

Motorteknik

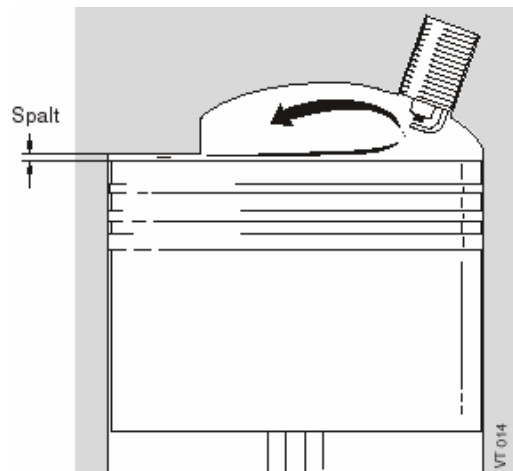
Luft- bränsleblandningen

En optimal luft- bränsleblandning består av 14,60 viktdeklar luft och 1 viktdeklar bränsle. Den ger minst antal restprodukter i form av emissioner. Blandningen kallas en stökiometrisk bränsleblandning och har värdet (lambda) $\lambda = 1$. En motor utvecklar mest effekt vid en något fetare bränsleblandning (13,2 till 1) men ger då mer föroreningar.

Virvelbildningen

En stökiometrisk bränsleblandning brinner med en laminär hastighet på 0,34 m/s. Om det var den utbredningshastigheten i ett förbränningsrum så skulle det högsta varvtalet motorn kunde uppnå bara bli några hundratal varv per minut. Att en motor kan gå på varvtal som är 100 gånger högre beror på virvelbildningen i förbränningsrummet.

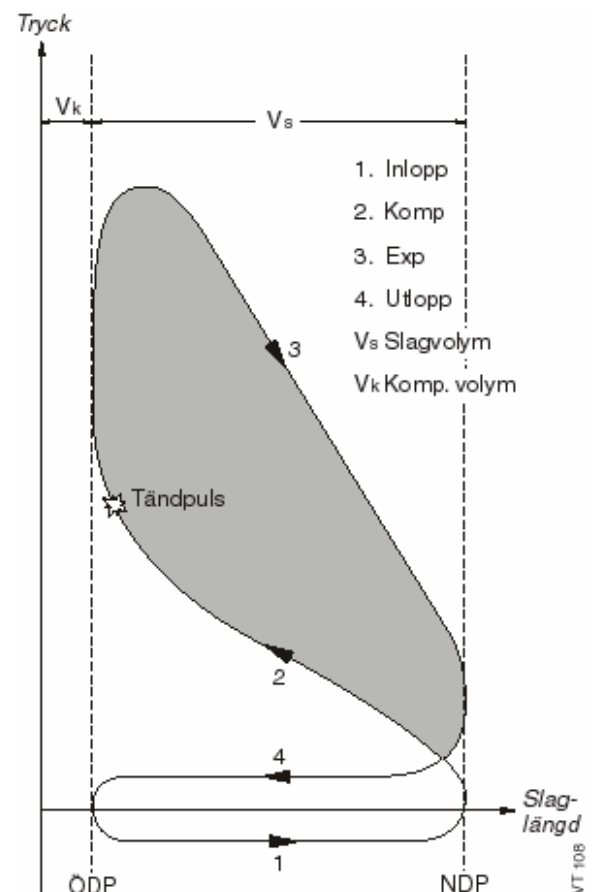
I förbränningsrummet skapas virvlarna under insugningstakten av spalten mellan insugningsventilen och ventilsetet. Under kompressionstakten ökas virvelbildningen ytterligare genom den eller de spalter (eng. squish) på 0,5 till 1 mm som bildas mellan kolven och förbränningsrummets tak då kolven är i övre läget i kompressionstakten



Förbränningen

Under expansionstakten utvecklas all den energi som får motorn att rotera. Under kompressionen sker den första tryckhöjningen av bränsleblandningen. Nästa steg sker då gnistan antänder bränsleblandningen. Temperaturökningen i förbränningsrummet gör att gasen som bildas vid förbränningen och som består av kväve, vatten och koldioxid utvidgas och höjer gastrycket. Gaser har mycket stor utvidgnings-koefficient och fördubblar sin volym i steg om 273°C. Den upphettade gasen har ingen plats att utvidga sig på utan ger en tryckökning som pressar kolven neråt. Tryckökning genom värme är det som är drivkraften i motorn. Temperaturen vid förbränningen är 2000 till 2500 °C.

Trycket i motorn under de fyra takterna framgår av indikatorgrammet till höger. Den inneslutna ytan är motorns indikerade medeltryck och ett mått på motorns effekt.

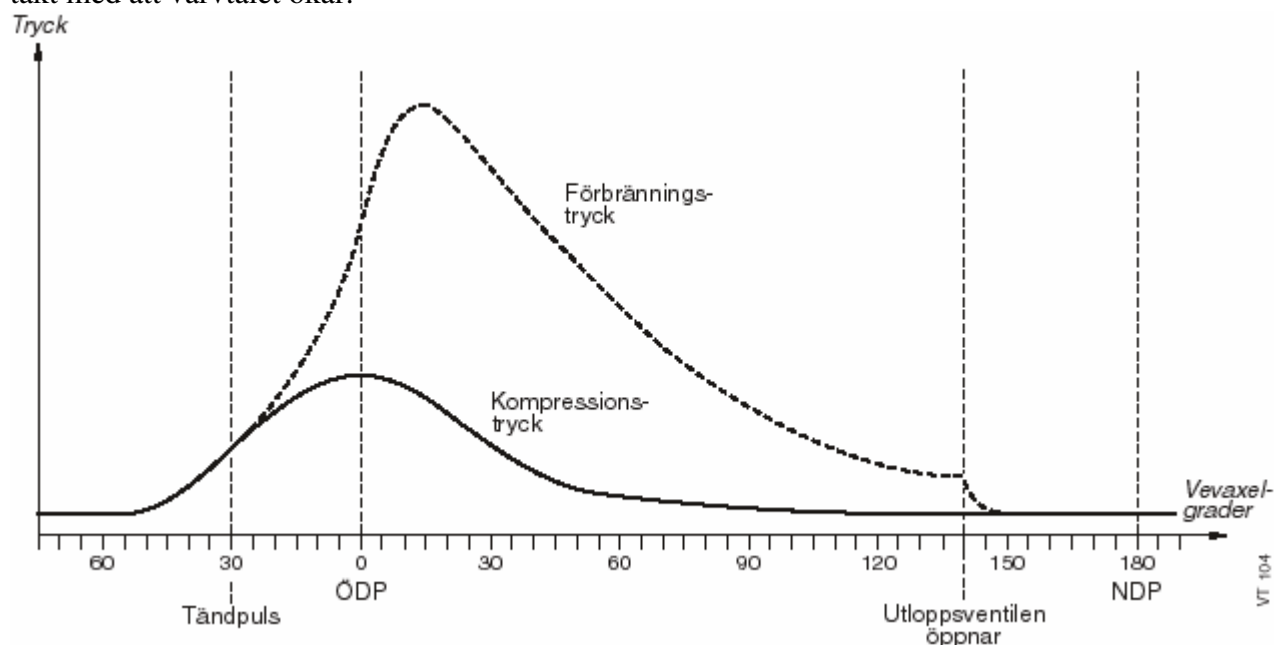


Tändningsteknik

Tändsystemets uppgift är att antända bränsleblandningen i förbränningsrummet vid en bestämd tidpunkt i förhållande till motorns varvtal och belastning.

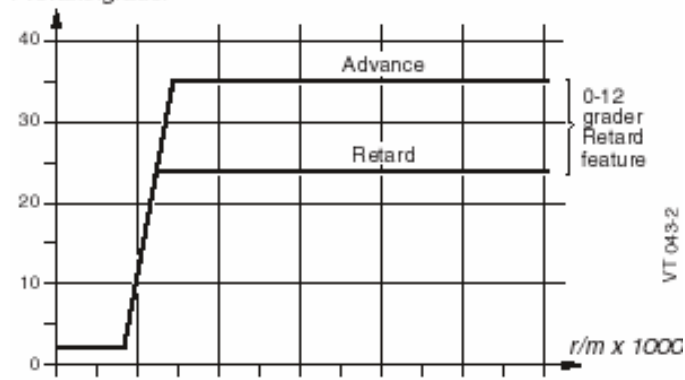
Tändkurvor

För bästa effekt ska den antända bränsleblandningens värme utveckla sitt högsta tryck i cylindern 17 - 20 vevaxelgrader efter övre död punkten, ÖDP i expansionstakten. Tiden från det att bränsleblandningen antänds till det att förbränningen fullbordats är ca 2 ms (2/1000 sekunder). Då tiden i stort sett är konstant över varvtalsområdet så måste tändförställningen öka i takt med att varvtalet ökar.



Vid start drar startmotor runt motorn med ca 300 r/min. Starttändläget är då 5-15 vevaxelgrader före övre död punkt. När motorn startar och går på tomgång med 800 till 1200 r/min så måste tändningen öka till 25-20 grader. När motorn sedan går upp i varv måste förtändningen öka upp till 30-34 grader. Den bränsleblandning som kommer in i motorn vid exempelvis halvt gaspådrag är mager, brinner sakta och kräver en stor förtändning. Trycks gaspedalen i botten får motorn en fet bränsleblandning som brinner snabbare än den magra blandningen. Då måste tändningen sänkas. Vid hög belastning sänks – retarderas – hela tändkurvan för att undvika att motorn spikar. Undertrycket i insuget ger ett bra mått på motorns belastning. Låg belastning ger ett stort undertryck och hög belastning ett lågt undertryck. Spikning är en oönskad självantändning av bränsleblandningen som allvarligt kan skada motorn.

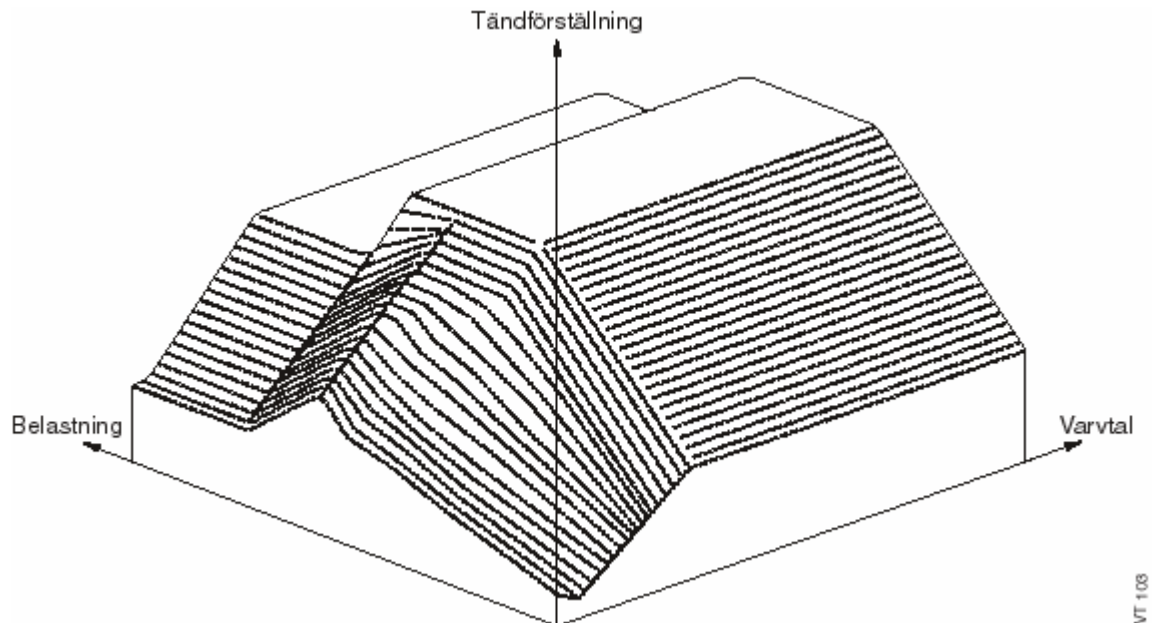
Tändförställning i vevaxelgrader



En tändkurva utformas för hög effekt, bra bränsleekonomi, låga avgasutsläpp och för att undvika att motorn spikar. Tändkurvorna ser olika ut för olika motorer beroende på cylinderns storlek och utformning, tändstiftens antal och placering och virvelbildningen i förbränningsrummet. Gemensamt för alla tändkurvor är att de är anpassade till motorns varvtal och belastning. Retard

betyder retardera, dvs att ställa tillbaka tändningen. Metoden används för att minska tändförställningen vid full gas och extremt hög belastning på motorn. Funktionen används vid dragracing. Retardering kan ske manuellt eller elektriskt och används på de två sista växeln där hastigheten är hög och luftmotståndet mycket stort.

Den första bilden visar en racetändkurva för en motorcykel. Nedanstående 3D-matris (Bosch) visar regleringen i ett tändsystem med en centrifugalregulator som känner av varvtalet och belastning reglerad av undertrycket i insugningsröret. En 3D-tändmatris för en modern motor med katalysator är betydligt mer komplicerad och ser ut som ett alplandskap.



Tändsystem

Magnettändsystem

Systemets fördelar är att det kan arbeta utan batteri och att det ger en mycket lång och kraftig gnista. Det kan ha mekaniska eller elektroniska brytare. Systemet har en enkel konstruktion och finns i små motorer som motorsågar, gräsklippare och utombordare. Det används även i motorer med extremt hög kompression och som drivs med bensin eller metanol. Tändspänningen är svag vid låga varv men ökar snabbt och kan bli mycket hög. Spänningen är sedan nästan konstant över hela varvtalsområdet. Systemets nackdelar är dels att det krävs ett relativt högt startvarv innan en tillräcklig gnista uppstår och dels att systemet störmivå är hög.

Tändspänning	40 kV
Tändpulsens längd	ca 25 vevaxelgrader
Energi	över 300 mJ i ett racing system

MI – Magnetic ignition

Induktiva system med mekaniska brytare CI – Coil ignition

System med mekaniska brytare har använts i bil och mc-motorer från början av sekelskiftet fram till 60-talet. Systemets nackdel är att tändspolens primärström på ca 4 till 5 A flyter genom brytarkontakterna då de bryter strömmen. Den höga strömmen gör att brytarkontakterna slits hårt. Det finns även system med mekaniska brytare som har ett transistorsteg för att avlasta brytarna. De mekaniska brytarna har nu helt ersatts av halvledarbrytare.

Tändspänning	15 - 20 kV
Tändpulsens längd	1-2 ms
Energi	30 - 50 mJ

Induktiva system med halvledarbrytare TI – Transistorized ignition

System med halvledarbrytare är i dag vanligt förekommande. Som tändlägesgivare används elektroniska givare som halleffekt eller induktiva givare. Systemen kan variera från enkla system till mycket avancerade mikro datorstyrda system.

Nackdelen med de induktiva tändsystemen är dels den låga primärspänningen (12 V) och dels den tröghet genom självinduktion som uppstår i tändspolens järnkärna. Sekundärspänningen minskar efterhand som varvtalet ökar. Standardspolar fungerar bra upp till ca 7000 r/min.

Tändspänning	20 - 35 kV
Tändpulsens längd	1-2 ms
Energi	30 – 50 mJ

Kapacitiva system med halvledarbrytare CDI – Capacitor discharge ignition

Systemet bygger på en kondensators urladdning. Primärspänningen till tändspolen är 300 till 500 V. Tändspolen kan då ha en konstruktion med betydligt mindre järn och klarar då tre gånger så höga varvtal som en konventionell tändspole. Ett kapacitivt system ger en energirik men mycket kort tändpuls.

Tändspänning	40 kV		
Tändpulsens grundlängd	0,1 ms	Modifierat system	1-2 mS
Energi	50 -100 mJ		

Den korta gnistan kan ha svårigheter att tända mycket magra luft- bränsleblandningar. För en bra funktion låter vissa tillverkare tändpulsens på låga varv bestå av en skur av gnistor, andra tillverkare förlänger gnistans längd i drivsteget.

Tändpulsens längd relativt varvtalet

Om man relaterar tändpulsens längd i tid till motorvarvtalet så hinner vevaxeln vrida sig ett antal vevaxelgrader under tiden som tändpulsens brinner. För en effektiv förbränning måste tändpulsens leverera hela sitt energiinnehåll inom en vevaxelvinkel på ca 28 grader.

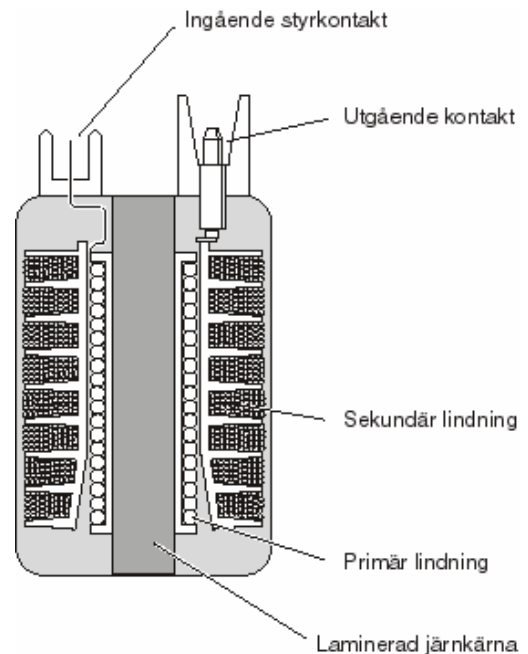
r/min	Vevaxelg. vid 0,1 ms	Vevaxelg. vid 1 ms	Vevaxelg. vid 2 ms
100	0,06	0,6	1,2
1000	0,6	6	12
5000	3	30	60
10000	6	60	120
20000	12	120	240

Ett CDI system med en tändpuls på 0,1 ms klarar lätt att leverera hela sitt energiinnehåll vid 20000 r/min. Ett system med en tändpuls på 2 ms levererar redan vid 5000 r/min mer än halva sin energimängd utanför det användbara området Och vid 10000 r/min hamnar 75 % av 2 ms energin utanför området. För att vara helt säker på att tändpulsens energi ska räcka till för att

tända bränsleblandningen inom 28 vevaxelgrader så är det vanligt att tändsystemen kraftigt överdimensioneras. För att underlätta kallstart och tomgång så kan vissa ”smarta” tändsystem gr en skur av tändgnistor (eng. multis park).

Tändspolar

En tändspole är en transformator. Primärsidan består av ett mindre antal lindningar med tjock tråd. Sekundärsidan består av ett större antal lindningar med tunn tråd. Lindningarna ligger runt en järnkärna som består av ett antal tunna plåtar som är isolerade från varandra, s k laminerad järnkärna. Isoleringen mellan plåtarna är till för att minska förlusterna i kärnan. Funktionen är att strömmen som flyter genom primärlindningen bryts. Avbrottet genererar en förändring av magnetfältet i spolen och en spänning induceras i sekundärlindningen. Energin byggs upp i tändspolen i form av magnetism. Spänningen på sekundärsidan kan bli ca 25-30 kilovolt. Sekundärspänningen sjunker med varvtal då tiden för uppbyggnad av magnetfältet minskar i takt med att brytarna sluter en kortare tid.



I enkla tändsystem använder en (1) tändspole och högspänningen skickas ut till tändstiften genom en roterande fördelare. En annan variant är att ha en tändspole till två tändstift (waste-spark) eller i bättre system en tändspole till varje tändstift. För att inte en gnista ska uppstå över brytarspetsarna så är en kondensator kopplad parallellt med brytarna. Kondensatorn kortsluter spänningen som induceras i primärkretsen då brytarna öppnar och fungerar som en gnistsläckare. I transistorstyrda system används en diod som gnistsläckare.

En tändspole för ett system med mekaniska brytare kan ha följande data:

Primärsidan

Resistans 3,4 ohm

Primärström

Ca 4 A

Sekundärsidan

Resistans 9,2 kohm

En tändspole för ett transistorsystem (darlingtondrivsteg) kan ha följande data:

Primärsidan

Resistans 1,5 ohm

Primärström

Över 7,5 A

Sekundärsidan

Resistans 15,5 kohm

Spolar för högre varvtal har grövre tråd och mindre varv i primärkretsen, men kräver då brytare eller drivsteg som klarar den högre primärströmmen. En tändspole för ett CDI-system är uppbyggd runt en ferritkärna och har betydligt lägre resistans och induktansvärden än en tändspole uppbyggd på en järnkärna.

En tändspole för ett CDI-system (tyristordrivsteg) kan ha följande data:

Primärsidan

Sekundärsidan

Resistans 0,1 ohm

Resistans 700 ohm

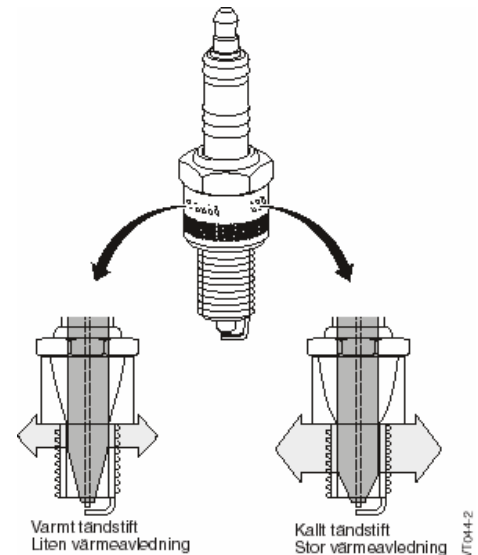
Primärström

Storleken mA

Att koppla en tändspole avsedd för mekaniska brytare eller ett transistorsystem till ett CDI-system kan ge överhettning och överslag i tändspolens sekundärlindning. Resultatet kan bli kortslutna lindningsvarv och sporadiskt utebliven tändgnista. En tändstörning som är mycket svår att diagnostisera. Använd alltid en tändspole som är avsedd för det tändsystem som du har!

Tändstift

Tändstiftets uppgift är att omvandla den elektriska tändpulsens till en gnista. Då gapet mellan mittelektroden och sidoelektroden är ca 0,7 - 1 mm krävs det minst 1000 V för att ett överslag ska ske. Tändstiftet utsätts för höga spänningar, höga temperaturer, höga tryck och frätande ämnen. Man skiljer på varma och kalla tändstift. Ett kallt stift har stor kontaktyta mellan isolatorn och stiftets yttre del och avleder värme bra. Ett varmt stift har tvärtom och avleder värme dåligt. För bra funktion ska stiftet vara så varmt att det bränner bort de sotpartiklar som bildas på stiftet men inte så varmt att elektroderna börjar smälta. För att förhindra störningar har alla moderna tändstift ett inbyggt motstånd till mittelektroden. Kallas resistorstift.

**Tändgnistan**

Spänningspulsens skapar tändgnistan. Gnistan bildar en joniserad gaskanal som snabbt expanderar till ett ca 2 mm stort klot. Gnistan har tre olika faser. Det första är överslaget då gnistan bildas (gnisthuvudet). Den andra delen är då ljusbågen vidmakthålls (gnistsvansen) och den tredje är utsläckningen. Överslaget som sker på mindre än 0,1 ms sker vid ca 15 kV. Vidmakthållandefasen är ca 1,5 ms lång och spänningen ligger då på ca 3 kV. Totalt är gnisttiden ca 1,5-2,0 ms. Antändningen av bränsleblandningen kan ske i båda faserna. Energimängden som krävs för att tända en stökiometrisk bränsleblandning är ca 0,2 mJ (10-15 kV). En magrare eller fetare blandning kräver ca 3 mJ (20-30 kV). Orsaken till att tändsystemet leverera 15 till 30 gånger högre energi än vad som behövs är en överdimensionering för att klara kallstart med fet blandning, elektrisk avledning genom fukt, låg batterispänning, smutsiga tändstift, dåliga elektriska kontakter etc. Det är också viktigt att tändspolen kan lämna så mycket energi att gnistan inte släcks av virvelbildningen i förbränningsrummet.

Tändkablar

En tändkabel leder högspänningen från tändspolen till tändstiftet. Kabeln är en enkelledare med kraftig isolering för att hindra överslag. Isoleringen klarar också höga temperaturer. Inerledaren var i äldre system av koppar och hade ett mycket lågt ledningsmotstånd. För att förhindra att elektromagnetisk strålning från tändkablarna stör elektroniksystemen i fordonet har alla moderna tändkablar ett motståndsvärde. Från 100 ohm till flera kiloohm per ledningsmeter. Effektförlusterna som motståndet i tändkablarna ger är försumbara relativt en ledare av koppar.