

เจาะลึกกลไกและการ ควบคุมเครื่องกล ไฟฟ้ากระแสตรง

จากกฎฟิสิกส์พื้นฐาน สู่การหา
พารามิเตอร์ขั้นสูงด้วยอัลกอริทึม
Tabu Search



ทิศทางสนามแม่เหล็ก
(Magnetic Field / B)

ทิศทางการเคลื่อนที่
(Motion / M)

กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
(Induced Current / I)

กฎมือขวาของเฟลมมิง: รากฐานสำคัญที่อธิบายว่า
เมื่อตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก
จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในทิศทางที่ตั้งฉากกันเสมอ

Stator (สเตเตอร์)

โครงสร้างภายนอกและขั้วแม่เหล็ก
สร้างสนามแม่เหล็กหลัก

Commutator (คอมมิวเตเตอร์)

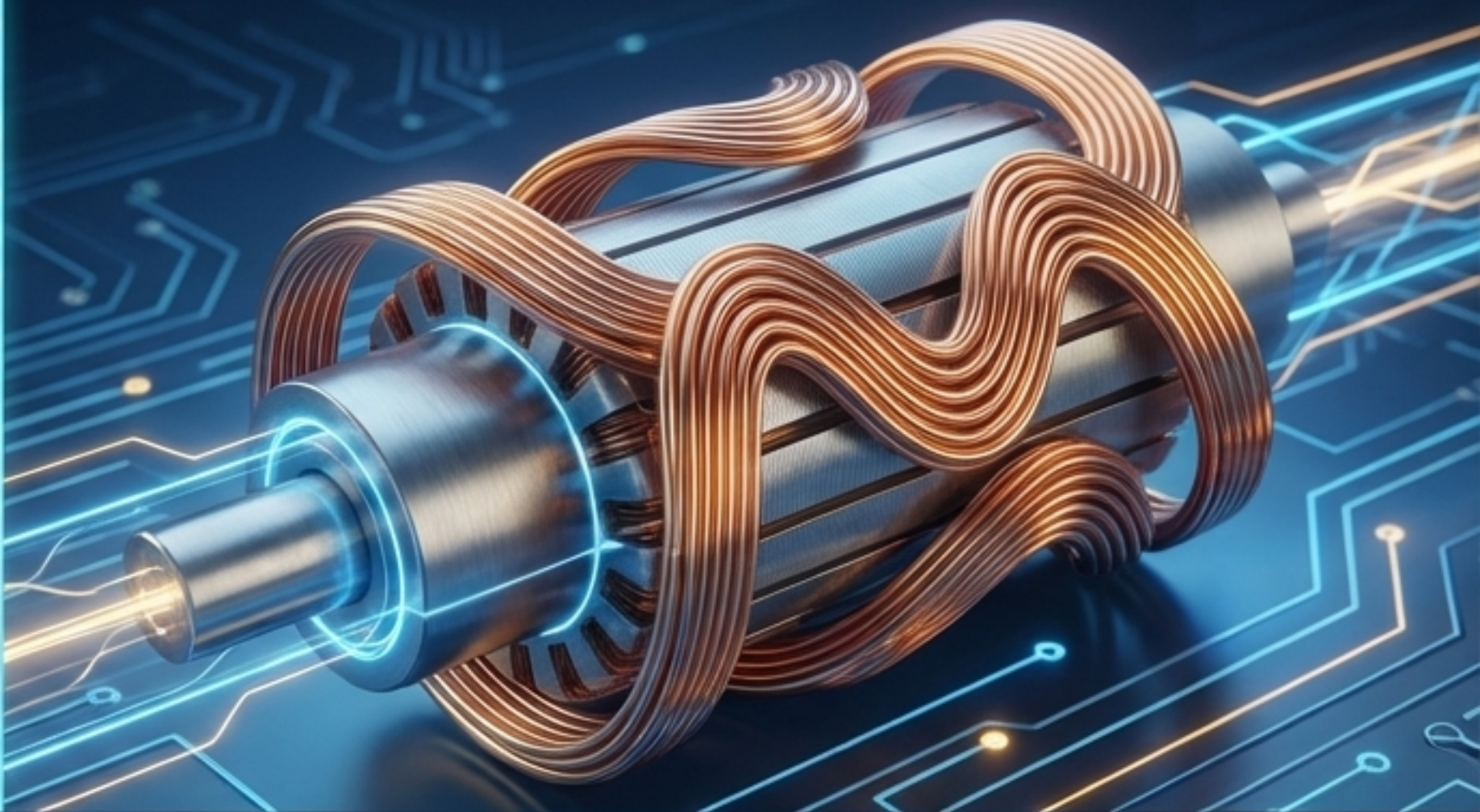
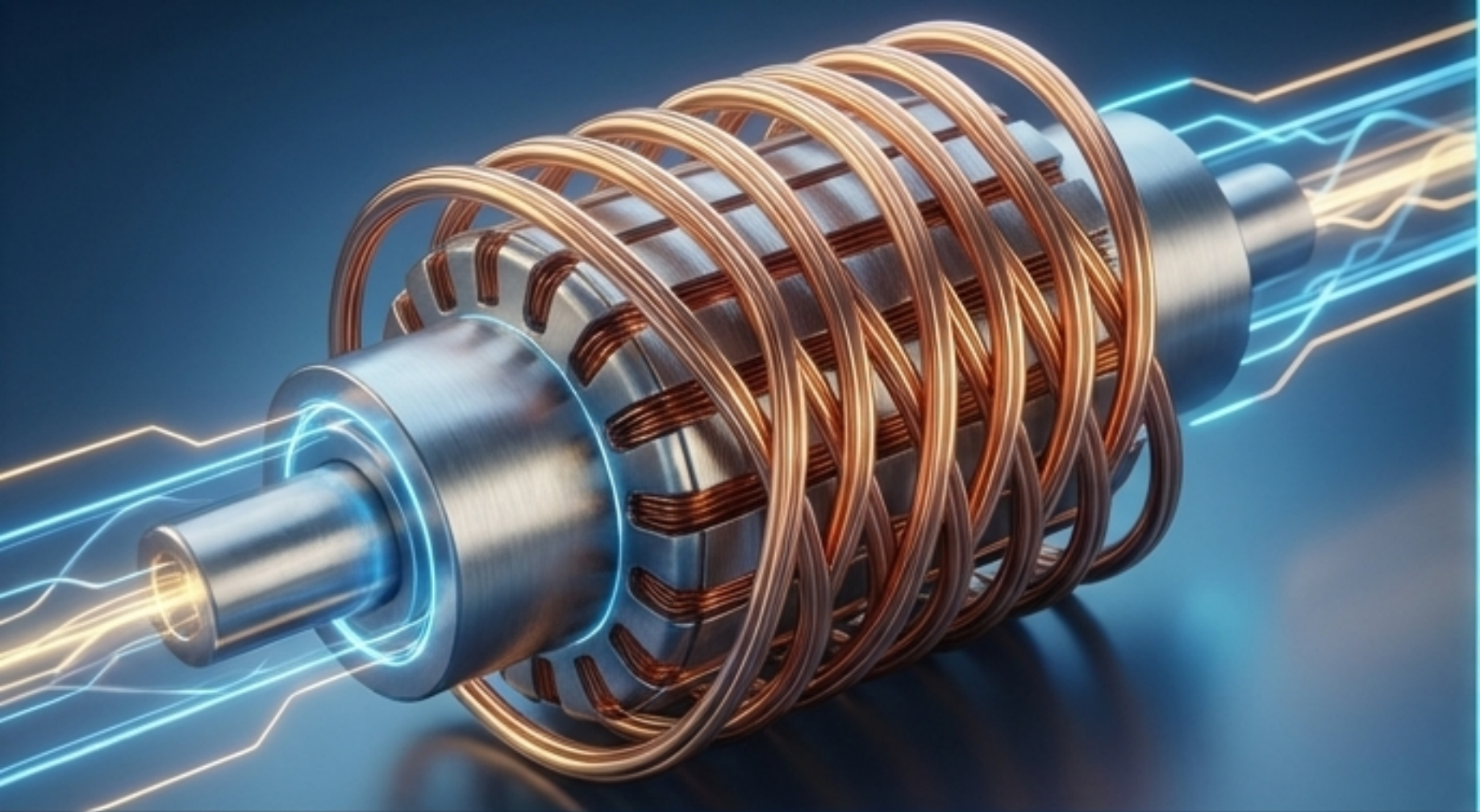
ซีกทองแดงรูปทรงระบอบที่เรียงต่อกัน
ทำหน้าที่สลับทิศทางกระแส

Armature (อาร์เมเจอร์)

แกนหมุนทรงระบอบที่มีร่องสลีต
สำหรับพันขดลวดทองแดง

Brushes (แปรงถ่าน)

จุดสัมผัสสำหรับรับ/จ่ายกระแส
ไฟฟ้าจากวงจรรภายนอก



แบบแลป (Lap Winding)

ลักษณะ: วนซ้อนทับก້าวถอยหลัง

ทางขนาน (a): เท่ากับจำนวนขั้วแม่เหล็ก ($a = P$)

แปรงถ่าน: ต้องใช้เท่ากับจำนวนขั้ว (P)

เหมาะสำหรับ: กระแสสูง / แรงดันต่ำ

แบบเวฟ (Wave Winding)

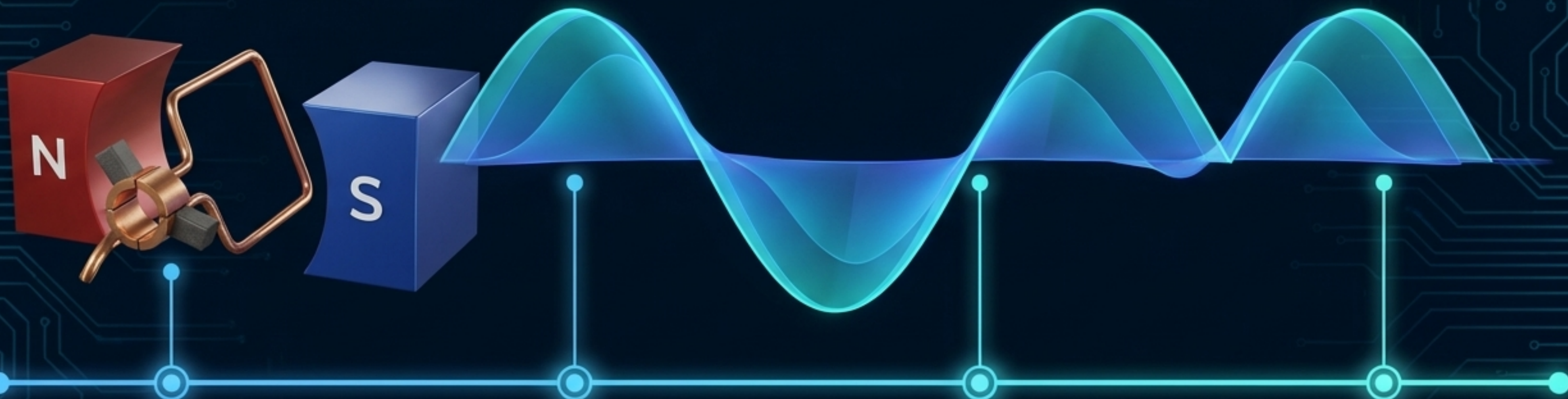
ลักษณะ: วนก້าวไปข้างหน้าคล้ายคลื่น

ทางขนาน (a): เท่ากับ 2 เสมอ ($a = 2$)

แปรงถ่าน: ใช้เพียง 2 ชุดก็เพียงพอ

เหมาะสำหรับ: กระแสต่ำ / แรงดันสูง

คอมมิวเตเตอร์: ยอดนักแปลงกระแส (Mechanical Rectifier) ที่ฝังอยู่ในตัวมอเตอร์



0°: ขนานกับฟลักซ์
แรงเคลื่อนไฟฟ้า = 0
(ตำแหน่ง M.N.A.)



90°: ตัดผ่านฟลักซ์สูงสุด
แรงเคลื่อนพุ่งถึงจุด Peak



180°: กลับสู่แกน M.N.A.
แรงเคลื่อนลดลงกลับสู่ศูนย์



270°: สลับชั้คอมมิวเตเตอร์
กระแสสลับทิศทางแต่ได้ผลลัพธ์
เป็นแรงดันบวก (DC) เสมอ



สาเหตุหลัก (The Cause)

สนามแม่เหล็กจากกระแสอาร์เมเจอร์
เข้าแทรกแซงและชนกับสนามแม่เหล็กหลัก



1. การลดทอน (Demagnetizing)

หักล้างความเข้มของสนามแม่เหล็กหลัก
ทำให้แรงดันเหนี่ยวนำรวมลดลง

2. การบิดเบือน (Cross-magnetizing)

ทำให้แกนสะเทินแม่เหล็ก (M.N.A.)
เลื่อนออกจากแนวตั้งจากเดิม

ปัญหา: การสปาร์ก (Sparking)



1. การเลื่อนแปรงถ่าน (Brush Shift)

เลื่อนแนวแปรงถ่านตามทิศทาง M.N.A. ที่บิดเบี้ยวไป เพื่อหาจุดที่แรงเคลื่อนเป็นศูนย์

2. เพิ่มขั้วแทรก (Interpoles)

ติดตั้งขั้วแม่เหล็กเสริมขนาดเล็กระหว่างขั้วหลัก เพื่อสร้างฟลักซ์หักล้างรีแอกแตนซ์โวลต์เตจ

3. ขดลวดชดเชย (Compensating Windings)

ฝังขดลวดไว้ที่หน้าสัมผัสขั้วหลัก ต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์เพื่อหักล้างฟลักซ์ที่บิดเบี้ยวโดยตรง

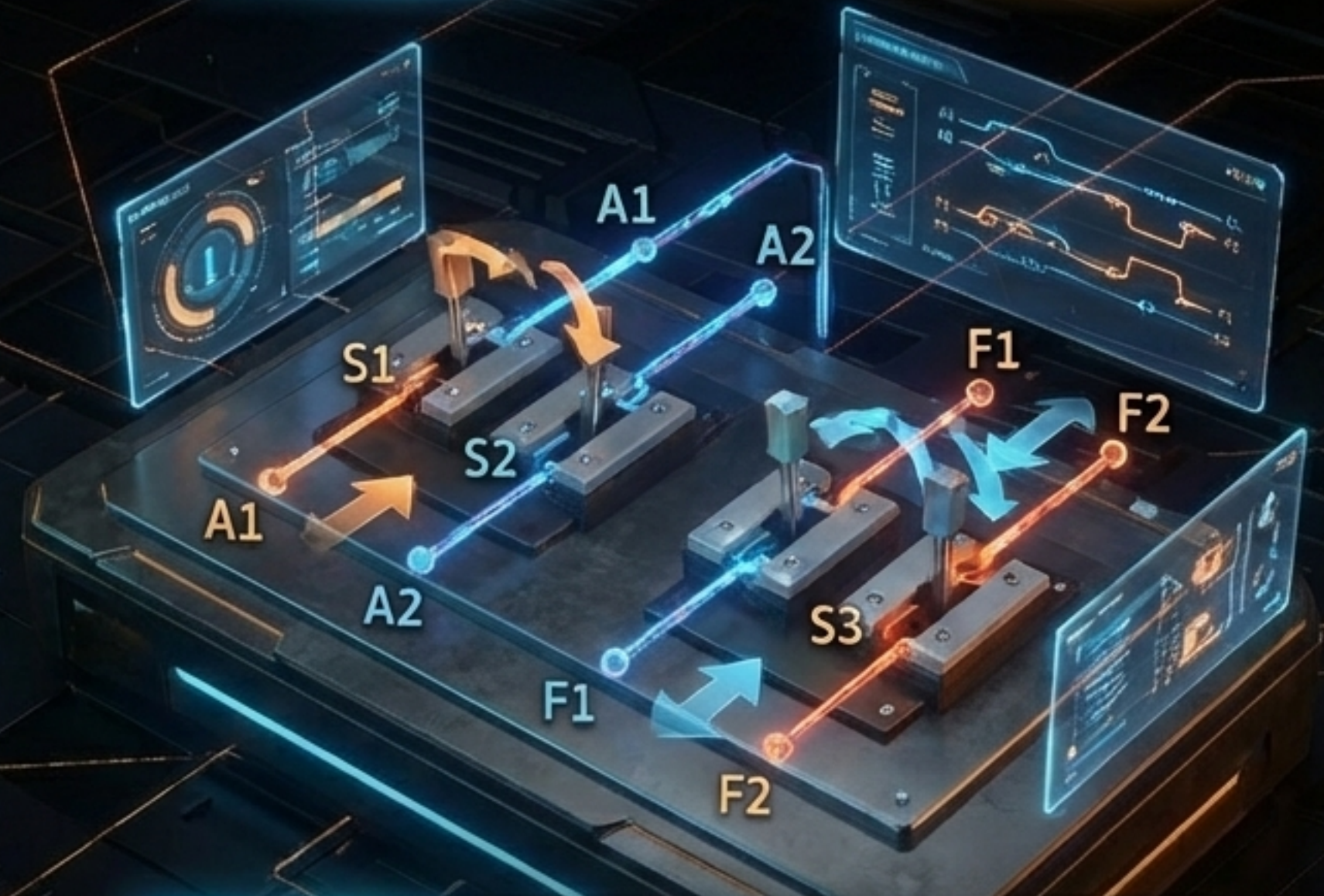
การจำกัดกระแสสตาร์ท (Starting)

3-Point Starter



ตอนเริ่มหมุน แรงเคลื่อนต้านกลับเป็นศูนย์ ทำให้กระแสชากสูงมาก ต้องใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Starter) ต่อกันเพื่อจำกัดกระแส

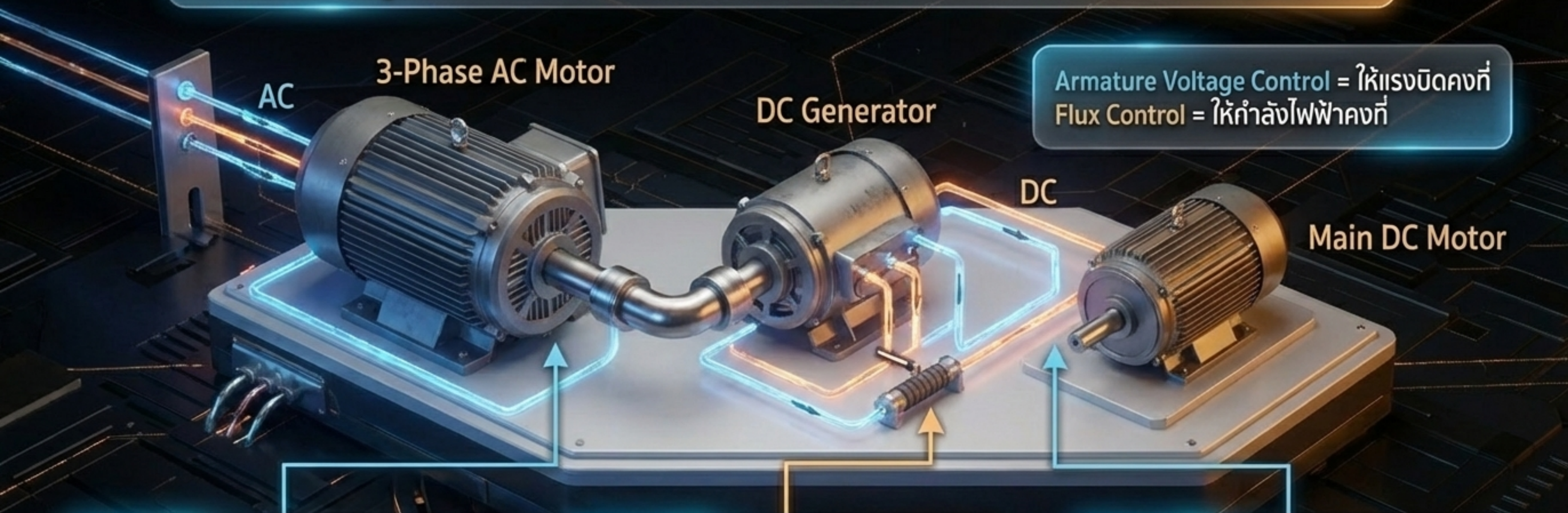
การกลับทางหมุน (Reversing)



วิธีการกลับทิศทางมอเตอร์:

- สลับขั้วแรงดันที่ป้อนเข้า อาร์เมเจอร์ หรือ
- สลับทิศกระแสที่เข้า ขดลวดสนามแม่เหล็ก (หากสลับทั้งคู่ ทิศทางจะเหมือนเดิม)

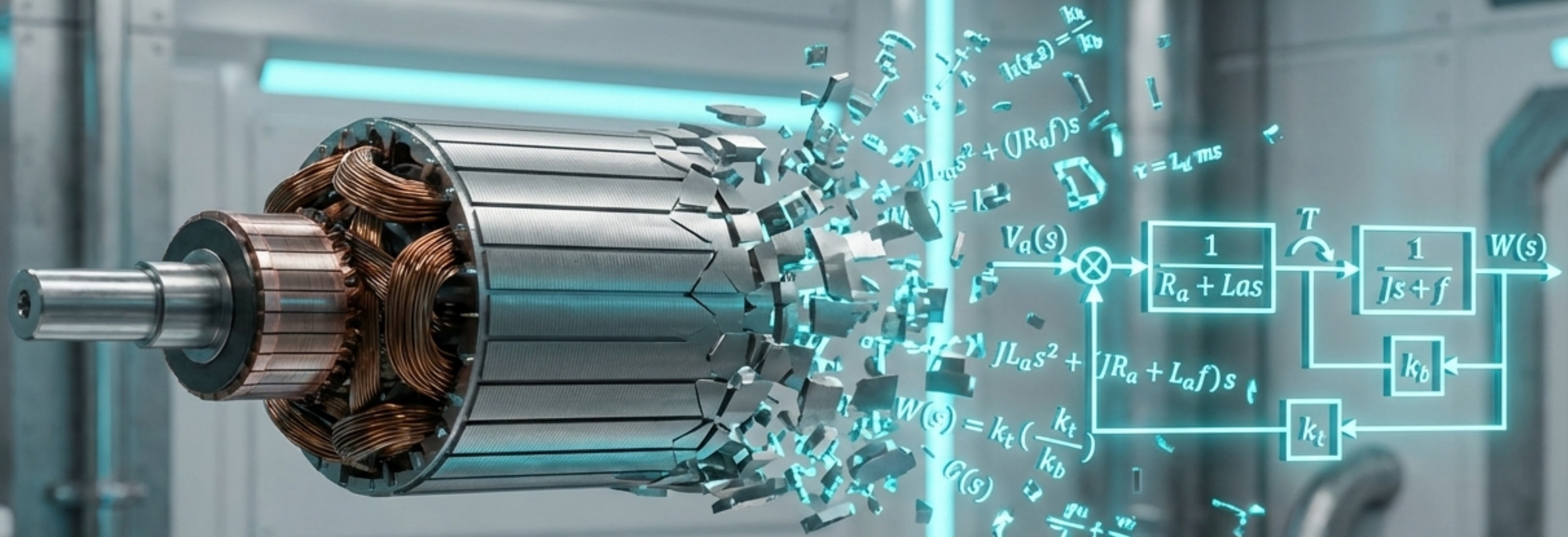
ระบบควบคุมความเร็วอาร์ด-ลีโอนาร์ด (Ward-Leonard System)



Step 1 (Drive):
AC Motor ขับเคลื่อน Generator
ให้หมุนด้วยความเร็วคงที่

Step 2 (Regulate):
ปรับความต้านทานขดลวดฟิลด์ของ
Generator เพื่อคุมแรงดันเอาต์พุต

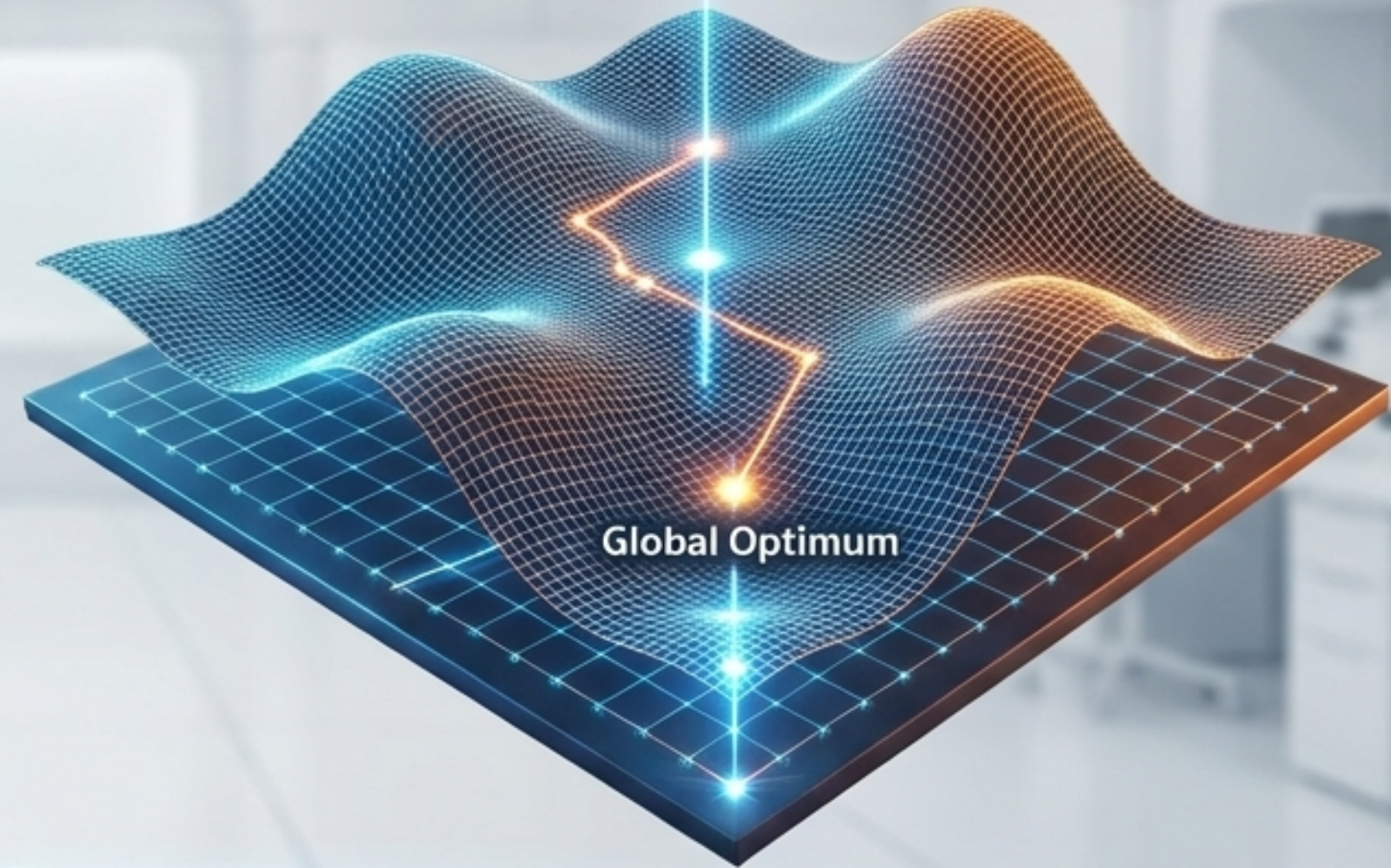
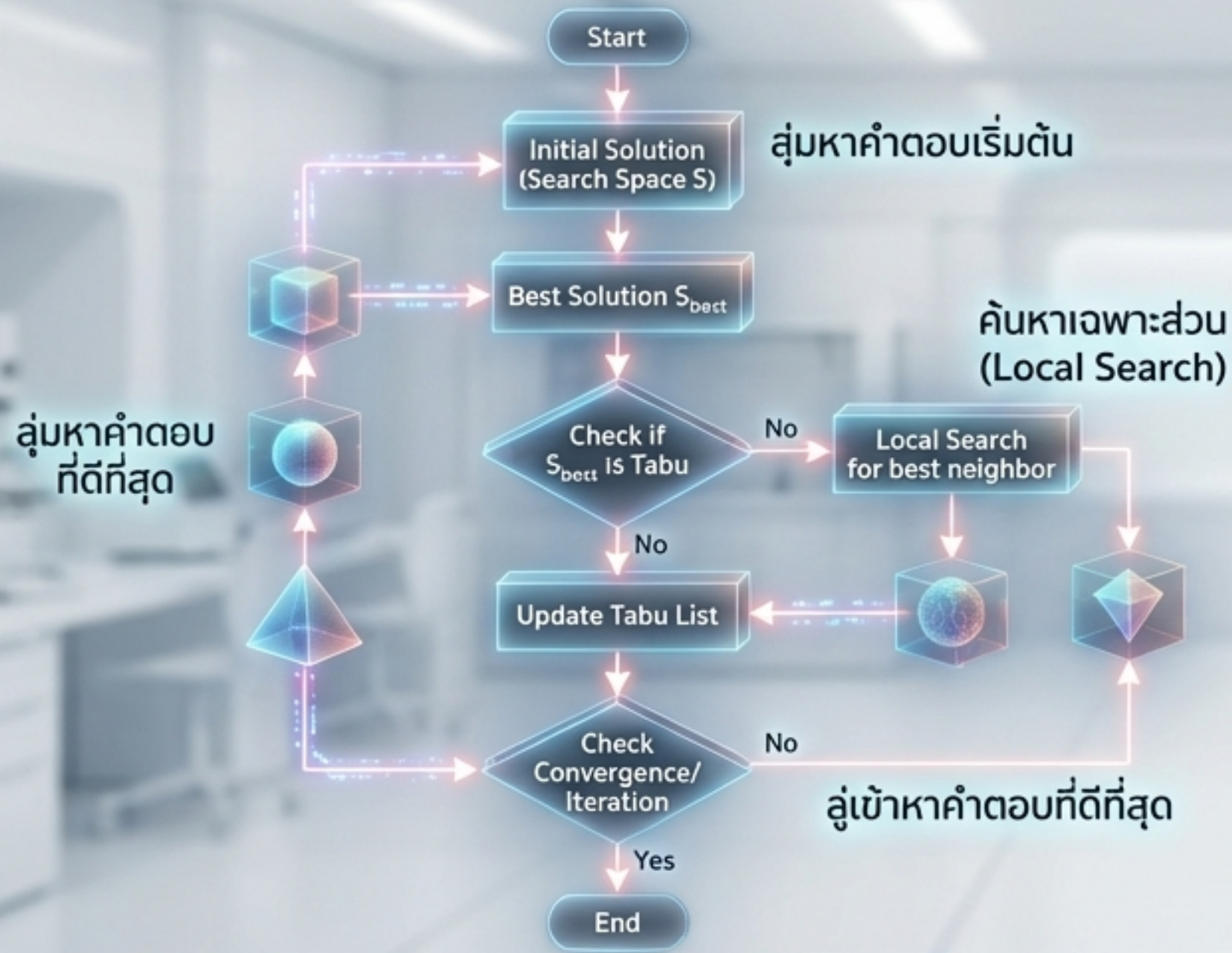
Step 3 (Output):
จ่ายแรงดันที่ปรับละเอียดแล้วเข้าสู่
เพื่อการควบคุมความเร็วที่นุ่มนวล



$$G(s) = \frac{k_t}{JL_a s^2 + (JR_a + L_a f)s + R_a f + k_t k_b}$$

ความท้าทาย: (The Challenge)
 การจำลองพฤติกรรมในรูปแบบ Transfer Function ต้องเผชิญกับพารามิเตอร์จริง (R_a, L_a, J) ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามสภาพแวดล้อม ทำให้การควบคุมเกิดความคลาดเคลื่อน!

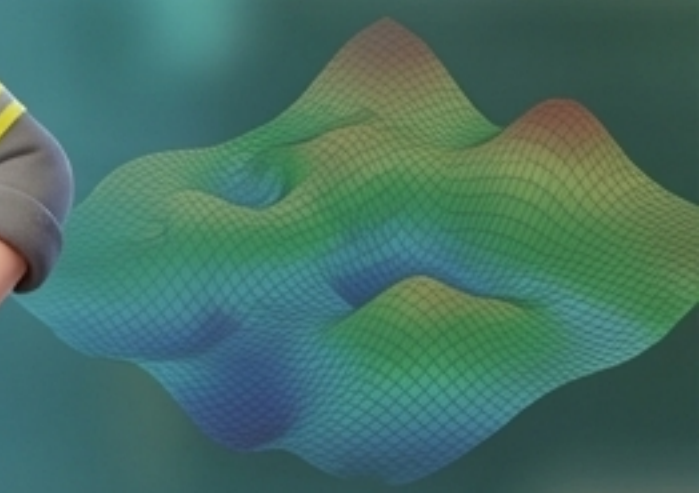
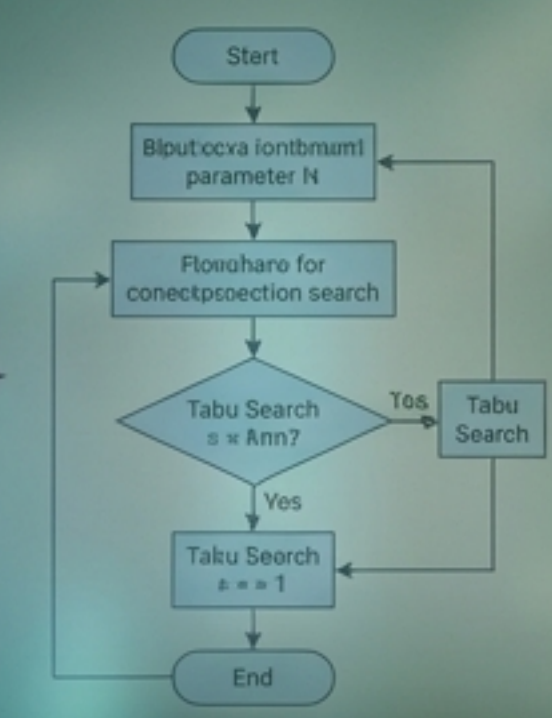
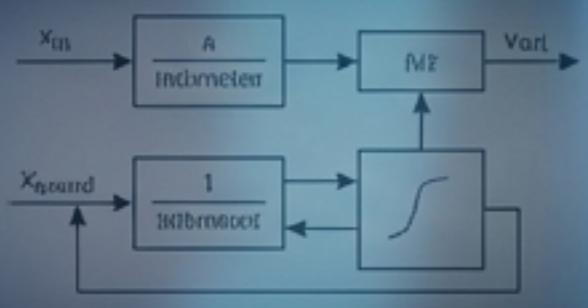
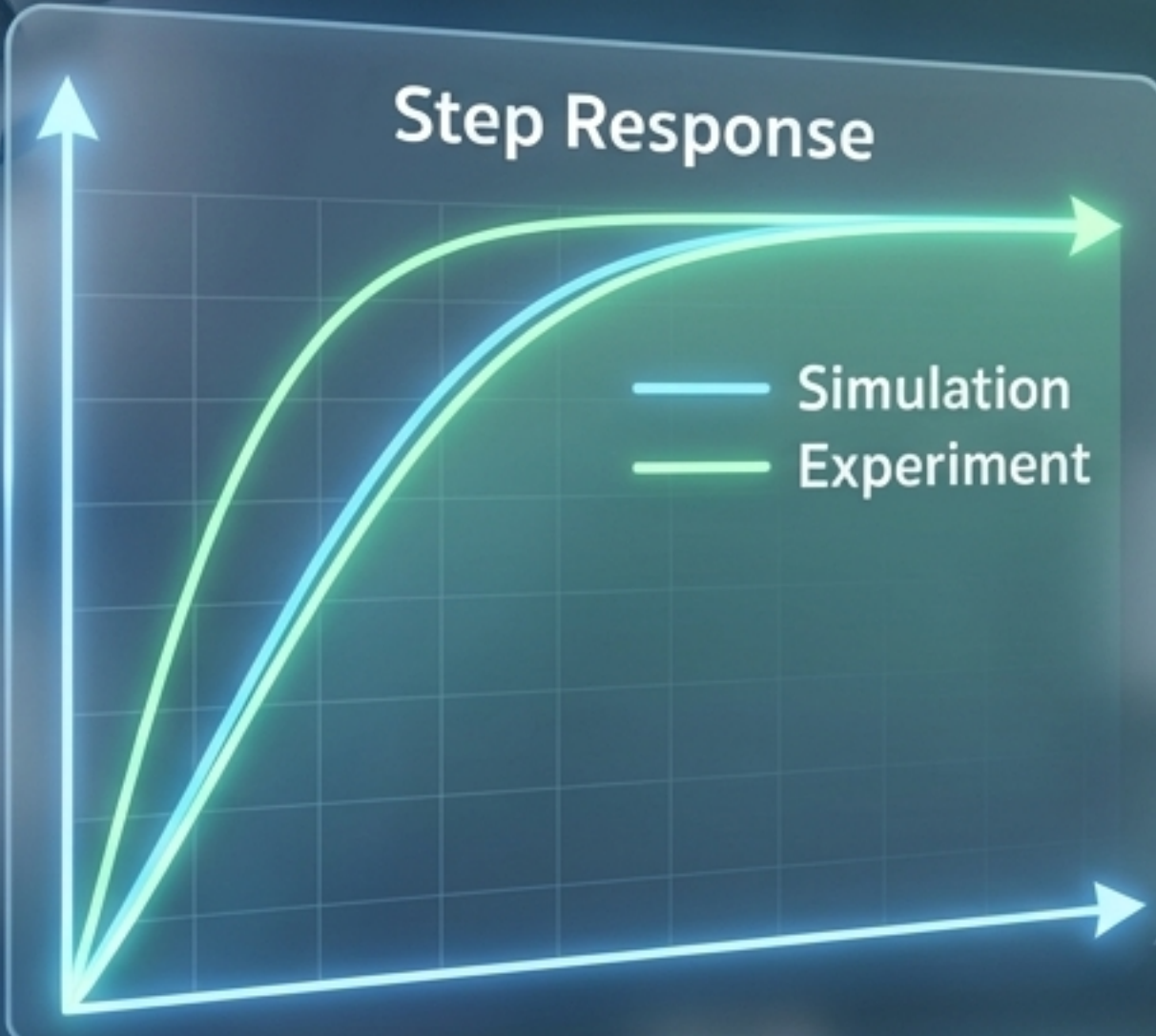
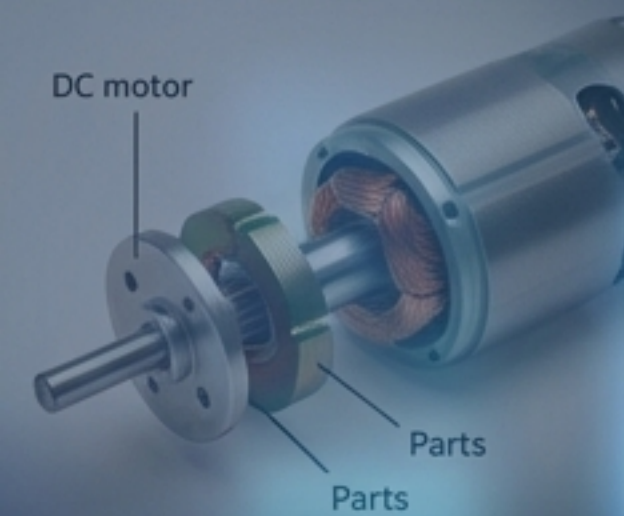
การหาพารามิเตอร์ด้วย AI (Tabu Search)



1. The Search Space:
อัลกอริทึมเริ่มสุ่มสร้างพารามิเตอร์
จำลองลงในพื้นที่ค้นหา

2. Tabu List:
ระบบจะ 'แบน' ค่าที่เคยทดลองแล้วแย
ป้องกันการวนลูปซ้ำซาก

3. Convergence:
ลุ่มหาคำตอบที่ดีที่สุด
ลดค่า Error ลงจนเข้าใกล้ศูนย์



บทสรุปความสำเร็จ (The Masterclass Takeaway)

- Physics to Math: แปลงปรากฏการณ์แม่เหล็กไฟฟ้าสู่สมการ Transfer Function
- Hardware to Software: จากระบบกลไก ก้าวสู่การระบุเอกลักษณ์ด้วย Tabu Search
- Result: การจำลองพฤติกรรมมอเตอร์ DC ที่สมบูรณ์แบบ เปิดประตูสู่ออโตเมชันที่เสถียรที่สุด