

## 4. ВЈЕЖБА

### 4.1 ТРАНСМИСИОНИ ВОДОВИ. ИМПЕДАНСА ТРАНСМИСИОНИХ ВОДОВА

Пренос података између предајника и пријемника врши се преко преносног медијума. Преносни медијум може бити:

- трасиран (енг. *guided*) или
- нетрасиран (енг. *unguided*).

У оба случаја комуникација се остварује простирањем електромагнетних таласа. Код трасираног преноса простирање таласа се усмјерава дуж физичких путева какви су коаксијални каблови, оптичка влакна, упредене парице и слично. Ако се електромагнетни таласе преносе кроз ваздух, вакуум или течност, ради се о нетрасираном преносу [5].

Уколико је вријеме транзиције сигнала краће од времена простирања сигнала, тада кажемо да се сигнал преноси кроз трансмисиони вод. У том случају, проводнике који чине трансмисиони вод не можемо посматрати као кратке спојеве [5].

Трансмисиони водови се карактеришу својом карактеристичном импедансом  $Z_0$  и временом простирања сигнала  $T_D$  при чему те величине зависе од подужне индуктивности  $L'$  и подужне капацитивности вода  $C'$ .

Карактеристична импеданса вода, дата је формулом (4), а вријеме простирања сигнала формулом (5) [5]:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad (3)$$

$$T_D = \sqrt{L'C'} \quad (4)$$

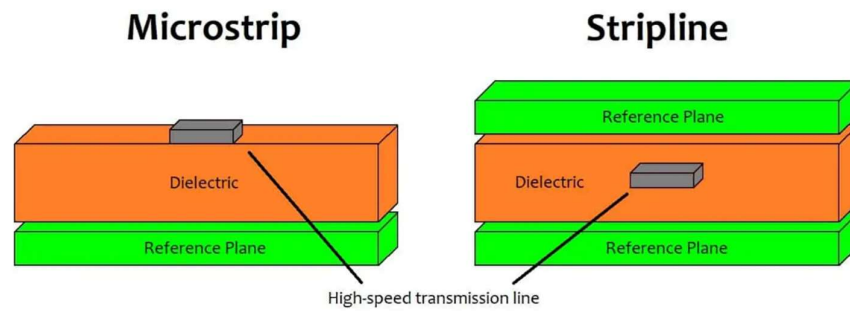
Постоје двије основне структуре водова на штампаним плочама [6]:

- микрострип вод (енг. *Microstrip*) и
- стрип вод (енг. *Strip*).

Микрострип вод је референциран у односу на једну површину на нултом потенцијалу (или напајању). Обично су то водови на површини штампане плоче. На двослојним штампаним плочама, могуће је формирати само микрострип водове [6].

Уколико се пројектује плочица са четири или више слојева, тада је могуће реализовати и стрип вод. Стрип вод има више слојева диелектрика, сигнална веза је симетрично или асиметрично смјештена између два проводна слоја [6].

Разлика између микрострип и стрип вода приказана је на слици 36. [6].



Слика 36. Разлика између микрострип и стрип водова

За прорачун импедансе водова на штампаним плочама постоје бројни онлајн калкулатори. Данашњи моћни софтверски алати за пројектовање штампаних плоча такође имају могућност аутоматског подешавања ширине вода у зависности од подешене импедансе.

## 4.2 ИМПЕДАНСНА АНАЛИЗА

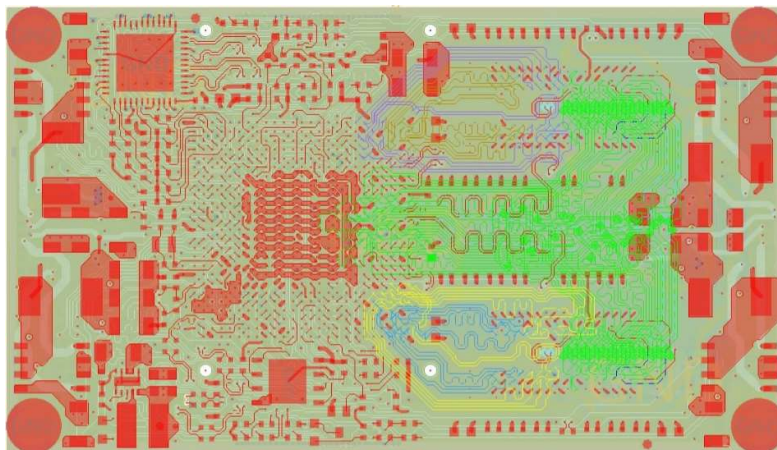
Приликом преноса података сигнаlima великих брзина и стрмих ивица, потребно је обезбједити да импеданса трансмисионих водова буде константна у свакој тачки вода. Ова вриједност зависи од импедансе предајника и пријемника и обично износи  $50\ \Omega$  у односу на масу. Постоји и варијанта када се сигнал преноси као диференцијални, и у том случају се гледа импеданса између двије линије вода, и она обично износи  $100\ \Omega$ .

Импеданса водова на штампаним плочицама се може аутоматски подесити у већини данашњих софтверских алата који се користе за пројектовање плоча.

У овом поглављу биће објашњено на који начин је могуће провјерити да ли је импеданса вода константна коришћењем софтверског алата *Sigrity Aurora II* који је дио *Cadence Sigrity* пакета алата. Биће симулирана импеданса водова за *DDR3* између процесора и меморије. Диференцијална импеданса ових водова треба да буде  $100\ \Omega$ .

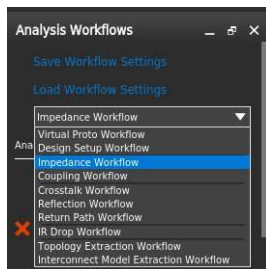
Након покретања софтверског алата, први корак је додавање штампане плоче. Након што се фајл штампане плоче дода у софтверски алат, у главном прозору се може видјети изглед плочице. Изглед плочице у *Sigrity Aurora II* алату приказан је на слици 37.

У прозору *Visibility* могуће је одабрати слојеве плоче које желимо да буду приказани. На слици 37. одабрани су сви слојеви који представљају проводнике.



Слика 37. Изглед штампане плоче у *Sigrity Aurora II* алату

Подешавање параметара анализе ради се на следећи начин: Први корак је одабир жељене анализе у оквиру прозора *Analysis Workflows*. У овом случају то је импедансна анализа па је потребно одабрати опцију *Impedance Workflow*, слика 38.

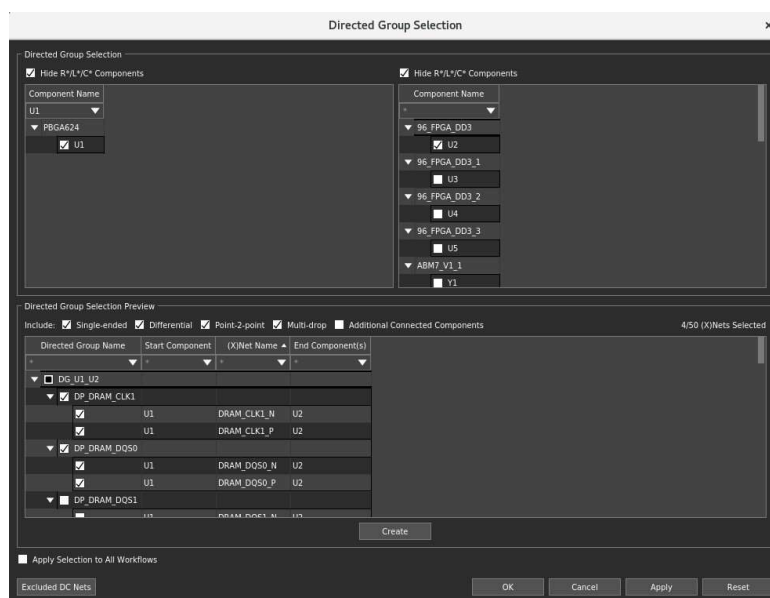


Слика 38. *Analysis Workflows* прозор у оквиру *Sigrity Aurora II* алата

Врши се анализа *DDR3* водова од процесора до меморија, па се анализа може и подесити на тај начин. Бирају се компоненте између којих је потребно утврдити импедансу водова. То се

ради тако што се одабере опција *Directed Group* из *Analysis Modes* менија у оквиру *Analysis Workflows* прозора.

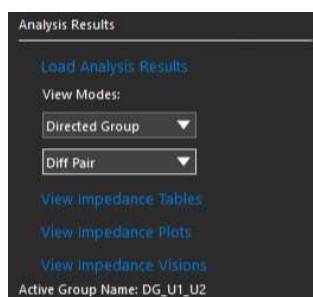
Одабиром опције *Select Directed Groups*, отвара се нови прозор *Directed Group Selection*. Изглед овог прозора приказан је на слици 39.



Слика 39. *Directed Group Selection* прозор у оквиру *Sigrity Aurora II* алати

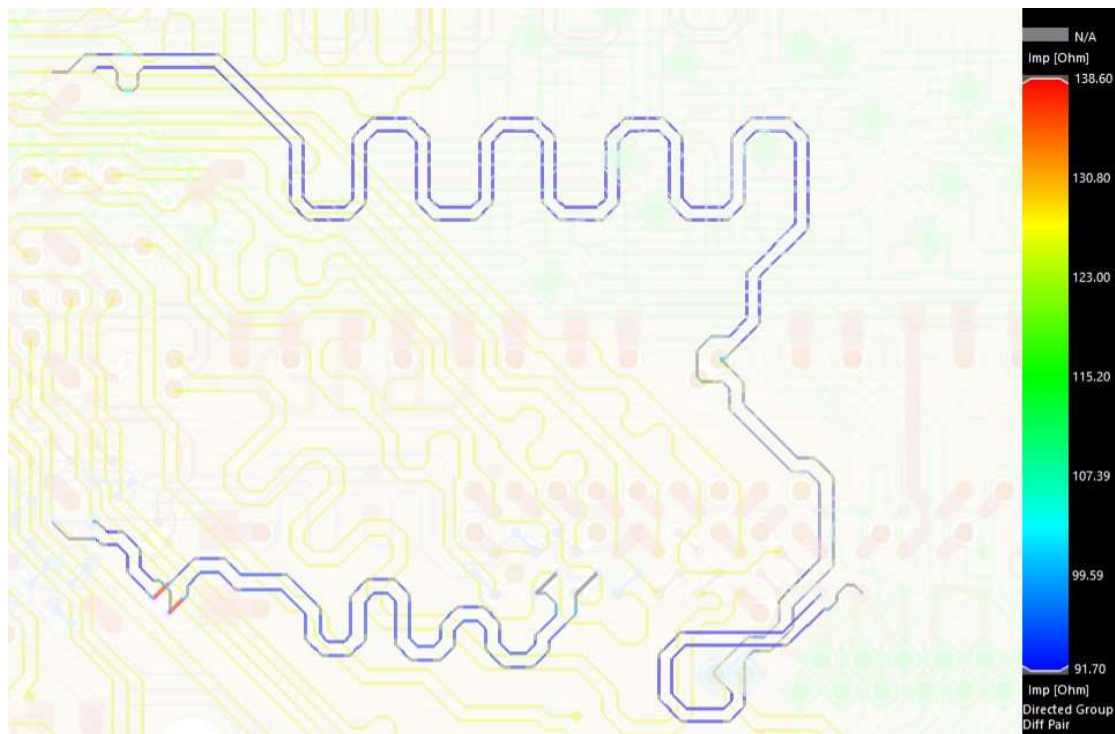
У врху прозора бирају се компоненте чији вод се симулира. У овом случају прва компонента је *iMX6* процесор која има ознаку (енг. *Designator*) *U1*. Са десне стране је друга компонента, која је меморија. То могу бити компоненте *U2*, *U3*, *U4* или *U5*. У општем случају би биле извршене симулације за све меморије, међутим како је тема овог рада приказ самог начина симулације а не верификација квалитета пројектованих водова, биће извршена симулација само за меморију *U2*. У доњем дијелу прозора, наведени су сви водови између двије одабране компоненте. Потребно је одабрати водове од интереса, односно водове који ће се симулирати. Поново, у општем случају је потребно извршити симулацију за све водове, али овде ће бити приказане симулације за водове *DRAM\_CLK1\_N*, *DRAM\_CLK1\_P*, *DRAM\_DQS0\_N* и *DRAM\_DQS0\_P*. Из назива водова, може се закључити да се ради о диференцијалним водовима. Притиском на опцију *Create*, а затим на *OK*, затвара се прозор *Directed Group Selection* и подешавање симулације је завршено.

Избором опције *Start Analysis* у оквиру прозора *Analysis Workflows* покреће се симулација. Резултати симулације се могу видјети одабиром жељене опције у менију *Analysis Results* који се налази у оквиру прозора *Analysis Workflows*. Изглед прозора приказан је на слици 40.



Слика 40. *Analysis Results* мени

Као што се може видјети на слици 40. резултати симулације могу се погледати у облику табеле, графика или графичким приказом импедансе на водовима штампане плоче. Одабиром последње опције, добија се резултат симулације приказан на слици 41.



Слика 41. Резултати симулације импедансе диференцијалних водова - графички приказ

На слици 41. на десној страни се може видјети скала импедансе која описује тачну вриједност импедансе одређеном бојом. Тако је плава боја најнижа импеданса од  $91.70 \Omega$ , а највиша импеданса обојена је црвеном бојом и износи  $138.60 \Omega$ . Види се и да су водови већим дијелом плаве боје, што значи да је импеданса између  $90 \Omega$  и  $100 \Omega$ . Постоји један кратак сегмент на линијама *DRAM\_DQS0\_N* и *DRAM\_DQS0\_P* који је црвене боје, што значи да та импеданса значајно одступа и износи приближно  $138.60 \Omega$ .

Уколико се резултати анализе представе у облику табеле, може се видјети оно што је описано у претходном пасусу са више детаља. Табеларни приказ резултата анализе приказан је на слици 42.

Simulation Table					
Single Ended		Diff Pair			
Summary Table		DG_U1_U2			
Net Name	No Ref	Impedance (Ohm)		Trace Total	
		Max	Min	Length	Delay (ns)
DRAM_CLK1_N	0	103.40	91.70	1872.61	0.283
DRAM_CLK1_P	0	103.40	91.70	1872.00	0.303
DRAM_DQS0_N	0	138.60	91.70	684.40	0.104
DRAM_DQS0_P	0	138.60	91.70	683.78	0.106

Detailed Table					
Impedance (Ohm)	Length	Distance From Star	Trace Delay (ps)	Layer	Location (x,y)
138.60	16.70	110.07	2.80	L2	(4157.48 2409.4...
98.90	3.37	127.58	0.60	L3	(4169.76 2421.7...
98.80	7.87	618.16	1.40	L3	(4472.44 2409.4...
98.30	3.93	18.56	0.60	TOP	(4098.43 2480.3...
98.10	5.55	92.74	0.90	TOP	(4151.21 2434.6...
93.00	13.36	137.00	2.40	L3	(4172.15 2431.2...
93.00	14.93	154.92	2.60	L3	(4181.59 2440.6...
93.00	13.53	174.41	2.40	L3	(4196.52 2440.6...
93.00	31.18	192.51	5.50	L3	(4213.88 2427.8...
93.00	26.48	228.26	4.70	L3	(4245.06 2427.8...
93.00	15.43	259.30	2.70	L3	(4263.78 2393.7...
93.00	8.35	279.30	1.50	L3	(4267.01 2385.9...
93.00	11.81	292.21	2.10	L3	(4280.71 2376.7...
93.00	8.35	308.59	1.50	L3	(4300.32 2380.0...
93.00	25.28	321.51	4.40	L3	(4309.45 2363.7...

Слика 42. Резултати симулације импедансе диференцијалних водова - табеларни приказ

Као резултат анализе, могу се провјерити диференцијална и импеданса вода ка маси (енг. *single ended*). У овом случају то ће бити само диференцијална импеданса. Потребно је изабрати жељени сигнал, у овом случају су то 4 сигнала за које је извршена симулација. Основни подаци за сваки сигнал односно вод приказани су у горњем дијелу табеле, па се може видјети колика је максимална и минимална импеданса вода, као и дужина вода и временско кашњење сигнала који се преноси водом. Детаљнији опис водова, приказан је у доњем дијелу табеле. У овом дијелу, вод је подјељен у сегменте, тако да се за сваки сегмент види његова дужина, растојање на којем се он налази од почетка (од компоненте) вода, колико је временско кашњење сигнала у датом сегменту, на ком слоју штампане плоче се налази и наравно импеданса датог сегмента. Такође, дата је и локација сегмента у координатама (x и y) на штампаној плочи. Овде се може видјети исто што је и описано раније, у резултатима анализе представљеним графички. Видимо да на водовима за сигнале *DRAM\_DQS0\_N* и *DRAM\_DQS0\_P* постоји један сегмент дужине 16.70 мила (енг. *mils*) чија је импеданса 138.60  $\Omega$ . Сви остали сегменти имају импедансу у опсегу од 90  $\Omega$  до 100  $\Omega$ .

Разлог појаве одступања импедансе на сегментима означеним црвеном бојом је избор проводног слоја у којем се ти сегменти водова налазе. Између слоја у којем се налазе сегменти водова са одступањем и слоја масе, налази се још један бакарни проводни слој који се користи за повезивање других водова и то представља узрок проблема. Постоје два потенцијална рјешења овог проблема. Да се проблематични сегменти пребаце у други слој који је ближи слоју масе или да се исјече дио бакра у слоју који се налази између водова и слоја масе.