

Rentrons dans le brevet (je me référerai aux n°s de paragraphes pour que vous puissiez aller voir plus facilement) :

### **Objet du brevet :**

Je n'ai pas analysé les paragraphes relatifs à son objet qui est très pointu : il s'agit, pour une transmission hybride de type précis et de ses variantes, d'un dispositif de contrôle de la rotation de l'ICE pour éviter des risques de bruit et de vibration, dans un cas de figure très pointu : alors que le système était en mode hybride (ICE tournant) véhicule à l'arrêt ou en mouvement, le levier est passé en position N, puis le bouton Power passé sur Off. Dès lors, l'ICE sans injection ralentirait sa rotation sur son inertie, ce qui pourrait mettre la transmission en résonance au passage de ses fréquences propres, et générer ces bruits et vibrations (a priori plus gênants pour les passagers que destructeurs pour le matériel, mais ce n'est pas précisé).

C'est en faisant des recherches pour améliorer le système hybride, i.e. selon ma lecture en travaillant sur cette transmission hybride de type précis et de ses variantes, que des ingénieurs japonais ont découvert ce problème et mis au point le dispositif objet du brevet (004 et 005)

La transmission hybride de type précis et de ses variantes fait l'objet d'un autre brevet antérieur cité en 003 : **Patent Document 1: JP-2008-265600 A1** et c'est celui là qui probablement protège cette fameuse transmission plug-in. 2008 étant l'année du dépôt, ça fait donc très longtemps que ce brevet aurait été déposé, et donc non exploité sur la P3 PHEV. Alors, lorsque les ingénieurs de Toy ont découvert ce problème, étaient-ils en train de mettre au point cette transmission pour la P4 PHEV, ou faisaient-ils juste des recherches exploratoires sur l'amélioration du rendement du HSD en se basant sur cette architecture...? Mystère.

Quoi qu'il en soit, ce brevet décrit collatéralement la transmission hybride de type précis et de ses variantes à laquelle s'applique ce dispositif, et nous permet d'en apprendre assez sur son fonctionnement, même si la compréhension aurait pu être meilleure en ayant le brevet original.

Les paragraphes relatifs à cet objet sont les 001 à 0032 que vous pouvez passer à mon avis, sauf si cette problématique de contrôle de l'ICE vous intrigue.

Rentrons dans le brevet (je me référerai aux n°s de paragraphes pour que vous puissiez aller voir plus facilement) :

## Architecture :

L'architecture est décrite plus précisément entre 0033 et 039 et est schématisée en fig. 1 (variante initiale). Gilbert a parfaitement décrit le principe plus haut, et pour avoir une vue plus claire des principes cinématiques de la transmission que dans la fig.1, le mieux est d'aller vous référer à l'article d'Hybridcars, mis en lien par Jan dans son post. En bas, vous verrez le principe de la cinématique du HSD de la P3 (Prius 2010), tandis qu'en remontant dans l'encadré, vous avez celle de la transmission objet du brevet (Prius PHEV 2017 ?).

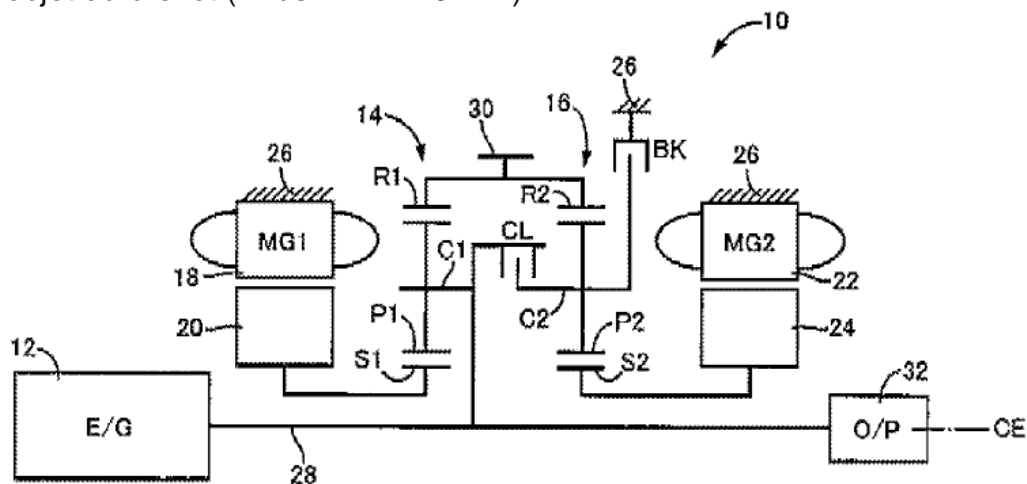
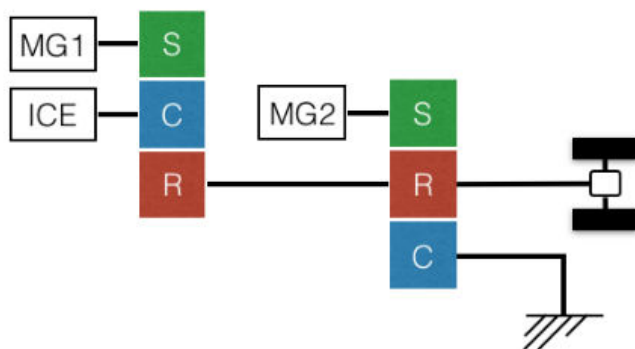


FIG. 1 is a schematic view for explaining an arrangement of a hybrid vehicle drive system to which the present invention is suitably applicable

## « Planétaire :

1. Avant de faire compliqué, et même très compliqué, on peut comprendre ce brevet en considérant que c'est une évolution du psd de la prius 3 (et donc pas celui de la 4). Sur la P3 il y a deux portes-planétaires. Le principal sert à mélanger les couples et l'autre ne sert qu'à réduire la vitesse de rotation de MG2.



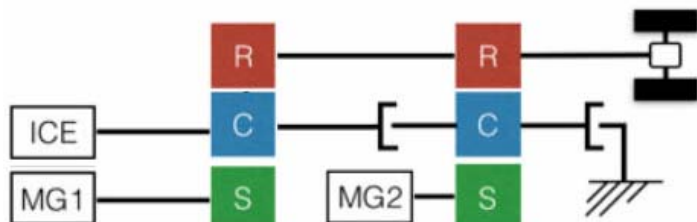
2. Evolution en ajoutant un embrayage entre les 2 porte-planétaires qui sont toujours indépendants dans la P3 et en ajoutant un frein sur l'un des deux portes-planétaires, frein qui serait toujours bloqué dans une P3. Ce frein étant de l'autre côté relié au châssis.

Pour aider l'illustration, j'ai repris le schéma de Hybridcars pour la P4 phev,

<http://www.hybridcars.com/revenge-of-the-two-mode-hybrid/>

en plus simple et avec la disposition physique, du moins de la moitié au-dessus d'un axe comme ils l'ont fait.

S=sun = pignon soleil  
C=carrier = porte satellites  
R= ? = couronne extérieure



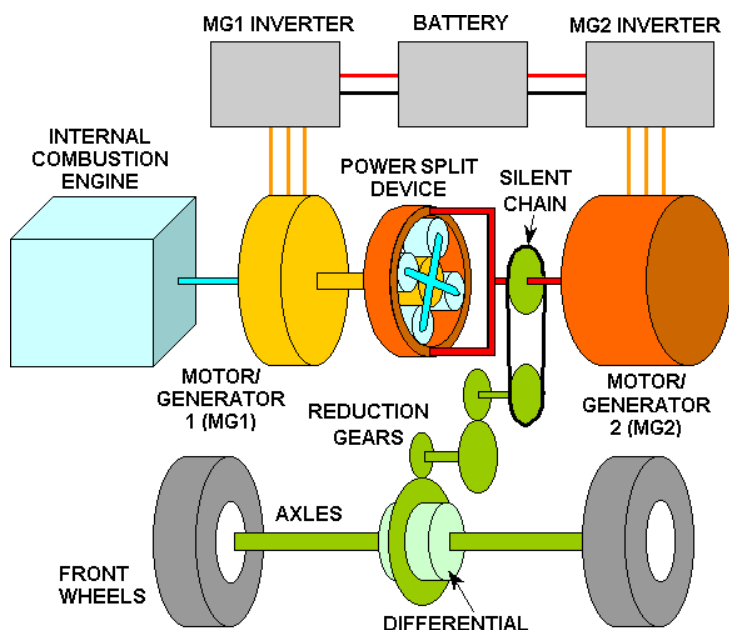
Pour ceux qui ont du mal, il faut imaginer que sous les carrés verts il faut remettre des bleus puis en-dessous des rouges

Avant toute chose prolongation utile de ma dernière précision, quand je dis que le train 1 tire "plus court" et le train 2 tire plus long, le changement reste limité en tant que couple à la roue passé par le thermique, par MG1 et MG2 qui restent toujours, via les couronnes reliées entre elles, sur un même rapport de pont de HSD, traditionnellement monté long. »

**PA :**

**Quelques remarques :**

- ce que Toyota appelle en 0035 le rapport de transmission (gear ratio),  $\rho_1$  pour le train 1 et  $\rho_2$  pour le train 2, est le rapport  $V_c/V_r$  ( $V_r$  = vitesse de rotation de la couronne et  $V_c$  = vitesse de rotation du porte-satellites), donc la vitesse de l'ICE sur la vitesse de la couronne qui va aux roues.  
**Cette notion sera importante pour décrypter la fig. 8, pas évidente à piger,**
- Les rapports de denture des deux planétaires sont implicitement différents : c'est même indispensable pour les buts d'un des modes hybrides de cette transmission
- Vous aurez noté que par rapport à une P2, **les positions des deux MG sont plus symétriques (tous deux sur pignon soleil), et leurs fonctions peuvent devenir similaires si l'on referme l'embrayage C entre les deux trains.** Dans ce cas, MG2 pourrait par exemple être très bien être utilisé véhicule arrêté pour démarrer l'ICE, exactement de la même façon que MG1 à qui ce rôle est traditionnellement dévolu sur la Prius (cf. lien Graham).



Un des gros doutes qui me vient sur l'application de cette transmission à la P4 PHEV est la disposition axiale de tous les éléments, précisément décrite dans les paragraphes en objet. C'est logique car à l'époque du dépôt du brevet original sur la transmission elle-même (cf. plus haut : 2008), la transmission d'une Prius était ainsi disposée. Or sur la P4, MG1 et MG2 sont sur des axes différents, ce qui je pense ne poserait pas de problème de PI (propriété intellectuelle) pour étendre le champ d'application du brevet (cf. 0090), mais cette disposition nécessite quasiment que les trains épicycloïdaux T1 et T2 de la transmission du brevet le soient aussi, T1 sur l'axe de MG1 (et de l'ICE) et T2 sur l'axe de MG2. **Il me semble dès lors que l'embrayage entre les deux portes satellites serait mécaniquement difficile à mettre en oeuvre. Qu'en pensez-vous ?**

A l'inverse, connaissant la méticulosité avec laquelle Toyota rationalise son outil de production, je vois difficilement la P4 PHEV revenir à une disposition axiale des éléments, ce qui nécessiterait de redessiner et changer l'implantation de pleins d'éléments sous capot par rapport à la P4 HEV, avec des coûts supplémentaires.

A mesure donc que je lis plus précisément le background de ce brevet et des éléments qui n'étaient pas utiles dans un premier temps pour la compréhension de son fonctionnement, **je commence à avoir quelques doutes sur l'application de cette transmission à la prochaine P4 PHEV.**

j'ai pas pu m'empêcher : petite recherche sur les brevets :

- [Brevet japonais initial de 2008](#) (celui cité dans notre brevet je crois) : on n'a que l'abstract qui semble parler des conditions pour rentrer dans le mode EV2 de notre transmission (j'y reviendrai aux modes)
- [Brevet 2015 portant sur le pilotage de notre transmission en cas de défaillance de l'embrayage](#)
- [Brevet 2015 portant sur le fonctionnement en marche AR de notre transmission \(embrayage fermé\)](#)

Rappelons que notre transmission concerne un moteur monté transversalement à l'AV sur une traction (cf. 0033). Ça fait, je trouve, beaucoup de brevets concernant des détails de fonctionnement de cette transmission, qui trahissent à mon sens qu'il n'en sont plus en phase de concept mais qu'ils sont passés à son développement...

### Fonctionnement :

Notre transmission possède 5 modes de fonctionnement représentés sur la fig. 3.

	BK	CL	MODE
EV-1	○		1
EV-2	○	○	2
HV-1	○		3
HV-2		○	4
HV-3			5

FIG. 3 is a table indicating combinations of operating states of a clutch and a brake, which correspond to respective drive modes of the drive system of FIG. 1

Chacun correspond à une combinaison de fermeture/ouverture de l'embrayage CL et/ou du frein BK, et à un choix de propulsion en électrique (deux modes : EV-1 et EV-2) ou hybride (3 modes : HV-1, HV-2, HV-3). Lorsque vous avez un rond dans une case, ça veut dire que le dispositif correspondant est **fermé** (ou enclenché si vous préférez).

### **Commençons par le hors d'oeuvre, les modes électriques.**

#### Mode EV-1 ou mode 1 (0048) :

Le frein BK est fermé, reliant mécaniquement le carter au porte-satellite du train 2, ce qui bloque ce dernier. MG2 est actionné en moteur en sens "négatif", ce qui, porte-satellite bloqué, oblige la couronne R2 à tourner dans l'autre sens (cf. lien Wiki donné plus haut : en mettant  $W_c$  à 0 dans la formule suivante, vous voyez que les vitesses de rotation du pignon soleil et de la couronne sont forcément opposées  $N_s \omega_s + N_a \omega_a = (N_s + N_a) \omega_c$ , ce qu'on sent bien mécaniquement).

Inversement, sur le train 1, MG1 (réglé en neutre) est entraîné en sens inverse par la couronne R1 reliée mécaniquement à R2.

On se retrouve strictement dans la configuration EV d'une P3. Il est probable que la P4 PHEV profiterait des améliorations de la P4 en terme de vitesse max. possible de MG1; et permettrait probablement au véhicule de rouler dans ce mode sans entraîner l'ICE à une vitesse supérieure à 70 km/h, mais pas forcément jusqu'à 110 km/h; En effet, ici on peut peut-être faire un train épicycloïdal 1 "plus court", car pour les plus hautes vitesses, on a le mode EV-2 !

Je précise que le schéma des relations de vitesse correspondant au mode 1 est la fig. 4

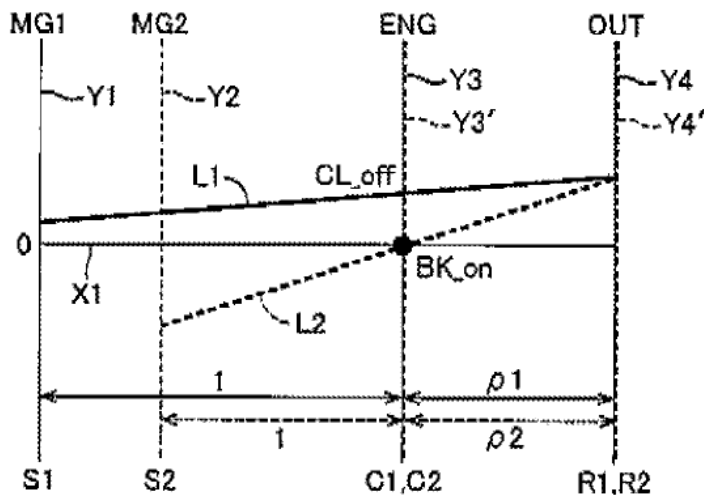


FIG. 4 is a collinear chart having straight lines which permit indication thereon of relative rotating speeds of various rotary elements of the drive system of FIG. 1, the collinear chart corresponding to the modes 1 and 3 of FIG. 3

(Représentation pas facile à comprendre au premier abord : le principe est expliqué en 0046 et 0047)

Mode EV-2 ou mode 2 (0049, 0050 et fig.5) : Là, on aborde une nouveauté !

Dans ce mode, vous avez le frein fermé, mais également fermé l'embrayage. Conséquences : l'ICE est relié au carter et est donc immobilisé, comme les deux portes satellites C1 et C2. Dès lors, tout comme avec MG2 pour le mode EV-1, on peut utiliser en moteur et en sens "négatif", MG1 et/ou MG2 qui exerceront un couple négatif sur S1 et/ou S2 qui se reportera vers les roues via les couronnes R1 et R2.

Il faut être conscient que dans ce mode, les vitesses de rotation des pignons soleil S1 et S2, donc de MG1 et MG2, mais aussi de celle (de translation) du véhicule, sont liées : l'une d'elle détermine les deux autres. On le voit sur la fig. 5.

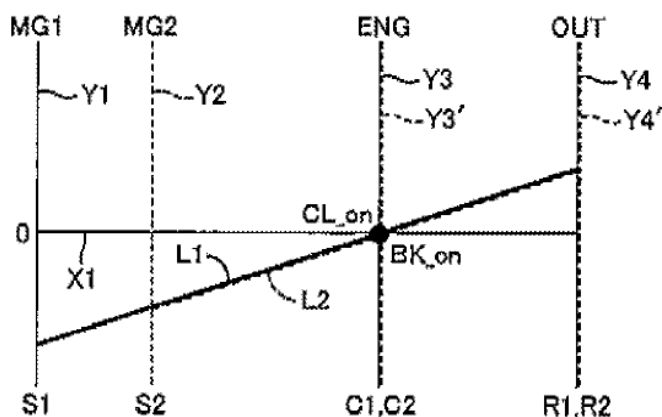


FIG. 5 is a collinear chart having straight lines which permit indication thereon of relative rotating speeds of various rotary elements of the drive system of FIG. 1, the collinear chart corresponding to the mode 2 of FIG. 3

sachant :

- d'une part que le train épicycloïdal 2 a des rapports des denture différents du train 1 de telle façon qu'il est monté "plus long" que le train 1,
- d'autre part que MG2 est plus costaud que MG1. On peut raisonnablement penser que MG1 sera dimensionné comme dans la P4 HEV, donc aux alentours de 30 kW et que faisant suite à l'info de Félix (MG2 PHEV plus puissant que MG2 HEV), MG2 sera à mon avis aux alentours de 60 kW (comme il l'était dans la P3)

Vous en saisissez immédiatement les conséquences :

En fonction de la vitesse du véhicule, on pourra faire tourner au choix MG1 (a priori pour les basses vitesses) , ou MG2 (a priori pour les hautes vitesses), en fonction de leurs meilleure plage de rendement respectif, comme c'est fait pour une Tesla model S D (avec deux moteurs) !

Qui plus est, vous pouvez ensuite en cas de besoin à n'importe quelle vitesse demander de la pêche aux deux moteurs, et si la batterie de la future P4 PHEV peut suivre, vous disposerez de 90 kW en électrique, et donc des accélérations très convaincantes.

Contrairement à ce que je disais au post précédent, la Vmax d'utilisation de ce mode sera limitée à la Vmax de rotation de MG1, et le mode EV-1 permettra au contraire d'aller plus vite en mode électrique (jusqu'à la Vmax de rotation de MG2, prévue pour que ce soit à la Vmax du véhicule), à la condition d'accepter d'entraîner l'ICE avec une légère perte au passage (1 kW mesuré par Gilbert sur la P2 je crois). Cf. fig.4 et fig.5).

Mais de toute façon, rouler à 120 km/h en EV n'a aucun intérêt en terme de gestion de l'énergie. Le mode EV, intelligemment, doit être utilisé en dessous de 90 km/h, voire moins en éco-conduite. Au dessus, on a intérêt à passer en HV (voir les [anciennes vidéos d'Electron Libre](#), anciennement Twizyrider, de cours d'eco-conduite et d'utilisation intelligente du mode EV sur son ex-Ampera).

Vous avez donc compris, qu'avec cette transmission, la P4 PHEV serait en mode électrique une copie de la Volt 2 : deux modes électriques permettant une utilisation en EV avec un rendement optimal, et possibilité d'utiliser les deux MG conjointement en moteur, pour des accélérations convaincantes en EV, et probablement très proches de celles obtenues en HV.

Pour comprendre la transmission de la Volt 2 sans trop vous prendre la tête, je vous conseille les excellentes explications d'[Alex on Autos](#), très claires et didactiques, dans [cette vidéo](#) (super chaîne youtube de revues automobiles extrêmement professionnelles de cet amateur, que j'ai découvert récemment)

Avec cette transmission et avec une autonomie de 50 km (pas plus pour ne pas trop

grever le poids, et donc l'efficacité globale du véhicule : je fais confiance aux japonais sur ce point), vous comprenez donc qu'une P4 PHEV serait transfigurée en utilisation VE par rapport à la P3 PHEV !

Nous aborderons les modes HV ultérieurement. Ça sera le plat de résistance, car ça se complique sacrément, surtout pour un des 3 modes !

**Mode HV-1 ou mode 3 (0051 et fig. 4) :**

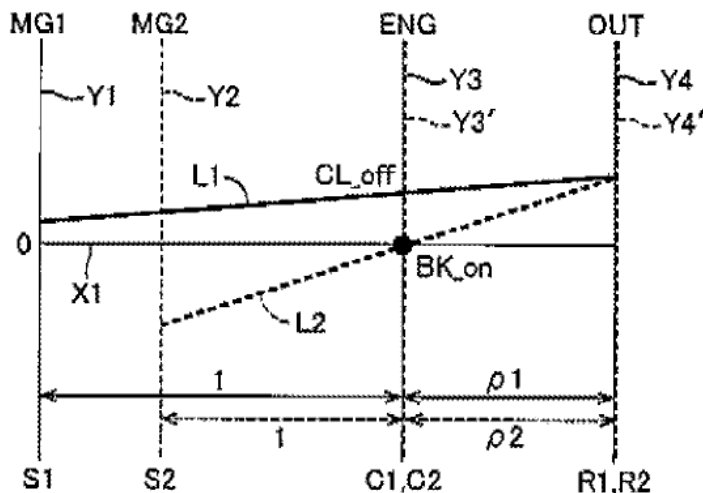


FIG. 4 is a collinear chart having straight lines which permit indication thereon of relative rotating speeds of various rotary elements of the drive system of FIG. 1, the collinear chart corresponding to the modes 1 and 3 of FIG. 3

Tout comme le mode EV-1, le seul frein BK est fermé, reliant mécaniquement le carter au porte-satellite du train 2, ce qui bloque ce dernier. Là encore, on se retrouve strictement dans la configuration HV d'une P3.

Sera-ce toutefois exactement la même chose que la P4 : probablement non sur le plan des puissances.

Rappelons que la puissance combinée d'un HSD est  $P(\text{ICE})+P(\text{BAT})$  avec la limitation suivante sur  $P(\text{BAT})$  transmise en HV : elle ne peut dépasser  $P(\text{MG2})-P(\text{MG1})$ .

Si je reprends donc mes hypothèses avec  $P(\text{BAT}) = 75 \text{ kW}$ ,  $P(\text{MG1}) = 30 \text{ kW}$  et  $P(\text{MG2}) = 60 \text{ kW}$ . On a  $P(\text{MG2})-P(\text{MG1}) = 30 \text{ kW}$ , et Sachant que  $P(\text{ICE}) = 72 \text{ kW}$ , la puissance de la P4 PHEV en HV-1 serait de 102 kW, soit 10 kW de plus que sur la version HEV, et comme c'est de la puissance électrique, c'est de la meilleure pêche à basse moyenne vitesse pour des meilleures reprises.

Si Toyota prenait une approche plus "artillerie lourde" à l'américaine comme sur la Chevrolet Volt 2 et que  $P(\text{MG2}) = 80 \text{ kW}$  par exemple, et bien la puissance combinée en HV-1 serait de 122 kW, car la batterie de cette P4 PHEV aura la capacité de fournir sans problème les 50 kW nécessaires. Toutefois, je ne crois pas un seul



instant à une puissance de MG2 aussi élevée, Toyota favorisera toujours sur la Prius la consommation à la performance, et un moteur de 80 kW serait plus lourd, plus coûteux, plus encombrant dans une disposition en ligne des éléments, ce qui va à l'encontre de l'approche du juste nécessaire et de l'optimisation multi-facteurs traditionnelle des japonais.

Bon, le plat de résistance :

**Mode HV-2 ou mode 4 (0052 à 0060 et fig.6) :**

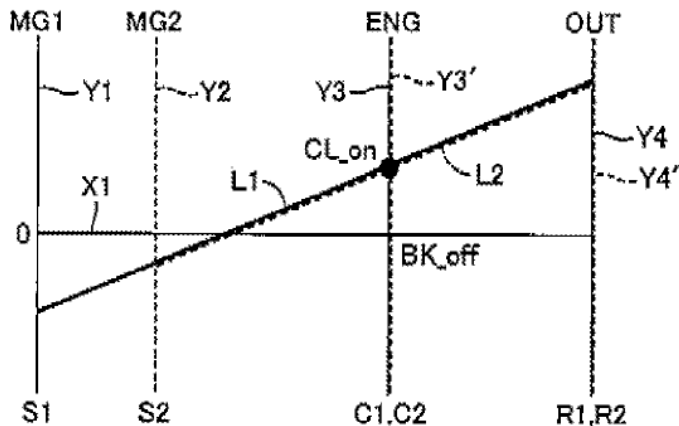


FIG. 6 is a collinear chart having straight lines which permit indication thereon of relative rotating speeds of various rotary elements of the drive system of FIG. 1, the collinear chart corresponding to the mode 4 of FIG. 3

L'autre grande nouveauté !

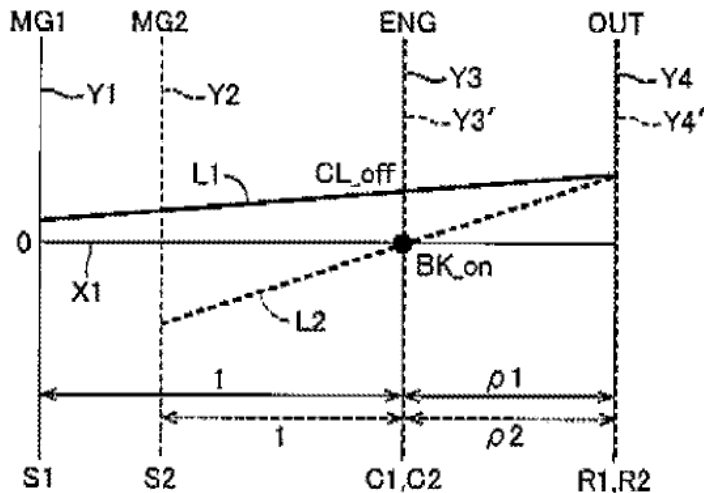
Dans ce mode, vous avez uniquement l'embrayage fermé. Conséquences : l'ICE et les deux portes satellites C1 et C2 sont tous trois liés et tournent à la même vitesse. Comme R1 et R2 tournent également à la même vitesse (mais différente de C), pour chaque couplet de vitesse de rotation de C (ICE) et R (proportionnelle aux roues), la vitesse de S1 (MG1) et S2 (MG2) est fixée suivant la droite oblique que l'on voit sur la fig. 6. C'est la simple conséquence de deux équations linéaires à 4 inconnues (celle des vitesses des deux trains mentionnées dans le lien Wikipedia), dont deux sont fixées dans chacune.

Ce mode est un mode HV pour des vitesses véhicule relativement élevé préservant à ces vitesses un meilleur rendement de transmission que HV-1, le mode classique de nos Prius.

Un petit rappel s'impose : comment Toyota sur les versions antérieures à la P4 tâchait-il de préserver un bon rendement convenable à ces vitesses de moyenne à élevées et constantes ?

Le but essentiel est de faire tourner l'ICE dans sa meilleure plage de rendement, i.e. pour une puissance appelée à une vitesse constante donnée (puissance correspondant à celle nécessaire pour vaincre les frottements), le faire tourner au point de fonctionnement qui génère cette puissance avec le plus gros couple possible et par voie de conséquence la vitesse de rotation la plus faible possible.

Dès lors, allez sur la fig.4 (mode HV-1)



en imaginant que vous êtes sur une P3 avec un seul train épicycloïdal, aller à vitesse élevée sans augmenter trop la vitesse de rotation de l'ICE revient à tirer vers le haut le point de la droite oblique en trait dur, situé sur la verticale "OUT" (ce point est la vitesse de la couronne R) sans trop faire monter le point de croisement de cette droite oblique avec la verticale "ENG" qui correspond à la vitesse du porte-satellite C. En faisant donc pivoter cette droite oblique dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, vous allez forcer à l'extrême gauche le point de croisement avec la verticale MG1 qui correspond à la vitesse du pignon soleil S à diminuer sa vitesse de rotation. A noter que plus je fais cet exercice en allant vers une vitesse haute, plus le rapport des vitesses de rotation C/R diminue, rapport qui est le speed ratio, notion importante dont j'ai parlé plus haut.

A un moment, pour une certaine vitesse véhicule, cette vitesse de MG1 devient nulle. Puis, si vous voulez aller encore à une vitesse plus élevée, MG1 va changer de sens de vitesse de rotation qui va devenir négative (S tourne dans le sens inverse de R). Plus la vitesse de MG1 est négative

Qu'est ce que ça donne en terme de rendement de transmission ?

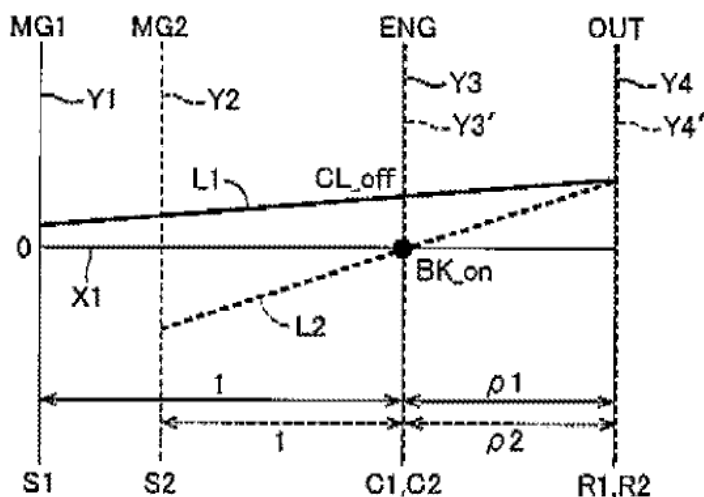
Le problème posé est qu'il faut essayer de faire tourner cet ICE à son meilleur rendement, sans trop dégrader le rendement de la transmission HSD, car dans ce cas là ça serait habiller Pierre en déshabillant Paul. Comme vous le savez sans doute, les rendements mécaniques d'une transmission par engrenages sont très bons (perte de 1% par train d'engrenage), donc le rendement est bon pour toute la puissance qui passe par la voie mécanique du HSD (voie ICE->C->R). Mais le rendement de la voie électrique du HSD (ICE->S->MG1->AC/DC->DC/AC->MG2->R) est moins bonne du fait de toutes les transformations énergétiques qu'elle impose : on en laisse un peu à chaque fois.

La clef d'un bon rendement de transmission HSD est donc de minimiser la puissance passant par la voie électrique. Dans mon explication ci-dessus, quand la vitesse de rotation MG1 est nulle, c'est l'idéal, car toute la puissance passe par voie mécanique.

Et si on reste proche de ce point ( $V(MG1)$  pas trop positive ou pas trop négative), c'est pas mal : assez peu de puissance passera par voie électrique.

Comment procédait Toyota sur la P2 pour arriver aux points de fonctionnement décrit plus hauts (vitesse véhicule élevée et vitesse de rotation moteur basse, avec vitesse. Et bien il demandait à MG2 (relié à la couronne) de freiner un peu l'action de l'ICE en fonction en générateur. L'énergie dégagée allait vers MG1 et l'actionnait en moteur en sens inverse, ce qui accélérât, par le même procédé que les modes EV vus plus haut, la couronne, sans accélérer l'ICE. C'est ce qu'on appelait le mode hérétique. Problème : c'est au prix d'un rendement de transmission pas très bon qui annihile en partie les efforts déployés pour faire tourner l'ICE lentement dans sa meilleure plage de rendement.

Je ne sais pas du tout si ce mode hérétique a été conservé sur la P3. En effet, si vous revenez à la figure 4, vous vous apercevez que MG2, sur le train 2 est à vitesse négative (cf. droite pointillée oblique).



Dans le cas ci-dessus de vitesse élevée, où MG1 tournerait également dans le sens négatif, et envoyer du courant de MG1 vers MG2 ou inversement ne change pas grand chose, celui qui est moteur accélérera la couronne extérieure à peu près de la même manière aux rapports de denture des deux trains près. D'ailleurs, je remarque sur le forum du PTC, sauf erreur de ma part, que toutes les discussions sur ce mode hérétique et toutes les mesures réalisées au scangaugue concernent la P2. Je ne serais pas étonné avis que sur la P3, Toyota s'est arrangé pour rester à vitesse élevée dans la configuration de la fig.4 : vitesse MG1 nulle à légèrement positive, en générateur envoyant son courant à MG2, et avec une vitesse ICE restant faible, grâce à un rapport de pont sensiblement rallongé par rapport à la P2 (la contrepartie étant des performances très peu améliorées).

Il est temps d'ailleurs d'aborder la fig.8 qui va être un morceau de bravoure pour constater que Toyota n'envisage pas de mode hérétique pour le mode HV-1.

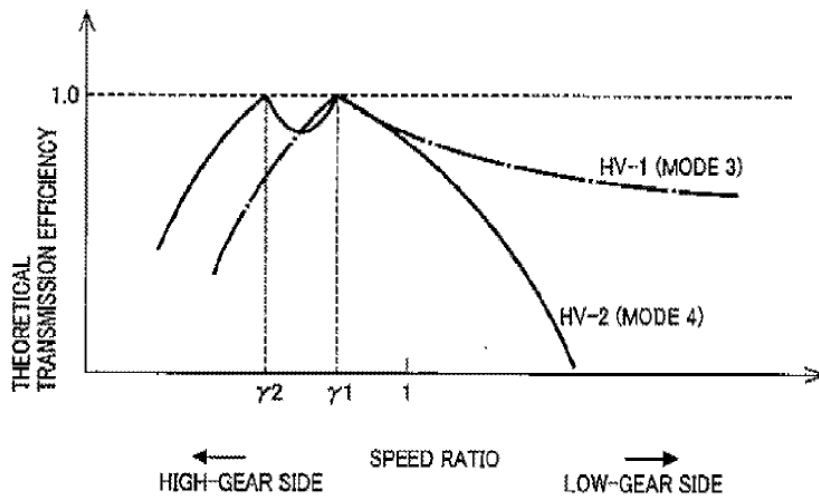


FIG. 8 is a view for explaining transmission efficiency of the drive system of FIG. 1

Que représente cette figure 8 ?

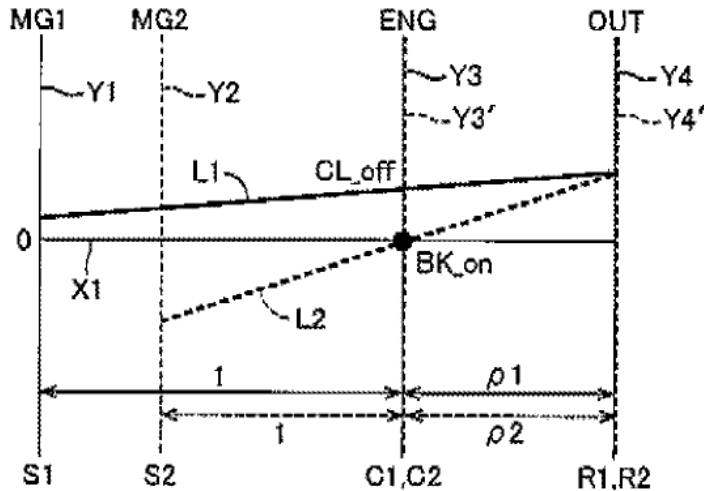
En ordonnée, vous avez le rendement théorique de la transmission. L'interprétation tout de mon cru de ce qu'entend Toyota par ce terme est la suivante. C'est un rendement où :

- les pertes par voie mécanique sont négligées,
- les pertes par voie électriques sont comptées et...
- ... si MG1 et MG2 sont tous deux moteurs ou tous deux générateurs, l'énergie qu'ils tirent ou envoient vers la batterie est considérée comme perdue (ce qui n'est pas vrai, elle est stockée ou déstockée d'un gain précédent !)

En abscisse, vous avez le fameux speed ratio dont j'ai parlé ci-dessus. Il est temps de l'interpréter : c'est l'équivalent du rapport de transmission d'une boîte de vitesse. S'il est égal à 1, vous êtes sur une BV classique "en prise". S'il est inférieur à 1, vous êtes en overdrive ou surmultipliée, ce qui arrive en général aux vitesses élevées. S'il est supérieur à 1, vous êtes en sous-multipliée (sur des rapports inférieurs) ce qui arrive en général à des vitesses basses.

Examinons la courbe de rendement de HV-1 : il y a un point  $\gamma_1$ , correspondant à la vitesse où MG1 est nulle, dont j'ai parlé plus haut. Puisque les pertes mécaniques sont négligées dans ce rendement théorique, il est égal à ce point où rien ne se perd par voie électrique (l'autre moteur MG2 est laissé en roue libre à ce point). Ce point est intelligemment positionné (via les choix des rapports du train 1) pour être déjà dans une zone de vitesse assez élevée où l'on est en overdrive ( $\gamma_1 < 1$ )

Si l'on part vers la droite (augmentation du speed ratio, donc la droite oblique de la fig.4 tourne dans le sens des aiguilles d'une montre), la vitesse de MG1 passe positive et il marche en générateur alimenté par l'ICE, il renvoie l'énergie à MG2 avec des pertes au passage, donc le rendement commence à baisser.



Plus l'on se déplace vers la droite, plus le pourcentage de puissance de l'ICE vers la voie électrique est important et les pertes augmentent. Cette courbe s'arrête sur la droite au moment où le speed ratio correspondant au démarrage du thermique peut après que vous ayez quitté l'arrêt : là quasiment toute la puissance passe par la voie électrique ce qui génère pas mal de pertes et donc un rendement de transmission moyen.

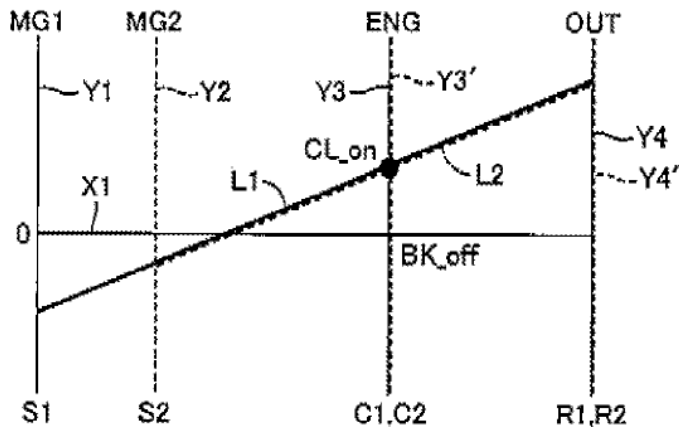
Au passage, quand le speed ratio est de 1, c'est que votre droite pleine sur la fig.4 est horizontale : il me semble que l'on est dans cette situation à  $V_{max}$  du véhicule. Vous allez me dire : mais alors, on est plus en overdrive bien que la vitesse soit plus élevée ? Bien oui, car si vous commencez à vouloir aller très vite, il va falloir commencer à demander beaucoup de puissance à votre ICE qui va devoir monter dans les tours, bien plus vite que l'augmentation de vitesse, d'où une augmentation du speed ratio. La situation de speed ratio visée par Toyota en overdrive correspondant à la zone des points gamma 1 et 2 correspond à mon avis à une plage de vitesse entre 70 et 120-130 km/h environ (d'où le terme utilisé dans le brevet "relatively high speed").

Si l'on part sur la gauche de gamma 1, MG1 tourne en vitesse négative, et là, mon interprétation est que Toyota assume qu'il tourne en moteur, comme pour MG2. Dès lors, une certaine puissance est pompée sur la batterie, et fait que le rendement chute. Plus, vous allez sur la gauche, plus MG1 et MG2 tourne vite en négatif et pompent sur la batterie et plus le rendement chute. La plaisanterie s'arrête (fin de la courbe HV-1 à gauche) pour le speed ratio ou MG1 (ou MG2 ?) atteint sa  $V_{max}$ .

Voilà, on a posé les longues bases nécessaires à la compréhension fine de ce que peut apporter le mode HV-2, que je vais tâcher d'expliquer demain.

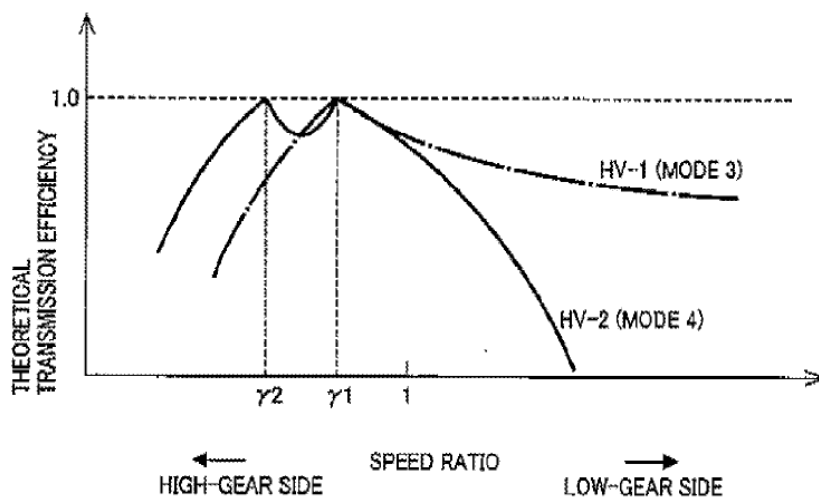
Je devance tout de suite la question de Gilbert qui va me faire remarquer fort justement qu'il existe une infinité de speed ratio C/R pour une vitesse de MG1 nulle, et donc que gamma1 ne devrait pas être un point. Aussi, je pense que dans la fig. 8 ainsi que les commentaires qui y sont attachés dans le corps du brevet (0056 à 0060), la vitesse de l'ICE est fixée (donc correspondant à un point fixe sur la verticale "ENG" de la fig. 4 ou fig. 6) et le speed ratio varie en faisant tourner la droite oblique autour de ce point).

Bon, je continue, prenons maintenant la fig. 6 correspondant au mode HV-2.



Vous remarquez qu'il n'y a plus qu'une seule droite oblique, et que MG2 ne vit plus sa vie de façon relativement libre, comme il l'était sur la fig.4 avec sa courbe pointillée : normal puisque comme précisé plus haut, les vitesses de MG1 et MG2 sont désormais liées linéairement avec les vitesses de l'ICE et de la couronne extérieure.

Maintenant, tâchons d'interpréter la courbe HV-2 sur la fig. 8.

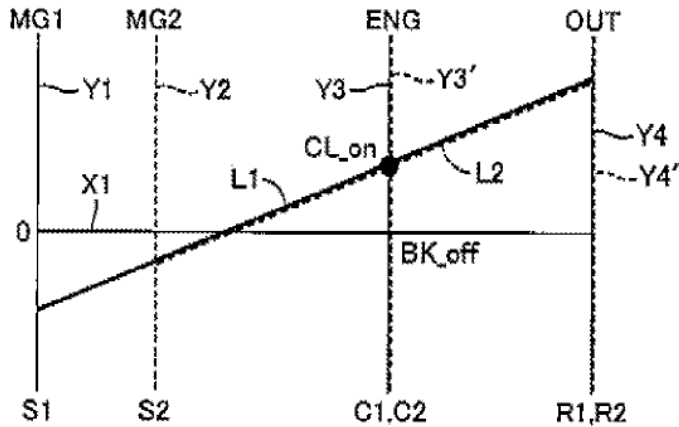


Tournons, autour du point d'intersection avec la verticale ENG (point représentant la vitesse de l'ICE, supposé fixée au départ (cf. ci-dessus)), la droite oblique de la fig. 6 dans le sens des aiguilles d'une montre de façon à nous retrouver avec  $V(MG1) = 0$ .

Nous sommes au point gamma1 de cette courbe sur la fig. 8, un point magique que Toyota appelle un "point mécanique" où selon les conventions de Toyota, le rendement de transmission est de 1. A ce point, MG2 est laissé libre, sa vitesse de rotation positive étant imposée par celles de MG1 et de l'ICE.

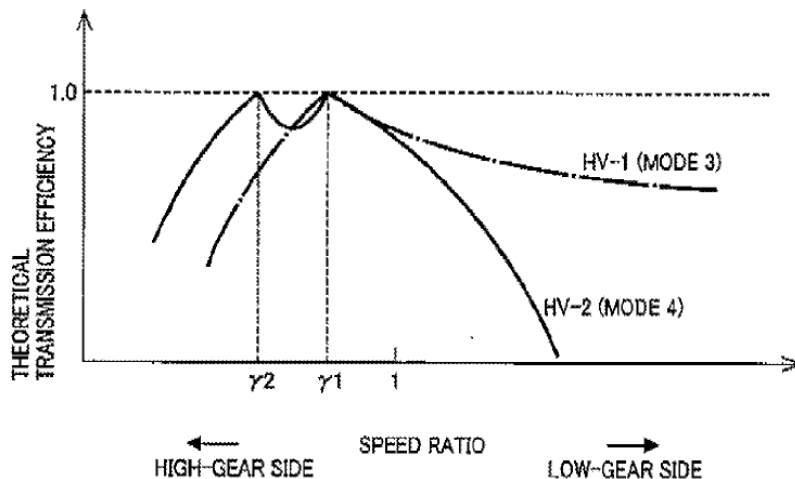
Si nous continuons maintenant à tourner la droite dans le sens des aiguilles d'une montre, les vitesses des deux MG deviennent positives : l'un ou les deux doit tourner

en générateur de façon à offrir un couple résistant pour que l'ICE ne patine pas dans le vide côté pignons soleil.

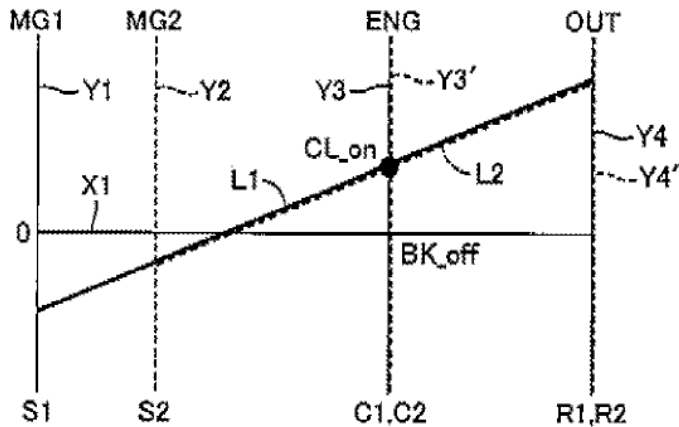


L'énergie électrique résultante par dans la batterie et est donc considérée comme perdue par Toyota et le rendement baisse. Le processus s'accroît si l'on continue à tourner la droite dans le même sens, car de plus en plus de proportion de l'énergie produite par l'ICE va dans la batterie et plus dans les roues. la courbe descend plus vite que dans le mode HV-1, où l'énergie de génération de MG1 était recyclée dans MG2 et la perte de rendement était alors limitée au seules pertes de la voie électrique. Finalement la courbe s'arrête à un speed ratio correspondant à une vitesse véhicule (point d'intersection de la droite avec la verticale Out) pratiquement nulle : quasiment toute la puissance de l'ICE part en puissance électrique vers la batterie (on est quasiment en mode groupe électrogène) et le rendement correspondant est donc quasiment nul. Une zone d'ombre subsiste dans mon explication : le speed ratio pour lequel la courbe s'arrête devrait être le même que pour HV-1. Or la courbe de HV-1 poursuit sa route vers la droite. Gilbert, si tu as une idée...

Maintenant, repartons du point gamma1 de la courbe et tournons la droite dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. **Nous arrivons dans la zone entre les points gamma1 et gamma2 qui est la raison d'être de HV-2.**



La vitesse de MG1 est négative alors que celle de MG2 est encore positive : Génial, MG2 qui tourne en générateur peut alors recycler son énergie dans MG1, qui va être moteur et aider l'ICE dans sa tâche. C'est une espèce de mini-mode hérétique, puisque c'est MG2 qui alimente MG1.



Dans ces conditions, la baisse du rendement est limitée aux pertes dans la voie électrique de l'énergie transitant entre MG1 et MG2 (ou plus exactement entre S1 et S2). De plus la part de puissance de l'ICE passant par la voie électrique est faible car on est toujours proche d'un des deux points magiques gamma1 et gamma2 (rendement 1). En effet, le point gamma2 (correspondant à  $V(\text{MG2}) = 0$ ) qui n'avait pas de sens dans HV-1 puisque le train 2 n'était pas relié directement à l'ICE, en a un bien un dans le mode HV-2.

On peut dès lors expliquer la forme de chaînette de la courbe HV-2 entre les deux points gamma1 et gamma2 sur la figure 8. Quand on quitte gamma1, les pertes par voie électrique augmentent peu à peu, pour commencer à rediminuer à peu près à mi distance de gamma1 et gamma2 lorsqu'on se rapproche du deuxième point magique gamma2.

Une autre façon de comprendre pourquoi les pertes dans cette zone sont faibles est que l'ICE alimente les deux trains planétaires dans HV-2 : et son couple est donc divisé en deux entre ces deux planétaires (je parle bien du couple fourni par l'ICE, pas du couple résultant sur l'axe). Chaque train va répartir cette moitié de couple entre couronne et soleil. Tout ce qui va vers les deux couronnes (soit une bonne part puisque l'on est à vitesse élevée), c'est de la bonne puissance mécanique. Seule une faible part va vers la voie électrique via le pignon soleil S2 pour être réinjectée dans le train 1 via le pignon soleil S1. Cette part est d'autant plus faible qu'elle ne correspond qu'à la moitié du couple de l'ICE, contrairement au powersplit sur un seul train planétaire où c'est la totalité du couple de l'ICE qui est répartie, avec donc forcément, une plus grande part de puissance partant vers la voie électrique. ET faible part par voie électrique = bon rendement de transmission.

**Donc, voilà le gros avantage de HV-2, vous pouvez travailler à vitesse élevée avec un rapport de surmultiplication plus élevée, c'est à dire avec une vitesse de rotation de l'ICE plus faible, et donc une faible conso, tout en gardant un excellent rendement de transmission, presque toute la puissance de l'ICE**



passant par voie mécanique. C'est aussi très bon pour le bruit moteur du véhicule à vitesse élevée, qui sera plus faible.

Je ne pense pas que ça sera le cas sur une P4 PHEV, mais il n'est pas interdit de penser que sur des véhicules à vocation plus dynamique, ce mode HV-2 permet de raccourcir le rapport de pont par rapport à un HSD classique, tout en préservant une conso faible à haute vitesse, ce qui permettrait de regagner en reprises.

Bon on finit l'interprétation de la courbe HV-2 de la fig. 8 en regardant ce qui se passe "à gauche de gamma 2.

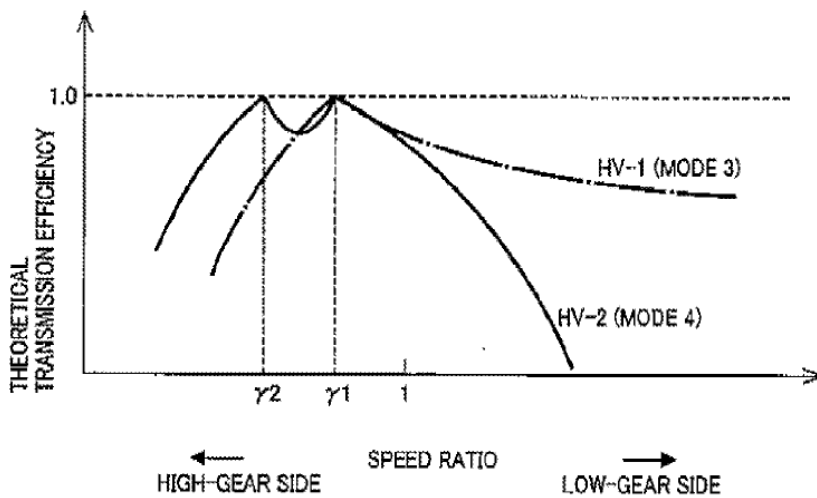


FIG. 8 is a view for explaining transmission efficiency of the drive system of FIG. 1

On continue à faire tourner sur la fig.6, alors que  $V(MG2) = 0$ , la droite oblique dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

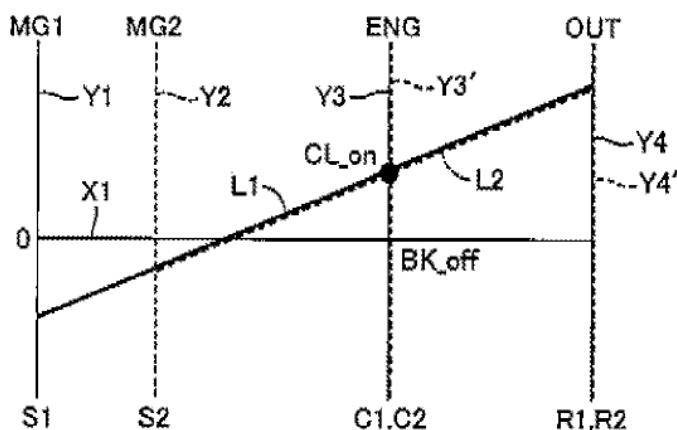


FIG. 6 is a collinear chart having straight lines which permit indication thereon of relative rotating speeds of various rotary elements of the drive system of FIG. 1, the collinear chart corresponding to the mode 4 of FIG. 3

MG2 passe alors en vitesse négative, comme MG1 qui l'est déjà, Dès lors, on se retrouve dans un cas similaire au mode HV-1 lorsqu'il est à gauche de gamma 1 (cf.

plus haut) : mon interprétation est que Toyota assume que MG1 et MG2 tournent en moteur. Dès lors, une certaine puissance est pompée sur la batterie, et fait que le rendement chute. Plus, vous allez sur la gauche, plus MG1 et MG2 tourne vite en négatif et pompent sur la batterie et plus le rendement chute. La plaisanterie s'arrête (fin de la courbe HV-2 à gauche) pour le speed ratio ou MG1 (ou MG2 ?) atteint sa Vmax : je pense à la réflexion que la courbe HV-1 s'arrête quand MG2 atteint sa Vmax et que la courbe de HV-2 s'arrête quand MG1 atteint sa Vmax, ce qui peut expliquer les différences de niveau entre les deux points d'arrêt des courbes.

Donc on s'aperçoit que dans cette zone à très faible speed ratio, si le rendement de HV-2 chute, il reste tout de même supérieur à celui de HV-1.

Une question que je vois bien Jan me poser : le mode HV-2 permet-il de cumuler les trois puissances ICE+MG1+MG2 ?

**La réponse est non.** En effet, qui dit pleine puissance de l'ICE, dit vitesse de rotation élevée et donc speed ratio élevé. Et comme on l'a vu, dans cette zone MG1 et/ou MG2 doivent tourner en générateur.

Par contre, si la batterie est suffisamment pleine, ce mode pourrait être utilisée pour accélérer d'une vitesse moyenne à une vitesse élevée avec les deux moteurs MG1 et MG2 en laissant l'ICE à faible vitesse de rotation, pour un grand confort pour les passagers (poussée électrique sans vibration, faible bruit). Vous êtes à 70 km/h stabilisé en mode HV-2 (dans le sweet spot gamma 1-gamma 2), et vous voulez passer à 110 km/h ou 130 km/h en entrée d'autoroute. En appuyant sur l'accélérateur à moyenne charge, c'est MG1 qui va fournir plus de puissance pour faire tourner la droite oblique de façon à augmenter la vitesse, puis dès que gamma 2 est passé, il est rejoint par MG2 qui l'aide dans sa tâche. Une fois votre nouvelle vitesse de croisière atteinte, le HSD se remet sur un point de fonctionnement dans le sweet spot gamma1-gamma2. Vous pourriez faire la même chose avec le mode HV-1, mais avec un rendement moins bon (cf. ci-dessus).

Bon maintenant le dessert :

Mode HV-3 ou mode 5 (0061, 0062 et fig 7)

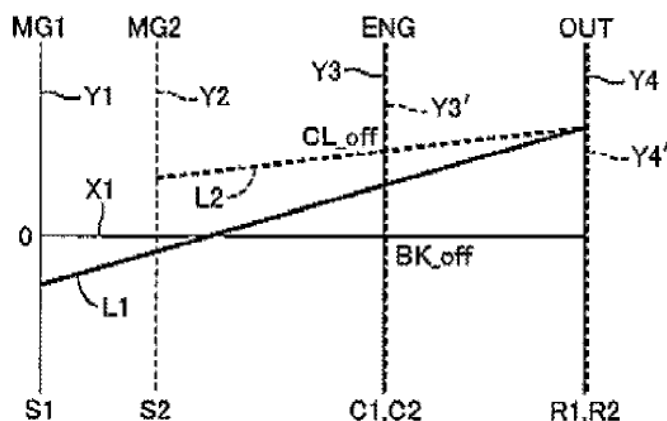


FIG. 7 is a collinear chart having straight lines which permit indication thereon of relative rotating speeds of various rotary elements of the drive system of FIG. 1, the collinear chart corresponding to the mode 5 of FIG. 3

Dans ce troisième mode HV, embrayage et frein sont ouverts. Ça veut dire que MG2 est déconnecté. On peut le laisser au repos, le porte satellites du train 2, entraîné par la couronne de ce train 2, pourra tourner autant qu'il veut dans le vide et sans entrave.

Pour Toyota, ce mode est employé à vitesse relativement élevée, si bien que la vitesse de MG1 est négative et il est employé en moteur pour aider l'ICE. Puisqu'il n'y a plus de MG2, MG1 pompe forcément sur la batterie.

Quel est l'intérêt selon Toyota ? Toyota dit qu'en mode HV-1 :

- soit MG2 peut atteindre sa vitesse maxi, ce qui pourrait être limitant
- soit MG2 est nécessairement utilisé en moteur et relié à la couronne R2, ce qui peut générer des pertes.

D'où l'intérêt de ce mode HV-3 qui déconnecte MG-2 et pallie aux deux problèmes ci-dessus.

Pour ma part, j'ai le plus grand mal à voir l'intérêt de ce mode HV-3, d'autant plus que la courbe de rendement de ce mode n'est pas sur la figure 8. En effet, on sait qu'à haute vitesse, on a le mode HV-2 qui pallie avantageusement le mode HV-1, et même à des speed ratios encore plus faibles en dehors du sweet spot, il reste encore avantageux. Peut-être le mode HV-3 est-il encore meilleur dans ces conditions ? La seule utilisation possible correspondante selon moi serait dans des descentes sur autoroute, où l'ICE tourne lentement (donc speed ratio très faible), mais où la pente n'est pas suffisamment prononcée pour pouvoir fonctionner en EV. C'est peut-être là que Toyota voit utiliser ce mode ?

C'est à se demander si Toyota n'a pas décrit ce mode uniquement parce qu'il existait !

Voilà qui termine le décryptage du brevet et qui permet de comprendre dans le détail ce que peut apporter cette transmission. Ouf !