيم القدرة)	٣٤
١-٥ أعطال أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة	٣٨
١-٦ التقييم الذاتي	٤١
١-٧ التمرين العملي	٤٤
هدف التعلم الثاني:	
٢. صيانة نظام نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة	٤٨
٢-١ التعليمات الخاصة بصيانة أنظمة نقل وتوزيع القدرة	٥٠
٢-٢ التقييم الذاتي	٥٢
٢-٣ التمارين العملي	٥٤
٧. اختبار المعرفة	٦٥
٨. اختبار الأداء	٦٨
٩. قائمة المصطلحات	٧٠
١٠. قائمة المراجع	٧١

١. المقدمة:

حرصاً على ربط العلم بالعمل والنظرية بالتطبيق، اتجهت مؤسسة التدريب المهني نحو استخدام الكفايات المهنية في التدريب، وذلك لإكساب المتدربين المهارات العملية والمعلومات النظرية؛ إذ يتيح استخدامها مرونة التكيف مع المتغيرات المهنية التي تطرأ على ميدان العمل المهني، ويوفر للمتدربين مجال التعلم والتدريب الذاتي والتقدم فيه بحسب قدراتهم. وقامت مؤسسة التدريب المهني حتى الآن بإعداد وحدات تدريبية على أساس الكفايات المهنية في مجال الصناعة والخدمات.

تقدم هذه الوحدة التدريبية/التعلمية القائمة على أساس الكفايات المهنية المادة التعلمية التدريبية اللازمة لاكتساب الكفاية بجوانبها الأدائية، والمعرفية والاتجاهية المتعلقة بصيانة أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة، وفق معايير الكفايات المهنية الأردنية لعمل كهروميكانيك مركبات هجينة حيث تتضمن هذه الوحدة المادة التعلمية النظرية مدعمة بالرسومات التوضيحية كما تتضمن التمارين الأدائية المطلوبة، بالإضافة إلى أدلة التقييم الذاتية في المجالات الأدائية، والمعرفية والاتجاهية.

٢. المتطلبات المسبقة:

قبل الشروع في دراسة هذه الوحدة يتطلب منك اجتياز الوحدات التدريبية التالية بنجاح:

- صيانة محركات الاحتراق الداخلي.
- صيانة صناديق السرعات في المركبات الهجينة.
- صيانة المحركات الكهربائية في المركبات الهجينة.
- استخدام أدوات القياس الخطية.

٣. نتاجات التعلم:

بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها وخبراتها يتوقع منك أن تصبح قادراً على صيانة مكونات أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة.

٤. أهداف التعلم:

يتوقع منك عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها وخبراتها أن تصبح قادراً على أن:

- تشخص أعطال أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة.
- تصون أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة.

٥. الزمن المقترح:

الفترة الزمنية المقترحة لتنفيذ أنشطة وتمارين هذه الوحدة هي ٦٤ ساعة تدريبية موزعة كما يلي:

- دروس نظرية: ١٢ ساعة.
- تنفيذ التمارين العملية: ٤٨ ساعة.
- الاختبار النظري: ساعه واحدة.
- الاختبار العملي: ٣ ساعات.
- التدريب الميداني: أسبوع واحد.

٦. أدلة التقييم الذاتي

أجب عن أسئلة التقييم الذاتي المتوفرة في نهاية المادة النظرية المطلوبة لهذه الوحدة التدريبية القائمة على أساس الكفايات ثم اعرض إجاباتك على مدربك لتدقيقها، مما سيساعدك على مراجعة موضوعات الوحدة واستيعابها.

هدف التعلم الأول

عند الانتهاء من تنفيذك أنشطة التعلم عليك أن تصبح قادراً على أن تشخص أعطال أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة.

أنشطة التعلم	استعن بما يلي:
١. قراءة المادة التعلمية.	الوحدة التدريبية.
٢. تنفيذ التمارين العملية.	المشغل/بإشراف المدرب.
٣. البحث في المواقع الإلكترونية.	الشبكة العنكبوتية.
٤. التدريب الميداني.	ورش ومراكز صيانة المركبات الهجينة.

١. أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة

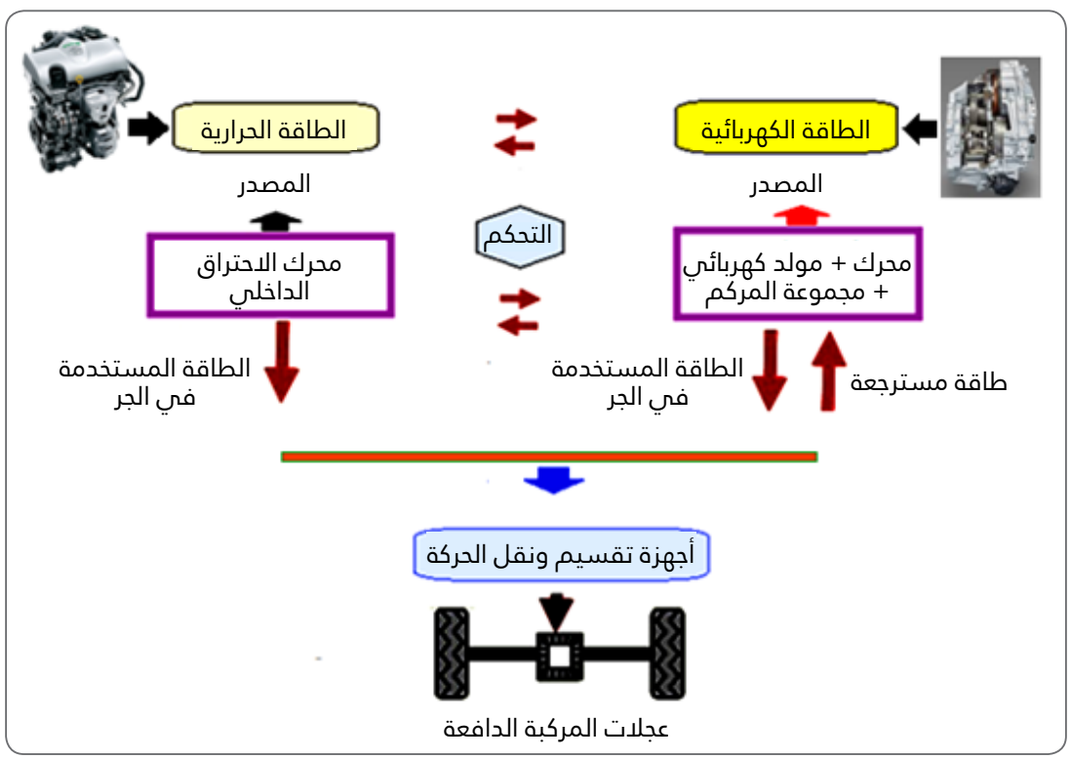
في بداية القرن العشرين خضعت صناعة المركبات لنقلة نوعية مع زيادة استخدام المركبات بشكل واسع، حيث تم استخدام محركات الاحتراق الداخلي كمصدر أساسي لتوليد الطاقة الضرورية في تشغيلها، وبذلك بدأ عصر محركات الاحتراق الداخلي، وأصبح الأساس في تكنولوجيا المركبات. ومع ارتفاع أسعار الوقود أصبح موضوع المركبات الهجينة والكهربائية ينال أهمية متزايدة من قبل الحكومات والناشطين في مجال البيئة لتعزيز الصناعات المرتبطة بهذه التكنولوجيا، وقد بدأت شركات صناعة المركبات بالفعل في تسويق المركبات الهجينة والكهربائية كما أن اهتمام حكومات العالم المتزايد في المحافظة على البيئة وتوفير الطاقة قادت معظم شركات تصنيع المركبات نحو تطوير مركبات عديمة الانبعاثات ما أمكن أو منخفضة الانبعاثات مثل المركبات الكهربائية والهجينة (الهايبرد) لتحل محل المركبات التقليدية. وكلمة هايبرد (Hybrid) مشتقة من الكلمة اليونانية هيبريدا، والتي تعني خليط، حيث يتشارك عدد من عناصر معينة في تشكيل عملية واحدة.

ويستخدم في معظم المركبات الهجينة التي يتم تسويقها في الوقت الحاضر، محركات احتراق داخلي ومحركات كهربائية تعمل بالتكامل مع بعضها في توليد وإنتاج الطاقة اللازمة لتشغيل المركبات، مع إمكانية تشغيل المركبة بأي منهما بصورة مستقلة، وعلى الرغم من أن محرك الاحتراق وحده يكون كافياً لتشغيل المركبة في معظم الظروف فإن المحرك

الكهربائي يتم استخدامه أثناء مناورات القيادة التي تتطلب طاقة عالية عند الإقلاع أو صعود المرتفعات أو في حالات التجاوز عن المركبات الأخرى.

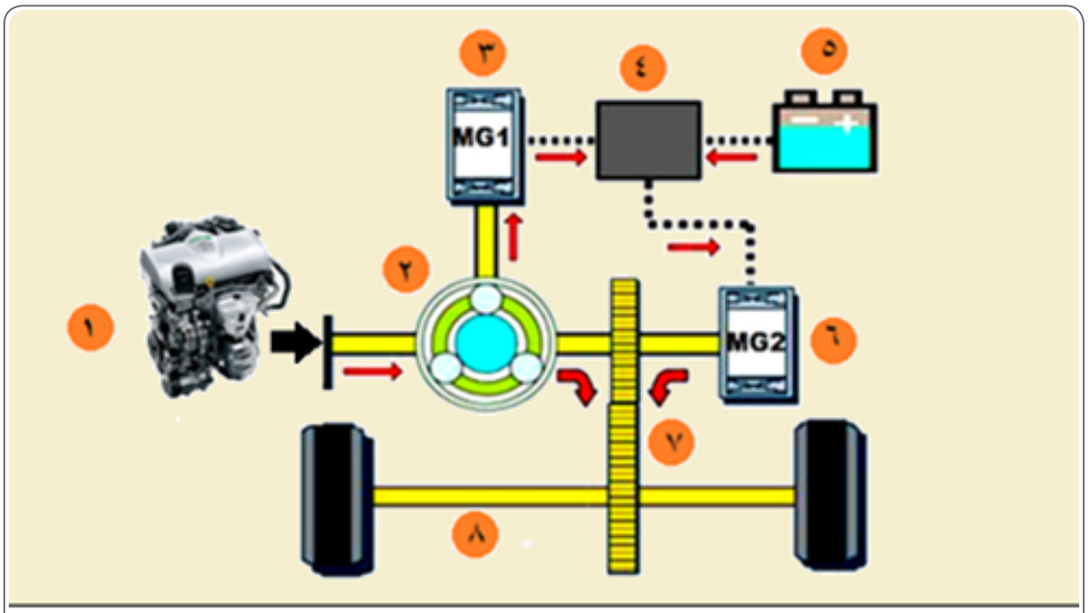
١-١ مكونات منظومة توليد القدرة، ونقلها، وتوزيعها في المركبات الهجينة

تعمل المركبات الكهروميكانيكية الهجينة من خلال تكامل مصادر الطاقة الحرارية (محرك الاحتراق الداخلي) والكهربائية (المحركات الكهربائية ومجموعة البطارية الهجينة) المستخدمة فيها كما في المخطط المبين في الشكل (١).



الشكل (١): مخطط عمل المركبة الهجينة.

ويبين الشكل (٢) رسماً تخطيطياً لعناصر منظومة توليد القدرة ونقلها وتوزيعها في المركبات الهجينة.

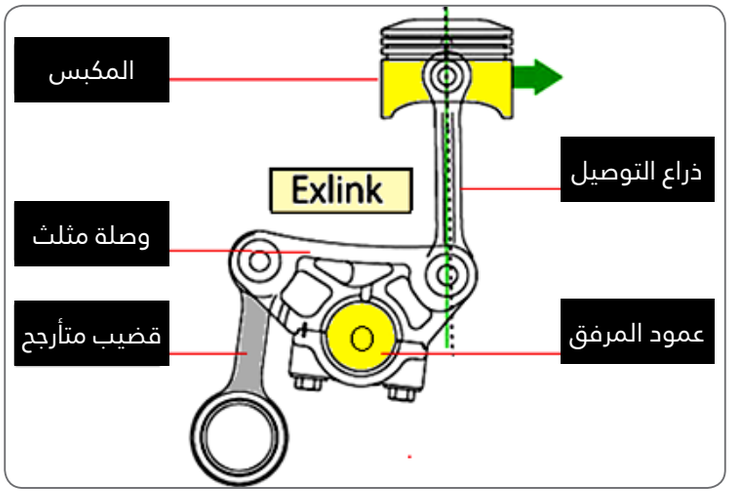


١- محرك الاحتراق الداخلي. ٢- وحدة تقسيم القدرة (مجموعة التروس الفلكية). ٣- المحرك/المولد.
٤- مجموعة المحول/العاكس. ٥- بطارية الفولطية العالية. ٦- المحرك الكهربائي.

الشكل (٢): مكونات نظام القدرة والنقل في المركبة الهجينة.

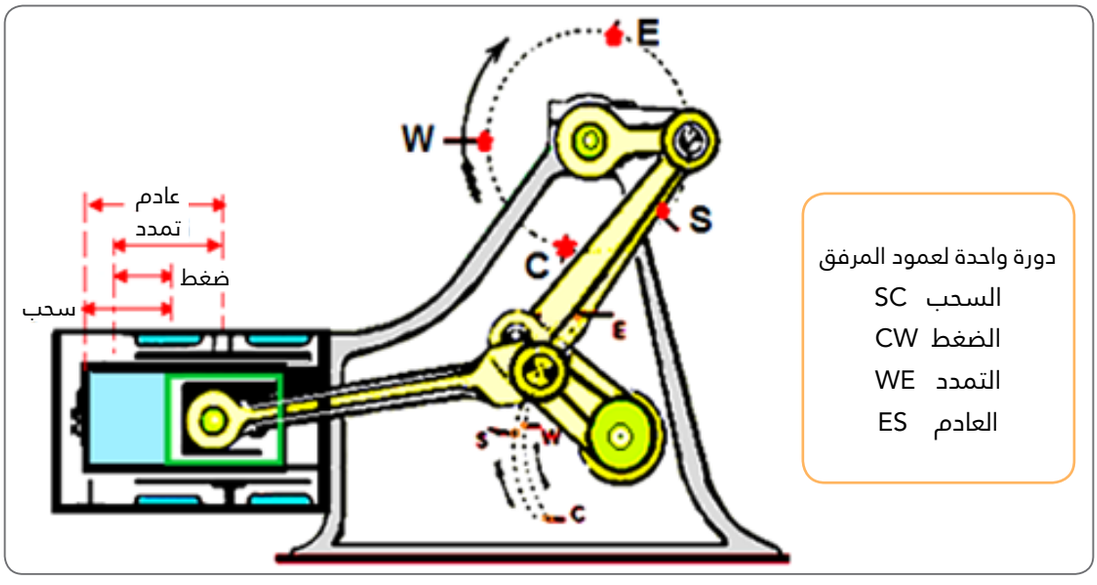
وتتكون منظومة توليد القدرة ونقلها وتوزيعها في المركبات الهجينة من الأجزاء التالية:

أ - محرك الاحتراق الداخلي: وهو آلة حرارية يتم بوساطتها تحويل الطاقة الكيماوية الكامنة في الوقود عند احتراقها إلى طاقة حرارية، ومن ثم إلى شغل ميكانيكي. ويستخدم في معظم المركبات الهجينة المحرك الذي طوره جيمس أتكنسون من خلال تعديل تصميم عمود المرفق كما في الشكل (٣).



الشكل (٣): عمود المرفق في محرك أتكنسون.

وتم تعديل عمود المرفق المستخدم في محرك أتكنسون، لتحقيق أقصى كفاءة ممكنة من عمل المحرك (Power/Unit) عبر تحقيق أشواط المحرك (السحب والضغط والقدرة والعادم) خلال دورة واحدة من دوران عمود المرفق كما هو مبين في الشكل (٤).

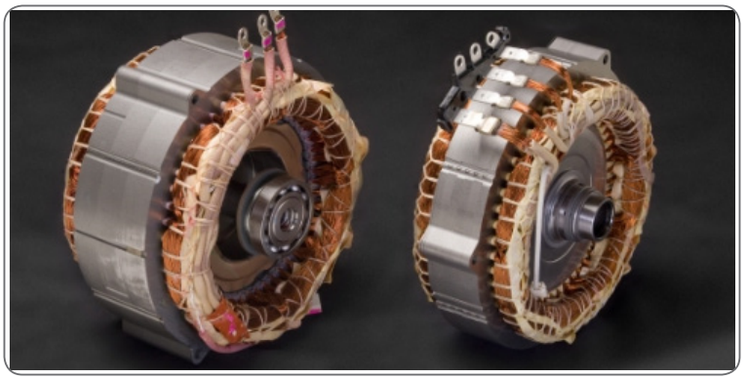


الشكل (٤): أشواط محرك أتكنسون.

وقد تم تعديل محرك الاحتراق الداخلي في هذه المركبات لتحسين أدائها كما يلي:

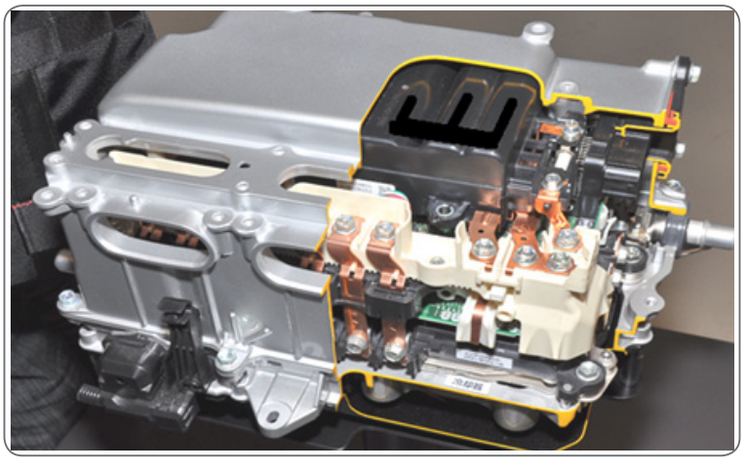
- إزاحة محور حركة الكباس عن محور عمود المرفق (Offset)، لتقليل قوى الاحتكاك داخل المحرك.
- تغير شكل الكباس وتقصير ساق الصمامات.
- تغيير مسارات مياه التبريد داخل جسم المحرك إلى انسياب مستمر.
- استخدام نظام الإشعال المباشر.
- تحسين طريقة التحكم في التوصيل بين دواسة البنزين وفتحة الخانق.

ب- مجموعة المحركات الكهربائية: يستخدم في المركبات الهجينة محركات كهربائية ذات تيار متناوب مبينة في الشكل (٥)، وظيفتها تحويل الطاقة الكهربائية إلى عزم دوراني يتم نقله إلى عجلات المركبة الدافعة، ومن خواصها الحصول على أقصى طاقة ممكنة في بداية التشغيل دون أي ارتفاع في درجة الحرارة، وكذلك الحصول على أعلى قيمة للتسارع خلال فترة زمنية قصيرة. وتستخدم أيضاً مولدات كهربائية هي الأصغر بالنسبة للمحرك الكهربائي وتتصل بالترس الشمسي بوحدة تقسيم القدرة. ووظيفتها القيام ببدء إدارة محرك الاحتراق والتحكم في سرعة دورانه عن طريق توليد كمية مختلفة من القدرة الكهربائية.



الشكل (٥): المحركات الكهربائية.

ج - مجموعة المحول/العاكس: حيث أن المحرك الكهربائي/ المولد يعمل عن طريق تيار متناوب ثلاثي الطور (فاز) في هذه المركبات ومجموعة المركم تعمل بتيار مباشر, لذا تحتاج المركبة الهجينة إلى دارات إلكترونية (مجموعة العاكس) للتحويل بينهما. وتعمل المحولات على توصيل تيار مجموعة المركم الهجين إلى ملفات المحركات الكهربائية ثم فصله مرة أخرى بسرعة عالية كما تقوم بتغيير قيمة التيار ومن ثم العزم. ويمكن الاستفادة من الحث الكهربائي في ملفات المحرك الكهربائي لتوليد تيار أعلى من تيار البطارية مما يرفع العزم بدرجة كبيرة، ويجعل وحدة المحركات الكهربائية قادرة على تسيير المركبة دون الحاجة إلى تروس تخفيض لتكبير العزم، ويبين الشكل (٦) مجموعة المحول/ العاكس المستخدمة في إحدى المركبات الهجينة.



الشكل (٦): مجموعة العاكس/ المحول.

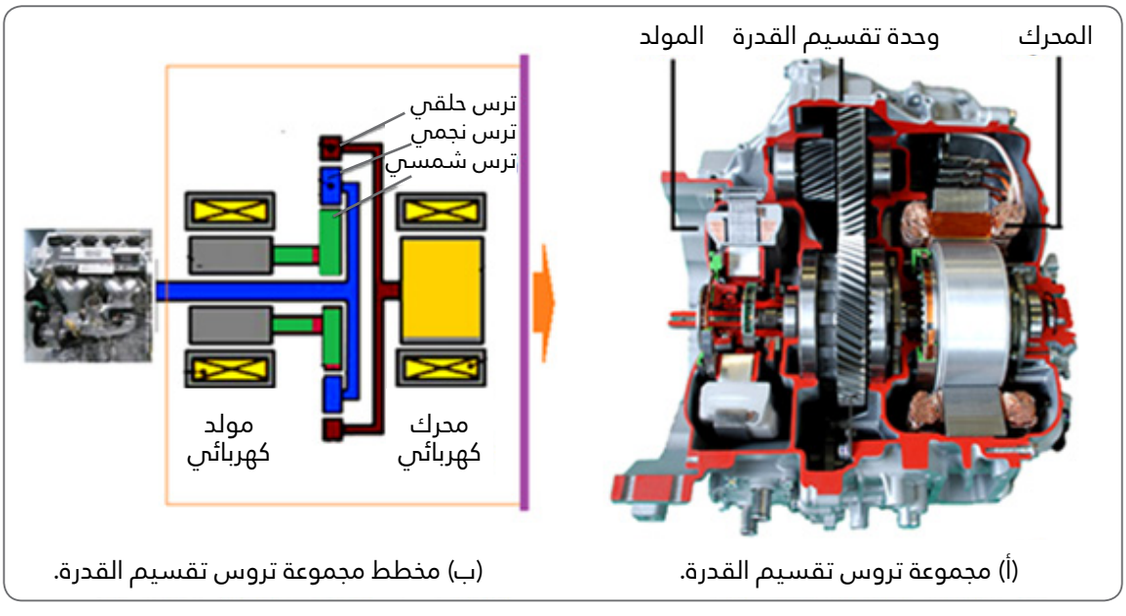
- **ملاحظه**: سوف تتعرف أنواع ومكونات المحركات الكهربائية ومجموعة المحول/العاكس المستخدمة في المركبات الكهروميكانيكية الهجينة، وصيانتها من خلال دراسة وحدات تعلمية خاصة بها في هذا البرنامج.

د - مجموعة التروس الفلكية (وحدة تقسيم القدرة)

تم تجميع وتوزيع العزم والقدرة لمحرك الاحتراق الداخلي ووحدتي المحرك الكهربائي/المولد عن طريق مجموعة من التروس الفلكية تسمى (Power Split Device, PSD). وباستخدامها يستطيع محرك الاحتراق الداخلي إدارة العجلات مباشرة (ميكانيكياً) عن طريق هذه الوحدة, وفي الوقت نفسه يمكن سحب جزء من طاقة المحرك لتحويلها إلى كهرباء. والتي يمكن بوساطتها شحن مجموعة المركم أو تمريرها إلى وحدة المحرك الكهربائي/المولد للمساعدة في إدارة العجلات.

وتتكون هذه المجموعة من ثلاثة أنواع من التروس كما هو مبين في الشكل (٧) يرتبط كل منها بأحد مصادر إنتاج الطاقة، وهذه التروس هي:

- الترس الشمسي (S) (Sun Gear) متصل بالمولد الكهربائي.
- الترس الحلقي (R) (Ring Gear) متصل بالمحرك الكهربائي.
- التروس النجمية والحامل (C) (Planetry Gear & Carrier) يتصل بمحرك الاحتراق الداخلي.



(أ) مجموعة تروس تقسيم القدرة. (ب) مخطط مجموعة تروس تقسيم القدرة.

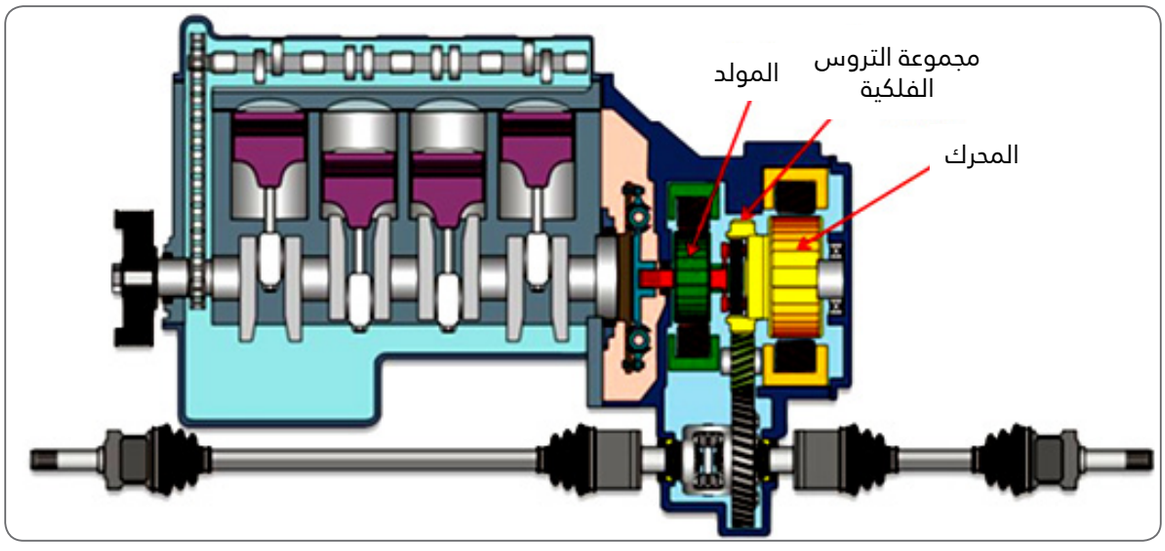
الشكل (٧): وحدة تقسيم القدرة.

هـ- صندوق تروس نظام نقل القدرة

يتصل صندوق تروس نظام نقل القدرة (Continuously Variable Transmission) بوحدة المحرك الكهربائي/المولد؛ لنقل القدرة منها ومن محرك الاحتراق الداخلي لإدارة العجلات.

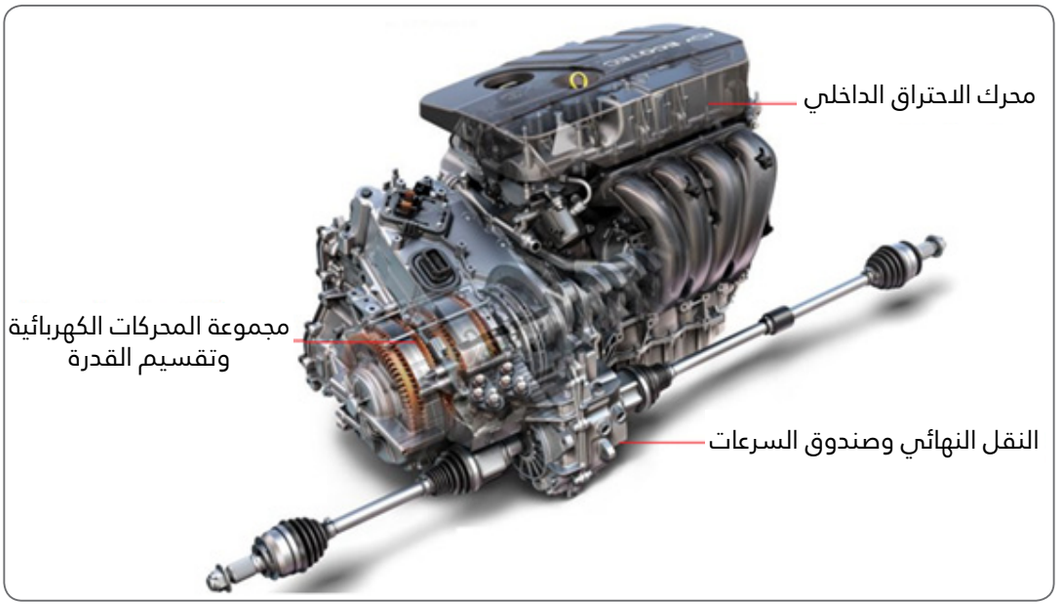
و - مجموعة تروس التخفيض النهائي (Final Drive Ratio): الغرض من نسبة التخفيض في المركبة هي جعل العجلات تدور بسرعة أقل من سرعة دوران المحرك لتخفيض السرعة

وتكبير العزم. ولقد تم استخدام هذه الطريقة لطول المسافة بين وحدة تقسيم القدرة والتروس الفرجية من ناحية ولتقليل الضوضاء وخفض الأحمال الجانبية لمحاور الإدارة، ومن الأمثلة على منظومة إنتاج القدرة ونقل الحركة والتخفيض النهائي للنظام المستخدم من قبل شركات تويوتا ونيسان وفورد، المبين في الشكل (٨).



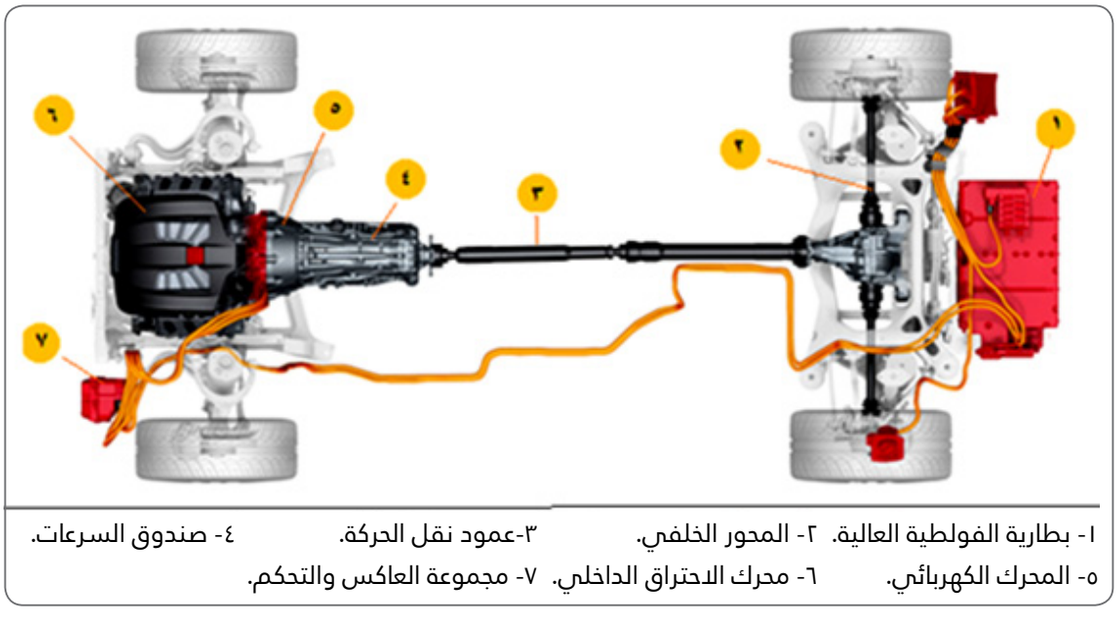
الشكل (٨): ترابط مكونات نظام القدرة والنقل.

ز - بطارية الفولطية العالية (البطارية الهجينة): تتكون بطارية الفولطية العالية من عدد كبير من الخلايا، مثبتة داخل غلاف واحد خلف المقعد الخلفي في المركبة، ومعزولة جيداً، وتعد بطارية الفولطية العالية المستودع الرئيس لتخزين الطاقة الكهربائية في المركبات الهجينة. ويبين الشكل (٩) منظومة توليد القدرة (محرك الاحتراق والمحركات الكهربائية) ونقلها إلى المحاور والعجلات في إحدى المركبات الهجينة.



الشكل (٩):محركات القدرة والنقل.

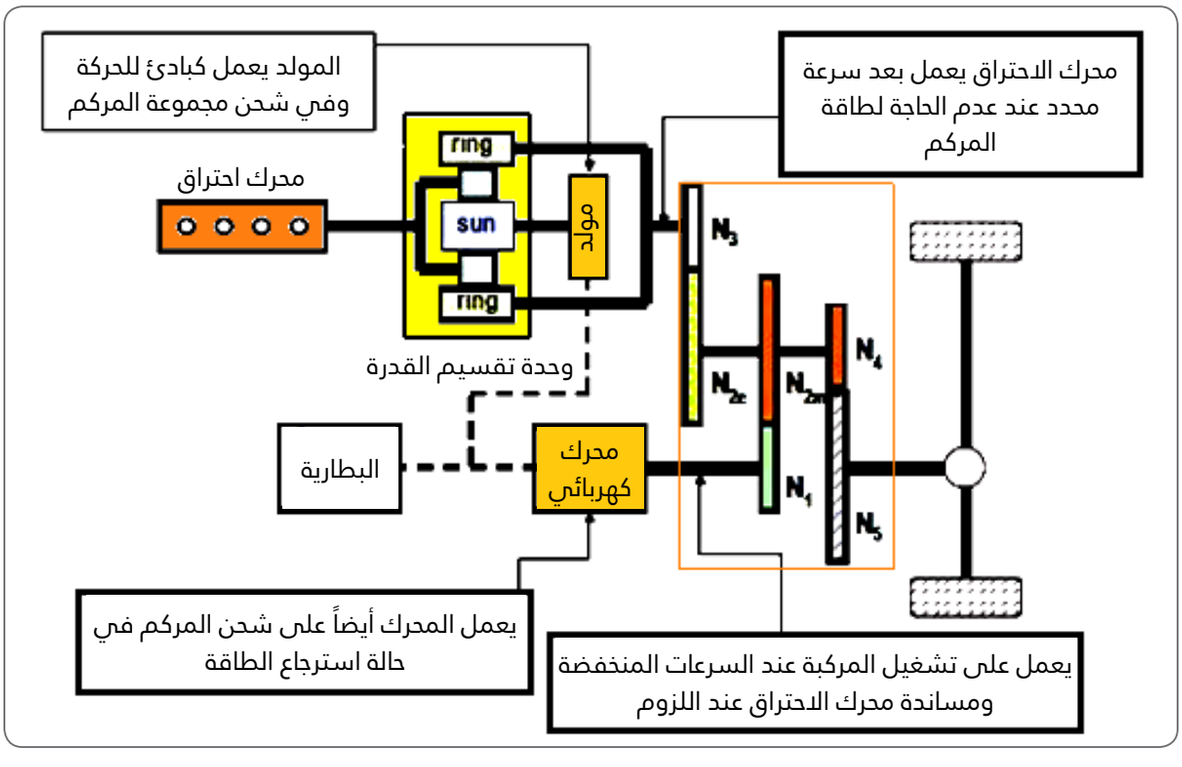
ويبين الشكل (١٠) المكونات الرئيسة لنوع آخر من منظومات إنتاج القدرة، ونقل الحركة المستخدمة في المركبات الكهروميكانيكية الهجينة (الدفع الخلفي والرباعي).



١- بطارية الفولطية العالية. ٢- المحور الخلفي. ٣-عمود نقل الحركة. ٤- صندوق السرعات.
٥- المحرك الكهربائي. ٦- محرك الاحتراق الداخلي. ٧- مجموعة العاكس والتحكم.

الشكل (١٠): المكونات الرئيسة لنظام النقل والقدرة.

وتستخدم شركة فورد في أنظمة النقل الخاصة ببعض مركباتها صندوق تروس تقليدي لنقل الحركة والعزوم بالإضافة إلى وحدة تقسيم القدرة فيها كما هو مبين في الشكل (١١)، والذي يوضح ترابط مكونات توليد القدرة بمنظومة النقل فيها.



الشكل (١١): ترابط مكونات نظام القدرة والنقل / نوع فورد.

وقد تم الاستغناء عن العديد من المكونات المستخدمة في المركبة التقليدية أو تعديلها لتناسب عمل المركبة الهجينة، مثل نظام شحن البطارية الحمضية، حيث تعمل محركات القدرة على توليد الطاقة الكهربائية عند الحاجة لذلك في المركبات الهجينة. كما تم تعديل بعض المكونات بما يتناسب والغرض من استخدام المركبة الهجينة، مثل:

- محرك الاحتراق الداخلي: تم استخدام محركات احتراق داخلي تعمل تبعا لدورة أتكنسون أخف وزنا وأكثر كفاءة من المحركات التقليدية التي تعمل تبعا لدورة أوتو.
- مجموعة تروس التخفيض النهائية: لتأمين العزم الضروري للعجلات الدافعة في المركبة، حيث تم استخدام مجموعة من التروس الفلكية، وصناديق سرعات محورية في بعض المركبات.
- نظام التبريد: تم إضافة نظام تبريد خاص بالمحركات الكهربائية، وبطارية ذات فولطية عالية، ومجموعة العاكس.
- تم تزويد المركبات الهجينة بأكثر من وحدة للتحكم بأنظمة عملها.

وتم إضافة الأجزاء والوحدات التالية للمركبة الهجينة غير المستخدمة في المركبات التقليدية:

- محرك، ومولد كهربائي، ومجموعة العاكس/ المحول.
- وحدة خاصة بتقسيم وتوزيع القدرة (مجموعة من التروس الفلكية).
- بطارية ذات فولطية عالية.

ويلخص الجدول (١) مقارنة بين المركبات التقليدية والمركبات الهجينة من حيث مصادر توليد الطاقة وتوزيعها.

الجدول (١): مقارنة بين المركبات التقليدية والمركبات الهجينة.

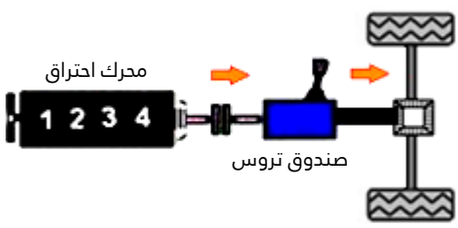
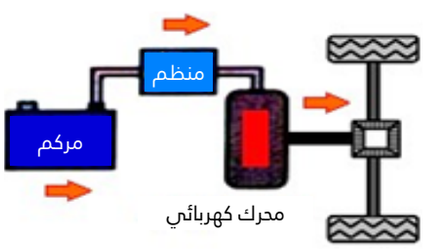
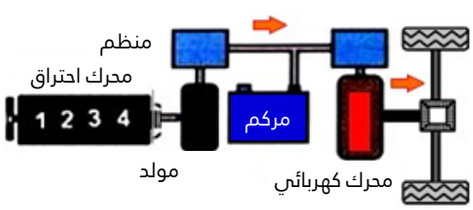
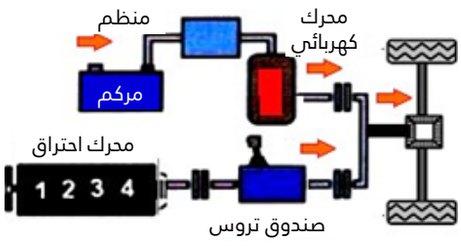
المركبات الهجينة	المركبات التقليدية	البيـان
مصدر الطاقة	- محرك احتراق داخلي.	- محرك احتراق داخلي. - محرك ومولد كهربائي.
نقل الحركة	- صندوق سرعات يدوي. - صندوق سرعات آلي.	- صندوق سرعات آلي. - مجموعة تروس فلكية. (Split Device).
الفرامل	- فرامل هيدروليكية.	- فرامل هيدروليكية. - وحدة استرجاع الطاقة.
المركم	- 12V.	- 12V. - بطارية ذات فولطية عالية 200-300V.

التحكم في الطاقة	- وحدة تحكم في عمل المركبة (ECU).	- وحدة تحكم في عمل المركبة (HV-ECU). - وحدة تحكم في عمل المحرك (E-ECU). - وحدة تحكم في عمل العاكس والمحولات الكهربائية.

١-٢ تصنيف أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة

تصنف أنظمة القدرة والنقل في المركبات الحديثة بشكل عام كما في الجدول (٢).

الجدول (٢): تصنيف أنظمة القدرة والنقل في المركبات.

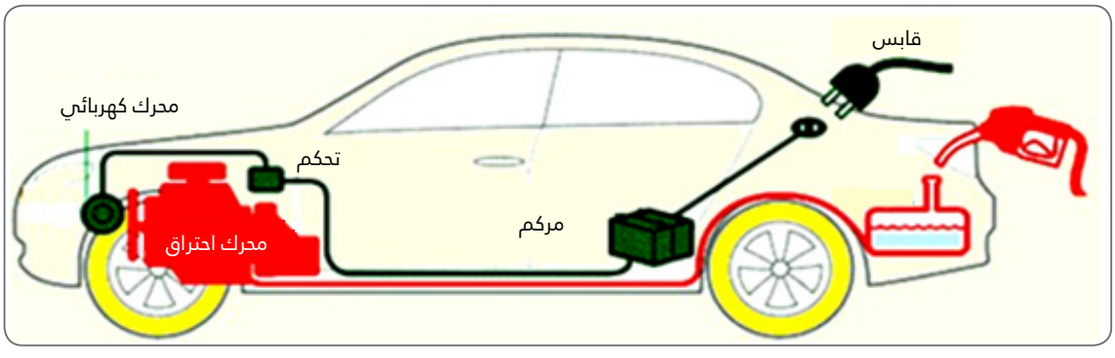
النظام	الشكل
نظام تقليدي بمحرك احتراق داخلي.	
نظام كهربائي (محركات كهربائية فقط).	
نظام كهروميكانيكي / توالي (محرك احتراق + محركات كهربائية).	
نظام كهروميكانيكي / توازي (محرك احتراق + محركات كهربائية).	

وتصنف أنظمة القدرة والنقل في المركبات الهجينة، تبعا لدرجة التهجين, ونظام النقل المستخدم فيها، ومصادر إنتاج القدرة فيها كما يلي:

- التصنيف بحسب درجة التهجين: تصنف أنظمة القدرة والنقل في المركبات الهجينة تبعا لدرجة التهجين كما يلي:

أ - مركبات مزودة بقابس كهربائي (Plug-in Hybrid, PHEV): يستخدم في هذا النوع من المركبات مجموعة بطاريات ذات ضغط عالي قابلة للشحن من مصدر خارجي. ومن خواصها:

- يعمل محرك الاحتراق، ويغذي المركبة بالقدرة اللازمة للقيادة، وذلك عند نفاذ الشحنة الكهربائية التي يتم شحن مجموعة المركم بها من المصدر الخارجي.
- إمكانية وصل بطارية الفولطية العالية بمصدر خارجي للطاقة الكهربائية من خلال قابس خاص بها لشحنها عند الحاجة كما في الشكل (١٢).



الشكل (١٢): مركبة مزودة بقابس كهربائي.

- إمكانية القيادة لمسافة محددة تعتمد على نوع المركبة، بوساطة الطاقة الكهربائية التي تم شحن بطارية الفولطية العالية بها عبر المصدر الخارجي.

ب- مركبات كاملة التهجين: يمكن إدارة المركبات كاملة التهجين (Full Hybrid Cars) بوساطة المحرك الكهربائي أو بوساطة بطارية الفولطية العالية أو كلاهما معا، وهذه المركبات مزودة ببطارية ذات كفاءة عالية. ويستخدم فيها وحدة لتجزئة وتقسيم القدرة تتكون من مجموعة تروس فلكية، مما يكسبها المرونة الكافية في نقل الحركة وتحقيق التوازن في تقسيم القدرة، ويمتاز هذا النوع من المركبات في تأمين ما يلي:

- استرجاع الطاقة عند التباطؤ والفرملة (Regenerative Braking).
- إمكانية استخدام المحرك الكهربائي وحده في جر المركبة، بالإضافة إلى استخدامه في مساندة محرك الاحتراق أثناء القيادة.

وتعمل هذه المركبات كما يلي:

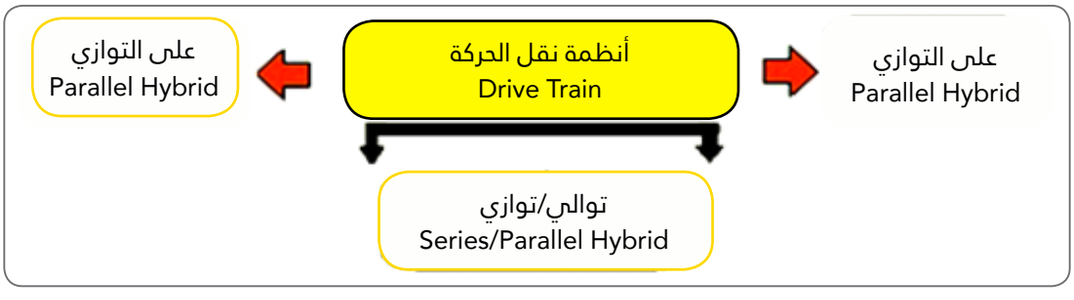
- التشغيل الكهربائي: تزود البطارية في هذه الحال المحرك الكهربائي بالطاقة اللازمة لتشغيله وذلك من خلال دائرة مفتاح نظام التشغيل، للانطلاق بالمركبة، وفي هذه الحال فإن محرك الاحتراق لا يعمل.
- القيادة العادية: في هذه الحال محرك الاحتراق يفي بمتطلبات القيادة لذا يتم تجزئة الطاقة المتولدة بوساطته إلى مسارين مسار ميكانيكي يؤمن القوة الدافعة للعجلات وآخر يعمل على تشغيل المولد لتأمين الطاقة الكهربائية الضرورية لتشغيل المحرك الكهربائي لمساندة محرك الاحتراق في تامين القدرة الميكانيكية الضرورية لقيادة المركبة وفي حال انخفاض شحن البطارية يعمل المولد على شحنه بالطاقة اللازمة.
- القيادة بأكثر من مصدر: يأخذ المحرك الكهربائي جزءاً من طاقة الحركة ليعمل كمولد للطاقة الكهربائية تستخدم في تشغيل الترس الشمسي بالاتجاه المعاكس لحركته العادية ونتيجة لذلك يدور الترس الحلقي بسرعة أعلى من سرعة المحرك وبأقل عزم ممكن.
- شحن البطارية: يتم شحن البطارية في حال الخمول والتباطؤ والكبح بوساطة كل من المحرك أو المولد.
- تعزيز الطاقة: عندما لا يستطيع المحرك تلبية حاجة المركبة من الطاقة تستخدم البطارية في تغذية المحرك الكهربائي لتعزيز عمل المحرك وتلبية حاجة المركبة من الطاقة.
- التجزئة السلبية (Negative Split Mode): أثناء القيادة وعندما تكون البطارية مشحونة بالكامل، فإنها تعمل على تغذية كل من المحرك الكهربائي والمولد بالطاقة الكهربائية حيث يعمل المولد على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية لتعزيز الحركة الدورانية لمحرك الاحتراق.

ج - مركبات معتدلة التهجين (Miled Hybrid Cars): وهي مركبات هجينة تقليدية مزودة بمحركات كهربائية لبدء الحركة ذات قدرة عالية، تسمح بإيقاف محرك الاحتراق عن العمل أثناء هبوط المنحدرات والفرملة وأثناء التوقف، والمحرك الكهربائي في هذا النظام له القدرة على استرجاع الطاقة أثناء عملية الكبح.

- التصنيف تبعاً لمصادر الطاقة المستخدمة في المركبة: توجد أنواع مختلفة من مصادر الطاقة المستخدمة في تشغيل المركبات الهجينة، منها:

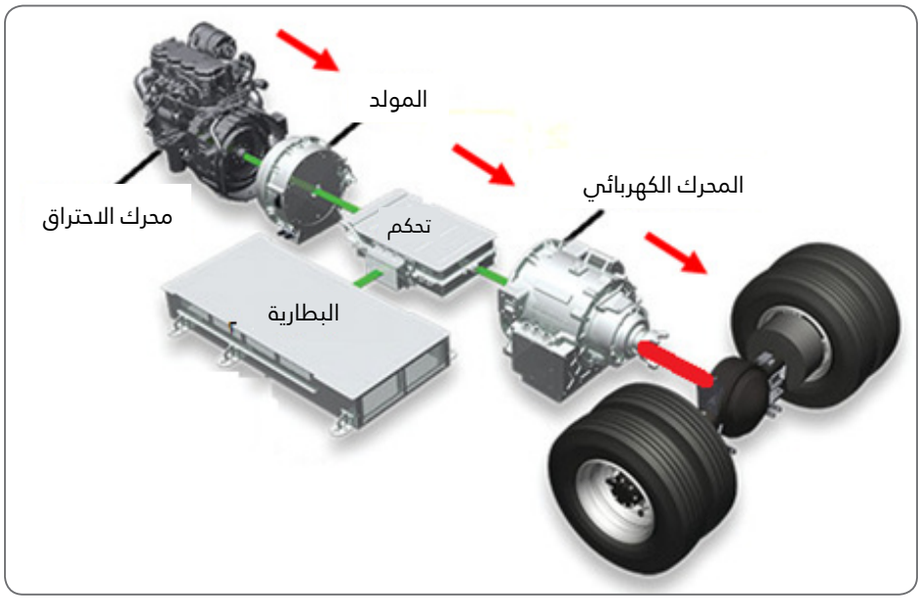
- مركبات تعمل بوساطة (محرك كهربائي+ محرك احتراق داخلي): حيث توجد تصاميم متعددة لاستخدام كل من محرك الاحتراق الداخلي والمحرك الكهربائي في تشغيل المركبات الهجينة منها إمكانية عمل هذه المصادر على التوالي أو التوازي أو استخدام كلتا الطريقتين معا في إنتاج الطاقة الضرورية لقيادة المركبة.
- مركبات تعمل بوساطة الطاقة كهربائية (محرك كهربائي+خلايا الوقود): يستخدم في هذه المركبات مجموعة من خلايا الوقود، بالإضافة إلى مواسعات أو بطاريات ذات سعات كبيرة لاستخدام الطاقة الكهربائية المخزنة فيها عند حاجة المركبة إلى قدرة كبيرة لإحداث التسارع المطلوب وللحد من القيود المفروضة على خلايا الوقود من حيث الحجم والقدرة وبالتالي تكاليف الاستثمار.
- مركبات تعمل بوساطة (محرك احتراق+مضخات/محركات هيدرولية): يستخدم في هذا النوع من المركبات مضخات/محركات هيدرولية متغيرة الإزاحة، وخزان هيدروليكي بضغط مرتفع بدلا من المحرك الكهربائي، وقد استخدمت هذه التكنولوجيا من قبل شركة فولفو ولغاية الآن تستخدم في الحافلات المصنعة من قبل هذه الشركة.

- التصنيف بحسب نظام الجر ونقل الحركة: تصنف المركبات الكهروميكانيكية الهجينة تبعاً لنظام الجر ونقل الحركة المستخدم كما في الشكل (١٣):



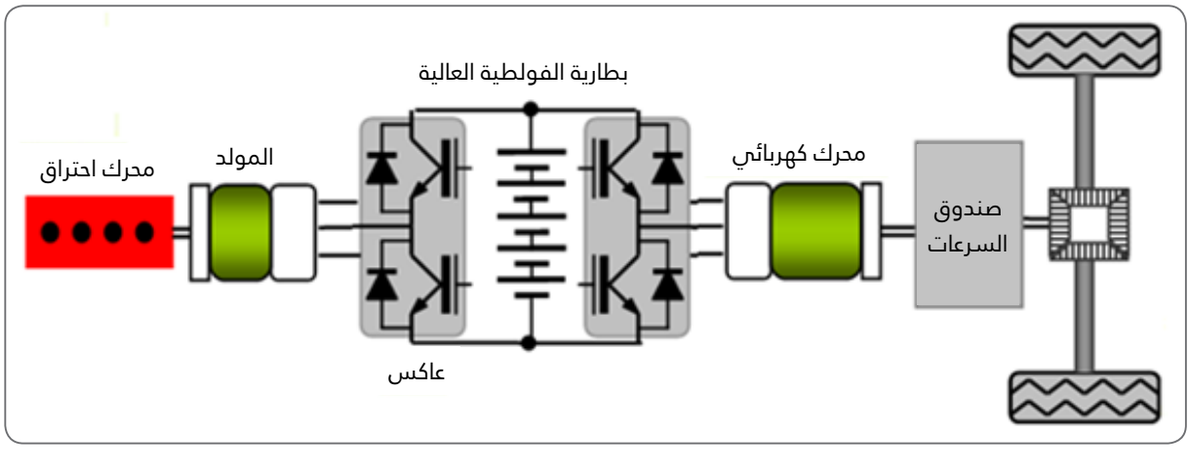
الشكل (١٣): التصنيف بحسب نظام الجر ونقل الحركة.

أ- النقل على التوالي (التهجين على التوالي) (Series Hybrid Drive Train) في هذا النوع من التهجين يقوم محرك البنزين بإدارة مولد كهربائي، وظيفته شحن بطارية الفولطية العالية أو تزويد المحرك الكهربائي بالطاقة اللازمة لإدارة مجموعة نقل الحركة، حيث لا يقوم محرك الاحتراق الداخلي بإدارة المركبة بشكل مباشر، إنما يتولى المحرك الكهربائي ذلك، ويبين الشكل (١٤) مكونات هذا النوع من النقل.



الشكل (١٤): النقل على التوالي.

ويوضح الشكل (١٥) الأجزاء الرئيسة لنظام نقل هجين يعمل على التوالي، وهي (محرك احتراق داخلي، مولد كهربائي،محرك كهربائي، ومجموعة المركم الهجين بالإضافة إلى التوصيلات الميكانيكية والكهربائية الضرورية لربط هذه الأجزاء).



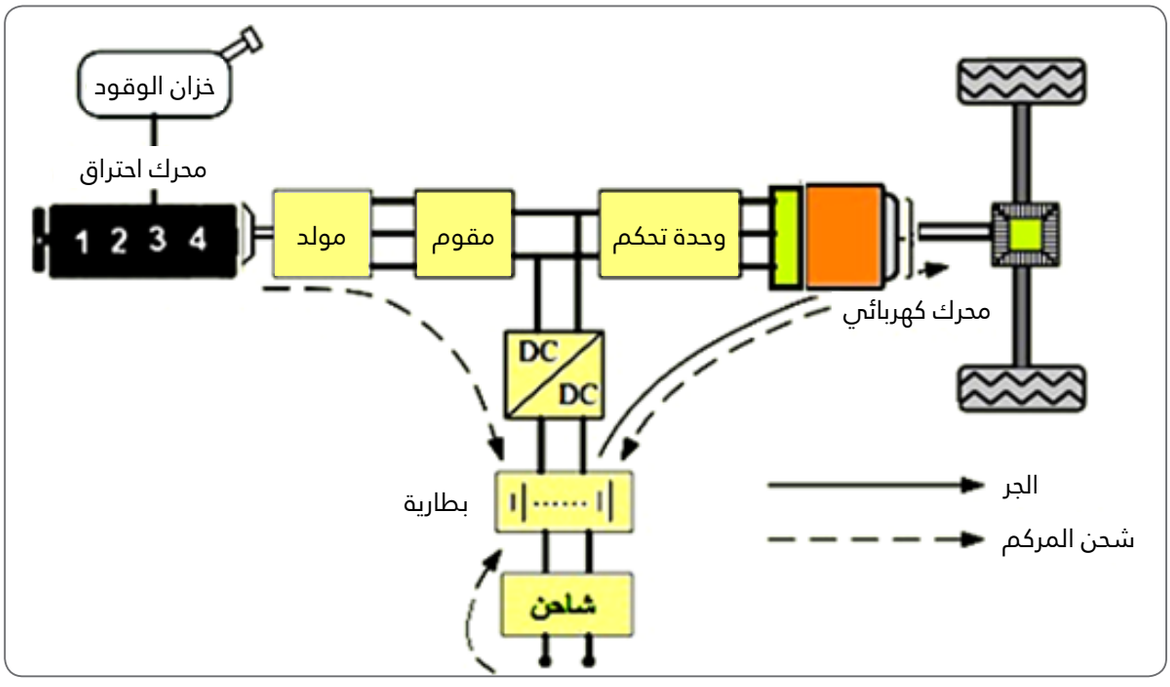
الشكل (١٥): مكونات نظام النقل على التوالي.

ومن مواصفات هذا النوع من النقل على التوالي ما يلي:

- إمكانية الجر الكهربائي لوحده، حيث يستخدم محرك كهربائي أو أكثر في إدارة العجلات.
- استخدام محرك الاحتراق الداخلي وحده في إدارة المولد لشحن بطارية الفولطية العالية.
- استخدام المولد كمحرك لبدء إدارة محرك الاحتراق الداخلي، وشحن بطارية الفولطية العالية.

- استخدام بطارية الفولطية العالية في خزن الطاقة الكهربائية وتغذية المحركات الكهربائية.
- استخدام نظام فرامل قادر على استرجاع الطاقة أثناء تطبيق الفرامل، وعند التباطؤ.

ويبين الشكل (١٦) التصميم الأكثر استخداماً في المركبات الهجينة، حيث يمتاز بعدم وجود اتصال ميكانيكي مباشر بين محرك الاحتراق الداخلي وعجلات المركبة.



الشكل (١٦): النقل على التوالي.

- أوضاع عمل نظام التهجين على التوالي: تعمل معظم المركبات الهجينة التي تعمل بنظام التوالي بحسب الأوضاع التالية أثناء القيادة:
- الجر الكهربائي: يتوقف محرك الاحتراق في هذه الحال عن العمل، والطاقة الضرورية لتشغيل المركبة تستمد من مجموعة المركم الهجين.
- الجر بوساطة محرك الاحتراق: مصدر قوى الجر في هذه الحال من محرك الاحتراق-المولد.
- الجر الهجين: يتم تأمين قوى الجر في هذه الحال من تكامل القوى المستمدة من محرك الاحتراق والمولد ومجموعة البطاريات الهجينة.
- الجر باستخدام محرك الاحتراق وشحن مجموعة البطاريات الهجينة: يعمل في هذه الحال محرك الاحتراق والمولد على شحن بطارية الفولطية العالية، وتأمين قوى الجر للمركبة في الوقت نفسه.
- استرجاع الطاقة: يتوقف في هذه الحال محرك الاحتراق والمولد عن العمل،

ويعمل المحرك الكهربائي كمولد للطاقة الكهربائية في شحن بطارية الفولطية العالية أثناء تطبيق الفرامل.

- شحن البطارية في حال الجر الهجين: تعمل جميع المحركات في هذه الحال على شحن بطارية الفولطية العالية.

- مزايا عمل نظام التهجين على التوالي: من أهم المزايا التي يتمتع بها نظام التهجين على التوالي ما يلي:

- عدم وجود اتصال ميكانيكي مباشر بين محرك الاحتراق والعجلات الدافعة حيث يعمل المحرك في هذه الحال بأقصى كفاءة.
- عدم حاجة المحرك الكهربائي إلى صندوق تروس متعدد السرعات.
- بساطة نظام الدفع وتوليد الطاقة المستخدم وبالتالي رخص ثمنه.
- بساطة نظام التحكم المستخدم في تأمين عمل النظام.
- المرونة في تصميم وتثبيت مجموعة محرك الاحتراق والمولد و بساطة تصميم مجموعة نقل الحركة.

ومن مساوئ هذا النظام حاجته لثلاثة مصادر للطاقة هي محرك احتراق داخلي، ومحرك كهربائي ومولد كما يجب أن تمتاز المحركات الكهربائية المستخدمة في هذا النوع من النقل بقدرات عالية للتغلب على مقاومات السير.

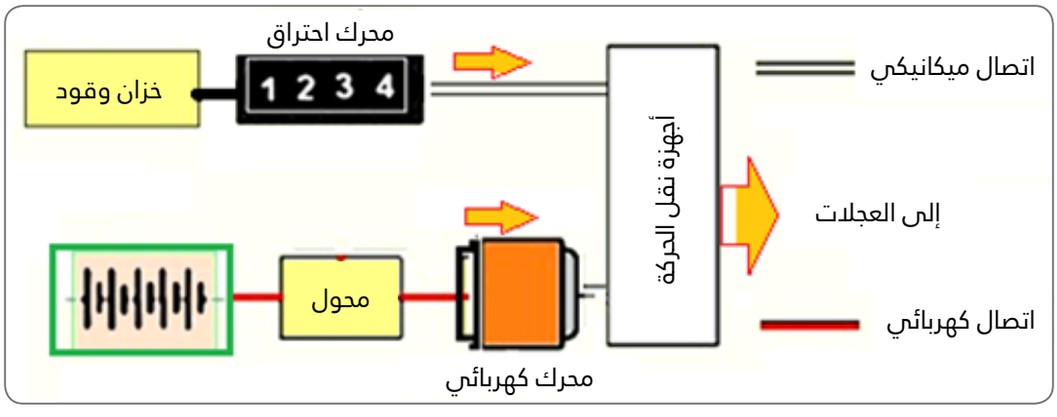
- حالات تدفق الطاقة أثناء النقل على التوالي: يتم تدفق الطاقة أثناء النقل على التوالي كما يلي:

- الحال المساندة: في حال العمل على مساندة محرك الاحتراق أثناء القيادة، يعمل محرك الاحتراق على تشغيل المولد الكهربائي، والذي بدوره يقوم بإمداد المحرك الكهربائي بالطاقة الكهربائية الضرورية لعمله حيث يقوم المحرك الكهربائي بإمداد العجلات بعزم مساند مضافا لعزم محرك الاحتراق.
- حال الشحن: في حال الشحن يعمل محرك الاحتراق على تشغيل المولد والذي بدوره يقوم بإمداد مجموعة المركم الهجين بالطاقة الضرورية للتخزين، وفي الوقت نفسه يعمل على إمداد المحرك الكهربائي بالطاقة الضرورية لتشغيله.
- حال التشغيل الكهربائي: عند عمل المركبة كهربائياً عند السرعات المنخفضة، يستمد المولد الطاقة الكهربائية من مجموعة المركم الهجين للعمل على إدارة المحرك الكهربائي والذي بدوره يؤمن العزم الضروري لإدارة العجلات الدافعة وفي هذه الحال يتوقف محرك الاحتراق عن العمل كلياً.

- حال استرجاع الطاقة: يعمل المحرك الكهربائي في هذه الحال بوساطة طاقة الحركة المستمدة من العجلات أثناء تطبيق الفرامل، وعند التباطؤ في توليد الطاقة الكهربائية وإمداد بطارية الفولطية العالية بها لتخزينها.

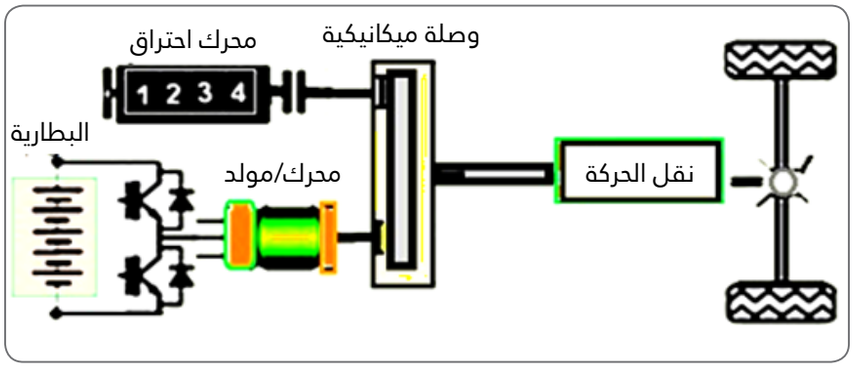
ب- النقل على التوازي (التهجين على التوازي) (Parallel Hybrid Drive Train):

يستخدم في مركبات التهجين المتوازي محرك احتراق داخلي ومركم هجين وظيفته إمداد المحرك الكهربائي بالتيار المطلوب كما في الشكل (١٧). حيث يمكن لمحرك الاحتراق والمحرك الكهربائي إدارة مجموعة نقل الحركة في الوقت نفسه، وتأمين نقل الحركة للعجلات الدافعة، ويعمل المحرك الكهربائي وحده في إدارة المركبة عند السرعات البطيئة، بينما يعمل محرك الاحتراق الداخلي عند السرعات العالية، وتضاف قدرة المحرك الكهربائي له في حال صعود مرتفع أو عند التسارع.



الشكل (١٧): مخطط النقل على التوازي.

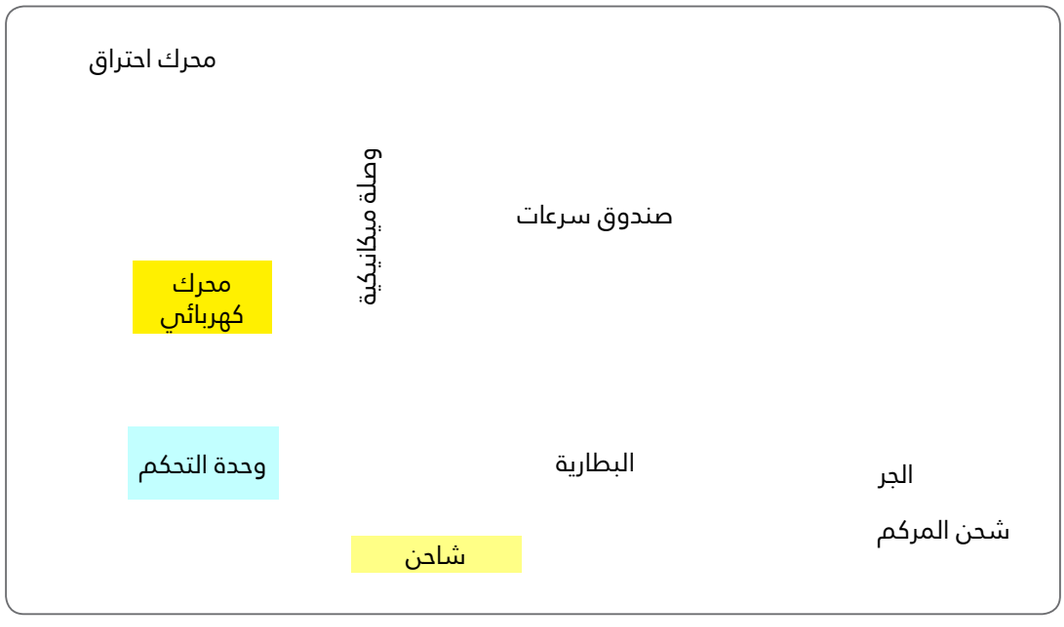
وتتم عملية الجر في هذا النظام عن طريق الربط ميكانيكي، حيث يتم دمج قدرة محرك الاحتراق الداخلي مع قدرة المحرك الكهربائي بوساطة وصلات ميكانيكية خاصة (مجموعة تروس) كما في الشكل (١٨) تقوم بنقل القدرة والحركة عبر أجهزة النقل في المركبة باستخدام صندوق سرعات ميكانيكي.



الشكل (١٨): نقل على التوازي/ ربط ميكانيكي.

ويستمد المولد طاقة الحركة اللازمة لتشغيله من محرك الاحتراق الداخلي، حيث يعمل بدوره على تزويد كل من المحرك الكهربائي ومجموعة المركم بالطاقة الكهربائية، ومن ثم يعمل المحرك الكهربائي على تزويد العجلات الدافعة بعزم الدوران الضروري للقيادة.

ويوضح الشكل (١٩) طريقة أخرى لربط محرك الاحتراق الداخلي والمحرك الكهربائي على التوازي باستخدام وصلة ميكانيكية تسمح بعمل محرك الاحتراق منفرداً أو المحرك الكهربائي منفرداً أو كلاهما معاً، ليعمل في هذه الحال المحرك الكهربائي على مساندة محرك الاحتراق في إمداد العجلات بالطاقة المطلوبة.



الشكل (١٩): نظام جر على التوازي.

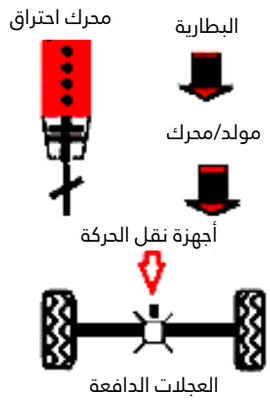
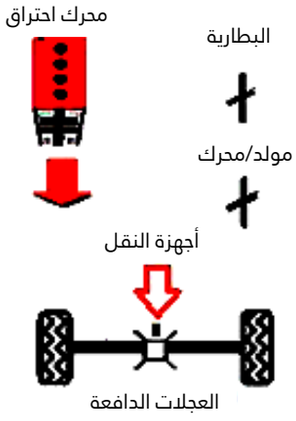
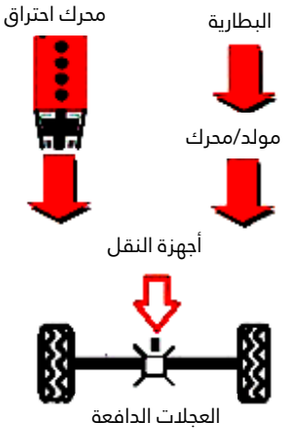
ويحتاج هذا النظام لمصدرين لتوليد الطاقة (محرك احتراق+ محرك كهربائي/مولد) حيث بالإمكان استخدام المحرك الكهربائي كمولد وبالعكس. ومن مساوئه حاجته إلى وحدات تحكم عالية الدقة لتنظيم تدفق الطاقة، ووحدة نقل ميكانيكية معقدة نسبياً.

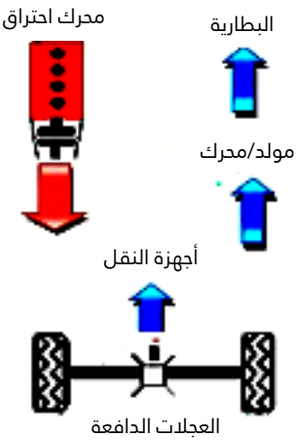
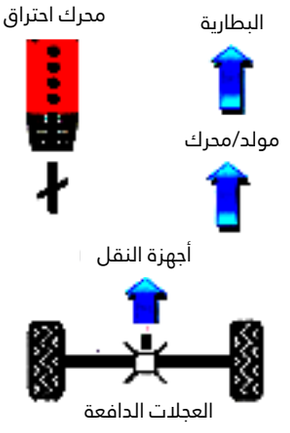
ومن المزايا التي يتمتع بها هذا النظام بالنسبة لنظام النقل على التوالي هي:

- ارتفاع الكفاءة الميكانيكية بسبب الاتصال الميكانيكي بين محرك الاحتراق والعجلات الدافعة للمركبة.
- إمكانية استخدام محرك احتراق داخلي ومحرك كهربائي أصغر حجماً من تلك المستخدمة في أنظمة التوالي، وذلك بسبب تأمينها للقوى الدافعة بشكل متواز.

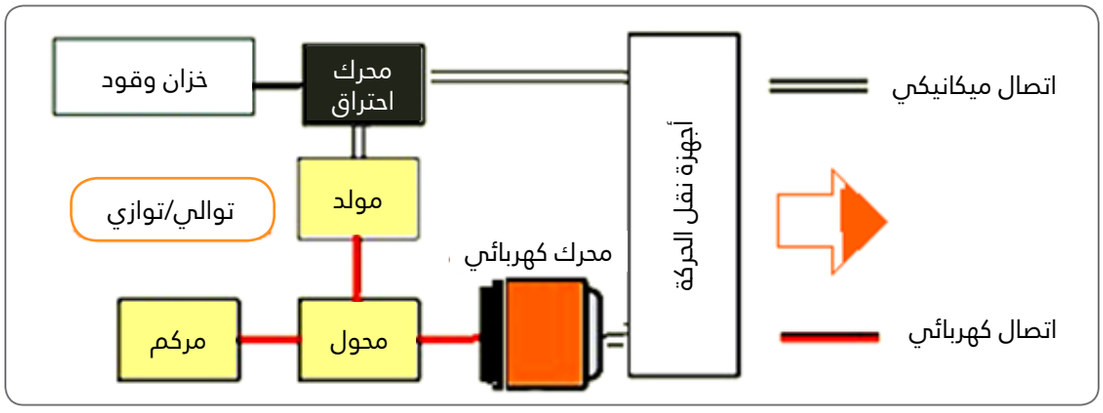
ويبين الجدول (٣) تسلسل تدفق الطاقة في نظام النقل على التوازي أثناء القيادة.

الجدول (٣): تسلسل تدفق الطاقة في نظام النقل على التوازي.

الرقم	خطوات العمل والنقاط الحاكمة	الرسوم التوضيحية
١	القيادة الكهربائية: مجموعة البطارية - مولد/محرك - أجهزة نقل الحركة - العجلات.	
٢	القيادة العادية: محرك احتراق - أجهزة نقل الحركة - العجلات.	
٣	حال التسارع: البطارية - المولد / المحرك - أجهزة نقل الحركة - العجلات.	

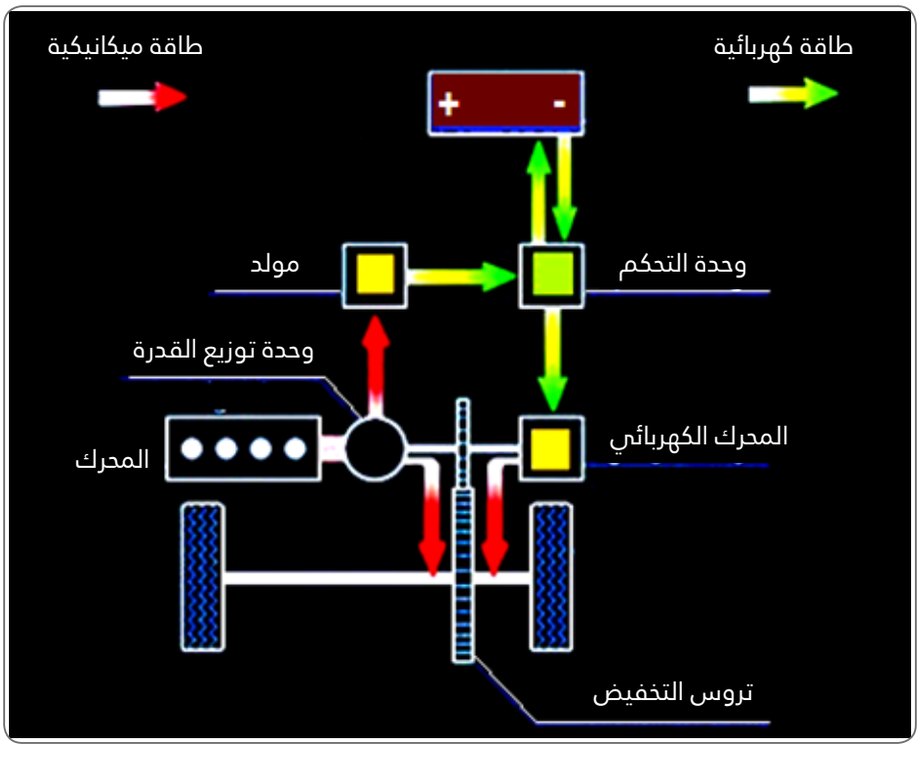
٤	حال التباطؤ: محرك احتراق - أجهزة نقل الحركة - العجلات المولد/ المحرك - بطارية ذات فولطية عالية.	
٥	استرجاع الطاقة: العجلات - أجهزة نقل الحركة - مولد/محرك - بطارية ذات فولطية عالية.	

ج- نقل توالي/توازي (تهجين مجمع) (Series/parallel Hybrid): يستخدم في هذا النظام التهجين على التوالي عند قيادة المركبة بسرعات منخفضة، وعلى التوازي عند السرعات العالية وأثناء تسارع المركبة. ويجمع بين مزايا النظامين السابقين (التوالي والتوازي) في تأمين قوى الجر حيث بالإمكان أن تستمد العجلات الدافعة حركتها من محرك الاحتراق أو من المحرك الكهربائي أو من كلاهما معا، وفي بعض حالات القيادة يعمل محرك الاحتراق على تشغيل المولد الكهربائي ليعمل بدوره على إمداد المحرك الكهربائي بالطاقة الكهربائية الضرورية لتشغيله ليعمل على إنتاج طاقة الحركة الضرورية للعمل على جر المركبة أو توليد الطاقة الكهربائية لتخزينها في مجموعة المركم الهجين واستخدامها عند حاجة المحرك الكهربائي لهذه الطاقة. ويبين الشكل (٢.) المخطط الصندوقي لهذا النظام.



الشكل (٢٠): نقل توالي/ توازي.

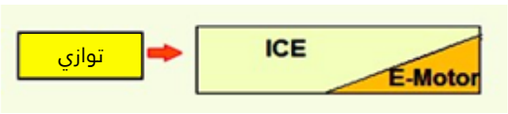
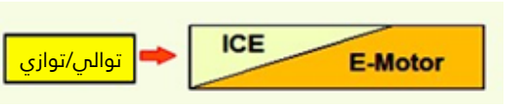
كما يبين الشكل (٢١) الأجزاء الرئيسة التي يتكون منها هذا النظام ومسارات تدفق الطاقة الكهربائية والميكانيكية إلى عجلات المركبة (طاقة محرك الاحتراق + طاقة المحرك الكهربائي).



الشكل (٢١): مسارات تدفق الطاقة الكهربائية والميكانيكية.

ويبين الجدول (٤) مقارنة بين منظومات النقل الهجين من حيث نسبة التنسيق بين عمل محرك الاحتراق الداخلي والمحرك الكهربائي أثناء قيادة المركبات الهجينة.

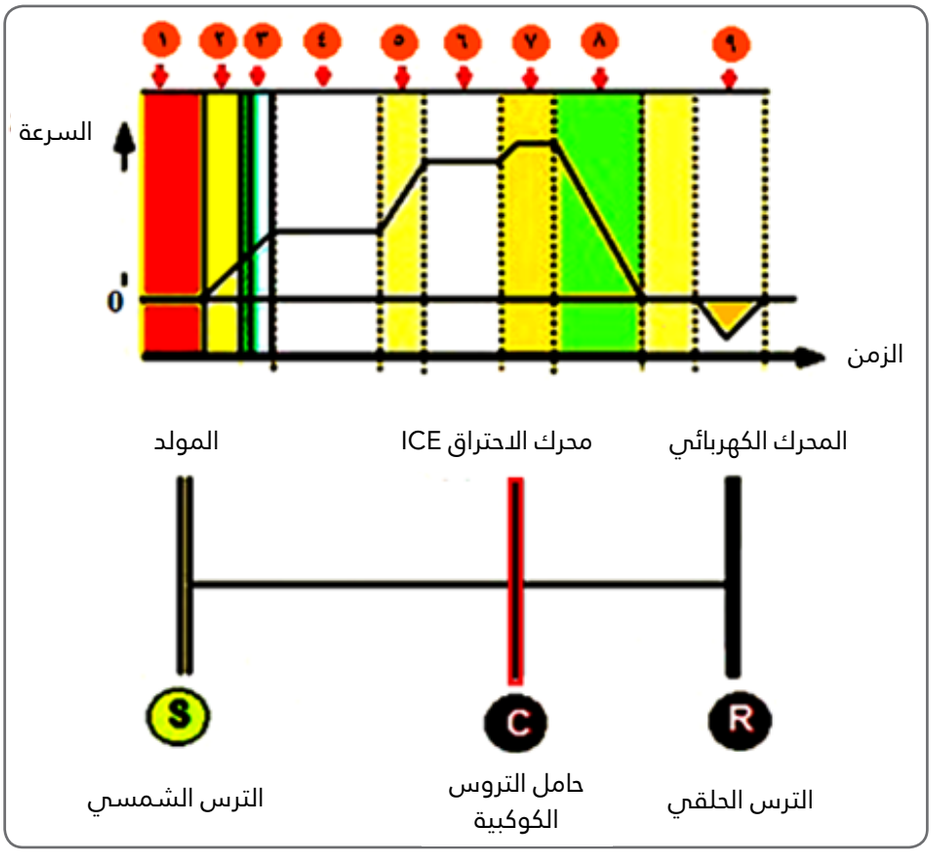
الجدول (٤): مقارنة بين الأنظمة الهجينة.

النظـام	الشكـل
نظام تقليدي بمحرك احتراق داخلي.	
نظام كهربائي (محركات كهربائية فقط).	
نظام كهروميكانيكي / توالي (محرك احتراق + محركات كهربائية).	

١-٣ أوضاع عمل المركبات الهجينة العامة

يبين الشكل (٢٢) المخطط العام لأوضاع عمل المركبة الهجينة في حالات القيادة المختلفة على الطريق (Hybrid Vehicle Operation Modes) ومصادر إنتاج الطاقة فيها وعلاقة هذه المصادر بمجموعة تروس تقسيم القدرة، وأوضاع القيادة هي:

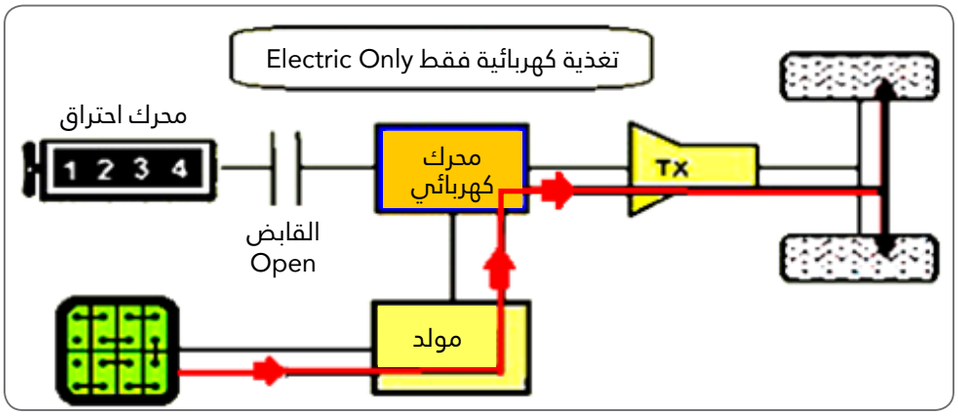
- مرحلة التشغيل والتجهيز للإقلاع بوساطة المحرك الكهربائي.
- مرحلة الإقلاع بوساطة المحرك الكهربائي.
- تشغيل محرك الاحتراق الداخلي بوساطة المولد وشحن مجموعة المركم بالإضافة إلى تسارع المركبة أو بوساطة قدرة محرك الاحتراق الداخلي.
- حال القيادة عند السرعات المنخفضة.
- القيادة عند التسارع الكامل بوساطة كل من المحرك الكهربائي ومحرك الاحتراق الداخلي.
- القيادة عند السرعات المرتفعة عبر تكامل قدرة كل من محرك الاحتراق الداخلي والمحرك الكهربائي.
- - القيادة عند السرعات القصوى بوساطة كل من محرك الاحتراق الداخلي والمحرك الكهربائي.
- القيادة في حال التباطؤ أو الفرملة حيث يعمل المحرك الكهربائي كمولد للطاقة الكهربائية، ويتوقف محرك الاحتراق عن العمل.
- القيادة في حال الرجوع إلى الخلف حيث يتوقف محرك الاحتراق الداخلي عن العمل.



الشكل (٢٢): أوضاع عمل المركبة الهجينة.

أ - بدء الحركة والسرعات المنخفضة والمتوسطة (Start and low to mid speeds):

في حال بدء الحركة والقيادة بسرعات منخفضة ومتوسطة يعمل المحرك الكهربائي على تأمين قوى الجر الضرورية لعجلات المركبة الدافعة، وفي هذه الحال يتغذى المحرك بالطاقة الكهربائية من بطارية الفولطية العالية فور وضع مفتاح التشغيل في موقعه والضغط على كبسة التشغيل، بينما محرك الاحتراق متوقف عن العمل والقابض مفصول كما في المخطط المبين في الشكل (٢٣) الذي يبين المخطط الصندوقي للعمل في هذه الحال.

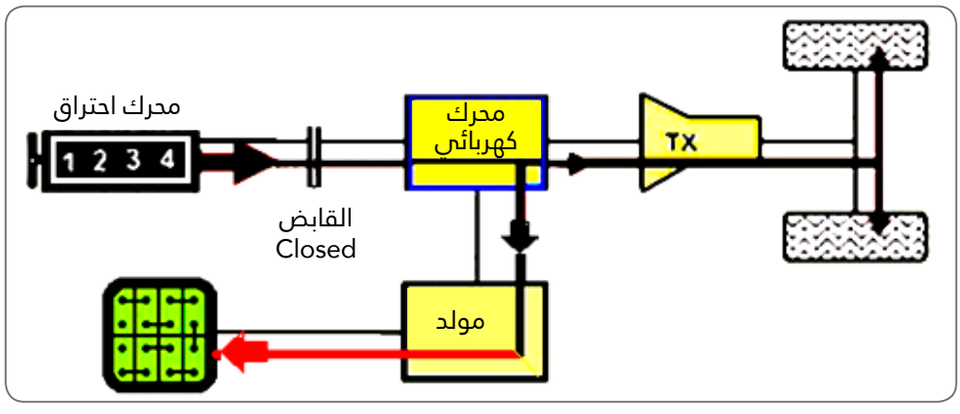


الشكل (٢٣): بدء الحركة والسرعات المنخفضة والمتوسطة.

- القيادة في الظروف الطبيعية (Driving Under Normal Conditions): باستخدام هذا النوع من توزيع الطاقة نحصل على أقصى كفاءة في تأمين عمل المركبة وقيادتها حيث يعمل المولد على شحن بطارية الفولطية العالية كما في الشكل (٢٤) وإمداد المحرك الكهربائي بالطاقة للعمل على مساندة محرك الاحتراق في جر المركبة. وفي هذا الوضع تتم تجزئة الطاقة المنتجة بوساطة محرك الاحتراق الداخلي إلى قسمين:

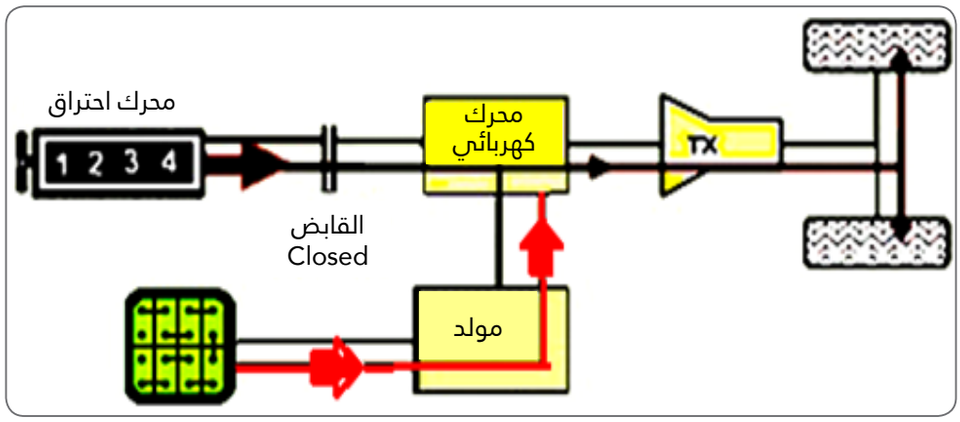
أ- قسم يغذي المولد لإنتاج الطاقة الكهربائية الضرورية لتأمين عمل المحرك الكهربائي وبالتالي تأمين إدارة عجلات المركبة.

ب- القسم الثاني من الطاقة يستخدم مباشرة في إدارة العجلات الدافعة.



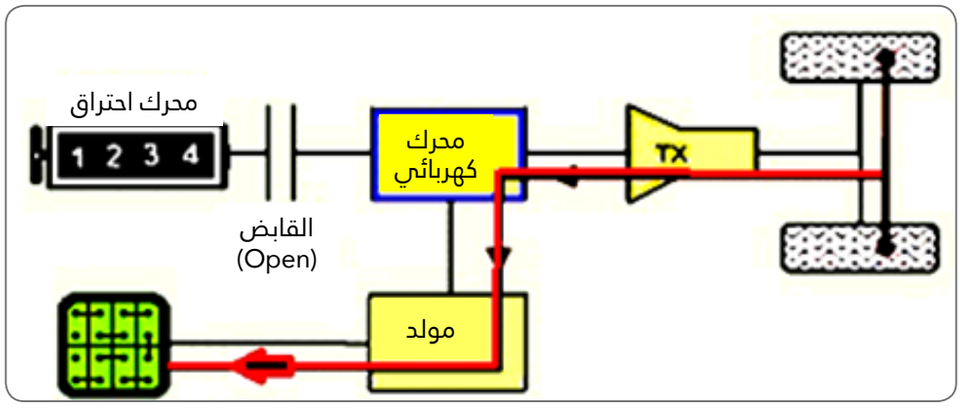
الشكل (٢٤): القيادة في الظروف الطبيعية.

- التسارع المفاجئ (Sudden Acceleration): يبين الشكل (٢٥) المخطط الصندوقي لعمل هذا النظام والأجزاء الرئيسة التي يتكون منها، حيث يتم تأمين طاقة إضافية من المركم لتغذية المحرك الكهربائي وتأمين الطاقة الحركية المساندة للعجلات الدافعة في نفس الوقت الذي يعمل فيه كل من محرك الاحتراق الداخلي والمحرك الكهربائي على توفير الاستجابة السلسة لدوران العجلات الدافعة لتحسين خصائص عملية تسريع المركبة أثناء القيادة.



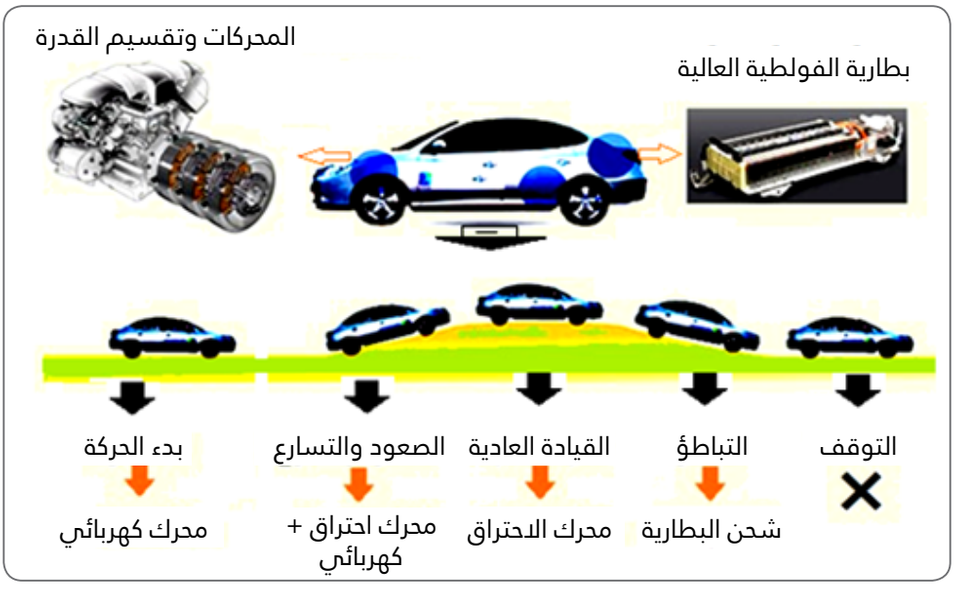
الشكل (٢٥): التسارع المفاجئ.

- التباطؤ وإعادة الشحن (Deceleration, Regenerative Braking): يستمد المحرك الكهربائي في هذه الحال حركته من عجلات المركبة الدافعة ليعمل كمولد، حيث يتم تحويل الطاقة الحركية المستمدة من العجلات إلى طاقة كهربائية ليتم تخزينها في البطارية كما في المخطط الموضح في الشكل (٢٦)، وتحتوي بطارية الفولطية العالية عادة على مخزون كاف من الطاقة لتأمين العمل كما يعمل المحرك الكهربائي أثناء التباطؤ والكبح على شحن البطارية باستخدام عبر نظام استرجاع الطاقة في المركبة.



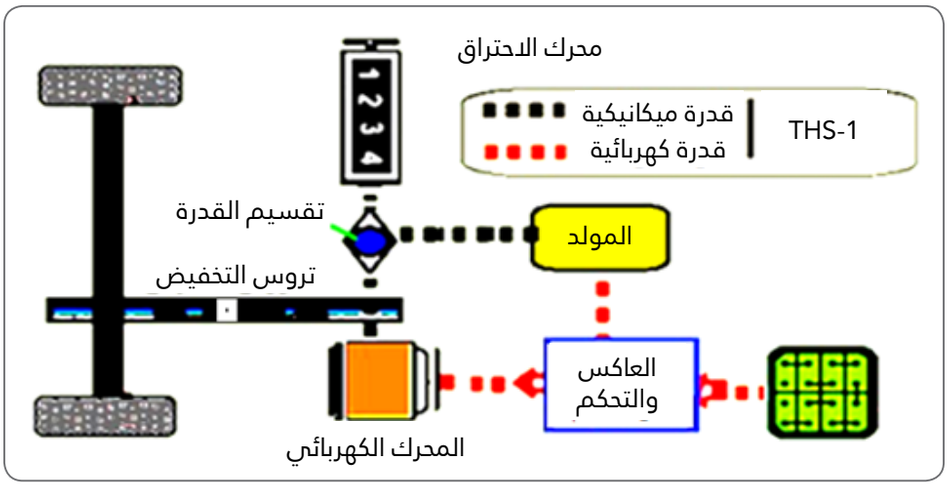
الشكل (٢٦): استرجاع الطاقة.

- التوقف والوقوف (Engine Shut Off): في هذه الحال يتوقف محرك الاحتراق تلقائيا عن العمل ويعمل المحرك الكهربائي على استرجاع طاقة الحركة من العجلات وتحويلها إلى طاقة كهربائية. ويبين الشكل (٢٧) طريقة استخدام مصادر الطاقة في المركبات الهجينة للأوضاع المختلفة أثناء القيادة من بداية التشغيل والتسارع والصعود والتباطؤ حتى الوقوف التام.



الشكل (٢٧): أوضاع عمل المركبة أثناء القيادة.

ومن الأنظمة لعمل المركبات الهجينة نظام تويوتا (THS-1) المبين في الشكل (٢٨)، ويعمل هذا النظام في بداية التشغيل عبر تزويد المحرك بالطاقة الكهربائية من مجموعة المركم الهجين. وبناء على قيمة التيار الكهربائي الواصل، تتم إدارة المحرك الكهربائي لإنتاج طاقة حركية تنتقل عبر جهاز تقسيم القدرة الذي يعمل بدوره على نقل هذه الطاقة إلى العجلات الدافعة، وأثناء عمل المحرك الكهربائي تستفيد وحدة تقسيم القدرة الميكانيكية من دوران محور الحركة وتقوم بنقل هذه الحركة إلى المولد الكهربائي الذي يحول قسم من طاقة محرك الاحتراق إلى طاقة كهربائية يتم نقلها و تخزينها في المركم. وعند بلوغ سرعة المركبة ٦٠ كلم/ساعة، تقوم إشارة حساس السرعة الواصلة لوحدة التحكم بعمل المركبة بحث وحدة تقسيم القدرة على فصل المحرك الكهربائي وتعشيق محور محرك الاحتراق الداخلي.

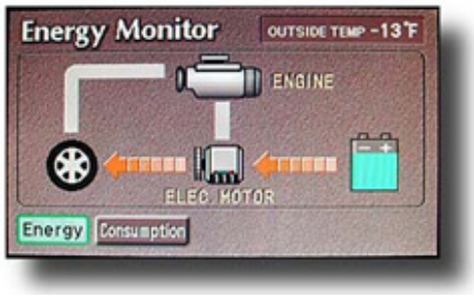
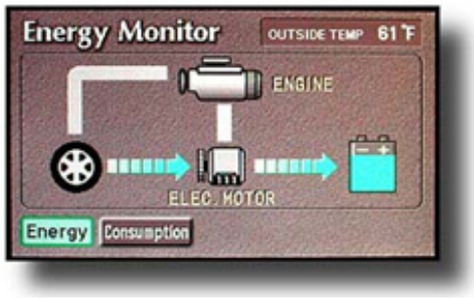
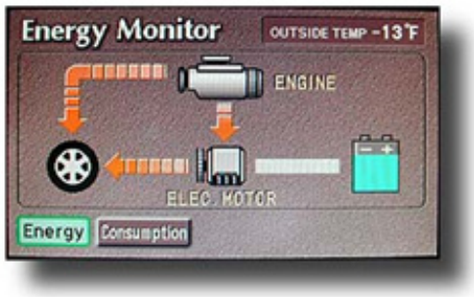
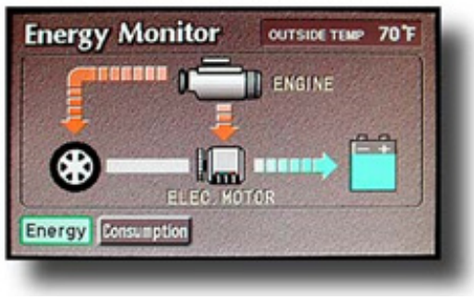


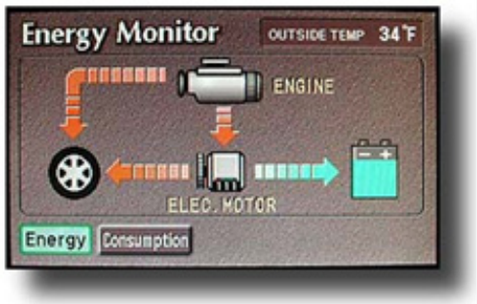
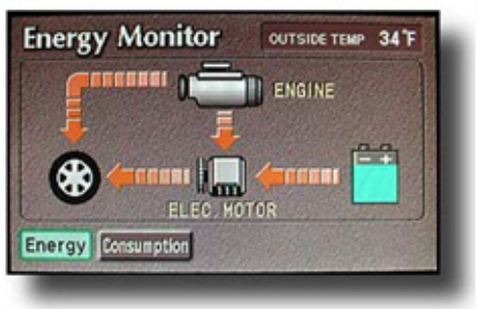
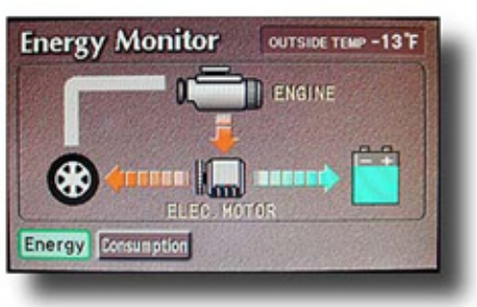
الشكل (٢٨): نظام THS 1.

وقد قامت شركة تويوتا بتطوير هذا النظام، حيث أجرت تعديل على ناقل الحركة، وذلك بإضافة وحدة للتحكم في عزم المحرك الكهربائي بما يتناسب وسرعة المركبة. ومن بين التعديلات التي أدخلت على هذا التصميم أيضاً إضافة محرك كهربائي تم تثبيته على محور العجلات الخلفية.

ويبين الجدول (٥) مثالاً على أوضاع عمل المركبات الهجينة، والتي يمكن مشاهدتها على شاشة رصد الطاقة (Energy monitor) المثبتة أمام السائق في لوحة القيادة.

الجدول (٥): أوضاع العمل لمركبة هجينة.

الوضع	الشكل على شاشة العرض
• القيادة بطاقة بطارية الفولطية العالية (EV mode): تعمل المركبة عند الانطلاق بطاقة المركم، والسير بهذه الطاقة لغاية سرعة مقدارها (٥٠ km/h) تقريبا، ومن ثم يقوم محرك الاحتراق على إمداد المركبة بالطاقة الضرورية في تشغيلها.	
• استرجاع الطاقة: (Regeneration Charge) عند إبطاء المركبة والضغط على الفرامل، يقوم المحرك الكهربائي بالعمل كمولد للطاقة التي تستخدم في شحن المركم.	
• القيادة بوساطة المحرك الكهربائي ومحرك الاحتراق الداخلي (Engine &Motor Drive): يوفر المحرك الكهربائي أثناء تسارع المركبة بانتظام جميع احتياجات المركبة من الطاقة، وأثناء القيادة على الطرق السريعة تتوقف البطارية كلياً عن العمل ويقوم كل من المحرك الكهربائي ومحرك الاحتراق الداخلي بتوفير الطاقة اللازمة للقيادة.	
• القيادة بوساطة محرك الاحتراق وشحن بطارية الفولطية العالية: (Engine Drive + Charge): يوفر محرك الاحتراق عند القيادة على الطرق المفتوحة والسريعة قوة الدفع الضرورية لجر العجلات جنبا إلى جنب مع الطاقة الكهربائية اللازمة لشحن البطارية.	

• القيادة بوساطة محرك الاحتراق الداخلي والمحرك الكهربائي بالإضافة الشحن: أثناء القيادة على طريق مفتوح يقوم النظام بالكشف عن الوضع المثالي للقيادة تلقائيا حيث يوفر محرك الاحتراق قوة الدفع إلى العجلات والطاقة اللازمة لتغذية المحرك الكهربائي وشحن البطارية في الوقت نفسه.	
• التسارع الكامل والتباطؤ المنتظم (Full Power or Gradual Slowing): عند تسارع المركبة وفي حالات التباطؤ المنتظم يمكن الاستفادة الكاملة من النظام الهجين لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة في قيادة المركبة.	
• القيادة للخلف (Motor Drive & Engine Charge): أثناء رجوع المركبة للخلف، يتم توفير القوة اللازمة لجر المركبة بوساطة المحرك الكهربائي وشحن مجموعة المركم بوساطة محرك الاحتراق.	

٤-١ مجموعة تروس نقل وتوزيع الحركة (وحدة تقسيم القدرة)

بدأ التفكير في استخدام مجموعات التروس الفلكية في صناديق السرعات ونقل الحركة في عام ١٩٠٨ على يد العالم الإنجليزي لانشستر، على أساس إمكانية الحصول على نسب نقل عديدة لحجم صغير من التروس، والتي لا يمكن أن نحصل عليها من التروس ذات التعشيق الخارجي التقليدية، لذا تم استخدامها في المركبات الهجينة حيث تم تجميع وتوزيع العزم والقدرة لمحرك الاحتراق الداخلي ووحدتي المحرك الكهربائي/ المولد عن طريق مجموعة تروس فلكية، أطلق عليها وحدة تقسيم القدرة (PSD). وهذه الوحدة تسمح للمركبة أن تعمل في كلتا الحالين؛ التهجين المتوازي والتهجين المتوالي في الوقت نفسه والحصول على بعض المميزات من كل نوع. فيستطيع محرك الاحتراق الداخلي إدارة العجلات مباشرة (ميكانيكياً) عن طريق الوحدة، وفي الوقت نفسه يمكن سحب جزء من طاقة المحرك لتحويلها إلى كهرباء. والتي يمكن بها شحن بطارية الفولطية العالية أو تمريرها إلى وحدة

المحرك الكهربائي/ مولد للمساعدة في إدارة العجلات. وتمكن المرونة في تقسيم الطاقة الميكانيكية/الكهربائية بوساطة وحدة تقسيم القدرة من تحسين استهلاك الوقود والتحكم في التلوث بشكل لا يمكن الوصول إليه في حال استخدام اتصال ميكانيكي مباشر بين محرك الاحتراق الداخلي والعجلات كما في نظام التهجين المتوازي أو يؤدي إلى فقد في الطاقة الكهربائية كما في نظام التهجين المتوالي.

أ- مكونات مجموعة تروس نقل الحركة وتوزيعها:

وتتكون مجموعة تروس نقل وتوزيع القدرة (وحدة تقسيم القدرة) (Power Split Device) في المركبات الهجينة من ثلاثة عناصر أساسية، مبينة في الشكل (٢٩)، وهي:

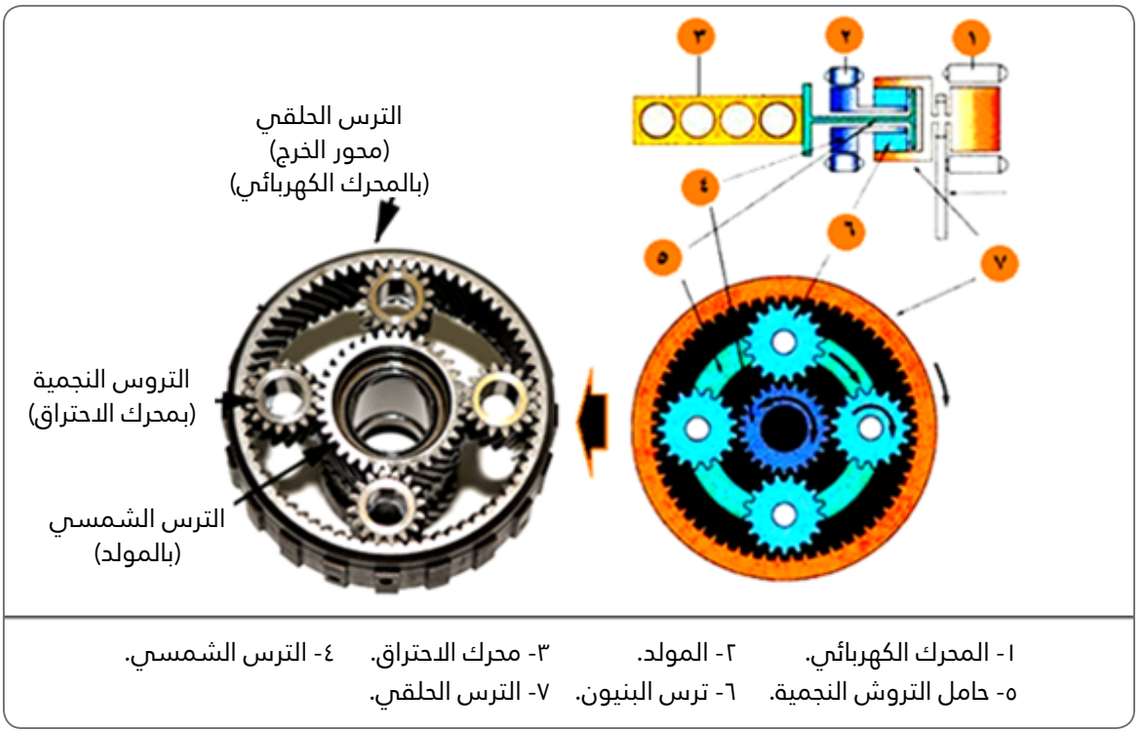
- الترس الشمسي (Sun Gear).
- الحامل (Carrier) ومثبت به مجموعة من التروس النجمية (Planetary Piniongears).
- الترس الحلقي (Ring Gear or Annulus).

الشكل (٢٩): مجموعة التروس الفلكية.

وفي هذه المجموعة تتصل وحدة المحرك الكهربائي بالترس الحلقي كما في الشكل (٢٩) حيث يتصل الترس بمجموعة التروس الفرقية التي تدير العجلات. ويتصل المولد بالترس الشمسي ومحرك الاحتراق الداخلي بحامل التروس الكوكبية. وتعتمد سرعة المركبة على حركة دوران الترس الحلقي الذي يعتمد على حركة جميع الأجزاء (المحرك الكهربائي والمولد، محرك الاحتراق الداخلي).

ويثبت الترس الشمسي في منتصف الوحدة كما هو مبين في الشكل (٣٠)، ويعشق مع التروس النجمية المثبتة على حامل خاص بها. وهي مجموعة من التروس الصغيرة مركبة

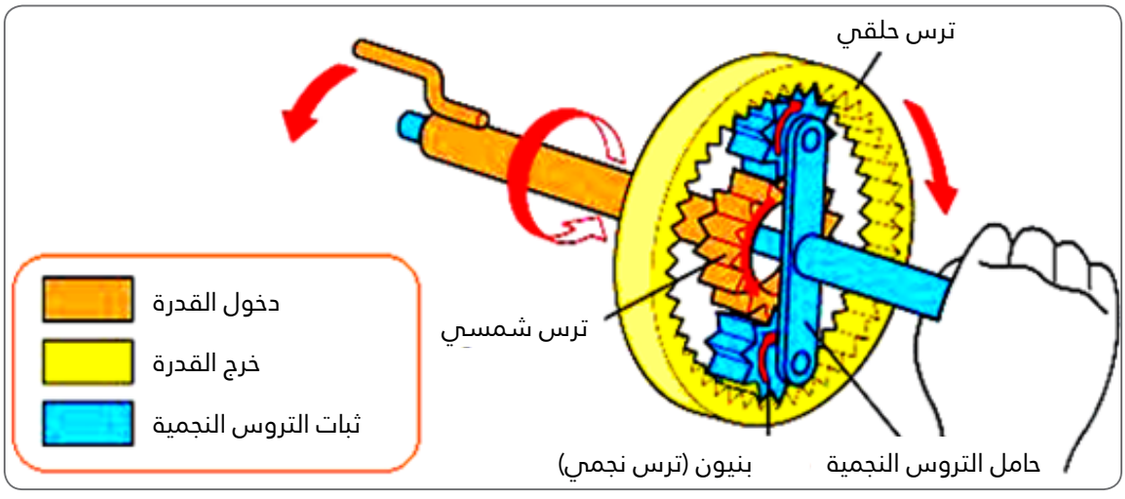
على حامل يصنّع من الحديد الزهر أو الألومنيوم، وبالحامل عمود لكل ترس منها. وتدور حول محورها بوساطة محمل إبري، ويشكل الحامل ومجموعة التروس النجمية جزءاً واحداً في هذه المجموعة. وتحيط التروس النجمية بمركز الترس الشمسي وتدور حول محوره. في هذه الحال تدور التروس الكوكبية حول نفسها وفي الوقت نفسه حول مركز الترس الشمسي. ويحيط بالتروس النجمية من الخارج الترس الحلقي، الذي هو أكبر جزء بالوحدة، وتعشق أسنان الترس الحلقي الداخلية مع أسنان التروس الكوكبية.



١- المحرك الكهربائي. ٢- المولد. ٣- محرك الاحتراق. ٤- الترس الشمسي.
٥- حامل التروش النجمية. ٦- ترس البنيون. ٧- الترس الحلقي.

الشكل (٣٠): مجموعة تروس تقسيم القدرة.

ب- طريقة عمل مجموعة التروس الفلكية: يمكن لجميع عناصر مجموعة التروس الفلكية (الترس الشمسي، والحامل، والترس الحلقي) من الدوران أو منعها من الدوران، ولنقل الحركة بوساطتها يجب إيقاف أحد عناصرها عن الدوران كما في الشكل (٣١)، واستخدام أي جزء من الوحدة كعنصر إدارة (دخل) أو عنصر مدار (خرج)، أما العنصر الثالث فيكون هو عنصر خرج (Output) أو عنصر إدارة (Input). ويعتمد تحديد مقدار العزم أو سرعة الخرج من هذه المجموعة عند عملها على أي من عناصر الوحدة هو عنصر الإدارة فيها.



الشكل (٣١): عمل التروس الفلكية.

وتكون نسب التخفيض أثناء عمل المجموعة كما يلي:

- في حال أن الحامل هو عنصر الدخل، فتكون نسبة التخفيض موجبة أقل من واحد، وهذا يزيد السرعة ويقلل العزم.
- في حال أن الحامل هو عنصر الخرج، فتكون نسبة التخفيض أكبر من واحد، وهذا يقلل السرعة ويزيد العزم.
- في حال تثبيت الحامل، فتكون نسبة التخفيض سالبة، وهذا يجعل دوران الخرج عكس اتجاه دوران الدخل.

ويبين الجدول (٦) حالات عمل مجموعة بسيطة من التروس الفلكية حيث يبين السرعة والعزم واتجاه الدوران.

الجدول (٦): أوضاع عمل الوحدة البسيطة للتروس الفلكية.

	الترس الشمسي	الحامل	الترس الحلقي	السرعة	العزم	اتجاه الخرج
١	دخل	خرج	مثبت	أكبر تخفيض	يزيد	مثل الدخل
٢	مثبت	خرج	دخل	أقل تخفيض	يزيد	مثل الدخل
٣	خرج	دخل	مثبت	أكبر زيادة	يقل	مثل الدخل
٤	مثبت	دخل	خرج	أقل زيادة	يقل	مثل الدخل
٥	دخل	مثبت	خرج	تخفيض	يزيد	عكس اتجاه الدخل

٦	خرج	مثبت	دخل	زيادة	يقل	عكس اتجاه الدخل
٧	في حال وصل أي جزئين من الأجزاء معاً فإن السرعة والاتجاه تكون مثل الدخل. نسبة التخفيض ١:١ (نقل مباشر).					
٨	في حال عدم تثبيت أي من الأجزاء أو وصل جزأين معاً، لا يمكن الحصول على خرج (حال الحياد).					

ومن خواص مجموعة التروس الفلكية:

- يدور فيها على الأقل أحد التروس حول محوره وحول محور آخر
- تستخدم مجموعه أو أكثر من هذه التروس في صناديق السرعات الآلية وتحتوي على ترسين شمسيين ومجموعتين من التروس النجمية
- يستخدم فيها ترس حلقي واحد.

١-٥ أعطال أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة

لا شك أن التكنولوجيا المتقدمة في فحص المركبات من أهم المرتكزات التي يتم الاعتماد عليها لفحص جميع الأجزاء الميكانيكية والكهربائية في المركبة، بالإضافة إلى الهيكل الخارجي، وفي تحديد الحال العامة للمركبة، وإلغاء نسبة الخطأ البشري من معادلة الفحص.

عندما يضيء مصباح التحذير المثبت بلوحة القيادة أمام السائق كما في الشكل (٣٢)، فقد يشير إلى وجود عطل ما في نظام القدرة ونقل الحركة في المركبة، وعلى سبيل المثال إذا ظهر أحد الرموز التالية على شاشة الماسح الضوئي في مركبات تويوتا الهجينة (P٣١٢٥ أو P٣٠٠٩) فهذ يعني وجود تسرب في الفولطية العالية، وأن ناقل الحركة المحوري بحاجة إلى تبديل.

ومن المعلوم أن المركبات الحديثة مزودة بحساسات تلتقط أي اختلالات أثناء العمل، لتنبيه وحدة التحكم إلى وجود عطل ما، ولتحديد ماهية العطل، يمكنك استخدام جهاز مسح الأعطال المتوفر بأشكال وأنواع مختلفة، الذي سيبين لك رمزًا معينًا يشير إلى الجزء الذي لا يعمل كما ينبغي، وإذا كان العطل في أجهزة النقل، فهنا يجب نزع الجهاز المعني وإصلاح العطل.

ويمكنك تشخيص أعطال المركبات الهجينة باستخدام أجهزة المسح الضوئي بنفس الطريقة كما في المركبات التقليدية، حيث يمكنك الوصول إلى رمز الخطأ والبيانات ومدخلات أجهزة الاستشعار والاختبارات الذاتية المختلفة باستخدام أداة المسح الضوئي وبرامج التشخيص الخاصة بالمركبة المعنية.

الشكل (٣٢): مصباح التحذير.

وقد وفرت أدوات المسح الضوئي أحدث برامج الفحص لتحقيق تشخيص الأعطال من خلال القدرة على قراءة الأعطال لجميع وحدات التحكم الإلكترونية بالمحرك وناقل الحركة والفرامل المانعة للانغلاق والوسائد الهوائية -- إلخ، وعمل اختبار الفصل والتشغيل لجميع المشغلات المتصلة بوحدات التحكم في المركبة.

وتتميز أجهزة المسح بإمكانية تحويل البيانات (Current Data) المقروءة من المركبة إلى بيانات مرسومة (Graph) على شاشه الجهاز كما في الشكل (٣٣)، وعمل الضبط اللازم للمشغلات التي تحتاج إلى ضبط.

وتقدم الشركات الصانعة المخططات التفصيلية لكافة رموز التشخيص الخاصة بأجهزة المسح الضوئي لقراءتها وتحديد العطل واستبعاد احتمالات تشخيص الأعطال العشوائية، حيث يمكنك اكتشاف الخطأ بدقة بعد إجراء الفحوص التشخيصية للمركبة، وتحديد العنصر الخاطئ الذي تحتاج إلى استبداله. وعادة ما يكون مرفقاً بكل جزء بالتحكم أماكن الأعطال وأسمائها ومكوناتها التي تتيح لك التعرف أكثر على وظائف الجزء المتعطل والتوجيه لإصلاحه، ومن ثم يمكن التعرف على الأعطال التي يمكن أن تواجهك لأخذ الحظر لعدم حدوثها.

ويمكنك تشخيص بعض الأعطال باستخدام الحواس مثل فحص الزيوت المستخدمة في المركبة ومستواها، وظهور الأصوات غير الطبيعية أثناء القيادة، والفحص على الطريق، فتلف المحامل مثلاً (Bearing Failures) يؤدي إلى ظهور أصوات غير طبيعية، فالأصوات التي تظهر أثناء مرحلة الشحن وعند بدء الحركة ترتبط بتلف محامل المولد، بينما الضوضاء أثناء القيادة يمكن أن تكون صادرة عن محامل أخرى مثل محامل العجل. وبما أن مجموعة تروس وحدة تقسيم القدرة تدور بسرعات مرتفعة، ويتم تخفيضها بوساطة تروس النقل

النهائي لتأمين العجلات الدافعة بها، لذا فإن ارتفاع الصوت يدل على أن الخطأ هو في المحرك الكهربائي.

الشكل (٣٣): ماسح الأعطال.

١-٦ التقييم الذاتي

١. أجب عن الأسئلة المدرجة أدناه.
٢. إذا كنت غير قادر على إجابة أي من أسئلة التقييم، ارجع إلى المعلومات النظرية أو استشر مدربك إن كان ذلك ضرورياً.

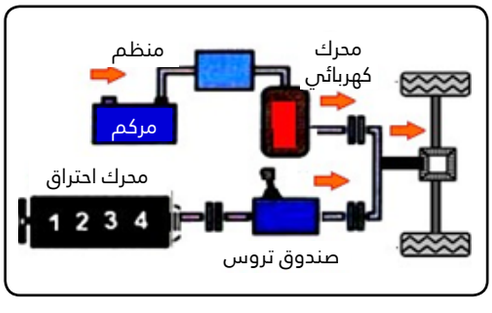
الأســـــئلة:

السؤال الأول:

١- يستمد المولد طاقة الحركة اللازمة لتشغيله أثناء القيادة على الطريق من:
أ . محرك الاحتراق الداخلي.
ب. مجموعة البطارية الكهربائية.
ج . محرك القدرة الكهربائي.
د . الترس الحلقي في مجموعة تقسيم القدرة.

٢- يعمل المحرك الكهربائي كمولد للطاقة في المركبة الهجينة:
أ . أثناء تسارع المركبة.
ب. أثناء إبطاء حركة المركبة بالضغط على الفرامل.
ج . عند جميع سرعات المركبة.
د . أثناء تقويم المركبة.

٣- يبين الشكل المقابل نظام لتشغيل المركبات:
أ . تقليدي مزود بمحرك احتراق داخلي فقط.
ب. نظام كهربائي (محركات كهربائية فقط).
ج . كهروميكانيكي / توالي
(محرك احتراق + محركات كهربائية).
د . كهروميكانيكي / توازي
(محرك احتراق + محركات كهربائية).



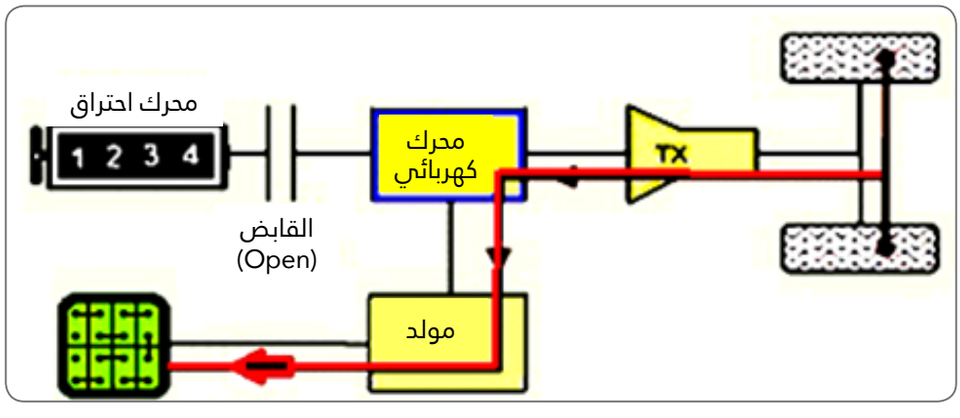
السؤال الثاني:

ضع علامة صح (✓) أمام العبارة الصحيحة وعلامة خطأ (✗) أمام العبارة الخاطئة فيما يأتي:

	العبارة	صح	خطأ
١	يمتاز النقل توالي/ توازي في المركبات الهجينة بإمكانية نقل قدرة ميكانيكية وأخرى كهربائية.		
٢	يحيط بالتروس الكوكبية في مجموعة التروس الفلكية في المركبة الهجينة من الخارج الترس الشمسي، وهو أكبر ترس في المجموعة.		
٣	تتكون مجموعة المركم الهجين عالية الجهد من عدد كبير من الخلايا, مثبتة داخل غلاف واحد تثبت خلف المقعد الخلفي في المركبة.		
٤	من خواص مجموعة التروس الفلكية أنه يدور فيها على الأقل أحد تروس المجموعة حول محوره وحول محور آخر.		
٥	تعمل المركبات الكهروميكانيكية الهجينة من خلال تكامل مصادر الطاقة الحرارية والكهربائية فيها.		

السؤال الثالث:

ما النظام المبين في الشكل التالي، اشرح باختصار كيف يعمل.

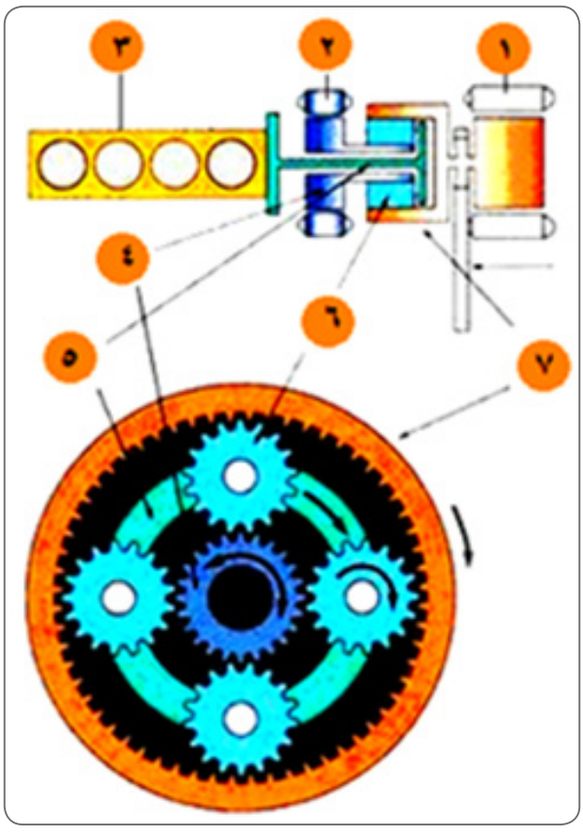


السؤال الرابع:

اذكر مواصفات نظام نقل الحركة والقدرة الذي يعمل على التوالي في المركبات الهجينة.

السؤال الخامس:

ماذا يبين الشكل التالي؟ اذكر أجزائه المرقمة، ونظم الإجابة في جدول من قائمتين تتضمن الأولى الأرقام، والثانية الأجزاء.



١-٧ التمرين العملي

رقم التمرين: (١)	الزمن المخصص للتمرين
اسم التمرين: فحص مجموعة التروس النجمية في وحدة تقسيم القدرة في المركبة الهجينة.	١٢ ساعة

إجراءات السلامة والصحة المهنية عند تطبيق تمارين هذه الوحدة

إن تطبيقك لإجراءات السلامة والصحة المهنية والسلوك المهني السليم عند تطبيق تمارين هذه الوحدة هو الطريقة الأمثل لنجاحك وتفوقك، واكتساب احترام وتقدير الآخرين وتجنبك للحوادث المحتمل حدوثها أثناء العمل. ومن أهم هذه السلوكيات ما يأتي:

- التقيد بلباس التدريب داخل الورشة.
- ارتداء معدات الوقاية الشخصية المناسبة لطبيعة العمل.
- المحافظة على نظافة المشغل وترتيبه ومكان العمل.
- المحافظة على الأجهزة والأدوات واستخدامها وصيانتها.
- التأكد من تهوية مكان العمل.
- المحافظة على البيئة والاقتصاد في استخدام المواد والطاقة.
- احترام قواعد العلاقات البينية والعمل كعضو ضمن فريق في بيئة العمل.
- التقيد بتعليمات السلامة تبعا لتعليمات الشركة الصانعة للمركبة المعنية

- **الأهداف:** يتوقع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن تصبح قادراً على أن تفحص مجموعة التروس النجمية في وحدة تقسيم القدرة في المركبة الهجينة.

- شروط الأداء: حسب تعليمات المدرب

- الأدوات والتجهيزات والمواد اللازمة لتنفيذ الأداء

الأدوات والتجهيزات والمواد			
١	مركبة للتدريب.	٥	وعاء لتفريغ الزيت.
٢	رافعة تمساح، رافعة بلانكو.	٦	وعاء لتفريغ سائل التبريد.
٣	مرابط تأمين العجلات من الانزلاق.	٧	ضاغطة هواء.
٤	حوامل (جحوش).	٨	مواد وأدوات تنظيف.

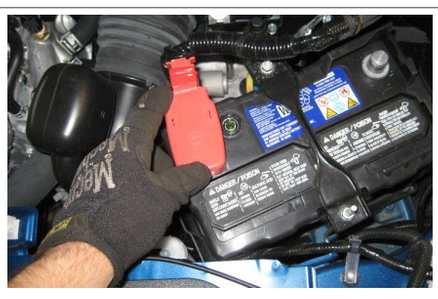
٩	صندوق عدة.	١٠	أغطية لهيكل وكراسي المركبة.

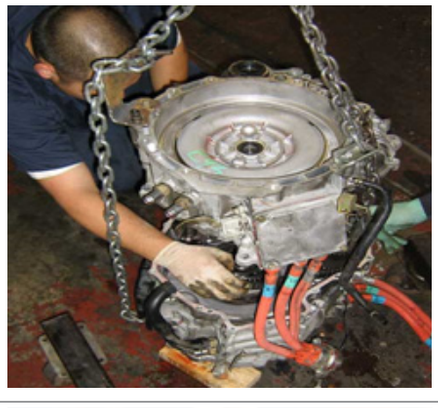
- الأنظمة والتعليمات والمراجع اللازمة لتنفيذ الأداء

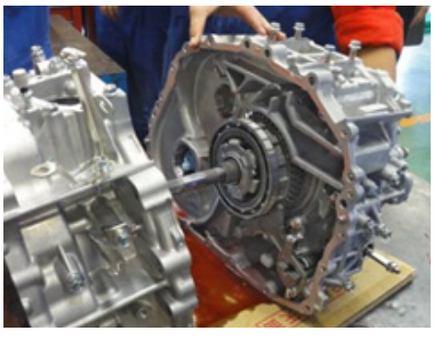
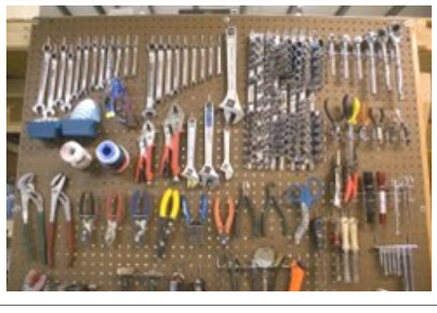
١. نسخة من الوحدة التدريبية.

٢. دليل الصيانة وتعليمات الشركة الصانعة.

- خطوات العمل

الرقم	خطوات العمل والنقاط الحاكمة	الرسوم التوضيحية
١	جهز المواد والعدد والأدوات اللازمة لفك وتركيب وحدة تقسيم القدرة، وتأكد من صلاحيتها قبل الاستعمال.	
٢	أمن المركبة في موقع العمل على أرض مستوية.	
٣	افصل أقطاب البطارية المساعدة أو انزعها من المركبة كما في الشكل المجاور.	
٤	البس القفازات العازلة المبينة في الشكل المجاور، وانزع قاطع الخدمة من المركبة بحسب تعليمات الشركة الصانعة. • تنبيه: لا تلمس وصلات الفولطية العالية على الأقل مدة (١٠ دقائق) بعد نزع قاطع الخدمة.	
٥	تفقد مجموعة المحركات والوصلات المرتبطة بها، لتحديد طريقة فكها كما في الشكل المجاور.	

٦	فرغ سائل التبريد من النظام قبل فك المشع من المركبة، وزيت التزييت من مجموعة المحركات كما في الشكل المجاور.	
٧	انـزع مجموعة محركات الـقـدرة ووحـدة تقسيم الـقـدرة مـن الـمحـرك بعد فـك جـميع الـوصـلات الكهربائية والميكانيكية المرتبطة بها كما في الشكل المجاور.	
٨	ثبت مجموعة محركات القدرة على طاولة العمل كما في الشكل المجاور.	
٩	افصل مجموعة المحركات الكهربائية عن محرك الاحتراق الداخلي كما في الشكل المجاور.	
١٠	انزع تروس وحدة تقسيم القدرة وتفقد محاملها وأسنانها لاستبدال التالف منها كما في الشكل المجاور.	

١١	تفقد مجموعة التروس النجمية ومحاور نقل الحركة من حيث التآكل أو كسر الأسنان؛ للتأكد من أنها بحاجة إلى تبديل.	
١٢	اجمع تروس وحدة التقسيم بعكس خطوات الفك، ومن ثم اجمع محركات القدرة الكهربائية بمحرك الاحتراق كما في الشكل المجاور.	
١٣	ركب المحركات بعد جمعها في مكانها داخل مقصورة المحركات في المركبة، وأصل جميع الوصلات الميكانيكية والكهربائية بمجموعة المحركات كما في الشكل المجاور.	
١٤	ضع زيتا جديدا، وسائل تبريد جديد بحسب مواصفات الشركة الصانعة كما في الشكل المجاور.	
١٥	شغل المركبة في مكانها، وتفقد العمل.	
١٦	اجمع العدة بعد تنظيفها، واحفظها بحسب التعليمات كما في الشكل المجاور.	

هدف التعلم الثاني

عند الانتهاء من تنفيذك أنشطة التعلم أدناه عليك أن تصبح قادراً على أن تصون أنظمة نقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة.

أنشطة التعلم	استعن بما يلي:
١. قراءة المادة التعلمية.	الوحدة التدريبية.
٢. تنفيذ التمارين العملية.	المشغل/بإشراف المدرب.
٣. زيارة المواقع الإلكترونية.	الشبكة العنكبوتية.
٤. التدريب الميداني.	ورش ومراكز صيانة المركبات الهجينة.

٢. صيانة نظام النقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة

تحتاج المركبات الهجينة التي تجمع بين محرك الاحتراق الداخلي والمحركات الكهربائية ووحدة تقسيم القدرة، إلى تناولها بشكل مختلف عند صيانة مكوناتها، ومحركات القدرة الخاصة بها، حيث يجب فصل مجموعة المركم الهجين قبل لمس أي مكون قد يحمل فولطية عالية.

وعلى سبيل المثال عند الحاجة لنزع وحدة تقسيم القدرة من المركبة الهجينة، حيث تشكل مجموعة المحركات الكهربائية ومحرك الاحتراق الداخلي ووحدة تقسيم القدرة وحدة واحدة مثبتة في مقدمة المركبة كما في الشكل (٣٤) يجب أولا تعرف جميع التوصيلات الكهربائية وخطوط الفولطية العالية المرتبطة بالمحركات من خلال الرجوع إلى كتيب الصيانة للمركبة المعنية، وتحديد مواقعها وطريقة فكها.

الشكل (٣٤): محركات القدرة.

كما يجب التقيد بتعليمات السلامة المحددة من قبل الشركة الصانعة، والتقيد بها عند تنفيذ مهمات الصيانة للمركبة المعنية، وبالأخص تعليمات الوقاية من أخطار كهرباء الفولطية العالية.

وبشكل عام ومن أهم المحاذير الواجب مراعاتها قبل التعامل مع هذا النوع من المركبات، ما يلي:

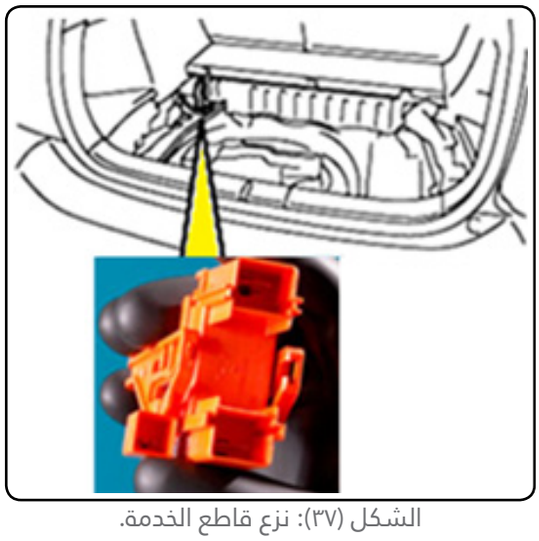
- نزع مفتاح المركبة وحفظه في مكان آمن، بعد التأكد من أن مصباح بيان جاهزية المركبة للعمل مطفأ (Ready indicator) كما في الشكل (٣٥).

الشكل (٣٥): مصباح بيان جاهزية المركبة للعمل.

- ارتداء كفوف عازلة قبل فك أي من وصلات الفولطية العالية، والتأكد من أن قاطع الخدمة في المركبة منزوع كما في الشكل (٣٦).

الشكل (٣٦): القفازات العازلة.

- الانتظار مدة عشر دقائق على الأقل بعد نزع قاطع الخدمة من المركبة، وذلك قبل التعامل مع خطوط الفولطية العالية ووصلاتها كما في الشكل (٣٧).


الشكل (٣٧): نزع قاطع الخدمة.

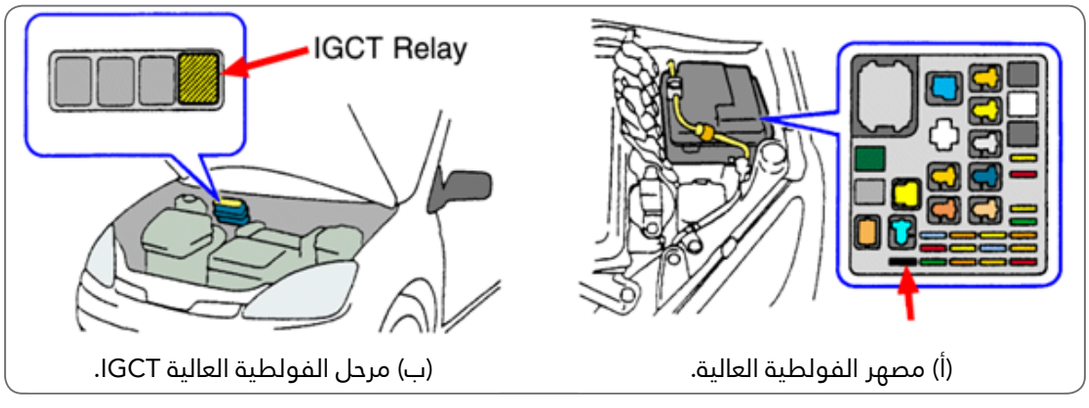
٢-١ التعليمات الخاصة بصيانة أنظمة نقل وتوزيع القدرة

الخطوة الأولى في صيانة محركات القدرة وأجهزة نقل وتوزيع الحركة في المركبات الهجينة تكمن في اتخاذ جميع احتياطات السلامة بحسب تعليمات الشركة الصانعة، وتعطيل عمل نظام الفولطية العالية في المركبة كما يلي:

- نزع مفتاح تشغيل المركبة وحفظه في مكان آمن.
- فصل سالب البطارية المساعدة (12v).
- نزع قاطع الخدمة من المركبة حسب تعليمات الشركة الصانعة (يوجد قاطع الخدمة عادة في مؤخرة المركبة بلون برتقالي) كما في الشكل (٣٨) والانتظار مدة عشر دقائق على الأقل قبل التعامل مع خطوط الفولطية العالية ووصلاته.

الشكل (٣٨): قاطع الخدمة.

- **تنبيه:** في حال تعذر نزع قاطع الخدمة نتيجة تعرض المركبة لحادث ما يجب نزع المصهر الرئيس أو المرحل (IGCT)، المبينة في الشكل (٣٩).



(أ) مصهر الفولطية العالية. (ب) مرحل الفولطية العالية IGCT.

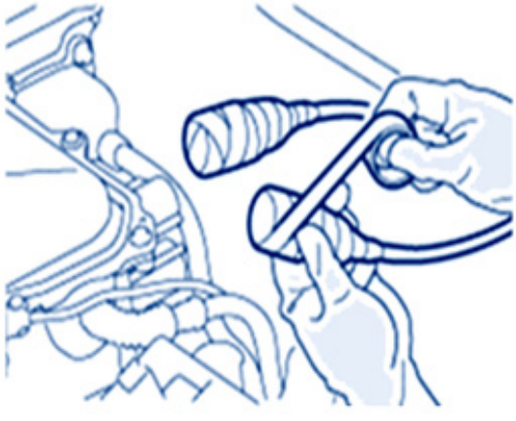
الشكل (٣٩): نزع المصهر أو المرحل.

- فحص بطارية الفولطية عالية من حيث التسريب والتأكد من سلامتها كما في الشكل (٤٠).

الشكل (٤٠): فحص البطارية على التسريب.

- فصل أقطاب وصلات الفولطية العالية، وعزلها باستخدام شريط عازل كما في الشكل (٤١).

(أ) خطوط الفولطية العالية/لون برتقالي.



(ب) عزل أقطاب الفولطية العالية.

الشكل (٤١): عزل أقطاب وصلات الفولطية العالية.

- **تحذير:** يستخدم في المركبات الهجينة دارات عالية الفولطية، لذلك يمكن أن يسبب تسرب الفولطية منها، وسوء التعامل معها صدمة كهربائية أثناء الخدمة، تأكد من اتباع الإجراءات الواردة في دليل صيانة المركبة المعنية بالخدمة بحسب التعليمات.

٣-٢ التقييم الذاتي

١. أجب عن الأسئلة المدرجة أدناه.
٢. إذا كنت غير قادر على إجابة أي من أسئلة التقييم، ارجع إلى المعلومات النظرية أو استشر مدربك إن كان ذلك ضرورياً.

الأســـــئلة:

السؤال الأول:

١- الأصوات التي تظهر عند بدء الحركة أثناء تقويم المركبة تدل على:

أ . تلف محامل المولد.
ب. تلف الترس الشمسي.
ج . تلف محامل المحرك الكهربائي.
د . تلف وحدة تقسيم القدرة.

٢- يبين الشكل المقابل أحد العناصر المستخدمة في المركبات الهجينة، وهو:

أ . مرحل تشغيل البطارية .
ب. قاطع الخدمة في المركبة.
ج . المصهر الرئيس في المركبة.
د . حساس حرارة البطارية.

السؤال الثاني:

اذكر خمساً من التعليمات الخاصة بصيانة نظام النقل وتوزيع الحركة في المركبة الهجينة.

السؤال الثالث:

ضع علامة صح (✓) أمام العبارة الصحيحة وعلامة خطأ (✗) أمام العبارة الخاطئة فيما يأتي:

	العبارة	صح	خطأ
١	الأصوات التي تظهر أثناء مرحلة الشحن وعند بدء الحركة أثناء القيادة ترتبط بتلف محامل المولد.		
٢	تقدم الشركات الصانعة المخططات التفصيلية لكافة رموز التشخيص الخاصة بأجهزة المسح الضوئي لاستبعاد احتمالات تشخيص الأعطال العشوائية.		
٣	تمتاز أجهزة مسح الأعطال بإمكانية تحويل القيم المقروءة من المركبة إلى قيم مرسومة على شاشه الجهاز.		
٤	في حال تعذر نزع قاطع الخدمة نتيجة لتعرض المركبة لحادث ما يجب نزع المصهر الرئيس أو المرحل (IGCT).		
٥	قبل التعامل مع خطوط الفولطية العالية في المركبة الهجينة يجب نزع قاطع الخدمة بحسب تعليمات الشركة الصانعة، والانتظار مدة عشر دقائق على الأقل قبل البدء بالعمل.		

السؤال الرابع:

ما الجهاز الموضح في الشكل التالي؟ ولماذا يستخدم؟

٢-٣ التمرين العملي

رقم التمرين: (١)	الزمن المخصص للتمرين
اسم التمرين: تبديل محامل أعمدة الدوران لوحدة تقسيم ونقل القدرة في المركبات الهجينة.	١٢ ساعة

إجراءات السلامة والصحة المهنية عند تطبيق تمارين هذه الوحدة

إن تطبيقك لإجراءات السلامة والصحة المهنية والسلوك المهني السليم عند تطبيق تمارين هذه الوحدة هو الطريقة الأمثل لنجاحك وتفوقك، واكتساب احترام وتقدير الآخرين وتجنبك للحوادث المحتمل حدوثها أثناء العمل. ومن أهم هذه السلوكيات ما يأتي:

- التقيد بلباس التدريب داخل الورشة.
- ارتداء معدات الوقاية الشخصية المناسبة لطبيعة العمل.
- المحافظة على نظافة المشغل وترتيبه ومكان العمل.
- المحافظة على الأجهزة والأدوات واستخدامها وصيانتها.
- التأكد من تهوية مكان العمل.
- المحافظة على البيئة والاقتصاد في استخدام المواد والطاقة.
- احترام قواعد العلاقات البينية والعمل كعضو ضمن فريق في بيئة العمل.
- التقيد بتعليمات السلامة تبعا لتعليمات الشركة الصانعة للمركبة المعنية

- **الأهداف:** يتوقع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن تصبح قادراً على أن تستبدل محامل أعمدة الدوران لوحدة تقسيم ونقل القدرة في المركبة الهجينة.

- شروط الأداء: حسب تعليمات المدرب

- الأدوات والتجهيزات والمواد اللازمة لتنفيذ الأداء

الأدوات والتجهيزات والمواد			
١	مركبة للتدريب.	٥	وعاء لتفريغ الزيت .
٢	رافعة تمساح .	٦	وعاء لتفريغ سائل التبريد.
٣	مرابط تأمين العجلات من الانزلاق.	٧	ضاغطة هواء.
٤	رافعه بلانكو.	٨	محامل جديدة.

٩	حوامل (جحوش).	١١	مواد وأدوات تنظيف.
١٠	صندوق عدة.	١٢	أغطية لهيكل المركبة وكراسيها.

- الأنظمة والتعليمات والمراجع اللازمة لتنفيذ الأداء

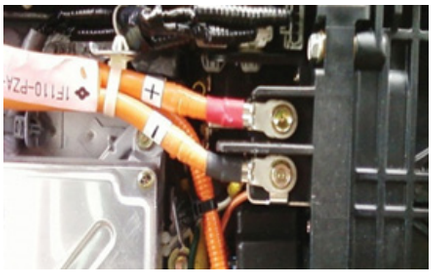
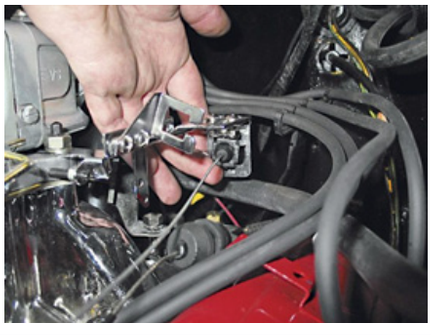
١. نسخة من الوحدة التدريبية.

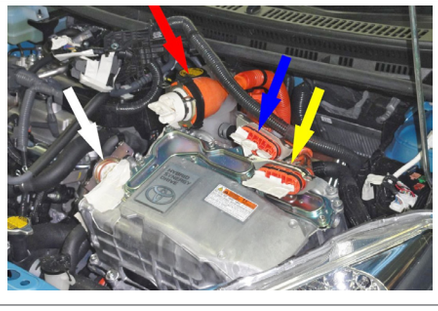
٢. دليل الصيانة وتعليمات الشركة الصانعة.

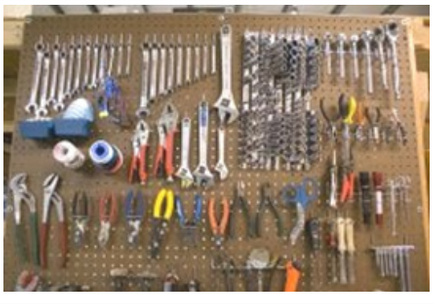
- خطوات العمل

الرقم	خطوات العمل والنقاط الحاكمة	الرسوم التوضيحية
١	جهز المواد والعدد والأدوات اللازمة لفك وتركيب وحدة تقسيم القدرة واستبدال محاملها، وتأكد من صلاحيتها قبل الاستعمال.	
٢	أمن المركبة في موقع العمل على أرض مستوية، وانزع مفتاح التشغيل، وضعه في مكان آمن.	
٣	افصل أقطاب البطارية المساعدة، وانزعها من المركبة. كما في الشكل المجاور.	
٤	البس الكفوف العازلة كما في الشكل المجاور، وانزع قاطع الخدمة من المركبة بحسب تعليمات الشركة الصانعة. • تنبيه: لا تلمس وصلات وأسلاك الفولطية العالية على الأقل مدة عشر دقائق بعد نزع قاطع الخدمة.	
٥	تفقد محركات القدرة بالنظر، وحدد الوصلات الكهربائية والميكانيكية المرتبطة بها، وطريقة فكها كما في دليل الصيانة، انظر الشكل المجاور.	

٦	ارفع مقدمة المركبة، وضع حوامل تحتها لتأمينها (جحوش) كما في الشكل المجاور.	
٧	أفرغ سائل التبريد في وعاء خاص بعد نزع غطاء المشع، وتأكد من أن المحرك بارد قبل القيام بهذا العمل كما في الشكل المجاور.	
٨	فك خراطيم نظام التبريد، وانزع المشع من مكانه.	
٩	أفرغ زيت المحرك وزيت صندوق السرعات داخل وعاء خاص بهذا العمل كما في الشكل المجاور.	
١٠	فك براغي تثبيت فصالات غطاء المحرك بعد تعليم مكانها على الغطاء لإعادة تركيبها بالمكان نفسه.	
١١	انزع غطاء المحرك حتي لا يعيق نزع محركات القدرة من المركبة كما في الشكل المجاور.	
١٢	انزع مجموعة العاكس المبينة في الشكل المجاور عن المركبة بعد فصل كبلات بطارية الفولطية العالية المتصلة بها وعزلها باستخدام شريط عازل. • تنبيه: تحقق من عدم وجود فولطية من خلال قياس الفولطية بين الأقطاب (ثلاثية الطور) باستخدام الفولتميتر بين كل طور والأرضي.	

١٣	افصل ومن ثم انزع قاطع التيار الخاص بحساس العاكس	
١٤	افصل جميع الوصلات الكهربائية المتصلة بمحركات القدرة كما في الشكل المجاور.	
١٥	فك وانزع جميع القطع والوصلات الميكانيكية المتصلة بمحركات القدرة كما في الشكل المجاور.	
١٦	- فك براغي وصواميل قواعد تثبيت محركات القدرة وحررها من قواعدهما. - اربط مجموعة المحركات بالرافعة (البلانكو) كما في الشكل المجاور وارفعها ببطء وبعناية للتأكد من أن جميع الوصلات الكهربائية والميكانيكية مفصولة عن جسم المحرك.	
١٧	أمن مجموعة المحركات في موقع الإصلاح على طاولة العمل. كما في الشكل المجاور	
١٨	افصل محرك الاحتراق عن وحدة المحركات الكهربائية والنقل، لإجراء الإصلاح المطلوب لمجموعة التروس الفلكية كما في الشكل المجاور.	

١٩	تفقد محامل أعمدة الإدارة، واستبدل التالف منها كما في الشكل المجاور.	
٢٠	تفقد مجموعة التروس الفلكية، واستبدل التالف منها. كما في الشكل المجاور.	
٢١	اجمع القطع التي تم فكها عن المجموعة بعد إجراء الإصلاح اللازم بعكس خطوات الفك. كما في الشكل المجاور	
٢٢	ركب مجموعة محركات القدرة بعد إجراء الإصلاح اللازم، في مكانها في المركبة باستخدام رافعة البلانكو كما في الشكل المجاور.	
٢٣	صل جميع الوصلات الميكانيكية والكهربائية المرتبطة بمجموعة محركات القدرة بعكس خطوات الفك كما في الشكل المجاور.	

٢٤	ضع زيت جديد وسائل تبريد جديد حسب مواصفات الشركة الصانعة كما في الشكل المجاور	
٢٥	شغل المحرك، وتأكد من عدم وجود تسريب (سوائل التبريد، والتزييت) وتأكد من مستواها. كما في الشكل المجاور.	
٢٦	اجمع العدة بعد تنظيفها، واحفظها بحسب التعليمات كما في الشكل المجاور.	

رقم التمرين: (١)	الزمن المخصص للتمرين
اسم التمرين: صيانة نظام القدرة وتوزيعها في المركبات الهجينة.	٢٤ ساعة

- **الأهداف:** يتوقع منك بعد تنفيذ هذا التمرين أن تصبح قادراً على أن تصون محور ومحامل نظام القدرة الكهربائية وتوزيعها في المركبة الهجينة.

- شروط الأداء: حسب تعليمات المدرب

- الأدوات والتجهيزات والمواد اللازمة لتنفيذ الأداء

الأدوات والتجهيزات والمواد			
١	مركبة للتدريب.	٦	وعاء لتفريغ الزيت.
٢	رافعة تمساح، رافعه بلانكو.	٧	وعاء لتفريغ سائل التبريد.
٣	مرابط تأمين العجلات من الانزلاق.	٨	ضاغطة هواء.
٤	حوامل (جحوش).	٩	مواد وأدوات تنظيف.
٥	صندوق عدة.	١٠	أغطية لهيكل وكراسي المركبة.

- الأنظمة والتعليمات والمراجع اللازمة لتنفيذ الأداء

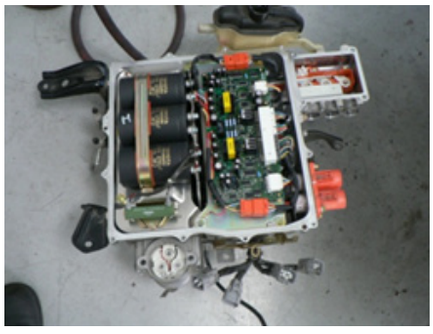
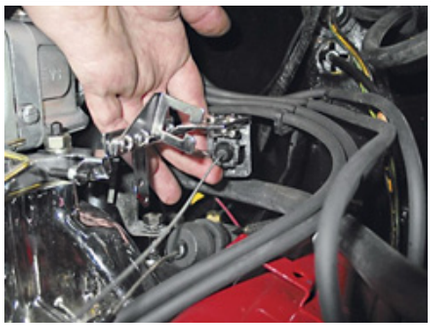
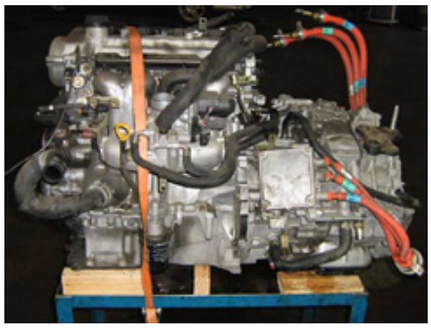
١. نسخة من الوحدة التدريبية.

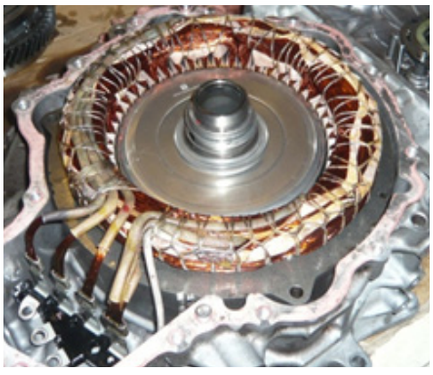
٢. دليل الصيانة وتعليمات الشركة الصانعة.

- خطوات العمل

الرقم	خطوات العمل والنقاط الحاكمة	الرسوم التوضيحية
١	جهز المواد والعدد والأدوات اللازمة لفك مجموعة القدرة الكهربائية وتوزيعها من المركبة، وتأكد من صلاحيتها قبل الاستعمال.	
٢	افحص نظام النقل والقدرة على الطريق، وتأكد من حال المنظومة وأنها بحاجة إلى صيانة كما في الشكل المجاور	

٣	أمن المركبة في موقع العمل على أرض مستوية وانزع مفتاح التشغيل منها، واحفظه في مكان آمن.	
٤	افصل أقطاب البطارية المساعدة، وانزعها من المركبة كما في الشكل المجاور.	
٥	البس الكفوف العازلة، وانزع قاطع الخدمة من المركبة بحسب تعليمات الشركة الصانعة كما في الشكل المجاور • تنبيه: لا تلمس وصلات الفولطية العالية على الأقل مدة (١٠ دقائق) بعد نزع قاطع الخدمة	
٦	أرجع غطاء المحركات للخلف وثبته جيدا لتسهيل نزع محركات القدرة من المركبة كما في الشكل المجاور.	
٧	أفرغ سائل التبريد من النظام الخاص بتبريد منظومة تروس النقل والمحركات الكهروميكانيكية كما في الشكل المجاور.	
٨	فك المكونات المرتبطة بالنظام وانزعها من المركبة.	
٩	أفرغ زيت تزييت مجموعة المحركات، داخل وعاء خاص بهذا العمل كما في الشكل المجاور.	

١٠	انزع مجموعة المحول / العاكس من مكانه لتسهيل فك الأجزاء المرتبطة بمجموعة القدرة والنقل. كما في الشكل المجاور.	
١١	فك جميع الوصلات الميكانيكية والكهربائية المتصلة بمجموعة القدرة كما في الشكل المجاور.	
١٢	انزع المحركات من المركبة بعد فك قواعد تثبيتها باستخدام الرافعة المناسبة وثبتها على طاولة العمل. كما في الشكل المجاور.	
١٣	انزع مجموعة المحركات الكهربائية عن محرك الاحتراق كما في الشكل المجاور.	
١٤	تفقد محاور المحركات ومحاملها، وملفاتها على وجود بقع محروقة بها، وتأكد من أنه بحاجة إلى تغيير كما في الشكل المجاور.	

١٥	تفقد المحرك الكهربائي المبين في الشكل المجاور ومحوره ومحامله وملفاته وتأكد من سلامتها	
١٦	تفقد مجموعة تقسيم القدرة المبينة في الشكل المجاور واستبدلها إن لزم.	
١٧	اجمع قطع المجموعة التي تم فكها بعد إجراء ما يلزم من إصلاح أو تبديل كما في الشكل المجاور.	
١٨	اجمع المحركات الكهربائية المبينة في الشكل المجاور ومجموعة تروس التوزيع بمحرك الاحتراق.	
١٩	ركب مجموعة المحركات في المركبة، ومن ثم صل جميع الأجزاء المرتبطة بعكس خطوات الفك.	

٢٠	شغل المركبة، وتأكد أن العمل تم بشكل صحيح.	
٢١	كرر التمرين نفسه لمركبة من نوع آخر.	
٢٢	اجمع العدة بعد تنظيفها، واحفظها بحسب التعليمات كما في الشكل المجاور.	

٧. اختبار المعرفة

اسم الوحدة التدريبية: صيانة نظام النقل وتوزيع القدرة في المركبات الهجينة.

المهنة: كهروميكانيك المركبات الهجينة.

اسم المتدرب:.....

اسم المدرب:.....

علامة المتدرب:.....

تعليمات الاختبار:

١. أجب عن الأسئلة الآتية جميعها.

٢. مدة الاختبار: (ساعة واحدة).

السؤال الأول: (١٥ علامة)

١- يستمد المولد طاقة الحركة اللازمة لتشغيله أثناء القيادة على الطريق من:

أ . محرك الاحتراق الداخلي.

ب. مجموعة البطارية الكهربائية.

ج . محرك القدرة الكهربائي.

د . الترس الحلقي في مجموعة تقسيم القدرة.

٢- يعمل المحرك الكهربائي كمولد للطاقة في المركبة الهجينة:

أ . أثناء تسارع المركبة.

ب. أثناء إبطاء حركة المركبة بالضغط على الفرامل.

ج . عند جميع سرعات المركبة.

د . أثناء تقويم المركبة.

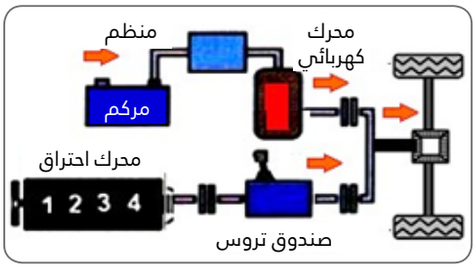
٣- يبين الشكل المقابل

أ . نظام تقليدي مزود بمحرك احتراق داخلي فقط.

ب. نظام كهربائي (محركات كهربائية فقط).

ج . نظام كهروميكانيكي/توالي
(محرك احتراق و محركات كهربائية).

د . نظام كهروميكانيكي/توازي
(محرك احتراق ومحركات كهربائية).



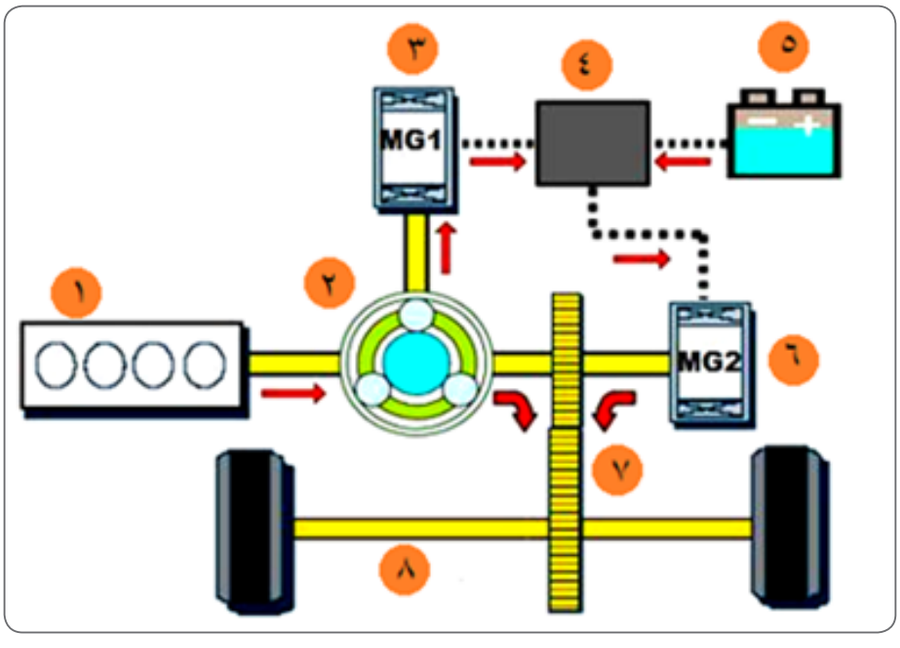
السؤال الثاني: (١٥ علامة)

ضع علامة صح (✓) أمام العبارة الصحيحة وعلامة خطأ (✗) أمام العبارة الخاطئة فيما يأتي:

	العبارة	صح	خطأ
١	يستمد المولد طاقة الحركة اللازمة لتشغيله من محرك الاحتراق الداخلي.		
٢	وحدة تقسيم القدرة تسمح للمركبة أن تعمل في كلتا الحالين؛ التهجين على التوازي والتهجين على التوالي في الوقت نفسه.		
٣	تمتاز أجهزة مسح الأعطال بإمكانية تحويل القيم المقروءة من المركبة إلى قيم مرسومة على شاشه الجهاز.		
٤	يقوم المحرك الكهربائي بالعمل كمولد للطاقة التي تستخدم في شحن البطارية أثناء تسارع المركبة.		
٥	قبل التعامل مع خطوط الفولطية العالية في المركبة الهجينة يجب نزع قاطع الخدمة والانتظار مدة خمس دقائق على الأقل.		

السؤال الثالث: (٢٠ علامة)

أذكر مكونات النظام المرقمة في الشكل التالي، نظم الإجابة بشكل جدول من ثلاث قوائم تتضمن الأولى الأرقام من (١-٨)، والثانية أسماء القطع، والثالثة وظيفة كل منها.

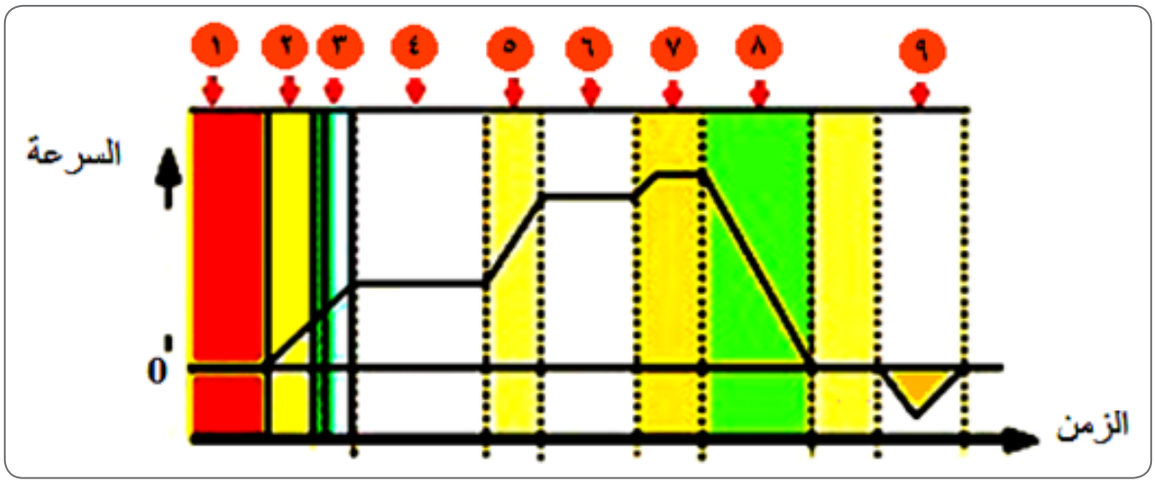


السؤال الرابع: (١٠ علامات)

اذكر خمسة أجزاء تم إضافتها للمركبة الهجينة؟ لتحقيق الغرض من استخدامها.

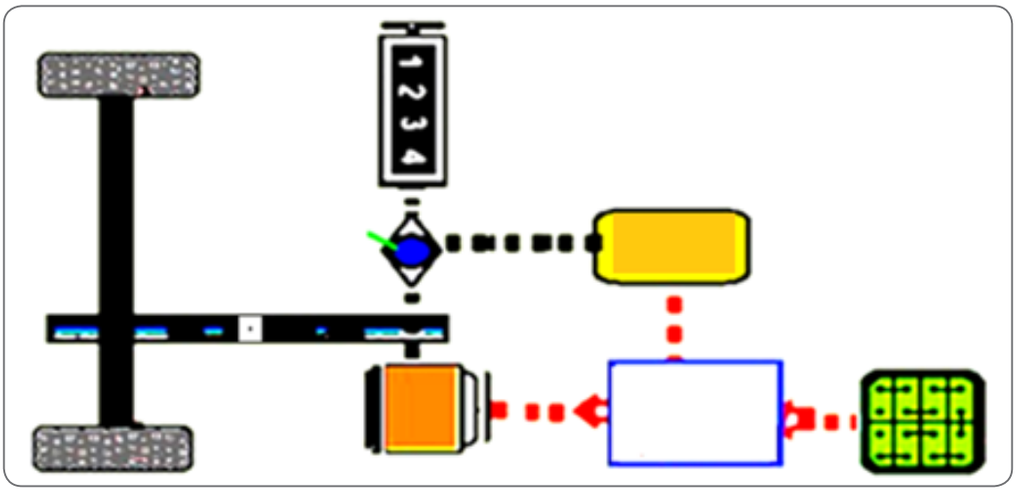
السؤال الخامس: (٢٠ علامة)

يبين الشكل التالي المخطط العام لأوضاع عمل المركبة في حالات القيادة المختلفة على الطريق، عدد هذه الأوضاع.



السؤال السادس: (٢٠ علامة)

ما النظام الموضح في الشكل التالي، اشرح طريقة عمله ومن ثم رقم مكوناته ونظم الإجابة بشكل جدول من ثلاث قوائم تتضمن الأولى الأرقام، والثانية أسماء القطع والثالثة وظيفة كل منها.



٨. اختبـار الأداء

- إن معايير التقييم تشمل البنود التالية:

١- تنفيذ التمرين (٥٠ علامة).

٢- تحديد وتطبيق قواعد السلامة والصحة المهنية (٢٠ علامة).

٣- جودة التنفيذ والمنتج النهائي (٢٠ علامة).

٤- سرعة الإنجاز (١٠ علامات).

- زمن الاختبار: ساعة واحدة.
- اسم التمرين: تبديل الترس الشمسي لوحدة تقسيم القدرة في المركبة الهجينة.

محتوى الاختبار		الخطوات الرئيسة والنقاط الحاكمة	معيار الأداء	العلامة		التسهيلات اللازمة
عناصر الأداء	عناصر المناقشة			المخصصة	الممنوحة	
التحضير لتنفيذ العمل والوقاية الشخصية.		ارتداء ملابس العمل، وأدوات الوقاية الشخصية.		٢		
		تأمين وقوف المركبة في موقع العمل.		٢		أدوات الوقاية الشخصية.
		نزع مفتاح تشغيل المركبة وحفظه في مكان آمن.		٤		
	لماذا يجب نزع مفتاح تشغيل المركبة، قبل البدء بتنفيذ العمل؟			٢		روافع هيدرولية للمركبة والمحرك.
		فصل سالب البطارية المساعدة.		٤		مكبس هيدرولي.
		نزع قاطع الخدمة من المركبة بحسب التعليمات.		٣		طاولة عمل بملازم.
	لماذا يجب نزع قاطع الخدمة قبل العمل؟			٢		جهاز قياس كهربائي متعدد.
نزع محركات القدرة من المركبة.		فصل أقطاب ووصلات الفولطية العالي، وعزلها. باستخدام شريط عازل.		٤		صندوق عدد يدوية.
		فحص بطارية الفولطية العالية على التسريب.	كما في الدليل	٣		مفتاح عزم.
		تفقد مجموعة المحركات والوصلات المرتبطة بها، ويحدد طريقة فكه.ا		٣		أوعية تجميع الزيوت.
		تفريغ سائل التبريد من النظام، وزيت التزييت من مجموعة المحركات.		٢		أدوات ومواد تنظيف.
		فصل جميع الوصلات الكهربائية والميكانيكية المرتبطة بالمحركات.		٢		أدوات قياس الأبعاد والتآكل.
		فك ونزع جميع الوصلات الميكانيكية المرتبطة بالمحركات.		٣		

		نزع مجموعة محركات القدرة ووحدة تقسيم القدرة من مقصورة المحرك باستخدام البلانكو بحسب تعليمات الشركة الصانعة.		٤		بريسات منوعه.
		تثبيت مجموعة محركات القدرة على طاولة العمل..		٢		واقيات خاصه بجسم ومقاعد المركبة.
نزع الترس الشمسي من المجموعة.		فصل مجموعة المحركات الكهربائية عن محرك الاحتراق الداخلي.		٣		دليل الصيانة.
	ما الأداة المستخدمة في نزع محامل الإدارة؟			١		
		نزع تروس وحدة تقسيم القدرة وتفقدها.		٣		
فحص واستبدال الترس الشمسي.		فحص الترس الشمسي على التآكل، والتأكد من أنه بحاجة إلى تبديل.		٣		
	كيف تحدد أن المحامل بحاجة إلى تبديل؟			٢		
		استبدال الترس الشمسي في المجموعة.		٣		
تجميع محركات القدرة.		جمع تروس وحدة التقسيم بعكس خطوات الفك.		٣		
		جمع محركات القدرة الكهربائية بمحرك الاحتراق.		٢		
		تركيب المحركات بعد جمعها في مكانها داخل مقصورة المحركات في المركبة.		٣		
		وصل جميع الوصلات الميكانيكية والكهربائية بمجموعة المحركات.		٣		
التأكد من جودة التنفيذ.		وضع زيت جديد وسائل تبريد جديد حسب مواصفات الشركة الصانعة.		٣		
		تشغيل المحرك والتأكد من عدم وجود تسريب في سوائل التبريد والتزييت.		٤		
		أخذ القياسات وفحص القطع بشكل صحيح.		٥		
		استخدام مفتاح العزم حسب المواصفات.		٢		
		فحص أداء المحرك بعد التأكد من تنفيذ العمل بشكل صحيح.		٥		
		جمع العدة بعد تنظيفها، ويحفظها حسب التعليمات.		٢		
سرعة الإنجاز.		اقل من (٢,٣٠)ساعة		١٠		
		من (٢,٣٠-٢,٤٥)		٥		
		من (٢,٤٥-٣,٠٠)		صفر		
		العلامة الكلية		١٠٠		

اسم المدرب/الفاحص:..... التوقيع:..... التاريخ:.....

٩. قائمة المصطلحات

الرقم	المصطلح العربي	المصطلح الإنجليزي
١	حامل	Carrier
٢	ترس الشمسي	Sun Gear
٣	تهجين المتوالي	Series Hybrid Drive Train
٤	مركبات كاملة التهجين	Full Hybrid Cars
٥	نسبة التخفيض النهائي	Final Drive Ratio
٦	أوضاع عمل المركبات الهجينة	Hybrid Vehicle Operation Modes
٧	العاكس	Inverter
٨	ترس الحلقي	Ring Gear
٩	استرجاع الطاقة	Regenerative Braking
١٠	هجين	Hybrid
١١	محرك	Motor
١٢	مجموعة التروس الفلكية	Planetary Gear Set
١٣	وحدة تقسيم القدرة	Power Split Device

١. قائمة المراجع

- http://www.toyota.com.au/hybrid-synergy-drive/hybrid-technology/hybrid-engine
- http://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/how-do-hybrids-
- http://www.honda.com
- Konrad Reif , Fundamentals of Automotive and Engine Technology: Standard Drives, - Hybrid Drives, Safety Systems Paperback – 10 Jul 2014
- Husain, Electrical and Hybrid Vehicles-Design fundamentals, CRC Press 2003