



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0031238

(51)⁸ F01K 23/10; F02C 6/02; F02C 3/34;
F01K 25/10; F02C 1/00

(13) B

(21) 1-2018-01345

(22) 31/08/2016

(86) PCT/US2016/049667 31/08/2016

(87) WO 2017/040635 09/03/2017

(30) 62/212,749 01/09/2015 US

(45) 25/02/2022 407

(43) 27/08/2018 365A

(73) 8 RIVERS CAPITAL, LLC (US)

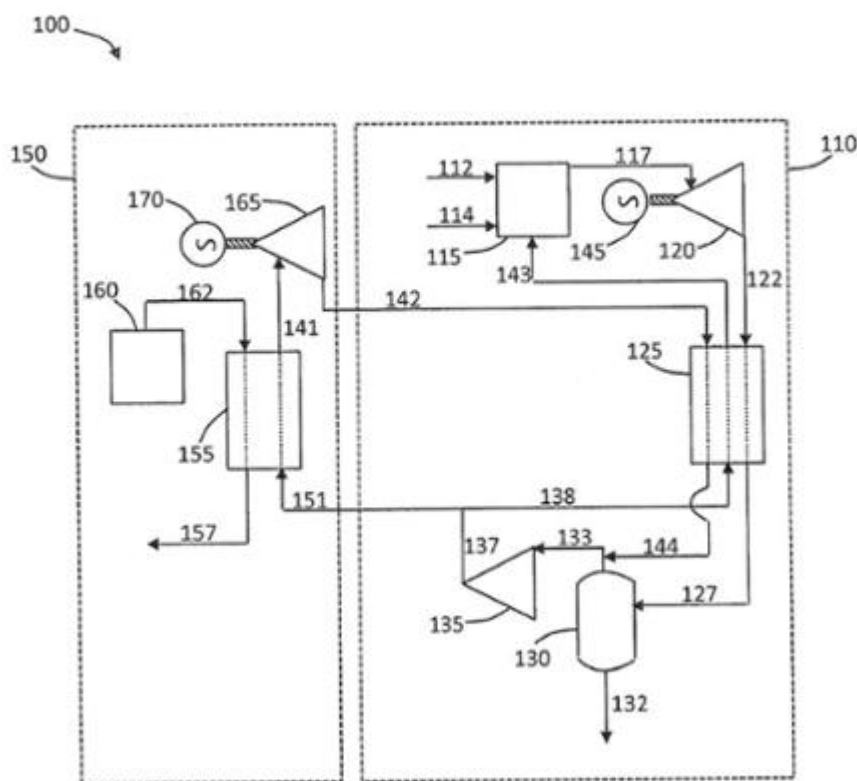
406 Blackwell Street, Durham, North Carolina 27701, United States of America

(72) Rodney John ALLAM (GB); Brock Alan FORREST (US).

(74) Công ty cổ phần tư vấn Trung Thực (TRUNG THUC.,JSC)

(54) HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP PHÁT ĐIỆN BẰNG CÁCH SỬ DỤNG CÁC CHU TRÌNH CO₂ LỒNG GHÉP

(57) Sáng chế đề cập tới hệ thống và phương pháp phát điện. Cụ thể hơn, sáng chế đề cập đến chu trình phát điện sử dụng CO₂ làm chất lưu công tác có thể được kết hợp với chu trình thứ hai trong đó dòng CO₂ đã nén từ chu trình phát điện có thể được làm nóng và được giãn nở để tạo ra năng lượng bổ sung và để tạo ra nhiệt bổ sung cho chu trình phát điện.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến hệ thống và phương pháp phát điện trong đó chu trình phát điện sử dụng chất lưu tuần hoàn CO₂ có thể được nâng cao hiệu quả. Cụ thể là, dòng CO₂ đã nén từ chu trình phát điện có thể được làm nóng bằng nguồn nhiệt độc lập và được giãn nở để tạo ra năng lượng bổ sung và để tạo ra nhiệt bổ sung cho chu trình phát điện.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Chu trình phát điện thường gặp nhất hiện đang hoạt động bằng cách sử dụng nhiên liệu khí tự nhiên là tuabin khí (GT Gas Turbine) kết hợp với máy phát dùng hơi thu hồi nhiệt (HRSG Heat Recovery Steam Generator). Hệ thống này có thể được gọi là chu trình kết hợp đốt khí tự nhiên (NGCC Natural Gas Fired Combined Cycle) trong đó hệ thống phát điện theo chu trình hơi Rankine cao cấp (HRSG bổ sung các tuabin hơi) sử dụng nhiệt xả tuabin nóng để tạo ra hơi nhằm phát điện tiếp. Cụm NGCC thường được hiểu là phương pháp phát điện hiệu quả chủ yếu sử dụng nhiên liệu khí tự nhiên. Trong quá trình sử dụng cụm NGCC, tất cả CO₂, hơi nước, và các oxit nitơ (NO_x) có nguồn gốc từ việc đốt đều được thoát vào khí quyển.

Việc sử dụng CO₂ (cụ thể là ở dạng siêu tới hạn) là chất lưu công tác trong việc phát điện đã được thể hiện là phương pháp phát điện có hiệu quả cao. Xem, ví dụ, bằng sáng chế Mỹ số 8.596.075 cấp cho Allam và các đồng tác giả, nội dung của nó được đưa vào đây bằng cách viện dẫn, tài liệu này mô tả việc sử dụng chất lưu công tác CO₂ được làm nóng một cách trực tiếp trong hệ thống phát điện theo chu trình Brayton mà oxy-nhiên liệu được thu hồi không có dòng xả hữu hình bất kỳ vào khí quyển. CO₂ đã được dự tính trước rằng có thể được sử dụng như chất lưu công tác trong chu trình kín trong đó CO₂ được nén lặp đi lặp lại và được giãn nở để phát điện với bước làm nóng trung gian bằng cách sử dụng nguồn nhiệt gián tiếp và một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt. Xem, ví dụ, bằng sáng chế Mỹ số 8.783.034 cấp cho Held.

Các biện pháp đã được theo đuổi để tăng hiệu quả trong các phương pháp phát điện. Ví dụ, việc tối ưu hóa bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi đã được theo đuổi, như qua việc nén khí nóng hoặc qua các nguồn nhiệt bên ngoài. Việc tối ưu hóa của các chu trình CO₂

thường tập trung vào tối đa hóa công suất đầu ra của tuabin. Bất chấp các nỗ lực này, trong lĩnh vực kỹ thuật này vẫn có nhu cầu đối với hệ thống và phương pháp phát điện có hiệu quả và công suất đầu ra được nâng cao trong khi hạn chế hoặc gần như tránh được việc xả các dòng bất kỳ (ví dụ, CO₂, NO_x, và các sản phẩm liên quan đến việc đốt khác) vào khí quyển.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Sáng chế đề xuất hệ thống và phương pháp phát điện trong đó hiệu quả của chu trình phát điện sử dụng CO₂ làm dòng công tác có thể được tăng đến mức lớn nhất trong khi đồng thời tăng khả năng phát điện mà không cần các thay đổi đáng kể đối với thiết bị sử dụng trong chu trình phát điện. Việc nâng cao hiệu quả có thể đạt được bằng cách cấp nhiệt bổ sung cho dòng chất lưu công tác vượt quá nhiệt mà có thể được thu hồi qua trao đổi nhiệt bên trong, nhiệt bổ sung đang được cung cấp bởi nguồn nhiệt bên ngoài mà độc lập với chu trình phát điện. Cụ thể là, nguồn nhiệt độc lập có thể được sử dụng để làm nóng ít nhất một phần của dòng CO₂ tái tuần hoàn áp suất cao từ chu trình phát điện, và dòng được làm nóng kiểu này có thể được nạp lại vào chu trình phát điện theo nhiều cách để có được nhiệt bổ sung của dòng công tác CO₂ tái tuần hoàn. Theo cách có lợi, dòng CO₂ được làm nóng kiểu này có thể được giãn nở để tạo ra năng lượng bổ sung và để điều chỉnh dòng CO₂ được làm nóng kiểu này nhằm nạp lại Chu trình phát điện sơ cấp ở áp suất mà tránh được yêu cầu về thiết bị bổ sung.

Do đó, theo một số phương án, sáng chế đề xuất phương pháp phát điện bao gồm: chu trình phát điện thứ nhất trong đó dòng CO₂ tái tuần hoàn được cho nén, làm nóng, đốt, giãn nở lặp đi lặp lại để phát điện, và làm nguội; và chu trình phát điện thứ hai trong đó CO₂ được nén từ chu trình phát điện thứ nhất được làm nóng bằng nguồn nhiệt mà độc lập với chu trình phát điện thứ nhất, được giãn nở để phát điện, và tái kết hợp với dòng CO₂ tái tuần hoàn trong chu trình phát điện thứ nhất. Cụ thể là, việc làm nóng được thực hiện trong chu trình phát điện thứ nhất trước khi đốt có thể bao gồm bước tiếp nhận nhiệt được cung cấp cho CO₂ tái tuần hoàn đã nén trong chu trình phát điện thứ hai. Ví dụ, bước làm nóng trong chu trình phát điện thứ nhất có thể bao gồm bước cho dòng CO₂ tái tuần hoàn đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi ngược với dòng xả tuabin nguội, và dòng CO₂ đã nén được làm nóng trong chu trình phát điện thứ hai có thể được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi (hoặc đoạn hoặc bộ phận cụ thể của bộ trao đổi nhiệt này)

để truyền nhiệt bổ sung vào dòng CO_2 tái tuần hoàn trong chu trình phát điện thứ nhất. Theo ví dụ không hạn chế khác, chu trình phát điện thứ nhất có thể có bộ trao đổi nhiệt thứ cấp, và dòng CO_2 đã nén được làm nóng trong chu trình phát điện thứ hai có thể được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ cấp ngược với phần của dòng CO_2 tái tuần hoàn trong chu trình phát điện thứ nhất, mà sau đó phần này được tái kết hợp với dòng CO_2 tái tuần hoàn còn lại trước, trong khi, hoặc sau khi đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi.

Nguồn nhiệt trong chu trình phát điện thứ hai có thể bao gồm cơ cấu bất kỳ hoặc tổ hợp các cơ cấu được tạo kết cấu để truyền nhiệt đến dòng mà đủ để làm nóng dòng CO_2 đã nén như nêu trong bản mô tả này sao cho dòng CO_2 đã nén có được nhiệt lượng và chất lượng mong muốn. Theo các ví dụ không hạn chế khác, nguồn nhiệt trong chu trình phát điện thứ hai có thể là một hoặc nhiều nguồn trong số nguồn nhiệt từ việc đốt, nguồn nhiệt từ mặt trời, nguồn nhiệt từ hạt nhân, nguồn nhiệt từ địa nhiệt, và nguồn nhiệt thải công nghiệp. Nguồn nhiệt có thể có bộ trao đổi nhiệt, bơm nhiệt, cơ cấu phát điện, và tổ hợp các bộ phận bất kỳ khác (ví dụ, hệ đường ống và các bộ phận tương tự) thích hợp để tạo ra, cung cấp hoặc phân phối nhiệt cần thiết.

Theo phương án làm ví dụ khác, sáng chế đề xuất phương pháp phát điện có thể bao gồm bước thực hiện chu trình thứ nhất mà bao gồm: giãn nở dòng công tác bao gồm CO_2 tái tuần hoàn ngang qua tuabin thứ nhất để tạo ra lượng điện thứ nhất; rút nhiệt từ dòng công tác trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi; nén dòng công tác; làm nóng lại dòng công tác bằng cách sử dụng nhiệt đã rút trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi; và làm quá nhiệt dòng công tác đã nén trong buồng đốt. Phương pháp còn có thể bao gồm bước thực hiện chu trình lồng ghép trong đó dòng công tác được nén từ chu trình thứ nhất được làm nóng bằng nguồn nhiệt mà độc lập với buồng đốt và bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi và được giãn nở ngang qua tuabin thứ hai để tạo ra lượng điện thứ hai. Cụ thể là, dòng công tác được giãn nở từ chu trình lồng ghép có thể được sử dụng để bổ sung nhiệt vào dòng công tác trong chu trình thứ nhất sau bước nén và trước bước làm quá nhiệt.

Theo các phương án khác, sáng chế có thể đề xuất phương pháp nâng cao hiệu quả của chu trình phát điện. Theo ví dụ không hạn chế, phương pháp này có thể bao gồm bước vận hành chu trình phát điện sao cho CO_2 tái tuần hoàn, đã nén được đưa qua buồng đốt trong đó nhiên liệu chứa cacbon được đốt với chất oxy hóa để tạo ra dòng xả bao gồm CO_2 tái tuần hoàn; dòng xả được giãn nở ngang qua tuabin để phát điện và tạo ra dòng xả tuabin bao gồm CO_2 tái tuần hoàn; dòng xả tuabin được làm nguội trong bộ trao đổi nhiệt

kiểu thu hồi; dòng xả tuabin đã nguội được đưa qua thiết bị tách để tách CO₂ tái tuần hoàn; CO₂ tái tuần hoàn được nén; và CO₂ tái tuần hoàn đã nén được làm nóng nhờ đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi ngược với dòng xả tuabin. Phương pháp này còn có thể bao gồm bổ sung tiếp nhiệt vào CO₂ tái tuần hoàn đã nén cao hơn mức độ làm nóng mà có sẵn từ dòng xả tuabin, nhiệt bổ sung được cung cấp bằng cách rút một phần CO₂ tái tuần hoàn đã nén, làm nóng phần rút được của CO₂ tái tuần hoàn đã nén bằng nguồn nhiệt mà độc lập với chu trình phát điện, và truyền nhiệt từ CO₂ tái tuần hoàn đã nén, được làm nóng và được rút vào phần còn lại của CO₂ tái tuần hoàn đã nén trong chu trình phát điện. Cụ thể hơn, phương pháp này có thể bao gồm cho CO₂ tái tuần hoàn đã nén, được làm nóng và được rút đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi để truyền nhiệt đến CO₂ tái tuần hoàn đã nén trong bộ trao đổi nhiệt này. Theo cách khác, hoặc bổ sung cho cách nêu trên, phương pháp này có thể bao gồm cho CO₂ tái tuần hoàn đã nén, được làm nóng và được rút đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ cấp để làm nóng dòng nhánh CO₂ tái tuần hoàn mà sau đó được kết hợp với phần còn lại của CO₂ tái tuần hoàn đã nén trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi. Theo một số phương án, phương pháp này có thể bao gồm bước giãn nở CO₂ tái tuần hoàn đã nén, được làm nóng và được rút ngang qua tuabin thứ hai để phát điện.

Theo một hoặc nhiều phương án, phương pháp phát điện có thể bao gồm: bước vận hành chu trình phát điện thứ nhất trong đó dòng công tác CO₂ được cho giãn nở lặp đi lặp lại để phát điện, làm nguội, nén, làm nóng, và đốt; và vận hành chu trình phát điện thứ hai trong đó ít nhất một phần của dòng công tác CO₂ được nén từ chu trình phát điện thứ nhất được làm nóng bằng nguồn nhiệt mà độc lập với chu trình phát điện thứ nhất, được giãn nở để phát điện, và tái kết hợp với dòng công tác CO₂ trong chu trình phát điện thứ nhất. Cụ thể là, phương pháp này phát điện có thể được khác biệt ở chỗ một hoặc nhiều bước bất kỳ trong số các bước sau đây có thể áp dụng: giãn nở để phát điện bao gồm bước giãn nở dòng công tác CO₂ ngang qua tuabin thứ nhất để tạo ra lượng điện thứ nhất; làm nguội bao gồm rút nhiệt từ dòng công tác CO₂ trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi; nén bao gồm bước nén dòng công tác CO₂ bằng ít nhất một máy nén; làm nóng bao gồm bước làm nóng dòng công tác CO₂ bằng cách sử dụng nhiệt đã rút trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi; đốt bao gồm làm quá nhiệt dòng công tác CO₂ được nén trong buồng đốt.

Ngoài các dấu hiệu nêu trên, phương pháp phát điện có thể được xác định ở chỗ một hoặc nhiều bước bất kỳ trong số các bước sau đây có thể áp dụng: làm nóng trong chu trình phát điện thứ nhất bao gồm bước tiếp nhận nhiệt được cấp cho dòng công tác CO_2 trong chu trình phát điện thứ hai; nguồn nhiệt trong chu trình phát điện thứ hai là một hoặc nhiều nguồn trong số nguồn nhiệt từ việc đốt, nguồn nhiệt từ mặt trời, nguồn nhiệt từ hạt nhân, nguồn nhiệt từ địa nhiệt, và nguồn nhiệt thải công nghiệp; dòng công tác được giãn nở từ chu trình phát điện thứ hai được sử dụng để bổ sung nhiệt vào dòng công tác CO_2 trong chu trình phát điện thứ nhất sau khi nén và trước khi đốt.

Hơn thế nữa, việc phát điện có thể được xác định ở chỗ dòng công tác CO_2 từ chu trình phát điện thứ hai mà được tái kết hợp với dòng công tác CO_2 trong chu trình phát điện thứ nhất là một hoặc nhiều bước trong số: nạp sau bước làm nguội và trước bước nén trong chu trình phát điện thứ nhất; nạp sau bước nén và trước bước làm nóng; nạp trong bước làm nóng trong chu trình phát điện thứ nhất.

Trong các phương án tiếp theo, sáng chế còn đề xuất hệ thống phát điện. Theo các phương án cụ thể, hệ thống phát điện có thể bao gồm: máy nén được tạo kết cấu để nén dòng CO_2 đến áp suất thấp nhất là 100 bar (10MPa); buồng đốt nằm sau so với máy nén; tuabin thứ nhất nằm sau so với buồng đốt và nằm trước so với máy nén; bộ trao đổi nhiệt thứ nhất được định vị để tiếp nhận dòng ra khỏi máy nén và để tiếp nhận dòng tách ra khỏi tuabin và được tạo kết cấu để truyền nhiệt giữa các dòng này tuabin thứ hai nằm sau so với máy nén; và bộ trao đổi nhiệt thứ hai được định vị để tiếp nhận dòng ra khỏi máy nén và để tiếp nhận dòng tách từ nguồn nhiệt.

Theo một số phương án, nguồn nhiệt bên ngoài (như từ tuabin khí) có thể được tích hợp với hệ thống điện sử dụng CO_2 làm chất lưu công tác. Theo một số phương án, dòng có nguồn gốc từ nguồn nhiệt bên ngoài (ví dụ, dòng xả từ tuabin khí) có thể được làm nguội ngược với bước làm nóng dòng CO_2 tái tuần hoàn áp suất cao. Theo tùy ý, dòng có nguồn gốc từ nguồn nhiệt bên ngoài có thể được làm nóng tiếp thông qua việc đốt nhiên liệu chứa cacbon. Theo một số phương án, dòng CO_2 tái tuần hoàn áp suất cao được làm nóng bằng nguồn nhiệt bên ngoài có thể được giãn nở trong tuabin phát điện. Dòng xả ra khỏi tuabin có thể được tạo kết cấu để tương ứng với áp suất nạp, áp suất trung gian hoặc áp suất xả của máy nén tái tuần hoàn CO_2 trong chu trình phát điện độc lập (như chu trình Allam được mô tả trong ví dụ thực hiện sáng chế) trong khi nhiệt độ nạp tuabin có thể tương ứng với áp suất xả của bơm CO_2 trong chu trình phát điện độc

lập. Theo một số phương án, dòng CO₂ tái tuần hoàn áp suất cao được làm nóng bởi nguồn nhiệt bên ngoài có thể được làm nóng đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ 400°C đến 1500°C, tốt hơn là nằm trong khoảng từ 700°C đến 1300°C. Việc cấp nhiệt ở vùng nhiệt độ này có thể đặc biệt có lợi để đạt được các cải thiện được mô tả trong bản mô tả này.

Theo các phương án khác, dòng xả tuabin phụ ở nhiệt độ cao có thể được sử dụng để cấp nhiệt bổ sung cần để làm nóng CO₂ trong vùng nhiệt độ từ nhiệt độ môi trường xung quanh lên đến 500°C do nhiệt dung riêng cao hơn nhiều của CO₂ trong vùng áp suất nằm trong khoảng từ 200 bar (20MPa) đến 400 bar (40MPa) so với nhiệt dung riêng cao hơn 500°C. Việc bổ sung nhiệt này ở vùng nhiệt độ thấp hơn có thể được thể hiện một cách cụ thể từ bước làm nóng cấp cho dòng CO₂ tái tuần hoàn áp suất cao, như được mô tả ở phần khác trong bản mô tả này. Mặc dù việc bổ sung nhiệt trong vùng nhiệt độ thấp hơn có thể là hữu ích trong việc nâng cao hiệu quả của chu trình đốt, song việc bổ sung nhiệt trong vùng nhiệt độ thấp hơn không nhất thiết phải kết hợp với bước làm nóng bổ sung trong vùng nhiệt độ lớn hơn. Nếu muốn, có thể có lợi nếu việc làm nóng bổ sung của các dòng CO₂ tái tuần hoàn áp suất cao trong vùng nhiệt độ thấp hơn 250°C bằng cách sử dụng nhiệt có nguồn gốc từ máy nén không khí chính kiểu đoạn nhiệt của thiết bị tách không khí ở nhiệt độ thấp, thiết bị này cung cấp oxy cần cho hệ thống.

Theo một số phương án, sáng chế đề xuất hệ thống và phương pháp là có lợi do đem lại khả năng kết hợp các hệ thống sao cho một hoặc nhiều bộ phận của thiết bị có thể được dùng chung. Sự kết hợp có thể tạo ra các lợi ích gấp bội, kể cả tạo ra sự phát năng lượng tăng lên và giảm chi phí đầu tư để tăng công suất theo Kw. Hơn nữa, các kết hợp không nhất thiết giới hạn ở các vùng nhiệt độ vận hành chồng lấn nhất định. Thực vậy, hệ thống vận hành ở vùng nhiệt độ bất kỳ có thể được kết hợp theo cách có lợi với chu trình phát điện sử dụng CO₂ làm dòng công tác (như được mô tả chung trong bản mô tả này) và đạt được các cải thiện mong muốn.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Do đó, sáng chế đã được mô tả theo các thuật ngữ chung nêu trên có dựa vào các hình vẽ kèm theo, các hình vẽ này không nhất thiết theo đúng tỷ lệ, và trong đó:

FIG.1 là hình vẽ lưu đồ thể hiện hệ thống và phương pháp phát điện làm ví dụ theo một phương án sáng chế; và

FIG.2 là hình vẽ lưu đồ thể hiện hệ thống và phương pháp phát điện kết hợp tuabin khí và chu trình CO₂ theo phương án làm ví dụ của sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Dưới đây, sáng chế sẽ được mô tả đầy đủ hơn có dựa vào các phương án làm ví dụ của nó. Các phương án làm ví dụ này được mô tả sao cho phần mô tả này sẽ xuyên suốt và hoàn thiện, và sẽ truyền tải đầy đủ phạm vi bảo hộ của các đối tượng của sáng chế đến những người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này. Thực vậy, đối tượng của sáng chế có thể được thực hiện dưới nhiều dạng và sẽ bị coi như bị giới hạn ở các phương án nêu trong bản mô tả này; thực ra, các phương án này được thực hiện sao cho bản mô tả này sẽ thỏa mãn các yêu cầu về mặt luật pháp. Khi được sử dụng trong bản mô tả, và trong các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo, các quán từ số ít “một”, “một chiếc”, “một cái”, bao gồm các tham chiếu số nhiều trừ khi ngữ cảnh thể hiện rõ theo cách khác.

Sáng chế đề xuất hệ thống và phương pháp trong đó chu trình phát điện thứ nhất sử dụng CO₂ làm dòng công tác có thể được kết hợp với hoặc lồng ghép với chu trình phát điện thứ hai trong đó ít nhất một phần của cùng dòng công tác CO₂ có thể được cho xử lý thêm nhằm dẫn đến việc phát điện và/hoặc sinh nhiệt bổ sung. Các hệ thống và các phương pháp này có thể đạt được các hiệu quả cao. Cụ thể là, việc trao đổi nhiệt kiểu thu hồi trong chu trình phát điện thứ nhất có thể được cải thiện trong khi đồng thời có thể đạt được việc phát điện bổ sung. Bước xử lý thêm trong chu trình phát điện thứ hai có thể bao gồm bước làm nóng bằng nguồn nhiệt mà độc lập với bước làm nóng bất kỳ sử dụng trong chu trình phát điện thứ nhất. Việc kết hợp giữa chu trình phát điện thứ hai và chu trình phát điện thứ nhất có thể có lợi ít nhất một phần do khả năng chồng lấn các chu trình sao cho một hoặc nhiều bộ phận máy móc có thể được sử dụng trong cả hai chu trình. Ví dụ, máy nén sử dụng trong chu trình phát điện thứ nhất cũng có thể được sử dụng làm máy nén trong chu trình phát điện thứ hai. Do đó, giải pháp do sáng chế đề xuất có thể được đặc trưng ở sự kết hợp ít nhất một dòng CO₂ được làm nóng một cách trực tiếp và ít nhất một dòng CO₂ được làm nóng một cách gián tiếp mà sử dụng thiết bị tuabin chia xẻ để ít nhất là tạo ra công suất đầu ra tăng trong khi đồng thời tiến hành tối ưu hóa của bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi. Theo một số phương án, dòng CO₂ được làm nóng một cách gián tiếp có thể bao gồm ít nhất một phần của CO₂ từ dòng được làm nóng một cách trực tiếp. Do đó, một dòng CO₂ tái tuần hoàn có thể được cho nén để tạo

ra dòng có áp suất cao như xác định trong bản mô tả này, chia thành dòng mà được làm nóng một cách gián tiếp và dòng mà được làm nóng một cách trực tiếp, và được tái kết hợp sau các bước làm nóng tương ứng. Theo cách khác, một dòng CO₂ tái tuần hoàn có thể được cho nén để tạo ra dòng có áp suất cao, phần của dòng CO₂ tái tuần hoàn áp suất cao có thể được làm nóng một cách gián tiếp để tạo ra dòng CO₂ được làm nóng một cách gián tiếp, và dòng CO₂ được làm nóng một cách gián tiếp có thể được kết hợp với dòng CO₂ tái tuần hoàn còn lại để tạo ra tổng dòng CO₂ tái tuần hoàn mà được cho làm nóng trực tiếp.

Theo một số phương án, dòng có áp suất cao từ chu trình phát điện thứ nhất (ví dụ, dòng CO₂ tái tuần hoàn áp suất cao) có thể được làm nóng nhờ nguồn nhiệt độc lập trong chu trình phát điện thứ hai. Sau đó, dòng được làm nóng có thể được cấp đến bộ giãn nở được làm thích ứng để phát điện. Dòng được giãn nở sau đó có thể được đưa trở lại chu trình phát điện thứ nhất theo nhiều cách mà có thể truyền nhiệt theo cách có ích đến chu trình phát điện thứ nhất vượt quá bước làm nóng mà có sẵn thông qua sự thu hồi nhiệt từ dòng xả tuabin đã là nguội. Áp suất xả từ bộ giãn nở trong chu trình phát điện thứ hai có thể được làm thích ứng sao cho dòng được giãn nở có thể được đưa vào chu trình phát điện thứ nhất ở áp suất thích hợp đối với điểm đưa nhiệt vào. Nhiệt cấp cho chu trình phát điện thứ nhất theo cách này có thể được bổ sung theo nhiều cách. Ví dụ, dòng được giãn nở từ chu trình phát điện thứ hai có thể được sử dụng một cách trực tiếp (một phần hoặc toàn bộ) như dòng làm nóng trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi trong đó CO₂ tái tuần hoàn ở áp suất cao được làm nóng trước khi nạp vào buồng đốt trong chu trình phát điện thứ nhất. Theo cách khác, dòng được giãn nở từ chu trình phát điện thứ hai có thể được sử dụng một cách gián tiếp – ví dụ, dưới dạng dòng làm nóng trong bộ trao đổi nhiệt khác nhờ vậy mà dòng tách được làm nóng để dùng dưới dạng dòng làm nóng trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi.

Chu trình phát điện hữu ích như chu trình phát điện thứ nhất theo sáng chế có thể có hệ thống và phương pháp bất kỳ trong đó CO₂ (cụ thể là CO₂ siêu tới hạn – hoặc sCO₂) được sử dụng trong dòng công tác. Theo ví dụ không hạn chế, bằng sáng chế Mỹ số 8.596.075 cấp cho Allam và các đồng tác giả, mà được đưa vào đây bằng cách viện dẫn, mô tả hệ thống và phương pháp trong đó dòng CO₂ tái tuần hoàn được làm nóng một cách trực tiếp và được sử dụng trong phát điện. Cụ thể là, dòng CO₂ tái tuần hoàn được tạo ra ở nhiệt độ cao và áp suất cao, được cấp vào buồng đốt trong đó nhiên liệu

chứa cacbon được đốt trong oxy, được giãn nở ngang qua tuabin để phát điện, được làm nguội trong bộ trao đổi nhiệt, được tinh chế để loại bỏ nước và các tạp chất khác bất kỳ, được tạp áp lực, được làm nóng lại bằng cách sử dụng nhiệt lấy từ dòng xả tuabin, và lại được cho đi vào buồng đốt để lặp lại chu trình. Hệ thống và phương pháp này là có lợi do tất cả nhiên liệu và các tạp chất có nguồn gốc từ việc đốt, CO₂ dư, và nước được loại bỏ dưới dạng lỏng và rắn (ví dụ, tro), và có xả các dòng bất kỳ nhìn thấy được ở khí quyển bằng không. Ví dụ, hệ thống và phương pháp đạt được hiệu quả cao qua việc sử dụng nạp nhiệt ở mức nhiệt độ thấp (nghĩa là, thấp hơn 500°C) sau khi dòng CO₂ tái tuần hoàn đã được tạo lại áp lực và trước khi đốt.

Chu trình phát điện hữu ích như chu trình phát điện thứ nhất có thể có nhiều bước hoặc ít bước hơn so với nêu trên và nói chung có thể có chu trình bất kỳ trong đó dòng CO₂ tái tuần hoàn áp suất cao được giãn nở để phát điện và tái tuần hoàn lại để phát điện tiếp. Như được sử dụng trong chu trình này, dòng CO₂ tái tuần hoàn áp suất cao có thể có áp suất thấp nhất là 100 bar (10MPa), thấp nhất là 200 bar (20MPa), hoặc thấp nhất là 300 bar (30MPa). Theo một số phương án, dòng CO₂ tái tuần hoàn áp suất cao có thể có áp suất nằm trong khoảng từ 100 bar (10MPa) đến 500 bar (50MPa), từ 150 bar (15MPa) đến 450 bar (45MPa), hoặc từ 200 bar (20MPa) đến 400 bar (40MPa). Do đó, dòng CO₂ tái tuần hoàn áp suất cao được nói đến trong bản mô tả này có thể là dòng CO₂ ở áp suất nằm trong vùng nêu trên. Các áp suất này còn áp dụng đối với các dòng có áp suất cao được mô tả trong bản mô tả này, như dòng công tác áp suất cao bao gồm CO₂. Theo một số phương án, phương pháp phát điện theo sáng chế có thể bao gồm bước kết hợp chu trình phát điện thứ nhất với chu trình phát điện thứ hai. Cụ thể là, chu trình phát điện thứ nhất có thể là chu trình trong đó dòng CO₂ tái tuần hoàn được cho nén, làm nóng, đốt, giãn nở lặp đi lặp lại để phát điện, và làm nguội. Chu trình phát điện thứ hai có thể là chu trình trong đó CO₂ tái tuần hoàn đã nén từ chu trình phát điện thứ nhất được làm nóng bằng nguồn nhiệt mà độc lập với chu trình phát điện thứ nhất, được giãn nở để phát điện, và tái kết hợp với dòng CO₂ tái tuần hoàn trong chu trình phát điện thứ nhất.

Theo ví dụ không hạn chế, hệ thống phát điện 100 và phương pháp sử dụng hệ thống này được minh họa trên FIG.1. Trong ví dụ này, chu trình phát điện thứ nhất 110 có buồng đốt 115 mà cấp nhiên liệu chứa cacbon 112 và việc cấp chất oxy hóa 114 được đốt với sự có mặt của dòng CO₂ tái tuần hoàn 143 để tạo ra áp suất cao, dòng sản phẩm đốt ở nhiệt độ cao 117 mà được giãn nở trong tuabin 120 để phát điện bằng máy phát

145. Dòng xả 122 ra khỏi tuabin 120 ở nhiệt độ cao được làm nguội trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 125 để tạo ra dòng CO₂ 127 ở áp suất thấp, nhiệt độ thấp mà được cho đi qua thiết bị tách 130 có các sản phẩm ngưng 132 (ví dụ, nước) và dòng CO₂ tái tuần hoàn 133 gần như tinh khiết ra khỏi thiết bị này. Dòng CO₂ tái tuần hoàn 133 gần như tinh khiết được nén trong máy nén 135 để tạo ra dòng CO₂ tái tuần hoàn áp suất cao 137 mà chia thành dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ nhất 138 và dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ hai 151. Dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ nhất 138 được cho đi đến bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 125 nơi mà dòng này được làm nóng ngược với làm nguội dòng xả tuabin 122.

Ví dụ, chu trình phát điện thứ hai 150 có nguồn nhiệt 160 có thể là tuabin khí mà sinh ra nhiệt độ cao, áp suất cao dòng xả 162. Dòng xả được làm nóng 162 được đưa qua bộ trao đổi nhiệt 155 trong đó dòng này được làm nguội ngược với dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ hai 151 làm nóng được rút ra từ chu trình phát điện thứ nhất 110. Mặc dù nguồn nhiệt 160 được minh họa là một chi tiết, cần hiểu rằng các nguồn nhiệt có thể được sử dụng. Ví dụ hai hoặc nhiều tuabin khí có thể được sử dụng song song, hoặc kết hợp các loại nguồn nhiệt khác nhau (ví dụ, tuabin khí kết hợp với nguồn nhiệt thải) có thể được sử dụng. Dòng nguội 157 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt 155 có thể được thoát hơi được minh họa. Theo các phương án khác, dòng nguội có thể được cho qua một hoặc nhiều bước xử lý, và/hoặc dòng nguội 157 có thể được tái tuần hoàn vào nguồn nhiệt 160 cần được làm nóng lại. Nguồn nhiệt 160 có thể là nguồn bất kỳ được làm thích ứng để cấp dòng ở nhiệt độ đủ cao. Cụ thể là, nguồn nhiệt có thể được đặc trưng như nguồn độc lập của chu trình phát điện thứ nhất. Nguồn nhiệt độc lập có thể là nguồn nhiệt mà ở bên ngoài chu trình phát điện và do đó theo cách khác không tham gia vào chu trình phát điện. Ví dụ, FIG.1 thể hiện một buồng đốt 115. Việc bổ sung buồng đốt thứ hai sẽ được hiểu là nguồn nhiệt bổ sung song không được coi là nguồn nhiệt bên ngoài hoặc nguồn nhiệt mà độc lập với chu trình phát điện do buồng đốt thứ hai sẽ làm nóng một cách trực tiếp dòng CO₂ tái tuần hoàn và sinh ra nhiệt thông qua việc đốt sẽ ảnh hưởng một cách trực tiếp các thông số vận hành của các bộ phận khác trong chu trình phát điện. Như được thể hiện trên FIG.1, nguồn nhiệt 160 là độc lập với chu trình phát điện thứ nhất 110 bởi vì dòng CO₂ tái tuần hoàn không bao giờ được làm nóng một cách trực tiếp bằng nguồn nhiệt 160. Hơn thế nữa, nguồn nhiệt 160 cấp nhiệt mà được bổ sung một cách gián tiếp vào dòng CO₂ tái tuần hoàn nhờ dòng ngược qua bộ trao đổi nhiệt 155. Theo các ví

dụ không hạn chế khác, nguồn nhiệt độc lập mà cấp nhiệt gián tiếp vào dòng CO₂ tái tuần hoàn có thể là một hoặc nhiều nguồn trong số nguồn nhiệt từ việc đốt (ví dụ, tuabin khí), nguồn nhiệt từ mặt trời, nguồn nhiệt từ hạt nhân, nguồn nhiệt từ địa nhiệt, hoặc nguồn nhiệt thải công nghiệp. Trong các phương án tiếp theo, năng lượng có thể được cung cấp bằng cách sử dụng nguồn mà gần như không làm nóng song được kết hợp với bộ phận sinh nhiệt. Ví dụ, bộ phận quay (ví dụ, tuabin gió) có thể được nối với bơm nhiệt.

Quay trở lại FIG.1, sau khi làm nóng trong bộ trao đổi nhiệt 155, dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ hai 141 được làm nóng được giãn nở ngang qua tuabin 165 để phát điện bằng máy phát 170. Dòng xả tuabin 142 có thể được sử dụng theo nhiều cách khác nhau để truyền thêm nhiệt đến dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ nhất 138. Như được minh họa trên FIG.1, dòng xả tuabin 142 được đưa qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 125 để tiếp tục làm nóng dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ nhất 138. Mặc dù dòng xả tuabin 142 được thể hiện đi vào đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi, cần hiểu rằng dòng xả tuabin 142 có thể được nạp vào bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 125 ở mức độ làm nóng tương ứng dựa trên nhiệt độ thực tế của dòng xả tuabin 142. Hơn nữa, theo một số phương án, dòng xả tuabin 142 có thể không được trả về bộ trao đổi nhiệt 125. Hơn thế nữa, dòng 142 có thể được nạp vào một trong số hoặc cả dòng CO₂ tái tuần hoàn 133 lẫn dòng CO₂ nhiệt độ thấp 127. Mặc dù một bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 125 được minh họa trên hình vẽ song các bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi có thể được sử dụng khi đang vận hành ở các vùng nhiệt độ chênh lệch, và dòng 142 có thể được nạp vào một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt bất kỳ trong số các bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi.

Theo các phương án khác, dòng xả tuabin 142 có thể được kết hợp với dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ nhất 138 trước khi nạp vào bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 142. Trong hệ thống theo các phương án này, ví dụ, dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ hai 151 và/hoặc dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ hai 141 được làm nóng có thể được nén tiếp.

Trong hệ thống theo phương án tiếp theo nữa, dòng xả tuabin 142 có thể đi qua bộ trao đổi nhiệt tách rời (không được minh họa trên FIG.1). Dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ nhất 138 có thể được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt tách rời trước khi nạp vào bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi. Dòng nhánh từ dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ nhất 138 có được trong khi đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi ở vùn làm nóng thích hợp có thể được rút và cho đi qua bộ trao đổi nhiệt tách rời, và sau đó dòng nhánh được làm nóng có

thể được tái kết hợp với dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ nhất ở vùng làm nóng thích hợp. Toàn bộ hoặc một phần của dòng CO₂ tái tuần hoàn được làm nóng 143 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 125 có thể được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt tách rời để làm nóng tiếp. Trong hệ thống theo các phương án làm ví dụ này, nhiệt được cấp trong chu trình phát điện thứ hai 150 bổ sung thêm nhiệt cho dòng CO₂ tái tuần hoàn của phần thứ nhất 138 vượt quá mức độ làm nóng mà có sẵn từ riêng dòng xả tuabin 122. Sau đó, dòng CO₂ tái tuần hoàn được làm nóng 143 được nạp vào buồng đốt 115.

Dòng xả tuabin 142 từ chu trình phát điện thứ hai 150 được làm nguội nhờ đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 125 và ra khỏi đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt này dưới dạng dòng CO₂ tái tuần hoàn 144 mà, như được minh họa trên hình vẽ, được tái kết hợp với dòng CO₂ tái tuần hoàn 133 gần như tinh khiết ra khỏi thiết bị tách 130. Theo cách có lợi, tuabin 165 trong chu trình phát điện thứ hai 150 có thể được vận hành với tỷ lệ giãn nở mong muốn sao cho áp suất của dòng xả tuabin 142 là gần thích hợp với áp suất cần thiết ở điểm trong chu trình phát điện thứ nhất nơi mà dòng CO₂ tái tuần hoàn được tái kết hợp. Theo một số phương án, dòng CO₂ tái tuần hoàn 144 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 125 có thể ở nhiệt độ khiến cho việc làm nguội tiếp là có lợi. Việc làm nguội này có thể xuất hiện trong thiết bị tách 130, ví dụ, khi dòng CO₂ tái tuần hoàn 144 được kết hợp với dòng 127 ở áp suất thấp hơn. Theo cách khác, dòng CO₂ tái tuần hoàn 144 có thể đi qua thiết bị làm nguội bổ sung (không được thể hiện trên FIG.1).

Việc làm nóng bổ sung được cấp bởi chu trình phát điện thứ hai như làm ví dụ nêu trên có thể được đặc biệt có ích để giảm hoặc loại bỏ sự chênh lệch nhiệt độ mà thóa ra theo cách khác ở đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi do các nhiệt dung riêng chênh lệch của dòng xả tuabin đi vào bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi và dòng CO₂ tái tuần hoàn ra khỏi bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi. Các hệ thống và các phương pháp trong bản mô tả này được làm thích ứng để có được lợi ích này bằng cách cấp một lượng nhiệt cần thiết và chất lượng dưới dạng làm nóng bổ sung. Dựa trên tốc độ dòng chảy, áp suất, và nhiệt độ đã biết của dòng CO₂ tái tuần hoàn nạp vào tuabin trong hệ thống phát điện thứ hai, tỷ số giãn nở có thể được chọn để cho phép dòng CO₂ tái tuần hoàn ra khỏi tuabin trong hệ thống phát điện thứ hai cấp được lượng và nhiệt độ nhiệt thấp nhất mà cần cho bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi trong chu trình phát điện thứ nhất.

Hệ thống và phương pháp nêu trên tạo ra vòng kín nhiệt động học lồng ghép bên trong chu trình phát điện thứ nhất. Hỗn hợp khí trong chu trình lồng ghép được phép

tương tác với dòng CO₂ tái tuần hoàn cháy trực tiếp do cả hai chu trình có thể dùng chung thiết bị bơm, cũng như thiết bị ngưng nếu muốn. Ví dụ, trong khi dòng 144 được thể hiện được kết hợp với dòng 133 trên FIG.1, dòng 144 theo cách khác có thể được kết hợp với dòng 127 trước khi nạp vào thiết bị tách 130 và/hoặc trước khi nạp vào bộ ngưng (không được minh họa trên FIG.1).

Mỗi chu trình trong số chu trình phát điện thứ nhất và chu trình phát điện thứ hai có thể có khả năng thực hiện một cách độc lập để phát điện. Tuy nhiên, sự kết hợp của các chu trình này đem lại các lợi ích cụ thể. Trong chu trình phát điện thứ nhất như được thể hiện trên FIG.1, ưu điểm là khả năng hoàn lại lượng nhiệt đáng kể từ dòng xả tuabin để dùng ở bước làm nóng lại dòng CO₂ tái tuần hoàn sau khi nén và trước khi đi qua buồng đốt. Tuy nhiên, hiệu quả có thể bị hạn chế do khả năng bổ sung nhiệt đủ để nâng nhiệt độ của dòng CO₂ tái tuần hoàn ra khỏi đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi đến mức gần thích hợp với nhiệt độ của dòng xả tuabin nạp vào đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi. Nhu cầu nạp nhiệt bổ sung được nhận biết trong bằng sáng chế Mỹ số 8.596.075 cấp cho Allam và các đồng tác giả, và các nguồn nhiệt mức thấp khả thi khác nhau (ví dụ, ở nhiệt độ thấp hơn khoảng 500°C) được nhận biết. các hệ thống và các phương pháp do sáng chế đề xuất còn cải thiện hơn nữa do nguồn nhiệt ngoài (nghĩa là, nhiệt mà hoàn toàn độc lập với chu trình phát điện thứ nhất) có thể được sử dụng cấp nhiệt bổ sung mà cần thiết để có được hiệu quả thu hồi theo yêu cầu trong khi đồng thời tạo ra mức tăng đáng kể trong việc phát điện mà không cần các thay đổi đáng kể đối với thiết bị cơ bản dùng trong chu trình phát điện thứ nhất. Theo các phương án cụ thể, sáng chế đặc biệt đề xuất đến sự tích hợp các trạm điện/thiết bị điện hiện có vào trong chu trình phát điện sử dụng dòng CO₂ tái tuần hoàn làm dòng công tác.

Theo một số phương án, các hệ thống và các phương pháp do sáng chế đề xuất có thể được làm thích ứng để nâng cao hiệu quả của chu trình phát điện. Nhằm mục đích này, chu trình phát điện có thể được vận hành như được mô tả ở phần khác trong bản mô tả này đối với chu trình phát điện thứ nhất. Chu trình phát điện mà hiệu quả của nó được nâng cao thông thường có thể có chu trình phát điện bất kỳ nhờ vậy mà chất lưu công tác bao gồm CO₂ được tuần hoàn lặp đi lặp lại ít nhất là qua các giai đoạn nén, làm nóng, giãn nở, và làm nguội. Trong phương pháp theo các phương án, chu trình phát điện mà hiệu quả của nó có thể được cải thiện có thể có các kết hợp của các bước sau:

- việc đốt nhiên liệu chứa cacbon bằng chất oxi hóa với sự có mặt của dòng CO_2 tái tuần hoàn để tạo ra dòng sản phẩm đốt ở nhiệt độ thấp nhất là 500°C hoặc thấp nhất là 700°C (ví dụ, nằm trong khoảng từ 500°C đến 2000°C hoặc nằm trong khoảng từ 600°C đến 1500°C) và áp suất thấp nhất là 100 bar (10MPa) hoặc thấp nhất là 200 bar (20MPa) (ví dụ, nằm trong khoảng từ 100 bar (10MPa) đến 500 bar (50MPa) hoặc nằm trong khoảng từ 150 bar (15MPa) đến 400 bar (40MPa));
- giãn nở dòng CO_2 tái tuần hoàn ở áp suất cao (ví dụ, ở áp suất như nêu trên) ngang qua tuabin để phát điện;
- làm nguội dòng CO_2 tái tuần hoàn ở nhiệt độ cao (ví dụ, ở áp suất như nêu trên), cụ thể là dòng xả tuabin, trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi;
- ngưng một hoặc nhiều sản phẩm đốt (ví dụ, nước) trong bộ ngưng. Cụ thể là, các sản phẩm đốt đang có mặt trong dòng sản phẩm đốt mà đã được giãn nở và làm nguội;
- tách nước và/hoặc các vật liệu khác ra khỏi CO_2 để tạo ra dòng CO_2 tái tuần hoàn;
- nén dòng CO_2 tái tuần hoàn đến áp suất cao (ví dụ, áp suất như nêu trên), theo tùy ý được thực hiện theo nhiều giai đoạn có bước làm nguội trung gian để tăng tỷ trọng dòng; và
- làm nóng dòng CO_2 tái tuần hoàn đã nén trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi, cụ thể là làm nóng ngược với làm nguội dòng xả tuabin.

Như nêu trên, hiệu quả được cải thiện của chu trình phát điện có thể đạt được một cách cụ thể bằng cách bổ sung tiếp nhiệt vào CO_2 tái tuần hoàn đã nén cao hơn mức độ làm nóng (ví dụ, nhiệt thu hồi trong bộ trao đổi nhiệt) mà có sẵn từ dòng xả tuabin. Hệ thống theo sáng chế đạt được việc làm nóng tiếp này bằng cách sử dụng phần của dòng CO_2 tái tuần hoàn từ chu trình phát điện. Theo cách có lợi, chu trình lồng ghép có thể được bổ sung vào chu trình phát điện sử dụng ít nhất là cùng thiết bị nén như được sử dụng trong chu trình phát điện. cụ thể là, việc làm nóng tiếp có thể được tạo ra bằng cách rút một phần của CO_2 tái tuần hoàn đã nén, làm nóng phần CO_2 tái tuần hoàn đã nén đã rút này bằng nguồn nhiệt mà độc lập với chu trình phát điện, và truyền nhiệt từ CO_2 tái tuần hoàn đã nén, được làm nóng và được rút đến phần còn lại của CO_2 tái tuần hoàn đã

nén trong chu trình phát điện. Do đó, chu trình lồng ghép có thể gần như tương tự như chu trình phát điện thứ hai được mô tả dựa vào FIG.1.

Trong các phương án tiếp theo, sáng chế còn đề cập tới hệ thống phát điện. Cụ thể là, các hệ thống phát điện này có thể bao gồm một hoặc nhiều bơm hoặc nhiều máy nén được tạo kết cấu để nén dòng CO₂ đến áp suất cao như nêu trong bản mô tả này. Các hệ thống có thể bao gồm một hoặc nhiều van hoặc bộ chia được tạo kết cấu để chia dòng CO₂ đã nén thành ít nhất là dòng CO₂ thuộc phần thứ nhất và dòng CO₂ thuộc phần thứ hai. Các hệ thống có thể bao gồm bộ trao đổi nhiệt thứ nhất (hoặc cụm trao đổi nhiệt bao gồm các đoạn trao đổi nhiệt) được tạo kết cấu để làm nóng dòng CO₂ thuộc phần thứ nhất ngược với nhiệt độ cao dòng xả tuabin và bộ trao đổi nhiệt thứ hai được tạo kết cấu để làm nóng dòng CO₂ thuộc phần thứ hai ngược với dòng được làm nóng từ nguồn nhiệt bên ngoài (hoặc nguồn nhiệt độc lập). Các hệ thống có thể bao gồm tuabin thứ nhất được tạo kết cấu để giãn nở dòng CO₂ thuộc phần thứ nhất để phát điện và tuabin thứ hai được tạo kết cấu để giãn nở dòng CO₂ thuộc phần thứ hai để phát điện. Các hệ thống có thể bao gồm một hoặc nhiều chi tiết truyền tải được tạo kết cấu để truyền nhiệt từ dòng CO₂ thuộc phần thứ hai được làm nóng đến dòng CO₂ thuộc phần thứ nhất. Các hệ thống có thể bao gồm buồng đốt được tạo kết cấu để đốt nhiên liệu chứa cacbon trong chất oxy hóa với sự có mặt của dòng CO₂ thuộc phần thứ nhất.

Các hệ thống theo sáng chế có thể khác biệt ở cấu hình dưới dạng hệ thống phát điện sơ cấp và hệ thống phát điện thứ cấp, hai hệ thống có các nguồn nhiệt tách rời và ít nhất một bộ phận nén dùng chung (và theo tùy ý ít nhất một bộ phận ngưng dùng chung). Ví dụ, hệ thống theo sáng chế có thể bao gồm hệ thống phát điện sơ cấp có máy nén được tạo kết cấu để nén dòng CO₂ đến áp suất cao như nêu trong bản mô tả này, buồng đốt nằm sau so với máy nén, tuabin thứ nhất nằm sau so với buồng đốt và nằm trước so với máy nén, và bộ trao đổi nhiệt thứ nhất được định vị để tiếp nhận dòng ra khỏi máy nén và để tiếp nhận dòng tách ra khỏi tuabin. Theo tùy ý, thiết bị tách có thể được định vị nằm sau so với bộ trao đổi nhiệt thứ nhất và nằm trước so với máy nén. Hơn nữa theo tùy ý, máy nén có thể được định vị nằm trước so với máy nén và nằm sau so với bộ trao đổi nhiệt thứ nhất. Hệ thống theo sáng chế còn có thể bao gồm hệ thống phát điện thứ cấp bao gồm máy nén từ hệ thống phát điện sơ cấp, tuabin thứ hai nằm sau so với máy nén, và bộ trao đổi nhiệt thứ hai được định vị để tiếp nhận dòng ra khỏi máy nén và để tiếp nhận dòng tách từ nguồn nhiệt bên ngoài (hoặc nguồn nhiệt độc lập). Hệ thống có thể còn

bao gồm một hoặc nhiều van hoặc bộ chia nằm sau so với máy nén và nằm trước so với mỗi của bộ trao đổi nhiệt thứ nhất và bộ trao đổi nhiệt thứ hai.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Các phương án của sáng chế sẽ được minh họa thêm qua các ví dụ thực hiện dưới đây, các ví dụ này được thực hiện để minh họa đối tượng đã được bộc lộ và không được xây dựng như hạn chế sáng chế. Phần dưới đây mô tả phương án của hệ thống phát điện và phương pháp sử dụng chu trình CO₂ lồng ghép, như được minh họa trên FIG.2.

Chu trình phát điện được làm mẫu dựa trên việc kết hợp tuabin khí với chu trình phát điện sử dụng dòng công tác CO₂ tuần hoàn, như được mô tả trong bằng sáng chế Mỹ số 8.596.075 cấp cho Allam và các đồng tác giả, trong bản mô tả này chu trình phát điện này được gọi là chu trình Allam. Các tuabin khí công nghiệp là các hệ thống có hiệu quả, đáng tin cậy có chi phí đầu tư thấp có lịch sử phát triển công nghiệp lâu dài cộng thêm khả năng sản xuất rộng rãi trên toàn thế giới. Chu trình Allam đem lại hiệu quả gần giống như hệ thống NGCC ở cùng chi phí đầu tư với ưu điểm thu giữ toàn bộ sản phẩm CO₂ từ khí tự nhiên dưới dạng sản phẩm gần như tinh khiết về cơ bản ở áp suất đường ống thông thường nằm trong khoảng từ 100bar (10MPa) đến 200 bar (20MPa). Theo phương án mang tính minh họa, tuabin khí được tích hợp với chu trình Allam bằng cách loại bỏ toàn bộ hệ thống phát điện bằng hơi của thiết bị NGCC và sử dụng dòng xả của tuabin khí nóng để cấp nhiệt nhằm tạo ra năng lượng bổ sung bằng cách sử dụng chất lưu công tác CO₂ từ chu trình Allam cùng với cung cấp nhiệt lượng đầu vào ở nhiệt độ thấp theo yêu cầu cho chu trình Allam để đạt được hiệu quả lớn nhất. Sự kết hợp này cho phép duy trì hiệu quả cao đối với hệ thống tích hợp trong khi vẫn đem lại chi phí đầu tư thấp hơn cho mỗi Kw của dung tích lắp đặt. Theo một số phương án, việc kết hợp theo sáng chế có thể được đi kèm với sự sụt giảm gần như không đáng kể về hiệu quả tổng thể đối với hệ thống tích hợp. Tuy nhiên, theo các phương án khác, có thể gần như không có sự sụt giảm về hiệu quả tổng thể. Trong hệ thống theo phương án tiếp theo nữa, việc kết hợp theo sáng chế có thể cho phép tăng hiệu quả tổng thể đối với hệ thống tích hợp. Theo các phương án khác của sáng chế, việc giảm chi phí đầu tư cũng có thể là kết quả có lợi.

Tóm lại, theo phương án mang tính minh họa, dòng xả nóng từ tuabin khí được đưa qua cụm thu hồi nhiệt tương tự như HRSG mà làm nóng dòng CO₂ áp suất cao (ví dụ, nằm trong khoảng từ 300 bar (30MPa) đến 500 bar (50MPa)) được lấy dưới dạng

dòng bổ sung từ các cụm nén tái tuần hoàn CO_2 theo chu trình Allam. CO_2 được làm nóng được đưa qua tuabin phát điện mà có áp suất xả tương ứng với áp suất nạp của bơm CO_2 theo chu trình Allam hoặc tương ứng với áp suất nạp hoặc áp suất trung gian của máy nén theo chu trình CO_2 . Sau đó, dòng xả từ tuabin phụ, mà có nhiệt độ nằm trong khoảng từ 200°C đến 500°C , được dùng để tạo ra sự làm nóng ở mức nhiệt độ thấp dành cho các dòng CO_2 tái tuần hoàn áp suất cao theo chu trình Allam cùng với việc làm nóng bổ sung theo yêu cầu trong bộ trao đổi nhiệt xả tuabin khí. Theo tùy ý, có thể có nhiệt lượng nạp ở mức thấp bổ sung cho tổng các dòng CO_2 áp suất cao bằng cách vận hành máy nén không khí chính của thiết bị oxy ở nhiệt độ cực thấp theo cách đoạn nhiệt. Điều này giải phóng phần dòng xả của bộ giãn nở phụ để làm nóng trước toàn bộ khí tự nhiên nạp vào tuabin khí và các buồng đốt theo chu trình Allam. Theo tùy ý, dòng xả tuabin khí có thể được tăng nhiệt độ bằng cách đốt khí nhiên liệu nhờ sử dụng lượng oxy dư trong dòng xả tuabin khí. Việc này làm tăng nhiệt độ nạp và công suất đầu ra của tuabin phát điện phụ trợ do áp suất cao dòng CO_2 sẽ được làm nóng đến nhiệt độ cao hơn trong bộ làm nóng dòng xả tuabin khí. Theo tùy ý, dòng làm nguội cần cho tuabin áp suất cao theo chu trình Allam ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 300°C đến 500°C có thể được làm nóng bằng cách sử dụng dòng xả tuabin phụ chứ không phải dòng xả tuabin chính theo chu trình Allam. nhiệt độ nạp khí vào tuabin phụ có thể nằm trong khoảng từ 500°C đến 900°C . Các cánh tuabin không nhất thiết phải có các lớp bọc hoặc làm mát bằng màng hoặc làm mát bên trong chuyên dụng ở các nhiệt độ này.

Hệ thống tích hợp theo một phương án thực hiện làm ví dụ được thể hiện trên FIG.2, mẫu làm ví dụ mang tính minh họa là dựa trên sự tích hợp của tuabin khí GE7FB và thiết bị phát điện theo chu trình Allam có các đặc tính hiệu suất riêng biệt được thể hiện trong Bảng 1 dưới đây (trong đó các tính toán được dựa trên sử dụng metan tinh khiết (CH_4) làm khí nhiên liệu).

BẢNG 1

<u>Thông số</u>	<u>Hệ thống 7FB NGCC</u>	<u>Hệ thống phát điện theo chu trình Allam</u>
Công suất đầu ra thực	280,3 MW	298,2 MW
Nhiệt lượng vào của khí tự nhiên	488,8 MW	510,54 MW
Hiệu quả thực	57,3%	58,41%
Bộ ngưng chân không	1,7 inơ Hg (0,835 psia)	Không thích hợp

Công suất Tuabin khí	183,15 MW	Không thích hợp
Nạp O ₂ (99,5 mol% ở 30 bar (3MPa))	Không thích hợp	3546 MT/ngày
Xả CO ₂ (độ tinh khiết 97 mol% ở 150 bar (15MPa))	Không thích hợp	2556 MT/ngày

Theo FIG 2, tuabin khí 1 GE 7FB vận hành theo các điều kiện ISO có dòng nạp không khí 64 nạp vào máy nén của tuabin khí và dòng khí tự nhiên 3 nạp vào buồng đốt 2 của tuabin khí. Tuabin khí tạo ra công suất đầu ra 6 183,15 MW từ máy phát điện kết nối 5. Dòng xả tuabin khí 4 ở 624°C có thể được làm nóng trong buồng đốt 26 bằng cách đốt dòng khí tự nhiên bổ sung 27 nhằm tạo ra dòng được làm nóng 28, dòng này được đưa qua bộ trao đổi nhiệt 58 để làm nóng trước dòng tái tuần hoàn CO₂ áp suất cao 38 ở áp suất 305 bar (30,5MPa) ở nhiệt độ 50°C để tạo ra dòng ra được làm nóng 29 và dòng xả làm nguội 34, mà có thể được thông hơi. Hiệu quả của hệ thống tổng thể không bị thay đổi bằng cách đốt nhiên liệu bổ sung trong dòng xả tuabin khí 7FB để tăng nhiệt độ nạp của tuabin 7 phụ trợ có áp suất cao. Dòng tái tuần hoàn CO₂ áp suất cao 38 được lấy dưới dạng dòng bổ sung từ đầu xả của bơm CO₂ 55 theo chu trình Allam, mà được kết nối với động cơ điện 56. Tuabin 7 được kết nối với máy phát điện 8 nhằm tạo ra dòng điện xuất 9. Đối với trường hợp cụ thể, xét rằng tuabin 7 đã được quy định có áp suất đầu ra là 30 bar (3MPa) và áp suất đầu vào là 300bar (30MPa). Nhiệt lượng vào đối với đầu xả 7FB trong bộ đốt 26 là 65,7 MW. Điều này dẫn đến dòng xả 7FB 4 được làm nóng từ 624°C đến 750°C. Dòng đầu ra 66 ở nhiệt độ 457°C và áp suất xả 30 bar (3MPa) cho phép dòng này, sau khi làm nguội, được nén lại trong máy nén CO₂ tái tuần hoàn theo hai giai đoạn 18 theo chu trình Allam máy nén này có áp suất đầu vào là 29 bar (2,9MPa). Các áp suất đầu ra thích hợp nhất đối với tuabin 7 tương ứng với áp suất đầu nạp, áp suất trung gian và áp suất đầu ra đối với máy nén CO₂ tái tuần hoàn 18, mà áp suất nạp vào khoảng 29 bar (2,9MPa) đến vùng áp suất đầu ra nằm trong khoảng từ 67bar (6,7MPa) đến 80 bar (8MPa) tùy theo các điều kiện làm nguội nước/làm nguội bằng môi trường xung quanh.

Dòng đầu ra tuabin 66 được tích hợp vào trong hệ thống để làm nóng trước các dòng CO₂ áp suất cao theo cách tối ưu. Dòng 66 chia thành 3 phần. Dòng 65 nạp vào bộ trao đổi nhiệt 68 mà nó được sử dụng để làm nóng trước các dòng khí tự nhiên (từ 3a đến 3, từ 14a đến 14 và từ 27a đến 27) đến nhiệt độ đầu ra là 425°C và thoát ra dưới dạng dòng 67. Dòng 25 nạp vào bộ trao đổi nhiệt 60 nơi mà dòng này được sử dụng để làm

nóng dòng CO₂ 36 ở áp suất 300 bar (30MPa), nhiệt độ 50°C được lấy từ dòng xả 35 qua bơm CO₂ 55 để tạo ra dòng làm nguội 62 ở 400°C dành cho tuabin 17 theo chu trình Allam, cộng với dòng CO₂ tái tuần hoàn được làm nóng bên ngoài 59 ở 424°C, dòng này nạp vào bộ trao đổi nhiệt chính 61 ở điểm trung gian. Dòng 30 nạp vào bộ làm nguội đầu xả 7FB 58 ở điểm trung gian và cấp nhiệt bổ sung trong đoạn nhiệt độ thấp hơn, thoát ra dưới dạng dòng 32. Ba nhiệm vụ trao đổi nhiệt tách rời này đối với dòng xả của tuabin khí phụ trợ 66 bù đắp cho mức tăng lớn về nhiệt dung riêng của dòng CO₂ ở áp suất 300 bar (30MPa) ở các nhiệt độ thấp hơn và bao gồm các nhiệm vụ theo yêu cầu của tổng dòng CO₂ làm nóng áp suất cao CO₂.

Thiết bị tách không khí ở nhiệt độ thấp 82 tạo ra dòng oxy thành phẩm 49 ở áp suất 30 bar (3MPa) và độ tinh khiết 99,5mol%. Dòng cấp không khí 83 được nén theo cách đoạn nhiệt trong máy nén hướng trục 69 có máy nén không khí phụ trợ kết nối 70, cả hai máy nén đều được dẫn động bởi động cơ điện 71. Toàn bộ dòng không khí cấp được nén ở máy nén 69 đến 5,7 bar (0,57MPa). Đầu ra không khí 78 ở 226°C được sử dụng để làm nóng dòng CO₂ có áp suất 300 bar (30MPa) 74 từ 50°C đến 220°C trong bộ trao đổi nhiệt 73 nhằm tạo dòng đầu ra 75. Dòng này chia thành dòng 76 và dòng 77, mà lần lượt được nạp vào trong các điểm trung gian trong bộ trao đổi nhiệt 60 và bộ trao đổi nhiệt 58, để tạo thêm nhiệt lượng đầu vào ở mức nhiệt độ thấp nhất vào trong các dòng CO₂ làm nóng áp suất cao 38 và 36. Dòng cấp không khí chính 80 và dòng không khí phụ trợ 81 có áp suất 65 bar (6,5MPa), sau khi làm nguội đến gần nhiệt độ môi trường xung quanh, nạp vào ASU 82.

Hệ thống theo chu trình Allam bao gồm tuabin 17 có buồng đốt kết hợp 13 được kết nối với máy phát điện 16 nhằm tạo ra đầu ra 15. Dòng nhiên liệu khí tự nhiên 11 được nén đến 320 bar (32MPa) trong máy nén làm nguội trung gian hai giai đoạn 12 được dẫn động bởi động cơ điện 10. Khí tự nhiên được làm nóng trước trong thiết bị 68. Tuabin được kết nối một cách trực tiếp với máy nén tái tuần hoàn CO₂ 18 chính, máy này có hai giai đoạn có bộ làm nguội trung gian 19. Áp suất nạp trong đường ống 21 là 29 bar (2,9MPa) và áp suất xả trong đường ống 22 là 67 bar (6,7MPa). Dòng xả 22 được làm nguội đến gần nhiệt độ môi trường xung quanh trong bộ trao đổi nhiệt 40 nhằm tạo ra dòng nạp bơm CO₂ 39 có tỷ trọng khoảng 0,8 kg/lit. Đầu xả bơm tạo ra (ngoài dòng tái tuần hoàn CO₂ chính 37) các dòng bổ sung 36, 38 và 74 được dùng để tích hợp tuabin khí 7FB. CO₂ thuần được sinh ra từ việc đốt dòng khí tự nhiên 14 được xả ở áp suất 305 bar

(30,5MPa) như dòng 84 để phân phối đến hệ đường ống. Bộ trao đổi nhiệt chính kiểu thu hồi của cụm theo chu trình Allam 61 làm nguội dòng xả tuabin 24 ở 725°C đến 60°C, dòng 41, mà có dòng 33 từ hệ thống tích hợp tuabin khí 7FB được bổ sung vào dòng này (dòng 33 là sự kết hợp của dòng 31 từ bộ trao đổi nhiệt 60 và dòng 32 từ bộ trao đổi nhiệt 58 và dòng 67 từ bộ trao đổi nhiệt 68). Dòng kết hợp 42 được làm nguội gần nhiệt độ môi trường xung quanh trong bộ làm nguội 43 để tạo ra dòng 44 mà đi vào thiết bị tách 45 nơi mà nước thể lỏng ngưng được tách, để lại dưới dạng dòng 46. Dòng khí CO₂ thoát ra 47 ở áp suất 29 bar (2,9MPa) chia thành dòng nạp máy nén CO₂ tái tuần hoàn chính 21 và dòng 48 mà trộn với dòng oxy tinh khiết 49 để tạo ra chất oxy hóa dòng 50 có lượng O₂ là 25 mol%. Dòng này được nén đến áp suất 305 bar (30,5MPa) trong máy nén nhiều giai đoạn 54 (có bộ làm nguội trung gian 54a) được dẫn động bởi động cơ điện 52. Dòng xả 51 cùng với dòng CO₂ tái tuần hoàn 37 được làm nóng đến 715°C trong bộ trao đổi nhiệt 61 ngược với dòng xả tuabin 24 để tạo ra dòng 20 nạp vào buồng đốt 13 và dòng 23 nạp vào buồng đốt dòng xả để điều hòa nhiệt độ nạp tuabin 17 khoảng 1150°C.

Hệ thống tích hợp làm ví dụ minh họa kết hợp tuabin khí đặc chủng mà dẫn đến việc sử dụng nhiệt có sẵn trong dòng xả tuabin khí có hiệu quả. Các tuabin khí lớn hơn hoặc nhỏ hơn có thể được sử dụng. Các trị số hiệu suất dựa trên các mẫu làm ví dụ được thể hiện trong Bảng 2.

BẢNG 2

<u>Thông số</u>	<u>Hệ thống tích hợp</u>
Tổng công suất đầu ra thực	594,1 MW
Tổng nhiệt lượng vào của khí tự nhiên	1040 MW
Tổng hiệu quả thực	57,131%
Nạp O ₂ (độ tinh khiết 99,5 mol% ở 30 bar (3MPa))	3546 MT/ngày
Xả CO ₂ (độ tinh khiết 97 mol% ở 150 bar (15Mpa))	2556 MT/ngày

Hệ thống làm ví dụ minh họa có thể được sử dụng để tích hợp các cụm tuabin khí theo chu trình mở hiện có mà nén không khí trong môi trường xung quanh dưới dạng chất lưu công tác của các tuabin này. Điều này có thể ứng dụng tương đương với các tuabin khí theo chu trình kín bằng cách sử dụng các buồng đốt oxi-nhiên liệu có dòng xả tuabin làm nguội đang được sử dụng như nguồn cấp máy nén của tuabin khí sau khi loại

bỏ CO₂ được tạo ra, chất trơ dạng nước, và oxy dư. Đối với loại tuabin khí này, việc loại bỏ hoàn toàn CO₂ theo cách nhìn thấy được ra khỏi hệ thống là khả thi. Đối với tuabin khí theo chu trình mở thông thường, chỉ CO₂ có nguồn gốc từ chu trình Allam có thể được loại bỏ để càng hóa.

Các biến thể và các phương án khác của đối tượng đã được bộc lộ sẽ được người có trình độ trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này hình dung được có dựa vào các bộc lộ trong phần mô tả trên đây và các hình vẽ kèm theo. Do đó, sáng chế được hiểu không bị hạn chế ở các phương án cụ thể được mô tả trong bản mô tả này và các biến thể và các phương án khác được tính đến đều nằm trong phạm vi của các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo. Mặc dù các thuật ngữ cụ thể được sử dụng trong bản mô tả này, song các thuật ngữ này được sử dụng theo nghĩa chung và chỉ mang tính mô tả mà không nhằm mục đích giới hạn sáng chế.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp phát điện bao gồm các bước:

vận hành chu trình phát điện thứ nhất trong đó dòng công tác CO_2 được cho giãn nở lặp đi lặp lại để phát điện, làm nguội, nén, làm nóng, và đốt; và

vận hành chu trình phát điện thứ hai trong đó ít nhất một phần của dòng công tác CO_2 đã nén từ chu trình phát điện thứ nhất được làm nóng bằng nguồn nhiệt mà độc lập với chu trình phát điện thứ nhất, được giãn nở để phát điện, và tái kết hợp với dòng công tác CO_2 trong chu trình phát điện thứ nhất.

2. Phương pháp phát điện theo điểm 1, trong đó trong bước vận hành chu trình phát điện thứ nhất:

giãn nở để phát điện bao gồm bước giãn nở dòng công tác CO_2 ngang qua tuabin thứ nhất để tạo ra lượng điện thứ nhất;

làm nguội bao gồm rút nhiệt từ dòng công tác CO_2 trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi;

nén bao gồm bước nén dòng công tác CO_2 bằng ít nhất một máy nén;

làm nóng bao gồm bước làm nóng dòng công tác CO_2 bằng cách sử dụng nhiệt đã rút trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi; và

đốt bao gồm làm quá nhiệt dòng công tác CO_2 được nén trong buồng đốt.

3. Phương pháp phát điện theo điểm 1 hoặc điểm 2, trong đó bước làm nóng trong chu trình phát điện thứ nhất bao gồm bước tiếp nhận nhiệt được cấp cho dòng công tác CO_2 trong chu trình phát điện thứ hai.

4. Phương pháp phát điện theo điểm 1 hoặc điểm 2, trong đó nguồn nhiệt trong chu trình phát điện thứ hai là một hoặc nhiều nguồn trong số nguồn nhiệt từ việc đốt, nguồn nhiệt từ mặt trời, nguồn nhiệt từ hạt nhân, nguồn nhiệt từ địa nhiệt, và nguồn nhiệt thải công nghiệp.

5. Phương pháp phát điện theo điểm 1 hoặc điểm 2, trong đó dòng công tác được giãn nở từ chu trình phát điện thứ hai được sử dụng để bổ sung nhiệt vào dòng công tác CO₂ trong chu trình phát điện thứ nhất sau khi nén và trước khi đốt.

6. Phương pháp phát điện theo điểm 1 hoặc điểm 2, trong đó dòng công tác CO₂ từ chu trình phát điện thứ hai mà được tái kết hợp với dòng công tác CO₂ trong chu trình phát điện thứ nhất là một hoặc nhiều bước trong số các bước:

 nạp sau bước làm nguội và trước bước nén trong chu trình phát điện thứ nhất;

 nạp sau bước nén và trước bước làm nóng;

 nạp trong bước làm nóng trong chu trình phát điện thứ nhất.

7. Phương pháp nâng cao hiệu quả của chu trình phát điện, phương pháp này bao gồm các bước:

 vận hành chu trình phát điện sao cho CO₂ tái tuần hoàn, đã nén được đưa qua buồng đốt trong đó nhiên liệu chứa cacbon được đốt với chất oxy hóa để tạo ra dòng xả bao gồm CO₂ tái tuần hoàn; dòng xả được giãn nở ngang qua tuabin để phát điện và tạo ra dòng xả tuabin bao gồm CO₂ tái tuần hoàn; dòng xả tuabin được làm nguội trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi; dòng xả tuabin đã nguội được đưa qua thiết bị tách để tách CO₂ tái tuần hoàn; CO₂ tái tuần hoàn được nén; và CO₂ tái tuần hoàn đã nén được làm nóng nhờ đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi ngược với dòng xả tuabin; và

 bổ sung tiếp nhiệt vào CO₂ tái tuần hoàn đã nén cao hơn mức độ làm nóng mà có sẵn từ dòng xả tuabin, nhiệt bổ sung được tạo bằng cách rút một phần CO₂ tái tuần hoàn đã nén, làm nóng phần rút của CO₂ tái tuần hoàn đã nén bằng nguồn nhiệt mà độc lập với chu trình phát điện, và truyền nhiệt từ CO₂ tái tuần hoàn đã nén, được làm nóng và được rút đến phần còn lại của CO₂ tái tuần hoàn đã nén trong chu trình phát điện.

8. Phương pháp theo điểm 7, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước cho CO₂ tái tuần hoàn đã nén, được làm nóng và được rút đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi để truyền nhiệt đến CO₂ tái tuần hoàn đã nén trong bộ trao đổi nhiệt này.

9. Phương pháp theo điểm 7, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước cho CO₂ tái tuần hoàn đã nén, được làm nóng và được rút đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ cấp để làm

nóng dòng phụ CO₂ tái tuần hoàn mà sau đó được kết hợp với phần còn lại của CO₂ tái tuần hoàn đã nén trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi.

10. Phương pháp theo điểm 7, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước giãn nở CO₂ tái tuần hoàn đã nén, được làm nóng và được rút ngang qua tuabin thứ hai để phát điện.

11. Hệ thống phát điện bao gồm:

 máy nén được tạo kết cấu để nén dòng CO₂ đến áp suất thấp nhất là 100 bar (10MPa);

 buồng đốt nằm sau so với máy nén; tuabin thứ nhất nằm sau so với buồng đốt và nằm trước so với máy nén;

 bộ trao đổi nhiệt thứ nhất được định vị để tiếp nhận dòng ra khỏi máy nén và để tiếp nhận dòng tách ra khỏi tuabin và được tạo kết cấu để truyền nhiệt giữa các dòng này
 tuabin thứ hai nằm sau so với máy nén; và

 bộ trao đổi nhiệt thứ hai được định vị để tiếp nhận dòng ra khỏi máy nén và để tiếp nhận dòng tách từ nguồn nhiệt.

12. Hệ thống phát điện theo điểm 11, trong đó nguồn nhiệt dùng cho dòng tách tiếp nhận bởi bộ trao đổi nhiệt thứ hai là một hoặc nhiều nguồn trong số nguồn nhiệt từ việc đốt, nguồn nhiệt từ mặt trời, nguồn nhiệt từ hạt nhân, nguồn nhiệt từ địa nhiệt, và nguồn nhiệt thải công nghiệp.

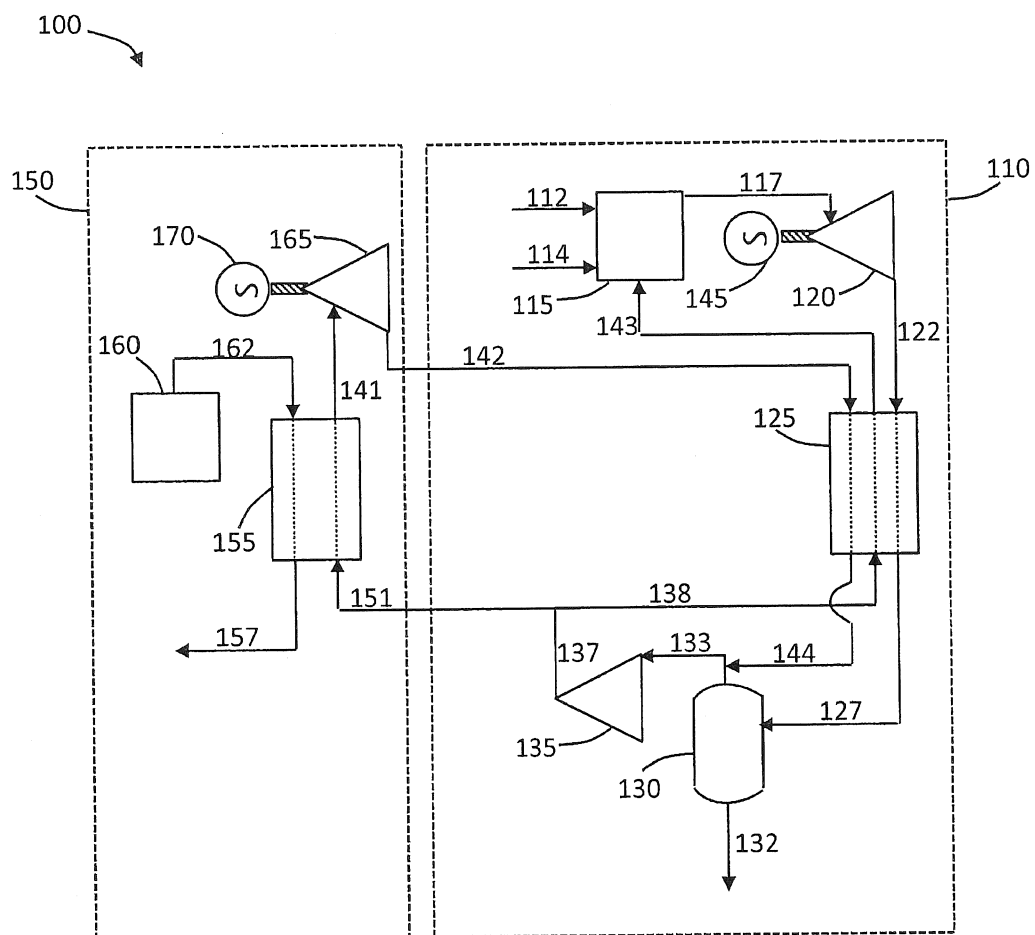


FIG. 1

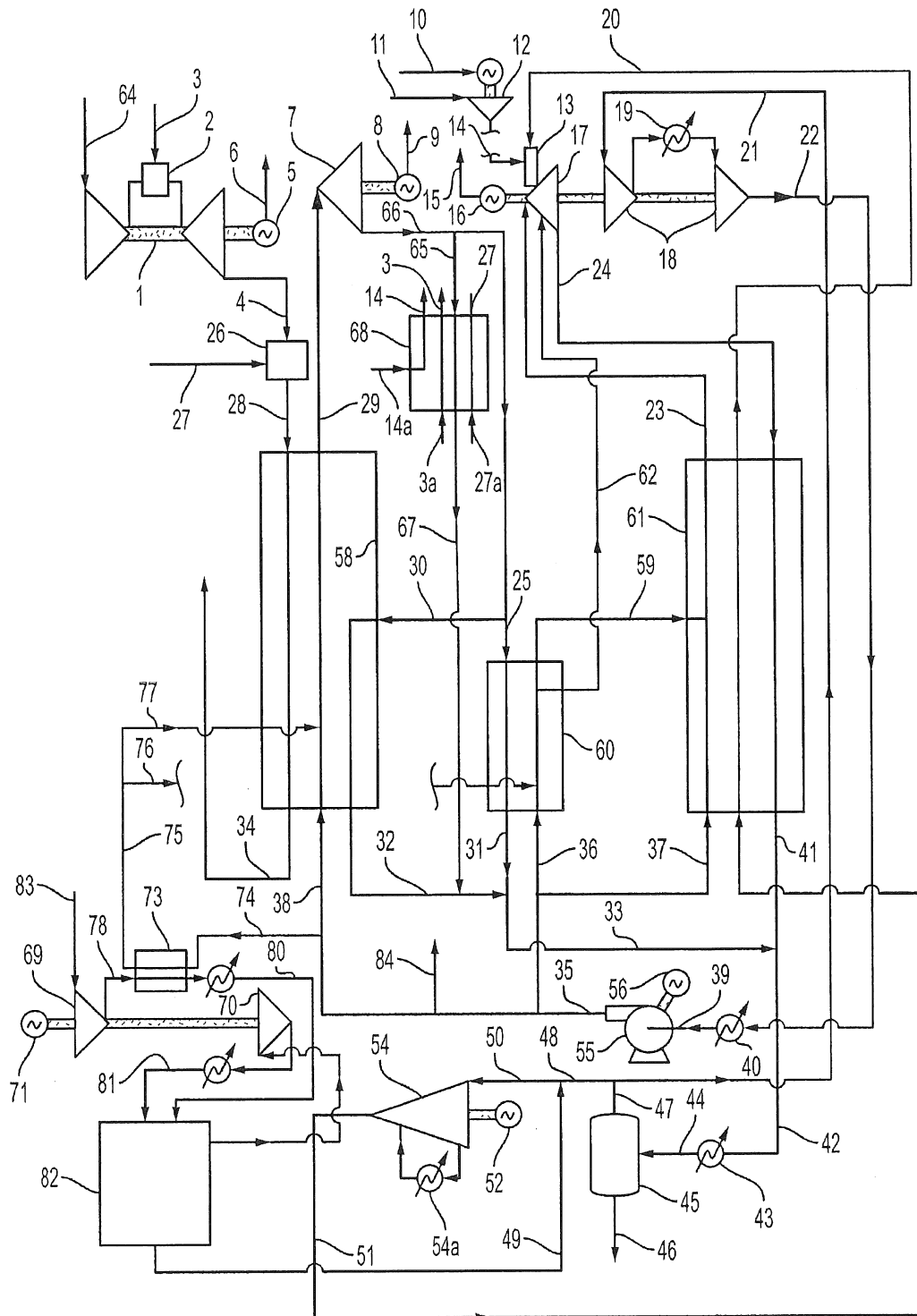


FIG. 2