

WO 2006/120180 A2



NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Startvorrichtung (10) für Brennkraftmaschinen (15) in Kraftfahrzeugen mit einer Steuereinheit (19), einem Starterrelais (12), einem Starterritzel (13) und einem Startermotor (11), wobei das Starterrelais bei jedem Start-Stopp-Vorgang in der Stopp-Phase (erste Stufe) das Starterritzel in den Zahnkranz (14) der Maschine einspurt und in der Start-Phase (zweite Stufe) die Maschine vom Startermotor angedreht wird. Um mit dem Abstellen der Maschine (10) für einen nachfolgenden Startvorgang das Starterritzel (13) möglichst geräuscharm einzuspuren und dort bis zum Starten halten zu können, wird vorgeschlagen, in der ersten Stufe des Startvorganges den Anker (28) des Starterrelais (12) mit reduzierter Kraft bis zu einer Position mit noch offenem Schaltkontakt (18) vorzurücken und dort zu halten, bis mit Beginn der zweiten Stufe der Anker (28) den Schaltkontakt (18) für den Startermotor mit voller Kraft schließt.

5

10

Startvorrichtung für Brennkraftmaschinen in Kraftfahrzeugen

15

Die Erfindung betrifft eine Startvorrichtung für Brennkraftmaschinen in Kraftfahrzeugen nach der Gattung des Patentanspruchs 1 mit einem Starterrelais nach der Gattung des Anspruchs 5.

Stand der Technik

20

25

30

Brennkraftmaschinen von Kraftfahrzeugen werden üblicherweise über ein Starterrelais von einem Startermotor gestartet, wobei das Starterrelais zunächst ein Ritzel des Startermotors in einen Zahnkranz der Brennkraftmaschine einspurt und schließlich mit einem Schaltkontakt den Startermotor mit der Akkumulatorbatterie des Fahrzeugs zum Andrehen der Brennkraftmaschine verbindet. Bekannt ist ferner, Kraftfahrzeuge mit einer so genannten Start-Stopp-Automatik auszurüsten. Hierdurch wird erreicht, dass bei einem längeren Halt, beispielsweise bei roter Ampelphase, die Brennkraftmaschine automatisch abgeschaltet wird. Bei der Weiterfahrt erfolgt ein automatisches Wiederstarten der Brennkraftmaschine, um die Fahrt fortsetzen zu können. Das Erkennen des Stopp-Zustandes erfolgt beispielsweise durch Erfassen der Drehzahl der Antriebsräder und ggf. einer

Wählhebelstellung. Das Erkennen des Start-Zustandes kann beispielsweise durch Betätigung eines Gaspedales erfolgen.

Die Start-Stopp-Automatik bietet den Vorteil einer Kraftstoff einsparung sowie einer Verringerung der Umweltbelastung während des Stopp-Zustandes. Ungünstig ist jedoch, dass vor jedem neuen Startvorgang zunächst ein Einspielen des Ritzels des Startermotors in den Zahnkranz des Schwungrades der Brennkraftmaschine erfolgen muss. Damit ist eine größere mechanische Belastung des Ritzels sowie des Zahnkranzes beim Einspielen des Ritzels sowie beim Starten durch eine hohe Drehbeschleunigung verbunden. Dies ist insbesondere bei einer so genannten Zahn auf Zahn-Stellung der Fall, weil dann das Ritzel mit voller Drehbeschleunigung des Startermotors in den Zahnkranz der Maschine eingerückt wird. Darüber hinaus tritt bei jedem Wiederstart eine Zeitverzögerung auf, da das Ritzel vor dem eigentlichen Andrehen der Maschine zunächst in den Zahnkranz einspielen muss.

Aus der EP 08 48 159 A1 ist ferner bekannt, das Starterritzel bereits mit Beginn eines Stopp-Zustandes der Maschine in die Einspurstellung zu bringen, um danach mit Beginn des Start-Zustandes den Startermotor unverzüglich mit voller Kraft einzuschalten. Auf diese Weise lässt sich die Zeit zum Andrehen der Brennkraftmaschine erheblich verringern. Durch elektronische Mittel kann dabei außerdem der Einschaltstrom des Startermotors begrenzt werden. Der Einrückvorgang des Starterrelais erfolgt dabei mit relativ hoher Dynamik, um bei allen Betriebszuständen eine Funktionssicherheit zu gewährleisten. Insbesondere ist die Relaiswicklung derart ausgelegt, dass auch bei der oberen Grenztemperatur eine hinreichend hohe Durchflutung und Einzugskraft gewährleistet ist. Im Allgemeinen wird daher das Starterrelais mit zu hoher Energie betrieben, die zu

einer erhöhten Geräuschemission führt. So führt auch das frühzeitige Einspuren des Ritzels im Stillstand der Maschine zu einem deutlich hörbaren Klack-Geräusch, sobald das Einrückrelais anzieht und das Starterritzel axial gegen den Zahnkranz oder beim Einrücken drehend gegen eine Zahnflanke des Zahnkranzes stößt. Dies wirkt für den Fahrer irritierend und unangenehm. Die Anforderungen an das Starterrelais hinsichtlich eines schonenden, geräuscharmen Einspurens einerseits und der Erzielung eines hohen Kontaktdruckes zum Einschalten des Startermotors andererseits sind jedoch gegeneinander gerichtet und von den bisher bekannten Starterrelais nicht hinreichend abzudecken. Es ist zwar bekannt, das Einspuren des Starterritzels mittels Stellglied und das Andrehen mittels Startermotor voneinander unabhängig über zwei Schaltelemente einer Startvorrichtung zu steuern. Dies führt jedoch zu einem erhöhten Platz- und Kostenaufwand.

Mit der vorliegenden Lösung wird angestrebt, bei einer Start-Stopp-Automatik das Starterrelais derart anzusteuern, dass mit Beginn einer Stopp-Phase die Geräuschentwicklung beim Einspurvorgang stark reduziert und mit Beginn der Start-Phase der Schaltkontakt des Relais zum Einschalten des Startermotors mit hinreichendem Kontaktdruck geschlossen wird.

Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße Startvorrichtung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 hat den Vorteil, dass durch die zweistufige Betätigung des Starterrelais zunächst mit Beginn der Stopp-Phase zum so genannten Voreinspuren des Starterritzels das Starterrelais über einen ersten Wegabschnitt mit geringer Dynamik und nachlassender Einzugskraft das Starterritzel bei geöffnetem Schaltkontakt

in den Zahnkranz der Maschine mit einem stark reduzierten Geräusch einzuspüren vermag. Erst mit Beginn der Start-Phase wird nun der Schaltkontakt des Starterrelais im letzten Wegabschnitt mit voller Dynamik geschlossen und damit der Startermotor eingeschaltet. Dadurch wird außerdem eine separate Ansteuerung des Starterrelais und des Startermotors über platz- und kostenaufwendige Halbleiterschalter vermieden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass durch ein sanftes Einrücken des Starterritzels der Verschleiß an den mechanischen Teilen stark reduziert werden kann.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen ergeben sich zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen der im Anspruch 1 angegebenen Merkmale.

So wird in einfacher Weise zur Erzielung einer verringerten Relaisdynamik in der ersten Stufe der Erregerstrom der Relaiswicklung von einer Steuereinheit über ein Schaltelement von einem Anfangswert bis auf den Haltestrom, vorzugsweise gestuft, verringert. Das Starterritzel bleibt nun während der Stopp-Phase der Maschine im Zahnkranz eingespart. Mit Beginn der Start-Phase wird dann der Erregerstrom des Starterrelais in der zweiten Stufe auf einen für den erforderlichen Kontaktdruck des Schaltkontaktes benötigten Wert erhöht.

In zweckmäßiger Weiterbildung der Erfindung wird das Starterrelais zum Anhalten des Ankers nach dem Einspüren des Starterritzels in der Stopp-Phase derart ausgelegt, dass die durch den Haltestrom im ersten Wegabschnitt des Ankers erzeugte Magnetkraft größer als die Kraft der vorgespannten Ankerrückstellfeder, aber geringer als die Kraft einer weiteren im letzten Wegabschnitt des Ankers wirksamen, vorzugsweise vorgespannten Rückstellfeder ist. Die Vorspannkraft der weiteren Rückstellfeder ist dabei in

zweckmäßiger Weise so eingestellt, dass der Anker sie erst mit erhöhter Bestromung des Starterrelais für den letzten Wegabschnitt zu überwinden vermag. Außerdem kann es mit entreichendem Mehraufwand zweckmäßig sein, dass der Startermotor in der ersten Stufe eines Startvorganges zum Eindrehen des Starterritzels in den Zahnkranz der Maschine über ein weiteres Schaltelement der Steuereinheit direkt ansteuerbar ist.

Um in der Stopp-Phase des Kraftfahrzeugs das Starterritzel möglichst sanft und geräuscharm in den Zahnkranz der Maschine einspielen zu können, ist der Magnetkreis des Starterrelais derart ausgelegt, dass in einem federbelasteten Wegbereich des Ankers vor dem Schließen des Schaltkontaktes die Wegänderung des Ankers nahezu proportional zur magnetischen Durchflutung verläuft. Zu diesem Zweck wird in vorteilhafter Weise der Magnetkreis derart konstruktiv gestaltet, dass der Anker des Starterrelais in seinem hinteren Wegabschnitt mit geringem radialen Luftspalt konzentrisch über einen Magnetkern des Relais greift. In zweckmäßiger Weise ist dabei der Anker auf seiner vorderen, dem Magnetkern zugewandten Stirnseite mit einem axial vorstehenden Kragen versehen, der im hinteren Wegabschnitt des Ankers über das vordere Ende des Magnetkerns greift.

Um während einer Stopp-Phase des Fahrzeugs das Starterritzel in zuverlässiger Weise in der Einspurstellung und den Schaltkontakt des Starterrelais im geöffneten Zustand halten zu können, wird in Weiterbildung der Erfindung vorgeschlagen, dass sich der Anker des Starterrelais am Ende des ersten Wegabschnittes an der weiteren Rückstellfeder abstützen vermag. Dadurch ergibt sich für das Starterrelais eine Federcharakteristik, die nach dem ersten Wegabschnitt des Ankers beim Erreichen der vorgespannten

weiteren Rückstellfeder eine Stufe aufweist, welche erst mit der vollen Bestromung des Starterrelais für den zweiten Wegabschnitt des Ankers überwunden wird. In zweckmäßiger Weise bildet dabei eine Kontaktrückstellfeder des Starterrelais die weitere Rückstellfeder, die über eine Schaltstange vom Anker betätigt wird.

Alternativ hierzu ist es auch möglich, für einen möglichst unverzüglichen Start der Maschine den Schaltkontakt bereits im ersten Wegabschnitt des Ankers bis kurz vor dem Schließen vorzurücken und dort durch die vorgespannte weitere Rückstellfeder während der Stopp-Phase zu halten. Für diesen Fall kann zweckmäßigerweise eine Kontaktdruckfeder des Starterrelais als weitere Rückstellfeder verwendet werden, wobei bereits in der ersten Stufe die den Schaltkontakt tragende Schaltstange bis zu ihrer Abstützung an der Kontaktdruckfeder vorgerückt wird.

Zeichnung

Die Erfindung wird im Folgenden beispielhaft anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 die schematische Darstellung der Startvorrichtung für Brennkraftmaschinen in allgemeiner Ausführungsform der Erfindung,

Figur 2 zeigt in einem ersten Ausführungsbeispiel einen Längsschnitt durch ein Starterrelais der Startvorrichtung nach Figur 1,

Figur 3 zeigt verschiedene Weg-Kraft-Kennlinien des Starterrelais nach Figur 2,

Figur 4 zeigt ein Zeitdiagramm mit den wesentlichen Größen für einen Start-Stopp-Ablauf,

Figur 5 zeigt in schematisierter Darstellung die

Startvorrichtung (a) im Ruhezustand, (b) im Einspurzustand und (c) im Start-Zustand.

Figur 6 zeigt in einem weiteren Ausführungsbeispiel ein modifiziertes Starterrelais im Längsschnitt,

Figur 7 zeigt die Weg-Kraft-Kennlinien des Starterrelais nach Figur 6 und

Figur 8 zeigt in schematisierter Darstellung die Startvorrichtung a) im Ruhezustand b) im Einspurzustand und c) im Start-Zustand.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine mit 10 bezeichnete erfindungsgemäße Startvorrichtung für Brennkraftmaschinen in Kraftfahrzeugen. Sie umfasst im wesentlichen einen Startermotor 11, ein Starterrelais 12 und ein Starterritzel 13 zum axialen Einspielen in einen Zahnkranz 14 einer Brennkraftmaschine 15 sowie eine Steuereinheit 19. Das Starterrelais 12 weist eine Relaiswicklung 16, einen Stößel 17 und einen Schaltkontakt 18 zum Schalten des Hauptstromes für den Startermotor 11 auf. Die Steuereinheit 19 versorgt über einen Transistor Tr1 die Relaiswicklung 16. Separat davon wird der Startermotor 11 von einem weiteren Transistor Tr2 über eine Klemme Kl45 vom Steuergerät 19 direkt angesteuert. Die beiden Transistoren Tr1 und Tr2 liegen eingangsseitig über die Klemme B+ am Pluspol der Bordspannung des nicht dargestellten Kraftfahrzeugs beziehungsweise am Pluspol einer Akkumulatorbatterie des Fahrzeugs. Die Transistoren Tr1 und Tr2 werden an ihren Steueranschlüssen getrennt voneinander über einen Mikroprozessor μP angesteuert, der seinerseits eingangsseitig über einen Steuerbus 20 von einem Motorsteuergerät 21 ansteuerbar ist. Das Motorsteuergerät 21 ist über ein Zündschloss 22 aktivierbar und erfasst ferner über einen Eingangsbus 23 verschiedene Signale zum

Fahrzustand des Kraftfahrzeugs, wie zum Beispiel eine Kupplungsbetätigung, eine Bremsbetätigung, die Stellung eines Gangwählhebels, die Motor- und die Raddrehzahl und dergleichen. Außerdem ist der Mikroprozessor des Steuergerätes 19 mit einem Temperatursensor T verbunden, der die Temperatur der Startvorrichtung 10 erfasst.

Die Startvorrichtung 10 wird während des Fahrbetriebes eines Fahrzeugs vom Motorsteuergerät 21 angesteuert, in dem von dort mit Beginn einer Stopp-Phase des Fahrzeugs zum Beispiel durch Erfassen der Drehzahl an den Vorderrädern des Fahrzeugs die Brennkraftmaschine abgeschaltet wird. Damit wird zunächst über den Steuerbus 20 von der Steuereinheit 19 in einer ersten Stufe ein Einspurvorgang des Starterritzels 13 in den Zahnkranz 14 der Maschine 15 ausgelöst, indem über den Transistor Tr1 ein dosierter Erregerstrom auf das Starterrelais 12 gegeben wird. Über den Stößel 17 wird nun über einen Einrückhebel 24 das Starterritzel 13 axial zum Einspuren in den Zahnkranz 14 vorgeschoben. Außerdem wird der Startermotor 11 von der Steuereinheit 19 über den Transistor Tr2 über die Motorklemme Kl45 dosiert angesteuert, um bei einer Zahn-auf-Zahn-Stellung das Starterritzel 13 sanft in die nächste Zahnlücke am Zahnkranz 14 einzudrehen. Das Starterritzel 13 spurt nun geräuscharm vollständig in den Zahnkranz 14 der Maschine 15 ein und wird vom Starterrelais 12 in dieser Position gehalten. Der Schaltkontakt 18 bleibt dabei in geöffneter Position stehen. Erst wenn beispielsweise durch Betätigen des Fahrpedales der Startwunsch des Fahrers durch ein entsprechendes Signal des Motorsteuergerätes 21 an der Steuereinheit 19 erkannt wird, wird das Starterrelais 12 in einer zweiten Stufe zum Starten der Maschine 15 über den Transistor Tr1 mit verstärktem Strom angesteuert und dadurch der Schaltkontakt 18 mit voller Kraft geschlossen. Damit wird der Startermotor 11 über den Schaltkontakt 18 des Starterrelais 12 auf die

Klemme B+ der nicht dargestellten Akkumulatorbatterie geschaltet und die Brennkraftmaschine 15 wird unverzüglich mit voller Kraft angedreht.

Figur 2 zeigt in einem ersten Ausführungsbeispiel das Starterrelais 12 aus Figur 1 in seinem konstruktiven Aufbau im Längsschnitt. Das Starterrelais 12 weist eine Relaiswicklung 16 auf, die auf einem Tragkörper 25 auf einem Magnetkern 26 befestigt ist. Die Relaiswicklung 16 ist dabei in einem metallischen Gehäuse 27 eingesetzt, in dessen vorderes, offenes Ende der Magnetkern 26 aufgenommen ist. Am Boden des Gehäuses 27 ist in einer Öffnung ein Anker 28 des Relais axial geführt, der in die Relaiswicklung 16 eintaucht. In einer zentrischen Bohrung des Ankers 28 ist der Stößel 17 befestigt, dessen kopfseitiges Ende ein so genanntes Paddel 29 zur Aufnahme des Einrückhebels 24 (Figur 1) aufweist. In einer Durchgangsöffnung des Magnetkerns 26 ist eine Schaltstange 30 mittels einer Isolierhülse 31 geführt, wobei das vordere Ende der Schaltstange mit einem Abstand a dem Ende des Stößels 17 gegenüber steht. Am hinteren Ende der Schaltstange 30 ist eine Kontaktbrücke 18a axial verschiebbar aufgenommen, die mit zwei in einem Schalterdeckel 32 befestigten Gegenkontakten 18b zusammenwirkt. Die Kontaktbrücke 18a stützt sich in ihrer dargestellten Ruhelage über eine Isolierstoffkappe 33 am Magnetkern 26 ab. Kontaktbrücke 18a und Gegenkontakte 18b bilden somit den Schaltkontakt 18 des Einrückrelais, der von dem auf der Stirnseite des Gehäuses 27 befestigten Schalterdeckels 32 umschlossen ist.

In einer axialen Ausnehmung 34 des Ankers 28 ist eine Ankerrückstellfeder 35 angeordnet, die sich einerseits am Boden der Ausnehmung 34 und andererseits am Magnetkern 26 des Relais abstützt. Des Weiteren befindet sich in bekannter Weise im Schalterdeckel 32 eine Kontaktrückstellfeder 36,

die sich einerseits am Boden des Schalterdeckels 32 und andererseits an einer am rechten Ende der Schaltstange 30 befestigten Stützscheibe 37 abstützt. Eine Kontaktdruckfeder 38 befindet sich in einer axialen Ausnehmung 39 an der rechten Seite des Magnetkernes 26. Diese Feder 38 stützt sich einerseits über die Isolierstoffkappe 33 an der Kontaktbrücke 18a und andererseits an der Isolierhülse 31 auf der Schaltstange 30 ab. Alle drei Federn sind vorgespannt, wobei die stärker vorgespannte Kontaktrückstellfeder 36 die Kontaktbrücke 18a entgegen der Vorspannung der Kontaktdruckfeder 38 in die dargestellte Ruhelage gedrückt hält.

Um mit Beginn einer Stopp-Phase des Fahrzeugs das Starterritzel 13 möglichst geräuscharm in den Zahnkranz 14 der Maschine 15 einspielen zu können, ist der Magnetkreis des Starterrelais 12 durch konstruktive Maßnahmen derart ausgelegt, dass in einem mittleren Wegbereich des Ankerweges eine Wegänderung erzielt wird, die nahezu proportional zur Änderung der magnetischen Durchflutung der Relaiswicklung 16 verläuft. Zu diesem Zweck greift der Anker 28 in seinem letzten Wegbereich s_0 mit geringen radialen Luftspalt konzentrisch über den Magnetkern 26, in dem der Anker 28 auf seiner vorderen, dem Magnetkern 26 zugewandten Stirnseite mit einem axial vorstehenden Kragen 41 versehen ist, der über den letzten Wegbereich s_0 des Ankers 28 in einen am Umfang des Magnetkerns 26 angebrachten Rezess 42 eintaucht, der dem Kragen 41 des Ankers 28 gegenüberliegt.

Figur 3 zeigt zur näheren Erläuterung der Funktionsweise verschiedene Kennlinien des Starterrelais 12, wobei über den Weg s des Ankers 28 einerseits die Federkennlinie des Starterrelais 12 als Rückstellkraft P_r und andererseits die Kraftkennlinien des Starterrelais bei verschiedenen magnetischen Durchflutungen H_0 bis H_3 dargestellt sind. Die

Rückstellkraft P_r ist dabei der magnetischen Kraft des Relais entgegen gerichtet.

Ausgehend vom Ruhezustand des Ankers 28 gemäß Figur 2 muss
5 zunächst die Vorspannung der Ankerrückstellfeder 35
überwunden werden. Durch ein axiales Vorrücken des Ankers 28
wird dabei zunächst lediglich die Ankerrückstellfeder 35 bis
zur Position S1 um etwa 6mm zusammengedrückt, wobei die
Federkraft zunächst gering und linear ansteigt. In dieser
10 Position greift nun der Stößel 17 am Einrückhebel 24 (Figur
1) an und spurt nun mit etwas Reibung das Starterritzel 13
soweit vor, dass es in den Zahnkranz 14 der
Brennkraftmaschine 15 einzuspüren vermag. Der Anker 28 des
Starterrelais 12 bewegt sich dabei bis zur Position S2. In
15 dieser Position hat der Anker den Abstand a zwischen dem
Stößel 17 und der Schaltstange 28 überwunden und drückt nun
über die Schaltstange 30 gegen die vorgespannte
Kontaktrückstellfeder 36, die für den Anker 28 eine weitere
Rückstellfeder bildet. Eine weitere Ankerbewegung kann nun
20 erst wieder erfolgen, wenn auch die Vorspannung der
Kontaktrückstellfeder 36 mit der Kraft P_1 erreicht wird. Mit
einem steileren Kraftanstieg wird sodann von der Position S2
aus die Kontaktbrücke 18a um etwa 2mm bis zu den
Gegenkontakten 18b vorgeschoben und dabei die
25 Kontaktrückstellfeder 36 weiter gespannt. In der Position S3
schließt nun der Schaltkontakt 18, um den Startermotor 11
einzuschalten. Danach wird bis zum Anschlag des Ankers 28 am
Magnetkern 26 die Kontaktdruckfeder 38 für die so genannte
Abbrandreserve des Schaltkontaktes 18 mit der Kraft P_2
30 weiter gespannt.

Die vier Kraftkennlinien der magnetischen Durchflutung des
Ankers über den Ankerhub s verlaufen nahezu parallel
zueinander, wobei die Kennlinie der größten Durchflutung H_3
35 durch eine entsprechende Auslegung der Relaiswicklung 16 und

durch einen entsprechenden Strom über den Transistor Tr1 der Steuereinheit 19 so gewählt ist, dass sie über den ganzen Ankerhub s deutlich oberhalb der Federkennlinie Pr des Relais liegt. Durch die Ausbildung des Starterrelais 12 mit dem über den Rezzess 42 des Magnetkerns 25 greifenden Kragen 41 des Ankers 28 erzielt man in einem mittleren Wegbereich A, der in etwa zwischen den Positionen S1 und S2 liegt, einen nahezu waagerechten Verlauf der Kennlinien H0 bis H3. Damit ist es möglich, in diesem Wegbereich des Ankers eine zur magnetischen Durchflutung ΔH nahezu proportionale Wegänderung ΔS des Ankers 28 zu erzielen. Dadurch kann mit entsprechender Dosierung des Erregerstromes in der ersten Stufe des so genannten Voreinspurens die magnetische Durchflutung bis zur Kennlinie H0 soweit reduziert werden, dass das Starterritzel 13 im ersten Wegabschnitt Sa1 des Ankers 28 bis zur Position S2 geräuschminimiert in den Zahnkranz 14 eingespurt wird. Durch die vorgespannte Kontaktrückstellfeder 38 wird außerdem gewährleistet, dass der Anker 28 während einer Stopp-Phase des Fahrzeugs mit geöffnetem Schaltkontakt 18 in der Position S2 gehalten wird. Erst mit dem Auftreten eines Startsignals wird nun über die Steuereinheit 19 die Durchflutung des Relais auf die Kennlinie H3 angehoben und der Schaltkontakt 18 wird dann mit Beginn der zweiten Stufe über den zweiten Wegabschnitt Sa2 des Ankers 28 mit hoher Dynamik und voller Kraft zum Einschalten des Startermotors 11 geschlossen.

Figur 4 zeigt die verschiedenen Signalverläufe der erfindungsgemäßen Startvorrichtung während einer Stopp- und Start-Phase. Dabei ist auf der oberen Zeitachse ta die Motordrehzahl n der Brennkraftmaschine dargestellt, darunter auf der Zeitachse tb ein Einrücksignal Se zum Voreinspuren des Starterritzels, darunter ist auf der Zeitachse tc ein Startsignal Sst und auf der Zeitachse td der Stromverlauf Ir in der Relaiswicklung des Starterrelais dargestellt,

darunter ist auf der Zeitachse t_e ein Eindrehsignal S_d für den Startermotor zum Eindrehen des Starterritzel in den Zahnkranz dargestellt und auf der unteren Zeitachse t_f ist der Verlauf der Motorstromstärke I_m am Startermotor dargestellt.

Die Beschreibung einer Stopp- und Start-Phase wird anhand der Figur 4 in Verbindung mit den Figuren 1 bis 3 und der Figur 5 näher erläutert. Dabei ist in Figur 5 die Startvorrichtung in schematischer Darstellung in ihrer Ruhelage gemäß a) in ihrer Einspurstellung gemäß b) und in ihrer Startstellung gemäß c) dargestellt.

Wird das Fahrzeug im Fahrbetrieb beispielsweise vor einer Ampelanlage bei einer Rotphase der Ampel angehalten, so erkennt das Motorsteuergerät 21 gemäß Figur 1 über einen Sensor den Stillstand der angetriebenen Räder des Fahrzeugs. Wird dabei außerdem die Kupplung betätigt und die Leerlaufdrehzahl der Brennkraftmaschine n_0 erfasst, schaltet das Motorsteuergerät 21 zum Zeitpunkt t_0 (Figur 4) die Brennkraftmaschine ab. Das Drehzahlsignal fällt nun beispielsweise innerhalb einer Sekunde ab auf die Drehzahl 0. Beim Auslaufen der Maschine wird dabei vom Motorsteuergerät beim Erreichen der Stoppdrehzahl n_{st} zum Zeitpunkt t_1 die Stopp-Phase der Maschine 15 erkannt und ein Einrücksignal S_e über den Steuerbus 20 auf die Steuereinheit 19 gelegt. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich gemäß Figur 5a) das Starterrelais 12 noch in der Ruhelage und das Starterritzel 13 ist dabei noch über den Einrückhebel 24 mit dem Zahnkranz 14 der Maschine 15 außer Eingriff. Unmittelbar danach wird zum Zeitpunkt t_2 der Transistor Tr_1 vom Mikroprozessor μP derart angesteuert, dass die Relaiswicklung 16 zunächst mit einem relativ hohen Relaisstrom I_r beaufschlagt wird, um die Ankermasse gegen die Rückstellkraft der vorgespannten Ankerrückstellfeder 35

in Bewegung zu setzen. Der in Figur 3 fett dargestellte Verlauf der magnetischen Kraft P_m des Starterrelais 12 folgt dabei zunächst der Durchflutungs-Kennlinie H2. Das Starterritzel 13 wird dabei vom Relaisanker 28 nach einem

5 Leerweg des Stößels 17 über den Einrückhebel 24 zunächst bis zum Zahnkranz 14 vorgeschoben. Zum Zeitpunkt t_3 wird nun der Relaisstrom I_r von der Steuereinheit 19 über den Transistor Tr_1 um eine Stufe abgesenkt. Dadurch wird auch die magnetische Kraft P_m verringert, indem sie gemäß Figur 3 auf

10 die Durchflutungskennlinie H1 abfällt. Da diese magnetische Kraft aber immer noch deutlich höher ist als die Rückstellkraft P_r der Ankerrückstellfeder 35, wird der Anker 28 noch weiter in die Relaiswicklung 16 eingezogen. Etwa zur gleichen Zeit wird vom Mikroprozessor μP der Transistor Tr_2

15 der Steuereinheit 19 soweit leitend gesteuert, dass nunmehr der Startermotor 11 über den Transistor Tr_2 mit geringer Stromstärke I_m versorgt wird. Dadurch wird das Starterritzel 13 sanft gedreht und sogleich über den Einrückhebel sanft in den Zahnkranz 14 axial eingespurt. Zum Zeitpunkt t_4 wird nun

20 der Relaisstrom I_r um eine weitere Stufe abgesenkt. Dementsprechend fällt die Magnetkraft P_m des Starterrelais 12 von der Durchflutungskennlinie H1 auf die Durchflutungskennlinie H0 ab. Mit dieser Magnetkraft wird nunmehr der Anker 28 bis zur Position S2 eingezogen, wo er

25 sich mit dem Stößel 17 an der Schaltstange 30 abstützt, die mit der Vorspannung der Kontaktrückstellfeder 36 belastet ist. In dieser Stellung bleibt das Starterrelais 12 stehen, solange die Stopp-Phase der Brennkraftmaschine fortbesteht. Figur 5b) zeigt die Startvorrichtung in dieser so genannten

30 Voreinspur-Stellung. Der Schaltkontakt 18 ist dabei noch im geöffneten Zustand. Der Transistor Tr_2 der Steuereinheit 19 ist nun wieder gesperrt und der Startermotor 11 ist wieder stromlos.

Schaltet die Ampelanlage nun wieder auf eine Grünphase um, muss der Fahrer lediglich das Gaspedal betätigen, damit dann zum Zeitpunkt t_5 vom Motorsteuergerät 21 ein Startsignal an die Steuereinheit 19 abgegeben wird. Vom Mikroprozessor wird nun der Transistor Tr1 voll leitend gesteuert und die Relaiswicklung 16 des Starterrelais 12 wird nun mit dem vollen Erregerstrom I_r beaufschlagt. Dadurch springt die Magnetkraft P_m gemäß Figur 3 von der Durchflutungskennlinie H_0 auf die Kennlinie H_3 hoch und übersteigt dabei deutlich die Rückstellkraft P_r der Federn 35, 36 und 38 des Starterrelais 12. Der Anker 28 wird nunmehr mit voller Kraft bis zum Anschlag am Magnetkern 26 eingezogen. Damit wird im zweiten Wegabschnitt Sa2 (Figur 3) die Kontaktbrücke 18a über die Schaltstange 30 auf die Gegenkontakte 18b gedrückt und schließlich über die Kontaktdruckfeder 38 der erforderliche Kontaktdruck erzeugt. Nun wird der Startermotor 11 an das Pluspotential der Akkumulatorbatterie gelegt, so dass der Startermotor 11 nunmehr mit voller Kraft über das Einspurritzel 13 die Brennkraftmaschine 15 andrehen kann. In Figur 5c) ist diese so genannte Startphase der Startvorrichtung dargestellt, wobei über den Einrückhebel 24 das Einspurritzel 13 federbelastet in der Einspurstellung gehalten wird. Zum Zeitpunkt t_6 kann der Relaisstrom I_r von der Steuereinheit 19 über den Transistor Tr1 auf den so genannten Haltestrom I_h abgesenkt werden, da dieser ausreicht um eine oberhalb der Federkennlinie P_r des Starterrelais 12 liegende magnetische Kraft P_m zu erzeugen. Sobald nun die Brennkraftmaschine in den Selbstlauf geht, steigt durch die Betätigung des Gaspedals die Drehzahl stark an. Beim Erreichen der Leerlaufdrehzahl n_0 wird damit zum Zeitpunkt t_7 über die Steuereinheit 19 der Transistor Tr1 gesperrt. Das Relais wird stromlos und durch die Rückstellkräfte der Federn 35, 36 und 38 wird der Anker 28 nunmehr wieder in die Ruhelage zurückgeschoben. Dabei wird der Schaltkontakt 18 geöffnet und das Einspurritzel 13 aus

dem Zahnkranz 14 der Brennkraftmaschine 15 ausgespurt. Der Strom des Startermotors 11 wird dabei unterbrochen und dadurch der Startermotor stillgesetzt. Die Startvorrichtung gelangt damit wieder in ihre Ruhelage gemäß Figur 5a) und verbleibt dort, bis die Brennkraftmaschine 15 erneut für eine Stopp-Phase stillgesetzt und sodann der zuvor beschriebene Einspur- und Startvorgang durchlaufen wird.

Im ersten Ausführungsbeispiel nach Figur 2 bis 5 wird die Kontaktrückstellfeder 36 des Starterrelais 12 als weitere Rückstellfeder für den Anker 38 verwendet, die in der Stopp-Phase das Starterritz 13 in der Einspurstellung hält, wobei der Schaltkontakt 18 des Starterrelais 12 aufgrund der Vorspannungskraft der Kontaktrückstellfeder 36 noch in seiner Ruhelage in geöffneter Stellung bleibt. Erst mit Beginn der Start-Phase wird in der zweiten Stufe des Starterrelais 12 der Schaltkontakt 18 mit voller Kraft geschlossen, indem der Strom in der Relaiswicklung 16 auf einen für den erforderlichen Kontaktdruck des Schaltkontaktes 18 benötigten Wert erhöht wird.

Figur 6 zeigt in einem weiteren Ausführungsbeispiel ein Starterrelais 12 im Querschnitt, dessen konstruktiver Aufbau im wesentlichen dem Starterrelais 12 aus Figur 2 entspricht und dessen Teile mit den gleichen Bezugszahlen versehen sind. Abweichend vom ersten Ausführungsbeispiel ist beim Starterrelais nach Figur 6 ein kleinerer Abstand a' zwischen dem Stößel 17 des Ankers 28 und der Schaltstange 30 des Schaltkontaktes 18 vorgesehen. Außerdem stützt sich dort die Kontaktdruckfeder 38 auf einer Ringscheibe 40 ab, die im Ruhezustand des Relais am Boden der Ausnehmung 39 des Magnetkerns 26 aufliegt und die auf der Schaltstange 30 axial verschiebbar aufgenommen ist. Die Isolierstoffhülse 31 der Schaltstange 30 endet mit einem Abstand b unterhalb der Ringscheibe 40. Durch diese konstruktiven Änderungen ergibt

sich auch eine Änderung der Federrückstellkraft des Starterrelais 12 über den Ankerhub s .

Die Wirkungsweise des Relais gemäß Figur 6 wird nun mit Hilfe der Figuren 7 und 8 näher erläutert. Figur 7 zeigt über den Weg s des Ankers 28 einerseits die Federkennlinie des Starterrelais 12 als Rückstellkraft P_r und andererseits die Kraftkennlinien des Starterrelais bei verschiedenen magnetischen Durchflutungen H_0 bis H_3 . Figur 8 zeigt ähnlich wie Figur 5 die Startvorrichtung in schematischer Darstellung in der Ruhelage gemäß a), in der Einspurstellung gemäß b) und in der Startstellung gemäß c).

Ausgehend vom Ruhezustand des Ankers 28 gemäß Figur 6 und Figur 8 a) muss zunächst die Vorspannung der Ankerrückstellfeder 35 überwunden werden. Durch ein axiales Vorrücken des Ankers wird sodann die Ankerrückstellfeder 35 bis zu Position S_1 um etwa 4mm zusammengedrückt, wobei die Federkraft zunächst gering und linear ansteigt. In dieser Position wird nun gemäß Figur 1 über den Einrückhebel 24 das Starterritzel 13 vorgespurt und bei leichter Bestromung des Startermotors 11 wird es in den Zahnkranz 14 der Brennkraftmaschine 15 eingespurt. Dabei bewegt sich der Anker 28 des Starterrelais 12 zunächst bis zur Position S_1' in Figur 7, wo nunmehr der Stößel 17 des Ankers 28 auf die Schaltstange 30 trifft, die mit der Vorspannkraft der Kontaktrückstellfeder 36 in dieser Position mit einer Kraft P_l gehalten wird. Bis zu dieser Position wird nun der Erregerstrom stufenweise reduziert, indem die Durchflutung von der Kennlinie H_2 auf H_0 reduziert wird. Die von der Durchflutung H_0 erzeugt magnetische Kraft P_m ist im Gegensatz zum ersten Ausführungsbeispiel größer als die Vorspannkraft der Kontaktrückstellfeder 36, so dass nunmehr der Anker über die Position S_1' hinaus bis zur Position S_2 bewegt wird. In dieser Position stößt nun die Isolierhülse

31 der Schaltstange 30 gegen die Ringscheibe 40, auf die sich die vorgespannte Kontaktdruckfeder 38 abstützt. Durch den Hub des Ankers 28 von der Position S1' zur Position S2 wird ferner die Kontaktbrücke 18a von der Schaltstange 30 bis zu einer Position kurz vor dem Berühren der Gegenkontakte 18b vorgerückt. Aufgrund der Durchflutung H0 ist nun die magnetische Kraft so gering, dass der Anker 28 in dieser Position während der gesamten Stopp-Phase des Fahrzeugs gehalten wird.

Eine weitere Ankerbewegung kann nun erst wieder erfolgen, wenn auch die Vorspannkraft der Kontaktdruckfeder 38 mit dem Wert P2 überwunden wird. Dies geschieht mit Beginn der Start-Phase, bei der die Durchflutung des Relais auf die Kennlinie H3 durch die volle Bestromung der Relaiswicklung 16 angehoben wird. Dadurch wird schließlich von der Position S2 aus die Kontaktbrücke 18a mit einem steileren Kraftanstieg bis zu den Gegenkontakten 18b vorgeschoben und schließlich bis zum Anschlag des Ankers 28 am Magnetkern 26 auch noch die Kontaktdruckfeder 38 für den erforderlichen Kontaktdruck weiter gespannt.

In diesem Ausführungsbeispiel bildet die Kontaktdruckfeder 38 für den Anker 28 eine weitere Rückstellfeder, mit der die Startvorrichtung in der Einspurstellung des Starterritzels bei geöffnetem Schaltkontakt 18 gehalten wird. Da bei dieser Ausführung der Schaltkontakt 18 bereits während der Stopp-Phase bis kurz vor dem Schließen angehoben wird, ergibt sich damit für die Start-Phase ein nahezu unverzügliches Andrehen der Maschine durch ein unverzügliches Schließen des Schaltkontaktes 38 zur vollen Bestromung des Startermotors 11.

Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, da sich die

Startvorrichtung in vielen Details modifizieren lässt. So ist es beispielsweise möglich, beim so genannten Voreinspuren sowie in der Haltephase das Starterrelais 12 und/oder den Startermotor 11 getaktet anzusteuern. Dabei werden die Transistoren Tr1 und Tr2 zur Begrenzung der Schaltverluste vorzugsweise mit einem geänderten Tastverhältnis über den Mikroprozessor μP angesteuert. Außerdem lässt sich auf diese Weise über den Temperatursensor T der Steuereinheit 19 der Strom des Starterrelais 12 und des Startermotors 11 temperaturabhängig auf die jeweils erforderliche Kraft optimieren. Des Weiteren ist es möglich, mit einem gemäß Figur 4 gestrichelt dargestellten, verlängerten Andrehsignal Sd den Startermotor 11 länger anzusteuern, um nach dem Eindrehen des Starterritzels 13 in den Zahnkranz 14 der Brennkraftmaschine 15 diese bis in eine Kompressionsstellung weiterzudrehen, was auch auf der Zeitachse t_a der Motordrehzahl n gestrichelt angedeutet ist. Dadurch kann der Startvorgang der Brennkraftmaschine 15 weiter beschleunigt werden. Erfindungswesentlich ist dabei das dynamische Verhalten des Starterrelais 12 durch die Steuerung des Relaisstromes über die Steuereinheit 19 in Kombination mit einer geeigneten Federauslegung des Starterrelais 12, um den Einzugs- und Schaltvorgang des Relais in zwei Stufen derart zu unterteilen, dass in der ersten Stufe ein lineares, geräuschminimiertes Einrücken des Starterritzels 13 für ein weiches Voreinspuren in den Zahnkranz 14 der Brennkraftmaschine 15 gewährleistet wird. Die Auslegung des Magnetkreises erfolgt dabei derart, dass der für die Durchflutung erforderliche Relaisstrom möglichst klein bleibt. Außerdem ist in der Haltestellung des Relais für die Zeit des Voreinspurens der verbleibende Luftspalt des Magnetkreises -und damit verbunden der Kontaktabstand der Schaltbrücke 18a zu den Gegenkontakten 18b- zu minimieren. Erst in der Stufe zwei wird die magnetische Durchflutung des

Relais derart erhöht, dass die Kontaktrückstell- und Kontaktandruckfeder 36 und 38 überbrückt werden und der Schaltkontakt 18 zum Schalten des Hauptstromes für den Startermotor 11 geschlossen wird.

5

Für die mit Beginn der zweiten Stufe des Starterrelais 12 aktivierte weitere Rückstellfeder 38 wird zwar bei den Ausführungsbeispielen die Kontaktrückstellfeder beziehungsweise die Kontaktdruckfeder für den Schaltkontakt 18 des Relais verwendet. Die weitere Rückstellfeder kann jedoch ebenso gut als separate Rückstellfeder, zum Beispiel konzentrisch zur Ankerrückstellfeder so angeordnet werden, dass sie erst mit Beginn der zweiten Stufe vom Anker 28 mit entsprechend großer magnetischen Kraft beaufschlagt wird.

10

Dabei sind die verschiedenen Federn des Relais in jedem Falle derart aufeinander abzustimmen, dass eine in Figur 3 beziehungsweise 7 dargestellte gestufte Federkennlinie P_r entsteht. Dabei ist es auch möglich, eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Abstufung der Federkennlinie am Beginn der zweiten Stufe des Starterrelais 12 zu realisieren.

15

20

In weiterer Modifikation der Startvorrichtung ist es auch möglich, die Relaiswicklung 16 des Starterrelais 12 in der zweiten Stufe eines Startvorgangs zum Zeitpunkt t_5 in Figur 4 über ein Steuerrelais SH -in gleicher Weise wie für einen Kaltstart der Maschine- direkt vom Motorsteuergerät 21 einzuschalten, wie dies in Figur 1 gestrichelt angedeutet ist.

25

Ansprüche

1. Startvorrichtung (10) für Kraftfahrzeuge mit einer
5 Steuereinheit (19) und mit einem Starterrelais (12) zum
 Einspuren eines Starterritzels (13) in einen Zahnkranz
 (14) einer Brennkraftmaschine (15), sowie mit einem das
 Starterritzel antreibenden Startermotor (11), wobei das
10 Starterrelais eine Relaiswicklung (16) und einen den
 Hauptstrom des Startermotors schaltenden Schaltkontakt
 (18) aufweist, in dem jeweils bei einem Start-Stopp-
 Vorgang während der Stopp-Phase in einer ersten Stufe
 (Sa1) das Starterritzel in den Zahnkranz eingespurt und
15 während der Start-Phase in einer zweiten Stufe (Sa2) die
 Brennkraftmaschine vom Startermotor angedreht wird,
 dadurch gekennzeichnet, dass in der ersten Stufe (Sa1)
 mit dem Voreinspuren des Starterritzels (13) der Anker
 (28) des Starterrelais (12) mit reduzierter Kraft bis zu
20 einer Position (S2) mit noch geöffnetem Schaltkontakt
 (18) vorgerückt und dort gehalten wird, bis mit Beginn
 der zweiten Stufe (Sa2) der Schaltkontakt (18) mit voller
 Kraft schließt.
2. Startvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
25 dass die Steuereinheit (19) in der ersten Stufe (Sa1) den
 Strom (Ir) in der Relaiswicklung (16) über ein
 Schaltelement (Tr1) von einem Anfangswert bis auf einen
 Haltestrom, vorzugsweise gestuft, verringert und in der
 zweiten Stufe (Sa2) den Strom (Ir) auf einen für den
30 erforderlichen Kontaktdruck des Schaltkontaktes (18)
 benötigten Wert erhöht.
3. Startvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,
 dass die durch den Haltestrom im ersten Wegabschnitt
35 (Sa1) des Ankers (28) erzeugte Magnetkraft (Pm) größer

ist als die Kraft der vorgespannten Ankerrückstellfeder (35), aber geringer als die Kraft einer weiteren, im letzten Wegabschnitt (Sa2) wirksamen, vorzugsweise vorgespannten Rückstellfeder (36, 38).

5

4. Startvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorspannkraft der weiteren Rückstellfeder (36, 38) erst mit erhöhter Bestromung des Starterrelais (12) für den letzten Wegabschnitt (Sa2) des Ankers (28) zu überwinden ist.

10

5. Starterrelais für eine Startvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Magnetkreis des Starterrelais (12) in einem federbelasteten Wegbereich (A) des Ankers (28) vor dem Schließen des Schaltkontaktes (18) auf eine zur magnetischen Durchflutung (ΔH) nahezu proportionale Wegänderung (ΔS) des Ankers (28) ausgelegt ist.

15

6. Starterrelais nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Anker (28) in seinem hinteren Wegabschnitt (Sa2) mit geringem radialen Luftspalt konzentrisch über einen Magnetkern (26) des Starterrelais (12) greift.

20

7. Starterrelais nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Anker (28) auf seiner dem Magnetkern (26) zugewandten Stirnseite mit einem axial vorstehenden Kragen (41) versehen ist, der im hinteren Wegabschnitt (Sa2) des Ankers (28) über das vordere Ende des Magnetkernes (26) greift.

25

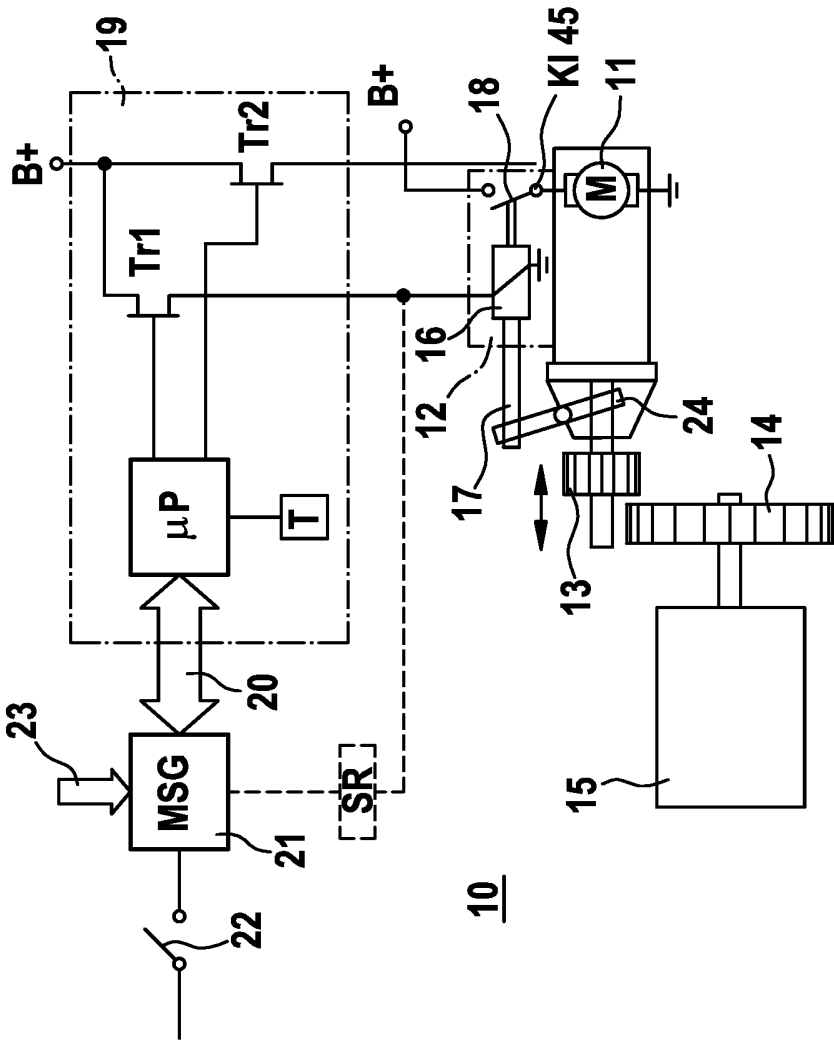
30

8. Starterrelais für eine Startvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Anker (28) des Starterrelais (12) am Ende der ersten Stufe an der weiteren Rückstellfeder (38) abstützt.

35

- 5 9. Starterrelais nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,
dass eine Kontaktrückstellfeder (36) des Starterrelais
(12) die weitere Rückstellfeder bildet, die über eine
Schaltstange (30) vom Anker (28) zu betätigen ist.
- 10 10. Starterrelais nach Anspruch 8 oder 9, dadurch
gekennzeichnet, dass der Schaltkontakt (18) bereits im
ersten Wegabschnitt (Sa1) des Ankers (28) bis kurz vor
dem Schließen vorzurücken und dort durch die
vorgespannte, weitere Rückstellfeder (36) während der
Stopp-Phase zu halten ist.
- 15 11. Starterrelais nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,
dass eine Kontaktdruckfeder (36) des Starterrelais (12)
die weitere Rückstellfeder bildet.
- 20 12. Starterrelais nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet,
dass bereits in der ersten Stufe (Sa1) die den
Schaltkontakt (18) tragende Schaltstange (30) bis zu
ihrer Abstützung an der Kontaktdruckfeder (36) vorrückbar
ist.

Fig. 1



2 / 5

Fig. 2

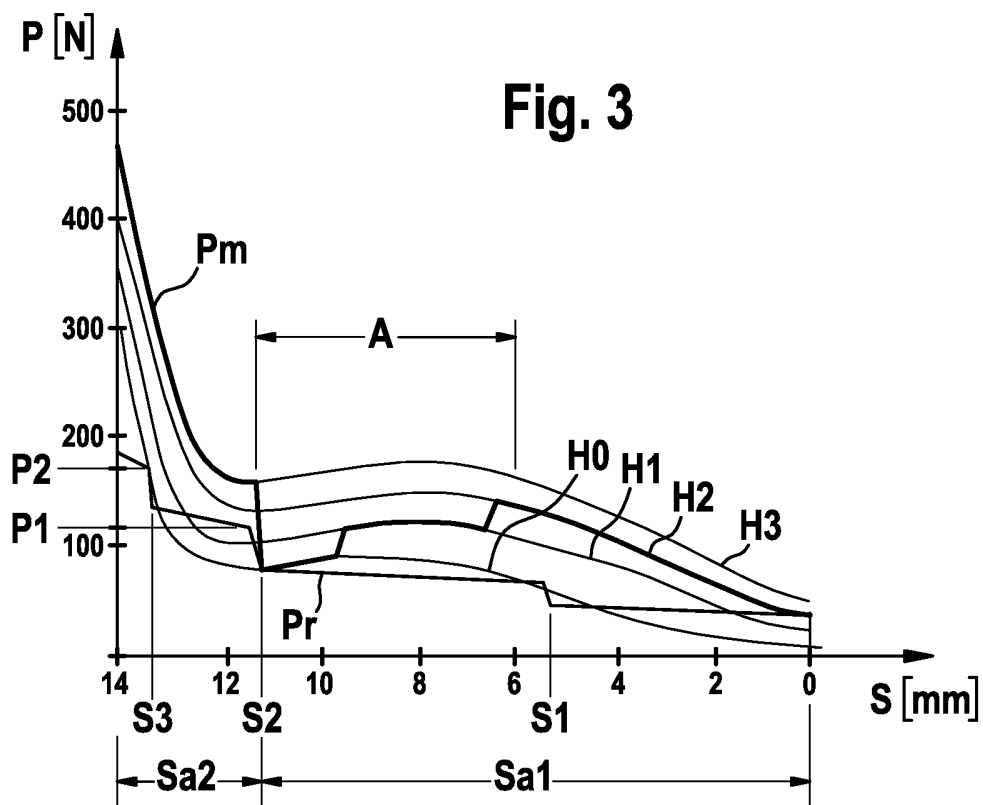
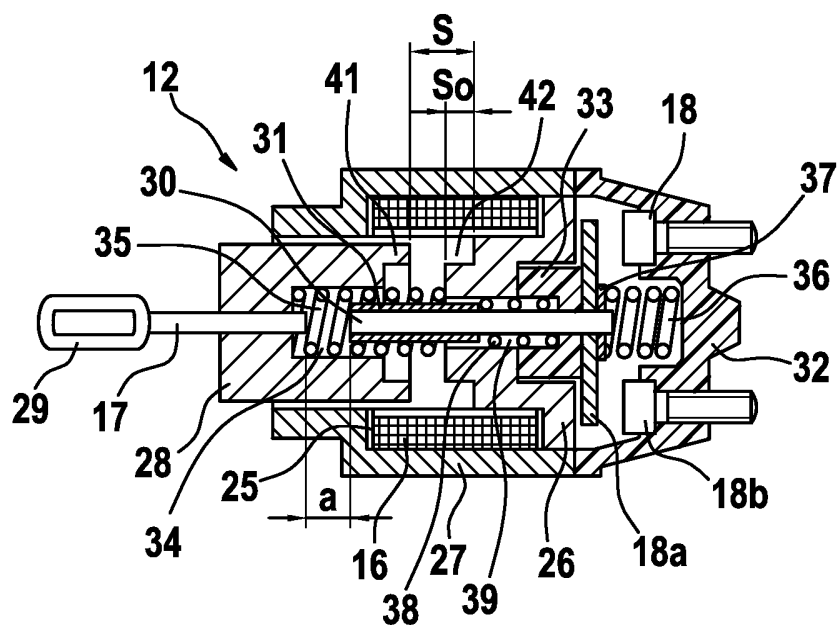


Fig. 3

Fig. 4

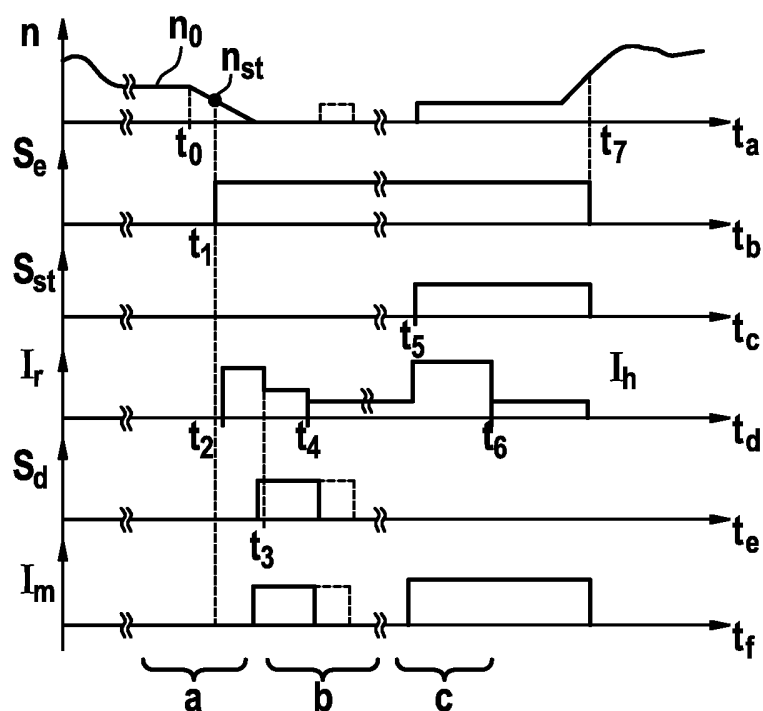
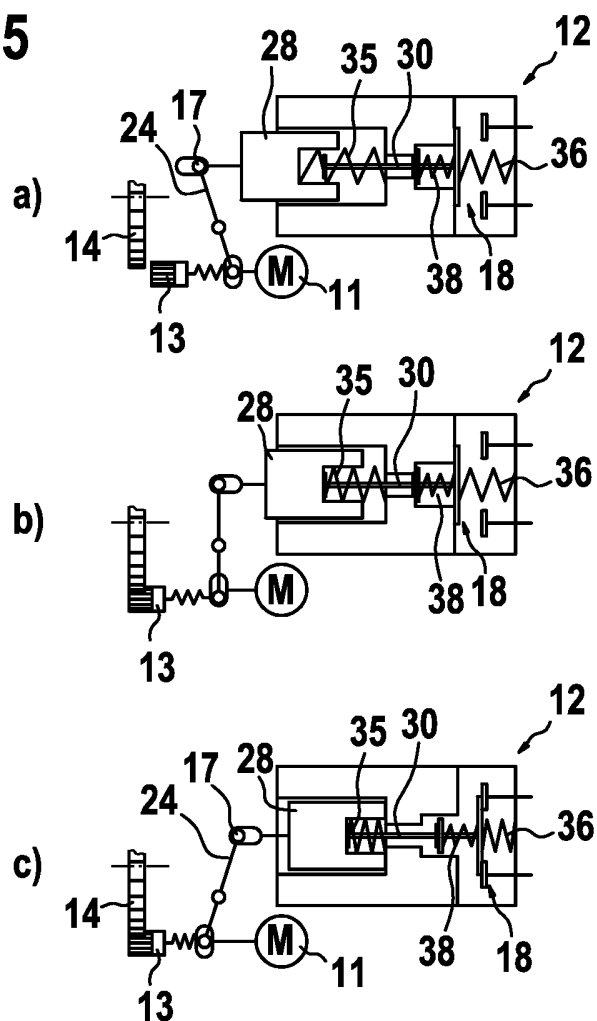
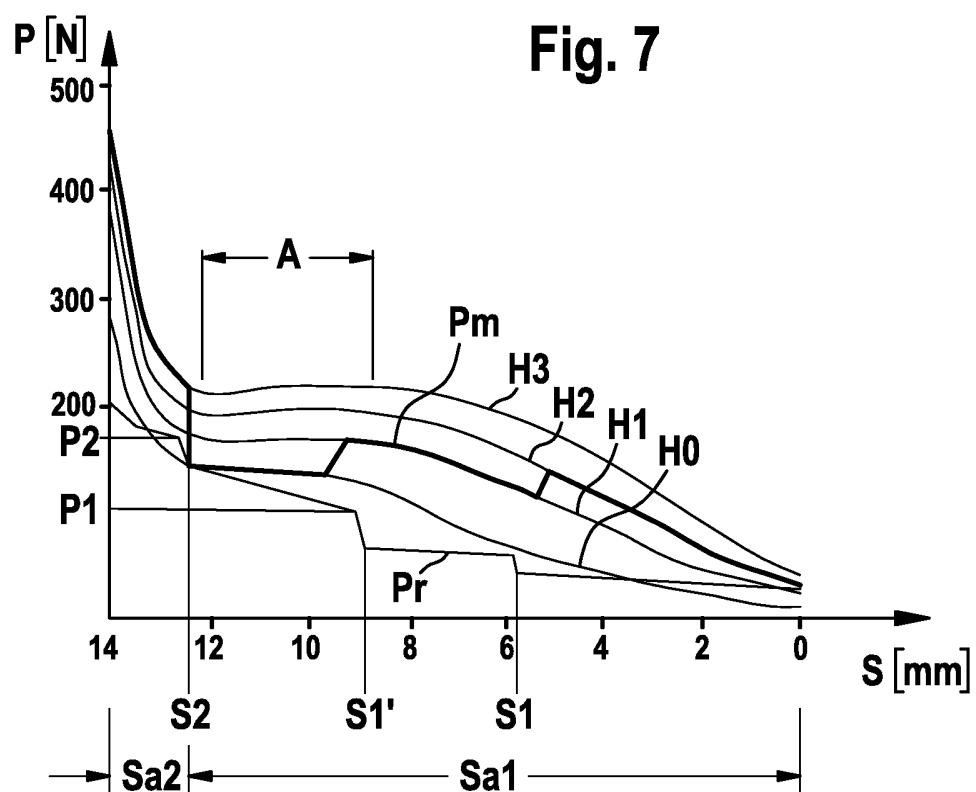
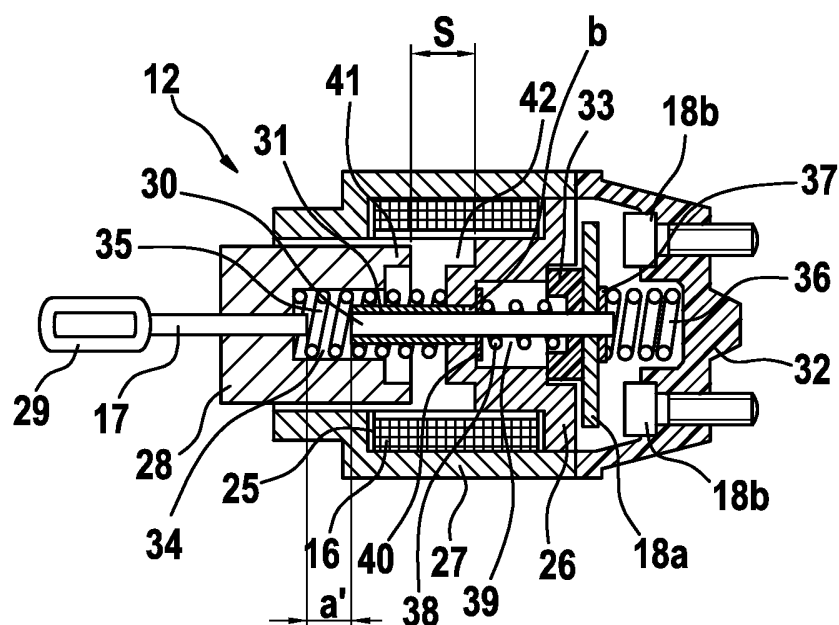


Fig. 5



4 / 5

Fig. 6



5 / 5

Fig. 8

