

PHẦN III

MỘT SỐ HỆ THỐNG ĐIỀU CHỈNH ĐỐI TƯỢNG NHIỆT TRONG NHÀ MÁY ĐIỆN

CHƯƠNG 1: CÁC HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG LÒ CÓ BAO HƠI

CHƯƠNG 2: MỘT SỐ HỆ THỐNG ĐIỀU CHỈNH THIẾT BỊ PHỤ TRONG PHÂN XỬNG TUỐC BIN



CHƯƠNG 1: CÁC HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG Lò CÓ BAO HƠI

Lò hơi là đối tượng phức tạp vì có nhiều thông số vào và thông số ra, hình thành nhiều kênh đan chéo nhau.

Do đó để đơn giản hóa vấn đề người ta tách chúng ra thành những kênh chính.

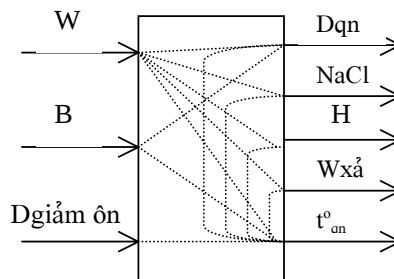
Cụ thể có các quá trình :

$W \rightarrow H$ (mức nước BH)

$D_{giảm\ ôn} \rightarrow t_{qn}$

$B \rightarrow D_{qn}$

$W_{xả} \rightarrow NaCl \dots$



Và căn cứ vào các kênh tác dụng chính này ta xây dựng các vòng điều chỉnh để giữ ổn định các thông số điều chỉnh bằng hệ thống điều chỉnh 1 vòng và những yếu tố còn lại ảnh hưởng nó coi là nhiễu (nhiều trong và nhiễu ngoài)

Trong lò hơi có bao hơi có các hệ thống điều khiển sau:

- Hệ thống điều chỉnh quá trình cháy
- Hệ thống điều chỉnh nhiệt độ quá nhiệt
- Hệ thống điều chỉnh nước cấp
- Hệ thống điều chỉnh chất lượng nước của lò

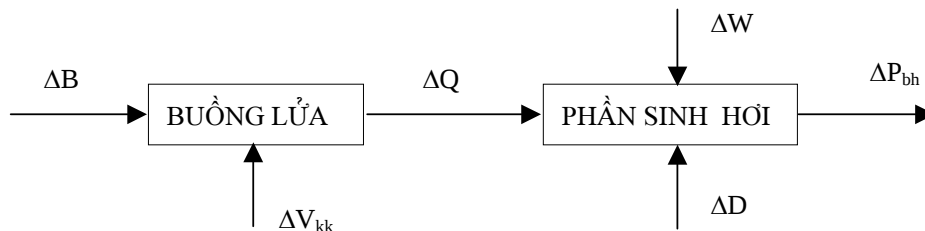
1.1. Hệ thống điều chỉnh quá trình cháy của lò

1.1.1. Nhiệm vụ của hệ thống điều chỉnh quá trình cháy

- Giữa phụ tải của lò phù hợp với phụ tải tuốc bin $\Rightarrow$ có hệ thống điều chỉnh phụ tải (áp suất P hơi)
- Tác động vào nhiên liệu $\Rightarrow$ hệ thống điều chỉnh không khí
- Trong từng thời điểm thì lượng khói thải ra khỏi lò phải đảm bảo $\Rightarrow$ Hệ thống điều chỉnh áp suất buồng lửa PBL

1.1.2. Đặc tính của lò xét theo quan điểm áp suất

Theo quan điểm áp suất thì lò tách thành 2 phần chính:



$\Rightarrow$ Tính chất động của lò gồm 2 khâu BL và FSH. Quán tính của BL nhỏ $\Rightarrow$ tính chất động của lò chủ yếu phụ thuộc vào tính chất phần sinh hơi.

1- Tính chất phần sinh hơi:

Đối với phần sinh hơi ta có :

$$A_p \frac{dP_b}{dt} = Q - D(i'' - i_{nc})$$

A_p : Hệ số tỷ lệ đặc trưng cho khả năng tàng trữ nhiệt của hỗn hợp nước hơi và dàn ống sinh hơi

$$\Rightarrow \frac{A_p}{i'' - i_{nc}} \cdot \frac{dP_b}{dt} = \frac{Q}{i'' - i_{nc}} - D$$

$\frac{Q}{i'' - i_{nc}} = d_q$ là lượng hơi lớn nhất có thể sinh ra nếu Q dùng để biến thành hơi

hoàn toàn và gọi là phụ tải nhiệt của lò

$$\Rightarrow \frac{A_p}{i'' - i_{nc}} \cdot \frac{dP}{dt} = D_q - D$$

Trong chế độ xác lập $D_q = D \Rightarrow P = \text{const}$

Nếu kể đến sự mất cân bằng về vật chất $\Rightarrow$ phương trình động của phần sinh

$$\text{hơi là : } \frac{A_p}{i'' - i_{nc}} \cdot \frac{dP_b}{dt} = D_q - D - K(W - D)$$

K - Hệ số tỷ lệ nói lên sự ảnh hưởng của sự mất cân bằng vật chất lên quá trình điều chỉnh

$$\text{Đưa về dạng không có thứ nguyên } T_p \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \mu_q - \lambda - K(\mu_w - \lambda)$$

(Đây là khâu tích phân - không có tự cân bằng)

2- Ảnh hưởng của tính chất buồng lửa lên quá trình điều chỉnh:

Buồng lửa gây nên chậm trễ τ đối với quá trình

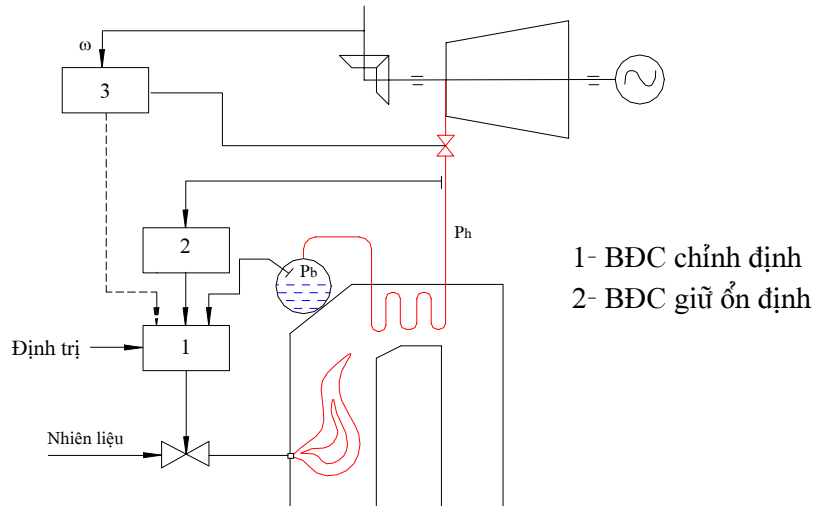
$$\Rightarrow \text{Phương trình động: } T_p \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \mu_q(t - \tau) - \lambda - K(\mu_w - \lambda)$$

τ - phụ thuộc vào cấu tạo và tính chất buồng lửa, độ đặt ống

Nếu đặt ống dày thì τ khoảng $20 \div 25$ sec

3- Ảnh hưởng điều kiện làm việc lên đặc tính động của lò:

Khi làm việc theo sơ đồ khối thì chất động của nó xấu đi so với làm việc song song.

1.1.3. Các phương pháp điều chỉnh phụ tải của lò*1- Khi lò làm việc theo sơ đồ khối với tua bin:*

- Nhờ ta đưa thêm bộ điều chỉnh 2, lấy tín hiệu từ P_{bh} mà ta giảm được thời gian điều chỉnh.

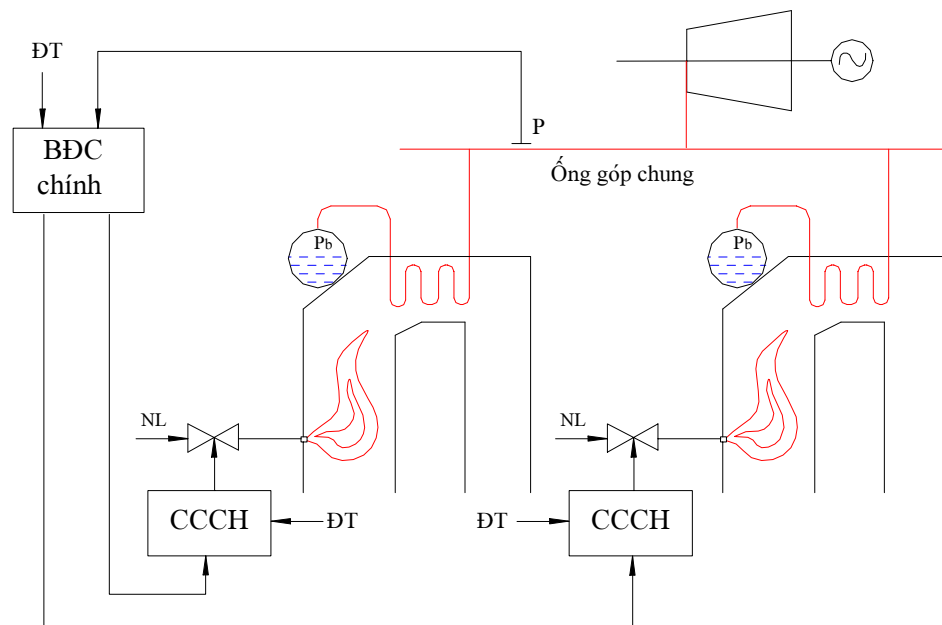
- Trong một số trường hợp để nâng cao chất lượng ta kết hợp bộ điều chỉnh 1 và 3 (hệ thống điều chỉnh phụ tải và tua bin), tức là lấy thông tin áp suất để cấp cho bộ điều chỉnh 3 phương pháp trên chỉ áp dụng đối với tuabin mà mắc vào hệ thống năng lượng lớn (tức là ảnh hưởng của nó không đáng kể cho tần số lưới) và nó không nằm trong chế độ điều chỉnh phụ tải của nhà máy.

2- Các phương pháp khi lò làm việc song song:

Nhiệm vụ của bộ điều chỉnh là tác động lên các lò mà đảm bảo hiệu suất cao

Có các phương pháp sau:

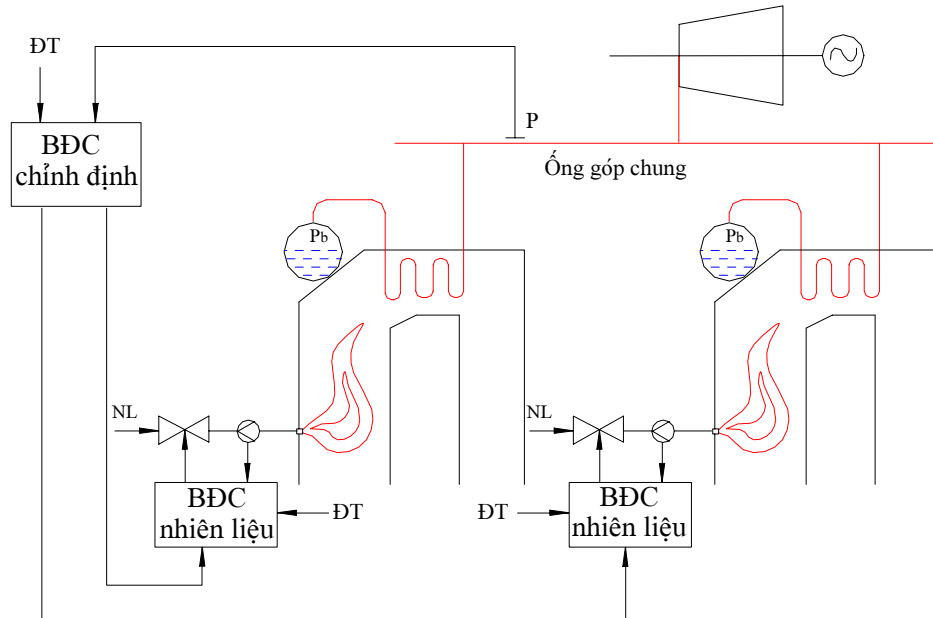
a- Phương pháp dùng bộ điều chỉnh chính:



Trong cơ cấu chấp hành có thêm bộ phận định trị nhờ đó mà ta điều chỉnh theo yêu cầu nhất định.

Nhược: Nếu khi xảy ra sự biến động nhiên liệu trong một lò nào đó => Các lò khác phải nằm trong chế độ không ổn định mặc dù phụ tải của nhà máy vẫn ổn định (tức là nó không khắc phục được nhiễu trong) => ít sử dụng trong thực tế.

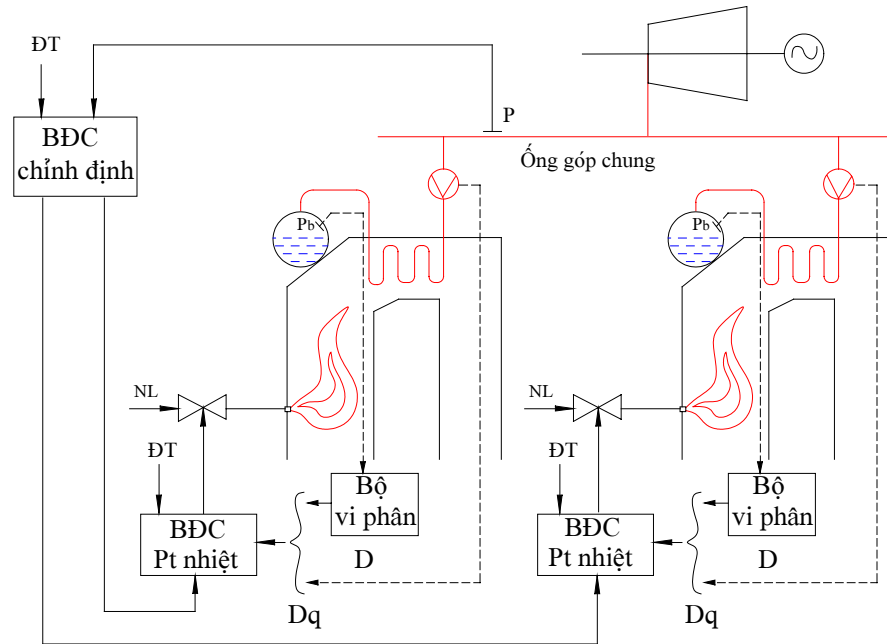
b- Phương pháp dùng bộ điều chỉnh chỉnh định và bộ điều chỉnh nhiên liệu



Thực chất đây là hệ thống điều chỉnh 2 vòng (điều chỉnh tầng)

- Nếu xảy ra biến động nhiên liệu (nhiều trong) thì bộ điều chỉnh nhiên liệu sẽ dập tắt nhiễu trong đó => không ảnh hưởng đến các lò khác.
- Sơ đồ này chỉ áp dụng đối với khi đốt nhiên liệu lỏng và khí vì lúc đó mới dùng phương pháp tiết lưu ($\odot < \circ$) để đo lưu lượng chính xác (còn than bột không đo bằng cách đó)

c- Phương pháp dùng bộ điều chỉnh chỉnh định và bộ điều chỉnh phụ tải nhiệt:



Ta có :

$$\frac{A_p}{i''-i_{nc}} \cdot \frac{dP_{bh}}{dt} = D_q - D \text{ Phụ tải nhiệt } D_q = \frac{Q}{i''-i_{nc}}$$

$$\text{mà } D_q = D + \frac{A_p}{i''-i_{nc}} \cdot \frac{dP_{bh}}{dt} \Rightarrow D_q \sim Q$$

Phương pháp này được dùng rộng rãi đối với nhà máy đốt than.

1.1.4. Điều chỉnh kinh tế quá trình cháy lò

Thực tế là hệ thống điều chỉnh không khí cho lò

$$\text{ta biết rằng : } \eta = \frac{D(i''-i_{nc})}{B \cdot Q_{lv}^t}$$

Vậy điều chỉnh độ kinh tế thì dựa vào hiệu chỉnh hiệu suất nhưng như vậy sẽ gặp nhiều khó khăn

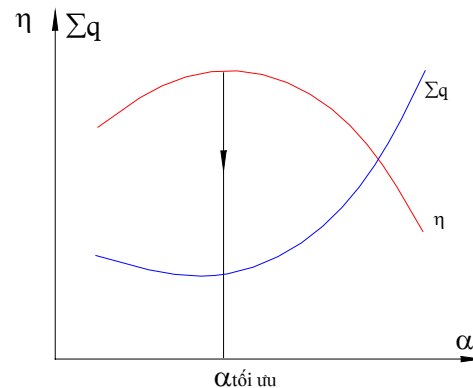
Mặt khác :

ta biết được $\eta = f(\alpha)$ (hệ số không khí thừa)

Vậy để điều chỉnh kinh tế ta căn cứ vào hệ số không khí thừa α và điều chỉnh sao cho $\alpha = \alpha_{\text{tối ưu}}$

Để đánh giá độ không khí thừa α

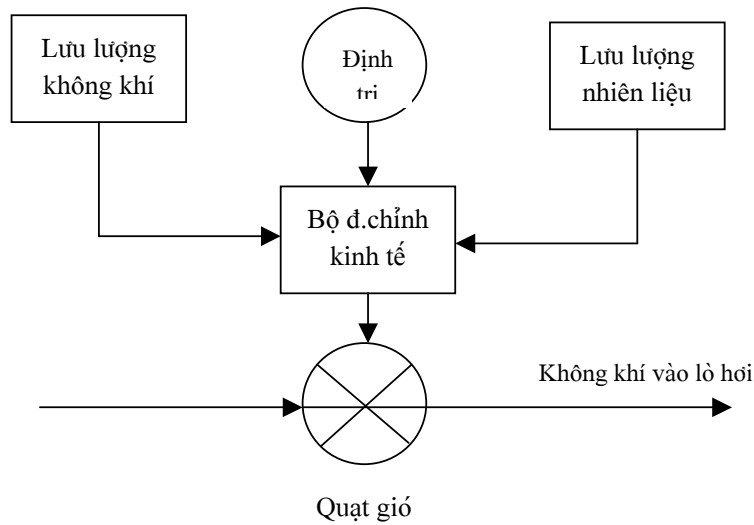
ta có rất nhiều phương pháp, tương ứng các phương pháp ta có các phương án điều chỉnh. (Tại $\alpha_{\text{tối ưu}}$ thì hiệu suất η lớn nhất và tổng tổn thất nhỏ nhất)



1- Căn cứ theo tỷ số nhiên liệu - không khí:

$$Q_{KK} \sim B \quad (Q_{lv} = \text{const})$$

Sơ đồ điều chỉnh:



Có thể căn cứ vào chênh lệch áp suất trước và sau bộ sấy không khí mà ta đo lưu lượng không khí.

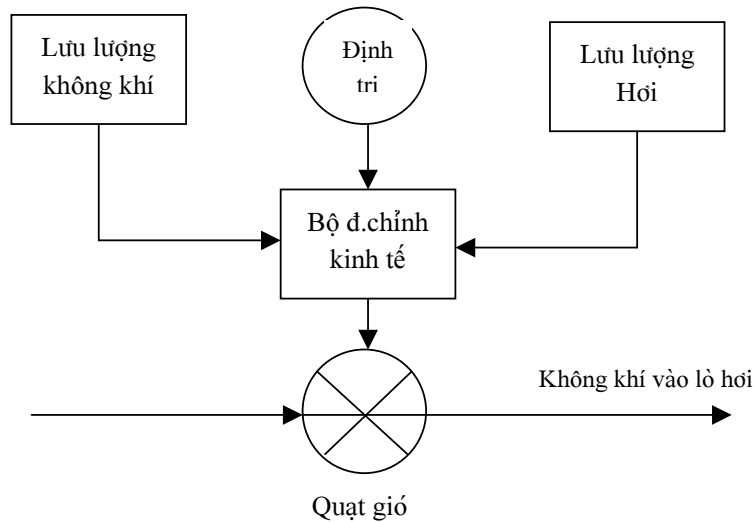
Khi đốt nhiên liệu lỏng hay khí thì ta dùng phương pháp tiết lưu để đo lưu lượng còn nếu đốt than thì ta không sử dụng phương pháp này.

2- Phương pháp điều chỉnh theo tương quan hơi - không khí:

Theo nguyên tắc chung thì để tạo một lượng nhiệt Q thì cần phải lượng không khí như nhau đối với mọi loại nhiên liệu: $Q_{KK} \sim Q = B \cdot Q_{lv} = \frac{D(i' - i_{nc})}{\eta}$

mà trong chế độ tĩnh $i' - i_{nc} = \text{const}$, $\eta = \text{const} \Rightarrow Q_{KK} \sim Q$

Sơ đồ điều chỉnh hơi - không khí:



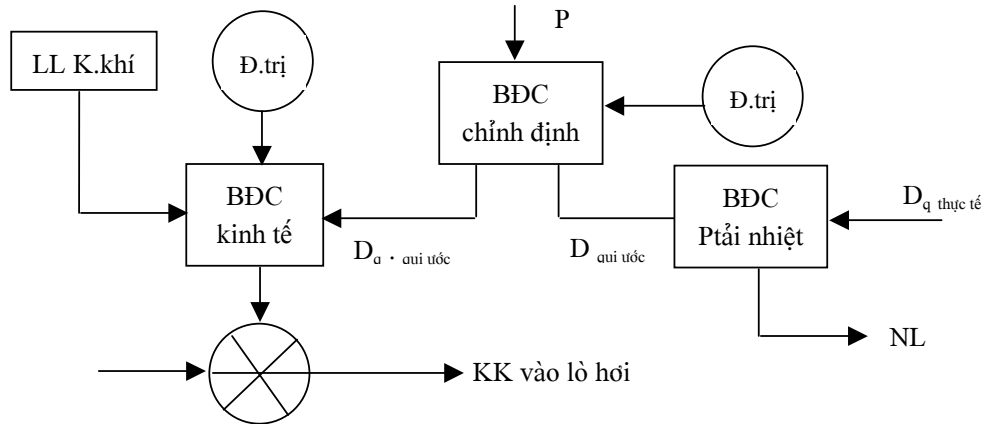
Phương án này chỉ được dùng trong những lò có chế độ xác lập còn những lò nằm trong chế độ điều chỉnh thì phương án này không được sử dụng.

Những lò có công suất lớn thì ta không sử dụng phương án này mà thường áp dụng cho những lò 10 ÷ 20 T/h.

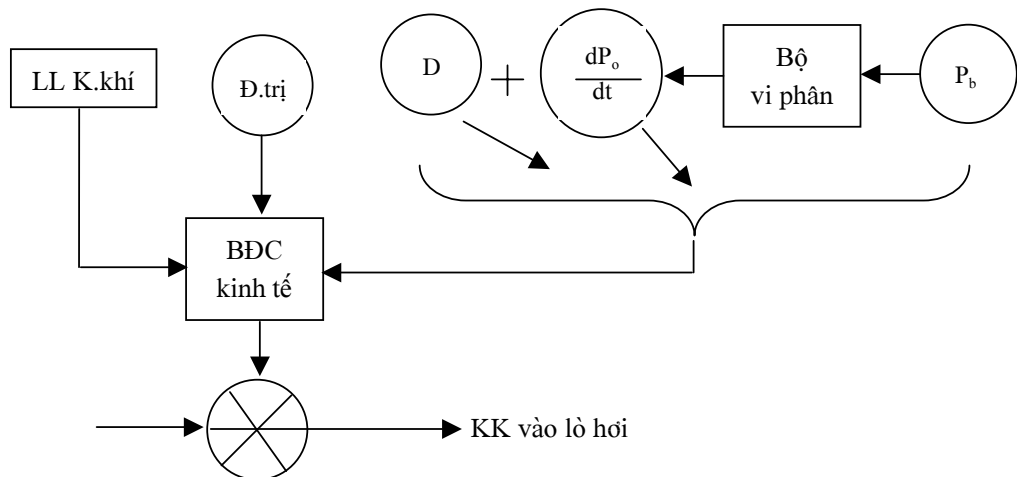
3- Phương án điều chỉnh theo tương quan nhiệt và không khí:

$$Q_{KK} \sim Q = D_q (i'' - i_{nc}) \Rightarrow Q_{KK} \sim D_q$$

+ Bộ điều chỉnh kinh tế dùng chung với bộ điều chỉnh phụ tải lò trong một hệ thống:



+ Phương án độc lập:

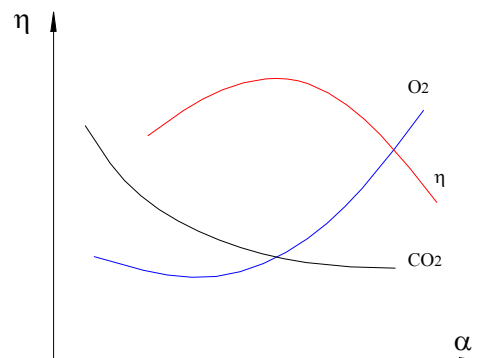


4- Điều chỉnh không khí theo thành phần khối thải:

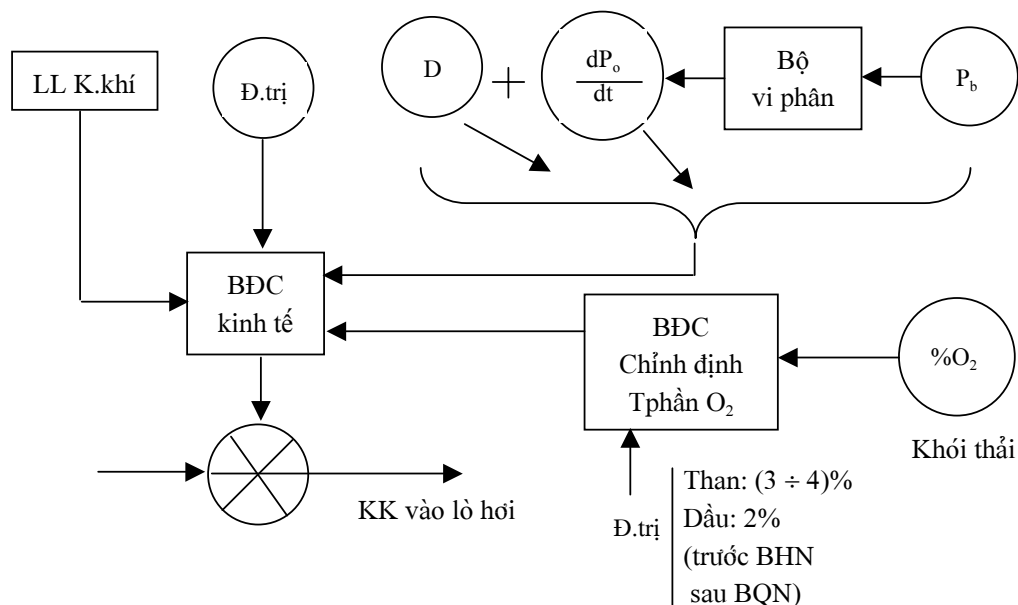
Ta đã biết :

$$\alpha \approx \frac{CO_{2max}}{CO_2} \quad \alpha \approx \frac{21}{21 - O_2}$$

Độ dốc $O_2(\alpha)$ lớn hơn $\Rightarrow$ điều chỉnh theo O_2 nhanh hơn. Mặt khác CO_2 phụ thuộc vào nhiên liệu $\Rightarrow$ Điều chỉnh theo O_2 chính xác, hơn nữa dụng cụ dùng CO_2 phức tạp hơn. Do vậy để điều chỉnh ta căn cứ vào O_2 .



Tuy nhiên các dụng đo khí O_2 chưa hoàn toàn tin cậy. Ngày nay người ta dựa vào tính chất từ tính của O_2 (bị hút về từ trường thuận từ) và khi nhiệt độ cao thì từ tính giảm để đo lưu lượng của O_2 . Do vậy trong thực tế người ta vẫn không dùng O_2 mà chỉ xem nó là tín hiệu phụ để điều chỉnh.

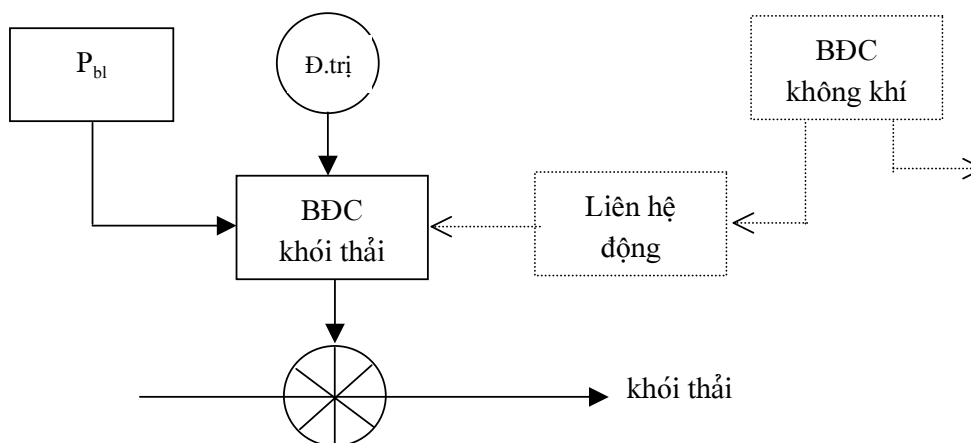


1.1.5. Hệ thống điều chỉnh khối thải

Ta giữ cho $P_{bl} = 3 \div 1 \text{ mm H}_2\text{O}$, P_{bl} là tín hiệu dao động liên tục với tần số $1 \div 2 \text{ Hz}$, nhưng biên độ dao động khối giá trị yêu cầu lớn có thể $5 \div 7 \text{ mmH}_2\text{O}$ so với giá trị định mức $\Rightarrow$ Phải trang bị các thiết bị hoán xung (giảm biên độ dao động). Do P_{bl} nhỏ nên ta không thể dùng bộ điều chỉnh P vì có ϕ dư mà dùng bộ điều chỉnh I hoặc PI (ϕ dư = 0)

Đây là đối tượng có tự cân bằng nên ta chỉ sử dụng qui luật I là đủ

Để điều chỉnh chân không buồng lửa ta dùng phương án sau:



Trong một số trường hợp để tăng chất lượng ta dùng phương án b có thêm phần (...) ta thêm phần liên hệ động chỉ xảy ra trong quá trình quá độ, còn ở chế độ xác lập nó bị mất đi theo thời gian (và có hướng tức là không có tác động ngược lại).

1.2. Hệ thống điều chỉnh tự động nhiệt độ hơi quá nhiệt

1.2.1. Yêu cầu đối với hệ thống điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt

Nhiệt độ hơi quá nhiệt phải giữ trong một giới hạn nào đó giới hạn trên bị khống chế (điều kiện khắc khe) và giới hạn dưới cũng bị hạn chế $\Rightarrow$ yêu cầu không được phép vượt quá nhiệt độ cho phép $\pm 5^{\circ}\text{C}$ trong thực tế ($\pm 10^{\circ}\text{C}$). Vì khi nhiệt độ giảm $10^{\circ}\text{C} \Rightarrow \eta$ giảm 0,5% và η phát điện giảm 1,5%

1.2.2. Đặc tính của lò xét theo quan điểm điều chỉnh nhiệt độ

- Đặc tính tĩnh: Quan hệ nhiệt độ quá nhiệt với các thông số khác ở chế độ xác lập.
- Đặc tính động: Chính là sự thay đổi theo thời gian của nhiệt độ khi có các nhiễu P thay đổi ; Q(t) thay đổi.

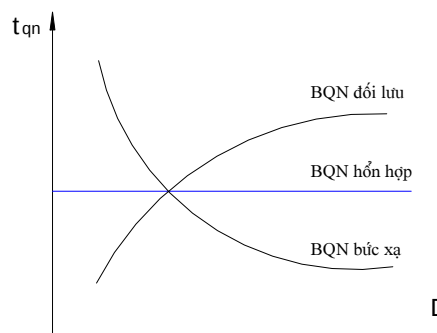
1. Ảnh hưởng phụ tải đến nhiệt độ hơi quá nhiệt

D thay đổi (tăng) $\rightarrow$ t_{qn} thay đổi (tăng)
(nếu bộ quá nhiệt đối lưu hoàn toàn).

Còn ở bộ quá nhiệt bức xạ hoàn toàn

$\Rightarrow$ D thay đổi (tăng) $\rightarrow$ nhiệt độ quá nhiệt giảm.

Vậy ta kết hợp khéo léo giữa BQN bức xạ và đối lưu thì ta khử được ảnh hưởng của phụ tải đến nhiệt độ quá nhiệt.



2. Ảnh hưởng của sự bám cặn xỉ đến nhiệt độ quá nhiệt

Có đóng xỉ $\rightarrow$ nhiệt độ hơi quá nhiệt tăng

3. Ảnh hưởng của nhiệt độ nước cấp

Nhiệt độ nước cấp giảm $\Rightarrow$ D giảm nếu cường độ hấp thụ bộ quá nhiệt không đổi $\Rightarrow$ nhiệt độ hơi quá nhiệt giảm

4. Ảnh hưởng của hệ số không khí thừa α

Giống phụ tải phụ thuộc vào bộ quá nhiệt là đối lưu hay bức xạ

5. Ảnh hưởng của than

Mịn $\rightarrow$ nhiệt độ hơi quá nhiệt nhỏ

Thô $\rightarrow$ ngọn lửa cao $\rightarrow$ nhiệt độ quá nhiệt tăng

6. Ảnh hưởng phân ly hơi

làm việc kém $\rightarrow$ nhiệt độ quá nhiệt giảm

Vậy khi thay đổi:

- Nhiệt hàm của hơi
- Lượng nhiệt của nó hấp thụ
- Lưu lượng hơi

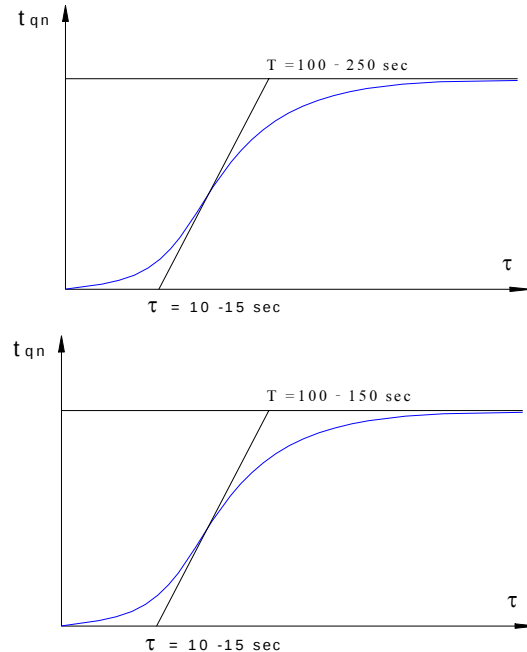
thì nhiệt độ hơi quá nhiệt thay đổi

* Đặc tính động:

Đặc tính động tức là sự thay đổi nhiệt hàm của hơi và nhiệt độ hơi quá nhiệt theo thời gian.

=> nhiệt độ quá nhiệt thay đổi như hình vẽ bên. Khi chấn động đầu vào là lượng nhiệt mà bộ quá nhiệt hấp thụ được đặc tính có dạng sau: τ giảm nhiều = 10 ÷ 15 [sec] (thực chất độ quán tính này là không phải của bộ quá nhiệt mà là của quá trình).

- Khi D thay đổi theo thời gian, ta không xét vì không thể sử dụng nó để điều chỉnh vì D là đại lượng đo tua bin quyết định.



1.2.3. Các sơ đồ điều chỉnh nhiệt độ quá nhiệt

Thực tế nếu không có điều chỉnh nhiệt độ hơi quá nhiệt thì nhiệt độ hơi quá nhiệt sẽ lớn hơn nhiệt độ yêu cầu => quá trình điều chỉnh thực chất là giảm nhiệt độ hơi quá nhiệt xuống. Do đó trong thực tế ta dùng các bộ giảm ôn.

* Khi đặt bộ giảm ôn ở cuối thì thời gian điều chỉnh nhanh chóng nhưng có một đoạn ống phải chịu nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ yêu cầu => ảnh hưởng đến sự làm việc của bộ quá nhiệt.

* Nếu đặt bộ giảm ôn ngay đầu vào

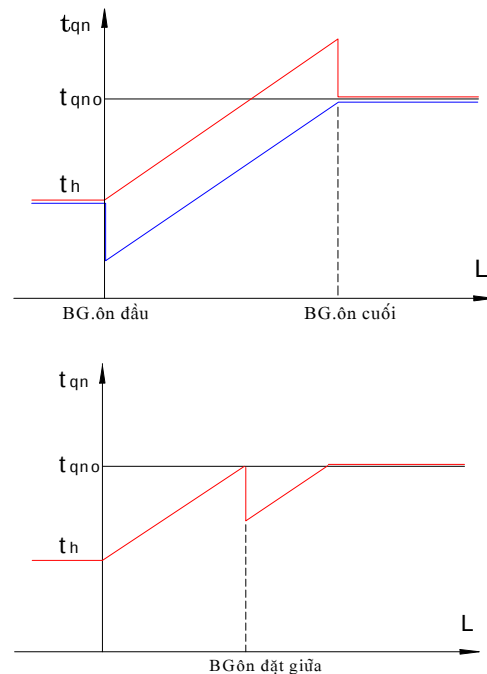
+ Bảo vệ được bộ quá nhiệt.

+ Nhưng quán tính của quá trình điều chỉnh lớn => chậm trễ => chất lượng quá trình điều chỉnh không tốt.

+ Mặt khác nếu phun nhiều quá => gây hiện tượng ngưng tụ trong bộ quá nhiệt.

* Đặt bộ giảm ôn ngay lúc nhiệt độ quá nhiệt lên đến thời gian yêu cầu (giữa)

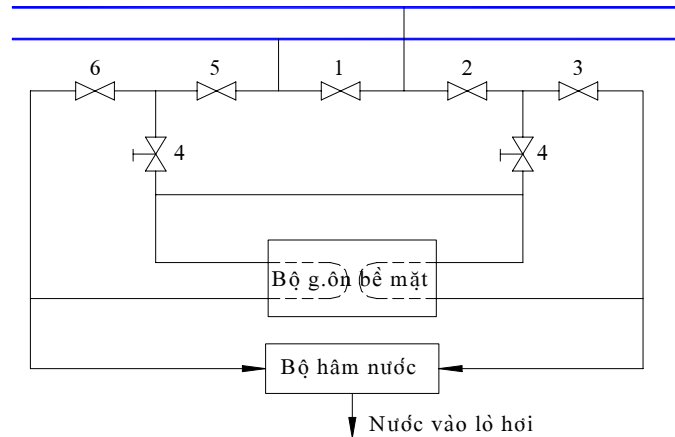
* Trong thực tế (NMĐ Phá Lại) ta



Các loại bộ giảm ôn

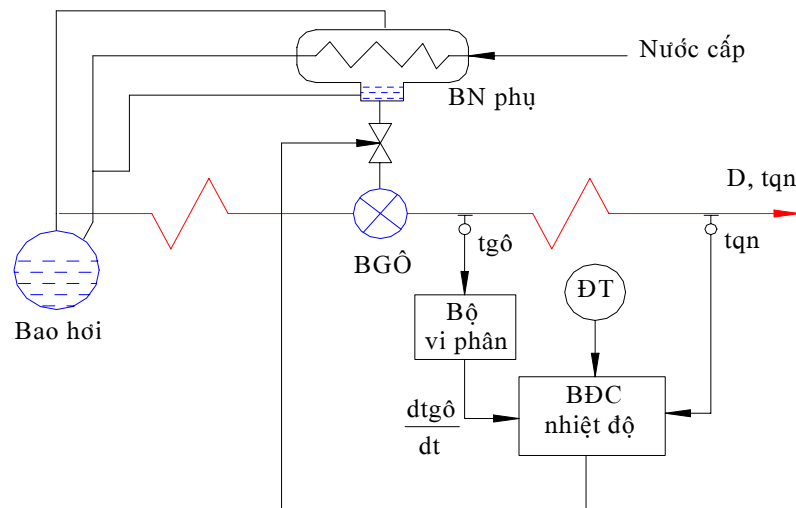
- Có hai loại giảm ôn: - Giảm ôn bề mặt
- Giảm ôn kiểu hỗn hợp

* Giảm ôn kiểu bề mặt:



Điều chỉnh lượng nước đi vào bộ giảm ôn $\Rightarrow$ BDC tác động vào van 4 nhưng khi thay đổi độ mở van 4 $\Rightarrow$ áp suất sau van 2 thay đổi $\Rightarrow$ trở lực $\Rightarrow$ thay đổi lượng nước vào lò $\Rightarrow$ ảnh hưởng điều kiện cấp nước $\Rightarrow$ giữa lượng nước điều chỉnh và nước và cấp ảnh hưởng nhau. Thường để điều chỉnh $\Delta t = 15 \div 20^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta W = 30 \div 40 \%W$. Quán tính quá trình điều chỉnh lớn $\Rightarrow$ chất lượng điều chỉnh kém.

* Giảm ôn kiểu hỗn hợp: (kiểu tia phun)



Thường phun $5 \div 6\% D_{\max} \Rightarrow$ điều chỉnh được $\Delta t = 50 \div 60^\circ\text{C}$ (vòng nhỏ nhằm giảm thời gian điều chỉnh). Sơ đồ này nói chung có đặc tính động tốt nên hay dùng, tách hẳn hai hệ thống nước cấp và nhiệt độ quá nhiệt.

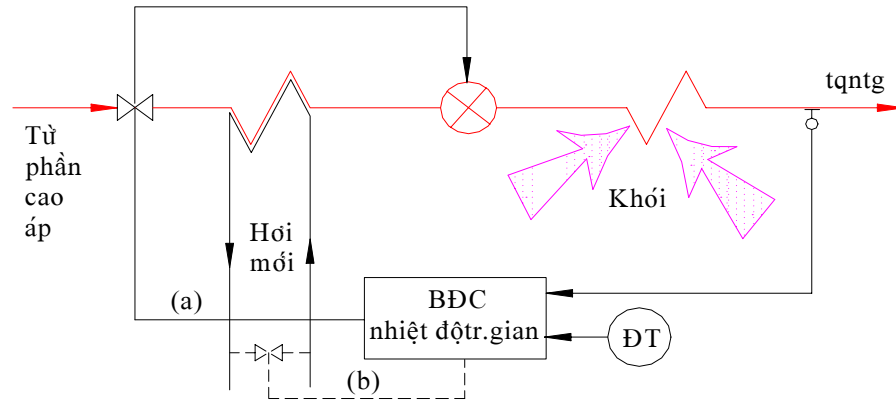
Do dùng nước phun thẳng bộ quá nhiệt => chất lượng nước phải cao => phải thêm bình ngưng phụ.

Nếu áp lực không đủ đưa nước vào => sử dụng các bơm phụ (thường chiếm 10% so với công suất cực đại của lò).

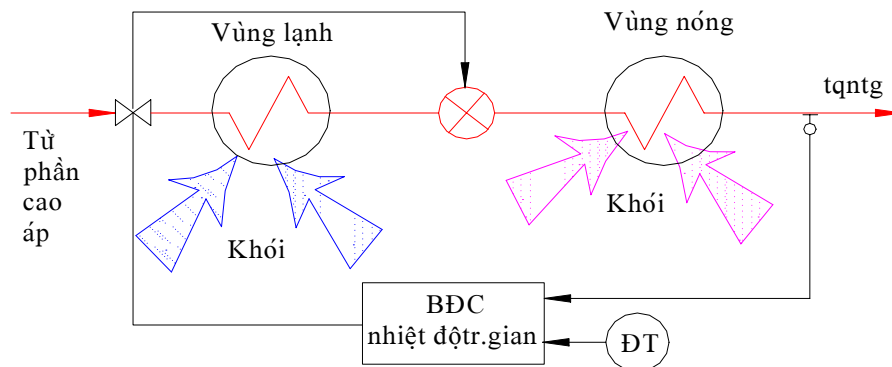
1.2.4. Sơ đồ điều chỉnh nhiệt độ quá nhiệt trung gian

Ta không dùng giảm ôn kiểu hỗn hợp như hơi quá nhiệt.

1.2.4.1. Dùng hơi mới: (kiểu hơi - hơi)



1.2.4.2. Kiểu khói - hơi:



Kiểu này vùng điều chỉnh lớn hơn và kinh tế hơn.

Ta thường trang bị bộ điều chỉnh sự cố có tác dụng làm giảm (bằng cách phun) nhiệt độ quá nhiệt thời gian khi nó lớn phạm vi điều chỉnh.

1.3. Hệ thống điều chỉnh cấp nước

1.3.1. Đặc tính của lò xét theo quan điểm điều chỉnh mức nước

$$\Delta H = \pm 75 \div 100 \text{ mm}$$

Mức nước thay đổi do nhiều nguyên nhân:

- + D thay đổi
- + W thay đổi (nước cấp)
- + P thay đổi

Thường có 2 đường cấp nước (chính và dự phòng), do đó bộ điều chỉnh cũng có BDC chính và BDC dự phòng

Nguyên nhân chính làm thay đổi mức nước bao hơi do sự tương quan cân bằng vật chất giữa D - W.

Tương quan giữa hỗn hợp nước và hơi trong phần sinh hơi thay đổi theo phương trình:

$$F(\gamma' - \gamma'') \cdot \frac{dH}{dt} = W - D$$

F - diện tích bề mặt bốc hơi

γ' , γ'' - trọng lượng riêng của nước và hơi

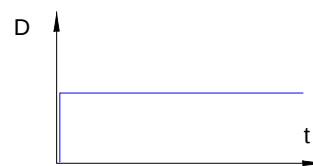
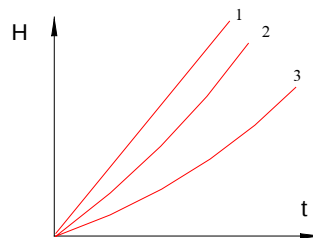
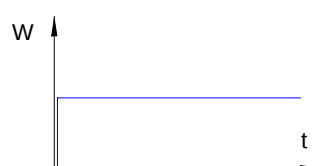
Vậy xét theo quan điểm điều chỉnh mức

nước thì đây là khâu không có tự cân

bằng (khâu tích phân) hình vẽ.

Trường hợp D = const (W tăng)

- 1- Lý thuyết
- 2- Thực tế đối với BHN kiểu không sôi
- 3- BHN kiểu sôi



Nếu D thay đổi (tăng)

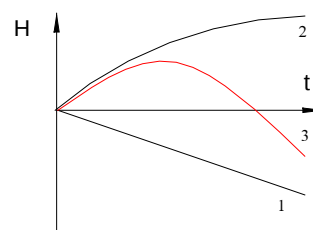
- 1- Lý thuyết
- 2- Mức nước khi sôi bùng
- 3- Mức nước thực tế

Nhưng thực tế có hiện tượng sôi bùng

=> mức nước trong bao hơi tăng lên (H_2)

=> mức nước thực tế của lò là (H)

Vậy lò là đối tượng phức tạp, do đó khi vận hành thường xảy ra độ sai lệch lớn.



1.3.2. Các sơ đồ điều chỉnh

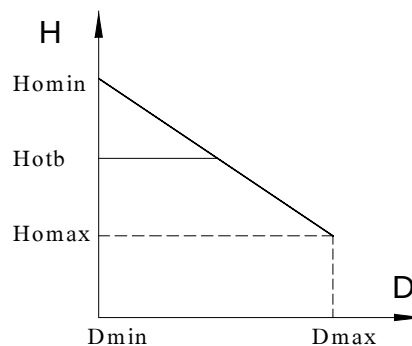
1- Sơ đồ 1 dung lượng (thông tin H)

Ta dùng bộ điều chỉnh tỷ lệ P

$$H_{\text{omim}} - H_{\text{omax}} = \Delta H$$

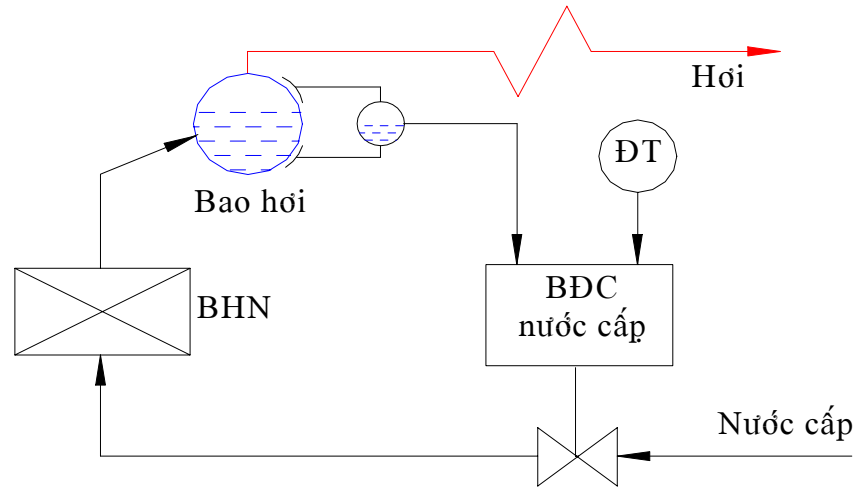
$$\frac{\Delta H}{H_{\text{otb}}} = \delta\% - \text{bộ không đồng đều của BDC}$$

$\Delta H > 0$ - bộ có độ không đồng đều dương



$$\Rightarrow \Delta\mu = -a_1 \cdot \Delta H$$

Sơ đồ trên chỉ áp dụng khi hiện tượng sôi bùng không ảnh hưởng đến thay đổi H.

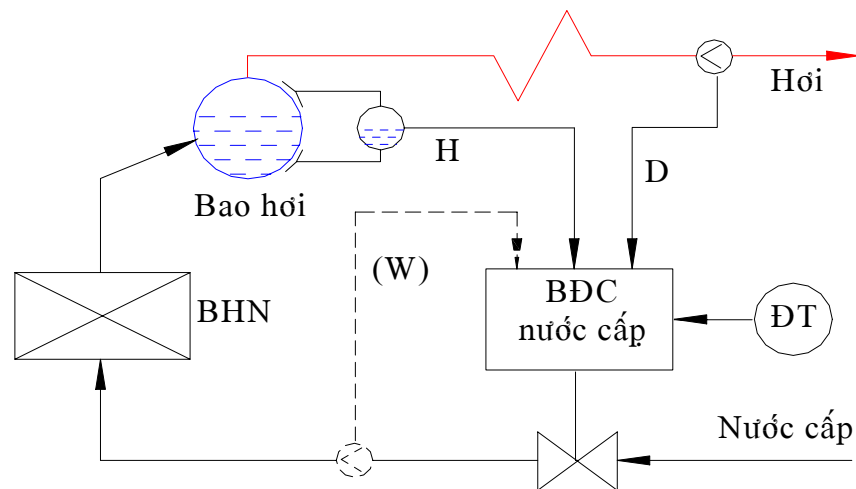


2- Sơ đồ 2 dung lượng

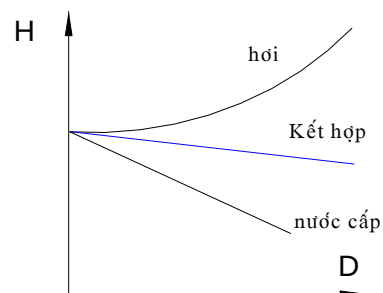
Ngoài tín hiệu mức nước còn lấy thông tin nữa là D

$$\Delta\mu = -a_1 \cdot \Delta H + a_2 \cdot D$$

Nếu theo phụ tải hơi thì mức nước có độ không đồng đều âm.



Nếu kết hợp tương ứng thông tin về hơi và mức nước $\Rightarrow$ ta có đặc tính là đường thẳng (tốt) $\Rightarrow$ Chất lượng điều chỉnh tốt và áp dụng cho lò có hiện tượng sôi bùng.



3- Sơ đồ 3 dung lượng

Trong một số trường hợp áp suất van nước cấp thay đổi $\Rightarrow$ W thay đổi $\Rightarrow$ ta đưa thêm vào tín hiệu nữa là W.

Thêm phần (..) của sơ đồ 2 dung lượng

$$\text{Phương trình } \Delta\mu = -a_1.\Delta H + a_2.D - a_3.W$$

(Nếu đảm bảo cân bằng vật chất thì hai tín hiệu D và W xem như không có).

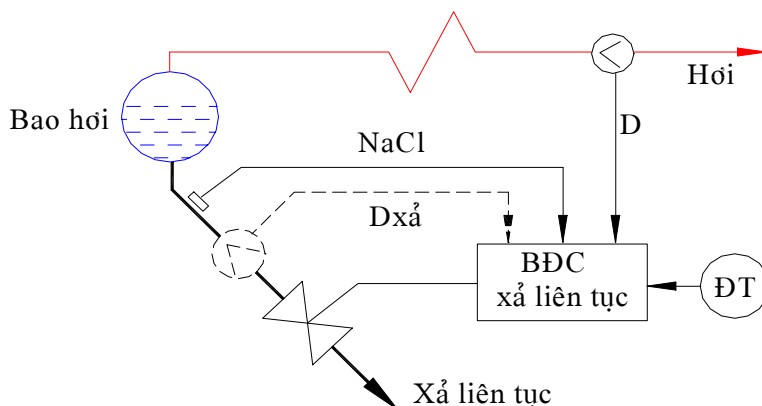
+ Phổ biến nhất trong các nhà máy điện và bộ điều chỉnh bộ điều chỉnh tỷ lệ tích phân PI.

1.4. Hệ thống điều chỉnh tự động chất lượng nước

Hay đây là hệ thống điều chỉnh xả liên tục. Chất lượng nước phụ thuộc nồng độ muối và axit trong nước, các muối này lắng lại trong bao hơi. Do đó để đảm bảo chất lượng nước ta phải xả nước đọng trong bao hơi. Thường $D_{xả} = 0,5 \div 2\% D_{max}$

Để điều chỉnh mức xả ta có các phương án:

1.4.1. Sơ đồ 2 xung lượng (2 tín hiệu): NaCl, D



1.4.2. Sơ đồ 3 tín hiệu: NaCl, D, Dxả

(có thêm đường (..))

Thông thường bằng thực nghiệm XD tương quan $D = f(D_{xả})$

Đảm bảo chất lượng $\Rightarrow$ thường dùng.

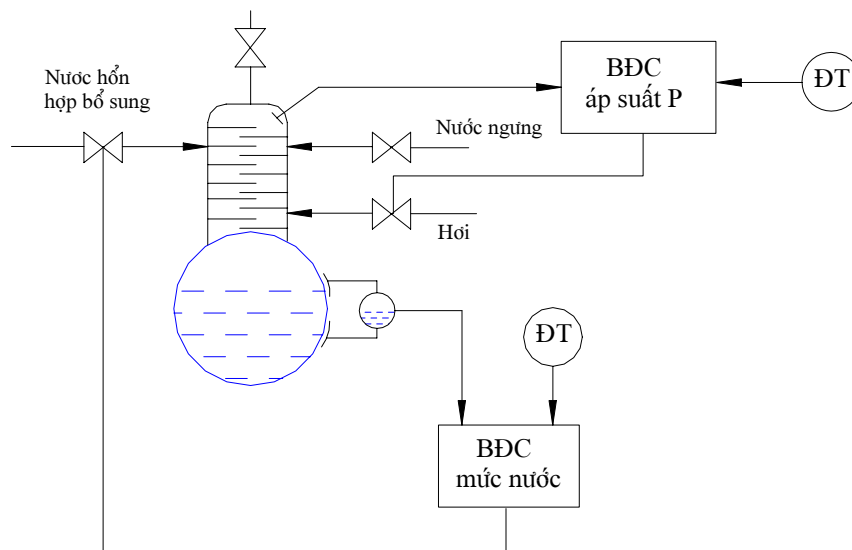
CHƯƠNG 2: MỘT SỐ HỆ THỐNG ĐIỀU CHỈNH THIẾT BỊ PHỤ TRONG PHÂN XỬNG TUỐC BIN



2.1. Hệ thống tự động bình khử khí

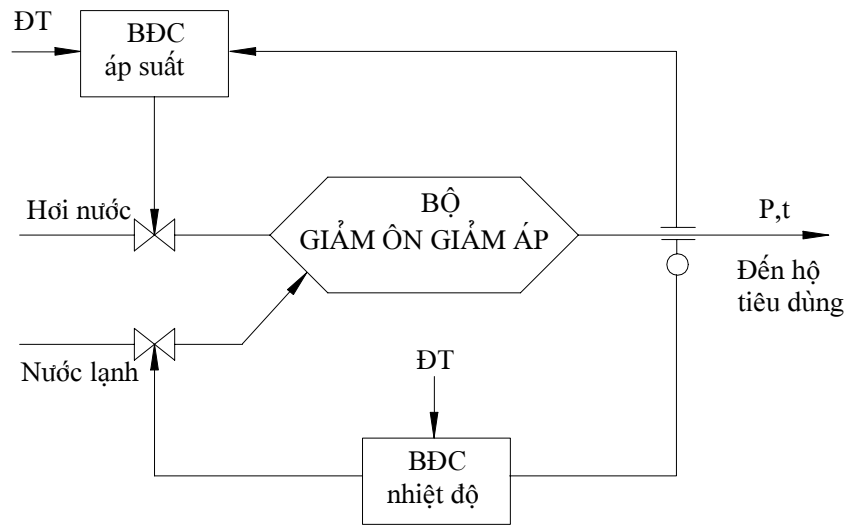
Phải giữ môi chất trong bình ở trạng thái bão hòa $\Rightarrow$ ta phải giữ các thông số: nhiệt độ bão hòa t_{bh} (P_{bh}) và mức nước H .

Mà quán tính của nhiệt độ lớn hơn quán tính của áp suất nên ta thường lấy tín hiệu là **P_{bh}** (mặt khác vì P_{bh} phân bố đều hơn).



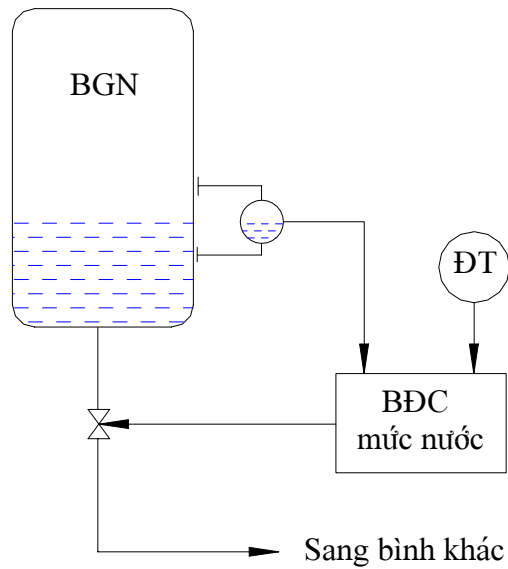
Hệ thống điều chỉnh mức nước H trong bình khử khí.

2.2. Hệ thống điều chỉnh tự động bộ giảm ôn giảm áp

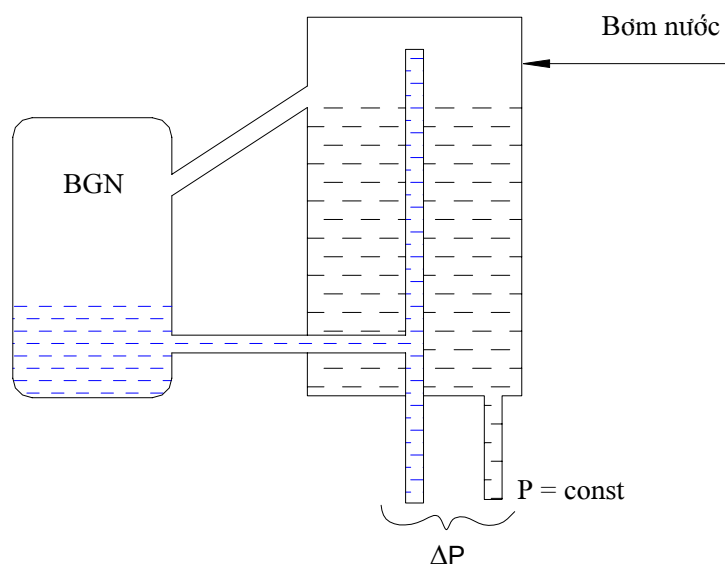


2.3. Hệ thống điều chỉnh tự động bình gia nhiệt

Thông số điều chỉnh là mức nước trong bình gia nhiệt



Để đo mức nước phải dùng phương pháp khác:



CHƯƠNG 3: TỰ ĐỘNG HOÁ HỆ THỐNG LẠNH

3.1. Yêu cầu, nhiệm vụ và phân loại

3.1.1. Mở đầu

Tự động hoá hệ thống lạnh là trang bị cho hệ thống lạnh, các dụng cụ mà nhờ những dụng cụ đó có thể vận hành toàn bộ hệ thống lạnh hoặc từng phần thiết bị một cách tự động, chắc chắn, an toàn và với độ tin cậy cao mà không cần sự tham gia trực tiếp của công nhân vận hành.

Càng ngày các thiết bị tự động hóa càng được phát triển và hoàn thiện, việc vận hành hệ thống lạnh bằng tay càng được thay thế bằng các hệ thống tự động hóa một phần hoặc toàn phần. Các hệ thống lạnh cỡ nhỏ và trung thường được tự động hóa hoàn toàn, hoạt động tự động hàng tháng thậm chí hàng năm không cần công nhân vận hành. Các hệ thống lạnh lớn đều có trung tâm điều khiển, điều chỉnh, báo hiệu và bảo vệ.

Khi thiết kế một hệ thống lạnh bao giờ cũng phải thiết kế theo phụ tải lạnh lớn nhất ở chế độ vận hành không thuận lợi nhất như mức nhập hàng là cao nhất, tầng số mở cửa buồng lạnh là cao nhất, khí hậu khắc nghiệt nhất... nên phần lớn thời gian trong năm hệ thống lạnh chỉ chạy với một phần tải.

Mặt khác, khi thiết kế hệ thống lạnh phần lớn các thiết bị được lựa chọn từ các sản phẩm đã được chế tạo sẵn, do đó sự phù hợp giữa các thiết bị trong hệ thống máy nén chỉ ở mức độ nhất định, do đó các thiết bị tự động cần phải tạo ra sự hoạt động hài hòa giữa các thiết bị và đáp ứng nhu cầu lạnh tương xứng với các điều kiện vận hành do bên ngoài tác động vào như điều kiện thời tiết, xuất nhập hàng...

Nói tóm lại, trong quá trình vận hành hệ thống lạnh, nhiệt độ của đối tượng cần làm lạnh thường bị biến động do tác động của những dòng nhiệt khác nhau từ bên ngoài vào hoặc từ bên trong buồng lạnh. Giữ cho nhiệt độ này không đổi hay thay đổi trong phạm vi cho phép là một nhiệm vụ của điều chỉnh máy lạnh. Đôi khi việc điều khiển những quá trình công nghệ lạnh khác nhau lại phải làm thay đổi nhiệt độ, độ ẩm và đại lượng vật lý khác theo một chương trình nhất định.

Hệ thống tự động có chức năng điều khiển toàn bộ sự làm việc của máy lạnh, duy trì được chế độ vận hành tối ưu và giảm tổn hao sản phẩm trong phòng lạnh.

Bên cạnh việc duy trì tự động các thông số (nhiệt độ, áp suất, độ ẩm, lưu lượng, mức lỏng...) trong giới hạn đã cho, cũng cần bảo vệ hệ thống thiết bị tránh chế độ làm việc nguy hiểm. Đây chính là yêu cầu bảo vệ của hệ thống tự động.

Tự động hóa sự làm việc của hệ thống lạnh có ưu điểm so với điều chỉnh bằng tay là giữ ổn định liên tục chế độ làm việc hợp lý. Ưu điểm này kéo theo một loạt ưu điểm về tăng thời gian bảo quản, nâng cao chất lượng sản phẩm, giảm tiêu hao điện năng, tăng tuổi thọ và độ tin cậy của máy và thiết bị, giảm chi phí nước làm mát, giảm chi phí vận hành và chi phí lạnh cho một đơn vị sản phẩm góp phần hạ giá thành sản

phẩm... Việc bảo vệ tự động cũng được thực hiện nhanh, nhạy, đảm bảo và tin cậy hơn thao tác của con người.

Tuy vậy việc trang bị hệ thống tự động cũng chỉ hợp lý khi hạch toán kinh tế là có lợi hoặc do có nhu cầu tự động hóa vì không thể điều khiển bằng tay do tính chính xác của quá trình, lý do khác cũng có thể là công nghệ đòi hỏi phải thực hiện trong môi trường độc hại hoặc dễ cháy nổ, nguy hiểm...

Trong tất cả các quá trình tự động hóa điều khiển, điều chỉnh, báo hiệu, báo động và bảo vệ thì quá trình tự động điều chỉnh là có ý nghĩa hơn cả.

3.1.2. Yêu cầu và nhiệm vụ

Nói chung, các hệ thống lạnh cần có các thiết bị tự động để điều chỉnh các đại lượng chủ yếu: nhiệt độ, áp suất, độ ẩm, mức lỏng hoặc lưu lượng... Các thiết bị bảo vệ có thể thêm độ kín và độ tinh khiết..., nhưng ở đây không hề có sự liên quan tới vấn đề điều chỉnh. Các công tác tự động hóa điều khiển, điều chỉnh, báo hiệu và bảo vệ của các hệ thống lạnh khá phức tạp nên sơ đồ điều khiển điện ở đây phức tạp hơn nhiều so với chính hệ thống lạnh.

Đối với hệ thống lạnh nên hơi những yêu cầu và nhiệm vụ chính đặt ra cho công tác tự động hoá là:

a) Máy nén

Bảo vệ quá tải: dòng điện, nhiệt độ cuộn dây động cơ, nhiệt độ các chi tiết chuyển động của máy nén, nhiệt độ dầu, nhiệt độ đầu đẩy, áp suất đầu đẩy quá cao, áp suất hút quá thấp, lưu lượng khối lượng quá cao, hiệu áp suất dầu quá nhỏ, dòng khởi động, tải khởi động quá lớn, mất pha, không đối xứng pha... Điều chỉnh năng suất lạnh phù hợp với yêu cầu. Đối với máy nén công nghiệp cần điều chỉnh và bảo vệ nước làm mát máy nén như nhiệt độ nước, lưu lượng nước...

b) Thiết bị ngưng tụ

Điều chỉnh thiết bị ngưng tụ có thể phân làm 2 loại chủ yếu :

- Bình ngưng làm mát bằng nước : điều chỉnh áp suất ngưng tụ, điều chỉnh lưu lượng nước làm mát (vận hành kinh tế).
- Dàn ngưng làm mát bằng không khí : lưu lượng không khí, giữ áp suất ngưng tụ tối thiểu.

Ngoài ra là thiết bị điều chỉnh mức lỏng trong bình ngưng hoặc bình chứa để cấp lỏng cho dàn bay hơi (van điều chỉnh kiểu phao áp suất cao).

c) Thiết bị bay hơi

Các thiết bị điều chỉnh cho dàn bay hơi gồm các thiết bị cấp lỏng (việc cấp lỏng phải vừa đủ để dàn bay hơi đạt hiệu quả trao đổi nhiệt cao nhất nhưng hơi hút về máy nén vẫn phải ở trạng thái khô, không gây ra va đập thủy lực cho máy nén), điều chỉnh nhiệt độ bay hơi, áp suất bay hơi cũng như việc phá băng cho dàn bay hơi tránh lớp tuyết đóng quá dày cản trở quá trình trao đổi nhiệt.

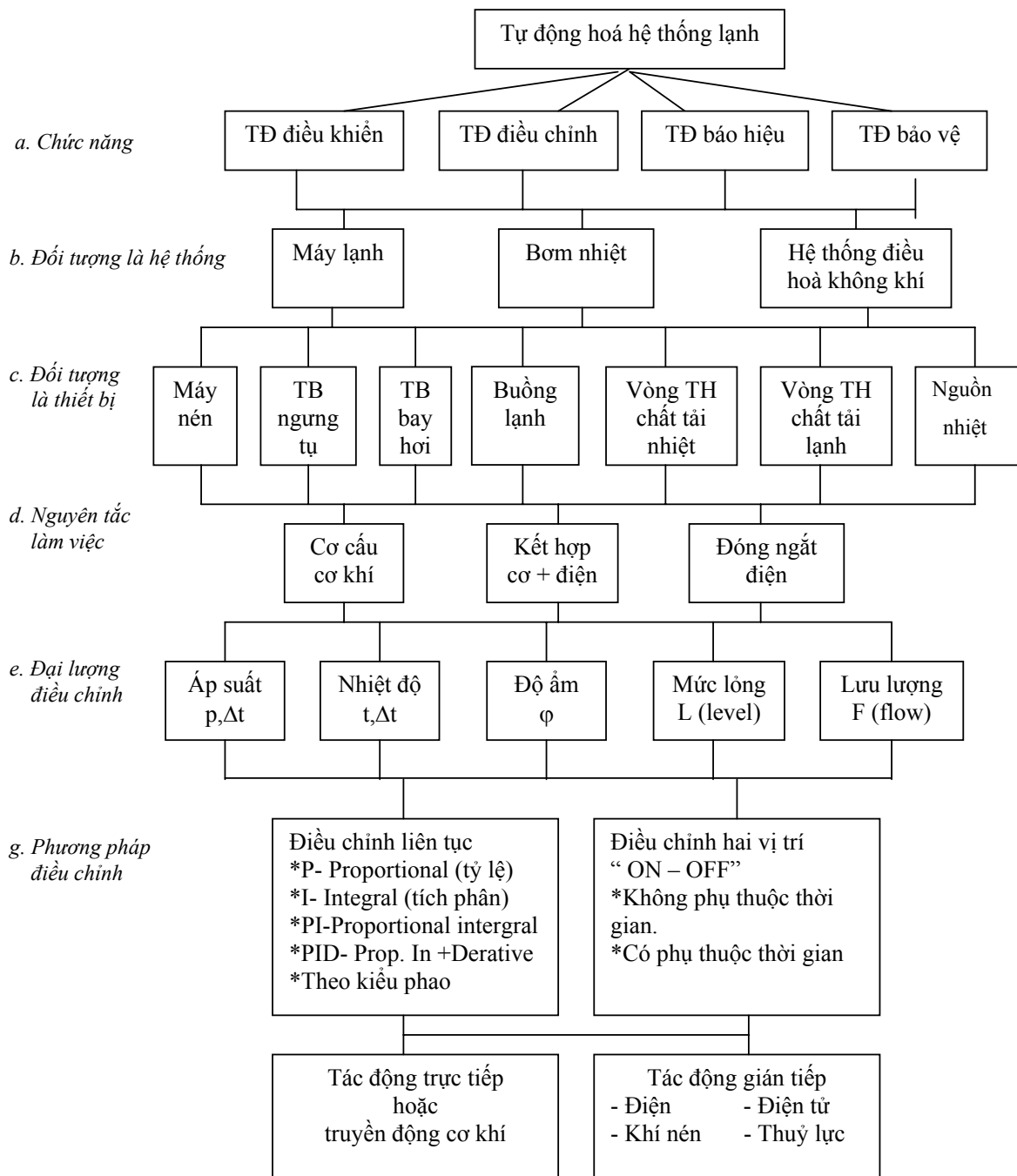
d) Thiết bị tự động cho đối tượng cần làm lạnh

Chủ yếu ở đây là các thiết bị tự động để duy trì nhiệt độ và độ ẩm yêu cầu trong phòng lạnh. Nhiệt độ và độ ẩm phải ổn định không vượt quá giới hạn cho phép.

Thường các thiết bị tự động trên liên quan mật thiết với nhau. Một phần đã được đề cập đến ở chương 1 và chương 2, đặc biệt các thiết bị có liên quan đến điều khiển điện của máy nén, điều khiển tốc độ vòng quay máy nén và điều chỉnh năng suất lạnh của máy nén, phá băng và điều chỉnh nhiệt độ của phòng lạnh... Trong các chương sau chúng ta tiếp tục tìm hiểu sâu hơn về các phần này.

3.1.3. Phân loại

Thiết bị tự động hoá hệ thống lạnh có thể phân loại theo sơ đồ sau:



*h. Nguyên tắc
truyền động*

3.2. Tự động hóa máy nén lạnh

3.2.1. Mở đầu

Nếu so sánh hệ thống với một cơ thể sống thì máy nén quan trọng đối với hệ thống lạnh giống như trái tim của cơ thể sống. Máy nén giữ vai trò quyết định đối với:

- Năng suất lạnh, suất tiêu hao điện năng.
- Tuổi thọ.
- Độ tin cậy và an toàn của hệ thống lạnh.

Chính vì vậy, tự động hóa máy nén lạnh đóng vai trò quan trọng nhất đối với việc tự động hóa hệ thống lạnh.

Tự động hoá máy nén lạnh bao gồm:

- Điều chỉnh tự động năng suất lạnh.
- Điều khiển điện động cơ máy nén và bảo vệ động cơ máy nén.
- Bảo vệ máy nén khỏi các chế độ làm việc nguy hiểm như áp suất đầu đẩy quá cao, áp suất hút quá thấp, hiệu áp suất đầu quá thấp, nhiệt độ đầu đẩy quá cao, nhiệt độ dầu quá cao, mức dầu trong các te quá cao hoặc quá thấp, thiếu nước làm mát đầu xilanh, nhiệt độ nước vào làm mát đầu xilanh quá cao...
- Báo hiệu chế độ dừng, làm việc cũng như báo hiệu và báo động các chế độ làm việc bình thường, nguy hiểm cũng như sự cố.

3.2.2. Điều chỉnh năng suất lạnh máy nén pittông

Năng suất lạnh của máy nén cũng như của hệ thống lạnh bao giờ cũng được thiết kế theo giá trị cực đại, ở điều kiện vận hành khắc nghiệt nhất nên đại đa số thời gian vận hành là thừa năng suất. Điều chỉnh năng suất lạnh nhằm mục đích vận hành một cách tối ưu và kinh tế, duy trì nhiệt độ yêu cầu trong buồng lạnh không đổi ở các điều kiện vận hành thay đổi.

Điều chỉnh năng suất lạnh máy nén pittông có những phương pháp cơ bản sau:

- 1- Đóng ngắt máy nén “ON-OFF”.
- 2- Tiết lưu hơi hút.
- 3- Bypass tự động hay xả hơi nóng ở đường đẩy quay trở lại đường hút theo nhánh phụ.
- 4- Vô hiệu hóa từng xilanh hoặc từng cụm xilanh trên một máy nén nhiều xilanh.
- 5- Thay đổi vòng quay trục khuỷu của máy nén.

Chọn phương pháp điều chỉnh năng suất lạnh nào là tùy thuộc vào tính chất của đối tượng làm lạnh, độ chính xác nhiệt độ cần duy trì trong buồng lạnh, kiểu loại máy nén, phương pháp truyền động, đặc điểm cấu tạo máy nén... Khi điều chỉnh năng suất lạnh, có thể giảm số lần khởi động xuống đáng kể, giảm hao mòn cho các cơ cấu truyền động. Động

cơ cũng làm việc ở chế độ thuận lợi hơn nên khả năng kéo dài tuổi thọ động cơ lớn. Bảng giới thiệu về đặc điểm, cấu tạo và phương pháp điều chỉnh năng suất lạnh của các cỡ máy lạnh khác nhau.

Đặc điểm cấu tạo và phương pháp điều chỉnh năng suất lạnh theo cỡ máy nén

<i>S T T</i>	<i>Cỡ máy nén</i>	<i>Van công tác kiểu</i>	<i>Nguyên tắc điều chỉnh năng suất lạnh</i>	<i>Tác động</i>	<i>Cấp điều chỉnh</i>	<i>Công tổn hao</i>
1	Máy nén nhỏ	Lá	Đóng - ngắt ON-OFF	Động cơ truyền động	2 vị trí ON-OFF	Công khởi động
2	Máy nén đến 20 kW	Lá	Tiết lưu đường hút	Đường ống hút	Vô cấp	Tổn thất ma sát; Tổn thất tiết lưu
3	Máy nén đến 20 kW	Lá	Tiết lưu từ đường đẩy về đường hút	Bypass	Vô cấp	Toàn bộ công suất dư
4	Máy nén đến 70 kW	Lá	Thông khoang hút và đẩy	Bypass	Như số xilanh hoặc từng cụm xilanh	Tổn thất ma sát; Tổn thất hiệu áp van
5	Máy nén đến 70 kW	Lá	Xả ngược	Ống xả ngược	Như số xilanh	Ma sát
6	Máy nén lớn	Lá	Xả ngược	Van hút	Như số xilanh hoặc cụm xilanh	Ma sát

3.2.2.1. Đóng ngắt máy nén “ON-OFF”

Phương pháp đóng ngắt máy nén kiểu điều chỉnh hai vị trí ON-OFF thường sử dụng các hệ thống lạnh nhỏ và rất nhỏ, động cơ máy nén thường nhỏ hơn 20 kW. Ứng dụng đặc biệt rộng rãi cho các tủ lạnh gia đình, thương nghiệp, buồng lạnh lắp ghép, các loại máy điều hòa nhiệt độ phòng...

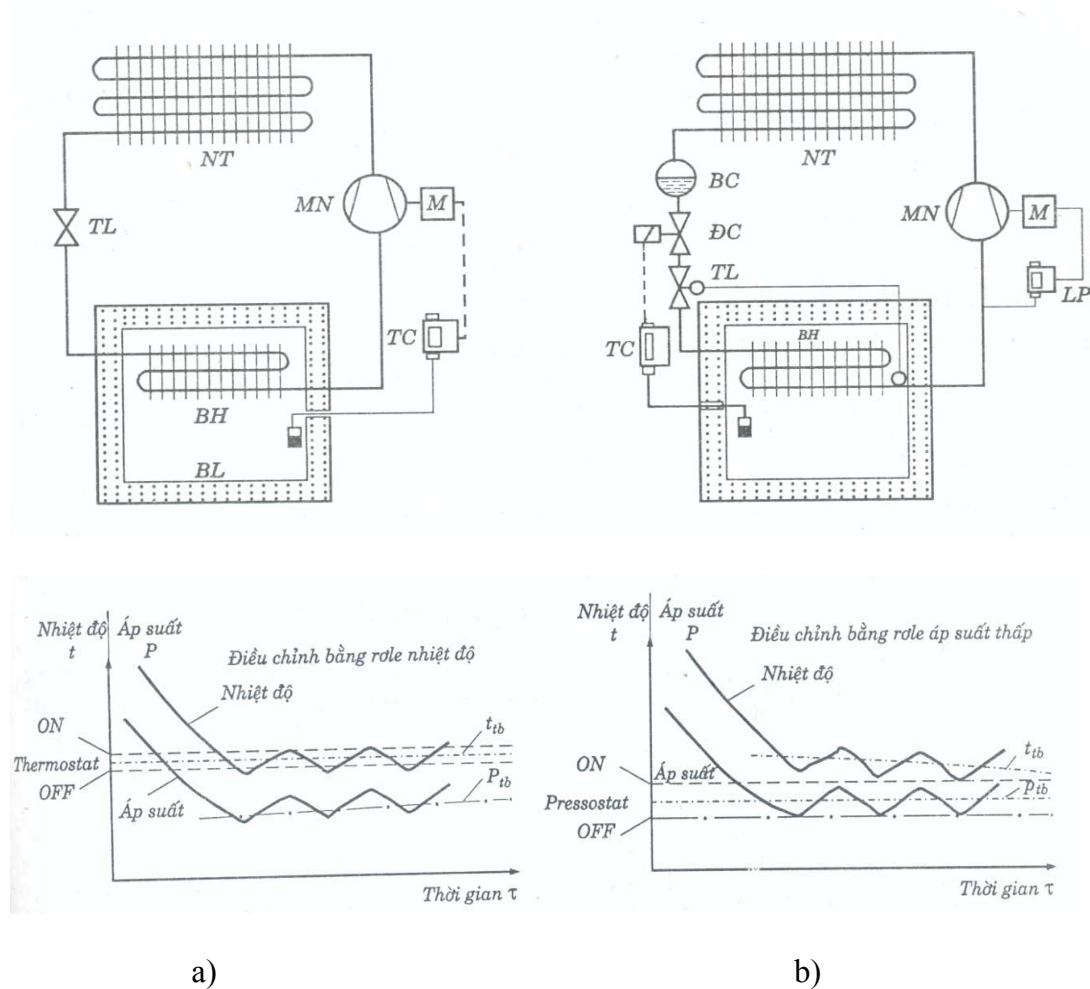
Ưu điểm: đơn giản, rẻ tiền, lắp đặt bảo dưỡng sửa chữa dễ dàng.

Nhược điểm: có tổn thất do khởi động động cơ nhiều lần; chỉ sử dụng cho các loại máy nén nhỏ. Độ dao động sai số lớn, không áp dụng được cho yêu cầu chính xác cao.

Các dụng cụ điều chỉnh hai vị trí cho máy nén thường là role nhiệt độ, role áp suất thấp. Trong các hệ thống lạnh nhỏ mà thiết bị tiết lưu là ống mao thì role nhiệt độ làm nhiệm vụ đóng ngắt trực tiếp máy nén, còn đối với các hệ thống có van tiết lưu và bình chứa thì role nhiệt độ đóng ngắt van điện từ cấp lỏng và role áp suất thấp làm nhiệm vụ đóng ngắt máy nén.

Hình 3.1a giới thiệu sơ đồ máy lạnh dùng trực tiếp role nhiệt độ để đóng ngắt máy nén lạnh. Hình 3.1b là sơ đồ dùng gián tiếp role nhiệt độ qua role áp suất thấp. Khi nhiệt độ trong buồng lạnh đạt yêu cầu, role nhiệt độ ngắt mạch van điện từ. Van điện từ đóng ngừng cấp lỏng ngắt máy nén. Hình 4.3 và 4.4 giới thiệu đặt tính nhiệt độ buồng lạnh và áp suất bay hơi.

Một vấn đề cần đặt biệt quan tâm khi sử dụng phương pháp điều chỉnh nhiệt độ này là phải tìm được vị trí thích hợp để đặt đầu cảm nhiệt độ để nhiệt độ đo phản ánh đúng nhiệt độ trung bình trong buồng lạnh. Tránh để gần dàn và buồng gió lạnh thổi từ dàn.



Hình 3.1 Các sơ đồ điều chỉnh đóng ngắt máy nén “ON-OFF”

a) Dùng trực tiếp rơ le nhiệt độ

b) Dùng gián tiếp rơ le nhiệt độ qua rơ le áp suất thấp

Đối với hệ thống lạnh điều chỉnh năng suất lạnh bằng cách đóng ngắt máy nén người ta thường quan tâm đến hệ số thời gian làm việc b. Hệ số thời gian làm

$$\text{việc trên thời gian toàn bộ chu kỳ} \quad b = \frac{\tau_{lv}}{\tau_{lv} + \tau_n} \quad (3.1)$$

trong đó : τ_{lv} - thời gian làm việc của 1 chu kỳ

τ_n - thời gian của 1 chu kỳ.

3.2.2.2. Tiết lưu hơi hút

Năng suất lạnh của máy nén được tính theo biểu thức :

$$Q_0 = m \cdot q_0 = \lambda \cdot \frac{V_{lt}}{v_1} \cdot q_0, [\text{kW}] \quad (3.2)$$

trong đó :

m - lưu lượng môi chất qua máy nén, kg/s ;

λ - hệ số cấp ;

V_{lt} - thể tích hút lí thuyết của máy nén $= \frac{\pi d^2}{4} s \cdot z \cdot n$, m³/s ;

d - đường kính pittông, m ;

s - hành trình pittông, m ;

z - số xilanh ;

n - tốc độ vòng quay trục khuỷu, vg/s ;

q_0 - năng suất lạnh riêng khối lượng, kJ/kg ;

v_1 - thể tích riêng hơi hút về máy nén (trạng thái 1), m

Để điều chỉnh năng suất lạnh có thể thay đổi v_1 và λ . Khi tiết lưu hơi hút v_1 tăng lên, λ giảm nên m giảm và Q_0 giảm.

Ưu điểm : đơn giản, dễ thực hiện, dễ lắp đặt vận hành bảo dưỡng sửa chữa.

Nhược điểm : tổn thất tiết lưu lớn, hệ số lạnh giảm. Phương pháp điều chỉnh năng suất lạnh này thường gắn liền với quá trình điều chỉnh áp suất bay hơi, gây ra tổn thất áp suất ngay trên vít điều chỉnh làm cho áp suất hút giảm xuống. Nếu chấp nhận tác động đó, cần phải thiết kế dụng cụ điều chỉnh cùng với tổng thể hệ thống lạnh.

3.2.2.3. Xả hơi nén về phía hút

a. Xả hơi nén về đường hút theo bypass

Xả hơi nén về đường hút bypass là xả hơi nóng thừa ở đường đẩy theo bypass về đường hút qua van điều chỉnh áp suất lắp trên bypass. Bypass là một đường ống thông giữa đầu đẩy và đầu hút của máy nén, trên đó bố trí một van ổn áp duy trì áp suất bay hơi theo yêu cầu. Khi năng suất lạnh yêu cầu giảm, áp suất bay hơi giảm, van ổn áp sẽ mở tương ứng xả hơi nóng từ đường đẩy trở lại đường hút. Hơi nóng hòa trộn với hơi lạnh ra từ dàn bay hơi đi vào máy nén. Hơi nóng hòa trộn với hơi lạnh ra từ dàn bay hơi đi vào máy nén. Như vậy lưu lượng môi chất thực chất đi vào dàn ngưng tụ và bay hơi giảm, năng suất lạnh giảm. Khi van OP (van ổn áp) đóng hoàn toàn là lúc máy lạnh đạt năng suất lạnh cao nhất. Van OP mở càng to, năng suất lạnh càng nhỏ.

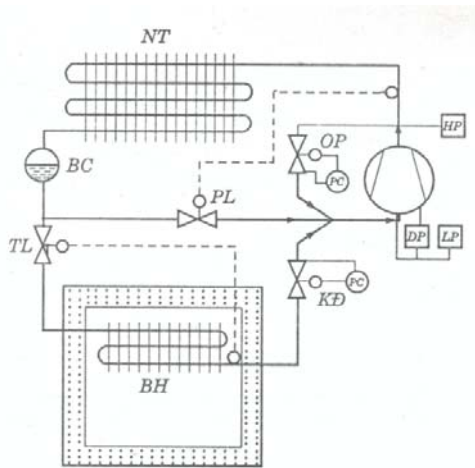
Ưu điểm : Đơn giản.

Nhược điểm : Do hoà trộn với hơi nóng nên nhiệt độ hơi hút vào máy nén cao làm cho nhiệt độ cuối tầm nén cao làm cho dầu bị lão hoá nhanh, các chi tiết máy nén dễ mài mòn, biến dạng, gãy hỏng... Cần phải khống chế nhiệt độ đầu đẩy xuống dưới 140°C do đó cũng phải hạn chế hơi nóng xả về đường hút và do đó phương pháp này cũng chỉ được hạn chế ứng dụng. Phương pháp này không sử dụng cho môi chất NH₃ và R22 cũng như các môi chất có nhiệt độ cuối tầm nén cao. Để bảo vệ

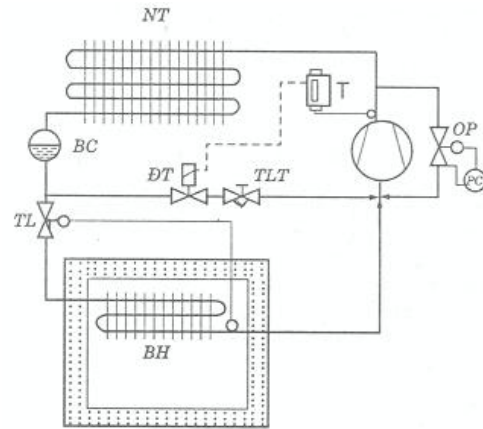
hiệt độ đầu đẩy không quá cao người ta bố trí phun lỏng trực tiếp vào đường hút.

b. Xả hơi nén về đường hút có phun lỏng trực tiếp

Hình 3.2 giới thiệu một số sơ đồ xả hơi nén về đường hút có phun lỏng trực tiếp để khống chế nhiệt độ cuối tầm nén. Có thể sử dụng van tiết lưu với đầu cảm nhiệt độ đặt trên đường ống đẩy hoặc đường ống hút, cần lưu ý sử dụng van tiết lưu tay kết hợp với van điện từ và một role nhiệt độ để đóng ngắt van điện từ.



Hình 3.2. Xả hơi nén về đường hút có phun lỏng bổ sung trực tiếp vào đường hút



Hình 3.3. Xả hơi nén về đường hút, phun lỏng qua role nhiệt độ T, van điện từ DT và van tiết lưu tay TLT

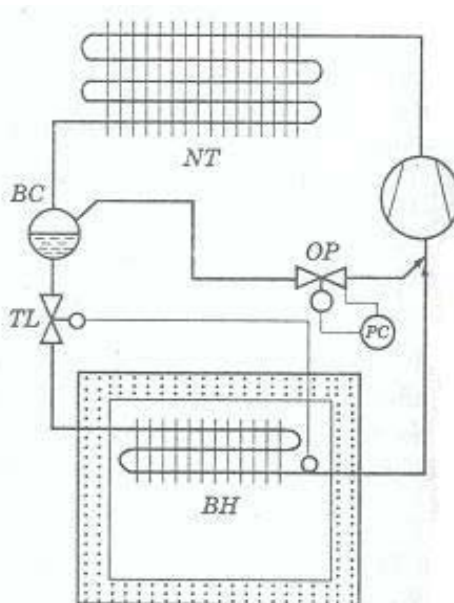
Khi nhiệt độ đầu đẩy vượt quá mức cho phép, role nhiệt độ đóng mạch, mở van điện từ phun lỏng vào đường hút máy nén (hình 3.3).

c. Xả hơi từ bình chứa về đường hút

Một phương pháp khác để hạn chế nhiệt độ cuối tầm nén là xả hơi lạnh

từ bình chứa cao áp về đường hút. Do hơi ở bình chứa cao áp chỉ có nhiệt độ ngưng tụ nên khi hòa trộn với hơi ra từ bình bay hơi có nhiệt độ thấp hơn nhiều so với xả hơi nóng trực tiếp từ đầu đẩy về. Như vậy có thể tiết kiệm được toàn bộ hệ thống phun lỏng với van tiết lưu tay, van điện từ và role nhiệt độ.

Tuy nhiên do thiếu các thiết bị khống chế nhiệt độ đầu đẩy trên hệ thống lạnh có thể rơi vào tình trạng nhiệt độ đầu đẩy vượt mức



Hình 3.4. xả hơi từ bình chứa về đầu

cho phép khi hơi từ bình chứa đến quá nhiều. Vận hành an toàn ở đây phải nhờ vào kinh nghiệm của công nhân vận hành. Hình 3.4. giới thiệu sơ đồ xả hơi từ bình chứa về đường hút.

d. Xả hơi nén từ đường đẩy về trước dàn bay hơi

Xả hơi nén từ đường đẩy về trước dàn bay hơi là một giải pháp rất hợp lý để hạn chế nhiệt độ đầu đẩy vì độ quá nhiệt của hơi hút về máy nén do van tiết lưu điều khiển. Nếu độ quá nhiệt cao, van tiết lưu sẽ mở rộng hơn cho lưu lượng môi chất lỏng đi qua nhiều hơn. Một ưu điểm khác của phương pháp này là lưu lượng qua dàn giữ ở mức độ bình thường, tốc độ đủ lớn của môi chất lạnh cuốn dầu về máy nén, không có nguy cơ đọng dầu lại dàn bay hơi do lưu lượng qua nhỏ khi điều chỉnh năng suất lạnh.

Cần lưu ý, nếu trước dàn bay hơi có đầu phân phối lỏng thì phải xả trước đầu phân phối lỏng.

Nếu hơi nén có nhiệt độ quá cao, có thể xả từ bình chứa như xả hơi từ bình chứa.

e. Xả ngược trong dầu xilanh

Phương pháp xả ngược trong dầu xilanh cũng giống như xả hơi nén về đường hút theo bypass nhưng quá trình xả hơi được tiến hành ngay trong dầu xilanh không cần có van ổn áp và chỉ thực hiện cho từng xilanh hoặc từng cụm xilanh bằng cách mở thông khoang nén và khoang hút nối từng xilanh hoặc từng cụm xilanh tương ứng. Thí dụ, máy nén 4 xilanh chia làm 2 cụm thì chỉ có thể điều chỉnh năng suất lạnh theo bậc 0-50-100%, máy nén 8 xilanh chia 4 cụm thì có khả năng điều chỉnh 0-25-50-75-100%.

3.2.2.4. Vô hiệu hoá từng xilanh hoặc từng cụm xilanh

a. Khoá đường hút

Có thể dùng van điện từ khoá đường hút vào từng xilanh hoặc từng cụm xilanh. Đây là biện pháp rất đơn giản vì ngắt xilanh nào thì chỉ cần khoá đường hút của xilanh đó lại, không cho hơi môi chất đi vào nhưng rất khó thực hiện vì không gian bố trí cơ cấu van khoá đầu xilanh rất hẹp.

b. Nâng van hút

Các loại máy nén lớn, có van hút dạng vòng thường người ta bố trí các cơ cấu để nâng van hút, vô hiệu hoá từng xilanh hay từng cụm xilanh. Cơ cấu nâng van hút thường hoạt động bằng áp lực dầu và được điều khiển nhờ van điện từ và dùng để điều chỉnh năng suất lạnh cũng như giảm tải máy nén khi khởi động.

Để nâng van hút có thể dùng phương pháp điện từ nhưng phần lớn hiện nay sử dụng cơ cấu cơ khí hoạt động nhờ áp lực dầu.

Các nhà chế tạo máy nén lạnh nổi tiếng trên thế giới đều có những thiết kế cơ cấu nâng van hút riêng. Như các hãng MYCOM, YORK, CARRIER, TRANE, BRISSONEAU – LOTZ, STAL (Thụy Điển)

3.2.2.5. Thay đổi vòng quay trực khuỷu máy nén

a. Thay đổi vòng quay trực khuỷu qua đai truyền

Đối với các loại máy nén hờ công nghiệp, có thể bố trí các cặp bánh đai khác nhau với các tỷ số truyền động khác nhau để thay đổi năng suất lạnh của máy nén. Về lý thuyết có thể thay đổi nhiều bậc thậm chí vô cấp với các loại bánh đai đặc biệt.

Năng suất lạnh điều chỉnh Q_{0dc} bằng năng suất lạnh đầy tải Q_0 nhân với tỷ số tốc độ trước và sau khi điều chỉnh:

$$Q_{0dc} = Q_0 \cdot \frac{n_{dc}}{n} \quad (3.3)$$

Thí dụ: Một máy nén lạnh có tốc độ vòng quay 1450 vg/ph, khi điều chỉnh xuống 1000 vg/ph qua bánh đai, năng suất lạnh còn lại là : $Q_{0dc} = Q_0 \cdot 1000/1450 = 0,69 Q_0$. Năng suất lại bằng 69% năng suất lạnh khi hoạt động đầy tải.

Ưu điểm: đơn giản

Nhược điểm: chỉ sử dụng cho máy nén hờ truyền động đai. Bộ phận thay đổi tốc độ cồng kềnh, tháo lắp phức tạp.

b. Thay đổi vòng quay trực khuỷu bằng động cơ

Nếu sử dụng động cơ Dahlander cho máy nén, có thể thay đổi được tốc độ vòng quay máy nén theo hai cấp 0-50-100% hoặc ba cấp 0-25-50-100% năng suất lạnh.

c. Thay đổi tốc độ vô cấp qua máy biến tần

Điều chỉnh chính xác và kịp thời năng suất lạnh và các thiết bị kèm theo vừa đúng phụ tải yêu cầu là biện pháp tiết kiệm năng lượng tối ưu. Chỉ có phương pháp thay đổi tốc độ qua máy biến tần mới đáp ứng được yêu cầu trên. Cùng một lúc có thể thay đổi tốc độ vô cấp máy nén lạnh, quạt dàn lạnh, dàn ngưng hoặc bơm nước giải nhiệt, bơm nước lạnh các loại. Khả năng tiết kiệm năng lượng cao hơn hẳn so với các phương pháp khác nhưng nhược điểm của phương pháp này là giá rất đắt.

Hiện nay, nhiều hãng nổi tiếng trên thế giới về lạnh và điều hòa không khí đã nghiên cứu và áp dụng hệ điều khiển tốc độ VSD (Variable Speed Drive) bằng máy biến tần cho các hệ thống lạnh và ĐHKK như hãng Daikin (Nhật) sử dụng cho hệ thống ĐHKK kiểu VRV (Variable Refrigerant Volume) hoặc hãng Danfoss (Đan Mạch) cho cả hệ thống lạnh và ĐHKK. Sử dụng bộ biến tần (Frequency Converters) có thể loại bỏ được toàn bộ các bộ điều khiển truyền thống như khởi động động cơ λ/Δ , khởi động mềm, điều khiển đóng mở clapê gió (damper) hay gọi chung là điều khiển đóng mở đầu vào IGV (Inlet Guide Vane). Hiệu quả tiết kiệm năng lượng cũng hơn hẳn. Ngoài ra bộ điều khiển biến tần còn có những ưu điểm khác như :

- Khi khởi động, dòng khởi động thấp hơn nhiều so với khởi động trực tiếp $LRA = 7FLA$ (Locked Rotor Amperes = 7 lần Full Load Amperes),

khởi động λ/Δ ($= 4FLA$) do đó không cần nguồn cung cấp công suất lớn.

- Do đặc điểm của bộ biến tần rất đắt nhưng khả năng tiết kiệm năng lượng lớn nên chắc chắn sẽ được sử dụng rộng rãi trong tương lai. Theo tính toán, thời gian hoàn vốn do tiết kiệm năng lượng chỉ từ 1 đến 2,5 năm.

3.2.3. Điều chỉnh năng suất lạnh các loại máy nén khác

3.2.3.1. Điều chỉnh năng suất lạnh máy nén trục vít

Đối với máy nén trục vít, năng suất lạnh có thể điều chỉnh được vô cấp từ 100% xuống đến 10% nhờ điều chỉnh con trượt bố trí bên dưới song song với hai vít. Khi con trượt dịch chuyển càng nhiều sang bên phải, lưu lượng hơi nén quay lại cửa hút càng lớn, năng suất lạnh càng nhỏ. Khi con trượt được điều chỉnh về tận cùng phía trái, năng suất lạnh đạt 100%, lưu lượng quay trở lại cửa hút bằng không.

3.2.3.2. Điều chỉnh năng suất lạnh máy nén turbine

Sự điều chỉnh năng suất lạnh của một máy nén turbine luôn gắn liền với sự thay đổi áp suất do đường cong đặc tính p-V đặc biệt của nó. Khi lưu lượng thể tích tụt xuống dưới giá trị tới hạn, nghĩa là lưu lượng thể tích trở nên thiếu ổn định bởi tốc độ không nâng được áp suất đầu đầy đạt tới áp suất ngưng tụ. Hướng dòng chảy tức thời bị đảo ngược, cho đến khi dòng chảy ngược đó tác động làm bánh cánh quạt đủ lưu lượng thể tích, để tái thiết lập lại quá trình làm việc bình thường. Nếu không đạt được trạng thái làm việc bình thường, máy nén cứ tiếp tục làm việc mất ổn định giữa hai trạng thái đó dẫn đến việc máy bị rung động một cách dữ dội. Trong thực tế có 4 phương pháp điều chỉnh Q_0 máy nén turbine như sau :

a) Điều chỉnh tốc độ vòng quay

Đây là phương pháp điều chỉnh kinh tế nhất và có thể điều chỉnh qua truyền động bằng turbine hơi hoặc khí hoặc qua một động cơ điện có thể điều chỉnh được tốc độ. Nếu động cơ điện có số cấp cực không đổi thì có thể sử dụng hộp giảm tốc độ điều chỉnh tốc độ hoặc khớp nối lỏng và có thể sử dụng cử máy biến tần.

b) Điều chỉnh bằng tiết lưu

Nếu không điều chỉnh được tốc độ vòng quay có thể sử dụng phương pháp tiết lưu đường hút hoặc đường đẩy. Dạng điều chỉnh này không kinh tế bởi vì có tổn thất tiết lưu. Nói chung người ta thường dùng phương pháp tiết lưu đường hút bởi vì người ta có thể tránh xa được giới hạn bơm và như vậy có thể đưa lưu lượng xuống được thấp hơn.

c) Điều chỉnh hướng xoắn dòng

Năng suất lưu lượng của một cặp nén tỷ lệ với sự xoắn dòng trong bánh cánh quạt. Thông thường khi dòng hơi đi vào máy nén turbine không có sự xoắn dòng. Bằng cách điều chỉnh cánh quạt, trên bánh cánh quạt có thể tạo ra đường hút có ít hoặc nhiều xoắn dòng sơ bộ. Qua đó có thể điều chỉnh được lưu lượng ngay khi tốc độ vòng quay là không đổi.

d) Điều chỉnh ống khuếch tán

Phương pháp này khá cầu kỳ nên cũng rất ít được ứng dụng. Phương pháp điều chỉnh này thực hiện nhờ điều chỉnh cánh quạt trên bánh cánh quạt phía sau ống khuyếch tán và có thể giới hạn bơm xuống thấp hơn.

3.2.4. Tự động bảo vệ máy nén lạnh

3.2.4.1. Giới thiệu chung

Bảo vệ tự động máy nén lạnh là giữ an toàn cho máy nén khỏi sự cố, hỏng hóc bất thường khi làm việc ở chế độ nguy hiểm xảy ra. Hệ thống thiết bị tổng thể để thực hiện chức năng đó gọi chung là hệ thống bảo vệ tự động ACC (Automatic Compressor Control).

Mỗi hệ thống bảo vệ tự động ACC bao gồm một hoặc nhiều các thiết bị dụng cụ, khí cụ tự động, có đặc tính role (role bảo vệ). Các phần tử đầu ra của các thiết bị bảo vệ tự động đó dùng để đóng hoặc ngắt mạch trong các sơ đồ điện bảo vệ và có thể có tiếp điểm hoặc không có tiếp điểm. ACC có thể tác động một lần nhưng cũng có thể tự động đóng mạch trở lại khi đại lượng bảo vệ trở lại giá trị cho phép.

Hệ thống tác động một lần tác động dừng máy nén khi bất kỳ một role bảo vệ nào trên chuỗi bảo vệ mắc nối tiếp tác động và không khởi động lại máy nén nếu công nhân vận hành không tác động đóng mạch.

Hệ thống tác động một lần được sử dụng rộng rãi, chủ yếu trong các trường hợp khi dừng máy nén cũng không ảnh hưởng nghiêm trọng đến quá trình công nghệ (thí dụ làm hư hỏng sản phẩm). Đi theo hệ thống này thường có hệ thống báo động đặc biệt để công nhân vận hành kịp thời xử lý.

Hệ thống tự động đóng mạch là hệ thống có thể tự động đóng mạch trở lại. Hệ thống tự động đóng mạch được sử dụng cho các hệ thống lạnh mà sự ngừng làm việc một thời gian ngắn của máy nén có thể ảnh hưởng đến quá trình công nghệ hoặc bảo quản sản phẩm, nhưng không được dẫn tới những sự cố tai nạn với hậu quả nghiêm trọng. Hệ thống được sử dụng đặc biệt cho các loại máy lạnh nhỏ như tủ lạnh gia đình, máy điều hoà nhiệt độ phòng, các loại tủ và buồng lạnh thương nghiệp.

Đôi khi người ta kết hợp cả hai hệ thống bảo vệ cho một đối tượng cần bảo vệ, nhưng ở đây phải thiết kế mạch điện bảo vệ sao cho phần cơ bản phải do hệ tác động một lần tác động còn hệ tự động đóng mạch trở lại chỉ hoạt động khi thông số điều chỉnh đã được phục hồi rồi mới cho máy nén chạy trở lại.

Trong thực tế còn có một dạng bảo vệ khác gọi là bảo vệ liên động. Đặc điểm của bảo vệ liên động là khi role bảo vệ của các máy và thiết bị khác liên quan tới sự làm việc của máy nén tác động thì máy nén cũng dừng hoạt động. Thí dụ, khi bơm nước cho bình ngưng tụ không hoạt động thì máy nén không hoạt động; khi bơm nước lạnh hoặc nước muối cho bình bay hơi không hoạt động thì máy nén cũng không hoạt động... Bảo vệ liên động loại trừ khả năng máy nén làm việc hoặc khởi động khi các thiết bị liên quan có trục trặc. Sau đây là các dạng bảo vệ cho máy nén pittông.

3.2.4.2. Các dạng bảo vệ máy nén pittông

Các dạng bảo vệ cho máy nén pittông trình bày dưới đây không chỉ dành riêng cho máy nén pittông mà nhiều dạng cũng được ứng dụng cho các loại máy nén khác như máy nén rôto, trục vít, turbine. Tuy nhiên, do đặc điểm cấu tạo có dạng bảo vệ chỉ sử dụng cho máy nén pittông.

Hệ thống bảo vệ tự động ACC gồm nhiều hoặc ít thiết bị và dụng cụ là tùy thuộc vào năng suất lạnh của máy nén hay cỡ máy, kiểu máy và tất nhiên các yêu cầu tự động bảo vệ do các ứng dụng đặc biệt của máy nén.

a. Bảo vệ áp suất đầu đẩy HPC (High Pressure Control)

Dùng để bảo vệ máy nén khỏi bị hỏng khi nhiệt độ ngưng tụ tăng quá mức cho phép hoặc khi khởi động mà van chặn phía đầu đẩy chưa mở.

Tất cả các máy lạnh công nghiệp đều được trang bị thiết bị bảo vệ loại này. Đối với các máy nén lớn có thể là các thiết bị tác động một lần, đối với các máy nhỏ có thể là loại tự động đóng mạch trở lại.

Thiết bị bảo vệ áp suất thường là loại role áp suất cao. Tín hiệu áp suất thường lấy ngay trên nắp pittông hoặc trước van chặn đầu đẩy. Role áp suất còn gọi là Pressostat hoặc PC (Pressostat Controller).

b. Bảo vệ áp suất đầu hút LPC (Low Pressure Control)

Bảo vệ áp suất đầu hút nhằm tránh tình trạng máy nén làm việc ở chế độ không thuận lợi có thể gây cháy máy nén, đặc biệt điều khiển bôi trơn thường rất kém khi áp suất đầu hút giảm quá mức.

Nguyên nhân chủ yếu làm cho áp suất đầu hút giảm là do chế độ cấp môi chất lỏng cho dàn bay hơi không đảm bảo, hoặc do phụ tải nhiệt của bình bay hơi bị giảm đột ngột vì bơm nước muối bị hỏng, quạt gió bị hỏng, tuyết đóng trên dàn quá dày cản trở trao đổi nhiệt...

Để bảo vệ áp suất đầu hút người ta dùng role áp suất thấp. Role áp suất thấp được nối với đường hút, ngay sau van chặn hút.

Trên nhiều hệ thống lạnh nhỏ và trung bình, role áp suất hút dùng để điều chỉnh năng suất lạnh kiểu hai vị trí đóng ngắt cùng một van điện từ đứng trước van tiết lưu. Khi nhiệt độ phòng lạnh đủ thấp, role nhiệt độ ngắt mạch van điện từ, van điện từ ngừng cấp lỏng cho dàn bay hơi, áp suất hút giảm xuống nhanh chóng và role áp suất thấp ngắt mạch máy nén. Khi nhiệt độ buồng lạnh tăng, role nhiệt độ mở van điện từ, áp suất tăng, role áp suất thấp lại đóng mạch cho máy nén hoạt động.

Trong thực tế đôi khi áp suất cao và thấp gộp làm một trong một vỏ gọi là role áp suất cao và thấp hay role áp suất kết hợp.

c. Bảo vệ hiệu áp suất dầu

Bảo vệ hiệu áp suất dầu được sử dụng cho những máy nén có hệ thống bôi trơn cưỡng bức bằng dầu. Áp suất dầu ở đây không đóng vai trò quan trọng. Hiệu áp suất dầu mới là thông số quan trọng để đánh giá quá trình bôi trơn có đảm bảo hay không. Hiệu áp suất dầu được xác định như sau :

$$\Delta p_{oil} = p_{oil} - p_0$$

trong đó :

p_{oil} - áp suất đầu đẩy của bơm dầu,

p_0 - áp suất hút hay áp suất trong khoang các-te.

Hiệu áp suất dầu cần thiết do nhà chế tạo quy định. Áp suất dầu giảm có thể do nhiều nguyên nhân như bơm dầu bị trục trặc, thiếu dầu trong các-te, do độ rơ giữa các bề mặt ma sát quá lớn vì các chi tiết đã quá mòn...

Khi khởi động lại máy nén, trong 120 giây đầu tiên, role hiệu áp suất dầu bị tách ra khỏi mạch máy nén, sau 120 giây khi hiệu áp suất dầu được thiết lập thì role mới được nối vào mạch bảo vệ. Role thời gian thực hiện việc tách role hiệu áp dầu ra khỏi mạch. Đối với máy nén NH_3 thời gian trễ ngắn hơn, chỉ khoảng 20 giây.

d. Bảo vệ nhiệt độ dầu đẩy t_d

Bảo vệ nhiệt độ dầu đẩy nhằm không cho nhiệt độ đó vượt quá mức cho phép vì khi nhiệt độ dầu đẩy quá cao, dầu bôi trơn có thể bị cháy và phân hủy, môi chất lạnh NH_3 cũng phân hủy (NH_3 phân hủy ở đầu xilanh ngay khi nhiệt độ dầu đẩy đạt 126°C), chất lượng bôi trơn giảm, các chi tiết mài mòn, tuổi thọ giảm, clapê có thể bị gãy hoặc cong vênh, bám muội than do dầu cốc hoá...

Nhiệt độ quá cao ở đầu xilanh còn gây ra tình trạng máy nén tiêu hao năng lượng cao do tỷ số nén cao, giá thành một đơn vị lạnh thấp, nghĩa là máy hoạt động ở chế độ phi kinh tế.

Đối với máy nén nhiều xilanh, khi 1 xilanh có clapê bị vỡ thì rất khó phát hiện mức tăng nhiệt độ ở đầu chung nên tốt nhất mỗi xilanh hoặc mỗi cụm xilanh nên bố trí một đầu cảm nhiệt độ.

Bảo vệ nhiệt độ dầu đẩy đơn giản nhất là sử dụng role nhiệt độ (thermostat). Ngoài ra có thể sử dụng khí cụ PTC thermistor đồng thời với bảo vệ cuộn dây động cơ.

e. Bảo vệ nhiệt độ dầu ở các-te máy nén

Nhiệt độ dầu quá lớn làm giảm tác dụng của quá trình bôi trơn do đó cần không chế nhiệt độ dầu không vượt quá giới hạn cho phép. Điều đó càng quan trọng trong điều kiện vận hành khắc nghiệt về mùa hè ở Việt Nam. Thông thường các nhà chế tạo yêu cầu nhiệt độ dầu phải nhỏ hơn 60°C . Nếu vượt quá giới hạn trên các ổ trục, bạc biên có thể bị cháy, các bề mặt ma sát có thể bị cháy và bị bó, gây hỏng hóc nặng nề cho máy nén. Bởi vậy, máy nén lạnh sử dụng trong điều kiện Việt Nam, đặt biệt máy nén amoniắc nên bố trí bộ làm mát dầu bằng nước.

Bảo vệ nhiệt độ dầu ở các-te đơn giản nhất là dùng role nhiệt độ, ngoài ra có thể sử dụng khí cụ kiểu PTC thermistor. Đầu cảm phải bố trí trong đáy dầu.

f. Bảo vệ nhiệt độ ổ đỡ và các cụm chi tiết ma sát

Nhằm tránh tình trạng cháy các chi tiết này do thiếu dầu bôi trơn hoặc các đường ống dẫn dầu bị tắc cục bộ. Loại bảo vệ này chỉ trang bị cho máy nén cỡ lớn. Loại bảo vệ này khó sử dụng role nhiệt độ. Khí cụ PTC thermistor có thể phù hợp hơn cho loại hình bảo vệ này vì việc bố trí đầu cảm nhiệt thuận tiện hơn.

g. Bảo vệ nhiệt độ cuộn dây động cơ

Khi làm việc quá tải, khi mất pha, lệch pha cuộn dây động cơ cần được bảo vệ khi nhiệt độ cuộn dây vượt quá mức cho phép (thường 130°C) gây cháy động cơ. Dạng bảo vệ này chỉ sử dụng cho máy nén kín và nửa kín. PTC thermistor có đầu cảm được gắn trực tiếp ngay lên cuộn dây quần động cơ nhằm lấy tín hiệu kịp thời đặc biệt khi động cơ bị đoản mạch.

Ngoài việc bảo vệ nhiệt độ cuộn dây, động cơ cần được bảo vệ điện như bảo vệ ba pha, mất đối xứng pha và quá tải bằng các khí cụ điện thông thường như rơle nhiệt, aptômat, côngtactơ, cầu chì...

h. Bảo vệ nước làm mát đầu máy nén

Tránh tình trạng nhiệt độ đầu máy nén tăng cao cần phải bảo vệ nước làm mát đầu máy nén ở áo nước làm mát. Dụng cụ bảo vệ là loại rơle lưu lượng hay rơle dòng chảy FC (Flow Controller). Rơle lưu lượng thường được bố trí vào sơ đồ tự động đóng mạch trở lại.

Đặc biệt trong điều kiện vận hành ở Việt Nam, không những cần rơle lưu lượng mà còn phải hạn chế nhiệt độ đầu đẩy.

Máy nén lạnh phần lớn được thiết kế chế tạo tại các nước ôn đới, khi vận hành ở các nước nhiệt đới, tất cả các thông số thiết kế như nhiệt độ nước làm mát vào, diện tích trao đổi nhiệt của áo nước, nhiệt độ cuối tầm nén, lượng nhiệt cần thải đều đạt các giá trị tới hạn nên tuổi thọ máy nén giảm đáng kể so với các số liệu cho trong catalog của nhà thiết kế.

i. Bảo vệ máy nén không hút phải ẩm

Đối với máy nén amoniắc cỡ lớn cần thiết phải bảo vệ máy nén không hút phải ẩm, không tràn lỏng về máy nén, loại trừ va đập thủy lực gây hỏng hóc phá hủy máy nén. Khi vận hành máy nén amoniắc ta gặp phải một mâu thuẫn, một mặt phải hạ nhiệt độ hơi hút xuống gần bằng nhiệt độ bay hơi để đảm bảo nhiệt độ cuối tầm nén không cao, mặt khác phải tăng độ quá nhiệt hơi hút để máy nén không hút phải lỏng. Kinh nghiệm vận hành cho thấy độ quá nhiệt hơi hút từ $5 \div 10^{\circ}\text{C}$ là hợp lý.

Để ngăn ngừa ẩm lọt vào máy nén, phải ngăn ngừa sự ứ lỏng trong các bình (thí dụ bình bay hơi, bình tách lỏng) trên tuyến ống hút về máy nén.

Dạng bảo vệ này thực hiện nhờ rơle mức lỏng lắp đặt trên bình bay hơi hoặc bình tách lỏng trên tuyến ống hút máy nén. Do tính chất quan trọng đặc biệt này mà thường sử dụng tới hai hoặc ba rơle mức lỏng cho cùng một bình tách lỏng hoặc bay hơi.

3.2.4.3. Nguyên tắc cấu tạo hệ thống bảo vệ (Chuỗi An Toàn) CAT

Những yêu cầu cơ bản của hệ thống bảo vệ CAT (Chuỗi An Toàn) là có độ tin cậy cao, có thể đạt được bằng các biện pháp sau :

- Sử dụng những dụng cụ và những phần tử trung gian hiện đại, có độ tin cậy cao,
- Giảm tới mức tối thiểu các phần tử trung gian,

- Trong trường hợp sử dụng các dụng cụ có tiếp điểm điện nên sử dụng các dụng cụ có tiếp điểm thường đóng, đảm bảo chuyển tín hiệu khi đường dây bị đứt hoặc mất nguồn điện,

- Tiến hành các công tác kiểm tra, hiệu chuẩn và dự phòng cần thiết.

Trong một số trường hợp có thể dự trừ ngắt mạch thiết bị tự động để thực hiện công việc hiệu chuẩn.

Phổ biến hơn cả là sơ đồ bảo vệ với sự kết hợp liên tiếp các role bảo vệ thành chuỗi an toàn CAT. Khi đó các tiếp điểm làm việc theo nhóm. Nhóm thứ nhất bao gồm các tiếp điểm của role bảo vệ, chỉ ngắt trong các trường hợp xảy ra sự cố, tai nạn (role áp suất hút và đẩy, role nhiệt độ...). Nhóm thứ 2 gồm các tiếp điểm ngắt khi vận hành bị trục trặc, thí dụ như ở mỗi lần dừng máy (áp suất của hệ thống dầu bôi trơn, lưu lượng nước làm mát...).

Như đã trình bày ở trên, các tiếp điểm của nhóm 2 cần phải có mạch phụ trong thời gian khởi động máy nén.

Các hệ thống bảo vệ của máy nén cỡ trung và cỡ lớn cần được trang bị các thiết bị báo hiệu và báo động bằng âm thanh và ánh sáng cho phép công nhân vận hành xác định được thiết bị tự động nào đã tác động và ngắt mạch máy nén.

3.2.4.4. Bảo vệ máy nén trục vít

Bảo vệ máy nén trục vít không khác biệt nhiều so với bảo vệ máy nén pittông. Khác biệt cơ bản là máy nén trục vít có vòng tuần hoàn dầu, nên ở máy nén trục vít cũng có thêm các dụng cụ bảo vệ vòng tuần hoàn dầu.

Các dạng bảo vệ chủ yếu của máy nén trục vít là:

- Bảo vệ áp suất đầu đẩy với role áp suất cao,
- Bảo vệ áp suất đầu hút với role áp suất thấp,
- Bảo vệ hiệu áp suất dầu trong đó có bảo vệ mức dầu trong bình chứa dầu không quá thấp, bảo vệ lưu lượng dầu, bảo vệ nhiệt độ dầu không quá cao, bảo vệ nước làm mát dầu trường hợp có bình làm mát dầu hoặc bảo vệ phun lỏng môi chất làm mát dầu trường hợp dầu được làm mát trực tiếp bằng phun môi chất lạnh,
- Bảo vệ chống khởi động quá nhiều lần bằng role thời gian với thời gian trễ thích hợp.

Ngoài ra còn có một số bảo vệ như:

- Bảo vệ cuộn dây quấn động cơ máy nén không quá nóng bằng role nhiệt độ hoặc điện trở PTC thermistor,
- Bảo vệ mất pha, bảo vệ đối xứng pha,
- Bảo vệ quá tải,
- Bảo vệ chiều quay của trục vít hay còn gọi bảo vệ thứ tự pha.

Nói chung, hệ thống bảo vệ máy nén trục vít gồm các loại role áp suất cao, thấp, dầu, role mức dầu, role lưu lượng dầu, các loại role thời gian. Role nhiệt bảo vệ quá tải có thể có cả 2 chức năng tác động 1 lần (khóa) hoặc tự động reset.

3.2.4.5. Bảo vệ máy nén turbine

Công tắc bảo vệ máy nén turbine gồm :

- Bảo vệ áp suất đầu đẩy không quá cao bằng role áp suất cao,
- Bảo vệ áp suất thấp đầu hút bằng role áp suất thấp,
- Bảo vệ áp suất dầu không quá thấp bằng role áp suất thấp của dầu,
 - Bảo vệ nhiệt độ bay hơi không quá thấp bảo vệ chống đóng băng ống bình bay hơi: role nhiệt độ,
- Bảo vệ nhiệt độ ổ trục bằng role nhiệt độ hoặc PTC thermistor,
- Bảo vệ nhiệt độ cuộn dây bằng role nhiệt độ hoặc PTC thermistor,
- Bảo vệ dòng chảy hay lưu lượng nước làm mát bình ngưng và chất tải lạnh bình bay hơi : role lưu lượng FC (Flow Controller),
- Bảo vệ quá tải động cơ bằng role nhiệt,
- Bảo vệ chống đóng băng bình bay hơi bằng role nhiệt độ chống đóng băng,
- Bảo vệ ngắn mạch, lệch pha, mất pha, đối xứng pha, thứ tự pha...cho động cơ.

Ở giai đoạn khởi động máy nén, do nhiệt độ nước hoặc nhiệt độ chất tải lạnh cao, tải nhiệt lớn, dòng động cơ có thể cao hơn bình thường. Nếu dòng cao quá cho phép (do tải nhiệt lớn khi khởi động hoặc do bất kỳ lý do nào khác), bộ điều chỉnh tự động tác động đóng bớt cửa van hút ngay cả khi role nhiệt độ nước lạnh cũng như role nhiệt độ bình bay hơi tác động mở 100% cửa van hút. Điều đó bảo vệ động cơ chống lại các điều kiện quá tải.

Một khi hệ thống ổn định và nước lạnh hoặc chất tải lạnh đã được làm lạnh, dòng làm việc của động cơ sẽ giảm xuống và thiết bị bảo vệ dòng quá tải sẽ cho phép mở hết van hút để làm lạnh ở chế độ làm việc bình thường.

3.3. Tự động hóa thiết bị ngưng tụ

3.3.1. Giới thiệu chung

Tự động hoá thiết bị ngưng tụ có nhiệm vụ chính là:

- Duy trì nhiệt độ và áp suất ngưng tụ không đổi hoặc dao động trong một giới hạn cho phép;
- Tiết kiệm nước giải nhiệt cho bình ngưng làm mát bằng nước.

Việc duy trì nhiệt độ và áp suất ngưng tụ không đổi đối với hệ thống lạnh là rất cần thiết vì nếu áp suất ngưng tụ cao sẽ làm giảm năng suất lạnh của hệ thống tăng tiêu hao điện năng (theo kinh nghiệm khi vận hành máy lạnh trong điều kiện bình thường, nhiệt độ ngưng tụ tăng lên 1°C, năng suất lạnh giảm đi 1,5%, công suất điện tiêu tốn tăng khoảng 1%). Điều đó làm cho hệ thống lạnh làm việc không kinh tế, hơn nữa có thể dẫn tới quá tải cho động cơ máy nén, nhiệt độ đầu đẩy tăng, tiêu hao dầu tăng, độ tin cậy và tuổi thọ các chi tiết giảm.

Ngược lại nếu nhiệt độ và áp suất ngưng tụ quá thấp lại ảnh hưởng đến quá trình cấp lỏng cho dàn bay hơi. Lỏng cấp ít, chấp chèn không đều

và có thể ngừng trệ vì áp suất ngưng tụ quá thấp (đặc biệt đối với ống mao dẫn) dẫn đến năng suất lạnh của hệ thống giảm.

Về lý thuyết khi nhiệt độ và áp suất ngưng tụ giảm, năng suất lạnh tăng, nhưng đối với một máy lạnh cụ thể, tất cả các thiết bị đã được thiết kế hiệu chỉnh đồng bộ thì nhiệt độ áp suất ngưng tụ giảm, năng suất lạnh giảm.

Nếu như nhiệt độ ngưng tụ giảm nhiều (chế độ vận hành mùa đông), áp suất bay hơi sẽ giảm quá mức cho phép và role áp suất thấp sẽ ngắt, ngừng máy nén để bảo vệ. Nếu vận hành lâu ở chế độ này máy nén có thể bị hư hỏng nhanh chóng do thiếu dầu bôi trơn. Chính vì vậy phải trang bị các thiết bị bảo vệ để máy nén không làm việc ở áp suất hút quá thấp.

Sự bảo vệ này phụ thuộc vào khoảng nhiệt độ vận hành của thiết bị ngưng tụ, của kiểu thiết bị ngưng tụ và phụ tải của toàn bộ hệ thống.

Thiết bị ngưng tụ được chia làm 3 loại chính với ba dạng thiết bị tự

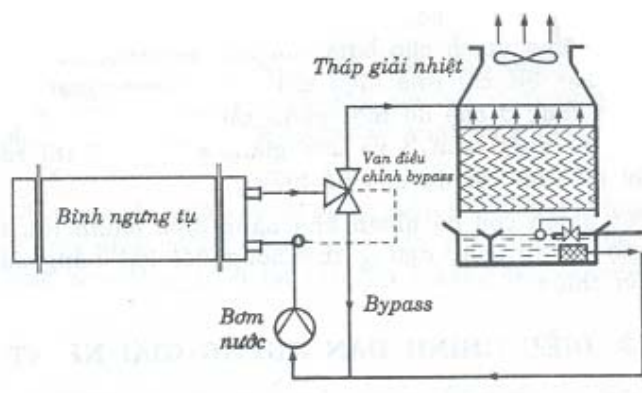
động :

- Bình ngưng giải nhiệt bằng nước
- Dàn ngưng giải nhiệt gió
- Tháp ngưng giải nhiệt bằng nước kết hợp gió.

3.3.2. Tự động hoá bình ngưng giải nhiệt nước

Trong thực tế do tình hình khan hiếm nước, đặc biệt đối với các khu vực thiếu nước và đối với các hệ thống lạnh cũng như điều hoà không khí lớn người ta sử dụng nước tuần hoàn qua tháp giải nhiệt. Khi sử dụng nước tuần hoàn ta có khả năng sử dụng hai dạng điều chỉnh để không chế nhiệt độ và áp suất ngưng tụ cần thiết : Bypass nước giải nhiệt và điều chỉnh tốc độ quạt gió tháp giải nhiệt.

Hình 3.5 mô tả sơ đồ bypass nước giải nhiệt. Van 3 ngã điều chỉnh lưu



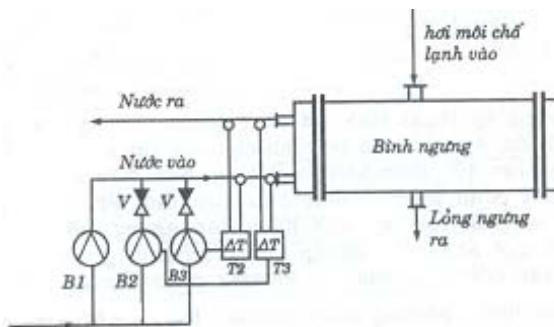
Hình 3.5. Điều chỉnh nhiệt độ và áp suất ngưng tụ

lượng nước được bố trí trên đường ra bình ngưng và đường vào tháp giải nhiệt. Đầu cảm nhiệt được đặt trên đường nước vào bình ngưng. Đường bypass nối tắt từ đường ra bình ngưng về trước bơm, cho nước ra khỏi bình ngưng đi tắt về bơm không qua tháp giải nhiệt. Nếu nhiệt độ nước vào bình ngưng t_{w1} không đủ cao van điều chỉnh sẽ mở cho một phần nước có nhiệt độ cao t_{w2} đi tắt về bơm để quay trở lại bình ngưng mà không qua tháp giải nhiệt. Như vậy lưu lượng nước qua tháp giải nhiệt sẽ giảm. Chế độ làm

lượng nước được bố trí trên đường ra bình ngưng và đường vào tháp giải nhiệt. Đầu cảm nhiệt được đặt trên đường nước vào bình ngưng. Đường bypass nối tắt từ đường ra bình ngưng về trước bơm, cho nước ra khỏi bình ngưng đi tắt về bơm không qua tháp giải nhiệt. Nếu nhiệt độ nước vào bình ngưng t_{w1}

việc như vậy phù hợp khi máy lạnh chỉ chạy với một phần tải hoặc khi độ ẩm không khí bên ngoài rất nhỏ.

Phương pháp điều chỉnh thứ 2 là điều chỉnh tốc độ quạt để qua đó điều chỉnh lưu lượng gió và gián tiếp điều chỉnh năng suất giải nhiệt của tháp phù hợp với nhiệt thải ngưng tụ. Động cơ thay đổi được tốc độ ở đây có thể là loại nhiều cấp cực với vòng dây riêng rẽ hoặc động cơ Dahlander. Đơn giản nhất là phương pháp đóng, ngắt động cơ.



Hình 3.6. Điều chỉnh lưu lượng nước ngưng tụ

Ngoài ra còn có thể sử dụng phương pháp điều chỉnh vô cấp động cơ qua máy biến tần, cả cho động cơ quạt gió và động cơ bơm nhưng do quá đắt nên các phương án này thường bị loại ngay từ ban đầu.

Một phương án khác có thể áp dụng cho bình ngưng của các hệ thống lớn là sử dụng nhiều bơm nước giải nhiệt thí dụ 2 hoặc 3 bơm và điều khiển lưu lượng nước nhảy cấp bằng cách cho từng bơm hoạt động theo nhiệt độ nước ra.

3.3.3. Điều chỉnh dàn ngưng giải nhiệt gió

Trong các dàn ngưng giải nhiệt gió để khống chế nhiệt độ và áp suất ngưng tụ thì chúng ta có thể điều chỉnh về phía môi chất lạnh và điều chỉnh về phía không khí.

3.3.3.1. Điều chỉnh phí môi chất lạnh.

Trong kỹ thuật lạnh, để tăng cường khả năng trao đổi nhiệt của dàn ống xoắn đến mức tối đa, người ta bố trí bình chứa và các đường tích lỏng để nhanh chóng giải phóng bề mặt trao đổi nhiệt khỏi bị ứ lỏng. Nếu điều chỉnh nhiệt độ và áp suất ngưng tụ, khi chạy một phần tải hoặc khi điều kiện thời tiết bên ngoài thuận lợi (thí dụ mùa đông) ngược lại phải che bớt một phần dàn ngưng, giảm tốc độ quạt gió. Một phương pháp che bớt một phần dàn ngưng là cho ngập lỏng một phần dàn ngưng để vô hiệu hoá quá trình trao đổi nhiệt của nó. Phương pháp này gọi là điều chỉnh phía môi chất lạnh.

Tuy nhiên phương pháp này có nhược điểm là cần phải sử dụng một bình chứa lớn để chứa lượng môi chất chỉ cần đến để làm ngập lỏng trong mùa đông. Khi làm việc trong mùa hè, toàn bộ phần lỏng đó phải chứa tại bình chứa để giải phóng toàn bộ bề mặt dàn ngưng tụ.

Có 2 phương pháp khả thi để làm ngập lỏng một phần dàn là:

a. Phương pháp của ALCO

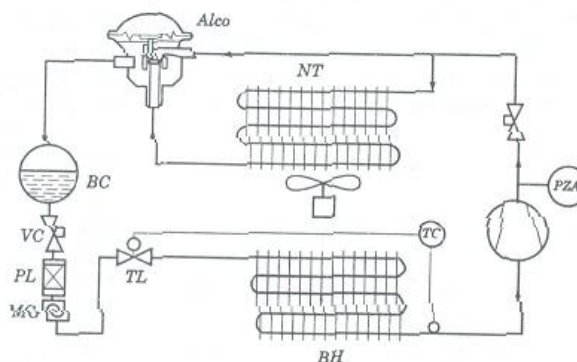
Phương pháp Alco sử dụng có các thiết bị lạnh hoạt động suốt năm. Hãng Alco đưa ra 2 thiết bị HP8 và HP14. Năng suất của HP8 là $Q_k = 30,6 \div 47,5$ kW và HP14 với $Q_k = 80,9 \div 118,9$ kW tùy theo từng môi chất lạnh (theo catalog thiết bị của Alco). Nếu cần năng suất lớn hơn có thể lắp 2 thiết bị song song với nhau.

Theo phương pháp này, thiết bị là loại van 3 ngã có 2 đường vào và 1 đường ra. Hình 3.7 giới thiệu sơ đồ thiết bị với van ba ngã Alco.

Nguyên tắc làm việc của hệ thống như sau:

Nếu áp suất và nhiệt độ ngưng tụ giảm quá giới hạn cho phép, van điều chỉnh Alco tác động, dẫn hơi nóng thẳng vào bình chứa BC. Điều đó gây nên sự ứ đọng môi chất lạnh lỏng ở dàn ngưng tụ và do thiếu diện tích trao đổi nhiệt, áp suất và nhiệt độ ngưng tụ lại tăng lên.

Điều quyết định ở đây là van đã tạo nên một sự ứ đọng môi chất lỏng trong dàn bay hơi khi dẫn trực tiếp hơi nóng vào bình chứa. Cũng cần lưu ý là lượng môi chất lạnh phải đủ để ngay cả trong trường hợp lỏng bị ứ lại tại dàn ngưng thì vẫn đủ lỏng cấp cho dàn bay hơi.



Hình 3.7 Sơ đồ lắp đặt van 3 ngã Alco điều chỉnh nhiệt độ và áp suất ngưng tụ

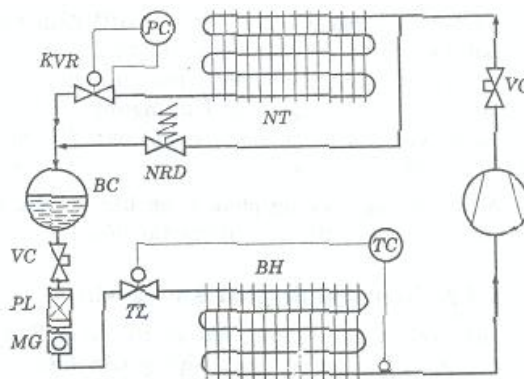
Chú ý:

Người vận hành không thể điều chỉnh áp suất ngưng tụ được. Áp suất ngưng tụ đã được thiết kế và ấn định tại nhà máy và van Alco sẽ tác động điều chỉnh khi nhiệt độ không khí bên ngoài giảm xuống dưới 32°C . Việc lắp đặt van điều chỉnh Alco không yêu cầu bất cứ điều kiện gì : có thể lắp đặt van ở ngoài trời, ở trong nhà, ngay cạnh dàn ngưng tụ, trong phòng máy... Tất cả những điều nêu trên không ảnh hưởng đến sự làm việc của van, và sau khi lắp đặt xong cũng không cần một sự hiệu chỉnh bất kỳ nào.

b. Phương pháp của Danfoss

Dụng cụ điều chỉnh này có tên gọi KVR. Hình 3.7 giới thiệu cách lắp dụng cụ KVR vào hệ thống lạnh. Van KVR được lắp đặt ở giữa dàn ngưng tụ và bình chứa nhưng nên lắp gần dàn ngưng

Đầu tiên môi chất lạnh lỏng phải ngập đầy đoạn ống giữa van KVR và dàn ngưng, sau đó mới làm ứ đọng phần dưới của dàn ngưng. Chính vì vậy lắp van KVR càng gần dàn ngưng càng tốt. Đoạn ống đó càng dài càng tốn môi chất lạnh, và nếu có sự cố rò rỉ xảy ra thì độ ô nhiễm môi trường sẽ càng nhiều. Trái với van Alco, van KVR của Danfoss có thể hiệu chỉnh, công nhân vận hành phải lắp vào van một áp kế.



Hình 3.7 Sơ đồ lắp đặt van điều chỉnh áp suất và nhiệt độ của Danfoss (KVR)

Van điều chỉnh làm việc tùy thuộc vào áp suất vào và mở khi có hiệu áp $\Delta p = 0,33$ bar, ngay khi áp suất vào van cao hơn áp suất đặt đúng bằng giá trị đó. Nếu như áp suất vào giảm xuống dưới áp suất đặt thì van đóng.

Như vậy các ống xoắn phía dưới của dàn ngưng sẽ được ngập lỏng, diện tích trao đổi nhiệt của dàn ngưng giảm xuống, và như vậy áp suất ngưng tụ không đổi được duy trì.

Cũng như hệ thống lạnh dùng van Alco, hệ thống dùng van KVR cũng cần dự tính một bình chứa đủ lớn. Duy trì áp suất ngưng tụ đủ lớn là nhằm mục đích duy trì áp suất trước van tiết lưu đủ lớn, đảm bảo lượng môi chất phun vào dàn bay hơi, loại trừ các trục trặc có thể xảy ra cho hệ thống. Tuy nhiên KVR chỉ duy trì áp suất ngưng tụ, còn áp suất bình chứa và áp suất trước van tiết lưu chưa được điều chỉnh.

Có hai phương pháp duy trì áp suất bình chứa là:

- Lắp đặt bình chứa trong phòng máy lạnh, nơi có nhiệt độ không quá thấp trong mùa đông. Áp suất bão hòa của môi chất lạnh được coi là đủ cho van tiết lưu hoạt động bình thường.

- Đối với các hệ thống lạnh lớn, bình chứa đặt ở ngoài trời, mùa đông nhiệt độ xuống quá thấp, áp suất hơi bão hòa trong bình chứa không đủ cho van tiết lưu hoạt động bình thường, cần phải lắp một van điều áp NRD (van duy trì áp suất không đổi). Khi áp suất trong bình chứa và áp suất đầu đẩy chênh nhau $\Delta p = 0,5 \div 1,0$ bar thì van điều áp NRD (xem hình 3.7) mở cho hơi nóng từ máy nén đi thẳng vào bình chứa, duy trì áp suất ở bình chứa không đổi. Khi áp suất hai bên cân bằng, van NRD lại đóng.

Sự kết hợp của 2 van KVR và NRD đảm bảo đạt được sự điều chỉnh áp suất ngưng tụ theo ý muốn, đảm bảo áp suất ngưng tụ luôn luôn lớn hơn chút ít so với áp suất ở bình chứa, đảm bảo lỏng ngưng ở dàn ngưng chảy được về bình chứa ngay cả khi ống dẫn lỏng lắp đặt phía dưới bình chứa.

Ngoài những phương pháp trình bày ở trên, còn nhiều phương pháp khác điều chỉnh áp suất ngưng tụ.

3.3.3.2. Điều chỉnh phía không khí

Điều chỉnh phía không khí có ưu điểm là không cần lượng môi chất lạnh lớn nạp vào hệ thống và do đó cũng không cần bình chứa lớn. Cũng có 2 phương pháp điều chỉnh chủ yếu như sau.

a. Đóng ngắt quạt gió qua tín hiệu áp suất hoặc nhiệt độ

Đối với các dàn ngưng trang bị nhiều quạt gió li tâm hay hướng trục thì việc ngắt bớt hoặc đóng thêm quạt cho dàn ngưng là điều có thể thực hiện một cách dễ dàng. Một giải pháp khả thi là đóng ngắt quạt qua áp suất đầu đẩy máy nén. Phương pháp này có độ tin cậy cao và giá cả phải chăng. Có thể dùng role áp suất trình tự hoặc role áp suất riêng lẻ. Các role áp suất này rất sẵn có trên thị trường. Tín hiệu áp suất của role là áp suất đầu đẩy của máy nén. Tiếp điểm đóng mở của role được mắc nối tiếp với nguồn cung cấp điện cho động cơ quạt.

Phương pháp sử dụng role áp suất đóng ngắt quạt có thể áp dụng cho cả các dàn ngưng chỉ có một quạt duy nhất. Phương pháp này không áp dụng được cho hệ thống lạnh có quạt truyền động từ động cơ máy nén.

Đối với dàn ngưng có nhiều quạt có thể đóng ngắt một phần quạt nhờ role nhiệt độ. Đầu cảm của role lấy tín hiệu nhiệt độ ngưng tụ hoặc có thể lấy ngay nhiệt độ không khí ngoài trời. Đối với quạt li tâm, phương pháp điều khiển này có các ưu điểm: kinh tế do tiết kiệm được năng lượng, tuổi thọ động cơ quạt cao hơn và giảm được tiếng ồn. Đối với quạt hướng trục thường không đạt được các ưu điểm đó.

Đầu cảm của role nhiệt độ của quạt thứ nhất được gắn vào giữa các lớp dàn ngưng ở phía hút của quạt thứ nhất, sau đó tiến hành đặt nhiệt độ ngắt quạt theo ý muốn.

Nếu như nhiệt độ vị trí đó hạ xuống thấp hơn nhiệt độ đặt của quạt, role nhiệt độ sẽ ngắt quạt thứ nhất. Nếu nhiệt độ dàn tiếp tục giảm xuống dưới nhiệt độ đặt cho quạt thứ 2 thì role nhiệt độ của quạt thứ 2 sẽ ngắt tiếp quạt thứ 2.

- Quạt cuối cùng đặt ở nhiệt độ thấp nhất và quạt đầu tiên đặt ở nhiệt độ cao nhất.
- Khoảng nhiệt độ đặt nên chia đều cho số quạt của dàn ngưng.
- Nhiệt độ ngưng tụ thường cao hơn nhiệt độ không khí bên ngoài khoảng 15°C hay $\Delta t = 15\text{K}$.

Chú ý:

Cần phải lưu ý đặt các clapê quá áp tự đóng phía sau quạt theo hướng của quạt vì trong mọi trường hợp, dòng khí thải không được đi vào từng đường hút của các quạt đang hoạt động, nếu không quạt có thể bị quá tải dẫn đến cháy động cơ.

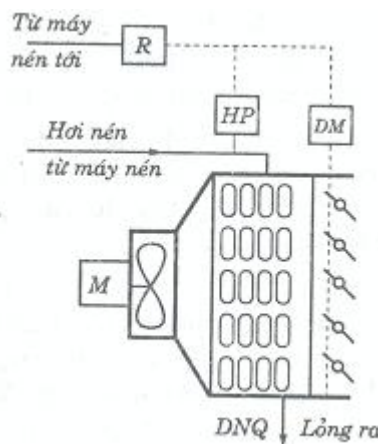
Ở dạng điều chỉnh này, khi đóng mạch thêm cho một quạt có thể dẫn tới sự giảm đột ngột của áp suất ngưng tụ trong dàn sinh ra sự bay

hơi của môi chất lạnh trên đường ống từ bình chứa đến van tiết lưu, làm cho van tiết lưu cung cấp không đầy đủ lỏng cho dàn bay hơi, áp suất bay hơi có thể giảm xuống. Đây cũng chính là nhược điểm của phương pháp điều chỉnh này. Nhiều hệ thống lạnh lắp đặt thực tế theo phương án này làm việc thiếu ổn định. Hơn nữa nếu máy đặt ở vùng đông dân cư, tiếng ồn không đồng đều của quạt khi bật, khi tắt cũng gây khó chịu.

b. Điều chỉnh lưu lượng gió bằng clapê gió

Để khắc phục tình trạng đóng, ngắt động cơ liên tục có thể sử dụng clapê gió (damper) điều chỉnh nhờ tín hiệu áp suất đầu đẩy máy nén. Hình 5.15 giới thiệu sơ đồ điều chỉnh clapê gió.

Khi áp suất ngưng tụ giảm, các tấm chắn mở to hơn để không khí đi qua lỗ bề mặt trao đổi nhiệt nhiều hơn. Khi áp suất ngưng tụ tăng lên, động cơ điều chỉnh clapê DM khép bớt clapê cho gió vào dàn ngưng ít hơn. Áp suất tăng, quá trình được lặp lại. Nếu máy nén dừng, quạt dừng và clapê gió cũng khép lại.



Hình 3.8. Điều chỉnh clapê

Phương pháp này không kinh tế vì quạt phải chạy liên tục nên tổn hao năng lượng lớn. Tuổi thọ quạt giảm và không giảm được tiếng ồn.

c. Điều chỉnh tốc độ quạt qua máy biến tần

Do các nhược điểm của việc điều chỉnh đóng ngắt quạt nên xu hướng điều chỉnh tốc độ quạt qua máy biến tần ngày càng được chú ý. Phương pháp này có thể điều chỉnh vô cấp với độ chính xác cao áp suất và nhiệt độ ngưng tụ, không gây tiếng ồn lớn, đặc biệt xoá bỏ được tiếng ồn chu kỳ bất thường do đóng mở quạt mà còn có thể tiết kiệm được năng lượng một cách đáng kể, tăng tuổi thọ và độ tin cậy của động cơ quạt.

Tín hiệu đưa vào máy biến tần có thể là áp suất hoặc nhiệt độ ngưng tụ. Do điều chỉnh vô cấp nên loại trừ được sự biến động đột ngột của áp suất ngưng tụ và qua đó van tiết lưu có thể làm việc một cách tin cậy hơn, luôn đảm bảo sự cấp lỏng đều đặn tối ưu cho dàn bay hơi.

3.4. Tự động hóa thiết bị bay hơi

3.4.1. Giới thiệu chung

Tự động hoá thiết bị bay hơi là trang bị cho nó những dụng cụ và thiết bị tự động để nó có thể làm việc bình thường, tự động không cần công nhân vận hành theo dõi phục vụ.

Những dụng cụ tự động thực hiện hai chức năng chính:

- Cấp đầy đủ và đều đặn (có thể theo chương trình hoặc chu kỳ) môi chất lỏng cho thiết bị bay hơi.
- Bảo vệ thiết bị ngưng tụ và hệ thống lạnh ở các chế độ làm việc nguy hiểm hoặc không kinh tế, thí dụ, tránh thiết bị bay hơi làm việc ở chế độ ứ lỏng, gây ra hiện tượng lỏng lết về máy nén có thể dẫn đến va đập thủy lực hay thủy kích khi phụ tải nhiệt của thiết bị bay hơi tăng đột ngột.

Phương pháp tự động hóa, các dụng cụ tự động hóa cũng như bảo vệ tự động sử dụng phải phụ thuộc vào từng loại thiết bị bay hơi và từng loại môi chất lạnh.

Giống như thiết bị ngưng tụ, thiết bị bay hơi được chia ra làm 2 loại chính:

- Bình bay hơi làm lạnh chất lỏng trong đó có loại môi chất lạnh sôi trong ống và loại môi chất lạnh sôi ngoài ống.
- Dàn bay hơi làm lạnh không khí trực tiếp, môi chất lạnh sôi trong ống. Ngoài ra, theo mức độ choán chỗ của môi chất lạnh lỏng trong thiết bị bay hơi có thể phân loại ngập và không ngập. Sự phân loại này chỉ dùng cho bình bay hơi ống chùm:
- Ở loại thiết bị bay hơi kiểu ngập, môi chất lạnh bao phủ toàn bộ bề mặt trao đổi nhiệt F của thiết bị.
- Ở loại thiết bị bay hơi kiểu không ngập, môi chất lạnh lỏng không bao phủ toàn bộ bề mặt trao đổi nhiệt mà một phần bề mặt này dùng để hoá nhiệt hơi hút về máy nén.

Đối với các loại dàn bay hơi trực tiếp thì phân ra theo kiểu cấp lỏng từ trên xuống hoặc cấp lỏng từ dưới lên. Khi cấp lỏng từ dưới lên hiệu quả trao đổi nhiệt lớn hơn vì diện tích dàn được phủ lỏng sôi nhiều hơn, tuy nhiên, khả năng lọt lỏng về máy nén gây va đập thủy lực lại lớn hơn. Ngược lại kiểu cấp lỏng từ trên xuống có hiệu quả trao đổi nhiệt nhỏ. Phần dưới dàn chủ yếu sử dụng vào việc quá nhiệt hơi hút nên an toàn hơn, khó bị lọt lỏng về máy nén hơn.

Theo môi chất lạnh, phân ra hai loại chính là thiết bị bay hơi amoniắc và thiết bị bay hơi freôn. Sự khác nhau trong phương pháp cấp lỏng cũng là do tính chất vật lý và nhiệt động khác nhau cũng như tác động qua lại giữa chúng và dầu bôi trơn.

Thí dụ, các freôn có nhiệt hoá hơi nhỏ hơn nhiều lần so với amoniắc, hệ số tỏa nhiệt cũng nhỏ hơn, do đó với cùng năng suất lạnh, lưu lượng freôn tuần hoàn trong hệ thống lạnh lớn hơn nhiều lần, bề mặt trao đổi nhiệt cũng phải lớn hơn nên thường có cánh phía freôn. Hầu hết các freôn hòa tan dầu tạo khả năng tốt hồi dầu về máy nén qua đường hút nhưng hệ thống lạnh amoniắc cần trang bị bình tách dầu và các bầu dầu cho các thiết bị để thu hồi và trả dầu về bình chứa.

Bảo vệ thiết bị bay hơi cũng gồm 3 công việc chính, đó là:

- Bảo vệ thiết bị bay hơi không bị cấp quá nhiều lỏng, gây nguy cơ lọt lỏng về máy nén, gây va đập thủy lực.

- Bảo vệ thiết bị bay hơi không bị đóng băng chất tải lạnh lỏng trong ống trao đổi nhiệt gây nguy cơ nổ ống, rò rỉ môi chất lạnh, làm hư hỏng thiết bị bay hơi.

- Xả băng định kỳ cho các dàn bay hơi làm lạnh không khí bảo đảm quá trình trao đổi nhiệt hiệu quả.

Sau đây chúng ta sẽ đi sâu nghiên cứu các vấn đề cụ thể của tự động điều khiển, điều chỉnh, báo hiệu và bảo vệ cho thiết bị bay hơi.

3.4.2. Tự động cấp lỏng cho thiết bị bay hơi

Bộ cấp lỏng cho thiết bị bay hơi là một cụm quan trọng của hệ thống lạnh được tự động hoá. Việc cấp lỏng chỉ có thể thực hiện nhờ bộ điều chỉnh cấp lỏng (bằng tay hoặc tự động) bởi vì chỉ cần một đại lượng nhỏ tác động, như thay đổi phụ tải nhiệt, thay đổi nhiệt độ môi trường bên ngoài thì thiết bị bay hơi đã có thể bị ứ lỏng, dẫn đến nguy cơ máy nén hút phải lỏng gây ra va đập thuỷ lực cho máy nén.

Mức lỏng của thiết bị bay hơi ảnh hưởng rất lớn đến chỉ tiêu năng lượng của máy lạnh. Phần lớn các thiết bị bay hơi đều có mức lỏng tiêu chuẩn. Thấp hơn hoặc cao hơn mức đó thì hiệu quả năng lượng sẽ giảm đi vì không sử dụng hết diện tích bề mặt trao đổi nhiệt hoặc sẽ dẫn tới chế độ làm việc nguy hiểm như nguy cơ lỏng lọt vào máy nén...

Mức chứa lỏng của thiết bị bay hơi được đặc trưng bằng mức sử dụng diện tích bề mặt trao đổi nhiệt nhưng việc xác định trực tiếp diện tích bề mặt trao đổi nhiệt đó khá khó khăn.

Có ba chỉ tiêu gián tiếp cho phép đánh giá mức độ cấp lỏng cho thiết bị bay hơi là:

- Độ quá nhiệt của hơi ra khỏi thiết bị bay hơi.
- Mức lỏng của môi chất.
- Áp suất bay hơi.

Dụng cụ để thực hiện việc tự động cấp lỏng cho thiết bị bay hơi là dụng cụ điều chỉnh tự động. Có thể chia ra hai loại dụng cụ điều chỉnh cấp lỏng tự động là:

- Dụng cụ điều chỉnh cấp lỏng theo độ quá nhiệt hơi hút về máy nén.
- Dụng cụ điều chỉnh mức lỏng.

Ngoài ra có dụng cụ duy trì không chế áp suất bay hơi không đổi.

a) Điều chỉnh cấp lỏng theo độ quá nhiệt hơi hút

Điều chỉnh cấp lỏng theo độ quá nhiệt hơi hút hiện nay là phương pháp phổ biến nhất vì độ quá nhiệt phản ánh đúng độ khô của hơi, một thông số quan trọng để lỏng không lọt vào máy nén, tuy nhiên độ khô của hơi rất khó xác định và hầu như chưa có dụng cụ nào cấp lỏng dựa trên nguyên tắc này.

Độ quá nhiệt hơi hút càng cao, càng đảm bảo an toàn cho máy nén. Nhược điểm của nó là kém hiệu quả trao đổi nhiệt. Lựa chọn độ quá nhiệt thích hợp cho mỗi hệ thống lạnh là nhiệm vụ rất quan trọng. Độ quá nhiệt hơi hút là hiệu nhiệt độ hơi hút và nhiệt độ sôi nên rất dễ xác định. Tuy nhiên, trên thực tế, luôn luôn tồn tại pha lỏng trong dòng hơi ra khỏi thiết bị (nhất là trong hệ thống lạnh freon do môi chất hoà tan trong dầu), đồng thời, ngay trong thiết bị bay hơi do tồn thất thuỷ lực

trong dòng chuyển động cưỡng bức, trong ống và cột lỏng, trong thể tích chất lỏng sôi nên độ chính xác của giá trị nhiệt độ sôi xác định được và độ quá nhiệt của hơi, còn phụ thuộc vào phương pháp đo lường áp dụng. Mặc dù vậy, độ quá nhiệt của hơi ở lối ra khỏi thiết bị bay hơi vẫn là chỉ tiêu để đánh giá mức độ cấp lỏng và có thể sử dụng với bất cứ môi chất lạnh nào, chỉ trừ các bình bay hơi không có thể tích cần thiết làm quá nhiệt hơi.

b) Cấp lỏng theo mức:

Đối với các bình bay hơi kiểu ngập và các dàn không có phần làm quá nhiệt, chỉ tiêu cấp lỏng là mức lỏng trong thiết bị. Mức lỏng có thể được đo và được cấp theo nguyên lý bình thông nhau. Đối với môi chất freôn, do hoà tan dầu hoàn toàn, chế độ sôi màng mạnh, nhiều khi không tồn tại cả biên pha, nhiệt độ và áp lực sôi giảm, đặc tính thiết bị thay đổi nên khó sử dụng được nguyên lý bình thông nhau. Đối với freôn do đó thường cấp lỏng theo độ quá nhiệt.

Thực tế, phần lớn các thiết bị bay hơi được cấp lỏng theo tín hiệu quá nhiệt có thể kết hợp với dụng cụ điều chỉnh 2 vị trí. Các bình bay hơi amoniắc thường dùng bộ điều chỉnh mức lỏng.

3.4.2.1. Cấp lỏng theo độ quá nhiệt hơi hút

Năng suất lạnh Q_0 của thiết bị bay hơi được xác định theo biểu thức :

$$Q_0 = kF\Delta_{tb} \quad (3.4)$$

trong đó :

k - hệ số truyền nhiệt, W/m^2K

F - diện tích bề mặt trao đổi nhiệt, m^2

Δ_{tb} - hiệu nhiệt độ trung bình logarit, K .

Hiệu nhiệt độ trung bình logarit xác định theo biểu thức :

$$\Delta_{tb} = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln(\Delta t_{\max} / \Delta t_{\min})} \quad (3.5)$$

$\Delta t_{\max}$ và $\Delta t_{\min}$ là hiệu nhiệt độ lớn nhất và nhỏ nhất giữa chất tải lạnh và môi chất lạnh sôi ở đầu vào và đầu ra thiết bị bay hơi.

Giả sử diện tích bề mặt trao đổi nhiệt $F = \text{const}$, chỉ còn hệ số truyền nhiệt k phụ thuộc vào mức lỏng cấp trong thiết bị bay hơi hay độ quá nhiệt hơi hút về máy nén vì mức lỏng tỷ lệ nghịch với độ quá nhiệt hơi hút. Mức lỏng càng thấp, độ quá nhiệt càng cao và ngược lại mức lỏng càng cao độ quá nhiệt càng thấp.

Không thể chọn độ quá nhiệt bằng không vì đó là chế độ làm việc nguy hiểm vậy độ quá nhiệt là bao nhiêu để hệ thống lạnh hoạt động an toàn nhưng vẫn đảm bảo hiệu quả truyền nhiệt cao.

a. Ống mao

Ống mao hay còn gọi là ống mao dẫn, ống kapile, cấp phun... đơn giản chỉ là một đoạn ống rất nhỏ có đường kính từ 0,6 đến 2mm và chiều dài

từ 0,5 ÷ 5m nối giữa phin lọc dàn ngưng tụ và dàn bay hơi của hệ thống lạnh nhỏ.

Ống mao có ưu điểm là rất đơn giản, không có chi tiết chuyển động nên làm việc đảm bảo độ tin cậy rất cao. Sau khi máy nén ngừng vài phút, áp suất 2 bên hút và đẩy sẽ cân bằng nên khởi động máy rất dễ dàng.

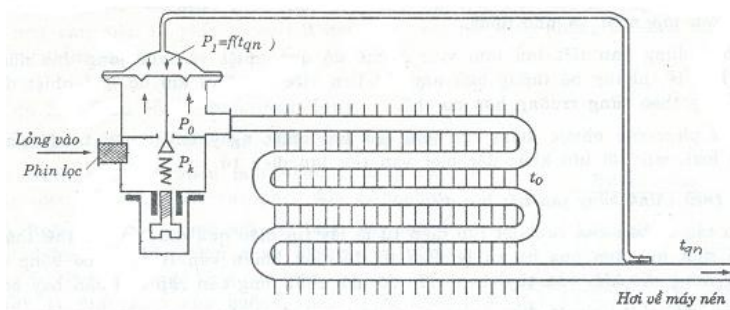
Tuy nhiên ống mao cũng có nhược điểm là dễ tắc bẩn, tắc ẩm, không thể điều chỉnh được vì ống mao là cơ cấu tiết lưu cố định do đó chỉ sử dụng cho hệ thống lạnh nhỏ như tủ lạnh gia đình, thương nghiệp, các máy điều hòa nhiệt độ một và hai cực năng suất đến khoảng 24.000 BTU/h. Điều chỉnh năng suất lạnh bằng thermostart hay role nhiệt độ. Khi đủ lạnh role nhiệt độ ngắt mạch máy nén. Khi nhiệt độ vượt quá mức cho phép, role nhiệt độ lại đóng mạch cho máy nén hoạt động. Độ quá nhiệt hơi hút được tính toán trước khi nạp, thí dụ như tủ lạnh, đường ống hút ra khỏi vỏ về máy nén phải có nhiệt độ đủ cao để không bị đọng sương gây ướt sưng cách nhiệt vỏ tủ...

b. Điều chỉnh bằng van tiết lưu nhiệt

Van tiết lưu hay van tiết lưu điều chỉnh tự động nhờ độ quá nhiệt của hơi hút về máy nén. Có 2 loại van : van tiết lưu nhiệt cân bằng trong và cân bằng ngoài. Hình 3.9 giới thiệu nguyên tắc cấu tạo và hoạt động của van tiết

lưu nhiệt cân bằng trong.

Van tiết lưu nhiệt gồm khoang áp suất quá nhiệt p_1 có màng đàn hồi, đầu cảm nhiệt 10, ống



Hình 3.9. Van tiết lưu nhiệt cân bằng trong

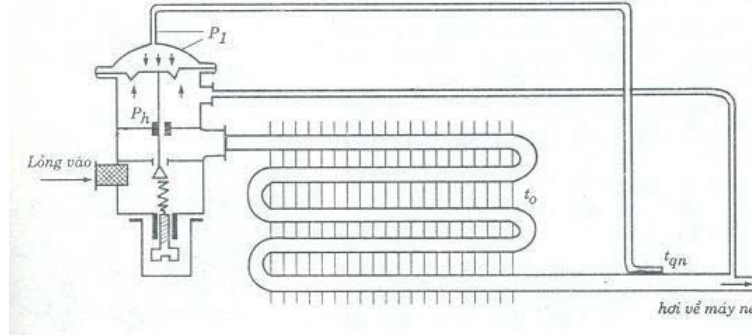
nối 9. Phía trong khoang được nạp môi chất dễ bay hơi (thường chính là môi chất sôi sử dụng trong hệ thống lạnh). Nhiệt độ quá nhiệt (cao hơn nhiệt độ sôi t_0) được đầu cảm 10 biến thành tín hiệu áp suất để làm thay đổi vị trí của màng đàn hồi. Màng đàn hồi được gắn với kim van 5 nhờ thanh truyền 12, nên khi màng co giãn, kim van 5 trực tiếp điều chỉnh cửa thoát phun môi chất lỏng vào dàn.

Van tiết lưu hoạt động như sau : nếu tải nhiệt của dàn tăng hay môi chất vào dàn ít, độ quá nhiệt hơi hút tăng, áp suất p_1 tăng, màng 2 giãn ra, đẩy kim van 5 xuống dưới, cửa thoát môi chất mở rộng hơn cho môi chất lỏng vào nhiều hơn. Khi môi chất lạnh vào càng nhiều độ quá nhiệt hơi hút giảm, p_1 giảm, màng 2 bị kéo lên trên khép bớt cửa môi chất vào ít hơn và nhiệt độ quá nhiệt lại tăng, chu kỳ điều chỉnh lặp lại, và dao động quanh vị trí đã đặt.

Độ quá nhiệt có thể nhờ vít 7. Khi vặn vít thuận chiều kim đồng hồ tương ứng độ quá nhiệt tăng, và ngược chiều kim đồng hồ là độ quá

hiệt giảm. Khi điều chỉnh hết mức, có thể thay đổi 20% năng suất lạnh của van.

Van tiết lưu nhiệt cân bằng trong chỉ sử dụng cho các loại máy lạnh nhỏ, dàn bay hơi bé, tổn thất áp suất không lớn. Khi cần giữ áp suất bay hơi và nhiệt độ bay hơi ổn định, đối với các dàn lạnh có công suất lớn và tổn thất áp suất lớn người ta phải sử dụng loại van tiết lưu cân bằng ngoài (hình 3.10).



Hình 3.10. Van tiết lưu nhiệt cân bằng ngoài

Van tiết lưu nhiệt cân bằng ngoài có thêm ống nối 13 lấy tín hiệu áp suất hút ở gần đầu máy nén (bố trí càng gần đầu máy nén càng tốt). Áp suất phía dưới màng đàn hồi không còn là áp suất p_0 mà là áp suất hút p_h . Do tổn thất áp suất ở dàn bay hơi thay đổi theo tải nên áp suất hút p_h là tín hiệu cấp lỏng bổ sung để hoàn thiện hơn chế độ cấp lỏng cho dàn bay hơi.

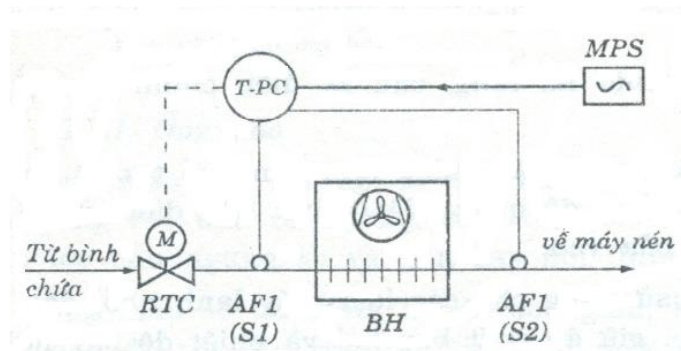
Khi chọn van tiết lưu nhiệt cân bằng lưu ý để van đảm bảo cấp lỏng bình thường cả khi năng suất lạnh lớn nhất và nhỏ nhất.

Hệ thống dùng van tiết lưu làm việc ở chế độ quá nhiệt và mức lỏng dao động đáng kể. Thực tế, những hệ thống loại này chỉ làm việc ổn định khi độ quá nhiệt đạt từ 3÷5K tùy theo từng trường hợp cụ thể.

Để khắc phục các nhược điểm của van tiết lưu nhiệt ngày nay người ta đã phát triển nhiều loại van tiết lưu khác đặc biệt van tiết lưu điện tử.

c. Điều chỉnh bằng van tiết lưu điện tử

Nguyên tắc cơ bản của van tiết lưu điện tử là lấy tín hiệu quá nhiệt và có thể thêm tín hiệu áp suất hút đưa qua bộ xử lý điện tử để điều khiển van tiết lưu có động cơ truyền động đóng mở kim van tùy theo mức độ môi chất



Hình 3.11. Sơ đồ điều chỉnh thiết bị bay hơi sử dụng van tiết lưu điện tử.

MPS - Bộ vi xử lý, T-PC - Điều chỉnh nhiệt độ và áp suất, RTC- Van tiết lưu điện tử điều chỉnh bằng động cơ, AF1-Đầu cảm nhiệt hoặc áp suất, BH-Dàn bay hơi

lồng cần cấp cho dàn bay hơi.

Hình 3.11 giới thiệu sơ đồ điều chỉnh thiết bị bay hơi sử dụng van tiết lưu điện tử.

d. Cấp lỏng theo độ quá nhiệt cho bình bay hơi

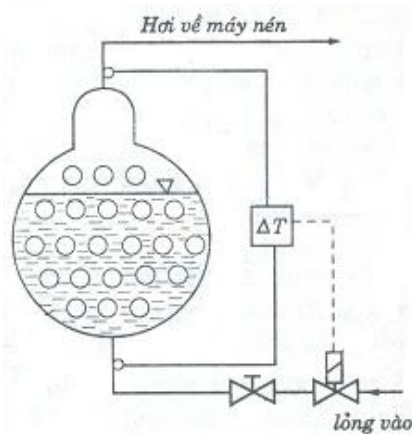
Hình 3.12 giới thiệu một phương pháp cấp lỏng theo độ quá nhiệt cho bình bay hơi kết hợp với ứng dụng điều chỉnh 2 vị trí là van điện tử.

Tín hiệu nhiệt độ vào và ra 3 được đưa về role hiệu nhiệt độ 2 (ΔT). Role hiệu nhiệt độ 2 điều khiển van điện tử 1 đóng, mở cấp lỏng cho bình bay hơi. Van điều chỉnh bằng tay 5 có nhiệm vụ tiết lưu giảm áp suất môi chất từ áp suất ngưng tụ xuống áp suất bay hơi p_0 .

Khi hiệu nhiệt độ (hay độ quá nhiệt) giảm, role hiệu nhiệt độ ngắt mạch van điện tử. Van đóng không cho môi chất vào bình. Khi hiệu nhiệt độ tăng, role đóng mạch cho van điện tử mở cấp lỏng cho bình bay hơi. Lượng môi chất vào bình cần khống chế để có lưu lượng lớn hơn lưu lượng hơi được hút về máy nén. Như vậy, mức lỏng trong bình bay hơi dao động chung quanh giá trị đặt trước.

Để tránh độ quá nhiệt dao động quá lớn, ảnh hưởng đến sự làm việc của máy nhiệt độ phải là loại có độ nhạy cảm cao từ 0,1 đến 0,3K.

Đối với các van tiết lưu nhiệt cấp lỏng cho dàn bay hơi thường người ta cũng bố trí một van điện tử phía trước kết hợp một role nhiệt độ phòng để điều chỉnh nhiệt độ phòng.



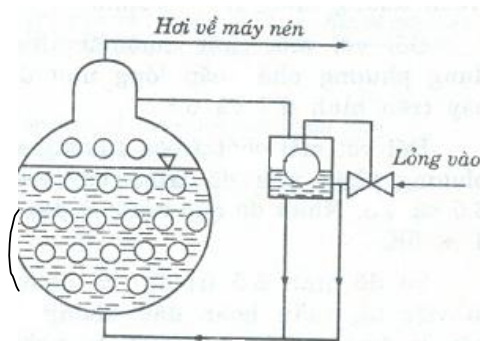
Hình 3.12. Sơ đồ cấp nhiệt theo độ quá nhiệt

3.4.2.2. Cấp lỏng theo mức lỏng

a. Cấp lỏng theo mức lỏng bằng van phao

Hình 3.13 giới thiệu một phương pháp cấp lỏng theo mức lỏng nhờ van phao đơn giản nhất.

Buồng phao 2 được nối với bình bay hơi 4 nhờ đường cân bằng hơi 3 và đường cân bằng lỏng 5. Như vậy, mức lỏng của bình bay hơi cũng chính là mức lỏng của buồng phao vì là bình thông nhau. Tín hiệu lên xuống của mức lỏng trong

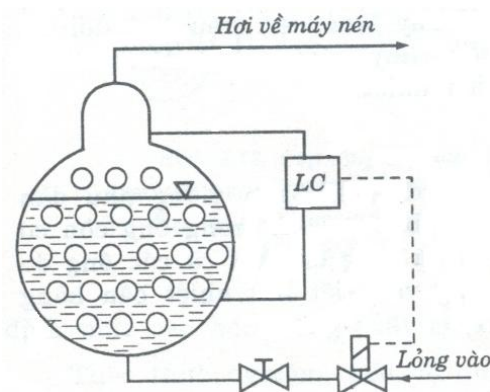


Hình 3.13. Cấp lỏng bằng phao

bình bay hơi biến thành tín hiệu lên xuống của phao và chuyển qua cơ cấu thừa hành ra tác động đóng mở van cấp lỏng cho bình bay hơi. Khi mức lỏng tăng, phao đóng bớt van cấp lỏng và khi mức lỏng giảm phao mở rộng thêm cửa thoát của van cho lỏng vào nhiều hơn. Cứ như vậy van phao duy trì được mức lỏng dao động quanh giá trị đặt trong bình bay hơi. Phao thường bố trí ngang hàng ống thử 2÷3 của bình.

b. Cấp lỏng theo mức bằng điều chỉnh 2 vị trí

Hình 3.14 giới thiệu phương pháp cấp lỏng theo mức bằng điều chỉnh 2 vị trí. Phương pháp cấp lỏng này tương tự như phương pháp trình bày trên hình 3.12 nhưng role hiệu nhiệt độ được thay bằng role mức lỏng (level controller hoặc level switch). Role mức lỏng là một dụng cụ đóng ngắt mạch điện điều



Hình 3.14 Cấp lỏng theo mức (2vị

trị của mức lỏng. Role mức lỏng có 1 buồng phao nối thông với bình bay hơi bằng ống cân bằng hơi và cân bằng lỏng theo nguyên lý bình thông nhau.

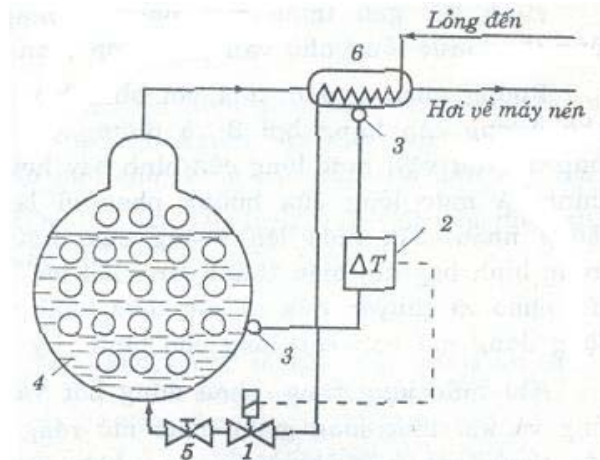
Khi mức lỏng trong buồng phao tăng, phao nổi lên và cho tín hiệu ngắt mạch van điện từ đóng lại, không cho môi chất vào bình bay hơi. Khi mức lỏng hạ xuống, phao hạ xuống theo và cho tín hiệu đóng ngắt mạch cho van điện từ mở, cấp lỏng cho bình bay hơi.

c. Cấp lỏng nhờ van phao cao áp

Dùng cho các hệ thống lạnh lớn có một bình bay hơi làm việc theo kiểu ngập lỏng. Van phao đặt phía bình ngưng tụ. Van mở để cấp lỏng cho bình bay hơi khi mức lỏng trong bình ngưng tăng lên, không phụ thuộc vào mức trong bình bay hơi.

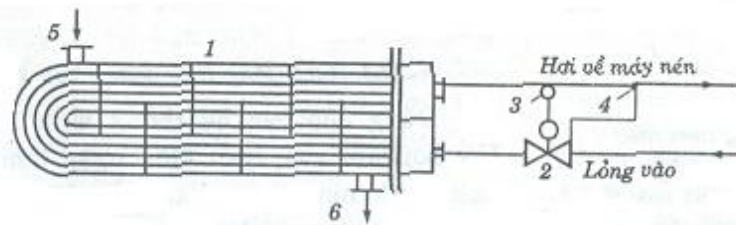
3.4.2.3. Một số sơ đồ cấp lỏng thường gặp

a. Cấp lỏng bình bay hơi môi chất sôi ngoài ống

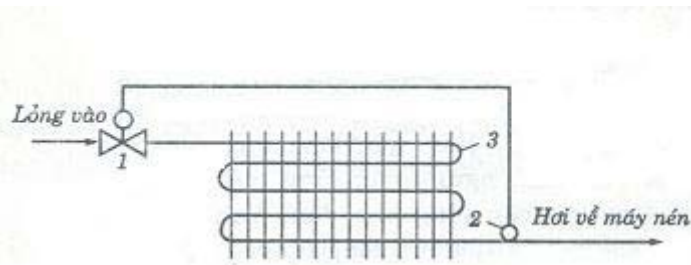


Hình 3.15 Cấp lòng cho bình bay hơi freôn,
lấy tín hiệu nhiệt độ quá nhiệt tại bộ hồi nhiệt :
1 - van điện từ ; 2 - rơle hiệu nhiệt độ ;
3 - đầu cảm nhiệt ; 4 - bình bay hơi ;
5 - van tiết lưu tay ; 6 - hồi nhiệt.

b. Cấp lòng bình bay hơi môi chất trong ống

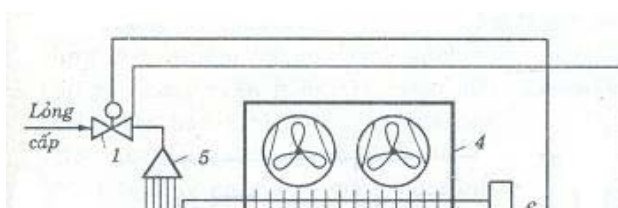


Hình 3.16 Cấp lòng bình bay hơi lòng sôi trong ống bằng van tiết lưu nhiệt cân bằng ngoài :
1 - bình bay hơi lòng sôi trong ống ; 2 - van tiết lưu nhiệt cân bằng ngoài ; 3 - đầu cảm nhiệt ;
4 - đầu lấy tín hiệu áp suất ; 5, 6 - ống chất tải lạnh vào và ra.



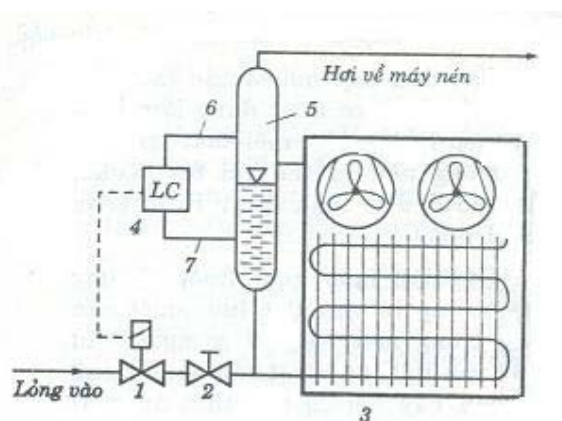
Hình 3.17 Cấp lòng cho dàn bay hơi freôn bằng
van tiết lưu nhiệt cân bằng trong :
1 - van tiết lưu nhiệt cân bằng trong ;
2 - đầu cảm nhiệt ;
3 - dàn bay hơi.

d. Cấp lòng dàn bay hơi lớn freôn lớn



Hình 3.18

e. Cấp lỏng dần bay hơi amoniắc

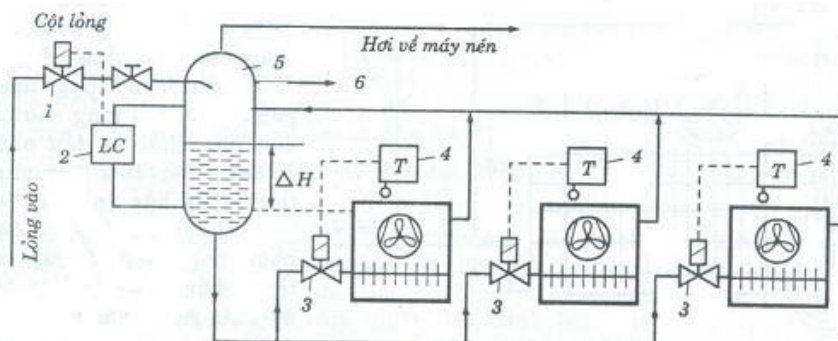


Hình 3.19 Cấp lỏng cho dàn bay hơi amoniắc ;

1 - van điện từ ; 2 - van tiết lưu tay ;

f. Cấp lỏng

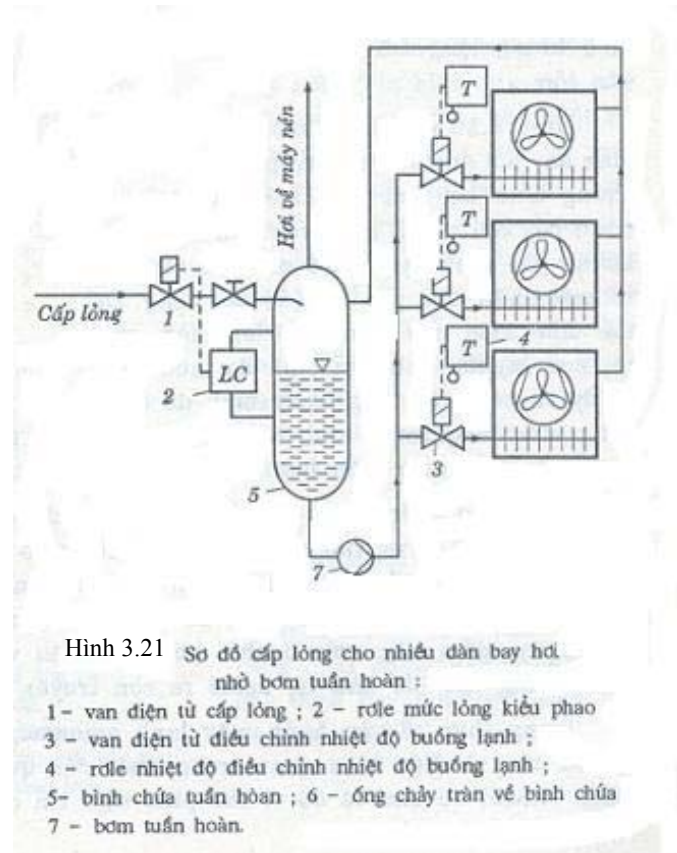
3 - dàn bay hơi ; 4 - rơle mức lỏng (Level Controller) ;
5 - bình tách lỏng ; 7 - đường cân bằng lỏng.



Hình 3.20 Sơ đồ cấp lỏng cho nhiều dàn bay hơi nhờ cột lỏng :

1 - van điện từ cấp lỏng ; 2 - rơle mức lỏng kiểu phao ; 3 - van điện từ điều chỉnh nhiệt độ buống lạnh
4 - rơle nhiệt độ điều chỉnh nhiệt độ buống lạnh ; 5 - bình tách lỏng ; 6 - ống chảy tràn về bình chứa.

g. Cấp lỏng cho dàn bay hơi nhờ bơm tuần hoàn



3.4.3. Bảo vệ thiết bị bay hơi

Hệ thống bảo vệ thiết bị bay hơi dùng để ngăn ngừa thiết bị bay hơi làm việc ở chế độ nguy hiểm có thể dẫn đến nguy cơ làm hư hỏng thiết bị bay hơi, máy nén và các bộ phận khác của máy lạnh. Những nguyên nhân cơ bản gây ra chế độ vận hành nguy hiểm là tràn lỏng trong dàn bay hơi và đóng băng chất tải lạnh.

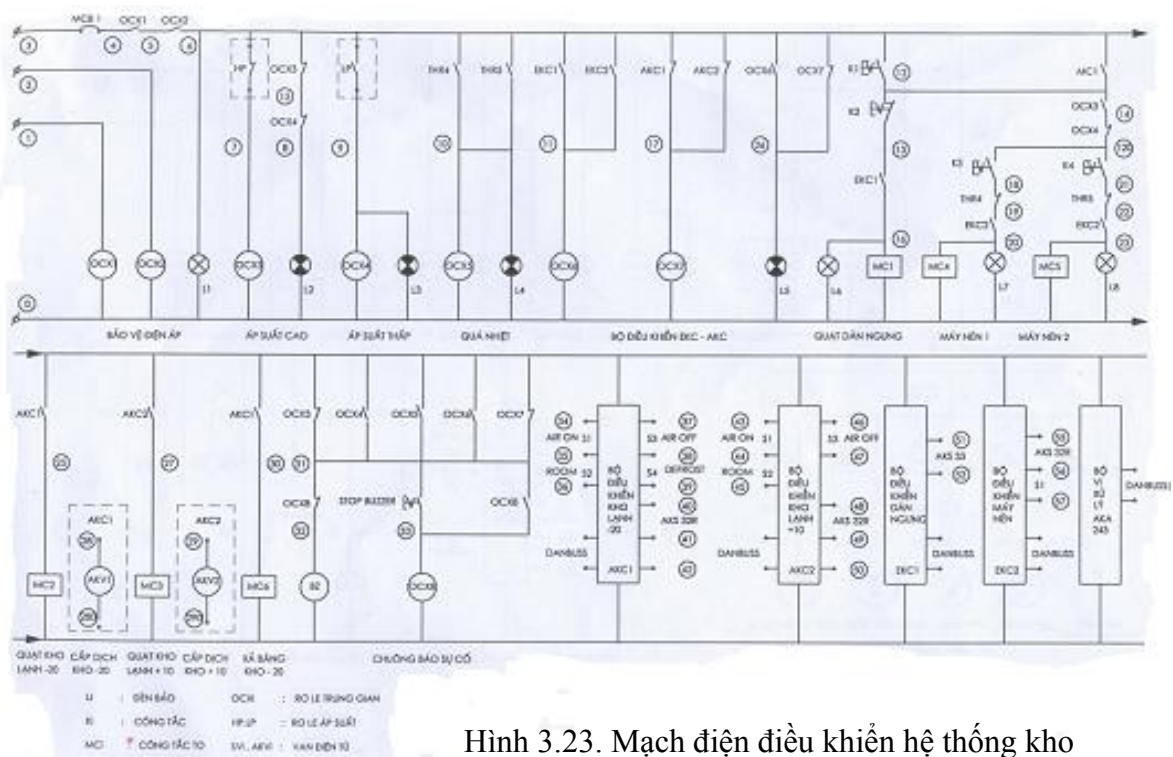
Do đó thường có 2 hệ thống bảo vệ đó là; *Bảo vệ thiết bị bay hơi không bị tràn lỏng* và *Bảo vệ bình bay hơi không bị đóng băng chất tải lạnh*.

Hệ thống bảo vệ ở đây gồm những dụng cụ bảo vệ, các phần tử liên quan và sơ đồ điều khiển điện. Tín hiệu xử lý của hệ thống bảo vệ được truyền về hệ thống điều khiển của máy lạnh, dừng máy nén để bảo vệ hoặc truyền đến các phần tử liên quan.

3.5. Một số mạch điện điều khiển tự động hệ thống lạnh



Hình 3.22. Mạch điện động lực kho lạnh
MCCB – Áp tô mát, MCI – Công tắc tơ, ThRi- Rơ le nhiệt



TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1) *Lý thuyết điều chỉnh tự động*-Phạm Công Ngô, 1996, NXB Khoa học kỹ thuật.
- 2) *Lý thuyết điều chỉnh tự động quá trình nhiệt*-Nguyễn Văn Mạnh, 1993,NXB Hà Nội
- 3) *Điều khiển tự động* -Nguyễn Thị Phương Hà, 1996, NXB Khoa học kỹ thuật.
- 4) *Điều khiển tự động* - Nguyễn Ngọc Cần, NXB Trường ĐHSPKT TP HCM, 1988
- 5) *Cơ sở lý thuyết điều chỉnh tự động* - Nguyễn Văn Hòa, NXB Hà Nội, 1998
- 6) *Tự động điều khiển các quá trình công nghệ*-Trần Doãn Tiến, NXB Giáo dục, 1999
- 7) *Automatic Control System* - Ben Jamin , C Kuo, Prentice Hall International Editions, 1995
- 8) *Computer Systems for Automation and Control*- M. J. Grimble, 1992, Prentice Hall International Editions, 1995