

Oponentský posudok dizertačnej práce

Autor dizertačnej práce: Ing. Jan Nevorál

Názov dizertačnej práce: **Novel approach to polymorphism in gate-level digital circuits.**

Univerzita: Fakulta informačných technológií, Vysoké učení technické v Brně

Dizertačná práca napísaná vo forme piatich ucelených vybraných vedeckých prác autora, ktoré sú doplnené sprievodným komentárom rozčleneným do štyroch kapitol. Práca má celkový rozsah 89 strán a je napísaná v anglickom jazyku. V zozname literatúry autor uvádza 80 titulov čo je na dizertačnú prácu primeraný počet zdrojov.

K dizertačnej práci som v zmysle požadovaných hľadísk zaujala nasledovné stanovisko.

Aktuálnosť zvolenej témy

Dizertačná práca sa zaoberá témou digitálnych obvodov s využitím polymorfných hradíel, teda hradíel s viacerými logickými funkciami, prípadne zložitejších polymorfných blokov. A práve návrh a optimalizácia samotných polymorfných hradíel tak, aby mali vlastnosti porovnateľné s konvenčnými hradlami a boli reálne použiteľné v praxi je jadrom výskumu vykonaného v rámci tejto dizertačnej práce. Rozvoj a implementácia polymorfných hradíel je aktuálna vedecká téma, ktorá otvára dvere pre nové a výhodné využitie polymorfnej elektroniky.

Splnenie stanovených cieľov a úloh

V dizertačnej práci je stanovených sedem čiastkových cieľov, z ktorých za kľúčové možno považovať hlavne nasledujúce dva ciele: 1) návrh a implementácia metódy návrhu polymorfných hradíel riadených polaritou napájacieho napätia vzhľadom na počet tranzistorov, a jej následné overenie, a 2) návrh úplného súboru 2-vstupových polymorfných hradíel s rôznym typom tranzistorom a rôznymi vlastnosťami, vyhodnotenie vlastností navrhnutých hradíel a porovnanie s konvenčnými realizáciami. Po prečítaní práce konštatujem, že všetky naplánované úlohy boli realizované a stanovené ciele boli naplnené.

Zvolené metódy spracovania

Metódy použité pri riešení výskumu v rámci práce a jej spracovaní spĺňajú podmienky kladené na vedecké práce. Pri čítaní práce je zrejmé, že uchádzač je zrelým vedeckým pracovníkom, ktorý a pri práci využil metódy vedeckej práce postavenej na podrobnej analýze súčasného stavu v danej oblasti výskumu, na základe ktorej vznikla motivácia pre jeho vlastný výskum. Tá pramení hlavne v potrebe zautomatizovania procesu návrhu rôznych polymorfných obvodov a optimalizácie tohto procesu na základe stanovených kritérií. Doktorand začal analýzou existujúcich štruktúr a súčiastok s polymorfným potenciálom, zosumarizoval ich vlastnosti a obmedzenia ich použitia, a vybral si najvhodnejšie z nich dvojhradlové ambipolárne tranzistory riadené polaritou napájacieho napätia, ktoré neskôr spolu s MOSFET tranzistormi použil pri návrhu rozsiahlej knižnice 2-vstupových polymorfných hradíel.

V spracovaní dizertačnej práce tiež oceňujem, že uchádzač explicitne uvádza svoj autorský podiel a špecifikuje konkrétny vlastný prínos vo vedeckých publikáciách tvoriacich jadro práce.

Dosiahnuté originálne výsledky a nové poznatky

Za pôvodné výsledky a poznatky dosiahnuté v rámci dizertačnej práce považujem:

1. Návrh a implementácia novej evolučnej metódy systematického návrhu polymorfných hradíel na tranzistorovej úrovni, ktorá je založená na kartézskom genetickom programovaní. Prínosom v rámci tohto výsledku je hlavne:
 - zautomatizovanie návrhu,
 - možnosť optimalizácie hradíel vzhľadom na veľkosť, spotrebu energie a oneskorenie,
 - univerzálnosť metódy.
2. Vyvinutie úplných sád 2-vstupových polymorfných hradíel riadených polaritou napájacieho napätia, navrhnutých s ohľadom na rôzne optimalizačné kritéria. Porovnanie vlastností navrhnutých hradíel s konvenčnými hradlami a preukázanie ich konkurencieschopnosti.
3. Vytvorenie rozsiahlej a voľne dostupnej online knižnice PoLibSi, pozostávajúcej z takmer 40 tisíc polymorfných hradíel na báze klasických MOSFET tranzistorov ako aj ambipolárnych tranzistorov, ktoré je možné použiť pri syntéze zložitejších obvodov.
4. Experimentálne preukázanie, že použitie efektívne implementovaných polymorfných hradíel môže viesť k zmenšeniu veľkosti zložitejších digitálnych obvodov.

Výsledky dosiahnuté v rámci dizertačnej práce boli prezentované vedeckej komunite vo forme 8 publikácií na medzinárodných vedeckých konferenciách, z ktorých na siedmich je doktorand prvým spoluautorom a vykazuje si viac ako 50% podiel. Doktorand v práci uvádza ďalšie dve publikácie, ktoré s témou dizertačnej práce priamo nesúvisia. Z hľadiska počtu a typu publikácií ide o priemerné ukazovatele, treba však zobrať do úvahy a vyzdvihnúť podiel autora ako aj logickú a časovú následnosť a tematickú ucelenosť týchto publikácií.

Pripomienky, poznámky a otázky

K formálnej stránke práce mám zopár pripomienok. Citovanie literatúry v texte práce nie je uvádzané v poradí (vzostupne od čísla 1), v ktorom sa vyskytujú. Pojem „volt-ampere characteristics“ v popise obrázku na strane 19 nie je vhodné, správne je „I-V characteristics“. Popis podmienok konfigurácie tranzistorov Type 1 a Type 2 pomocou logickej hodnoty na PG v texte nie je v súlade so stavom zakresleným v obrázkoch 2.5 a 2.6.

K dizertačnej práci mám nasledovné otázky:

1. Mohli by ste sa vyjadriť k spoľahlivosti polymorfných hradíel/obvodov v porovnaní s klasickými hradlami na báze MOSFET?
2. Ako sú technologicky realizované použité 2-vstupové ambipolárne tranzistory? Ide o štandardnú kremíkovú technológiu alebo sú potrebné prídavné kroky pri ich výrobe?
3. V mnohých aplikáciách napájaných z batérie vzniká potreba implementácie obvodov pracujúcich s veľmi nízkou hodnotou napätia (napr. pod 0,5 V). Aká je prognóza použitia polymorfných obvodov v týchto napäťových podmienkach?
4. Aké hodnoty napätia (vo V) boli uvažované na riadiacich napájacích vodičoch pre log 0 a log 1 pre navrhnuté hradlá. Napríklad na obrázku 4.1. sú uvedené štyri rôzne napätia: pwr0, pwr1, zem a napätie o hodnote 1 V.

Zhrnutie

Na záver konštatujem, že predložená dizertačná práca pána Ing. Jana Nevorala preukazuje samostatnú tvorivú vedeckú prácu, obsahuje pôvodné publikované výsledky, spĺňa podmienky kladené na dizertačnú prácu a taktiež zodpovedá obecné uznávaným požiadavkám k udeleniu titulu Ph.D.

Dizertačnú prácu Ing. Jana Nevorala **doporučujem** k obhajobe.

V Bratislave, 17. februára 2020

prof. Ing. Viera Stopjaková, PhD.
Ústav elektroniky a fotoniky,
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ilkovičova 3
812 19 Bratislava, Slovensko