

⑫

FASCICULE DE BREVET EUROPÉEN

④⑤ Date de publication du fascicule du brevet :
21.01.87

⑤① Int. Cl.⁴ : **C 10 G 35/04, C 10 G 49/00**

②① Numéro de dépôt : **84400303.8**

②② Date de dépôt : **15.02.84**

⑤④ **Installation pour la transformation chimique d'un mélange gazeux contenant de l'hydrogène et des hydrocarbures.**

③⑩ Priorité : **21.02.83 FR 8302764**

④③ Date de publication de la demande :
29.08.84 Bulletin 84/35

④⑤ Mention de la délivrance du brevet :
21.01.87 Bulletin 87/04

⑧④ Etats contractants désignés :
AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE

⑤⑥ Documents cités :
US-A- 4 166 024
Le dossier contient des informations techniques présentées postérieurement au dépôt de la demande et ne figurant pas dans le présent fascicule.

⑦③ Titulaire : **ELECTRICITE DE FRANCE Service National**
2, rue Louis Murat
F-75008 Paris (FR)

SPIE-BATIGNOLLES (société anonyme)
Tour Anjou 33, Quai de Dion-Bouton
F-92814 Puteaux (FR)

⑦② Inventeur : **Cros, Pierre**
167, Boulevard Murat
F-75016 Paris (FR)
Inventeur : **Mingaud, Jean Louis**
16, rue Monge
F-75005 Paris (FR)
Inventeur : **Plard, Christian**
67, Route de Sartrouville
F-78230 Le Pecq (FR)
Inventeur : **Vanrenterghem, Jacques**
110, Avenue Felix-Faure
F-75015 Paris (FR)

⑦④ Mandataire : **Bouju, André**
Cabinet Bouju 38 avenue de la Grande Armée
F-75017 Paris (FR)

EP 0 117 200 B1

Il est rappelé que : Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention concerne une installation pour la transformation chimique d'un mélange gazeux contenant notamment des hydrocarbures et de l'hydrogène.

5 Cette installation comprend des réacteurs dans lesquels le mélange précité réagit selon des réactions globalement endothermiques à des températures comprises entre 350 et 900 °C environ, sous haute pression et en présence d'un catalyseur. Cette installation comprend d'autre part un four disposé en amont de chaque réacteur pour réchauffer le mélange gazeux avant son introduction dans le réacteur.

L'invention s'applique principalement aux installations suivantes :

le reformage du naphta en présence d'un catalyseur à base de platine pour l'obtention des essences ;
la désulfuration des hydrocarbures à l'hydrogène.

10 Dans les installations connues, les fours de réchauffage du mélange gazeux d'hydrocarbures et d'hydrogène, sont des fours classiques alimentés en combustible liquide ou gazeux d'origine fossile. Ces fours comprennent des faisceaux de tubes de section réduite chauffés par combustion du combustible d'origine fossile, dans lesquels on fait passer le mélange gazeux précité.

Ces fours de réchauffage présentent de nombreux inconvénients.

15 En premier lieu, le passage du mélange gazeux à réchauffer dans les faisceaux de tubes entraîne des pertes de charge très importantes, ce qui nécessite l'utilisation de compresseurs de très forte puissance consommant de ce fait beaucoup d'énergie.

D'autre part, la régulation de la température dans de tels fours est délicate et implique une attention toute particulière de la part des opérateurs des installations.

20 Dans le cas d'une installation de reformage catalytique on doit veiller en particulier que la température de peau des tubes de ces fours ne dépasse pas 650 °C pour éviter tout risque de rupture de ces tubes, ce qui aurait des conséquences catastrophiques.

Par ailleurs, compte tenu de la forme de la flamme, on observe des variations importantes de température de peau le long des tubes et dans une même section, et qui peuvent être variables selon la position du tube considéré.

De plus, les fours à flamme précités sont encombrants principalement en fonction du fait qu'une seule nappe de tubes entoure la flamme.

30 D'autre part le rendement thermique de ces fours dépasse difficilement 80 % même dans le cas où on récupère par échange thermique les calories évacuées dans les fumées de la combustion du combustible d'origine fossile.

En outre, l'utilisation d'un combustible d'origine fossile pour le fonctionnement de ces fours entraîne une consommation supplémentaire d'un produit énergétique onéreux qu'il convient aujourd'hui d'économiser, notamment dans les pays occidentaux, pour en limiter l'emploi aux applications où cette source d'énergie est strictement indispensable.

35 Le but de la présente invention est de créer une installation qui remédie à tous les inconvénients précités.

L'installation visée par l'invention pour la transformation chimique d'un mélange gazeux contenant notamment de l'hydrogène et des hydrocarbures comprend une succession de réacteurs pour faire réagir le mélange précité selon des réactions globalement endothermiques à des températures comprises entre 40 400 et 900 °C environ, sous haute pression et en présence d'un catalyseur. Un four est disposé en amont de chaque réacteur pour réchauffer le mélange gazeux avant son introduction dans ledit réacteur.

45 Suivant l'invention, cette installation est caractérisée en ce que les fours sont constitués par une enceinte comprenant une entrée et une sortie du mélange gazeux et renfermant une ou plusieurs résistance(s) électrique(s) de chauffage destinée(s) à être placée(s) en contact direct avec le mélange gazeux introduit dans cette enceinte.

Ces fours électriques dans lesquels la résistance électrique est directement en contact avec le mélange gazeux présentent une perte de charge nettement plus faible que celle des fours classiques.

Des fours à résistance électrique de chauffage remplacent ainsi les fours alimentés en combustible d'origine fossile, tel que du fuel léger ou lourd.

50 En conséquence, il est possible, soit de diminuer la puissance des compresseurs utilisés pour recycler les effluents gazeux, soit de diminuer la consommation énergétique globale de l'installation en ajoutant à celle-ci un ou plusieurs échangeurs thermiques charge/effluents, supplémentaires.

55 Par ailleurs, ces fours électriques permettent de réguler la température de chauffage du mélange gazeux d'une manière beaucoup plus précise et aisée que dans les cas des fours classiques, de sorte qu'on évite tout risque de surchauffe susceptible d'entraîner des accidents et de chauffage insuffisant susceptible de diminuer le rendement des réactions.

De plus, le rendement thermique de ces fours est nettement plus élevé que celui des fours classiques.

60 Par ailleurs, le fait d'utiliser pour ces fours l'électricité comme source d'énergie, évite toute consommation supplémentaire de combustible d'origine fossile dont le coût est de plus en plus élevé par rapport à celui de l'électricité produite dans des centrales hydro-électriques et nucléaires.

Selon une version particulière de l'invention, l'installation comprend en parallèle avec chaque four alimenté en combustible d'origine fossile un four électrique constitué par une enceinte comprenant une

entrée et une sortie du mélange gazeux et une ou plusieurs résistances électriques de chauffage destinées à être placées en contact direct avec le mélange gazeux introduit dans cette enceinte, et des moyens pour faire passer le mélange gazeux à volonté soit par les fours alimentés en combustible d'origine fossile, soit par les fours à résistances électriques.

5 Ainsi, une telle installation pourrait fonctionner par exemple pendant les mois d'hiver de la manière classique, en utilisant les fours conventionnels alimentés en combustible d'origine fossile et en dehors de cette période, en utilisant les fours électriques, périodes dans lesquelles la consommation globale d'électricité est moins forte et où le coût de cette dernière peut être plus réduit.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront encore dans la description ci-après.

10 Aux dessins annexés donnés à titre d'exemples non limitatifs :

la figure 1 est un schéma d'ensemble d'une installation de reformage catalytique du naphta ;

les figures 2 et 3 sont des vues partielles de l'installation, montrant en particulier l'emplacement des vannes.

La figure 1 représente schématiquement une installation de reformage catalytique du naphta obtenu par distillation du pétrole brut, destinée à produire des essences à haut indice d'octane.

Cette installation comprend 4 réacteurs R_1, R_2, R_3, R_4 dans lesquels on réalise les réactions de reformage entre un mélange gazeux d'hydrocarbures enrichi en hydrogène à des températures autour de 500 °C, des pressions comprises entre 15 et 30 bars et en présence d'un catalyseur à base de platine.

Ces réactions sont globalement endothermiques.

20 A cet effet, en amont de chaque réacteur R_1, R_2, R_3, R_4 est disposé un four F_1, F_2, F_3, F_4 qui permet de préchauffer le mélange d'hydrocarbures et d'hydrogène à la température optimale avant l'entrée de ce mélange dans le réacteur R_1, R_2, R_3, R_4 suivant.

Le mélange 1 d'hydrocarbures enrichi en hydrogène est introduit dans le premier four F_1 au moyen d'une pompe 2. L'effluent 3 issu du dernier réacteur R_4 passe dans des échangeurs thermiques 4 disposés en amont du premier four F_1 et agencés pour réaliser un échange thermique entre cet effluent 3 et le mélange gazeux 1 qui est introduit dans le premier four F_1 . Cet échange thermique permet de préchauffer le mélange gazeux initial 1 avant son entrée dans le four F_1 .

L'effluent 3 après cet échange thermique est refroidi dans un aéro-réfrigérant 5 puis dans un refroidisseur à eau 6, avant de pénétrer dans un ballon séparateur 7 dans lequel le gaz à recycler est séparé du reformat. Ce reformat est récupéré en 8. Une partie du gaz à recycler 9 issu du séparateur 7 est comprimée au moyen d'un compresseur 10 qui le réinjecte en aval de la pompe 2 pour le mélanger au naphta de départ.

30 Conformément à l'invention, l'installation comprend en parallèle avec chaque four F_1, F_2, F_3, F_4 alimenté en combustible fossile, un four F_5, F_6, F_7, F_8 constitué par une enceinte 11, 12, 13, 14 comprenant une entrée 15a, 16a, 17a, 18a et une sortie 15b, 16b, 17b, 18b et qui renferme des résistances électriques de chauffage 19, 20, 21, 22.

Ces résistances de chauffage 19 à 22 sont placées en contact direct avec le mélange gazeux introduit dans chacun des fours électriques F_5, F_6, F_7, F_8 .

40 Ces fours électriques F_5, F_6, F_7, F_8 sont construits de façon que le passage du mélange d'hydrogène et d'hydrocarbures à travers ces fours s'effectue avec une faible perte de charge. Ces fours électriques peuvent être conformes à celui décrit dans le brevet français n° 2 541 436 aux noms des demandereses et qui est intitulée « Dispositif de chauffage électrique par effet Joule direct pour chauffer un mélange gazeux ».

Par ailleurs, l'installation conforme à l'invention comporte des moyens pour faire passer le mélange gazeux à volonté soit par les fours classiques F_1, F_2, F_3, F_4 alimentés en combustible d'origine fossile, soit par les fours à résistances électriques F_5, F_6, F_7, F_8 . Ces moyens sont constitués (voir figures 2 et 3) par des vannes $V_1, V_2 \dots V_4, V_5$ placées à l'entrée et à la sortie des fours classiques $F_1, \dots F_4$ et des vannes $V_6, V_7 \dots V_9, V_{10}$ placées sur les dérivation 23 ... 27 qui s'étendent entre les fours classiques $F_1 \dots F_4$ et les fours électriques $F_5 \dots F_8$.

50 On voit également sur les figures 1 et 2 qu'un ou des échangeurs thermiques supplémentaires 28 sont placés sur la dérivation 23 comprise entre la sortie 4a des premiers échangeurs 4 et l'entrée 15a du premier four électrique F_5 . Ces échangeurs 28 sont agencés pour réaliser un échange thermique complémentaire entre le mélange gazeux introduit dans le premier four électrique F_5 et l'effluent gazeux 3 issu du dernier réacteur R_4 . Des vannes V_{11}, V_{12} placées en amont et en aval des échangeurs 28 sur un circuit 29 relié avec celui de l'effluent 3 et une vanne V_{13} placée sur un circuit de dérivation 30 relié directement aux premiers échangeurs 4, permettent soit de faire passer l'effluent 3 dans les échangeurs 28 lors de la mise en service des fours électriques $F_5 \dots F_8$, soit directement et seulement dans le premier échangeur 4 lors de la mise en service des fours classiques $F_1 \dots F_4$.

La perte de charge occasionnée par le ou les échangeurs 28 est inférieure à la réduction de perte de charge réalisée lors de la mise en service des fours électriques $F_5 \dots F_8$.

On donne ci-après les caractéristiques de fonctionnement d'une installation telle que représentée sur la figure 1 traitant 1 600 tonnes par jour de naphta.

(Voir Tableau page 4)

5		Fonctionnement avec fours classiques	Fonctionnement avec fours classiques
10	<u>Puissance thermique</u> (communiquée au fluide procédé)	F ₁ 14,5 MW F ₂ 6 MW -F ₃ 3 MW F _L 1 MW <u>Total: 24,5 MW</u>	F ₅ 10 MW F ₆ 6 MW F ₇ 3 MW F ₈ 1 MW <u>Total: 20 MW</u>
20	<u>Température en °C</u> Entrée du four Entrée des 4 réacteurs Sortie des réacteurs	F ₁ 427,5 515°C - R ₁ 479 R ₂ 498 R ₃ 508,5 R _L 512,5	F ₅ 460 515°C - 479 498 508,5 512,5
35	<u>Pressions en bars</u> Entrée du compres- seur 10 Sortie du compres- seur 10	25,4 34,6	25,4 33,2
45	<u>Pertes de charge dans les fours</u>	F ₁ 1,4 F ₂ 0,8 F ₃ 0,7 F _L 0,6	F ₅ 0,2 F ₆ 0,15 F ₇ 0,1 F ₈ 0,05
50	Dans les échangeurs 4, (28) . côté mélange (1)- . côté effluent (3)	- 1,2 0,4	1,65 0,55
55	Dans l'aéronéfrigé- rant (5)	0,4	0,4
	Dans le réfrigérant à eau (6)	0,3	0,3
60	Dans les vannes supplémentaires	-	1,0

A l'examen du tableau ci-dessus, on constate que les pertes de charge sont beaucoup plus faibles dans les fours électriques F_5 à F_8 que dans les fours classiques F_1 à F_4 . Ce gain est de l'ordre de 3 bars au total.

5 Du fait de cette diminution des pertes de charge, il serait possible de diminuer la puissance du compresseur 10.

Lorsque le compresseur 10 est conservé, ce qui est le cas de l'exemple représenté sur la figure 1 et du tableau précité, la diminution des pertes de charge fournit à l'installation un crédit de pertes de charge qui permet d'insérer dans l'installation, un ou des échangeurs supplémentaires 28 qui permettront au mélange initial d'être porté par l'échange thermique avec l'effluent 3 issu du dernier réacteur R_4 à une température de 460 °C ou plus avant son entrée dans le premier four F_5 , au lieu de 427,5° dans le cas d'utilisation des fours classiques.

Etant donné que dans les deux cas, le mélange gazeux doit être porté à 525 °C environ avant son entrée dans les différents réacteurs, on peut grâce aux échangeurs supplémentaires 28 réduire la puissance, c'est-à-dire la consommation en énergie du premier four électrique F_5 .

15 On constate que dans le cas du fonctionnement de l'installation avec des fours électriques F_5 , F_6 , F_7 , F_8 , on réalise, par rapport aux fours classiques un gain de 4,5 MW au niveau du premier four F_5 .

De nombreux autres avantages sont apportés par l'utilisation de fours électriques F_5 à F_8 .

Le fait de pouvoir faire fonctionner l'installation en bi-énergie, c'est-à-dire soit avec des fours classiques soit avec des fours électriques, permet en cas de panne des fours classiques de rendre
20 l'installation immédiatement opérationnelle, sans arrêter l'ensemble de l'installation.

Il est avantageux de faire fonctionner l'installation avec les fours électriques, lors des périodes où la consommation globale d'énergie est réduite et où l'on peut disposer d'électricité d'origine hydroélectrique ou nucléaire relativement bon marché.

25 Par ailleurs, lorsque l'installation fonctionne avec les fours électriques F_5 à F_8 , il est possible d'ajuster avec une très grande précision, la température de chauffage du mélange gazeux qui est introduit dans les différents réacteurs.

Ainsi, on peut éviter les fluctuations de température autour du point de consigne, et mieux utiliser le catalyseur à l'entrée du mélange réactionnel, et conserver son efficacité pendant une durée plus longue.

30 Bien entendu, l'invention pourrait ne comporter que des fours électriques en remplacement total des fours classiques.

Dans ce cas l'installation pourrait être adaptée spécifiquement à un fonctionnement total avec des fours électriques.

35 Ainsi, grâce au gain de pertes de charge réalisé par l'utilisation de fours électriques, il est possible soit de réduire notablement la puissance du compresseur 10 de recyclage de l'hydrogène, soit d'augmenter le nombre des échangeurs thermiques tels que 4, 28 qui permettent de réduire la puissance totale des fours électriques, de sorte que dans tous les cas on réalise un important gain d'énergie.

Bien entendu, l'invention pourrait ne porter que sur un remplacement partiel des fours classiques pour un ou plusieurs fours électriques.

40 Alternativement, on pourrait multiplier le nombre de fours et de réacteurs en diminuant corrélativement leurs tailles respectives, pour tendre vers un profil de température quasi-isotherme au sein du catalyseur. Cela permettrait une meilleure utilisation du catalyseur, donc une réduction du volume global de catalyseur et ainsi une économie sur l'approvisionnement en catalyseur dont le coût est particulièrement élevé puisqu'il est à base de métaux nobles et rares.

45 Par ailleurs dans le cas où le crédit de perte de charge apporté par le fonctionnement de l'installation avec des fours électriques, n'est pas utilisé pour améliorer l'échange thermique charge-effluent c'est-à-dire réduire la consommation énergétique globale, ce crédit de perte de charge permet un fonctionnement plus performant de l'installation, notamment une meilleure utilisation du catalyseur, en adaptant les conditions opératoires de l'unité. Ainsi, par exemple, l'abaissement de la pression moyenne dans l'installation permet d'obtenir un rendement plus élevé en essences.

50 Bien entendu, l'invention n'est pas limitée à l'exemple que l'on vient de décrire qui a trait au reformage catalytique du naphta pour produire des essences.

55 Ainsi, l'invention est applicable dans tous les cas où on réalise un chauffage de forte puissance d'un mélange d'hydrocarbures et d'hydrogène sous haute pression, en amont d'un ou plusieurs réacteurs dans lesquels ont lieu les réactions globalement endothermiques, à des températures comprises entre 350 et 900 °C environ.

Ainsi, l'invention peut également s'appliquer notamment aux installations de traitement de désulfuration des hydrocarbures à hydrogène.

60 Dans toutes ces installations le remplacement des fours classiques alimentés en combustible d'origine fossile par des fours électriques à faibles pertes de charge permet d'obtenir une économie d'énergie pouvant atteindre 45 %, ce qui est tout à fait surprenant.

Revendications

65 1. Installation pour la transformation chimique d'un mélange gazeux (1) contenant notamment de

- l'hydrogène et des hydrocarbures, cette installation comprenant une succession de réacteurs ($R_1 \dots R_4$) pour faire réagir le mélange précité selon des réactions globalement endothermiques, à des températures comprises entre 350 et 900 °C environ, sous haute pression et en présence d'un catalyseur, ainsi qu'un four ($F_5 \dots F_8$) disposé en amont de chaque réacteur ($R_1 \dots R_4$) pour réchauffer le mélange gazeux avant son introduction dans ledit réacteur, caractérisée en ce que les fours ($F_5 \dots F_8$) sont constitués pour une enceinte (11 ... 14) comprenant une entrée (15a ... 18a) et une sortie (15b ... 18b) du mélange gazeux et une ou plusieurs résistances électriques de chauffage (19 ... 22) destinées à être placées en contact direct avec le mélange gazeux introduit dans cette enceinte, ces fours ($F_5 \dots F_8$) présentant une perte de charge nettement inférieure à celle des fours classiques alimentés en combustible d'origine fossile.
2. Installation pour la transformation chimique d'un mélange gazeux (1) contenant notamment de l'hydrogène et des hydrocarbures, cette installation comprenant une succession de réacteurs ($R_1 \dots R_4$) pour faire réagir le mélange précité selon des réactions globalement endothermiques à des températures comprises entre 350 et 900 °C environ, sous haute pression et en présence d'un catalyseur, ainsi qu'un four ($F_1 \dots F_4$) alimenté en combustible d'origine fossile disposé en amont de chaque réacteur ($R_1 \dots R_4$), pour réchauffer le mélange gazeux avant son introduction dans le réacteur, cette installation étant caractérisée en ce qu'elle comprend en parallèle avec chaque four ($F_1 \dots F_4$) alimenté en combustible d'origine fossile, un four ($F_5 \dots F_8$) constitué par une enceinte comprenant une entrée (15a ... 18a) et une sortie (15b ... 18b) du mélange gazeux et une ou plusieurs résistances électriques de chauffage (19 ... 22) destinées à être placées en contact direct avec le mélange gazeux introduit dans cette enceinte et des moyens ($V_1, V_2, \dots V_6, V_7, 23 \dots V_9, V_{10}, 27$) pour faire passer le mélange gazeux suivant les nécessités soit par les fours ($F_1 \dots F_4$) alimentés en combustible d'origine fossile, soit par les fours ($F_5 \dots F_8$) à résistance électrique, ces fours présentant une perte de charge nettement inférieure à celle des fours électriques ($F_1 \dots F_4$) alimentés en combustible d'origine fossile.
3. Installation conforme à la revendication 2, appliquée au reformage catalytique du naphta, comprenant des fours ($F_1 \dots F_4$) alimentés en combustible d'origine fossile disposés respectivement en amont de réacteurs ($R_1 \dots R_4$), des échangeurs thermiques (4) disposés en amont du premier four (F_1) et agencés pour réaliser un échange thermique entre le mélange gazeux (1) introduit dans ce premier four (F_1) et l'effluent gazeux (3) issu du dernier réacteur (R_4), caractérisée en ce qu'un ou plusieurs échangeurs thermiques (28) sont placés sur la dérivation (23) comprise entre la sortie (4a) des premiers échangeurs (4) et l'entrée (15a) du premier four électrique (F_5) et agencés pour réaliser un échange thermique complémentaire entre le mélange gazeux (1) introduit dans ce premier four électrique (F_5) et l'effluent gazeux (3) issu du dernier réacteur (R_4).
4. Installation conforme à la revendication 3, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens ($V_{11}, 29, V_{12}, V_{13}, 30$) pour faire passer l'effluent gazeux (3) issu du dernier des réacteurs (R_4) soit dans des échangeurs thermiques supplémentaires (28) lorsque l'ensemble ou une partie des fours électriques ($F_5 \dots F_8$) sont mis en service, soit directement et seulement dans le premier échangeur (4) lorsque l'ensemble des fours ($F_1 \dots F_4$) alimentés en combustible d'origine fossile est en service.
5. Installation conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que la perte de charge occasionnée par les fours électriques ($F_5 \dots F_8$) est 5 à 15 fois inférieure à celle des fours alimentés en combustible d'origine fossile.
6. Installation conforme à l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisée en ce que la perte de charge occasionnée par le ou les échangeurs supplémentaires (28) peut atteindre une valeur équivalente au gain de perte réalisé lors de la mise en service d'une partie ou de l'ensemble des fours électriques ($F_5 \dots F_8$).
7. Installation conforme à l'une quelconque des revendications 3 à 6, caractérisée en ce que la puissance du premier four électrique (F_5) est inférieure de plus de 20 % à celle communiquée au fluide procédé dans le cas du premier four (F_1) alimenté en combustible d'origine fossile.

50 Claims

1. An installation for chemical conversion of a gas mixture (1) containing in particular hydrogen and hydrocarbons, said installation comprising a series of reactors ($R_1 \dots R_4$) in which the aforementioned gas mixture will react undergoing on the whole endothermic reactions at temperatures approximately within the range of 350 °C to 900 °C under high pressure and in the presence of a catalyst, and a furnace ($F_5 \dots F_8$) placed upstream of each reactor ($R_1 \dots R_4$) in order to reheat the gas mixture prior to introduction into said reactor, characterised in that the furnaces ($F_5 \dots F_8$) are constituted by an enclosure (11, ... 14) having an inlet (15a ... 18a) and an outlet (15b ... 18b) for the gas mixture and one or a number of electric heating resistors (19 ... 22) which are intended to be placed in direct contact with the gas mixture as it is introduced into said enclosure, the pressure drop exhibited by said furnaces ($F_5 \dots F_8$) being distinctly smaller than that of conventional furnaces supplied with fossil fuel.
2. An installation for chemical conversion of a gas mixture (1) containing in particular hydrogen and hydro-carbons, said installation comprising a series of reactors ($R_1 \dots R_4$) in which the aforementioned gas mixture will react undergoing on the whole endothermic reactions at temperatures approximately within the range of 350 °C to 900 °C und high pressure and in the presence of a catalyst, and a furnace

- (F₁ ... F₄) supplied with fossil fuel and placed upstream of each reactor (R₁ ... R₄) for reheating the gas mixture prior to introduction into the reactor, said installation being characterised in that it comprises in parallel with each furnace (F₁ ... F₄) supplied with fossil fuel an electric furnace (F₅ ... F₈) constituted by an enclosure provided with an inlet (15a ... 18a) and an outlet (15b ... 18b) for the gas mixture and with one or a number of electric heating resistors (19 ... 22) which are intended to be placed in direct contact with the gas mixture as it is introduced into said enclosure, and means (V₁, V₂, ... V₆, V₇, 23, ... V₉, V₁₀, 27) for circulating the gas mixture according to requirements either through the furnaces (F₁ ... F₄) supplied with fossil fuel or through the electric resistor furnaces (F₅ ... F₈), the pressure drop exhibited by said electric furnaces being distinctly smaller than that of the conventional furnaces (F₁ ... F₄) supplied with fossil fuel.
3. An installation according to claim 2 as applicable to catalytic reforming of naphtha, comprising furnaces (F₁ ... F₄) supplied with fossil fuel and placed respectively upstream of reactors (R₁ ... R₄), heat exchangers (4) placed upstream of the first furnace (F₁) and adapted to carry out a heat transfer between the gas mixture (1) introduced into said first furnace (F₁) and the gaseous effluent (3) discharged from the last reactor (R₄), characterised in that one or a number of heat exchangers (28) are placed on the bypass line (23) located between the outlet (4a) of the first heat exchangers (4) and the inlet (15a) of the first electric furnace (F₅), said heat exchangers being adapted to carry out a complementary heat transfer between the gas mixture (1) which is introduced into said first electric furnace (F₅) and the gaseous effluent (3) which is discharged from the last reactor (R₄).
4. An installation according to claim 3, characterised in that said installation comprises means (V₁₁, 29, V₁₂, V₁₃, 30) for passing the gaseous effluent (3) discharged from the last reactor (R₄) either into the supplementary heat exchangers (28) when all or part of the electric furnaces (F₅ ... F₈) are put into service, or directly and only into the first heat exchanger (4) when the furnaces (F₁ ... F₄) supplied with fossil fuel are all in service.
5. An installation according to any claim 1 to 4, characterised in that the pressure drop produced by the electric furnaces (F₅ ... F₈) is five to fifteen times smaller than that of the furnaces which are supplied with fossil fuel.
6. An installation according to any claim 2 to 5, characterised in that the pressure drop produced by the supplementary heat exchanger(s) (28) can attain a value equivalent to the gain in pressure drop achieved at the time of putting into service all or part of the electric furnaces (F₅ ... F₈).
7. An installation according to any claim 3 to 6, characterised in that the power of the first electric furnace (F₅) is smaller by more than 20 % with respect to the power imparted to the process fluid in the case of the first furnace (F₁) which is supplied with fossil fuel.

35 Patentansprüche

1. Anlage zur chemischen Umsetzung eines gasförmigen Gemisches (1), welches insbesondere Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe enthält, wobei diese Anlage eine Aufeinanderfolge von Reaktoren (R₁, ... R₄) enthält, um das genannte Gemisch durch global endothermische Reaktionen bei hohen Temperaturen zwischen etwa 350 und 900 °C unter hohem Druck und in Anwesenheit eines Katalysators reagieren zu lassen, und einen Ofen (F₅ ... F₈) enthält, der strömungsaufwärts von jedem Reaktor (R₁ ... R₄) angeordnet ist, um das gasförmige Gemisch vor seiner Einleitung in den genannten Reaktor zu erhitzen, dadurch gekennzeichnet, daß die Ofen (F₅ ... F₈) gebildet sind aus einer Kammer (11 ... 14), die einen Einlaß (15a ... 18a) und einen Auslaß (15b ... 18b) für das gasförmige Gemisch aufweist, und aus einem oder mehreren elektrischen Heizwiderständen (19 ... 22), die dazu bestimmt sind, in direkte Berührung mit dem in diese Kammer eingeleiteten gasförmigen Gemisch zu gelangen, wobei diese Ofen (F₅ ... F₈) einen Druckverlust aufweisen, der erheblich kleiner ist als der von herkömmlichen Ofen, die mit Brennstoffen fossilen Ursprungs beschickt werden.
2. Anlage zur chemischen Umsetzung eines gasförmigen Gemisches (1), das insbesondere Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe enthält, wobei diese Anlage eine Aufeinanderfolge von Reaktoren (R₁ ... R₄) umfaßt, um das genannte Gemisch durch global endothermische Reaktionen bei Temperaturen zwischen etwa 350 und 900 °C unter hohem Druck und in Anwesenheit eines Katalysators reagieren zu lassen, und einen Ofen (F₁ ... F₄) umfaßt, der mit Brennstoff fossilen Ursprungs beschickt wird und strömungsaufwärts von jedem Reaktor (R₁ ... R₄) angeordnet ist, um das gasförmige Gemisch vor seiner Einführung in den Reaktor zu erhitzen, wobei diese Anlage dadurch gekennzeichnet ist, daß sie parallel mit jedem Ofen (F₁ ... F₄), der mit Brennstoff fossilen Ursprungs beschickt wird, einen Ofen (F₅ ... F₈) umfaßt, der aus einer Kammer mit einem Einlaß (15a ... 18a) und einem Auslaß (15b ... 18b) für das gasförmige Gemisch und einem oder mehreren elektrischen Heizwiderständen (19 ... 22) gebildet ist, die dazu bestimmt sind, in direkte Berührung mit dem in diese Kammer eingeleiteten gasförmigen Gemisch gebracht zu werden, sowie Mittel (V₁, V₂, ... V₆, V₇, 23 ... V₉, V₁₀, 27) umfaßt, um das gasförmige Gemisch je nach den Erfordernissen entweder durch die mit Brennstoff fossilen Ursprungs beschickten Ofen (F₁ ... F₄) oder durch die mit elektrischen Widerständen versehenen Ofen (F₅ ... F₈) zu leiten, wobei diese Ofen einen Druckverlust aufweisen, der beträchtlich kleiner als der von herkömmlichen Ofen (F₁ ... F₄) ist, die mit Brennstoff fossilen Ursprungs beschickt werden.
3. Anlage nach Anspruch 2, angewendet auf die katalytische Reformierung des Naphta, mit Ofen (F₁

... F₄), die mit Brennstoff fossilen Ursprungs beschickt werden und jeweils strömungsaufwärts von Reaktoren (R₁ ... R₄) angeordnet sind, Wärmetauschern (4), die strömungsaufwärts von dem ersten Ofen (F₁) angeordnet und zum Wärmeaustausch zwischen dem in diesen ersten Ofen (F₁) eingeleiteten gasförmigen Gemisch (1) und dem von dem letzten Reaktor (R₄) abgegebenen gasförmigen ausströmenden Medium (3) ausgelegt sind, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere Wärmetauscher (28) in der Abzweigung (23) angeordnet sind, welche zwischen dem Auslaß (4a) der ersten Wärmetauscher (4) und dem Einlaß (15a) des ersten elektrischen Ofens (F₅) enthalten ist, und zur Durchführung eines komplementären Wärmeaustauschs zwischen dem in diesen ersten elektrischen Ofen (F₅) eingeleiteten gasförmigen Gemisch (1) und dem von dem letzten Reaktor (R₄) abgegebenen gasförmigen ausströmenden Medium (3) ausgelegt sind.

4. Anlage nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß sie Mittel (V₁₁, 29, V₁₂, V₁₃, 30) umfaßt, um das von dem letzten Reaktor (R₄) abgegebene gasförmige Medium (3) entweder in die zusätzlichen Wärmetauscher (28) zu leiten, wenn alle elektrischen Ofen (F₅ ... F₈) oder ein Teil von ihnen in Betrieb gesetzt sind, oder direkt und nur in den ersten Wärmetauscher (4) zu leiten, wenn sämtliche Ofen (F₁ ... F₄) in Betrieb sind, die mit Brennstoff fossilen Ursprungs beschickt werden.

5. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der durch die elektrischen Ofen (F₅ ... F₈) verursachte Druckverlust 5 bis 15 mal kleiner als derjenige ist, welcher durch die mit Brennstoff fossilen Ursprungs beschickten Ofen verursacht wird.

6. Anlage nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckverlust, der durch den oder die zusätzlichen Wärmetauscher (28) verursacht wird, einen Wert erreichen kann, der äquivalent dem vermiedenen Druckverlust ist, wenn ein Teil der elektrischen Ofen (F₅ ... F₈) oder alle von ihnen in Betrieb genommen sind.

7. Anlage nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistung des ersten elektrischen Ofens (F₅) um mehr als 20 % geringer als diejenige ist, die an das Prozess Fluid im Falle des ersten Ofens (F₁) abgegeben wird, der mit Brennstoff fossilen Ursprungs beschickt wird.

30

35

40

45

50

55

60

65

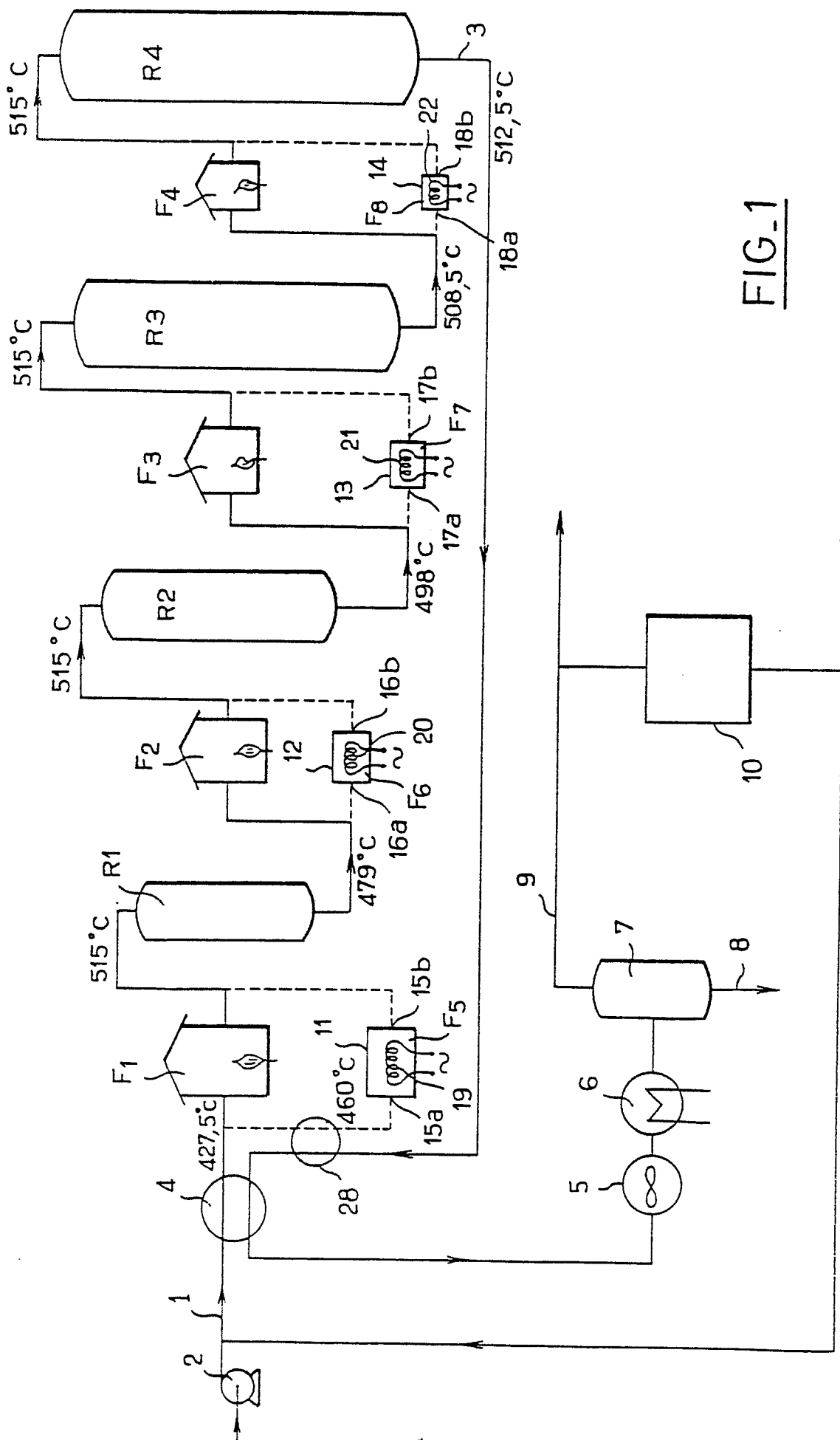


FIG. 1

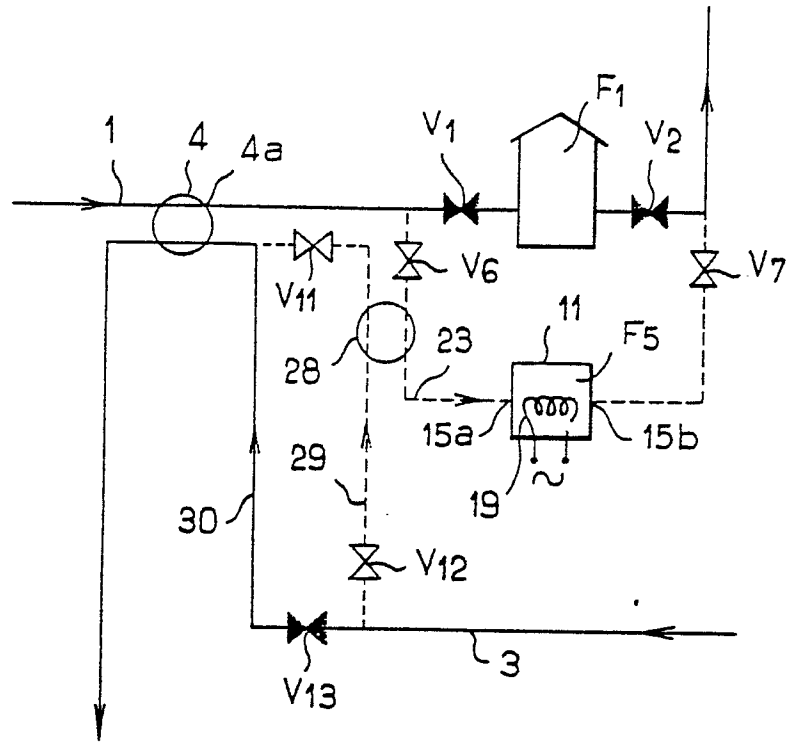


FIG. 2

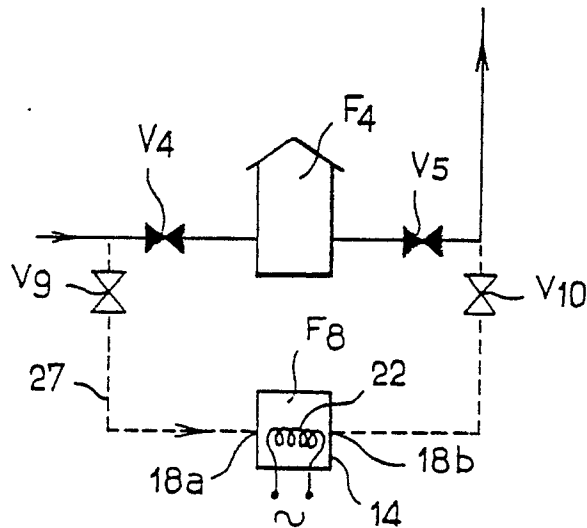


FIG. 3