

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ไพศาล กัจฉสุวรรณมณี, สิทธิพร พวงกุหลาบ, พล คงเสื่อและไพฑูรย์ ตั้งจิตร่วมบุญ “PID tuning for optimizing control the process” สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2537.

รายงานประสบการณ์ทัศนศึกษา “ระบบควบคุมกระบวนการผลิตด้วยคอมพิวเตอร์ในอุตสาหกรรม ประเทศญี่ปุ่น” สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2535.

เรื่องชัย อานนท์ธนทรัพย์ “Introduction to Distributed Control System” สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2537.

### ภาษาอังกฤษ

Bequette, B.W. and Edgar, T.F., “Non-interacting Control System Design Methods in Distillation”, Comput. Chem. Eng. Vol. 13(6), pp. 641-650, 1989.

Finco, M.V., Luyben, W.L., “Control of Distillation Columns With Low Relative Volatilities”, Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 28, pp. 75-83, 1989.

Haggblom, K.E., “Estimation of Consistent Process Gains for Distillation Control Structures”, Report 87-8, Process Control Laboratory, Abo Akademi, Abo., 1987.

\_\_\_\_\_, "Reconciliation of Process Gain for Distillation Control Structures", IFAC Dynamics and Control of Chemical Reactors (DYCORD+'89), Maastricht, The Netherlands, 1989.

\_\_\_\_\_. and Waller, K.V., "Transformations and Consistency Relations of Distillation Control Structures: I. Theory", Report 87-6, Process Control Laboratory, Abo Akademi, Abo., 1987.

\_\_\_\_\_. and Waller, K.V., "Transformations and Consistency Relations of Distillation Control Structures: II. Applications", Report 87-6, Process Control Laboratory, Abo Akademi, Abo., 1987.

\_\_\_\_\_. and Waller, K.V., "Transformation and Consistency Relations of Distillation Control Structures", AICHE J. Vol. 34(10), pp. 1634-1648, 1988.

\_\_\_\_\_. and Waller, K.V., "Control Structures for Disturbance Rejection and Decoupling of Distillation", AICHE J. Vol. 36, pp. 1107-1113, 1990.

\_\_\_\_\_. and Waller, K.V., "Modelling of Distillation Control Structures", Report 91-4, Process Control Laboratory, Abo Akademi, Abo., 1991.

Instruction Manual Series of  $\mu$ XL, 6<sup>th</sup> edit., YOGOKAWA Electric Corp, (1991).

Jafarey, A., McAvoy, T.J., Douglas, J.M., "Analytical Relationships for The Relative Gain for Distillation Control", Ind. Eng. Chem. Fundam. Vol. 18(2), pp. 181-187, 1979.

- \_\_\_\_\_, McAvoy, T.J. and Douglas, J.M., "Steady-State Noninteracting Controls for Distillation Columns: An Analytical Study", Ind.Eng.Chem. Process Des. Dev. Vol. 19, pp. 114-117, 1980.
- Lau, H., Alvarez, J. and Jensen, K.F., "Design of control structures by singular value analysis", AICHE J. Vol. 31, pp. 427-439, 1985.
- Lee, M. and Park, S., "Dynamic Structure Transformation for The Analysis of Distillation Control Structures", AICHE J. Vol. 37(11), pp. 1725-1729, 1991.
- Luyben, W.L., "Distillation Decoupling", AICHE J. Vol. 16(2), pp.198-203, 1970.
- \_\_\_\_\_, "Steady-State Energy Conservation Aspects of Distillation Column Control System Design", Ind. Eng. Chem. Fundam. Vol. 14(4), pp. 321-325, 1975.
- \_\_\_\_\_, "Simple Method for Tuning SISO Controllers in Multivariable System", Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. Vol. 25(3), pp. 654-660, 1986.
- \_\_\_\_\_, "Sensitivity of Distillation Relative Gain Arrays to Steady-State Gains", Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 26, pp. 2076-2078, 1987.
- \_\_\_\_\_, Process Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineers. 2nd ed. McGraw Hill, Inc. Singapore., 1990.
- Marchetti, J.L., Predictive Computer Control of A Distillation Column. Doctor of Philosophy thesis, University of California, Santa Barbara., 1982.

McAvoy, T.J., "Stead-State Decoupling of Distillation Columns", Ind. Eng. Chem. Fund.

Vol. 18(3), pp. 269-273., 1979.

\_\_\_\_\_, "Connection Between Relative Gain and Control Loop Stability and Design",

AIChE J. Vol. 27(4), pp. 613-619, 1981.

\_\_\_\_\_, "Some Result on Dynamic Interaction Analysis of Complex Control Systems", Ind.

Eng. Chem. Process Des. Dev. Vol. 22, pp. 42-49, 1983.

\_\_\_\_\_ and Weischedel, K., "A Dynamic Comparison of Material Balance Versus

Conventional Control of Distillation Column", Proceedings IFAC World Congress, Kyoto,

Japan. pp. 2773-2778, 1981.

MATLAB User's Guide. The MathWorks Inc., 1993.

Meyer, C.B.G., Wood, R.K. and Seborg, D.E., "Experimental Evaluation of Analytical and

Smith Predictors for Distillation Column Control" AIChE J. Vol.25, pp. 24-32, 1979.

Monica, T.J., Yu, C.C. and Luyben, W.L., "Improved Multiloop Single-Input/Single-Output

(SISO) Controllers for Multivariable Processes", Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 27, pp.969-

973, 1988.

Rosenbrock, H.H., "The Control of Distillation Columns", Trans. Inst. Chem. Eng. Vol. 40,

pp.35-53, 1962.

Ryskamp, C.J., "New Strategy Improves Dual Composition Column Control", Hydrocarbon

Process. Vol. 59, pp.51-59, 1980.

Sandelion, P.M., Haggblom K.E. and Waller, K.V., "A Disturbance Sensitivity Parameter and

Its Application to Distillation Control", Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 30, pp. 1182-1186,

1991.

\_\_\_\_\_, Haggblom, K.E. and Waller, K.V., "Disturbance Rejection Properties of Control

Structures at One-point Control of a Two-product Distillation Column", Ind. Eng. Chem.

Res. Vol. 29, pp. 1187-1193, 1991.

Seborg, D.E. Edgar, T.F. and Mellichamp, D.A., Process Dynamic and Control, John Wiley &

Sons, Inc. Singapore, 1989.

Shinskey, F.G., Distillation Control for Prpductivity and Energy Conservation. McGraw-Hill,

Inc., USA., 1977.

SIMULINK User's Guide. The MathWorks Inc., 1993.

Stephanopoulos, G., Chemical Process Control : An Introduction to Theory and Practice.

Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ., 1984.

Stogestad, S. and Morari, M., "Effect of Disturbance Direction on Closed-Loop Performance",

Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 26, pp. 2029-2035., 1987.

\_\_\_\_\_, and Morari, M., "Control Configuration Selection for Distillation Columns",

AICHE J. Vol. 33(10), pp.1620-1635., 1987.

\_\_\_\_\_, Lundstrom, P. and Jacobsen, E.W., "Selecting The Best Distillation Control

Configuration", AICHE J. Vol. 36 (5), pp.753-764, 1990.

\_\_\_\_\_, Jacobsen, E.W. and Morari, M., "Inadequacy of Steady-State Analysis for Feedback

Control: Distillate-Bottom Control of Distillation Columns", Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 29,

pp.2339-2346, 1990.

Takamatsu, T., Kawachi, K. and Watanabe, F., "Design of Decoupling Control System for A

Binary Distillation Column With Uncertain Parameters", Inter. Chem. Eng. Vol. 21 (1),

pp.40-49, 1981.

\_\_\_\_\_, Hashimoto, I. and Hashimoto, Y., "Selection of Manipulated Variables to Minimize

Interaction in Multivariate Control of a Distillation Column.", Inter. Chem. Eng. Vol. 27(4),

pp.669-677, 1987.

Waller, K.V., Finnerman, D.H., Sandelin and P.M. and Haggblom, K.E., "On the Difference

Between Distillation Column Control Structures", Report 86-2, Process Control Lab., Abo

Akademi, 1986.

\_\_\_\_\_, Haggblom, K.E., Sandelin and P.M. and Finnerman, D.H., "Disturbance Sensitivity

of Distillation Control Structures", AICHE J. Vol. 34., pp. 853-858, 1988.

\_\_\_\_\_, Finneman, D.H., Sandelin, P.M., Haggblom, K.E., and Gustafsson, S.E., An

“Experimental Comparison of Four Control Structures for Two-point Control of  
Distillation”, Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 27, pp.624-630, 1988.

Weischedel, K. and McAvoy, T.J., “Feasibility of Decoupling in Conventionally Controlled

Distillation Columns”, Ind. Eng. Chem. Fundam. Vol. 19. pp.379-384, 1980.

Wood, R.K. and Berry, M.W., “Terminal Composition Control of a Binary Distillation Column”,

Chem. Eng. Sci. Vol. 28, pp.1707-1717, 1973.

Yang, D.R., Waller, K.V., Seborg, D.E. and Mellichamp, D.A., “Dynamic Structural

Transformations for Distillation Control Configurations”, AIChE J. Vol. 36, pp. 1391-  
1402, 1990.

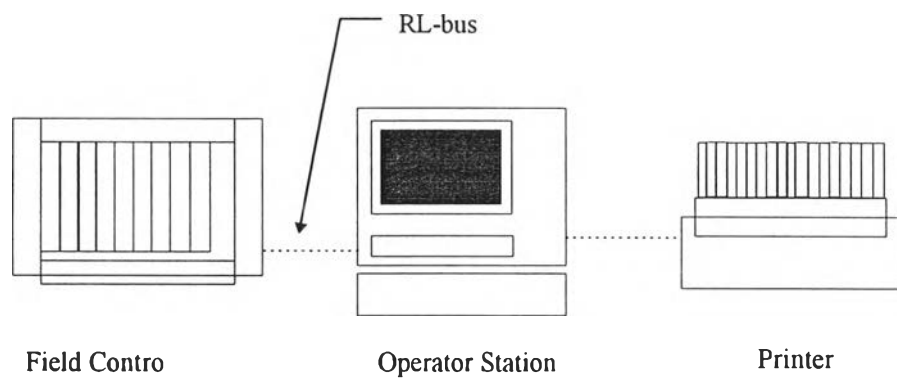
\_\_\_\_\_, K.V., Seborg, D.E. and Mellichamp, D.A., “Combined Balance Control Structure

for Distillation Columns”, Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 27, pp. 2159-2168, 1991.

## ภาคผนวก ก

### ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน $\mu$ XL

ระบบควบคุมแบบกระจายส่วนที่ใช้การทดลองในงานวิจัยนี้ เป็นรุ่น  $\mu$ XL ผลิตโดยบริษัท โยโกกาวา (ประเทศไทย) จำกัด โครงสร้างขนาดเล็กของระบบ  $\mu$ XL แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างขนาดเล็กของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน  $\mu$ XL

จากรูปที่ 1 โครงสร้างหลักของระบบ  $\mu$ XL แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

- ก. สถานีปฏิบัติการ (Operator Station)
- ข. หน่วยควบคุมกระบวนการ (Field Control Unit หรือ FCU)
- ค. ระบบสื่อสาร RL-bus



## 1. ฟังก์ชันอุปกรณ์ในระบบควบคุมแบบกระจายส่วน $\mu$ XL

ฟังก์ชันอุปกรณ์ (Instrument functions) ที่มีอยู่ในลิบรารีฟังก์ชันของระบบ  $\mu$ XL

สำหรับนำมาใช้สร้างแบบจำลองเลียนแบบการกลั่น แบ่งเป็นกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ฟังก์ชันบล็อกของอุปกรณ์  $\mu$ XL ที่อยู่ในลิบรารี

Functional Unit	Instrument Model	Description of Instrument
Input Indicator	PVI	Input indicator
	PVI-DV	Input indicator with deviation alarm
Controllers	PID	PID controller
	PI-HLD	Sampling PI controller
	PID-BSW	PID controller with batch switch
	ONOFF	Two-position ON/OFF controller
	ONOFF-G	Three-position ON/OFF controller
	PID-TP	Time proportioning ON/OFF controller
	PD-MR	PD controller with manual reset
	PI-BLEN	Blending PI controller
Manual Loaders	MLD	Manual loader
	MLD-PVI	Manual loader with input indicator
	MLD-SW	Auto/manual station
Velocity limiter	VELLIM	Velocity limiter
Ratio set unit	RATIO	Ratio set unit
Signal selector	AS-H, AS-M, AS-L	Autoselector
	SS-H, SS-M, SS-L	Signal selector
Selector switches	SS-DUAL	Dual signal selector
	SW-33	Selector switch : three-pole, three-position
	SW-91	Selector switch : one-pole, nine-position
	DSW-14	Data set switch, 14-data
Program set unit	PG-L13	13-zone program set unit
	PG-S13	13-step program set unit
Computing unit	LAG	First order lag unit
	LD	First order lead unit

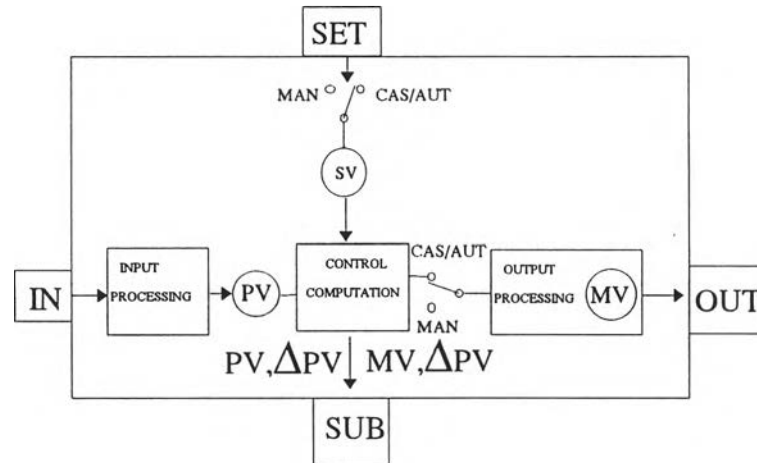
Functional Unit	Instrument Model	Description of Instrument
	LDLAG	Lead/lag unit
	DLAY-C	Deadtime compensate unit
	AVE-M	Moving average unit
	AVE-C	Cumulative average unit
	FUNC	Line-segment function unit
	CALCU	Calculation unit
Alarm unit	ALM-R	Representative alarm unit
Batch set unit	BSETU	Batch set unit
Batch data set unit	BDSET-1	One-batch data set unit
	BDSET-2	Two-batch data set unit
Batch data acquisition unit	BDA	Batch data acquisition unit
Motor control unit	MC-2	Two-position motor control unit
	MC-3	Three-position motor control unit
Unit data link	UDL	Unit data link : for linking MFC□-MFC□, MFC□-MFM□
YewSeries80 units	SLCD	Indicating controller
	SLPC	Programmable indicating controller
	SLMC	Programmable indicating controller with pulse width output
	SMST-11	Auto/manual station (with push-button setpoint setting)
	SMST-121	Auto/manual station (with manipulated output lever)
	SMRT	Ratio set station
YewSeries BCS units	SBSD	Batch set station
	SLCC	Blending controller
	SLBC	Batch controller
	STLD	Totalizer

## 2. ฟังก์ชันอุปกรณ์ควบคุมแบบป้อนกลับ

จากรูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของฟังก์ชันอุปกรณ์ควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งเทอร์มินัลที่อยู่นอกบล็อกใหญ่ เป็นฟังก์ชันเชื่อมโยงระหว่างลูฟ จะทำหน้าที่ส่งผ่านหรือรับสัญญาณจากตัววัดในโรงงานหรืออุปกรณ์  $\mu$ XL ตัวอื่น แต่ละบล็อกจะแทนอุปกรณ์ 1 ตัว ข้อมูลชนิดต่างๆ

ได้แก่ PV, SV, MV และแสดงโหมดการทำงานของฟังก์ชันอุปกรณ์ (สถานะของลูฟ) ได้แก่

MAN, AUT และ CAS



รูปที่ 2 โครงสร้างของบล็อกตัวควบคุม

ข้อกำหนดมาตรฐาน มีดังนี้

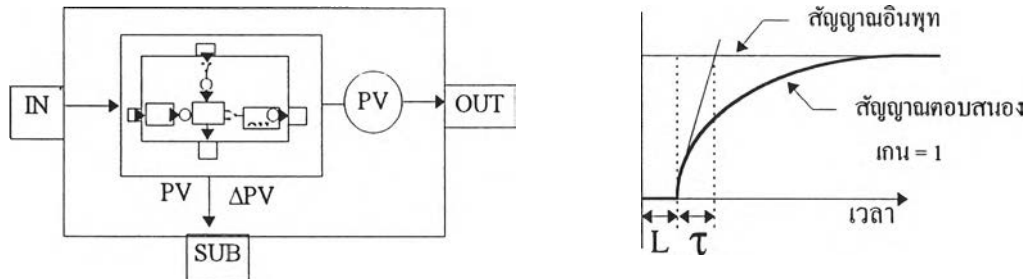
- สัญญาณอินพุต (ทางเทอร์มินัล IN) เป็นสัญญาณ 1-5 V DC หรือ Pulse train input จาก I/O card (MAC2, PAC, VM1, VM2, LCU, LCS หรือ PM1) โดยส่งมาจากกระบวนการ และมีสัญญาณจากฟังก์ชันอุปกรณ์  $\mu XL$  ตัวอื่น

- ฟังก์ชันแปลงสัญญาณอินพุต จะขึ้นกับชนิดของฟังก์ชันอุปกรณ์  $\mu XL$
- ฟังก์ชันตรวจสอบอะลาร์ม จะขึ้นกับชนิดของฟังก์ชันอุปกรณ์  $\mu XL$
- Correction (compensation) calculation functions ขึ้นกับชนิดฟังก์ชันอุปกรณ์  $\mu XL$
- Output signal (output via Out terminal)

## 2.1 ฟังก์ชันหน่วยเดดไทม์ (Dead time unit หรือ DLAY)

เป็นหน่วยที่ใช้เลียนแบบกระบวนการที่แสดงคุณลักษณะเป็นแล็กไทม์อันดับหนึ่ง

และมีเดดไทม์ โครงสร้างของฟังก์ชันนี้แสดงในรูปที่ 3

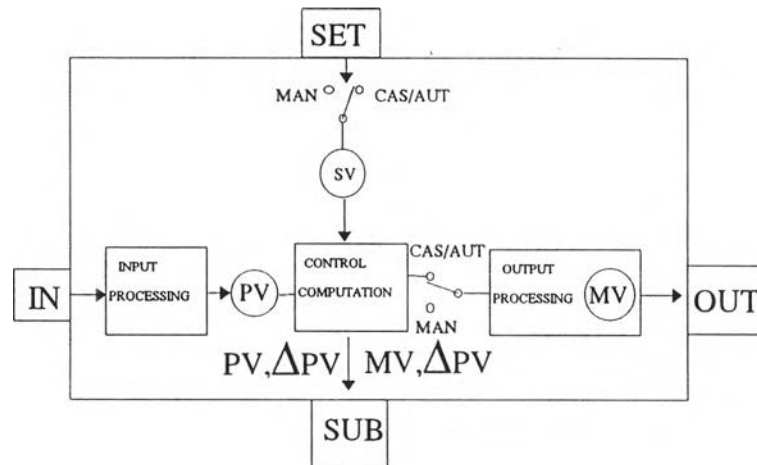


รูปที่ 3 โครงสร้างฟังก์ชันแล็กอันดับหนึ่งมีเดดไทม์และสัญญาณตอบสนอง

## 2.2 ฟังก์ชันตัวควบคุมพีไอดี (PID controller)

จะรับสัญญาณผลต่างระหว่างค่าเซ็ทพอยท์ (SV) กับค่าตัวแปรควบคุม (PV) แล้วคำนวณตามอัลกอริทึมที่ได้กำหนด ได้ค่าสัญญาณตัวแปรปรับ (MV) ซึ่งสัญญาณ MV จะสามารถส่งดำเนินการได้ 3 ลักษณะ คือ

- ก. ส่ง MV ไปยังองค์ควบคุมสุดท้ายผ่านทางการ์ดอินพุต/เอาต์พุต หรือ MAC2
- ข. ส่ง MV ไปยังองค์ควบคุมสุดท้ายโดยส่งผ่านหน่วยควบคุม (LCU หรือ Local Control Unit) และหน่วยแสดงลูฟ (UDLU)
- ค. เชื่อมโยงกับฟังก์ชันอุปกรณ์อื่น เช่น หน่วยแล็กอันดับหนึ่งมีเดดไทม์



รูปที่ 4 โครงสร้างฟังก์ชันตัวควบคุมพีไอดี (PID controller)

อัลกอริทึมควบคุม (Control algorithm) โดยทั่วไป สมการจะเป็นอัลกอริทึมความเร็ว (Velocity algorithm) เพื่อไม่ให้มีรีเซ็ตทวงคัตออฟ (Reset windup) และไม่เกิดบัมพ์เมื่อเปลี่ยนสถานะควบคุม สมการอัลกอริทึมตามทฤษฎีแสดงดังนี้

$$MV(t) = \frac{100}{PB} \left\{ E(t) + \frac{1}{\tau_I} \int E(t) dt + \tau_D \frac{dE(t)}{dt} \right\} \quad (1)$$

สำหรับฟังก์ชันตัวควบคุมจะหาสมการอัลกอริทึมโดยการแปลงและดิฟเฟอเรนทิเอทสมการ (1) โดยที่สัญญาณศักย์หรือกระแสไฟฟ้าที่ส่งมาจากทรานสมิเตอร์จะถูกแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยการ์ดอินพุท อัลกอริทึมของตัวควบคุมในระบบ  $\mu XL$  แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\text{อัลกอริทึม En : } \Delta MV_n = \frac{100}{PB} \left\{ \Delta E_n + \frac{\Delta T}{\tau_I} E_n + \frac{\tau_D}{\Delta T} \Delta(\Delta PV_n) \right\} \quad (2)$$

$$\text{อัลกอริทึม Mn : } \Delta MV_n = \frac{100}{PB} \left\{ \Delta PV_n + \frac{\Delta T}{\tau_I} E_n + \frac{\tau_D}{\Delta T} \Delta(\Delta PV_n) \right\} \quad (3)$$

เมื่อ  $\Delta MV$  คือ ขนาดของ MV ที่เปลี่ยนไป

$E_n = SV_n - PV_n$  คือ ผลต่างสำหรับแยกชั้นแบบผกผัน

$\Delta E_n = E_n - E_{n-1}$  คือ ขนาดของผลต่างที่เปลี่ยนไป

$\Delta T$  คือ คาบเวลาควบคุม (control period)

$\Delta PV_n$  คือ ขนาดของอินพุตที่เปลี่ยน

$PB, \tau_I, \tau_D$  คือ พารามิเตอร์แบนด์, อินทิกรัลไทม์ และเวลาอนุพันธ์

อัลกอริทึมแบบเวโลซิตี (Velocity algorithm) จะคำนวณ  $MV$  ค่าใหม่เสมอ แต่อัลกอริทึมแบบ  $E_n$  และ  $M_n$  นั้นค่า  $\Delta MV_n$  คำนวณจากสมการ จะรวมกับค่า  $MV$  ค่าเดิม เป็น  $MV$  ค่าใหม่ การใช้งานของอัลกอริทึมแบบ  $E_n$  และ  $M_n$  คือ

- ถ้าสถานะตัวควบคุมพีไอดีเป็น CAS หรือ CBC จะใช้อัลกอริทึมแบบ  $E_n$
- ถ้าสถานะตัวควบคุมพีไอดีเป็น AUT หรือ CBA จะใช้อัลกอริทึมแบบ  $M_n$  ซึ่งเทอม

เกนตัวควบคุมจะไม่มีค่าเซ็ทพอยท์อยู่ ซึ่งสามารถป้องกันการเปลี่ยนค่า  $MV$  กระทันหัน

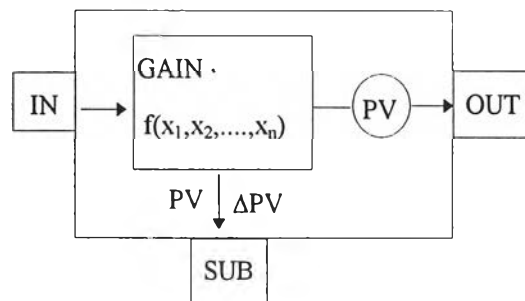
พารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดในฟังก์ชันบล็อก สามารถเปลี่ยนค่าได้ โดยดำเนินการในส่วนติดต่อกับผู้ควบคุม ได้แก่

- ค่าแบนด์สัดส่วน ( $P$ ) : มีค่า 6.3 - 999.9 %
- ค่าเวลาอินทิกรัล ( $\tau_I$ ) : มีค่า 1 - 9999 วินาที
- ค่าเวลาอนุพันธ์ ( $\tau_D$ ) : ค่า 0 - 9999 วินาที

### 2.3 หน่วยคำนวณ (Calculation Unit หรือ CALCU)

เป็นหน่วยฟังก์ชันของ  $\mu XL$  ที่วิศวกรผู้สร้างระบบสามารถเขียนฟังก์ชันได้ตามต้อง

การ เซ็น ฟังก์ชันแบบพีชคณิต เป็นต้น โครงสร้างของหน่วยควบคุมแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์คำนวณ (CALCU unit)

ข้อมูลที่ต้องกำหนด :

ก. การคำนวณ ได้แก่ พารามิเตอร์ตามกำหนด และเทอมการคำนวณ ได้แก่ พีชคณิต

(+, -, ×, ÷) รากที่สอง ( $\sqrt{\quad}$ ) ลอจิก (NOT, AND, OR และ exclusive OR) เป็นต้น

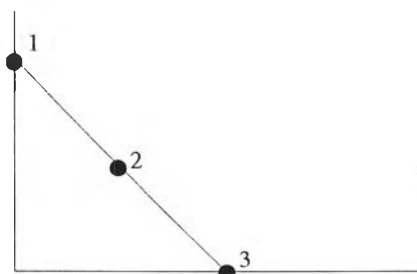
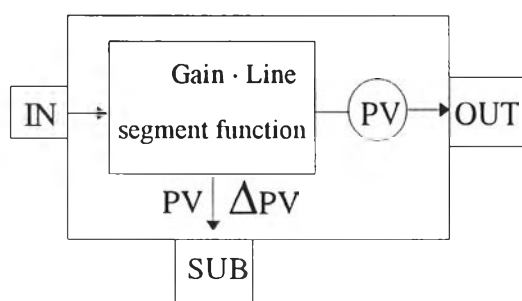
ข. พารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าเกิน (0 - 4.00)

#### 2.4 หน่วยฟังก์ชันเชิงเส้น Line-Segment Function Generation Unit (FUNC)

หน่วยฟังก์ชันนี้สามารถสร้างทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันเชิงเส้นตรงหรือไม่เป็นเชิงเส้นตรง

ให้มีรูปแบบต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ ฟังก์ชันนี้สามารถแปลงผกผันสัญญาณอินพุทที่จะส่งไป

ยังอุปกรณ์  $\mu$ XL อื่นได้ โครงสร้างแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 โครงสร้างอุปกรณ์ FUNC และตัวอย่าง

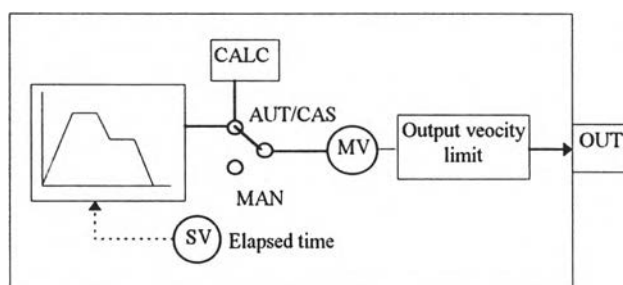
- ข้อกำหนด
- ฟังก์ชัน Line-segment สามารถกำหนดได้ 14 จุด
  - กำหนดค่าในแกน X และแกน Y
  - พารามิเตอร์แกน สามารถกำหนดค่าระหว่าง 0 - 4.00

## 2.5 หน่วยกำหนดโปรแกรม (Program Set Unit หรือ PG-L13 หรือ PG-S13)

หน่วยนี้จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการสร้างเอาต์พุตเป็นค่าเซตพอยท์หรือกำหนดค่าใดๆ แปรตามเวลา อีกทั้งสามารถทำโปรแกรมให้หน่วยนี้ส่งค่าเอาต์พุตได้ต่อเนื่องนานถึง 166 ชั่วโมง สามารถกำหนดหน่วยเวลาได้ทั้งนาทีและวินาที และเอาต์พุตจะเป็นเปอร์เซ็นต์ สามารถเลือกให้คงค่าสุดท้ายไว้ (Final value holding) หรือ กลับไปเริ่มต้นโปรแกรม (Quick return to program start) เมื่อช่วงเวลาโปรแกรม ชนิดของหน่วยนี้มี 2 แบบ คือ

13 โชนไลน์เซ็กเมนต์โปรแกรมเซทยูนิท (PG-L13)

13 โชนสเต็ปเอาต์พุตโปรแกรมเซทยูนิท (PG-S13)



รูปที่ 7 โครงสร้างฟังก์ชันอุปกรณ์ PG-S13 และ PG-L13

ข้อกำหนด :

ก. หน่วย PG-L13 กำหนดจำนวนไลน์เซ็กเมนต์ 1 ถึง 13 และค่าเอาต์พุตในแกน Y



ข. หน่วย PG-S13 กำหนดจำนวนสแต็บ 1 ถึง 13 และค่าเอาต์พุตในแกน Y

ค. กำหนดช่วงเวลาของแกน X และค่าเอาต์พุต

- เวลา (แกน X) : 0 ถึง 9,999 นาฬิกา หรือ 0 ถึง 9,999 วินาที
- เอาต์พุต (แกน Y) : 0 ถึง 100 %

ง. โหมด หรือสถานะของลูฟ กำหนดได้ต่างๆดังนี้

- โหมดแมนวอล (MAN) กำหนดค่าเอาต์พุตแบบแมนวอลเวลาจะหยุดเดิน
- โหมดควบคุมอัตโนมัติ (AUT) เอาต์พุตจะถูกส่งออกไปจนกระทั่งช่วงเวลาหมดลง ก็จะกลับมาสู่โหมด MAN
- โหมดแคสเคด (CAS) เมื่อเวลาของโปรแกรมหมด โปรแกรมจะกลับไปเริ่มใหม่และส่งค่าเอาต์พุตซ้ำๆ
- โหมดโอเพน (OOP) การ์ดเอาต์พุตจะแสดง “output open”

จ. รูปแบบของการดำเนินการเมื่อสิ้นสุดโปรแกรม (ในโหมดอัตโนมัติ)

- แบบคงค่าสุดท้ายโปรแกรมจะกลับมาที่โหมดแมนวอลและค่าเอาต์พุตสุดท้ายจะคงอยู่และถูกส่งออกไปจากหน่วย
- แบบกลับเริ่มต้นใหม่ โดยย้อนกลับไปเริ่มต้นโปรแกรมใหม่ และกลับไปโหมดแมนวอล

ฉ. เอาต์พุตจะมีฟังก์ชันจำกัดความเร็วเอาต์พุตและตรวจสอบอะลาร์ม

สัญญาณเอาต์พุต: ส่งไปอุปกรณ์ภายนอก: 1-5 V. กระแสตรงส่งไปอุปกรณ์ภายใน: 0-100%

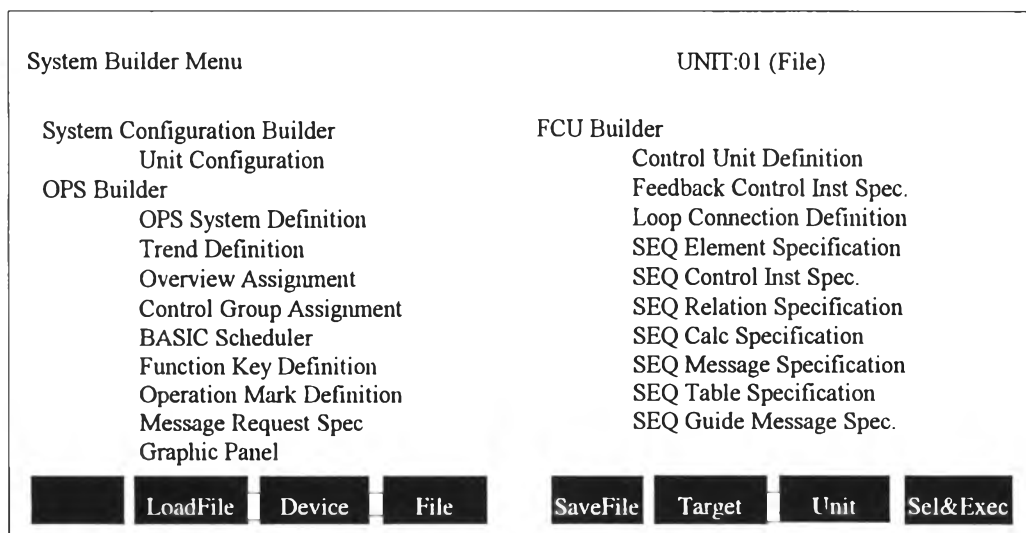
สัญญาณจบโปรแกรม : จุดเอาต์พุต : สัญญาณจะส่งออก โดย Annunciator switch

### 3. การสร้างแบบทดลองด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วน $\mu$ XL

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองลงบนระบบควบคุม โดยมีขั้นตอนดังนี้

ก. กำหนดโครงสร้างของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (Unit configuration) โดยการใช้เมนู

สร้างระบบ (System generation menu)



รูปที่ 8 Builder Menu Panel

- กำหนดโครงสร้างของระบบ (Unit Configuration Definition Specification) โดยกำหนดชนิดของหน่วยควบคุมและสถานีดำเนินการลงในพาเนลสร้างหน่วยควบคุม (Unit configuration panel) ในรูปที่ 9

Unit Configuration Page:001/001  
 System Name <<..... >>  
 Application: .....

No.	Unit	No.	Unit	No.	Unit
1	FCU-STD	8		15	
2		9		16	
3		10		17	
4		11		18	
5		12		19	
6		13		20	
7		14		21	*OPS

Unit to Setup (\*OPS(\*), OPS(O), FCU-STD(S) FCN-EXT(E) )  
 Dual RL-Bus (Y/N) : N

Quit     Write    Set

รูปที่ 9 Unit Configuration Panel

- กำหนดภาวะการทำงานของ MOPS เช่น เครื่องพิมพ์, Hard copy ลงในพานรูปที่ 10

S1 89.03.31 16:25  
PAGE:001/001

Operator Station Definition (card Configuration)

6 I/O Slot

5 I/O Slot

4 RM81

3 CP81B

2 LC8\*

1 DP88

Centronics Port (Printer)  
PRT14 (M3441A, PRT14)

RS-232C Port (ASYNC PORT)  
 (PRT14)

<<Extra Printers>>  
 Applied when RS81 card is installed in slot 5 or 6 (PRT14)

Slot 5

1 I/O Slot

2 RM81

3 LC8\*

4 DP88

Slot 6

1 I/O Slot

2 RM81

3 LC8\*

4 DP88

M3441A : Color Hard Copy  
 PRT14 : Printer

Quit  BASIC    Write    Set

รูปที่ 10 OPS system definition Builder Panel (Card Configuration)

- กำหนดการ์ด DDC/SEQ I/O ที่ต่อเข้ากับ MFCU ลงในพาเนลรูปที่ 11

Control Unit Config (DDC/SEQ-Related)

<Register DDC/SEQ I/O Card>

SLOT→ 1 2 3 4 5 6 7 8

MFCN-NEST

<Register DI/DO Element No.>

DI-START						0000	0016	
DI-END						0015	0047	
DO-START						0000	0016	
DO-END						0015	0047	

<Register Dual Power Card>

Dual Power (Y/N) Y

Quit BASIC

S1 09.04.05 14.28

UNIT:01 (File) PAGE:001/001

\*\*\* CARD \*\*\*

NE51	VM1
MAC2	VM2
PAC	VM4
LCU	PB6
LCS	RS2
ST2	PX1
ST3	MF1
ST4	AN5
ST5	
ST6	
ST7	
PB5	
PM1	

(Cyan :DDC/SEQ-CARD)  
(White :BASIC-CARD)

<Start Condition>

(AUT/MAN/TIM) TIM

Write    Set

รูปที่ 11 Control Unit Configuration Panel

- กำหนดฟังก์ชันอุปกรณ์จากลิบรารีลงในพาเนลรูปที่ 12

11:50

Loop	Tag No	Tag Comment	Type	HI	LO	Unit	In	OC	DR	Scan

Quit BASIC   Write    Set

S1 89S1.04.05

รูปที่ 12 Feedback Instrument Specification Panel

- ต่อเชื่อมฟังก์ชันอุปกรณ์ที่ได้กำหนดลงในพาเนลรูปที่ 13

S1 89S1.04.05

11:50

No./Scan	Type	Tag No.	Tag Comment	HI
%LP0001				
%LP0001				
%LP0001				
%LP0001				
%LP0001				
%LP0001				
%LP0001				
%LP0001				
%LP0001				

Quit
BASIC
Write
Set

รูปที่ 13 Feedback Instrument Specification (Loop Connection) Panel

- กำหนดเทร็นต่างๆ ลงในพาเนลตามรูปที่ 14

S1 09.04.04 16:08  
PAGE :001/001

Trend Recording Definition (Rec. Spec.)

No.	Pge. Range	Type	Scan	T/Scan	Pens	Ref	Stop
1	001-016	Real	10S	250M	128		
2	017-032	HISTORY	1M	25H	128		
3	033-048	HISTORY	2M	50H	128		
4	049-064	HISTORY	5M	125H	128		
5	065-080	HISTORY	10M	250H	128		
6	081-096	BATCH	1M	12H	128	Y	Y
7	097-112	BATCH	2M	50H	128	N	N
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19	289-304	DISK					
20	306-320	FDC					

Quit
Pen Assn
SpecChg

รูปที่ 14 Trend Configuration Panel

- กำหนดเพิน (Pen) ที่ต้องการแสดงลงในพาดนรูปที่ 15

S1 89.04.04 16:12  
PAGE : 001/012

Trend Record Definition (Pen Assignment)

Type	History	Scan	Period	1M	Time Span 25H	No.of Pens	128
Panel	%TG0017			%TG0019		%TG0021	%TG0023
Commen							
Pens	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
Panel	%TG0018			%TG0020		%TG0022	%TG0024
Commen							
Pens	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						

Quit Rec Spec ← → Write Grp Assn Enter No Set

รูปที่ 15 Pen Assignment Panel

- กำหนด Overview ของระบบลงในพาดนตามรูปที่ 16

S1 89.04.04 16:15  
PAGE : 001/016

Overview Panel Definition  
P Name %OV0001  
Panel Comment : Distillation

Cmnt/Tag/Pnl Related Panel	Cmnt/Tag/Pnl Related Panel	Cmnt/Tag/Pnl Related Panel	Cmnt/Tag/Pnl Related Panel
1	8	15	22
2	9	16	23
3	10	17	24
4	11	18	25
5	12	19	26
6	13	20	27
7	14	21	28

Comment : \*

Quit Rec Spec ← → Write Search Enter No Set

รูปที่ 16 Overview Assignment Panel

- กำหนด Control group ลงในพาดตามรูปที่ 17

Control Group Panel Definition					S1 89.04.04 16:12 PAGE : 001/012
Panel	%CG0001	%CG0003	%CG0005	%CG0007	
Commen					
Tag No./ Trend Point	1 2 3 4 5 6 7 8				
Panel	%CG0001	%CG0003	%CG0005	%CG0007	
Commen					
Tag No./ Trend Point	1 2 3 4 5 6 7 8				

รูปที่ 17 Control Group Assignment Panel

## ภาคผนวก ข

### พารามิเตอร์ตัวควบคุม

งานวิจัยชิ้นนี้ได้เปรียบเทียบผลการตอบสนองของพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่ได้จากการคำนวณวิธีต่างๆ ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการคำนวณของแต่ละวิธีดังนี้

#### 1. การหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมโดยวิธีอินทิกรัลออฟเดอะสแควร์เออเรอร์

(Integral of the Square Error หรือ ISE)

วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยวิธี ISE เป็นการพิจารณาการตอบสนองโดยรวมของกระบวนการที่ควบคุม ตามสมการ (1)

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (1)$$

โดยที่  $e(t) = y_{sp}(t) - y(t)$  เป็นความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าเซ็ทพอยท์กับค่าตัวแปรควบคุม โดยเกณฑ์ในการเลือกพารามิเตอร์ของตัวควบคุม จะต้องให้ค่า ISE มีค่าน้อยที่สุด การคำนวณจะต้องทราบพารามิเตอร์ เช่น  $K_p$ ,  $\theta_p$  และ  $\tau_p$  ของแบบจำลองที่ต้องการ

$$G_p = \frac{K_p e^{-\theta s}}{\tau_p s + 1} \quad (2)$$

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงของเซ็ทพอยท์ หรือตัวแปรรบกวน ได้จากตารางที่ 1



ตารางที่ 1 แสดงสมการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมของวิธี ISE

Set-point Disturbance	Load Disturbance
$K_C = \frac{a}{K_P} \left( \frac{\theta}{\tau_P} \right)^b$	$K_C = \frac{a}{K_P} \left( \frac{\theta}{\tau_P} \right)^b$
$\tau_I = \frac{\tau_P}{c + d \left( \frac{\theta}{\tau_P} \right)}$	$\tau_I = \frac{\tau_P}{c \cdot \left( \frac{\theta}{\tau_P} \right)^d}$
$\tau_D = e \left( \frac{\theta}{\tau_P} \right)^f \cdot \tau_P$	$\tau_D = e \left( \frac{\theta}{\tau_P} \right)^f \cdot \tau_P$

ตารางที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์  $a, b, c, d, e$  และ  $f$  ในตารางที่ 1

Constant	Set-point tuning criteria	Load disturbance tuning criteria
$a$	1.26239	1.3466
$b$	-0.8388	-0.9308
$c$	6.0356	1.6585
$d$	-6.0191	-1.25738
$e$	0.47617	0.79715
$f$	0.24572	0.41941

ตัวอย่างการคำนวณ:

จากแบบจำลองของ C.Vinante และ W.L.Luyben

$$G_{yL}^{LV} = \frac{12.8e^{-1.0s}}{16.7s + 1} \quad (3)$$

ซึ่ง  $K_p = 12.8$ ,  $\tau_p = 16.7$  และ  $\theta_p = 1.0$  คำนวณได้ดังนี้ เมื่อตัวควบคุมแบบพีไอ

$$K_C = \frac{1.26239}{12.8} \left( \frac{1.0}{16.7} \right)^{-0.8388} = 1.046 \quad (4)$$

$$\tau_I = \frac{16.7}{\left( 6.0356 + (-6.0191) \left[ \frac{1.0}{16.7} \right] \right)} = 2.943 \quad (5)$$

## 2. การหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมโดยวิธี ZN (Ziegler Nichole Method)

วิธีนี้เริ่มโดยคำนวณหาค่าอัลติเมตเกน (Ultimated gain ;  $K_u$ ) และอัลติเมตเฟรียควนซี

(Ultimated frequency ;  $\omega_u$ ) ขององค์ทะแยง (Diagonal element) ของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน

กำหนดค่า  $\omega$  เริ่มต้นแล้วคำนวณมุมเฟส (phase angle) เปลี่ยนค่า  $\omega$  ไปเรื่อยๆ จนค่าของ

Nyquist plot ของ  $G_{ij(i\omega)}$  ตัดกับแกนลบของจำนวนจริง (Negative real axis) ซึ่งตำแหน่งนี้มีมุม

เฟสเท่ากับ  $-180^\circ$  และมีความถี่เป็นอัลติเมตเฟรียควนซี ( $\omega_u$ ) จากนั้นคำนวณหาอัลติเมตเกน ( $K_u$ )

ซึ่งสามารถคำนวณหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมได้จากสมการ

$$K_{ZNi} = \frac{K_{ui}}{2.2} \quad (6)$$

$$\tau_{ZNi} = \frac{2\pi}{1.2\omega_{ui}} \quad (7)$$

### 3. การหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมโดยวิธี BLT (Biggest Log Modulus Tunning)

เป็นวิธีการหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมในระบบที่มีตัวแปรควบคุมและตัวแปรปรับหลายตัว (Multi-Input Multi-Output system) พัฒนาโดย W.L.Luyben ซึ่ง BLT ย่อมาจาก Biggest Log-modulus Tuning ขั้นตอนการหาพารามิเตอร์ตัวควบคุม มีดังนี้

ก. คำนวณพารามิเตอร์ตัวควบคุมด้วยวิธี Ziegler-Nichol

ข. สมมติค่าดีจูนแฟกเตอร์ (Detune factor) หรือ  $F$  (ปกติมีค่าระหว่าง 1.5-4.0) แล้ว

คำนวณค่าเกนตัวควบคุม  $K_{Ci}$  จากสมการ

$$K_{Ci} = \frac{K_{ZNi}}{F} \quad (8)$$

ซึ่ง  $K_{ZNi} = \frac{K_{ui}}{2.2}$  เป็นค่าเกนที่ได้จากวิธี Ziegler-Nichol

และคำนวณพารามิเตอร์รีเซ็ตไทม์ หรือ  $\tau_{ii}$  ดังสมการ

$$\tau_{ii} = \tau_{ZNi} \cdot F \quad (9)$$

ซึ่ง  $\tau_{ZNi} = \frac{2\pi}{1.2\omega_{ui}}$  เป็นพารามิเตอร์รีเซ็ตไทม์จากวิธี Ziegler-Nichol

$F$  เป็นดีจูนแฟกเตอร์ เพื่อนำมาใช้กับตัวควบคุมทุกตัว ถ้ากำหนดให้ค่า  $F$  มีค่ามากๆ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้นแต่การตอบสนองจะเชื่องช้า (Sluggish) ดังนั้นค่า  $F$  ที่เหมาะสมจะก้ำกึ่งระหว่างเสถียรภาพ (Stability) และสมรรถนะ (Performance) ของระบบควบคุม

ค. การคำนวณหาค่า  $F$  ที่เหมาะสมนั้น จะอาศัย Multivariable Nyquist plot ของ

ฟังก์ชันสเกลาร์

$$W = -1 + \text{Det}[I + G(i\omega)B(i\omega)] \quad (10)$$

ถ้าหากคอนทัวร์การพลอตกราฟเข้าใกล้จุด  $(-1,0)$  จะถือว่าระบบจะไม่มีเสถียรภาพ ดังนั้น ค่า  $W/(1+W)$  จะต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าของ  $G_M B/(1+G_M B)$  ของทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันแบบลูปปิด ดังนั้น จึงได้นิยาม Multivariable closed loop log modulus ( $L_{CM}$ ) ดังสมการ

$$L_{CM} = 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{W}{1+W} \right| \quad (11)$$

โดยที่จุดหรือค่าสูงสุดของ  $L_{CM}$  ของกราฟในช่วงความถี่ที่พิจารณา จะเป็นค่า log modulus ที่มากที่สุด ( $L_{CM}^{Max}$ )

ง. คำนวณค่า  $F$  ที่เหมาะสม โดยปรับค่า  $F$  จนกระทั่ง  $L_{CM}^{Max}$  มีค่าเท่ากับ  $2N$  เมื่อ  $N$  คืออันดับของระบบ เช่น ระบบ 2 ตัวแปรควบคุมและ 2 ตัวแปรปรับจะได้  $N=2$  เป็นต้น

วิธี BLT นี้ การเวจ (Weights) จะเหมือนกันทุกลูปควบคุม ทุกลูปจะถูกจูนเหมือนกัน แต่สามารถทำการเวจแตกต่างกันได้ ขึ้นกับวัตถุประสงค์การควบคุม ข้อจำกัดของวิธี BLT คือ ถ้าหากว่าทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันมีค่าไทม์คอนสแตนท์ (Time constant) แตกต่างกันมาก พบว่าให้ผลการควบคุมไม่ดีนัก จะเกิดการแกว่ง (Oscillate) มากขึ้น ซึ่งสามารถแก้ปัญหานี้โดยการแบ่งระบบเป็นส่วนที่มีไดนามิกเร็วกับส่วนที่มีไดนามิกช้า

โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณของวิธี BLT อยู่ในหนังสือ Process Modelling Simulation and Control for Chemical Engineers ของ W.L.Luyben (1990)

พารามิเตอร์ตัวควบคุมจากการคำนวณและใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 5.2

## ประวัติผู้เขียน

นายอุระพงษ์ พงศ์ราศรี เกิดเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ.2512 ที่เลขที่ 88 หมู่ 2 บ้านโพน  
ทอง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จาก โรงเรียน  
ชัยภูมิภักดีชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จาก  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

