



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

206830

(11)

(B1)

(22) Přihlášeno 04 05 79
(21) (PV 3068-79)

(40) Zveřejněno 15 09 80

(45) Vydáno 01 06 84

(51) Int. Cl.³
H 03 K 3/02

(75)

Autor vynálezu

HANÁK IVO ing. a HRIVNÁK JAN ing., PRAHA

(54) Zapojení výkonové části generátoru symetrických vysokonapěťových impulsů

Vynález se týká zapojení výkonové části generátoru symetrických vysokonapěťových impulsů s vysokou strmostí náběžné a sestupné hrany, s možností plynulého nastavení amplitudy a šířky impulsů a se symetrickou kapacitní zátěží na výstupu. Zapojení generátoru je vhodné pro programované ovládání.

Podobná známá zapojení generátoru tohoto druhu s nízkým opakovacím kmitočtem pracují obvykle na principu spínání umělého impulsního vedení do charakteristické zátěže. Pro delší impulsy obsahuje vedení větší počet článků, vrchol impulsů je zvlněný, náběžné a sestupné hrany impulsů nejsou dostatečně strmé. Zatěžovací kapacitu je nutno zahrnout do parametrů vedení jako konstantu. Šířku impulsů lze měnit pouze diskrétně přepínáním jednotlivých článků impulsního vedení. Celkové provedení generátoru z hlediska jeho zapojení je technicky a ekonomicky náročné.

Základní zapojení generátoru impulsu vysokého napětí, se strmými náběžnými a sestupnými hranami, pracující na principu vybíjení impulsního vedení se soustředěnými veličinami do charakteristické impedance, je zevrubně popsáno a jeho účinky analyzovány v knize Vladislava Bubeníka „Impulzová technika“. Autor této knihy se zabývá pod-

robně výpočtem a konstrukcí umělého impulsního vedení na vysoké napětí.

Thyatronový zdroj krátkých impulsů jedné polaritě s nedefinovaným vrcholem impulsu je popsán v knize A. M. Bonč – Brujeviče „Použití elektronek v experimentální fyzice“, SNTL – 1959; na str. 331 této knihy na obr. 298 je znázorněno zapojení, které dává krátké impulsy s amplitudou několika set voltů. V daném zapojení je užito jednoho thyatronu a paralelně k němu sady kondenzátorů C, které se nabíjí ze zdroje s napětím vyšším než +1000 V přes odpor R. Mřížka thyatronu má záporné předpětí a kromě toho je na ni přiváděno harmonické napětí z pomocného zdroje nebo ze sítě, má-li být opakovací kmitočet impulsů roven 50 Hz. V okamžiku, kdy dosáhne mřížkový potenciál thyatronu dostatečné velikosti, vzplane v něm výboj a kondenzátor se vybíjí přes thyatron. Jakmile se proud tekoucí thyatronem přeruší, thyatron zhasne a kondenzátor se začne znovu nabíjet. Druhý impuls vybíjecího proudu se objeví, jakmile potenciál mřížky thyatronu znova dosáhne dostatečné velikosti. Krátké impulsy se odebírají z odporového děliče zapojeného v sérii s katodou thyatronu. Pro normální činnost přístroje takto zapojeného se má

v thyatronu úplně dokončit proces deionizace dříve, než napětí na jeho anodě znova vzroste po průchodu proudového impulsu. Proto musí být nabíjecí čas kapacity C dostatečně veliký a potom je ovšem poměrně velký také čas potřebný pro nabití kapacity na dostatečně vysoké napětí. Tím je ovšem omezen kmitočet řídicího napětí a tedy také kmitočet vytvořených impulsů na hodnotu řádu set Hz. Vyššího kmitočtu lze dosáhnout, jestliže se přivede na mřížku thyatronu místo harmonického napětí periodický sled kladných impulsů. Další nevýhodou tohoto zapojení je skutečnost, že strmost náběhové hrany impulsů vznikajících ve thyatronovém obvodu je do značné míry určena rušivými veličinami respektive vlivy, které jsou obsaženy v paralelním obvodu k obvodu kondenzátoru s kapacitou C , zatímco strmost sestupné hrany impulsů je určena časovou konstantou, číselně rovnou součinu katodového odporu thyatronu a kapacity C . Kromě toho plochá část sestupné hrany impulsu, to znamená doznění impulsu, je tím kratší, čím vyšší je rychlost rozptylu prostorového náboje, vytvořeného kladnými ionty v thyatronu. Deionizační doba je tím kratší, čím vyšší je kladný potenciál mřížky thyatronu po přerušení výboje následkem poklesu anodového napětí. V daném obvodu je po přerušení výboje v thyatronu na jeho mřížce poměrně velké kladné napětí, vytvářené řídicím napětím, a proto se doznění impulsu tj. plochá část sestupné hrany zkrátí. Šířku impulsů lze řídit kapacitou C . Tvar impulsů tj. vybuzených kmitů je podstatně odlišný od obdélníkových impulsů. Nelze vytvořit symetrické impulsy.

Z dostupné literatury lze uvést dále knihu „Technika vysokého napětí“ sovětských autorů Akopjana, Butkeviče a kol., SNTL – 1956. V této knize je na str. 329 na obr. 302 znázorněno schéma zapojení měniče impulsů libovolného tvaru a polaritu v kladný impuls se strmým čelem a s danou vrcholovou hodnotou. Zapojení je vytvořeno dvěma thyatrony $E1$, $E2$ a dvěma kondenzátory $C2$, $C3$. Po vedení 1 se přivádí spouštěcí impuls u_1 , libovolného tvaru. Na výstupním vedení 2 se objevují výstupní pulsy u_2 , které mají velmi strmou náběhovou hranu tj. čelo impulsu s kladnou polaritou. Velikost u_2 výstupního pulsu je prakticky rovna hodnotě napětí U_2 napájecího zdroje. Získané impulsy jsou vždy kladné, i když spouštěcí impuls u_1 je záporný. – Nelze vytvořit symetrické impulsy. – V téže knize je popsáno a znázorněno zjednodušené zapojení na str. 331 na obr. 304. – Ani toto zapojení nelze použít pro vytvoření symetrických impulsů.

V patentovém spise DT-PS 19 42 012 je popsán vynález zapojení pro výrobu vysokonapěťových impulsů, s hodnotou napětí $+1200$ V. – Ani toto zapojení nedává možnost vytvoření symetrických napěťových impulsů. Je vytvořeno z řady v sérii zapojených tranzistorů typu NPN a z řady v sérii zapojených tranzistorů typu PNP, přičemž emitory tranzistorů typu NPN jsou spojeny přímo s kolek-

tory následujících tranzistorů typu NPN a kolektory tranzistorů typu PNP jsou přímo spojeny s emitory následujících tranzistorů typu PNP. Všechny tranzistory jsou zapojeny v základním zapojení báze. Kromě toho je použito dvou klopných obvodů a dvou zdrojů napájecích napětí $+4$ V a -4 V. – Účelem zapojení dle tohoto vynálezu je vytvoření napěťových impulsů o minimální šířce, maximální strmosti náběžné a sestupné hrany, přičemž lze dosáhnout amplitudy napětí $+1200$ V, kmitočtu 10 až 10^{+5} Hz, šířky impulsu 5×10^{-6} sekundy až 10^{-1} sekundy, trvání náběžné hrany $1,2 \times 10^{-7}$ sekundy, trvání sestupné hrany 2×10^{-7} sekundy. – Toto zapojení při srovnání vykazuje řadu nevýhod. Především, nelze použít pro vytvoření symetrických napěťových impulsů, za druhé velikost výstupního pulsního napětí je prakticky omezena složitostí zapojení vlivem toho, že na jeden tranzistor v každém z obou řetězců typů PNP a NPN lze připustit jen určitou hodnotu napětí a proto s rostoucí výší žádaného pulsního napětí roste úměrně počet použitých tranzistorů, odporů a kondenzátorů, za třetí s rostoucím žádaným pulsním napětím vlivem rostoucí složitosti stoupá poruchovost zapojení, za čtvrté je zapojení závislé na speciálním typu klopných obvodů zahraniční výroby a za páté je realizace zapojení podstatně nákladnější.

Podstatou vynálezu je zapojení výkonové části generátoru symetrických vysokonapěťových impulsů s vysokou strmostí náběžné a sestupné hrany, s možností plynulého nastavení amplitudy a šířky impulsů a se symetrickou kapacitní zátěží na výstupu. Podle vynálezu kladná svorka prvního zdroje anodového napětí U_A a záporná svorka druhého zdroje anodového napětí U_B jsou spojeny spolu a se zemí svorkou. Záporná svorka prvního zdroje anodového napětí U_A je přes první odpor připojena ke kladné svorce prvního zdroje předpětí U_{p1} a zároveň ke katodě thyatronu, jehož mřížka je připojena k záporné svorce prvního zdroje předpětí U_{p1} a zároveň k první svorce pro přívod prvních spouštěcích impulsů S_1 , a jehož anoda je přes druhý, anodový odpor a přes třetí odpor spojena s kladnou svorkou druhého zdroje anodového napětí U_B . Katoda prvního thyatronu je přes první kondenzátor a přes čtvrtý, anodový odpor připojena k anodě druhého thyatronu, jehož katoda je přes druhý kondenzátor připojena ke společnému vývodu druhého odporu a třetího odporu. Mřížka druhého thyatronu je připojena jednak ke druhé svorce pro přívod druhých spouštěcích impulsů S_2 , jednak ke záporné svorce druhého zdroje předpětí U_{p2} , jehož kladná svorka je připojena ke katodě druhého thyatronu. Společný vývod prvního kondenzátoru a čtvrtého odporu je připojen ku první výstupní svorce, k níž je zároveň připojena katoda první diody, první vývod třetího kondenzátoru a první vývod pátého odporu. Katoda druhého thyatronu je připojena ke druhé výstupní svorce, k níž je zároveň připojena anoda druhé diody, první vývod čtvrtého kondenzátoru

a první vývod šestého odporu. Zemící svorka je spojena s anodou první diody, s katodou druhé diody a se spolu spojenými druhými vývody třetího kondenzátoru, čtvrtého kondenzátoru, pátého odporu a šestého odporu.

Výkonovou část generátoru podle vynálezu lze ovládat dálkově, programově, a to amplitudu výstupních impulsů řízením velikosti napětí zdrojů anodových napětí U_A , U_B ; kromě toho lze dálkově a podle programu ovládat frekvenci spouštěcích pulsů a jejich délku, která je ovšem závislá na anodové ztrátě tyatronů. Je nutné, aby prodlevy mezi spouštěcími pulzy byly delší než zotavovací doba tyatronů.

Konstrukčně je výkonová část generátoru jednodušší než srovnatelné konstrukce, jak však nutno uvažovat a důsledně respektovat vlastnosti a nevýhody tyatronů jako takových; to znamená, že je zapotřebí udržovat odpovídající pracovní teplotu prostředí tyatronů, je nutno provádět správně jejich náběh a dodržovat dovolený pracovní režim.

Hlavní výhodou zapojení podle vynálezu je zanedbatelné zvlnění ve srovnání se zvlněním při zapojení, které užívá umělého vedení, neboť při zapojení podle vynálezu je účelem kondenzátorů zapojených paralelně k první a druhé diodě kompenzovat vliv kapacity zátěže definované kondenzátory, zapojenými paralelně k zatěžovacím odporům.

Při realizaci výkonové části generátoru symetrických vysokonapěťových impulsů se docílilo těchto technických, charakteristických parametrů:

amplituda výstupních impulsů plynule nastavitelná v rozmezí ± 50 V až ± 1500 V, šířka těchto výstupních impulsů plynule nastavitelná v rozmezí 1 až 10 mikrosekund, náběžná hrana impulsu na kapacitní zátěži 100 pF je kratší než 100 nanosekund.

Podstata vynálezu je dále vysvětlena pomocí připojených výkresů, na nichž je znázorněno: na obr. 1 – základní zapojení výkonové části generátoru symetrických vysokonapěťových impulsů, na obr. 2 – průběhy napětí, tj. spouštěcích impulsů a výstupních symetrických impulsů.

Na obr. 1 jsou spojeny spolu a se zemí kladná svorka prvního zdroje 1 anodového napětí U_A a záporná svorka druhého zdroje 2 anodového napětí U_B . Záporná svorka prvního zdroje 1 je přes první odpor 3 připojena ke kladné svorce prvního zdroje 5 předpětí U_{p1} a zároveň ke katodě prvního tyatronu 6, jehož mřížka je připojena ku záporné svorce prvního zdroje 5 předpětí a zároveň k první svorce 13 pro přívod prvních spouštěcích impulsů S_1 a jehož anoda je přes druhý, anodový odpor 7 a přes třetí odpor 4 spojena s kladnou svorkou druhého zdroje 2 anodového napětí U_B . Katoda prvního tyatronu 6 je přes první kondenzátor 8 a přes čtvrtý anodový odpor 12 připojena k anodě druhého tyatronu 11, jehož katoda je přes druhý kondenzátor 9 připojena ke spolu spojeným vývodům druhého odporu 7 a třetího odporu 4. Mřížka

druhého tyatronu 11 je připojena jednak ke druhé svorce 14 pro přívod druhých spouštěcích impulsů S_2 , jednak k záporné svorce druhého zdroje 10 předpětí U_{p2} , jehož kladná svorka je připojena ke katodě druhého tyatronu 11. Společný vývod prvního kondenzátoru 8 čtvrtého odporu 12 je připojen k první výstupní svorce 21, k níž je zároveň připojena katoda první diody 15, první vývod třetího kondenzátoru 17 a první vývod pátého odporu 19. Katoda druhého tyatronu 11 je připojena ke druhé výstupní svorce 22, k níž je zároveň připojena anoda druhé diody 16, první vývod čtvrtého kondenzátoru 18 a první vývod šestého odporu 20. Zemní svorka 23 je spojena s anodou první diody 15, s katodou druhé diody 16 a se spolu spojenými druhými vývody třetího kondenzátoru 17, čtvrtého kondenzátoru 18, pátého odporu 19 a šestého odporu 20. Mezi první výstupní svorku 21 a zemící svorku 23 je zapojen sedmý odpor 25 a paralelně s ním pátý kondenzátor 27. Mezi druhou výstupní svorku 22 a zemící svorku 23 je zapojen osmý odpor 24 a paralelně s ním šestý kondenzátor 26. Čárkovaně naznačené odpory 28, 29 jsou tlumicí odpory, zapojené do serie se zátěží, kterou představují odpory 24, 25 a kondenzátory 26, 27.

Na obr. 2 jsou v horní části naznačeny průběhy spouštěcích impulsů S_1 a S_2 . Průběh 30 znázorňuje jeden spouštěcí impuls S_1 a průběh 31 znázorňuje jeden spouštěcí impuls S_2 . V tomtéž časovém intervalu jsou v dolní části obr. 2 naznačeny průběhy výstupních impulsních napětí. Průběh 32 znázorňuje kladné anodové impulsní napětí $+U_{imp}$, průběh 33 znázorňuje záporné anodové impulsní napětí $-U_{imp}$. V okamžiku, kdy dostoupí vrcholu spouštěcí impuls S_1 , jak patrně z průběhu 30, vzniká strmý náběh kladného a záporného výstupního anodového impulsního napětí $+U_{imp}$ a $-U_{imp}$, jak patrně z průběhů 32 a 33. Ukončení těchto impulsů nastává v okamžiku, kdy dostoupí vrcholu spouštěcí impuls S_2 , jak patrně z průběhu 31, a kdy vzniká strmá sestupná křivka obou impulsů napětí $+U_{imp}$ a $-U_{imp}$. Činnost výkonové části zapojené podle obr. 1 lze stručně popsat takto: první kondenzátor 8 se nabíjí přes první odpor 3 a přes první diodu 15 na napětí prvního zdroje 1 vysokého napětí $-U_A$. Současně se nabíjí druhý kondenzátor 9 přes třetí odpor 4 a přes druhou diodu 16 na napětí druhého zdroje 2 vysokého napětí $+U_B$. Oba kondenzátory 8, 9 jsou tedy v klidové poloze nabity na napětí sice stejné velikosti, ale opačné polarity vůči zemi. Spinače, realizované dvěma tyatrony 6 a 11, jsou v nepropustném stavu vlivem toho, že jejich mřížky mají předpětí $-U_{p1}$ a $-U_{p2}$ ze zdrojů 5 a 10. Na výstupních svorkách 21, 22 se objeví pouze malé napětí, jež vzniká úbytkem napětí na diodách 15, 16 při nabíjení kondenzátorů 8, 9. Spouštěcí impuls S_1 , přivedený na mřížku prvního tyatronu 6, způsobí jeho zapálení a část náboje na kondenzátorech 8, 9 se převede na kondenzátory 17, 27 a 18, 26. Diody 15, 16 jsou nyní polarizovány

v nepropustném směru. Na výstupu se objeví dvojice symetrických impulsů $+U_{imp}$ a $-U_{imp}$. Hodnoty těchto impulsů vyplývají z výrazů:

$$+U_{imp} = U_A \frac{C_1}{C_1 + C_3 + C_5}$$

přičemž $C_3 + C_5 \ll C_1$,

$$-U_{imp} = U_B \frac{C_2}{C_2 + C_4 + C_6}$$

přičemž $C_4 + C_6 \ll C_2$.

Hodnoty C_1 až C_6 jsou kapacity kondenzátorů a sice:

kondenzátor 8 má kapacitu C_1 , kondenzátor 9 má kapacitu C_2 ,

kondenzátor 17 má kapacitu C_3 , kondenzátor 18 má kapacitu C_4 ,

kondenzátor 27 má kapacitu C_5 a kondenzátor 26 má kapacitu C_6 .

Za předpokladu, že $C_1 = C_2$, $C_3 = C_4$, $C_5 = C_6$ a $U_A = -U_B$, je amplituda obou výstupních impulsů stejná. Časové konstanty τ_1 a τ_2 musí být vzhledem k délce impulsu dostatečně velké, aby exponenciální pokles vrcholu impulsu byl zanedbatelný. Hodnoty obou časových konstant jsou určeny výrazy:

$$\tau_1 = \frac{(C_3 + C_5) \cdot R_3 \cdot R_5}{R_3 + R_5}$$

$$\tau_2 = \frac{(C_4 + C_6) \cdot R_4 \cdot R_6}{R_4 + R_6}$$

přičemž hodnoty R_3 , R_4 , R_5 , R_6 jsou hodnoty odporů 19, 20, 7, 12. Ukončení impulsu nastane zapálením tyratronu 11 impulsem S_2 . Zároveň dojde – pokud je tyratron 6 ještě vodivý – k vybití všech kondenzátorů. Další nabíjení kondenzátorů 8, 9 nastane po ukončení deionizační doby tyratronů. Odpory 25, 24, omezují proud tyratronových spínačů na dovolenou hodnotu a zároveň tlumí parazitní oscilace.

Nastavení amplitudy výstupních impulsů se provádí současnou změnou napětí U_A a U_B zdrojů 1, 2. Požadovaná délka impulsů je dána vzájemným posunutím spouštěcích impulsů S_1 , S_2 a je plynule měnitelná. Vysoká strmost náběžné a sestupné hrany impulsů je dosažena tím, že v okamžiku sepnutí je vnitřní odpor generátoru řádově jednotky ohmů; prakticky je určen tlumicími odpory 24, 25, zatímco během trvání impulsu je vnitřní odpor generátoru veliký; je dán velikostí svodových odporů 19, 25 a 20, 24. Přibližně má hodnotu 2×1 megohm.

Využití vynálezu přichází v úvahu při konstrukci zdroje vysokonapěťových impulsů všeobecně v oblasti pulsní techniky, přičemž aplikace vynálezu je zvláště výhodná při symetrické kapacitní zátěži zdroje impulsů v důsledku celkové koncepce zapojení, jemuž nevádí kapacitní zátěži, na rozdíl od jiných srovnatelných zapojení zdrojů vysokonapěťových impulsů. Zapojení podle vynálezu dává různé možnosti modifikací, podle potřeby a účelu, podle nároků na amplitudu impulsů, na jejich frekvenci a na jejich čistotu. Za tím účelem lze také na výstup vložit tlumicí odpory 28, 29 s nepatrnou ohmickou hodnotou a tak odstranit parazitní oscilace, jež mohou jinak snadno vzniknout.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

Zapojení výkonové části generátoru symetrických vysokonapěťových impulsů s vysokou strmostí náběžné a sestupné hrany, s možností plynulého nastavení amplitudy a šířky impulsů a se symetrickou kapacitní zátěží na výstupu, vhodné pro programované dálkové ovládání, vyznačené tím, že kladná svorka prvního zdroje (1) anodového napětí U_A a záporná svorka druhého zdroje (2) anodového napětí U_B jsou spojeny spolu a se zemí svorkou (23), záporná svorka prvního zdroje (1) anodového napětí U_A je přes první odpor (3) připojena ke kladné svorce prvního zdroje (5) předpětí U_{p1} a zároveň ke katodě prvního tyratronu (6), jehož mřížka je připojena k záporné svorce prvního zdroje (5) předpětí U_{p1} a zároveň k první svorce (13) pro přívod prvních spouštěcích impulsů S_1 a jehož anoda je přes druhý, anodový odpor (7) a přes třetí odpor (4) spojena s kladnou svorkou druhého zdroje (2) anodového napětí U_B , katoda prvního tyratronu (6) je přes první kondenzátor (8) a přes čtvrtý, anodový odpor (12) připojena k anodě druhého tyratronu (11), jehož katoda je

přes druhý kondenzátor (9) připojena ke společnému vývodu druhého odporu (7) a třetího odporu (4), zatímco mřížka druhého tyratronu (11) je připojena jednak ke druhé svorce (14) pro přívod druhých spouštěcích impulsů S_2 , jednak ku záporné svorce druhého zdroje (10) předpětí U_{p2} , jehož kladná svorka je připojena ke katodě druhého tyratronu (11), přičemž společný vývod prvního kondenzátoru (8) a čtvrtého odporu (12) je připojen k první výstupní svorce (21), k níž je zároveň připojena katoda první diody (15), první vývod třetího kondenzátoru (17) a první vývod pátého odporu (19), katoda druhého tyratronu (11) je připojena k druhé výstupní svorce (22), k níž je zároveň připojena anoda druhé diody (16), první vývod čtvrtého kondenzátoru (18) a první vývod šestého odporu (20), a konečně zemí svorka (23) je spojena s anodou první diody (15), s katodou druhé diody (16) a se spolu spojenými druhými vývody třetího kondenzátoru (17), čtvrtého kondenzátoru (18), pátého odporu (19) a šestého odporu (20).



