

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté de génie
Département de génie électrique et de génie informatique

RAPPORT APP6

Lignes de transmission
APP6

Présenté à
François Boone

Présenté par
Équipe numéro 1
Félix Boivin – BOIF1302
Mathieu Désautels – DESM1210

Sherbrooke – 28 juillet 2025

1. LIGNE PRINCIPALE

1.1 DÉMARCHES POUR TROUVÉ V_1 ET V_2

L'étape 1 pour trouver les valeurs de V_1 et V_2 , est de trouver les coefficients de réflexion pour la charge ainsi que pour la source.

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{1000000 - 50}{1000000 + 50} \approx 1$$

$$\Gamma_S = \frac{Z_S - Z_0}{Z_S + Z_0} = \frac{20 - 50}{20 + 50} = -\frac{3}{7}$$

Ce sont les valeurs de réflexions trouvées sur la ligne de droite et de gauche du graphique sur la Figure 1.

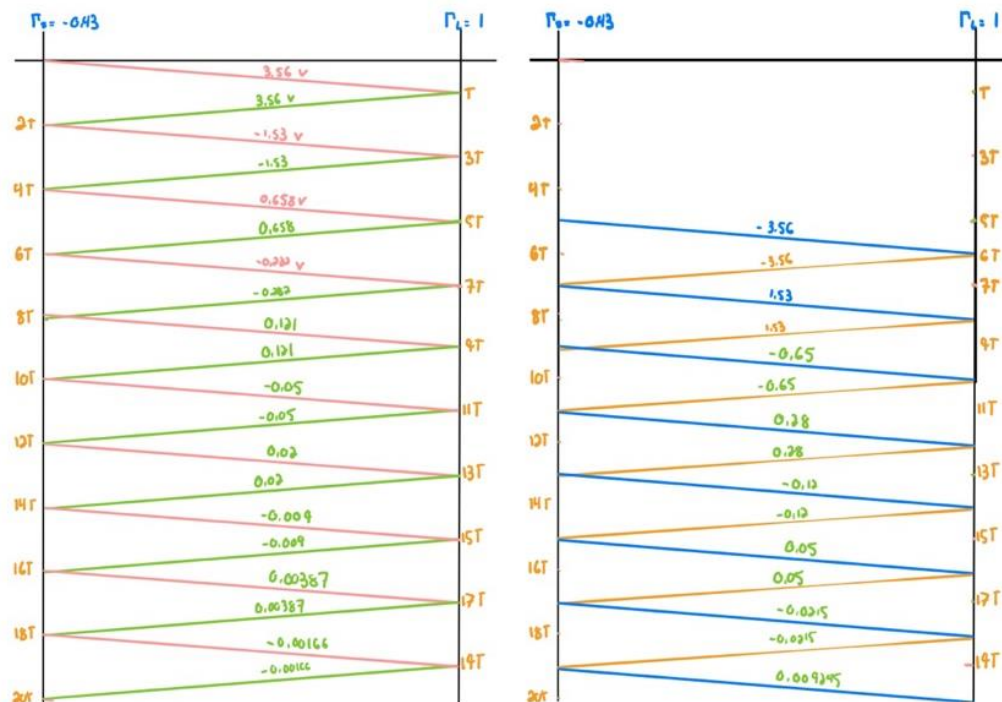


Figure 1 : Graphique des réflexions en fonction de la période

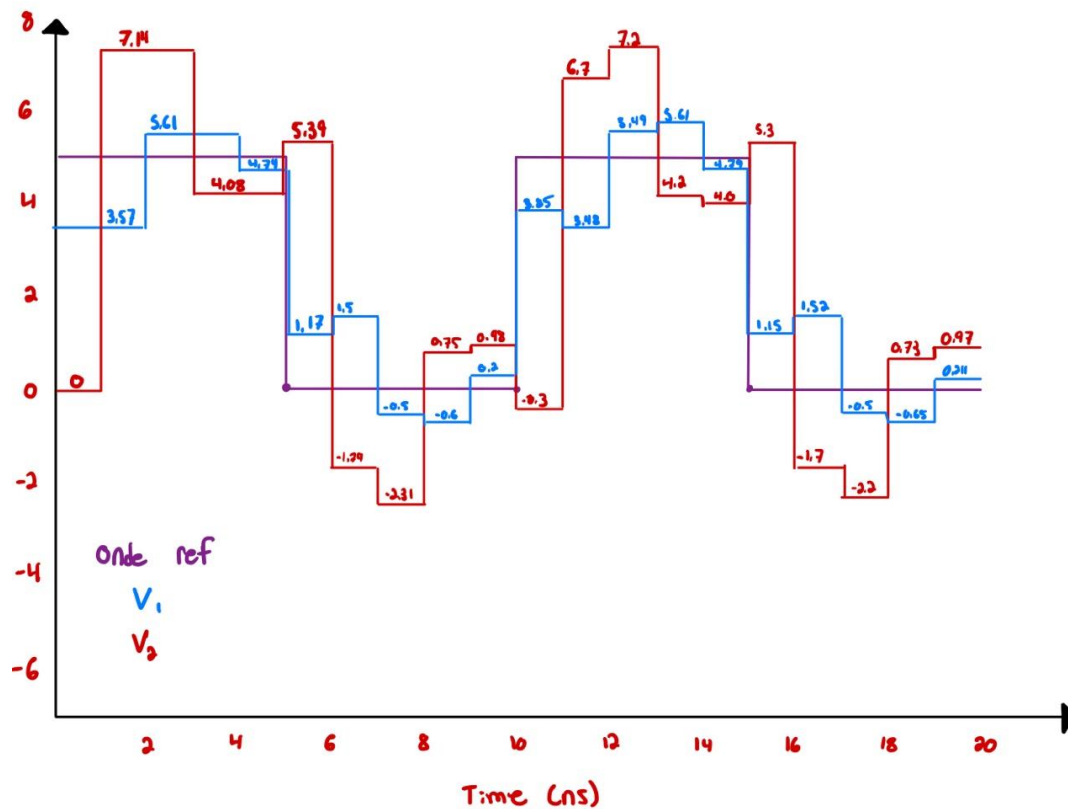


Figure 2 : Graphique à la main des tensions V_1 et V_2

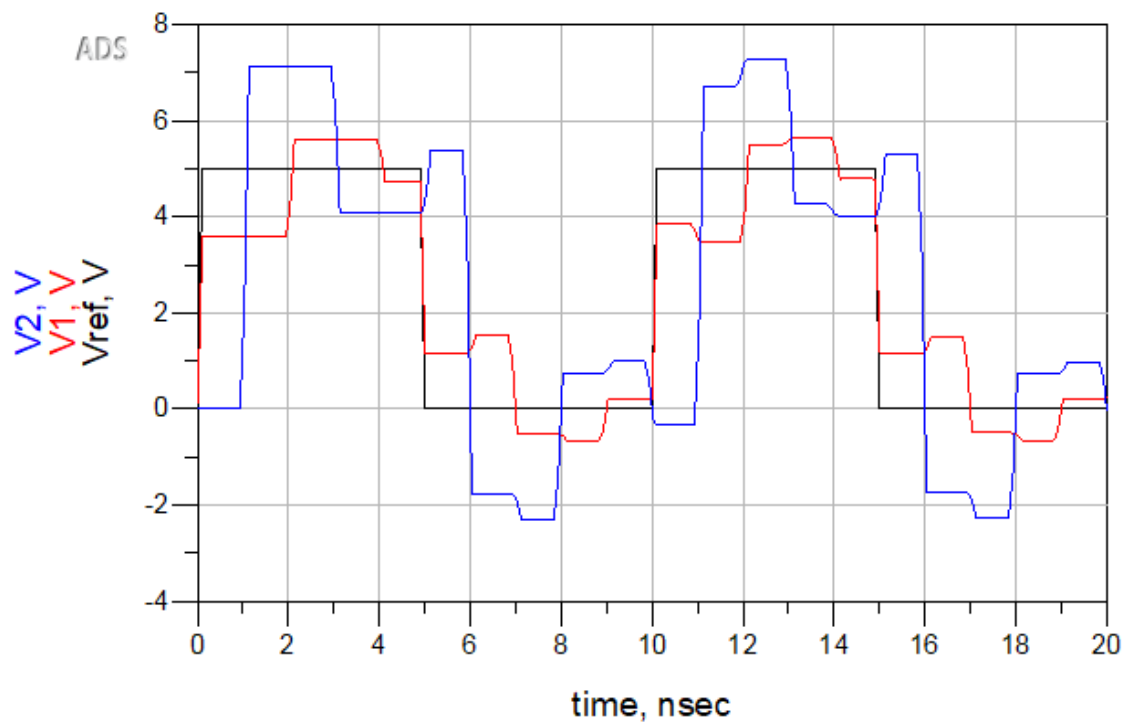


Figure 3 : Graphique de la simulation des tensions V_1 et V_2

Les calculs à effectuer sont les suivants. Par exemple, pour trouver la tension à la période 3T pour V2, on se réfère à la Figure 1, le graphique de gauche, l'axe de droite. On additionne toutes les contributions des ondes entrantes et sortantes jusqu'à ce point :

$$V_{2_{3T}} = 3.56 + 3.56 - 1.53 - 1.53 = 4.06 \text{ V}$$

Dans ce cas-ci, puisqu'il n'y a aucune nouvelle réflexion entre 3T et 5T, cette tension reste valide jusqu'à 5T. Pour le calcul de V1, le principe est le même, mais on regarde l'axe gauche. Ainsi, pour V1 à 4T, on obtient :

$$V_{1_{4T}} = 3.56 + 3.56 - 1.53 - 1.53 + 0.68 = 4.74 \text{ V}$$

Ce raisonnement peut être appliqué jusqu'à 5T. Par la suite, une nouvelle réflexion apparaît, soit -3.56V, car une perte du signal d'entrée est observée. Afin de simplifier les calculs, cette dernière réflexion n'a pas été prise en compte ici. Toutefois, le même principe reste valable : toutes les contributions, entrantes et sortantes, doivent être additionnées à chaque point dans le graphique de droite et de gauche.

1.2 CHANGEMENT DU t_{rise} ET t_{fall}

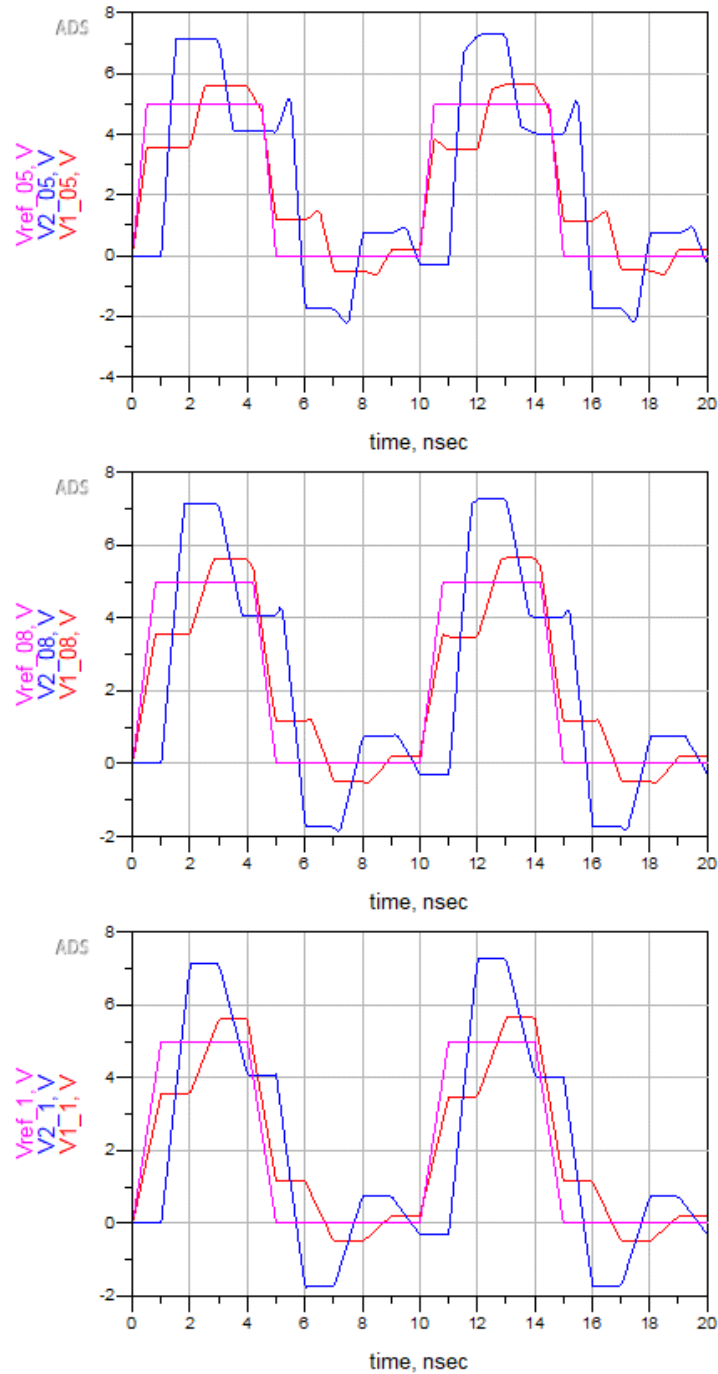


Figure 4 : Graphique avec t_{rise} et t_{fall} modifier

Dans le graphique à la Figure 4, il est possible de voir trois graphiques. Soit avec un temps de montée et un temps de descente de 0.5 ns, 0.8 ns et 1 ns. Le plus que ces temps se rapproche du délai de propagation (1 ns), le moins qu'il est possible de voir de réflexions. Cependant, le

signal se distorsionne le plus que le délai augmente aussi. Il ne serait donc pas idéal d'utiliser ce type de solutions pour améliorer le système.

1.3 AJOUT D'UN DÉLAIS SUR LA LIGNE

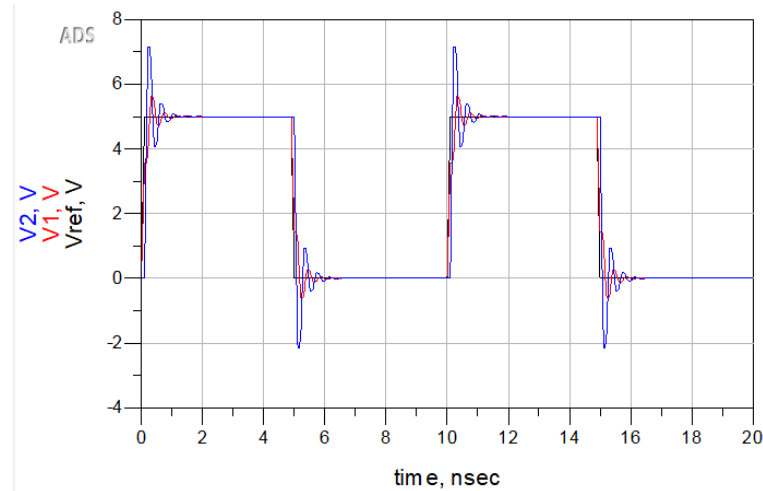


Figure 5 : Graphique avec un délais d'ajouter

Comme il est possible de voir dans la Figure 5, le signal devient plus propre avec un délais plus bas. Cependant pour avoir un délais plus bas la façon de s'y prendre en pratique est de diminuer la longueur de la trace. Avec la formule de la vitesse de propagation du signal dans une trace :

$$v = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r'}} \approx 1.6037 * 10^8 \text{ m/s}$$

Avec cette formule il est possible de trouver que pour un délai de 0.1 ns la longueur de la trace doit être d'un maximum de 16mm. Avec cette trace de 16mm, il sera possible d'avoir un délai de 0.1 ns, donc avoir le signal plus beau. Ceci est donc une piste de solution possible.

2. LIGNES PRINCIPALE ET SECONDAIRE

2.1 DIMENSIONS DE LA LIGNE

Pour créer la dimension de la ligne, l'outil de LineCalc a été utilisé. Celle-ci aide beaucoup la conception, puisqu'avec l'information connue par le client, il est possible de trouver une ligne à 50Ω . En effet, le client nous demande d'avoir une distance entre les traces de 3mm, de plus il est possible de voir qu'avec la modification de la longueur de la ligne il n'a pas d'influence sur l'impédance caractéristique de la ligne. Le seul paramètre qui doit être changé est donc la largeur

des traces soit W . Avec une approche itérative, il est possible de déterminer que la largeur devra être de 2.850mm.

Les données finales de la ligne sont donc :

$$W = 2.85\text{mm}, S = 3.00\text{ mm}, L = 50\text{mm}$$

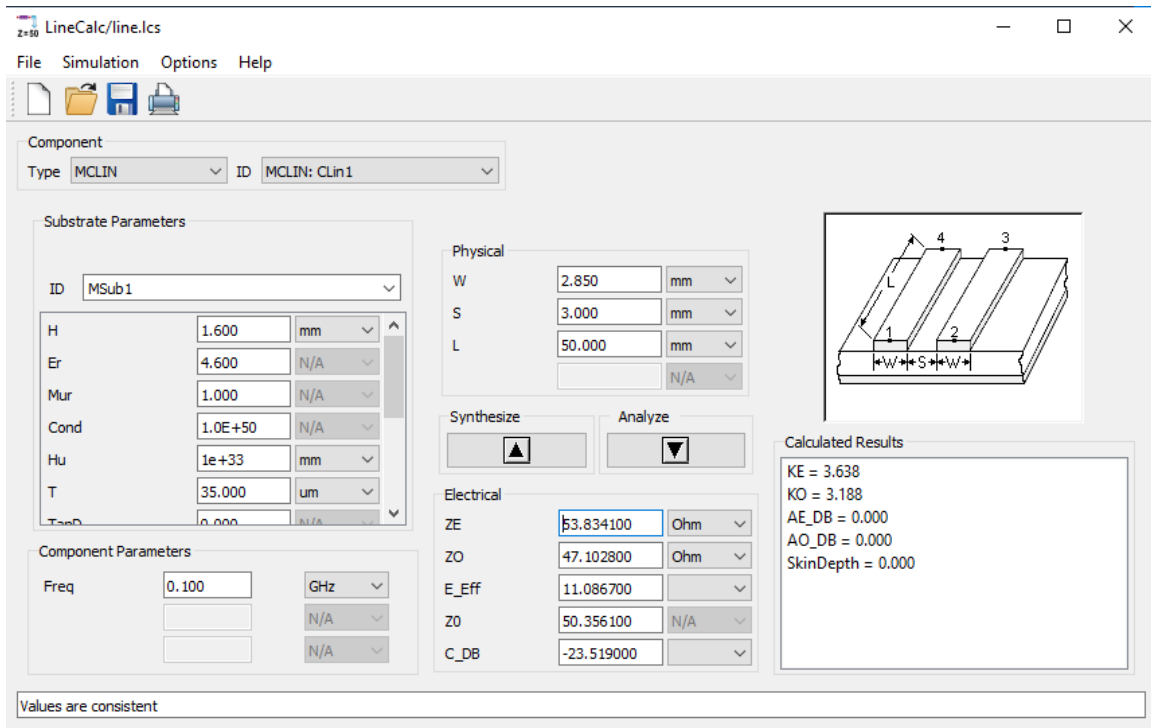


Figure 6 : Données de LineCalc

2.2 ADAPTATION ENTRÉE SORTIE

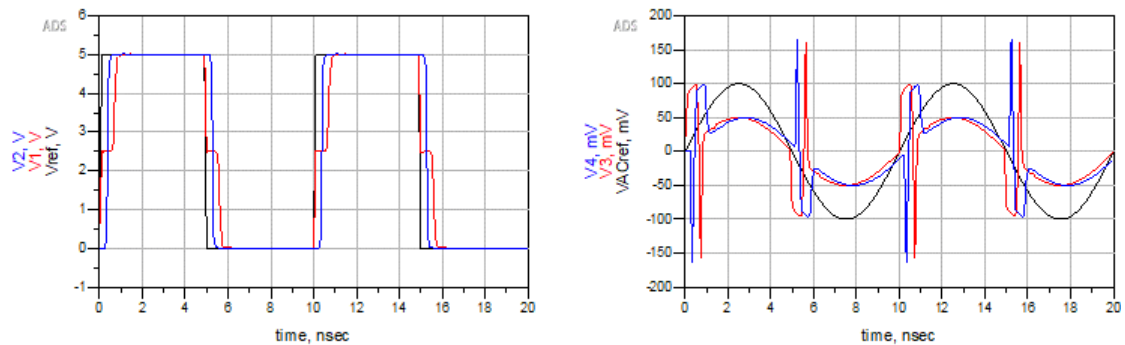


Figure 7 : Adaptation d'impédance à l'entrée de la ligne

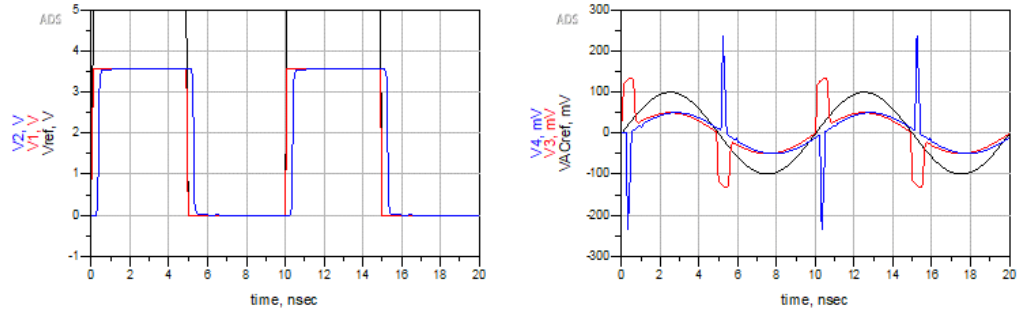


Figure 8 : Adaptation d'impédance à la sortie de la ligne

Pour en entrée, nous avons ajouté une résistance de 30 Ohm en série pour avoir l'impédance caractéristique de 50 Ohm. Ceci est pour avoir un coefficient de réflexion de 0. Pour en sortie, une résistance de 50 Ohm a été ajoutée en parallèle pour égaliser l'impédance caractéristique de 50 Ohm. Il est possible de voir que dans la Figure 7, lorsqu'on met une impédance en entrée les réflexions sont diminuées grandement. C'est donc une très bonne option d'égaliser cette impédance. Lorsqu'on regarde la Figure 8 quant à elle, celle-ci aussi réussit à diminuer les réflexions. Cependant, il est possible de voir que la tension est diminuée grandement la tension de référence (bleu) est beaucoup plus haute que le signal d'entrée et de sortie (rose, rouge). L'amélioration de l'impédance en entrée est donc une amélioration possible pour améliorer le circuit.

2.3 MODIFICATION DE TEMPS DE MONTÉE ET DE DESCENTE

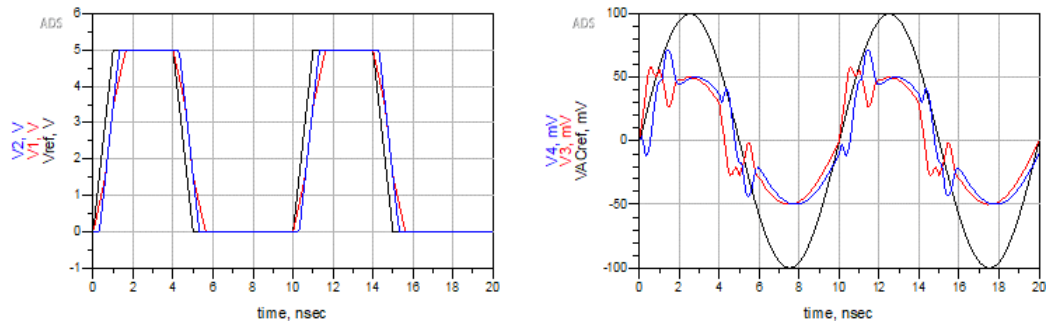


Figure 9 : Modification du temps t_{Rise} et t_{Fall}

Comme il a été déterminé dans la section 1.2, la meilleure option est d'avoir un $t_{Rise} = t_{Fall} = t_{Delay}$. Un délai de 1 ns est donc ajouté pour le temps de montée et de descente en plus d'avoir l'adaptation de l'impédance en entrée de 30 Ω . L'augmentation des temps sont une piste qui pourraient fonctionner puisque cela réduit les pics.

3. CIRCUIT FINAL

Pour le circuit final, plusieurs adaptations ont été faites puisqu'elles ont été étudiées dans les sections précédentes. Tout d'abord, une isolation a été ajoutée entre les deux lignes. Le

résultat de celui-ci peut être vu à la Figure 10, celle-ci n'a pas une forme parfaite, mais le sinus est reconnaissable. Par la suite, une impédance à l'entrée a été ajoutée pour diminuer les réflexions comme expliqué dans la section 2.2. L'adaptation à l'entrée peut être vue à la Figure 11, il est possible de voir que le sinus apparaît plus qu'uniquement avec l'isolation a trois traces. Par la suite, l'ajout du délai de montée et de descente a été analysé et avait été déterminé comme efficace à 1ns. La Figure 12, montre celle-ci, il est possible de voir un très beau sinus, cependant celle-ci est un peu décalée dans le temps. Il y a donc une dernière adaptation qui est possible. Dans la Figure 13, il est possible de voir que la longueur de la trace a été diminuée pour réduire le délai de transmission dans la ligne.

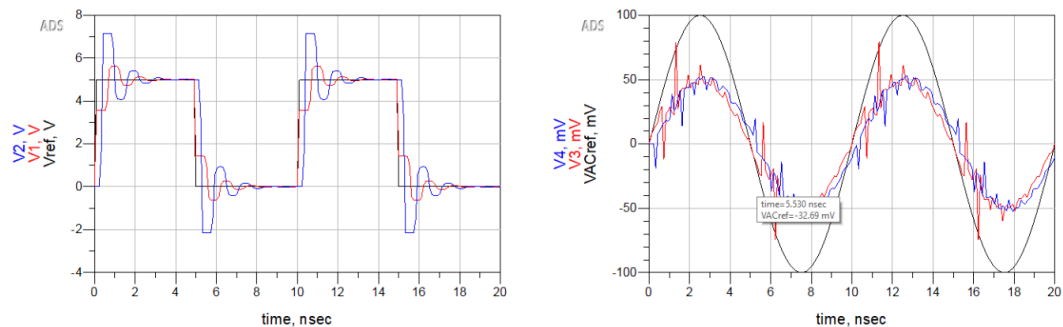


Figure 10 : Isolation traces

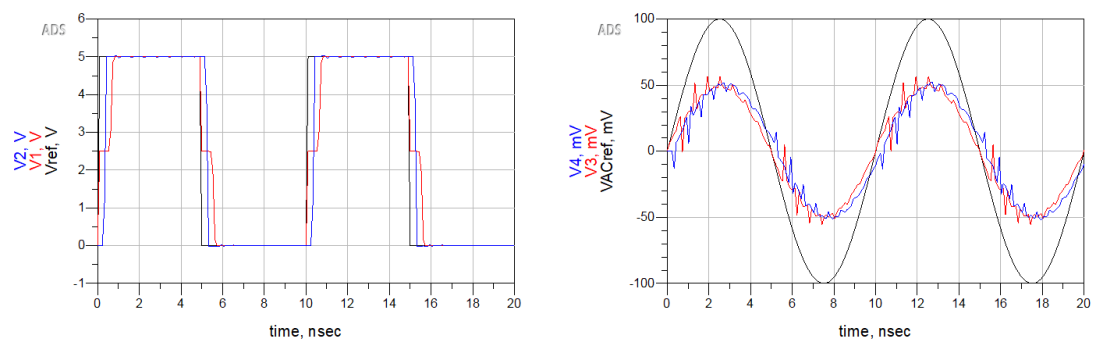


Figure 11 : Isolations trace + impédance entrée

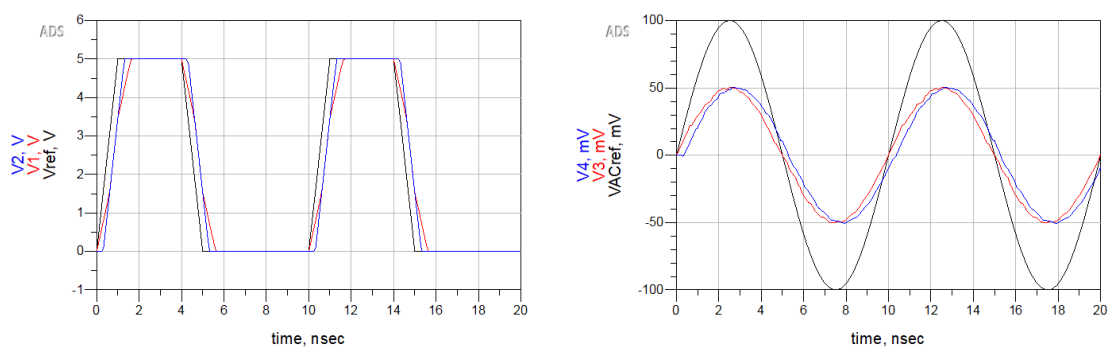


Figure 12 : Isolation traces + impédance entrée + délais tRise-tFall (1n)

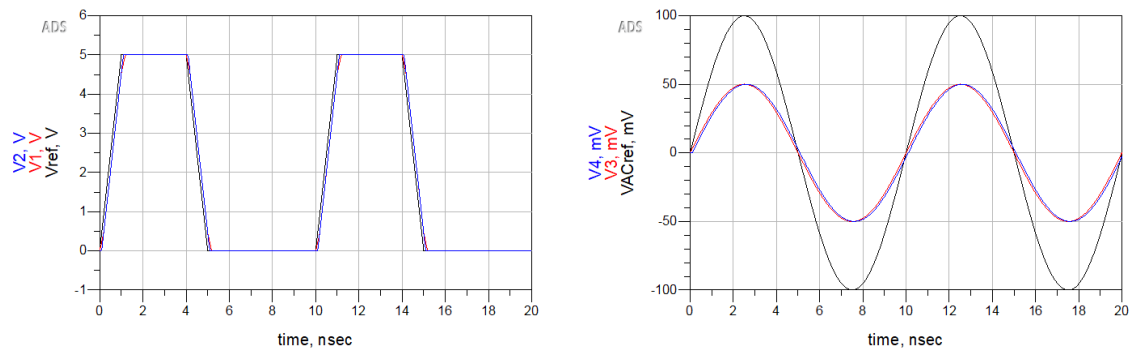


Figure 13 : Isolation traces + impédance entrée + délais tRise-tFall (1n) + longueur trace (15mm)

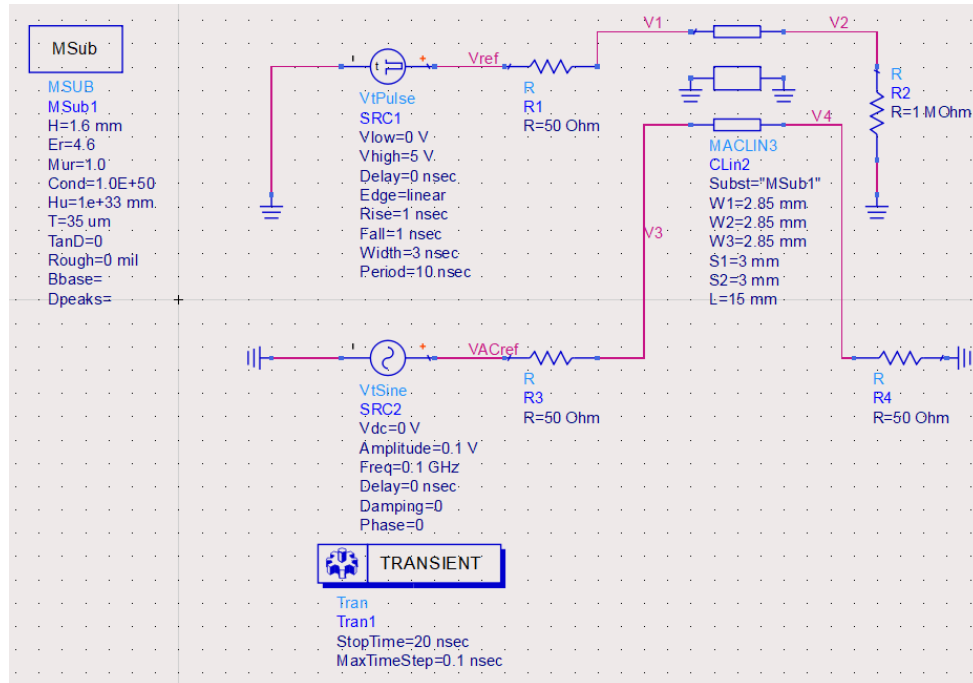


Figure 14 : Circuit finale

4. CONCLUSION

En conclusion, les tests que l'équipe ont faits sont l'adaptation des impédance, l'ajustement des temps de montée et de descente, l'ajustement du délai par le biais de la longueur et l'ajout d'une ligne d'isolation. Tous ces tests ont été concluants et tel que montré dans la section 3, l'ajout de toutes ces sections ensemble améliore grandement les résultats.

Les ajustements que le client devra faire sont donc d'assurer une largeur de trace de cuivre de 2.85mm, un espacement entre celles-ci de 3mm ainsi qu'une isolation centrale. De plus pour les lignes de transmission celui-ci devra être entre 10mm et 15mm pour diminuer le délai à 0.1 ns. De plus, le client devra ajouter une résistance de 30 Ω , à la sortie de sa source de pulse (avant la ligne de transmission). Ceci est nécessaire pour diminuer les réflexions. De plus, le client devra ajouter une ligne entre le port 1 et le port 3 pour faire son isolation.

Malheureusement notre recommandation pour le client est de refaire le circuit au complet, puisqu'il sera difficile de faire tous ces ajustements en utilisant le même circuit.