



بسمه تعالی
درس الکترونیک دیجیتال
تمرین کامپیوتری دوم
پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
دکتر وحدت
علی ایمانقلی ۸۱۰۱۹۷۶۹۲
نیم‌سال اول ۱۴۰۱-۰۲

۱ – الف) پارامترهای تاخیر، توان پویای متوسط، توان ایستا (سایزینگ کمینه)

کد مدار جمع کننده‌ی A و B و C_{in} :

```
SUM ABCin
.lib 'mm018.1' tt

***** parameters *****
.param Lmin=180nm
.param Wmin=220nm
.param t=10p
.param vdd=1.8

***** components *****
VDD Vdd 0 1.8

****layer1
**pulldown
M_1 J1 B 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_2 J2 A 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_3 J1 A J2 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_4 CoutBar Cin J1 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_5 CoutBar B J2 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'

****layer1
**pullup
M_6 CoutBar Cin J3 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_7 CoutBar B J4 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_8 J3 A J4 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_9 J3 B Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_10 J4 A Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'

****layer2
**pulldown
M_11 J5 Cin 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_12 J6 CoutBar 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_13 J5 A J6 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_14 SumBar CoutBar J5 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_15 SumBar B J6 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'

****layer2
**pullup
M_16 SumBar CoutBar J7 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_17 SumBar B J8 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_18 J7 A J8 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_19 J7 Cin Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_20 J8 CoutBar Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'

**** Sum
M_21 Sum SumBar 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_22 Sum SumBar Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'

**** Cout
M_23 Cout CoutBar 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'
M_24 Cout CoutBar Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='1.0*Wmin'

***** Analysis *****
.OPTION post=2 nomod

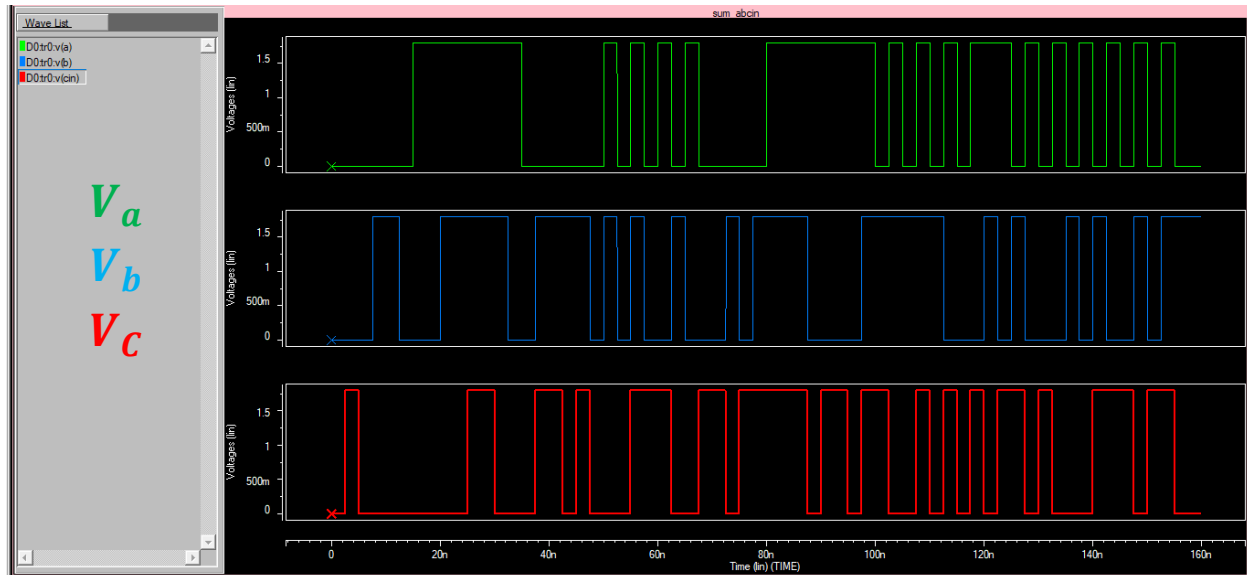
VA A 0 PWL 0n 0, '15n-t' 0, 15n vdd, '35n-t' vdd, 35n 0, '50n-t' 0, 50n vdd, '52.5n-t' vdd, 52.5n 0, '55n-t' 0, 55n vdd,
+ '57.5n-t' vdd, 57.5n 0, '60n-t' 0, 60n vdd, '62.5n-t' vdd, 62.5n 0, '65n-t' 0, 65n vdd, '67.5n-t' vdd, 67.5n 0,
+ '80n-t' 0, 80n vdd, '100n-t' vdd, 100n 0, '102.5n-t' 0, 102.5n vdd, '105n-t' vdd, 105n 0, '107.5n-t' 0, 107.5n vdd,
+ '110n-t' vdd, 110n 0, '112.5n-t' 0, 112.5n vdd, '115n-t' vdd, 115n 0, '117.5n-t' 0, 117.5n vdd, '125n-t' vdd, 125n 0,
+ '127.5n-t' 0, 127.5n vdd, '130n-t' vdd, 130n 0, '132.5n-t' 0, 132.5n vdd, '135n-t' vdd, 135n 0, '137.5n-t' 0, 137.5n vdd,
+ '140n-t' vdd, 140n 0, '142.5n-t' 0, 142.5n vdd, '145n-t' vdd, 145n 0, '147.5n-t' 0, 147.5n vdd, '150n-t' vdd, 150n 0,
+ '152.5n-t' 0, 152.5n vdd, '155n-t' vdd, 155n 0, 162.5n 0

VB B 0 PWL 0n 0, '7.5n-t' 0, 7.5n vdd, '12.5n-t' vdd, 12.5n 0, '20n-t' 0, 20n vdd, '32.5n-t' vdd, 32.5n 0, '37.5n-t' 0, 37.5n vdd,
+ '47.5n-t' vdd, 47.5n 0, '50n-t' 0, 50n vdd, '52.5n-t' vdd, 52.5n 0, '55n-t' 0, 55n vdd, '57.5n-t' vdd, 57.5n 0,
+ '62.5n-t' 0, 62.5n vdd, '65n-t' vdd, 65n 0, '72.5n-t' 0, 72.5n vdd, '75n-t' vdd, 75n 0, '77.5n-t' 0, 77.5n vdd,
+ '87.5n-t' vdd, 87.5n 0, '97.5n-t' 0, 97.5n vdd, '112.5n-t' vdd, 112.5n 0, '120n-t' 0, 120n vdd, '122.5n-t' vdd, 122.5n 0,
+ '125n-t' 0, 125n vdd, '127.5n-t' vdd, 127.5n 0, '135n-t' 0, 135n vdd, '137.5n-t' vdd, 137.5n 0, '140n-t' 0, 140n vdd,
+ '142.5n-t' vdd, 142.5n 0, '147.5n-t' 0, 147.5n vdd, '150n-t' vdd, 150n 0, '152.5n-t' 0, 152.5n vdd, 162.5n vdd

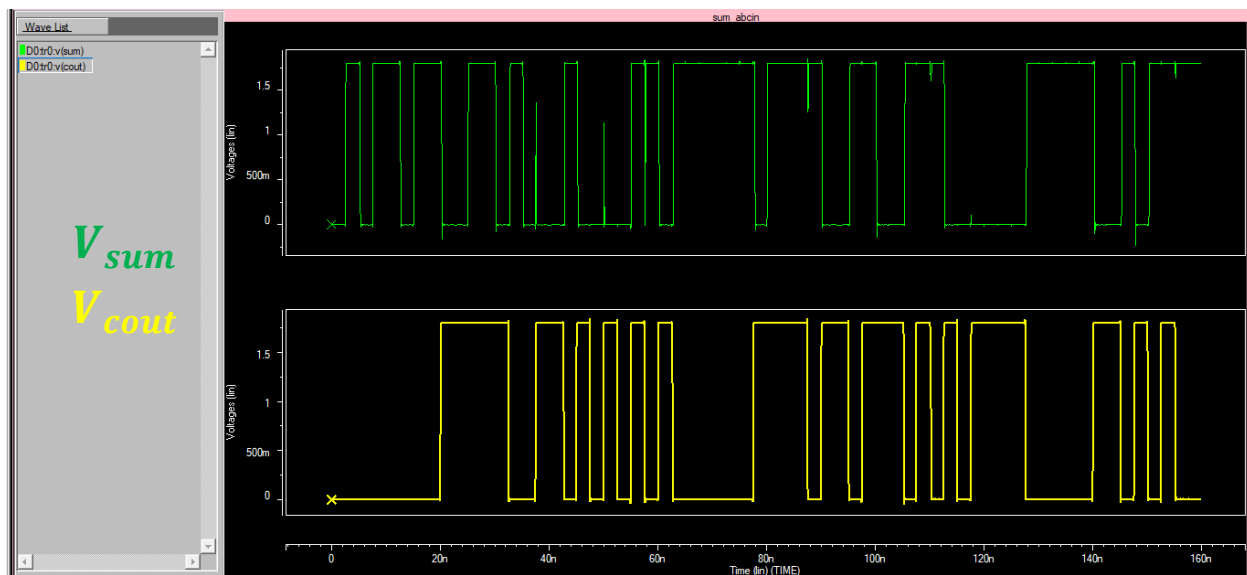
VCin Cin 0 PWL 0n 0, '2.5n-t' 0, 2.5n vdd, '5n-t' vdd, 5n 0, '25n-t' 0, 25n vdd, '30n-t' vdd, 30n 0, '37.5n-t' 0, 37.5n vdd,
+ '42.5n-t' vdd, 42.5n 0, '45n-t' 0, 45n vdd, '47.5n-t' vdd, 47.5n 0, '55n-t' 0, 55n vdd, '62.5n-t' vdd, 62.5n 0,
+ '67.5n-t' 0, 67.5n vdd, '72.5n-t' vdd, 72.5n 0, '75n-t' 0, 75n vdd, '87.5n-t' vdd, 87.5n 0, '90n-t' 0, 90n vdd,
+ '95n-t' vdd, 95n 0, '97.5n-t' 0, 97.5n vdd, '102.5n-t' vdd, 102.5n 0, '107.5n-t' 0, 107.5n vdd, '110n-t' vdd, 110n 0,
+ '112.5n-t' 0, 112.5n vdd, '115n-t' vdd, 115n 0, '117.5n-t' 0, 117.5n vdd, '120n-t' vdd, 120n 0, '122.5n-t' 0, 122.5n vdd,
+ '127.5n-t' vdd, 127.5n 0, '130n-t' 0, 130n vdd, '132.5n-t' vdd, 132.5n 0, '140n-t' 0, 140n vdd, '147.5n-t' vdd, 147.5n 0,
+ '150n-t' 0, 150n vdd, '155n-t' vdd, 155n 0, 157.5n 0

.TRAM 10p 160n
.op
.end
```

شکل موج ورودی و خروجی:



همانطور که از نمودار بالا مشخص است، هر کدام از ورودی ها ۴ حالت ۰ و ۱ و $0 \rightarrow 1$ و $1 \rightarrow 0$ را دارا می باشند که در مجموع ۶۴ حالت مختلف را تشکیل می دهند.



پارامتر های تاخیر: (تاخیر انتشار t_p)

بدین منظور باید تاخیر انتشار تمامی ورودی ها را بیابیم و سپس بیشنه‌ی مقادیر بدست آمده را به عنوان تاخیر انتشار اعلام نماییم؛ به طور مثال شکل موج sum و A را بررسی می نماییم و ماکسیمم اختلاف بازه‌ی زمانی که ورودی A ۵۰ درصد از تغییرات اش را انجام دهد و خروجی sum نیز (به تناسب تغییر ورودی A) ۵۰ درصد از تغییرات اش را انجام دهد، به عنوان تاخیر انتشار ورودی A اعلام می نماییم. سپس شکل موج sum و B را بررسی می نماییم و در نهایت شکل موج sum و C_{in} را بررسی می نماییم. پس از اینکه تاخیر انتشار هر ۳ ورودی بر روی خروجی sum را محاسبه نمودیم، تاخیر انتشار هر ۳ ورودی بر روی خروجی C_{out} را نیز در فرایندی مشابه محاسبه می نماییم.

در این قطعه کد، به کمک دستور $MEASURE$ بر روی سیگنال ورودی و خروجی تریگری را تنظیم می نماییم، بدین ترتیب که اگر سیگنال از مقدار 50% مقدار نهایی خود عبور کرد تریگر فعال شود. برای اینکه تغییرات خروجی به واسطه‌ی ورودی مورد نظر رخ داده باشد، ابتدا شکل موج ورودی و خروجی را بررسی می نماییم و سپس بازه‌ی زمانی را که با تغییر ورودی خروجی تغییر کرده است را در نظر میگیریم و با پارامتر t_d به دستور $MEASURE$ می گوئیم که از چه زمانی به بعد منتظر تریگر باشد، بدین ترتیب می توانیم تغییرات متناظر ورودی و خروجی را مورد بررسی قرار دهیم.

تصاویر زیر کد های نوشته شده است تا تاخیر انتشار ورودی A و B و C_{in} بر روی خروجی های sum و C_{out} را محاسبه نماید. (مقدار تاخیر انتشار را برای هر $transition$ متناظر خروجی و ورودی محاسبه می نماید).

```
*****
**** Calculate the tp for input A and output Sum ****
*****
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_1 TRIG V(A) td=13.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=13.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_2 TRIG V(A) td=34.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=34.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_3 TRIG V(A) td=53.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=53.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_4 TRIG V(A) td=56.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=56.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_5 TRIG V(A) td=59.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=59.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_6 TRIG V(A) td=59.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=59.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_7 TRIG V(A) td=61.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=61.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_8 TRIG V(A) td=79.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=79.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_9 TRIG V(A) td=98.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=98.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_10 TRIG V(A) td=104ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=104ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_11 TRIG V(A) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_12 TRIG V(A) td=127ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=127ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_13 TRIG V(A) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_14 TRIG V(A) td=144ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=144ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_15 TRIG V(A) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Sum_tp_16 TRIG V(A) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1

*****
**** Calculate the tp for input B and output Sum ****
*****
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_1 TRIG V(B) td=6.59ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=6.59ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_2 TRIG V(B) td=11.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=11.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_3 TRIG V(B) td=18.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=18.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_4 TRIG V(B) td=31.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=31.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_5 TRIG V(B) td=36.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=36.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_6 TRIG V(B) td=54.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=54.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_7 TRIG V(B) td=56.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=56.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_8 TRIG V(B) td=61.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=61.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_9 TRIG V(B) td=76.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=76.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_10 TRIG V(B) td=111ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=111ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_11 TRIG V(B) td=127ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=127ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_12 TRIG V(B) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_13 TRIG V(B) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Sum_tp_14 TRIG V(B) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1

*****
**** Calculate the tp for input Cin and output Sum ****
*****
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_1 TRIG V(Cin) td=1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_2 TRIG V(Cin) td=4.24ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=4.24ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_3 TRIG V(Cin) td=23.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=23.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_4 TRIG V(Cin) td=29ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=29ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_5 TRIG V(Cin) td=41.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=41.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_6 TRIG V(Cin) td=44ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=44ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_7 TRIG V(Cin) td=53.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=53.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_8 TRIG V(Cin) td=61ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=61ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_9 TRIG V(Cin) td=89ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=89ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_10 TRIG V(Cin) td=93.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=93.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_11 TRIG V(Cin) td=111ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=111ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_12 TRIG V(Cin) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_13 TRIG V(Cin) td=138ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=138ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_14 TRIG V(Cin) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Sum_tp_15 TRIG V(Cin) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Sum) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1

*****
**** Calculate the tp for input A and output Cout ****
*****
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_1 TRIG V(A) td=49.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=49.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_2 TRIG V(A) td=51.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=51.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_3 TRIG V(A) td=54.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=54.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_4 TRIG V(A) td=56.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=56.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_5 TRIG V(A) td=59.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=59.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_6 TRIG V(A) td=61.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=61.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_7 TRIG V(A) td=104ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=104ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_8 TRIG V(A) td=107ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=107ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_9 TRIG V(A) td=109ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=109ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_10 TRIG V(A) td=111ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=111ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_11 TRIG V(A) td=114ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=114ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_12 TRIG V(A) td=117ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=117ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_13 TRIG V(A) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_14 TRIG V(A) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_15 TRIG V(A) td=144ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=144ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_16 TRIG V(A) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_17 TRIG V(A) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_18 TRIG V(A) td=152ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=152ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN A_Cout_tp_19 TRIG V(A) td=154ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=154ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
```

```

*****
**** Calculate the tp for input B and output Cout ****
*****
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_1 TRIG V(B) td=30.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=30.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_2 TRIG V(B) td=36ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=36ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_3 TRIG V(B) td=46.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=46.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_4 TRIG V(B) td=49ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=49ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_5 TRIG V(B) td=51.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=51.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_6 TRIG V(B) td=54.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=54.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_7 TRIG V(B) td=56.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=56.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_8 TRIG V(B) td=61.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=61.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_9 TRIG V(B) td=76.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=76.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_10 TRIG V(B) td=86ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=86ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_11 TRIG V(B) td=96.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=96.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_12 TRIG V(B) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_13 TRIG V(B) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_14 TRIG V(B) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_15 TRIG V(B) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_16 TRIG V(B) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B_Cout_tp_17 TRIG V(B) td=152ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=152ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1

*****
**** Calculate the tp for input Cin and output Cout ****
*****
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_1 TRIG V(Cin) td=36ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=36ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_2 TRIG V(Cin) td=41.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=41.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_3 TRIG V(Cin) td=44.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=44.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_4 TRIG V(Cin) td=46.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=46.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_5 TRIG V(Cin) td=53.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=53.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_6 TRIG V(Cin) td=61.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=61.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_7 TRIG V(Cin) td=85.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=85.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_8 TRIG V(Cin) td=89.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=89.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_9 TRIG V(Cin) td=93.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=93.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_10 TRIG V(Cin) td=96.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=96.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_11 TRIG V(Cin) td=106ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=106ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_12 TRIG V(Cin) td=109ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=109ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_13 TRIG V(Cin) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_14 TRIG V(Cin) td=114ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=114ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_15 TRIG V(Cin) td=117ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=117ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_16 TRIG V(Cin) td=128ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=128ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_17 TRIG V(Cin) td=138ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=138ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_18 TRIG V(Cin) td=146ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=146ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_19 TRIG V(Cin) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin_Cout_tp_20 TRIG V(Cin) td=154ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=154ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1

```

. خروجی دستورات بالا به شرح زیر می باشد:

تصویر زیر تاخیر انتشار ۳ ورودی های A و B و C_{in} بر روی خروجی sum را نشان می دهد:

```

***** transient analysis tnom= 25.000 temp= 25.000 *****
a_sum_tp_1= 92.6043p targ= 15.0876n trig= 14.9950n
a_sum_tp_2= 238.1559p targ= 35.2332n trig= 34.9950n
a_sum_tp_3= 57.1668p targ= 55.0522n trig= 54.9950n
a_sum_tp_4= 118.3932p targ= 57.6134n trig= 57.4950n
a_sum_tp_5= 226.5655p targ= 60.2216n trig= 59.9950n
a_sum_tp_6= 226.5655p targ= 60.2216n trig= 59.9950n
a_sum_tp_7= 365.1326p targ= 62.8601n trig= 62.4950n
a_sum_tp_8= 96.3527p targ= 80.0914n trig= 79.9950n
a_sum_tp_9= 237.2125p targ= 100.2322n trig= 99.9950n
a_sum_tp_10= 413.7286p targ= 105.4087n trig= 104.9950n
a_sum_tp_11= 171.8898p targ= 112.6669n trig= 112.4950n
a_sum_tp_12= 258.3827p targ= 127.7534n trig= 127.4950n
a_sum_tp_13= 283.8820p targ= 140.2789n trig= 139.9950n
a_sum_tp_14= 295.5567p targ= 145.2906n trig= 144.9950n
a_sum_tp_15= 251.4138p targ= 147.7464n trig= 147.4950n
a_sum_tp_16= 288.5308p targ= 150.2835n trig= 149.9950n
b_sum_tp_1= 63.0090p targ= 7.5580n trig= 7.4950n
b_sum_tp_2= 182.0123p targ= 12.6770n trig= 12.4950n
b_sum_tp_3= 248.3298p targ= 20.2433n trig= 19.9950n
b_sum_tp_4= 300.1267p targ= 32.7951n trig= 32.4950n
b_sum_tp_5= 56.6493p targ= 37.5516n trig= 37.4950n
b_sum_tp_6= 57.1668p targ= 55.0522n trig= 54.9950n
b_sum_tp_7= 118.3932p targ= 57.6134n trig= 57.4950n
b_sum_tp_8= 365.1326p targ= 62.8601n trig= 62.4950n
b_sum_tp_9= 337.6758p targ= 77.8327n trig= 77.4950n
b_sum_tp_10= 171.8898p targ= 112.6669n trig= 112.4950n
b_sum_tp_11= 258.3827p targ= 127.7534n trig= 127.4950n
b_sum_tp_12= 283.8820p targ= 140.2789n trig= 139.9950n
b_sum_tp_13= 251.4138p targ= 147.7464n trig= 147.4950n
b_sum_tp_14= 288.5308p targ= 150.2835n trig= 149.9950n

```

cin_sum_tp_1=	84.9162p	targ=	2.5799n	trig=	2.4950n
cin_sum_tp_2=	263.6629p	targ=	5.2587n	trig=	4.9950n
cin_sum_tp_3=	102.8137p	targ=	25.0978n	trig=	24.9950n
cin_sum_tp_4=	201.6201p	targ=	30.1966n	trig=	29.9950n
cin_sum_tp_5=	343.0220p	targ=	42.8380n	trig=	42.4950n
cin_sum_tp_6=	253.5978p	targ=	45.2486n	trig=	44.9950n
cin_sum_tp_7=	57.1668p	targ=	55.0522n	trig=	54.9950n
cin_sum_tp_8=	365.1326p	targ=	62.8601n	trig=	62.4950n
cin_sum_tp_9=	181.1802p	targ=	90.1762n	trig=	89.9950n
cin_sum_tp_10=	294.2097p	targ=	95.2892n	trig=	94.9950n
cin_sum_tp_11=	171.8898p	targ=	112.6669n	trig=	112.4950n
cin_sum_tp_12=	258.3827p	targ=	127.7534n	trig=	127.4950n
cin_sum_tp_13=	283.8820p	targ=	140.2789n	trig=	139.9950n
cin_sum_tp_14=	251.4138p	targ=	147.7464n	trig=	147.4950n
cin_sum_tp_15=	288.5308p	targ=	150.2835n	trig=	149.9950n

بیشینه مقدار تاخیر انتشار (با توجه به تساوی بالا) برای ورودی های A و B و C_{in} بر روی خروجی sum برابر است با:

$$\max(tp_A) = 413.7286 \text{ ps}$$

$$\max(tp_B) = 365.1326 \text{ ps}$$

$$\max(tp_{C_{in}}) = 365.1326 \text{ ps}$$

بنابراین بیشینه مقدار تاخیر انتشار ورودی بر روی خروجی sum برابر است با:

$$\max\left(tp_A, tp_B, tp_{C_{in}}\right) = 413.7286 \text{ ps}$$

حال تاخیر انتشار را برای خروجی C_{out} محاسبه می نماییم:

تصویر زیر تاخیر انتشار ۳ ورودی های A و B و C_{in} بر روی خروجی C_{out} را نشان می دهد:

a_cout_tp_1=	80.7268p	targ=	50.0757n	trig=	49.9950n
a_cout_tp_2=	96.2308p	targ=	52.5912n	trig=	52.4950n
a_cout_tp_3=	50.3888p	targ=	55.0454n	trig=	54.9950n
a_cout_tp_4=	166.7521p	targ=	57.6618n	trig=	57.4950n
a_cout_tp_5=	123.6252p	targ=	60.1186n	trig=	59.9950n
a_cout_tp_6=	263.0043p	targ=	62.7580n	trig=	62.4950n
a_cout_tp_7=	304.5650p	targ=	105.2996n	trig=	104.9950n
a_cout_tp_8=	54.1576p	targ=	107.5492n	trig=	107.4950n
a_cout_tp_9=	240.9311p	targ=	110.2359n	trig=	109.9950n
a_cout_tp_10=	112.9805p	targ=	112.6080n	trig=	112.4950n
a_cout_tp_11=	98.3251p	targ=	115.0933n	trig=	114.9950n
a_cout_tp_12=	109.7985p	targ=	117.6048n	trig=	117.4950n
a_cout_tp_13=	99.2868p	targ=	127.5943n	trig=	127.4950n
a_cout_tp_14=	68.5542p	targ=	140.0636n	trig=	139.9950n
a_cout_tp_15=	178.2542p	targ=	145.1733n	trig=	144.9950n
a_cout_tp_16=	81.8885p	targ=	147.5769n	trig=	147.4950n
a_cout_tp_17=	173.8105p	targ=	150.1688n	trig=	149.9950n
a_cout_tp_18=	54.4240p	targ=	152.5494n	trig=	152.4950n
a_cout_tp_19=	238.8131p	targ=	155.2338n	trig=	154.9950n
b_cout_tp_1=	125.5659p	targ=	32.6206n	trig=	32.4950n
b_cout_tp_2=	67.7896p	targ=	37.5628n	trig=	37.4950n
b_cout_tp_3=	85.6956p	targ=	47.5807n	trig=	47.4950n
b_cout_tp_4=	80.7268p	targ=	50.0757n	trig=	49.9950n
b_cout_tp_5=	96.2308p	targ=	52.5912n	trig=	52.4950n
b_cout_tp_6=	50.3888p	targ=	55.0454n	trig=	54.9950n
b_cout_tp_7=	166.7521p	targ=	57.6618n	trig=	57.4950n
b_cout_tp_8=	263.0043p	targ=	62.7580n	trig=	62.4950n
b_cout_tp_9=	92.7996p	targ=	77.5878n	trig=	77.4950n
b_cout_tp_10=	94.3005p	targ=	87.5893n	trig=	87.4950n
b_cout_tp_11=	51.2793p	targ=	97.5463n	trig=	97.4950n
b_cout_tp_12=	112.9805p	targ=	112.6080n	trig=	112.4950n
b_cout_tp_13=	99.2868p	targ=	127.5943n	trig=	127.4950n
b_cout_tp_14=	68.5542p	targ=	140.0636n	trig=	139.9950n
b_cout_tp_15=	81.8885p	targ=	147.5769n	trig=	147.4950n
b_cout_tp_16=	173.8105p	targ=	150.1688n	trig=	149.9950n
b_cout_tp_17=	54.4240p	targ=	152.5494n	trig=	152.4950n
cin_cout_tp_1=	67.7896p	targ=	37.5628n	trig=	37.4950n
cin_cout_tp_2=	246.4515p	targ=	42.7415n	trig=	42.4950n
cin_cout_tp_3=	83.9414p	targ=	45.0789n	trig=	44.9950n
cin_cout_tp_4=	85.6956p	targ=	47.5807n	trig=	47.4950n
cin_cout_tp_5=	50.3888p	targ=	55.0454n	trig=	54.9950n
cin_cout_tp_6=	263.0043p	targ=	62.7580n	trig=	62.4950n
cin_cout_tp_7=	94.3005p	targ=	87.5893n	trig=	87.4950n
cin_cout_tp_8=	107.5944p	targ=	90.1026n	trig=	89.9950n
cin_cout_tp_9=	138.7439p	targ=	95.1337n	trig=	94.9950n
cin_cout_tp_10=	51.2793p	targ=	97.5463n	trig=	97.4950n
cin_cout_tp_11=	54.1576p	targ=	107.5492n	trig=	107.4950n
cin_cout_tp_12=	240.9311p	targ=	110.2359n	trig=	109.9950n
cin_cout_tp_13=	112.9805p	targ=	112.6080n	trig=	112.4950n
cin_cout_tp_14=	98.3251p	targ=	115.0933n	trig=	114.9950n
cin_cout_tp_15=	109.7985p	targ=	117.6048n	trig=	117.4950n
cin_cout_tp_16=	10.0686n	targ=	140.0636n	trig=	129.9950n
cin_cout_tp_17=	68.5542p	targ=	140.0636n	trig=	139.9950n
cin_cout_tp_18=	81.8885p	targ=	147.5769n	trig=	147.4950n
cin_cout_tp_19=	173.8105p	targ=	150.1688n	trig=	149.9950n
cin_cout_tp_20=	238.8131p	targ=	155.2338n	trig=	154.9950n

بیشینه مقدار تاخیر انتشار (با توجه به تصاویر بالا) برای ورودی های A و B و C_{in} بر روی خروجی C_{out} برابر است با:

$$\max(tp_A) = 304.5650 \text{ ps}$$

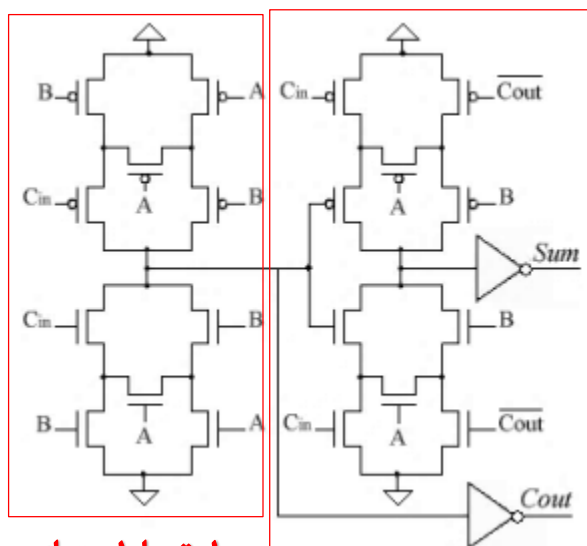
$$\max(tp_B) = 263.0043 \text{ ps}$$

$$\max(tp_{C_{in}}) = 263.0043 \text{ ps}$$

بنابراین بیشینه مقدار تاخیر انتشار ورودی بر روی خروجی C_{out} برابر است با:

$$\max(tp_A, tp_B, tp_{C_{in}}) = 304.5650 \text{ ps}$$

همانطور که انتظار داریم، تاخیر انتشار مرتبط با خروجی C_{out} مقدار کمتری نسبت به تاخیر انتشار مرتبط با خروجی sum دارد که علت آن را می توان در تعداد ترانزیستوری یافت که از ورودی تا خروجی وجود دارد: همانطور که از شماتیک مدار نیز مشخص است، خروجی سیگنال از C_{out} طبقه ی اول گرفته شده است، درحالی که خروجی sum از طبقه ی دوم که در امتداد ترانزیستور های طبقه ی اول است گرفته شده است.



طبقه اول ترانزیستور ها

طبقه دوم ترانزیستور

محاسبه توان پویای متوسط:

به منظور محاسبه‌ی توان پویای متوسط از دستور زیر استفاده می نماییم:

```
**** active power
.measure tran pow AVG power from=1ns to=170ns
```

خروجی دستور برابر است با:

```
***** transient analysis tnom= 25.000 temp= 25.000 *****
pow= 4.6135u from= 1.0000n to= 170.0000n
```

بنابراین مقدار توان پویای متوسط مدار جمع کننده برابر $4.6135\mu W$ می باشد.

محاسبه توان ایستا متوسط:

به منظور محاسبه توان ایستا، رشته ورودی 111 – 110 – 101 – 100 – 011 – 010 – 001 – 000 را به ترتیب به مدار می دهیم و سپس توسط دستور زیر مقدار توان را به ازای هر ورودی محاسبه می نماییم و در جدول زیر ثبت می نماییم؛ در نهایت میانگین توان های ثبت شده به ازای هر ورودی مقدار توان ایستا متوسط را می دهد.

<i>input</i>	<i>power</i>
000	58.1589 <i>pW</i>
001	3.2401 <i>μW</i>
010	71.4306 <i>pW</i>
011	3.2401 <i>μW</i>
100	58.5360 <i>pW</i>
101	3.2401 <i>μW</i>
110	56.9493 <i>pW</i>
111	3.2401 <i>μW</i>
<i>Average</i>	1.6201 <i>μW</i>

مفهوم توان پویا و ایستا و مقایسه‌ی آن‌ها:

در محاسبه‌ی توان پویا، ۶۴ حالت ورودی را در نظر می‌گیریم، پس علاوه بر اینکه ورودی‌ها در حالت *steady state* در نظر می‌گیریم، حالت *transition* آن‌ها از ۰ به ۱ و بلک‌س را نیز در محاسبات توان لحاظ می‌نماییم.

در مقابل، هنگامی که می‌خواهیم توان ایستا متوسط را در محاسبه کنیم، فرض می‌کنیم که ورودی در کل بازه‌ی مورد نظر در حالت *steady state* قرار دارد و در نتیجه *transition* ورودی در محاسبات توان لحاظ نمی‌گردد، در محاسبه‌ی توان ایستا متوسط تمامی جایگشت‌های ورودی را به ترتیب به مدار می‌دهیم و توان مورد نظر را محاسبه می‌نماییم، در انتها میانگین توان‌های محاسبه شده را به عنوان توان ایستا متوسط در نظر می‌گیریم.

با توجه به توضیحات بالا، منطقی است که مقدار توان پویا متوسط بیشتر از توان ایستا شده است.

$$Active Power = 4.6135\mu W, Static Power = 1.6201\mu W$$

۱ – الف) پارامترهای تاخیر، توان پویای متوسط، توان ایستا (سایزینگ استاندارد)

کد مدار جمع کننده‌ی A و B و C_{in} :

```
SUM_ABCin
.lib 'mm018.1' tt

**** parameters ****
.param Lmin=180nm
.param Wmin=220nm
.param t=10p
.param vdd=1.8

**** components ****
VDD Vdd 0 1.8

****layer1
**pulldown
M_1 J1 B 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'
M_2 J2 A 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'
M_3 J1 A J2 0 nmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'
M_4 CoutBar Cin J1 0 nmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'
M_5 CoutBar B J2 0 nmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'

****layer1
**pullup
M_6 CoutBar Cin J3 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='6*Wmin'
M_7 CoutBar B J4 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='6*Wmin'
M_8 J3 A J4 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='6*Wmin'
M_9 J3 B Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='6*Wmin'
M_10 J4 A Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='6*Wmin'

****layer2
**pulldown
M_11 J5 Cin 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'
M_12 J6 CoutBar 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'
M_13 J5 A J6 0 nmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'
M_14 SumBar CoutBar J5 0 nmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'
M_15 SumBar B J6 0 nmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'

****layer2
**pullup
M_16 SumBar CoutBar J7 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='6*Wmin'
M_17 SumBar B J8 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='6*Wmin'
M_18 J7 A J8 Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='6*Wmin'
M_19 J7 Cin Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='6*Wmin'
M_20 J8 CoutBar Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='6*Wmin'

**** Sum
M_21 Sum SumBar 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1*Wmin'
M_22 Sum SumBar Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'

**** Cout
M_23 Cout CoutBar 0 0 nmos L='1.0*Lmin' W='1*Wmin'
M_24 Cout CoutBar Vdd Vdd pmos L='1.0*Lmin' W='2*Wmin'

**** Analysis ****
.OPTION post=2 nomod

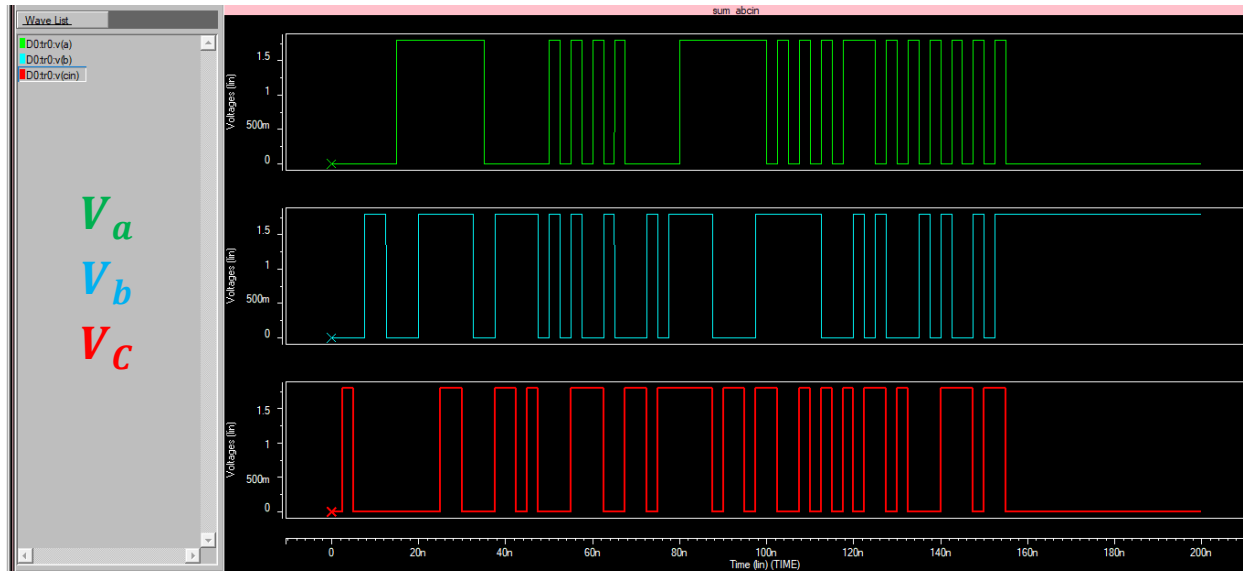
VA A 0 PWL 0n 0, '15n-t' 0, 15n vdd, '35n-t' vdd, 35n 0, '50n-t' 0, 50n vdd, '52.5n-t' vdd, 52.5n 0, '55n-t' 0, 55n vdd,
+ '57.5n-t' vdd, 57.5n 0, '60n-t' 0, 60n vdd, '62.5n-t' vdd, 62.5n 0, '65n-t' 0, 65n vdd, '67.5n-t' vdd, 67.5n 0,
+ '80n-t' 0, 80n vdd, '100n-t' vdd, 100n 0, '102.5n-t' 0, 102.5n vdd, '105n-t' vdd, 105n 0, '107.5n-t' 0, 107.5n vdd,
+ '110n-t' vdd, 110n 0, '112.5n-t' 0, 112.5n vdd, '115n-t' vdd, 115n 0, '117.5n-t' 0, 117.5n vdd, '125n-t' vdd, 125n 0,
+ '127.5n-t' 0, 127.5n vdd, '130n-t' vdd, 130n 0, '132.5n-t' 0, 132.5n vdd, '135n-t' vdd, 135n 0, '137.5n-t' 0, 137.5n vdd,
+ '140n-t' vdd, 140n 0, '142.5n-t' 0, 142.5n vdd, '145n-t' vdd, 145n 0, '147.5n-t' 0, 147.5n vdd, '150n-t' vdd, 150n 0,
+ '152.5n-t' 0, 152.5n vdd, '155n-t' vdd, 155n 0, 162.5n 0

VB B 0 PWL 0n 0, '7.5n-t' 0, 7.5n vdd, '12.5n-t' vdd, 12.5n 0, '20n-t' 0, 20n vdd, '32.5n-t' vdd, 32.5n 0, '37.5n-t' 0, 37.5n vdd,
+ '47.5n-t' vdd, 47.5n 0, '50n-t' 0, 50n vdd, '52.5n-t' vdd, 52.5n 0, '55n-t' 0, 55n vdd, '57.5n-t' vdd, 57.5n 0,
+ '62.5n-t' 0, 62.5n vdd, '65n-t' vdd, 65n 0, '72.5n-t' 0, 72.5n vdd, '75n-t' vdd, 75n 0, '77.5n-t' 0, 77.5n vdd,
+ '87.5n-t' vdd, 87.5n 0, '97.5n-t' 0, 97.5n vdd, '112.5n-t' vdd, 112.5n 0, '120n-t' 0, 120n vdd, '122.5n-t' vdd, 122.5n 0,
+ '125n-t' 0, 125n vdd, '127.5n-t' vdd, 127.5n 0, '135n-t' 0, 135n vdd, '137.5n-t' vdd, 137.5n 0, '140n-t' 0, 140n vdd,
+ '142.5n-t' vdd, 142.5n 0, '147.5n-t' 0, 147.5n vdd, '150n-t' vdd, 150n 0, '152.5n-t' 0, 152.5n vdd, 162.5n vdd

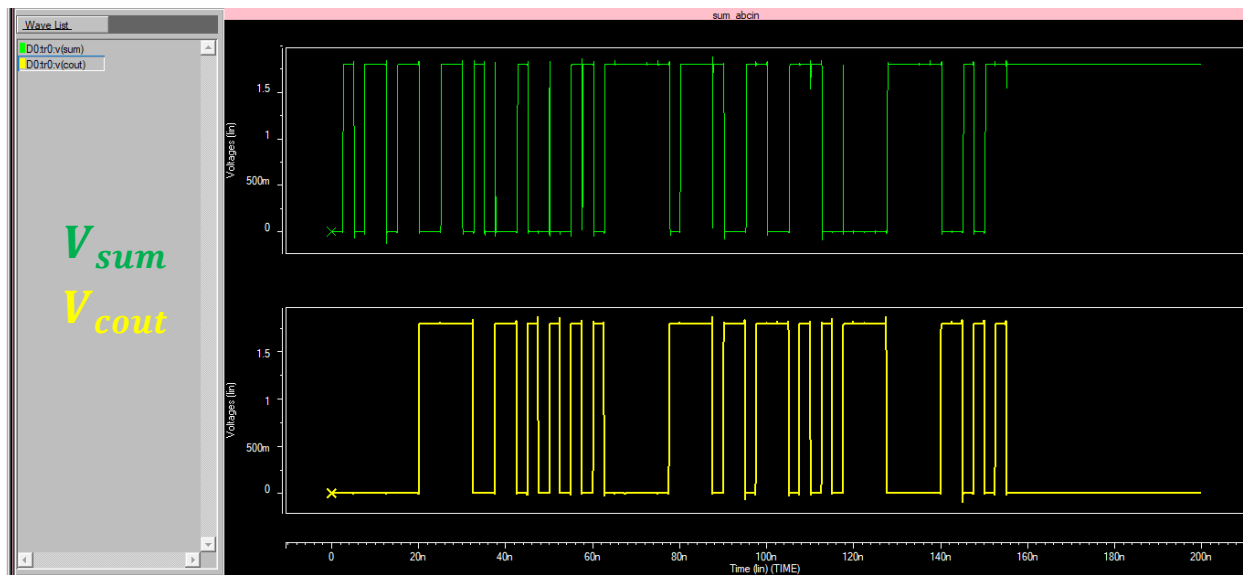
VCin Cin 0 PWL 0n 0, '2.5n-t' 0, 2.5n vdd, '5n-t' vdd, 5n 0, '25n-t' 0, 25n vdd, '30n-t' vdd, 30n 0, '37.5n-t' 0, 37.5n vdd,
+ '42.5n-t' vdd, 42.5n 0, '45n-t' 0, 45n vdd, '47.5n-t' vdd, 47.5n 0, '55n-t' 0, 55n vdd, '62.5n-t' vdd, 62.5n 0,
+ '67.5n-t' 0, 67.5n vdd, '72.5n-t' vdd, 72.5n 0, '75n-t' 0, 75n vdd, '87.5n-t' vdd, 87.5n 0, '90n-t' 0, 90n vdd,
+ '95n-t' vdd, 95n 0, '97.5n-t' 0, 97.5n vdd, '102.5n-t' vdd, 102.5n 0, '107.5n-t' 0, 107.5n vdd, '110n-t' vdd, 110n 0,
+ '112.5n-t' 0, 112.5n vdd, '115n-t' vdd, 115n 0, '117.5n-t' 0, 117.5n vdd, '120n-t' vdd, 120n 0, '122.5n-t' 0, 122.5n vdd,
+ '127.5n-t' vdd, 127.5n 0, '130n-t' 0, 130n vdd, '132.5n-t' vdd, 132.5n 0, '140n-t' 0, 140n vdd, '147.5n-t' vdd, 147.5n 0,
+ '150n-t' 0, 150n vdd, '155n-t' vdd, 155n 0, 157.5n 0

.TRAN 10p 200n
.op
.end
```

شکل موج ورودی و خروجی:



همانطور که از نمودار بالا مشخص است، هر کدام از ورودی ها ۴ حالت ۰ و ۱ و $0 \rightarrow 1$ و $1 \rightarrow 0$ را دارا می باشند که در مجموع ۶۴ حالت مختلف را تشکیل می دهند.



پارامتر های تاخیر: (تاخیر انتشار t_p)

به منظور محاسبه‌ی پارامتر های تاخیر انتشار برای سایننگ استاندارد، روندی یکسان که در محاسبه‌ی تاخیر انتشار سایننگ کمینه پیش تر توضیح داده شد را در پی می گیریم.

تصاویر زیر کد های نوشته شده است تا تاخیر انتشار ورودی A و B و C_{in} برروی خروجی های sum و C_{out} را محاسبه نماید. (مقدار تاخیر انتشار را برای هر $transition$ متناظر خروجی و ورودی محاسبه می نماید).

```
*****
**** Calculate the tp for input A and output Sum ****
*****
MEASURE TRAN A_Sum.tp.1 TRIG V(A) td=14.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=14.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.2 TRIG V(A) td=34.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=34.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.3 TRIG V(A) td=49.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=49.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.4 TRIG V(A) td=54ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=54ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.5 TRIG V(A) td=57ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=57ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.6 TRIG V(A) td=59.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=59.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.7 TRIG V(A) td=61.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=61.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.8 TRIG V(A) td=79.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=79.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.9 TRIG V(A) td=99.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=99.6ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.10 TRIG V(A) td=104ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=104ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.11 TRIG V(A) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.12 TRIG V(A) td=117ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=117ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.13 TRIG V(A) td=127ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=127ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.14 TRIG V(A) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.15 TRIG V(A) td=144ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=144ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.16 TRIG V(A) td=146ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=146ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Sum.tp.17 TRIG V(A) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1

*****
**** Calculate the tp for input B and output Sum ****
*****
MEASURE TRAN B_Sum.tp.1 TRIG V(B) td=6.72ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=6.72ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.2 TRIG V(B) td=11.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=11.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.3 TRIG V(B) td=19.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=19.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.4 TRIG V(B) td=31.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=31.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.5 TRIG V(B) td=36.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=36.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.6 TRIG V(B) td=49ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=49ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.7 TRIG V(B) td=54ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=54ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.8 TRIG V(B) td=56.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=56.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.9 TRIG V(B) td=61.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=61.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.10 TRIG V(B) td=76.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=76.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.11 TRIG V(B) td=8.62ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=8.62ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.12 TRIG V(B) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.13 TRIG V(B) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.14 TRIG V(B) td=138ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=138ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.15 TRIG V(B) td=146ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=146ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN B_Sum.tp.16 TRIG V(B) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1

*****
**** Calculate the tp for input Cin and output Sum ****
*****
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.1 TRIG V(Cin) td=4.03ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=4.03ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.2 TRIG V(Cin) td=23.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=23.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.3 TRIG V(Cin) td=28.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=28.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.4 TRIG V(Cin) td=36.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=36.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.5 TRIG V(Cin) td=41.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=41.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.6 TRIG V(Cin) td=44.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=44.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.7 TRIG V(Cin) td=53.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=53.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.8 TRIG V(Cin) td=61.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=61.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.9 TRIG V(Cin) td=86ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=86ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.10 TRIG V(Cin) td=89.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=89.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.11 TRIG V(Cin) td=93.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=93.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.12 TRIG V(Cin) td=111ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=111ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.13 TRIG V(Cin) td=117ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=117ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.14 TRIG V(Cin) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.15 TRIG V(Cin) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN Cin_Sum.tp.16 TRIG V(Cin) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Sum) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1

*****
**** Calculate the tp for input A and output Cout ****
*****
MEASURE TRAN A_Cout.tp.1 TRIG V(A) td=49.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=49.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.2 TRIG V(A) td=52.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=52.2ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.3 TRIG V(A) td=53.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=53.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.4 TRIG V(A) td=56.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=56.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.5 TRIG V(A) td=59ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=59ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.6 TRIG V(A) td=61.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=61.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.7 TRIG V(A) td=104ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=104ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.8 TRIG V(A) td=107ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=107ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.9 TRIG V(A) td=109ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=109ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.10 TRIG V(A) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.11 TRIG V(A) td=114ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=114ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.12 TRIG V(A) td=116ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=116ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.13 TRIG V(A) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.14 TRIG V(A) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.15 TRIG V(A) td=144ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=144ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.16 TRIG V(A) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.17 TRIG V(A) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.18 TRIG V(A) td=152ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=152ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
MEASURE TRAN A_Cout.tp.19 TRIG V(A) td=154ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1 TARG V(Cout) td=154ns VAL='0.5*vdd' CROSS-1
```



```

*****
**** Calculate the tp for input B and output Cout ****
*****
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.1 TRIG V(B) td=17.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=17.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.2 TRIG V(B) td=30.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=30.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.3 TRIG V(B) td=36.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=36.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.4 TRIG V(B) td=46.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=46.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.5 TRIG V(B) td=48.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=48.9ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.6 TRIG V(B) td=51.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=51.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.7 TRIG V(B) td=55.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=55.4ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.8 TRIG V(B) td=56.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=56.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.9 TRIG V(B) td=61.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=61.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.10 TRIG V(B) td=76.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=76.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.11 TRIG V(B) td=86.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=86.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.12 TRIG V(B) td=96.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=96.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.13 TRIG V(B) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.14 TRIG V(B) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.15 TRIG V(B) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.16 TRIG V(B) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.17 TRIG V(B) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN B.Cout.tp.18 TRIG V(B) td=151ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=151ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1

*****
**** Calculate the tp for input Cin and output Cout ****
*****
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.1 TRIG V(Cin) td=36.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=36.8ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.2 TRIG V(Cin) td=41.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=41.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.3 TRIG V(Cin) td=44.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=44.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.4 TRIG V(Cin) td=46.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=46.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.5 TRIG V(Cin) td=54.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=54.3ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.6 TRIG V(Cin) td=61.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=61.5ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.7 TRIG V(Cin) td=86.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=86.1ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.8 TRIG V(Cin) td=89ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=89ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.9 TRIG V(Cin) td=93ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=93ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.10 TRIG V(Cin) td=96.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=96.7ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.11 TRIG V(Cin) td=107ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=107ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.12 TRIG V(Cin) td=109ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=109ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.13 TRIG V(Cin) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=112ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.14 TRIG V(Cin) td=114ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=114ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.15 TRIG V(Cin) td=117ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=117ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.16 TRIG V(Cin) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=126ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.17 TRIG V(Cin) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=139ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.18 TRIG V(Cin) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=147ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.19 TRIG V(Cin) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=149ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1
.MEASURE TRAN Cin.Cout.tp.20 TRIG V(Cin) td=154ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1 TARG V(Cout) td=154ns VAL='0.5*vdd' CROSS=1

```

خروجی دستورات بالا به شرح زیر می باشد:

تصویر زیر تاخیر انتشار ۳ ورودی های A و B و C_{in} بر روی خروجی sum را نشان می دهد:

```

***** transient analysis tnom= 25.000 temp= 25.000 *****
a_sum_tp_1= 129.2381p targ= 15.1242n trig= 14.9950n
a_sum_tp_2= 139.0839p targ= 35.1341n trig= 34.9950n
a_sum_tp_3= 63.3683p targ= 50.0584n trig= 49.9950n
a_sum_tp_4= 49.5891p targ= 55.0446n trig= 54.9950n
a_sum_tp_5= 79.7165p targ= 57.5747n trig= 57.4950n
a_sum_tp_6= 260.1780p targ= 60.2552n trig= 59.9950n
a_sum_tp_7= 249.8407p targ= 62.7448n trig= 62.4950n
a_sum_tp_8= 135.5692p targ= 80.1306n trig= 79.9950n
a_sum_tp_9= 139.2127p targ= 100.1342n trig= 99.9950n
a_sum_tp_10= 289.8405p targ= 105.2848n trig= 104.9950n
a_sum_tp_11= 213.7833p targ= 112.7088n trig= 112.4950n
a_sum_tp_12= 101.1395p targ= 117.5961n trig= 117.4950n
a_sum_tp_13= 239.0383p targ= 127.7340n trig= 127.4950n
a_sum_tp_14= 228.8538p targ= 140.2239n trig= 139.9950n
a_sum_tp_15= 258.1543p targ= 145.2532n trig= 144.9950n
a_sum_tp_16= 210.3200p targ= 147.7053n trig= 147.4950n
a_sum_tp_17= 248.6401p targ= 150.2436n trig= 149.9950n
b_sum_tp_1= 69.1893p targ= 7.5642n trig= 7.4950n
b_sum_tp_2= 92.1450p targ= 12.5871n trig= 12.4950n
b_sum_tp_3= 207.6281p targ= 20.2026n trig= 19.9950n
b_sum_tp_4= 277.1894p targ= 32.7722n trig= 32.4950n
b_sum_tp_5= 46.1955p targ= 37.5412n trig= 37.4950n
b_sum_tp_6= 63.3683p targ= 50.0584n trig= 49.9950n
b_sum_tp_7= 49.5891p targ= 55.0446n trig= 54.9950n
b_sum_tp_8= 79.7165p targ= 57.5747n trig= 57.4950n
b_sum_tp_9= 249.8407p targ= 62.7448n trig= 62.4950n
b_sum_tp_10= 274.9326p targ= 77.7699n trig= 77.4950n
b_sum_tp_11= 92.1450p targ= 12.5871n trig= 12.4950n
b_sum_tp_12= 213.7833p targ= 112.7088n trig= 112.4950n
b_sum_tp_13= 239.0383p targ= 127.7340n trig= 127.4950n
b_sum_tp_14= 228.8538p targ= 140.2239n trig= 139.9950n
b_sum_tp_15= 210.3200p targ= 147.7053n trig= 147.4950n
b_sum_tp_16= 248.6401p targ= 150.2436n trig= 149.9950n
cin_sum_tp_1= 157.3661p targ= 5.1524n trig= 4.9950n
cin_sum_tp_2= 142.2319p targ= 25.1372n trig= 24.9950n
cin_sum_tp_3= 110.7215p targ= 30.1057n trig= 29.9950n
cin_sum_tp_4= 46.1955p targ= 37.5412n trig= 37.4950n
cin_sum_tp_5= 230.8075p targ= 42.7258n trig= 42.4950n
cin_sum_tp_6= 199.6303p targ= 45.1946n trig= 44.9950n
cin_sum_tp_7= 49.5891p targ= 55.0446n trig= 54.9950n
cin_sum_tp_8= 249.8407p targ= 62.7448n trig= 62.4950n
cin_sum_tp_9= 61.3509p targ= 87.5564n trig= 87.4950n
cin_sum_tp_10= 220.9304p targ= 90.2159n trig= 89.9950n
cin_sum_tp_11= 277.7486p targ= 95.2727n trig= 94.9950n
cin_sum_tp_12= 213.7833p targ= 112.7088n trig= 112.4950n
cin_sum_tp_13= 101.1395p targ= 117.5961n trig= 117.4950n

```

بیشینه مقدار تاخیر انتشار (با توجه به تصاویر بالا) برای ورودی های A و B و C_{in} بر روی خروجی sum برابر است با:

$$\max(tp_A) = 289.8405 \text{ ps}$$

$$\max(tp_B) = 277.1894 \text{ ps}$$

$$\max(tp_{C_{in}}) = 249.8407 \text{ ps}$$

بنابراین بیشینه مقدار تاخیر انتشار ورودی بر روی خروجی sum برابر است با:

$$\max(tp_A, tp_B, tp_{C_{in}}) = 289.8405 \text{ ps}$$

حال تاخیر انتشار را برای خروجی C_{out} محاسبه می نماییم:

تصویر زیر تاخیر انتشار ۳ ورودی های A و B و C_{in} بر روی خروجی C_{out} را نشان می دهد:

a_cout_tp_1=	130.9318p	targ=	50.1259n	trig=	49.9950n
a_cout_tp_2=	79.1206p	targ=	52.5741n	trig=	52.4950n
a_cout_tp_3=	66.9519p	targ=	55.0620n	trig=	54.9950n
a_cout_tp_4=	104.6036p	targ=	57.5996n	trig=	57.4950n
a_cout_tp_5=	195.8993p	targ=	60.1809n	trig=	59.9950n
a_cout_tp_6=	172.8669p	targ=	62.6679n	trig=	62.4950n
a_cout_tp_7=	159.7716p	targ=	105.1948n	trig=	104.9950n
a_cout_tp_8=	66.6213p	targ=	107.5616n	trig=	107.4950n
a_cout_tp_9=	140.1590p	targ=	110.1352n	trig=	109.9950n
a_cout_tp_10=	170.0386p	targ=	112.6650n	trig=	112.4950n
a_cout_tp_11=	77.9802p	targ=	115.0730n	trig=	114.9950n
a_cout_tp_12=	180.3003p	targ=	117.6753n	trig=	117.4950n
a_cout_tp_13=	69.0946p	targ=	127.5641n	trig=	127.4950n
a_cout_tp_14=	94.5682p	targ=	140.0896n	trig=	139.9950n
a_cout_tp_15=	120.2241p	targ=	145.1152n	trig=	144.9950n
a_cout_tp_16=	124.8429p	targ=	147.6198n	trig=	147.4950n
a_cout_tp_17=	114.5872p	targ=	150.1096n	trig=	149.9950n
a_cout_tp_18=	66.3628p	targ=	152.5614n	trig=	152.4950n
a_cout_tp_19=	139.6783p	targ=	155.1347n	trig=	154.9950n
b_cout_tp_1=	123.0325p	targ=	20.1180n	trig=	19.9950n
b_cout_tp_2=	95.7563p	targ=	32.5908n	trig=	32.4950n
b_cout_tp_3=	94.4225p	targ=	37.5894n	trig=	37.4950n
b_cout_tp_4=	66.2646p	targ=	47.5613n	trig=	47.4950n
b_cout_tp_5=	130.9318p	targ=	50.1259n	trig=	49.9950n
b_cout_tp_6=	79.1206p	targ=	52.5741n	trig=	52.4950n
b_cout_tp_7=	104.6036p	targ=	57.5996n	trig=	57.4950n
b_cout_tp_8=	104.6036p	targ=	57.5996n	trig=	57.4950n
b_cout_tp_9=	172.8669p	targ=	62.6679n	trig=	62.4950n
b_cout_tp_10=	109.5738p	targ=	77.6046n	trig=	77.4950n
b_cout_tp_11=	69.1755p	targ=	87.5642n	trig=	87.4950n
b_cout_tp_12=	69.4780p	targ=	97.5605n	trig=	97.4950n
b_cout_tp_13=	170.0386p	targ=	112.6650n	trig=	112.4950n
b_cout_tp_14=	69.0946p	targ=	127.5641n	trig=	127.4950n
b_cout_tp_15=	94.5682p	targ=	140.0896n	trig=	139.9950n
b_cout_tp_16=	124.8429p	targ=	147.6198n	trig=	147.4950n
b_cout_tp_17=	114.5872p	targ=	150.1096n	trig=	149.9950n
b_cout_tp_18=	66.3628p	targ=	152.5614n	trig=	152.4950n
c_in_cout_tp_1=	94.4225p	targ=	37.5894n	trig=	37.4950n
c_in_cout_tp_2=	149.5971p	targ=	42.6446n	trig=	42.4950n
c_in_cout_tp_3=	105.0469p	targ=	45.1000n	trig=	44.9950n
c_in_cout_tp_4=	66.2646p	targ=	47.5613n	trig=	47.4950n
c_in_cout_tp_5=	66.9519p	targ=	55.0620n	trig=	54.9950n
c_in_cout_tp_6=	172.8669p	targ=	62.6679n	trig=	62.4950n
c_in_cout_tp_7=	69.1755p	targ=	87.5642n	trig=	87.4950n
c_in_cout_tp_8=	168.4165p	targ=	90.1634n	trig=	89.9950n
c_in_cout_tp_9=	102.9480p	targ=	95.0978n	trig=	94.9950n
c_in_cout_tp_10=	65.4780p	targ=	97.5605n	trig=	97.4950n
c_in_cout_tp_11=	66.6213p	targ=	107.5616n	trig=	107.4950n
c_in_cout_tp_12=	140.1590p	targ=	110.1352n	trig=	109.9950n
c_in_cout_tp_13=	170.0386p	targ=	112.6650n	trig=	112.4950n
c_in_cout_tp_14=	77.9802p	targ=	115.0730n	trig=	114.9950n
c_in_cout_tp_15=	180.3003p	targ=	117.6753n	trig=	117.4950n
c_in_cout_tp_16=	69.0946p	targ=	127.5641n	trig=	127.4950n
c_in_cout_tp_17=	94.5682p	targ=	140.0896n	trig=	139.9950n
c_in_cout_tp_18=	124.8429p	targ=	147.6198n	trig=	147.4950n
c_in_cout_tp_19=	114.5872p	targ=	150.1096n	trig=	149.9950n
c_in_cout_tp_20=	139.6783p	targ=	155.1347n	trig=	154.9950n

بیشینه مقدار تاخیر انتشار (با توجه به تصاویر بالا) برای ورودی های A و B و C_{in} بر روی خروجی C_{out} برابر است با:

$$\max(tp_A) = 199.7716 \text{ ps}$$

$$\max(tp_B) = 172.8669 \text{ ps}$$

$$\max(tp_{C_{in}}) = 180.3003 \text{ ps}$$

بنابراین بیشینه مقدار تاخیر انتشار ورودی بر روی خروجی C_{out} برابر است با:

$$\max(tp_A, tp_B, tp_{C_{in}}) = 199.7716 \text{ ps}$$

همانطور که در قسمت پیشین نیز توضیح داده شد، طبق انتظار تاخیر انتشار سیگنال خروجی sum بیشتر از تاخیر انتشار خروجی C_{out} می باشد که علت آن نیز تعداد ترانزیستور هایی است که از ورودی تا خروجی وجود دارد. در مسیر ورودی تا خروجی سیگنال خروجی sum ، تعداد ترانزیستور بیشتری نسبت به C_{out} وجود دارد.

با توجه به اینکه تاخیر انتشار را برای خروجی های مورد نظر هم در حالت سایزینگ کمینه و هم در حالت سایزینگ استاندارد یافتیم، حال آن ها را در جدول زیر مقایسه می نماییم:

	<i>minimum sizing</i>	<i>standard sizing</i>
tp_{sum}	413.7286 ps	289.8405 ps
$tp_{C_{out}}$	304.5650 ps	199.7716 ps

همانطور که از جدول بالا مشخص است، تاخیر انتشار در حالت سایزینگ استاندارد مقدار بسیار کمتری نسبت به حالت سایزینگ کمینه دارد. بنابراین با سایز کردن عرض ترانزیستور ها به نحوی که تمامی شاخه های موجود در PUN و PDN چه از GND تا خروجی و چه از vdd تا خروجی، به میزان $pmos$ و $nmos$ وارونگر پایه مقاومت داشته باشند، منجر می شود تا میزان تاخیر انتشار کاهش یابد. علت آن این تفاوت را می توان در مقاومتی که مدار در حالت سایزینگ کمینه و سایزینگ استاندارد از خود نشان می دهد یافت، در حالت سایزیمگ کمینه مدار مقاومت بیشتری نسبت به حالت سایزینگ استاندارد دارد و در نتیجه ثابت زمانی بزرگ تری نیز از خود نشان می دهد، در نتیجه تاخیر انتشار بزرگتری خواهد داشت.

محاسبه توان پویا:

به منظور محاسبه‌ی توان پویای متوسط از دستور زیر استفاده می نماییم:

```
**** active power
.measure tran pow AVG power from=1ns to=170ns
```

خروجی دستور برابر است با:

```
***** transient analysis tnom= 25.000 temp= 25.000 *****
pow= 13.1151u from= 1.0000n to= 170.0000n
:
:
```

بنابراین مقدار توان پویای متوسط مدار جمع کننده برابر $13.1151\mu W$ می باشد.

محاسبه توان ایستا متوسط:

به منظور محاسبه توان ایستا، رشته ورودی 111 – 110 – 101 – 100 – 011 – 010 – 001 – 000 را به ترتیب به مدار می دهیم و سپس توسط دستور زیر مقدار توان را به ازای هر ورودی محاسبه می نماییم و در جدول زیر ثبت می نماییم؛ در نهایت میانگین توان های ثبت شده به ازای هر ورودی مقدار توان ایستا متوسط را می دهد.

<i>input</i>	<i>power</i>
000	94.2069 <i>pW</i>
001	3.2401 μW
010	106.3623 <i>pW</i>
011	3.2401 μW
100	89.1283 <i>pW</i>
101	3.2401 μW
110	78.9647 <i>pW</i>
111	3.2401 μW
<i>Average</i>	1.6201 μW

مفهوم توان پویا و ایستا و مقایسه ی آن ها:

همانطور که در قسمت قبل نیز ذکر گردید، در محاسبه ی توان پویا، ۶۴ حالت ورودی را در نظر میگیریم، پس علاوه بر اینکه ورودی ها در حالت *steady state* در نظر میگیریم، حالت *transition* آن ها از ۰ به ۱ و بلکس را نیز در محاسبات توان لحاظ می نماییم.

در مقابل، هنگامی که می خواهیم توان ایستا متوسط را در محاسبه کنیم، فرض می کنیم که ورودی در کل بازه ی مورد نظر در حالت *steady state* قرار دارد و در نتیجه *transition* ورودی در محاسبات توان لحاظ نمی گردد، در محاسبه ی توان ایستا متوسط تمامی جایگشت های ورودی را به ترتیب به مدار می دهیم و توان

مورد نظر را محاسبه می نماییم، در انتها میانگین توان های محاسبه شده را به عنوان توان ایستا متوسط در نظر می گیریم.

با توجه به توضیحات بالا، منطقی است که مقدار توان پویا متوسط بیشتر از توان ایستا شده است.

$$Active Power = 13.1151\mu W, Static Power = 1.6201\mu W$$

با توجه به اینکه مقدار توان متوسط پویا و ایستا را برای هر دو حالت سایزینگ کمینه و استاندارد محاسبه نمودیم، حال مقدار توان متوسط پویا و ایستا را برای هر دو حالت در جدول زیر مقایسه می نماییم:

	<i>minimum sizing</i>	<i>standard sizing</i>
<i>Active Power</i>	4.6135 μW	13.1151 μW
<i>Static Power</i>	1.6201 μW	1.6201 μW

همانطور که از جدول بالا مشخص است، مقدار توان ایستای متوسط در هر دو حالت سایزینگ کمینه و استاندارد برابر می باشد. در صورتی که مقدار توان پویا در حالت سایزینگ استاندارد مقدار بیشتری نسبت به سایزینگ کمینه دارد که علت آن را میتوان در تفاوت مقاومت ترانزیستور ها (با توجه به عرض ترانزیستور) و به فراخور تفاوت جریان کشی مدار یافت.

۱ - ب) بررسی اثر تغییر دما بر پارامترهای تاخیر، توان پویای متوسط، توان

ایستا

(سایزینگ کمینه و سایزینگ استاندارد)

* با توجه به اینکه روش محاسبه‌ی پارامترهای مورد نظر هم برای سایزینگ کمینه و هم سایزینگ استاندارد در بخش‌های قبل عنوان شد، در این بخش فقط نتایج و مقادیر پارامترها ذکر می‌گردد.

از آن جایی که تغییرات پارامترهای مورد نظر برای هر دو حالت سایزینگ کمینه و سایزینگ استاندارد به یک نحو می‌باشد، هرتاثیرات تغییر دما برای هر دو حالت در یک تحلیل ارائه می‌گردد:

minimum sizing				
	tp_{sum}	$tp_{C_{out}}$	ActivePower	StaticPower
$temp = 0$	399.9925ps	294.2412ps	4.5370μW	1.6200μW
$temp = 100$	462.2769ps	346.0906ps	4.8633 μW	1.6214μW

standard sizing				
	tp_{sum}	$tp_{C_{out}}$	ActivePower	StaticPower
$temp = 0$	280.0799ps	193.9997ps	12.9628μW	1.6200μW
$temp = 100$	317.1540ps	221.8588ps	13.4324μW	1.6227μW

با توجه به جدول بالا، با افزایش دما از ۰ به ۱۰۰ درجه، تاخیر انتشار خروجی sum و C_{out} افزایش می‌یابد، به منظور توجیه این تغییر باید بیان نمود که تاخیر انتشار با مقاومتی که مدار از خود نشان می‌دهد ارتباط دارد، افزایش دما نیز مقاومت را افزایش می‌دهد، در نتیجه با افزایش مقاومت، مقدار تاخیر انتشار نیز افزایش می‌یابد. مقدار توان چه از نوع پویا و چه از نوع ایستا، با افزایش دما از ۰ به ۱۰۰ درجه افزایش یافته است، همانطور که عنوان شد، با افزایش دما مقدار مقاومتی که مدار از خود نشان می‌دهد افزایش می‌یابد که به فراخور آن توان مورد نیاز نیز (چه از نوع پویا و چه از نوع ایستا) افزایش می‌یابد.

از توجه شما سپاس گزارم