(الفصل السادس)
نظـــام الاشـــعال

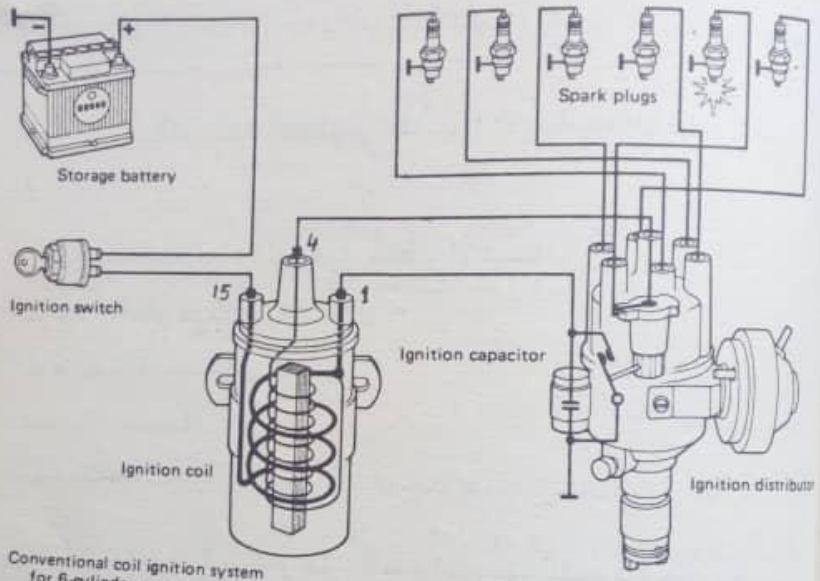
٦ـ١ ـ معلومات عامـــة :

ان المهمة الأساسية لنظام الاشعال هو تأمين التوتر العالي وتوجيهه في اللحظة المناسبة الى أقطاب شمعات الاشعال لاطلاق الشرارة اللازمة لاحراق المزيج في اسطوانات المحرك وذلك بالتوافق مع سرعة الدوران والحمل المطبق على المحرك .

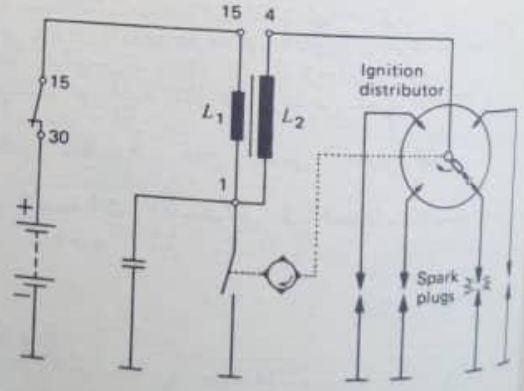
الشروط المطلوبة من نظام الاشعال هي :

- تأمين التوتر الكافي لاطلاق الشرارة بين قطبي شمعة الاحتراق .
- يجب أن تكون الشرارة ذات قدرة كافية لاشعال المزيج في اسطوانات المحرك كما في حالة الاقلاع كذلك في كافة ظروف عمل المحرك .
- يجب أن توافق لحظة اشتعال المزيج زاوية تسبيق الاشعال المثلى في كافة ظروف عمل المحرك .
- يجب أن يكون عمل نظام الاشعال مضمونا جيدا لأنه يؤثر بنسبة كبيرة على عمل المحرك الطبيعي واستطاعته .
- من الضروري أن يؤمن نظام الاشعال توترا أعلى واستطاعة أكبر للشرارة عند العمل مع محركات ذات نسبة انضغاط عالية وسرعة دوران كبيرة ، وعند ازدياد عدد اسطوانات المحرك ، واستخدام شمعات

ان نظام الاشعال الكهربائي العامل بتغذية من المدخرة بأنواعه المختلفة هو الأكثر استعمالا في السيارات • في الشكل (٢٦) مبينة التجهيزات الأساسية مع مخطط مبسط الدارة الكهربائية لنظام الاشعال العادى •



Conventional coil ignition system for 6-cylinder engines.
Drawing shows wiring between parts.



Conventional coil ignition system for 4-cylinder engines.
Schematic diagram.

شكل ٢٦ ـ نظام الاشعال الكهربائي العادى ودارته المبسطة

احتراق ذات أقداب متباعدة .

تعمل كافة أنظمة الاشعال على مبدأ تحريضي في تكوين التوتر العالي الذى يمكن الحصول عليه في وشيعة الاشعال وينقل الى الموزع لتوجيهه الى شمعات الاحتراق، الا أن الجزء الأساسي في نظام الاشعال هو مقطّع التيار أو مولد النبضات الكهربائية الذى يحرض في وشيعة الاشعال التوتر العالي المطلوب . تتميز جميع أنظمة الاشعال المختلفة على أساس مبدأ عمل مقطّع التيار ودارته الأساسية .

أنواع أنظمة الاشعال من حيث مبدأ عملها :

آ ـ نظام الاشعال الكهربائي العامل بتغذية من المدخرة ، ويقسم الى :

١ ـ نظام الاشعال العادي .

٢ ـ نظام الاشعال الترانزيستوري .

٣ ـ نظام الاشعال السعوي (العامل على تفريغ المكثف).

ب ـ نظام الاشعال المغناطيسي (دون مدخرة)، ويستخدم في المحركات ذات الاشعال بالشرارة ثنائية ورباعية الشوط التي تعمل في بعض الجرارات الثقيلة لاقلاع محرك الديزل الاساسي، وفي محركات البنزين لبعض التجهيزات الثابتة والمتنقلة التي لا تتطلب مدخرة في عملها ، وفي الدراجات النارية، ولا يستخدم في السيارات الا نادر مثل سيارات السباق التي تتطلب معدلا عاليا جدا في إطلاق الشرارة .

سنقتصر فيما يلي على دراسة نظام الاشعال الكهربائي بأنواعه المختلفة •

٦ ـ ٢ ـ نظام الاشعال الكهربائي العادي :

يتألف هذا النظام من الأجزاء الأساسية التالية ، شكل (٢٦) :

ـ مجموعة التغذية : المدخرة ومفتاح الاشعال •
ـ مقطّع التيار مع مكثف الاشعال •
ـ وشيعة الاشعال •
ـ موزع الاشعال •
ـ شمعات الاحتراق •

يحتوى مقطّع التيار على كامة ذات وجوه متعددة حسب عدد اسطوانات المحرك • تدور هذه الكامة مع مسفرة الموزع بسرعة دوران واحدة وتأخذ حركتها من آلية لنقل الحركة من عمود المرفق، تعمل الكامة على فتح واغلاق التماس في حين تعمل المسفرة على توجيه التوتر العالي الى شمعات الاحتراق في لحظات فتح التماس •

مبدأ العمل . شكل (٢٧) :

عند وصل مفتاح الاشعال تعمل الدارة حسب المراحل التالية:

مرحلة آ ـ :

يبدأ مرور التيار في الدارة الأولية من لحظة اغلاق تماس المقطع . وتتزايد شدته الى حده الأقصى تقريبا (٣ امبير) حسب المنحني المبين في الشكل (٢٧) حتى لحظة قطع التماس. في هذه اللحظة تكون قد تشكلت في وشيعة الاشعال قدرة كهرومغناطيسية (W) :

$$W = \frac{L_1 I_c^2}{2}$$

L_1 ـ عامل التحريض الذاتي للوشيعة الأولية .

I_c ـ شدة تيار الدارة الأولية عند لحظة القطع .

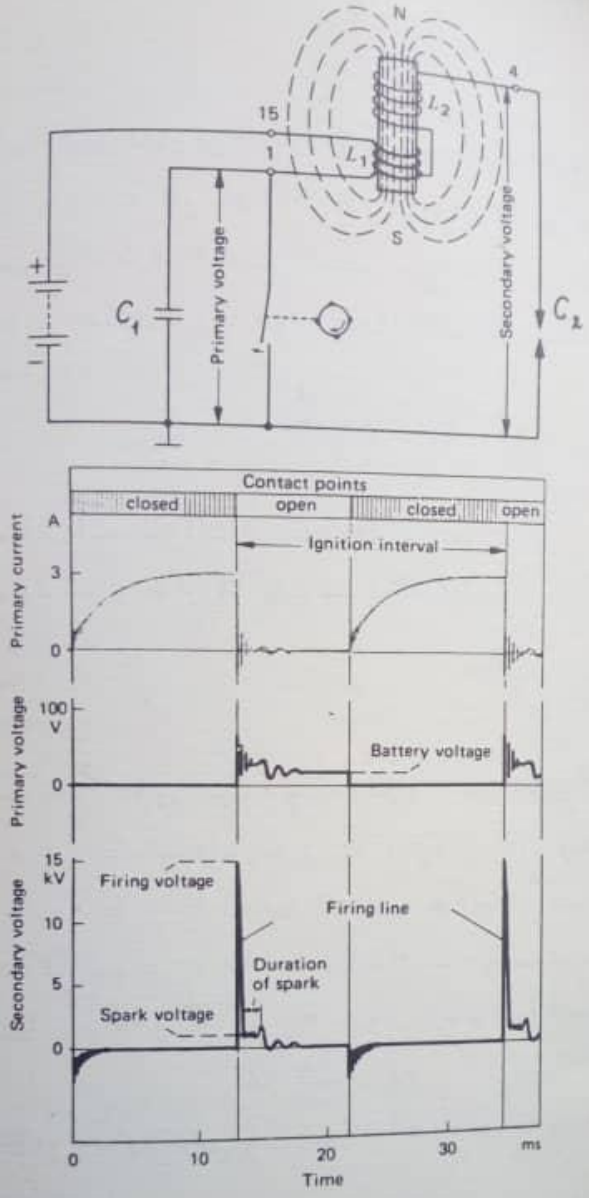
مرحلة ب ـ :

عند قطع التماس تصبح الوشيعة الأولية مغلقة على المكثف لتؤلف دارة أولية مهتزة تخامدية عناصرها : L_1 ، C_1 ، R_1 ويصل التوتر فيها الى U_1 . كما تؤلف الوشيعة الثانوية مع اسلاك التوصيل وشمعات الاحتراق دارة ثانوية مهتزة تتأثر بالسيالة المغناطيسية للوشيعة الأولية ولها عناصرها : L_2 ، C_2 ، R_2 ويصل التوتر فيها الى :

$$U_2 = \frac{\omega_2}{\omega_1} U_1$$

يتراوح مقدار التوتر U_2 لهذه الدارة في حدود ١٠٠٠٠ـ ٢٠٠٠٠ فولط .

C_1 ، C_2 ـ سعة المكثف في الدارة الأولية والسعة المقدرة المكافئة في الدارة الثانوية . R_1 ، R_2 ـ المقاومات الفعالة للاسلاك في الدارة الأولية والثانوية . ω_1 ، ω_2 ـ عدد لفات الوشيعة الاولية والثانوية .



شكل ٢٧ ــ مبدأ عمل نظام الاشعال الكهربائي العادي

تتوزع القدرة المتشكلة W عند قطع التماس كما يلي :

$$W = \frac{L_1 I_C^2}{2} = \frac{C_1 U_1^2}{2} + \frac{C_2 U_2^2}{2} + A$$

حيث :

$\frac{C_1 U_1^2}{2}$ ـ القدرة الضائعة في الدارة الأولية المهتزة اذا يعمل مكثف الاشتعال على اخمادها فتضيع في الأسلاك وفي نواة وشيعة الاشعال . وبالتالي فهو يمنع أو يحد من نشوء الشرارات في التماس .

$\frac{C_2 U_2^2}{2}$ ـ القدرة المتشكلة في الدارة الثانوية وتخرج على شكل شرارة بين قطبي شمعة الاحتراق اذا كان التوتر كافيا لاطلاق الشرارة في الظروف المحددة . عادة تتراوح قيمة الحد الأدنى لتوتر اطلاق الشرارة في حدود ١٢ كيلو فولط تقريبا ، أو تضيع في الدارة المهتزة الثانوية .

A ـ القدرة الضائعة في أسلاك التوصيل وأجزاء الدارة الناتجة عن المقاومة الفعالة وهي تؤلف تقريبا ٣٠٪ من القدرة الكلية المتشكلة .

المرحلة جـ ـ :

وهي مرحلة تفريغ الشحنة ويتم ذلك : أولا على شكل شرارة قوية ناتجة بين قطبي شمعة الاحتراق التي تفرغ شحنتها كمكثف وتستمر لفترة لحظية قصيرة جدا تقدر بـ ٣٠ ميكرو ثانية ، وثانيا على شكل قوس كهربائية ضعيفة تسمى ذنب الشرارة وتتشكل بسبب عمل الدارة المهتزة المتخامدة الأولية والثانوية وتستمر لفترة ١٤٠٠ ميكرو ثانية تقريبا .

تتعلق قدرة الشرارة وقيمة التوتر العالي في الدارة الثانوية بعوامل مختلفة مثل عناصر الدارة الكهربائية، الا أنهما يتعلقان بشكل أساسي بزمن وصل التماس ويؤدي اختصار هذه الفترة الى قيم منخفضة لشدة تيار القطع، وهذا يحدث عند ازدياد سرعة الدوران وعدد اسطوانات المحرك . معدل اعطاء الشرارة لهذه الدارة يبلغ ١٨٠٠٠ شرارة / دقيقة كحد أقصى .

عدد الشرارات في الدقيقة (m) لمحرك رباعي الشوط عدد اسطواناته (Z) وسرعة دورانه (n) هي: ($m = 0{,}5\, nZ$)، والفترة الدورية لاطلاق الشرارة (T) هي زمن وصل وقطع التماس:

$$T = \frac{1}{m} = \frac{2}{nZ} = T_a + T_b$$

لذلك مع ازدياد سرعة الدوران أو عدد اسطوانات المحرك ينخفض معدل التوتر العالي في الدارة الثانوية وبالتالي قدرة الشرارة .

أجزاء نظام الاشعال العادي :

وشيعة الاشعال شكل (٢٨) :

تشبه وشيعة الاشعال في تصميمها المحولة الكهربائية اذا تقوم بمهمة أساسية في تخزين القدرة التحريضية ورفع التوتر المتشكل في الوشيعة الى توتر عالي (٢٠٠٠٠ فولط) ، يبلغ عدد لفات الوشيعة الثانوية من ١٥٠٠٠ الى ٣٠٠٠٠ لفة وتلف على طبقات معزولة جيدا عن بعضها ومن أسلاك دقيقة

بقطر ٠,٠٧ ـ ١,٠ مم ، وتتوضع الوشيعة الثانوية حول نواة من لفة من صفائح فولاذية جيدة المغناطيسية • يبلغ عدد لفات الوشيعة الأولية من ٢٥٠ الى ٣٠٠ لفة وتلف على طبقات معزولة ومن أسلاك بقطر ٠,٧ ـ ٠,٨ مم وتتوضع حول الوشيعة الثانوية . تحتوى وشيعة الاشعال على ثلاثة مرابط للتيار • يتصل المربط ١ مع مقطع التيار والمربط ١٥ مع مفتاح الاشعال والمربط ٤ مع موزع الشرارة • يتكون جسم الوشيعة من عدة طبقات لصفائح فولاذية للحماية وحصر السيالة المغناطيسية ضمن الوشيعة • تصنع وشيعة الاشتعال للعمل في دارات التوتر ٦ أو ١٢ فولط و ٢٤ فولط وتصمم لمتطلبات خاصة مثل :

- تأمين توتر عالي لاطلاق الشرارة •
- تأمين قدرة عالية للشرارة من أجل العمل عند معدل عالي لاعطاء الشرارة خاصة للمحركات ذات السرعات العالية •
- تأمين عمل الوشيعة دون أي تشويش كهربائي لأجهزة الاتصال الموجودة في السيارة •
- تخزين قدرة عالية للعمل في محركات خاصة تتطلب فترة طويلة لاطلاق الشرارة •
- تأمين شرارتين بآن واحد وتكون وشيعة الاشعال ثنائية في هذه الحالة •

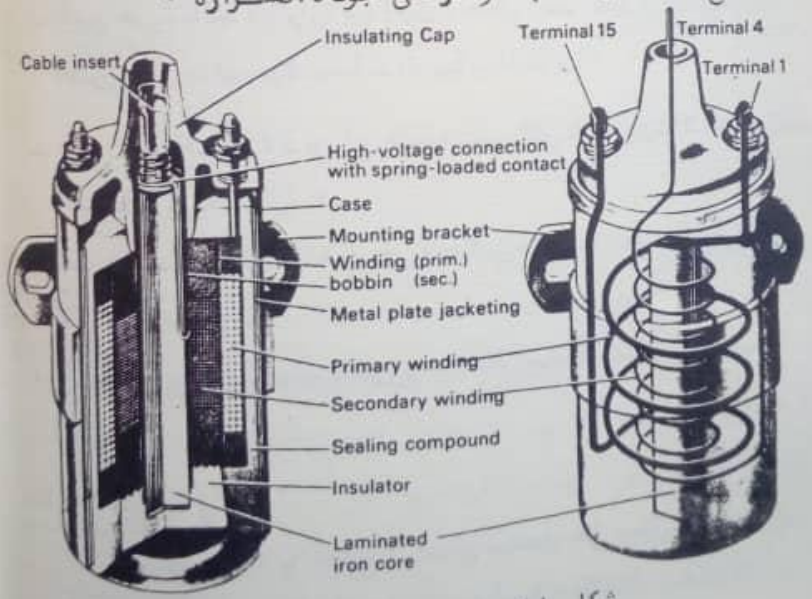
مفتاح الاشعال :

ويكون متصلا بالمفتاح الرئيسي ويعمل على وصل المدخرة مع الدارة الأولية • بعد الوصل لا يبدأ عمل نظام الاشعال الا

بدوران المحرك وبالتالي دوران مقطّع وموزع الشرارة • عند فصل الدارة بمفتاح الاشعال تقطع التغذية عن الدارة ويتوقف نظام الاشتعال عن العمل •

مقطّع التيار شكل(٢٩) :

ويعمل على قطع ووصل الدارة الأولية من أجل الحصول على القدرة التحريضية في وشيعة الاشعال وبالتالي التوتر العالي لاطلاق الشرارة من شمعات الاحتراق ويعمل بشكل دوري اهتزازي، خلال عمل مقطع التيار تنشأ بعض الشرارات في التماس فينتقل المعدن من القطب الموجب الى السالب عادة ، لذلك تصنع أجزاء التماس من معدن مقاوم للاهتراء والحرارة مثل التنغستين كما تصنع أجزاء المقطع بدقة عالية لانها تؤثر على جودة الشرارة •



شكل ٢٨ – وشيعة الاشعال

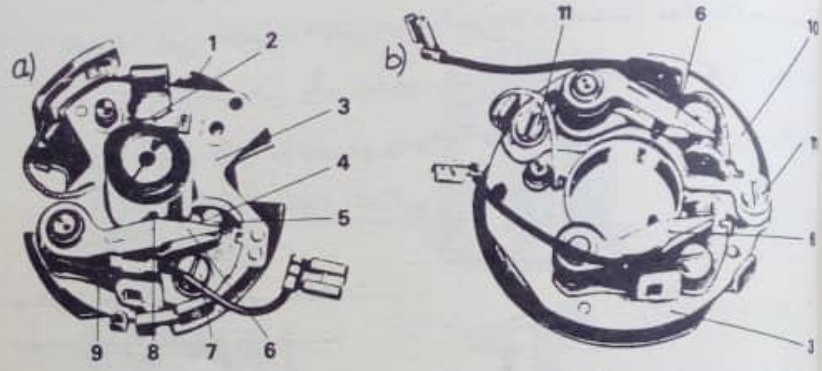
وتوجيهه الى شمعات الاحتراق بتسلسل معين حسب توقيت الاشعال في اسطوانات المحرك • يدور عمود الموزع بسرعة دوران تبلغ نصف سرعة دوران المحرك رباعي الشوط أو بسرعة مساوية لسرعة دوران المحرك ثنائي الشوط • على عمود الموزع تقع كامة خاصة لعمل مقطّع التيار ويرتكز على رأس العمود قطعة خاصة تحمل مسفرة لايصال التيار عالي التوتر الواصل من وشيعة الاشعال الى شمعات الاحتراق عبر كابلات التوتر العالي •

منظم زاوية تسبيق الاشعال :

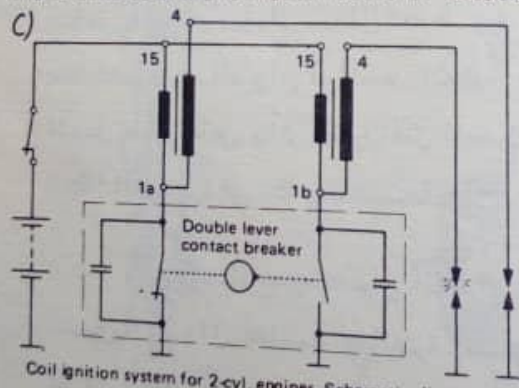
لكي يتم اشعال المزيج بشكل جيد وفعال من الضروري أن تتوافق زاوية تسبيق الاشعال مع ظروف عمل المحرك وخاصة عند تغير سرعة الدوران أو الحمل المطبق على المحرك • ويقوم بهذا العمل منظم خاص يتأثر بظروف عمل المحرك ويؤثر بدوره في توقيت اعطاء الشرارة في نظام الاشعال •

ان ازدياد سرعة دوران المحرك تتطلب زيادة في زاوية تسبيق الاشعال تتناسب مع الفترة المطلوبة لتأخر اشعال المزيج • كما ان الحمل القليل على المحرك يترافق مع انخفاض الجودة الحجمية للمحرك وعدم امتلاء الاسطوانات جيدا بالشحنة الجديدة وارتفاع معامل الغازات المتبقية وانخفاض ضغط المزيج في لحظة الاشعال، مما يؤدي الى تدهور عمليه الاحتراق ان لم يتوفر للمزيج فترة تأخر مناسبة للاشعال، أي يتطلب زاوية تسبيق أكبر • كلما كان الحمل منخفضا كان التخلخل في انبوب السحب بعد صمام التحكم عاليا •

يعمل المكثف الموجود في دارة الاشعال على اخماد الشرارات الحادثة في تماس مقطّع التيار . يمنع المقطع المزدوج ثنائي التماس للدارات التي تؤ من معدلا كبيرا في اعطاء الشرارة خاصة للمحركات ذات ست أو ثمان اسطوانات .



Single-lever contact breaker for single-cylinder engines. Double lever contact breaker for 6-cyl. and 8-cyl engines



Coil ignition system for 2-cyl. engines. Schematic diagram.

1 Support plate for vacuum advance mechanism
2 Breaker cam
3 Movable breaker plate
4 Contact support with fixed contact
5 Contact on breaker lever
6 Breaker lever
7 Contact support fastening screw
8 Rubbing block on breaker lever
9 Breaker lever spring
10 Intermediate
11 Plate fastening screw

result of transfer of metal contact

شكل ٢٩ ــ مقطّع الشرارة

آ ــ مقطّع وحيد التماس ؛ ب ــ مقطّع مزدوج التماس ؛
جـ ــ الدارة المبسطة للمقطّع المزدوج ؛

توزع الاشتعال شكل (٣٠) :

ويعمل بتوقيت محدد مع مقطّع التيار ويقوم بتوزيع التوتر العالي

من ٥ ر٨ ، مما يتطلب شمعات احتراق ذات أقطاب متباعدة (٨ ر٠ ـ ٩ ر٠ مم) لضمان عملها في ظروف الاجهادات الحرارية والميكانيكية العالية ، كما ازداد عدد اسطوانات المحرك وسرعة دورانه (لأكثر من ٤٠٠٠ د / د) . كافة هذه الظروف تتطلب توترا عاليا وقدرة كبيرة ومعدلا مرتفعا لاطلاق الشرارة بين أقطاب شمعات الاحتراق .

لذلك كان من الضرورى استخدام دارات لنظام الاشعال تؤ من شدة كبيرة لتيار القطع التي لا يمكن الحصول عليها في دارة نظام الاشعال العادي لأن ظهور الشرارات في تماس مقطّع التيار يزداد كثيرا مع ازدياد شدة تيار القطع ويؤدي الى اهتراء سطوح التماس سريعا وهذا من السيئات الأساسية في نظام الاشعال العادي .

ان نظام الاشعال العامل على أنصاف النواقل مثل الترانزيستور يؤمن هذه المتطلبات في السيارات الحديثة ، ويوجد لهذا النظام نوعان :

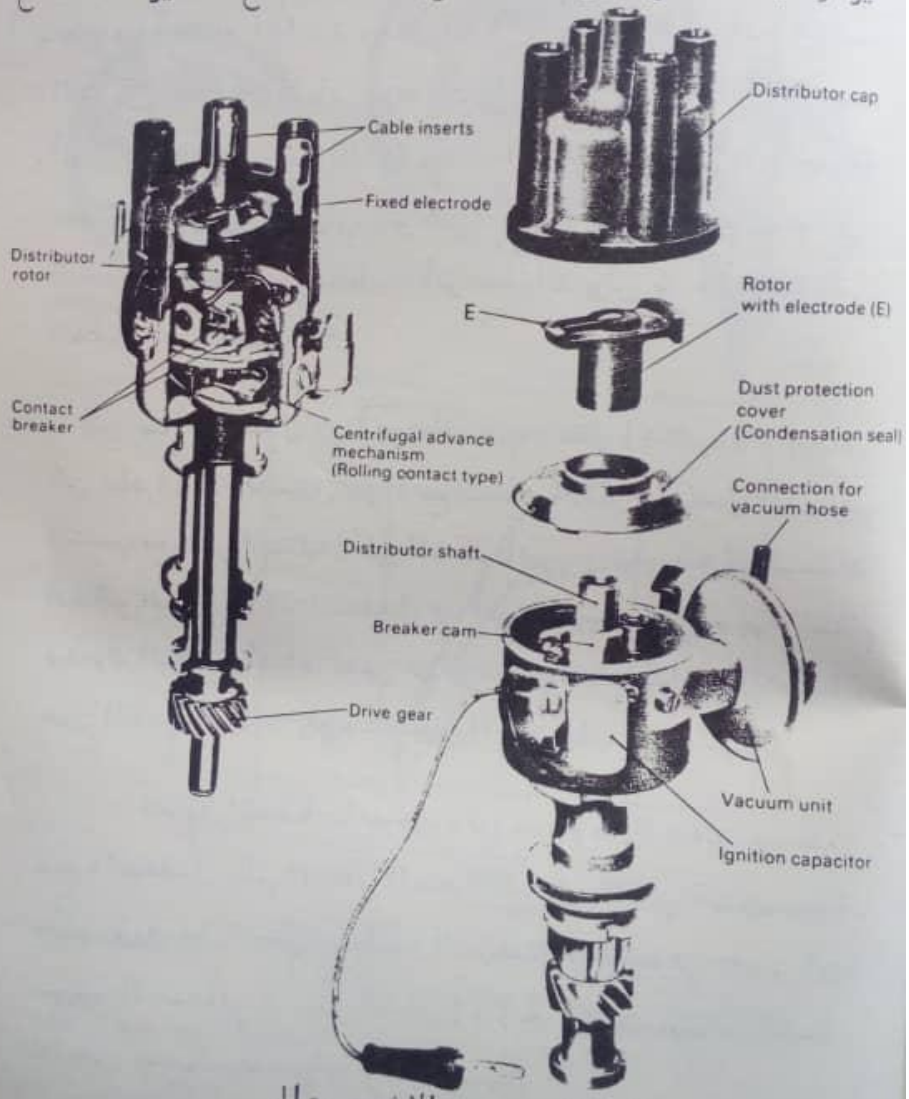
النوع الأول ويحتوي مقطّع التيار فيه على تماس لقطع تيار منخفض الشدة يتحكم بعمل الترانزيستور الذى يعمل كمفتاح كهربائي لمرور تيار القطع الأساسي الذى تصل شدته الى حدود ٨ أمبير ، أى لأكثر من ضعف شدة تيار القطع في دارة نظام الاشعال العادي . ويصل التوتر العالي المتحرض في وشيعة الاشعال الثانوية لأكثر من ٣٠٠٠٠ فولط . ويمكن اعطاء الشرارة بمعدل ٢١٠٠٠ شرارة / دقيقة تقريبا ومدة الشرارة ٢٠٠ ميكرو ثانية .

دون حمل بحيث يعمل المحرك بكامل قدرته

٦ـ٣ـ نظام الاشعال الكهربائي الترانزيستوري :

في أكثر السيارات الحديثة العاملة على الاشعال بالشرارة تستخدم محركات ذات استطاعات عالية وبنسبة انضغاط مرتفعة لأكثر

يجرى التنظيم الآلي والتحكم بزاوية تسبيق الاشعال بمنظم خاص يتأثر بسرعة دوران المحرك ودرجة تحميله أى بظروف عمله • يؤثر المنظم على زاوية التسبيق عن طريق ادارة صحن مقطع التيار الـــذي يرتكز عليه التماس بزاوية معينة حول كامـة المقطع فتتغير لحظة قطع



شكل ٣٠ ـ مـوزع الاشـــعال

التماس وبالتالي زاوية تسبيق الاشعال ، أو عن طريق ادارة كامـة

٦ ـ ٥ ـ مقارنة أنظمة الاشعال الكهربائي :

ان فعالية وجودة نظام الاشعال تتعلق بالمؤشرات التالية :

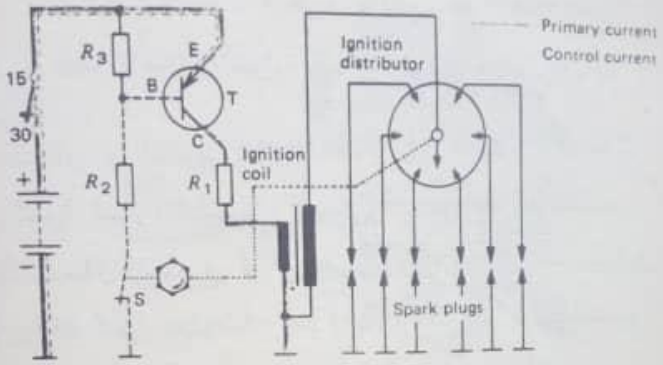
ـ علاقة توتر الوشيعة الثانوية العالي أو قدرة الاشعال بمعدل اعطاء الشرارة أو بسرعة دوران المحرك . يبين الشكل (٣٧) توتر الوشيعة الثانوية الممكن حسب معدل اطلاق الشرارة لنظام الاشعال العادي (CI) من ١٠٠٠٠ الى ٢٠٠٠٠ فولط والترانزيستوري (TCI) من ٢٠٠٠٠ الى ٣٠٠٠٠ فولط والسعوي (CDI) ٣٠٠٠٠ فولط .

ـ مصروف الطاقة اللازمة لعمل نظام الاشعال حسب معدل اعطاء الشرارة. عند المعدل ١٠٠٠٠ شرارة / دقيقة يتطلب نظام الاشعال العادي في حدود ١٠ واط والترانزيستوري ٤٠ ـ ٥٠ واط والسعوي ٢٠ ـ ٣٠ واط .

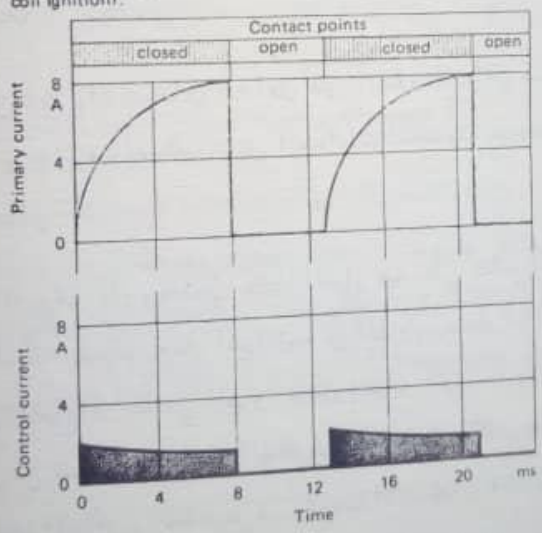
ـ فترة اطلاق الشرارة، وتبلغ ١٤٠٠ ـ ١٥٠٠ ميكرو ثانية لنظام الاشعال العادي والترانزيستوري ، الا أن التوتر العالي في الترانزيستوري أعلى ، وبالتالي فقدرة الشرارة أكبر . أما في نظام الاشعال السعوي فتستمر الشرارة لفترة ٣٠٠ ميكرو ثانية مع توتر عالي وتكون قدرتها أعلى بكثير من الانظمة الأخرى .

معدل اطلاق الشرارة. يستطيع نظام الاشعال العادي أن يؤمن من ٢٠٠٠ الى ١٨٠٠٠ شرارة في الدقيقة والترانزيستوري أو السعوي

والنوع الثاني يحتوى على مولد نبضات كهربائية يعمل على مبدأ كهرومغناطيسي عوضا عن مقطع التيار ذي التماس ويتحكم أيضا بعمل الترانزيستور الذى يمر عبره تيار القطع الأساسي ، ويمكن أن يصل معدل اعطاء الشرارة في هذا النوع الى ٤٠٠٠٠ شرارة / دقيقة .



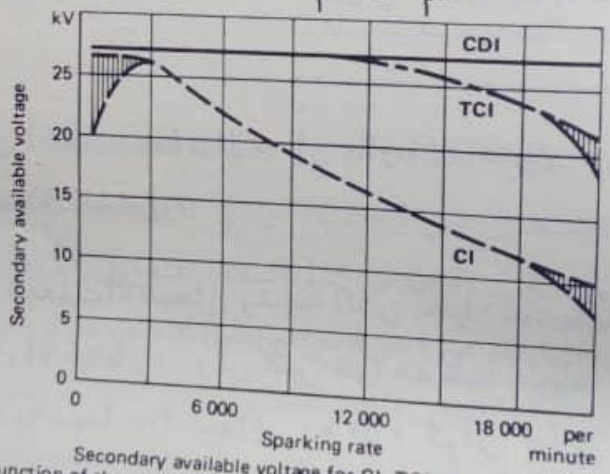
Basic circuit diagram of breaker-triggered inductive semiconductor ignition system (breaker-triggered transistorized coil ignition).



شكل ٣٣ ـ الدارة المبسطة لنظام الاشعال الكهربائي الترانزيستوري مع قاطع التماس ومحلي تيار القطع الأساسي وتيار التحكم فيه.

العامل مع قاطع تماس يصل المعدل لحدود ٢١٠٠٠ شـــرارة/ دقيقة، والعامل مع مولد نبضات كهربائية يؤ من حتى ٤٠٠٠٠ شرارة/ دقيقـــة •

ـ فترة خدمة شمعات الاحتراق لنظام الاشعال العادي تبلـــغ ١٠٠٠٠ كم كحـد أدنى من مسير السيارة وتتضاعف فترة الخدمة لحدود ٣٠٠٠٠ كم لنظام الاشـعال الترانزيستوري والسعوي •



Secondary available voltage for CI, TCI, and CDI as a function of the sparking rate.

شكل ٢٧ ـ علاقة التوتر العالي الممكن لوشيعة الاشـعـال الثانوية حسب معدل اطلاق الشرارة المطلوب

٦ـ٦ ـ شـمعات الاشـــعال :

الاشعال المزيج