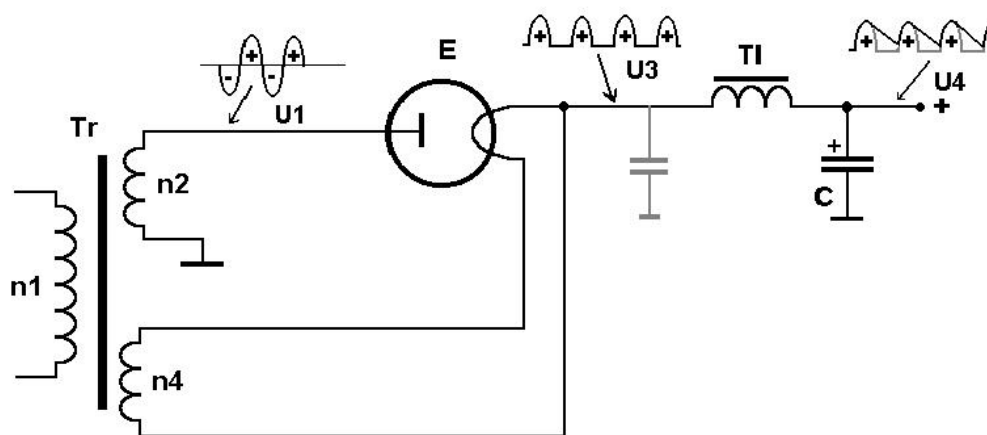


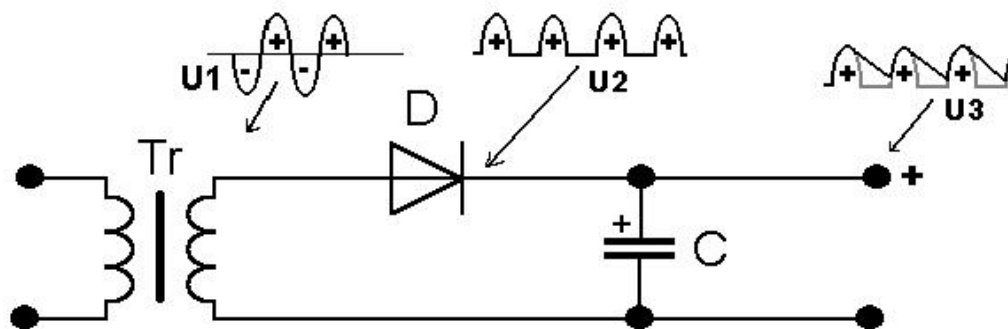
USMĚRŇOVAČE

Usměrňovače slouží k usměrnění střídavých proudů na proudy stejnosměrné. K vlastnímu usměrnění se používají diody, ať již elektronky, či polovodičové. Elektronkové usměrňovače - tzv. eliminátory - využívají vlastností el. propustnosti soustavy katoda (vlákno) - anoda. Polovodičové diody využívají vlastnosti PN přechodu. U obou lze říct, že vedou proud jen jedním směrem a vlastně tak propouštějí na svůj výstup jen jednu ze složek střídavého proudu - podle jejich polarizace - buď zápornou, nebo kladnou. Připojíme-li na anodu diody střídavé napětí, projde na katodu jen kladná složka, záporné půlvlny nebudou propuštěny. Na výstupu tak dostáváme kladné napětí. Pokud diodu obrátíme, budou naopak z katody na anodu procházet záporné půlvlny a na výstupu se objeví záporné napětí.

jednocestný usměrňovač



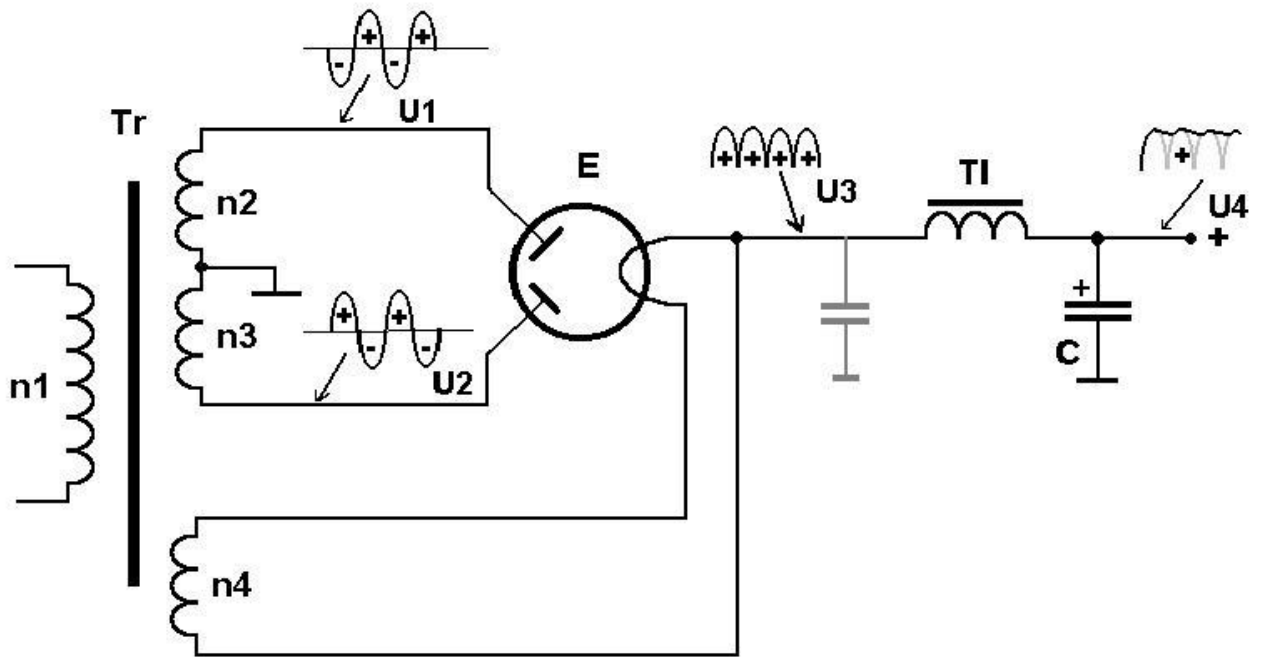
jednocestný usměrňovač



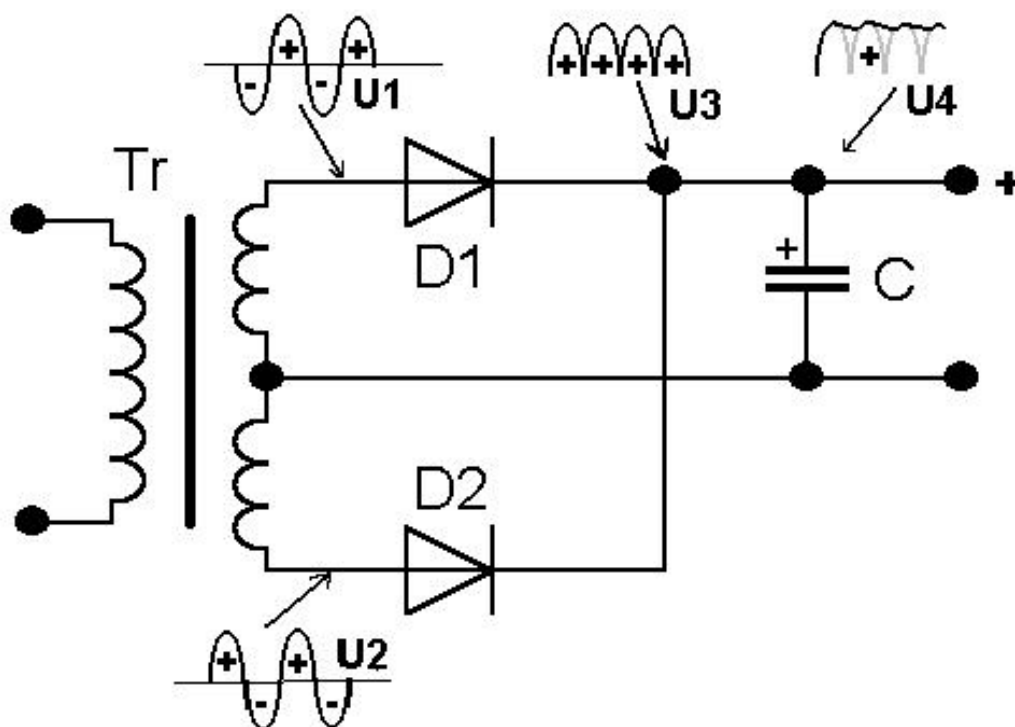
Na obrázcích vidíme konkrétní zapojení jednocestných usměrňovačů. Na prvním je k usměrnění použita elektronka, na druhém polovodičová dioda. Protože napětí za diodou je tepavé - je zde usměrňována jen jedna půlvlna proudu - je na křivce vidět značná prodleva mezi jednotlivými kladnými půlvlnami. To jednoduchý usměrňovač znevýhodňuje, protože k tomu aby se výstupní napětí vyhladilo je potřeba kondenzátoru veliké kapacity. Kondenzátor slouží právě k vyhlazení, neboť jeho náboj dodává do zátěže proud právě po dobu, kdy je napětí za diodou na nule. I tak ale zůstává vrchní část křivky zvlněná, a to tím více a směrem k nule hlouběji, čím je filtrace, tedy kapacita kondenzátoru menší. Stejně funguje i tlumivka, o indukčnosti jednotek až stovek henry! Kondenzátor za tlumivkou pak již nemusí mít tak velkou kapacitu a vyhlazuje jen zvlnění za tlumivkou. Vakuové diody, např. VY1, nebo UY1N byly takovými jednocestnými usměrňovači. Obecně lze říct, že tento typ usměrňovače se používá pro získávání pomocných napětí, tam, kde není velkého nároku na zvlnění výstupního napětí.

Mnohem lepší vlastnosti má usměrňovač dvoucestný

dvoucestný usměřovač s tlumivkou



dvoucestný usměrňovač

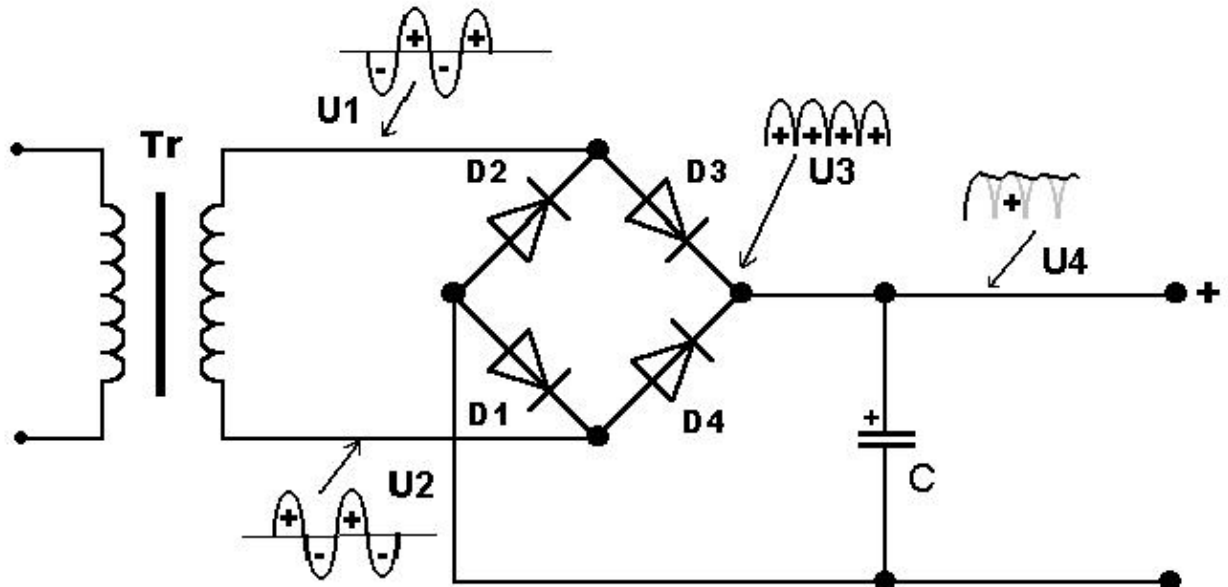


Tento dvoucestný usměrňovač poskytuje na výstupu mnohem menší zvlnění stejnosměrného napětí, protože jsou usměrňovány dvě půlvlny střídavého proudu, každá je však fázově posunuta a tím zaplňuje mezeru na křivce. Napětí však i zde klesá až k nule, není zde však žádná prodleva "nulového" proudu jako v případě jednocestného usměrňovače. V obou případech, zde, i v případě jednocestného usměrňování protéká vinutím transformátoru stejnosměrný proud. Ten sytí jádro a zvyšuje ztráty transformátoru. V případě elektronkového usměrňovače se s výhodou používaly dvojité diody, např. typu AZ1, AZ11, GZ33, EZ81, 6Z31... Obě měly v baňce dvě anody a byly přímo pro tento druh usměrňování určeny. Max. kapacita vyhlazovacího kondenzátoru takového zdroje byla předepisována výrobcem elektronek. V případě diody AZ1 byla $C_{max} = 60\mu F$ (a většina diod má předepsanou podobnou, nebo stejnou kapacitu). Takovýto usměrňovač býval nejčastěji používán u většiny starých lampových rádií. (pokud ovšem nešlo o síťové přijímače bez transformátoru, kde se jednalo o usměrňovač jednocestný.)

Výhodou dvoucestného usměrňovače je to, že můžeme použít kondenzátor s menší kapacitou při stejném zvlnění, protože se nabíjí dvakrát častěji než u usměrňování jednocestného. Další výhodou je poloviční proudové namáhání diod. Nevýhodou je naopak už zmíněné stejnosměrné sycení trafo a potřeba dvou vinutí. (Pro elektronkové přístroje dříve běžně sériově vyráběné typy transformátorů měly několik sekundárních vinutí - např. 2x250V/80mA, 4V/4A, 6,3V/3A. vinutí 4 a 6,3 V (případně i jiné, třeba 12,6V/2A) byly určeny pro žhavení elektronek. Pro žhavení usměrňovací elektronky byly často využívána vinutí 4V, např. pro AZ1. (která odebírala proud až 1,1A!)

Dokonalejším dvoucestným usměrňovačem je usměrňovač Graetzův (Grätzův), také zvaný můstkový.

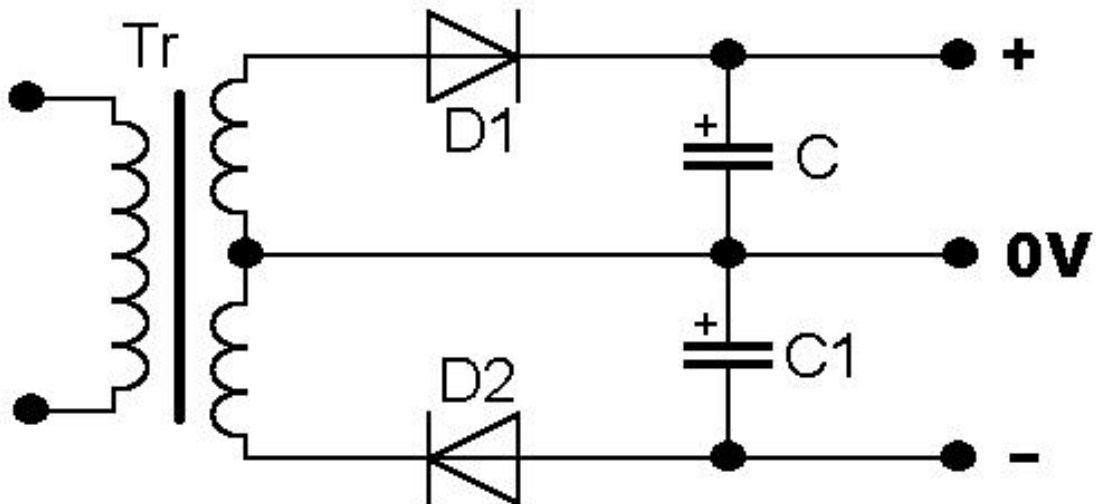
dvoucestný, můstkový usměrňovač



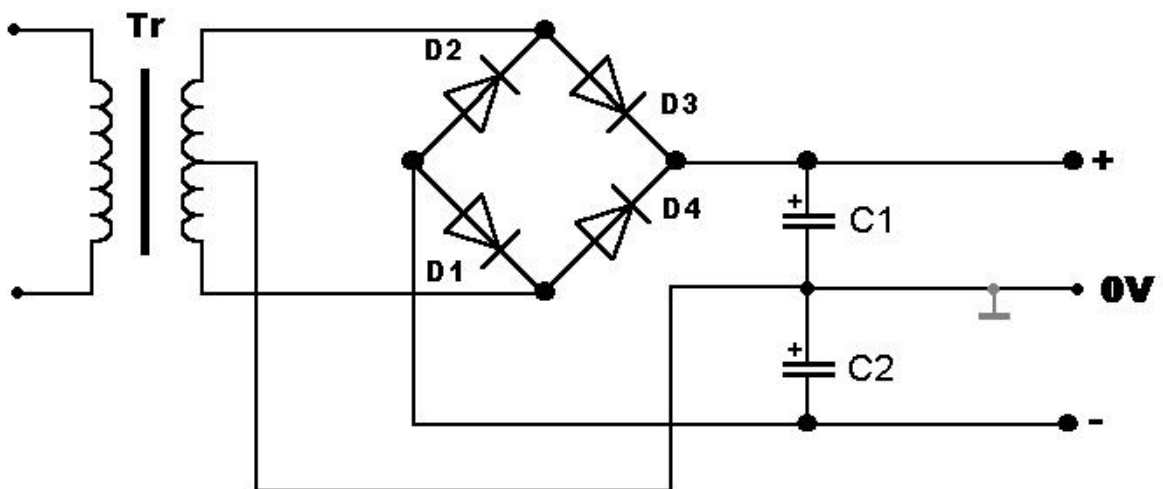
Tento dvoucestný usměrňovač je dnes velice rozšířený, realizuje se prakticky vždy s polovodiči, jeho vlastnosti jsou nejlepší a trafo nepotřebuje dvojitě vinutí, ani není zatěžováno stejnosměrným sycením.

Kromě výše zmíněných zapojení usměrňovačů existují i usměrňovače, které na výstupu dávají napětí jak kladné, tak záporné vůči nule. Říká se jim usměrňovače symetrické, existují jak v provedení jednocestném, tak dvoucestném.

symetrický usměrňovač

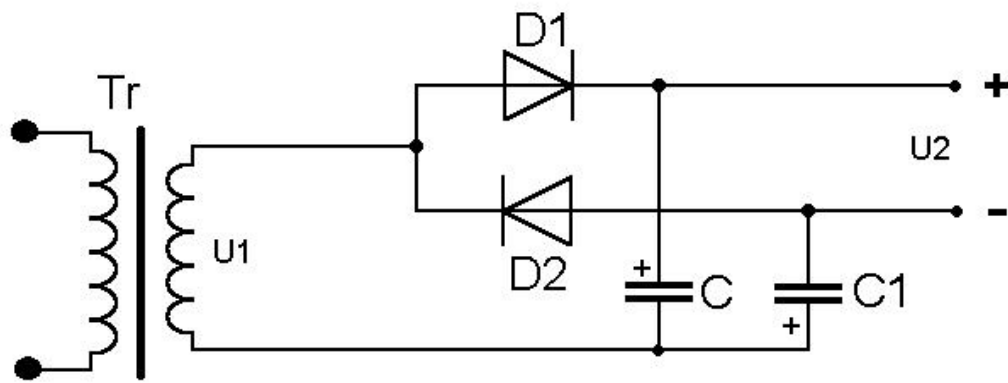


symetrický usměrňovač

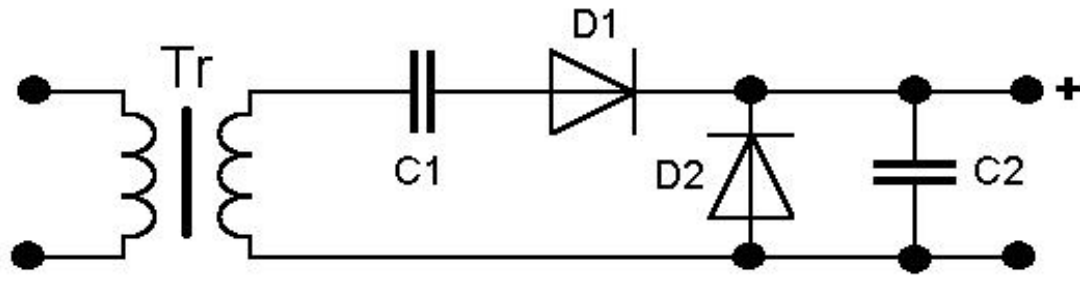


Protože je někdy potřeba zajistit, aby výstupní napětí bylo vyšší, než napětí sekundárního vinutí, používají se zdvojovače napětí, které na výstupu poskytují dvojnásobné napětí. Výstupní napětí $U_2 = 2 \times U_1$

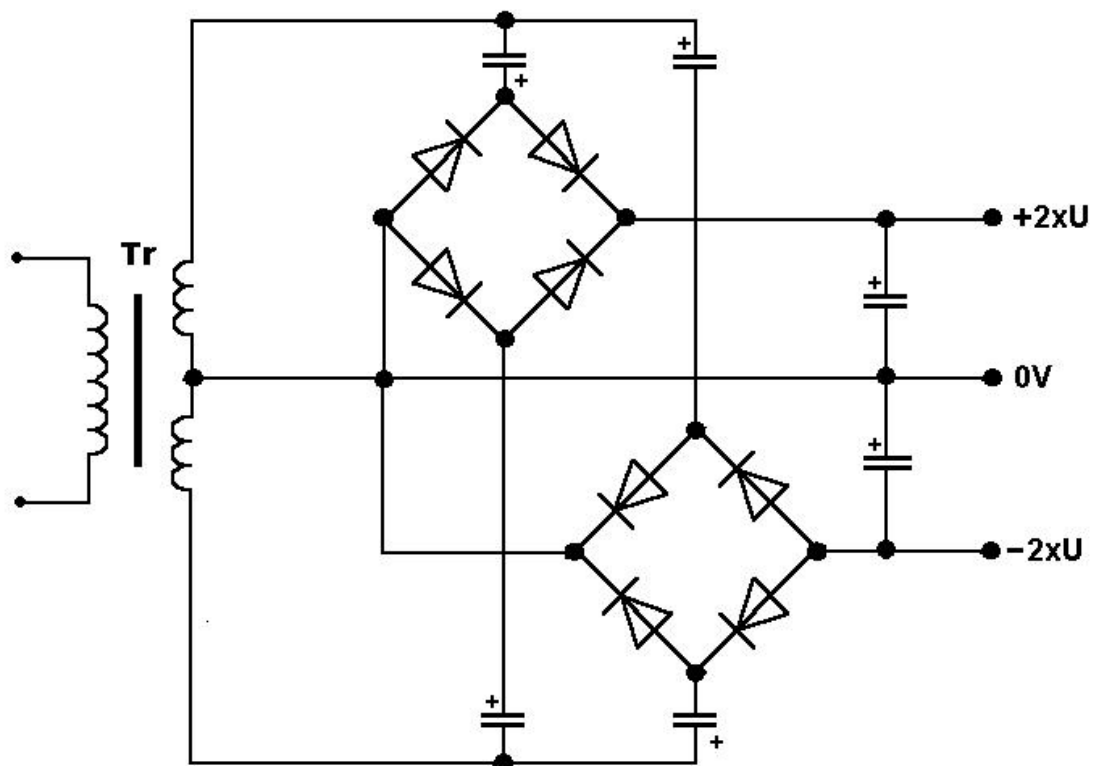
Greinacherův zdvojovač napětí



zdvojovač napětí

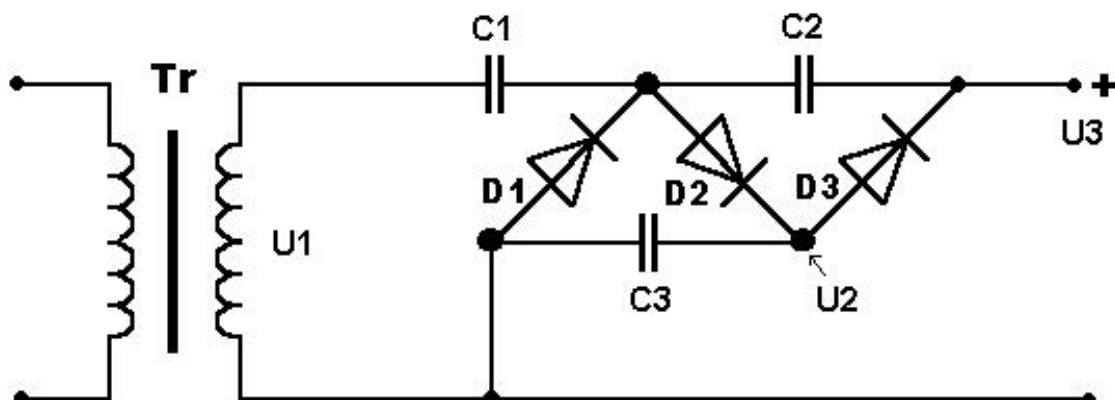


symetrický dvojcestný zdvojovač napětí



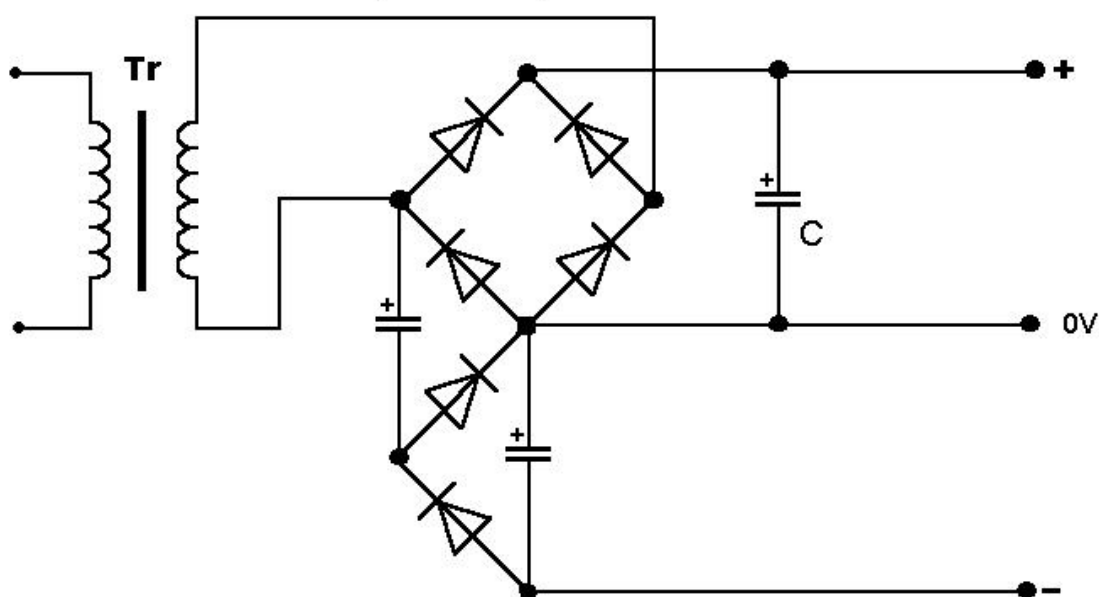
V některých případech je potřeba výstupní napětí zvýšit ještě více, i na mnohonásobek! Příkladem jsou násobiče napětí, které se používají např. ve zdrojích VN v televizorech a monitorech, kde napájejí vysokým napětím (běžně 10-25kV) obrazovku.

(Delonův) násobič napětí



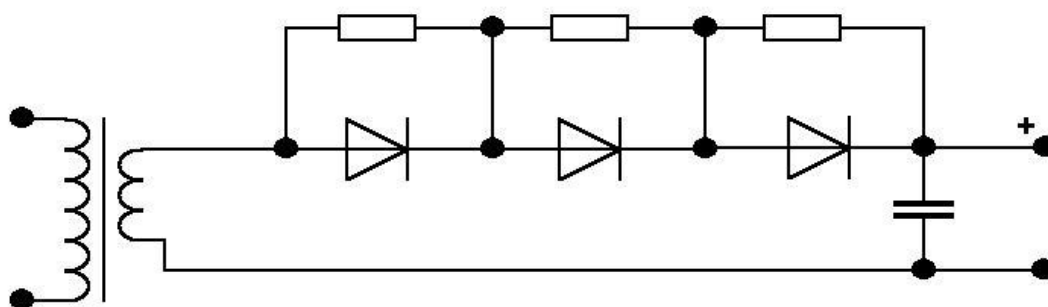
I zde existují násobiče pro symetrická napětí

symetrický násobič



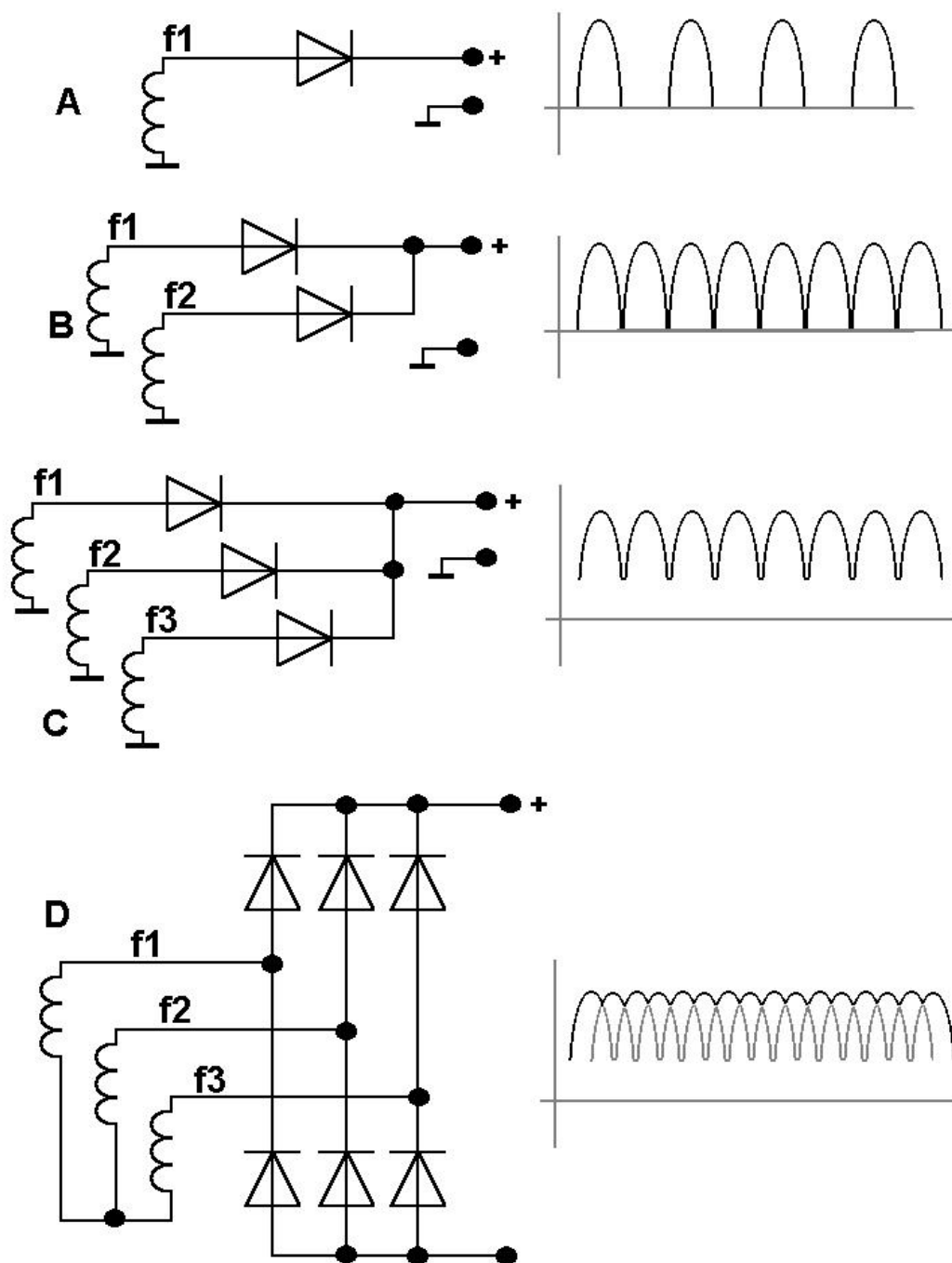
Pro usměrnění vysokého napětí je potřeba použít usměrňovač, který toto napětí snese, aby se polovodiče nepoškodily. Toho se dosahuje řazením diod za sebe, tak aby se na nich napětí pravidelně rozložilo a každá dioda tak byla zatížena jen částí vys. napětí. Ke zlepšení tohoto rozložení se používají přídatné odpory, volí se hodnoty v řádech stovek kiloohmů až jednotek či desítek megaohmů.

vysokonapět'ový usměrňovač



Jako usměrňovacích prvků - diod se používají nejčastěji křemíkové diody. Tomu tak vždy ale nebylo. Krom již zmíněných elektronek - diod, se používaly také selenové usměrňovače, kuproxové usměrňovače, diody germaniové, a také usměrňovače jiného typu, dnes prakticky nepoužívané - např. rtuťové, elektrolytické apod. Všechny usměrňovací prvky se mnohdy, zvláště dříve označovaly jako ventily. Existovaly i usměrňovače mechanické.

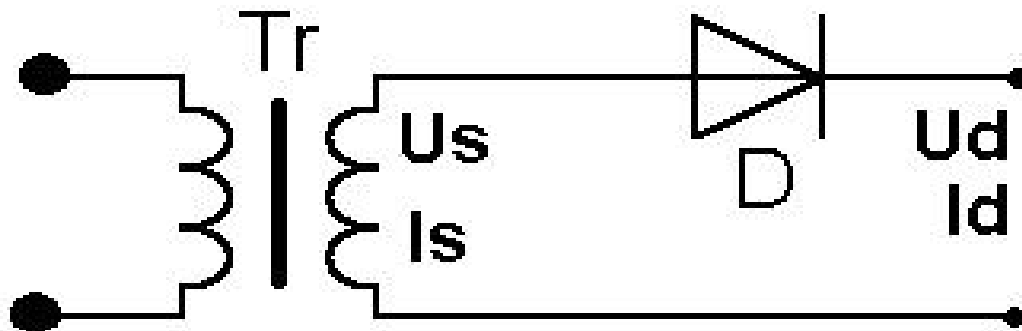
Protože lze usměrnit napětí jednofázové, je stejně tak možno usměrnit napětí libovolného množství fází. Představme si jednocestný usměrňovač jako usměrňovač jedné fáze obr.A. Dvoucestný s dvojím vinutím transformátoru jako usměrňovač dvou fází s fázovým posunem 180° -obr.B. A podobně lze provést i usměrňovač s fázemi třemi, kde jsou fáze vzájemně posunuty o 120° -obr. C. Na obrázku C vidíme, že zvlnění se oproti obr. A a B zlepšilo, neklesá již k nule!. Pokud použijeme usměrňovač z obrázku D, ten je celovlnný, zmenší se zvlnění ještě více a na výstupu dostáváme prakticky hladké usměrněné napětí, aniž bychom k filtrování použili kondenzátory či tlumivky! Takovéto třífázové usměrňovače se používají k usměrnění nejen síťového třífázového napětí, ale i napětí alternátorů v automobilech, a také často k usměrnění třífázových svářecích transformátorů.



Abychom dokázali určit kde a jakého použít usměrňovače povíme si něco o jejich el. parametrech, abychom byli sto vypočíst všechny hodnoty nutné pro návrh transformátoru, dimenzování součástek..apod..

Usměrňovač jednocestný

jednocestný usměrňovač



Výstupní napětí... $U_d = 0,45U_s$

Vstupní napětí efektivní.... $U_s = U_{1max}/1,414$

Maximální, špičkové napětí zdroje $U_{1m} = 1,414U_{ef}$

Výstupní proud ... $I_d = 0,64I_s$

Střední proud diodou ... $I_{Fs} = I_d$

Efektivní proud diodou.. $I_F = 1,57I_d$

Špičkový proud diodou.. $I_{FM} = 3,14I_d$

Závěrné napětí... $U_{RM} = 3,14U_d$

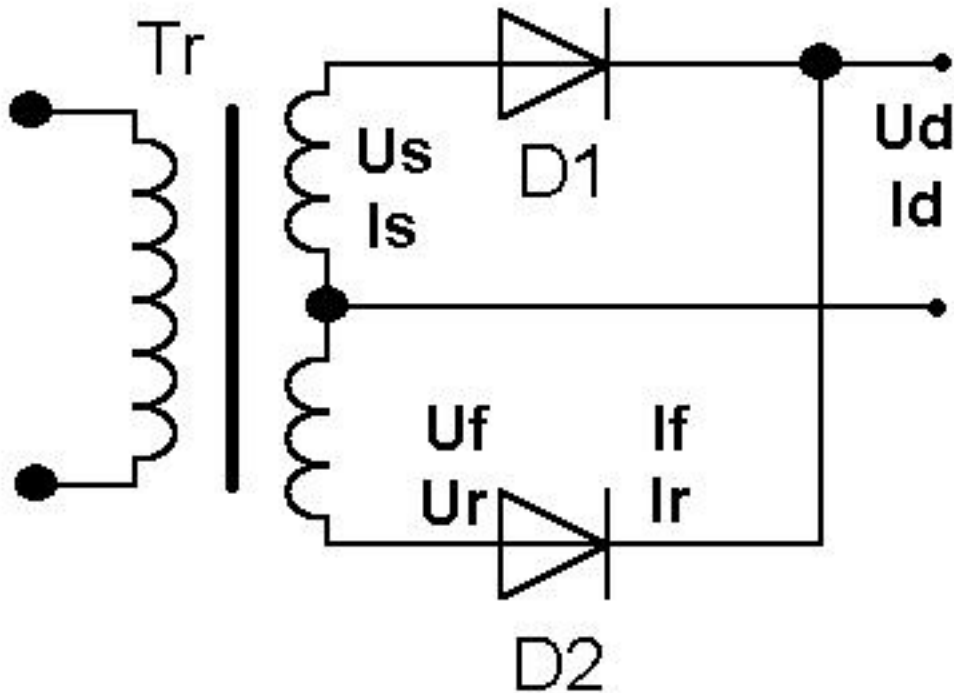
Špičkové výstupní napětí.. $U_{dm} = 3,14U_d$

Zvlnění ...121%

Kmitočet základní harmonické..50Hz

Usměrňovač dvoucestný

dvoucestný usměrňovač



Výstupní napětí... $U_d = 0,9U_s$

Vstupní napětí efektivní..... $U_s = U_{1max}/1,414$

Maximální, špičkové napětí zdroje $U_{1m} = 1,414U_{ef}$

Výstupní proud ... $I_d = 1,41I_s$

Střední proud diodou ... $I_{Fs} = 0,5I_d$

Efektivní proud diodou.. $I_F = 0,707I_d$

Špičkový proud diodou.. $I_{FM} = 1,57I_d$

Závěrné napětí... $U_{RM} = 3,14U_d$

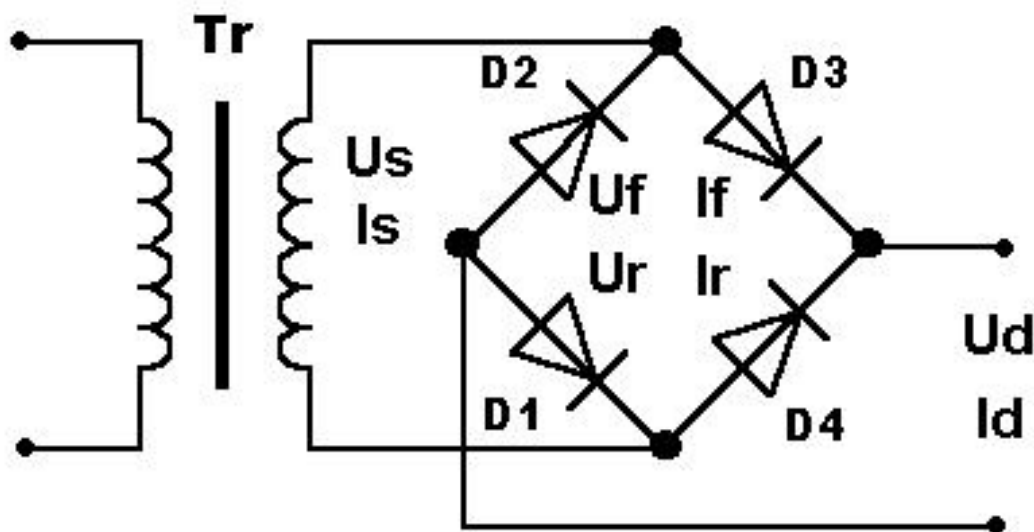
Špičkové výstupní napětí.. $U_{dm} = 1,57U_d$

Zvlnění ...48,5%

Kmitočet základní harmonické..100Hz

Usměrňovač můstkový (Graetzův)

můstkový usměrňovač



Výstupní napětí... $U_d = 0,9U_s$

Vstupní napětí efektivní..... $U_s = U_{1max}/1,414$

Maximální, špičkové napětí zdroje $U_{1m} = 1,414U_{ef}$

Výstupní proud ... $I_d = 1,41I_s$

Střední proud diodou ... $I_{Fs} = 0,5I_d$

Efektivní proud diodou.. $I_F = 0,707I_d$

Špičkový proud diodou.. $I_{FM} = 1,57I_d$

Závěrné napětí... $U_{RM} = 1,57U_d$

Špičkové výstupní napětí.. $U_{dm} = 1,57U_d$

Zvlnění ...48,5%

Kmitočet základní harmonické..100Hz

Diody musí být vybírány pro proud vyšší, než I_{FM} a napětí vyšší než napětí špičkové a napětí závěrné. Platí pro všechny usměrňovače.

Výpočet filtračního kondenzátoru

Aby napětí za usměrňovačem bylo hladké s co nejmenším brumovým napětím, je potřeba jej dobře vyfiltrovat - vyhladit. K tomu právě slouží kondenzátor

na výstupu usměrňovače. Zpravidla se odhaduje, a to zcela nesprávným způsobem, že na každý 1A proudového odběru použijeme kondenzátor o kapacitě 1000uF (1G, 1mF). Lepší je potřebnou kapacitu prostě vypočítat. Získáme správnou hodnotu poměrně přesně. Přitom stačí použít zjednodušený vzorec, platný pro usměrňování napětí o síťovém kmitočtu.

Kapacita C pak bude:

$$C = k \cdot I / U_{br}$$

Kde C je kapacita kondenzátoru v uF (mikrofarádech)

k je koeficient zvlnění

U_{br} je brumové napětí ve voltech

I je odebíraný proud (maximální) v mA

k	9	8,5	8,2	8	7,5	7	6,7
ZVLNĚNÍ %	5	10	15	20	30	40	50

Př.

Pro zdroj 20V/1A a pro max. kolísání výstupního napětí 1V potřebujeme kondenzátor o kapacitě:

$$C = k \cdot I / U_{br}$$

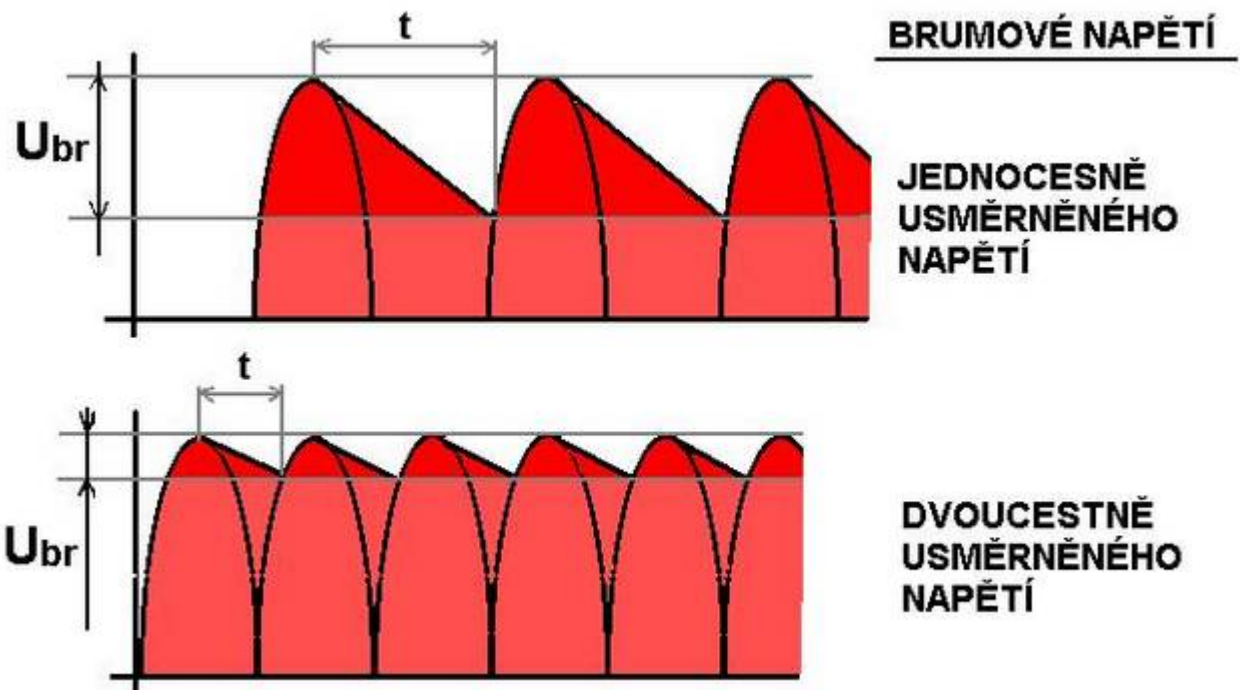
Zvlnění 1V odpovídá 5% z napětí 20V, tedy k = 9

Dosažením

$$C = 9 \cdot 1000 / 1 = 9000 \mu\text{F}$$

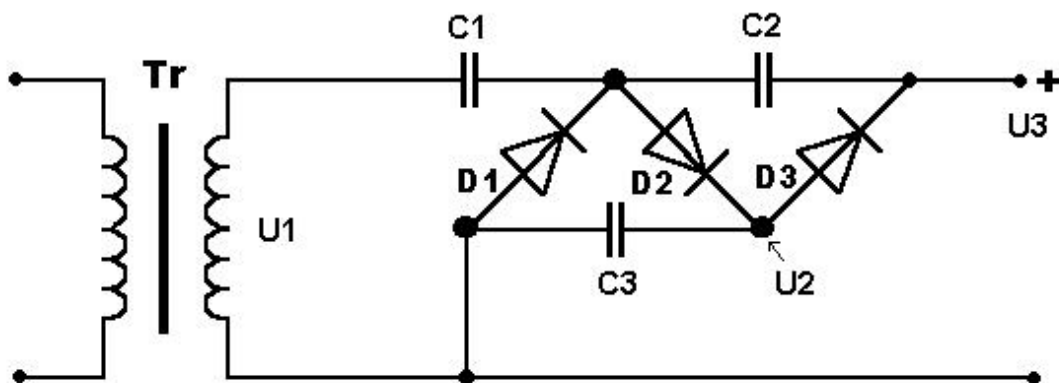
Pro zdroj volíme graetzův usměrňovač a filtrační kondenzátor 10 000uF (10G) /25V

Pokud může být zvlnění větší, např. 2V, může být kapacita menší. Při tomto zvlnění pak vychází kapacita C = 4250uF, použijeme kondenzátor 4700uF.



Výpočet násobiče

(Delonův) násobič napětí



Př. Potřebujeme zdroj napětí 2,2kV/0,01A

Nejdříve zjistíme jaké napětí U_1 má mít transformátor.

$$U_1 = 0,85 \cdot U_3 / k$$

kpočet násobících stupňů..(podle tohoto obrázku je $k = 3$)

$$U_1 = 0,85 \cdot 2200 = 1870/3 = 623V$$

Volíme transformátor se sek. napětím 600 až 630V (může to být např. starý síťový transformátor z elektron. rádia, který měl sek. vinutí 2x 300V/60mA)

Výpočet kapacity kondenzátorů

$$C = I / fU_3 \cdot 2k(k+2) \cdot 10^6$$

I...usměrněný proud..v A

U3....výstupní napětí...veV

C kapacita kondenzátoru v uF

f...kmitočet sítě (nebo kmitočet vstupního napětí)

k...počet násobících stupňů

po dosazení..

$$C = 0,01/50.2200 = 0,00000009 \cdot 11 \cdot 10^6 = 0,000001 \cdot 10^6 = 1\mu F$$

Dále je nutné vypočíst provozní napětí kondenzátorů C2, C3

$$U_{cap} = 2U_3/k = 2.2200 / 3 = 1466V$$

Kondenzátory C2, C3 je potřeba vybrat na napětí větší než 1500V

Napětí na kondenzátoru C1 je ale jiné

$$U_{cap1} = U_3/k = 733V$$

Kondenzátor C1 vyhoví pro napětí větší než 750V

Kondenzátory mohou být svitkové, nebo i elektrolytické.

Aby vysoké napětí vydržely diody, musí být dimenzovány pro závěrné napětí U_{rm} (starší název pro závěrné napětí je napětí zpětné, nebo napětí reversní)

$$U_{rm} = 2,8U_1$$

$$U_{rm} = 2,8 \cdot 623 = 1744,4V$$

Diody musíme vybrat pro závěrné napětí 1750V nebo vyšší

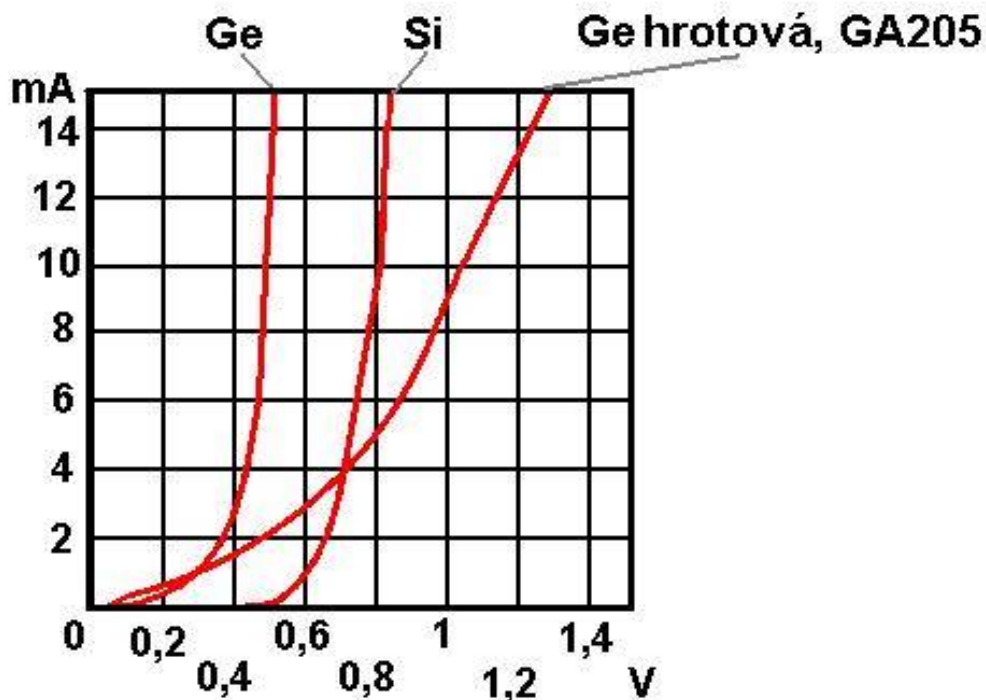
Vyhoví např. dvě diody za sebou typu BY133.

Násobiče napětí jsou jednoduchou náhradou vysokonapěťových zdrojů, jejich funkce je při správně dimenzovaných součástkách bezvadná, ale s počtem násobících stupňů rychle klesá účinnost! Proto se např. nenásobí napětí v řádech desítek voltů do napětí na úrovni kilovoltů. Teoreticky to samozřejmě možné je, protože počet stupňů není omezen.

Obecně..

Lze o usměrňovačích říct, že se k jejich konstrukci hodí lépe diody křemíkové, neboť mají účinnost lepší, než diody germaniové a jejich teplota může být až 100-140°C. Diody germaniové mají větší účinnost než křemíkové jen do napětí 10V a jejich provozní teplota nesmí překročit 80°C. Germaniové diody mají menší úbytek napětí, asi 0,2-0,4V, křemíkové mnohem větší 0,6-1V.

stejnoseměrná propustná charakteristika diod



Jak vyplývá z této charakteristiky, vede germaniová dioda proud od 0,2V uť, pokud je hrotová, vhodná pro detekci, pak vede proud od napětí 0,1V, nebo i o něco menší! Naproti tomu dioda křemíková vede proud až od 0,6 - 0,8V. A obecně platí, že každé zvýšení teploty o 1°C má za následek snížení napětí U_f o 1,5-2,5mV.

Hrotové diody se dnes používají jen k usměrňování vysokofrekvenčních proudů, protože jsou citlivé a mají menší kapacitu přechodu PN. Právě kvůli velké ploše a tím i velké kapacitě přechodu PN se naopak nehodí k

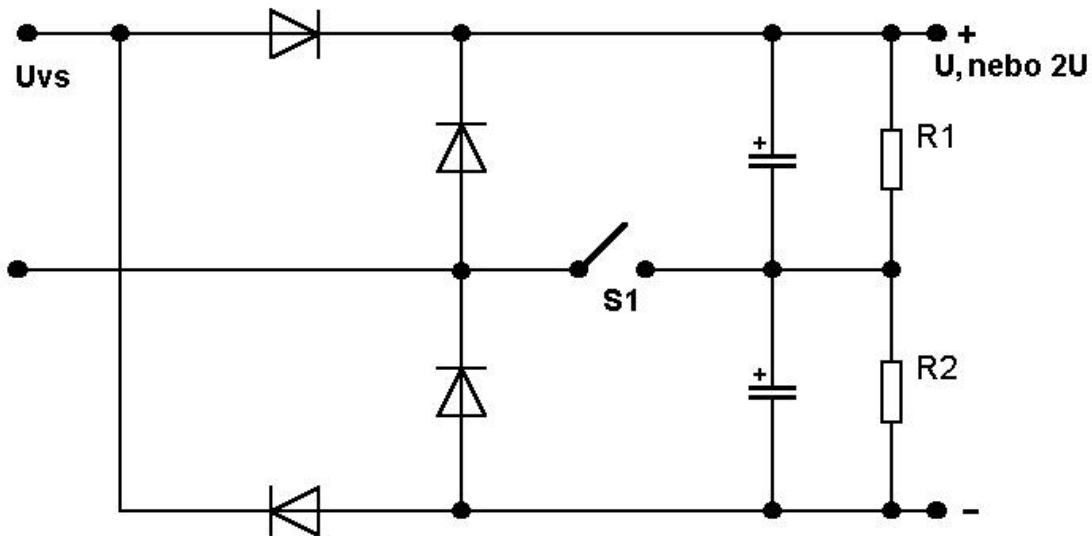
usměrňování VF proudů diody výkonové, které jsou určeny k usměrňování velkých proudů nízkých kmitočetů.

PN přechod diod se při provozu zahřívá, a to tím více, čím má dioda větší U_f a čím více je zatížena proudem I_f . Výkonový usměrňovač se tedy za provozu zahřívá a teplo je potřebné nějak odvést. Pokud tepla není mnoho, pak se stačí vyzářit do okolí a dioda zůstane za provozu chladná. Pokud je tepla mnoho, pak musíme diodu chladit. Pokud je dioda v kovovém pouzdru, nebo v pouzdru výkonového tranzistoru, či můstek přímo určený pro montáž na chladič, pak nebývá problém ji připevnit na hliníkový chladič, který teplo spolehlivě odvede. Diody v plastových pouzdrech nelze připevnit na chladič, ale i ty je někdy nutno chladit! Provádí se to tak, že se ponechají diodě ještě před osazením poněkud delší vývody. Diody v těchto pouzdrech jsou totiž chlazeny skrze jejich přívody. Pájecí plošky na DPS pak je vhodné volit co největší, aby odvod tepla pokračoval i zde, na desku DPS, kde se teplo lépe rozptýlí, nebo kde lze případně připájet i malé chladičí křídélko. Chlazení je také možno pomoci malým ventilátorem, což ovšem platí pro jakékoliv chlazení obecně. Pokud se zamyslíte nad tím, která ze součástí bude hřejivím diodám nejbližší, napadne vás další důležitá součást usměrňovače - filtrační kondenzátor! Ten je právě na větší teplo choulostivý a je proto nutné jej umístit poněkud stranou od diod, tak aby se jejich teplo nevysálalo přímo na něj, nebo dokonce aby se diody dotýkaly kondenzátoru!! Při návrhu zdroje je nutné pamatovat na to, že na diodách vznikají úbytky napětí a napětí transformátoru proto musí být o něco vyšší, než napětí požadované na výstupu. Napětí sekundáru se proto volí o 1,1 větší.

Úpravy a zajímavosti usměrňovačů

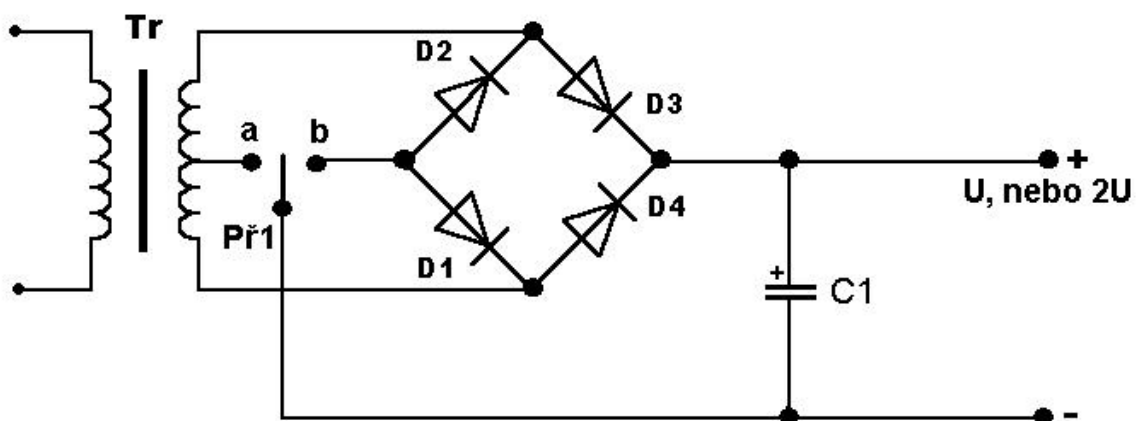
V některých případech se konstruuje usměrňovače, které mohou být přepínatelné

přepínatelný usměrňovač



Na obrázku je usměrňovač, který se používá často u spínaných zdrojů, zvláště ve spínaných zdrojích počítačů. Je-li vstupní napětí 230V, je přepínač S1 rozeprt a usměrňovač funguje jako můstkový...na výstupu se objeví napětí okolo 325V, které se dále použije k napájení spínaného zdroje. Pokud je napětí sítě 115V, což v některých zemích je, spínač S1 se sepne a tím se z můstku stává zdvojovač napětí, tedy na výstupu bude zase napětí okolo 325V. Odporů R1 a R2 slouží pro rovnoměrnější rozložení napětí na kapacitách a volí se v řádech stovek kiloohmů.

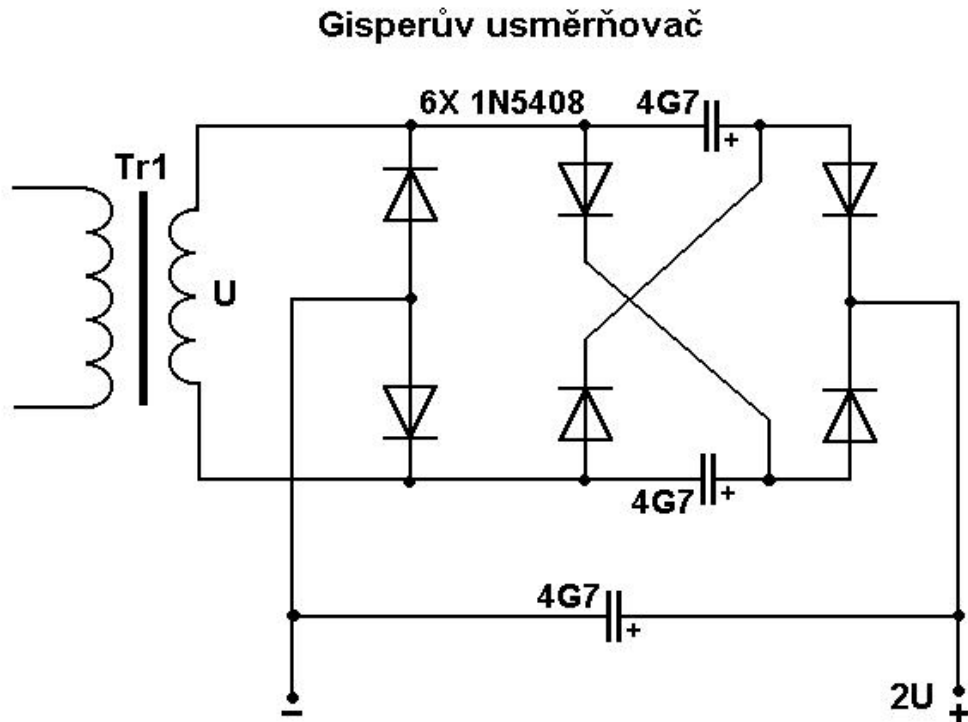
přepínatelný usměrňovač



Na dalším obrázku je usměrňovač, který lze s výhodou použít např. pro řízený stabilizovaný zdroj. Transformátor musí mít ale dvě vinutí, např. 2x 20V. Pokud je PŘ1 v poloze b je usměr. zapojen jako můstkový a na výstupu se objeví napětí obou vinutí, tedy 2U (cca 40V). Pokud přepínač PŘ1 přepneme do

polohy a , usměrn. se chová jako dvoucestný na výstupu bude napětí poloviční tedy U (cca 20V). Toho lze právě využít v řízeném zdroji, neboť při nižších výstupních napětích nebudou zbytečně přetěžovány koncové tranzistory, protože na nich bude jen poloviční napětí.

V některých případech máme k dispozici transformátor který má např. sek. napětí jen 12V. Může to být třeba transformátor pro halogenky. Potřebujeme však napětí 24V. V tom případě je vhodné použít zdvojovač, zvláště se k tomu hodí tzv. Gisperův usměrňovač



Na obrázku je nakreslen Gisperův usměrňovač pracující s trafem 12V/4A, který na výstupu poskytuje stejnosměrné napětí okolo 26-27V/2A.

Někdy je potřebné odstranit rušivá napětí, která se mohou na výstupu usměrňovače vyskytovat. Jednak mohou pronikat skrze trafo na usměrňovač ze sítě, jednak mohou vznikat přímo na PN přechodech diod. Odstranění se provádí připojením kondenzátorů, jak vidíme na obrázcích. Velikost kapacit se volí v rozsahu 1nF až 100nF, výjimečně i více. Přesnou hodnotu je nejlépe odzkoušet. Kondenzátory by měly být nejlépe svitkové.

usměrňovač s kondenzátory proti rušení

