

1. Zündsysteme für Otto-Motoren

1.1. Einleitung

Das klassische Batterie-Spulen-Zündsystem nach Bild 1 weist eine Reihe von Mängeln auf, die eine Weiterentwicklung erfordern:

- begrenzte Energie des Zündfunken, Abnahme der Funkenenergie bei hohen Drehzahlen,
- Empfindlichkeit gegenüber kleinerem Isolationswiderstand auf der Sekundärseite,
- hohe Strombelastung des Unterbrecherkontakts und damit Abbrand der Kontakte.

Moderne Kraftfahrzeugmotoren sind hoch verdichtet, haben eine hohe Drehzahl, und der Treibstoff enthält Antiklopffmittel. Einer weiteren Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Batterie-Spulen-Zündsystemen sind heute technische Grenzen gesetzt. Es gibt folgende Wege der Verbesserung:

- a - Einsatz eines Leistungstransistors hinter dem Unterbrecher und damit Möglichkeit der Verkleinerung der Primärinduktivität der Zündspule, Entlastung des Unterbrecherkontakts vom hohen Strom und primärseitig Verteilung des Stromanstiegs (Verbesserung des Spulenzündsystems).
- b - Einsatz der Kondensatorzündung, d. h., Erzeugung einer Spannung von 200 bis 500 V mit Transverter und Entladung über die Zündspule mit entsprechend gesteuerten Thyristoren. Dieses elektronisch kompliziertere System ist zukunftsicher, da es sich für höchste Drehzahlen eignet und auch bei niedrigen Drehzahlen hohe Funkenleistung ermöglicht. Außerdem ist es gegenüber dem Isolationswiderstand auf der Sekundärseite relativ unempfindlich.

Für beide Verfahren soll ein Beispiel gegeben werden.

1.2. Berechnung der Spulenzündsysteme

Der Primärstrom in der Zündspule steigt nach dem Schließen des Unterbrechers exponentiell an und erreicht im Moment des Öffnens den Wert

$$i_p = \frac{U_{batt}}{R1} \left(1 - e^{-\frac{R1}{L1} t_k} \right);$$

- U_{batt} - Spannung der Fahrzeugbatterie,
- $R1$ und $L1$ - Widerstand und Induktivität der Primärseite der Zündspule,
- t_k - Schließzeit des Unterbrechers.

Für t_k gilt

$$t_k = \gamma T = \gamma \frac{120}{N_z n};$$

- $\gamma = t_k/T$ - Schließwinkel,
- N_z - Zylinderzahl,
- n - Umdrehungen je Minute beim Viertaktmotor.

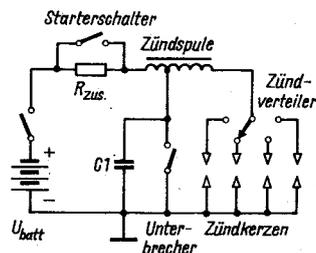


Bild 1 Spulen-Batterie-Zündsystem für Kraftfahrzeuge

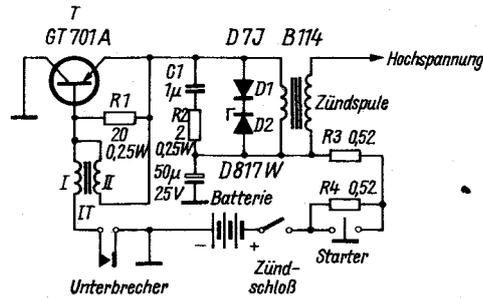


Bild 2 Sowjetische Transistor-Zündanlage TK 102

Werte für i_p liegen im Bereich von 3 bis 7 A. Für die maximale Sekundärspannung gilt

$$U_{2max} = i_p (w2/w1) \sqrt{\frac{L1}{C1 + C2 (w2/w1)^2}};$$

- $w2/w1$ - Übersetzungsverhältnis der Zündspule (es liegt bei Werten zwischen 40 und 100),
- $C1$ - Primärkreis Kapazität (etwa 0,3 μF),
- $C2$ - Parallelkapazität des Sekundärkreises.

Die Funkenenergie beträgt $W_L = L1 \frac{i_p^2}{2}$.

Für die Kondensatorzündung beträgt die Funkenenergie $W_C = CU^2/2$

(U - Ladespannung des Kondensators), und die maximale Sekundärspannung ergibt sich zu

$$U_{2max} = U (w2/w1) \frac{C1}{C1 + C2 (w2/w1)^2}$$

Die Funkenenergie bei Spulenzündung liegt bei einem Unterbrecherstrom von 5 A und einer Primärinduktivität von 5 mH (bei $R1 = 1 \Omega$) bei $W_L = 0,067$ Js. Bei der Kondensatorzündung ergeben sich für $C = 1 \mu F$ und $U = 400$ V die entsprechenden Größen zu $W_C = 0,08$ Js. Die Funkenenergie kann durch Spannungserhöhung oder durch Vergrößerung der Kapazität leicht auf 0,1 Js gebracht werden. Damit sind noch sekundäre Isolationswiderstände um 100 k Ω zulässig. Die Steilheit des Spannungsanstiegs für den Zündfunken wird größer. Vergrößert man den Kerzen-Elektrodenabstand auf 0,8 bis 0,9 mm, so erreicht man eine sichere Zündung des Benzin-Luft-Gemisches.

1.3. Beispiel für eine Transistorzündanlage

Bild 2 zeigt den Stromlaufplan des in der UdSSR gefertigten Transistorzündsatzes TK 102 für 12-V-Bordnetze. Der Transistor T arbeitet im Schaltbetrieb (pnp-Germanium-Leistungstransistor GT 701 A, $U_{CEOmax} = 100$ V, $U_{EBO} = 15$ V, $I_C = 12$ A, $P_{tot} = 50$ W, $f_{\alpha} \geq 50$ kHz, $B \geq 10$, $R_{thj} = 1,2$ k/W) mit der Last im Emitterkreis. Damit kann der mit dem Gehäuse verbundene Kollektor direkt geerdet werden. Bei kurzgeschlossenem Unterbrecher wird in die Basis ein Strom von 0,3 bis 0,9 A eingespeist, und über den voll geöffneten Transistor fließt ein Primärstrom von 7 bis 8 A durch die Zündspule (Zündspule B 114, primärseitig 190 Wdg., $R = 0,4 \Omega$, sekundärseitig 41 500 Wdg., ölgefüllt). Der spezielle Impulstransformator IT und der Widerstand R1 beschleunigen den Sperrvorgang des Transistors bei Öffnen des Unterbrechers. Der Kreis C1/R2 ist zur Glättung des Übergangsprozesses erforderlich, der durch die Streuinduktivität des Primärkreises entsteht. D1 und die Z-Diode D2 schützen den Leistungstransistor vor Überspannungen. Der

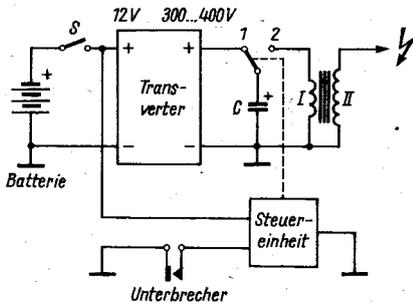


Bild 3 Prinzipialschaltung einer Kondensator-Zündanlage

Impulstransformator hat folgende Daten: Primärwicklung – 50 Wdg., $R = 0,14 \Omega$, $L = 0,1 \text{ mH}$; Sekundärwicklung – 150 Wdg., $R = 7 \Omega$, $L = 6,2 \text{ mH}$. Die Kühlfläche für den Transistor beträgt 470 cm^2 . Das Gerät läßt sich im Temperaturbereich von -40 bis $+65^\circ \text{C}$ einsetzen; es sollte im Fahrgastraum montiert werden.

Derartige Transistorzündanlagen mit besonderen »Hochleistungszündspulen« sind verbreitet im Einsatz. Bei ihrem Einbau ist der Unterbrecherkondensator zu entfernen sowie der Transistor und die neue Zündspule einzubauen.

Es sind auch Transistorzündgeräte mit mehreren in Reihe geschalteten Leistungstransistoren bekannt geworden, z. B. das sowjetische Gerät PPS-1 (s. radio-fernsehen-elektronik 16 (1967) Heft 13, Seite 410), sie haben aber nicht die große Verbreitung der Kondensatorzündanlagen gefunden. Für beide Systeme gilt jedoch zumindest zum heutigen Zeitpunkt, daß sich durch ihren Einsatz der Preis des Kraftfahrzeugs erhöht. Die Spulenzündung ist immer noch am billigsten. Eine Benzineinsparung tritt durch Einbau der modernen Zündsysteme nur indirekt auf, nämlich durch Vermeiden von Zündaussetzern und durch höhere Gesamtzuverlässigkeit bei geringerer notwendiger Einstellhäufigkeit.

1.4. Beispiel für eine Kondensatorzündanlage

Bild 3 zeigt den Prinzipstromlaufplan der Kondensatorzündung mit den Baugruppen Hochspannungstransverter, Speicherkondensator und gesteuerter Entladeschalter. Als Lade-/Entladeschalter setzt man heute Siliziumthyristoren ein, die für Sperrspannungen bis 600 V und Ströme bis 15 A auch in der DDR gefertigt werden (ST 111, ST 121). Bild 4 zeigt die ausführliche Schaltung eines Thyristor-Kondensatorzündgeräts. Die aus der Batterie entnommene Gleichstromleistung wird einem Gegentakttransverter zugeführt, der aus den Transistoren T1 und T2 besteht (Germanium-Leistungstransistoren P 217 W, ASZ 1017, GD 240 o. ä.). Sekundärseitig wird über eine Brücke aus 4 Silizium-Gleichrichterdiode gleichgerichtet. R1 und R2 sind Starterwiderstände, R3 und R4 begrenzen den Basisstrom der Transistoren. Als Lade-/Entladeschalter für den Speicherkondensator C3/C4 liegen zwei Thyristoren in Serie. Sie werden über die Gate-Elektroden gleichzeitig gezündet. Dabei sichern R8, C2

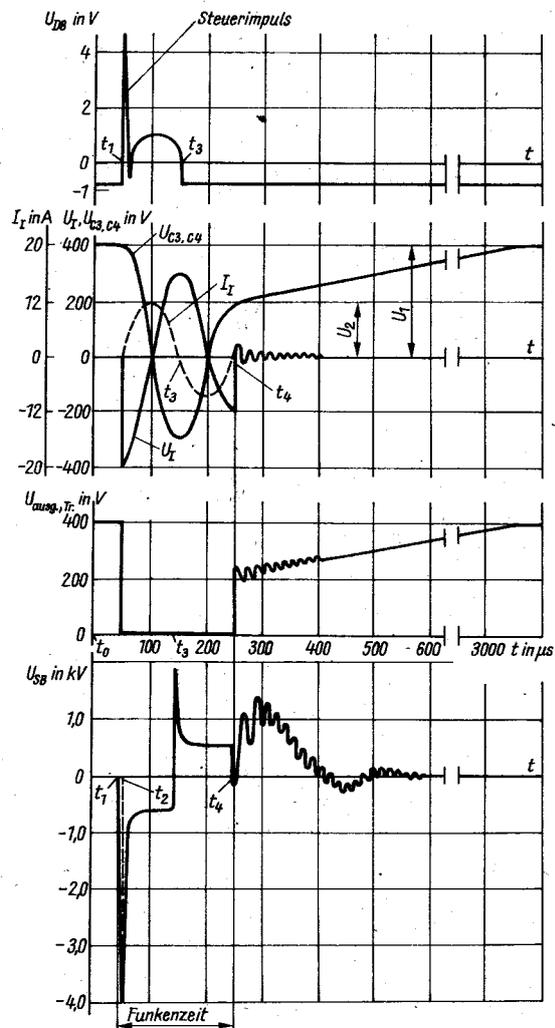


Bild 5 Strom- und Spannungsverläufe zur Schaltung nach Bild 4

und D6 das Zünden des oberen Thyristors. Über ein RC-Dioden-Netzwerk wird aus Schließen und Öffnen des Unterbrechers der definierte Zündimpuls für die Thyristoren hergestellt. D5 und C1 bilden ein NF-Filter, das Störungen vom Zündkreis der Thyristoren fernhält.

Bild 5 zeigt die Spannungs- und Stromverläufe in der Schaltung. Nimmt man an, daß der Unterbrecher im Einschaltmoment geöffnet ist, dann wird beim Anlegen der Speisespannung die Steuerelektrode von D8 über R7 an den negativen und die Katode des Thyristors über D5 an den positiven Pol der Speisespannung gelegt. Damit liegt an der Steuerelektrode ein negatives Potential, das durch D9 auf 0,6 bis 0,7 V begrenzt wird.

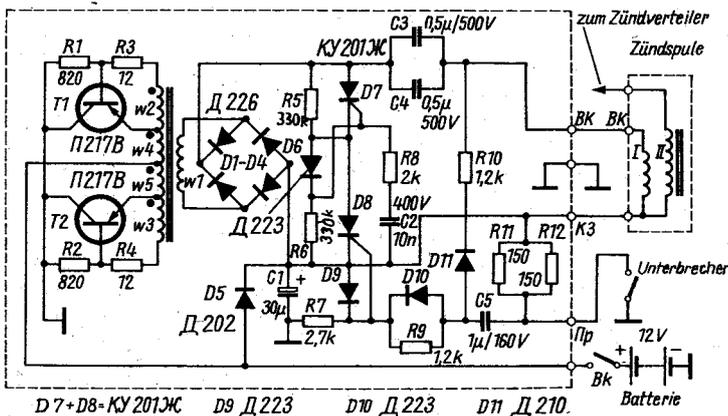


Bild 4 Kondensator-Zündanlage mit zwei in Serie geschalteten Thyristoren



Der Transverter schwingt an und lädt $C3/C4$ auf 400 V auf (Moment t_0 in Bild 5). Die Thyristoren bleiben gesperrt, und an jedem liegt, da $R5 = R6$ ist, die halbe Spannung, also 200 V. $C2$ lädt sich über $R8$ auf die an $R6$ abfallende Spannung auf. Beim Schließen des Unterbrechers lädt sich $C5$ über die Dioden $D5, D9$ und den Widerstand $R9$ auf die Batteriespannung auf. $R9$ verzögert etwas die Ladung von $C5$ als »Prellfilter« für den Unterbrecher. Beim Öffnen des Unterbrechers zum Zeitpunkt $t1$ entlädt sich $C5$ über $D10$, über den Steuerkreis des Thyristors $D8$ und über die Widerstände $R11, R12$. Damit gelangt ein positiver Impuls an das Gate, und $D8$ schaltet. Die Spannung an $C2$ wird über $R8$ an das Gate von $D7$ geführt. Dadurch schaltet auch $D7$ und legt die Primärseite der Zündspule an den auf 400 V aufgeladenen Kondensator $C3/C4$. Dieser kurzzeitige sekundärseitige Kurzschluß unterbricht die Transverterschwingungen. Über $R10$ und $D11$ wird ein negativer Impuls zur Umladung von $C5$ aus der Zündspule gewonnen, der ein Wiedereinschalten der Thyristoren verhindert. Die Impulsdauer beträgt 2 μ s. Die Steilheit des Anstiegs der Sekundärspannung hängt von den Kennwerten der Zündspule ab. Bei einer serienmäßigen Spule beträgt die Anstiegszeit 5 bis 10 μ s. Im Kreis Zündspule, $C3/C4$ sowie $D7/D8$ tritt eine gedämpfte Schwingung auf, nach deren Ende die Thyristoren wieder gesperrt sind. Der Transverter lädt in etwa 3 ms die Kondensatoren $C3/C4$ wieder auf. Aus dem Bild kann man die Funkendauer zu 200 μ s ablesen. Durch diesen kurzen Zündimpuls (die Entflammung des Benzin-Luftgemischs dauert 10 bis 15 μ s) wird die Lebensdauer der Zündkerzen erhöht. Der Unterbrecherstrom liegt bei 200 mA, er ist nicht induktiv. Bei einem Vierzylinder-Viertaktmotor mit 6000 Umdrehungen in der Minute beträgt die Funkenfolge 200/s. Der Transverter muß deshalb den Speicherkondensator schnell aufladen (3 ms). Der Elektrodenabstand für die Zündkerzen ist auf 1 bis 1,2 mm einzustellen. Beim Zweitaktmotor beträgt die notwendige Funkenfrequenz das Doppelte.

Die Stromaufnahme eines Kondensatorzündgeräts hängt von der Tourenzahl des Motors ab. Bei einem Vierzylinder-Viertaktmotor werden im Leerlauf 0,5 A und bei 6000 Umdrehungen je Minute etwa 1,5 A aufgenommen. Kondensatorzündgeräte lassen sich bis zu Umdrehungszahlen von 10000/min einsetzen. Als Vorteile der Thyristorzündung sind zu nennen: geringer Stromverbrauch, kein Durchbrennen der Zündspule, wenn versehentlich bei geschlossenem Unterbrecher das Ausschalten vergessen wurde, bessere Starteigenschaften im Winter (bei geringerer Stromverstärkung der Transvertertransistoren sind $R1$ und $R2$ auf 510 bis 750 Ω zu verkleinern!), gleichmäßig hohe Zündspannung bei maximaler Drehzahl und dadurch etwas bessere Beschleunigung sowie höhere Endgeschwindigkeit.

Für den Transvertertransformator gibt es zwei Realisierungsmöglichkeiten:

a – Ringkern aus 0,08 Band FeSi, Außendurchmesser 40 mm, Innendurchmesser 25 mm, Höhe 12,5 mm, $w1 = 1600$ Wdg., 0,15-mm-CuL, $w2$ und $w3$ je 15 Wdg., 0,3-mm-CuLBB, $w4$ und $w5$ je 50 Wdg., 1,0-mm-CuL, bifilar.

b – M-55-Kern aus Dynamoblech IV/0,35, dabei $w1 = 1200$ Wdg., 0,25-mm-CuL, $w2$ und $w3$ je 10 Wdg., 0,32-mm-CuL bifilar, $w4$ und $w5$ je 21 Wdg., 0,8-mm-CuL bifilar.

An Stelle der angegebenen sowjetischen Thyristoren können die DDR-Typen $ST 111/4$ oder $ST 121/3$ benutzt werden, als Gleichrichterioden eignen sich $SY 206$. Die Kondensatoren $C3$ und $C4$ sollten Metallpapier Typen sein.

Den Elektronikteil baut man auf einer Cevaunit-Leiterplatte, in einem metallischen Abschirmgehäuse, auf. Die Anlage wird im Fahrgastraum untergebracht, die Leitungen sind in den Motorraum zu führen. Auf einen Nachteil der Kondensatorzündung sei noch hingewiesen: die HF-Entstörung des Fahrzeugs, besonders bei UKW-Empfang, wird schwieriger.

2. Transistor-Regler für Lichtmaschinen

Die Stabilisierung der Generatorspannung, die Begrenzung des maximal zu entnehmenden Stromes und die Verhinderung von Rückstrom im Bordnetz eines Kraftfahrzeugs werden bis heute mit elektromechanischen Baugruppen geringer Lebensdauer realisiert. Derartige »Lichtmaschinenregler« arbeiten nach dem Zweipunktprinzip mit drei Relais spezieller Konstruktion, einem Vibrations-Spannungsrelais, einem Überstromrelais und einem Rückstromrelais. Es sind auch kombinierte Ein-Relais-Regler konstruiert worden.

An einen Regler für die Spannung des Fahrzeugnetzes werden folgende Forderungen gestellt:

- gute Stabilität der Bordnetzspannung bei allen praktisch möglichen Belastungen des Netzes und Drehzahlen der Maschine,
- Zuverlässigkeit und große Lebensdauer,
- leichte Regulierbarkeit,
- geringe eigenerzeugte HF-Störungen.

2.1. Einfacher Transistorregler für Bordnetze mit positivem Pol an Masse

Übliche Relaisregler erfordern Abstimmung nach 10000 bis 20000 km. Der nachfolgend beschriebene Transistorregler einfachster Bauart nach Bild 6 eignet sich für Bordnetze mit positivem Pol an Masse. Er arbeitet mit zwei Transistoren und einer Z-Diode. Der Leistungs-Transistor $T1$ ist ein pnp-Germanium-Typ mit etwa 3 A Kollektorstrom ($GD 240, ASZ 16$ o. ä.), sein Emittor ist mit der Erregerwicklung der Lichtmaschine verbunden. Beim zweiten Transistor, $T2$ ($GC 301$), liegen zwischen Kollektor und Basis die Widerstände $R1$ und $R2$ und zwischen Basis und Pluspol des Akkumulators die Z-Diode $D1$ ($D 809$ bzw. beliebiger Typ mit 9 V Z-Spannung). $R1$ begrenzt den Strom, mit $R2$ (1 k Ω) wird die stabilisierte Spannung eingestellt. Die Funktion des Rückstromrelais übernimmt die Diode $D 305$. Wenn die Akkumulatortension 13 bis 14 V nicht übersteigt,

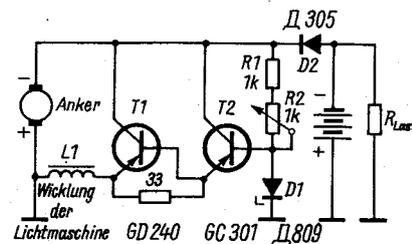


Bild 6 Einfacher Spannungsregler für Gleichstromlichtmaschinen (Plus an Masse)

sind $T1$ und $T2$ voll geöffnet. Weil jedoch schon bei 9 bis 10 V die Z-Diode $D1$ einen Strom über die Widerstände $R1$ und $R2$ fließen läßt, wird durch den damit hervorgerufenen Spannungsabfall von 13 bis 14 V an eine teilweise Sperrung der Transistoren bewirkt. Das führt wiederum zu einer Strombegrenzung durch die Erregerspule der Lichtmaschine und verhindert ein weiteres Ansteigen der Spannung auch bei höherer Drehzahl. Die Diode $D2$ wirkt als Rückstromschalter. Der Regler arbeitet trägheitslos, stabil und stetig. Der Wicklungswiderstand der Erregerspule der Lichtmaschine soll 5 bis 15 Ω betragen, und der maximale Erregerstrom darf 2 A nicht überschreiten. (Für diese Schaltung eignet sich also nicht jeder Lichtmaschinentyp!)

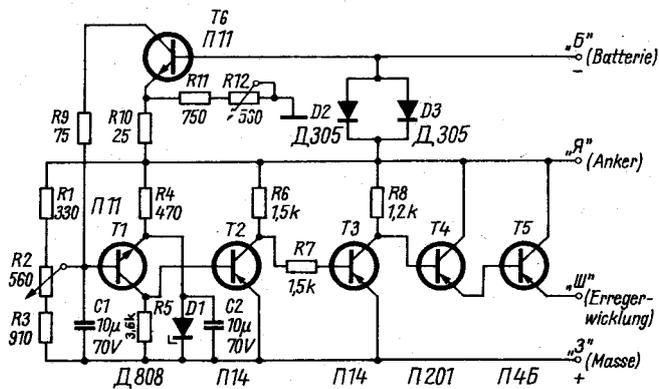


Bild 7 Elektronischer Regler als Ersatz für den Relais-Regler PP 24 des Pkw Moskwitsch

2.2. Elektronischer Regler für den Pkw Moskwitsch

Bild 7 zeigt den Stromlaufplan eines elektronischen Reglers als Ersatz für den beim Moskwitsch angewendeten Dreirelaistyp PP 24. Die Bezeichnungen entsprechen dem Original. In dem dargestellten Stromlaufplan ist T1 der Komparator. D1 liefert die Referenzspannung, und aus dem Kollektorkreis von T1 wird das Steuersignal ausgekoppelt und in einem dreistufigen Leistungsverstärker mit nachgeschaltetem Emitterfolger auf die erforderlichen Stromwerte für die Erregerwicklung gebracht. Mit R2 wird die Sollspannung so eingestellt, daß bei einem Erregerstrom von 2 bis 4 A die Generatorspannung zwischen 13,2 und 13,5 V liegt. Die Dioden D2 und D3 bilden den »elektronischen Rückstromschalter«, der zuverlässiger als ein Überstromrelais funktioniert. Mit dem Transistor T6 wird der Maximalstrom der Lichtmaschine begrenzt. Als Regelgröße für den Maximalstrom wird der Spannungsabfall in Vorwärtsrichtung über den beiden Dioden D2 und D3 benutzt. Den für die Begrenzung notwendigen Wert stellt man mit R12 ein. Die im elektronischen Regler eingesetzten Elektrolytkondensatoren sind Tantaltypen, falls ein weiter Temperaturbereich für den Einsatz gefordert wird. Baut man das Gerät im Fahrgastraum ein, genügen Aluminiumelektrolytkondensatoren. Die Spannung wird im Drehzahlbereich von 1000 bis 4000/min konstant gehalten und der Maximalstrom auf 20 A begrenzt.