

## Considérations sur la conception de terminaisons LVPECL

Phillip Wissell, Ingénieur Applications Senior, Integrated Device Technology, Inc.,  
Division Timing et Synchronisation

LVPECL (Low-Voltage Positive Emitter-Coupled Logic, ou logique ECL positive basse-tension) est une technologie d'E/S, datant de l'époque où les processus semiconducteurs ne permettaient pas d'intégrer ensemble des dispositifs hautes-performances type-P et des dispositifs hautes-performances type-N. Par conséquent, des composants passifs externes sont nécessaires pour assurer le fonctionnement de dispositifs type-P dans les interfaces rapides modernes, comme HCSL ou LVDS.

Dans le cas de LVPECL, les différentes contraintes de contrôle du courant d'émetteur et de terminaison de ligne de transmission, sont rarement prises en compte pour la conception de l'étage de sortie. L'examen des fondamentaux de LVPECL, et l'analyse des terminaisons typiques pour différents drivers LVPECL, aidera les concepteurs à produire des terminaisons LVPECL à la fois robustes et dotées d'un bon rendement.

### Le driver LVPECL

Une porte LVPECL simplifiée est typiquement implémentée avec un driver à émetteur ouvert, comme illustré en Figure 1. Il n'existe aucun trajet vers la terre pour les transistors Q et nQ, qui sont tous deux éteints. Par conséquent, l'étage de sortie doit être complété par l'utilisateur avec des composants externes.

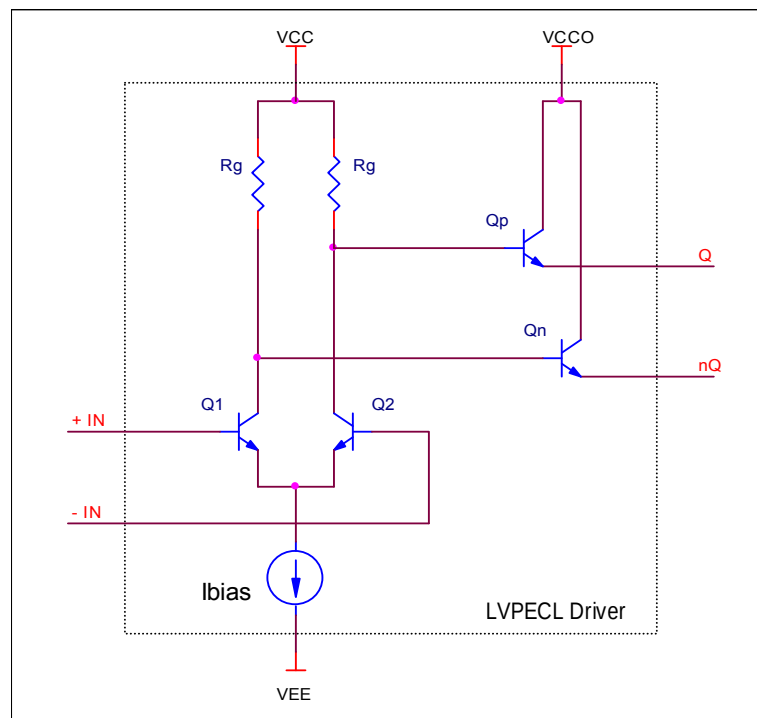


Figure Schéma équivalent d'un driver LVPECL à émetteur ouvert

### Terminaison standard

La Figure 2 illustre une terminaison LVPECL standard à couplage DC. Les courants de sortie du driver sont déterminés par les résistances externes  $Z_o$  et la tension de terminaison  $V_{TT}$ . Ces courants de sortie sont insensibles aux variations de  $V_{CCO}$ , puisque la tension de terminaison  $V_{TT}$  est générée par un régulateur -2V référencé par rapport à  $V_{CCO}$ . L'inconvénient majeur est la présence obligatoire du régulateur, même si celui-ci permet de rendre les courants de l'émetteur du driver, indépendants au premier ordre des variations de  $V_{CCO}$ .

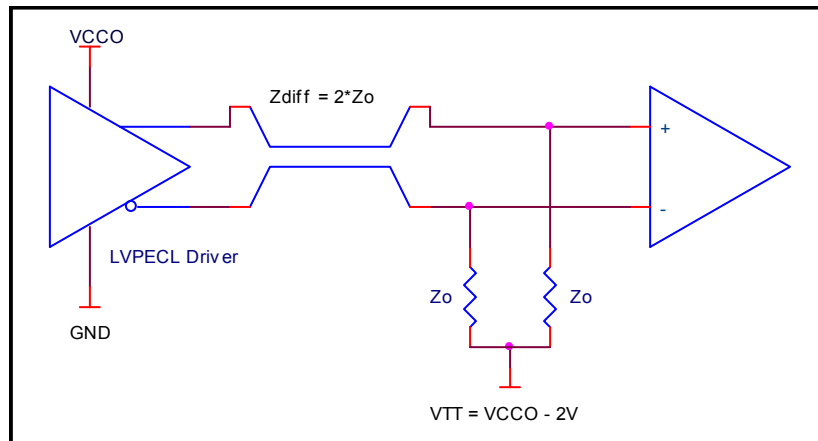


Figure Terminaison LVPECL standard

### Terminaison équivalent-Thévenin

Une terminaison équivalent-Thévenin alternative, illustrée en Figure 3 pour une alimentations 3.3V ou 2.5V, élimine le besoin de régulateur, en générant la tension  $V_{TT}$  grâce à deux chaînes de résistances, mais présente des inconvénients :

La chaîne polarisée constituée des résistances  $R_1$  et  $R_2$  en Figure 3 consomme fortement pour générer la tension de Thévenin. Cette pénalité de consommation dépend des tensions  $V_{oh}$  et  $V_{ol}$  du driver considéré ; voir la section "Pour comprendre ces courbes, si  $R_g/(\beta + 1) = 0$ , alors  $\beta$  est très grand et  $R_g$  est petit ( $I_{bias}$  en Figure 1 est élevé). Dans ce cas limite, les fonctions de transfert ne dépendent que des résistances externes. De manière plus réaliste, si  $I_{bias} = 0.5$  mA,  $R_g = 1.6$  kohms et  $\beta = 100$ , donc  $R_g/(\beta + 1) \approx 16$ .

- 1) " plus loin.
- 2) Une partie des variations de  $V_{CCO}$  sont injectées dans la tension  $V_{TT}$  équivalent-Thévenin par le diviseur de tension de polarisation ; 39% si  $V_{CCO} = 3.3$ V et 20% si  $V_{CCO} = 2.5$ V. Par conséquent la tension  $V_{TT}$  n'est correcte qu'à  $V_{CCO}$  nominale, et le contrôle des courants d'émetteur n'est pas aussi efficace qu'avec une terminaison standard où  $V_{TT} = V_{CC} - 2.0$ V.

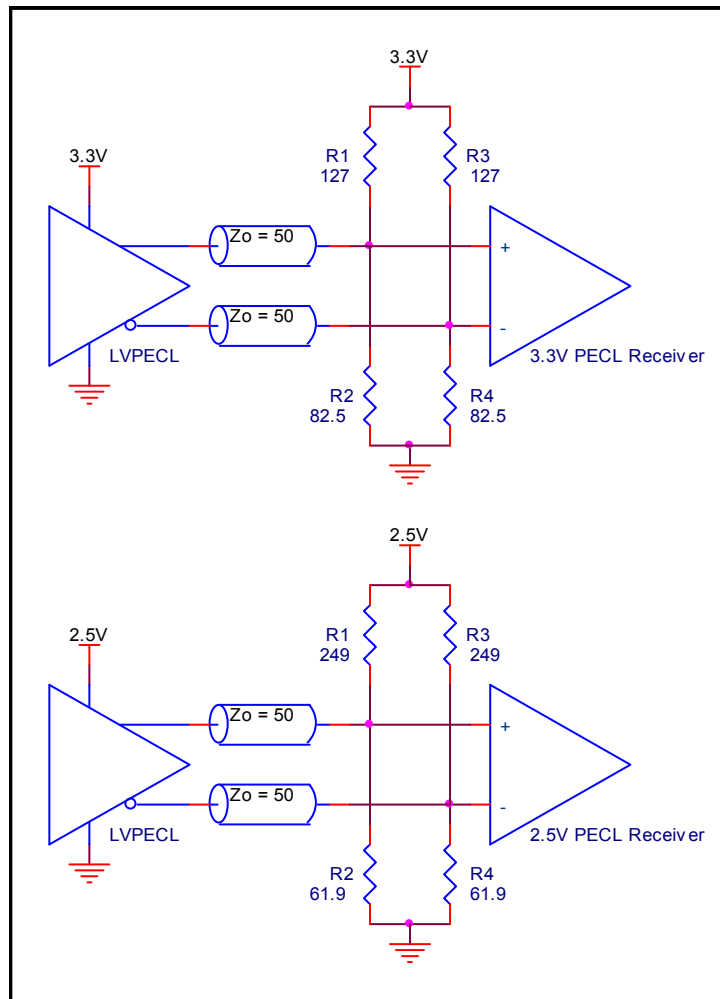


Figure Terminaisons LVPECL équivalent-Thévenin 3.3V et 2.5V

### Terminaison T

Un réseau de résistance en T, comme illustré en Figure 4, permet de surmonter plusieurs des inconvénients de la terminaison Thévenin. La tension en mode commun aux bornes de  $R_{TT}$  est dénommée  $V_{TT}$  par similitude avec la  $V_{TT} = V_{CCO} - 2.0V$ . Rappelez-vous qu'une valeur spécifique de tension  $V_{TT}$  n'est pas un critère de conception ;  $V_{TT}$  n'est jamais "vue" par le récepteur LVPECL, seules les tensions d'émetteur le sont.  $V_{TT}$  n'est important que pour la terminaison standard, parce que  $V_{TT}$  fournit  $V_{CCO}$  à cette terminaison, pour contrôler les courants d'émetteur. En revanche, la terminaison T assure le contrôle des courants d'émetteur, grâce à un asservissement négatif. La tension  $V_{TT}$  de la **Error! Reference source not found.** est déterminée indirectement par les niveaux  $V_{oh}$  et  $V_{ol}$  du driver LVPECL concerné, et par le courant d'émetteur minimum choisi par le concepteur, pour la sortie 0 logique du driver.

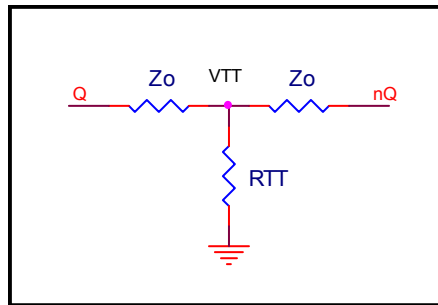


**Figure 4** Réseau de terminaison LVPECL en T

- 1) La terminaison en T est alimentée directement par les courants du driver, éliminant ainsi la pénalité de consommation de la chaîne de polarisation Thévenin.
- 2) La fraction des variations de  $V_{CCO}$  renvoyée à la tension  $V_{TT}$  du réseau T, par l'impédance en mode commun, est supérieure à celle envoyée par le réseau de Thévenin, d'où un meilleur contrôle du courant d'émetteur. Voir plus loin la section "Contrôle du courant d'émetteur" pour plus de détails.
- 3) L'impédance en mode commun, et donc l'asservissement négatif, peut être ajustée pour stabiliser le courant de driver vis-à-vis des variations de  $V_{oh}$  et  $V_{ol}$  induites par les variations de  $V_{CCO}$ , de température et de dispositif.

### Terminaison Pi

Les relations Wye-Delta bien connues pour les réseaux de résistances peuvent être utilisées pour générer une terminaison équivalent Pi à partir d'une terminaison T. Les valeurs de composants du réseau Pi en fonction du réseau T, sont données en Figure **Error! Reference source not found.5** ci-dessous.

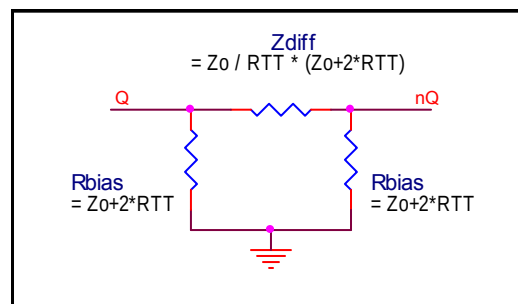


**Figure 5** Réseau de terminaison Pi

La terminaison Pi, peu utilisée, présente un avantage par rapport à la terminaison T ; elle peut être implantée complètement sur la couche supérieure. La résistance en mode commun du T doit être routée sur une autre couche que celle du dessus.

### Contrôle du courant d'émetteur

La terminaison T autorise un meilleur contrôle des courants d'émetteur, que la terminaison Thévenin. La terminaison Thévenin assure la stabilisation du courant, en transmettant une fraction  $\alpha$  de la

variation de  $V_{cc0}$ , à la tension  $V_{TT}$  générée par la terminaison. Par opposition, la terminaison T asservit la tension en mesurant le courant d'émetteur qui passe à travers la résistance d'émetteur, comme dans le cas d'une poursuite d'émetteur.

Cette différence de performance peut s'observer en construisant les circuits de chaque terminaison pour une variation de  $V_{cc0}$  comme le montre la Figure 6 ci-dessous. Pour chaque terminaison, le circuit commence avec  $V_{cc0}$ , traverse  $R_g$ , la jonction base-émetteur du transistor de sortie correspondant, et enfin la terminaison pour laquelle  $R_g$  correspond au trajet du courant d'émetteur. La résistance de propagation de base a été fusionnée avec la résistance de réglage de gain  $R_g$ , pour simplifier. Le courant  $I_{CC0}$  de Thévenin est égal à la moitié du courant total, puisqu'il y a deux chaînes polarisation.

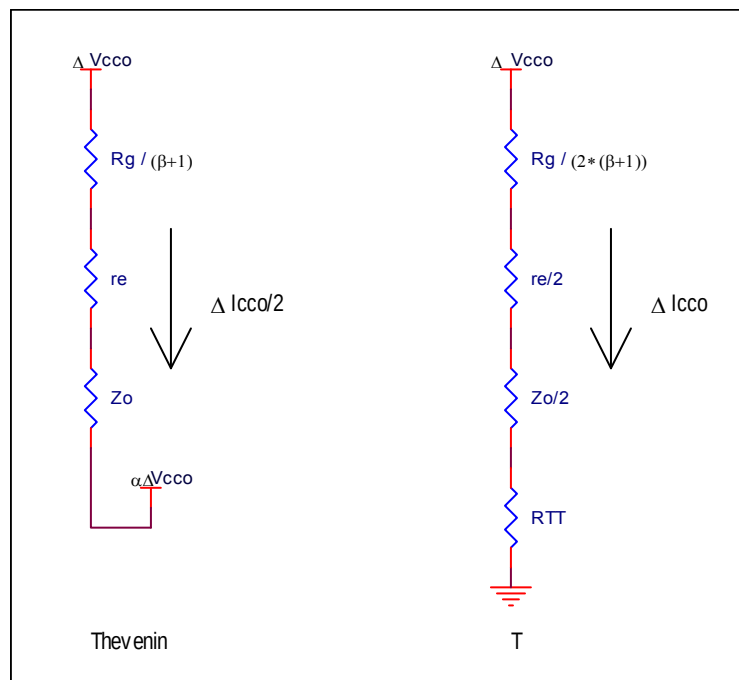


**Figure 6** Circuits de contrôle de courant d'émetteur, pour terminaison Thévenin et pour terminaison T

La fonction de transfert de chaque circuit peut être déduite immédiatement de la Figure 8. La dénomination "re" a été écartée dans chaque fonction de transfert, compte tenu de sa faible valeur par rapport à  $R_g$  et à  $Z_o$ . En outre, la faible valeur de "re" signifie que les demi-circuits équivalents du transistor 1 logique, et du transistor 0 logique de la terminaison de T, sont identiques.

Thévenin

Voir  
Figure 3

T

Etant donné que les valeurs  $R_g$  et  $\beta$  dépendent de la conception et du fonctionnement interne du driver LVPECL, ces deux fonctions de transfert ont été tracées en fonction de  $R_g/(\beta + 1)$  en Figure 8 ci-dessous, pour  $V_{CCO} = 3.3V$  et  $R_{TT} = 77$  ohms, en prévision de la section "Etude de cas" ci-dessous.

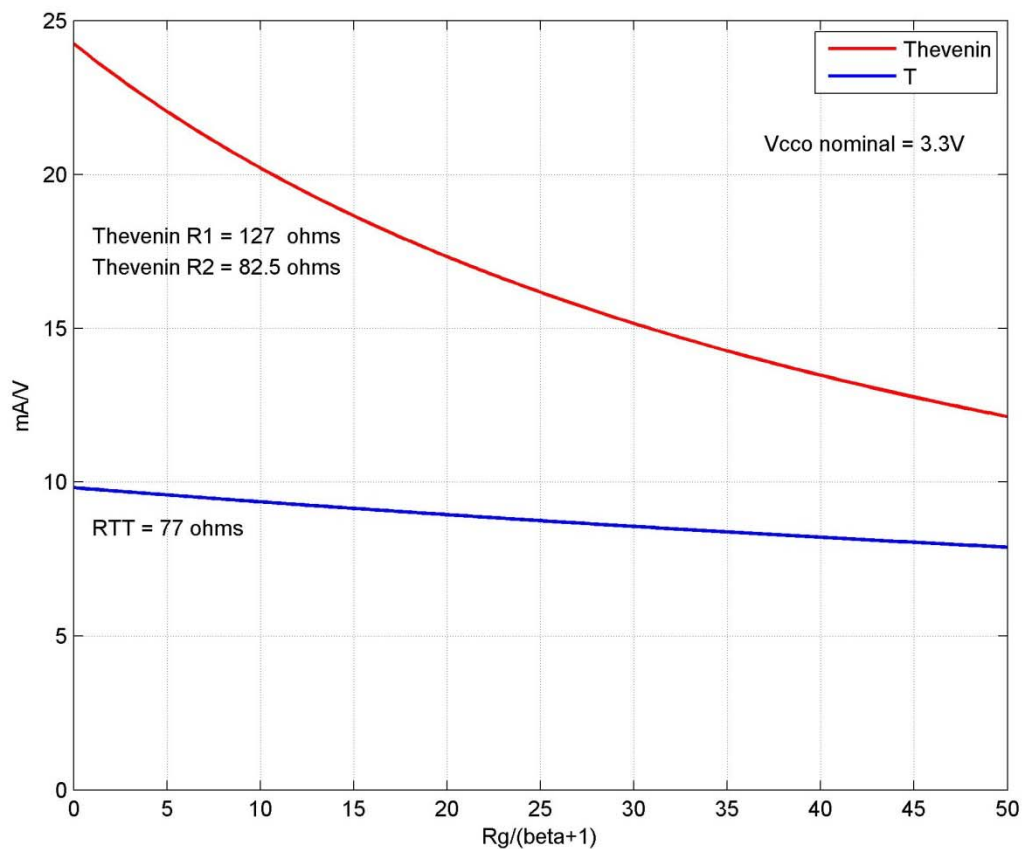


**Figure Variation du courant d'émetteur en fonction de  $V_{CCO}$ , pour terminaisons Thévenin et T**

Pour comprendre ces courbes, si  $R_g/(\beta + 1) = 0$ , alors  $\beta$  est très grand et  $R_g$  est petit ( $I_{bias}$  en Figure 1 est élevé). Dans ce cas limite, les fonctions de transfert ne dépendent que des résistances externes. De manière plus réaliste, si  $I_{bias} = 0.5 \text{ mA}$ ,  $R_g = 1.6 \text{ kohms}$  et  $\beta = 100$ , donc  $R_g/(\beta + 1) \approx 16$ .

### Étude de cas

Deux différents drivers LVPECL du marché avec des valeurs de  $V_{oh}$  et  $V_{ol}$  différentes sont comparés, avec  $\pm 5\%$   $V_{CCO}$  pour chaque terminaison. La terminaison T est optimisée pour obtenir le meilleur compromis entre vitesse de commutation et consommation, pour chaque dispositif en concevant le circuit de sorte à obtenir un minimum de 2 mA de courants d'émetteur 0 logique, quand  $V_{CCO}$  est à  $-5\%$ . Pour chaque cas, les valeurs du tableau sont calculées en utilisant KVL et KCL. Dans chaque cas, la puissance est calculée pour le driver et la terminaison, pour une prise en compte globale.

Comme on peut le voir dans le Tableau 1 ci-dessous, la liberté de choisir  $R_{TT}$  dans le cas de la terminaison T, donne une souplesse de conception permettant de diminuer le courant total du driver, tout en garantissant une valeur minimum de courant d'émetteur 0 logique. Ce n'est pas le cas des valeurs de résistance fixe de la terminaison Thévenin. Notez les grandes fluctuations du courant d'émetteur 0 logique en fonction de  $V_{CCO}$  et du dispositif pour la terminaison Thévenin à composant fixe. Si les variations dues au fonctionnement du dispositif et à la température sont également prises en compte, la différence dans les deux types de terminaison devient bien plus importante.

Tous les courants et les tensions sont calculés avec des valeurs typiques de  $V_{oh}$  et  $V_{ol}$  provenant des fiches techniques dans le cas d'une alimentation 3.3V. On a supposé que la variation de  $V_{oh}$  et de  $V_{ol}$  en fonction de  $V_{CCO}$  était de 1 pour 1, dans la mesure où les fiches techniques n'indiquent pas d'autres chiffres. Par conséquent ces cas reviennent à fixer  $R_g/(\beta + 1) = 0$ . Les courants sont exprimés en mA et les puissances en mW.

| Terminaison Thévenin             | Dispositif 1 | Dispositif 2 |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| Vcco                             | 3.135        | 3.135        |
| Tension 1 logique                | 2.185        | 2.185        |
| Tension 0 logique                | 1.485        | 1.485        |
| Excursion logique SE             | 0.70         | 0.65         |
| Courant pull-up 1 logique        | 7.48         | 9.45         |
| Courant pull-up 0 logique        | 12.99        | 14.57        |
| Courant d'émetteur 1 logique     |              |              |
| Courant d'émetteur 0 logique     |              |              |
| Puissance du driver              |              |              |
| Puissance de la terminaison      |              |              |
| Puissance totale                 |              |              |
| Vcco                             | 3.135        | 3.135        |
| Tension 1 logique                | 2.185        | 1.935        |
| Tension 0 logique                | 1.485        | 1.285        |
| Excursion logique SE             | 0.70         | 0.65         |
| Courant pull-up 1 logique        | 7.48         | 9.45         |
| Courant pull-up 0 logique        | 12.99        | 14.57        |
| Courant d'émetteur 1 logique     | 19.00        | 14.01        |
| Courant d'émetteur 0 logique     | 5.01         | 1.01         |
| Puissance du driver              | 75           | 47           |
| Puissance de la terminaison      | 64           | 75           |
| Puissance totale                 | 139          | 122          |
| Fonction de transfert            |              |              |
| Delta Vcco                       | 0.3          | 0.3          |
| Delta 1 logique                  | 4.0          | 4.0          |
| Delta 0 logique                  | 4.0          | 4.0          |
| Delta Icco / Delta Vcco (mA / V) | 24.2         | 24.2         |

| Terminaison T                    | Dispositif 1 | Dispositif 2 |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| Vcco                             | 3.135        | 3.135        |
| Tension 1 logique                | 2.185        | 2.185        |
| Tension 0 logique                | 1.485        | 1.485        |
| Excursion logique SE             | 0.70         | 0.65         |
| VTT                              | 1.39         | 1.19         |
| RTT                              | 77           | 70           |
| Courant 1 logique                | 16.00        | 15.00        |
| Courant 0 logique                | 2.00         | 2.00         |
| Puissance totale                 | 56           | 53           |
| Vcco                             | 3.135        | 3.135        |
| Tension 1 logique                | 2.185        | 1.935        |
| Tension 0 logique                | 1.485        | 1.285        |
| Excursion logique SE             | 0.70         | 0.65         |
| VTT                              | 1.39         | 1.19         |
| RTT                              | 77           | 70           |
| Courant d'émetteur 1 logique     | 16.00        | 15.00        |
| Courant d'émetteur 0 logique     | 2.00         | 2.00         |
| Puissance totale                 | 56           | 53           |
| Fonction de transfert            |              |              |
| Delta Vcco                       | 0.3          | 0.3          |
| Delta 1 logique                  | 1.6          | 1.7          |
| Delta 0 logique                  | 1.6          | 1.7          |
| Delta Icco / Delta Vcco (mA / V) | 9.8          | 10.6         |

**Tableau 1 Comparaison des terminaisons Thévenin et T pour deux drivers différents**

## Conclusion

A l'origine, LVPECL était une norme d'E/S rapide, alors que les technologies de fabrication de semiconducteurs étaient moins performantes qu'aujourd'hui. Des composants passifs externes sont nécessaires pour assurer une bonne terminaison au driver LVPECL, mais doivent être conçus de telle sorte à compléter les niveaux logiques de sortie du driver,  $V_{oh}$  et  $V_{ol}$ . On sait que les réseaux de terminaison classiques présentent des inconvénients. L'utilisation de réseaux de résistances en Pi ou en T permet de surmonter ces inconvénients, et d'obtenir des circuits plus facilement adaptables, et offrant un meilleur rendement.