

การสัมมนาทางวิชาการวิศวกรรมเครื่องกล ครั้งที่ 3
"เรื่องผังสัญลักษณ์กับการวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับมิติ"

โดย

นายสิทธิชัย วงษ์ธนสุภรณ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผังสัญลักษณ์กับการวิเคราะห์ปัญหาเกียร์อัตโนมัติ

บทคัดย่อ

เกียร์อัตโนมัติที่ใช้ในรถยนต์ หรือรถใช้งานหนักในการก่อสร้าง การเกษตรกรรม งานซ่อมจะต้องใช้ช่างที่ฝึกมาเฉพาะ ทั้งนี้เนื่องจากระบบส่งกำลังของเกียร์อัตโนมัติประกอบด้วย ชุดเฟือง (planetary gears set) หลายชุด แต่ละชุดมีเฟืองหลายตัว ชุดเฟืองบางชุดประกอบอยู่อย่างซับซ้อน บางตัวประกอบซ่อนอยู่ภายใน การศึกษาหลักการทำงานหรือการซ่อมโดยวิธีตรวจวิเคราะห์จากเครื่องโดยตรงต้องถอดออกและประกอบเข้าหลายครั้ง นับว่าสิ้นเปลืองเวลาและแรงงาน ถ้ามีการเขียนรูปสัญลักษณ์ที่เข้าใจง่ายแทนเฟืองและชิ้นส่วนที่ยุ่งยาก จัดระบบของรูปที่เขียนให้เป็นระเบียบและง่ายแก่การนำทฤษฎีมาประยุกต์ การวิเคราะห์ปัญหาเกียร์อัตโนมัติก็จะง่ายขึ้น

บทนำ

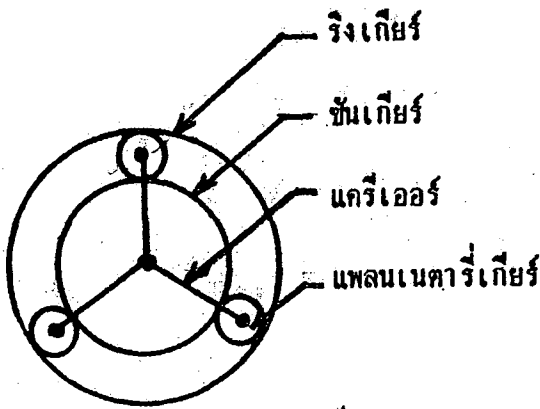
ปัจจุบันรถยนต์นั่ง รถบรรทุก รถโดยสารขนาดใหญ่ รถใช้งานก่อสร้าง และรถใช้งานเกษตรกรรม มีแนวโน้มถูกออกแบบให้ใช้เกียร์อัตโนมัติมากขึ้น เนื่องจากเกียร์อัตโนมัติให้ความสะดวกสบายในการขับขี่และลดงานของผู้ขับขี่ลงได้ กรณีรถใช้งานก่อสร้างหรืองานเกษตรกรรมจะมีเครื่องจักรอื่นประกอบอยู่กับรถด้วย ถ้าลดงานการบังคับรถลงจะมีโอกาสไปควบคุมเครื่องจักรอื่นให้ทำงานได้มากขึ้น นอกจากนี้เกียร์อัตโนมัติยังช่วยปรับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ให้เหมาะกับการทำงานมากยิ่งขึ้น ทำให้เครื่องยนต์ทำงานที่มีประสิทธิภาพสูง ข้อเสียของเกียร์อัตโนมัติมีอยู่บ้าง เช่น การสูญเสียพลังงานที่ Torque converter การที่มีชิ้นส่วนและอุปกรณ์มากขึ้นขณะทำงานจะเกิดแรงเสียดทานสูง การมีชิ้นส่วนมากขึ้นและประกอบอยู่อย่างซับซ้อนจะยากแก่การเข้าใจ งานซ่อมระบบส่งกำลังในเกียร์อัตโนมัติมักจะใช้ช่างที่ฝึกมาเฉพาะ ท้าบ่อย ๆ จนเกิดความชำนาญเฉพาะอย่าง มีเครื่องมือและเครื่องทดสอบพร้อมจึงสามารถทำงานได้สมบูรณ์

กรณีหน่วยงานหรือโรงซ่อมทั่วไปต้องพบกับปัญหาของเครื่องหลายรุ่น หลายยี่ห้อ ถ้าอาศัยความจำหรือความชำนาญจะต้องใช้ความเพียรพยายามเป็นพิเศษ

เกียร์อัตโนมัติจึงเป็นเรื่องยากสำหรับช่างซ่อมทั่วไป และมีคนทำได้น้อย เป็นสาเหตุหนึ่งที่เกียร์อัตโนมัติในรถยนต์ไม่ค่อยแพร่หลายในบ้านเรา บทความนี้กล่าวถึงวิธีการเขียนผังสัญลักษณ์แทนชิ้นส่วนของเกียร์อัตโนมัติ นำทฤษฎีทางกลศาสตร์วิศวกรรมมาวิเคราะห์การทำงานของเกียร์อัตโนมัติจากผังสัญลักษณ์ การวิเคราะห์ปัญหาเกียร์ก็จะง่ายขึ้น

ทฤษฎี

การส่งกำลังของเกียร์อัตโนมัติที่ใช้กับรถประกอบจากชุดแพลนเนตารีเกียร์ (Planetary gears set) หลายชุด แพลนเนตารีเกียร์แต่ละชุดประกอบด้วย ซันเกียร์ (Sun gear) รিংเกียร์ (Ring gear) แพลนเนตารีเกียร์ (Planetary gear) และแครีเออร์ (carrier) ขณะที่ชุดแพลนเนตารีเกียร์ทำงาน เฟืองแต่ละตัวจะเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน วิชากลศาสตร์ที่สัมพัทธ์จึงเหมาะกับการศึกษาเกียร์อัตโนมัติ

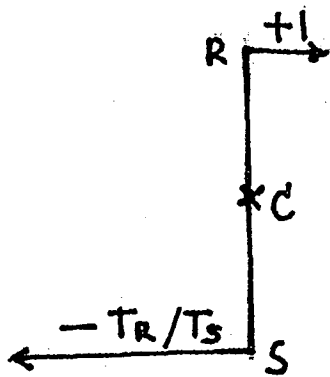


กำหนดให้ :

- n_R = จำนวนรอบของการหมุนของริงเกียร์
- n_C = จำนวนรอบการหมุนของแครีเออร์
- n_S = จำนวนรอบการหมุนของซันเกียร์
- T_R = จำนวนฟันของริงเกียร์
- T_S = จำนวนฟันของซันเกียร์
- r = อัตราทด = รอบที่เข้า/รอบที่ออก

ให้แกน x ซึ่งเป็นแกนอยู่ในแนวระดับใช้แสดงขนาดและทิศทางการหมุนของเฟืองและชิ้นส่วน ทิศไปทางขวาเป็นบวก ทิศไปทางซ้ายเป็นลบ

1. ผังการเคลื่อนที่สมบูรณ์และผังการเคลื่อนที่สัมพัทธ์

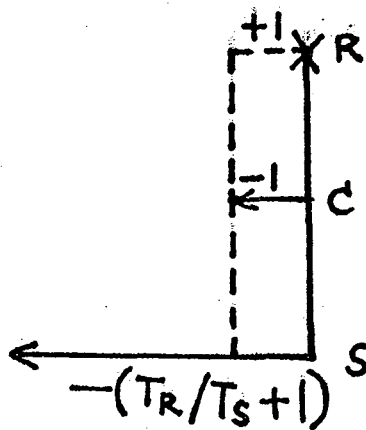


รูปที่ 1

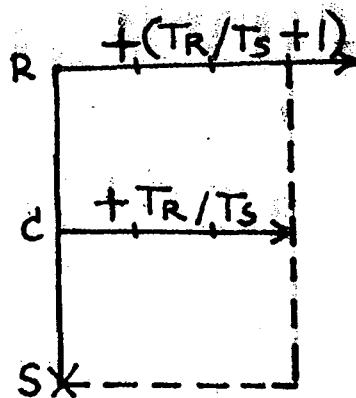
สมมติให้ริงเกียร์หมุน +1 รอบ จับแครีเออร์อยู่กับที่ รอบการหมุนของซันเกียร์หาได้โดยพิจารณาว่าแพลนเนตารีเกียร์เป็นเฟืองค่อ (Idle gear) ซันเกียร์เคลื่อนที่ไป T_R/T_S รอบ ทิศไปทางลบ ผังการเคลื่อนที่สมบูรณ์จึงเขียนได้เป็นรูปที่ 1 แกนตั้งเป็นแกนอ้างอิง R = ริงเกียร์ C = แครีเออร์ S = ซันเกียร์ x = ยึดอยู่กับที่ หรือเป็นผู้สังเกต จากผังการเคลื่อนที่สมบูรณ์สามารถเปลี่ยนให้เป็นผังการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ได้

ผังการเคลื่อนที่สัมพัทธ์จะเป็นประโยชน์ต่อการหาอัตราทดของเกียร์อัตโนมัติ

ตัวอย่าง ให้ริงเกียร์เป็นผู้สังเกต ผังการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของแครี่เออร์ และ
ชั้นเกียร์ที่สังเกตจากริงเกียร์สร้างได้ จากรูปที่ 1 ซึ่งเป็นผังการเคลื่อนที่สมบูรณ์ของริงเกียร์ และชั้นเ
(สังเกตจากแครี่เออร์ที่อยู่กับที่) ลากเส้นคิ่งผ่านปลายลูกศรของ R เท่ากับจับ R ให้หยุดอยู่กับ
ที่ R มอง C เคลื่อนที่ไป $= -1$ รอบ เท่ากับเวกเตอร์จากแกนใหม่ไปแกนเดิม R มอง S
เคลื่อนที่ไปเท่ากับ $-(T_R/T_S + 1)$ รอบ เท่ากับเวกเตอร์จากแกนใหม่ไปปลายลูกศรเวกเตอร์
เดิม ผังการเคลื่อนที่สัมพัทธ์จึงเขียนได้เป็นรูปที่ 2 ในทำนองเดียวกันถ้าให้ S เป็นผู้สังเกตผัง
การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ สังเกตจาก S เขียนได้เป็นรูปที่ 3 ผังการเคลื่อนที่สมบูรณ์ และผังการ
เคลื่อนที่สัมพัทธ์จะเป็นประโยชน์ในการหาอัตราทดของเกียร์อัตโนมัติ



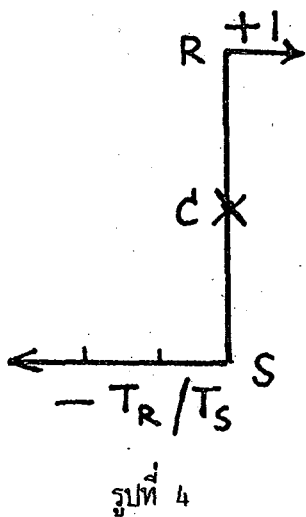
รูปที่ 2



รูปที่ 3

2. อัตราทดของแพลนเนตารีเกียร์กรณีต่าง ๆ

2.1 กรณีที่ 1



จับแครี่เออร์อยู่กับที่ กำลังเข้าที่ริงเกียร์

+1 รอบ เขียนผังการเคลื่อนที่สมบูรณ์ได้

รูปที่ 4

อัตราทด = รอบที่เข้า/รอบที่ออก

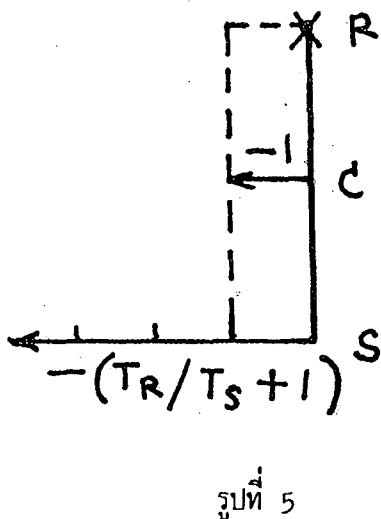
$$r = +1 / -(T_R/T_S)$$

$$= -T_S/T_R$$

2.2 กรณีที่ 2 จับแครี่เออร์อยู่กับที่ กำลังเข้าที่ซันเกียร์ $-T_R/T_S$ รอบ และ กำลังออกที่ริงเกียร์ เขียนผังการเคลื่อนที่สมบูรณ์ได้เหมือนกันกับรูปที่ 4 จากหาอัตราทดได้ รูปที่ 4

$$r = \frac{-T_R/T_S}{+1} = -\frac{T_R}{T_S}$$

2.3 กรณีที่ 3



จับริงเกียร์อยู่กับที่ กำลังเข้าที่แครี่เออร์

และออกที่ซันเกียร์ จากรูปที่ 4 เขียน

การเคลื่อนที่สัมพัทธ์โดยใช้ริงเกียร์ เป็นผู้

สังเกตได้รูปที่ 5 จากรูปที่ 5 ริง

เกียร์ R มอง C เคลื่อนไปทางลบ - 1

รอบ R มอง S เคลื่อนที่ไปทางลบ =

$-(T_R/T_S + 1)$ รอบ จากผังการเคลื่อน

ที่สัมพัทธ์รูปที่ 5 หาอัตราทด r ได้

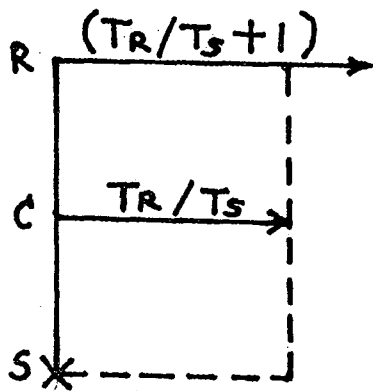
$$r = \frac{-1}{-(T_R/T_S + 1)}$$

$$= 1/(T_R/T_S + 1)$$

2.4 กรณีที่ 4 จับริงเกียร์อยู่กับที่ กำลังเข้าที่ชั้นเกียร์ $-(T_R/T_S + 1)$ และออกที่แครี่เออร์ เขียนผังการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่สังเกตจากริงเกียร์ได้เช่นเดียวกับรูปที่ 5 จากรูปที่ 5 หาอัตราทดได้

$$r = \frac{-(1+T_R/T_S)}{-1} = 1 + T_R/T_S$$

2.5 กรณีที่ 5



จับชั้นเกียร์อยู่กับที่ กำลังเข้าที่ริงเกียร์ กำลังออกที่แครี่เออร์ จากรูปที่ 4 เขียนผังการเคลื่อนที่สัมพัทธ์โดยให้ชั้นเกียร์เป็นผู้สังเกต ได้ผังการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ตามรูปที่ 6 จากรูปที่ 6 ให้อัตราทด

$$r = \frac{(T_R/T_S + 1)}{T_R/T_S}$$

รูปที่ 6

2.6 กรณีที่ 6 จับชั้นเกียร์อยู่กับที่ กำลังเข้าที่แครี่เออร์ และกำลังออกที่ริงเกียร์ เขียนผังการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ได้เหมือนกันกับรูปที่ 6 จากรูปที่ 6 หาอัตราทด

$$r = \frac{T_R/T_S}{(T_R/T_S + 1)}$$

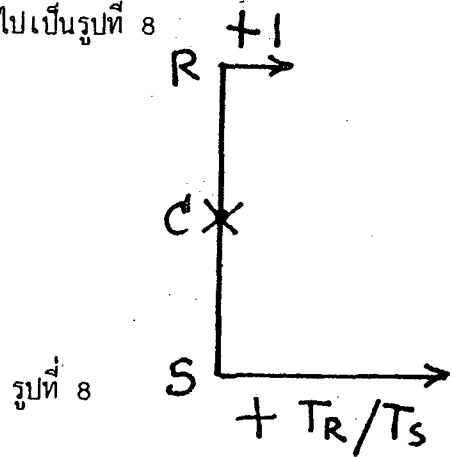
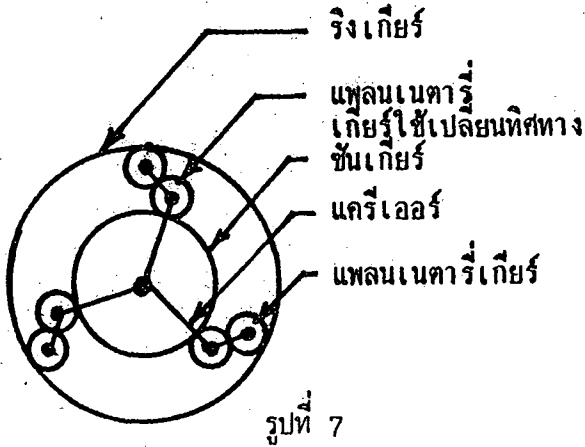
2.7 กรณีที่ 7 ถ้ายึดคู่โคจรรูปร่างหนึ่งระหว่างริงเกียร์ ชั้นเกียร์ และแครี่เออร์ เข้าด้วยกัน แล้วให้กำลังเข้าที่ตัวที่เหลือ แพลนเนตารี่เกียร์ชุดนี้จะหมุนไปด้วยกันทั้งชุด จำนวนรอบการหมุนที่เข้าเท่ากับจำนวนการหมุนที่ออก

$$r = 1$$

2.8 กรณีที่ 8 ถ้าให้กำลังเข้าที่ตัวใดตัวหนึ่งระหว่าง ริงเกียร์ ชั้นเกียร์ และแครีเออร์ แล้วปล่อยให้ 2 ตัวที่เหลือเคลื่อนที่ได้อิสระ แพลนเนตารีเกียร์ชุดนี้จะไม่สามารถส่งผ่านกำลังได้

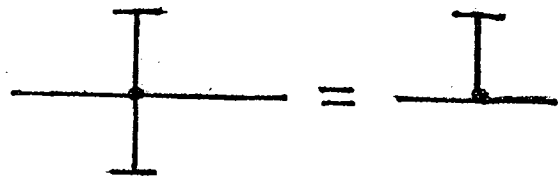
จะเห็นได้ว่าแพลนเนตารีเกียร์ 1 ชุด สามารถมีอัตราทดได้หลายอัตราทด ถ้า

ต้องการเปลี่ยนทิศทางการหมุนก็สามารถทำได้ โดยเพิ่มเฟืองต่ออีกตัวหนึ่ง ดังรูปที่ 7 ผังความเร็วสมบูรณ์รูปที่ 4 ถ้าใช้ชุดแพลนเนตารีเกียร์รูปที่ 7 ก็จะเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 8

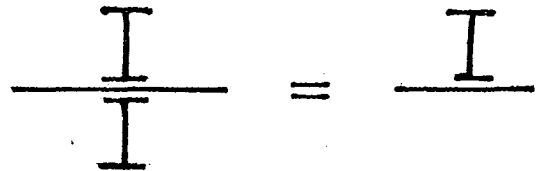


3. ผังสัญลักษณ์ของชิ้นส่วนที่ใช้ในเกียร์อัตโนมัติ

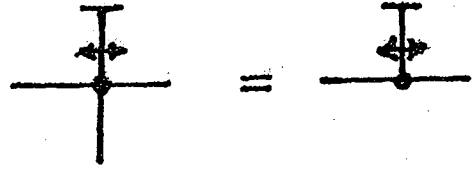
3.1 เฟืองเป็นชิ้นเดียวกับเพลลา



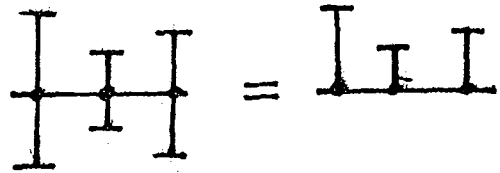
3.2 เฟืองหมุนได้บนเพลลา



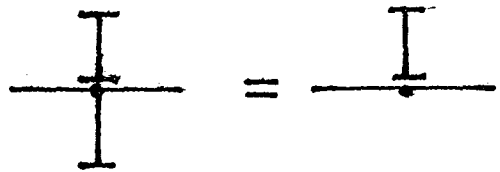
3.3 เฟืองหมุนไปกับเพลาดแต่เลื่อนได้ตามแกน



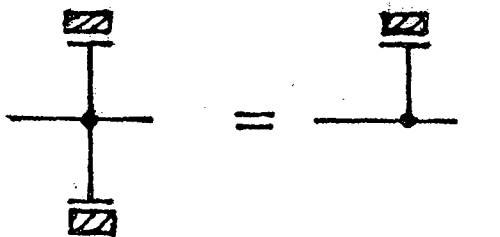
3.4 เฟืองหลายตัวยึดตายบนเพลาดเดียวกัน



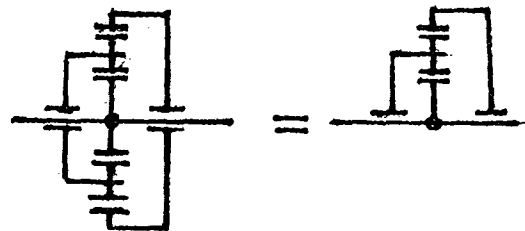
3.5 ครีซทางเดียว



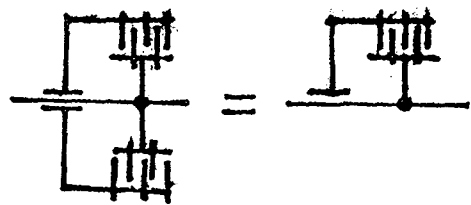
3.6 ครีมและเบรค



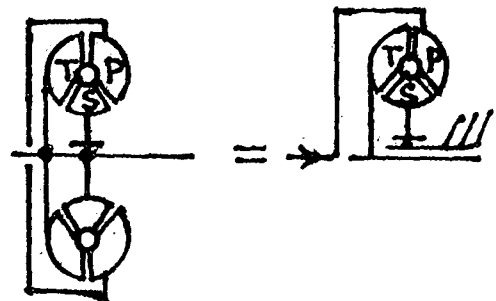
3.7 ชุดแพลนเนตารีเกียร์



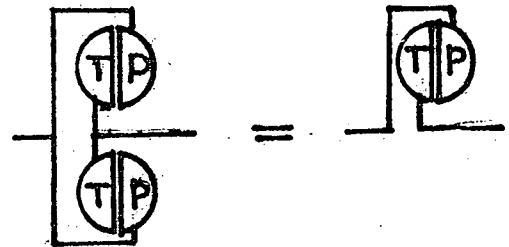
3.8 คลัชหลายแผ่น



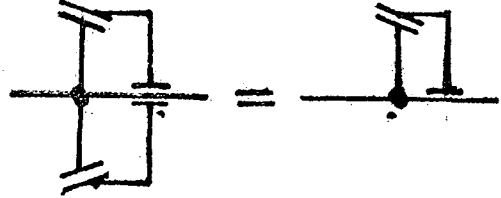
3.9 Torque Convertor



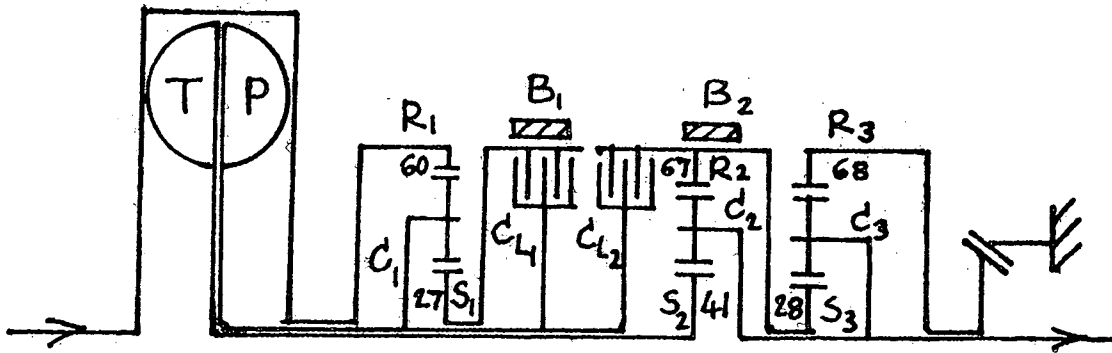
3.10 Fluid Coupling



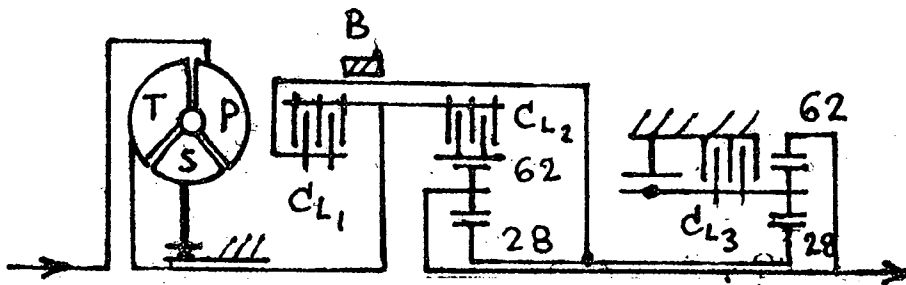
3.11 Cone Clutch



4. ตัวอย่างผังระบบส่งกำลังของเกียร์อัตโนมัติ พร้อมข้อมูลที่จะนำไปใช้คำนวณหาอัตราทด



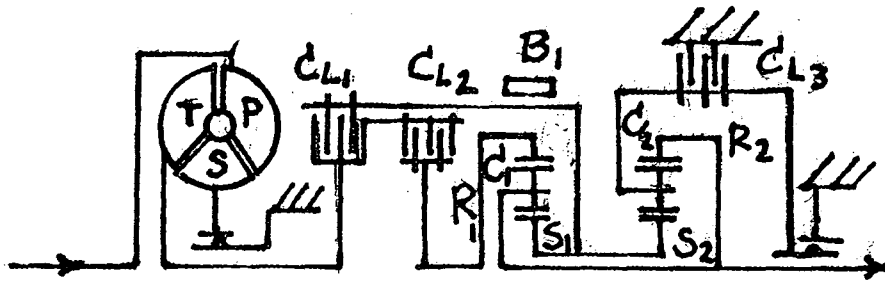
4.1 ผังสัญลักษณ์เกียร์อัตโนมัติของรถไฮสโมบิล



4.2 ผังสัญลักษณ์เกียร์อัตโนมัติของรถมาสคั

- C_L = คลัช
- S = ชั้นเกียร์
- C = แครีเออร์
- R = ริงเกียร์
- ตัวเลข = แสดงจำนวนฟันบนเฟือง

5. ตัวอย่างการคำนวณ



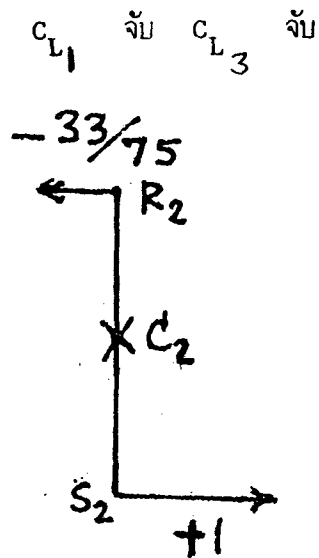
$$T_{S_1} = 33 \text{ ฟัน}$$

$$R_1 = 75 \text{ ฟัน}$$

$$T_{S_2} = 33 \text{ ฟัน}$$

$$R_2 = 75 \text{ ฟัน}$$

กรณี 1



สภาพการทำงาน จับ C_2 อยู่กับที่ กำลังเข้าที่ S_2 กำลังออกที่ R_2 ไปเฟลาขับ ให้ S_2 หมุน +1 รอบ เขียนผังการเคลื่อนที่สมมุติได้ ดังรูป จากผังสมมุติได้อัตราทด r

$$r = \frac{\text{รอบที่เข้า}}{\text{รอบที่ออก}}$$

$$= \frac{+1}{\frac{-33}{75}} = -\frac{75}{33}$$

$$= -2.273$$

= -2.273

กรณี 2 C_{L1} จับ C_{L2} จับ
 สภาพการทำงานของชุดแพลนเนตารีเกียร์ชุดที่ 1 กำลังเข้าที่ s_1 และกำลังเข้าที่ R_1 กำลังออกที่ C_1 เข้ากรณี 7 ชุดเฟืองจะหมุนไปทั้งชุด $r = 1$

กรณี 3 C_{L2} จับ B_1 จับ
 สภาพการทำงาน s_1 ถูกยึดอยู่กับที่ กำลังเข้าที่ R_1 และกำลังออก C_1

กรณีจะเข้ากรณี 5

$$r = \frac{(T_R/T_S + 1)}{T_R/T_S} = \frac{75/33 + 1}{75/33}$$

$$= 1 + \frac{33}{75} = 1.44$$

กรณี 4 C_{L2} จับ และ C_{L3} จับ
 สภาพการทำงาน กำลังเข้าที่ R_1 C_1 รับแรงบิดได้เนื่องจากต่อกับเพลลาขับ กำลังจึงส่งผ่าน s_1 และ s_2 ได้ เมื่อกำลังเข้าที่ s_2 และ C_2 ถูกจับ กำลังจึงออกที่ R_2 ไปเพลลาขับ ที่แพลนเนตารีเกียร์ชุดที่ 1 แยกปัญหาออกได้เป็น 2 ปัญหาคือ

1. จับ C_1 อยู่กับที่ กำลังเข้าที่ $R_1 + 1$ รอบ กำลังออกที่ s_1 เท่ากับ $s_{1.1}$ รอบ
2. จับ R_1 อยู่กับที่ กำลังเข้าที่ $C_1 = +n$ รอบ กำลังออกที่ $s_1 = s_{1.2}$ รอบ

ความเร็วรอบของ $s_1 = n_{s_1} = n_{s_2} = s_{1.1} + s_{1.2}$

วิธีแก้ปัญหาคือ 1 ใช้กรณี 1

$$r = -T_S/T_R = -33/75$$

และ $r =$ รอบที่เข้า/รอบที่ออก

$$-\frac{33}{75} = \frac{+1}{s_{1.1}}$$

$$s_{1.1} = -\frac{75}{33} = -2.273 \text{ รอบ}$$

วิธีแก้ปัญหาคำที่ 2 ถ้าจับ R_1 ให้อยู่กับที่ กำลังเข้าที่ $C_1 = +1$ รอบ และกำลังออกที่ s_1
จากกรณีที่ 3

$$\text{ได้ } r = + \frac{1}{(1+T_R/T_S)} = \frac{1}{(1+75/33)}$$

$$= 0.306 \text{ รอบ}$$

$$r = \text{รอบที่เข้า/รอบที่ออก}$$

$$0.306 = + n/s_{1.2}$$

$$s_{1.2} = + 3.268 n$$

$${}^n s_2 = s_{1.1} + s_{1.2}$$

$$= -2.273 + 3.268 n$$

แพลนเนตารีเกียร์ชุดที่ 2

จับ C_2 อยู่กับที่ กำลังเข้าที่ s_2 และกำลังออกที่ R_2 จากกรณีที่ 2 ได้

$$r = -T_R/T_S = -75/33 = -2.273$$

แต่ $r = \text{รอบที่เข้า/รอบที่ออก} = n_{s_2}/n$

$$-2.273 = (-2.273 + 3.268 n)/n$$

$$n = 0.41 \text{ รอบ}$$

$$r = \text{รอบที่เข้า/รอบที่ออก}$$

$$= 1/0.41 = 2.44$$

จากผลการคำนวณแสดงลงในตารางได้

step	C_{L_1}	C_{L_2}	C_{L_3}	B_1	r
1	-	0	0	-	2.44
2	-	0	-	0	1.44
3	0	0	-	-	1
Rev.	0	-	0	-	-2.27

เอกสารอ้างอิง

- J.L.MERIAM and L.G.KRAIGE "Dynamics" Second Edition,1987.
John Wiley & Sons N.Y.
- Herbert E.Ellinger "AUTOMECHANICS" Third Edition,1981
Prentice-Hall Inc. Engle wood cliffs.
- V.A.W.Hillier "Fundamentals of Motor Vehich Technology",1972.
HUTCHINSON, London.