

Napredni postupci u projektiranju analognih integriranih sklopova

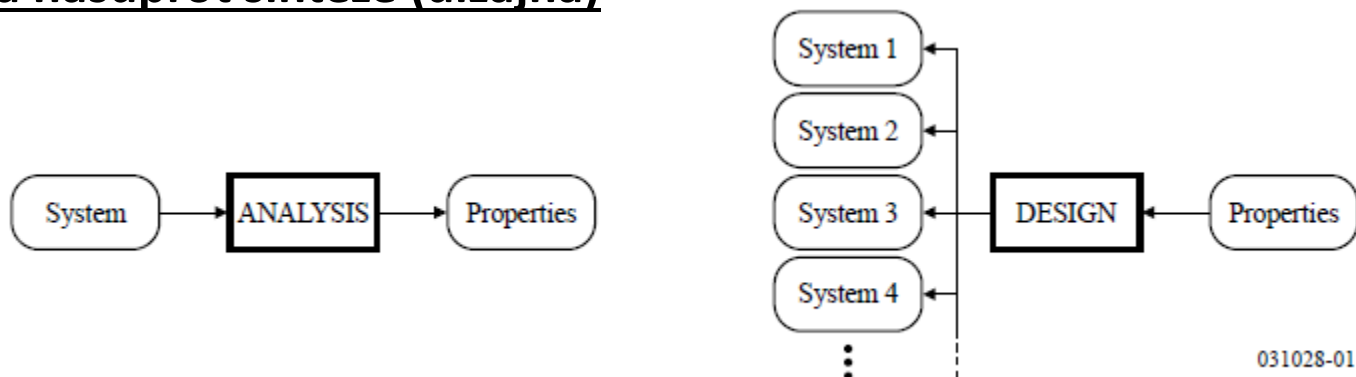
UVOD

Što je analogni dizajn ?

Definicija:

Dizajn – kreirati ili izvršiti na umjetnički ili izuzetno vješt način. Otkriće i izvedba formi, dijelova ili detalja nečega sukladno zadanom planu

Analiza nasuprot sinteze (dizajna)



Analiza – za zadani sustav nađi njegove karakteristike. Rješenje je jedinstveno.

Dizajn – za zadane karakteristike nađi sustav koji ih posjeduje. Rješenje je rijetko jedinstveno – **Koristit ćemo izraz PROJEKTIRANJE**

Projektiranje analognih integriranih sklopova

- Električko projektiranje
Razina električke sheme
 1. Papir i olovka
 2. Simulacija na računalu
- Fizičko projektiranje
Topološko projektiranje sklopa
Verifikacija – DRC, LVS
Ekstrakcija parazita
- Fabrication
- Testing and Product Development
- Testiranje i razvoj proizvoda

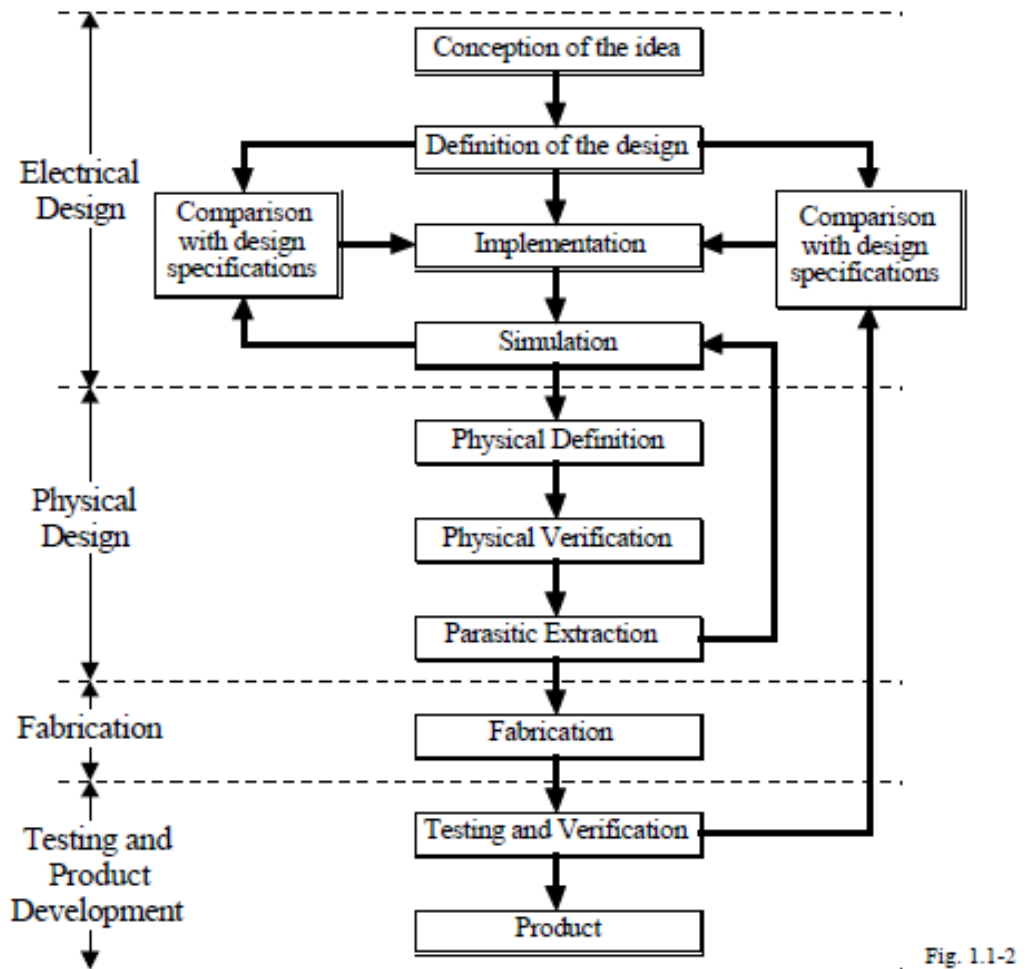


Fig. 1.1-2

Električko projektiranje

Električko projektiranje je postupak pronalaska sklopovskog rješenja polazeći od specifikacija. Ulazi i izlazi električkog projektiranja su:

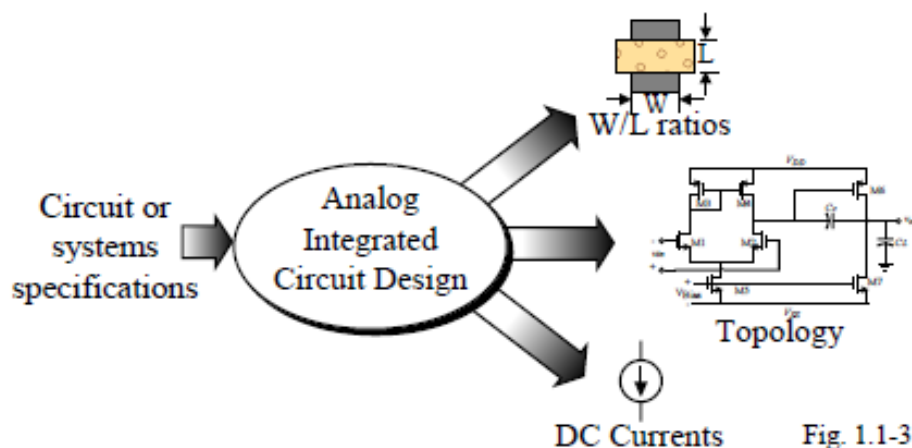


Fig. 1.1-3

Električko projektiranje zahtijeva modele pasivnih i aktivnih komponenata za:

- Kreiranje sklopa
- Verifikaciju sklopa
- Određivanje robusnosti (osjetljivosti)

Koraci u električkom projektiranju

1.) Odabir rješenja

- Proučiti postojeće sklopove (poznata rješenja)
- Odabrati **jednostavno** rješenje

2.) Proučiti rješenje

- Analizirati karakteristike (bez računala, papir i olovka)
- Odrediti prednosti i nedostatke rješenja

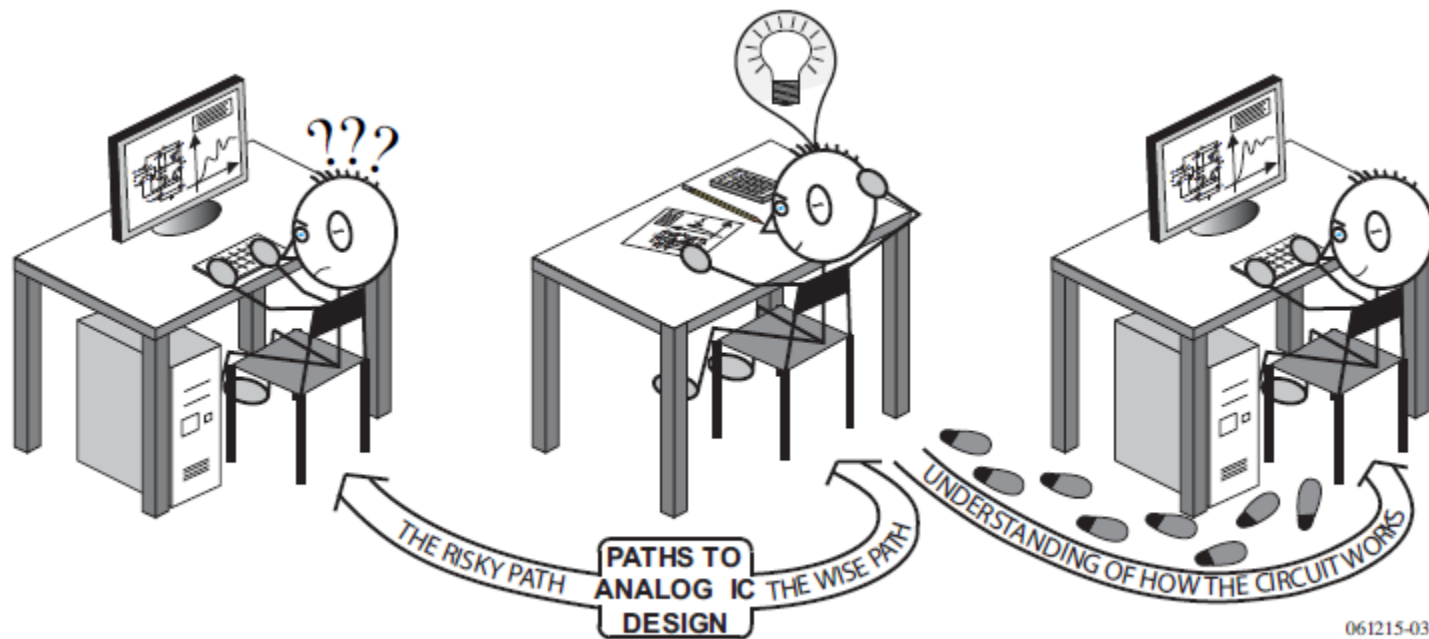
3.) Modifikacija rješenja

- Koristiti osnovne principe, koncepte i tehnike za realizaciju
- Ispitati promjene analizom (još uvijek bez računala)

4.) Verifikacija rješenja

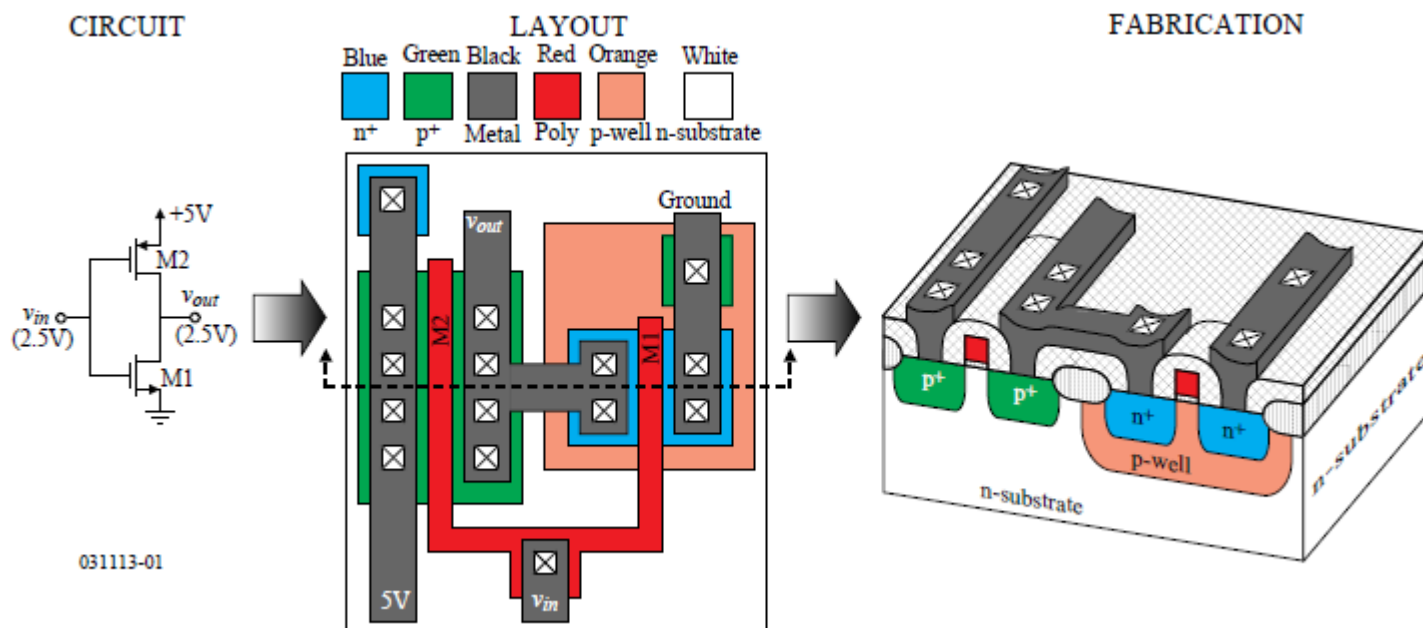
- Korištenje računala s preciznim modelima komponenata
- Velika odstupanja u odnosu na ručnu analizu treba posebno dobro provjeriti !

Koraci u električkom projektiranju



Što je fizičko projektiranje ?

- Fizičko projektiranje je proces projektiranja maski koje se koriste u proizvodnji sklopova.
- Sastoji se od mnogo različitih geometrijskih oblika (pravokutnika) na različitim razinama (slojevima) – često nazivamo topologijom sklopa
- Topologija se koristi za proizvodnju 3D integriranih sklopova korištenjem tehnološkog procesa (npr. CMOS, BiCMOS)



Izrada topologije sklopa

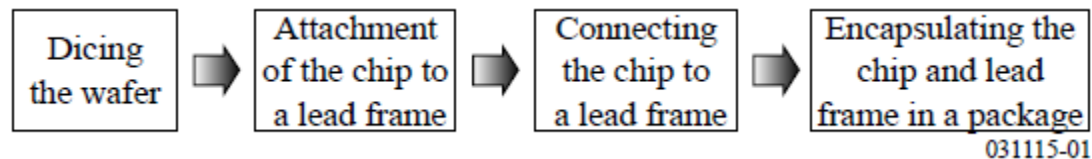
- 1.) Ulazni podaci su zadani električkom shemom i dimenzijama tranzistora (W/L za CMOS) koji su dobiveni električkim projektiranjem
- 2.) CAD alati se koriste za unos različitih geometrija. Projektant određuje poziciju, oblik i razinu u određenoj geometriji (dizajn se obično radi hijerarhijski).
- 3.) Kod projektiranja mora se zadovoljiti skup pravila (eng. Design rules) kako bi se osigurala pouzdanost i robusnost tehnološkog procesa. Provjera se izvodi automatski na računalu (eng. Design Rule Check - DRC)
- 4.) Nakon izrade topologije provjerava se odgovara li topologija električkoj shemi sklopa (eng. Layout vs schematics - LVS)
- 5.) Kada je topologija napravljena, mogu se ekstrahirati parazitni elementi koji uključuju:
 - Kapacitete od vodiča prema masi
 - Međukapacitete između vodiča
 - Otpore linija (metala, polisilicija, dopiranog poluvodiča)
- 6.) Ekstrahirani paraziti se uključuju u simulacijsku bazu podataka i sklop se ponovo simulira kako bi se osigurali da paraziti ne pokvare funkcionalnost sklopa

Pakiranje

Pakiranje integriranog sklopa je važan dio fizičke realizacije sklopa. Funkcija pakiranja je da:

- 1.) Zaštiti integrirani sklop
- 2.) Napajanje integriranog sklopa
- 3.) Hlađenje integriranog sklopa
- 4.) Osigura električku i mehaničku vezu sklopa prema vanjskom svijetu

Koraci u postupku pakiranja:



Ostale bitne karakteristike kod pakiranja:

- Brzina
- Paraziti (kapacitivni i induktivni)

Testiranje sklopa

Testiranje je proces koordiniranja, planiranja realizacije mjerenja karakteristika analognog integriranog sklopa.

Cilj je usporediti eksperimentalno dobivene karakteristike sa zadanim specifikacijama i/ili rezultatima simulacija

Tipovi testova:

- 1.) Funkcionalni – verifikacija nominalnih specifikacija
- 2.) Parametarski – verifikacija karakteristika u zadanim granicama (temperatura, napajanje, itd.)
- 3.) Statički - verifikacija statičkih karakteristika sklopa ili sustava (DC i AC)
- 4.) Dinamički – verifikacija dinamičkih (tranzijentnih) karakteristika sklopa ili sustava

Dodatna razmatranja:

- Treba li se mjerenje napraviti direktno na čipu ili u pakiranju (PCB razina)
- Kako ukloniti utjecaj mjernog sustava na samo mjerenje (eng. de-embedding)

Vještine potrebne za analogni dizajn

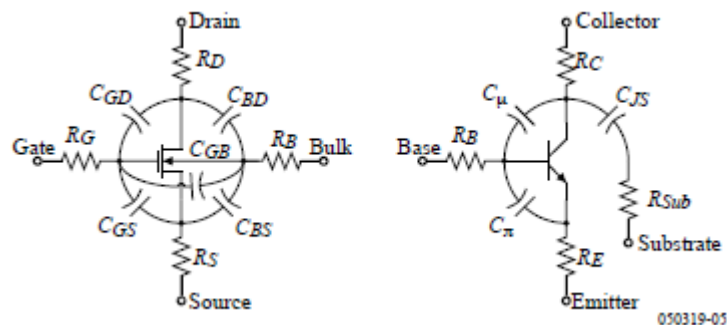
Karakteristike analognog dizajna:

- Izvodi se na razini sklopa
- Kompleksnost je velika
- Razvojem tehnologije, izazovi rastu
- Zahtijeva stvarno razumijevanje principa, koncepata i tehnika
- Dobri dizajneri obično imaju dobro poznavanje fizike
- Potrebno je imati sposobnosti za napraviti prikladne pretpostavke i pojednostavljenja
- Zahtjeva razumijevanje i tehnologije i modeliranja
- Širok raspon različitih vještina – širina (samo analogno je rijetkost)
- Biti sposoban učiti na pogreškama
- Biti sposoban koristiti simulacije na ispravan način

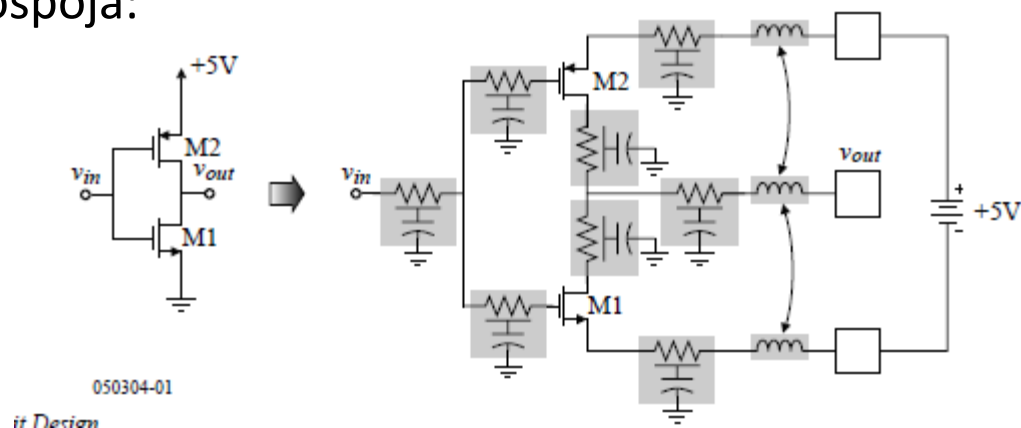
Razumijevanje tehnologije

Razumijevanje tehnologije pomaže analognom dizajneru da zna ograničenja tehnologije te utjecaj tehnologije na dizajn

Paraziti elemenata:



Paraziti prospoja:



Utjecaj tehnologije na projektiranje

Skaliranje CMOS tehnologije

Dobro:

- Manje dimenzije
- Manji paraziti
- Veća strmina
- Veća širina frekvencijskog pojasa

Loše:

- Smanjeni naponi
- Manji izlazni dinamički otpor (manje pojačanje)
- Veće nelinearnosti
- Odstupanje od kvadratne ovisnosti struje

Izazovi:

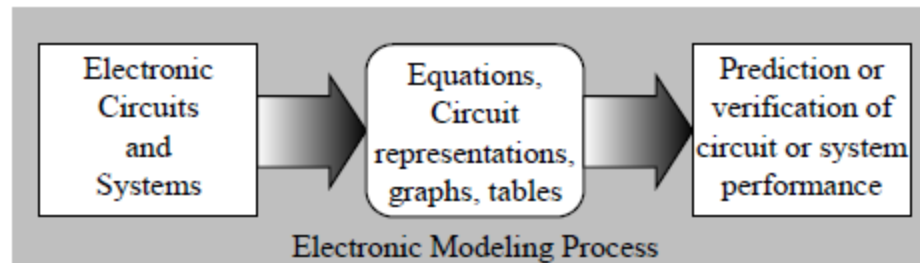
- Povećanje šuma iz podloge u sklopovima miješanog signala
- Naponi praga tranzistora ne skaliraju se s naponom napajanja
- Smanjen dinamički opseg
- Slabo uparivanje tranzistora uz minimalnu duljinu kanala

Razumijevanje modeliranja

Modeliranje:

Modeliranje je proces prestavljanja električkih karakteristika elektroničkog sklopa ili sustava matematičkim jednažbama, nadomjesnim sklopovima, grafovima ili tablicama.

Modeli omogućavaju predviđanje ili verifikaciju elektroničkog sklopa ili sustava

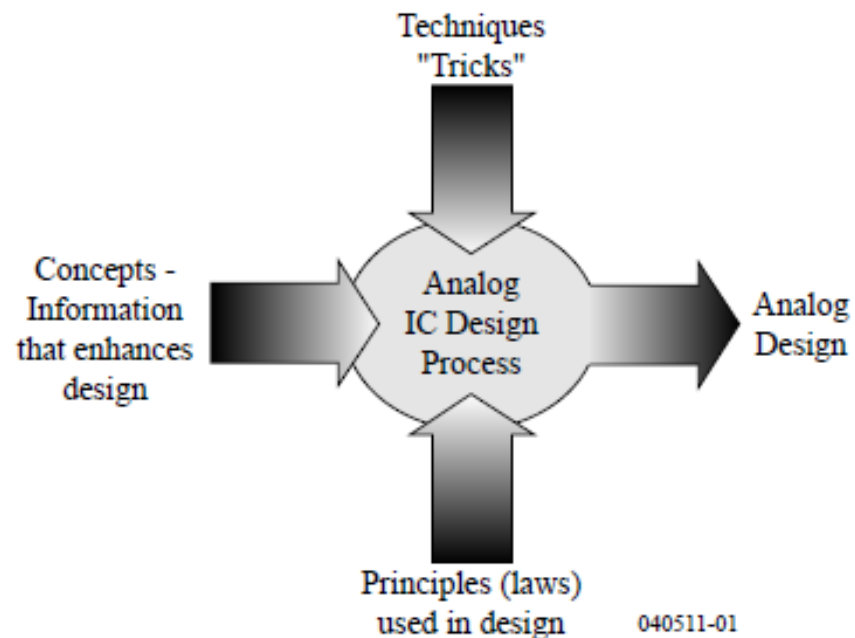


Primjeri:

Ohm-ov zakon, strujno-naponska karakteristika diode, model MOSFET-a za veliki signal

Principi, koncepti i tehnike projektiranja

- Principi se odnose na fundamentalne prirodne zakone koji su precizni i nikada se ne mijenjaju
- Koncepti se odnose na relacije, “mekane zakone” (koji su generalno točni), alate analize, stvari koje je dobro zapamtiti
- Tehnike uključuju pretpostavke, “trikove”, alate, metode koje se koriste za pojednostavljenje i razumijevanje



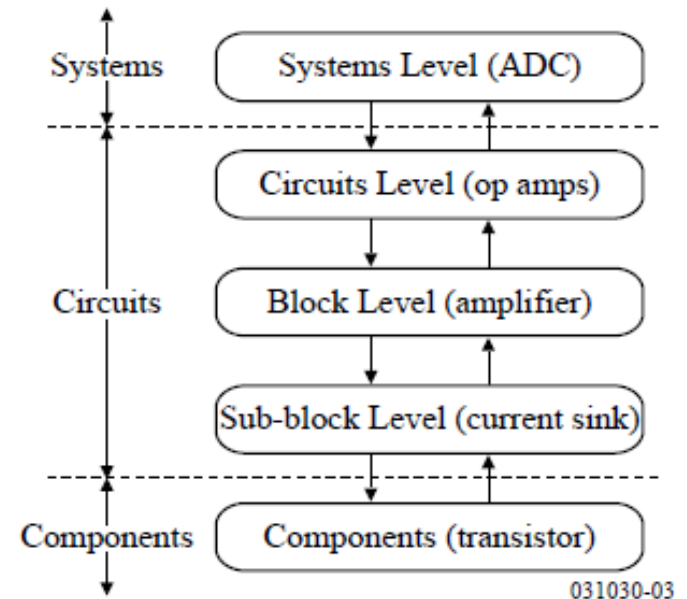
Kompleksnost projektiranja analognih sklopova

Projektiranje analognih integriranih sklopova normalno se ne radi hijerarhijski te u maloj mjeri ponovo koristi sklopovske blokove.

Posljedično, projektiranje je kompleksno i izazovno.

Kako se nosimo s kompleksnosti?

- 1.) Korištenje hijerarhije što je više moguće
- 2.) Korištenje prikladnih organizacijskih tehnika
- 3.) Efikasna dokumentacija
- 4.) Korištenje pretpostavki i pojednostavljenja
- 5.) Ispravno korištenje simulatora



Pretpostavke

Pretpostaviti znači uzeti da je nešto istina bez formalnog dokazivanja

Koriste se za pojednostavljenje analize i samog projektiranja

Cilj je odvojiti bitne od nebitnih informacija o problemu

Elementi pretpostavke su:

- 1.) Formulacija pretpostavke za pojednostavljenje problema bez eliminacije bitnih informacija
- 2.) Primjena pretpostavke da se dođe do rješenja ili rezultata
- 3.) Provjera je li pretpostavka bila prikladna

Primjeri:

Zanemarenje velikog otpora u paraleli s malim

Miller-ov efekt za računanje dominantnog pola

Nalaženje korijena polinoma drugog reda uz pretpostavku da su korijeni realni i razdvojeni

Trendovi u projektiranju analognih IC

Etabilirana područja primjene:

- Digitalno-analogna i analogno-digitalna pretvorba
- Kontroleri za hard-disk-ove
- Modemi – filtri
- Reference napona (eng. Bandgap references)
- Analogni PLL (eng. Phase locked loop)
- DC-DC pretvornici
- Odvojna pojačala (eng. Buffer)
- Itd.

Postojeća filozofija s obzirom na analogne sklopove:

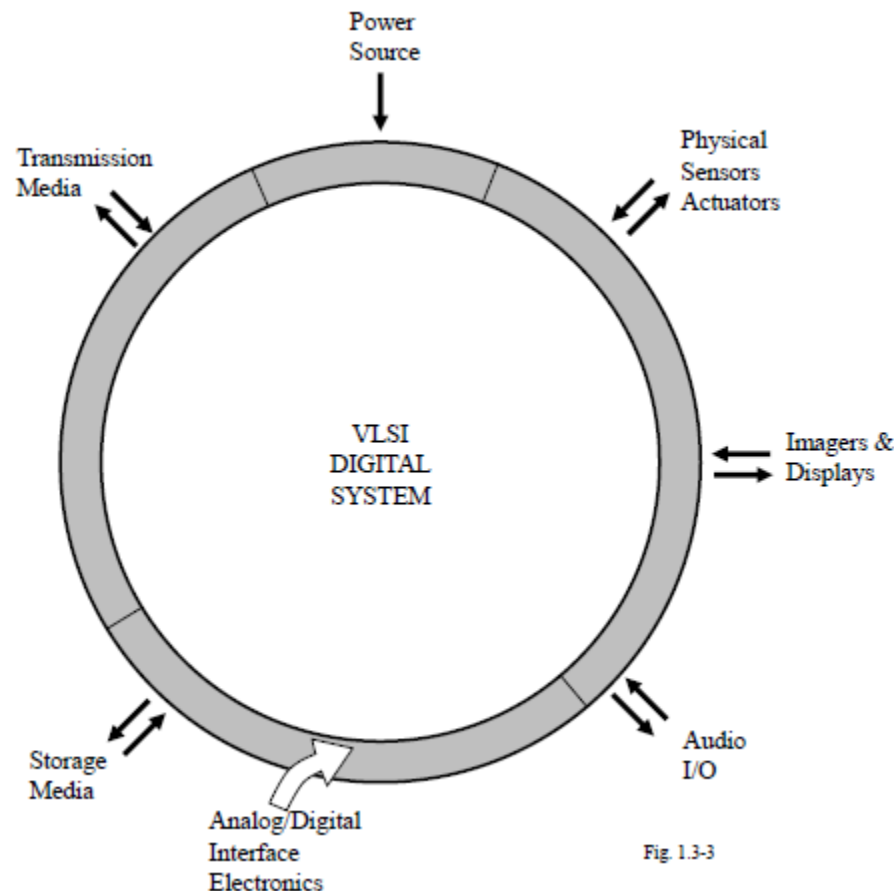
“Ako se može napraviti ekonomično korištenjem digitalnih nemoj koristiti analogne sklopove”

Posljedično:

Analogni sklopovi nalaze primjene gdje brzina, površina ili disipacija imaju prednost u odnosu na digitalne sklopove

Analogni sklopovi kao ljuska jaja (P.Gray)

- Svijet je analogan
- Vezu između svijeta i digitalnih računala čine analogni sklopovi



Analogna i digitalna obrada signala u VLSI

- Glavne značajke:
- Analogno/Digitalno kombinacija ovisi o primjeni
- Ne razvija se sa skaliranjem
- Razvija se s obzirom zahtjeve sustava za programirljivost/adaptabilnost/testiranje/dizajn

Now:

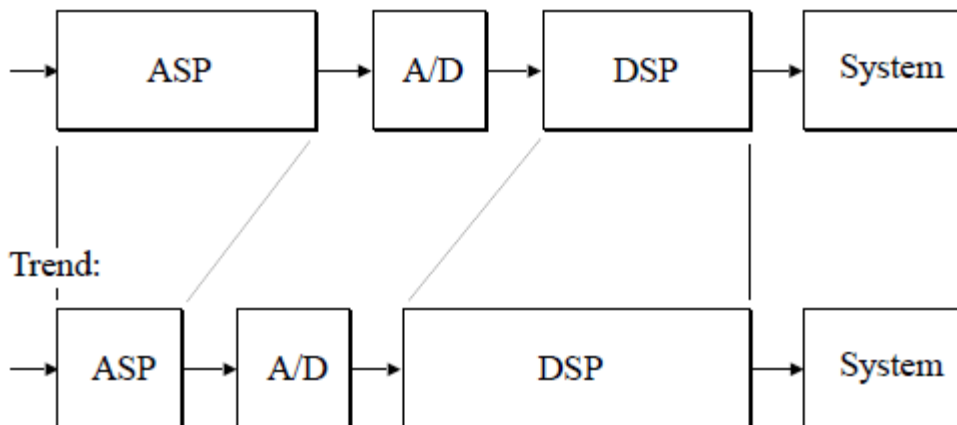


Fig. 1.3-4

Primjene analognih IC

Dva glavna područja

- Restitutivno – okrenuto prema performansama (brzina, točnost, disipacija, površina)
Klasično projektiranje analognih IC
- Kognitivno – okrenuto prema funkcijama (adaptivnost, paralelizacija)
Novo rastuće područje inspirirano biološkim sustavima

Analogni VLSI – kombinacija analognih sklopova i VLSI filozofije

- Puno sličnosti između analognih sklopova i bioloških sustava
 - Skalabilnost
 - Nelinearnost
 - Adaptabilnost
- Neuromorfni analogni VLSI
Korištenje bioloških sustava kao inspiracije za sklopove kao što su pametni senzori
- Pametni autonomni sustavi
Samoupravljujuća vozila
Industrijsko čišćenje u opasnim zonama
- Senzorimotorni sustavi
Zatvoreni sustavi sa senzorskim ulazom i motornim izlazom

Budućnost analognih IC

- Kreativna sklopovska rješenja potrebna su za postizanje željenih karakteristika
- Analogni sklopovi i dalje će ostati dijelom velikih VLSI digitalnih sustava
- Smetnje i šum postat će još veći problem kako kompleksnost čipova raste
- Pakiranje će biti važno pitanje i nudi neka interesantna rješenja
- Analogni sklopovi bit će predvodnici s obzirom na performanse
- Analogni dizajner mora biti dizajner sklopova i sustava i mora znati:
 - Tehnologiju i modeliranje
 - Dizajn analognih sklopova
 - VLSI digitalni dizajn
 - Koncepte primjene sustava
- Neće biti značajno novih i različitih tehnologija – inovacije će kombinirati nove primjene s postojećim ili novim tehnologijama
- Semi-custom metodologija će se razviti s CAD alatima koja će omogućiti:
 - Copy-paste dizajna
 - Brzu ekstrakciju parametara modela u novim tehnologijama
 - Testiranje dizajna
 - Automatski dizajn i layout jednostavnih analognih sklopova

Sažetak

- Uspješno projektiranje analognog integriranog sklopa započinje s razumjevanjem sklopa prije simulacije
- Tri su glavna koraka u projektiranju
 - 1.) Električko projektiranje – arhitektura sklopa, W/L vrijednosti, DC struje
 - 2.) Fizičko projektiranje
 - 3.) Testiranje
- Analogni dizajneri moraju biti fleksibilni i imati vještine da pojednostave i razumiju kompleksne probleme
- Projektiranje analognih sklopova je u zreloj fazi i tu je da ostane
- Prigodna filozofija je “Ako se može napraviti ekonomično korištenjem digitalnih nemoj koristiti analogne sklopove”
- Posljedično, analogni sklopovi nalaze primjene gdje brzina, površina ili disipacija imaju prednost u odnosu na digitalne sklopove
- Ekstremno skalirane tehnologije (eng. Deep-submicron) pružaju uzbudljive izazove za analogne dizajnere