

الأنظمة الميكاترونية للسيارات الحديثة

Automotive Mechatronics

أستاذ دكتور/ محمد فكرى حسن يوسف *

كلية الهندسة جامعة حلوان

مقدمة

تتميز السيارات الحديثة بالتحرك بسرعات عالية على الطرق وتتيح قدرات دفع كبيرة مع المحافظة على معايير وقوانين البيئة وتحقيق مستويات استهلاك اقتصادية للوقود كذلك تتوفر بها وسائل الأمان والالتزان على الطرق.

لتحقيق المتطلبات السابقة تستخدم حاليا أنظمة التحكم الميكاترونية المتقدمة لإدارة وتشغيل جميع الآليات الرئيسية بالسيارة مثل (المحرك- أجهزة نقل الحركة- أنظمة الفرامل- آلية التوجيه- أجهزة الأمان وإتزان السيارة على جميع الطرق) كذلك فى الحالات الحرجة أثناء التخطى للسيارات والدوران تحت مختلف الأجواء وأثناء الأمطار وعلى الطرق الثلجية.

تشمل الدراسة ثلاثة أجزاء: الأول ميكاترونية التحكم فى السيارة، الثانى تطبيقات الميكاترونيات فى آليات تشغيل المحرك، الثالث عمل الميكاترونيات فى التحكم بأجهزة السيارة (الجر ونقل القدرة وآلية الفرامل، نظام أمان وإتزان السيارة على الطريق) وفيما يلى الجزء الأول.

الانظمة الميكاترونية للتحكم فى السيارات ذات محركات الاشعال بالشرارة

Management System for Spark-Ignition Engines (EMS)

السرعة والعزم مع المحافظة على معدل استهلاك الوقود الاقتصادى والانبعاثات الغازية بالعدم التى تتوافق مع معايير وقوانين البيئة.

يتم التحكم فى تشغيل محرك السيارة لإنتاج القدرة المطلوبة بواسطة الأنظمة الميكاترونية بالعزم المنقول إلى القابض للسيارة (Clutch) مع سرعة دوران المحرك والعزم الصافى من ناتج عمليات الاحتراق باسطوانات المحرك بعد تنزيل "العزم المفقود فى عمليات الاحتكاك بين أجزاء المحرك بالإضافة للقدرة المفقودة فى دفع الغازات وتشغيل الأجهزة الاضافية والمساعدة" (شكل ١).

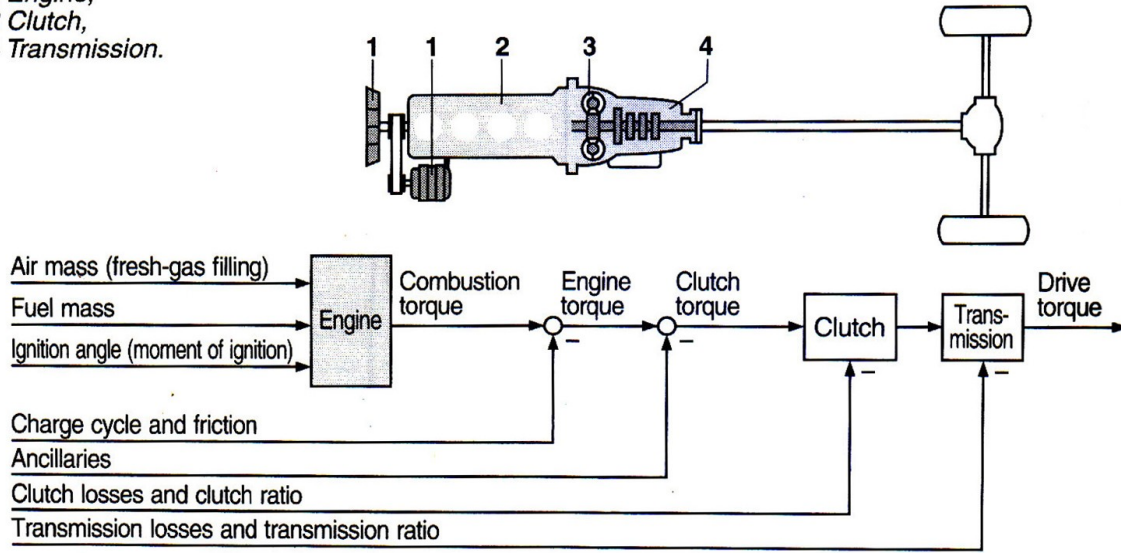
نظام (EMS) يقوم بالتحكم فى تشغيل محركات السيارات الحديثة ولتحقيق متطلبات السرعات العالية والأحمال المتغيرة والاستهلاك الأمثل للوقود بالمحرك تحت جميع ظروف التشغيل مع ضمان الاعتمادية والمحافظة على المعايير البيئية وفيما يلى أهم مكونات النظام:

أولا - نظام التحكم (EMS)

يقوم النظام بترجمة رغبة السائق (بدال الوقود) إلى توليد القدرة والعزم المناسب من المحرك من خلال التحكم فى كامل الأنظمة الفرعية للمحرك لأداء الوظيفة التى تحقق

Figure 1: Drivetrain torques

1 Auxiliary systems (alternator, air-conditioner compressor, etc.),
 2 Engine,
 3 Clutch,
 4 Transmission.



شكل رقم ١- نظام عزم دفع السيارة

الوقود المقدر والقدرة المطلوبة والأمان الكامل لعمل المحرك.

كذلك يوفر (EMS) امكانات التشخيص للأعطال بالمحرك والسيارة وكذلك المتابعة المستمرة أثناء التشغيل.

ثانيا- وصف المنظومة الميكاترونية لمحرك الإشعال بالشرارة

أ- المنظومة الكهربائية: مـوترونـيك Motronic

المـوترونـيك هـى إسم المنظومة الكهربائية الـإلـكـتـرونـية المـعـلـومـاتـية التـشـغـيلـية الـتى تـتـحـكـم فـى أـداء مـحـرك الإشـعـال بالـشـرارة مـن خـلال أنـظـمة التـحـكـم المـفـتـوحـة والمـغـلـفـة (Open-Or-Closed Loop Control Systems).

شكل (٢) يبين المكونات وتشمل المستشعرات (Sensors) التى ترسل بيانات التشغيل الجارية بالمحرك إلى وحدة التحكم فى المحرك (ECU) والمشغلات (Actuators) التى تنفذ المتطلبات لضمان أداء ما يريده السائق بواسطة أجهزة محرك السيارة.

تستقبل وحدة التحكم (ECU) البيانات الواردة من المستشعرات بصفة مستمرة خلال فترات زمنية قصيرة جدا والتى تبين حالة تشغيل أنظمة السيارة والمحرك حتى تتوافق مع متطلبات الزمن الحقيقى (Real-Time Requirements) للمنظومة ثم تقوم بعمل معالجة للإشارات من الشوشرة والضوضاء وتوفر لها الجهد الثابت كما يتم

العزم اللازم لإدارة إطارات السيارة هو العزم الخارج من القابض بعد خصم المفقود فى أجزاء القابض وآلية نقل القدرة.

ويستخدم العزم عند التأثير على الاطارات فى التغلب على مقاومات حركة السيارة مثل "مقاومة التدحرج، مقاومة الهواء، إكساب السيارة السرعة وعجلة التسارع".

عند وصول العزم على الاطارات والمقاومات للسيارة لحالة التعادل تسير المركبة بسرعة منتظمة.

ينتج عزم المحرك فى شوط الاحتراق فى دورة تشغيل المحرك ويعتمد العزم الناتج على:

- كتلة الهواء المغذية التى تدخل المحرك فى شوط السحب والتى ينتج عنها طاقة الاحتراق.

- كتلة الوقود المغذية والتى تدخل فى تكوين المخلوط بالاسطوانات.

- توقيت إعطاء الشرارة لبدئ عملية الإشعال (المخلوط الهواء والوقود).

مما سبق تتبين الوظيفة الرئيسية لنظام التحكم فى المحرك (EMS) وهو إيجاد التوافق الدقيق بين أجهزة المحرك المختلفة وتنظيم أدائها لإنتاج العزم المناسب لتحقيق رغبة السائق فى السرعة مع المحافظة على المعايير البيئية والانبعاثات العادمة الناتجة وتحقيق معدل إستهلاك

يعمل الميكروكنترول على التعرف على ما يريده السائق من الإشارات المرسله من بدال الوقود ويقوم بإجراء الحسابات اللازمة لتحديد سرعة المحرك وعزم الدوران ومنها يقوم بتحديد مقدار شحنة الهواء اللازمة وكمية الوقود لحظة إعطاء الشرارة بالإضافة إلى إصدار إشارة البدء لعمل المشغلات (Actuators).

المهمة الثانية لنظام الموترونك هي التحكم والمتابعة الدائمة على أداء أنظمة المحرك والقدرة التشغيلية لها من لوحة التشغيل (OBD).

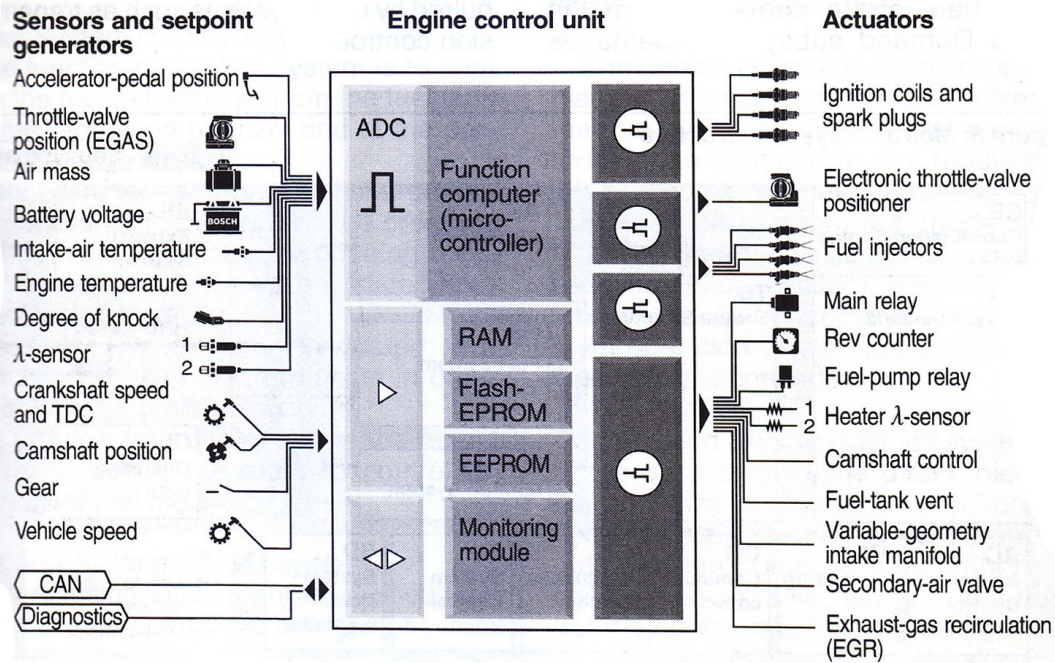
تحويل هذه الاشارات إلى اشارات رقمية وترسل مباشرة الى وحدة التحكم (ECU) من خلال ناقل البيانات (BUS).

تعتبر وحدة الميكروكنترولر (Microcontroller) القلب الرئيسى لوحدة التحكم (ECU) ويوجد معها وحدات تخزين برامج التشغيل والبيانات وكذلك الذاكرة الالكترونية المبرمجة التى تضم جميع البرامج والخوارزمات التى تنفذ العمليات الحسابية وبها خرائط تشغيل البرامج.

فى العمليات الحسابية (ECU) تدخل البيانات على للخوارزمات التى عملها إصدار الأوامر التنفيذية للمشغلات

(Actuator).

Figure 2: Components used for open- and closed-loop electronic control of a spark-ignition engine



شكل رقم ٢ - مكونات الدوائر المغلقة للتحكم وتشغيل النظام EMS

٢- نظام عمل المترونك (EMS)

الاشارة الواردة من بدال الوقود وتحليلها وحساب قيمة العزم المطلوب مع تحديد القيمة المرجعية (Set-Point Value) على خرائط التشغيل بالذاكرة ثم مراجعة الظروف التشغيلية الجارية لتقرير ما يلزم من شحنة الهواء والوقود وتوقيت إعطاء الشرارة الصحيحة.

* عند عدم الضغط على بدال الوقود يتم حساب كمية العزم بحيث تحافظ على السرعة البطيئة للمحرك (Idle Sped) وكذلك العزم اللازم لإدارة الأجهزة المساعدة (المولد- التكييف-الأجهزة الكهربائية...) يتم إجراء حساب له بواسطة

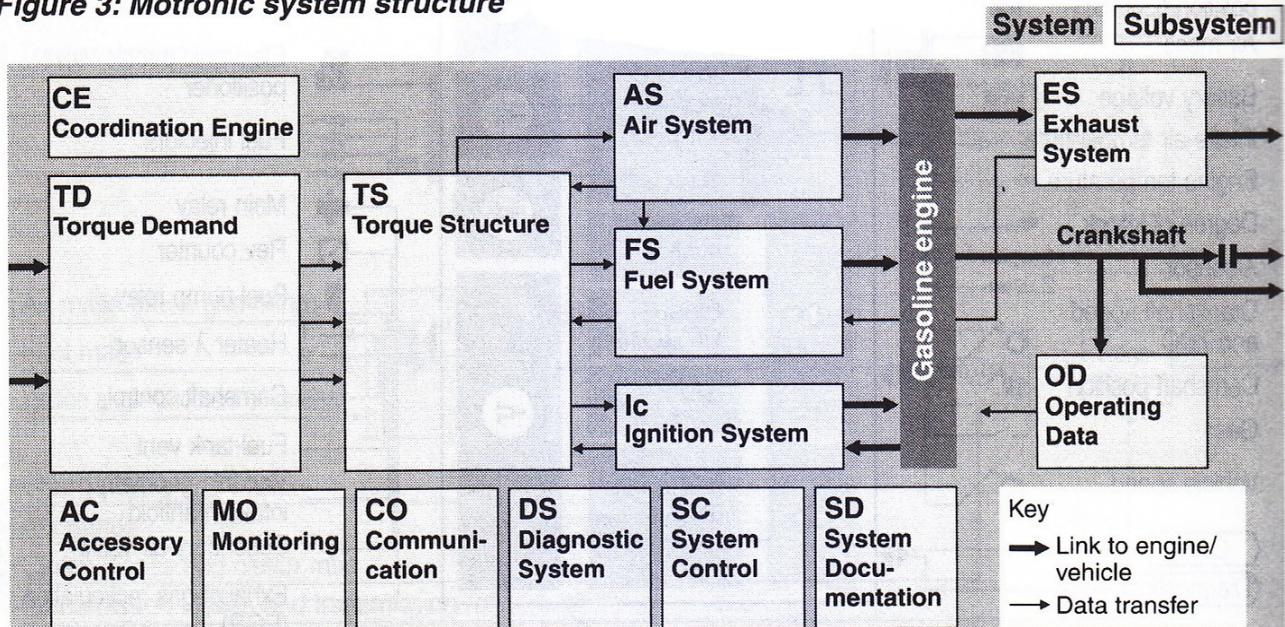
الوظيفة الأساسية لمنظومة المترونك (EMS) هي تنظيم وضمان التشحين الصحيح لاسطوانات المحرك بالهواء والتغذية بالوقود واشعال الخليط فى التوقيت الأمثل للاحتراق لانتاج القدرة المتولدة، بالإضافة الى ذلك توحيد عمل مجموعة الوظائف الفرعية لضمان الاداء الصحيح والكامل للمحرك من خلال الأنظمة الفرعية (شكل ٣) كما يلي:

(١) متطلب العزم Toraue Demand (TD) Subsystem

* يقوم بمعرفة ما يريده السائق من المحرك باستقبال

الميكروكنترولر تلقائياً وتغذية المشغلات مباشرة دون تدخل من السائق.

Figure 3: Motronic system structure



شكل ٣ - مكونات نظام المترونك

(٢) مكون العزم (Torque Structure (TS)

* يتم تجميع عناصر تكوين العزم المختلفة: (متطلبات العزم المحرك (TD) متطلبات عزم ناقل القدرة/ متطلبات القوى الديناميكية للسيارة كذلك المتطلبات أخرى في وحدة العزم (TS) لتكوين العزم النهائي (Torque Demand) الذي يعمل على أساسه المحرك (Set-Point Value) ليحدث (الشحن للمحرك بالهواء/ والتغذية بالوقود/ ثم اشعال المخلوط) كنتيجة لمتطلبات العزم.

* يتم شحن المحرك بالهواء على أساس الكتلة النسبية - (النسبة بين الكتلة الفعلية للهواء التي تدخل اسطوانات المحرك الى الكتلة القصوى للهواء) التي يمكن أن تشحن الاسطوانات على ذات سرعة الدوران.
* لحظة إعطاء الشرارة وإشعال المخلوط تحتسب على أساس سرعة المحرك زاوية تقديم الاشعال (Ignition Angle) الجارية.

* يتم خفض كمية العزم على أساس متطلبات نظام الجر في آلية نقل القدرة في ظروف خفض السرعة ويكون على هيئة مقننات ثابتة (Blank-Out).

* محركات الحقن المباشر للجازولين في الاسطوانات - نظام (Lean-burn Operating System Mode) أو نظام (Stratified Fresh Charge in Combustion Chamber Mode) يتم استخدام نظام (λ - Set-point Value) لانتاج العزم

المطلوب من المحرك.

* عزم المحرك الناتج على قابض السيارة يتكون من جميع الأوامر (Physical modes) الصادرة التي تتكون نتيجة الاشارات الصادرة من جميع مستعرات السيارة.

(٣) تغذية المحرك بالهواء (Air System (AS Subsystem

* يتم تغذية المحرك بالهواء على أساس النقطة المرجعية (Relative Set-point) للتغذية بالهواء التي تتكون من متطلبات مكون العزم (TS) ثم تحويل ذلك الى أوامر للمشغلات الخاصة في شحن اسطوانات المحرك.

* المشغل الأساسي لشحن الاسطوانات هو صمام الخانق (Thro Hle Valve) الذي يعمل بإشارات على هيئة مقننات محددة خلال (Modes) تستخدم لتغيير زاوية فتح الصمام من النقطة المرجعية (Set-point Value) لكتلة الهواء وبمقارنة زاوية وضع الصمام - تعطى إشارة (PWM) لبدأ دوران الصمام حسب المتطلبات للعزم.

* عند وجود نظام (Turbocharged Engine) يتم التأثير على مشغل بوابة التحكم في العادم (Waste Gate) للتحكم في كمية الهواء المدخلة الى اسطوانات المحرك.

* في حالة استخدام نظام إعادة استخدام غازات العادم (EGR) يتم تحديد ضغط الغازات في مجمع سحب الهواء

(Set-point Value) (ES) ينظم عمليات الاحتراق داخل اسطوانات المحرك لتكون أقرب ما يكن من الإحتراق المثالى (Stoichiometric Mixture Ratio).

* يعمل نظام (ES) على متابعة أداء التشغيل للمحول الحفزى بتحليل الاشارات الصادرة من عنصر (λ - Oxygen Sensor) واجراء التنظيم المستمر اللازم.

* نظام (ES) يوفر الحماية لأجزاء المحرك وعدم تعرضها لأحمال حرارية زائدة بمقارنة درجات الحرارة مع النموذج الحرارى بالذاكرة الرئيسية وإجراء اللازم.

* المحركات الحديثة التى تعمل على نظام (Learn-Burn Operation Modes with Stratified Fresh-Change) يقوم نظام (ES) بتنظيم عملية الاحتراق بالتحكم فى كمية غازات NO_x .

(٧) رابط الأنظمة بالمحرك

Coordination Engine (CE) Subsystem

* يقوم النظام بعمل ربط بين (Operating Modes) لإحداث التوافق الزمنى منذ لحظة بدء التشغيل بجميع الأنظمة ومتطلبات الوظائف المختلفة (Various Functionalities) ويعمل على تنظيمها على أساس الأسباقيات المحددة بالمترونك، هذا النظام ضرورى للمحرك المستخدم لنظام الحقن المباشر للجازولين.

(٨) بيانات التشغيل Operating Data (OD) Subsystem

* يعمل النظام على تقييم عناصر ظروف التشغيل المختلفة (سرعة المحرك/الحمل/درجة الحرارة) وإجراء المعادلة الرقمية لها ثم تجميعها مع البيانات الرقمية الأخرى واحداث التعديلات لأى حيود فى بيانات مستشعر سرعة المحرك لتنظيم الحقن الدقيق للجازولين مع زيادة دقة إطلاق شرارة الإحتراق- يقوم (OD) باكتشاف الإحتراق (Missfire) فى حالة (Precondition) لحماية المحول الحفزى (Catalytic Convertors)

(٩) التحكم فى الأجهزة الإضافية

Accessory Control (AC) Subsystem

* يقوم بتنظيم عمل الأجهزة الإضافية من خلال عملية متكاملة بداخل (EMS) وتشمل أجهزة (التكييف / مروحة التبريد/ مؤازر القيادة/ درجة حرارة المحرك).

(١٠) منظم الإتصالات Communication (CO) Subsystem

* يتحكم فى شبكة الاتصالات بالسيارة والمحرك حيث تتجمع البيانات المستخرجة من الأنظمة المختلفة (آلية نقل

(Manifold) ودرجة الحرارة لحساب (Set-point Value) للتحكم فى كمية الهواء اللازمة لتكوين الشحنة طبقا لظروف عمل المحرك.

(٤) تغذية المحرك بالوقود Fuel System (FS) Subsystem

* جهاز الوقود يقوم بسحب كمية الوقود المطلوبة من الخزان وإمداد المحرك بها تحت الضغط المحدد للتشغيل. * بناء على بيانات جهد التيار الكهربى، ضغط الوقود بالمجرى الرئيس للوقود، الضغط بمجمع سحب الهواء، وتوقيت فترة حقن الوقود برشاشات الوقود يجرى عمل الحسابات لتحديد نقطية مرجعية (Set-point Value).

* تعمل رشاشات الوقود بالتزامن مع سرعة دوران عمود المرفق لتحقيق نسبة تكون المخلوط (هواء/وقود) الصحيحة. * يتم تحديد كمية الوقود طبقا لإشارة (λ -Sensor) التى تضبط التحكم الدقيق لتقنيين كمية الوقود الفعلية اللازمة للرشاش.

(٥) إشعال المخلوط فى الأسطوانات

Ignition System (IS) Subsystem

- تجرى حسابات تحديد لحظة إعطاء الشرارة لإشعال المخلوط فى الأسطوانات على أساس حالة المحرك (السرعة/الحمل) - درجة الحرارة وكذلك مستوى الدق (Knocks) بكل اسطوانة بواسطة (Knock Sensor) على حدة لتحديد (Set-point Value) ومنها يمكن تحديد لحظة اطلاق الشرارة بإستخدام برامج التشغيل بالذاكرة الرئيسية وذلك للآتى:

- عمل المحرك على المستوى الأمثل لاستهلاك الوقود مع قيمة زاوية الإشعال.

- يضمن نظام التحكم المستمر فى مستوى الدق (Knocks) باسطوانات المحرك الذى يؤثر على انتظام عمليات اشعال المخلوط والاحتراق الصحيح وضمان أداء المحرك على النظام الأمثل لاستهلاك الوقود بالقرب من نهايات الدق (Knocks Limits) مما يجنب المحرك حدوث الأعطال.

(٦) نظام العادم Exhaust System (ES) Subsystem

* يستخدم نظام التحكم فى نوعية عادم المحرك (إجبارى) فى دائرة التنظيم المفتوح أو المغلقة (Open-or Closed Loop Control) طبقا لمعايير النظم البيئية ولحفظ المحول الحفزى (Three Way Catalytic Convertor) ويقوم على أساس حساب

ثالثاً- أنظمة الموترونك Versions of Motronic

١- عام:

الموترونك تعمل في الأساس على توحيد نظام الحقن بالوقود وشحن الهواء، والإشعال الإلكتروني لمحركات الإشعال بالشرارة في وحدة واحدة.

مع تطور صناعة السيارات وصدر المعايير البيئية الملزمة بخفض نسب الانبعاثات الضارة من المحرك وتخفيض معدل استهلاك الوقود مع أداء المحركات في السرعات العالية وراحة المستخدمين وزيادة نظام الأمان أثناء السير فقد شملت عناصر التطوير الآتي:

- التحكم في السرعة البطيئة للمحرك.
- التحكم في الانبعاثات من أبخرة الوقود والغازات.
- استخدام نظام تدوير الغازات العادمة (EGR) لخفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين (NO_x) وخفض استهلاك الوقود.
- التحكم في النظام الثانوي للتغذية بالهواء بغرض خفض نسبة الهيدروكربون (HC) في بداية دوران المحرك وكذلك خلال فترة التسخين.
- التحكم في وحدة التربوتشارجر التي تعمل بطاقة حركة الغازات العادمة وفي المسار المتغير لمجمع سحب المخلوط لرفع أداء المحرك.

- حماية أجزاء المحركات باستخدام مستشعرات متطورة منها: (Exh. Gas - Engine Speed - Knock Control - Temp. Control Imitation).

٢- الأنظمة الحديثة (متعددة نقاط حقن الوقود) كالآتي:

- **M-Motronic** - للتحكم في عمليات حقن الوقود وتوقيت الإشعال في محركات حقن الوقود في مجمع سحب الهواء مع استخدام صمام الخانق المعتاد.
- **ME Motronic** - يستخدم نظام التحكم الإلكتروني لصمام الخانق بمجمع سحب الهواء (ETC) للتحكم في عمليات حقن الوقود، وفي شحنة الهواء الداخلة الى مجمع السحب شكل (٤).

- **DI. Motronic** - نظام الحقن المباشر للوقود حيث يستخدم نظام دائرة الضغط العالي للوقود في المحركات شكل (٥).

- **Bifuel-Motronic** - نظام الوقود المزدوج لتشغيل محركات الإشعال بالشرارة باستخدام الغاز الطبيعي أو الجازولين.

القدرة/ حاكم إتران السيارة على الطريق/ نظام الموترونك للمحرك) - وهو بمثابة المنصة الرئيسية لتبادل البيانات مع (Standardized interface) والمنصة القياسية وباستخدام ناقل البيانات (CAN) كنظام اتصال.

* يستخدم (CO) في خدمة كوادر الصيانة وتتبع الأعطال من خلال الشبكة عند قراءة الإشارات الخاصة بالمحرك (EMS) كذلك أداء المشغلات للأنظمة المختلفة.

(١١) مشخص الأعطال Diagnostic System (DS) Subsystem

* يقدم الموترونك ميزة القدرة على المتابعة المستمرة لوظائف وأداء الأنظمة مع امكانية التشخيص للأعطال وتشمل الأجزاء الكهربائية (Plausibility Checks) من خلال مقارنة اشارات المستشعرات مع النماذج الجاهزة والمخزنة بالنظام - توفر هذه الميزة إمكانية الاستدعاء في المراحل التالية وأثناء الصيانة على أجهزة الاختبارات.

* بعض هذه العمليات تظهر باستمرار مع تشغيل المحرك (درجة الحرارة/ نطاق التشغيل).

* تتشابه هذه البيانات وتظهر حسب الترتيب المحدد (DS).

(١٢) نظام المراقبة Monitoring - (MS) Subsystem

* تعمل شبكة متابعة الأداء ووظائف التشغيل للأجهزة مثل سرعة دوران المحرك وتوليد عزم الدوران، يجرى مقارنة العزم المحسوب مع العزم المسموح به بناء على رغبة السائق وذلك من خلال شبكة تداول البيانات التشغيلية.

(١٣) التحكم في النظام System Control (SC) Subsystem

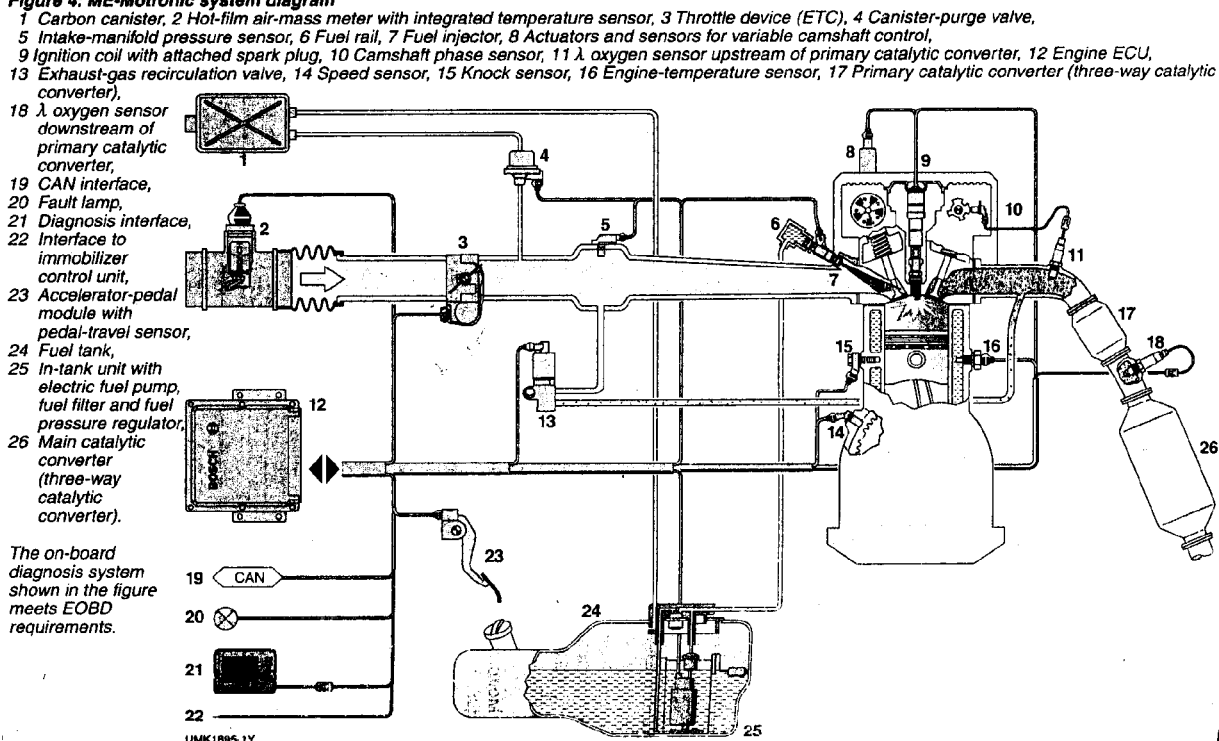
* يتابع النظام أداء الموترونك مع بدأ الإدارة وإجراء الحسابات لإطار العمليات باستمرار قبل تنفيذ المهمة الوظيفية ويشمل الإطار الحساب (سرعة دوران المحرك وتوقيت تزامن العمليات للأداء الصحيح).

* يقوم بترتيب أداء المهام والوظائف كما في حالة تشخيص المخرجات وتنفيذ أسبقية الأداء بالإضافة إلى ترتيب عمليات

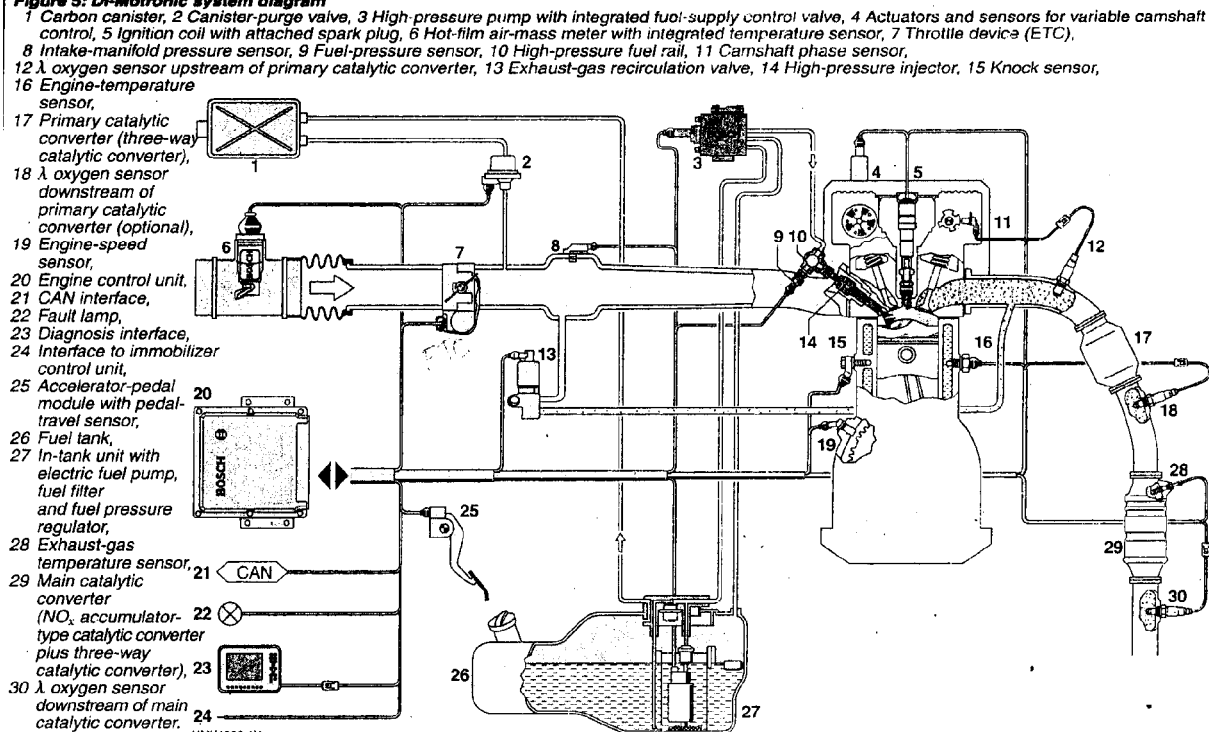
التحكم (Resets) وبدء تشغيل (Run-On) (EUC)

(١٤) موثيق النظام System Documentation (SD) Subsystem

* يقدم الموترونك بيانات مكونات الأنظمة ووحدة (EUC)، ونظام التشغيل كذلك بيانات (المحرك/المكونات، مفاتيح التوصيلات).

Figure 4: ME-Motronic system diagram

شكل رقم ٤ - نظام ME-Motronic حقن الوقود بجميع شحن الهواء

Figure 5: DI-Motronic system diagram

شكل رقم ٥ - نظام DI-Motronic حقن الوقود مباشر بإسطوانات المحرك