

## 5 PICOSECONDES ET LE COMPTE À REBOURS CONTINUE !

Une nouvelle architecture pour un convertisseur temps-numérique (TDC) – un TDC avec plusieurs cycles Vernier successifs et plusieurs oscillateurs en anneau.

### Contexte

Un convertisseur temps-numérique (TDC, de l'anglais) est un circuit électronique qui convertit le temps en un code numérique utilisé par les circuits numériques (un chronomètre très précis). L'objectif est de mesurer le temps avec la meilleure précision possible, de l'ordre de grandeur de la picoseconde, soit un millième de milliardième de seconde ( $10^{-12}$  secondes). Il existe de nombreuses architectures de TDC, mais peu d'entre elles peuvent offrir de bonnes performances pour les cinq exigences clés que sont la faible surface, la faible consommation d'énergie, la faible gigue de synchronisation, le faible temps mort et le faible coût.

### Description

Cette invention change la donne pour les TDC. Son objectif est d'atteindre des performances de laboratoire pour la précision temporelle tout en bénéficiant des avantages des circuits intégrés en termes de faible coût et de faible consommation d'énergie. L'architecture privilégiée est le TDC de type Vernier basé sur des oscillateurs en anneau. Des modifications des architectures actuelles sont nécessaires pour minimiser le nombre de cycles tout en réduisant la taille du circuit. Cette invention utilise plusieurs processus Vernier successifs basés sur un seul oscillateur de référence. Elle propose un oscillateur de référence + 1 oscillateur supplémentaire par processus Vernier. Ce concept de Verniers multiples minimise considérablement le nombre de cycles de Vernier (facteur de réduction jusqu'à 50), ce qui est critique pour les mesures de faible gigue de synchronisation. Il permet donc de réduire le nombre de tours effectués, d'améliorer la précision temporelle et de réduire le temps de conversion, sans perdre l'information de "timing".

### Applications

- Les applications qui bénéficieront des caractéristiques améliorées de ce nouveau TDC sont nombreuses :

- Imagerie médicale
    - Avantages – dose plus faible pour le patient, meilleur contraste, débit plus élevé et reconstruction 3D en temps réel.
  - Détecteurs de proximité, caméras 3D et LiDAR automobile
    - Avantages – Meilleure résolution spatiale et meilleure précision temporelle.
  - Cryptographie quantique
    - Avantages – Miniaturisation des systèmes pour une production à grande échelle.
  - Équipements de laboratoire
    - Avantages – Réduction significative des coûts de fabrication.
- Les marchés pour les TDC sont variés et immenses :
- Caméras 3D grand public - ~13,8 milliards de dollars US d'ici 2023
  - LiDAR industriel et automobile - ~6,3 milliards de dollars US d'ici 2023
  - Imagerie médicale - ~35 milliards de dollars US d'ici 2022
  - Cryptographie quantique - ~0,94 milliard de dollars d'ici 2022
  - Microscopie de fluorescence - ~0,53 milliard de dollars d'ici 2023

## Avantages

- Réduction considérable du nombre de cycles de Vernier par rapport à un TDC à Vernier unique.
- Amélioration de la précision temporelle (~1ps)
- Miniaturisation du circuit (p. ex.: 256 TDCs dans un détecteur de 1mm<sup>2</sup>)
- Réduction du temps de conversion. Consommation d'énergie réduite.
- Un TDC plus rapide à un meilleur prix - voir la figure 1.
- Précision temporelle similaire à celle des TDC de table, mais avec une consommation d'énergie minimale et un coût inférieur – permettant la concurrence sur les marchés des systèmes LiDAR et d'imagerie 3D.
- Plus précis que tous les autres TDC à circuit intégré.
- Beaucoup moins cher que tous les autres TDC de laboratoire.

Products	Specifications							Number of channels
	1) Timing Jitter (RMS)	2) Dead Time	3) Area		4) Power Consumption	5) Cost (CAD)/Unit	5) Cost/CH	
			Silicon Area	Packaged Size				
<b>Integrated Circuits</b>								
Patent Pending TDC (expected results)	< 5 ps (1 ps bin)	15 ns	0.0025 mm <sup>2</sup>	6 × 6 mm <sup>2</sup>	< 0.1 mW	22.50 \$ *	2.82 \$	8
Current TDC	5.5 ps (5.1 ps bin)	50 ns	0.0025 mm <sup>2</sup>	6 × 6 mm <sup>2</sup>	0.022 mW	22.50 \$ *	2.82 \$	8
B. Markovic, 2017	17.2 ps (10 ps bin)	150 ns	0.3 mm <sup>2</sup>	N/A	15 mW	N/A	N/A	1
TI - TDC7201	35 ps (55 ps bin)	N/A	N/A	4 × 4 mm <sup>2</sup>	~10 mW	6.69 \$	3.35\$	2
MAX35101	20 ps (3.8 ps bin)	N/A	N/A	5 × 5 mm <sup>2</sup>	~21 mW	8.70 \$	4.35\$	1
AMS - AS6500	20 ps (1 ps bin)	20 ns	N/A	6 × 6 mm <sup>2</sup>	~108 mW	23.80 \$	5.95\$	4
AMS - AS6501	20 ps (1 ps bin)	20 ns	N/A	9 × 9 mm <sup>2</sup>	~212 mW	26.00 \$	13.00\$	2
AMS - TDC-GPX	75 ps (81 ps bin)	100 ns	N/A	9 × 9 mm <sup>2</sup>	~79 mW	241.27 \$	30.16 \$	8
AMS - TDC-GPX2	20 ps (1 ps bin)	20 ns	N/A	9 × 9 mm <sup>2</sup>	~212 mW	82.82 \$	20.71 \$	4
<b>Bench Top Equipments</b>								
Bench top with patent pending TDC	< 5 ps (1 ps bin)	15 ns		N/A	N/A	6k\$	750 \$	8
Becker-Hickl SPC-150NXX	1 ps (200 fs bin)	100 ns		24 cm × 13 cm × 1.5 cm	12 W	33k\$	33k\$	1
Swabian Instruments - Time Tagger UH	9 ps (1 ps bin)	16 ns		19 cm × 14 cm × 6 cm	N/A	55.4k\$	6.9k\$	8
Qutools - quTAG	10 ps (1 ps bin)	40 ns		44 cm × 30 cm × 5 cm	N/A	22.2k\$	5.5k\$	4
Picoquant - HydraHarp 400	12 ps (1 ps bin)	80 ns		N/A	50 W	72k\$	18k\$	4

Figure 1 - Cette invention comparée aux TDCs à circuits intégrés et aux TDCs de banc d'essai concurrents.

## Mots clés

- Vernier, oscillateur en anneau, interpolation double, mesures successives, mesures d'intervalles de temps, imagerie par durée de vie de la fluorescence (FLIM), imagerie par durée de vie de la phosphorescence (PLIM), fluorescence résolue dans le temps, tomographie optique diffuse (DOT), synchronisation de photons uniques corrélée au temps (TCSPC), systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS).

## Niveau de maturité technologique (TRL)

- TRL 5-6

- o Solution prête à être transférée à l'industrie.
- o Objectif de 1 picoseconde - Les inventeurs continuent leur travail sur l'amélioration des performances avec un objectif de 1ps.
- o Le dernier prototype contient plusieurs procédés Vernier et est prêt pour une démonstration aux partenaires intéressés.
- o Développements également de systèmes contenant ces TDC avec des circuits connexes tels que des diodes à avalanche à photons uniques (SPAD) et d'autres applications.

- Entreprises ciblées

- o Texas Instruments, Swabian Instruments, AMS Electronics, Teledyne Dalsa, Becker-Nickels, Canberra Packard, Analog Devices, TSMC, etc.

## Propriété intellectuelle

- Brevet international PCT déposé.



200-35, Radisson  
Sherbrooke QC J1L 1E2  
CANADA

t 819 821-7961

### Opportunité

- Partenaires de développement et de collaboration. Partenaires commerciaux.  
Licences. Investissements.

### Contact de l'inventeur

Professor Jean-François Pratte

Université de Sherbrooke

[Jean-Francois.Pratte@USherbrooke.ca](mailto:Jean-Francois.Pratte@USherbrooke.ca)

### Contact chez TransferTech Sherbrooke

François Nadeau

[f.nadeau@transfertechn.ca](mailto:f.nadeau@transfertechn.ca)

873 339-2028

[www.transfertechn.ca](http://www.transfertechn.ca)

