17 ต.ค. 61.

เลขที่นั่งสอบ
____

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
การสอบกลางภาคเรียนที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2561

วิชา EEE 373 Electric Motor Drives
สำหรับนักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ ชั้นปีที่ 4
สอบวันพุธที่ 3 ตุลาคม 2561 เวลา 13:00-16:00 น.

คำสั่ง
1. ข้อสอบมีทั้งหมด 5 ข้อ 10 หน้า (รวมปก) เขียนชื่อ รหัสประจำตัว และ เลขที่นั่งสอบในปกข้อสอบ
2. ให้ทำข้อสอบทุกข้อโดยตอบคำถามลงในข้อสอบถ้าไม่พอให้เขียนในกระดาษด้านหลังได้ โดยคะแนนจะอยู่ท้ายของโจทย์ในข้อย่อยแต่ละข้อ
3. ไม่อนุญาตให้นำเอกสารใด ๆ เข้าห้องสอบ
4. อนุญาตให้ใช้เครื่องคำนวณตามระเบียบของมหาวิทยาลัยเท่านั้น
5. เมื่อนักศึกษาทำข้อสอบเสร็จ ต้องยกมือบอกกรรมการคุมสอบเพื่อขออนุญาตออกจากห้องสอบ
6. ห้ามนักศึกษานำข้อสอบ กระดาษคำตอบ หรือสมุดคำตอบออกนอกห้องสอบไม่ว่ากรณีใด ๆ หากฝ่าฝืนจะได้รับการพิจารณาโทษให้ได้คะแนน “0” ในการสอบรายวิชานั้นในครั้งนั้น
7. นักศึกษาที่กระทำการทุจริตในการสอบ จะได้รับการพิจารณาโทษให้ปรับตกในรายวิชาที่กระทำการทุจริต (F) และเพิกถอนรายวิชาอื่น (W) ที่ลงทะเบียนในภาคการศึกษา หรืออาจได้รับโทษสูงสุดให้พ้นสภาพการเป็นนักศึกษา

อาจารย์..
(รศ.ดร. มงคล กงศ์หิรัญ)
ผู้ออกข้อสอบ

ชื่อ-สกุล .... รหัสประจำตัว ....

ข้อสอบ (คะแนนเต็ม)	ข้อที่ 1 (25)	ข้อที่ 2 (15)	ข้อที่ 3 (25)	ข้อที่ 4 (25)	ข้อที่ 5 (10)	คะแนนรวม (100)
คะแนนที่ได้						

....
(ธีระศักดิ์ เกษมสุข)
ผู้ประเมินข้อสอบ

ชื่อ-สกุล _____ รหัส _____

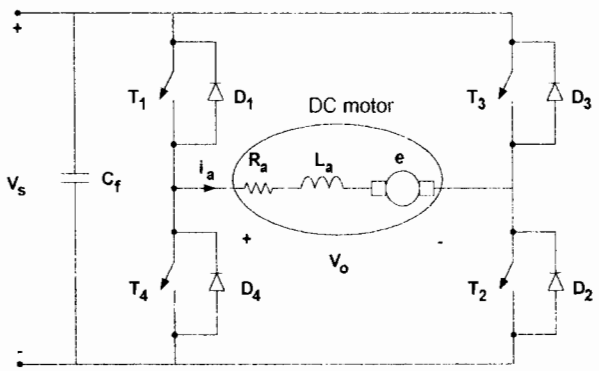
1. จงตอบคำถามต่อไปนี้

1.1 Power converters มีประเภทอะไรบ้าง ให้อธิบายแต่ละประเภทมาพอเข้าใจ (2 คะแนน)

1.2 ทำไมต้องต่อ anti-parallel diode ขนานกับ switching device ในวงจร power converter ต่างๆ (2 คะแนน)

1.3 การสูญเสียที่ controllable switch (Loss) มีกี่ประเภท จงอธิบายแต่ละประเภท มาพอสังเขป (2 คะแนน)

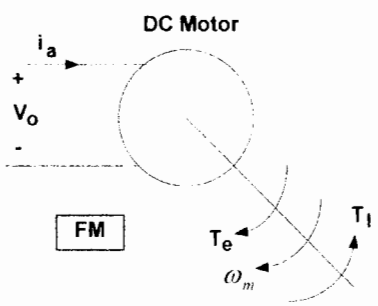
1.4 จากวงจร full-bridge dc/dc converter ข้างล่าง ถ้าต้องการให้ DC motor ทำงานใน quadrant ที่ 3 และ i_a กำลังเพิ่มขึ้น switches และ diodes ตัวไหนต้องทำงาน และ ถ้าต้องการทำงานใน quadrant ที่ 4 switches และ diodes ตัวไหนต้องทำงาน (2 คะแนน)

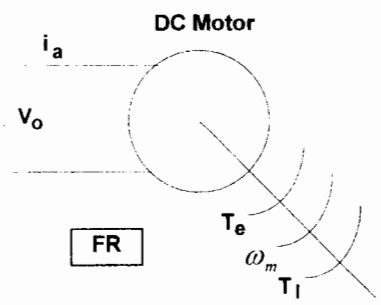


Quadrant ที่ 3
switches หรือ diodes .....

Quadrant ที่ 4
switches หรือ diodes .....

1.5 Separately-excited dc motor ตัวหนึ่งกำลังทำงานในโหมด Forward Motoring (FM) ดังรูปข้างล่างซ้ายมือ ถ้ามอเตอร์ตัวนี้ทำงานในโหมด Forward Regenerating (FR) จงวาดทิศทางของกระแสไฟฟ้า i_a, ขั้วแรงดันไฟฟ้า v_o, ทิศทางของ T_e, ω_m และ T_l (3 คะแนน)





ชื่อ-สกุล _____ รหัส _____

1.6 จงหา transfer function $G_{\omega T_l}(s) = \frac{\omega_m(s)}{T_l(s)}$ ระหว่าง speed และload torque ของ Separately-excited dc motor เมื่อไม่มีผลของ armature voltage (V(s) = 0) (4 คะแนน)

1.7 ถ้าลดค่า integral time (T_i) ลงแล้ว ค่าของ rise time, settling time, overshoot และ stability จะเป็นอย่างไร (เพิ่มขึ้น, คงที่, ลดลง, ดีขึ้น, หรือ แย่ลง) (2 คะแนน)

rise time ..... settling time .....

overshoot ..... stability .....

1.8 จงอธิบายการลด steady-state error ในการควบคุมแบบ PI มาพอเข้าใจ (2 คะแนน)

1.9 จงบอกข้อดีและข้อเสียของ Derivative control (2 คะแนน)

1.10 การออกแบบ step number (S) ของ stepping motor ตัวหนึ่ง ขึ้นอยู่กับอะไรบ้าง (2 คะแนน)

1.11 จงวาดวงจรขับ Stepping motor 4 เฟส สมมุติว่าวงจรเป็นแบบ Unipolar voltage โดยใช้ Zener diode suppressor (2 คะแนน)

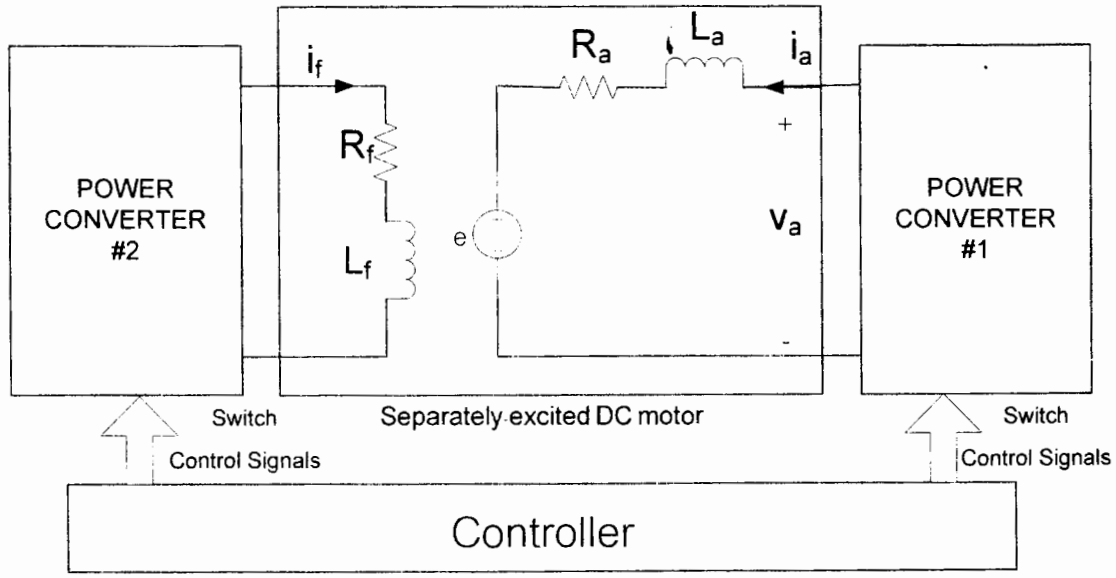
ชื่อ-สกุล _____ รหัส _____

2. (15 คะแนน) Separately-excited DC motor ตัวหนึ่ง กำลังจ่ายโหลดที่ 1,000 kW โดยมอเตอร์กำลังหมุนด้วยความเร็ว 900 rpm (ในช่วง Field weakening region) จงหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ ในการทำงานขณะนี้ รายละเอียดของมอเตอร์มีดังนี้

- ค่าพิกัด: 1500 kW, 600 V, 2650 A, 600 rpm (ความเร็วสูงสุด = 1,500 rpm)
- แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่แปรงถ่าน 2 V
- Armature winding: $R_a = 0.003645\,\Omega$, $L_a = 0.1\,mH$, K_e = 1.0 V/rpm
- Field winding: $R_f = 10\,\Omega, L_a = 100\,mH$, กระแสพิกัดขดลวดสนาม (Field winding) = 65 A
- Machine frictional torque coefficient = 15 $\frac{N \cdot m}{rad/\sec}$
- แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม field winding สามารถปรับค่าได้
- แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม armature winding สามารถปรับค่าได้

ชื่อ-สกุล _____ รหัส _____

3. (25 คะแนน) จากข้อ 2 ถ้ามอเตอร์ตัวนี้ถูกขับด้วยวงจร Power Converter #1 และ field winding ของมอเตอร์ถูกขับด้วย วงจร Power Converter #2 เพื่อปรับกระแสไฟฟ้า i_f สวิชต์ทุกตัวในวงจร Power Converter ทั้งสองถูกควบคุมโดยตัว Controller ดังรูปข้างล่าง



3.1 ถ้าสมมุติว่าวงจร Power Converter #2 ที่จ่ายให้กับ field winding เป็น Single-phase controlled rectifier ที่ไม่มี free-wheeling diode โดยวงจรขับมี AC voltage input, V_{in} = 2121.sin(ωt) Volt, เมื่อ ω = 2π50 rad/sec จงวาดรูปวงจร Single-phase controlled rectifier ที่ไม่มี free-wheeling diode นี้

3.2 จากข้อ 3.1 จงคำนวณหามุมทริก SCR (α) กี่องศา เมื่อต้องการขับกระแส i_f = 65 A ที่พิกัดของมอเตอร์

3.3 ถ้าสมมุติว่าวงจร Power Converter #1 ที่จ่ายให้กับ armature winding เป็น 4-quadrant chopper ซึ่งมีพารามิเตอร์ดังนี้

- วงจรขับ Chopper มี DC voltage input, V_{in} = 600 Volt
- สัญญาณควบคุมสวิชต์ เป็นแบบ Bipolar PWM scheme ที่มีความถี่ 20 kHz
- Dead-time = 1 μsec

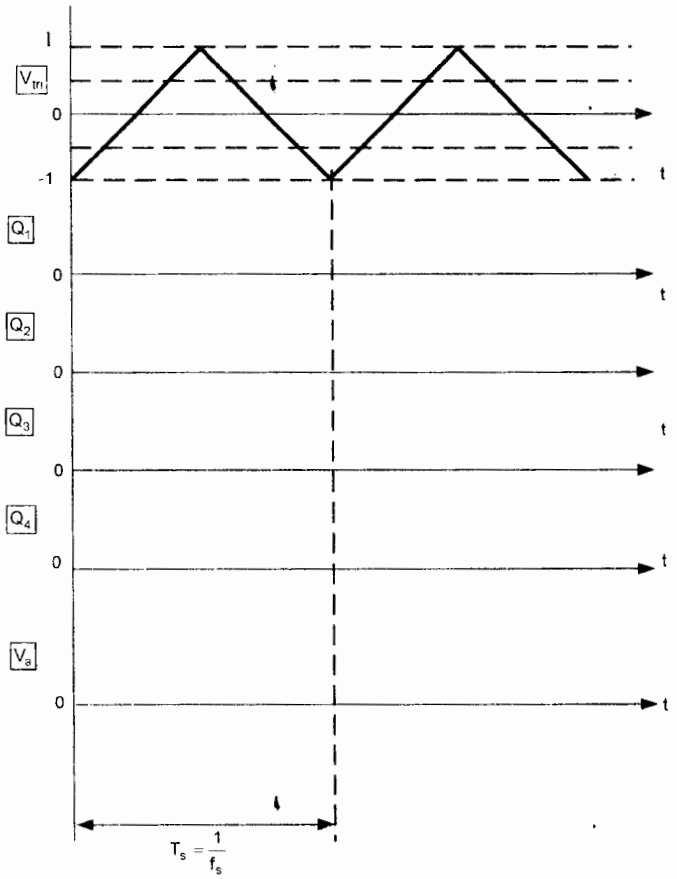
จงวาดรูปวงจร 4-quadrant chopper นี้

3.4 จากข้อ 3.3 จงคำนวณหา duty cycle (%) ของสวิชต์ ในวงจร Chopper แต่ละตัว (Q_1 – Q_4) ถ้าต้องการขับมอเตอร์ให้มีความเร็ว 400 rpm สมมุติว่าในขณะที่ไม่มีโหลด (No-load)

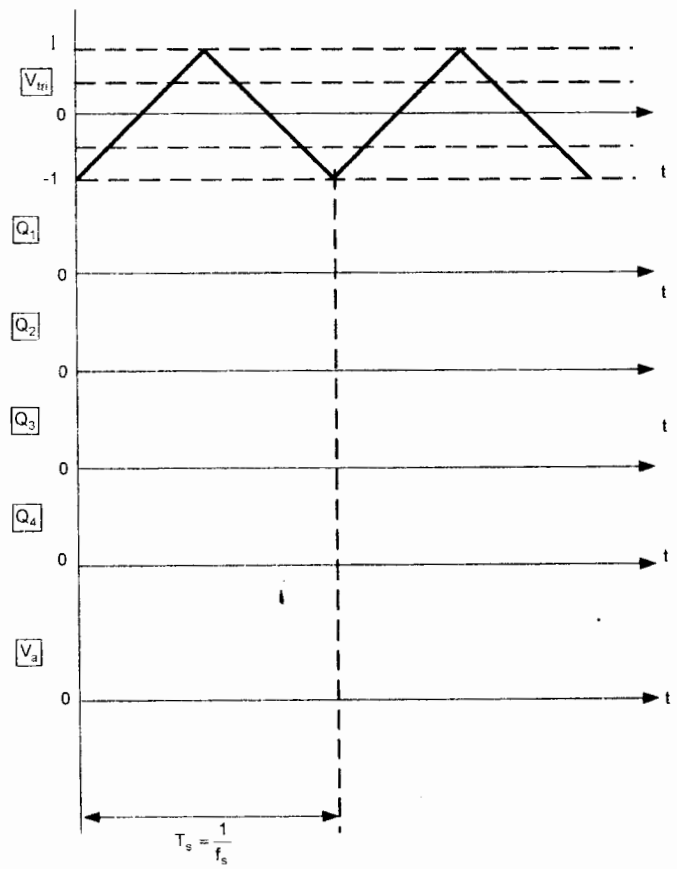
3.5 จากข้อ 3.3 จงคำนวณหา duty cycle (%) ของสวิชต์ ในวงจร Chopper แต่ละตัว (Q_1 – Q_4) ถ้าต้องการขับมอเตอร์ให้มีความเร็ว 400 rpm ในขณะที่มีโหลด 1000 kW

3.6 จากข้อ 3.5 ให้วาดสัญญาณควบคุม สวิชต์ (Q_1 – Q_4) ทั้ง Bipolar และ Unipolar PWM (แบบที่ 1) และแรงดันไฟฟ้า output, V_a ในขณะที่มีโหลด 1000 kW

Bipolar PWM



Unipolar PWM
(แบบที่ 1)



ชื่อ-สกุล _____ รหัส _____

4. (25 คะแนน) จงออกแบบระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ Closed-loop ที่มี PWM current control loop ของ Separately-excited DC motor จากข้อ 2 สมมุติว่าความเร็วมอเตอร์ถูกวัดโดย Tachogenerator และใช้วงจรขับ 4-quadrant chopper มี DC voltage input, V_{in} = 600 Volt และสัญญาณควบคุมสวิชต์ เป็นแบบ Bipolar PWM scheme มีความถี่ 20 kHz (Switching frequency)

4.1 จงวาด overall block diagram ของระบบ (ให้ระบุหน่วยของตัวแปรต่างๆ ด้วย)

4.2 จงกำหนดค่า PID gains ที่เหมาะสม ของ Current controller และ Speed controller ให้อธิบายมาพอสังเขป

4.3 ถ้าต้องการควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ 300 rpm ในขณะที่มีโหลด 1200 kW ให้คำนวณหาค่าแรงบิดและกระแสไฟฟ้าของ DC motor และ $V_{control}$ (output ของ speed controller) ในขณะนี้

ชื่อ-สกุล _____ รหัส _____

4.4 ถ้าสมมุติว่า วงจรขับ 4-quadrant chopper มี DC voltage input ลดลงจาก V_{in} = 600 Volt เหลือเพียง V_{in} = 500 Volt จงคำนวณความเร็วมอเตอร์สูงสุดที่สามารถถูกควบคุมได้ และกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด

4.5 จาก ข้อ 4.4 จงคำนวณความเร็วมอเตอร์สูงสุดที่สามารถถูกควบคุมได้ และกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์ขับโหลด 1200 kW และวงจรขับ 4-quadrant chopper มี DC voltage input, V_{in} = 500 Volt

4.6 จาก ข้อ 4.4 จงคำนวณหา $V_{control}$ (-1 ถึง 1) ในขณะที่มอเตอร์ต้องขับโหลดที่พิกัด 1500 kW และความเร็วมอเตอร์ถูกควบคุมที่ 300 rpm และวงจรขับ 4-quadrant chopper มี DC voltage input, V_{in} = 500 Volt

ชื่อ-สกุล _____ รหัส _____

5. (10 คะแนน) จงออกแบบระบบควบคุมความเร็วแบบ open-loop ของ Stepping motor 3-phase ตัวหนึ่งที่มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

24 Volt, 5 Amp, Step angle = 1.8°

5.1 จงออกแบบวงจรขับที่เป็นแบบ Unipolar voltage โดยใช้ Diode/Resistor suppressor สมมุติว่า Supply voltage (E) = 24 Volt

5.2 จงแสดงตาราง Excitation sequence ที่เป็นแบบ 2-phase on mode

5.3 จงคำนวณความเร็วมอเตอร์ (rpm) เมื่อมี Stepping rate = 10 Hz และ 50 Hz

5.4 เมื่อเพิ่ม Stepping rate สูงกว่า 100 Hz ถ้ามอเตอร์ไม่สามารถหมุนต่อไปได้ เพราะเหตุใด จงวาดกราฟกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด เทียบกับ แรงดันไฟฟ้าคร่อมขดลวด ในขณะนี้

5.5 จากข้อ 5.4 จะแก้ปัญหานี้ได้อย่างไร เพื่อให้มอเตอร์สามารถหมุนต่อไปได้ เมื่อ Stepping rate สูงกว่า 100 Hz จงวาดกราฟกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด เทียบกับ แรงดันไฟฟ้าคร่อมขดลวด ในขณะนี้ด้วย