Điều khiển đa biến tách kênh cho buồng sấy giấy

The decoupling multivariable control for the paper drying section

Trần Kim Quyên[1], Đoàn Quang Vinh[2], Lê Khắc Trường[3]
Trường CĐCN Tuy Hòa[1], Đại học Đà Nẵng[2], Trường ĐHBK Hà Nội[3]
e-Mail: trankimquyen78@gmail.com[1] dqvinhdn@gmail.com[2];
truonglekhac@gmail.com[3].

Tóm tắt

Trong dây chuyền xeo giấy, điều khiển độ ẩm của giấy là chỉ tiêu quan trọng của chất lượng giấy, độ ẩm giấy do hệ thống sấy đảm nhận. Điều khiển hệ thống sấy có bốn mạch vòng điều khiển chính: Mạch vòng điều khiển gia nhiệt gió nóng cấp vào buồng kết hợp với mạch vòng điều khiển độ ẩm dùng hơi bão hòa để sấy giấy, mạch vòng điều khiển nhiệt độ điểm sương đảm bảo môi trường không khí trong buồng sấy sao cho nước trong giấy có đủ điều kiện bay hơi và mạch vòng điều khiển cân bằng gió vào – ra đảm bảo tổn thất nhiệt ít. Trong bốn mạch vòng, riêng mạch vòng gia nhiệt gió nóng là tương đối độc lập, ba mạch vòng còn lại có tác động qua lại với nhau và đều ảnh hưởng tới độ ẩm giấy, công suất nhiệt tiêu thụ khi sấy. Trong [2],[3],[4] các tác giả đã nghiên cứu riêng rẽ ba mạch vòng: Điều khiển độ ẩm, điều khiển cân bằng gió vào-ra và điều khiển nhiệt độ điểm sương và [5] nghiên cứu xây dựng cấu trúc điều khiển đa biến, khảo sát tác động xen kênh. Bài báo này các tác giả sẽ đi thiết kế điều khiển tách kênh cho hệ đa biến để nâng cao chất lượng hệ sấy giấy. Nội dung bài báo trình bày có ba phần: Phần thứ nhất tóm tắt động học quá trình từng mạch vòng theo [2],[3],[4]; Phần hai tóm tắt cấu trúc điều khiển đa biến cũng như đáp ứng của hệ; Phần ba thiết kế điều khiển tách kênh cho hệ đa biến.

Từ khóa:

Độ ẩm, Tách kênh, Điểm không áp suất, Nhiệt độ điểm sương

Abstract:

In the line of PMs paper, the control of the paper moisture content undertaken by the drying system is an important indicator of the paper quality. The control of the drying system has four main control loops: The loop controlling hot air entering the drying section and combining with the paper moisture content control loop using saturated steam for drying paper, the dew point temperature control loop ensuring the air environment in the drying section so that the water in the paper gets enough conditions to evaporate and the air input- out put balance control loop ensuring less heat loss. In four loops, the air heating loop is relatively independent, but the three remaining loops interact with each other and affects the paper moisture content, the capacity of thermal consumption when drying. In [2],[3],[4] the authors have studied three loops separately: the moisture control, the air input – output balance control and the dew point temperature control and in [5], having studied and designed the decoupling multivariable control structure, made the reciprocal impact survey. In this paper, the authors design the decoupling control for the multivariable system to improve the quality of the paper drying system. The paper content consists of three parts: The first one summarizes the dynamics of each loop in [2],[3],[4]; The second one summarizes the decoupling multivariable control structure as well as the demand satisfaction of the system; The third one designs the decoupling control for the multivariable system.

Keywords:

Moisture, Decoupling, Neutral Pressure, Dew point temperature

Kýhiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
γ_1,γ_2	kg/kg	Độ ẩm tỉ lệ của giấy
W_p	kg/s	Lưu lượng giấy qua buồng sấy
m	Kg	Khối lượng giấy
g	g/m^2	Định lượng giấy
A	m^2	Diện tích
(*)		Chỉ số ký hiệu đại lượng điều khiển.
V	m/phút	Tốc độ xeo giấy
K_{bh}	m/s	Hệ số bay hơi nước từ giấy
Q	kW	Công suất nhiệt
C_p	kJ/kg k	Nhiệt dung riêng
T_m	K	Nhiệt độ mặt lô
SH	kg/kg	Độ ẩm tỷ lệ của không khí
%RH	%	Độ ẩm tương đối của không khí

Chữ viết tắt

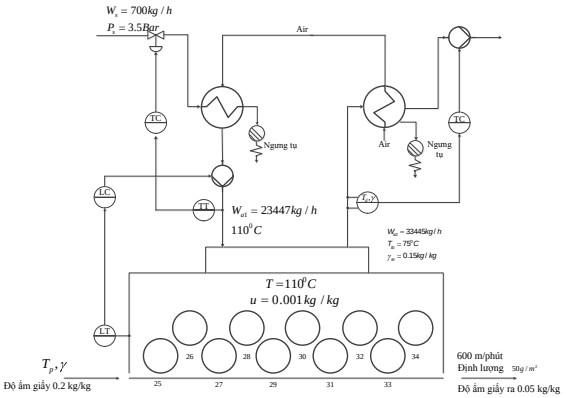
ZL	Zero level
NP	Neutral Pressure

1. Phần mở đầu

Trên H.1 trình bày sơ đồ nguyên lý điều khiển buồng sấy giấy cuối trong dây chuyền xeo giấy[8], giấy từ ép keo có độ ẩm tương đối 0,2 (kg/kg) qua buồng sấy để có độ ẩm đầu ra 0,05 (kg/kg). Buồng sấy có 10 lô sấy vận hành ổn định tại tốc độ xeo V =600 m/phút, định

lượng 50g/m^2; Gió nóng vào W_{a1} có lưu lượng vận hành là 3.25kg/s (lưu lượng định mức là 6,5kg/s) có nhiệt độ 110^{0}C, độ ẩm tỷ lệ 0,001kg/kg; Gió thải ra có lưu lượng vận hành 4.75 (kg/s) (lưu lượng định mức là 9,5 kg/s), nhiệt độ khí thải 75^{0}C độ ẩm tỷ lệ 0,15 (kg/kg); Nhiệt độ điểm sương được đặt 60^{0}C. Hệ điều khiển có bốn nhiệm vụ, cụ thể:

- Điều khiển gia nhiệt cho gió cấp cho buồng sấy: Gió lấy từ ngoài trời lưu lượng Wa_1 được gia nhiệt một phần từ không khí thải qua bộ HRU (thu hồi nhiệt), sau đó gió đưa sang thiết bị trao đổi nhiệt được gia nhiệt bằng hơi bão hòa, điều khiển nhiệt độ gió sấy thông qua van điều khiển lưu lượng hơi. Mạch vòng điều khiển gia nhiệt gió hoạt động tương đối độc lập.
- Gió nóng có nhiệt độ 110^{0}C, độ ẩm tỷ lệ 0,001 (kg/kg) được thổi vào hai mặt giấy bằng vòi phun, kết hợp với sấy áp suất hơi cấp cho lô sấy tạo nên mạch vòng điều khiển sấy giấy. Động học quá trình sấy trong buồng sấy được nghiên cứu trong [2].
- Điều khiển cân bằng gió vào - ra, với mục tiêu đảm bảo gió nóng chiếm giữ khoảng không giữa hai lô (vùng sấy) để truyền nhiệt cho mặt giấy phục vụ quá trình bay hơi, nên cần điều khiển cân bằng gió nóng thổi vào W_{a1} kết hợp với lượng hơi nước bay ra từ giấy W_{bh}, phải cân bằng với gió hút khí thải ra khỏi buồng sấy W_{a2}, sao cho không có không khí lạnh từ ngoài hút vào vùng sấy. Điều khiển cân bằng thông qua điểm áp suất không nên người ta gọi là hệ điều khiển ZL. Đại lượng điều khiển là lưu lượng gió thổi vào W_{a1}, cơ cấu chấp hành là quạt thổi đã được nghiên cứu trong [3].
- Điều khiển môi trường sấy thông qua nhiệt độ điểm sương: Khi sấy giấy nước bay hơi vào không khí, làm cho độ ẩm không khí tăng dẫn đến tăng nhiệt độ điểm sương. Khi nhiệt độ điểm sương tăng cao thì khả năng bay hơi nước từ giấy càng giảm, nếu nhiệt độ diểm sương gần với nhiệt độ môi trường thì nước có xu thế ngưng tụ.



H. 1 *Sơ đồ P & ID của buồng sấy*

Nhiệt độ điểm sương trong buồng sấy được giữ ổn định thấp hơn nhiệt độ môi trường sấy khoảng 15 ÷ 25 ^{0}C. Điều khiển nhiệt độ điểm sương thông qua điều chỉnh lưu lượng gió ra W_{a2} (dùng quạt hút)[4].

Trong [6], đã nghiên cứu xây dựng cấu trúc điều khiển đa biến cho buồng sấy giấy. Nội dung chính của bài báo này sẽ đi thiết kế điều khiển tách kênh cho hệ đa biến buồng sấy giấy theo trình tự: Bước thứ nhất dựa trên cấu trúc hệ điều khiển đa biến đã nghiên cứu [12] (ta gọi là hệ đa biến thực) tiến hành nhận dạng các hàm truyền chính, hàm truyền xen kênh để đưa về hệ đa biến dạng chuẩn; Bước thứ hai từ hệ đa biến dạng chuẩn thiết kế điều khiển tách kênh theo phương pháp điều khiển phân ly Feedforward; Bước thứ ba sử dụng hàm điều khiển phân ly kết nối vào hệ điều khiển đa biến thực, đánh giá hệ.

2. Nội dung chính

2.1 Động học và điều khiển quá trình của từng mạch vòng trong buồng sấy

2.1.1 Động học và điều khiển quá trình mạch vòng điều khiển độ ẩm

Trong [2] tác giả đã xây dựng mô hình động học và mô hình hóa mô phỏng gồm các vấn đề chính sau:

Phương trình cân bằng khối lượng tổng quát cho giấy đi qua buồng sấy [1],[10],[11]:

$$\frac{d\gamma_2}{dt} = \frac{1}{m_p}(w_p\gamma_1 - w_p\gamma_2 - w_{bh}) \quad (1)$$

Phương trình cân bằng năng lượng tổng quát cho quá trình sấy trong buồng sấy:

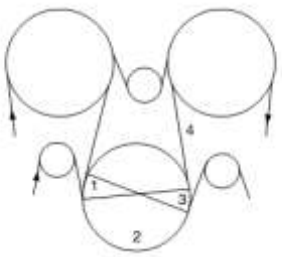
$$m(\gamma_2+1)C_p\frac{dT_{p2}}{dt} = Q + w_p(1+\gamma_1)C_p(T_{p1}-T_{p2}) + w_{bh}C_pT_{p2} - w_{bh}\Delta H_b \quad (2)$$

Trong đó: ΔH_b là lượng nhiệt cần thiết để nước bay hơi từ giấy vào không khí(kJ); $m(1+\gamma_1)$: Khối lượng giấy có độ ẩm lúc vào (kg); $m(1+\gamma_2)$: Khối lượng giấy có độ ẩm lúc ra (kg); T_{p1},T_{p2} là nhiệt độ bề mặt giấy lúc vào và ra buồng sấy (K); W_{bh} là lưu lượng hơi nước bay ra từ giấy (kg/s). C_p nhiệt dung riêng trung bình của giấy khi sấy (kJ/kg k)

Để xây dựng động học quá trình sấy ta cần dựa trên cơ chế sấy giấy cho một lô.

Quá trình sấy giấy khi đi qua một lô gồm 4 giai đoạn [6] (H.2):

Giai đoạn (2) Giấy phủ chăn nên gần không bay hơi W_{bh}=0, γ_2 không đổi.



H. 2 *Quá trình sấy giấy khi đi qua một lô*

Giai đoạn (1 và 3) giấy ra khỏi lô có mặt thoáng nên bốc hơi $W_{bh}\neq 0$, nhiệt độ T_{p2} và độ ẩm giấy γ_2 giảm. Công suất nhiệt giấy được nhận từ lô là

$$Q = K_{T1}A_1(T_m - T_{p2}) \quad (3)$$

Giai đoạn (4) giấy được tích nhiệt từ lô (từ giai đoạn trước) kết hợp với gió nóng thổi, nước trong giấy bay hơi nhiều $W_{bh}\neq 0$. Nhiệt độ và độ ẩm giấy giảm nhanh. Công suất nhiệt giấy nhận chỉ từ gió nóng là

$$Q = K_{T2}A_2(T_G - T_{p2}) \quad (4)$$

Trong đó: K_{T1} là hệ sô truyền nhiệt từ lô vào giấy (kW/m^2 K); K_{T2} là hệ số truyền nhiệt từ gió vào giấy (kW/m^2 K); A_1,A_2 là diện tích truyền nhiệt (m^2); T_m là nhiệt độ mặt lô (K); Tp nhiệt độ của giấy (K); W_{bh} là hàm của: Bề rộng khổ giấy, tốc độ xeo, nhiệt độ của giấy và hệ số bay hơi K_{bh} nước từ giấy vào không khí. K_{bh} phụ thuộc vào nhiều tham số trong đó chủ yếu là tốc độ gió nóng thổi vào mặt giấy, độ ẩm và nhiệt độ không khí (tính qua nhiệt độ điểm sương).

Từ mô hình mô phỏng ta khảo sát biến thiên xung quanh điểm làm việc và nhận dạng được các hàm truyền sau:

$$G_{P1} = \frac{\Delta\gamma}{\Delta P^*} = \frac{-0.0009466}{45s+1}e^{-10s}$$

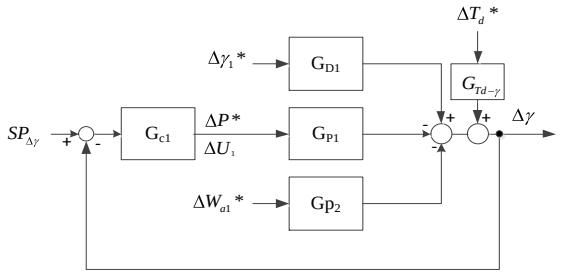
$$G_{P2} = \frac{\Delta\gamma}{\Delta W_{a1}^*} = \frac{-0.000572}{20s+1}e^{-18s}$$

Hàm truyền nhiễu và xen kênh lấy từ số liệu tuning nhà máy [8] kết hợp với chạy mô hình ta có:

$$G_{D1} = \frac{\Delta\gamma}{\Delta\gamma_1} = \frac{0.0014}{200s+1}e^{-5s};$$

$$G_{T_{d-\gamma}} = \frac{\Delta\gamma}{\Delta T_d^*} = \frac{0.0001823}{216.3s+1}e^{-28.3s}$$

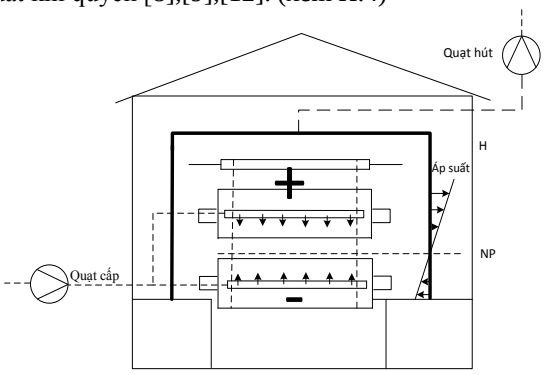
Cấu trúc điều khiển mạch vòng điều khiển độ ẩm (H3), đại lượng cần điều khiển là độ ẩm giấy, đại lượng điều khiển chính là lưu lượng hơi cấp cho lô thông qua lượng điều khiển áp suất hơi ΔP* tác động lên quá trình chính G_{p1}, lượng điều khiển thứ hai là lượng gió nóng ΔW_{a1}* tác động lên quá trình G_{p2}. Nhiễu đầu vào là biến thiên độ ẩm đầu vào $\Delta\gamma_1$ (do ép keo) tác động lên G_{D1} và đại lượng xen kênh nhiệt độ điểm sương ΔT_d (do ảnh hưởng tốc độ bay hơi) tác động thông qua $G_{Td-\gamma}$. Bộ điều khiển G_{c1} là bộ điều khiển PID được chỉnh định theo toolbox autotuning của Matlab.



H. 3 *Mạch vòng điều khiển độ ẩm giấy*

2.1.2 Động học và điều khiển quá trình mạch vòng cân bằng gió vào – ra (Zero Level)

Trong nghiên cứu của các tác giả [3], trình bày chi tiết động học và điều khiển mạch vòng cân bằng gió vào – ra, ta có gió thổi vào là W_{a1} kết hợp với lượng nước bay hơi từ giấy là W_{bh} phải cân bằng với gió hút ra là W_{a2}. Việc cân bằng này đảm bảo gió nóng vào có đủ thời gian và không gian để truyền nhiệt cho giấy. Nếu gió hút ra nhiều hơn thì buồng mất nhiệt qua đường thải, nếu hút ra ít hơn gió nóng sẽ tràn xuống hầm máy cũng gây mất nhiệt. Người ta chọn mặt phẳng sát với mặt trên của lô dưới làm mặt cân bằng gọi là mặt áp suất không (NP). Trên NP có áp suất dương so với áp suất khí quyển và dưới NP có áp suất âm so với áp suất khí quyển [8],[9],[12]. (xem H.4)



H. 4 *Sơ đồ mô tả mặt áp suất NP*

Phương trình cân bằng khối lượng gió.

$$\frac{dm}{dt} = W_{a1} + W_{bh} + W_{kk} - W_{a2} \quad (5)$$

Trong đó: W_{a1}(kg/s) lưu lượng gió nóng đưa vào buồng; W_{bh}(kg/s) lưu lượng nước bốc hơi trong quá trình sấy; W_{a2}(kg/s) lưu lượng khí thải; W_{kk} (kg/s) lưu lượng gió lạnh lùa vào phần dưới của NP (phụ thuộc vào chênh áp giữa điểm đặt áp suất không và áp suất khí quyển). Nếu tại điểm đặt NP bằng áp suất khí quyển ta có W_{kk} =0, nếu tại điểm đặt NP có áp suất nhỏ hơn áp suất khí quyển điểm $W_{kk}\neq 0$ giá trị của nó được tính theo giá trị chênh áp

$$W_{kk} = a.Cv.\sqrt{\frac{\Delta P}{\nu}} \quad (6)$$

Trong đó: a là hệ số lấy giá trị 1 khi áp suất tai NP có giá trị dương, lấy giá trị 0 khi NP đạt đúng giá trị đặt; C_v là độ dẫn khe gió = 0.01 (m^2) được xác định theo thực tế cấu trúc của buồng sấy; ν là thể tích riêng của phần không khí ở vùng dưới NP: 0.95 (m^3/kg).

Phương trình cân bằng khối lượng gió cho khe gió khảo sát, được viết lại:

$$\frac{dm}{dt} = W_{a1} + W_{bh} + W_{kk} - W_{a2} \quad (7)$$

Áp suất tại NP được viết

$$\frac{dp}{dt} = \frac{R.T}{V.M}.\frac{dm}{dt} = \frac{R.T}{V.M}(W_{a1} + W_{bh} + W_{kk} - W_{a2}) \quad (8)$$

Trong đó: p là áp suất tại NP lấy giá trị đặt là 0 (Pa); V là thể tích buồng 144 (m^3); R là hằng số khí lý tưởng (8.314J/mol.(^{0}C+273)); T là nhiệt độ của không khí tại điểm khảo sát 75^{0}C; M là khối lượng mol của không khí (0.029 kg/mol). Thể tích riêng không khí ở nhiệt độ 75^{0}C là 0,97 (m^3/kg)

Xét biến thiên xung quanh điểm làm việc ổn định ta thu được:

$$\tau\frac{d\Delta p}{dt} = (\Delta W_{a1} + \Delta W_{bh} + a.Cv.\sqrt{\frac{\Delta p}{\nu}} - \Delta W_{a2}) \quad (9)$$

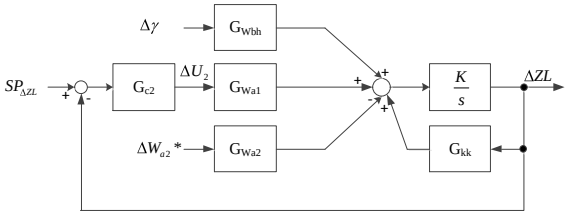
Với : $\tau = \frac{VM}{RT} = 0.02(s)$

Ta nhận dạng và xác định các hàm truyền [4],[8]:

$$G_{W_{a1}} = \frac{\Delta W_{a1}}{\Delta U_2} = \frac{0.0651}{5s+1}e^{-4s} \quad G_{W_{a2}} = \frac{\Delta W_{a_2}}{\Delta U_3} = \frac{0.0951}{9s+1}e^{-15s};$$

$$G_{Wbh} = \frac{\Delta W_{bh}}{\Delta\gamma} = \frac{333}{5s+1}e^{-3s}$$

Cấu trúc điều khiển mạch vòng ZL được trình bày trên H.5



H. 5 *Mạch vòng điều khiển cân bằng gió ZL*

Cấu trúc mạch vòng điều khiển ZL có: Đại lượng cần điều khiển là áp suất không; Đại lượng điều khiển là gió vào buồngsấyW_{a1}*(ΔU_2); Đại lượng tác động xen kênh là $\Delta\gamma$ và ΔW_{a2}*. Lưu lượng ΔW_{kk} tác động tùy thuộc vào giá trị áp suất tại NP theo phương trình (6). Bộ điều khiển G_{c2} là bộ điều khiển PID.

2.1.3 Động học và điều khiển mạch vòng nhiệt độ điểm sương của buồng sấy

Theo [5] tính toán nhiệt độ điểm sương theo công thức (10).

$$T_d = \frac{b.\alpha(T,RH)}{a-\alpha(T,RH)}$$
$$\alpha(T,RH) = \frac{a.T}{b+T} + \ln(RH) \quad (10)$$
$$a = 17.27;\ b = 237.7^0C.$$

Trong đó: T_d(^{0}C) nhiệt độ điểm sương; T(^{0}C) nhiệt độ trung bình không khí trong buồng; %RH độ ẩm tương đối của không khí trong buồng. Độ ẩm tương đối %RH là hàm của độ ẩm tỷ lệ SH (kg/kg) và nhiệt độ trung bình T của buồng.Tại điểm vận hành ta có thông số: Nhiệt độ trung bình không khí trong buồng là T=75^{0}C; Độ ẩm tỷ lệ không khí trong buồng SH =0,15 kg/kg; Độ ẩm tương đối %RH = 50%; Nhiệt độ điểm sương T_d=60^{0}C

Khảo sát biến thiên nhiệt độ điểm sương ΔT_d cần tính toán biến thiên nhiệt độ trung bình ΔT trong buồng và biến thiên độ ẩm tương đối ΔRH.

Với giả thiết các nhiệt dung riêng của không khí thay đổi không đáng kể, biến đổi ta có:

$$m.C.\frac{d\Delta T}{dt} = \Delta W_{a1}.C.T_{a1} + \Delta W_{bh}.C_n.T_n \quad (11)$$
$$-\Delta W_{a2}.C.T_0 - Wa_{20}.C.\Delta T$$

Chuyển sang dạng hàm truyền :

$$k(\tau s+1)\Delta T = \Delta W_{a1}.C.T_{a1} + \Delta W_{bh}.C_n.T_n - \Delta W_{a2}.C.T_0 \quad (12)$$

Trong đó:

$$\tau = \frac{m}{W_{a20}} = 120(s); \qquad k = W_{a20}C = 4.75(kg/s)$$

Trong đó: Các giá trị tại điểm làm việc ổn định là lưu lượng gió ra W_{a20}=4,75(kg/s), nhiệt độ gió vào T_{a1}=110^{0}C, nhiệt độ hơi nước T_n =75^{0}C khối lượng không khí được tính m=570 kg

Phương trình tính toán biến thiên độ ẩm không khí trong buồng thông qua cân bằng khối lượng nước không khí trong buồng [4],[7],[8], ta có:

$$m.\frac{d\Delta SH}{dt} = \Delta W_{a1}.0.001 + \Delta W_{bh}.1 - \Delta W_{a2}.SH_0 - W_{a20}.\Delta SH \quad (13)$$

Trong đó: 0.001kg/kg là độ ẩm đầu vào của không khí; ΔSH là biến thiên độ ẩm không khí tỷ lệ. SH_0 độ ẩm tỷ lệ của không khí tại điểm làm việc là 0,15 kg/kg. Biến đổi (13) ta nhận được:

$$k_n(\tau_n s+1).\Delta SH = \Delta W_{a1}.0.001 + \Delta W_{bh}.1 - \Delta W_{a2}.SH_0 \quad (14)$$

Với: $\tau_n = \frac{m}{W_{a20}} = 120(s);\ k_n = W_{a20} = 4.75(kg/s)$

Công thức tính độ ẩm tương đối như sau:

$$P_w = \frac{1.6078 * P_{baro} * SH}{1 + 0.678 * SH}$$
$$P_{sw} = \frac{e^{77.345 + 0.0057*(T+273) - \frac{7235}{T+273}}}{(T+273)^{8.2}} \quad (15)$$
$$\%RH = 100 * \frac{P_s}{P_{sw}}$$

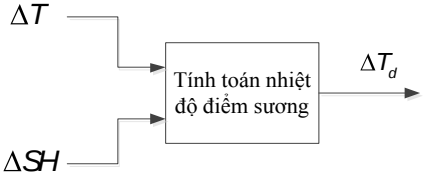
Trong đó: P_{baro}=101325 Pa là áp suất khí quyển.

P_w Áp suất riêng phần của nước.

P_{sw} Áp suất riêng phần của nước khi không khí bão hòa tại nhiệt độ xác định.

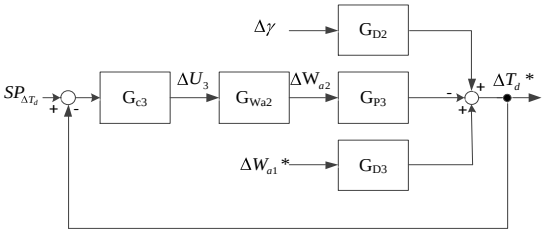
T là nhiệt độ của không khí trong buồng tính bằng ^{0}C

Mô hình tính được biến thiên nhiệt độ điểm sương trên H.7



H. 6 *Tính toán biến thiên nhiệt độ điểm sương*

Từ mô hình mô phỏng tiến hành nhận dạng ta được cấu trúc điều khiển trên H.7



H. 7 *Cấu trúc điều khiển mạch vòng nhiệt độ điểm sương*

Từ cấu trúc điều khiển chung, nhận dạng ta có hàm truyền[4],[8]:

$$G_{W_{a2}}G_{P3} = \frac{\Delta W_{a2}}{\Delta U_3}\frac{\Delta T_d}{\Delta W_{a2}} = \frac{0.0951}{9s+1}e^{-15s}.\frac{-6.56}{208s+1}e^{-30s}$$

$$G_{D_2} = \frac{\Delta T_d}{\Delta W_{a1}*} = \frac{0.0128}{198.5s+1}e^{-22s}$$

$$G_{D_3} = \frac{\Delta T_d}{\Delta\gamma} = \frac{410}{200s+1}e^{-30s}$$

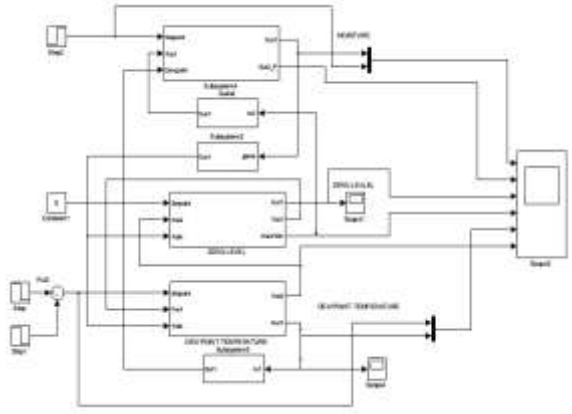
Trong đó: Biến cần điều khiển ΔT_d; Biến điều khiển ΔW_{a2}*(ΔU_3) tác động lên quá trình G_{p3}; Biến nhiễu xen kênh ΔW_{a1}*, $\Delta\gamma$

2.2 Xây dựng động học và điều khiển đa biến cho buồng sấy giấy

Ta xét kết nối ba mạch vòng: Điều khiển độ ẩm giấy, điều khiển Zero level, điều khiển nhiệt độ điểm sương có tác động xen kênh cụ thể:

- Giữa mạch vòng điều khiển độ ẩm và điều khiển cân bằng gió vào - ra (ZL) có tác động xen kênh là: Lượng điều khiển của mạch vòng ZL là ΔW_{a1} (lưu lượng gió nóng vào) có tác động lên mạch vòng độ ẩm ta gọi nó là hàm truyền G_{21}, đại lượng đầu ra của mạch vòng độ ẩm γ sẽ sinh ra lưu lượng nước bay hơi W_{bh} sẽ tác động lên mạch vòng ZL ta gọi đó là G_{12}.
- Giữa mạch vòng điều khiển độ ẩm và mạch vòng nhiệt độ điểm sương: Đại lượng ra $\Delta\gamma$ sẽ sinh ra ΔW_{bh} gây nên độ ẩm tương đối %RH tác động lên nhiệt độ điểm sương ta gọi đó là G_{13}. Nhiệt độ điểm sương sẽ ảnh hưởng tới hệ số bay hơi K_{bh}, nhiệt độ điểm sương càng lớn gần với nhiệt độ trung bình của buồng thì khả năng bay hơi nước từ giấy càng giảm, ta gọi tác động xen kênh đó là G_{31}.
- Giữa mạch vòng ZL và mạch vòng nhiệt độ điểm sương: Đại lượng điều khiển mạch vòng nhiệt độ điểm sương ΔW_{a2} tác động sẽ làm mất cân bằng ZL ta gọi G_{32} và ngược lại đại lượng điều khiển ZL là ΔW_{a1} tăng sẽ làm cho nhiệt độ điểm sương tăng, ta gọi G_{23}.

2.2.1 Thiết lập cấu trúc điều khiển đa biến và mô phỏng cho buồng sấy giấy.[6]



H. 8 *Sơ đồ mô phỏng điều khiển đa biến buồng sấy sử dụng Matlab Simulink hình sensor cho buồng sấy*

Khảo sát sự biến đổi của nhiễu và ảnh hưởng của nhiễu đến chất lượng sấy giấy

Thực tế vận hành tại dây chuyền xeo giấy nhà máy, với một sản phẩm giấy các thông số kỹ thuật thường ít khi thay đổi Nhiễu ảnh hưởng tới hệ là độ ẩm của giấy đầu vào γ_1 (sau ép keo), thông thường biến đổi tăng khoảng 0,2 đến 0,25, nhiễu này là ngẫu nhiên. Ngoài ra khi vận hành, người ta thay đổi lượng đặt nhiệt độ điểm sương để phù hợp với loại nguyên liệu đầu vào và căn cứ thực trạng môi trường ảnh hưởng đến chất lượng giấy (thực tế vận hành thây đổi T_d từ $45\div60^0$C). Vì vậy ta khảo sát đáp ứng hệ với hai trường hợp:

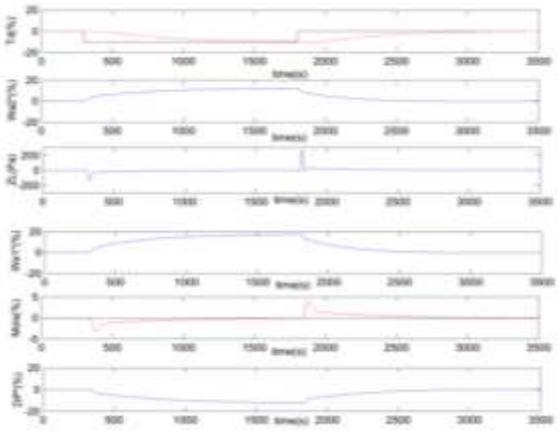
* Thay đổi điểm đặt của biến thiên nhiệt độ điểm sương thay đổi 10% từ 60^0C ±10%

* Thay đổi biến thiên độ ẩm đầu vào từ 0,2 lên 0,25 (khoảng + 25%)

Các đại lượng vật lý cần quan tâm sẽ được ghi lại gồm: Nhiệt độ điểm sương; Độ ẩm của giấy; Zero Level; ΔW_{a1}^*; W_{a2}^*; Công suất nhiệt đưa vào lô thông qua chênh áp (ΔP). Các bộ điều khiển G_{c1},G_{c2}và G_{c3} là các bộ điều khiển PID.

2.2.2 Kết quả mô phỏng hệ điều khiển đa biến

a) Thay đổi lượng đặt nhiệt độ điểm sương ±10%

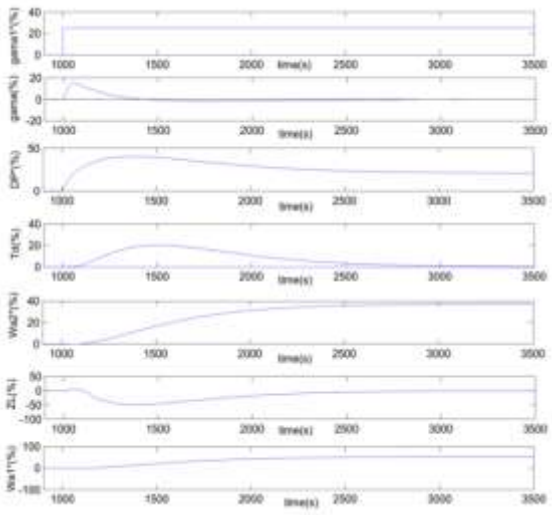


H. 9 *Kết quả mô phỏng hệ thống khi thay đổi điểm đặt nhiệt độ điểm sương*

Nhận xét:

Khi giảm nhiệt độ điểm sương độ ẩm giấy giảm, mạch vòng điều khiển sấy tác động, chênh áp suất sấy giảm để điều khiển kéo độ ẩm về giá trị đặt, mạch vòng điều khiển nhiệt độ điểm sương tác động ổn định điểm đặt nhiệt độ điểm sương tức là W_{a2} tăng, dẫn đến ảnh hưởng tới mạch vòng ZL,W_{a1} tăng theo giữ cân bằng. Ngược lại, khi tăng lượng đặt nhiệt độ điểm sương, độ ẩm giấy tăng, mạch vòng điều khiển sấy tác động tăng chênh áp suất để điều khiển độ ẩm về giá trị đặt. Mạch vòng nhiệt độ điểm sương tác động ổn định điểm đặt nhiệt độ điểm sương, W_{a2} giảm dẫn đến mạch vòng ZL,W_{a1} giảm để giữ cân bằng.

b) Thay đổi nhiễu tác động độ ẩm giấy $\Delta\gamma_1$=25%



H. 10 *Kết quả mô phỏng hệ thống khi thay đổi nhiễu độ ẩm đầu vào của giấy*

Nhận xét: Tăng độ ẩm giấy đầu vào làm độ ẩm giấy đầu ra tăng, mạch vòng điều khiển độ ẩm tác động làm cho công suất nhiệt đầu vào tăng lên, tức là chênh áp ΔP tăng, lưu lượng hơi vào nhiều hơn để tăng nhiệt sấy, kéo độ ẩm giấy đầu ra về giá trị đặt. Dẫn đến lưu lượng hơi nước bay hơi W_{bh} tăng, nhiệt độ điểm sương dẫn đến, mạch vòng nhiệt độ điểm sương tác động tức là W_{a2} tăng, làm giảm nhiệt độ điểm sương. Lúc đó mạch vòng ZL bị ảnh hưởng, áp suất điểm cân bằng giảm xuống âm, mạch vòng ZL tác động tăng W_{a1} để giữ cân bằng. Kết quả mô phỏng hệ hoạt động ổn định đáp ứng tốt với nhiễu độ ẩm đầu vào, đảm bảo chất lượng giấy đầu ra.

Nhận xét chung: Khi xét hệ ở hệ đa biến ta thấy hệ tác động đúng với thực tế vận hành, hệ có sự tác động xen kênh lớn đặc biệt giữa hai mạch vòng điều khiển độ ẩm và mạch vòng điều khiển nhiệt độ điểm sương,hai mạch vòng này có đáp ứng chậm (phù hợp với quá trình vật lý). Mạch vòng ZL bị tác động xen kênh của hai mạch vòng còn lại nhưng tác động nhanh hơn.

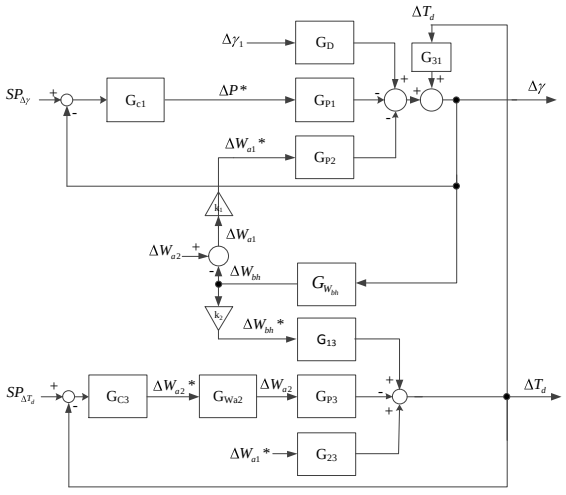
2.2.3 Xây dựng hệ điều khiển đa biến rút gọn

Qua các phương trình động học và khảo sát các kết quả mô phỏng, ta có nhận xét như sau: Đáp ứng của mạch vòng ZL nhanh hơn 10 lần, so với thời gian đáp ứng của mạch vòng điều khiển độ ẩm và nhiệt độ điểm sương. Vì vậy, có thể bỏ qua động học của ZL.Lúc đó cân bằng gió vào- ra được tính toán theo phương trình đại số (5), do W_{kk} max= 0.2(kg/s) rất nhỏ so với lưu lượng gió thổi vào, lưu lượng nước bốc hơi và lưu lượng gió hút ra, nên bỏ qua. Ta có thể viết lại phương trình (5):

$$\frac{dm}{dt} = W_{a1} + W_{bh} - W_{a2} = 0$$

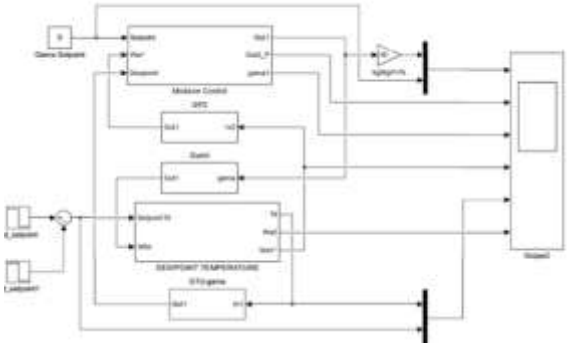
$$\Rightarrow W_{a1} = W_{a2} - W_{bh} \qquad (16)$$

Với giả thiết như vậy ta có cấu trúc hệ còn lại hai biến: Điều khiển độ ẩm và điều khiển nhiệt độ điểm sương, Cấu trúc hệ điều khiển đa biến buồng sấy rút gọn được trình bày trên H.11, trong đó các bộ điều khiển là PID.



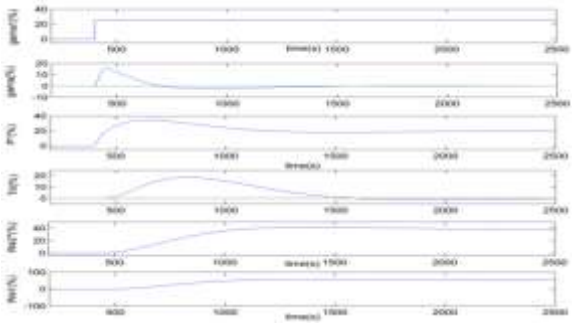
H. 11 *Cấu trúc điều khiển buồng sấy với hai biến sấy*

Từ cấu trúc điều khiển H.11, ta sử dụng phần mềm matlab để mô phỏng, như H.12

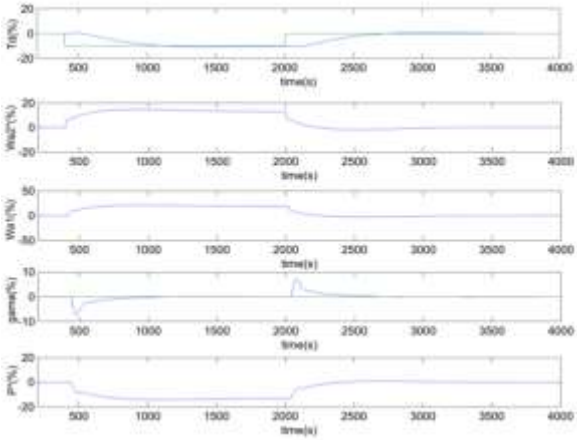


H. 12 *Mô hình mô phỏng trên phần mềm matlab hệ điều khiển sấy hai biến*

Kết quả mô phỏng trình bày trên H.13 và H.14



H. 13 *Đáp ứng của hệ điều khiển hai biến khi tác động của nhiễu độ ẩm đầu vào $\Delta\gamma_1$=25%*



H. 14 *Đáp ứng của hệ điều khiển hai biến khi khi thay đổi lượng đặt nhiệt độ điểm sương ΔT_d ±10%*

Nhận xét: Đáp ứng hệ điều khiển buồng sấy với cấu trúc đa biến rút gọn hai biến vẫn đảm bảo tính chất hoạt động như hệ ba biến hệ hoạt động ổn định, tác động các mạch vòng tương tự như hệ ba biến, chỉ có khác khi thay đổi điểm đặt nhiệt độ điểm sương, đại lượng ΔW_{a1} và ΔW_{a2} ở phần đầu đáp ứng có nhanh hơn vì lý do bỏ qua động học Zl. Thời gian đáp ứng của hai cấu trúc (ba biến và hai biến) tương tự như nhau. Vì vậy việc đơn giản hóa cấu trúc là cho phép, nên việc ứng dụng các thuật điều khiển đa biến để nâng cao chất lượng hệ sẽ dễ dàng hơn.

2.3 Thiết kế điều khiển tách kênh cho hệ đa biến của buồng sấy

2.3.1 Nhận dạng hàm truyền

Để đưa hệ đa biến H11 về dạng chuẩn ta tiến hành nhận dạng hàm truyền hệ. Từ cấu trúc điều khiển của hệ đa biến H.12, tiến hành nhận dạng ta xác định được hàm truyền quá trình, hàm truyền xen kênh và hàm truyền nhiễu (G_D) như sau:

$$G_{11} = \frac{\Delta\gamma}{\Delta P^*} = \frac{0.000815}{48s+1}e^{-14s}$$

$$G_{22} = \frac{\Delta T_d}{\Delta W_{a2}^*} = \frac{-0.2671}{202s+1}e^{-45s}$$

$$G_{12} = \frac{\Delta\gamma}{\Delta W_{a2}^*} = \frac{-0.0007945}{68s+1}e^{-28s}$$

$$G_{21} = \frac{\Delta T_d}{\Delta P^*} = \frac{0.334}{210s+1}e^{-50s} \quad ; \quad G_D = \frac{\Delta\gamma}{\Delta\gamma_1} = \frac{0.0014}{200s+1}e^{-5s}$$

- Mô hình quá trình:

+ $G_{11}(s)$ là mô hình đáp ứng với đầu ra bộ điều khiển độ ẩm.

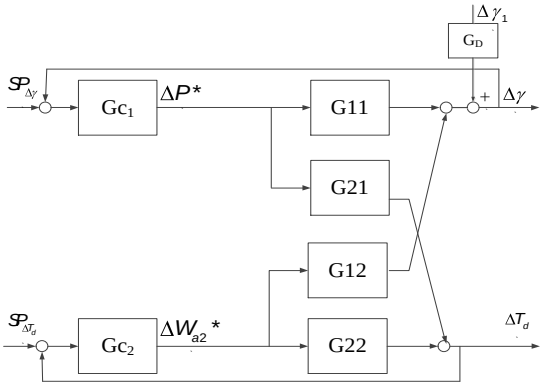
+ $G_{22}(s)$ là mô hình đáp ứng với đầu ra bộ điều khiển nhiệt độ điểm sương.

- Mô hình nhiễu xen kênh:

+ $G_{21}(s)$ là mô hình đáp ứng của xen kênh từ mạch vòng T_d đến γ.

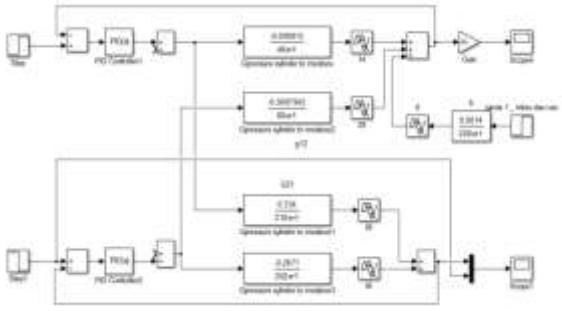
+ $G_{12}(s)$ là mô hình đáp ứng của xen kênh từ mạch vòng γ đến T_d.

2.3.2 Cấu trúc hệ đa biến dạng chuẩn

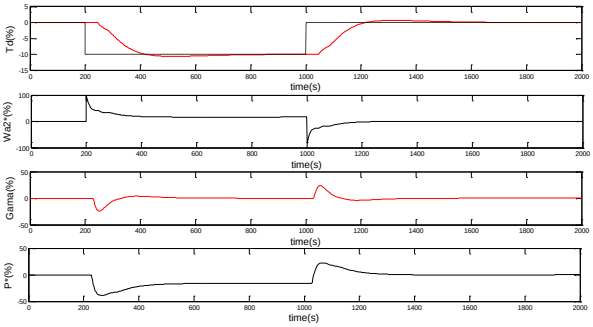


H. 15 *Sơ đồ cấu trúc hệ đa biến dạng chuẩn*

2.3.3 Khảo sát đáp ứng hệ đa biến dạng chuẩn



H. 16 *Mô hình mô phỏng hệ điều khiển đa biến dạng chuẩn*

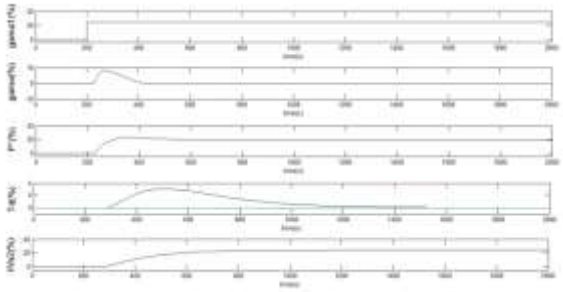


H. 17 *Đáp ứng của hệ đa biến dạng chuẩn*

Nhận xét:

Khi giảm điêm đặt 10% cho nhiệt độ điểm sương, ta nhận được đáp ứng của hệ đa biến dạng chuẩn tương tự như hệ đa biến thực H.14.

Khảo sát đáp ứng theo nhiễu $\Delta\gamma_1$ tác động lên mạch vòng điều khiển γ



H. 18 *Đáp ứng của mạch vòng γ khi nhiễu tác động*

Nhận xét:

Đáp ứng của hệ đa biến dạng chuẩn theo nhiễu độ ẩm đầu vào nó tương tự với hệ đa biến thực H.13

Kết luận: Hệ đa biến dạng chuẩn có đặc tính tương tự như hệ đa biến thực H.11. như vậy việc nhận dạng và cấu trúc đa biến dạng chuẩn là đúng, nó tương đương với hệ đa biến thực.

2.3.4 Thiết kế điều khiển tách kênh cho hệ điều khiển buồng sấy giấy

a) Phân tích hệ số xen kênh (λ)

Hệ số khuyếch đại xen kênh tổng quát kênh thứ j đến thứ i gọi là λ_{ij} được tính:

$$\lambda_{ij} = \frac{(\frac{\partial y_i}{\partial m_i})m}{(\frac{\partial y_j}{\partial m_j})y} \qquad (17)$$

Áp dụng cho hệ hai biến như H.15 ta có:

$$(\frac{\partial y_i}{\partial m_i})|_m = k_{11}g_{11} \qquad (18)$$

$$(\frac{\partial y_i}{\partial m_i})|_y = k_{11}g_{11} - \frac{k_{21}g_{21}k_{12}g_{12}}{k_{22}g_{22} + \frac{1}{k_{C2}g_{C2}}} \qquad (19)$$

Xét hệ khi xác lập ta có hệ số khuyếch đại xen kênh

$$\lambda_{11}=\frac{k_{11}k_{22}}{k_{11}k_{22}-k_{12}k_{21}}=\frac{1}{1-\frac{k_{21}k_{12}}{k_{11}k_{22}}}=\frac{1}{1-(K_{12}K_{21})/(K_{11}K_{12})} \quad (20)$$

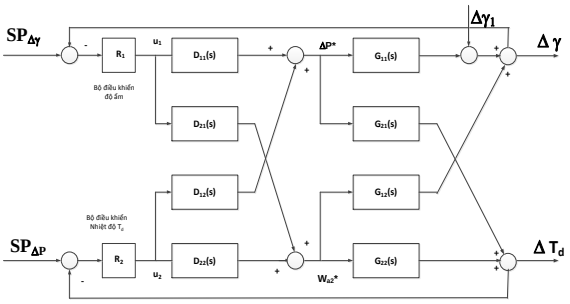
$$=\frac{1}{1-\frac{0.334*-0.000795}{-0.000815*-0.2671}}=0.45$$

Với λ_{11} được phân tích như trên, hệ thống có tác động xen kênh lớn, do đó cần phải thiết kế điều khiển tách kênh cho hệ [1].

b) Thiết kế bộ điều khiển tách kênh

Cấu trúc điều khiển tách kênh được trình bày trên H.19: D(s) là ma trận các phần tử tách kênh, G(s) là ma trận hàm truyền của quá trình, R_1: bộ điều khiển độ ẩm, R_2: bộ điều khiển nhiệt độ điểm sương.

P(s) là ma trận của các bộ điều khiển mạch vòng độ ẩm giấy và mạch vòng nhiệt độ điểm sương.



H. 19 *Cấu trúc điều khiển tách kênh cho hệ đa biến dạng chuẩn*

Đặt $y=\frac{y_1}{y_2}=\frac{\Delta\gamma}{\Delta T_d}$ là véc tơ đầu ra; $u=\frac{u_1}{u_2}$ là véc tơ các tín hiệu từ bộ điều khiển, $u^*=\frac{u_1^*}{u_2^*}=\frac{\Delta P^*}{W_{a2}^*}$ là véc tơ các tín hiệu điều khiển đưa vào quá trình; $w=\frac{w_1}{w_2}=\frac{SP_{\Delta\gamma}}{SP_{\Delta P}}$ là véc tơ các tín hiệu đặt.

Hệ thống điều khiển độ ẩm của buồng sấy giấy được mô tả bởi mối quan hệ sau:

$y = G.u^*$; $u^* = D.u$; $u=P.[w-y]$.

Do đó : $y = G.D.P.[w - y]$ (21)

Để cho các bộ điều khiển chỉ phải điều khiển các mạch vòng độc lập thì:

$$T=G*D=\begin{bmatrix}T_{11}(s) & 0\\ 0 & T_{22}(s)\end{bmatrix} \quad (22)$$

T là một ma trận đường chéo.

Ma trận tách kênh D(s) thu được từ phương trình: $D(s) = G^{-1}(s).T(s)$

Ma trận nghịch đảo của G(s) là:

$$G^{-1}(s)=\frac{adj(G)}{\det(G)}=\frac{1}{G_{11}(s)G_{22}(s)-G_{12}(s)G_{21}(s)}*\begin{bmatrix}G_{22}(s) & -G_{12}(s)\\ -G_{21}(s) & G_{11}(s)\end{bmatrix} \quad (23)$$

Thay T(s) và G(s) vào phương trình (22) thì ta thu được ma trận tách kênh D(s):

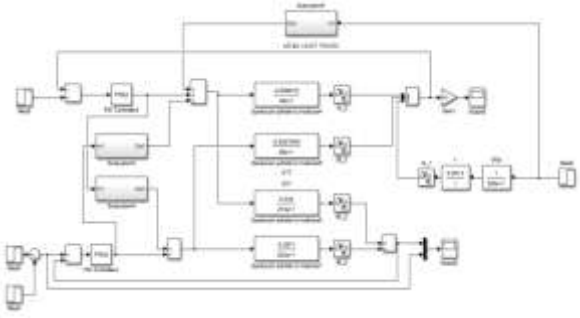
$$D(s)=\frac{1}{\det(G)}\begin{bmatrix}G_{22}(s)T_{11}(s) & -G_{12}(s)T_{22}(s)\\ -G_{21}(s)T_{11}(s) & G_{11}(s)T_{22}(s)\end{bmatrix} \quad (24)$$

- Tính toán thông số:

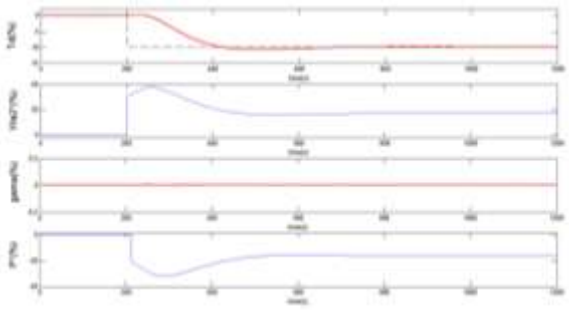
Lựa chọn ngẫu nhiên là $D_{11}=\frac{G_{22}(s)*T_{11}(s)}{\det(G)}=1$ và $D_{22}=\frac{G_{11}(s)*T_{22}(s)}{\det(G)}=1$. Lựa chọn này là sự tách kênh được Luyben đưa ra vào năm 1970 theo [1], [13] thì bộ tách kênh chỉ phụ thuộc vào G(s):

$$D(s)=\begin{bmatrix}1 & \frac{-G_{12}(s)*T_{22}}{\det(G)}\\ \frac{-G_{12}(s)*T_{11}}{\det(G)} & 1\end{bmatrix} \quad (25)$$

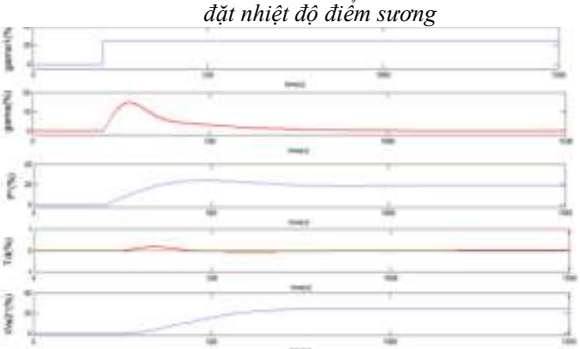
Rút $T_{11}=\frac{\det(G)}{G_{22}}$ và $T_{22}=\frac{\det(G)}{G_{11}}$ thay vào (20) ta thu được: $D_{12}=\frac{-G_{12}}{G_{11}}$ $D_{21}=\frac{-G_{21}}{G_{22}}$ (26)



H. 20 *Mô hình mô phỏng hệ điều khiển tách kênh cho đa biến dạng chuẩn*



H. 21 *Đáp ứng của hệ có bộ tách kênh khi thay đổi điểm đặt nhiệt độ điểm sương*



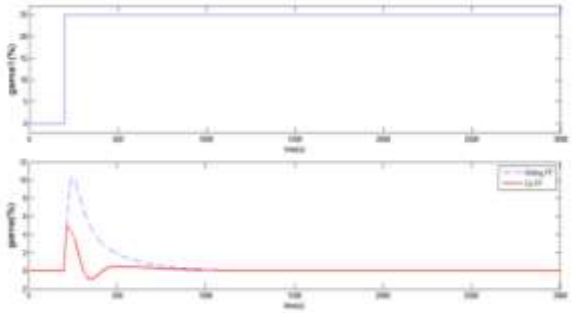
H. 22 *Đáp ứng của hệ thống khi có bộ tách kênh với nhiễu là độ ẩm giấy đầu vào*

Nhận xét:
Từ H.21, khi thay đổi nhiệt độ điểm sương xuống 10%, bộ điều khiển nhiệt độ điểm sương sẽ điều khiển tăng công suất quạt hút nhưng đồng thời tác động đến mạch vòng độ ẩm nên độ ẩm có sự dao động không đáng kể. Ảnh hưởng của xen kênh đã được bù.
Từ H.22, với nhiễu độ ẩm giấy đầu vào, tác động xen kênh đối với mạch vòng nhiệt độ điểm sương không đáng kể. Nhưng vẫn ảnh hưởng lướn tới độ ẩm đầu ra, như vậy cần thiết kế thêm bộ bù nhiễu độ ẩm đầu vào.
c) Thiết kế bộ bù nhiễu độ ẩm giấy đầu vào cho hệ điều khiển đa biến dạng chuẩn.

Ta có hàm truyền $G_{11} = \frac{\Delta\gamma}{\Delta P^*} = \frac{0.000815}{48s+1} e^{-14s}$

Hàm truyền của nhiễu $G_D = \frac{\Delta\gamma}{\Delta\gamma_1} = \frac{0.0014}{200s+1}$

Ta tính được hệ số feedforward tĩnh Kff = G_{d1}/G_{11}= 0.0014/0.000815=1.47.

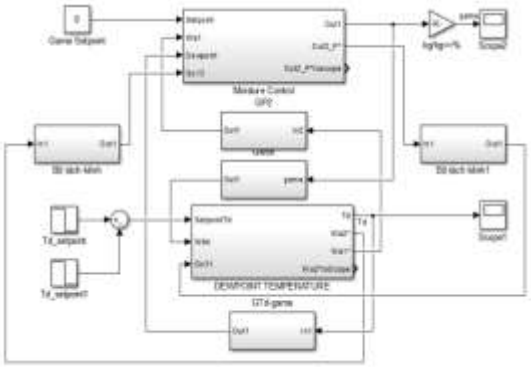


H. 23 *Đáp ứng của bộ bù vượt trước nhiễu γ_1*

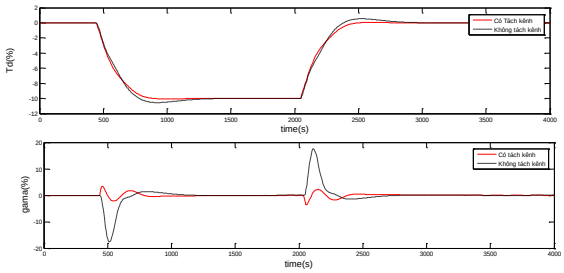
Nhận xét:
Đáp ứng của hệ sau khi được bù vượt trước γ_1 tốt hơn, biên độ dao động nhỏ hơn so với trường hợp không được bù γ_1.

2.3.5 Kiểm tra và đánh giá bộ điều khiển tách kênh đã thiết kế ứng dụng trên hệ đa biến thực

Sau khi xây dựng được bộ tách kênh trên mô hình chuẩn H19 ta tiến hành kết nối bộ điều khiển tách kênh vào mô hình đa biến thực H.11 để kiểm tra và đánh giá .
a) Khảo sát ảnh hưởng xen kênh giữa 2 mạch vòng của mô hình rút gọn sau khi có bộ tách kênh khi thay đổi lượng đặt T_d.

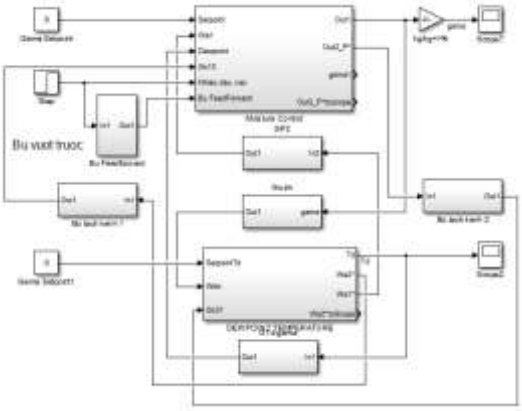


H. 24 *Mô phỏng Matlab của hệ đa biến thực với bộ điều khiển tách kênh*

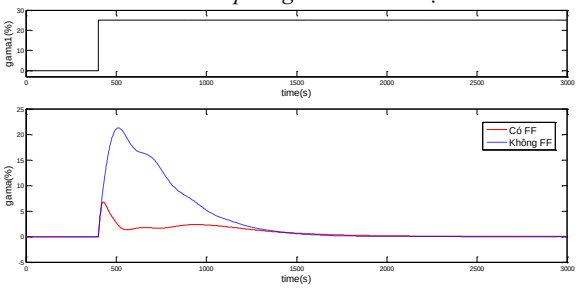


H. 25 *So sánh kết quả mô phỏng khi có và không có bộ tách kênh trong cấu trúc đa biến H.10*

Nhận xét: Trên H.25 ta khảo sát thay đổi điểm đặt T_d ± 10%, độ ẩm giấy bị thay đổi ít (màu đỏ) so với hệ chưa có bộ điều khiển tách kênh (màu đen nét đứt). Như vậy hệ đa biến thực hoạt động tốt với bộ điều khiển tách kênh.
b) Khảo sát hệ đa biến thực với bộ tách kênh kết hợp bù nhiễu.
Với bộ điều khiển bù vượt trước ở trên, ta đưa chúng vào mô hình buồng sấy thực.



H. 26 *Sơ đồ mô phỏng Matlab bù vượt trước*



H. 27 *Đáp ứng của hệ điều khiển đa biến dạng thực khi có và không có bộ bù vượt trước*

Nhận xét:
Khi $\Delta\gamma_1$ tăng 25%, trong trường hợp không có bù nhiễu, độ ẩm của giấy tăng lên nhanh chóng, biên độ lớn. Khi sử dụng bộ bù nhiễu, độ ẩm của giấy tăng lên với biên độ nhỏ hơn và nhanh chóng được đưa về điểm làm việc.
Từ kết quả trên cho thấy việc thiết kế điều khiển tách kênh kết hợp với bù nhiễu độ ẩm giấy đầu vào là đúng đắn.

3. Kết luận

Hệ điều khiển đa biến buồng sấy giấy là hệ điều khiển đa biến tác động xên kênh. Bằng việc nghiên cứu

động học riêng rẽ từng mạch vòng các tác động xen kênh coi như là nhiễu. Sau đó nó được nghiên cứu kết hợp tạo thành hệ điều khiển đa biến. Do có tác động xen kênh lớn ảnh hưởng tới chất lượng giấy là độ ẩm đầu ra. Sử dụng cấu trúc điều khiển đa biến tách kênh kết hợp với bù nhiễu độ ẩm đầu vào đã cải thiện được chất lượng của hệ. Kết quả nghiên cứu có thể tham khảo để áp dụng vào thực tế chỉnh định hệ điều khiển buồng sấy giấy.

Tài liệu tham khảo

[1] Bùi Quốc Khánh, Phạm Quang Đăng, Nguyễn Huy Phương, Vũ Thụy Nguyên *Điều khiển quá trình,* Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội, 2014.

[2] Trần Kim Quyên, Bùi Quốc Khánh, Lê Khắc Trường, *Động học quá trình sấy giấy đối lưu,*tạp chí Tự động hóa ngày nay, chuyên san Điều khiển và Tự động hóa số 11, tháng 12 năm 2014, pp 58-63.

[3] Trần Kim Quyên, Lê Khắc Trường, Phạm Văn Tuynh, *"Động học quá trình cân bằng gió - Zerolevel trong buồng sấy giấy",*tạp chí Tự động hoá ngày nay, chuyên san Điều khiển và Tự động hoá số 12, tháng 4/2015, pp36-41.

[4] Trần Kim Quyên, Đoàn Quang Vinh, Lê Khắc Trường, Động học và điều khiển nhiệt độ điểm sương trong buồng sấy giấy, tạp chí Khoa học và công nghệ Đại học Đà Nẵng, Số 7(92).2015

[5] Trần Kim Quyên, Lê Khắc Trường, Bùi Quốc Khánh *Động học và điều khiển gió buồng sấy giấy,* tạp chí Tự động hóa ngày nay, chuyên san Điều khiển và Tự động hóa số 13, tháng 8 năm 2015,

[6] Carl.W.Hall, Handbook Industrial Drying By Taylor & Francis Group, LLC (2006).

[7] **Donald M. Eppelheimer**, **Harold G. Lorsch**, *Fundamentals Handbook of the HVAC&R industry*. ASHRAE HANDBOOK COMMITTEE**,** 1997 Fundamentals Volume Subcommittee.

[8] FORBES MARSHALL – HOOD AND PV SYSTEM of Bai Bang Paper – Viet Nam, 2013

[9] Fires B.J. McCaffrey and J. A.Rockett *Static Pressure Measurements of Enclosure Fires.* JOURNAL OF RESEARCH of the National Bureau of Standards, Volume 82, No.2, September-October 1977, pp. 107 – 117.

[10] Forsman, K, and J. Birgersson: "Modelling and control of the process air in a paper machine hood." Proceedings of the 53rdAppita annual conference, Rotura, New Zealand, (1999), 767 – 774. Physics,Correlations and Numerical Modeling.

[11] Ola Slatteke, *Modeling and Control of paper machine drying section*, Lund University Press, Sweden, (2006).

[12] Qinghai Luo, Zehua Liu and Guangfa Tang, *Influence analysis of neutral plane on ventilation in workshop*, School of Urban Construction, Nanhua University, Hengyang, 2007, pp. 1048 – 1053.

[13] M.T.Tham, "Multivariable Control: An introduction to decoupling control", Published orginally as Chapter 8 in *Industrial Digital Control Systems*, Eds.K.Warwick and D.Rees, IEE Control Engineering Series 37, Peter Peregrinus, 1988.

Đoàn Quang Vinh sinh năm 1962. Ông nhận bằng đại học ngành Kỹ thuật điện tại trường đại học Điện máy Plzen - Tiệp Khắc, năm 1986, Ông nhận bằng Tiến sĩ của trường Đại học Tây Tiệp – CH Czech, năm 1996, và được công nhận Phó Giáo sư năm 2004. Đã có nhiều công trình nghiên cứu khoa học các cấp. Từ 1986 đến nay là giảng viên của Đại học Đà Nẵng, Hiện đang là Phó Giám đốc Đại học Đà Nẵng. Hướng Nghiên cứu chính: Điện tử công suất, truyền động điện, điều khiển quá trình,...

Trần Kim Quyên sinh năm 1978 nhận bằng thạc sỹ tự động hóa tại Đại học Đà Nẵng năm 2009, về nghiên cứu hệ điều khiển lò nung Clinker nhà máy xi măng. Đang là nghiên cứu sinh năm thứ 4 tại Đại học Đà Nẵng về chuyên ngành Kỹ thuật Điều khiển và tự động hóa.
NCS Trần Kim Quyên tham gia giảng dạy tại Trường Cao đẳng Công nghiệp Tuy Hòa từ năm 1999 đến nay. Hiện anh đang là Giảng Viên, Phó Hiệu trưởng trường Cao đẳng Công nghiệp Tuy Hòa. Hướng nghiên cứu chính về Điều khiển tự động, Điều khiển quá trình,…

Lê Khắc Trường, sinh năm 1992
Nhận bằng kỹ sư Điều khiển và tự động hóa tại trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2015, về lĩnh vực công nghệ giấy. Hiện đang là Nghiên cứu viên của viện điều khiển và tự động hoá ĐHBK Hà Nội. Lĩnh vực quan tâm: Điều khiển và tự động hoá trong ngành sản xuất giấy