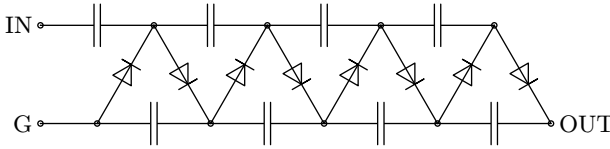
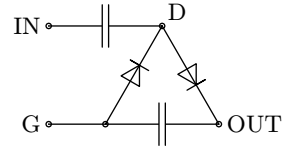


16. ročník, úloha IV. P ... násobič napětí (5 bodů; průměr 3,47; řešilo 17 studentů)



Obr. 1. Násobič napětí



Obr. 2. Miniverze

Na vstup (IN) obvodu na obr. 1 přivedeme vůči zemi (G) harmonické střídavé napětí o amplitudě U a frekvenci f . Jaké napětí naměříme na výstupu (OUT)? Diody považujte za ideální, velikosti kapacit si zvolte, nebo řešte úlohu obecně. Nevíte-li si rady, zkuste nejprve jednodušší případ – zapojení pouze se dvěma diodami a kondenzátory (viz obr. 2).

Tato úloha nebyla problémová obtížností, ale nutností uvědomit si, jak vlastně obvod funguje. Navíc předpoklady byly velmi jednoduché. Uvažujeme totiž nezatížený násobič, ve kterém nedochází k průběžnému odčerpávání náboje z výstupu (OUT), a tedy stačí najít jakýsi rovnovážný stav. V technické praxi se navíc do obvodu řadí rezistor, který slouží k jisté stabilizaci a snižuje energetické ztráty na kondenzátorech způsobené oscilacemi, které nejsou nutné k násobení napětí. V naší idealizaci žádná rezistance zařazena není, a tudíž budou kondenzátory reagovat na změny napětí na vstupu (IN) okamžitě.

Zabývejme se nejprve jednoduchým násobičem. V bodě G můžeme předpokládat $\varphi = 0$. Potenciál v bodě mezi diodami (označme D) je pak $U_{in} - U_1$, kde U_1 je napětí na horním kondenzátoru orientované tak, že kladná hodnota odpovídá kladné desce vlevo. Podle orientace diod zjevně platí nerovnost

$$0 \leq U_D \leq U_{out}. \quad (1)$$

V okamžiku, kdyby U_D mělo opustit tento interval, začne příslušnou diodou procházet proud. Předpokládejme, že na počátku není na výstupu žádné napětí, tj. $U_{out} = 0$ a na vstupu je libovolné napětí U_{in} . Podle (1) je $U_D = 0$ a $U_1 = U_{in}$.

Sledujme nyní, co se děje, měníme-li U_{in} . Začněme jednodušším směrem, což je snižování U_{in} . Pokud by se nezměnilo U_1 , došlo by k porušení levé části nerovnosti. Bude proto procházet proud levou diodou a to tak, že bude udržovat $U_1 = U_{in}$.

Pokud naopak při růstu U_{in} narazí U_D na hranici danou nerovností (1), začne proud procházet pravou diodou, což má za následek nabíjení spodního kondenzátoru a tedy i růst U_{out} . Současně poroste i U_1 tak, že bude platit $U_{in} - U_1 = U_{out}$.

Shrňme-li dosavadní poznatky, tak při periodických změnách U_{in} nejprve vždy U_1 klesne na hodnotu $U_1 = U_{in, \min}$ a poté je U_{out} zvětšeno na hodnotu $U_{out} = U_{in, \max} - U_1'$. Čárka u U_1' je z toho důvodu, že při zvětšování U_{out} roste U_1 , a tedy $U_1' > U_1$. Pokud se ale děj neustále opakuje, jsou změny U_{out} stále menší a tím i nárůsty U_1 , tedy po hodně opakování U_{out} dosáhne hodnoty

$$U_{out, \max} = U_{in, \max} - U_1 = U_{in, \max} - U_{in, \min}.$$

Dolní kondenzátor se tedy nabije na napětí, které odpovídá rozdílu maximální a minimální hodnoty vstupního napětí. Nezáleží přitom na počáteční hodnotě U_{in} , pouze na jeho změnách. V tom je skrytý princip násobiče.

Nyní je již snadné dokončit řešení úlohy. Uvažovaný mininásobič s harmonickým napětím o amplitudě U_0 na vstupu se nabije na napětí $U_{in, \max} - U_{in, \min} = U_0 - (-U_0) = 2U_0$. Mezi

jeho body OUT a D napětí osciluje mezi 0 a $2U_0$. Připojíme-li nyní další mini-násobič do řady, můžeme napětí mezi G a OUT považovat za jeho vstup, atd.

Zde je menší problém, na který je vhodné upozornit. Výstup násobiče nelze považovat za ideální zdroj, neboť při odběru proudu na něm dojde k poklesu napětí. V našem případě *nezatíženého* násobiče to ale nevádí, protože s časem se jednotlivé násobiče saturují a procházející proud se neustále zmenšuje, až nakonec celý obvod bude nasycený a proudy nebudou procházet žádně.

Každý další mini-násobič přidá k celkovému U_{out} hodnotu $2U_0$, tedy hledaný vztah je

$$U_{\text{out}} = nU_0,$$

kde n je počet kondenzátorů. Tím je úloha vyřešená. Na vás už nechávám, abyste se zamysleli nad množstvím nezodpovězených otázek, které se při řešení objevily – jak se bude chovat zatížený násobič, jaký je vhodný poměr kapacit kondenzátorů, jak rychle se násobič saturuje, jak moc se projevuje to, že ve skutečnosti diody ani kondenzátory nejsou ideální atd.

Honza Houšťek

honza@fykos.mff.cuni.cz