

汽车电子技术与应用

QICHE
DIANZIGISHUYU
YINGYONG

汽车 电子技术与应用

董辉 编



北京理工大学出版社

汽车电子技术与应用

QICHE
DIANZIGISHUYU
YINGYONG

汽车电子技术与应用

董 辉 编

北京理工大学出版社

内 容 简 介

本书以应用电子技术的汽车电气设备为中心,以提高读者掌握汽车电气新知识为目的,对汽车电气设备中的点火系统、充电系统及起动系统作了全面介绍。重点讲述了以上三个系统的种类、结构特点和工作原理等,内容丰富,注重实用,图文并茂,通俗易懂。

本书是汽车技术人员、汽车技工学校师生的重要参考书,是汽车工程技术人员的必备资料,也可供大中专院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电子技术与应用/董辉编. —北京:北京理工大学出版社,1998. 6

ISBN 7-81045-387-4

I. 汽… II. 董… III. 汽车—电子技术 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 08859

责任印制:李绍英 责任校对:陈玉梅

北京理工大学出版社出版发行
(北京市海淀区白石桥路 7 号)
(邮政编码 100081) 电话 (010)68912824
各地新华书店经售
北京房山先锋印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 15.5 印张 376 千字
1998 年 6 月第 1 版 1998 年 6 月第 1 次印刷
印数:1-4000 册 定价:21.50 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

目 录

第一章 点火系统

一、点火装置的种类	(1)
1. 触点式点火装置	(1)
2. 晶体管式点火装置	(1)
3. 电容放电式点火装置(CDI)	(3)
4. 晶体管式磁电机点火装置	(4)
二、触点式点火装置和全晶体管点火装置的特点	(4)
1. 触点式点火装置的特点	(4)
2. 全晶体管式点火装置的特点	(6)
三、全晶体管点火装置	(8)
1. 信号发生器	(8)
2. 点火线圈初级电流通断的工作原理	(11)
3. 短路电流的锁止电路	(15)
4. 闭合角的控制	(16)
5. 点火线圈的恒定电流控制	(20)
6. 全晶体管点火装置的放大电路	(29)
7. 点火提前角装置	(36)
8. 点火线圈	(44)
9. 简易启动电路	(60)
10. 高压电的分电装置	(62)
四、火花塞	(67)
1. 对火花塞性能的要求	(68)
2. 火花塞的结构	(69)
3. 各因素对点火电压的影响	(70)
4. 火花塞的热值	(75)
5. 火花塞的点火性能	(77)
6. 火花塞的积炭	(81)
7. 电阻型火花塞	(83)
五、无分电器的点火装置(DLI 系统)	(84)
六、爆震控制系统	(90)
1. 点火时间的传统控制方法	(90)
2. 利用爆震限制器控制点火时间	(91)

第二章 电源系统与起动系统

一、交流发电机的概述与结构	(98)
1. 转子	(99)

2. 交流发电机的定子总成	(101)
3. 二极管	(104)
二、单相交流电与三相交流电	(112)
1. 电动势的产生	(112)
2. 交流发电机	(114)
3. 三相交流发电机	(117)
4. 交流电的整流	(121)
5. 激磁与电动势的大小	(123)
三、交流发电机的输出电流	(124)
四、交流发电机是反转的电动机	(125)
1. 电动机的反电动势(电动机是发电机)	(125)
2. 电动机反转的原因	(127)
五、交流发电机是发热装置	(129)
1. 电功与热	(129)
2. 铜损引起的发热	(130)
3. 二极管引起的发热	(131)
4. 磁滞损耗引起的发热	(131)
5. 涡流损耗引起的发热	(132)
6. 机械损耗引起的发热	(134)
六、交流发电机发热的对策	(134)
七、中性点二极管	(137)
1. 中性点电压	(138)
2. 中性点电压形成的输出电流	(139)
八、N 端的电压与二极管的损坏	(141)
1. 所有二极管都正常时	(141)
2. 正极侧有 1 个二极管开路时	(143)
3. 负极侧有 1 个二极管开路时	(144)
4. 正极侧有 1 个二极管短路时	(145)
5. 负极侧有 1 个二极管短路时	(146)
九、用 3 个二极管激磁的交流发电机	(148)
十、交流发电机的行车输出功率与容量	(150)
1. 交流发电机的实际有效输出功率	(150)
2. 怠速时的输出电流	(151)
3. 确定交流发电机容量的大致目标	(152)
十一、电磁噪声	(152)
十二、调节器的调压原理	(153)
十三、电磁振动式调节器	(154)
1. 交流发电机低速时的调节作用	(155)
2. 交流发电机高速时的调节作用	(156)
3. 低速与高速调节电压的变化	(159)
4. 振动式调节器的电压调节	(166)
5. 充电指示灯继电器	(168)

十四、集成电路调节器	(169)
1. 集成电路调节器的特点	(169)
2. 集成电路调节器的工作原理	(171)
3. 集成电路调节器的温度特性	(176)
4. 具有双重检测电路的集成电路调节器	(177)
5. 装用单片式集成电路的调节器	(178)
6. 温度特性和调节电压可分别调整的调节器	(181)
十五、蓄电池	(183)
1. 电化学反应	(184)
2. 用两种金属产生电动势	(188)
3. 极化作用	(189)
4. 铅蓄电池电动势的产生原理	(190)
5. 免维护蓄电池的工作原理	(193)
6. 硫酸盐化与蓄电池的寿命	(194)
7. 铅蓄电池的结构	(196)
8. 铅蓄电池的容量	(197)
9. 放电过程中电解液密度的变化	(198)
10. 电解液温度和密度的关系	(199)
11. 蓄电池的液位调整和密度调整	(200)
12. 蓄电池的放电与其内阻的变化	(201)
13. 蓄电池的内阻和端电压	(202)
14. 低温启动特性	(204)
15. 蓄电池的耐久性试验	(205)
16. 蓄电池的规格及外形尺寸	(205)
17. 铅蓄电池的充电特性	(208)
18. 铅蓄电池的自放电	(210)
19. 蓄电池的维护与使用注意事项	(212)
十六、起动机	(213)
1. 起动机概述	(213)
2. 直流电动机的工作原理	(218)
3. 起动机的工作特性	(224)
4. 起动机的结构与工作原理	(227)

第一章 点火系统

一、点火装置的种类

汽车用发动机分为柴油发动机和汽油发动机两种。柴油发动机是利用气体被压缩时所产生的热量自身点火的；而汽油发动机一般是用高压电点火法，使汽缸内的混合气跳火，再着火燃烧的。按点火装置电源的不同，高压电点火法可分为蓄电池点火和磁电机点火两种类型，如图 1 所示。

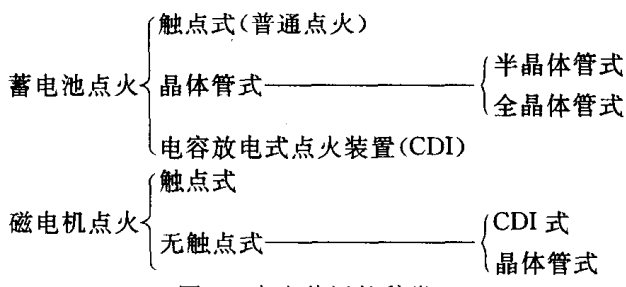


图 1 点火装置的种类

此外，按产生高压时点火线圈初级电流通断方法的不同，又可分为触点式(普通点火方式)、半晶体管式、全晶体管式、电容放电式点火(CDI)等等。

1. 触点式点火装置

触点式点火装置的点火线圈的初级电流是靠机械方式来控制触点的开闭而通断的。

触点闭合时，初级线圈内有电流通过，在线圈中产生磁场，储存电磁能量，在触点断开瞬间，线圈将承受着已建立起的磁场将要消失这一变化，当然线圈本身就要产生感应电动势。电流将变为 0 时，磁场将变为 0，这种变化是在瞬间完成的，由于变化率很大，感应电动势也非常大。其理由是，以发电机为例，是在线圈的附近使磁铁旋转的，当在时间为 0 时移开磁铁，磁场为 0，这和使磁铁高速旋转时产生感应电压一样，也会产生很大的电动势。当点火线圈的初级绕组中有电流通过时就会形成磁场，当用触点断开电流时磁场将变为 0，初级绕组上就会产生较高的电动势(约 300 V)。

根据点火线圈的工作原理，初级线圈的电势以次级线圈匝数与初级线圈匝数之比(约 60 倍~100 倍)被升压，因而产生 25 000 V 左右的高压。触点式点火装置的基本电路如图 2 所示。

磁电机点火的基本原理与蓄电池点火基本相同(见图 3)，只是蓄电池点火是以蓄电池为电源，先对点火线圈的初级通以电流，然后切断。而磁电机点火则是通过其自身发电，使点火线圈的初级通过电流(交流)，当电流大量通过的瞬间，触点打开，产生高压。

2. 晶体管式点火装置

晶体管式点火装置是利用晶体管来通断点火线圈初级电流的。

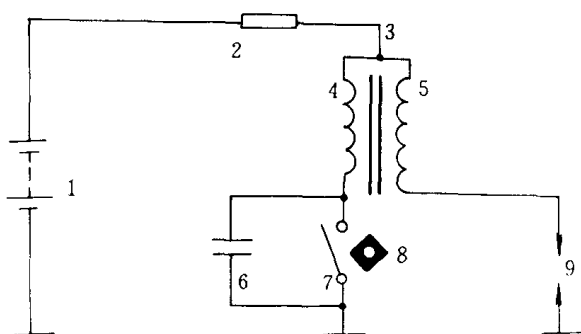


图2 触点式蓄电池点火的基本电路

1. 蓄电池; 2. 附加电阻; 3. 点火线圈; 4. 初级绕组;
5. 次级绕组; 6. 电容器; 7. 断电器; 8. 触点; 9. 火花塞

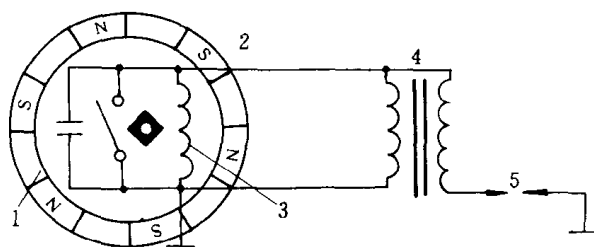


图3 触点式磁电机点火的基本电路图

1. 旋转磁铁; 2. 磁电机;
3. 发电线圈; 4. 点火线圈; 5. 火花塞

晶体管的符号如图4所示。晶体管有基极B、发射极E和集电极C 3个管脚。对NPN型晶体管来说,当从基极到发射极的输入信号形成基极电流时,从集电极到发射极就有电流通过,即有电流输出,这时,因集电极的电流约是基极电流的100倍(范围是30倍~400倍),也就是因为有放大作用,所以利用较小的信号电流——基极电流的通断,就可以控制较大输出的集电极电流的通断,这是利用小信号电流来发挥晶体管的开关作用。

晶体管式点火装置,就是利用晶体管的这种开关作用,来通、断点火线圈初级电流的。这时的问题就在于如何形成晶体管的输入信号及怎样输入到晶体管中去。其中一种办法是:传统分电器中的断电器保持不变,利用它产生晶体管的输入信号,由此形成晶体管的基极电流,这种点火方式就是半晶体管点火,也有的称为有触点晶体管点火。

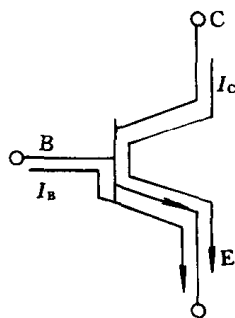


图4 晶体管的符号
与电流

- I_B —基极电流;
 I_C —集电极电流

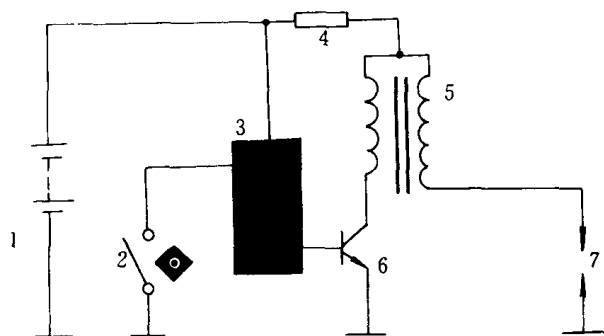


图5 有触点晶体管点火的基本电路

1. 蓄电池; 2. 断电器; 3. 放大器;
4. 附加电阻; 5. 点火线圈; 6. 晶体管; 7. 火花塞

也许有人认为,如果使用了触点,就没有必要再用晶体管,就用触点直接通断点火线圈的初级电流不是很好吗?其实不然。这是因为触点通断时会出现电弧,不易得到长期稳定的高电压。为了通断晶体管就需要产生使晶体管工作的信号,使用触点的目的仅在于此,有触点晶体管点火的基本电路如图5所示。

在有触点点火装置上,是用晶体管通断初级电流的,因为只是很小的基极电流通过触点,所以触点上不会产生火花,总是可以得到稳定的高压,而成本增加的又不多。但这种点火装置仍然使用着触点,这是由于触点而引起的故障(例如触点的污浊、断电器顶块的磨损)造成工作中点火时间的离散等还不能完全消除。

再一种形成晶体管输入信号的方法是利用分电器内特殊制做的发电机(信号发生器),使

其发出较弱的特殊波形交流电,作为晶体管的输入信号,使晶体管完成开关作用。这种方式不用机械式触点,是无触点式点火,一般称为全晶体管式点火。全晶体管点火的基本电路如图 6 所示。

在全晶体管点火装置上,要想使信号发生器发电,仅通过磁场使发电线圈和转子耦合在一起就可以了,根本没有机械接触部分,也不会产生由机械触点带来的故障,还有无需保养的优点。

3. 电容放电式点火装置(CDI)

CDI 是 Capacitor Discharge Ignition-system 的缩写,其含义是:电容放电式点火装置。CDI 要用 300 V~400 V 的交流电作为电源,以交流电中的半周向电容器充电,在下半周的适当时间内利用晶体闸流管(以下简称晶闸管),使已充电的电容器迅速向点火线圈的初级线圈放电,产生高电压,这就是电容放电点火。

因为蓄电池电源是直流,若采用 CDI 方式点火,则其电路图如图 7 所示,用振荡器把直流变为交流后,再用变压器把 12 V 的交流升压到 400 V 左右的交流。这种点火方式需要 400 V 左右的交流电源对电容器充电,产生这样的交流需要振荡器和变压器,所以价格昂贵。

与此相比,磁电机式 CDI 就非常简单了。其基本电路如图 8 所示。它不用直流蓄电池作电

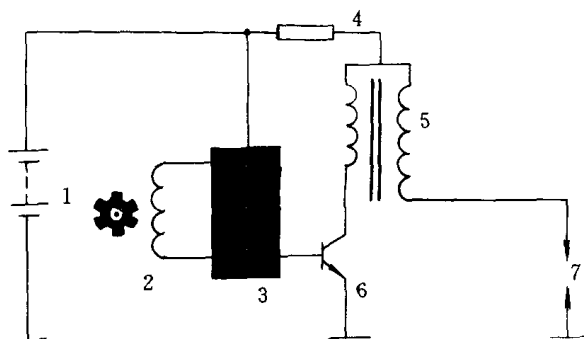


图 6 全晶体管点火的基本电路

1. 蓄电池;2. 信号发生器;3. 放大器;
4. 附加电阻;5. 点火线圈;6. 晶体管;7. 火花塞

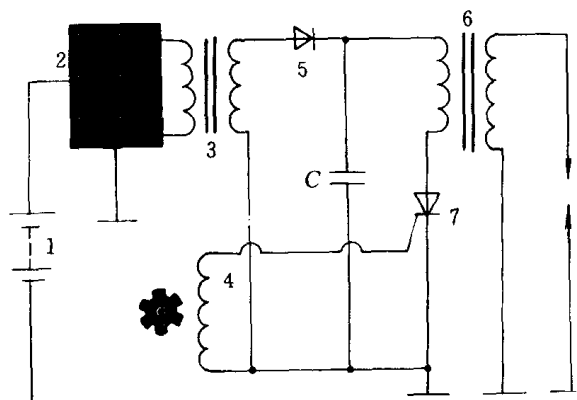


图 7 蓄电池电容放电式点火的基本电路

1. 蓄电池;2. 变换器;3. 变压器;4. 信号发生器;
5. 二极管;6. 点火线圈;7. 晶闸管;8. 火花塞

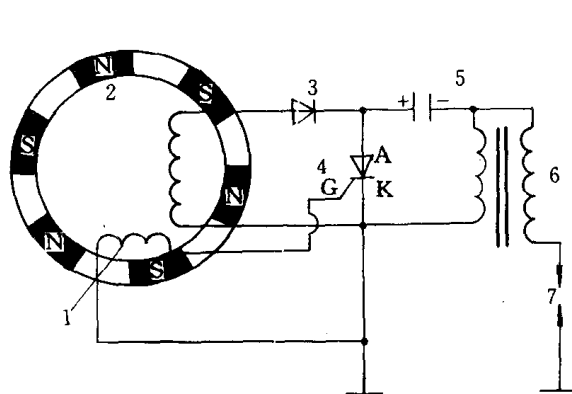


图 8 磁电机式 CDI 基本电路

1. 传感线圈;2. 旋转磁铁;3. 二极管;
4. 晶闸管;5. 电容器;6. 点火线圈;7. 火花塞

源,将磁电机产生的 300 V 左右交流电直接向电容器充电,在下一个交流波的半波期间将信号输入到晶闸管中,使已充电的电容器放电。这种磁电机式 CDI 的成本较低,它不采用机械式断电器,在磁电机内设有传感线圈,很方便地就能形成使晶闸管动作的点火正时信号(相当于信号发生器的信号),它作为一种无触点点火装置也不需要维护。对 CDI 来说,还可以列出下列优点:

①不会出现触点所造成的故障,维修保养简单;

②点火时期稳定,因为没有磨损,所以因长时间工作及转速变化引起的点火时期的离散范

围也小；

③即使火花塞污浊，其跳火性能也特别好。

但反过来看，它有下列缺点：点火时的火花持续时间短，所以对稀薄混合气的点火功能差些，为了克服这一缺点，人们又开发出了晶体管式磁电机点火。

4. 晶体管式磁电机点火装置

CDI 无触点磁电机目前已迅速发展，为克服 CDI 火花持续时间短的缺点，已采用晶体管式磁电机点火，这种方式与蓄电池点火相同，因为晶体管点火装置具有排气净化度高和火花持续时间长的优点，目前此方式已在部分发动机上使用，以后将会得到更大的发展。晶体管式磁电机点火的基本电路如图 9 所示。

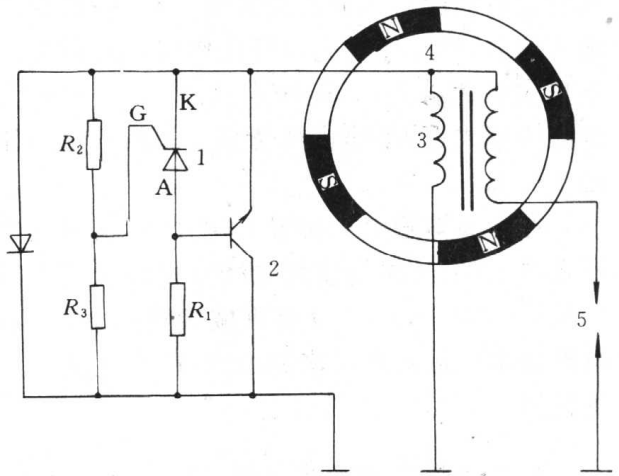


图 9 晶体管式磁电机点火的基本电路

1. 晶闸管；2. 晶体管；3. 点火线圈；

4. 旋转磁铁；5. 火花塞；

二、触点式点火装置和全晶体管点火装置的特点

1. 触点式点火装置的特点

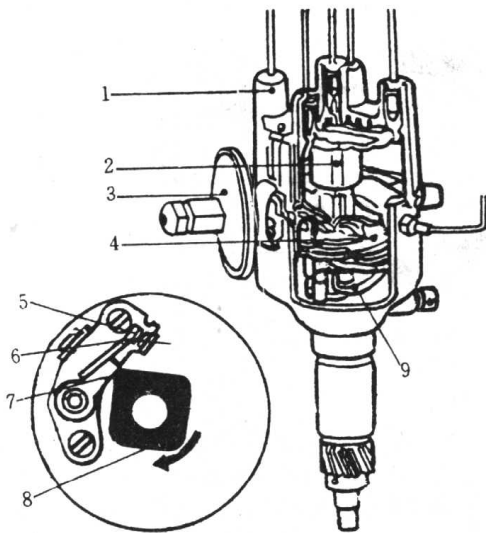


图 10 触点式点火装置上的分电器与断电器的结构

1. 分电器盖；2. 分火头；3. 真空提前装置；4. 断电器；5. 触点；6. 触点电弧；7. 顶块；8. 凸轮；9. 离心提前装置

触点式点火装置是用触点来接通、断开点火线圈的初级电流的，是长期以来一直采用的点火方式（见图 10）。

由于汽车的排气净化规定及节省燃料费用等原因，即使在价格方面较便宜的触点式点火装置也正逐渐被淘汰，而采用全晶体管式点火装置。

触点式点火装置有如下缺点：

①低速时（怠速或启动时）触点之间会产生电弧，不易得到稳定的二次电压（见图 11）。

②凸轮撞击般地把触点打开，引起凸轮轴位移，因此点火时间随转速变化。

③由于分电器断电臂的胶木顶块端部磨损，所以点火时间会随时间的推移而变化，且使触点间隙变小，需要维修。

上述缺点之中，触点电弧的问题最难理解，下面再稍加说明。

低速时的电弧是由以下原因产生的：点火线圈电流一经切断后，就会因其自感作用产生很

大的反电势，其方向为阻止电流变化的方向。断开时阻止电流为零，而按原来方向流动，如图 12 所示。

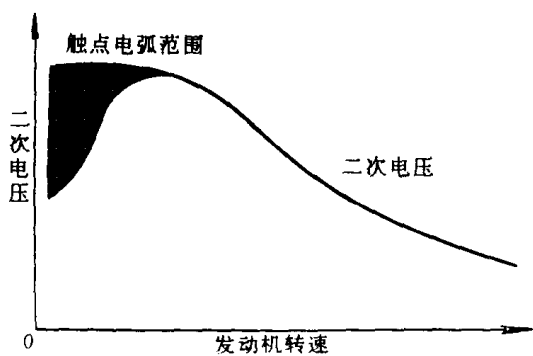


图 11 低速时触点之间会产生电弧

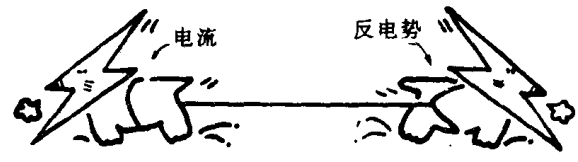


图 12 反电势方向为阻止电流变化的方向

假如切断电流所需时间为零，则该电流的变化率将是无穷大(∞)，即产生的电压也为无穷大。当产生很大电压时，即使触点动作很迅速，在触点间也会产生电弧(空气绝缘被破坏)，电流就不能立即切断，将持续通过，因此切断电流的时间不能为零。

举例来说，这和无法在 0 时间内使速度为 60 km/h 的汽车停止是一样的。从理论上讲，如果能在 0 时间里使车停止的话，汽车就会发出无限大的反抗力，无论多么坚固的墙壁都可以撞坏。实际上车被撞坏需要一段时间，不可能产生无限大的力。

切断点火线圈电流的时间只要缩短一点点，就会相应产生较高的电压，因此，如果仅用开关不能很快地断开电流的话，就要设法在短时间内尽快地切断电流。

目前大多采用触点与电容器并接的方法，该电容器称为灭弧电容器。此电容器的灭弧原理是：一旦线圈产生反电势，就会使旁路电流通过电容器，对电容器充电，在充电电压上升的时间内，触点迅速断开，触点断开时电容器充电电流的通过情况如图 13 所示。

由于电容器充电需要一定的时间，如果利用该充电时间能使触点迅速断开，也就不会有引起电弧的高电压(每 0.1 mm 为 200 V~300 V 以上)加到触点上。电容器的容量越大，充电所需的时间就越长，故使用大容量的电容器，即使触点动作缓慢，触点间也不会产生电弧。

电容器中有充电电流虽不产生电弧，但从点火线圈来看，电流在不断衰减的同时仍持续通过初级线圈。由于电流不能立即切断，感应的次级电压即变弱，因此电容器的容量越大，充电电流就越大，产生的点火电压却越低(见图 14)。总之接入电容器如果能灭弧，与不用电容而产生电弧相比，还是可以产生高得多的电压，上面讲的即是接入电容器能灭弧的原理(见图 15)。

在触点式点火装置上接入 0.22 μF 左右的电容器，点火线圈初级产生约 300 V 左右的电

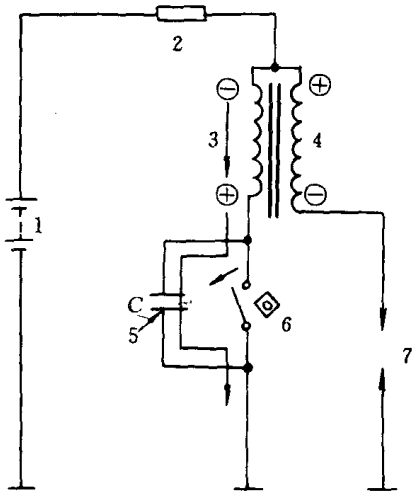


图 13 触点断开时电容器的充电电流

- 1. 蓄电池；2. 附加电阻；3. 初级绕组产生的电压(约 300 V)；4. 点火线圈；5. 对电容器充电；6. 断电器；7. 火花塞

压,并按初级(约 200 匝~300 匝)与次级(约 20 000 匝)的匝数比(80 倍)升压,就能产生约 25 000 V 左右的电压。

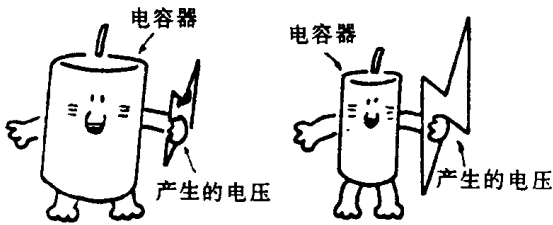


图 14 电容器容量大时产生的点火电压低

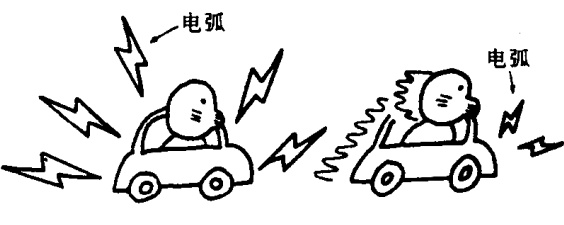


图 15 利用电容器可灭弧

由上述可得出:用电容器灭弧能够获得高电压。当规定了电容器的容量后,也就决定了触点断开时触点不发生电弧的速度。由于触点开闭速度取决于发动机的转速,因此当发动机低速时,容易产生电弧。

一般在怠速时经常会产生微小的电弧,该电弧的大小也不固定,因此次级产生的电压每次都不一样,发动机的旋转不能按“呼、呼、呼”规则地振动,而会产生“哟隆隆”不规则的振动。次级产生的电压较低,往往因火花塞不能发火而引起发动机断火。

这种断火现象有时达 1% 左右,这时排气的污染很严重,将会排出 HC,同时消耗的燃油也较多。

此外,当发动机以低于怠速转速的低速启动时,断电器触点分开的速度更慢,产生的电弧将更多,次级电压也低,因此从启动性能看,这也是触点式点火装置的缺点。

减少或增大电容器容量时,点火线圈上的电压变化情况如图 16 所示。当电容器容量小时,电弧产生的范围向高速偏移,在无电弧发生的旋转区域,电容器的充电电流小,因此点火线圈的电流能快速切断,产生高电压。当电容器容量大时,则与上相反,充电电流大,初级电流断开变慢,电流变化率小,次级电压下降,电弧引起的次级电压偏移范围是向低速缩小。

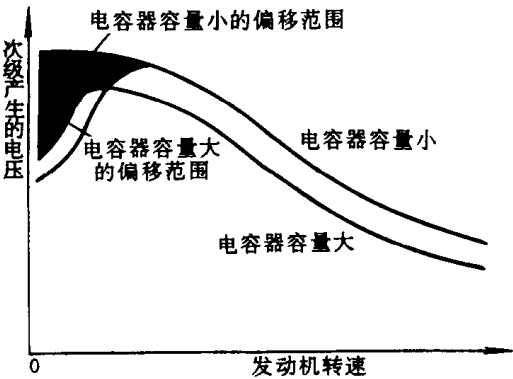


图 16 电容器容量与点火线圈次级电压的关系

2. 全晶体管式点火装置的特点

为了净化汽车排气及节约燃料费用,全晶体管式点火装置作为一种更可靠的点火装置而迅速地得到应用。特点如下:

- ①次级电压稳定,数值高,并有强火花;
- ②保证稳定的点火时期;
- ③能方便地实现闭合角度控制等附加功能;
- ④能做到不需维修。

全晶体管式点火装置除比机械式断电器具有上述优点之外,还克服了价格高的缺点(这是因为电子器件的价格不断下降),因而被大量应用。需指出的是:点火装置的可靠性对排气净化

有很大影响。

车辆减速时,因不踩加速器,节气门关闭。此时,车轮使发动机高速旋转,活塞也快速下降,汽油和空气混合气体几乎进不去,即接近真空状态,在爆发冲程中,点火时混合气的绝对量不足,即使火花从点火火花塞飞出也难以点燃。

在这样恶劣条件下,点火装置也应该可靠地点火。如断火比例每 100 次中有 1 次,则排出的气体非常脏,大量排出碳化氢,同时因为催化剂装置过热而处于危险状态。

因此点火装置应保证长距离跳火,并随着火花长度拉长,尽量能持续较长的时间,从而对稀薄混合气也能可靠地点火,并能使之燃烧。

所谓加长火花距离,就是加宽火花塞的间隙,这样就能使火花与混合气充分接触,但火花塞间隙一加宽,在加速时易引起断火现象。

这是因加速时节气门充分打开,每一次吸入汽缸的混合气增多,在压缩行程,汽缸压力增大。在此高压下,若想跳火放电是很困难的。这是由于混合气的密度大,高电压影响空气分子难以离子化而引起的,因此加速时如不施加更高的电压,就不会放电,故火花塞间隙宽时,就需要更高的次级电压。

全晶体管点火装置克服了在低速时因触点电弧引起的次级电压降低的现象,还由于它具有闭合角度控制和恒流控制等附加功能,故可获得高的稳定的次级电压,至于火花的持续时间问题,与火花的距离及提高稀薄混合气体点火能力有很大关系,但火花时间主要取决于点火线圈的电感。

和 CDI 不同,晶体管点火装置可以采用和触点式具有同样电感的点火线圈,它的持续时间几乎和触点式相同,在这点上要比 CDI 优越得多。

从排气净化角度来讲,在加速和高速时,即使火花塞污损,或是高压线老化时,也不允许有暂时的断火。故新的点火装置的点火能力必须具有一定的富余量。

再者,从净化排气的角度来看,也需要稳定的点火时间,这对节省燃料费用有很大影响。触点式是通过凸轮顶开衬块,使触点断开的。但由于力加到分电器的轴上,在旋转过程中位移,导致每次点火时期不一致。转速的变化也将使点火时期不稳定。

全晶体管点火装置是利用磁通变化使信号发生器产生电信号的,其上根本没有机械接触部分,力也不会加到分电器轴上。因此,在旋转过程中点火时期就不会有离散现象。

在附加功能方面,由于采用了晶体管电路,当发动机低速时可使闭合角度减小,以降低初级电流;高速时使初级电流增大,具有自动增大闭合角度的功能;当发动机停止时,可使点火线圈不流过初级电流,具有锁定电流的功能;具有高效率的点火时期,并一直保持在发动机发生爆震之前;为节省燃料费用采用防爆震控制系统,增加各种功能。

断电器触点类的机械式机构控制点火时期总有一个使用限度,全晶体管点火装置没有机械接触部分,故不需维修。

图 17 为全晶体管点火装置的电路图一例,点火线圈的初级电流由末级的晶体管控制,该晶体管以分电器内的小型发电机,即信号发生器发出的电动势(交流)作为输入信号,首先用几个晶体管将微弱的电信号放大,然后再将电信号加到末级功率晶体管,使其导通、截止。

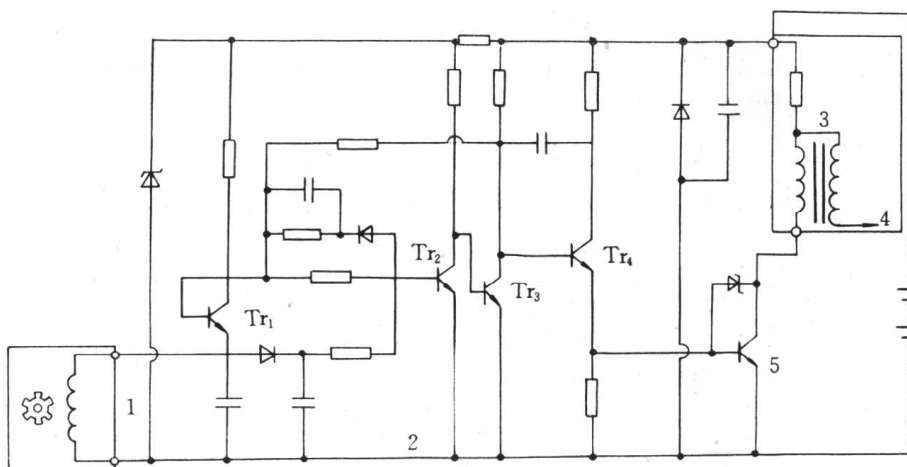


图 17 全晶体管点火电路实例(丰田 IG-EU 发动机用)

1. 信号发生器;2. 点火器;3. 点火线圈;4. 至火花塞;5. 末级功率晶体管

三、全晶体管点火装置

1. 信号发生器

信号发生器是产生点火信号的小型发电机,安装在分电器内(见图 18)。

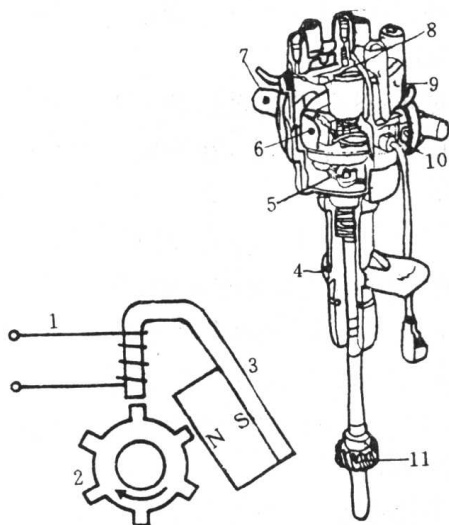


图 18 内装信号发生器的分电器结构

1. 传感线圈;2、10. 信号转子;3. 磁铁;4. 外壳;5. 离心提前装置;6. 信号发生器;7. 真空提前装置;8. 转子;9. 分电器盖子;11. 传动齿轮

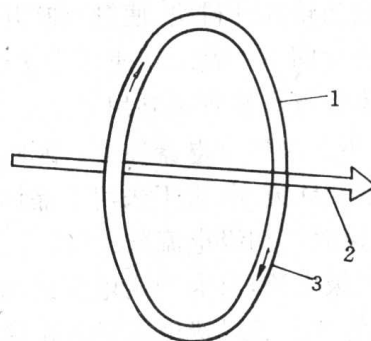


图 19 回路内的磁通变化时
导体上产生电动势

1. 回路;2. 变化的磁通 Φ ;3. 电动势(电流)

(1)磁通的变化和电动势的产生 如图 19 所示,将导线连成闭合回路,使通过中间的磁通发生变化,沿闭合回路就会产生电动势,回路中有电流通过,这即为电磁感应。电动势仅在磁通发生变化时产生,其方向为阻碍磁通变化的方向。用公式表示如下:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{V}$$

式中： e ——产生的电动势；

$d\Phi$ ——磁通变化量；

dt ——磁通变化所需时间的变化。

式中 $d\Phi/dt$ 表示磁通 Φ 在单位时间内的变化。这是每一匝线圈（闭合回路）所产生的电压，如线圈的匝数为 N （圈），则可表示为：

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{V}$$

式中的负号表示所产生的电动势在阻碍磁通 Φ 变化的方向上。

如图 20 所示，将磁铁的 N 极靠近绕有线圈的铁心时，线圈本身的磁通量增多，为阻碍这种变化，铁心变成电磁铁并阻碍磁铁的靠近。也就是说，由于 N 极磁铁渐渐靠近，线圈中当然就会有电流通过，以便使靠近磁铁一端的铁心为 N 极，形成 N 极与 N 极的排斥作用。这时，若磁铁快速靠近，线圈中所通过的电流就大；磁铁缓慢靠近时，线圈中的电流就小；这是因为，磁通增加得越快，电流就越大。

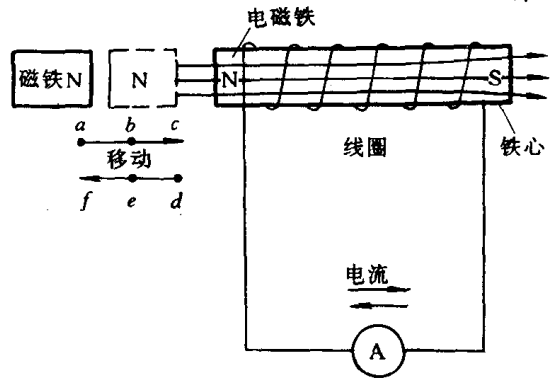


图 21 表示的是：当磁通按 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 曲线增加 图 20 在线圈附近移动磁铁时所产生的电动势时，电流（电动势）按 $d' \rightarrow b' \rightarrow c'$ 曲线的变化情况，当磁通从 a 开始增加时，电流从 d' 开始输出，这点容易理解，但在磁通 b 的位置处电流最大，在 c 位置为 0，这时如果考虑的是磁通量而不是变化率就会搞不懂。在 b 位置处，磁通的变化率很大，图中的曲线是倾斜的，这时的电动势最大，在 c 点处持续维持最大值，磁通不再增加，即不再变化时，即使磁通量大，但也没有电流通过，此后在 $c \rightarrow d$ 之间，不移动磁铁，磁通没有变化，也就没有电动势产生。

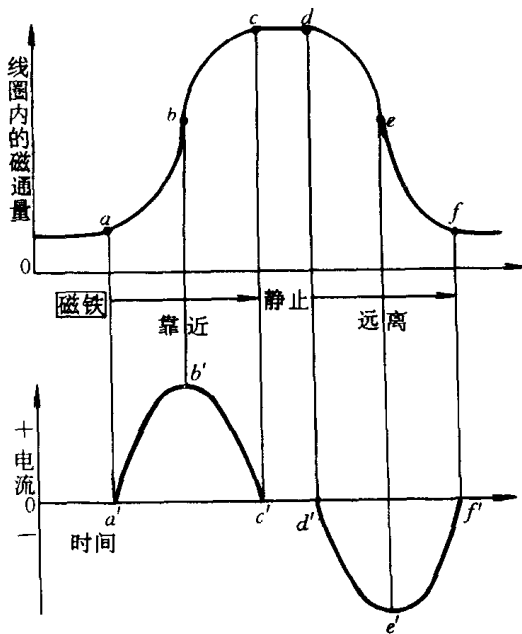


图 21 移动磁铁时，线圈内磁通量的变化状况

然后，将已移近的磁铁移远时，磁通沿曲线 $d \rightarrow e \rightarrow f$ 减少，因此线圈中就有电流通过，使线圈变为电磁铁，以阻碍磁铁远离，它的方向为：靠近磁铁 N 极的为 S 极，远离的一端为 N 极。当然是 N 极与 S 极互相吸引，以阻碍磁铁的远离。因此，磁铁远离时线圈中的电流方向与磁铁靠近线圈时电流方向是相反的。如果用波形表示的话，如图 21 所示，对应于磁通按 $d \rightarrow e \rightarrow f$ 曲线变化时，电流反向按 $d' \rightarrow e' \rightarrow f'$ 波形变化。

当磁通处于 d 时，磁铁靠铁心最近，磁通量为

最大,此时处于既不增加也不减少的状态,因此电动势为零(图中斜率为零)。

在 e 位置时,磁铁快速远离铁心,磁通的变化率(减少)最大,因而电流也最大。当在 f 位置时,磁铁已为静止状态,由于磁铁远离,铁心中只有少量磁通通过,磁通无变化,因而电动势为零,电流也为零。

综上所述,当线圈中的磁通产生变化时,线圈中将产生与磁通变化成正比的电动势,这种现象叫做电磁感应。

(2) 信号发生器产生电动势的原理 实际的信号发生器如图 22 所示,其内部装有磁铁。其磁通量通过传感线圈、转子形成磁回路。转子的材质为铁,其上制作了许多凸极,凸极的数量与发动机的汽缸数相同。随着凸极位置的不同,通过传感线圈的磁通量也不断地变化,此变化就使传感线圈中产生电动势。

信号发生器的转子位置与其相应磁通量变化的关系如图 22 所示,磁通量随空气隙的变化而变化。与空气相比,铁的导磁性能要高一万多倍,所以当磁通通过铁材磁路时,即使气隙长度只变化一点点,磁通量就会发生很大的变化。

在 (a) 位置处,传感线圈铁心恰好位于转子两个凸极的中间,在磁路中通过的空气隙最长,故最难通过磁通,磁通量为最小,变化率也为零。随着转子位置的转动,空气隙变小,所以磁通量就渐渐增加起来。

在 (b) 位置处,传感线圈铁心的一角与转子凸极的一角正好相对,由此处开始,磁通量急剧增加,其变化率为最大。

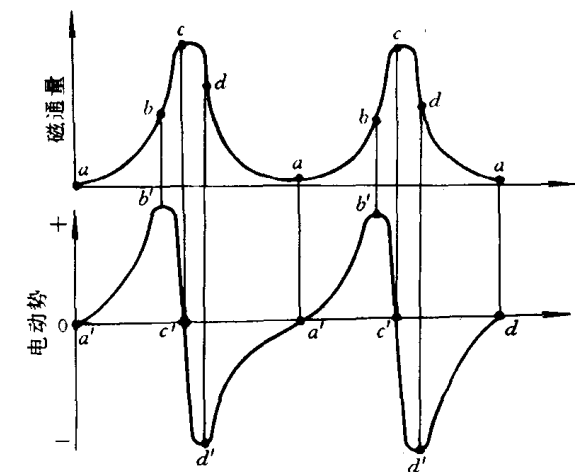


图 23 传感线圈的磁通变化与感应电动势

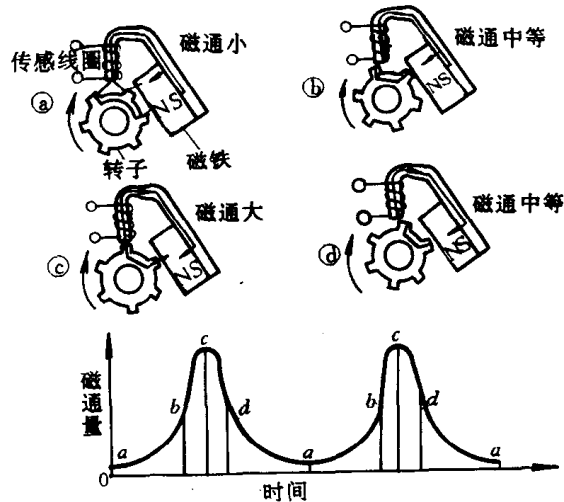


图 22 信号发生器的磁通变化的原理

在 (c) 位置处,传感线圈铁心的中心与转子凸极的中心重合,空气隙最小,磁通量最大,但磁通的变化率与 (a) 位置时相同,也为 0;过 (c) 位置后,磁通量将不断地减少。

(d) 位置时的情况正好与 (b) 位置相反,是磁通急剧减小的位置,变化率在负的方向为最大,一过 (d) 位置,磁通更为减小,然后再回到原来的位置,由此形成循环。

下面我们再来看一下传感线圈上所产生的电动势随磁通的变化情况,如图 23 所示。在磁通不变化的位置,即曲线的波峰和波谷处,因为这是磁通既不增加也不减少的位置,所以电动势为 0,从产生电动势的公式来看:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

式中： e ——产生的电动势；

N ——线圈匝数；

$d\Phi$ ——磁通变化量；

dt ——时间变化量。

在 a 和 c 位置，磁通变化 $d\Phi/dt$ 为零。如 a' 、 c' 处，电动势为零。

此外，在 b 和 d 的位置，因磁通变化为最大，故电动势也为最大值，但从电动势的方向来看，还是有差别， b 点的磁通在不断地增加，而 d 点的磁通在不断地减少，所以电动势的方向相反。

上面讲的就是因磁通量的变化而产生交流电动势。

当移动磁铁及导体等产生电动势时，必然分磁铁接近或磁铁远离两种状况，每一次变化都使线圈上产生相反方向的电动势，当然产生的是交流电。但信号发生器输出的信号波形与家用交流电的波形有很大的区别，信号波形有较大的变化，其理由是为便于控制点火正时及闭合角等特意设计而成的。

低速和高速时的波形如图 24 所示，磁通量的变化在高速时仅是时间方面被压缩，波峰的高度基本不变，关于电动势，在高速时，不仅产生时间缩短。而且速度越高，电动势越大。

其理由是：对于相同的磁通变化量 ($d\Phi$) 其所需时间 (dt) 越短， $d\Phi/dt$ 越高，在磁通变化量图形中的任一位置都是大的，但是磁通变化曲线中的波峰以及谷底的位置，磁通变化为零，不管速度多快，其变化都是零。电动势也是零，这一点是不变的。

2. 点火线圈初级电流通断的工作原理

下面以丰田车为例来说明一下利用信号发生器的交流信号是怎样控制点火线圈初级电流通、断 (ON, OFF) 的。

信号发生器传感线圈所产生的交流电动势输入到点火器的晶体管电路中，在这里变换成通、断信号，经放大后输入到末级功率管中，由此 ON、OFF 点火线圈的初级电流，在 OFF 时就会产生高压。实际的晶体管电路是很复杂的，但我们在分析原理时，就可以采用图 25 所示的简单电路来说明 ON、OFF 的工作原理。

(1) 发动机停止转动时 首先看一下点火开关闭合，发动机处于停止状态时的情况，因为传感线圈中还没有产生电动势，所以蓄电池要输出电流，电流分两路。

通过电阻 R_1 的电流如图 26 中的①所示，从晶体管基极 (B) 流入发射极 (E)。关于晶体管如前所述，从基极流过发射极的电流 (基极电流) 形成信号电流。当有基极电流通过时，就会有集电极电流，由此点火线圈的初级绕组中有电流流过，此时晶体管的 C—E 之间几乎为短路状态，蓄电池电压全部加到点火线圈的初级绕组上，形成初级电流。

另一路电流如图 26 中②所示，通过二极管流入信号发生器的传感线圈，此电流和晶体管工作状态没有什么关系。

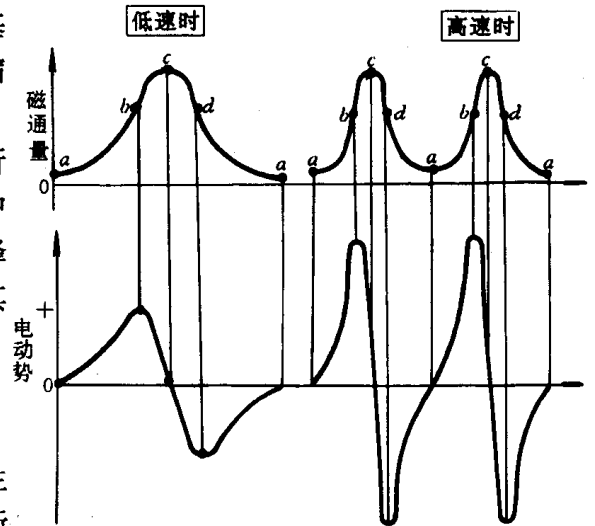


图 24 低速与高速时磁通量与电动势的变化状况