

การขนานแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วงจรโอริง DC Power Supplies Paralleling using ORing Circuit

โชคชัยรัตน์ ฤทธิเย็น¹ ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์¹ สมนึก เครือสอน¹ และ ทักษะ ถมทอง^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก chokcharat@rmutl.ac.th p.narongrit@rmutl.ac.th
somnuk@rmutl.ac.th tatsana@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการขนานสองแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยวงจรโอริง โดยมีไดโอดทำหน้าที่เป็นสวิตช์ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าและทำหน้าที่ป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ วงจรดังกล่าวมีโหมดการทำงานสองโหมด คือ โหมดเลือกให้จ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยแหล่งจ่ายเดียว และโหมดจ่ายกระแสไฟฟ้าพร้อมกัน จากผลการทดสอบในโหมดการขนานแหล่งจ่ายพบว่า ไดโอดสามารถควบคุมการขนานแหล่งจ่ายได้ในกรณีที่ผลต่างของระดับแรงดันไฟฟ้าของทั้งสองแหล่งจ่ายไม่เกินแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแส โดยมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไดโอดทั้งสองเฉลี่ย 15 เปอร์เซ็นต์ของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยทั้งสองแหล่งจ่าย

คำสำคัญ: วงจรโอริง ไดโอด กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

Abstract

This article presents a method of paralleling two DC power supplies using an ORing circuit. The circuit employs diodes that act as current control switches while also providing reverse current protection function. It operates in two modes, selectable mode and parallel mode, which regulate current flow from the two power supplies. Test results show that the diodes enable parallel current sharing when the voltage difference between the two supplies does not exceed the diode's forward voltage drop. However, diode operation results in power dissipation of approximately 15% of the total supply power.

Keywords: ORing circuit, Diode, Power dissipation

1. ข้อมูลทั่วไป

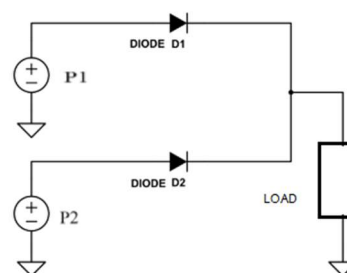
การขนานหรือการอนุกรมแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นการเพิ่มความสามารถและเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลด[1-4] การขนานแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นที่นิยมและมีความสำคัญในหลายระบบ เช่น ศูนย์คอมพิวเตอร์ คลังข้อมูล หรือระบบทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อเนื่อง เป็นต้น การเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลายแหล่งเข้าด้วยกันทำให้โหลดสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง แม้ในขณะที่แหล่งจ่ายบางตัวเกิดความเสียหายหรือทำงานผิดปกติ แม้ว่าการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายแบบขนานจะได้รับความนิยมแต่มีความซับซ้อนในการควบคุม[5-7] วงจรโอริงเป็นเทคนิคหนึ่งที่ยอมรับใช้ขนานแหล่งจ่ายไฟฟ้า

กระแสตรง[8-10] โดยใช้ไดโอดหรือมอสเฟตบังคับกระแสไฟฟ้าให้ไหลในทิศทางที่ต้องการและทำหน้าที่ป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้าอื่น ๆ ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าไปพร้อมกัน บทความนี้คณะผู้จัดทำอธิบายหลักการทำงานและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของวงจรโอริง และการควบคุมกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ขนานกันสองตัวเพื่อจ่ายให้กับโหลดพิกัดกระแสไฟฟ้า 2 , 4 และ 6 แอมแปร์

2. แนวคิดและหลักทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรโอริง

วงจรโอริงในรูปที่ 1 เป็นวงจรโอริงแบบสองแหล่งจ่าย มีส่วนประกอบหลักคือไดโอด 2 ตัว ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียวและป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่จะมีการสูญเสียเนื่องจากแรงดันตกคร่อมตัวมันขณะนำกระแสประมาณ 0.7 โวลต์สำหรับซิลิกอนไดโอดและ 0.3 โวลต์สำหรับขอตักไดโอด



รูปที่ 1 วงจรโอริงแบบสองแหล่งจ่าย

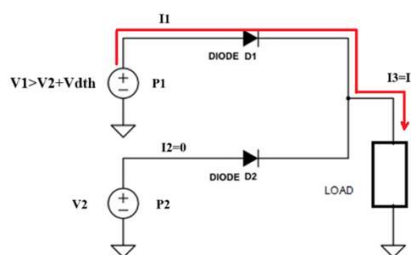
หากใช้มอสเฟตแทนไดโอด ข้อดีคือมอสเฟตมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะนำกระแสที่น้อยกว่าไดโอด แต่มีข้อเสียคือต้องมีวงจรควบคุมแรงดัน V_{gs} เพื่อควบคุมการนำกระแสของมอสเฟตและมอสเฟตไม่สามารถทนแรงดันรีเวิร์สไบแอสได้

2.2 การทำงานของวงจรโอริง

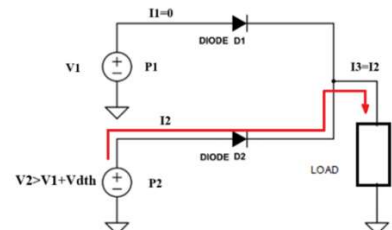
วงจรโอริงมีการทำงานได้สองโหมด คือ โหมดเลือกจ่ายกระแสไฟฟ้าและโหมดขนานการจ่ายกระแสไฟฟ้า

2.2.1 โหมดเลือกจ่ายกระแสไฟฟ้า

โหมดเลือกจ่ายกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2 จะมีไดโอดนำกระแสเพียงหนึ่งตัวโดยไดโอดตัวที่นำกระแสจะขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าอีกแหล่งจ่ายหนึ่ง โดยผลต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าของทั้งสองแหล่งจ่ายจะต้องมากกว่าแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแส V_{ath}



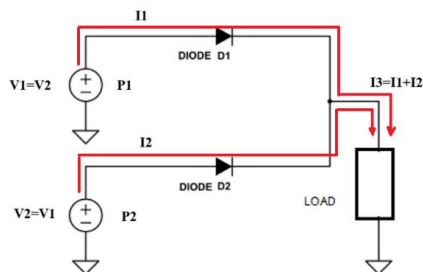
(ก) โหมดเลือกจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยแหล่งจ่าย P1



(ข) โหมดเลือกจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยแหล่งจ่าย P2
รูปที่ 2 การทำงานของวงจรโริงในโหมดเลือกจ่ายกระแสไฟฟ้า

2.2.2 โหมดขนานการจ่ายกระแสไฟฟ้า

โหมดขนานการจ่ายกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 3 คือ โหมดที่แหล่งจ่ายทั้งสองมีแรงดันไฟฟ้าเท่า ๆ กันและผลต่างของแรงดันไฟฟ้าไม่เกินค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแส V_{dt}

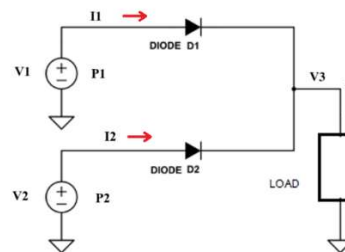


รูปที่ 3 วงจรโริงทำงานในโหมดขนานการจ่ายกระแสไฟฟ้า

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การทดสอบหาโหมดการทำงานของวงจรโริง

วงจรในรูปที่ 4 (ก) เป็นวงจรโริงที่ออกแบบและซื้อพารามิเตอร์ที่ใช้เก็บผลทดสอบ รูปที่ 4 (ข) เป็นวงจรต้นแบบที่ใช้ทดสอบจริง ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าสองแหล่งจ่าย ไดโอดเบอร์ MBRF30100CT และโหลดสร้างจากตัวต้านทาน 20 โอห์ม 100 วัตต์ 8 ตัวต่อขนานกัน เป็นการทดสอบหาผลต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้วงจรเปลี่ยนโหมดทำงานที่พิกัดกระแสโหลด 2, 4 และ 6 แอมป์



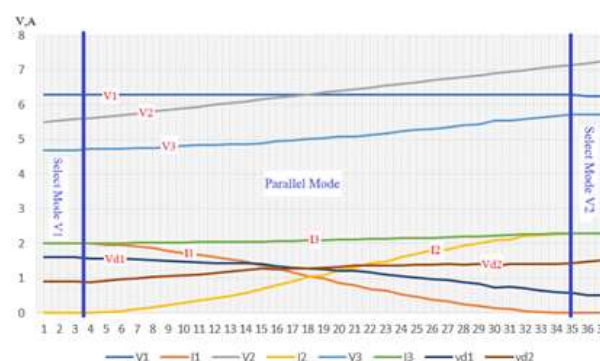
(ก) วงจรโริงที่ออกแบบ



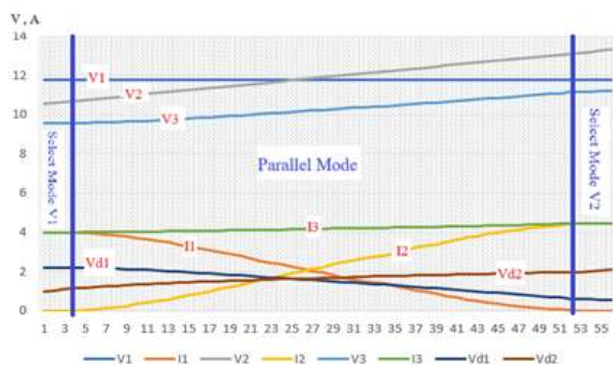
(ข) วงจรโริงต้นแบบ
รูปที่ 4 วงจรโริงที่นำเสนอ

3.2 ผลการทดสอบเพื่อหาโหมดการทำงานของวงจรโริง

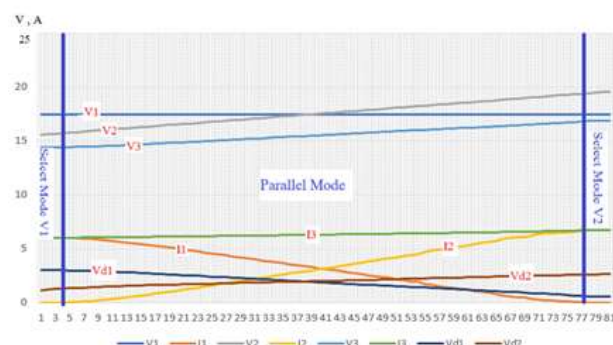
การทดสอบเริ่มโดยปรับค่าแรงดันไฟฟ้า V_2 เท่ากับ 0 โวลต์ จากนั้นปรับค่าแรงดันไฟฟ้า V_1 จนกระทั่งกระแสโหลดเท่ากับพิกัดทดสอบ 2, 4 และ 6 แอมป์ โดยจะคงค่าแรงดัน V_1 ไว้ ณ จุดที่กระแสถึงค่าพิกัดทดสอบ จากนั้นทำการปรับค่าแรงดัน V_2 ครั้งละ 50 มิลลิโวลต์ จนกระทั่งกระแส I_1 เป็นศูนย์ ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5-7



รูปที่ 5 กราฟค่ากระแส-แรงดันไฟฟ้าในวงจรโริงที่พิกัดกระแสโหลด 2 A



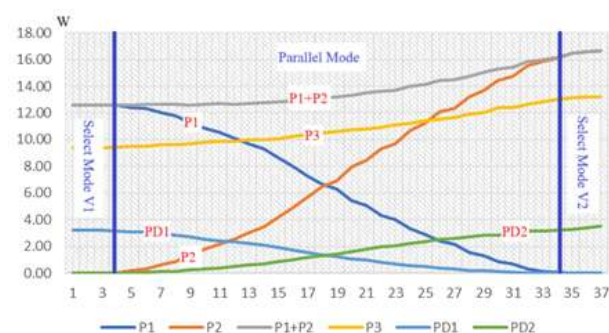
รูปที่ 6 กราฟค่ากระแส-แรงดันไฟฟ้าในวงจรอินเวอร์ตที่พิกัดกระแสโหลด 4 A



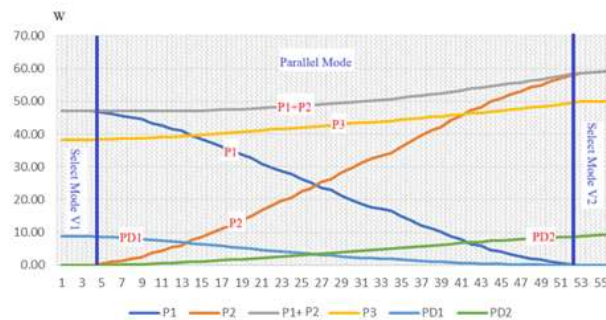
รูปที่ 7 กราฟค่ากระแส-แรงดันไฟฟ้าในวงจรอินเวอร์ตที่พิกัดกระแสโหลด 6 A

จากรูปที่ 5-7 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในโหมดขนานการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยแหล่งจ่าย P1 และ P2 สามารถช่วยกันจ่ายกระแสไฟฟ้า I1 และ I2 รวมกันได้เท่ากับค่ากระแสไฟฟ้า I3 ซึ่งเป็นพิกัดกระแสโหลด 2,4, และ 6 แอมแปร์ได้

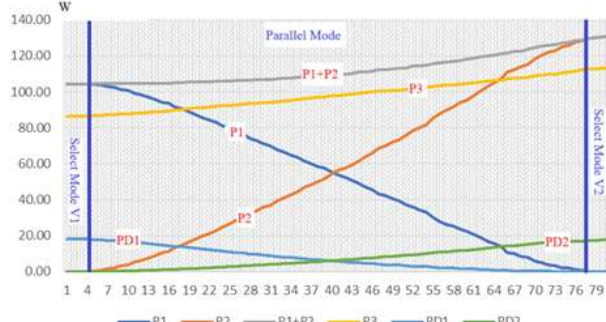
3.3 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในวงจรอินเวอร์ต



รูปที่ 8 กราฟค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรอินเวอร์ตที่พิกัดกระแสโหลด 2 A



รูปที่ 9 กราฟค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรอินเวอร์ตที่พิกัดกระแสโหลด 4 A



รูปที่ 10 กราฟค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรอินเวอร์ตที่พิกัดกระแสโหลด 6 A

จากกราฟผลทดสอบในรูปที่ 8-10 พบว่าแหล่งจ่ายทั้งสองแหล่งสามารถช่วยกันจ่ายกำลังไฟฟ้าตามพิกัดโหลดได้ กำลังไฟฟ้าสูญเสียของไดโอดแต่ละตัวแปรผันตามกำลังไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับโหลด โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไดโอดทั้งสองตัวรวมกันคิดเป็นค่าเฉลี่ย 15 เปอร์เซ็นต์ของกำลังไฟฟ้าที่ทั้งสองแหล่งจ่ายรวมกันจ่ายให้กับโหลด

4. สรุป

จากผลการทดสอบวงจรขนานสองแหล่งจ่ายพบว่าเมื่อผลต่างของระดับแรงดันของทั้งสองแหล่งจ่ายไม่เกินแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแส จะสามารถขนานแหล่งจ่ายให้ช่วยกันจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ ผลรวมค่ากระแสไฟฟ้าของทั้งสองแหล่งจ่ายจะเท่ากับพิกัดกระแสโหลดที่กำหนด วงจรดังกล่าวมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไดโอดทั้งสองตัวรวมกันมีค่าเฉลี่ยที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยทั้งสองแหล่งจ่ายรวมกัน พฤติกรรมดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาการขนานแหล่งจ่ายที่มากกว่าสองแหล่งจ่ายและสามารถจัดลำดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าตามระดับแรงดันไฟฟ้าที่คงค่าได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Asadi, M. S. Karimzadeh, X. Liang, M. S. Mahdavi, and G. B. Gharehpetian, "A Novel Control Approach for a SI-MISO DC-DC Boost Converter for PV Applications," *J. IEEE Access* Vol.11, pp. 114753-114764, 2023.
- [2] P. Saritha, V. Devi, A. Babu, and R. P. Praveen, "Design and Analysis of multiple input single output converter for

hybrid renewable energy system with energy storage capability,” *J. Ain Shams Eng.*, Vol.14, pp.1-17, 2023.

- [3] M. R. Banaei, H. Ardi, R. Alizadeh, and A. Farakhor, “Non-isolated multi-input single-output DC/DC converter for photovoltaic power generation systems,” *IET Power Electron.*, Vol.7, Iss. 11, pp. 2806-2816, 2014.
- [4] F. Nejabatkhah, S. Danyali, S. H. Hosseini, M. Sabahi, and S. M. Niapour, “Modeling and control of a new three Input DC-DC boost converter for hybrid PV FC Battery power system,” *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 27, No. 5, pp. 2309-2324, 2012.
- [5] A. A. Shalhaf, N. Shahidi, and M. Hemati, “A high-gain interleaved DC-DC converter with reduced components for EV charging application,” *J. Comp. Elec. Eng.*, Vol. 118, pp. 1-26, 2024.
- [6] D. Taheri, G. Shahgholian, M. M. Mirtalaei, A. Mosavi, A. Fathollahi, and A. Varkonyi-Koczy, “Design and Implementation of charging circuit for energy storage system in multi-input non-isolated converter with high gain,” *27th IEEE Int. Conf. Intel. Eng. Sys.*, July 26-31, 2023.
- [7] A. Vasudev, Dheeraj M, N. S. Varghese, and S. Kumar, “Analysis of a Three-port converter for Integrating renewable sources in to Electric Vehicle,” *9th Int. Conf. Smart Comp. and Commu.*, pp. 760-765, 2023.
- [8] B. Karthikeyan, K. Sundararaju, R. Palanisamy, R. Manivasagam, I. Hossain, M. Bajaj, M. Shouran, B. A. Samad, and S. Kamel, “A dual input single output non-isolated DC-DC converter for multiple sources electric vehicle applications,” *J. Front. Ener. Res.*, pp. 1-16, 2022.
- [9] A. Rajulapati, and M. Prabhakar, “Comparison of Non-isolated High Gain Multi-input DC-DC Converters,” *Int. J. Renew. Energy Res.*, Vol.11, No.3, 2021.
- [10] Y. M. Chen, Y. C. Lui, and S. H. Lin, “Double-Input PWM DC-DC Converter for High-/Low Voltage Sources,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 53, No.5, pp. 1538-1545, 2006.



โชคชรัตน์ ฤทธิ์เย็น สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยนเรศวร พ.ศ. 2552 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยนเรศวร พ.ศ. 2556 ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ทำงานวิจัยด้านพลังงานและระบบควบคุม



ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์ควงศ์ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย พ.ศ. 2543 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2546 Ph.D.(Electrical Engineering) พ.ศ. 2560 จาก Southern Taiwan University of Science and Technology, Taiwan ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ทำงานวิจัยด้านการขับเคลื่อนมอเตอร์และการติดตามจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด



สมนึก เครือสอน สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมไฟฟ้า) จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2538 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2547 ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ทำงานวิจัยด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังและระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



ทัศนะ อมทอง สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมไฟฟ้า) จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2537 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ทำงานวิจัยด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังและระบบควบคุม