Análisis de tolerancia y Measure
Síntesis de Redes Activas

Lucas Heraldo Duarte
Dr. Ing. Pablo Alejandro Ferreyra

Laboratorio de Circuitos y Sistemas Robustos
Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales - Universidad Nacional de Córdoba

LCSR FCEFyN UNC Universidad Nacional de Córdoba

Oct. 2021

Contenidos

Análisis de tolerancia [1]

En el diseño de sistemas, se deben considerar las restricciones de tolerancia paramétrica para asegurar un diseño exitoso.
Un enfoque común utiliza el análisis del peor de los casos (WCA) en el que todos los parámetros se ajustan a su límite máximo de tolerancia. En un análisis del peor de los casos, se analiza el rendimiento del sistema para determinar si el resultado del peor de los casos se encuentra dentro de la especificación de diseño del sistema.
Existen limitaciones para la eficacia de WCA como:

- WCA requiere determinar qué parámetros deben maximizarse o minimizarse para obtener un verdadero resultado en el peor de los casos.
- Los resultados de WCA a menudo violan los requisitos de especificación de diseño, lo que lleva a una costosa selección de componentes para obtener resultados aceptables.
- Los resultados de WCA no representan estadísticamente los resultados comúnmente observados; para observar un sistema que exhibe un desempeño WCA puede requerir una gran cantidad de sistemas ensamblados.

[1] https://www.analog.com/en/technical-articles/how-to-model-statistical-tolerance-analysis.html

Análisis de tolerancia

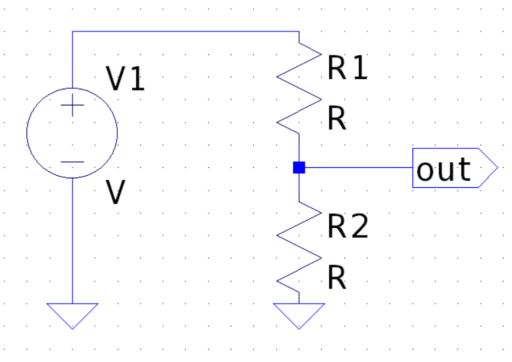
Un enfoque alternativo para el análisis de tolerancia del sistema es utilizar herramientas estadísticas para el análisis de tolerancia de componentes. El beneficio de un análisis estadístico es que los datos resultantes tienen una distribución que refleja lo que debería medirse comúnmente en los sistemas físicos.

Se va a mostrar como utiliza LTspice para simular el rendimiento del circuito con distribuciones de Montecarlo, Gauss y uniforme, aplicadas a la variación de tolerancia paramétrica. Esto se compara con una simulación de WCA.

A pesar de los problemas señalados con WCA, tanto el análisis estadístico como el peor de los casos proporcionan información valiosa para el diseño del sistema.

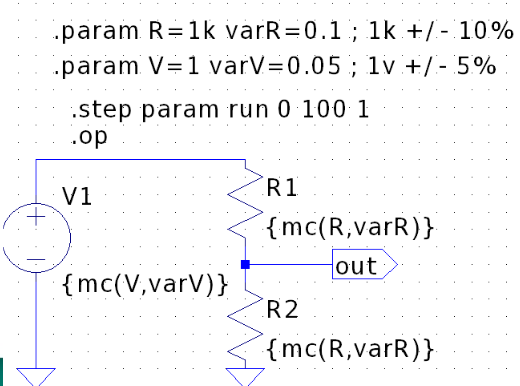
Aplicando Montecarlo

La simulación Montecarlo (x,y) genera un número aleatorio entre x(1-y) y x(1+y) en otra palabras seria x $+/-y\,\%$
Se va hacer un simple ejemplo de un divisor resistivo para mostrar como utilizar este método.
Primero se crea un esquemático simple como el de la figura. Teclas rápidas: R + F2(voltage) + F4(port type: output) + F3 + G



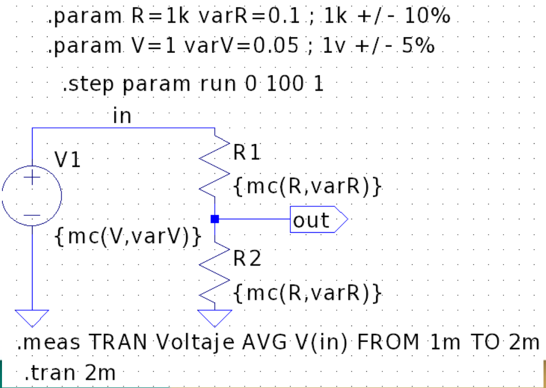
Comando

Para utilizar Montecarlo, hay que hacer clic derecho en los valores de las resistencias (R) y voltaje (V), y escribir: $\{mc(R, varR)\}$ y $\{mc(V, varV)\}$, después hacer una directiva SPICE (apretar S) y poner ".step param run 0 100 1" con esta ultima directiva indicamos que se van hacer 100 simulaciones y por cada una se va a variar el valor de R y V aleatoriamente una variación varR y varV respectivamente.



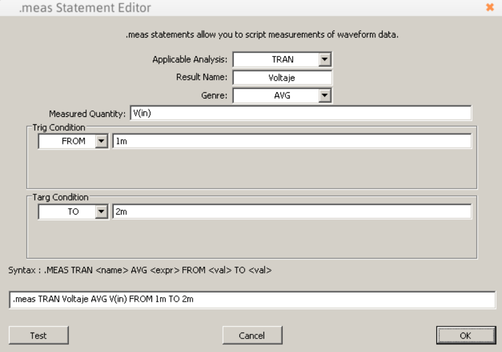
measure para ver distribución

Si ya la queremos complicar, se puede hacer un .measure para poder calcular el valor promedio de una simulación .tran (que va a ser simplemente el valor de la fuente en una de las 100 simulaciones) y visualizar la distribución.
Para esto hay que definir el cable de entrada como in [F4(in)] y hacer una simulación tipo .tran 2m



measure para ver distribución

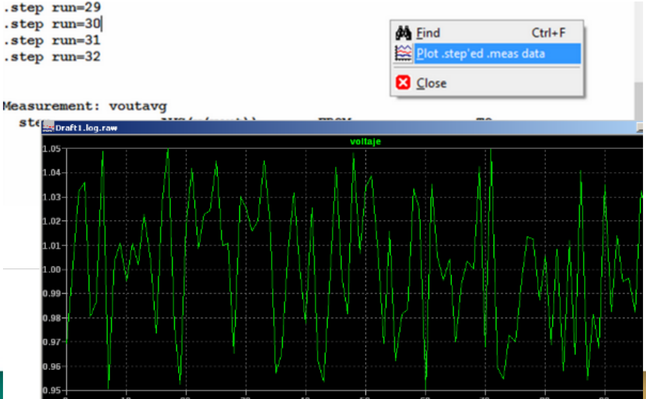
Para configurar el comando measure, hacemos una nueva directiva SPICE (apretar S) y ponemos .meas, lo agregamos al esquemático y luego le damos clic derecho.
Y lo configuramos como la imagen. Prácticamente dice que se aplica en una simulación transitoria, ek resultado se llama voltaje, y va hacer un promedio, el valor a medir es el voltaje en in V(in), y se va a promediar desde 1m a 2m.



measure para ver distribución

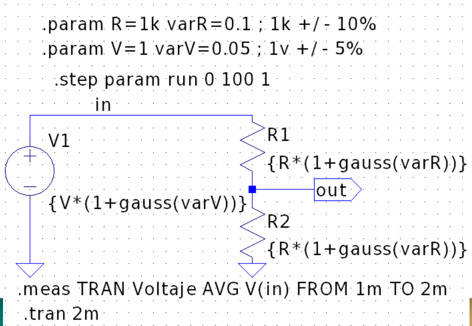
Para observar el resultado de measure hay ir a View > SPICE Error Log (o apretar ctrl+L), a la nueva ventana que se abre hacerle clic derecho y apretar Plot .step'ed .meas data.

Al gráfico ahora hay que hacerle clic derecho ir a File > Export data as text. Luego levantamos la información en un exel y observamos la distribución.



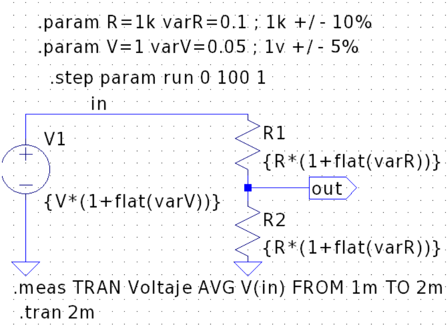
Aplicando Gauss

La simulación Gauss (x) genera un número aleatorio a partir de una distribución normal con una desviación estándar de x. Se va aplicar en el mismo esquemático que en anterior, y también se va usar el mismo measure.
Cambia la forma de aplicarlo, ahora a los valores R y V hay que escribirlo asi: $\{R * (1 + gauss(varR))\}$ y $\{V * (1 + gauss(varV))\}$ cabe resaltar que no es $+/- varR\,\%$ ya que al ser una variación estándar puede variar valores mayores que varR



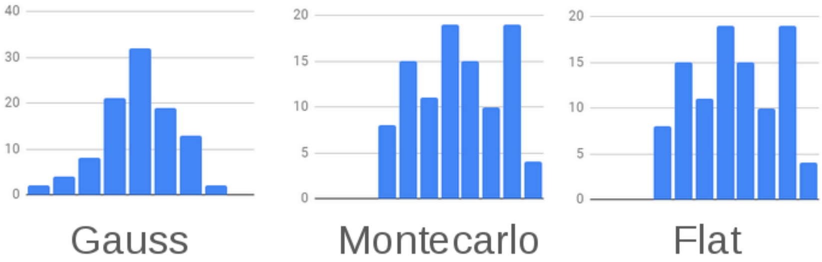
Aplicando flat

flat(x) genera un numero aleatorio entre -x y x con una distribución uniforme. Se va aplicar en el mismo esquemático que en anterior, y también se va usar el mismo measure.
Cambia la forma de aplicarlo, ahora a los valores R y V hay que escribirlo asi: $\{R * (1 + flat(varR))\}$ y $\{V * (1 + flat(varV))\}$. Si se observa bien se tiene los mismos resultado que usando Montecarlo



Distribuciones

Si de los archivos de texto exportamos la información a un exel y graficamos la distribución tenemos el siguiente resultado, ahora se ve mas claramente que la simulación flat y montecarlo son lo mismo. Solo tiene diferencia la simulación gauss y se ve claramente la distribución normal.



Measure

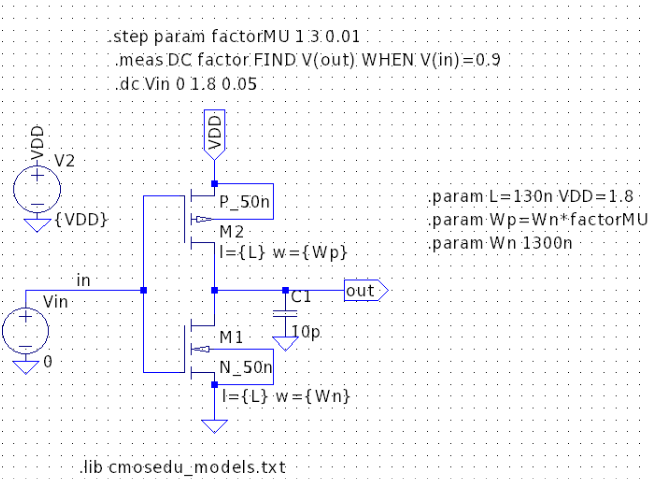
Aunque ya se mostró como setear el comando .meas, se va hacer un ejemplo más, necesario para resolver el Laboratorio 4 ejercicio adicional II. Se quiere encontrar la relación de aspecto (W/L) de los transistores MOS para que cumpla con el requerimiento de un td=10nS y que VM=0.5VDD.
Empezamos por encontrar la relación entre Wp y Wn para que se cumpla VM. Teóricamente si el Vth den NMOS y PMOS son iguales para que se cumpla VM=0.5VDD se tiene que dar que

$$W_p = W_n \frac{\mu_n}{\mu_p} \tag{1}$$

Pero el problema es que tampoco tenemos el dato de $\frac{\mu_n}{\mu_p}$ por lo que se va a utilizar una simulación .meas para encontrar dicha relación.

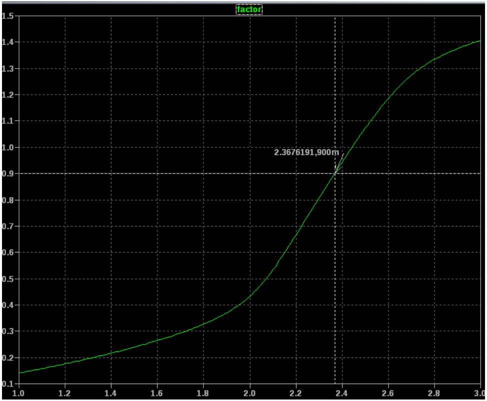
Relación de movilidad

Para encontrar este resultado se va hacer la siguiente simulación. Donde se hace un step param de factorMU ($\frac{\mu_n}{\mu_p}$). Y se utiliza un .meas para encontrar el valor de V(out) cuando V(in) es 0.9



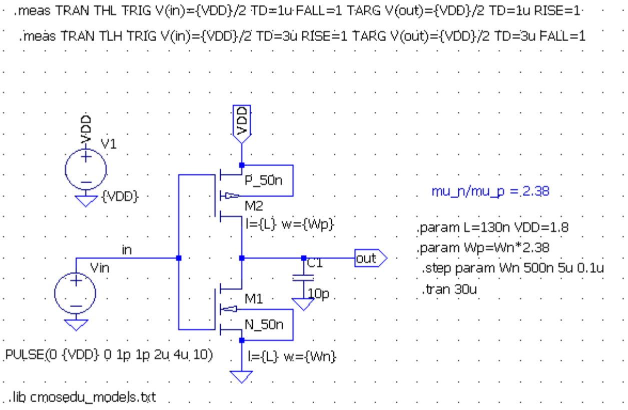
Relación de movilidad

Cuando damos graficar el .meas, se obtiene el siguiente resultado, y asi de simple encontramos la relación de movilidad.



Valor de Wn

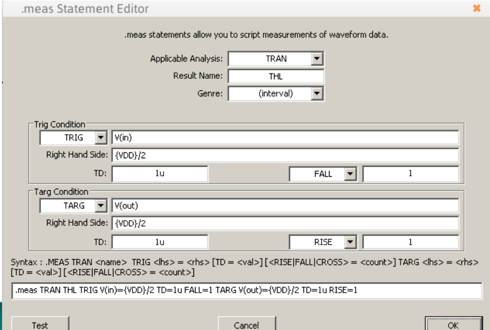
Para cumplir con la especificación de Td, se parametriza Wn, ya que Wp quedó definido en función de Wn.
Parametrizandolo hacemos una simulación transitoria aplicando un tren de pulsos a la entrada y con meas se va medir el intervalo de tiempo que tarda a llegar a Vdd/2 desde que inicia a bajar, y desde que inicia a subir.



Específicamente el comando del meas son:

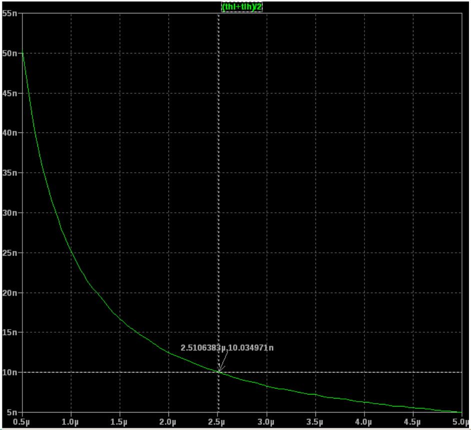
```
.meas TRAN THL TRIG V(in)={VDD}/2 TD=1u FALL=1 TARG V(out)={VDD}/2 TD=1u RISE=1

.meas TRAN TLH TRIG V(in)={VDD}/2 TD=3u RISE=1 TARG V(out)={VDD}/2 TD=3u FALL=1
```

Indica que se va a usar en una simulación transitoria, que va a medir el intervalo de tiempo, que se va a llamar THL, entre que Vin tenga el valor de VDD/2 mientras cae (the trigger) y que Vout tenga el valor VDD/2 mientras que aumenta (the target); después de un retraso de 1uS.



Resultado

Finalmente cuando hacemos que grafique el meas, aparece sin ninguna curva, entonces apretamos (ctrl+A) que agrega un trazo, y ponemos (thl+tlh)/2 que es la definición de Td. Y seleccionamos el Wn que hace que Td sea de 10nS



Referencia

Para mas información de measure ver:

- https://www.analog.com/en/education/education-library/videos/5579239885001.html
- http://ltwiki.org/LTspiceHelp/LTspiceHelp/_MEASURE_Evaluate_User_Defined_Electrical_Quantities.htm
- https://www.woolseyworkshop.com/2020/12/17/measuring-circuit-quantities-in-ltspice-simulations/