



Les calibres NTC : la révolution électronique du mouvement quartz

Pascal Lagorgette

ETA SA Manufacture Horlogère Suisse, Grenchen, Suisse

Résumé

La plateforme NTC présentée par ETA SA est un produit horloger innovant répondant aux attentes de notre époque, où tout doit être simple et immédiat. Ce mouvement quartz est assisté électroniquement ce qui lui permet de toujours afficher la date et l'heure justes de façon autonome, sans contraintes de réglage pour l'utilisateur.

Introduction

A notre époque, le consommateur attend des produits non seulement qu'ils soient fiables et esthétiques mais aussi rapides et ergonomiques. En horlogerie, il était grand temps de proposer une montre toujours à la bonne heure et à la bonne date, sans toutefois avoir la contrainte d'être connectée à un réseau.

La tendance dans le domaine automobile nous le rappelle, nous voulons des véhicules toujours plus autonomes. Notre réponse est claire : ouvrir une nouvelle voie pour un nouveau genre de mouvements. La révolution électronique du mouvement quartz se dévoile dans NTC, abréviation de calibre NéoTronics (*Néo* signifiant le renouveau et *Tronics* pour électronique).

NTC affranchit le consommateur de réglages laborieux grâce à un bouquet de technologies embarquées. Il garantit pour le consommateur final, entre autres, une précision exemplaire à +/- 5 secondes par an (exclusivité Longines), et une utilisation simplifiée. On peut le décrire comme une plateforme se métamorphosant en différents produits, du trois aiguilles au chronographe, avec quantième perpétuel, compensation des chocs, compensation des champs magnétiques (exclusivité Longines), et couronne électronique. Les mouvements possèdent un diamètre de 28.20 ou de 30mm et une épaisseur de 3.90 ou de 4.20mm selon les versions.

Approche

Avec NTC, nous évoluons d'une électronique ignorant l'heure et générant une impulsion par seconde à un système piloté par un logiciel contrôlant tous les organes de la montre. Ce dernier, en

plus de connaître l'heure absolue, gère les actions utilisateurs et les événements extérieurs, afin de garantir un affichage juste en toutes circonstances, sans désavantager la taille et l'autonomie du mouvement. Cette nouvelle approche est plus complexe qu'il n'y paraît et génère de multiples besoins technologiques, à l'image des voitures autonomes qui ont besoin de commandes électriques, de capteurs inertiels et de systèmes de vision pour pouvoir exister.

Pour notre mouvement, nous avons d'abord décidé de remplacer la liaison mécanique entre la couronne et les aiguilles par une commande purement électronique. Le module couronne génère un signal électrique transformé en rotation angulaire elle-même convertie en rotation moteur. Afin d'avoir une rotation des aiguilles proche du ressenti d'une montre traditionnelle, il est nécessaire d'avoir une résolution angulaire assez fine et des moteurs extrêmement rapides, dynamiques et bidirectionnels. Pour atteindre cette dynamique, outre le nouveau driver moteur deux fois plus rapide, chaque aiguille doit être indépendante des autres et posséder son propre moteur. Cette contrainte a aussi pour conséquence de réduire les rapports de réduction et donc les balourds aiguilles. Les technologies de détection de choc et de position permettent d'y remédier. Le pilotage des aiguilles étant électrique, le système doit donc connaître la position exacte des aiguilles afin de faire correspondre l'heure et la date calculée par l'IC (circuit intégré) avec l'heure et la date affichée. La DPR (détection de position rouages) permet de déterminer la position des aiguilles, garantissant ainsi l'affichage de l'heure et la bonne synchronisation des aiguilles heure/minute/seconde. La DPD (détection de position du disque) joue le même rôle pour le disque quantième.

L'interdépendance des contraintes rend la problématique complexe, c'est pourquoi ETA SA a développé une démarche R&D inspirée des méthodes agiles. Pour chaque sous-ensemble, nous avons systématiquement développé plusieurs solutions basées sur des technologies orthogonales. Ainsi, nous avons pu sélectionner la technologie la plus adaptée aux besoins, mais nous avons également pu, à tout moment du projet, recombinaison les technologies pour améliorer la solution.

En outre, nous n'avons pas misé sur les solutions les plus simples ou les plus rapides à développer, mais plutôt sur celles qui sont robustes et pouvant le mieux s'adapter aux évolutions du design. L'équipe de développement NTC est avant tout pluridisciplinaire, afin d'étudier toutes les approches et d'offrir la meilleure combinaison de technologies possible, pour un produit final répondant aux exigences de nos clients.

Intelligence embarquée

La couronne électronique

C'est une interface électronique, et non plus mécanique, entre le porteur et le mouvement qui permet de piloter la montre de façon parfaitement ergonomique. Les différentes positions de la couronne (tirée, repos et poussée) ainsi que leurs détections électriques sont réalisées par un profil spécifique de tirette, actionnant un système de ressorts. La rotation de la couronne est lue grâce à un aimant magnétisé radialement. Deux sondes de Hall placées judicieusement permettent d'obtenir deux signaux déphasés tout en s'affranchissant des champs magnétiques constants externes. Ces signaux sont convertis en angle de rotation absolu. Bien que la résolution angulaire puisse être très fine et atteindre le degré, une résolution de 12° est un bon compromis pour éviter l'hypermagnétisme du système. La tige peut être insérée et démontée comme une tige classique, ce qui représente l'avantage d'une compatibilité complète avec les habillages traditionnels.



Fig. 1 : Couronne électronique.

La DPR (Détection Position Rouage)

La détection de position des rouages est réalisée grâce à une mesure de capacité différentielle. Les électrodes de mesure sont directement intégrées aux pistes du circuit imprimé. La roue détectée se situe à proximité des électrodes. Une ouverture dans la roue permet de modifier le couplage capacitif entre les électrodes en fonction de sa rotation.

Le système est complexe car le signal est sensible à de nombreux paramètres comme les matériaux à proximité, le tracé des pistes du circuit imprimé, ou encore l'écart des roues. Il est possible d'atteindre une précision de détection très élevée, néanmoins, il est nécessaire de maîtriser de nombreux facteurs et de prendre en compte le système dans son intégralité lors de la mise au point. Nous atteignons une précision de détection égale à la résolution des aiguilles, soit 1° pour la minute et 6° pour la seconde. Le hardware et le software sont très élaborés de manière à compenser les variations des facteurs environnementaux.

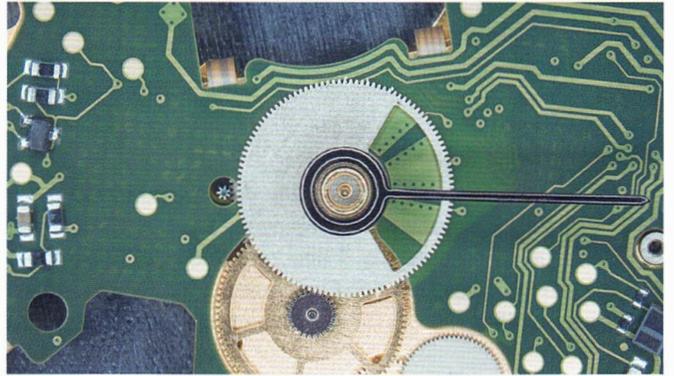


Fig. 2 : Système de détection de position de la roue (DPR). Ci-contre, l'ouverture de la roue est au-dessus des électrodes.

Quantième perpétuel (QP)

Pour réaliser un quantième perpétuel, la stratégie est d'utiliser un moteur avec deux modes de fonctionnement : le moteur pilote soit une aiguille du chronographe, soit le disque quantième. Cela réduit le nombre de moteurs dans le produit. Pour découpler les deux modes de fonctionnement, nous optons pour une transmission intermittente et irréversible. Afin d'obtenir cette intermittence, la dent de la REQ (roue entraîneuse quantième) doit être la plus centrée possible par rapport à la ZM (Zone Morte : espace entre les deux dents du disque quantième). Ce centrage en ZM, rendu possible grâce à la solution DPD (détection position disque quantième), permet au petit compteur du chronographe de tourner lors d'un chronométrage sans que la REQ ne commence à déplacer le disque de quantième. Lorsque le compteur arrive à sa pleine échelle, moins un pas, le compteur fait un tour rapide en marche arrière pour revenir à 12h. Ce tour rapide est quasi invisible grâce à la technologie PowerDrive 400. Ce principe évite que lors d'un chronométrage long, la REQ ne vienne en contact avec le disque et ne le déplace. Chaque jour à

minuit, lors du changement de date, le compteur doit effectuer 17 tours à haute vitesse afin que la REQ sorte de la zone morte et vienne déplacer le disque. Ce saut de date dure moins de deux secondes, et peut être effectué lors d'un chronométrage sans perturber ce dernier. La date est gérée par le circuit intégré. Étant donné que la position du disque est connue grâce à la DPD, il est donc possible de faire correspondre la date perpétuelle calculée par l'IC, et la date inscrite sur le disque. L'irréversibilité de la transmission est réalisée par l'ensemble sautoir et REQ. La fonction du sautoir est d'indexer la position du disque dans le guichet. Lors d'un choc rotatif, le disque se heurte sur la REQ qui fait office de butée et c'est alors dans ce cas que le sautoir joue son rôle d'indexeur afin de ramener le disque en position. Le galet du sautoir roule sur le profil spécial de la denture afin de parfaitement recentrer le disque quel que soit le sens et l'angle de sa rotation lors du choc. Ce système permet aussi d'avoir un effort résistant identique lorsque le moteur fait tourner le disque, dans un sens ou dans l'autre. Ce quantième perpétuel programmé jusqu'en 2399 est disponible de série dans les NTC.



Fig. 3: Système CQP. En haut à gauche : sautoir à galet roulant sur la denture disque. En haut à droite : REQ centrée dans la zone morte.

La DPD (détection position disque quantième)

La DPD est réalisée par un capteur optique émetteur/récepteur disposé sous le disque. Ce dernier porte un repère modifiant l'intensité lumineuse reçue par le capteur. Le disque tourne à haute vitesse (soit un tour en une minute) jusqu'à ce que le repère soit détecté. La position détectée est une position discrète, qui est déterminée par le sautoir. Pour compléter la DPD, le driver moteur effectue le centrage en zone morte, en détectant la montée du couple lorsque la REQ entre en contact avec le disque. Cette zone morte représente la course de la REQ possible lors de laquelle aucun mouvement n'est induit sur le disque de quantième (entre deux dents du disque). Ce centrage en zone morte garantit le fonctionnement de la technologie précédente, à savoir le quantième perpétuel du chronographe.

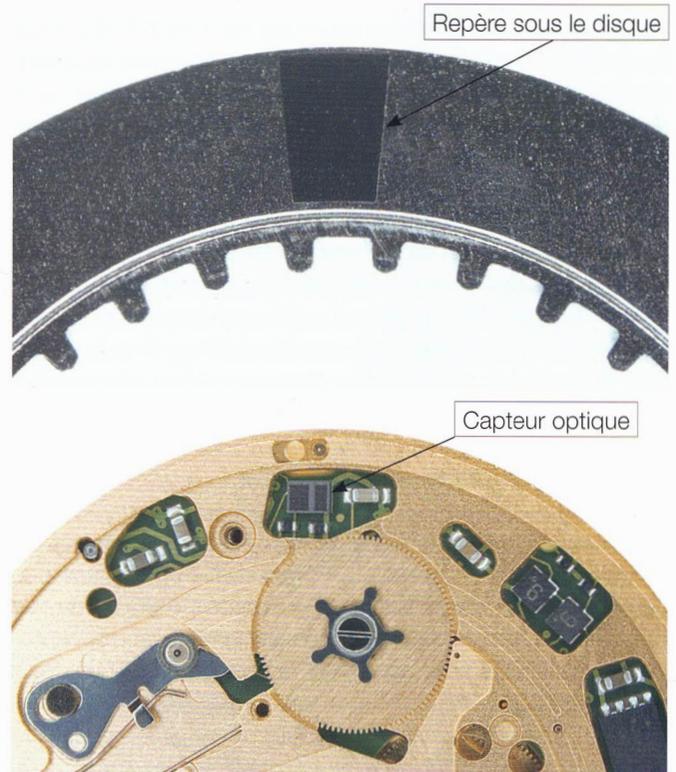


Fig. 4: Système de détection de position du disque. En haut : repère imprimé sous le disque. En bas : émetteur/récepteur optique placé sous le disque.

Moteur haute vitesse

En 2016, ETA a présenté la technologie PowerDrive 200. Aujourd'hui, le PowerDrive 400 permet de doubler la vitesse afin de pouvoir réaliser des fonctions jusqu'alors impossibles. En effet, certaines fonctions comme l'heure/minute et le disque quantième ont besoin d'un rapport de réduction élevé pour avoir un couple d'entraînement suffisant. Malgré cette contrainte, Powerdrive 400 permet d'effectuer un réglage de l'heure rapide avec la couronne électronique, ou une recherche de position du disque en seulement quelques dizaines de secondes ou encore, un saut de date en moins de deux secondes. Les performances du driver moteur sont rendues possibles grâce à l'intégration dans notre nouveau circuit intégré d'un élévateur de tension (DC/DC). Quand cela est nécessaire, la tension est élevée de 1.5 à 2.1V. Cette hausse permet l'apport d'une dynamique plus importante au rotor, qui réagit en réalisant son pas plus rapidement. La marche arrière bénéficie aussi de cette vitesse élevée.

Balourds augmentés

Pour augmenter les balourds, trois principes sont utilisés : tout d'abord, le moteur heure/minute possède un couple de positionnement très élevé. Pour tout moteur Lavet, cela a pour conséquence de dégrader la tenue aux champs magnétiques et la fiabilité de la marche arrière. L'utilisation d'un écran magnétique et du driver moteur PowerDrive 400 permettent de s'affranchir de ces points. Deuxièmement, la DPR permet de posi-

tionner la roue. Cette dernière est évidée sur environ 120°, ce qui lui confère un balourd naturel. Avant le chassage des aiguilles à 12h, les roues sont prépositionnées avec leur balourd à 6h, ce qui a pour effet de générer une contre masse pour l'aiguille. Finalement, le détecteur de choc détecte une tension induite dans la bobine du moteur lorsque celui-ci est au repos. Lors d'un choc, l'aiguille amorce une rotation, qui entraîne également le rotor par l'intermédiaire du train de rouages. Lorsque le rotor tourne dans le stator avec une certaine dynamique, une tension est générée dans la bobine. C'est la détection de cette tension qui génère une impulsion en contre-phase afin de maintenir la position du rotor et empêcher sa rotation de 180°. La réactivité du système pour ce fonctionnement est primordiale.

Circuit intégré IC9556

Ce nouvel IC permet d'élever la tension pour augmenter les performances du driver moteur PowerDrive. Il permet aussi de convertir les signaux analogiques en signaux digitaux, en vue de traiter les signaux de la couronne électronique et des photo-détecteurs utilisés pour déterminer la position du disque. Pour traiter les événements et les signaux, et synchroniser les nombreuses fonctions du système, il a fallu développer un software avec un niveau de sophistication encore jamais atteint dans un mouvement non connecté. Pour cela, la mémoire de l'IC a dû être quadruplée pour passer à 32k instructions. L'IC est capable de piloter six moteurs en mode PowerDrive, Asservi ou encore Pattern Generator. La tension minimum de fonctionnement de 1V permet d'absorber des pics de courant importants et d'utiliser des piles basse tension.

Watch Module 1324

Ce Watch Module (WM) est le successeur du WM1323, son développement fait suite au succès rencontré par ce dernier. La stratégie est d'intégrer des fonctions supplémentaires de pilotage et de contrôle du moteur plus élaborées dans l'IC, en parallèle d'une précision accrue grâce à un nouvel algorithme de thermocompensation. Il en résulte une précision typique de +/- 5 secondes par an (exclusivité pour Longines). La correction de fréquence du quartz est gérée par un polynôme d'ordre 4. En outre, le Watch Module intègre un gestionnaire de capteurs de

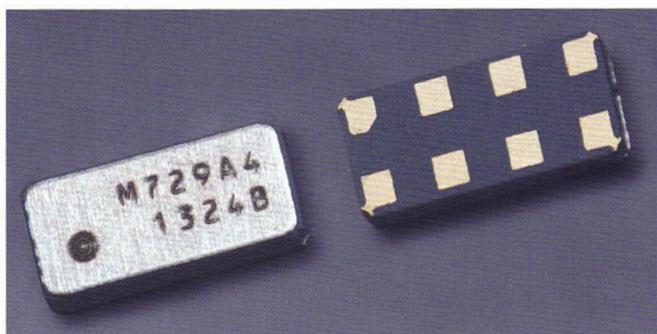


Fig. 5: Watch Module 1324, successeur du WM1323 et permettant d'atteindre une précision de +/- 5 sec/an.

champ magnétique. Ces capteurs envoient les informations au WM qui gère les impulsions motrices en fonction de la situation magnétique. La tension de fonctionnement est également de 1V minimum.

Autonomie

Considérant l'utilisation de davantage de moteurs, d'un élévateur de tension et de fonctions telles que la DPR, l'autonomie du mouvement NTC est remarquablement équivalente à un produit traditionnel. Des stratégies variées sont utilisées, telles que des systèmes de sécurité permettant de se protéger de consommations trop élevées, par exemple quand la température est proche de 0°C. De plus, l'utilisateur peut ranger sa montre dans un mode d'économie d'énergie en tirant la couronne en T2. Les aiguilles se parquent à 12h, ce qui permet d'économiser les pas moteurs, tout en conservant le calcul juste de l'heure et de la date. Ce mode ECO divise la consommation par quatre environ.

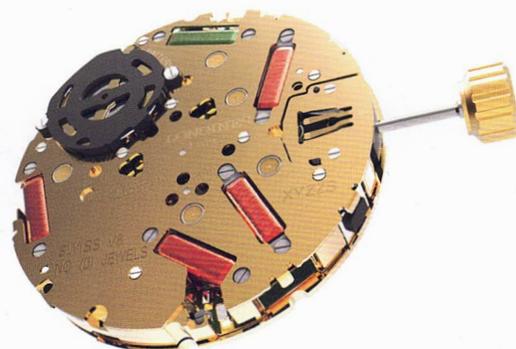


Fig. 6: Mouvement NTC chronographe.

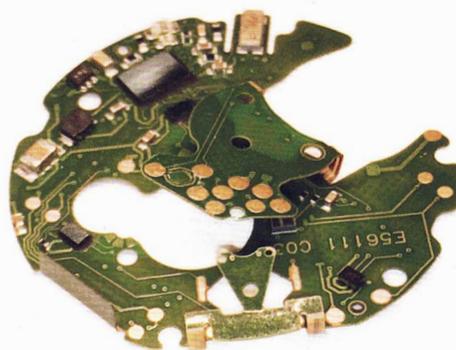


Fig. 7: Mouvement NTC chronographe.

Moteur basse consommation

Comme les aiguilles heure/minute et seconde sont découplées, nous avons donc un moteur supplémentaire par rapport à un mouvement trois aiguilles classique. Pour limiter l'impact de ce deuxième moteur sur la consommation, il faut abaisser la consommation du moteur de l'aiguille de seconde sans pénaliser le balourd. L'entrefer aimant/stator est augmenté afin

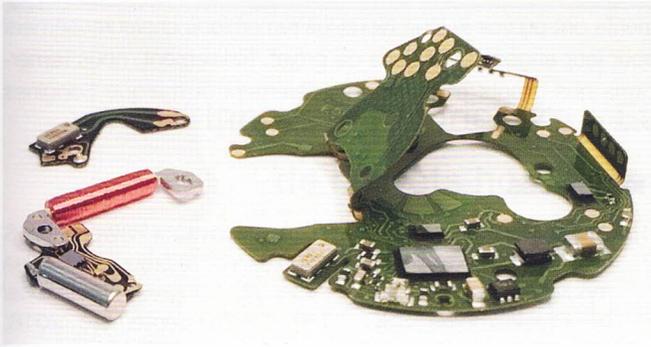


Fig. 8: Comparaison des PCB de mouvements trois aiguilles ETA. En haut à gauche: PCB rigide, mouvement Fox. En bas à gauche: PCB rigide, mouvement MinETA. A droite: PCB flexible (FPC), mouvement NTC 3 aiguilles.

d'abaisser le couple de positionnement ce qui permet de diminuer la consommation mais aussi de réduire le balourd de l'aiguille. Les principes de détection de choc et de contremasse DPR rehaussent ce balourd sans impacter la consommation. Cette solution technique permet de conserver des contraintes acceptables de fabrication du stator et du rotor. Avec un faible couple de positionnement, la sensibilité aux frottements devient nettement plus importante. De ce fait, la maîtrise de la qualité de fabrication des pièces est primordiale.

Finesse et élégance du mouvement

Ce concentré de technologie n'a de sens que s'il peut s'intégrer dans une montre de petit diamètre, fine et élégante. C'est pourquoi cette plateforme est capable de proposer le chronographe en métal le plus fin du monde, avec des compteurs placés exactement sur l'axe de la tige. Pour atteindre cette finesse, des analyses statistiques d'ébat et de bande passante ainsi que des contrôles de qualité poussés des composants clés permettent de dépasser les limites traditionnelles. De plus, le circuit imprimé rigide est remplacé par un circuit imprimé souple afin de réduire l'épaisseur et positionner l'électronique sur différents niveaux dans le mouvement.

Les technologies ajoutées en cours de conception

Afin de faciliter le réglage initial du quantième perpétuel, nous avons développé une interface de communication optique entre la montre et un Smartphone (ou un autre accessoire dédié). La transmission de données est réalisée à l'aide d'une modulation à basse fréquence de la lumière du flash du téléphone. A l'aide d'une application, l'utilisateur sélectionne et configure les paramètres à envoyer à la montre. Une fois les données transmises, la montre reste parfaitement autonome et ne nécessite aucune connexion avec le téléphone. En plus de faciliter les réglages, cette technologie rend possible de multiples applications: programmation des dates de changement d'heure d'été/hiver en fonction du pays d'utilisation, indication des heures

de lever/coucher du soleil en fonction de la géolocalisation, changement de fuseau horaire, etc. Par ailleurs, contrairement aux technologies radio utilisées dans les montres connectées, la transmission optique n'exige pas de certification spéciale ce qui est un avantage considérable en termes de coûts.

L'aboutissement

La Conquest V.H.P. (pour Very High Precision) présentée le 9 mars 2017 à l'Observatoire de Neuchâtel (lieu emblématique pour Longines qui, en 1954, certifia la première horloge Longines à quartz à atteindre la précision absolue) par la marque Longines est animée par un mouvement NTC exclusif. Le calibre dédié pour Longines dispose d'une précision annuelle de +/- 5 secondes par an en plus de la détection des champs magnétiques. L'esthétique de cette montre et l'impact de son lancement sont les témoins de la performance qu'elle renferme et qu'elle n'a pas fini de dévoiler.



Fig. 9: A gauche: L3.716, Longines Conquest V.H.P. 3 aiguilles. A droite: L3.717, Longines Conquest V.H.P. Chronographe.

Les produits Longines Conquest V.H.P. trois aiguilles et chronographe sont disponibles en versions acier et PVD noir, dans des diamètres de Ø41.00 à Ø44.00mm, selon les modèles trois aiguilles ou chronographe.

Conclusion

Avec les mouvements NéoTronics, ETA repousse non seulement les limites des mouvements quartz mais ouvre une nouvelle voie propre aux calibres électroniques de dernière génération. NTC étant une plateforme, elle proposera dans le futur de nouvelles

évolutions et de nouvelles fonctionnalités révolutionnant l'ergonomie et l'usage des montres traditionnelles.

Ce dont nous sommes capables aujourd'hui vous donne une idée de ce que sera demain.

Remerciements

Le projet NTC est une nouvelle preuve de l'étroite collaboration entre les différentes sociétés de Swatch Group. C'est en effet grâce aux compétences et à la persévérance des collaborateurs de ETA, de EM Electronics et de Microcrystal que ces mouve-

ments ont pu voir le jour. Nous les remercions chaleureusement pour leur engagement dans ce projet. Finalement, nous remercions nos clients et tout particulièrement la marque Longines pour sa confiance.

Références

- [1] J. BERTHOUD, F. KLOPFENSTEIN, J. LACONTE, «PowerDrive & PreciDrive: nouvelles technologies de référence pour les mouvements quartz ETA», *Actes du Congrès International de Chronométrie SSC 2016*, 28-29 Septembre 2016, pp. 107-114.