

# PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DU LVDT

## Technical Paper

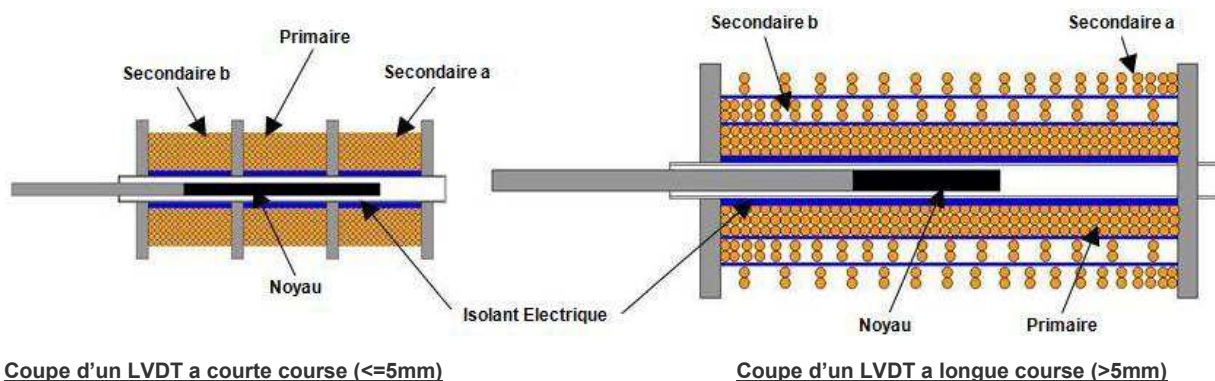
### Introduction et objectif

Le **LVDT** (*Linear Variable Differential Transformer*), est un capteur de position/déplacement absolu qui convertit une distance à partir d'une référence mécanique (zéro, ou *position Nul*) en un signal électrique proportionnel qui contient les informations de phase (pour la direction) and amplitude (pour la distance). Le fonctionnement du LVDT ne nécessite pas de contact électrique entre la partie mobile (sonde ou assemblage de *noyau*) et l'assemblage de bobine, mais repose plutôt sur l'induction magnétique; ce principe plus le fait que les LVDT peuvent fonctionner sans circuit électronique intégré, sont les raisons principales pour lesquelles ils ont été largement utilisés dans des applications où la longévité et la haute-fiabilité dans les environnements très sévères sont requises, telles que dans le militaire et l'aérospatiale, les contrôles de procédés, l'automatisation, la robotique, le nucléaire, les usines chimiques, l'hydraulique, les turbines de puissance, et beaucoup d'autres.

L'objectif de ce document est d'apporter des notions techniques supplémentaires aux clients qui désirent une meilleure maîtrise des LVDT, aussi bien qu'aux ingénieurs qui conçoivent ou spécifient des [conditionneurs des signaux](#).

### Construction

Le LVDT est constitué d'un bobinage primaire sur toute la longueur d'un *tube central* non-ferromagnétique ou bien d'une carcasse en matière non-conductrice (normalement en matériau plastique ou céramique). Deux bobinages secondaires sont placés symétriquement autour de la bobine primaire pour les LVDT à longues courses (comme pour les tiges de vérins), ou bien de chaque côté du bobinage primaire pour les LVDT à courtes courses (comme pour les servo-vannes électrohydrauliques ou EHSV). Les deux secondaires sont typiquement connectés en série opposée (Différentiel). Un noyau ferromagnétique, dont la longueur est une fraction de celle de l'assemblage de bobine, assure le couplage magnétique entre les spires primaires et secondaires situées sur la longueur du noyau.



Malgré que les bobinages secondaires du LVDT à longue course sont montrés au-dessus l'un de l'autre dans l'illustration ci-dessus, aujourd'hui MEAS les bobine tous les deux en même temps, avec des machines informatisées à double guide conçues sur mesure. Cette méthode réduit le temps de fabrication, et aussi crée des enroulements secondaires avec la même résistance et une distribution symétrique des capacités, par conséquent permet de meilleures performances (linéarité, symétrie de phase, une tension résiduelle au zéro réduite, etc.).

## Principes de fonctionnement

Lorsque la bobine primaire est excitée avec une tension sinusoïdale ( $V_{in}$ ), cette tension produit un courant dans les enroulements, en fonction de l'impédance d'entrée. Ce courant variable génère un flux magnétique variable qui, canalisé par le noyau ferromagnétique à haute-perméabilité, induit des tensions sinusoïdales  $V_a$  et  $V_b$  dans les bobines secondaires. Alors que les bobinages secondaires sont conçus pour que l'amplitude de la tension différentielle ( $V_a - V_b$ ) soit proportionnelle à la position du noyau, le déphasage, ou phase de ( $V_a - V_b$ ) par rapport à l'excitation détermine la direction à l'écart du zéro. Le zéro, ou Position Nulle, est par définition la position du noyau où le déphasage de la tension différentielle ( $V_a - V_b$ ) est de 90 degrés.

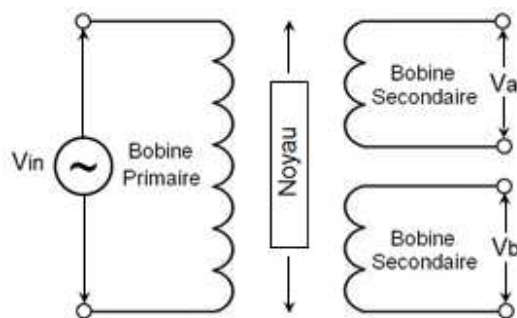
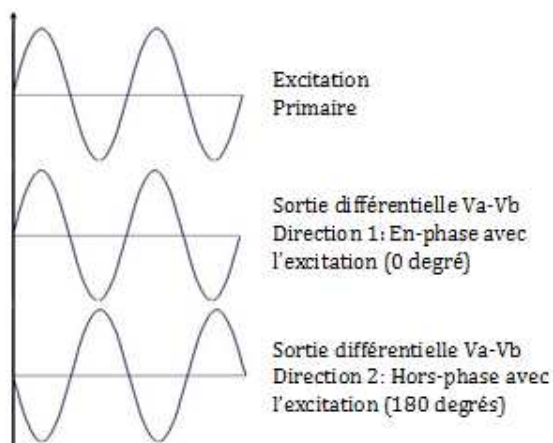


Schéma du LVDT

Le signal différentiel ( $V_a - V_b$ ) lorsque le noyau est à la position Nulle est une tension résiduelle en quadrature, puisque le déphasage est de 90 degrés par définition. Cette tension est faible; elle est causée par la nature complexe du modèle électrique du LVDT, lequel inclut les capacités parasites des bobinages. Cette complexité explique également pourquoi le déphasage de ( $V_a - V_b$ ) n'est pas exactement 0 ou 180 degrés lorsque le noyau est déplacé à l'écart de la position Nulle.

Le déphasage est très important, puisque de nombreux conditionneurs de signaux emploient la démodulation synchrone pour obtenir une sortie en courant continu avec la fonction de transfert suivante: **La tension RMS de ( $V_a - V_b$ ) multipliée pas le cosinus du déphasage**. Cette méthode est un des meilleurs moyens d'obtenir un signal précis et linéaire (en particulier autour de la position Nulle) dans un système de mesure utilisant un LVDT. Elle permet également d'utiliser le nombre minimum de connexions électriques au LVDT, puisque seulement 4 sont requises (2 pour l'excitation et 2 pour la sortie différentielle; les secondaires étant connectés en série opposée au niveau du LVDT). Un inconvénient de cette technique est que le déphasage doit être suffisamment faible pour éviter d'augmenter le bruit de fond dans le démodulateur et une chute de signal trop importante (à cause du cosinus dans la fonction de transfert). Pour éliminer ces effets défavorables, MEAS offre des instruments électroniques qui intègrent un **circuit électronique de compensation de phase** pour la ramener le déphasage à zéro.

Dans certains cas il est avantageux d'utiliser la somme des secondaires, ( $V_a + V_b$ ) comme référence pour le déphasage de ( $V_a - V_b$ ). Cependant, il faut s'assurer que le LVDT soit conçu avec des bobinages qui fournissent une somme raisonnablement constante le long de la course à mesurer. L'avantage de cette méthode est que le déphasage entre le signal différentiel et la somme est très faible, donc il n'est pas nécessaire de le compenser. Cependant, au moins 5 connexions électriques au LVDT sont nécessaires. Les conditionneurs de signaux [LVM-110](#) and [LIM-420](#) de MEAS fonctionnent de cette façon.



Signaux du LVDT

### Les effets de la température et leurs causes

Alors que le coefficient en température de la sensibilité (la sensibilité est la tension de sortie par unité de déplacement) est principalement déterminé par le nombre de spires dans les bobinages, la résistance des enroulements, la géométrie du noyau, et la résistivité et perméabilité des métaux utilisés dans la construction du LVDT, la variation de la position Nulle avec la température dépend principalement des coefficients de dilatation et des longueurs des matériaux. La position Nulle est donc une référence extrêmement prévisible et répétable. Du fait que les points de fixation dans l'application ont leurs propres effets à la température, en fonction des matériaux utilisés dans l'interface mécanique, un LVDT avec une très faible variation de position Nulle avec la température n'est en général pas désirable; une variation de position Nulle qui suit les mouvements des points de fixation en fonction de la température est préférable.

### Fonctionnement "Ratiométrique" pour faible coefficient de température

Un LVDT peut être conçu pour maintenir une somme des tensions secondaires ( $V_a + V_b$ ) constante sur toute la course à mesurer. En utilisant un circuit de conditionnement des signaux qui calcule le rapport différence divisée par somme  $R = (V_a - V_b) / (V_a + V_b)$ , on peut voir que le coefficient de température peut être considérablement réduit (en principe), comme le confirment les équations suivantes :

Tensions secondaires en fonction de la température:  $V_a(t) = V_a(20^\circ\text{C}) * C_a$ ;  $V_b(t) = V_b(20^\circ\text{C}) * C_b$

La variable "t" est la température;  $20^\circ\text{C}$  est la température de référence;  $C_a$  and  $C_b$  sont les coefficients de température de  $V_a$  et  $V_b$  respectivement.  $C_a$  et  $C_b$  supposés égaux (approximation du premier ordre  $C_a \approx C_b \approx C$ ), il s'ensuit que le rapport R est Independent de la température:

$$[V_a(t) - V_b(t)] / [V_a(t) + V_b(t)] = [V_a(20^\circ\text{C}) * C - V_b(20^\circ\text{C}) * C] / [V_a(20^\circ\text{C}) * C + V_b(20^\circ\text{C}) * C]$$

Après simplification:  $[V_a(t) - V_b(t)] / [V_a(t) + V_b(t)] \approx [V_a(20^\circ\text{C}) - V_b(20^\circ\text{C})] / [V_a(20^\circ\text{C}) + V_b(20^\circ\text{C})]$

Soit:  $R(t) \approx R(20^\circ\text{C})$

En réalité, le LVDT doit être conçu spécialement pour cette fonction ratiométrique pour obtenir les meilleures performances, dont le coefficient de température, car plusieurs autres paramètres doivent être pris en compte.

#### NORTH AMERICA

Measurement Specialties, Inc.,  
a TE Connectivity Company  
1000 Lucas Way  
Hampton, VA 23666  
United States  
Phone: +1-800-745-8008  
Fax: +1-757-766-4297  
Email: [customercare.hmpt@te.com](mailto:customercare.hmpt@te.com)

#### EUROPE

MEAS Deutschland GmbH,  
a TE Connectivity Company  
Hauert 13  
D-44227 Dortmund  
Germany  
Phone: +49-(0)231-9740-0  
Fax: +49-(0)231-9740-20  
Email: [customercare.dtmde@te.com](mailto:customercare.dtmde@te.com)

#### ASIA

Measurement Specialties China Ltd.,  
a TE Connectivity Company  
No. 26, Langshan Road  
High-tech Park (North)  
Nanshan District, Shenzhen 518057  
China  
Phone: +86-755-33305088  
Fax: +86-755-33305099  
Email: [customercare.shzn@te.com](mailto:customercare.shzn@te.com)

#### te.com/sensorsolutions

Measurement Specialties, Inc., a TE Connectivity company.

Measurement Specialties, MEAS, American Sensor Technologies, AST, TE Connectivity, TE Connectivity (logo) and EVERY CONNECTION COUNTS are trademarks. All other logos, products and/or company names referred to herein might be trademarks of their respective owners.

The information given herein, including drawings, illustrations and schematics which are intended for illustration purposes only, is believed to be reliable. However, TE Connectivity makes no warranties as to its accuracy or completeness and disclaims any liability in connection with its use. TE Connectivity's obligations shall only be as set forth in TE Connectivity's Standard Terms and Conditions of Sale for this product and in no case will TE Connectivity be liable for any incidental, indirect or consequential damages arising out of the sale, resale, use or misuse of the product. Users of TE Connectivity products should make their own evaluation to determine the suitability of each such product for the specific application.

© 2016 TE Connectivity Ltd. family of companies All Rights Reserved.