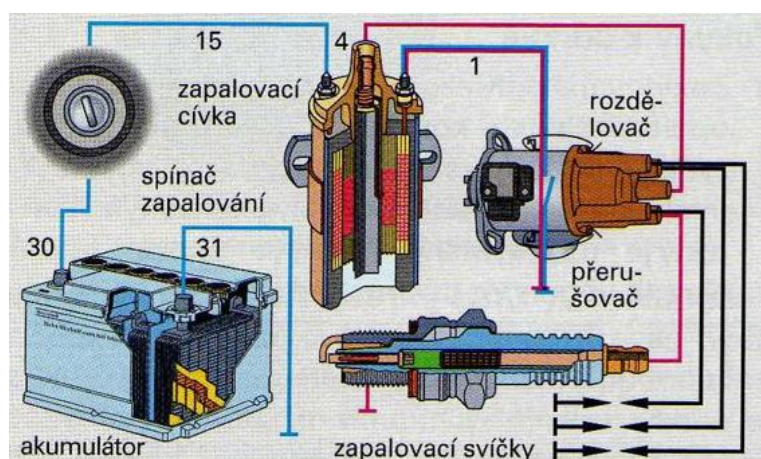


Zapalování

Schéma indukční zapalovací soustavy

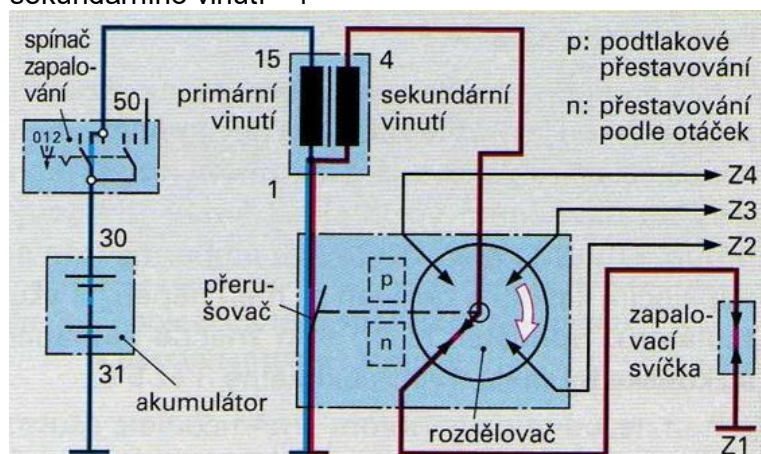
V soustavách se zapalovacími cívkami je elektrická energie shromážděna v magnetickém poli zapalovací cívky. Je vytvářeno napájecím proudem v primárním okruhu zapalovací cívky a zesiluje se vlivem železného jádra cívky.

Konstrukční díl	Úkol a funkce
zapalovací cívka	Skládá se z tlustého primárního vinutí a z velmi tenkého sekundárního vinutí. Tato vinutí jsou navinuta na laminovaném železném jádru. Úkolem cívky je transformovat velmi nízké napětí akumulátoru s hodnotou zpravidla 12 V na napětí více tisíc voltů, aby se zaručila intenzivní zapalovací jiskra mezi elektrodami zapalovacích svíček.
rozdělovač zapalování	Rozdělovač zajišťuje současně více funkcí. Rozděluje zapalovací jiskry na více válců a poskytuje prostor pro kontakty přerušovače, kondenzátor a odstředivý a podtlakový přestavovač okamžiku zážehu.
zapalovací kabely a svíčky	Zapalovací kabely jsou speciální kabely, které jsou schopny vést napětí více tisíc voltů k jednotlivým zapalovacím cívkám, resp. mezi rozdělovačem a zapalovací cívkou (kabelová přípojka č. 4). Zapalovací svíčky, mezi jejichž elektrodami vzniká zapalovací jiskra zapaluje ve spalovacím prostoru směs paliva a vzduchu, jsou zašroubované v hlavě válců.
kontakty přerušovače	Úkolem kontaktů přerušovače je uzavírat primární proudový obvod v zapalovací cívce, resp. ve správném okamžiku jej přerušovat. U starších systémů jsou ovládány vačkou, umístěnou na hřídeli přerušovače.
kondenzátor	Úkolem kondenzátoru je potlačovat odtrhovou jiskru, vzniklou při přerušení primárního proudového obvodu, a zvyšovat tak životnost kontaktů přerušovače.

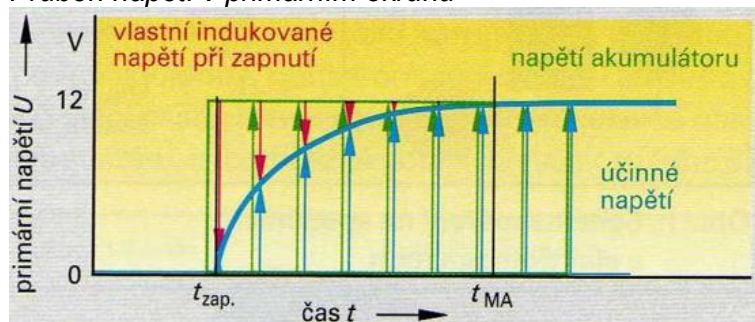


Zapojení indukční zapalovací soustavy

kostra – 31, akumulátor – 30, spínací skříňka – 15, spínání primární vinutí – 1, výstup sekundárního vinutí - 4

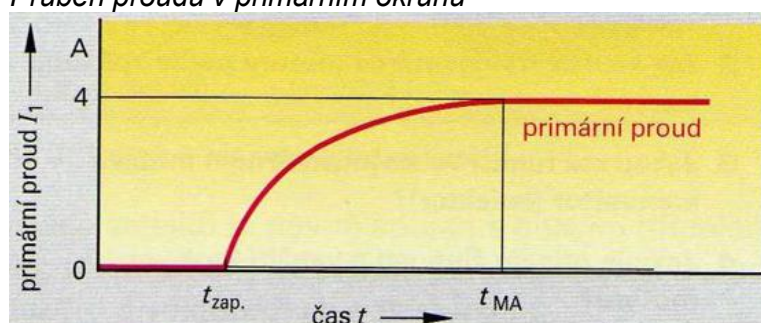


Průběh napětí v primárním okruhu



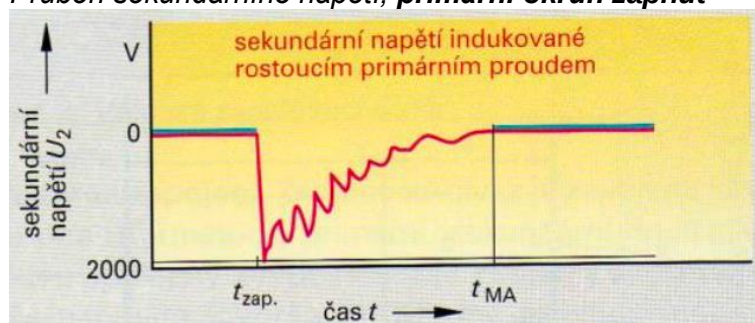
Primární okruh je sepnut, z akumulátoru protéká proud, ten budí magnetické pole primárního vinutí. Magnetické pole indukuje napětí opačné polarity, které působí proti napětí akumulátoru a tím zpozdí náběh proudu.

Průběh proudu v primárním okruhu



Indukované napětí působí proti budícímu napětí a tím proud v primární cínce roste exponenciálně a magnetické pole vzniká s určitým zpožděním.

Průběh sekundárního napětí, **primární okruh zapnut**



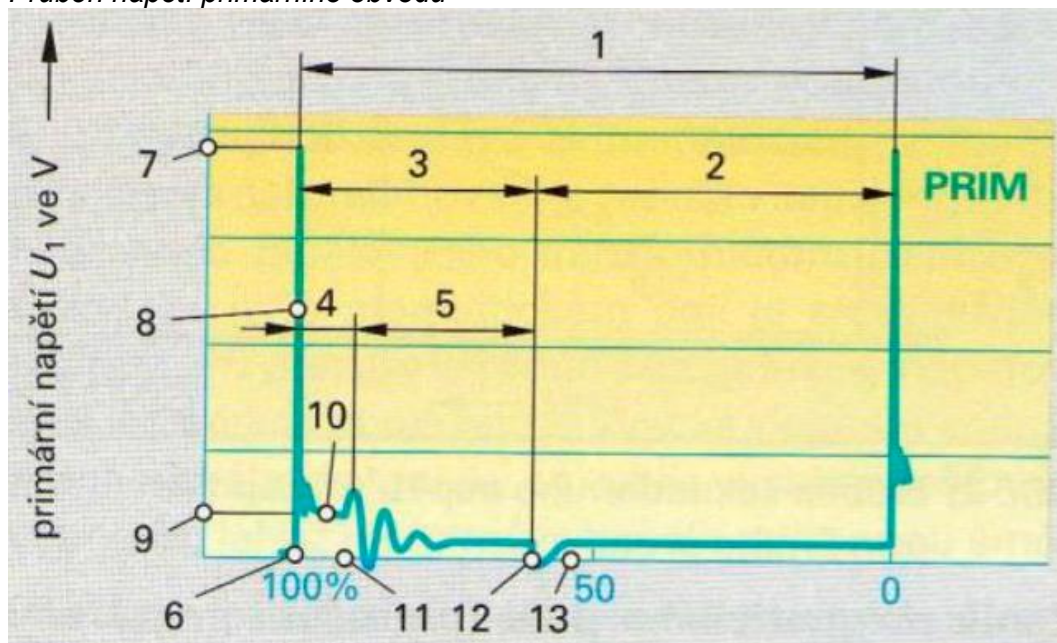
Průběh sekundárního napětí, **primární okruh přerušen**



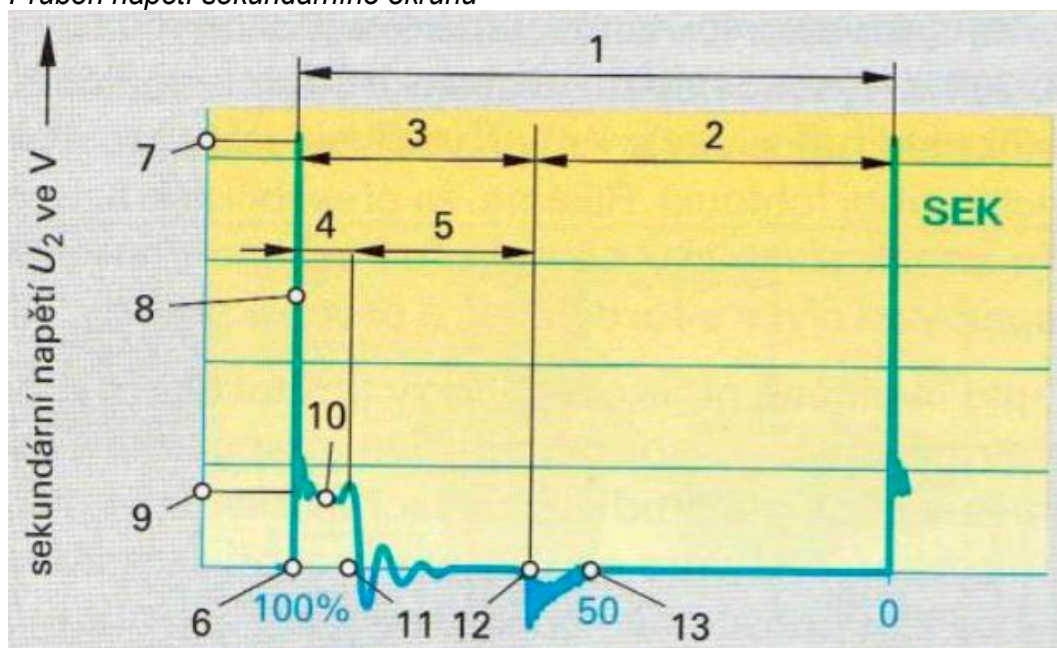
Při vzniku magnetického pole primární cívkou se kromě napětí v primárním okruhu indukuje proudem primární cívkou napětí v sekundární cínce. Toto napětí bude ***n krát*** vyšší o č je vyšší počet závitů v sekundární cínce.

Oscilogramy zapalování

Průběh napětí primárního obvodu



Průběh napětí sekundárního okruhu

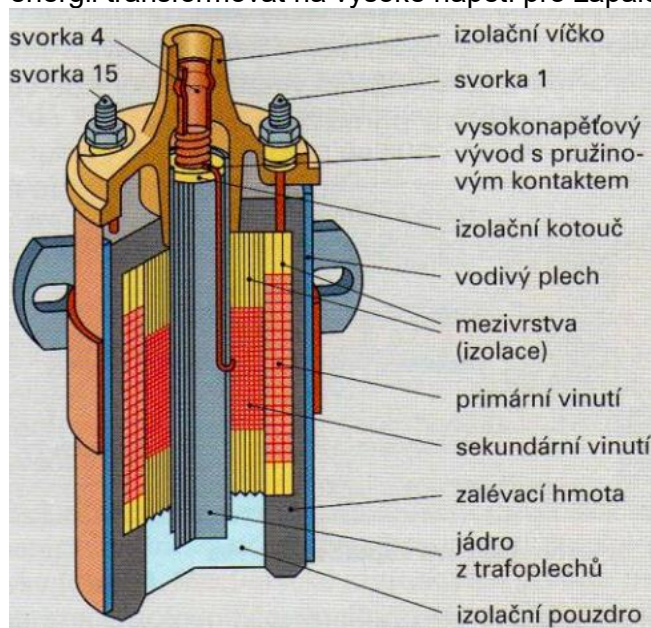


- 1 – rozpětí zážehů
- 2 – doba sepnutí primáru
- 3 – doba rozpojení primáru
- 4 – doba trvání výboje na svíčke
- 5 – doba dokmitávání soustavy
- 6 – okamžik počátku zážehu
- 7 – zapalovací napětí – průrazné napětí

- 8 – napěťová špička (jehla)
- 9 – napětí výboje (spalovací napětí)
- 10 – průběh napětí výboje
- 11 – konec výboje (konec jiskry)
- 12 – okamžik sepnutí primáru
- 13 – konec tvorby magnetického pole

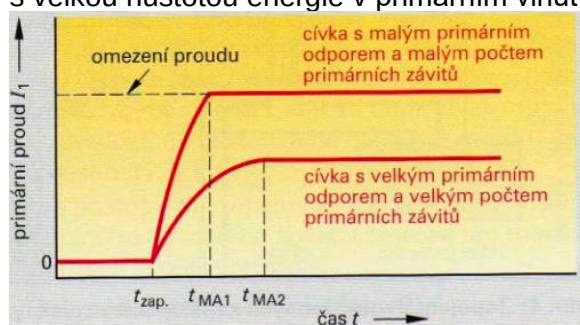
Zapalovací cívka

Úkolem je naakumulovat energii v magnetickém poli a při přerušení primárního obvodu tuto energii transformovat na vysoké napětí pro zapalovací svíčku.



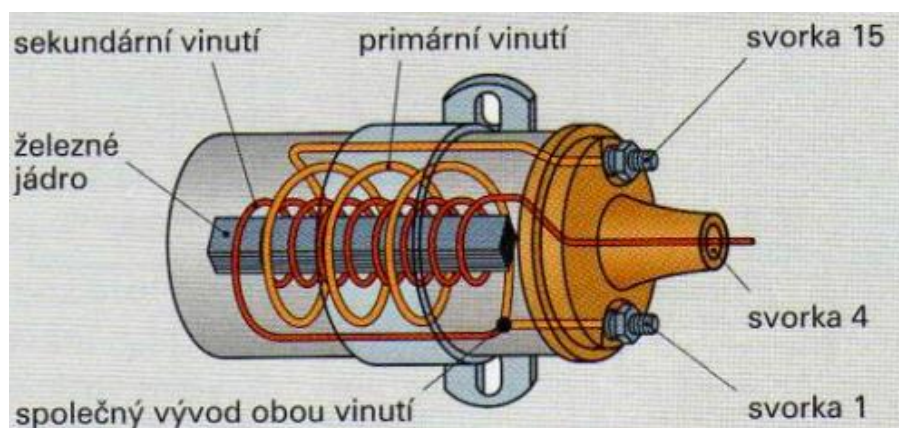
Primární vinutí

Mívá 100 až 500 závitů izolovaného měděného drátu o velkém průřezu, ale malého odporu cca 0,3 až 2,5 Ω . Malá indukčnost a malý odpor umožňují rychlý vznik magnetického pole s velkou hustotou energie v primárním vinutí.



Sekundární vinutí

Mívá 15 000 až 30 000 závitů tenkého izolovaného měděného drátu. Odpor vinutí bývá 5 až 20 Ω . Zapalovací napětí dosahuje 25 000 až 40 000 V.



Vnitřní zapojení zapalovací cívky – 1 – k přerušovači, 4 – vysoké napětí, 15 – napájení

Moderní vozidla používají plně elektronické zapalovací systémy s vícejiskrovými nebo samostatnými cívkami. Důvodem jsou vyšší otáčky motorů kdy doba na sepnutí primárního okruhu je velmi malá a dochází ke zmenšování energie magnetického pole a tím i snižování vysokého napětí v sekundárním okruhu. Následkem toho se snižuje energie jiskry na zapalovací svíčke a tím může dojít i k výpadkům zapalování jednotlivých válců. Následkem toho může dojít k poškození lambda sond i katalyzátoru.

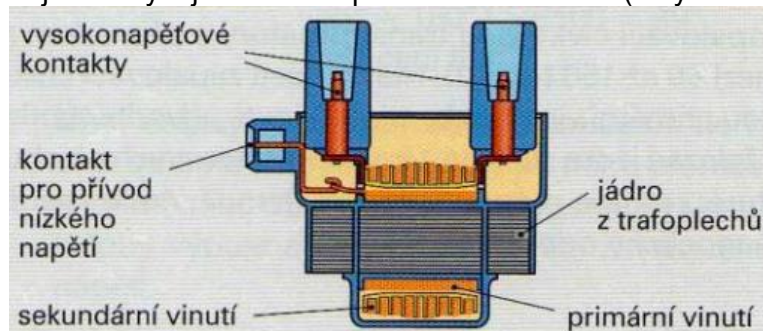
Dvou-jiskrová zapalovací cívka

Použití vždy pro dvojici válců. Cívka má jedno primární i sekundární vinutí, ale se dvěma vývody.

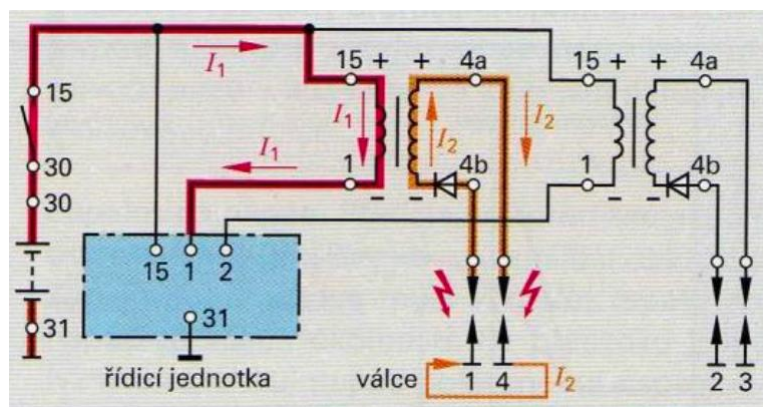
Použití u 4 válcového motoru:

Pořadí zapalování 1 – 3 – 4 – 2

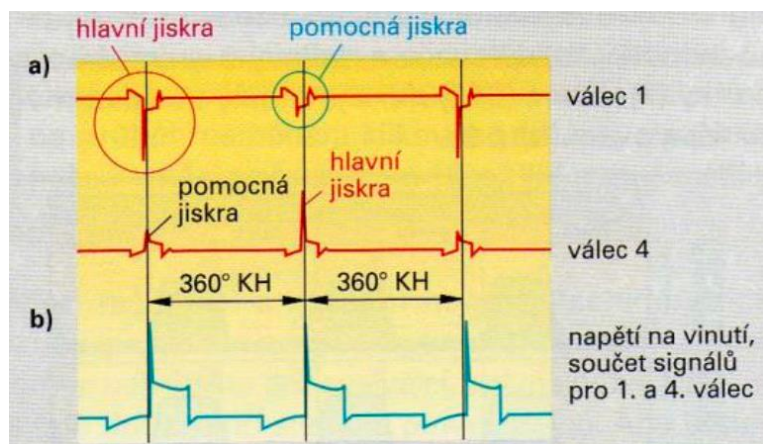
Z jedné dvou-cívky je zapojen 1 a 4 válec a z druhé dvou-cívky 3 a 2 válec. Při zapalování najdeme výboj na obou zapalovacích svíčkách (tedy na 1. i 4. svíčke).



Dvou-jiskrová cívka

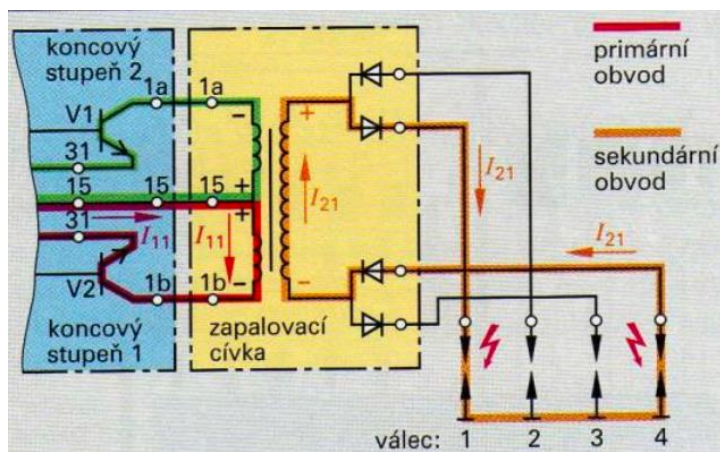


Zapojení dvou-jiskrové cívky



Oscilogramy sekundárních napětí

Další možností je provedení čtyř-jiskrové zapalovací cívky, která nahrazuje dvě dvou-jiskrové zapalovací cívky.

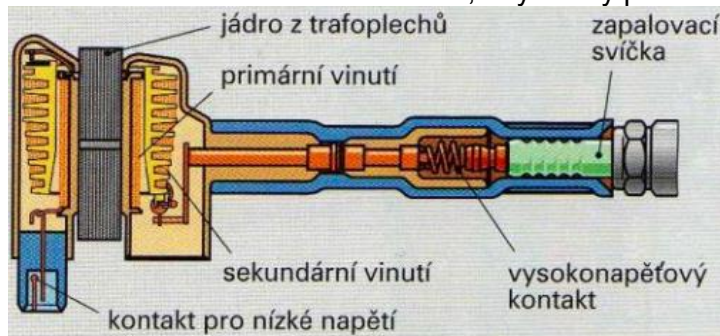


Čtyř-jiskrová cívka

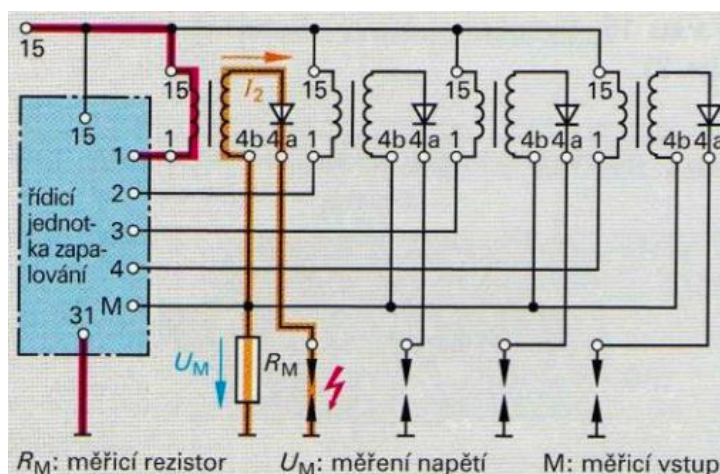
Zapalovací svíčky jsou připojeny přes opačně pólované dvojice diod a tím dochází k rozdělení jiskry vždy na dvojici zapalovacích svíček (zapaluje 1. a na 4. je výboj do výfuku)

Samostatné zapalovací cívky

Každý válec má svou zapalovací cívku s primárním i sekundárním vinutím. Označení je stejné jako u ostatních systémů. Samostatné cívky jsou řízeny výkonnou řídicí jednotkou, která řídí individuálně každou cívku, tedy každý primární okruh jednotlivé cívky.



Jedno-jiskrová zapalovací cívka

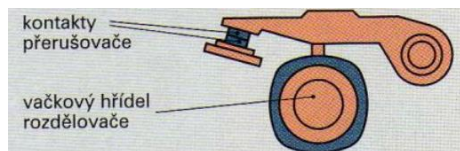


Zapojení jedno-jiskrových cívek

Jedno-jiskrové cívky mají malou indukčnost a vznik magnetického pole je velmi rychlý. Následkem toho může vznikat nežádoucí přeskok jiskry na svíčke na konci sání nebo na začátku komprese. Z tohoto důvodu jsou instalovány diody, které blokují proudy opačných směrů a tím zabraňují vzniku nežádoucích jisker.

Přerušování primárního proudu zapalovací cívky

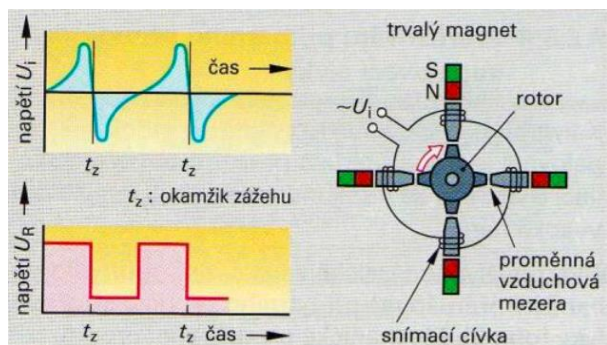
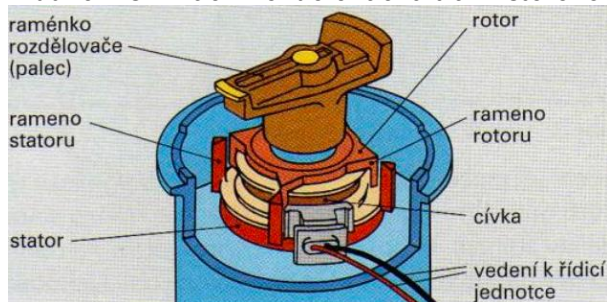
Dříve používané systémy měly mechanický přerušovač. Jeho nevýhodami bylo velké opotřebení s následnou nutností seřizování maximálního zdvihu kontaktů „odtrhu“ (cca 0,4 mm). Na kontaktech přerušovače docházelo k jiskření (= opotřebení kontaktů) a také k částečné ztrátě proudu. Opálené kontakty bylo nutno vyměňovat a následně seřizovat. Taktéž se opotřebovávala izolační destička opírající se o vačku v rozdělovači.



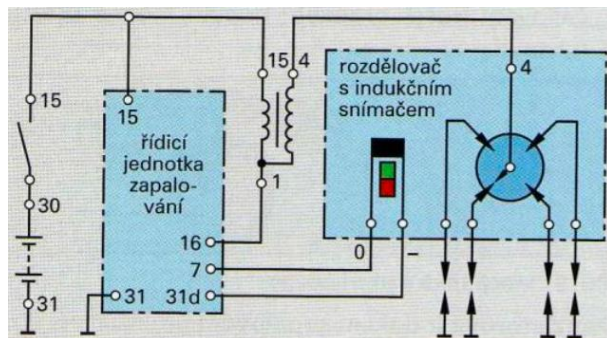
Mechanický přerušovač

Dalším vývojem bylo snížení proudové zátěže kontaktů a případně jejich náhrada bezkontaktními systémy přerušování. Vzniklo tranzistorové zapalování a následně diodové zapalování, tedy spínání primárního okruhu probíhalo pomocí tranzistoru nebo diod řízenými odlehčenými kontakty. Dále následovalo odstranění kontaktů a jejich náhrada elektronickými „závorami“ – indukčním snímačem nebo Hallovým prvkem. Tím se odstranilo mechanické řízení a klesly náklady za seřizování a výměny kontaktů. Zároveň se zpřesnil okamžik zážehu.

Indukční snímač v rozdělovači a tranzistorové zapalování



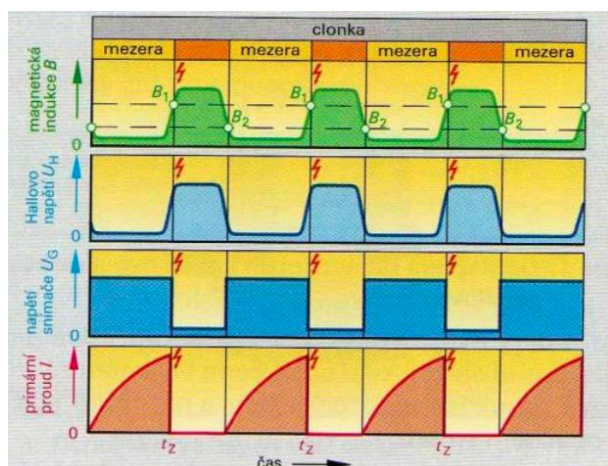
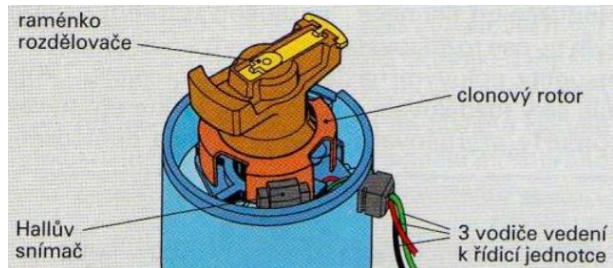
Princip činnosti a oscilogramy



Tranzistorové zapalování s indukčním snímačem

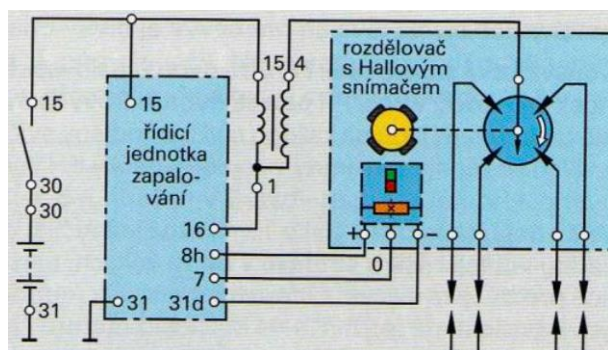
Signál snímače (0 a -) veden na svorky (7 a 31d) řídicí jednotky zapalování. Zde je signál tvarován do podoby obdélníků o napětí U_R (viz obrázek Princip činnosti a oscilogramy).

Hallův snímač v rozdělovači a tranzistorové zapalování



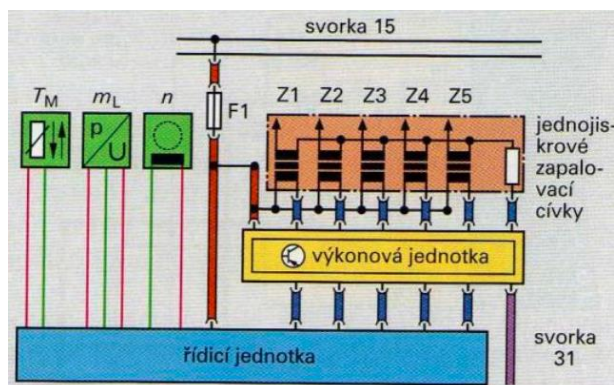
Signál snímače a primární proud cívky

průběh magnetické indukce (B),
 Hallovo napětí na snímači (U_H),
 napětí snímače po elektronické úpravě (U_G),
 průběh proudu v primárním okruhu zapalovací cívky (I)



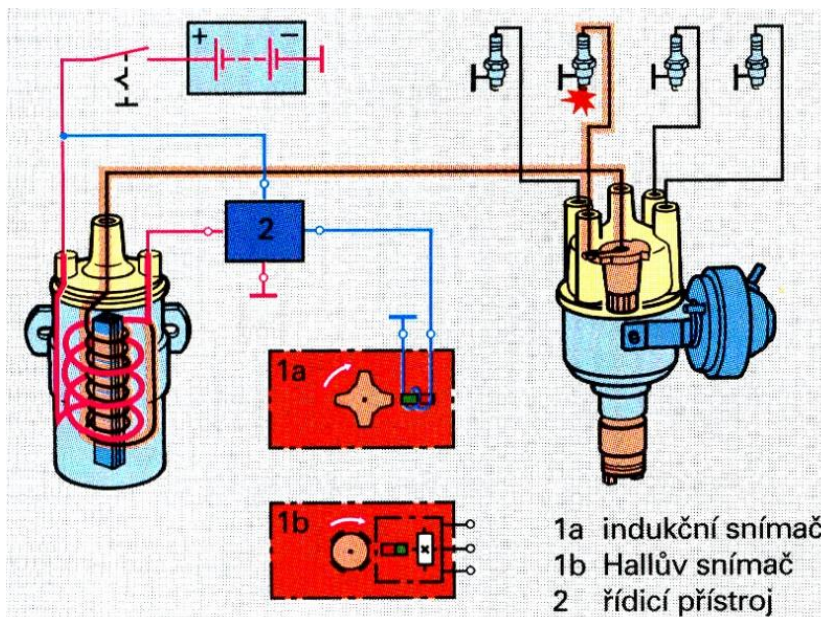
Tranzistorové zapalování s Hallovým snímačem

Signál snímače (+, 0, -), veden na svorky (8h, 7, 31d) řídicí jednotky zapalování.



Zapalovací cívky Bosch Motronic

ŘJ motoru řídí tranzistorový výkonový spínací stupeň, který je mimo ŘJ motoru z důvodu lepšího odvodu tepla. Výkonový stupeň je velmi tepelně namáhán.

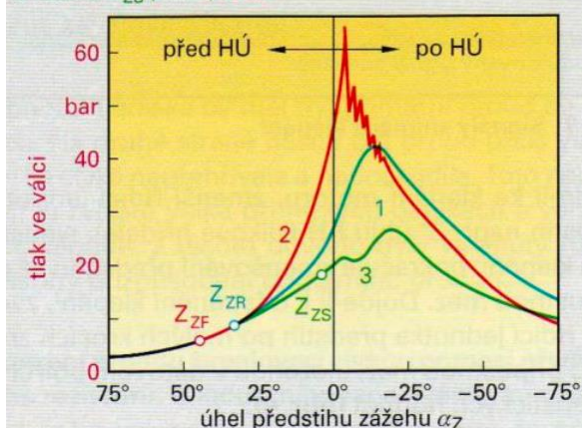


Zapalování se snímači

Řízení okamžiku zážehu

Předstih zážehu je nutné řídit tak, aby spalovací tlak byl maximální v okamžiku svírání pravého úhlu ojnice s ramenem klikového hřídele. Motor má v tomto okamžiku maximální krouticí moment a tedy i maximální možný výkon při maximálním využití tepelné energie paliva. Proto mají moderní motory řízení předstihu zážehu na hranici klepání motoru.

- 1 zážeh Z_{ZR} ve správném okamžiku
- 2 zážeh Z_{ZF} příliš brzy (motor klepe)
- 3 zážeh Z_{ZS} příliš pozdě

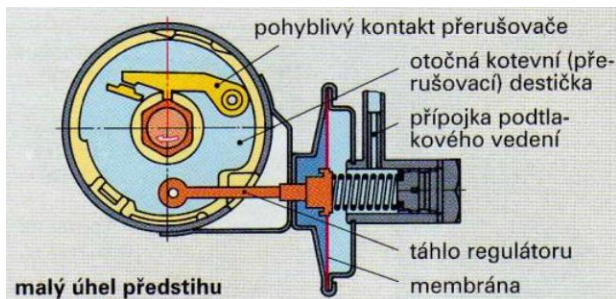


Vliv předstihu zážehu na tlak ve válci

Starší motory využívali k řízení předstihu zážehu mechanická zařízení jako odstředivou a podtlakovou regulaci předstihu. Nevýhodou je mechanické opotřebení systému a i jeho značná složitost.

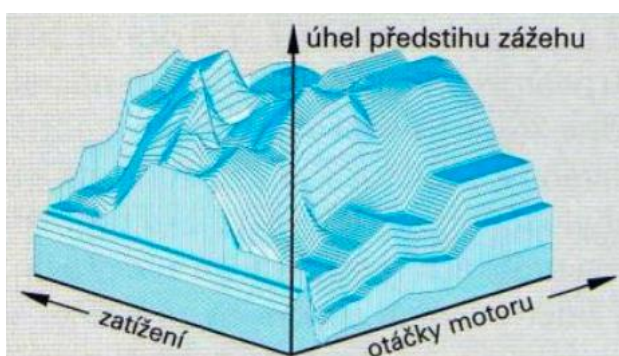


Odstředivý regulátor předstihu v rozdělovači



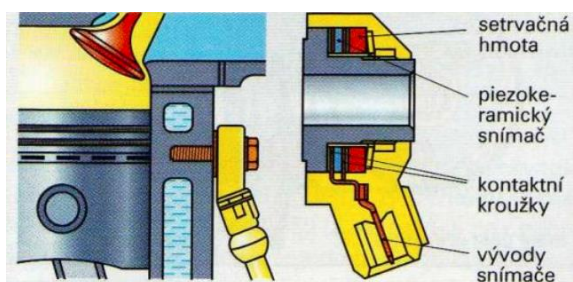
Podtlakový regulátor umístěný na tělese rozdělovače

Moderní motory využívají k řízení předstihu zážehu naprogramované řídicí pole uložené v ŘJ motoru. Je zde zohledněno zatížení motoru (dříve řešeno podtlakovou regulací) a otáčky motoru (dříve řešeno odstředivou regulací). Nejsou zde žádné mechanické prvky, a tudíž systém je téměř bezporuchový a velmi přesný.

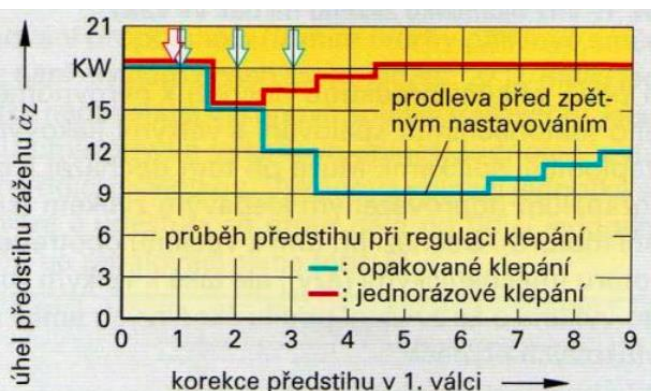
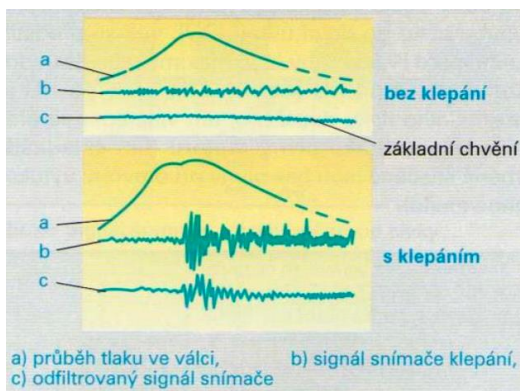


Řídicí datové pole předstihu zážehu

Jak bylo uvedeno, zapalování pracuje s předstihem zážehu na hranici klepání motoru a proto je nutné tuto hranici zjišťovat a upravovat předstih zážehu daným jízdním podmínkám a také použitému palivu. Předstih zážehu je za chodu motoru neustále upravován a proto není možné u takto řízeného předstihu provádět kontrolu pomocí stroboskopické lampy.

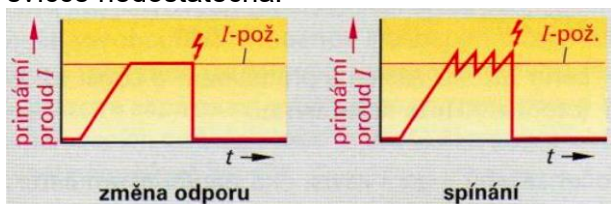


Snímač klepání na bloku motoru



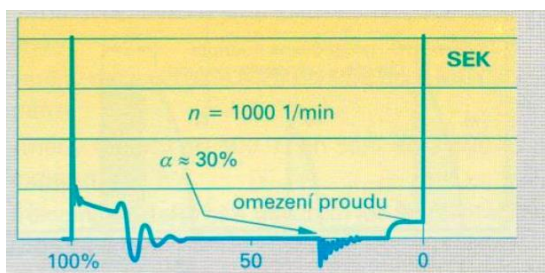
Prizpůsobení primárního proudu

Protože velikost primárního proudu přímo určuje rychlost vzniku magnetického pole cívky a následně tedy i množství energie uvolněné pro zapalovací jiskru je potřebné tento proud řídit. Při velkém proudu by hrozilo přehřívání cívky a při malém proudu by byla energie jiskry na svíčke nedostatečná.



Způsoby omezení primárního proudu

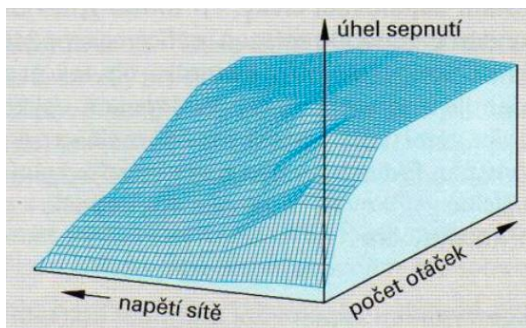
Proud bude řízen většinou v rozmezí 10 až 15 A. Nad tuto hranici dojde k omezení proudu.



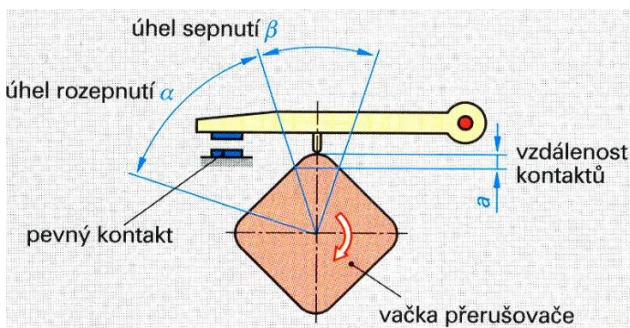
Oscilogram sekundárního napětí s omezením proudu

Řízení úhlu sepnutí

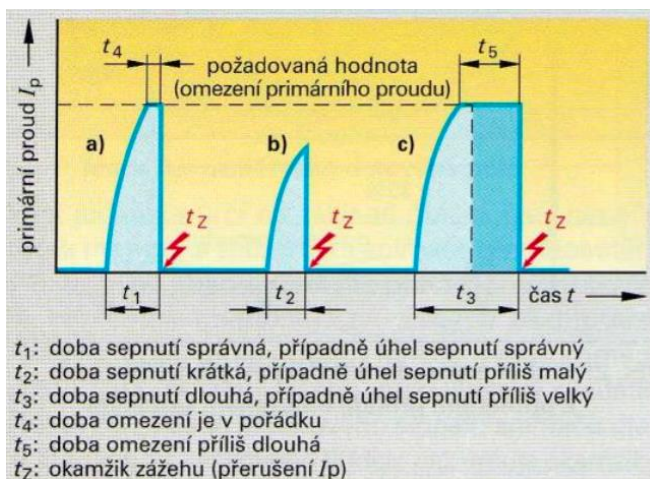
Úhel sepnutí je řízen v závislosti na otáčkách motoru a napětí akumulátoru. Úhel sepnutí se zvětšuje při nižším napětí akumulátoru a vyšších otáčkách motoru. Naopak při nízkých otáčkách a plném napětí akumulátoru bude úhel sepnutí menší. Zabráníme tím přehřívání zapalovacích cívek, ale budeme udržovat energii zapalovací jiskry na maximu.



Datové pole řízení úhlu sepnutí



Úhel sepnutí a rozeznutí u kontaktních systémů

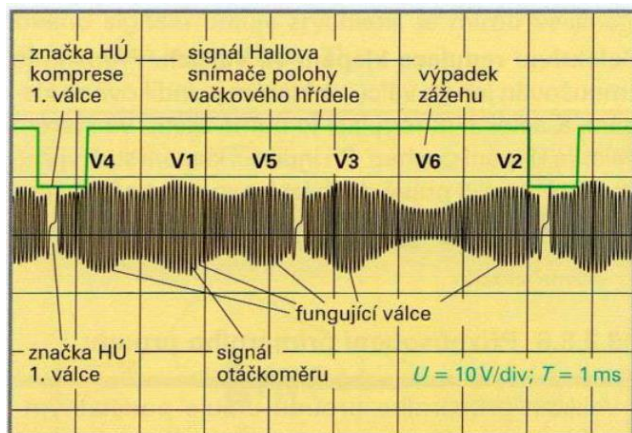


t_1 : doba sepnutí správná, případně úhel sepnutí správný
 t_2 : doba sepnutí krátká, případně úhel sepnutí příliš malý
 t_3 : doba sepnutí dlouhá, případně úhel sepnutí příliš velký
 t_4 : doba omezení je v pořádku
 t_5 : doba omezení příliš dlouhá
 t_7 : okamžik zážehu (přerušení I_p)

Znázornění změn úhlu sepnutí

Kontrola a detekce výpadků zapalování

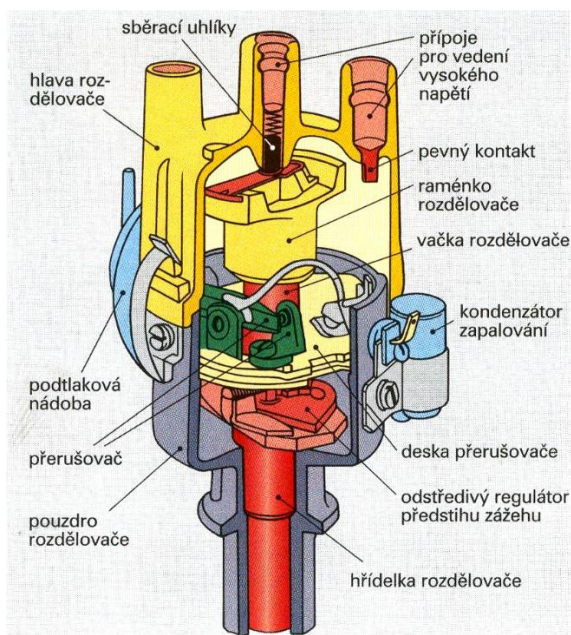
Detekce výpadků zapalování je předepsanou součástí OBD a EOBD systémů, protože výpadky zapalování mohou způsobit přehřívání katalyzátoru a následně jeho zničení.



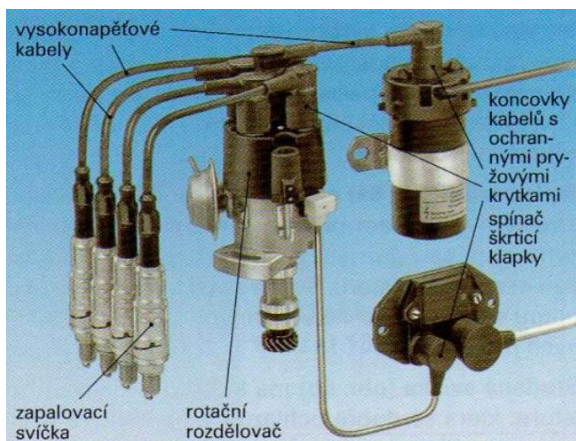
Snímání otáček a indikace výpadku 6. válce

Rozdělování vysokého napětí

Vyskytuje se u starších motorů s rozdělovačem. V současnosti jsou využívány samostatné cívky u jednotlivých válců.



Rozdělovač starších motorů



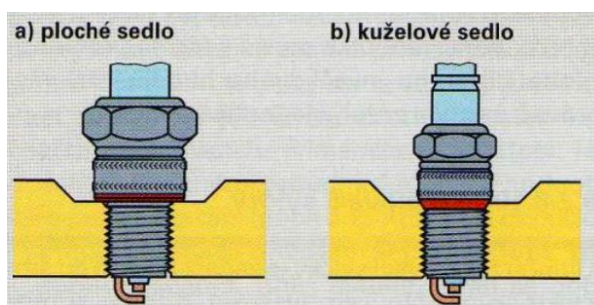
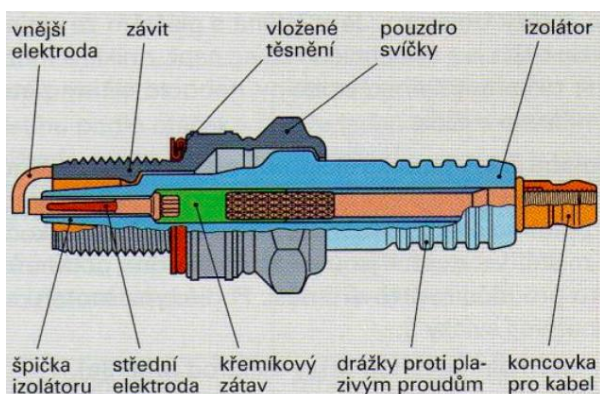
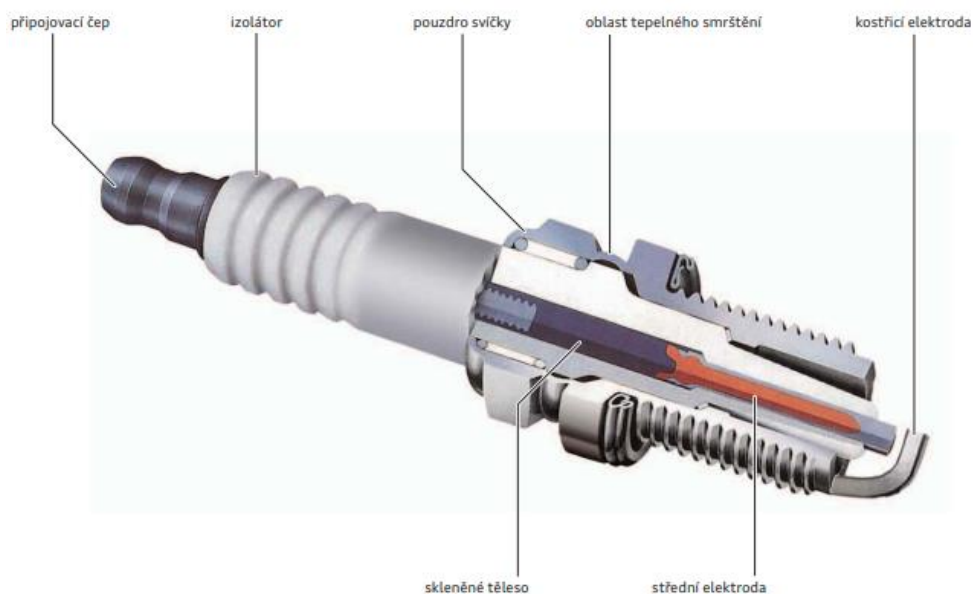
Zapalování s rozdělovačem - bezkontaktní

Zapalovací svíčky

Úkolem zapalovací svíčky je zapalovat směs paliva a vzduchu ve válci motoru elektrickým obloukem (jiskrou) na elektrodách zapalovací svíčky.

Požadavky na zapalovací svíčky:

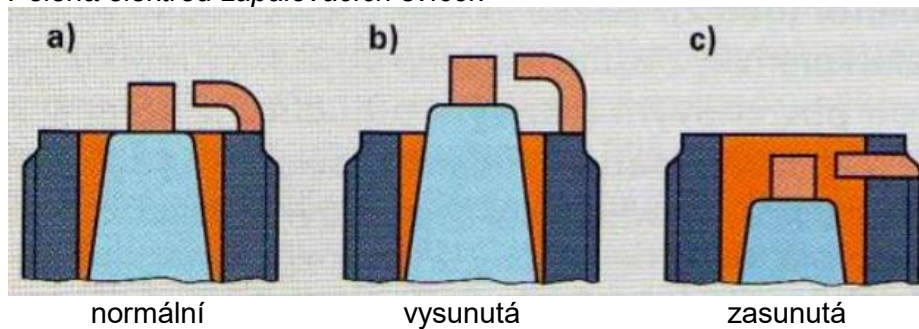
- odolávat změnám tlaku (od 0,09 MPa do 8 MPa)
- odolávat změnám teplot (od minusových hodnot při startu v zimě až po 2 500°C)
- odolávat frekvenci zážehů až 8 000/min při otáčkách až 16 000/min)
- odolávat napětí až 40 kV a proudu až 300 A
- odolávat chemickému působení paliv a spalín



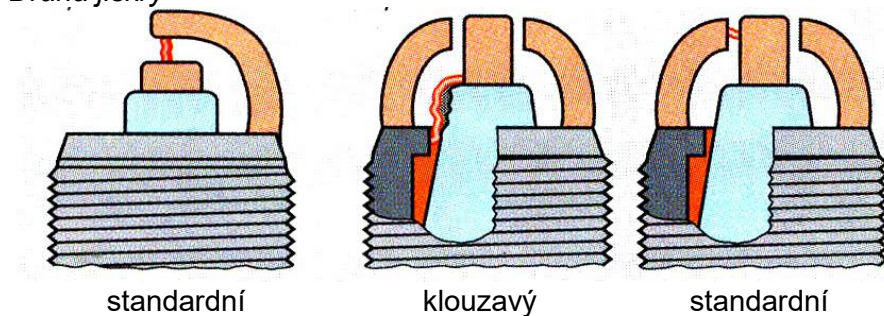
Příklady elektrod zapalovacích svíček



Poloha elektrod zapalovacích svíček

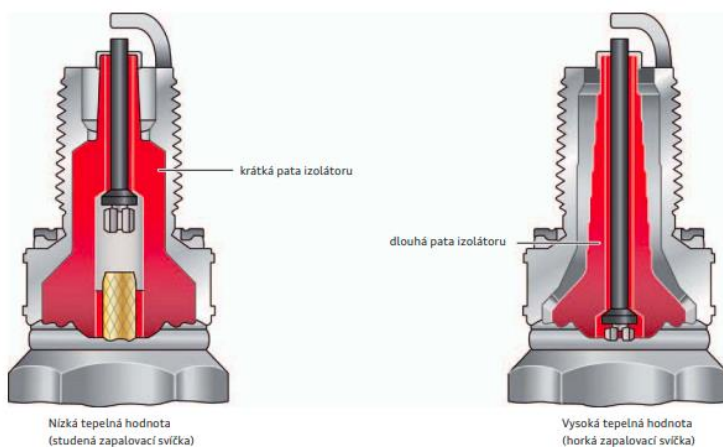
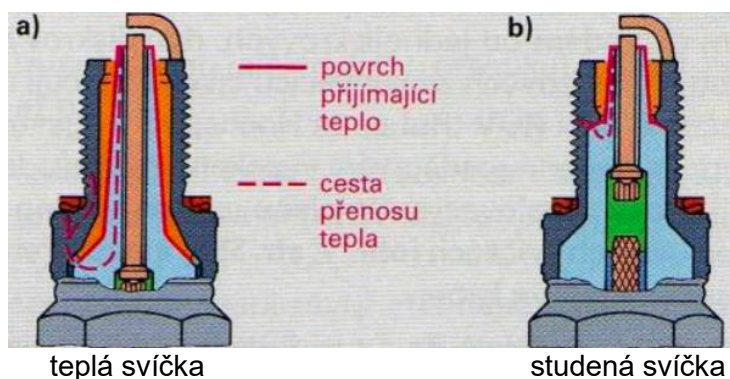


Dráha jiskry



Tepelná hodnota svíčky

Údaj charakterizující tepelnou zatížitelnost svíčky. Musí odpovídat předpisu výrobce motoru.



Teplá svíčka je vhodná do méně výkonných a namáhaných motorů.

Studená svíčka je vhodná do výkonných motorů s vysokým tepelným zatížením – lépe odvádí teplo.

Závady, opravy, diagnostika

BOZP

- za běhu motoru nesaháme na VN kabely
- manipulace s VN kabely při vypnutém zapalování
- před měřením komprese odpojit VN kabely, následně po měření kontrola paměti závad
- mytí motoru pouze při vypnutém zapalování
- práce s akumulátorem jen při vypnutém zapalování a použít externí zdroj
- čistota všech částí zapalování!
- poškozené díly vyměňujeme za nové!

Zapalovací svíčky

- výměna dle výrobce motoru (většinou 60 až 100 tis. km)
- nové svíčky musí odpovídat doporučené specifikaci výrobce motoru
- před demontáží svíček odstranit nečistoty – nejlépe vyfouknutím tlakovým vzduchem
- demontáž a montáž svíček pouze na studeném motoru!
- demontované svíčky kontrolujeme pohledem (foto závad níže) a neměníme jejich umístění na motoru (identifikace závad patřičného válce)
- vzdálenost elektrod měříme pomocí měrek a následně upravujeme podle předpisu výrobce motoru
- při montáži nesmíme používat mazací tuk (hrozí nebezpečí zapečení)
- při montáži nesmí být poškozen závit v hlavě, svíčku šroubujeme opatrně v ose závitu, aby nedošlo k poškození závitu
- svíčky utahujeme momentovým klíčem, případně dotahujeme na úhel (pozor u svíček s kuželovou dosedací plochou)

Dotahovací momenty pro zapalovací svíčky

závit		lehká slitina	šedá litina
ploché sedlo	M 10 1	10 až 15 Nm	10 až 15 Nm
	M 12 1,25	15 až 25 Nm	15 až 25 Nm
	M 14 1,25	20 až 40 Nm	20 až 30 Nm
	M 18 1,5	30 až 45 Nm	20 až 35 Nm
	nebo: od ukončení volného šroubování dotáhnout novou svíčku ještě o 90° dotáhnout použitou svíčku ještě o 30°		
kuželové sedlo	M 14 1,25	20 až 25 Nm	15 až 25 Nm
	M 18 1,5	20 až 30 Nm	15 až 23 Nm
	nebo: od ukončení volného šroubování dotáhnout ještě o 15°		
Upozornění: Je nutné dodržovat pokyny výrobce.			

Vzhled zapalovacích svíček a možné příčiny závad

normální	zakarbonovaná	zaolejovaná	natavená střední elektroda	zmenšená vnější elektroda
				
izolátor je čistý bílý nebo světle šedý nebo světle žlutý	příčiny: příliš bohatá směs, převaha studeného provozu	příčiny: vysoká hladina oleje, vadné pístní kroužky, vadné vedení ventilů	příčiny: tepelné poškození při samozápalech	příčiny: tepelné poškození např. při detonačním spalování (klepání)

Možné příčiny závad podle chování motoru

Možná příčina závady														
	nastavení předstihu	pořadí zapalování	zapalovací svíčka	vn-kabel	krytka rozdělovače	raménko rozdělovače	rozdělovač	zapalovací cívka	snímač zapalování	vodiče a konektory	spínací skříňka	snímač otáček motoru	snímač horní úvratí	snímač klepání
Závada														
motor se nerozeběhne (nenaskočí)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
motor se po nastartování zastaví	•							•		•	•			•
motor se nerozběhne je-li horký			•	•				•		•	•			
motor se nerozběhne, je-li zahřátý			•	•				•		•	•			•
motor se nerozběhne, je-li studený			•	•				•		•	•			
motor se špatně rozbíhá, je-li studený			•	•				•		•	•			•
motor se zastavuje, když je zahřátý			•	•				•		•	•			•
motor má pozdní zápaly	•		•	•										
motor klepe	•		•										•	
motor se nadměrně zahřívá	•													
motor má nepravidelný volnoběh	•		•	•	•	•	•	•		•	•	•		•
motor má nadměrnou spotřebu	•		•										•	•

Příklady oscilogramů a možné závady

1 výstup z rozdělovače	1 výstup z rozdělovače	1 výstup z rozdělovače
Zapalování: tranzistorové TZ Závada: velké deformace průběhu zapalovacího napětí, např. přerušený kontakt na víčku rozdělovače	Zapalování: tranzistorové TZ Závada: velké deformace průběhu zapalovacího napětí, např. přerušený kontakt na víčku rozdělovače	Zapalování: tranzistorové TZ Závada: velké deformace průběhu zapalovacího napětí, např. přerušený kontakt na víčku rozdělovače
přepínání 6 výstupů	2x 60° 48° 36° 24° 12° 0°	přepínání 6 výstupů
Zapalování: VZ s jednojiskrovými cívkami Závada: zvýšené zapalovací napětí na válci 3, např. kvůli větší vzdálenosti elektrod	Zapalování: VZ s jednojiskrovými cívkami Závada: prodleva zápalu na válci 2, např. kvůli poškozeným elektrodám svíčky	Zapalování: VZ s jednojiskrovými cívkami Závada: snížená zapalovací napětí na válci 5, např. kvůli malé kompresi