STEJNOSMĚRNÉ MĚNIČE NAPĚTÍ – PULZNÍ MĚNIČE

V klasické elektrotechnice se stejnosměrné napětí obvykle regulovalo proměnným odporem, přepínáním zdrojů nebo rotačními zdroji. To mělo za následek velké ztráty, opotřebování kontaktů, vypínání oblouku ap. Dnes je změna napětí umožněna pomocí stejnosměrných polovodičových měničů. Stejnosměrné měniče jsou určeny na řízení a regulaci střední hodnoty stejnosměrného napětí a proudu. S ohledem na tvar výstupního napětí se většinou nazývají jako **“pulzní měniče“.**

Dělení:

a) dle velikosti střední hodnoty výstupního napětí:

- snižovací
- zvyšovací

b) dle možnosti měnit polaritu výstupního napětí:

- nereverzační
- reverzační

c) dle způsobu řízení:

- s konstantním kmitočtem
- s konstantní dobou sepnutí
- s dvouhodnotovým řízením

Základním "obvodem" stejnosměrných měničů je bezkontaktní spínač. Základní schéma včetně průběhu spínacího proudu je na obrázku 1. Spínač lze realizovat pomocí tyristoru. Zapnutí se provede snadno řídícím impulsem. Pro vypnutí tyristoru je však zapotřebí buď vhodné (záporné) napětí, nebo proud musí klesnout k nule. To však není vnějšími podmínkami zajištěno (stejnosměrný zdroj napětí, rostoucí proud). Proto je k tomuto tyristoru nutné přiřadit tzv. komutační obvod. Ten je relativně složitý a hledají se metody pro snadnější přerušení proudu ve spínači. Jinou součástkou, kterou můžeme použít je vypínací tyristor. V tomto případě lze spínač vypnout impulsem do řídící elektrody tyristoru a komutační obvod odpadá.

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni, reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239

Dnes jsou k dispozici již vhodné typy tranzistorů (IGBT). Razantní nástup těchto typů tranzistorů znamenal "přelom" ve využití výkonové elektroniky. Dnes jsou elektronické spínače součástí mnoha druhů měničů s vlastní komutací. Jednoduchost obvodů a velká šíře parametrů IGBT tranzistorů znamená zlevňování výkonových polovodičových měničů a jejich masové nasazování. Proto v dalším bude uvedena značka spínače, ve které bude naznačen modul IGBT.

Nulová dioda, která je paralelně připojena k zátěži, vede proud vždy po vypnutí spínače. Díky tomu nevznikne na tyristoru spínače přepětí vzniklé vlivem náhlého přerušení proudu v indukčnosti zátěže.

Pro stejnosměrné měniče je charakteristické pulzní spínání a vypínání součástek. Výstupní napětí je potom složeno z jednotlivých pulzů. Proto se stejnosměrné měniče napětí obvykle nazývají pulzní měniče. Pulzní měniče se používají všude tam, kde je k dispozici napájecí zdroj o konstantním stejnosměrném napětí, ale zátěž vyžaduje stejnosměrné napětí proměnné, potřebné pro řízení jeho velikosti. Příkladem jsou trakční vozidla (tramvaje, trolejbusy, metro, motorové vozy, lokomotivy, akumulátorové vozíky).[1]

1. Pulzní měnič pro snižování napětí

Základní schéma měniče je na obrázku. Měnič je tvořen spínačem Sp a nulovou diodou V0. Zátěž předpokládejme obecně ve tvaru R,L,U_i (motor). Pro motorický chod musí být $U_1 > U_i$. Jestliže je spínač Sp sepnutý (interval T_1), je na zátěži $u_2 = U_1$. Proud zátěže i_2 se uzavírá přes spínač Sp. Po vypnutí Sp se proud i_2 nepřeruší, nýbrž vlivem indukčnosti se nyní uzavírá přes V_0 (interval T_2). Z průběhu napětí u_2 lze odvodit, že střední hodnota napětí při nepřerušovaném proudu na zátěži je přibližně:

[1] I když jsou u nejnovějších aplikací nasazovány asynchronní motory, jsou pulzní měniče součástí elektro výzbroje daných trakčních zařízení.

$$U_2 = \frac{1}{T}\int_0^T u_1(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^{T_1} U_1 dt = U_1.\frac{T_1}{T} = U_1.\frac{T_1}{T_1+T_2}$$

Střední hodnota proudu zátěže je:

$$I_2 = \frac{U_2 - U_i}{R}$$

Výkon tedy můžeme přenášet pouze od zdroje U_1 do zátěže. Je-li Sp sepnutý, energie zdroje jde do zátěže, část se akumuluje v indukčnosti L. Při vypnutém Sp se energie nahromaděná v předchozím intervalu na indukčnosti L uvolní.

2. Pulzní měnič pro zvyšování napětí

Principiální schéma měniče je na obrázku. Tohoto zapojení se použije v případech, kdy je třeba převádět energii ze zdroje (energie) s nižším napětím do zdroje vyššího napětí. Příkladem je generátorické brzdění stejnosměrného motoru elektromobilu. Při sepnutém Sp znemožňuje V_o zkrat zdroje U_1. Ve zkratu je zátěž Z, proto je napětí na zátěži $U_2 = 0$.

Část energie odčerpané z U_i se ztratí na odporu R, část se akumuluje v indukčnosti L. Po vypnutí Sp se proud uzavře přes Vo do zdroje U_1. Při nepřerušovaném proudu je v celém intervalu vypnutí $u_2 = U_1$. Energie je odčerpána jednak z U_i, ale i z indukčnosti L. Podstatnou část tedy přijme zdroj U_1. Proto lze tento měnič nazvat jako měnič rekuperační. Lze odvodit:

$$U_2 = \frac{1}{T}\int_0^T u_1(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^{T_2} U_1 dt = U_1.\frac{T_2}{T} = U_1.\frac{T_2}{T_1+T_2} \Rightarrow U_2 = U_1\frac{T}{T_2}$$

Střední hodnota proudu zátěže je:

$$I_2 = \frac{U_i - U_2}{R}$$

Podmínkou provozu měniče tj. rekuperace je $I_d > 0$. Opačný smysl proudu je nemožný a není též možný přenos výkonu ze zdroje U_1 do zátěže.

3. Pulzní měnič odporu

V průmyslových aplikacích je jedním ze základních atributů provoz zařízení tak, aby byla minimalizována spotřeba elektrické energie. Řízení elektrických pohonů se tedy obvykle provádí tak, aby nebyla prováděna regulace zařazováním dalších odporů. Obdobně při rekuperaci je snahou vracet energii do akumulačních prvků (nejlépe do napájecí sítě). Přesto dochází k případům, kdy je nutné použít odpor.

Klasické řízení pomocí odporů ve výkonových obvodech se dříve provádělo obvykle stupňovitě. S využitím principů pulzního spínání je možné realizovat tzv. pulzní měniče odporu. Pulzní měnič odporu je bezkontaktní, plynule řiditelný a snadno laditelný elektronickým regulátorem. Existují dvě varianty – bez kondenzátoru C nebo s kondenzátorem C (na obrázku nakresleno čárkovaně). Nezbytnou součástí je tlumivka, která omezí strmost nárůstu proudu při spínání. Pulzně řízeného odporu lze využít například při brzdění motorů, při řízení skluzu indukčních motorů ap.

Je-li spínač S_p sepnutý (interval T_1), proud i_1 se uzavírá přes tento spínač, a proto proud roste. Jakmile spínač vypneme (interval T_2), proud i_1 se uzavírá přes odpor (s kondenzátorem) a proud klesá. V následném stavu prochází obvodem střední hodnota proudu I_1, která odpovídá "ekvivalentnímu" odporu R_e. Při odvození této hodnoty se vyjde z energetické rovnováhy: “energie odčerpaná zdroji napětí U_1 v celé periodě T se musí v intervalu T2 (proud přes odpor R) ztratit na odporu R“.

a) Pro variantu bez kondenzátoru platí:

$$U_1.I_1.T = R.I_1^2.T_2 \qquad \Rightarrow \qquad I_1 = \frac{U_1}{R.\frac{T_2}{T}} = \frac{U_1}{R_e}$$

$$R_e = R\frac{T_2}{T} \qquad \Rightarrow \qquad 0 \le R_e \le R$$

b) Pro variantu s kondenzátorem platí (část energie se akumuluje v kondenzátoru během T_2, čímž se zvýší regulační rozsah):

$$U_1.I_1.T = R.I_1^2.T_2 + U_1.I_1.T_2 \qquad \Rightarrow \qquad I_1 = \frac{U_1}{R.\frac{T_2}{T_1}} = \frac{U}{R_e}$$

$$R_e = R\frac{T_2}{T_1} \qquad \Rightarrow \qquad 0 \le R_e \le \infty$$

3. Řízení pulzních měničů

Každý měnič je řízen prostřednictvím poměrné doby sepnutí měniče. Řízení může být dosahováno různými způsoby:

- s konstantním kmitočtem spínání
- dvouhodnotové řízení
- řízení s konstantní dobou sepnutí

a) **Řízení s konstantním kmitočtem spínání** - provádí se tak, že se mění poměr T_1/T při konstantním kmitočtu spínání f = 1/T. Je nejpoužívanější. Pilovité napětí je porovnáváno s řídícím napětím u_r. V okamžiku rovnosti (koincidence) se provádí vypnutí spínače. Konstantní frekvence spínání umožňuje snadno filtrovat vyšší harmonické použitím pevně laděných filtrů

b) **Dvouhodnotové řízení** pracuje tak, že hodnota proudu i_1 je udržována mezi 2 hodnotami, které se od hodnoty předepsané liší o určitou toleranci (v obrázku 5-6 se řídí mezi i_{dm} - i_{dMIN}). Do bloku řízení vstupuje signál úměrný žádané hodnotě proudu $I_d^{/} = (i_{dM} + i_{dMIN})/2 \cong I_d$. Zavedením vhodné zpětné vazby se docílí, že dosáhne-li skutečná hodnota proudu zátěže stavu $I_d^{/} + \Delta i_d/2$, spínač vypíná a proud klesá. Jakmile klesne na hodnotu $I_d^{/} - \Delta i_d/2$,spínač znovu zapne. Výhodou tohoto řízení je relativně jednoduchý dvouhodnotový regulátor – zřízení tedy plní současně funkci regulátoru proudu.

c) **Řízení s konstantní dobou sepnutí** – je udržováno T_1 = konst. a mění se frekvence f (tím perioda T). Používá se málo, pouze u starších typů s tyristory, kde byl součástí obvodu komutační obvod.