

# UPORABNOST CENOVNO UGODNIH CAE/CAD ORODIJ ZA NAČRTOVANJE INTEGRIRANIH VEZIJ

Matej Šalamon, Bojan Jarc, Tomaž Dogša  
Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko računalništvo in informatiko,  
Maribor, Slovenija

**Ključne besede:** IC vezja integrirana, PC računalniki osebni, CAD-CAE sistemi, EDA orodja za avtomatizacijo snovanja elektronike, cene nizke, orodja snovalna, strukture geometrične, pravila snovanja, DRC preverjalniki skladnosti pravil snovanja, ekstraktorji, celice standardne, plasti izpeljane, plasti prepoznavne, datoteke definicijske

**Povzetek:** Orodja za načrtovanje integriranih vezij so v preteklosti zahtevala uporabo dragih delovnih postaj in večjih računalnikov. Hiter razvoj PC računalnikov je omogočil, da so se razvijalci CAE/CAD programske opreme usmerili tudi na PC računalnike. Za zgled je v članku obravnavan L-Edit, ki se je pojavil že v obdobju DOS operacijskega sistema. Zanimala nas je predvsem uporabnost tega orodja. Iskali smo odgovore na naslednja vprašanja: Kakšne so omejitve tega paketa? Je možen prenos na delovno postajo? Je možno načrtovati tudi kompleksnejša integrirana vezja? Za referenčno orodje smo izbrali profesionalno načrtovalsko orodje COMPASS. Na obeh smo konfigurirali 3  $\mu\text{m}$  P well HCMOS tehnologijo in izvedli paralelno načrtovanje. Delovanje posameznih modulov znotraj L-Edita smo preverili ročno in s primerjavo s COMPASSom. Ugotovili smo, da obravnavana sistema nista povsem kompatibilna. Nekompatibilnost se kaže v ignoriranju poligonskih povezav, delnem upoštevanju parazitnih elementov in nenatančni ekstrakciji vrednosti uporov. Kljub tem pomankljivostim je L-Edit uporaben za načrtovanje nizkokompleksnih integriranih vezij. Ker je možen prenos v COMPASS, lahko L-Edit uporabljamo za načrtovanje posameznih sklopov (modulov), katere kasneje integriramo v skupno vezje na delovni postaji.

## Applicability of Low Cost CAE/CAD Tool for Designing Integrated Circuits

**Keywords:** IC, integrated circuits, PC, personal computers, CAD-CAE systems, (Computer Aided Design)-(Computer Aided Engineering) systems, EDA tools, Electronic Design Automation tools, low costs, design tools, geometrical structures, design rules, DRC, Design Rule Checkers, device extractors, standard cells, derived layers, recognition layers, extractor definition files

**Abstract:** In past, integrated circuits design tools were able to run only on expensive workstations, with high computation power. With rapid development of personal computers some producers of CAE/CAD tools offered versions which runs also on PC platform. In this article, as an example, L-Edit design tool applicability is presented. The following question were considered: What are limitations of L-Edit design tool? Can be data from L-Edit transferred to other design tools? Is it possible to design complex integrated circuits with L-Edit? As reference COMPASS design tool, running on workstation platform, was chosen. On both computers 3  $\mu\text{m}$  Low Voltage P well HCMOS technology was installed and parallel designs were made. Functionality of modules inside L-Edit with COMPASS design tool was compared. Conclusion was made that L-Edit and Compass tools are not fully compatible. We found out that: L-Edit ignores non orthogonal polygons, extract parasitic elements only partially and extract values of resistors are incorrect. Nevertheless it is useful for designing low complex integrated circuits and can be successfully used as supplementary designing tool.

### 1. Uvod

Načrtovanje integriranih vezij zahteva posebna načrtovalska orodja, ki so bila še do nedavnega omejena le na uporabo delovnih postaj in večjih računalnikov. Današnji hiter razvoj PC računalnikov in povečanje njihove procesne moči je pripomoglo k uveljavitvi cenejših načrtovalskih orodij, namenjenih preprostejšim operacijskim sistemom, kot sta npr. Windows in Linux. Načrtovalsko orodje **L-Edit**<sup>1</sup> korporacije Tanner Tools je eno izmed takšnih. Uporabiti ga je mogoče tako na PC računalnikih, kot tudi na delovnih postajah<sup>2</sup>. Še posebej zanimiva je verzija za PC računal-

nik (operacijski sistem Windows)<sup>3</sup>, ki ne zahteva drage strojne opreme<sup>4</sup>.

V članku so najprej opisane splošne lastnosti programa L-Edit. Sledi opis dveh zelo pomembnih modulov: modula za preverjanje skladnosti geometrijske strukture z načrtovalskimi pravili ter modula za ekstrakcijo. Delovanje modulov, ki smo jih konfigurirali za 3  $\mu\text{m}$  Low Voltage P-well HCMOS tehnologijo, smo primerjali z delovanjem referenčnih<sup>5</sup>, kar podrobno opisujemo v tretjem delu. Na osnovi problemov v fazi konfiguriranja ter rezultatov izvedene verifikacije smo prišli do določenih ugotovitev in zaključkov, ki so opisani v četrtem delu članka.

1 L-Edit - Layout Editor

2 Obstajajo verzije za: DOS, Windows, Unix in Macintosh.

3 Uporabljali smo verzijo L-Edit 5.18.

4 L-Edit lahko inštaliramo na osebнем računalniku s procesorjem 80386 ali boljšim, zahteva najmanj 4MB prostega spomina na trdem disku in 4MB RAM pomnilnika.

5 V našem primeru gre za DRC modul in ekstraktor orodja Compass.

## 2. Splošne lastnosti programa L-Edit

L-Edit (Full Custom Layout Editor) je interaktivni grafični urejevalnik za načrtovanje geometrijske strukture integriranih vezij. Opremljen je z naslednjimi moduli /1/:

- **modul za avtomatsko razmeščanje in povezovanje standardnih celic** (SPR - Standard Cell Place & Route),
- **modul za preverjanje skladnosti geometrijske strukture z načrtovalskimi pravili** (L-Edit/DRC - Online Design Rule Checker),
- **modul za ekstrakcijo** (L-Edit/Extract - General Device Extractor),
- **modul za generiranje prečnega prereza** (L-Edit/CSV - Cross Section Viewer).

Grafični urejevalnik omogoča načrtovanje 1000000 in več elementov ter neomejeno število plasti, celic in hierarhičnih nivojev. Podpira standardna formata datotek GDS II in CIF /1/ (generiranje in čitanje).

### 2.1 Modul za preverjanje skladnosti geometrijske strukture z načrtovalskimi pravili - DRC modul

Načrtovalska pravila predstavljajo skupek minimalnih širin, razdalj in napotkov za izdelavo mask /2, 3/. Specifična so za vsako tehnologijo in jih lahko dobimo od proizvajalca. V kolikor jih pri načrtovanju ne upoštevamo, izdelano integrirano vezje ne bo imelo pričakovanih lastnosti in se morda ne bo dalo izdelati.

Proces preverjanja skladnosti geometrijske strukture z načrtovalskimi pravili je avtomatiziran znotraj načrtovalskega paketa. Vnos načrtovalskih pravil opravimo ob vzpostavitvi delovnega mesta za načrtovanje integriranih vezij, izkaže pa se, da jih je, zaradi nedoslednosti ob prvem vnosu ali zaradi sprememb v samem procesu izdelave integriranih vezij, potrebno s časom tudi dopolnjevati.

Konfiguriranje DRC modula smo izvedli v dveh korakih:

- določitev izpeljanih plasti
- vnos načrtovalskih pravil po specifikacijah proizvajalca.

Načrtovalska pravila se ne nanašajo samo na osnovne plasti oziroma maske, temveč tudi na izpeljane plasti<sup>6</sup>. Izpeljane plasti določamo z logičnimi operatorji AND, OR in NOT, zraven tega imamo na voljo tudi funkcijo GROW, ki omogoča povečavo ali pomanjšavo izbrane objekta za željeno vrednost  $\mu\text{m}$  oziroma enot  $\lambda$ .

Pri določitvi dimenzij izbrane plasti lahko izbiramo med naslednjimi parametri:

- minimalna širina (min. width)
- točna širina (exact width) in
- ne obstaja (not exist).

Odnos med dvema plastema določimo glede na možnosti:

- prekrivanje (overlap),
- podaljšanje (extension),
- razmik (spacing) in
- obdajanje (surround).

Možnosti razmik in obdajanje sta izjemi, saj ju lahko v določenih primerih ignoriramo.

### 2.2 Modul za ekstrakcijo

Funkcija modula za ekstrakcijo je analizirati načrtovano geometrijsko strukturo in v njej prepoznati elemente, definirane v posebni tehnološki datoteki ter definicijski datoteki ekstraktorja<sup>7</sup> /1,2/. V ekstrakcijskem modulu potekata dva pomembna procesa:

- prepoznavanje in
- translacija.

Pri procesu prepoznavanja gre za iskanje predhodno definiranih skupin geometrijskih objektov oziroma vzorcev po narisani geometrijski strukturi. Definirane skupine narisanih objektov predstavljajo namreč posamezne elektronske elemente.

Proces prepoznavanja je tesno povezan s procesom translacije, ki prepoznane elemente zapiše v SPICE-kompatibilno tekstovno datoteko<sup>8</sup>. Ta vsebuje vse informacije o prepoznanih elementih, njihovih medsebojnih povezavah in drugih parametrih. Tako generirana datoteka, omogoča nadaljnjo simulacijo načrtovane geometrijske strukture s standardno verzijo simulatorja SPICE.

Konfiguriranje ekstraktorja smo izvedli v treh korakih:

- določitev nabora elementov in povezav, ki naj bodo ekstrahirani,
- določitev plasti, ki enoumno določajo zelene elemente in povezave,
- vnos elementov in povezav v definicijsko datoteko ekstraktorja.

Nabor elementov, ki jih je moral ekstraktor identificirati v 3  $\mu\text{m}$  P-Well HCMOS tehnologiji, je bil naslednji: NMOS tranzistor, PMOS tranzistor, poly upor, p-well upor, poly1-poly2 kondenzator, poly1-poly2-metal kondenzator in dioda.

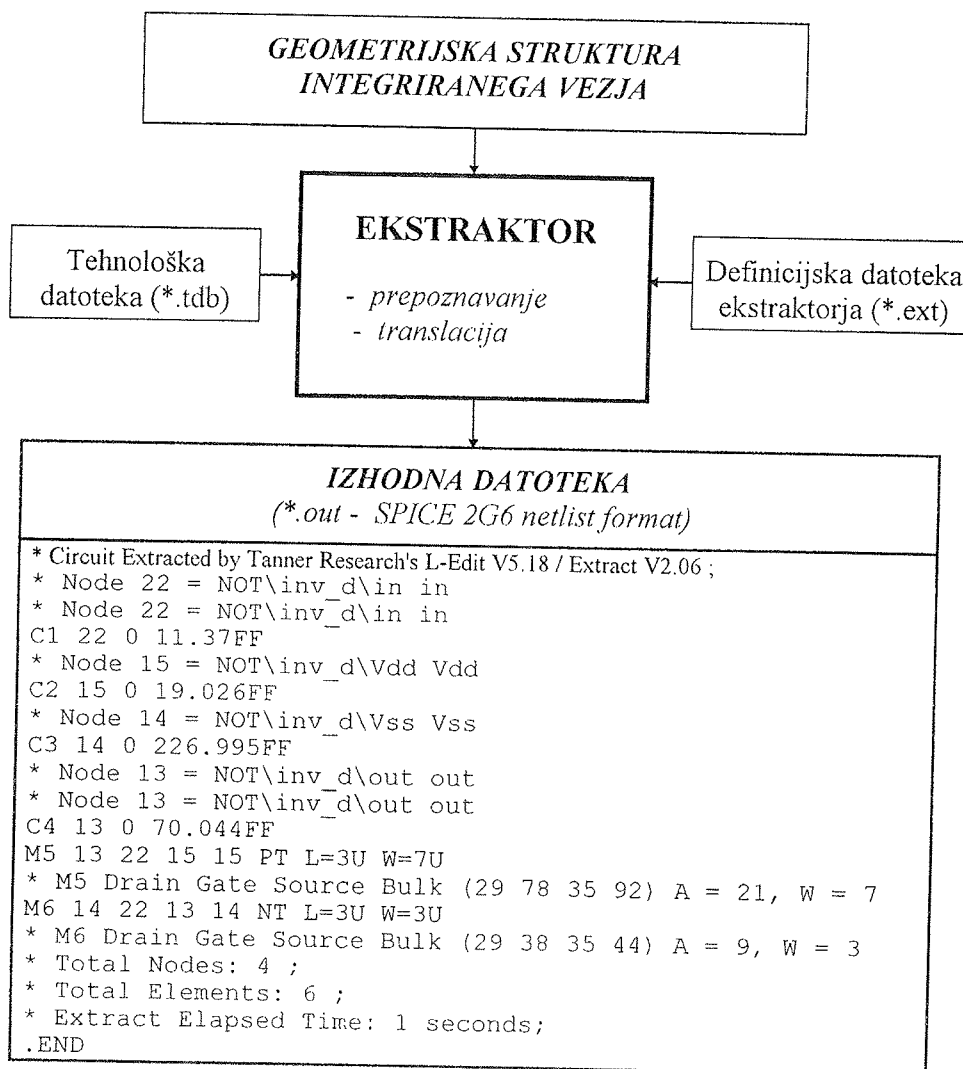
Vsak element se sestoji iz ene ali več procesnih plasti oziroma mask. Posamezne plasti elementa tvorijo vzorec, ki ga mora ekstraktor enoumno prepoznati. Ekstraktor v prvi fazi prične s prepoznavanjem posebnih prepoznavnih plasti<sup>9</sup>. Posamezni element je namreč sestavljen iz lastne prepoznavne plasti in drugih, ki so vezane na prepoznavanje njegovih priključkov. Priključke elementa prične prepoznavati oziroma iskati šele v drugi fazi, ko je na osnovi prepoznavne plasti ugotovil za katerega od definiranih elementov pravzaprav gre.

6 Angl. Derived Layers. Imena teh lahko poljubno izbiramo.

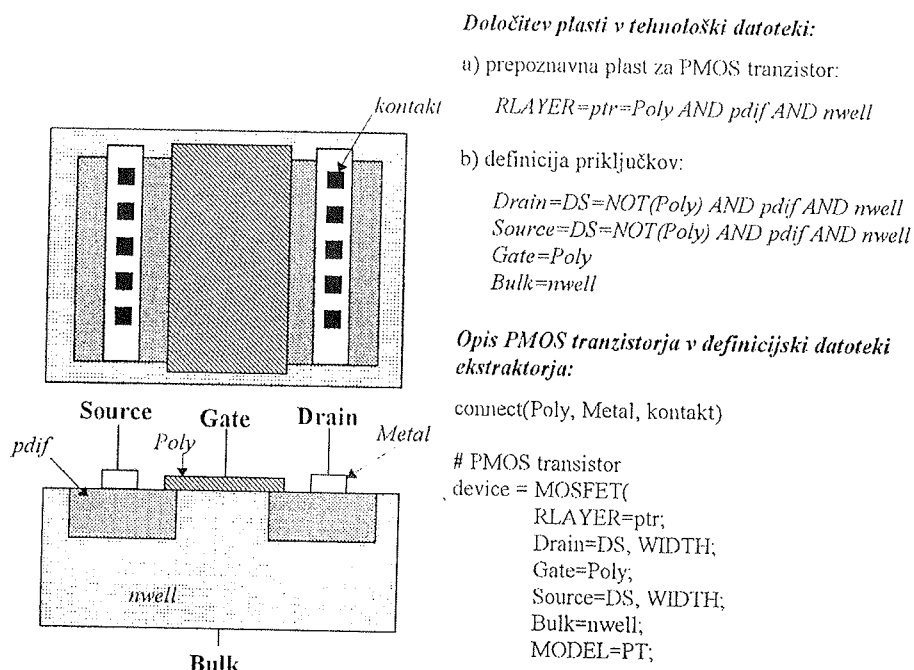
7 Angl. Extractor Definition File. To je tekstovna datoteka s končnico \*.EXT in jo je moč urejati s tekstovnim urejevalnikom - izven programa L-Edit.

8 SPICE (Berkeley 2G6) netlist format

9 Angl. Recognition layer



Slika 1: Proces ekstrakcije.



Slika 2: Primer konfiguriranja ekstraktorja za PMOS tranzistor.

Prepoznavna plast in plasti, ki so potrebne za prepoznavanje priključnih sponk nekega elementa, so sestavljene iz osnovnih<sup>10</sup> in izpeljanih plasti. Osnovne plasti so tehnološke plasti oziroma maske, ki so potrebne pri postopku izdelave integriranega vezja medtem, ko so izpeljane plasti le pomožne in pri postopku izdelave integriranega vezja nimajo nobene vloge. Vse plasti in tehnološki parametri so shranjeni v tehnološki datoteki (\*.TDB), ki poleg teh, vsebuje še narisano geometrijsko strukturo.

Definiranju potrebnih plasti je sledil vnos potrebnih informacij v definicijsko datoteko ekstraktorja. Ta vsebuje listo povezav in informacije o vseh elementih, ki jih je moč ekstrahirati. Vsebina te datoteke se torej navezuje oziroma izhaja iz predhodno definiranih plasti, shranjenih v tehnološki datoteki.

### 3. Verifikacija DRC modula in modula za ekstrakcijo

Konfiguriranju obeh modulov v programu L-Edit je sledila njihova verifikacija. Izvedli smo primerjavo med referenčnimi rezultati, generiranimi s pomočjo programa Compass in rezultati, dobljenimi s pomočjo programa L-Edit.

#### 3.1 Verifikacija DRC modula

Preverjanje DRC modula je potekalo v dveh korakih:

- sprotno preverjanje,
- končno preverjanje s testnimi vzorci in obsežnim vezjem, izdelanim z orodjem Compass.

Pri sprotnem preverjanju smo ob vsakem novo dodanem načrtovalskem pravilu le-to preverili z:

- nedovoljeno vrednostjo (premajhna širina ...) in
- mejno, še dovoljeno vrednostjo, definirano s pravilom (minimalna širina ...).

Končno preverjanje smo izvedli s pomočjo testnih vzorcev in obsežnega vezja, ki smo jih dobili od načrtovalca integriranih vezij. Na osnovi rezultatov smo vnesli popravke in odpravili napake, v kolikor je bilo to mogoče oziroma v nasprotnem primeru, sestavili seznam pravil, ki niso upoštevana.

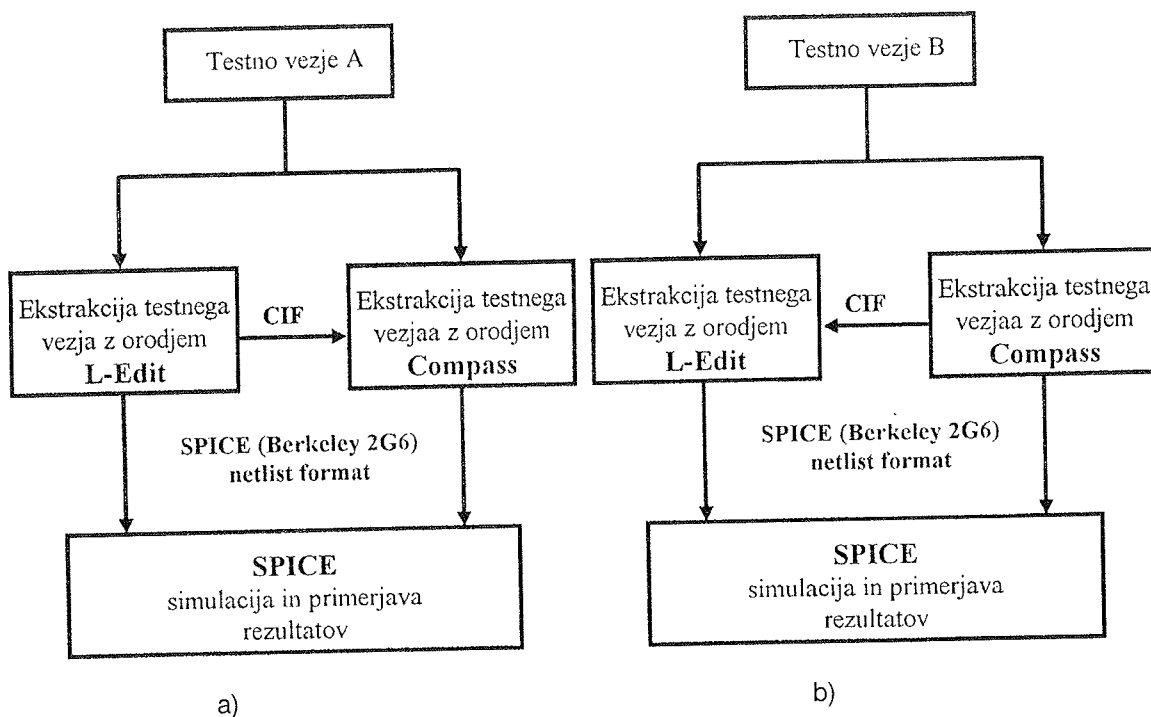
#### 3.2 Verifikacija modula za ekstrakcijo

Delovanja ekstraktorja smo preverjali s pomočjo testnih vezij, ki smo jih izbrali tako, da so bili v njih zajeti vsi elementi, ki jih mora ekstraktor, na osnovi narisane geometrijske strukture, prepoznati.

- Verifikacijo ekstraktorja smo izvedli na dva načina:
- verifikacija v smeri L-Edit - Compass
- verifikacija v smeri Compass - L-Edit

##### 3.2.1 Verifikacija ekstraktorja v smeri L-edit - Compass

Verifikacijo smo opravili s testnimi vezji, narisanimi v skladu z načrtovalskimi pravili. S tem smo posredno preverjali tudi pravilnost delovanja modula DRC. Testna vezja smo ekstrahirali. Rezultat ekstrakcije so bile liste povezav oziroma izhodne SPICE datoteke, ki smo jih dopolnili z modeli in zahtevami za različne analize (AC, DC, TRAN...). Rezultate analiz smo nato opazovali s pomočjo grafičnega postprocesorja INTUSCOPE.



Slika 3: a) Postopek verifikacije v smeri L-Edit - Compass  
 b) Postopek verifikacije v smeri Compass - L-Edit

10 Imena teh plasti moramo dobiti od proizvajalca.

V naslednjem koraku smo izvedli pretvorbo datotek formata TDB<sup>11</sup> v standardizirani format CIF in prenesli geometrijske strukture testnih vezij v program Compass. Tukaj smo nato ponovili proces ekstrakcije, s čimer smo ponovno prišli do izhodnih SPICE datotek. Te smo nato preoblikovali in dopolnili z istimi analizami, parametri in modeli, kot v primeru L-Edit. S tako preoblikovanimi datotekami smo ponovno izvedli simulacijo.

Opisanemu je sledila primerjava rezultatov, dobljenih s pomočjo ekstraktorja L-Edit in tistimi, ki smo jih dobili s pomočjo referenčnega ekstraktorja Compass.

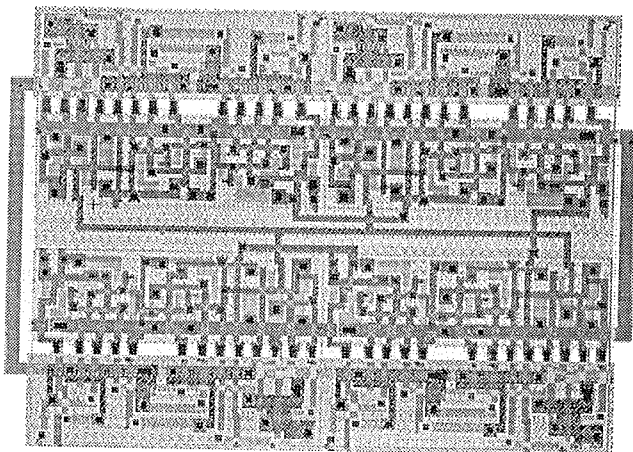
### 3.2.2 Verifikacija ekstraktorja v smeri Compass - L-Edit

V tem primeru smo izvedli obratno pot. Testna vezja, narisana s programom Compass, smo ekstrahirali in na osnovi dobljenih datotek, dopolnjenih z analizami, izvedli SPICE simulacijo.

Geometrijske strukture vezij smo nato, preko CIF formata, prenesli v L-Edit in tukaj izvedli ponovno ekstrakcijo vsakega posameznega testnega vezja.

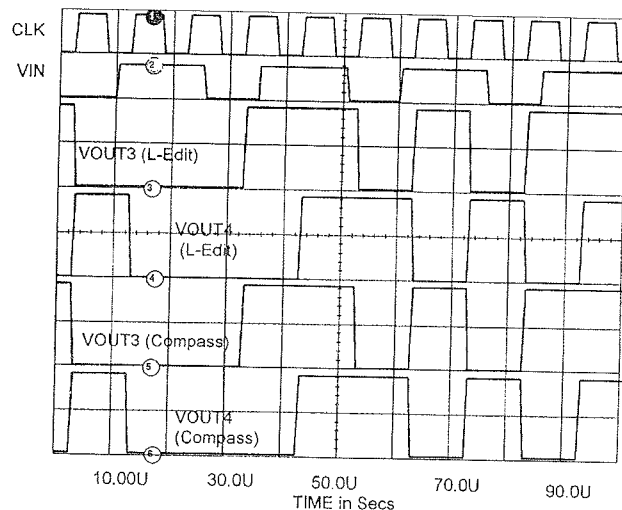
V obeh sistemih (L-Edit in Compass) smo tako prišli do rezultatov, na osnovi katerih smo lahko sklepali o pravilnosti delovanja ekstraktorja v programu L-Edit.

Na sliki 4 je prikazana testna geometrijska struktura, v kateri zasledimo preko 100 tranzistorjev. Načrtovana je bila s pomočjo standardnih celic.



Slika 4: Geometrijska struktura testnega vezja, ki predstavlja zakasnilno linijo, sestavljeno iz štirih D-flip floпов.

Primerjava rezultatov SPICE simulacije, prikazanih na sliki 5 kaže, da med sistemoma L-Edit in Compass ni prišlo do opaznih razlik, ki bi kazale na nepravilno L-Edit ekstrakcijo.



Slika 5: Primerjava rezultatov simulacije za geometrijsko strukturo prikazano na sliki 4, ekstrahirano z orodjem L-Edit in Compass.

## 4. Rezultati in ugotovitve

S primerjavo rezultatov, dobljenih iz referenčnega sistema Compass in sistema L-Edit smo ugotovili, da se delovanje obravnavanih modulov v obeh sistemih vendarle nekoliko razlikuje. Razlog so pomanjkljivosti načrtovalskega orodja L-Edit, na katere pa uporabnik žal ne more vplivati. Odkrili smo namreč naslednje pomanjkljivosti:

- **Nezmožnost detektiranja dotikanja dveh plasti**

Ker se načrtovalska pravila ne nanašajo samo neposredno na maske in identifikacijske plasti, je potrebno kreirati več novih izpeljanih plasti. Načrtovalski paket L-Edit omogoča kreiranje izpeljanih plasti z logičnimi operacijami AND, OR, NOT in GROW. Ugotovili smo, da nabor ni zadosten, saj nekaterih posebnosti, kot je na primer dotikanje dveh plasti, ni moč detektirati. Tako je nekaj pravil izpadlo iz avtomatskega preverjanja in jih mora upoštevati načrtovalec sam.

- **Plastem ne moremo definirati različne minimalne širine in dolžine**

Ob vnosu načrtovalskega pravila v načrtovalski paket L-Edit, specificiramo lastnost ene ali odnos med dvema plastema. Ponovno smo ugotovili, da nabor lastnosti ni zadosten, saj za plast-objekt ne dovoljuje določitve različne širine in dolžine. Takšen primer je bil kontakt, ki je moral za obravnavano 3  $\mu\text{m}$  tehnologijo imeti širino točno 3  $\mu\text{m}$ , dolžina pa je bila od 3  $\mu\text{m}$  do 6  $\mu\text{m}$ , s korakom 1  $\mu\text{m}$ . Pri definiciji odnosa med dvema plastema nabor ni bil zadosten v primeru, ko smo želeli definirati maksimalno oddaljenost kontaktne blazinice od kontakta z difuzijo<sup>12</sup>. To pravilo ni bilo vključeno (ga ni bilo možno vključiti) tudi v referenčnem načrtovalskem orodju Compass.

11 Datoteke s testnimi vzorci.

12 Minimum distance pad metal to diffusion contact

- **Ignoriranje poligonskih povezav, ki niso ortogonalne**

Ugotovili smo, da algoritem za preverjanje skladnosti geometrijske strukture z načrtovalskimi pravili programskega paketa L-Edit preverja razdalje samo po vertikalni in horizontalni osi, z najmanjšim korakom  $\lambda$ . Korak  $\lambda$  je odvisen od tehnologije in ga lahko nastavimo sami, torej ne predstavlja omejitve. Ker pa algoritem preverja razdalje le po x in y osi, pri preverjanju ignorira poligone, ki niso ortogonalni. To štejem kot resno omejitev, ki pa je, kolikor nam je znano, v novejši verziji 6.05, odpravljena.

Ta omejitev je še veliko bolj očitna pri modulu za ekstrakcijo, kjer tovrstno ignoriranje povzroči topološko nepravilnost ekstrahirane datoteke.

- **Medsebojni parazitni elementi plasti niso upoštevani**

Narisano integrirano vezje lahko prevedemo v vezje diskretnih elementov s pomočjo ekstraktorja z namenom, preveriti pravilnost povezav ali izvesti simulacijo vezja. V kolikor nas zanima simulacija vezja, lahko opravimo ekstrakcijo s parazitnimi elementi. Običajno upoštevamo le parazitne upornosti in kapacitivnosti ne pa induktivnosti. Za pravilno ekstrakcijo vezja s parazitnimi kapacitivnostmi in upornostmi moramo imeti možnost vsaki plasti definirati površinsko parazitno upornost in kapacitivnost proti substratu. Hkrati pa moramo imeti tudi možnost definiranja parazitne kapacitivnosti in prevodnosti med poljubnima plastema, kar načrtovalski paket L-Edit ne podpira. Tako s SPICE simulacijo npr. ni moč zaznati presluha med dvema linijama, ki tečeta ena nad drugo (ločuje ju oksid) in nista povezani s kontaktom.

- **Prepoznani diskretni elementi (upor, kondenzator) so idealni; način izračuna upornosti je neprimeren**

Plast, ki jo prepoznamo kot povezavo med dvema elementoma, ima vnaprej definirano upornost nič ohmov in ima samo parazitno kapacitivnost proti substratu. Podobno velja za upor, ki mu ne moremo definirati parazitne kapacitivnosti ter za kondenzator, ki mu ne moremo definirati prevodnosti. Zaradi želje po kompatibilnosti s programskim paketom Compass smo privzeli enak način risanja elementov, kar je povzročilo še naslednje omejitve:

- pri izračunu upornosti uporov nismo mogli definirati upornosti kontaktov
- izračunana oziroma ekstrahirana upornost je pravilna le za ravne upore v p-otoku
- za upore iz polisilicija pa v nobenem primeru.

## 5. Sklep

Drastično povečanje procesne moči osebnih računalnikov v zadnjih nekaj letih je med drugim prav gotovo tudi pripomoglo k razvoju orodij za načrtovanje integriranih vezij, katerih osnova je operacijski sistem DOS oziroma Windows. Med tovrstna načrtovalska orodja spada orodje L-Edit, katerega preprostost in uporaba nezahtevne strojne opreme nakazujeta bistveno cenejšo možnost načrtovanja, ki je bila še do nedavnega vezana na uporabo dragih delovnih postaj.

Kompatibilnost obravnavanih orodij ni popolna. Eden izmed glavnih vzrokov za to so pomanjkljivosti in omejitve orodja L-Edit, ki jih opazimo v:

- ignoriranju poligonskih povezav, kar ima zelo očitne posledice - nepravilno ekstrakcijo geometrijske strukture, v kateri so bile tovrstne povezave uporabljene
- le delnem upoštevanju parazitnih elementov, kar pomeni, da analiza ekstrahiranega vezja pri visokih frekvencah, kjer je vpliv parazitnosti očitna, ne daje povsem pričakovanih rezultatov
- nenatančni ekstrakciji vrednosti uporov, ki je vse-kakor posledica nespremenljivih internih izračunov.

Prednosti načrtovalskega orodja L-Edit:

- preprost uporabniški vmesnik, zaradi katerega je L-Edit uporaben tudi za izobraževalne namene,
- uporaba PC računalnika z nezahtevno strojno opremo,
- podpora standardnih formatov GDS II in CIF, s pomočjo katerih je omogočen prenos načrtovane geometrije tudi na druga tovrstna orodja.

Kljub pomanjkljivostim in omejitvam orodja je L-Edit preprosto, zanimivo in prijazno načrtovalsko orodje, katerega dovršenost lahko v prihodnosti pripomore doseči nivo profesionalnih načrtovalskih orodij, ki trenutno še zmeraj zahtevajo delovne postaje ter večje računalnike

## 6. Literatura

- /1/ A. S. Taylor, R. Mathur, A. Andke, L-Edit Layout Manual (version 5), Tanner Research, Inc., Oct. 1995
- /2/ J. P. Uyemura, Physical Design of CMOS Integrated Circuits Using L-EDIT, PSW Publishing Company 1994
- /3/ B. Dokl, Načrtovanje integriranih vezij s Tanner Tools, Diplomsko delo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko računalništvo in informatiko, Jun. 1995
- /4/ B. Jarc, M. Šalamon: Uporabnost orodja L-Edit za načrtovanje kompleksnejših integriranih vezij, Zbornik šeste Elektrotehniške in računalniške konference ERK'97, Sept. 1997

*Matej Šalamon, dipl.inž.el.  
Bojan Jarc, dipl.inž.el.  
doc.dr. Tomaž Dogša  
Univerza v Mariboru,  
Fakulteta za elektrotehniko.  
računalništvo in informatiko  
Smetanova 17,  
2000 Maribor, Slovenija  
tel: 062-220-7236  
Fax: (386) 062-211-178*

Prispelo (Arrived): 27.2.1998

Sprejeto (Accepted): 17.4.1998