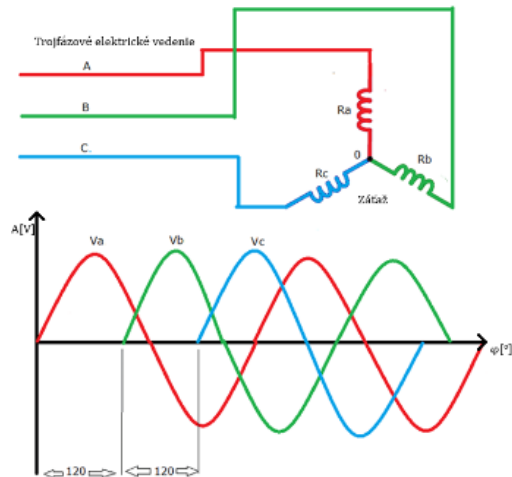
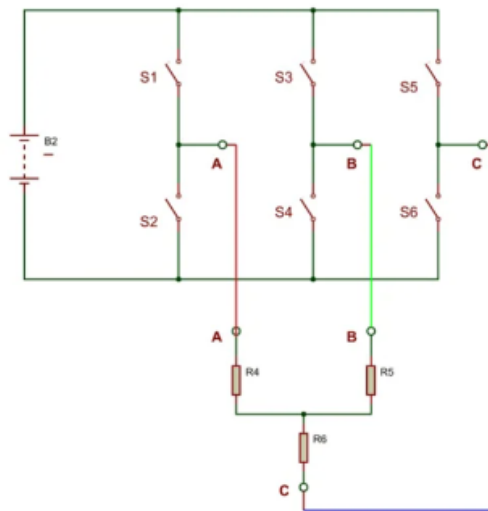


## Trojfázový invertor

Trojfázový menič je elektronické výkonové zariadenie, ktoré premieňa jednosmerné vstupné napätie (DC) na vyvážený trojfázový striedavý výstup (AC). Na rozdiel od jednofázových meničov, ktoré vytvárajú jednu striedavú vlnu, schéma zapojenia trojfázového meniča zobrazuje šesť spínacích prvkov usporiadaných tak, aby generovali tri sínusové napätia navzájom fázovo posunuté o  $120^\circ$ .



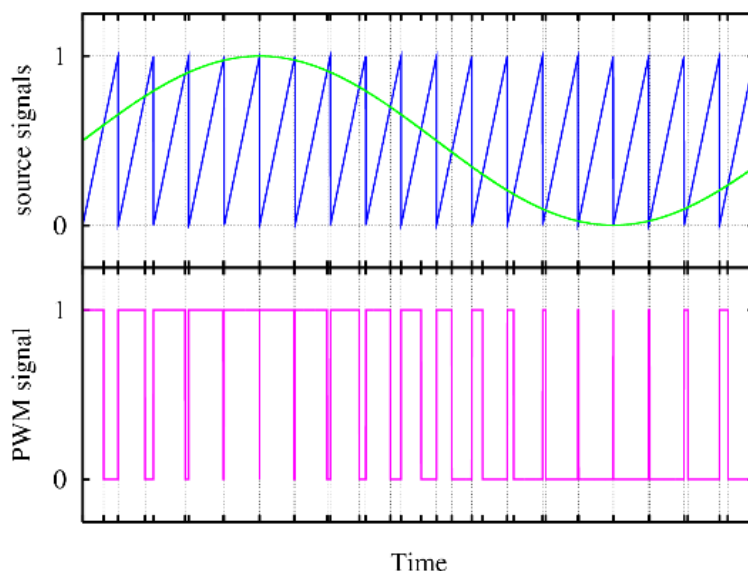
Obr. 1: Zobrazenie priebehov trojfázového elektrického vedenia



Obr. 2: Principiálna schéma trojfázového meniča

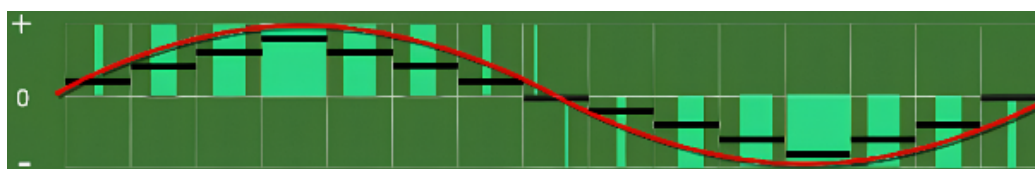
V obr. 2 sa uvažuje o zopínaní a symetrickom vypínaní šiestich spínacích prvkov, v našom prípade mosfetov v zapojení typu half-bridge, s cieľom dosiahnuť trojfázové výstupné napätie na rezistívnej záťaži. Dôležitý je pri danom zapojení čas neprekrytia, teda aby naraz nebol zopnutý horný a spodný tranzistor a predišlo sa tak skratu.

Hradlá týchto výkonových tranzistorov sú riadené pomocou signálov pulzno-šírkovej modulácie (PWM). Cieľom tohto spôsobu riadenia je tvarovanie výstupného napätia tak, aby jeho základná harmonická zložka mala sínusový priebeh - to má za následok plynulý chod motora, stabilný krútiaci moment a zníženie mechanických vibrácií.



Obr. 3: PWM modulácia

Prítomnosť vyšších harmonických zložiek vo výstupnom napätí vedie k zvýšeným stratám v motore, nadmernému zahrievaniu vinutí, akustickému hluku a pulzáciám krútiaceho momentu.



Obr. 4: Zobrazenie efektu PWM modulácie voči referenčnému signálu

Na obr. 4 je znázornená funkcia PWM modulácie, kde bledo zelený signál predstavuje PWM priebeh. Z tohto priebehu je zrejماً zmena strednej hodnoty prúdu (resp. napätia - čierny signál), ktorá sa mení v závislosti od sínusového referenčného signálu, predstavujúceho požadovaný výstupný priebeh meniča.

Vďaka vysokej spínacej (vzorkovacej) frekvencii PWM (Obr.3 modrý signál) v porovnaní so základnou frekvenciou sínusového referenčného signálu sa v krátkom časovom intervale mení strieda PWM tak, že stredná hodnota výstupného napätia (resp. prúdu) sleduje sínusový priebeh.

Existujú dva základné spôsoby riadenia spínačov, pomocou ktorých je možné dosiahnuť požadovaný výstupný priebeh. Prvý spôsob spočíva vo vedení prúdu počas  $180^\circ$ , zatiaľ čo druhý spôsob predpokladá vedenie prúdu počas  $120^\circ$ . Jednotlivé spínacie režimy sú podrobnejšie analyzované v nasledujúcich podkapitolách.

#### Špecifikácie trojfázového meniča

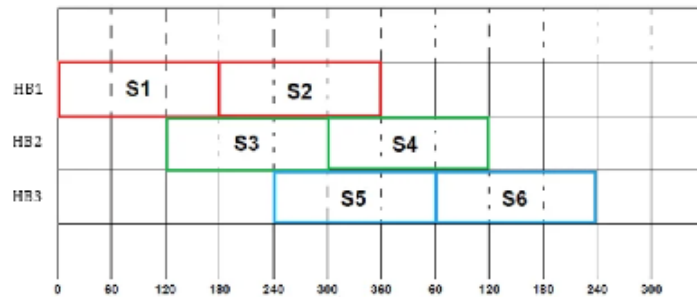
Parameter	180° vedenie	120° vedenie
Doba zopnutia spínača	180 stupňov	120 stupňov
Aktívne spínače (súčasne)	3 spínače	2 spínače
Využitie výstupného napätia	Vyššie	Nižšie
Obsah harmonických zložiek	Stredný	Vyšší

## 180° Vedenie

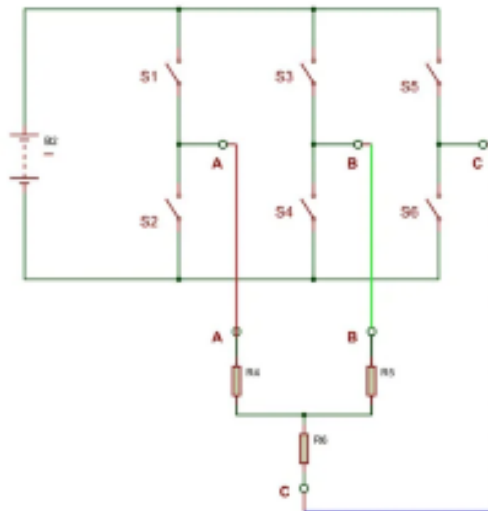
V režime vedenia prúdu 180° je doba zopnutia každého spínacieho prvku trojfázového meniča presne 180° základnej periódy. Výsledkom je lepšie využitie výstupného napätia trojfázového meniča.

Výhody vedenia prúdu pri 180°

- maximálne využitie napätia jednosmerného zdroja
- maximálna hodnota základnej harmonickej zložky výstupného napätia
- vysoká schopnosť prenosu výkonu

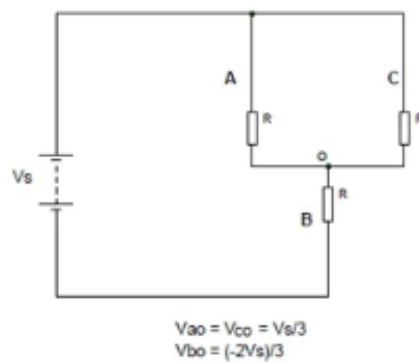


Obr. 5: Zobrazenie sekvencie zopínania HB (half-bridge)

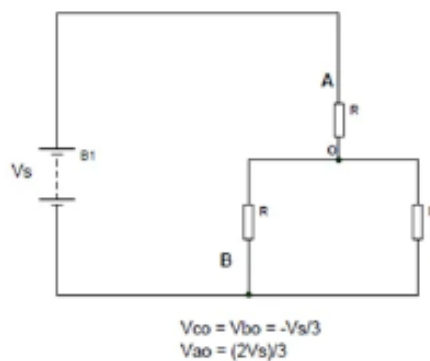


Obr. 6: Schéma zapojania meniča

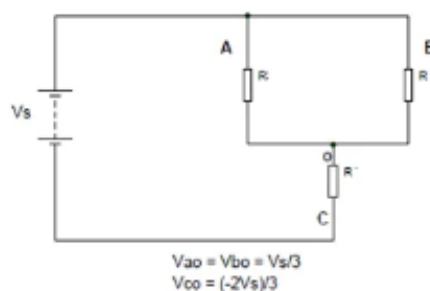
Na obr. 5 môžeme vidieť sekvenciu zopínania spínačov, pričom v dobe zopnutia jedného spínača je vždy druhý v zapojení half-bridge vypnutý. Nepárne označené spínače privádzajú na výstup(A,B alebo C) napájacie napätie(VDD) a párne označené spínače GND. Môžeme si všimnúť že sú vždy zopnuté dva spínače naraz, ktoré raz privádzajú na výstup fáz VDD a raz GND.



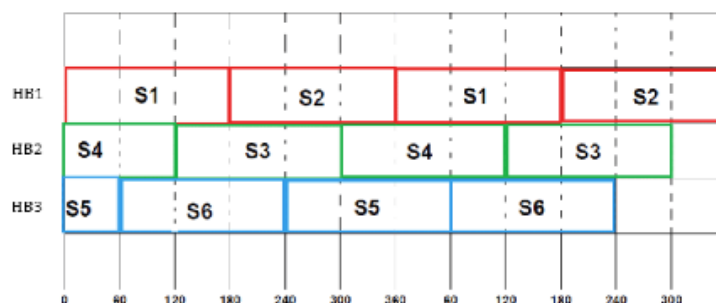
Obr. 7: Zapojenie vo fáze 0°-60°



Obr. 8: Zapojenie vo fáze 60°-120°

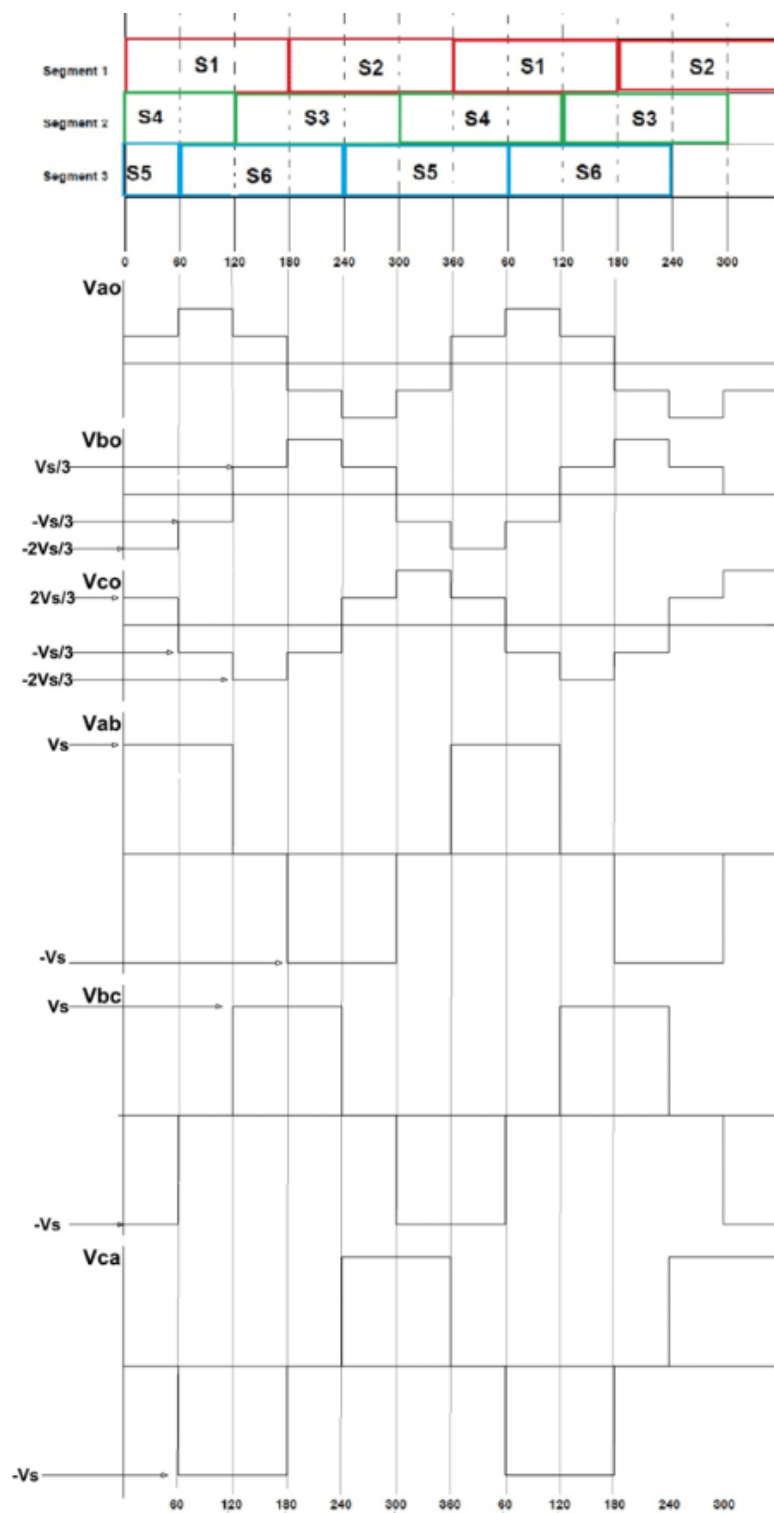


Obr. 9: Zapojenie vo fáze 120°-180°



Obr. 10: Zobrazenie celej sekvencie zopínania spínačov

Na obr.7-9 môžeme vidieť prekreslené schémy meniča, pre lepšiu predstavu fungovania obvodu a toku prúdu, so zopnutými(resp. vypnutými) jednotlivými spínačmi podľa sekvencie na obr.10.



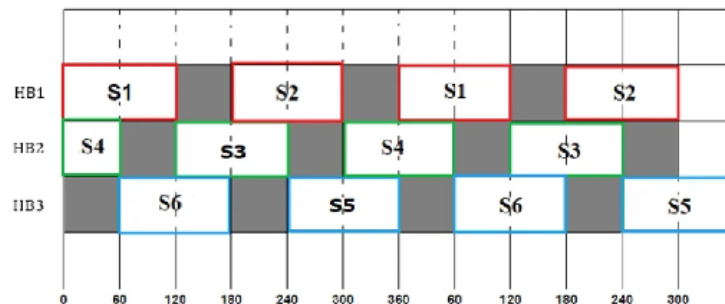
Obr. 11: Zobrazenie priebehu napätí pri 180° vedení v závislosti od fázy

## 120° vedenie

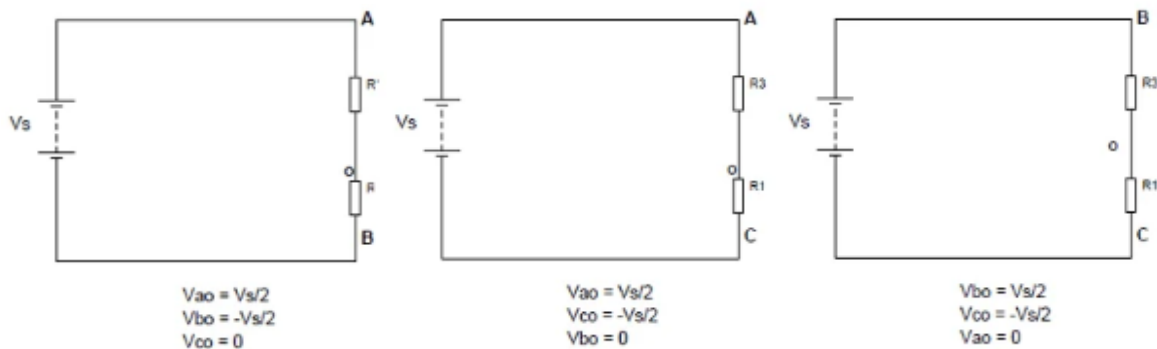
Režim vedenia prúdu 120° poskytuje odlišnú spínaciu stratégiu, pri ktorej každý spínač vedie prúd iba počas 120° základného cyklu vo viacfázovej konfigurácii meniča. V dôsledku toho sa líšia charakteristiky výstupného napätia trojfázového meniča aj jeho harmonický obsah.

Charakteristiky režimu 120°

- Potenciálne nižšie spínacie straty vo viacfázovom meniče v dôsledku menšieho počtu aktívne spínaných prvkov
- Odlišný pomer využitia napätia v porovnaní s režimom činnosti 180°
- Odlišné harmonické spektrum
- Jednoduchá schéma implementácie riadenia

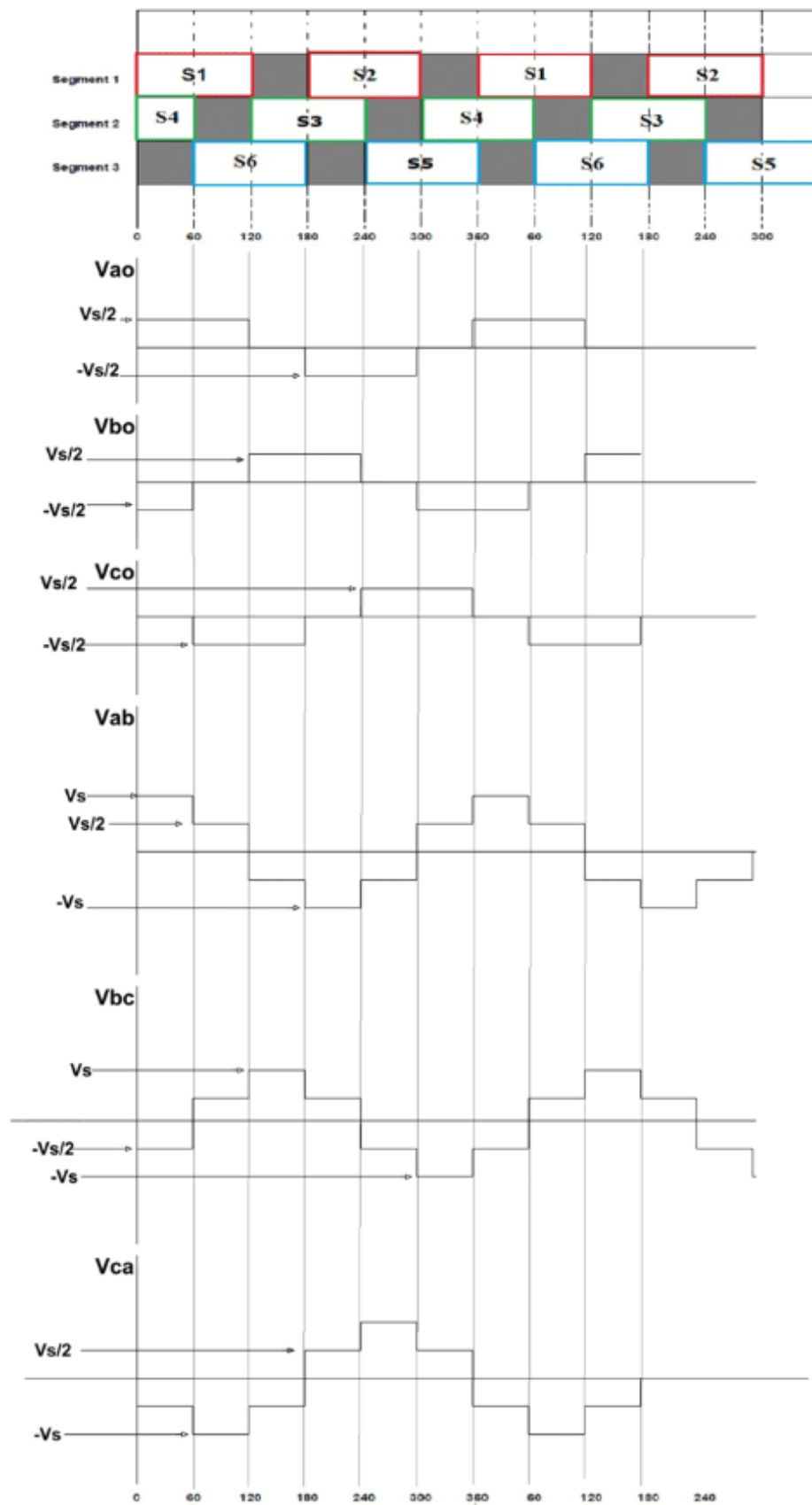


Obr. 12: Sekvencia zopínania jednotlivých spínačov v závislosti od fázy



Obr. 13: Zapojenie vo fáze 0°-60°; 60°-120°; 120°-180°

Na obr.12 môžeme vidieť spínací harmonogram spínačov, opäť platí že nepárne privádzajú na výstup(A,B,C obr.6) VDD a nepárne GND. Môžeme pozorovať to, že vždy je zopnutý iba jeden spínač, ktorý privádza na výstup VDD a jeden, ktorý privádza GND, tretí výstup je plávajúci.



Obr. 14: Zobrazenie priebehu napätí pri 120° vedení v závislosti od fázy

## Referencie

Iyer, N. P. R. (2024). Inverters and AC Drives: Control, Modeling, and Simulation Using Simulink. Springer Nature. ISBN: 978-3-031-62784-2.

Holmes, D. G., & Lipo, T. A. (2003). Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice. Wiley-IEEE Press.

Komrska, T., & Glasberger, T. (2019). Pulse Width Modulation of Three-Phase Inverters Based on Linear Programming. Transactions on Electrical Engineering.