

OneWay : Le nouveau système d'embrayage à roulement unidirectionnel

A. Laager, P. Parietti
MPS Micro Precision Systems SA, Eckweg 8, 2500 Bienne
E-mail: watch@mpsag.com

Résumé

Le développement des embrayages à roue libre a été favorisé dans l'industrie horlogère par la montre mécanique automatique. Ces systèmes embrayent et débrayent d'eux-mêmes suivant le sens de rotation.

Avec le roulement unidirectionnel OneWay, mps présente une nouvelle génération d'embrayage à roue libre.

Les avantages du roulement unidirectionnel OneWay de mps sont :

- Miniaturisation du système de roue libre
- Espace réservé au système de remontage automatique fortement réduit
- Le système de blocage dans un sens est optimisé afin d'obtenir le chemin perdu (angle mort) minimum
- Les interfaces des différents organes d'accouplement sont calculées pour permettre au système de supporter des charges importantes
- Le jeu de fonctionnement est parfaitement maîtrisé et contrôlé à 100% afin de limiter au maximum les ébats
- Système sans lubrification par l'utilisation des billes en céramique myrox® développées par mps (Brevet mps N° EP 1 520 111 B1)

Abstract

The renewed interest in self-winding watches has led to the need for OneWay clutch systems, permitting unidirectional rotation to wind the barrel spring.

With its OneWay system, mps presents a new generation of freewheel bearings.

The advantages of the mps freewheel bearings system include:

- miniaturization of the freewheel system for compact design,
- extremely small space required for miniaturized automatic winding mechanism,
- optimized cage segment design (brake pads) for the minimum backlash (dead angle),
- the various interfaces of the couplings are calculated to enable the system to tolerate high loads,
- the operating clearance is checked thoroughly and tested to 100% to minimize axial play,
- lubrication-free system using myrox® ceramic balls developed by mps (mps patent no. EP 1 520 111 B1).

1. Introduction

Historiquement, le développement du remontage automatique s'est fait en même temps que l'invention des redresseurs ou inverseurs mécaniques.

Le problème posé est d'amener l'inertie des mouvements ou des rotations dans les 2 sens du rotor sur le ressort de barillet dans le but d'armer ce dernier. L'inverseur mécanique a le devoir de convertir les mouvements opposés dans le sens du remontage. La force est ensuite transmise par un engrenage à l'arbre de barillet.

2. Les types d'inverseurs

Le développement des inverseurs mécaniques aux dimensions les plus petites est favorisé par la montre automatique. On distingue 3 groupes :

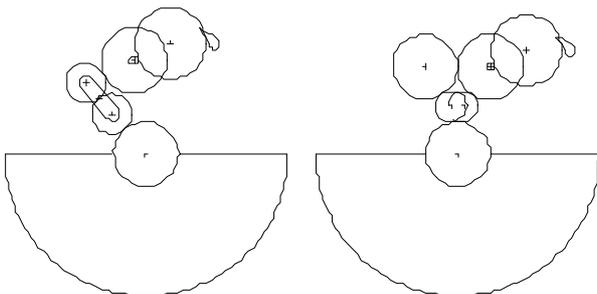


Fig. 1 : Groupe A : Inverseur à 1 ou 2 renvoi(s) mobile(s)

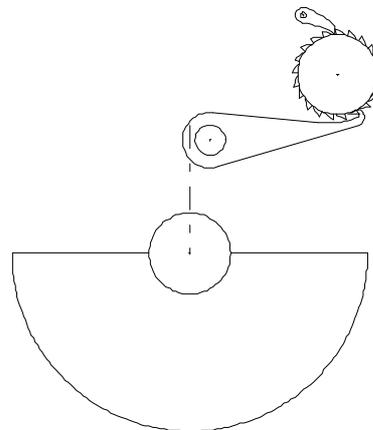


Fig. 2 : Groupe B : Inverseur à came avec cliquet(s)

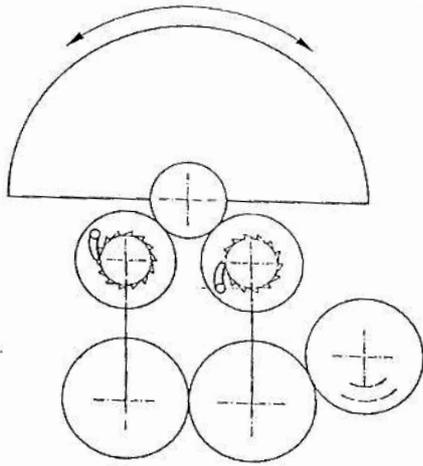


Fig. 3 : Groupe C : Inverseur à roues libres

3. Embrayage radial à billes et à galets

En utilisant des galets ou des billes, nous avons affaire à des embrayages à roulements. La figure N° 4 montre deux exemples d'embrayages à roulements utilisés en horlogerie.

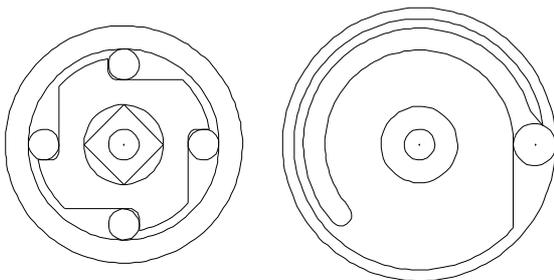


Fig. 4 : Embrayage radial à billes et à galets

4. Les bases du roulement OneWay

Le développement du système OneWay est basé sur la technologie du roulement à quatre points de contact.

Pour rappel, la construction typique d'un roulement à quatre points de contact ressemble au dessin de la figure 5 :

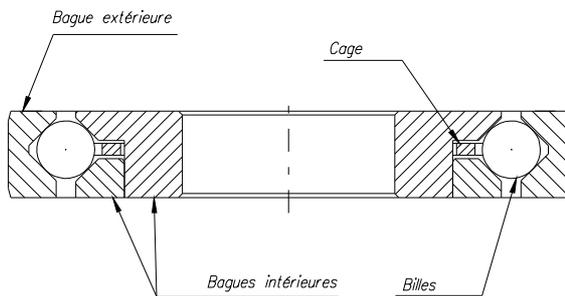


Fig. 5 : Roulement à quatre points de contact

Dans ce type de construction, les billes, séparées par une cage, circulent dans un espace limité par les plans inclinés (généralement à 45°) d'une bague extérieure et de deux bagues intérieures.

4.1. La Cage ou le séparateur de billes

Le dessin de la cage ou séparateur de billes d'un roulement d'horlogerie est représenté par la figure 6 :

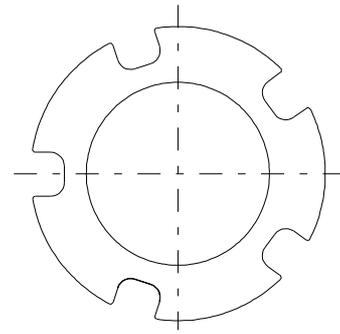


Fig. 6 : Cage classique

5. Le principe du roulement OneWay

L'idée du roulement OneWay consiste à intégrer la fonction d'embrayage radial à billes, expliquée au point 3, dans un roulement d'horlogerie.

A cette fin, plusieurs voies décrites dans les sous-paragraphes suivants ont été explorées avec plus ou moins de succès.

5.1 Cage frein avec 1 plan incliné

Afin de créer un système de blocage, cette première idée est de créer un plan incliné dans une alvéole de la cage selon la figure 7 :

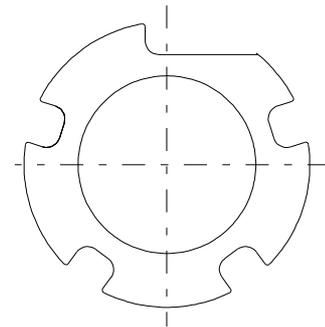


Fig. 7 : Cage avec un plan incliné

Le résultat est négatif car, en position verticale, la bille de l'alvéole avec le biais se trouve parfois totalement libre à cause du jeu interne du roulement. La fonction frein n'agit qu'occasionnellement.

5.2 Cage frein multi-plans inclinés

La seconde solution est de ménager des plans inclinés devant chaque bille selon la figure 8 :

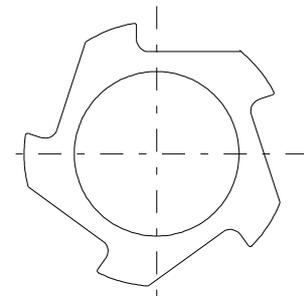


Fig. 8 : Cage avec plans inclinés pour chaque bille

Cette façon de faire ne fonctionne pas non plus car les billes, remontant les biais, centrent la cage dans le roulement ce qui neutralise tout blocage de la bague intérieure.

5.3 Segment de cage à 1 bille avec plan incliné

Le bon choix, pour créer un blocage, est de couper la cage en plusieurs segments. L'accouplement entre les bagues respectivement extérieures et intérieures du roulement est réalisé dans un seul sens lorsque les billes se bloquent par coincement entre la bague extérieure et les segments de cage qui font office de patins de frein contre le cône (bague intérieure). L'accouplement est dit du type à coincement de patins.

La figure 9 montre un exemple de géométrie de segment.

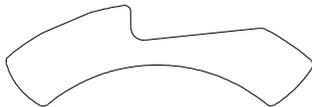


Fig. 9 : Segment de cage à une bille

Cette solution a fait l'objet d'un brevet déposé sous le N° CH 694 025 A5. Elle comporte 3 segments contenant chacun une bille.

5.4 Segment de cage à 2 billes avec plans inclinés

Les résultats des premiers roulements réalisés selon le principe du paragraphe 5.3 ont montré rapidement les limites suivantes :

- Capacité de charges réduites
- Contrôle du jeu interne rendu difficile par le nombre réduit de billes (trois)

L'évolution qu'a apporté mps au principe breveté a permis de supprimer les désavantages listés ci-dessus. Elle consiste à concevoir des secteurs comportant plus d'une bille. À cette fin, il a fallu adapter les dimensions et la géométrie de ces derniers.

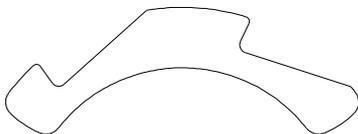


Fig. 10 : Segment de cage à deux billes

Le choix du type de segment dépend de la grandeur du roulement ainsi que du diamètre des billes. L'objectif est de placer le maximum de billes.

6. Angle de retour ou angle perdu

Dans le sens de rotation de blocage, les billes doivent remonter le long du plan incliné jusqu'au moment où ces dernières se trouvent coincées entre le segment et la bague intérieure d'une part et la bague extérieure d'autre part.

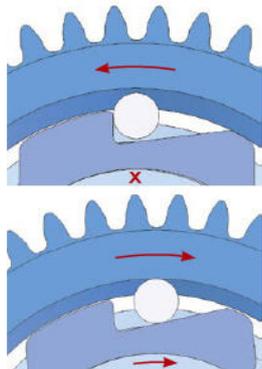


Fig. 11 : Illustration de l'angle perdu

L'angle de retour, perdu pour le mécanisme de remontage, dépend des jeux et tolérances de fabrication des composants. Il varie suivant la grandeur du roulement. Le tableau suivant

montre pour différentes grandeurs de roulement, l'angle perdu calculé aux extrêmes des tolérances (minimum et maximum). En pratique, l'angle perdu se situera entre les deux courbes.

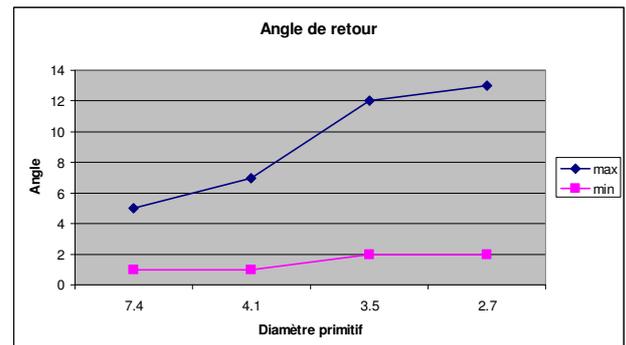


Fig. 12 : Tableau des angles perdus calculés

7. Essais de laboratoire

Afin de valider le concept du roulement unidirectionnel OneWay, différents tests ont été réalisés :

- 7.1 Test de durée de vie en accélération
- 7.2 Test de durée de vie en blocage
- 7.3 Test de la valeur de l'angle de retour

Les roulements unidirectionnels OneWay testés ont les caractéristiques principales suivantes :

- Référence mps : SM 1168XZRY
- Diamètre primitif (par lequel passe le centre des billes) : 7.4mm
- 4 segments comportant chacun 1 bille diam. 0.300mm

7.1 Test de durée de vie en accélération

Le test de durée de vie en accélération (mode débrayé) simule une durée de vie de vingt ans à raison d'un remontage manuel par semaine.

Lors du remontage manuel, la vitesse du roulement unidirectionnel OneWay en mode débrayé peut atteindre 4'000 t/min.

7.1.1 Données de base

Calcul du nombre de cycles à réaliser :

- Nombre de tours de barillet à faire : 6
- Rapport d'engrenage du mécanisme de remontoir : 3,5
- Remontage manuel 1 fois par semaine
- Durée de vie à atteindre : 20 ans

Nombre de cycles = $3,5 \times 6 \times 52 \text{ semaines} \times 20 \text{ ans} = 21'840$.

Nombre de cycles avec un facteur de sécurité de 2 $\approx 50'000$.

7.1.2 Déroulement du test

Chaque cycle de test se déroule comme suit :

- Accélération de 0 à 4'000 t/min en 0,5 s
- Décélération libre
- Durée du cycle 1 seconde
- Contrôle du couple de blocage tous les 1'000 cycles

7.1.3 Matériel de test

Une roue dentée est montée sur l'axe tournant d'un moteur et entraîne la bague extérieure du roulement unidirectionnel OneWay à la vitesse de 4'000 t/min en mode débrayé.

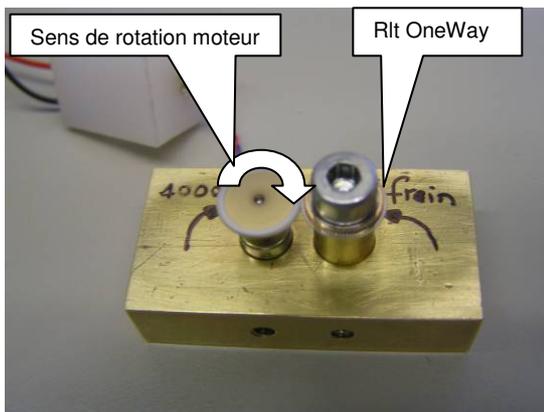


Fig. 13 : Appareil utilisé pour le test d'accélération

Afin de contrôler le bon fonctionnement des segments tout au long de l'exercice, un couple à 2.5mNm est appliqué par un dynamomètre tous les 1'000 cycles selon la figure 14. Il s'agit ainsi de s'assurer du bon pouvoir de blocage des segments tout au long du test.

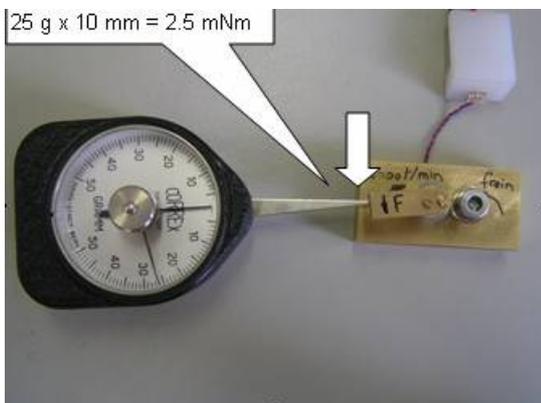


Fig. 14 : Mesure du couple de blocage tous les 1'000 cycles

La figure 15 représente l'interface du programme Labview utilisé pour ce test :

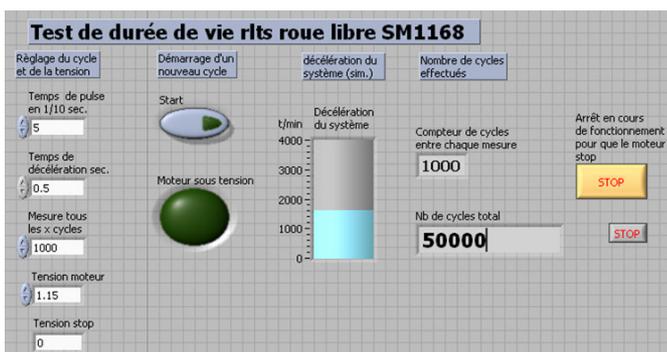


Fig. 15 : Interface Labview pour le test d'accélération.

7.1.4 Résultats :

Après 50'000 cycles les roulements testés fonctionnent toujours parfaitement.

7.2 Test de durée de vie en mode embrayé

Actuellement, il n'existe pas de tests normalisés pour évaluer la durée de vie des mouvements horlogers. Le test Chronofiable semble être celui qui pourrait figurer dans la norme NIHS. Le test Chronofiable simule un fonctionnement normal de 6 mois correspondant à 18'000 chocs d'intensités ainsi que de directions différentes.

Sur cette base, mps a calculé le nombre de chocs sur une durée de vingt ans, soit 720'000 chocs arrondis à 1'000'000.

Il est très difficile de déterminer quelle est la part des chocs qui entraînent la masse oscillante dans le sens de blocage du roulement. Aussi, mps a estimé que sur 1'000'000 de chocs, la moitié d'entre eux entraîne le roulement en mode embrayage ; soit 500'000.

7.2.1 Données de base

Le couple nécessaire au remontage d'un barillet dans un mouvement automatique peut varier, selon les modèles, entre 2 et 20mNm.

A cela vient s'ajouter le couple additionnel de la bride glissante qui est en général égal à 25% du couple du ressort de barillet.

Le rapport de démultiplication du train de remontage automatique se situe habituellement entre 100 et 120 :1. Le rendement du train de remontage est estimé à 50%.

Compte tenu des éléments précédents, le couple nécessaire pour remonter un barillet depuis le roulement est de :

$$20\text{mNm} \times 1.25 \times 0.5 / 100 = 0.5\text{mNm}$$

Coefficient de sécurité : $s=2$

En final, le couple appliqué lors du test est de : 1mNm

7.2.3 Données du test

Chaque cycle de test se déroule comme suit :

- Nombre de cycles 500'000
- Accélération de 0 à 4'000 t/min en 1 s (mode débrayé)
- Décélération libre pendant 3 s
- Application d'un couple de 1mNm dans le sens de Blocage en mode embrayé pendant 0,5 s
- Durée du cycle 6 s

7.2.4 Matériel de test

Un moteur comporte un axe sur lequel est fixée une roue dentée qui entraîne la bague extérieure du roulement unidirectionnel OneWay selon les données du test du point 7.2.3.

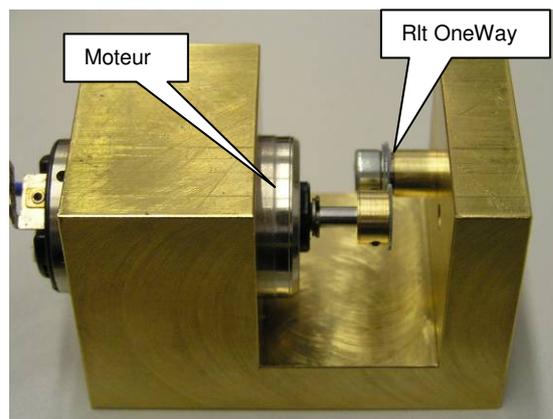


Fig. 16 : Appareil de test de durée de vie en blocage

La figure 17 représente l'interface du programme Labview utilisé pour ce test :

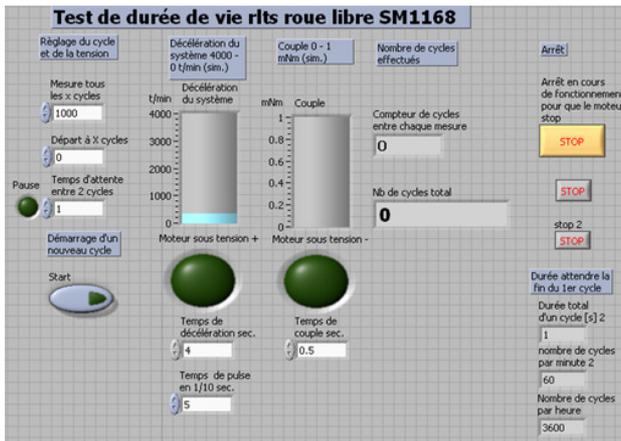


Fig. 17 : Interface Labview

7.2.5 Résultats

Après 500'000 cycles, les roulements testés fonctionnent toujours parfaitement.

Remarque : Afin de connaître le couple maximum admissible sur ce type de roulement, une série de test est lancée sur le même appareil mais avec un couple appliqué 15 fois plus important (15mNm). Les roulements sont détruits après un temps de fonctionnement entre 450 et 900 cycles.

7.3 Mesure de la valeur de l'angle de retour

Afin de contrôler si l'angle de retour correspond bien aux valeurs théoriques, un outil de mesure est développé.

7.3.1 Données de base

Afin d'obtenir une mesure fiable avec une bonne répétabilité, les pré-requis suivants sont nécessaires :

- Pouvoir faire tourner en mode débrayé le roulement à vide avant la mesure
- Inverser le sens de rotation et appliquer un couple de 0.5mNm dans le sens du blocage (mode embrayé)
- Utiliser un moteur avec codeur de 512 impulsions

7.3.2 Matériel de mesure

Un moteur entraîne un axe tournant muni en bout d'une roue dentée. Un porte-pièce monté sur une coulisse facilite le positionnement du roulement unidirectionnel OneWay à tester. Le rail permet de coulisser le porte-pièce jusqu'à pouvoir engrainer la bague extérieure du roulement avec la roue dentée montée sur l'axe du moteur.

Les paramètres du cycle donnés au point 7.3.1 sont appliqués. L'utilisation d'un moteur avec codeur de 512 impulsions permet une précision angulaire de 0.7°.

Le résultat de la mesure est donné par un affichage digital.

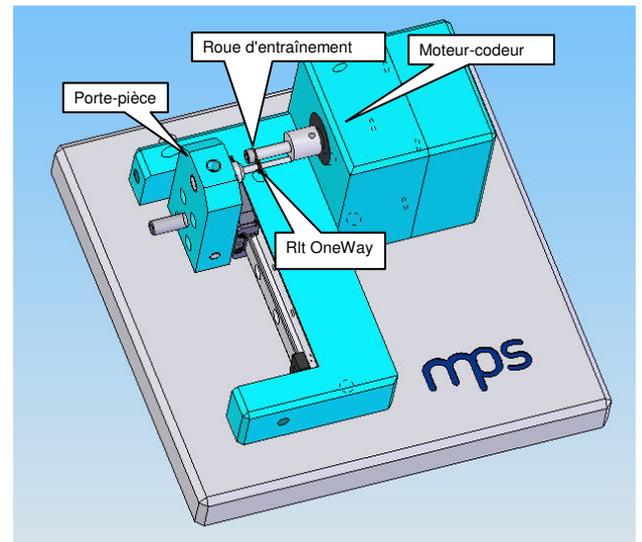


Fig. 18 : Appareil de mesure de l'angle de retour

7.3.3 Résultats

Pour un roulement dont, théoriquement, l'angle pouvait atteindre 13° dans le cas le plus défavorable (cotes aux extrêmes des tolérances), les mesures montrent des angles de retours variant entre 7 et 8°.

8. Capacité de charges

En reprenant la théorie du roulement à quatre points de contact exposée lors du congrès SSC de 1998, il apparaît que les capacités de charges sont tout à fait correctes étant donné que les roulements OneWay ont entre 6 et 9 billes.

Elles correspondent ainsi aux valeurs d'un roulement d'horlogerie conventionnel.

9. Applications spéciales

Après sa présentation au salon EPHJ 2006, les ingénieurs horlogers ont su rapidement tirer parti des avantages du roulement OneWay.

Ces derniers, par leur créativité, ont alors imaginé de nouvelles versions dont voici de beaux exemples.

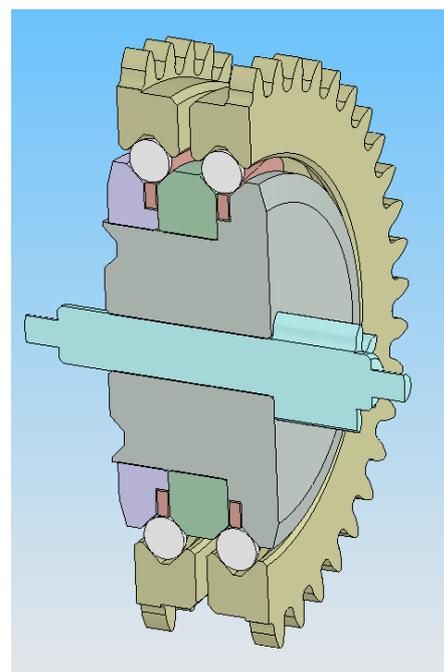


Fig. 19 : Roulements OneWay miniaturisés couplés en série axialement (diam. ext. denture : ~ 4.00 mm)

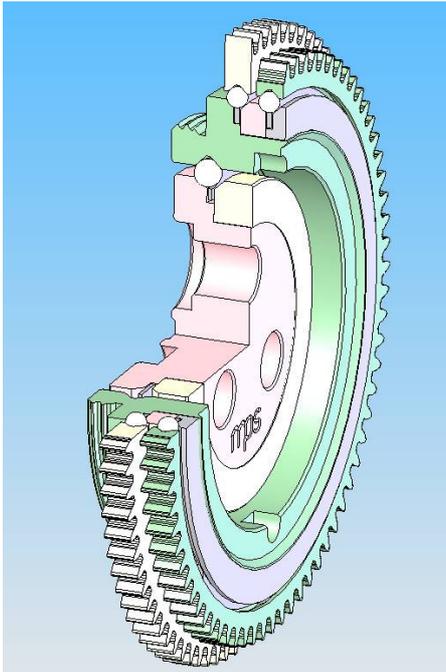


Fig. 20 : Roulement de masse couplé à 2 roulements OneWay

10. Propriété intellectuelle

Le système OneWay est protégé par le brevet CH 694 025 A5. Il est commercialisé et produit par mps sous licence exclusive.

11. Conclusion

Le concept d'embrayage à roulement développé par mps a l'avantage d'éliminer les risques de dysfonctionnement caractéristiques inhérents aux autres systèmes existants; soit :

- Le couple de déblocage est trop fort lors du débrayage
- Le couple de rotation est trop fort dans le sens libre
- Les tolérances de fabrication sont trop serrées
- Le blocage ne se fait pas comme prévu
- La roue libre se coince lors d'inversions successives rapides
- Les déformations sont irréversibles
- La fiabilité est insuffisante

Remerciements :

Nous remercions vivement Monsieur Jean-François Mojon de Chronode SA pour ses informations en technique horlogère qui nous ont permis d'élaborer les paramètres des tests.

Références :

Montres automatiques – Hans Koch (1969 – édité par Wilhelm Kempfer –D)

Le roulement horloger – P. Parietti, A. Laager, A. Biétry) - Congrès Européen de la SSC - Karlsruhe (1998)