



(51) Classification internationale des brevets :

F02D 41/00 (2006.01) F02M 26/25 (2016.01)
F02D 41/14 (2006.01) F02M 26/33 (2016.01)
F02M 26/05 (2016.01) F02M 26/53 (2016.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2016/053486

(22) Date de dépôt international :

16 décembre 2016 (16.12.2016)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1650189 11 janvier 2016 (11.01.2016) FR

(71) Déposant : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA
[FR/FR]; Route de Gisy, 78140 Velizy Villacoublay (FR).

(72) Inventeur : ACHIR, Ali; 242 Rue Maurice Berteaux,
78955 Carrieres Sous Poissy (FR).

(74) Mandataire : RENOUS-CHAN, Véronique; Peugeot Citroën
Automobiles SA, Propriété Industrielle, 18 rue des
Fauvelles, 92250 La Garenne Colombes (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : DEVICE FOR CONTROLLING AN ELECTRIC ACTUATOR OF AN EXCHANGER VALVE OF A CIRCUIT FOR RECIRCULATING EXHAUST GASES

(54) Titre : DISPOSITIF DE CONTROLE D'UN ACTIONNEUR ELECTRIQUE D'UNE VANNE D'ECHANGEUR DE CIRCUIT DE RECIRCULATION DES GAZ D'ECHAPPEMENT

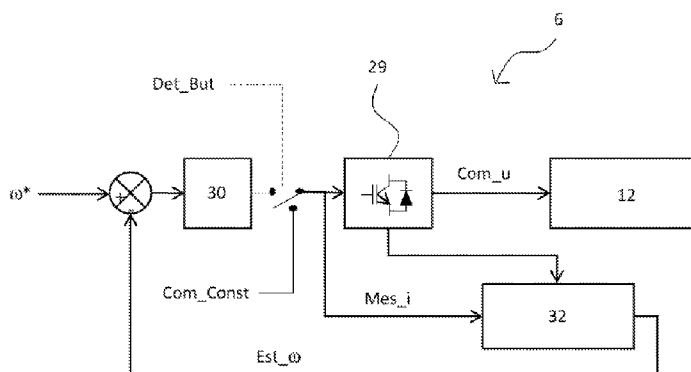


Fig. 2

(57) Abstract : The invention mainly relates to an internal combustion engine of a motor vehicle, comprising: a circuit for recirculating exhaust gases comprising a heat exchanger; a three-way valve (12) associated with said exchanger, referred to as exchanger valve, for managing an amount of exhaust gas circulating in said heat exchanger and an amount of gas short-circuiting said heat exchanger by passing through a short-circuit pipe, characterised in that said internal combustion engine also includes: an electric actuator intended for controlling the opening and closing of said exchanger valve (12); and a control device (6) capable of controlling the speed of said electric actuator by means of a software sensor (32) capable of estimating a speed of said electric actuator in accordance with a command emitted by an adjustment system (30) and a measurement of current (Mes_i) consumed by said electric actuator.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

**Déclarations en vertu de la règle 4.17 :**

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

L'invention porte principalement sur un moteur à combustion interne de véhicule automobile comprenant: - un circuit de recirculation des gaz d'échappement comportant un échangeur thermique, - une vanne trois voies (12) associée audit échangeur, dite vanne d'échangeur, pour gérer une quantité de gaz d'échappement circulant dans ledit échangeur thermique et une quantité de gaz court-circuitant ledit échangeur thermique en passant par un conduit de court-circuit, caractérisé en ce que ledit moteur à combustion interne comporte en outre: - un actionneur électrique destiné à commander une ouverture et une fermeture de ladite vanne d'échangeur (12), et - un dispositif de contrôle (6) apte à piloter ledit actionneur électrique en vitesse au moyen d'un capteur logiciel (32) apte à estimer une vitesse dudit actionneur électrique en fonction d'une commande issue d'un système de régulation (30) et d'une mesure de courant (Mes_i) consommé par ledit actionneur électrique.

DISPOSITIF DE CONTROLE D'UN ACTIONNEUR ELECTRIQUE D'UNE VANNE D'ECHANGEUR DE CIRCUIT DE RECIRCULATION DES GAZ D'ECHAPPEMENT

[0001] La présente invention porte sur un dispositif de contrôle d'un actionneur électrique
5 d'une vanne d'échangeur de circuit de recirculation des gaz d'échappement (dit circuit
"EGR" acronyme pour "Exhaust Gas Recirculation" en anglais). L'invention trouve une
application particulièrement avantageuse, mais non exclusive, dans le domaine des
véhicules automobiles équipés d'un moteur de type diesel ou essence.

[0002] De façon connue en soi, un échangeur de circuit de recirculation des gaz
10 d'échappement (ou échangeur EGR) et sa vanne trois voies correspondante, dite vanne
d'échangeur, constituent un dispositif important pour assurer la dépollution des moteurs à
combustion interne. Ce dispositif permet d'abaisser la température des gaz recirculés et
donc la température des gaz en entrée du moteur dans la zone du circuit EGR. On
améliore ainsi le taux d'EGR (rapport entre le volume des gaz d'échappement récupérés
15 par l'EGR et le volume total de gaz à l'admission) afin de limiter les émissions de
particules polluantes, telles que les oxydes d'azote (ou "NOx").

[0003] La vanne d'échangeur est actionnée par un organe pneumatique muni d'une
électrovanne via un circuit de vide secondaire. Un capteur de position est réservé à des
besoins de diagnostic, mais peut être supprimé dans certaines applications. Le pilotage
20 d'un tel système se fait simplement par une commande de type marche/arrêt.

[0004] Toutefois, l'actionnement pneumatique de la vanne d'échangeur présente
plusieurs inconvénients, en particulier de conception. On peut ainsi observer des entrées
d'eau dans le circuit de dépression par la mise à l'air des électrovannes, une perte de
charge lorsqu'un piquage est réalisé au niveau du filtre à air, ou alors une sensibilité à
25 l'altitude du fait de la chute de la pression atmosphérique. En outre, l'actionnement
pneumatique de la vanne d'échangeur présente également des inconvénients de fiabilité
liés aux défaillances de l'électrovanne du poumon pneumatique lors de rupture ou de fuite
de tuyaux et de durites, et des inconvénients liés à l'impossibilité d'actionner la vanne
d'échangeur dans le cas où le moteur est arrêté car la pompe à vide du circuit de
30 dépression n'est plus entraînée. On précise également que l'actionnement pneumatique a

des inconvénients de coût, dans la mesure où, dans le cas d'un turbocompresseur actionné électriquement, l'actionneur de la vanne d'échangeur est le seul élément à utiliser le circuit de vide secondaire.

5 [0005] L'invention vise à proposer un moyen alternatif à l'actionnement pneumatique de la vanne de l'échangeur de circuit de recirculation des gaz d'échappement tout en minimisant son coût de revient.

[0006] A cet effet, l'invention propose un moteur à combustion interne de véhicule automobile comprenant:

- 10 - un circuit de recirculation des gaz d'échappement comportant un échangeur thermique,
- une vanne trois voies associée à l'échangeur, dite vanne d'échangeur, pour gérer une quantité de gaz d'échappement circulant dans l'échangeur thermique et une quantité de gaz court-circuitant l'échangeur thermique en passant par un conduit de court-circuit, caractérisé en ce que le moteur à combustion interne comporte en outre:
- 15 - un actionneur électrique destiné à commander une ouverture et une fermeture de la vanne d'échangeur, et
- un dispositif de contrôle apte à piloter l'actionneur électrique en vitesse au moyen d'un capteur logiciel apte à estimer une vitesse de l'actionneur électrique en fonction d'une commande issue d'un système de régulation et d'une mesure de courant consommé par
- 20 l'actionneur électrique.

[0007] L'invention permet ainsi, grâce à la mise en œuvre du capteur logiciel et de la prise en compte d'une mesure de courant, de proposer un actionnement électrique de la vanne d'échangeur sans avoir recours à une mesure de position. Outre le fait de limiter le coût de revient de l'actionneur électrique pour le rendre compétitif par rapport à un

25 actionneur de type pneumatique, l'invention permet de protéger l'actionneur électrique contre l'auto-échauffement.

[0008] Le choix de piloter en vitesse l'actionneur en question (appelé aussi actionneur « by-pass ») consiste à se satisfaire d'un pilotage en vitesse, comme il est possible

30 d'estimer la vitesse d'une manière robuste en utilisant par exemple un observateur PI en exploitant juste la mesure de courant, ce qui est simple et économique, donc très avantageux. L'invention part ainsi de la constatation que le temps de réponse demandé à l'actionneur peut être lent et qu'il n'est pas nécessaire de faire une régulation de

position, la véritable contrainte sur le composant concernant plutôt une vitesse d'accostage sur les butées.

5 [0009] L'invention autorise donc le pilotage d'un actionneur à courant continu, notamment d'un « by-pass » (déviation) électrique sans mesure de position ou de vitesse, ce qui est particulièrement innovant (et bien différent du pilotage de moteurs de type triphasés asynchrones).

10 [0010] Selon une réalisation, le capteur logiciel intègre un observateur de type proportionnel-intégral ayant une sortie fournissant une estimation de vitesse rebouclant avec le système de régulation, le système de régulation étant apte à élaborer une consigne de tension pour un étage de puissance commandant l'actionneur électrique.

[0011] Selon une réalisation, la mesure en courant est issue de l'étage de puissance.

15 [0012] Selon une réalisation, le dispositif de contrôle est configuré de telle façon que, lorsqu'un volet de la vanne d'échangeur est détecté en butée, une commande du système de régulation est remplacée par une commande constante.

[0013] Selon une réalisation, le dispositif de contrôle comporte une fonction de détection pour détecter une mise en butée du volet de la vanne d'échangeur par détection d'un saut de courant consommé par l'actionneur électrique.

20 [0014] Selon une réalisation, l'observateur de type proportionnel-intégral est basé sur une matrice d'observabilité de rang plein permettant d'observer des variations paramétriques sur une inductance, une résistance et une constante de force électromotrice d'un moteur électrique de l'actionneur électrique, ainsi que des perturbations sur le courant consommé par l'actionneur électrique.

[0015] Selon une réalisation, l'actionneur électrique est de type linéaire.

25 [0016] Selon une réalisation, l'actionneur électrique comporte un moteur électrique à courant continu, un train d'engrenage monté entre le moteur électrique et un volet de la vanne d'échangeur ainsi qu'un ressort de rappel apte à forcer le volet à se refermer en cas de défaillance de l'actionneur électrique.

[0017] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent. Ces figures ne sont données qu'à titre illustratif mais nullement limitatif de l'invention.

5 [0018] La figure 1 est une représentation schématique d'une architecture de moteur à combustion interne selon la présente invention mettant en œuvre le dispositif de contrôle d'un actionneur électrique associé à la vanne d'échangeur de circuit de recirculation des gaz d'échappement;

10 [0019] La figure 2 est un schéma de commande d'un actionneur électrique d'une vanne d'échangeur de circuit de recirculation des gaz d'échappement selon la présente invention à partir d'un capteur d'estimation de vitesse;

[0020] La figure 3 est un graphique illustrant un principe d'élaboration d'une consigne de vitesse selon la présente invention;

15 [0021] La figure 4 est une représentation schématique d'un actionneur électrique de la vanne d'échangeur de circuit de recirculation des gaz d'échappement selon la présente invention;

[0022] La figure 5 est un schéma bloc d'une réalisation d'un observateur proportionnel intégral selon la présente invention;

20 [0023] Les figures 6 à 12 représentent des graphiques de vitesse, de position, et de courant parcourant l'actionneur électrique selon la présente invention en fonction d'incertitudes paramétriques du système;

[0024] La figure 13 est un schéma illustrant une stratégie de détection en butée de la vanne d'échangeur de circuit de recirculation des gaz d'échappement selon la présente invention.

25 [0025] La figure 1 montre une architecture 1 comportant un moteur à combustion interne 5 suralimenté par un turbocompresseur 2 comprenant un compresseur 3 et une turbine 4. Le compresseur 3 permet de comprimer l'air d'admission de manière à optimiser le remplissage des cylindres du moteur 5. A cet effet, le compresseur 3 est disposé sur un conduit d'admission 8 en amont du moteur 5. L'écoulement des gaz d'échappement entraîne en rotation la turbine 4 disposée sur un conduit d'échappement 9, laquelle
30 entraîne alors en rotation le compresseur 3 par l'intermédiaire d'un arbre d'accouplement.

Une vanne 15 de commande de turbocompresseur 2 située en amont de la turbine 4 permet de gérer la quantité de gaz d'échappement circulant à travers la turbine 4 et la quantité de gaz passant par un conduit de décharge 16.

5 [0026] De manière à maintenir la densité de l'air acquise en sortie du compresseur 3, on utilise un échangeur de chaleur 10 dit RAS (pour Refroidisseur d'Air de Suralimentation) apte à refroidir l'air circulant dans le conduit d'admission 8. L'échangeur 10 est monté en aval du compresseur 3 et en amont d'un doseur d'air 18.

10 [0027] Par ailleurs, un circuit 23 de recirculation des gaz d'échappement (dit "EGR" pour "Exhaust Gaz Recirculation" en anglais) comprend un conduit 13 établissant une mise en communication d'un collecteur d'échappement 20 avec le conduit d'admission 8, et un échangeur EGR 14 des gaz d'échappement monté sur le conduit 13. Une vanne d'EGR 25 permet de gérer la quantité de gaz d'échappement réinjecté à l'admission. En outre, une vanne d'échangeur 12 associée à un actionneur électrique 19 est apte à gérer la quantité de gaz d'échappement circulant dans l'échangeur EGR 14 et la quantité de gaz court-circuitant l'échangeur EGR 14 en passant par le conduit de court-circuit 21.

15 [0028] Un dispositif de contrôle 6 pilote l'actionneur électrique 19 en vitesse ω au moyen d'un capteur logiciel 32 apte à estimer une vitesse ω de l'actionneur électrique 19 en fonction d'une commande issue d'un système de régulation 30 de type PID (Proportionnel-Intégral-Dérivé) et d'une mesure de courant Mes_i consommé par l'actionneur électrique 20 19. Le capteur logiciel 32 intègre un observateur de type proportionnel-intégral décrit plus en détails ci-après ayant une sortie fournissant une estimation de vitesse Est_ω rebouclant avec le système de régulation 30. Le système de régulation 30 élabore une consigne de tension pour un étage de puissance 29, constitué par un hacheur, commandant l'actionneur électrique 19.

25 [0029] Le besoin dysfonctionnel de pouvoir fermer la vanne d'échangeur 12 dans le cas où l'actionneur 19 est défaillant contraint d'utiliser un ressort de rappel 28 (cf. figure 4) pour forcer la vanne d'échangeur 12 à se refermer. Cette contrainte est exploitée avantageusement afin de pouvoir piloter l'actionneur 19 par le hacheur 29 (appelé aussi "demi-pont").

30 [0030] Par ailleurs, le besoin fonctionnel est d'ouvrir et de fermer la vanne d'échangeur 12 tout en respectant les contraintes liées à la tenue du composant, à savoir la vitesse ω d'accostage (au contact en butée, référencé 24) et le courant de pilotage en régime

stabilisé qui doit être inférieur au courant maximal prescrit par le fabricant de l'actionneur 19. Cette dernière contrainte suggère l'utilisation de la mesure de courant Mes_i afin de limiter le courant dans l'actionneur 19. Cette mesure de courant Mes_i est exploitée afin d'estimer la vitesse Est_ω de l'actionneur 19 et de pouvoir respecter la contrainte en

5 vitesse ω d'accostage. Le schéma de commande proposée est représenté en figure 2. Lorsque l'actionneur 19 est détecté en butée Det_But, on remplace la commande du système de régulation 30 par une commande constante Com_Const.

[0031] La consigne de vitesse ω^* est reconstruite à partir de la demande d'ouverture (Pos_O) ou de fermeture (Pos_F) selon la figure 3. Le profil de vitesse ω peut être choisi

10 autre, tout en respectant les vitesses maximales Vmax à l'approche des butées. Les courbes 40 et 41 représentent respectivement la demande de position du volet 27 de l'actionneur 19 et la position attendue du volet 27 de l'actionneur 19.

[0032] Afin de concevoir l'observateur proportionnel intégral 32 (OPI) de type Luenberger, il est nécessaire de disposer d'un modèle linéaire de l'actionneur 19. Ce

15 dernier est conçu autour d'un moteur à courant continu 7, d'un train d'engrenages 11, et du ressort de rappel 28 comme illustré figure 4. Ce modèle linéaire peut être obtenu par simple écriture des équations physiques régissant le comportement de l'actionneur 19 de la vanne d'échangeur 12. Les paramètres de ce modèle sont fournis par le constructeur de l'actionneur 19. Le modèle comporte trois dynamiques principales qui sont :

20 - la dynamique de position :

La relation entre la dérivée de la position angulaire θ du volet 27 et la position angulaire du l'axe du rotor du moteur électrique ω s'écrit :

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{N} \omega \quad (1)$$

Où N représente le rapport de réduction du train d'engrenages 11.

25 - la dynamique de courant :

La loi de Kirchhoff permet décrire l'équation électrique du moteur à courant continu:

$$L \frac{di}{dt} = -fem - Ri + u \quad (2)$$

Sous l'hypothèse que la force électromotrice fem est proportionnelle à la vitesse de rotation du rotor, l'équation 2 se réécrit :

$$L \frac{di}{dt} = -K_e \omega - Ri + u \quad (3)$$

Où R, L et Ke représentent la résistance, l'inductance et la constante de la force électromotrice du moteur à courant continu respectivement. Quant à u et i, ils représentent respectivement la tension de commande et le courant électrique du moteur à courant continu.

5 - la dynamique de vitesse :

Grace à l'application de la seconde loi de Newton, l'équation régissant la dynamique mécanique du système s'écrit :

$$J \frac{d\omega}{dt} = K_m i - b\omega - \frac{1}{N} K_r \theta \quad (4)$$

10 Où J, b, Km et Kr représentent l'inertie, la constante de frottements visqueux, la constante de couple et la constante de raideur du ressort de rappel 28.

[0033] Les perturbations mal connues telles que les efforts aérauliques, la température et la précontrainte du ressort 28 ne sont pas prises en compte dans le modèle. Elles seront rejetées par l'action intégrale de l'observateur OPI 32.

15 [0034] On présente ci-après l'estimateur de la vitesse ω de l'actionneur 19. Une solution intuitive permettant d'estimer la vitesse ω de l'actionneur 19 peut être trouvée en exploitant la fem du moteur à courant continu. En effet, comme évoqué plus haut, la fem est proportionnelle à la vitesse $fem = K_e \cdot \omega$. Par ailleurs, à partir de l'équation (2), on peut calculer sa valeur instantanée à partir de la mesure de courant Mes_i. Sachant que la dynamique de courant est beaucoup plus rapide que celle de vitesse ω , on peut négliger le

20 terme $\frac{di}{dt}$. Ceci permet aussi de se prémunir du bruit de mesure sur le courant Mes_i qui sera amplifié par l'opérateur de dérivation. La vitesse ω de l'actionneur 19 peut alors être déduite comme suit :

$$\omega = \frac{u - Ri}{K_e} \quad (5)$$

25 On remarque alors que la vitesse ω de l'actionneur 19 dépend de deux paramètres R et Ke. Ces paramètres sont variables dans le temps t en fonction de la température et dispersés d'un actionneur à un autre. Cette façon de procéder ne sera donc pas robuste et fournira une estimation Est_ ω biaisée de la vitesse ω de l'actionneur 19 pour une application automobile.

[0035] Lorsque le modèle dynamique du système est soumis à l'influence d'entrées inconnues provenant d'erreurs de modélisation, d'incertitudes paramétriques, de perturbations et de bruits, on fait appel à des techniques avancées telles que les observateurs à entrées inconnues (OEI) ou les observateurs de Luenberger à action proportionnelle et intégrale 32 (OPI). Ce type d'observateur 32 est un système dynamique auxiliaire (modèle) qui fournit une estimation de l'état en tenant compte du fait que, les seules grandeurs accessibles du système sont les variables d'entrée et de sortie.

[0036] On décrit ci-après les étapes permettant de construire l'observateur 32 :
Les équations (1), (3) et (4) permettent d'écrire le système sous forme d'équations d'état suivantes :

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + Ev \\ y = Cx \end{cases} \quad (6)$$

Avec:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{N} & 0 \\ -\frac{K_r}{JN} & -\frac{K_f}{J} & \frac{K_m}{J} \\ 0 & -\frac{K_e}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ L \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x \\ \omega \\ i \end{bmatrix} \text{ et } C = [0 \quad 0 \quad 1] \quad (7)$$

Où A, B et C représentent les matrices d'état, de commande et de sortie. E représente la matrice représentant l'influence des perturbations, des erreurs de modélisation ou les variations paramétriques du système. Elle sera explicitée plus bas. x, u et y représentent respectivement les vecteurs d'état, de commande et de sortie. v représente le vecteur d'erreurs de modélisation, des perturbations ou des variations paramétriques. Ces dernières sont supposées constantes ou varient lentement en fonction du temps t. L'observateur 32 pour le système (6) s'écrit comme suit :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + K_p(y - \hat{y}) + E\hat{v} \\ \dot{\hat{v}} = K_i(y - \hat{y}) \\ \hat{y} = C\hat{x} \end{cases} \quad (8)$$

Où le signe ^ représente les variables estimées. Kp et Ki représentent les paramètres de réglage de la dynamique de convergence de l'estimateur (cf. figure 5).

[0037] Pour démontrer la convergence de l'observateur 32, on augmente le système (6) d'un état supplémentaire v en considérant que $\dot{v} = 0$. Cette hypothèse est justifiée car v est considéré constant ou variant lentement.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} A & E \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_{\tilde{A}} \begin{bmatrix} x \\ v \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}}_{\tilde{B}} u, y = \underbrace{\begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix}}_{\tilde{C}} \begin{bmatrix} x \\ v \end{bmatrix} \quad (9)$$

5 [0038] Définissant alors l'erreur d'estimation telle que :

$$\begin{cases} \tilde{x} = x - \hat{x} \rightarrow \dot{\tilde{x}} = \dot{x} - \dot{\hat{x}} \\ \tilde{v} = v - \hat{v} \rightarrow \dot{\tilde{v}} = \dot{v} - \dot{\hat{v}} \end{cases} \quad (10)$$

[0039] En remplaçant l'équation (8) et (9) dans 10, on obtient la dynamique de l'erreur suivante :

$$\begin{bmatrix} \dot{\tilde{x}} \\ \dot{\tilde{v}} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} A - K_p C & E \\ -K_i C & 0 \end{bmatrix}}_{\tilde{A}} \begin{bmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{v} \end{bmatrix} \quad (11)$$

10 [0040] Afin de garantir la convergence de l'observateur 32, il faut déterminer K_p , K_i et E tels que les valeurs propres de $\tilde{A}$ soient toutes à parties réelles strictement négatives. En pratique, on choisit une dynamique pour l'erreur de reconstruction (observateur) plus rapide que celle du processus en boucle ouverte. Le choix de la matrice E et donc des perturbations pouvant être rejetées par l'observateur 32 est subordonné par l'observabilité
15 du système (9). Cette condition est étudiée ci-dessous.

[0041] Les variations paramétriques sur K_r , K_f et K_m ainsi que les perturbations sur la vitesse ω liée au couple de charge agissent sur la dynamique de vitesse. La matrice E correspondante est la suivante : $E = [0 \quad 1 \quad 0]'$. La matrice d'observabilité du système (9) dite de Kalman définie par $W = [\bar{C} \quad \bar{C}\bar{A} \quad \bar{C}\bar{A}^2 \quad \bar{C}\bar{A}^3]'$

$$20 \quad W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{K_e}{L} & -\frac{R}{L} & 0 \\ \frac{K_e K_r}{JNL} & \frac{K_e R}{L^2} + \frac{K_e K_f}{JL} & \frac{R^2}{L^2} + \frac{K_e K_m}{JL} & -\frac{K_e}{L} \\ -\frac{K_e K_f K_r}{J^2 NL} - \frac{K_e K_r R}{JNL^2} & \frac{K_e}{L} \left(\frac{K_r}{JN^2} - \frac{K_f^2}{J^2} + \frac{K_e K_m}{JL} \right) - \frac{R}{L} \left(\frac{K_e R}{L^2} + \frac{K_e K_f}{JL} \right) & \frac{K_e}{L} \left(\frac{K_f K_m}{J^2} + \frac{RK_m}{JL} \right) - \frac{R}{L} \left(\frac{R^2}{L^2} + \frac{K_e K_m}{JL} \right) & \left(\frac{K_e R}{L^2} + \frac{K_e K_f}{JL} \right) \end{bmatrix} \begin{matrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \end{matrix}$$

On remarque alors que :

$$l_4 = - \left(\frac{K_r}{JN^2} + \frac{K_e K_m}{JL} + \frac{K_f R}{JL} \right) l_2 - \left(\frac{K_f}{J} + \frac{R}{L} \right) l_3 - \left(\frac{K_r R}{JLN^2} \right) l_1$$

[0042] Cette matrice d'observabilité n'est donc pas de rang plein car la ligne 4 est dépendante des autres lignes. Par conséquent, les variations de paramètres K_r , K_f et K_m

ainsi que les perturbations sur la vitesse ω liées au couple de charge ne sont pas observables. L'observateur 32 ne sera donc pas robuste à ces variations.

[0043] Les variations paramétriques sur L, R et Ke ainsi que les perturbations sur le courant correspondent à la matrice E suivante = $[0 \ 0 \ 1]'$.

- 5 [0044] Dans ce cas, la matrice d'observabilité du système décrit par l'équation (9) correspondante est :

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{K_e}{L} & -\frac{R}{L} & 1 \\ \frac{K_e K_r}{JNL} & \frac{K_e R}{L^2} + \frac{K_e K_f}{JL} & \frac{R^2}{L^2} + \frac{K_e K_m}{JL} & -\frac{K_e}{L} \\ -\frac{K_e K_f K_r}{J^2 NL} - \frac{K_e K_r R}{JNL^2} & \frac{K_e}{L} \left(\frac{K_r}{JN^2} - \frac{K_f^2}{J^2} + \frac{K_e K_m}{JL} \right) - \frac{R}{L} \left(\frac{K_e R}{L^2} + \frac{K_e K_f}{JL} \right) & \frac{K_e}{L} \left(\frac{K_f K_m}{J^2} + \frac{RK_m}{JL} \right) - \frac{R}{L} \left(\frac{R^2}{L^2} + \frac{K_e K_m}{JL} \right) & \left(\frac{K_e R}{L^2} + \frac{K_e K_f}{JL} \right) \end{bmatrix} \begin{matrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \end{matrix}$$

- 10 Cette fois, la matrice d'observabilité est de rang plein grâce à la présence de la valeur 1 dans la deuxième ligne qui rend toutes les lignes indépendantes. Par conséquent, les variations paramétriques sur L, R et Ke ainsi que les perturbations sur le courant sont observables. L'observateur 32 de Luenberger proportionnel intégral de l'équation (11) existe et sera robuste à ces variations.

- 15 On décrit ci-après, en référence aux figures 6 à 12, les résultats de validation en simulation. Sur les figures, les références Vc, Vr, et Ve correspondent respectivement à une vitesse de consigne; une vitesse réelle, et une vitesse estimée par l'observateur 32 du volet 27 de la vanne d'échangeur 12. Les références Pr et Pe correspondent respectivement à une position réelle et une position estimée du volet 27 de la vanne d'échangeur 12. Les références Cr et Ce correspondent respectivement à un courant réel et un courant estimé parcourant l'actionneur 19.
- 20

[0045] L'estimée de la vitesse Est_ ω issue de l'observateur 32 est rebouclée sur le système de régulation 30. Ce dernier se charge d'élaborer la commande u (Com_u) afin de suivre la consigne de vitesse ω^* décrite en figure 3.

- 25 [0046] Pour une régulation de vitesse ω sans incertitudes paramétriques ni perturbations (couple de charge), on note sur la figure 6 un parfait suivi de consigne de vitesse ω^* . La position estimée Pe, la vitesse estimée Ve, et le courant estimé Ce sont identiques aux mesures. L'observateur 32 reconstruit parfaitement tous les états du système. La vitesse ω de l'actionneur 19 est alors pilotable avec seulement la mesure de courant Mes_i.

[0047] En appliquant un couple de charge représentant la précontrainte du ressort de rappel 28 ainsi que les efforts aérauliques sur le volet 27 de la vanne d'échangeur 12, on obtient le résultat reporté en figure 7. On note un parfait suivi de consigne de vitesse ω^* après la convergence de l'observateur 32. Cependant, la position estimée Pe est décalée de la position réelle Pr de l'actionneur 19 car le système n'est pas observable avec la mesure de courant Mes_i . Ce résultat est conforme à l'analyse de l'observabilité réalisée plus haut. Cette propriété d'observabilité a orienté le choix de réguler le système en vitesse ω afin de répondre à des contraintes imposées. Le courant estimé Ce et la vitesse estimée Ve sont quant à eux fidèles aux valeurs réelles Cr et Vr après la convergence de l'observateur 32. La vitesse ω de l'actionneur 19 est pilotable même en présence des perturbations avec seulement la mesure de courant Mes_i .

[0048] Pour une régulation de vitesse ω avec incertitudes sur R , L et Ke avec un couple de charge, les résultats obtenus sont indiqués respectivement en figure 8, 9, et 10. On remarque ainsi que l'observateur 32 est robuste aux variations de R puisque la courbe de vitesse estimée Ve se confond avec la courbe de vitesse réelle Vr . Ce résultat est très important car cette dernière peut dériver du simple au double en fonction de la température de l'actionneur 19. Il est aussi robuste aux variations de L et Ke . La vitesse ω de l'actionneur 19 reste alors pilotable en présence des perturbations sur les paramètres électriques et la présence du couple de charge.

[0049] Pour une régulation de vitesse ω avec incertitudes sur Km (cf. figure 11) et Kr (cf. figure 12) avec couple de charge, l'estimateur 32 ne parvient pas à compenser complètement les dispersions sur les paramètres mécaniques du système. Ce résultat est prévisible car ces derniers ne sont pas observables comme étudié plus haut. Néanmoins, on peut toujours piloter le système en vitesse ω avec une certaine erreur car les contraintes du cahier des charges le permettent. Dans ce cas, il faut réduire la consigne de vitesse ω^* afin que la vitesse réelle Vr ne dépasse pas la vitesse maximale V_{max} autorisée en dépit de l'erreur d'estimation.

[0050] Par ailleurs, selon le schéma de commande de la figure 2, il est nécessaire de commuter la commande du système de régulation 30 sur une valeur constante lorsque le système est sur la butée. Pour cela, il faut détecter la présence en butée Det_But de l'actionneur 19.

[0051] L'estimation de la position instantanée du volet 27 est impossible sans capteur de position à cause de la présence du couple de charge et des dispersions paramétriques comme on vient de le voir sur les résultats de simulation. On peut néanmoins savoir quand l'actionneur 19 est sur sa butée (position fermée). En effet, à partir de l'équation 4, on note
 5 que le courant mesuré dépend de la commande u (Com_u) et de la vitesse ω . Au contact 24 de la butée, la vitesse ω s'annule brutalement et on observe un saut de courant.

$$L \frac{di}{dt} = -k_e \omega - Ri + u \rightarrow i = \frac{1/R}{\left(\frac{L}{R}s + 1\right)} u + \frac{k_e/R}{\left(\frac{L}{R}s + 1\right)} \omega \quad (5)$$

[0052] La figure 13 illustre une fonction de détection pour détecter une mise en butée Det_But du volet 27 par détection d'un saut de courant (contact 24 sur la butée)
 10 consommé par ledit actionneur électrique 19. Plus précisément, la détection de position fermée du volet 27 de la vanne 12 (sortie Q de la bascule RS passe à 1) est subordonnée à la détection par une porte ET 33 du saut de courant par le bloc front montant 34 et d'une demande de fermeture/ouverture (O/F) à 1. L'entrée S de la bascule RS 35 passe alors à 1 momentanément. Cet état est maintenu par la bascule RS 35 jusqu'à ce qu'une
 15 détection d'une demande de fermeture/ouverture (O/F) à 0 par le bloc front descendant 36 remettant ainsi à zéro la bascule RS 35. L'entrée R de la bascule RS 35 passe alors à 1 momentanément.

REVENDICATIONS

1. Moteur à combustion interne de véhicule automobile comprenant:

- un circuit de recirculation des gaz d'échappement (23) comportant un échangeur thermique (14),

5 - une vanne trois voies (12) associée audit échangeur (14), dite vanne d'échangeur, pour gérer une quantité de gaz d'échappement circulant dans ledit échangeur thermique (14) et une quantité de gaz court-circuitant ledit échangeur thermique (14) en passant par un conduit de court-circuit (21),

caractérisé en ce que ledit moteur à combustion interne comporte en outre:

10 - un actionneur électrique (19) destiné à commander une ouverture et une fermeture (O/F) de ladite vanne d'échangeur (12), et

- un dispositif de contrôle (6) apte à piloter ledit actionneur électrique (19) en vitesse (ω) au moyen d'un capteur logiciel (32) apte à estimer une vitesse (ω) dudit actionneur électrique (19) en fonction d'une commande issue d'un système de régulation (30) et
15 d'une mesure de courant (Mes_i) consommé par ledit actionneur électrique (19).

2. Moteur à combustion interne selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit capteur logiciel (32) intègre un observateur de type proportionnel-intégral ayant une sortie fournissant une estimation de vitesse (Est_ ω) rebouclant avec ledit système de régulation (30), ledit système de régulation (30) étant apte à élaborer une consigne de
20 tension pour un étage de puissance (29) commandant ledit actionneur électrique (19).

3. Moteur à combustion interne selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite mesure en courant (Mes_i) est issue dudit étage de puissance (29).

4. Moteur à combustion interne selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit dispositif de contrôle (6) est configuré de telle façon que, lorsqu'un volet (27) de ladite vanne d'échangeur (12) est détecté en butée (Det_But),
25 une commande dudit système de régulation (30) est remplacée par une commande constante (Com_Const).

5. Moteur à combustion interne selon la revendication 4, caractérisé en ce que ledit dispositif de contrôle (6) comporte une fonction de détection pour détecter une mise en butée (Det_But) dudit volet (27) de ladite vanne d'échangeur (12) par détection d'un
30 saut de courant consommé par ledit actionneur électrique (19).

- 5 6. Moteur à combustion interne selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que ledit observateur de type proportionnel-intégral (32) est basé sur une matrice d'observabilité de rang plein permettant d'observer des variations paramétriques sur une inductance (L), une résistance (R) et une constante de force électromotrice (Ke) d'un moteur électrique (7) dudit actionneur électrique (19), ainsi que des perturbations sur un courant consommé par ledit actionneur électrique (19).
7. Moteur à combustion interne selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit actionneur électrique (19) est de type linéaire.
- 10 8. Moteur à combustion interne selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit actionneur électrique (19) comporte un moteur électrique (7) à courant continu, un train d'engrenage (11) monté entre ledit moteur électrique (7) et un volet (27) de ladite vanne d'échangeur (12) ainsi qu'un ressort de rappel (28) apte à forcer ledit volet (27) à se refermer en cas de défaillance dudit actionneur électrique (19).

1/11

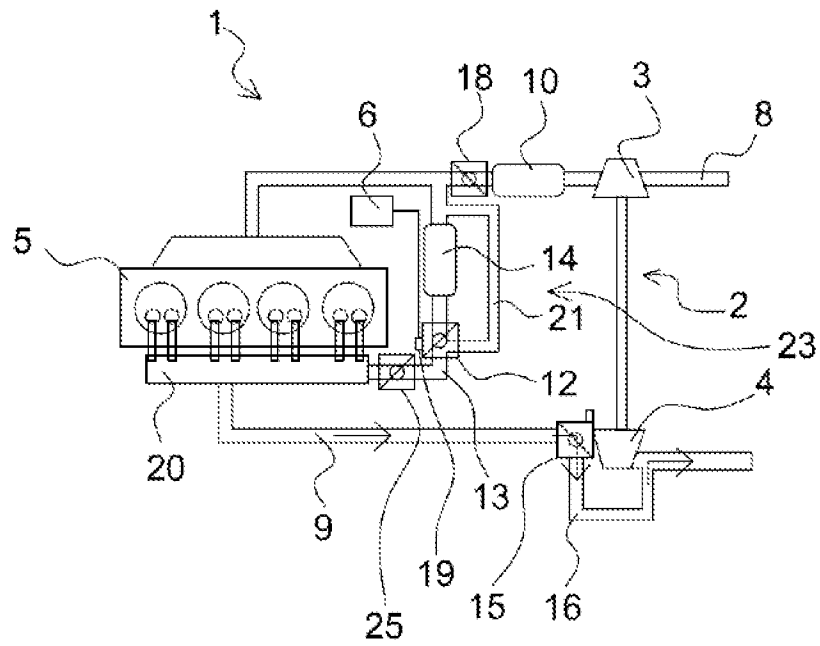


Fig. 1

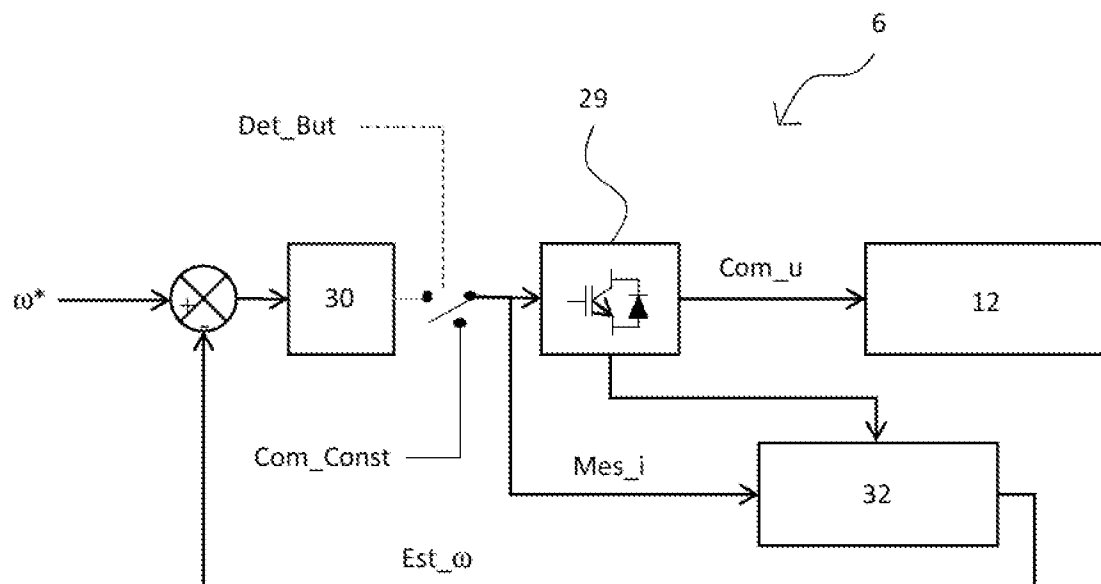


Fig. 2

2/11

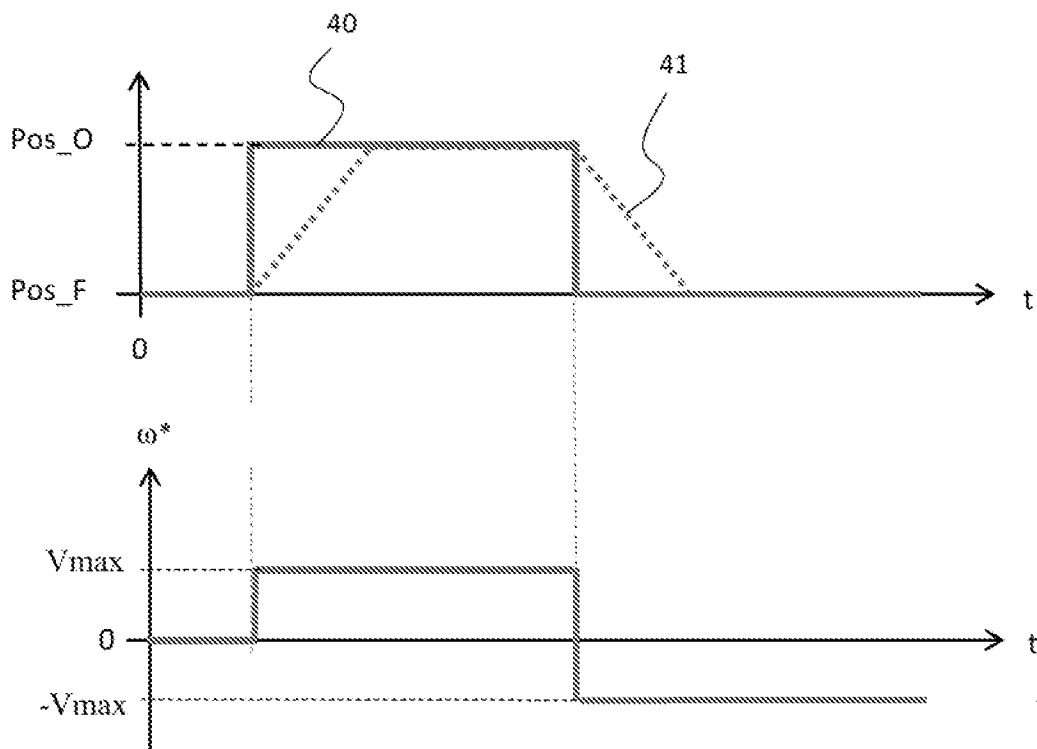


Fig. 3

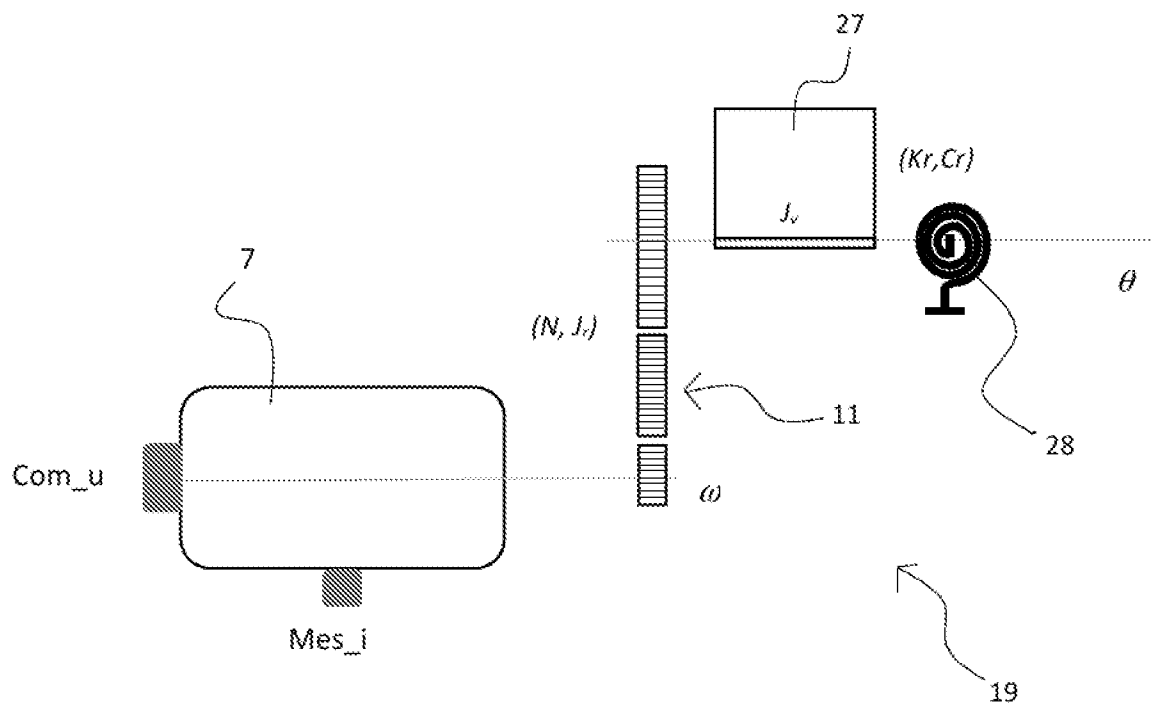


Fig. 4

3/11

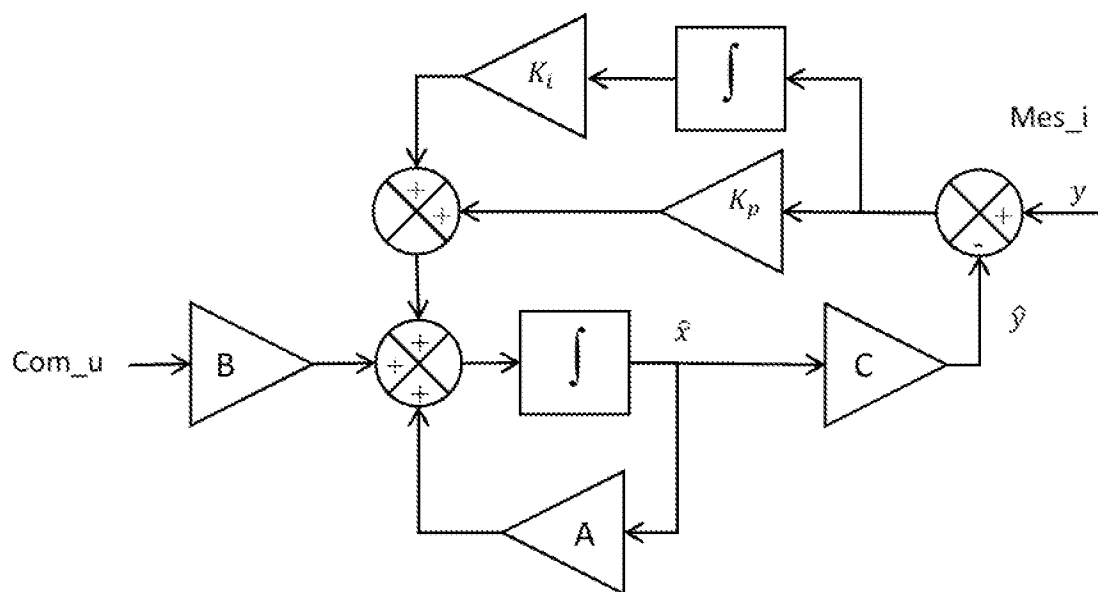


Fig. 5

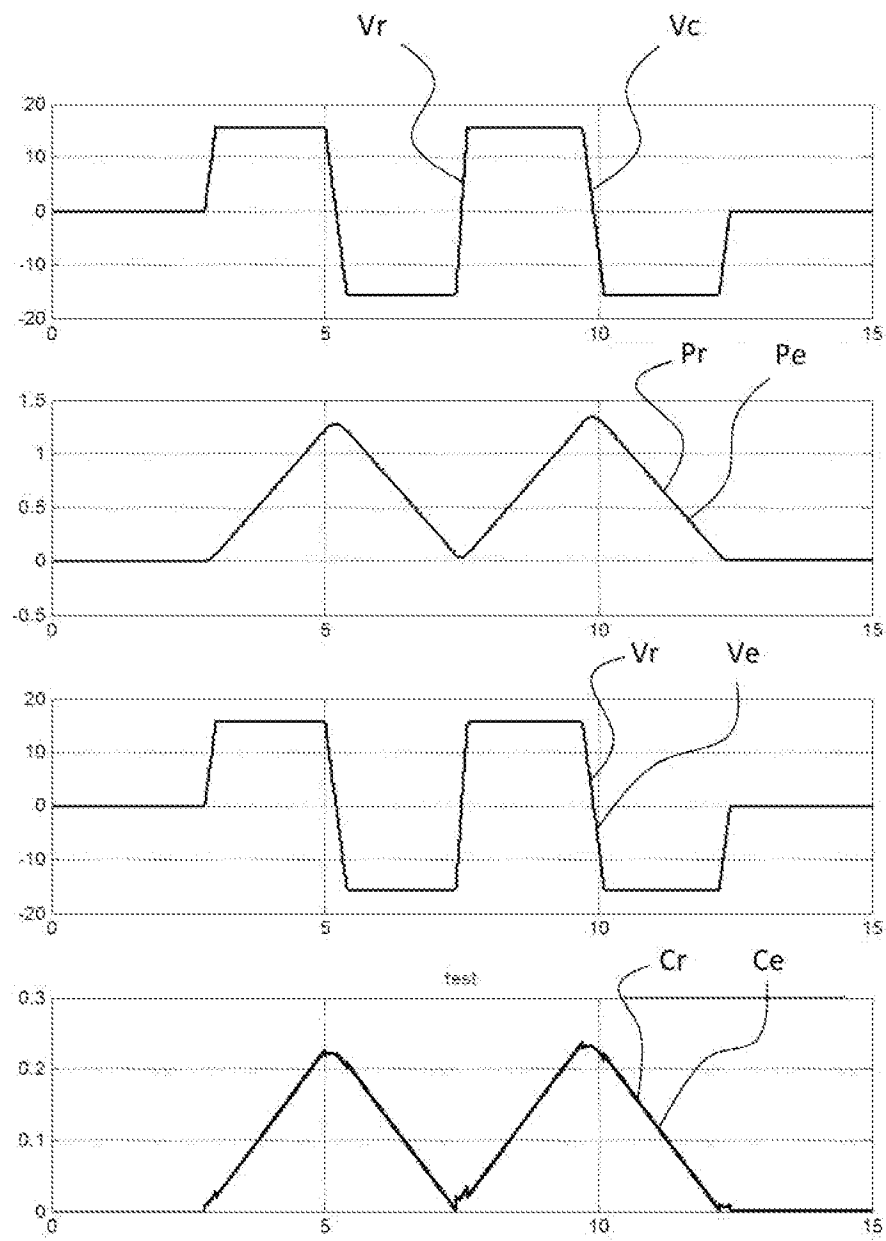


Fig. 6

5/11

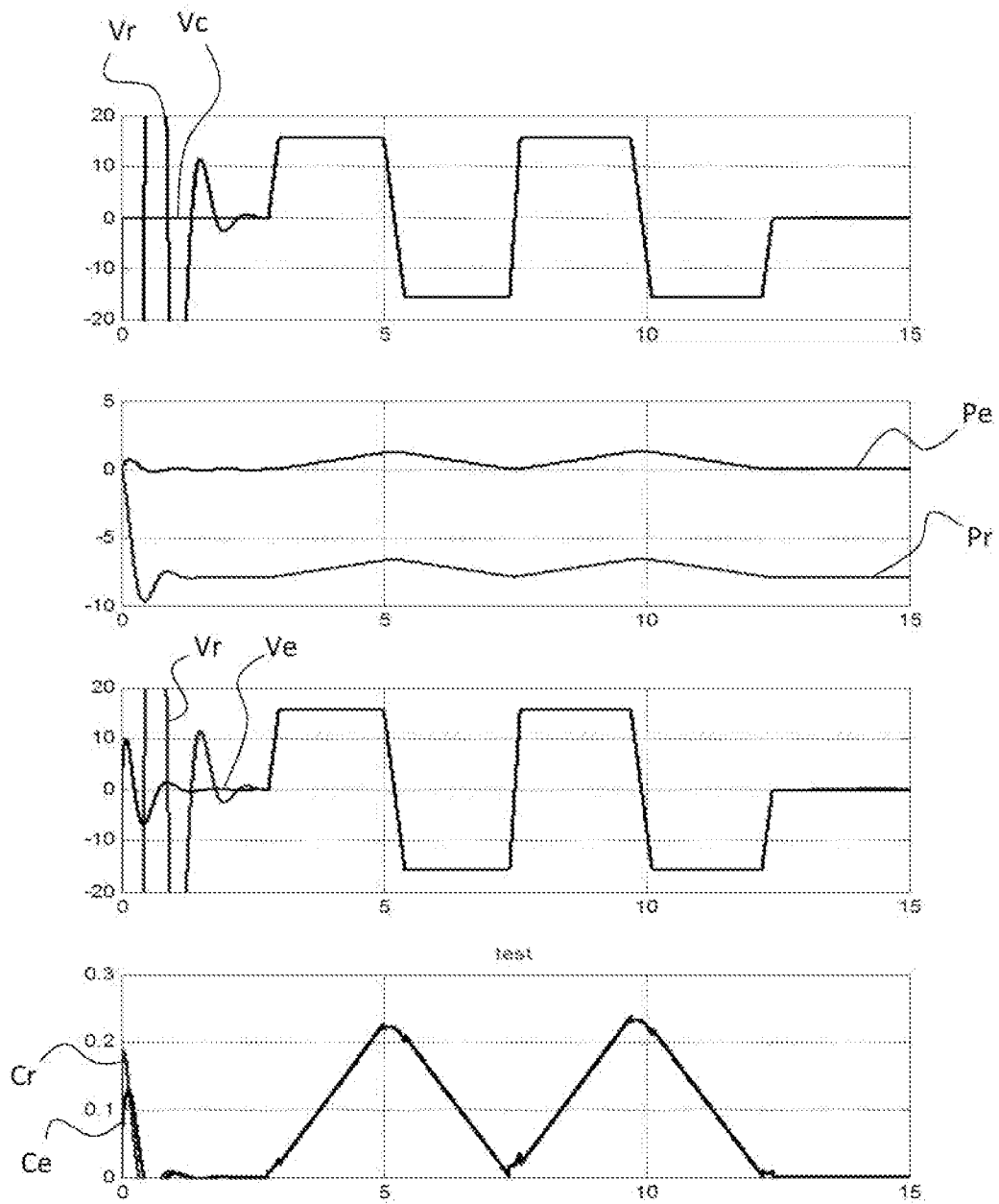


Fig. 7

6/11

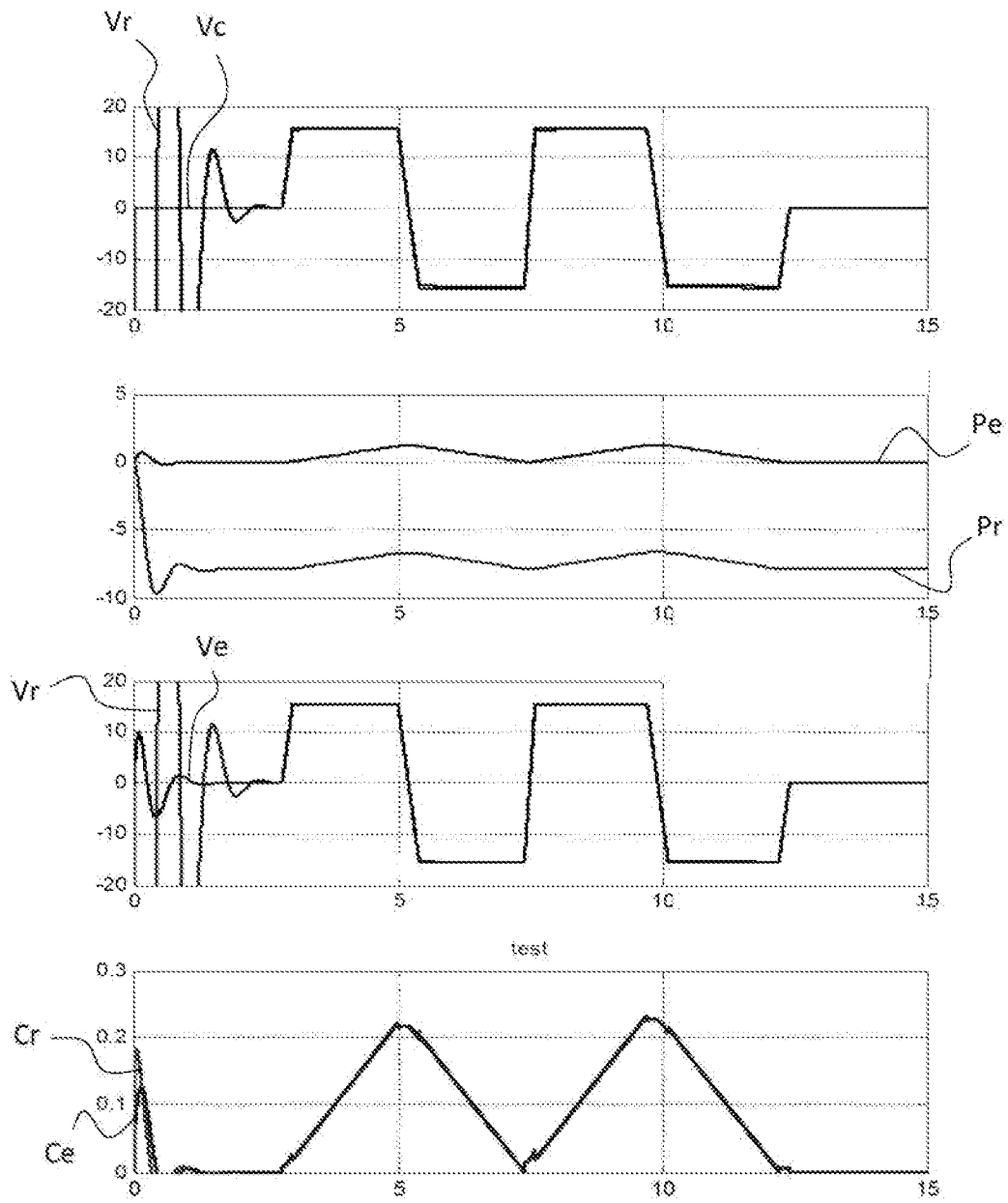


Fig. 8

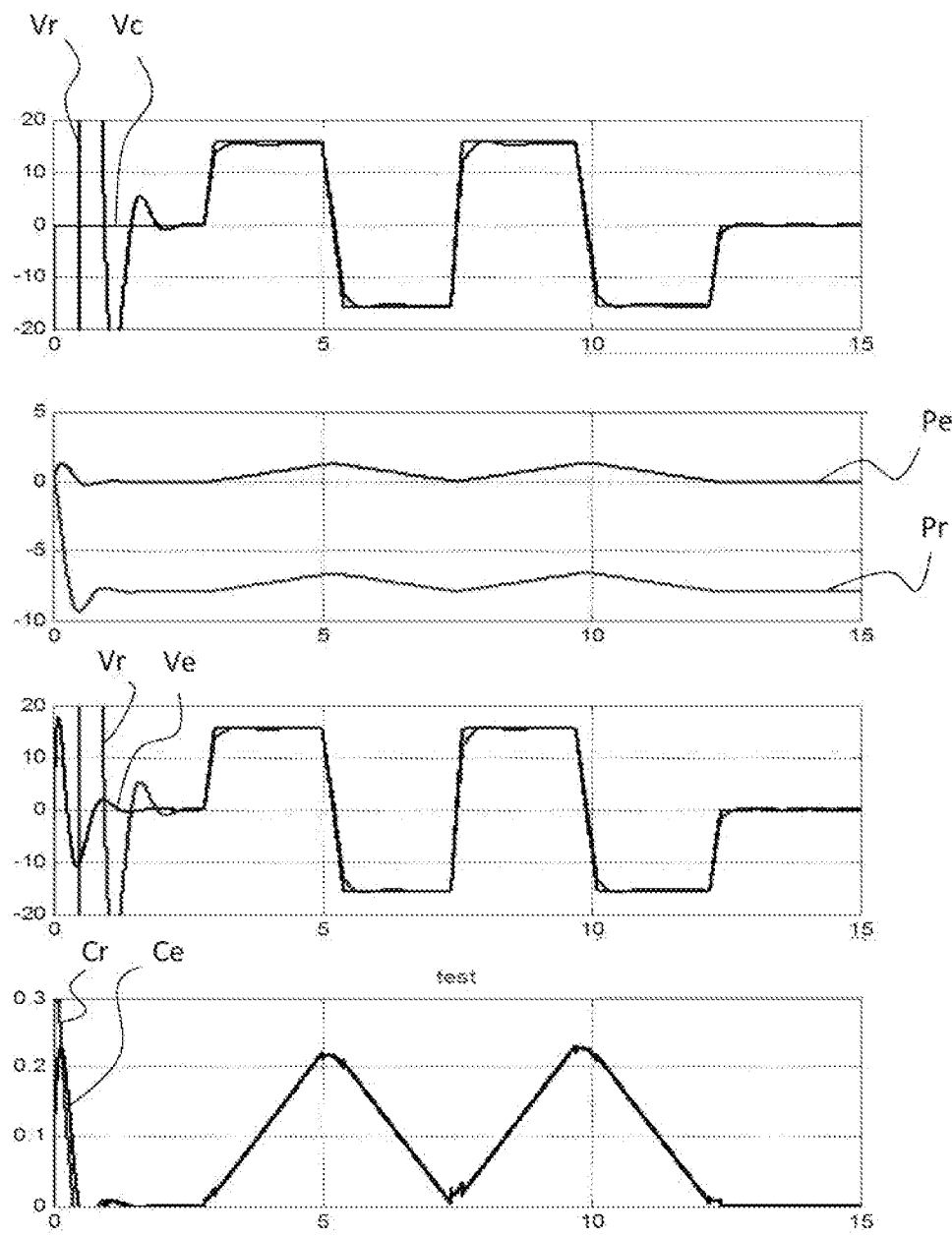


Fig. 9

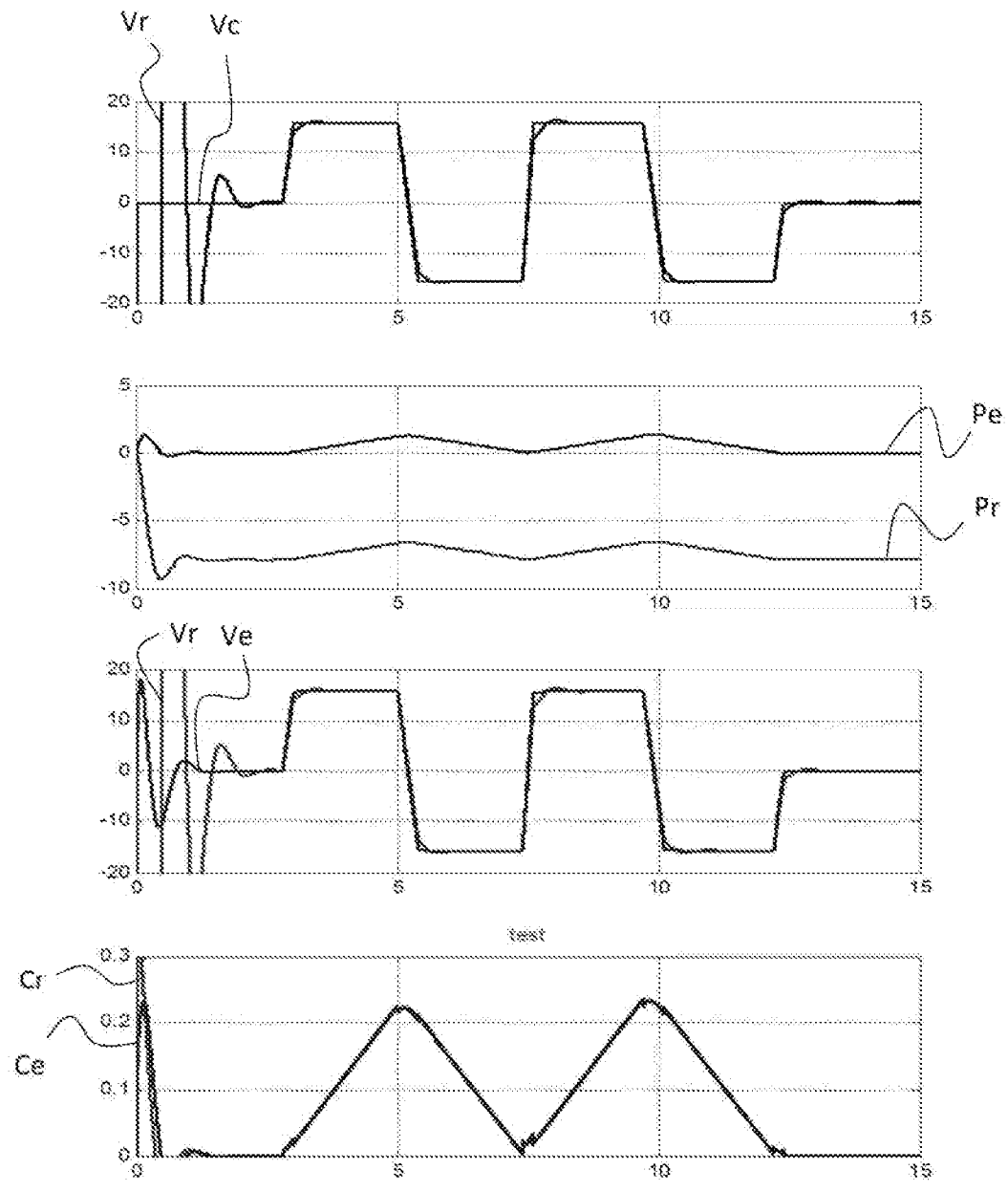


Fig. 10

9/11

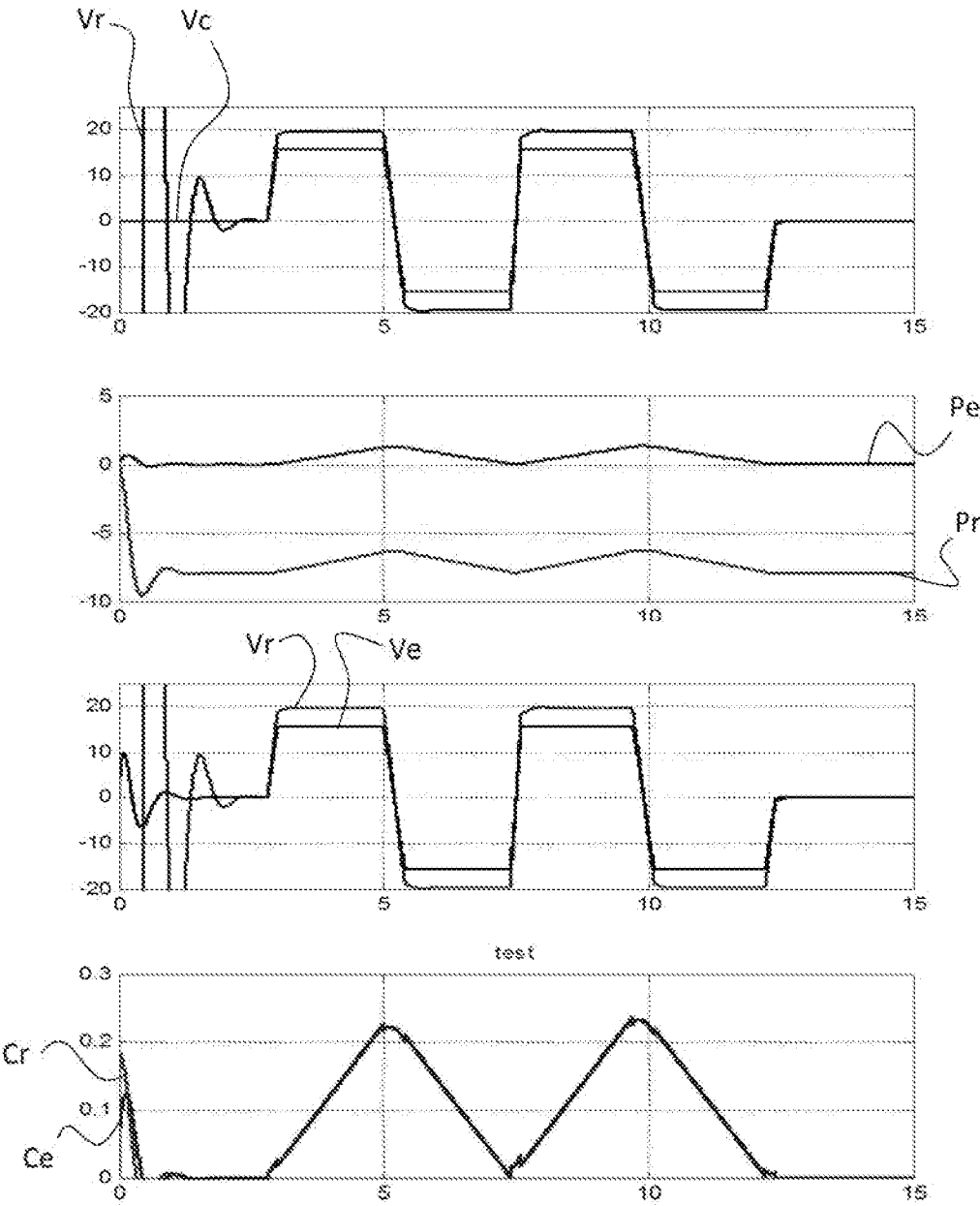


Fig. 11

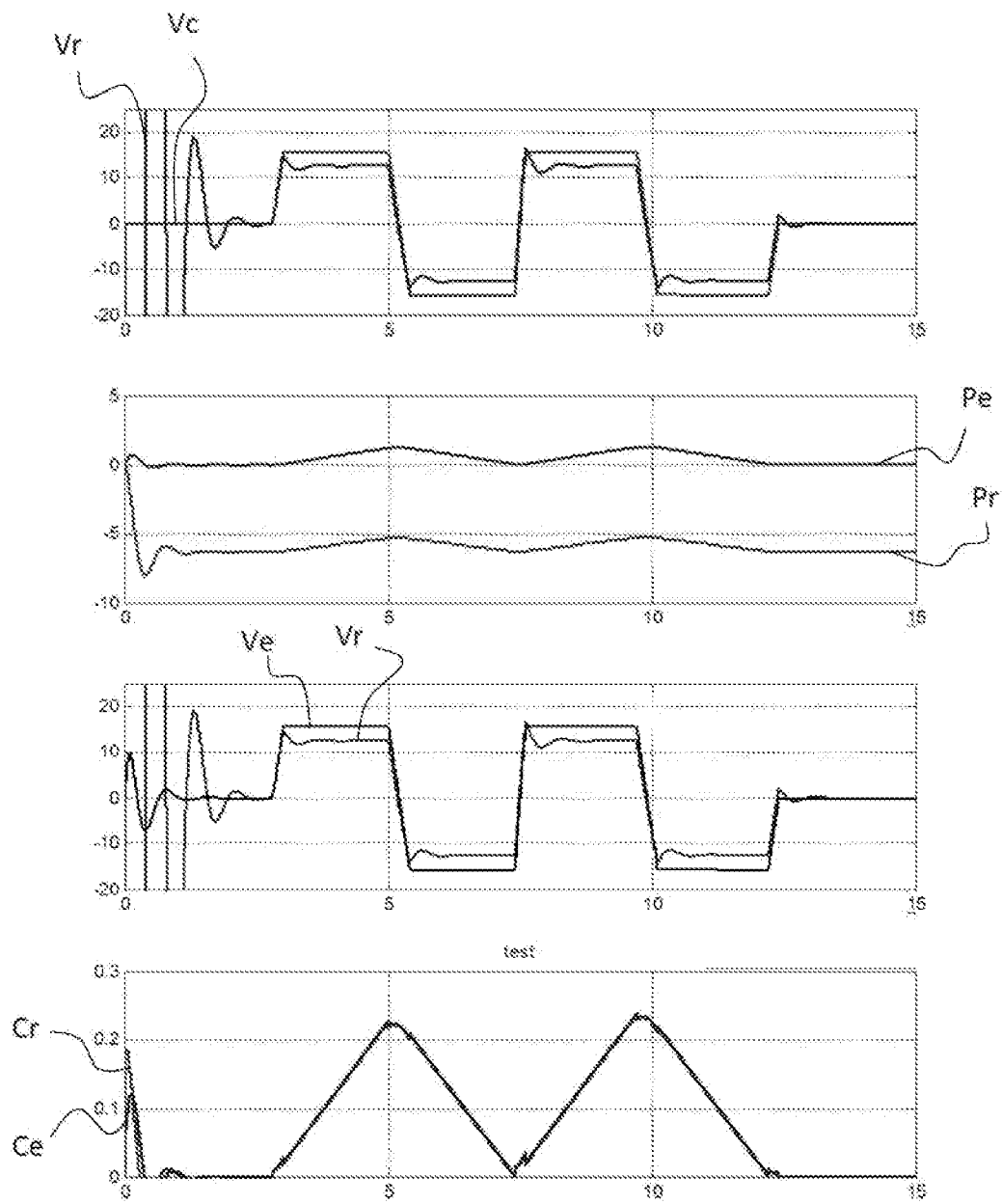


Fig. 12

11/11

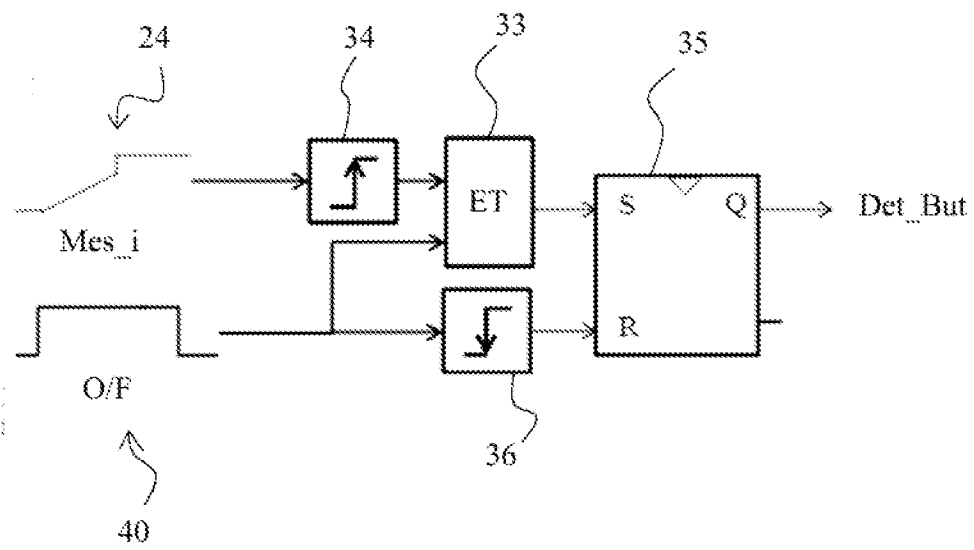


Fig. 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2016/053486

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F02D41/00 F02D41/14 F02M26/05 F02M26/25 F02M26/33
F02M26/53

ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F02D F02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2 808 998 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 3 December 2014 (2014-12-03) paragraph [0121] - paragraph [0129] figure 11	1-8
X	WO 2013/093223 A2 (IFP ENERGIES NOUVELLES [FR]) 27 June 2013 (2013-06-27) abstract page 2, line 26 - page 6, line 3 page 6, line 20 - page 12, line 16 page 13, line 11 - line 24	1-8
A	FR 2 932 223 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 11 December 2009 (2009-12-11) abstract page 2, line 22 - page 4, line 32 ----- -/-	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 February 2017

Date of mailing of the international search report

24/02/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Wettemann, Mark

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2016/053486

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 985 395 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 5 July 2013 (2013-07-05) paragraph [0001] - paragraph [0017] -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2016/053486

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2808998	A1	03-12-2014	CN 104081651 A	01-10-2014
			EP 2808998 A1	03-12-2014
			JP 5774136 B2	02-09-2015
			JP W02013111383 A1	11-05-2015
			KR 20140106741 A	03-09-2014
			TW 201332278 A	01-08-2013
			US 2014368135 A1	18-12-2014
			WO 2013111383 A1	01-08-2013

WO 2013093223	A2	27-06-2013	FR 2984637 A1	21-06-2013
			WO 2013093223 A2	27-06-2013

FR 2932223	A1	11-12-2009	NONE	

FR 2985395	A1	05-07-2013	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2016/053486

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. F02D41/00 F02D41/14 F02M26/05 F02M26/25 F02M26/33 ADD. F02M26/53		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) F02D F02M		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 2 808 998 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 3 décembre 2014 (2014-12-03) alinéa [0121] - alinéa [0129] figure 11	1-8
X	WO 2013/093223 A2 (IFP ENERGIES NOUVELLES [FR]) 27 juin 2013 (2013-06-27) abrégé page 2, ligne 26 - page 6, ligne 3 page 6, ligne 20 - page 12, ligne 16 page 13, ligne 11 - ligne 24	1-8
A	FR 2 932 223 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 11 décembre 2009 (2009-12-11) abrégé page 2, ligne 22 - page 4, ligne 32 ----- -/-	1
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 16 février 2017		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 24/02/2017
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Wettemann, Mark

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 985 395 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 5 juillet 2013 (2013-07-05) alinéa [0001] - alinéa [0017] -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2016/053486

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2808998	A1	03-12-2014	CN 104081651 A 01-10-2014
			EP 2808998 A1 03-12-2014
			JP 5774136 B2 02-09-2015
			JP WO2013111383 A1 11-05-2015
			KR 20140106741 A 03-09-2014
			TW 201332278 A 01-08-2013
			US 2014368135 A1 18-12-2014
			WO 2013111383 A1 01-08-2013
WO 2013093223	A2	27-06-2013	FR 2984637 A1 21-06-2013
			WO 2013093223 A2 27-06-2013
FR 2932223	A1	11-12-2009	AUCUN
FR 2985395	A1	05-07-2013	AUCUN