

Tříúrovňový výkonový měnič NPP

Zdeněk Kehl, Tomáš Glasberger
 Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky
 Fakulta elektrotechnická
 Západočeská univerzita v Plzni
 kehlz@rice.zcu.cz, tglasber@rice.zcu.cz

Neutral Point Piloted Power Converters

Abstract – A topology of a three level neutral point piloted (NPP) is described. There are some interesting features e.g. lower switching and blocking voltages in comparison with 2L-VSC topology or soft switching of bidirectional switch, if the special PWM modulator is used. The main disadvantage of the converter is serial connection of transistors. The paper is focused on basic analysis of the three level NPP converter.

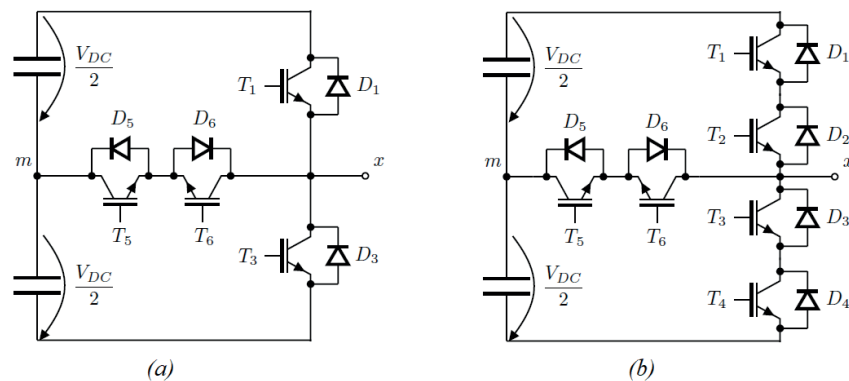
Keywords – 3L-NPP; Bidirectional Switch; Converter; Modulator; RB-IGBT; Soft Switching; Topology;

I. ÚVOD

Topologie NPP se řadí mezi perspektivní topologie víceúrovňových měničů. Tato topologie je srovnatelná jak s běžným napětovým střídačem (2L-VSC), tak i s měniči na vyšší napětové hladiny, jako jsou víceúrovňové měniče 3L-NPC, 3L-ANPC nebo 3L-FLC. Rozhodujícím faktorem, který určuje použití topologie NPP, je počet sériově řazených spínačů v horní a spodní větvi.

II. TOPOLOGIE 3L-NPP

Tříúrovňová topologie NPP vychází z běžného půlmůstku, který je doplněn o obousměrný spínač. Obousměrný spínač slouží k připojování nulového potenciálu k zátěži. Horní a spodní větev měniče může obsahovat libovolné množství sériově spojených spínačů. S větším počtem spínačů v sérii přichází i problém s balancováním spínání jednotlivých prvků. Z tohoto důvodu je topologie 3L-NPP nejčastěji představována ve formě s jedním, maximálně dvěma spínači v sérii.



Obrázek 1. (a) Topologie 3L-NPP s jedním spínačem
 (b) Topologie 3L-NPP se dvěma spínači v sérii

A. Topologie 3L-NPP s jedním spínačem

Na *Obrázku I (a)* je znázorněna jednofázová topologie 3L-NPP s jedním spínačem. Jedná se o základní topologii. Měníče této topologie jsou často nazývány jako měniče typu T (T-type converters). Obousměrný spínač je tvořen tranzistory T_5 , T_6 a zpětnými diodami D_5 , D_6 . V horní větvi je umístěn tranzistor T_1 a zpětná dioda D_1 . Ve spodní větvi je umístěn tranzistor T_3 a dioda D_3 . Topologie 3L-NPP s jedním spínačem se nejčastěji srovnává s běžným dvouúrovňovým napěťovým střídačem (2L-VSC). Obě zmiňované topologie mohou být použity na stejné napěťové hladiny, jelikož napěťové zatížení prvků v horní a spodní větvi je totožné. Měníče 3L-NPP potřebují na realizaci jedné fáze o dva spínače více ve srovnání s měniči 2L-VSC. Topologie 3L-NPP s jedním spínačem je vhodná pro aplikace nízkých a středních výkonů nízkého napětí např. malé ostrovní systémy. [1]

B. Topologie 3L-NPP se dvěma spínači v sérii

Na *Obrázku I (b)* je znázorněna jednofázová varianta 3L-NPP se dvěma spínači v sérii. Obousměrný spínač je opět tvořen tranzistory T_5 , T_6 a zpětnými diodami D_5 , D_6 . Horní i spodní větev je tvořena sériově spojenými tranzistory T_1 , T_2 , resp. tranzistory T_3 , T_4 . Sériové spojení prvků přináší možnost využití měniče 3L-NPP na vyšší napěťové hladiny, které jsou srovnatelné s napěťovými hladinami, ve kterých se využívají víceúrovňové měniče 3L-NPC, 3L-ANPC nebo 3L-FLC [2]. Sériové spojení prvků přináší také zásadní problém, kterým jsou přísné požadavky na driver, který musí zajistit současné spínání sériově spojených tranzistorů.

C. Realizace obousměrného spínače

Obousměrné spínače lze realizovat několika možnými způsoby. Obousměrný spínač musí být schopen vést proud oběma směry a zároveň ve vypnutém stavu musí mít dostatečné blokovací napětí v obou polaritách. Realizace většinou vychází buď z antisériového spojení IGBT tranzistorů a jejich zpětných diod nebo z antiparalelního spojení zpětně blokujících tranzistorů RB-IGBT. Nejčastější varianta obousměrného spínače vychází z antisériového spojení IGBT tranzistorů se společným emitorem. [3]

D. Napěťové namáhání jednotlivých prvků měničů 3L-NPP

V *Tabulce I* jsou uvedeny blokovací a spínací napětí jednotlivých prvků topologií: (a) 3L-NPP s jedním spínačem v horní a spodní větvi, (b) 3L-NPP se dvěma spínači v sérii. Blokovací napětí určuje velikost napětí, kterou musí daný spínač udržet. Spínací napětí určuje velikost napětí, při kterém daný prvek spíná. V případě topologie NPP nejsou tyto dvě napětí stejná, jako např. v případě běžného napěťového střídače 2L-VSC.

V případě topologie 3L-NPP s jedním spínačem spínají tranzistory v horní a spodní větvi při napětí $V_{DC}/2$. Oba tyto tranzistory (T_1 , T_3) musí blokovat celé napětí stejnosměrného obvodu V_{DC} . Prvky obousměrného spínače blokují vždy maximálně polovinu stejnosměrného obvodu $V_{DC}/2$ a při této hladině také spínají. Proto prvky obousměrného spínače mohou být napěťově dimenzovány na nižší úroveň napětí.

U topologie 3L-NPP se dvěma spínači v sérii blokují sériově spojené spínače maximálně poloviční napětí meziobvodu $V_{DC}/2$. Díky tomu mohou být měniče této topologie použity i na vyšší napěťové hladiny. Jelikož jsou zde dva spínače v sérii, jejich spínací napětí je poloviční než u topologie 3L-NPP s jedním spínačem. Díky tomu, že sériově spojené tranzistory spínají při napětí $V_{DC}/4$, vychází zde stejné spínací ztráty jako v případě, kdy je v horní a spodní větvi pouze jeden tranzistor.

TABULKA I. BLOKOVACÍ A SPÍNACÍ NAPĚTÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ

Spínač	3L-NPP s jedním spínačem		3L-NPP se dvěma spínači v sérii	
	<i>Blokovací napětí</i>	<i>Spínací napětí</i>	<i>Blokovací napětí</i>	<i>Spínací napětí</i>
T ₁	V _{DC}	V _{DC} /2	V _{DC} /2	V _{DC} /4
T ₂	---	---	V _{DC} /2	V _{DC} /4
T ₃	V _{DC}	V _{DC} /2	V _{DC} /2	V _{DC} /4
T ₄	---	---	V _{DC} /2	V _{DC} /4
T ₅	V _{DC} /2	V _{DC} /2	V _{DC} /2	V _{DC} /2
T ₆	V _{DC} /2	V _{DC} /2	V _{DC} /2	V _{DC} /2

III. ZÁKLADNÍ PRINCIP ŘÍZENÍ 3L-NPP S VYUŽITÍM MĚKKÉHO SPÍNÁNÍ

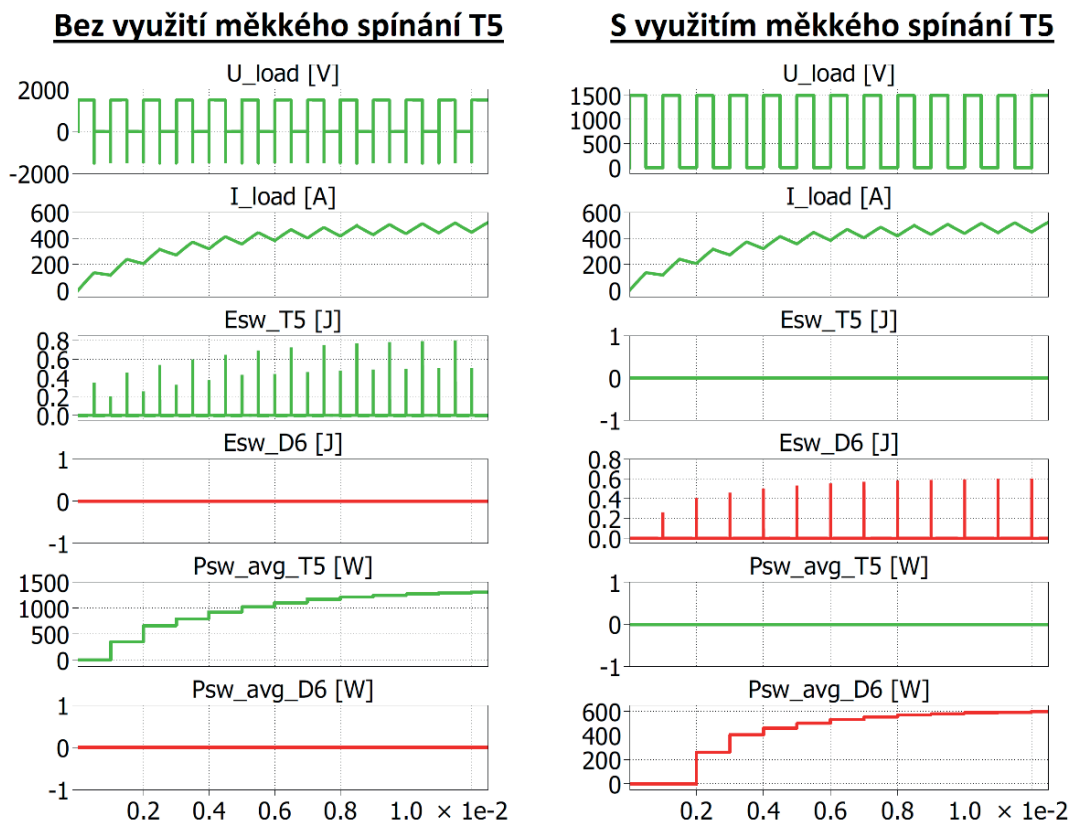
Základní princip řízení topologie 3L-NPP vychází z komparační PWM modulace, která využívá dva vzájemně prostorově posunuté pilové signály. Kladné hodnoty modulačního signálu jsou porovnávány s prvním pilovým signálem. Záporné hodnoty modulačního signálu jsou porovnávány s druhým pilovým signálem. Výsledkem je tříúrovňová PWM, která hodnotou 1 spíná prvky v horní větvi, hodnotou -1 spíná prvky ve spodní větvi a hodnotou 0 spíná obousměrný spínač. Mrtvé časy se musí vždy vložit mezi spínání prvků v horní větvi resp. prvků ve spodní větvi a spínání prvků obousměrného spínače.

V případě použití antisériového obousměrného spínače může docházet k měkkému spínání. Aby docházelo k měkkému spínání, musí PWM modulátor dodržet speciální spínací tabulku. Princip měkkého spínání spočívá v předsepnutí právě jednoho z tranzistorů v obousměrném spínači, u kterého se předpokládá, že bude při nulovém taktu vést proud. V případě napěťové hladiny na zátěži V_{DC}/2 se současně s tranzistoru v horní větvi sepne i tranzistor T₅. Pro napěťovou hladinu na zátěži -V_{DC}/2 se současně s tranzistoru ve spodní větvi sepne i tranzistor T₆.

TABULKA II. SPÍNACÍ TABULKA PWM MODULÁTORU PRO 3L-NPP

Výstupní napětí		V _{DC} /2	0	-V _{DC} /2
Zapínací signál poslán na:		T ₁ , T ₂ , T ₅	T ₅ , T ₆	T ₃ , T ₄ , T ₆
Proud vedou	i _L > 0	T ₁ , T ₂	T ₅ , D ₆	D ₃ , D ₄
	i _L < 0	D ₁ , D ₂	D ₅ , T ₆	T ₃ , T ₄

Na *Obrázku II* jsou znázorněny výsledky simulací, ve kterých bylo testováno řízení bez využití měkkého spínání a řízení s využitím měkkého spínání. Z průběhů vlevo je vidět, že na tranzistoru T₅ jsou spínací ztráty. Střední hodnota spínacích ztrát na T₅ se ustálila přibližně na hodnotě 1400 W. Z průběhů vpravo je vidět, že pokud PWM modulátor splňuje spínací tabulku, dochází k měkkému spínání T₅. Celá komutace při měkkém spínání tranzistoru T₅ probíhá na diodě druhého prvku obousměrného spínače D₆. Zde se uplatňují pouze vypínací ztráty, které jsou způsobené závěrným nábojem Q_{RR}. Střední hodnota spínacích ztrát na diodě D₆ se ustálila přibližně na 550W.



Obrázek II. Ověření měkkého spínání tranzistoru T₅ simulací

IV. ZÁVĚR

V tomto článku byly popsány základní topologie tříúrovňových měničů 3L-NPP s jedním spínačem a měniče 3L-NPP se dvěma sériovými spínači v horní a spodní větvi. Tato topologie se skládá z běžného půlmůstku, který je doplněn o obousměrný spínač. Obousměrný spínač může být realizován několika způsoby. Dále se tento článek věnuje základnímu řízení topologie 3L-NPP, které může využívat měkké spínání prvků obousměrného spínače. Měkké spínání bylo ověřeno simulací.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2018-005 a projektu SGS-2018-009: Výzkum a vývoj perspektivních technologií v elektrických pohonech a strojích III.

LITERATURA

- [1] S. Vazquez, C. Mohan, L. G. Franquelo, A. Marquez and J. I. Leon, "A Generalized Predictive control for T-type power inverters with output LC filter," 2015 9th International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE), Costa da Caparica, 2015, pp. 20-24. doi: 10.1109/CPE.2015.7231043
- [2] H. Akagi, "Multilevel Converters: Fundamental Circuits and Systems," in Proceedings of the IEEE, vol. 105, no. 11, pp. 2048-2065, Nov. 2017. doi: 10.1109/JPROC.2017.2682105
- [3] C. Klumpner and F. Blaabjerg, "Using reverse-blocking IGBTs in power converters for adjustable-speed drives," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 42, no. 3, pp. 807-816, May-June 2006. doi: 10.1109/TIA.2006.872956