

# ĐIỀU KHIỂN MỨC TRONG HỆ THỐNG CE105 COUPLED TANKS

## CONTROL OF LEVEL IN CE105 COUPLED TANKS SYSTEM

Vũ Tiến Mạnh<sup>1</sup>, Trần Tuấn Anh<sup>1</sup>,  
Phạm Văn Hùng<sup>1</sup>, Vũ Thị Yến<sup>1</sup>, Ngô Mạnh Tùng<sup>1\*</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.134>

### TÓM TẮT

Trong lĩnh vực điều khiển quá trình, việc điều khiển mức chất lỏng trong bình chứa là một trong những vấn đề quan trọng. Để đạt được hiệu quả trong việc điều khiển mức chất lỏng, cần phải có một mô hình chính xác để tính toán các tham số cho bộ điều khiển. Độ tin cậy của mô hình quyết định chất lượng của hệ thống điều khiển. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp nhận dạng đối tượng dựa trên đặc tính quá độ để nhận dạng mức chất lỏng trong bình chứa của mô hình CE105 Coupled Tanks của hãng TecQuipment. Sau đó, kết quả nhận dạng được sử dụng để thiết kế bộ điều khiển PID cho mô hình. Chất lượng của bộ điều khiển được kiểm chứng bằng cách thay đổi giá trị đặt và nhiều tác động vào hệ thống.

**Từ khóa:** Điều khiển mức, PID, mô hình CE105, nhận dạng hệ thống.

### ABSTRACT

Controlling the level of liquid in a container is one of the important problems in the field of process control. In order to control the liquid level in the system's reservoir effectively, it is necessary to have an accurate model, because the object model involves the calculation of parameters for the controller and the reliability of the quality decision model quantity of the control system. In this paper, the authors apply the object identification method based on transient characteristics to identify the liquid level in the container on a real object, the CE105 Coupled Tanks model of TecQuipment. Then, the identification results are used to design a PID controller for the real object. The quality of the controller is verified through the change in the set value and the opening of the relief valve.

**Keywords:** Lever control, PID controller, CE105 coupled tanks, system identification.

<sup>1</sup>Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: [tung\\_nm@hau.edu.vn](mailto:tung_nm@hau.edu.vn)

Ngày nhận bài: 10/4/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/5/2023

Ngày chấp nhận đăng: 25/8/2023

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

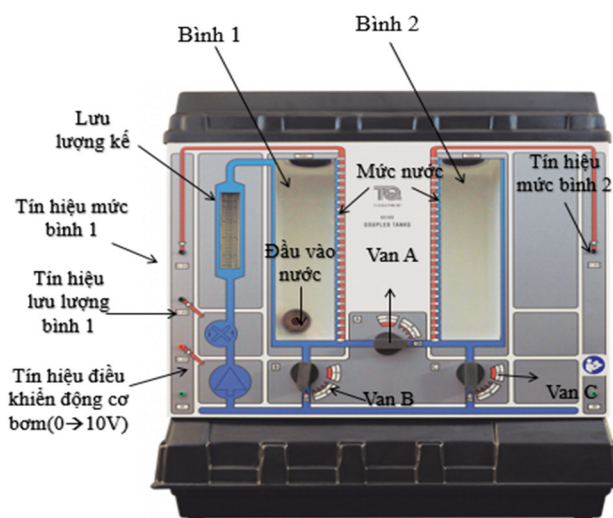
Hệ thống điều khiển mức chất lỏng là một trong những hệ thống phổ biến trong công nghiệp, một số ví dụ điển hình như hệ thống điều khiển mức trong các lò hơi, trong các nhà máy sản xuất nước, thủy điện... Vấn đề đặt ra trong các hệ thống này yêu cầu ổn định mức chất lỏng trong bể chứa với độ chính xác cao. Tuy nhiên việc thiết kế bộ điều khiển phù hợp gặp nhiều khó khăn bởi phụ thuộc vào sự chính xác mô hình toán học của hệ thống. Để giải quyết vấn đề này, nhóm tác giả sử dụng phương pháp nhận dạng để xác định mô hình đối tượng cho hệ thống.

Có nhiều phương pháp nhận dạng đối tượng được nghiên cứu và ứng dụng như phương pháp nhận dạng đa mô hình dựa trên mô hình tuyến tính ARMAX, phương pháp không gian con kết hợp với điều khiển dự báo,...[1-2]. Các phương pháp này cho chất lượng nhận dạng và điều khiển tốt tuy nhiên chúng yêu cầu các bước kỹ thuật phức tạp và khối lượng tính toán lớn. Vì vậy, nhóm tác giả sử dụng phương pháp nhận dạng dựa trên đặc tính quá độ bởi ưu điểm dễ thực hiện, các bước tiến hành đơn giản hơn và được áp dụng phổ biến trong công nghiệp.

Trong bài báo này, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu việc nhận dạng và điều khiển mức chất lỏng trong bình dựa trên đối tượng thực là mô hình CE105 Coupled Tanks, để cho độ cao chất lỏng trong bình mức luôn ổn định, không đổi hoặc theo một điểm đặt trước để đảm bảo cung cấp chính xác lượng chất lỏng cho các quá trình công nghiệp như sản xuất thuốc, chưng cất, tinh luyện...cho dù hệ thống có tham số thay đổi. Từ kết quả nhận dạng, nhóm tác giả tổng hợp, thiết kế bộ điều khiển PID để kiểm soát mức chất lỏng. Tính khả thi của bộ điều khiển được kiểm chứng trên hệ thống thực nghiệm trong trường hợp có sự thay đổi về lưu lượng đầu vào và nhiều tác động vào hệ thống.

### 2. NHẬN DẠNG VÀ THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO HỆ THỐNG

#### 2.1. Tổng quan hệ thống



Hình 1. Mô hình quá trình CE105 Coupled Tanks

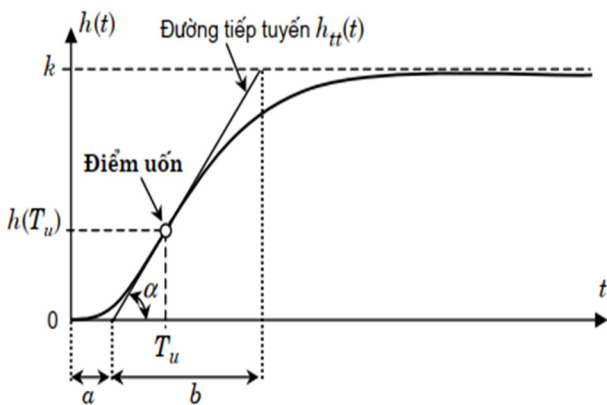
Mô hình CE105 Coupled Tanks của hãng TecQuipment được trình bày như hình 1, bao gồm một máy bơm, một cảm biến lưu lượng, hai cảm biến mức và ba van xả A, B, C [10]. Các van xả có độ mở thay đổi từ 0 đến 5 (tương ứng 0% đến 100%). Van A nằm ở giữa hai bình để điều chỉnh lưu lượng chất lỏng từ bình 1 sang bình 2. Trong bài báo này, nhóm tác giả nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển để kiểm soát mức chất lỏng trong bình 2. Đầu ra của bộ điều khiển là điện áp cấp vào động cơ máy bơm chất lỏng vào bình 1, van B luôn đóng và van C luôn xả. Nên độ mở của van A và van C sẽ được coi là nhiễu ảnh hưởng đến mức chất lỏng bình 2.

**2.2. Nhận dạng mô hình quá trình CE105 Coupled Tanks**

**2.2.1. Phương pháp nhận dạng từ đặc tính quá độ**

Theo [3-6] đối tượng có đặc tính quá độ như hình 2 có thể được biểu diễn dưới dạng khâu quán tính bậc cao, trong phần này nhóm tác giả sẽ nhận dạng đối tượng mức nước về dạng khâu quán tính bậc hai như sau:

$$G(s) = \frac{k}{1(1+T_1s)(1+T_2s)} \tag{1}$$



Hình 2. Đường đặc tính của mô hình quán tính bậc hai

Trong đó, k là tung độ của giao điểm đường tiệm cận của đường đặc tính đối tượng h(t) khi t → ∞. T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> được xác định dựa trên a, b thu được từ việc kẻ tiếp tuyến với đặc tính quá độ tại điểm uốn như hình 2 theo các bước sau:

Bước 1: Đặt  $x = \frac{T_2}{T_1}$

Bước 2: Tìm x thỏa mãn  $0 < x < 1$

$$\text{và } x \frac{x \ln x + x^2 - 1}{x - 1} - 1 = \frac{a}{b}$$

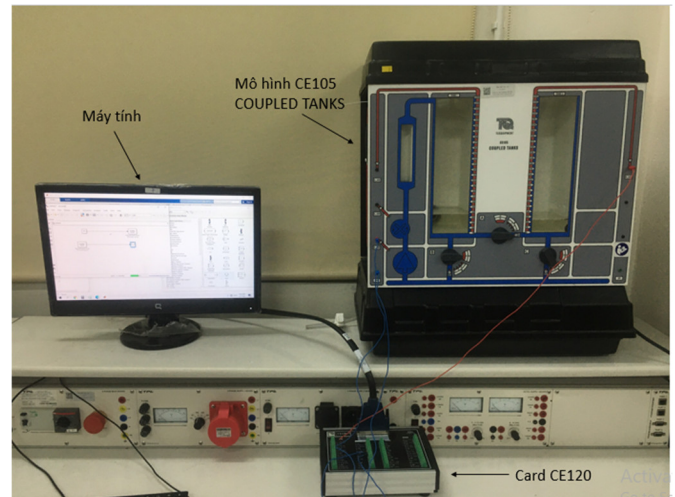
Bước 3: Tính T<sub>1</sub> theo công thức  $T_1 = \frac{b}{x}$

Bước 4: Tính T<sub>2</sub> = xT<sub>1</sub>

**2.2.2. Nhận dạng trên mô hình thực**

Mô hình CE105 của Tecquipment được kết nối máy tính thông qua card CE120 như hình 3. Cấu trúc thu thập tín hiệu hệ thống bằng Matlab/Simulink như hình 4 với chu kỳ lấy mẫu là T<sub>s</sub> = 10ms.

Để tiến hành nhận dạng, ta đặt các thông số như sau: Điện áp đặt vào cho máy bơm là 4,5V, van B khóa, van A mở tại vị trí số 5 (100%) và van C mở tại vị trí số 3 (60%).



Hình 3. Hệ thống nhận dạng mô hình thực



Hình 4. Cấu trúc thu thập tín hiệu

Sau khi chạy quá trình để lấy kết quả đầu ra thực, ta thu được đồ thị đáp ứng quá độ mức nước như hình 5.

Áp dụng phương pháp nhận dạng ở phần 2.2.1 cho đồ thị hình 5 ta xác định được giá trị của k và T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> là:

$$k = \frac{3,969}{4,5} = 0,882$$

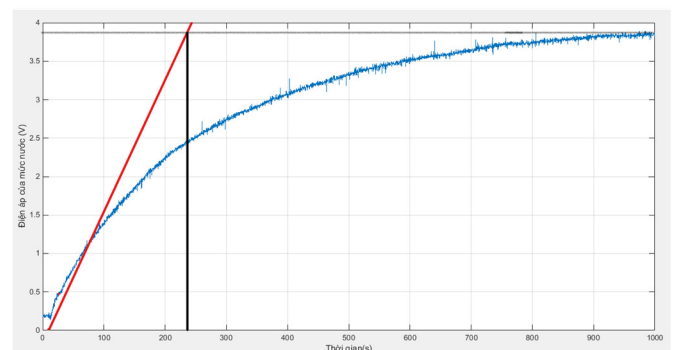
$$a = 4,54$$

$$b = 240,57$$

Suy ra T<sub>1</sub> = 218,485 ; T<sub>2</sub> = 5,59

Vậy hàm truyền của mô hình là

$$G(s) = \frac{0,882}{(1+218,485s)(1+5,59s)} \tag{2}$$

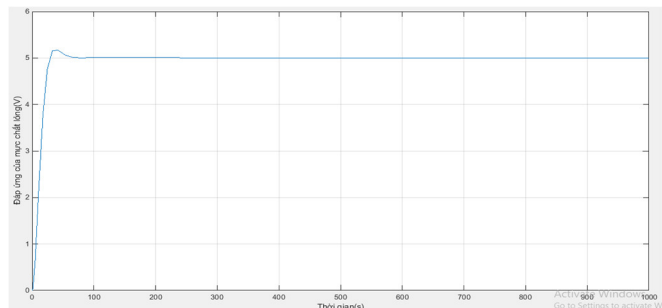


Hình 5. Đáp ứng quá độ mức nước

**2.3. Thiết kế bộ điều khiển PID và mô phỏng trên Matlab**

Để điều khiển mức chất lỏng cho mô hình CE105, bài báo tổng hợp bộ điều khiển dựa trên mô hình hàm truyền đối tượng ở công thức (2). Áp dụng phương pháp tối ưu hóa modul [7-9], ta thu được kết quả bộ điều khiển PI như sau:

$$R(s) = 22,157 + \frac{1}{30,303s} \tag{3}$$

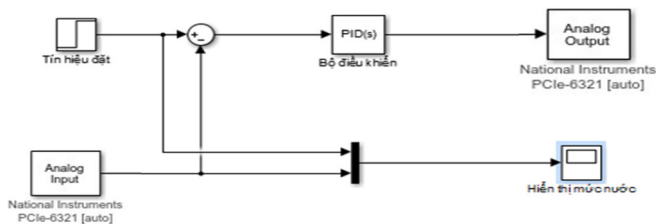


Hình 6. Đáp ứng mức chất lỏng của hàm truyền

Trước khi ứng dụng bộ điều khiển PI ở công thức (3) để điều khiển mô hình thực CE105, bài báo thực hiện mô phỏng điều khiển trên phần mềm Matlab-Simulink. Kết quả là đồ thị hình 6 cho thấy đáp ứng mức nước cần 70s để ổn định tại giá trị đặt, độ quá điều chỉnh là 2%.

**3. KIỂM NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ**

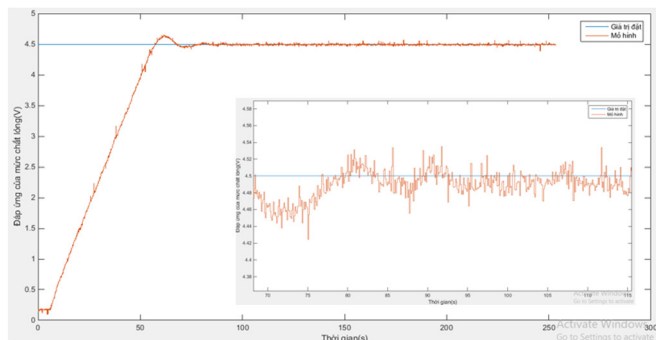
Quá trình thực nghiệm để đánh giá chất lượng bộ điều khiển được tiến hành trên hệ thống như hình 3. Trong đó, cấu trúc Simulink kết nối được xây dựng như hình 7.



Hình 7. Sơ đồ điều khiển mô hình thực

Cảm biến có tỉ lệ tuyến tính giữa tín hiệu điện áp đầu ra và mức nước thực là 1:25. Để kiểm nghiệm chất lượng của hệ thống điều khiển, quá trình thực nghiệm được tiến hành theo ba trường hợp sau đây:

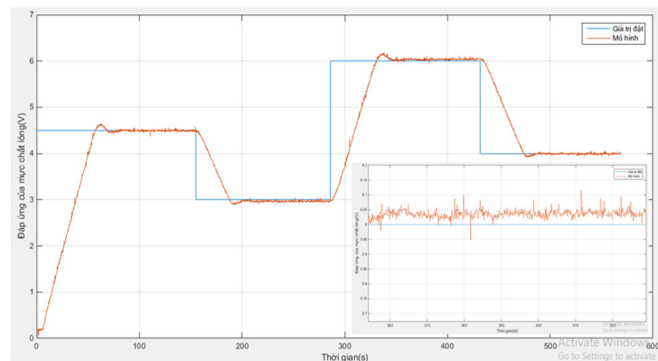
**Trường hợp 1:** Giá trị đặt không đổi, thông số bộ điều khiển PI:  $K_p = 22,157$ ;  $T_I = 30,303$



Hình 8. Đáp ứng mức chất lỏng thực nghiệm trên mô hình CE105 Coupled Tanks

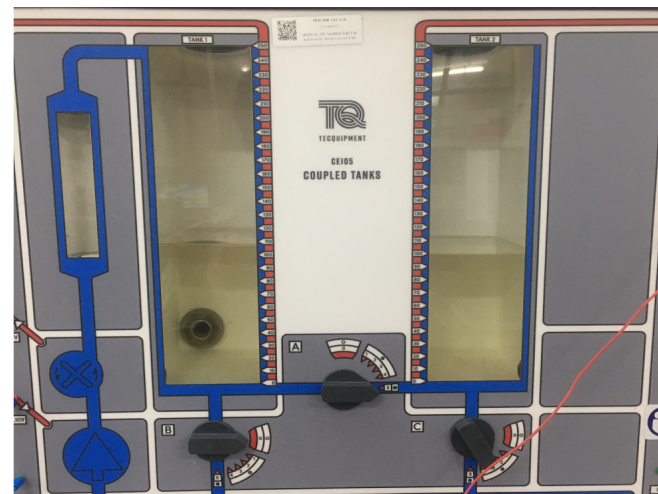
Từ hình 8 ta thấy, đáp ứng mức chất lỏng cần thời gian là 80s để đạt giá trị đặt, với sai số không đáng kể. Như vậy, bộ PI để xuất đáp ứng được yêu cầu điều khiển ổn định mức nước với độ quá điều chỉnh nhỏ.

**Trường hợp 2:** Để đánh giá khả năng bám giá trị đặt của hệ thống, quá trình thực nghiệm được tiến hành bằng cách thay đổi giá trị đặt lần lượt là 4,5V; 3V; 6V; 4V (tương ứng 112,5mm; 75mm; 150mm; 100mm)



Hình 9. Kết quả thực nghiệm đáp ứng mức chất lỏng khi thay đổi giá trị đặt

Từ hình 9, ta thấy đáp ứng đầu ra bám theo giá trị đặt mới sau khoảng 60s đến 70s khi có sự biến thiên giá trị đặt, trong khi độ quá điều chỉnh rất nhỏ. Cụ thể chỉ tiêu chất lượng động thực nghiệm được đánh giá trong bảng 1.



Hình 10. Mức chất lỏng thực tế ứng với giá trị đặt 100mm

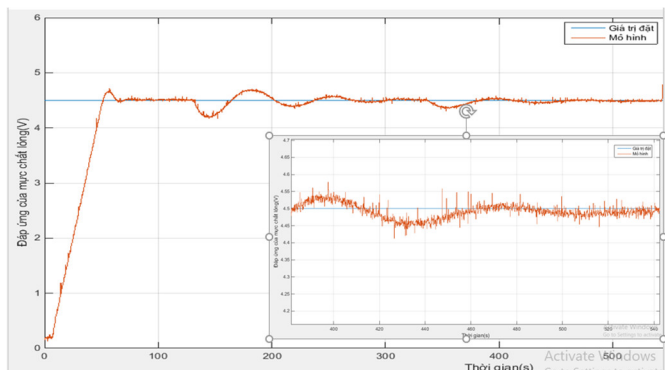
Bảng 1. Thông số chất lượng hệ thống điều khiển khi thay đổi giá trị đặt

	Giá trị đặt 4,5V	Giá trị đặt 3V	Giá trị đặt 6V	Giá trị đặt 4V
Độ quá điều chỉnh	3,11%	3,33%	3%	2%
Thời gian xác lập	65,2	43,3	52,6	44,8
Sai số xác lập	0,02	0,04	0,04	0,02

**Trường hợp 3:** Để đánh giá khả năng ổn định trước các nhiễu bên ngoài, quá trình thực nghiệm được tiến hành bằng cách thay đổi góc mở của cả van xả A và van xả C tại ba vị trí như trong bảng 2.

Kết quả đáp ứng trên hình 11 cho thấy, tại thời điểm ban đầu ngay khi xuất hiện góc mở, mức nước có sự biến đổi

(~6%) nhưng sau khoảng thời gian 50s ổn định bám theo giá trị đặt với sai số nhỏ ~0,22%. Cụ thể các chỉ tiêu chất lượng động được tính toán trong bảng 2.



Hình 11. Kết quả thực nghiệm đáp ứng mức chất lỏng khi thay đổi độ mở van của van A và van C



Hình 12. Mức chất lỏng thực tế ứng với giá trị đặt 112,5 mm (độ mở van A và C tại 60%)

Bảng 2. Thông số chất lượng hệ thống điều khiển khi thay đổi độ mở của van A, van C

	Van A tại 5 (100%) Van C tại 3 (60%) Thời điểm t = 0s	Van A tại 3 (60%) Van C tại 3 (60%) Thời điểm t = 132s	Van A tại 3 (60%) Van C tại 5 (100%) Thời điểm t = 336,5s
Độ quá điều chỉnh	3,11%	6,67%	3,33%
Thời gian quá độ	65,2	64,8	58,5
Sai số xác lập	0,02	0,04	0,02

Từ kết quả mô phỏng các hình 8 ÷ 12 và bảng 1, 2, có thể nhận xét rằng hệ thống điều khiển mức chất lỏng bình chứa làm việc ổn định và bám theo giá trị đặt. Ngoài ra, khi ta thay đổi giá trị đặt trong quá trình làm việc của hệ thống và dưới tác động của nhiễu như sự thay đổi góc mở của van, hệ thống vẫn ổn định.

#### 4. KẾT LUẬN

Việc xác định mô hình phù hợp của một đối tượng cụ thể phụ thuộc vào phương pháp và cách thức nhận dạng. Điều này là một thách thức đối với các nhà nghiên cứu. Bài báo trình bày một phương pháp đánh giá tính phù hợp của mô hình nhận dạng so với đối tượng thực thông qua việc áp dụng phương pháp nhận dạng đối tượng cho bài toán điều khiển mức nước trong bể, sử dụng đối tượng thực là mô hình CE105 Coupled Tanks. Kết quả nhận dạng và chất lượng điều khiển của bộ điều khiển được thiết kế dựa trên mô hình nhận dạng được đánh giá khi áp dụng cho hệ thống thực. Sự thay đổi giá trị đặt và độ mở của van trong các thử nghiệm cho thấy bộ điều khiển đạt được chất lượng tốt.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Aminzadeh, A. A. Safavi, A. Khayatian, 2005. *Real-Time Control and Identification of a Thermal Process Based on Multiple-Modeling Approach*. Dev. Chem. Eng. Mineral Process. 13(3/4), pp. 221-232.
- [2]. Knudsen M.D., Hedegaard R.E., Pedersen T.H., Petersen S., 2017. *System identification of thermal building models for demand response - A practical approach*. Energy Procedia, 122, pp.937-942.
- [3]. E.F. Camacho, C. Bordons. *Model Predictive Control*. Springer, 2007.
- [4]. K. J. Astrom, T. Hagglund, 1995. *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America.
- [5]. Ján Mikles, Miroslav Fikar, 2007. *Process Modelling, Identification, and Control*. Springer.
- [6]. Nguyen Doan Phuoc, Phan Xuan Minh, 2005. *Nhan dang he thong dieu khien*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [7]. Nguyen Doan Phuoc, 2009. *Ly thuyet dieu khien tu dong*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [8]. Nguyen Thi Phuong Ha, Huynh Thai Hoang, 2005. *Ly thuyet dieu khien tu dong*. Vietnam National University, Ho Chi Minh City Press.
- [9]. Pham Cong Ngo, 2006. *Ly thuyet dieu khien tu dong*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [10]. TecQuipment, 2016. *CE105 and CE105MV Coupled Tanks*.

#### AUTHORS INFORMATION

**Vu Tien Manh, Tran Tuan Anh, Pham Van Hung,  
Vu Thi Yen, Ngo Manh Tung**

Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam