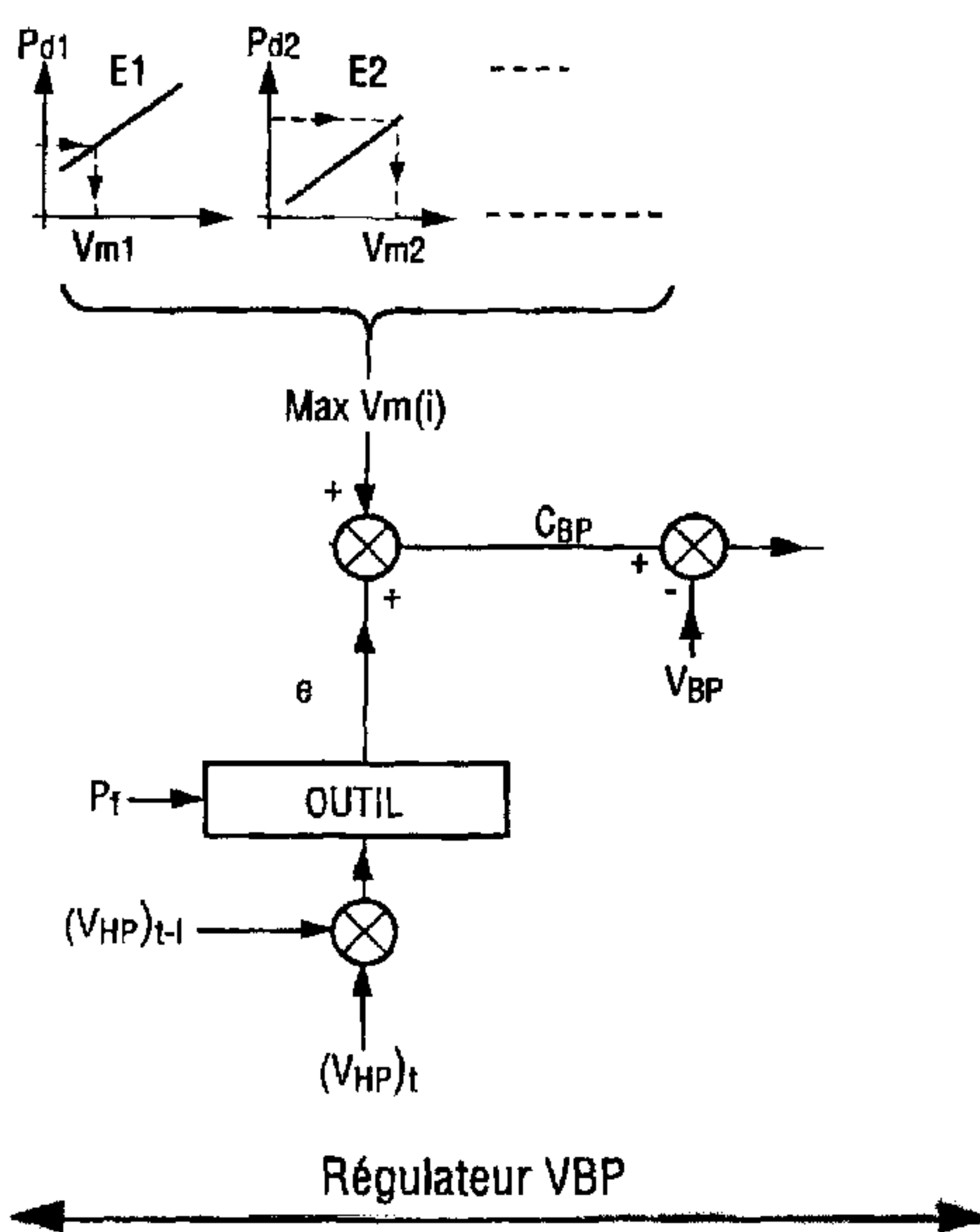




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2011/08/23
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2012/03/01
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2013/02/08
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2011/051945
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2012/025689
 (30) Priorité/Priority: 2010/08/25 (FR1056774)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F02C 7/32* (2006.01),
F02C 9/28 (2006.01)
 (71) Demandeur/Applicant:
TURBOMECA, FR
 (72) Inventeur/Inventor:
HAILLOT, JEAN-MICHEL, FR
 (74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : PROCÉDE D'OPTIMISATION DE REGULATION D'UN GROUPE DE PUISSANCE A TURBINE LIBRE POUR AERONEF ET COMMANDE DE REGULATION DE MISE EN OEUVRE
 (54) Title: METHOD FOR OPTIMIZING THE CONTROL OF A FREE TURBINE POWER PACKAGE FOR AN AIRCRAFT, AND CONTROL FOR IMPLEMENTING SAME



(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention vise précisément à optimiser la régulation d'injection de carburant. Pour ce faire, les vitesses d'entraînement des équipements sont adaptées par une régulation de la vitesse de la turbine TL en fonction de la puissance. Selon l'invention, le procédé d'optimisation de régulation d'un groupe de puissance à turbine libre TL d'un aéronef, équipé d'un corps basse pression BP qui délivre de la puissance (P_{d1} , P_{d2} ,...) à des équipements ($E1$, $E2$,...) en liaison avec un corps haute pression HP, consiste à varier la vitesse du corps BP (V_{BP}) pour obtenir une vitesse du corps HP (V_{HP}) minimale de sorte que la puissance fournie (P_f) par les équipements ($E1$, $E2$,...) reste constante. En particulier, les puissances fournies par les équipements ($E1$, $E2$,...) étant fonction de leur vitesse d'entraînement par le corps BP, la consigne de vitesse du corps BP (C_{BP}) de la turbine TL est fonction de la valeur maximale ($Max V_m(i)$) des vitesses minimales (V_{m1} , V_{m2} ,...) des équipements ($E1$, $E2$,...) permettant d'obtenir de manière optimisée les puissances respectivement demandées et d'une incrémentation (e) positive ou nulle ajoutée à la consigne de vitesse du corps BP (C_{BP}) pour minimiser la vitesse du corps HP (V_{HP}) à iso-fourniture de puissance des équipements ($E1$, $E2$,...).

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
1 mars 2012 (01.03.2012)

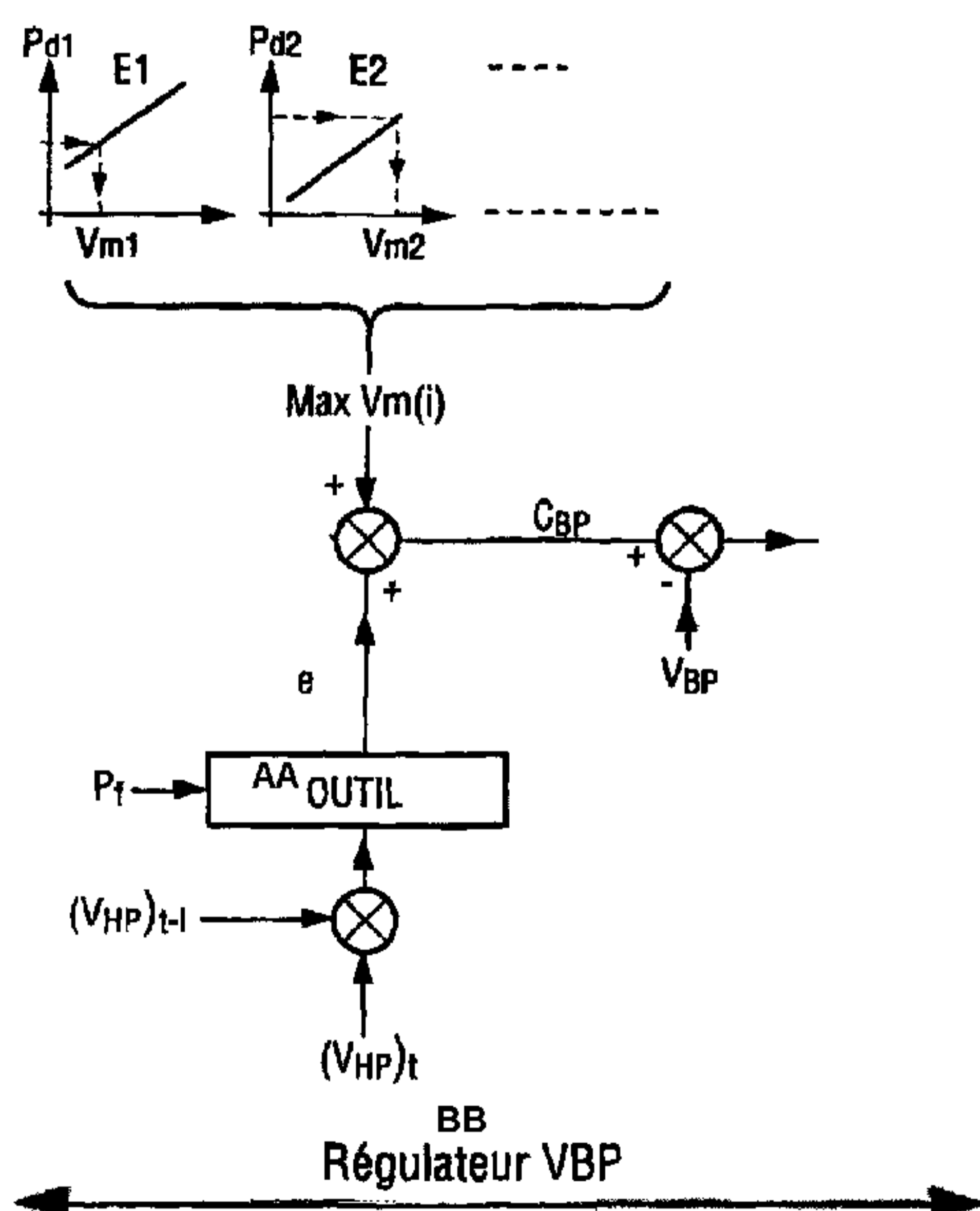
(10) Numéro de publication internationale
WO 2012/025689 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
F02C 7/32 (2006.01) *F02C 9/28* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/051945
- (22) Date de dépôt international :
23 août 2011 (23.08.2011)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1056774 25 août 2010 (25.08.2010) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
TURBOMECA [FR/FR]; BP 2, F-64510 Bordes (FR).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : HAILLOT,
Jean-Michel [FR/FR]; 13, rue des Palombières, F-64800
Beuste (FR).
- (74) Mandataire : BLOCH & BONNETAT (Groupement
92); 81 Boulevard Lazare Carnot, F-31000 Toulouse
(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, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
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, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR OPTIMIZING THE CONTROL OF A FREE TURBINE POWER PACKAGE FOR AN AIRCRAFT, AND CONTROL FOR IMPLEMENTING SAME

(54) Titre : Procédé d'optimisation de régulation d'un groupe de puissance à turbine libre pour aéronef et commande de régulation de mise en oeuvre



(57) Abstract : The invention specifically relates to optimizing fuel-injection control. To this end, the driving speeds of apparatuses are adjusted by controlling the speed of the turbine TL according to the power. According to the invention, the method for optimizing the control of a free turbine (TL) power package of an aircraft, provided with a low-pressure body (BP), which supplies power (P_{d1} , P_{d2} , ...) to apparatuses ($E1$, $E2$, ...) and which is linked to a high-pressure body (HP), consists of varying the speed (VBP) of the low-pressure body (BP) in order to obtain a minimum speed (VHP) for the high-pressure body (HP), in such a way that the power supplied (P_f) by the apparatuses ($E1$, $E2$, ...) is dependent upon the speed at which said apparatuses are driven by the low-pressure body (BP), the speed set point (C_{BP}) of the low-pressure body (BP) of the turbine (TL) is dependent upon the maximum value ($\text{Max } V_{m(i)}$) of the minimum speeds V_{m1} , V_{m2} , ... of the apparatuses ($E1$, $E2$, ...), enabling the respectively required amounts of power to be obtained in an optimised manner, and upon a positive or zero incrementation added to the speed set point (C_{BP}) of the low-pressure body (BP) in order to minimize the speed (V_{HP}) of the high-pressure body (HP) to the ISO power supply of the apparatuses ($E1$, $E2$, ...).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

AA... TOOL
BB... VBP controller

WO 2012/025689 A1 

LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, **Publiée :**
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, — *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

L'invention vise précisément à optimiser la régulation d'injection de carburant. Pour ce faire, les vitesses d'entraînement des équipements sont adaptées par une régulation de la vitesse de la turbine TL en fonction de la puissance. Selon l'invention, le procédé d'optimisation de régulation d'un groupe de puissance à turbine libre TL d'un aéronef, équipé d'un corps basse pression BP qui délivre de la puissance (P_{d1} , P_{d2} ,...) à des équipements (E1, E2,...) en liaison avec un corps haute pression HP, consiste à varier la vitesse du corps BP (V_{BP}) pour obtenir une vitesse du corps HP (V_{HP}) minimale de sorte que la puissance fournie (P_f) par les équipements (E1, E2,...) reste constante. En particulier, les puissances fournies par les équipements (E1, E2,...) étant fonction de leur vitesse d'entraînement par le corps BP, la consigne de vitesse du corps BP (C_{BP}) de la turbine TL est fonction de la valeur maximale ($\text{Max } V_{m(i)}$) des vitesses minimales (V_{m1} , V_{m2} ,...) des équipements (E1, E2,...) permettant d'obtenir de manière optimisée les puissances respectivement demandées et d'une incrémentation (e) positive ou nulle ajoutée à la consigne de vitesse du corps BP (C_{BP}) pour minimiser la vitesse du corps HP (V_{HP}) à iso-fourniture de puissance des équipements (E1, E2,...).

**PROCEDE D'OPTIMISATION DE REGULATION D'UN GROUPE DE PUISSANCE A
TURBINE LIBRE POUR AERONEF
ET COMMANDE DE REGULATION DE MISE EN ŒUVRE**

5 DOMAINE TECHNIQUE

[0001] L'invention concerne un procédé d'optimisation de régulation d'un groupe de puissance à turbine libre apte à délivrer de la puissance sur un aéronef, ainsi qu'une commande de régulation mise en œuvre de ce procédé.

[0002] L'invention s'applique aux groupes de puissance à turbine libre équipant les aéronefs, par exemple les avions et les hélicoptères, aptes à fournir de la puissance. Ces groupes peuvent fournir notamment de la puissance aux équipements (alternateurs, pompes, compresseurs de charge, conditionnement d'air) de l'aéronef, directement et/ou indirectement via des boîtes de transfert de puissance à réducteurs à sorties multiples.

[0003] Ces groupes de puissance comportent les groupes auxiliaires de puissance, en abrégé GAP (ou APU pour « Auxiliary Power Unit » en terminologie anglaise) et les groupes de puissance principaux, en abrégé GPP. Les GAP sont dédiés au démarrage des moteurs principaux des aéronefs et/ou à la fourniture d'énergie non propulsive (pneumatique, électrique et/ou hydraulique) au sol. Certains groupes GAP sécurisés peuvent également intervenir en vol en cas de panne d'un moteur pour tenter de le redémarrer et/ou pour fournir de l'énergie aux équipements.

[0004] Les groupes GPP sont de classe moteur car ils répondent aux normes de sécurité des moteurs principaux, en particulier en cas de défaillance d'un moteur. Un tel groupe a pour base un groupe GAP fiabilisé par ses matériaux et ses dimensions pour obtenir la labellisation de classe moteur.

[0005] Un groupe de puissance comporte classiquement un ensemble compresseurs/chambres de combustion/turbines formant un générateur de gaz. Après le mélange air / carburant et la combustion, les gaz chauds sont détendus dans les étages de la turbine haute pression (HP en abrégé) qui transmet

partiellement la puissance thermique produite aux étages du compresseur HP via un arbre haut pression ou corps HP. La puissance thermique des gaz d'échappement entraîne également une turbine libre (en abrégé TL) qui, à son tour, transmet mécaniquement de la puissance via un arbre basse pression BP, aux équipements (alternateurs, pompes, compresseur de charge, etc.) du générateur de puissance.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0006] Classiquement, un système de régulation fournit et dose la quantité de carburant injectée dans la chambre de combustion du générateur de gaz pour l'adapter au niveau de puissance demandé. La vitesse du corps HP s'adapte à cette injection après accélération ou décélération pour atteindre un niveau constant de vitesse et fournir une puissance thermique au corps BP. La puissance transmise au corps BP fournit alors la puissance demandée à la vitesse constante demandée par le boîtier électronique de contrôle (BEC).

[0007] La régulation d'injection de carburant dans un groupe de puissance comporte de manière connue les étapes suivantes:

- pressuriser le carburant pour l'injecter dans la chambre de combustion à la pression appropriée,
- doser le débit du carburant dans des limites de débit prédéterminées pour adapter le niveau de puissance fourni par le générateur de gaz au niveau demandé,
- mesurer et contrôler la vitesse du rotor du corps HP pour qu'elle reste dans les limites de fonctionnement prédéterminées,
- mesurer et contrôler la vitesse du rotor du corps BP, et
- déterminer la valeur de consigne de vitesse du corps HP en fonction de l'écart entre la valeur de consigne de vitesse du corps BP et sa vitesse mesurée, ainsi que la valeur de consigne du débit du carburant à injecter dans la

chambre de combustion en fonction de l'écart entre la valeur de consigne de vitesse du corps HP déterminée et sa valeur précédemment mesurée.

[0008] La vitesse de rotation de chaque équipement est alors imposée par le choix préalable de sa vitesse proche de sa vitesse maximale autorisée, là où sa capacité de fourniture de puissance est maximale. Dans ces conditions, la masse et le coût de chaque équipement sont minimisés pour un fonctionnement permanent à cette vitesse. De plus, certains équipements comme le compresseur de charge doivent pouvoir délivrer un débit corrigé variable, faible au sol et important en vol. Le débit est exprimé en valeurs corrigées pour permettre de comparer des débits indépendamment des conditions ambiantes d'entrée d'air. Pour un fonctionnement dans tout le domaine de vol, il est alors prévu une géométrie variable du flux d'air sur le compresseur de charge.

[0009] L'optimisation de telles configurations de régulation d'injection de carburant est réalisée par le maintien des vitesses des équipements entraînés à des vitesses proche des vitesses maximales par le corps BP pour fournir les puissances demandées. En particulier, aucune variation de la vitesse d'entraînement du compresseur de charge n'est utilisée. Et le seul choix d'une géométrie variable du flux d'air impose alors une définition encombrante et onéreuse du compresseur de charge.

[0010] Le choix préalable de la vitesse de la turbine TL est donc guidé uniquement par l'obtention de la fourniture de la puissance maximale, sans optimisation de rendement lors de la fourniture de niveaux de puissance variés.

[0011] Dans ces conditions, lors des transitoires de puissance, le système de régulation du groupe de puissance ne réagit que lorsqu'une sous-vitesse du corps BP inférieure à la vitesse de consigne du corps BP est détectée. Les excursions de vitesse sur le corps BP dans les transitoires de puissance sont alors importantes du fait des temps de réponse élevés des boucles de régulation et de la faible inertie de l'arbre BP par rapport à un générateur de gaz à turbine liée. De fortes variations de vitesse en dehors des plages autorisées sont constatées, en particulier des excursions au-delà des vitesses maximales en cas

de délestage brutal de la puissance, ou en-deçà des vitesses minimales en cas de forte demande de puissance.

[0012] Ainsi, en cas de survitesse, les équipements entraînés ensemble ne sont plus capables de fournir la puissance demandée pour chacun d'entre eux.

5 En cas de survitesse, un moyen de contrôle arrête instantanément le groupe de puissance du fait de sa certification, et donc l'ensemble des fournitures de puissance n'est plus assuré.

EXPOSE DE L'INVENTION

10 **[0013]** L'invention vise précisément à optimiser la régulation d'injection de carburant afin d'éviter les problèmes évoqués ci-dessus. Pour ce faire, les vitesses d'entraînement des équipements sont adaptées par une régulation de la vitesse de la turbine TL en fonction de la puissance.

15 **[0014]** Plus précisément, l'invention a pour objet un procédé d'optimisation de régulation d'un groupe de puissance à turbine libre, du type décrit ci-dessus et apte à délivrer de la puissance aux équipements d'un aéronef. Dans ce procédé, la vitesse du corps BP varie pour obtenir une vitesse du corps HP minimale de sorte que la puissance fournie par les équipements reste constante.

20 **[0015]** Selon un mode de réalisation préféré, les puissances fournies par les équipements étant fonction de leur vitesse d'entraînement par le corps BP, la consigne de vitesse du corps BP de la turbine TL est fonction de la valeur maximale des vitesses minimales des équipements permettant d'obtenir de manière optimisée les puissances respectivement demandées et d'une incrémentation positive ou nulle ajoutée à la consigne de vitesse du corps BP pour minimiser la vitesse du corps HP à iso-fourniture de puissance des
25 équipements.

[0016] Selon un mode particulier, une mesure de puissance fournie en continu par chacun des équipements permet de détecter un fonctionnement stabilisé des demandes de fourniture de puissance et dans ce cas d'activer l'incrémentation.

[0017] Selon des modes avantageux, l'incrémentation est déterminée par calcul à partir des courbes de rendement des équipements et de la turbine libre ou par la détection de la variation de la vitesse du corps HP, l'incrémentation étant alors appliquée jusqu'à ce que la vitesse du corps HP soit minimale.

- 5 **[0018]** En particulier pour une incrémentation déterminée par le calcul, pour chaque équipement, un niveau de puissance thermique du corps HP transmise au corps BP et pour chaque condition ambiante de température et de pression à l'entrée du groupe de puissance, il existe une vitesse de rotation du corps BP qui permet de délivrer sur son arbre une puissance mécanique maximale.
- 10 **[0019]** Avantageusement, la puissance fournie à chaque équipement étant maintenue dans les limites d'une plage déterminée par le constructeur, la vitesse d'entraînement direct ou indirect de cet équipement par la turbine BP détermine une capacité de puissance pouvant être fournie dans ces limites. La fourniture d'une telle puissance en fonction de cette capacité permet ainsi de n'utiliser
- 15 qu'une puissance partielle qui évite tout gaspillage et qui est définie entre le besoin de puissance demandé et le niveau de puissance fourni. Pour chaque équipement, le niveau de puissance fourni est donc fonction de sa vitesse d'entraînement et la fourniture d'une puissance demandée est optimisée en fonction de sa vitesse d'entraînement.
- 20 **[0020]** En outre, la détermination de la vitesse de consigne de la turbine BP permet d'augmenter au maximum la vitesse des équipements afin de :
- faire fonctionner les équipements au maximum de leurs capacités dans tout le domaine de vol,
 - augmenter le rendement global de la turbine BP et des équipements,
- 25 afin de réduire la consommation en carburant,
- limiter le bruit généré par des équipements en variant leur vitesse dans les plages définies, en particulier au sol.

[0021] De plus, en fonctionnement en vol, le compresseur de charge dispose alors d'un degré de liberté supplémentaire par la variation de vitesse de rotation. Une réduction de son encombrement peut ainsi être réalisée à iso-performance.

[0022] Le débit d'air corrigé en vol est dimensionnant pour le compresseur de charge. Il pourra s'opérer à la vitesse maximum. Par conséquence au sol, le débit d'air corrigé demandé étant plus faible, la vitesse d'entraînement est réduite. Par ailleurs, la variation de rendement d'une turbine TL amène à augmenter sa vitesse en vol par rapport au sol. La combinaison de ces deux facteurs produit un gain de consommation.

[0023] En outre, un rendement ainsi qu'un niveau sonore optimum peuvent être obtenus pour chaque équipement en fonction de sa vitesse d'entraînement qui se déduit de la puissance fournie à chaque équipement selon le procédé ci-dessus. En particulier, la diminution de vitesse réduit le niveau sonore émis par le compresseur de charge et par le générateur de gaz, ce qui permet de respecter les critères des nuisances sonores au sol et en approche.

[0024] Selon des modes de mise en œuvre avantageux, la consigne de vitesse de rotation du corps BP est régulée pour prioritairement à chaque instant :

- adapter la vitesse de rotation du corps BP à la fourniture de la puissance demandée par chacun des équipements ;

- adapter la vitesse de rotation du corps BP au rendement global maximal par minimisation de la puissance à fournir par le corps HP selon la puissance demandée ;

- adapter la vitesse de rotation du corps BP à des conditions particulières d'utilisation, en particulier pour minimiser le niveau sonore.

[0025] Selon un mode de mise en œuvre préféré, le procédé prévoit une étape supplémentaire d'anticipation dans laquelle une consigne de vitesse du corps HP du groupe de puissance est régulée en fonction de la variation de la puissance demandée et/ou de la puissance mesurée. Avantageusement, cette

fonction « anticipation » va au devant de la réaction normale d'une régulation du régime moteur. Elle permet d'anticiper la variation de vitesse de rotation du corps HP appliquée pour passer d'une demande de puissance antérieure associée à la vitesse antérieure du corps HP à une nouvelle demande de puissance associée à la vitesse du corps HP à obtenir en condition stabilisée. L'information de variation de puissance demandée connue au plus tôt permet alors d'anticiper au mieux la réaction que devra fournir le corps HP.

[0026] La connaissance instantanée de la puissance demandée qui permet d'agir immédiatement sur la consigne du corps HP et donc directement sur la vitesse HP, permet des excursions de vitesses de corps BP bien plus faibles. Ces variations obtenues restent ainsi alors dans les limites autorisées par les constructeurs des équipements et de la plage de la turbine TL, les excursions passant par exemple de 30 à 10%. Aucun délestage n'est nécessaire et la sécurité de fourniture de puissance est assurée.

[0027] La présente invention se rapporte également à une commande de régulation apte à mettre en œuvre le procédé ci-dessus. Cette commande combine un régulateur de vitesse de corps BP, un régulateur de vitesse de corps HP et un régulateur de débit de carburant. Le régulateur de vitesse de corps BP comporte un outil comparateur d'élaboration d'une consigne de vitesse du corps BP à partir des mesures transmises par des moyens de mesure des puissances fournies, et des vitesses de rotation minimales correspondant aux puissances demandées par chaque équipement entraîné par le groupe de puissance, à partir de données de variation de puissance en fonction de la vitesse pour chaque équipement.

[0028] Un soustracteur mesure l'écart entre la consigne ainsi élaborée et la vitesse du corps BP. Cet écart est transmis à un premier convertisseur qui le convertit en écart de vitesse de corps HP pour être transmis au régulateur de vitesse de corps HP. Ce régulateur HP comporte des moyens d'élaboration d'une consigne de vitesse de corps HP à partir du premier convertisseur. La consigne

de vitesse HP passe par un filtre limiteur qui recadre les valeurs de consigne dans des plages autorisées.

[0029] La consigne recadrée est alors transmise au régulateur de débit sous forme de consigne de débit via un deuxième convertisseur. Dans le régulateur de
5 débit, la consigne passe dans un filtre limiteur, qui recadre les valeurs de consigne dans des plages autorisées, avant d'être transmise sous forme de commande à un doseur de carburant.

[0030] Selon des modes de réalisation particuliers :

- un soustracteur de valeurs de vitesse de corps HP à deux instants
10 successifs fournit, en tenant compte de la constance de la puissance mesurée dans un outil de correction de vitesse de corps BP, des incréments de correction à l'outil d'élaboration de consigne de vitesse BP ;

- un filtre de limitation du bruit est également couplé à l'outil de correction de vitesse du corps BP ;

15 - un comparateur d'anticipation est apte à corriger la consigne de vitesse du corps HP du groupe de puissance en fonction de la variation entre la puissance fournie et la puissance mesurée avant qu'elle soit soumise au filtre limiteur de vitesses ;

20 - un moyen de mesure de puissance fournie en continu à chaque équipement, la mesure pouvant être directe – en particulier un wattmètre ou un ensemble couple-mètre/tachymètre - ou indirecte par calcul à partir de données – en particulier par le produit courant- tension provenant d'instruments appropriés;

25 - les variations de puissance demandée sont quantifiées dans une unité de traitement numérique à l'entrée du régulateur de vitesse HP à partir des ordres transmis par le pilotage et l'unité de commande des systèmes de vol de l'aéronef ainsi que d'autres paramètres déjà acquis, en particulier des conditions ambiantes de température et de pression ou de l'état des entrées/sorties du générateur de puissance.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0031] D'autres aspects, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront dans la description non limitative qui suit, relative à des modes de réalisation particuliers, en référence aux dessins annexés qui représentent, respectivement :

- en figure 1, un diagramme des courbes de variation de la puissance mécanique fournie par le corps BP sur son arbre en fonction de sa vitesse de rotation pour différentes conditions ambiantes ;

- en figure 2, une courbe de rendement d'un équipement en fonction de sa vitesse d'entraînement pour définir la puissance demandée par cet équipement ; et

- en figure 3, un bloc diagramme d'un exemple de commande de régulation selon l'invention.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0032] En référence à la figure 1, des courbes C1 à Cn de puissance mécanique fournie Pf par le corps BP d'un groupe de puissance à turbine TL sont présentées. La puissance Pf est représentée en fonction de la vitesse de rotation V_{BP} du corps BP, pour une condition ambiante définie – en température et pression à l'entrée du corps BP et pour différents niveaux de puissance thermique du corps HP, HP1 à HPn. Chaque courbe C1 à Cn présente un profil en « chapeau de gendarme ». Les maximas de puissance, M1 à Mn, correspondent alors à des vitesses optimales V_{O1}, \dots, V_{On} , qui se placent sur une courbe optimale C_M . Cette courbe optimale C_M est mémorisée pour pouvoir être utilisée dans la commande de régulation pour déterminer l'amplitude de l'incrément par le calcul.

[0033] Par ailleurs, la figure 2 illustre la courbe de rendement C_R pour un niveau de puissance donné fourni à un équipement donné, ici un compresseur de charge, en fonction de la vitesse d'entraînement V_e de cet équipement. Le rendement maximal R_M est obtenu pour une vitesse optimale V_O proche de sa

vitesse limite autorisée V_l . Les vitesses V_o sont également mémorisées pour tous les équipements pour être utilisées dans la commande de régulation ci-dessous.

[0034] En référence à la figure 3, un exemple de commande de régulation 1 comporte trois régulateurs 11, 12 et 13. cette commande de régulation équipe un
5 groupe de puissance à turbine libre TL d'un aéronef en liaison avec le système de pilotage et l'unité de contrôle de l'aéronef pour recevoir des données et des instructions de régulation. Les régulateurs de la commande 1 se répartissent comme suit :

- un régulateur de vitesse de rotation 11 de l'arbre d'entraînement du corps
10 BP de la turbine TL du groupe de puissance,
- un régulateur de vitesse 12 du corps HP de la turbine TL du groupe de puissance, et
- un régulateur de débit de carburant 13 du groupe de puissance.

[0035] Pour chaque équipement E_1, E_2, \dots , une courbe C_{m1}, C_{m2}, \dots , des
15 vitesses V_1, V_2, \dots , correspondant aux puissances demandées P_{d1}, P_{d2}, \dots - pour chaque condition ambiante de température et de pression à l'entrée du corps BP - sont définies par le constructeur. Chaque courbe C_{m1}, C_{m2}, \dots , permet à chaque instant de connaître la vitesse minimale V_{m1}, V_{m2}, \dots , à partir de laquelle l'équipement est apte à fournir une puissance partielle demandée.

[0036] Pour faciliter l'exploitation des données, les valeurs numériques de
20 rotations des équipements sont converties en valeurs de rotation de l'arbre BP en tenant compte des facteurs de réduction et/ou de multiplication des trains d'engrenage, centralisés par exemple par une boîte de transfert de puissance.

[0037] Pour l'ensemble E_i des équipements présents dans l'exemple, une
25 valeur maximale $\text{Max}(V_{mi})$ des vitesses minimales V_{mi} est déterminée dans les conditions ambiantes. Cette valeur $\text{Max}(V_{mi})$ est la vitesse maximale autorisée pour chaque équipement de l'ensemble E_i . Avec cette valeur V_{mi} , tous les équipements entraînés sont aptes à fournir la puissance qui leur est demandée.

La valeur $\text{Max}(V_{mi})$ obtenue peut être avantageusement comparée aux limitations autorisées, en particulier pour la plage de 50% à 100%.

[0038] La valeur $\text{Max}(V_{mi})$ ainsi déterminée est transmise à un sommateur S1 du régulateur de vitesse du corps BP 11. Ce sommateur S1 intègre également à chaque élaboration de consigne de vitesse du corps BP, un incrément de vitesse BP positif « e », ici égal à 1%, pour donner une valeur de consigne C_{BP} de vitesse de corps BP telle que :

$$C_{BP} = \text{Max}(V_{mi}) + e$$

[0039] L'incrément de vitesse BP « e » n'est introduit que de manière conditionnelle, jusqu'à ce que la vitesse V_{HP} du corps HP soit minimisée. La variation de la vitesse du corps HP est suivie dans le soustracteur S2 en fournissant une information différentielle « d ». Si à un instant t la valeur de vitesse mesurée de rotation du corps HP (V_{HP})_t est inférieure à celle à l'instant antérieur t-1, (V_{HP})_{t-1}, alors la différence « d » entre ces valeurs est négative. Si, de plus, la puissance mesurée P_m sur le corps BP est restée constante dans cet intervalle de temps (t – t-1), alors un outil correcteur O1 - auquel s'applique P_m - transmet une valeur de « e » égale à 1% au sommateur S1. Dans le cas contraire, la valeur de l'incrément est égale à 0. Une telle correction permet de s'affranchir des oscillations des mesures et permet de calculer la valeur de l'incrément « e ».

[0040] L'incrémentation peut également être déclenchée par le calcul. A puissance délivrée donnée pour chaque équipement, différentes formes peuvent être utilisées, modélisation, mise en équation avec recherche du point mini, itération etc.....Le but recherché est de trouver la vitesse du corps BP qui minimise la vitesse du corps HP à puissance délivrée constante par chacun des équipements. Par exemple pour un équipement i qui fournit une puissance P_{mi} à chaque vitesse d'entraînement V_{BP} correspond une puissance d'entraînement de l'équipement i P_{mi}. La somme de P_{mi} donne la puissance à fournir par le corps BP à cette vitesse V_{BP} . La courbe en chapeau de gendarme donne la valeur de V_{HP} correspondante. Le calcul détermine alors la valeur minimale de V_{HP} .

[0041] Une information relative au bruit B1 est avantageusement introduite dans l'outil correcteur O1. Tant que le niveau de bruit dans un équipement est supérieur à une valeur plafond, par exemple 100 dB, l'information de bruit déclenche également un incrément « e » et la minimisation du bruit à un niveau 5 inférieur à ce seuil est régulée de façon similaire à celle de la vitesse V_{HP} .

[0042] La valeur de consigne C_{BP} de la vitesse du corps BP est fournie par le sommateur S1 et transmis à un soustracteur S3 qui compare la valeur mesurée $V_{m_{BP}}$ de la vitesse du corps BP à la valeur C_{BP} . Un convertisseur C2 convertit la variation de vitesse du corps BP en variation équivalente de vitesse V_{HP} du corps 10 HP.

[0043] Cette variation de vitesse V_{HP} est transmise à un soustracteur d'anticipation S4 du régulateur 12 de vitesse du corps HP. Le soustracteur S4 compare cette variation de vitesse V_{HP} avec la valeur issue d'un comparateur C3 de traitement d'une « loi » d'anticipation, pour obtenir la valeur de consigne de 15 vitesse C_{HP} du corps HP.

[0044] Cette loi d'anticipation consiste à corriger la vitesse V_{HP} du corps HP en fonction de la variation de puissance demandée P_d aux équipements et également de la variation de la puissance mesurée sur l'arbre d'entraînement P_m .

[0045] La loi d'anticipation permet donc, à partir des variations des 20 puissances à fournir et mesurée, de déterminer les variations de besoin de puissance et de déterminer la variation de vitesse V_{HP} à appliquer pour assurer une nouvelle demande de puissance.

[0046] La consigne de vitesse C_{HP} du corps HP est ensuite comparée aux valeurs de limitations dans un filtre limiteur 22 qui recadre les valeurs de 25 consigne dans des plages autorisées.

[0047] En sortie du filtre 22, la consigne de vitesse C_{HP} est comparée à la mesure de la vitesse $V_{m_{HP}}$ dans un soustracteur S5. L'écart obtenu est intégré à un convertisseur C4, qui transforme l'écart de vitesse en écart de débit de carburant pour fournir, en sortie, une consigne de débit carburant C_C .

[0048] Cette consigne de débit carburant C_C est transmise au régulateur de débit 13 sous forme de commande à un doseur de carburant 23 via un limiteur de débit 24. La variation de débit carburant injecté dans la chambre de combustion du groupe de puissance modifie alors la vitesse V_{HP} du corps HP, et donc le
5 niveau d'énergie fourni. Pour une demande constante de puissance, cette variation V_{HP} de vitesse du corps HP modifie la vitesse V_{BP} du corps BP : une nouvelle boucle de régulation naît pour contrôler les vitesses.

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'optimisation de régulation d'un groupe de puissance à
5 turbine libre TL d'un aéronef équipé d'un corps basse pression BP qui délivre de
la puissance à des équipements (E1, E2, ...) en liaison avec un corps haute
pression HP, caractérisé en ce qu'il consiste à varier la vitesse du corps BP (V_{BP})
en fonction de la valeur maximale ($\text{Max}(V_{mi})$) des vitesses minimales (V_{m1} , V_{m2})
des équipements et d'une incrémentation (e) positive ou nulle pour minimiser la
10 vitesse du corps HP (V_{HP}) pour obtenir une vitesse du corps HP (V_{HP}) minimale de
sorte que la puissance fournie (P_f) par les équipements reste constante.

2. Procédé d'optimisation selon la revendication 1, dans lequel les
puissances fournies (P_f) par les équipements étant fonction de leur vitesse
d'entraînement par le corps BP, la consigne de vitesse du corps BP (C_{BP}) de la
15 turbine TL est fonction de la valeur maximale ($\text{Max}(V_{mi})$) des vitesses minimales
(V_{m1} , V_{m2}) des équipements permettant d'obtenir de manière optimisée les
puissances respectivement demandées et d'une incrémentation (e) positive ou
nulle ajoutée à la consigne de vitesse du corps BP (C_{BP}) pour minimiser la vitesse
du corps HP (V_{HP}) à iso-fourniture de puissance des équipements.

20 3. Procédé d'optimisation selon l'une des revendications 1 et 2, dans
lequel une mesure de puissance fournie (P_f) en continu par chacun des
équipements permet de détecter un fonctionnement stabilisé des demandes de
fourniture de puissance et dans ce cas d'activer l'incrémentation.

4. Procédé d'optimisation selon l'une quelconque des revendications 1 à
25 3, dans lequel l'incrémentation est déterminée par calcul à partir des courbes de
rendement (C_R) des équipements et de la turbine libre.

5. Procédé d'optimisation selon la revendication précédente, dans lequel,
pour chaque équipement, un niveau de puissance thermique du corps HP

transmise au corps BP et pour chaque condition ambiante de température et de pression à l'entrée du groupe de puissance, il existe une vitesse de rotation du corps BP qui permet de délivrer sur son arbre une puissance mécanique maximale.

5 6. Procédé d'optimisation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'incrémentation est déterminée par la détection de la variation de la vitesse du corps HP, l'incrémentation étant alors appliquée jusqu'à ce que la vitesse du corps HP soit minimale.

10 7. Procédé d'optimisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la consigne de vitesse de rotation du corps BP (C_{BP}) est régulée pour prioritairement à chaque instant adapter la vitesse de rotation du corps BP (V_{BP}) à la fourniture de la puissance demandée (P_d) par chacun des équipements, et/ou adapter la vitesse de rotation du corps BP (V_{BP}) au rendement global maximal par minimisation de la puissance à fournir par la turbine BP selon
15 la puissance demandée, et/ou adapter la vitesse de rotation du corps BP (V_{BP}) à des conditions particulières d'utilisation, en particulier pour minimiser le niveau sonore (B_1).

20 8 Procédé d'optimisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le procédé prévoit une étape supplémentaire d'anticipation dans laquelle une consigne de vitesse (V_{HP}) du corps HP du groupe de puissance est régulée en fonction de la variation de puissance demandée (P_d) aux équipements et également de la variation de la puissance mesurée (P_m) sur l'arbre d'entraînement

25 9. Commande de régulation apte à mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle combine un régulateur de vitesse de corps BP (11), un régulateur de vitesse de corps HP (12) et un régulateur de débit de carburant (13), en ce que le régulateur de vitesse de corps BP comporte un outil comparateur (O1) d'élaboration d'une
30 consigne de vitesse du corps BP (C_{BP}) à partir des mesures transmises par des moyens de mesure des puissance fournies (P_f), et des vitesses de rotation

minimales (V_{mi}) correspondant aux puissances demandées (P_d) par chaque équipement entraîné par le groupe de puissance, à partir de données de variation de puissance en fonction de la vitesse pour chaque équipement, en ce qu'un soustracteur mesure l'écart entre la consigne (C_{BP}) ainsi élaborée et la vitesse du corps BP (V_{BP}), en ce que cet écart est transmis à un premier convertisseur (C2) qui le convertit en écart de vitesse de corps HP pour être transmis au régulateur de vitesse de corps HP (12), en ce que ce régulateur HP comporte des moyens d'élaboration (S4, C3) d'une consigne de vitesse de corps HP (C_{HP}) à partir du premier convertisseur (C2), et en ce que la consigne de vitesse HP (C_{HP}) passe par un filtre limiteur (22) qui recadre les valeurs de consigne dans des plages autorisées, la consigne recadrée étant alors transmise au régulateur de débit (13) sous forme de consigne de débit (C_C) via un deuxième convertisseur (C4).

10. Commande de régulation selon la revendication précédente, dans laquelle la consigne du régulateur de débit (C_C) passe dans un filtre limiteur (24), qui recadre les valeurs de consigne dans des plages autorisées, avant d'être transmise à un doseur de carburant (23).

11. Commande de régulation selon l'une des revendications 9 et 10, dans laquelle un soustracteur de valeurs de vitesse de corps HP à deux instants successifs fournit, en tenant compte de la constance de la puissance mesurée dans l'outil de correction de vitesse de corps BP (O1), des incréments (e) de correction à l'outil d'élaboration de consigne de vitesse BP (O1).

12. Commande de régulation selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, dans laquelle un filtre de limitation du bruit (B1) est couplé à l'outil de correction de vitesse du corps BP (O1).

13. Commande de régulation selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, dans laquelle un comparateur d'anticipation est apte à corriger la consigne de vitesse du corps HP (C_{HP}) en fonction des variations de puissance fournie (P_f) et de puissance mesurée sur l'arbre d'entraînement (P_m), avant d'être soumis au filtre limiteur de vitesses.

14. Commande de régulation selon l'une quelconque des revendications 9 à 13, dans laquelle les variations de puissances demandées sont quantifiées dans une unité de traitement numérique à l'entrée du régulateur de vitesse HP à partir des ordres transmis par le pilotage et l'unité de contrôle des systèmes de vol de l'aéronef ainsi que d'autres paramètres déjà acquis.

15. Aéronef comportant un groupe de puissance, une commande de régulation des vitesses de corps BP et HP ainsi que du débit de carburant, caractérisé en ce que la commande de régulation est conforme à l'une quelconque des revendications 9 à 14 pour mettre en œuvre le procédé d'optimisation selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

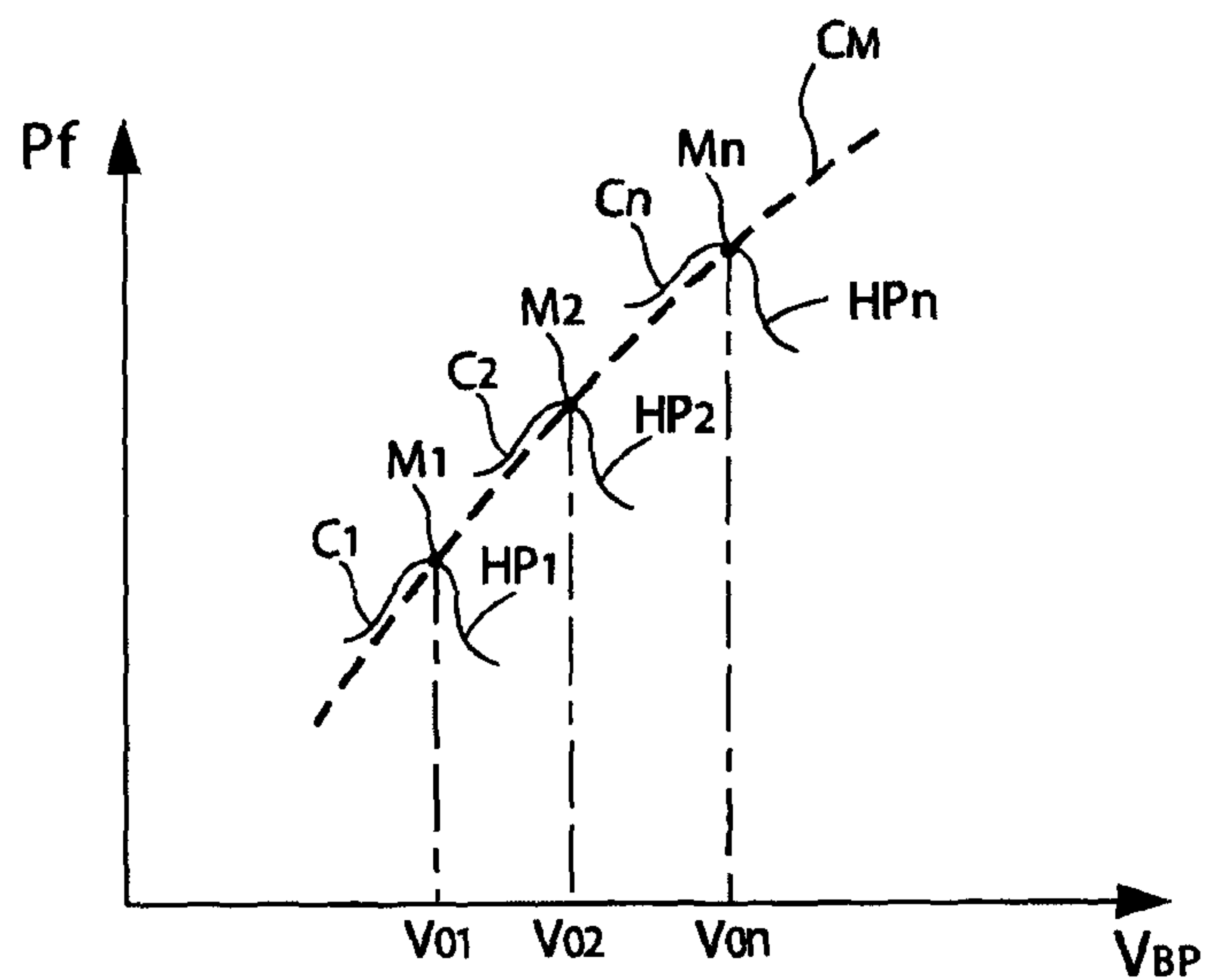


Fig.1

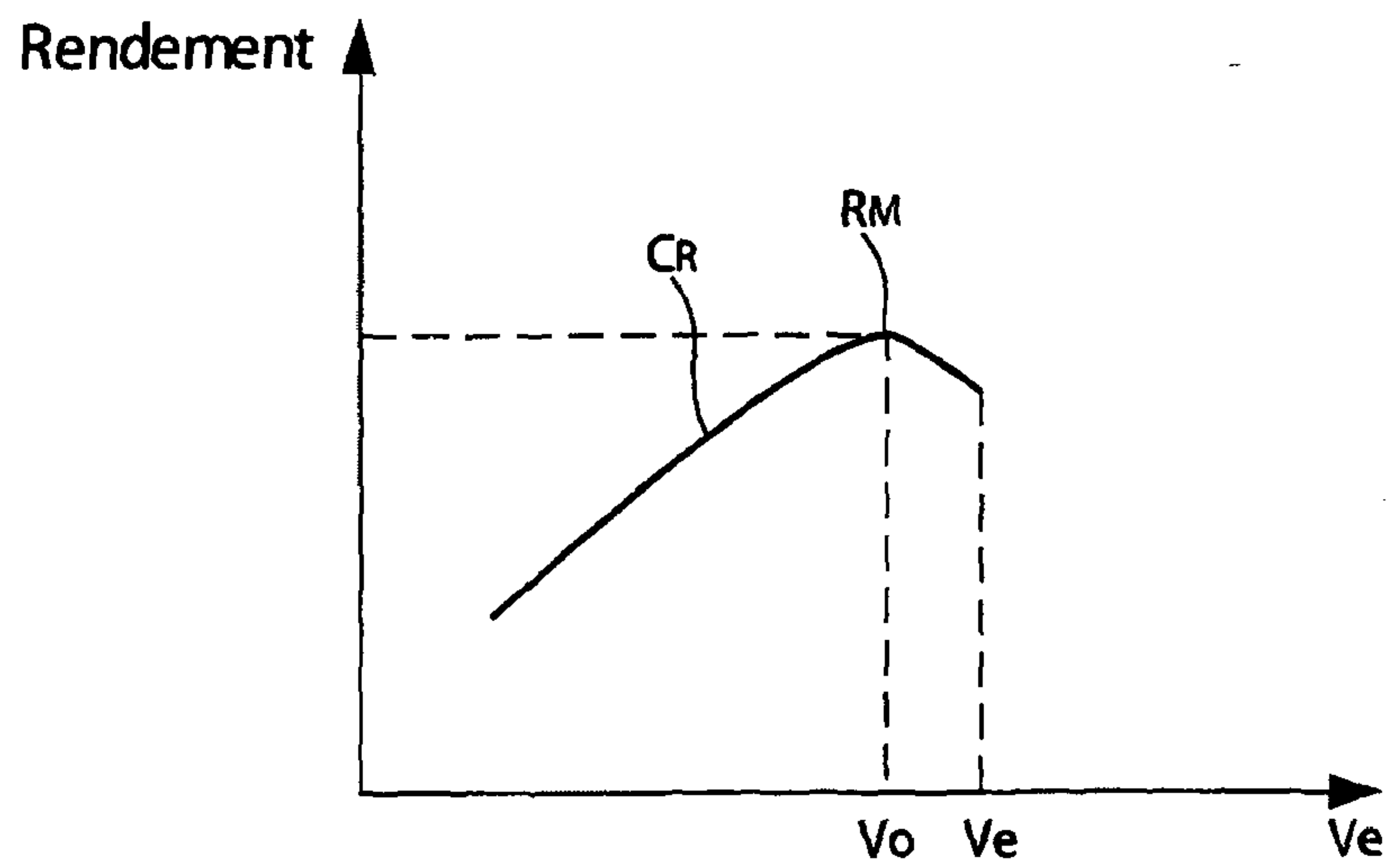
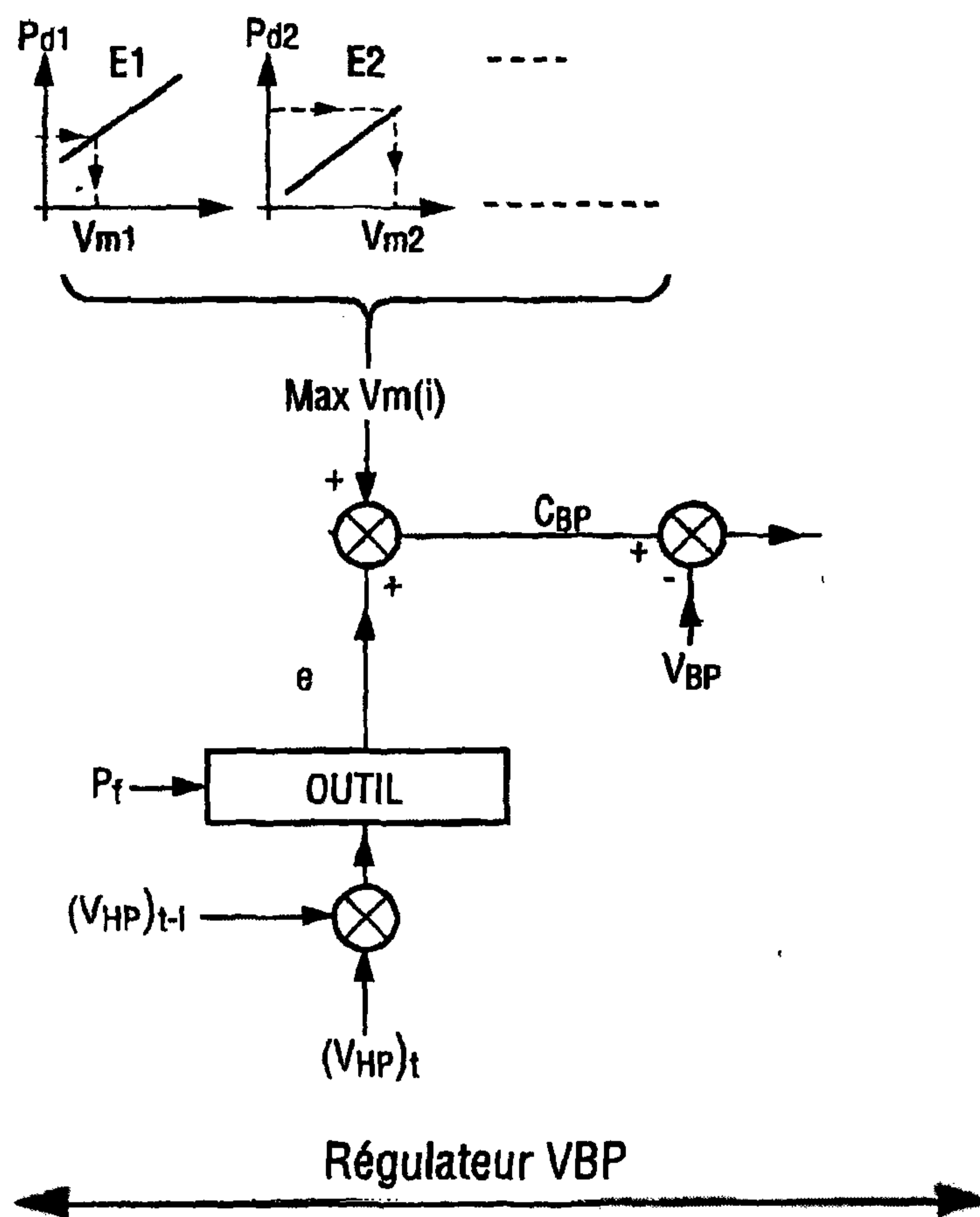
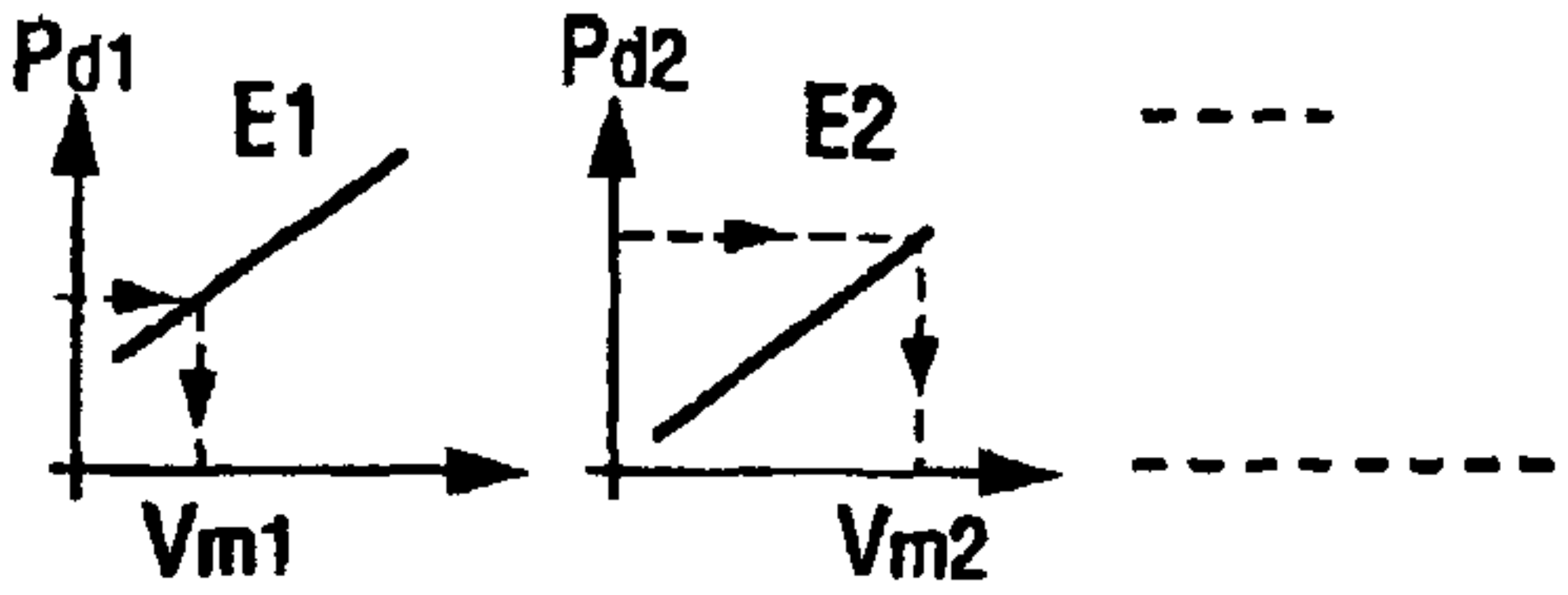
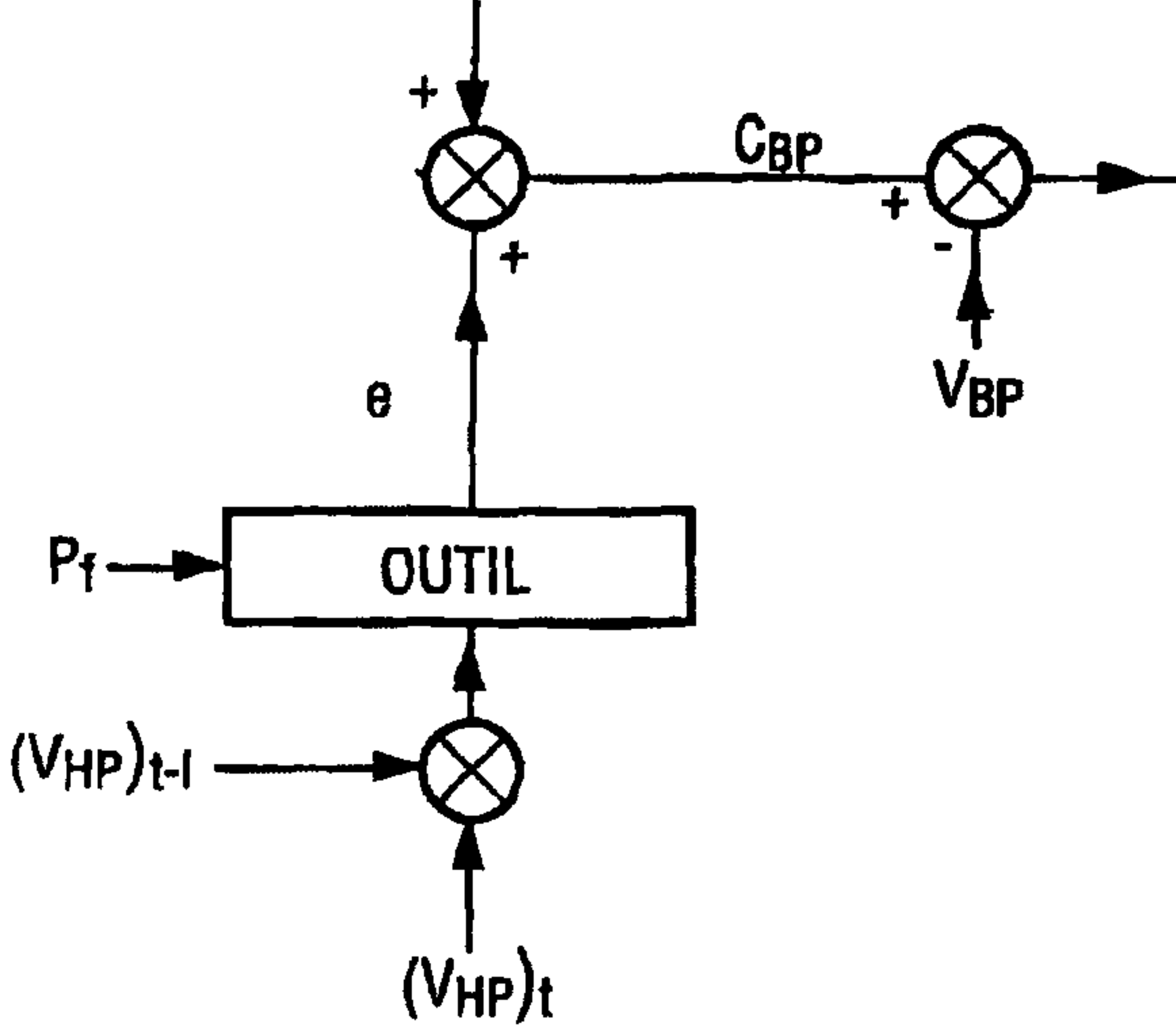


Fig.2





$\text{Max } V_m(i)$



Régulateur VBP

