Lecture 6

جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

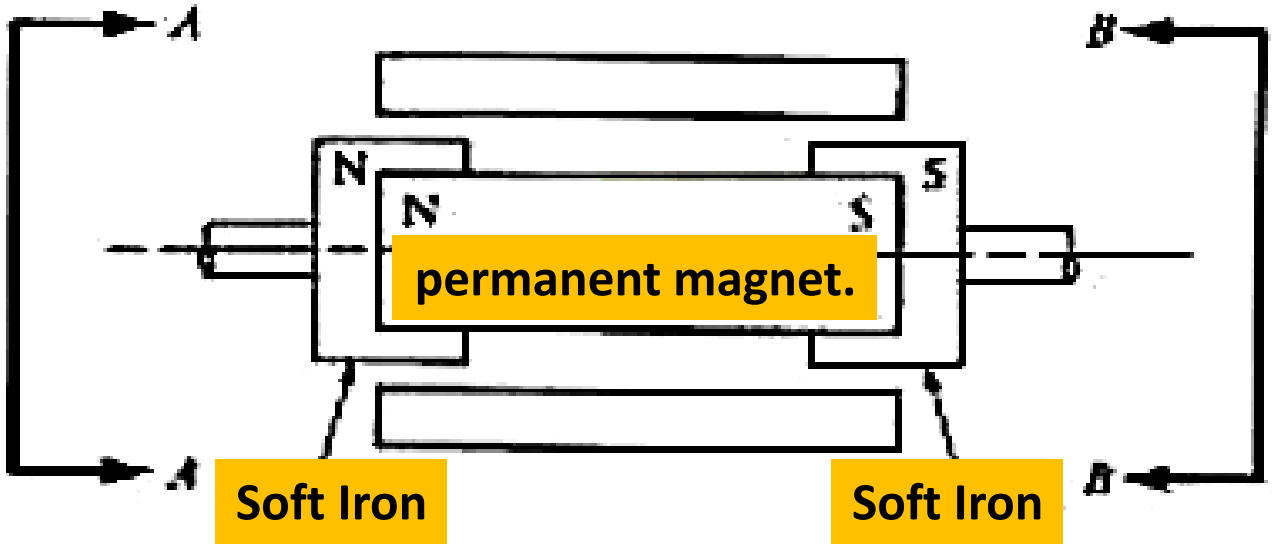
محركات الخطوة الهجينة

Hybrid Stepper Motors

Hybrid Stepper Motors

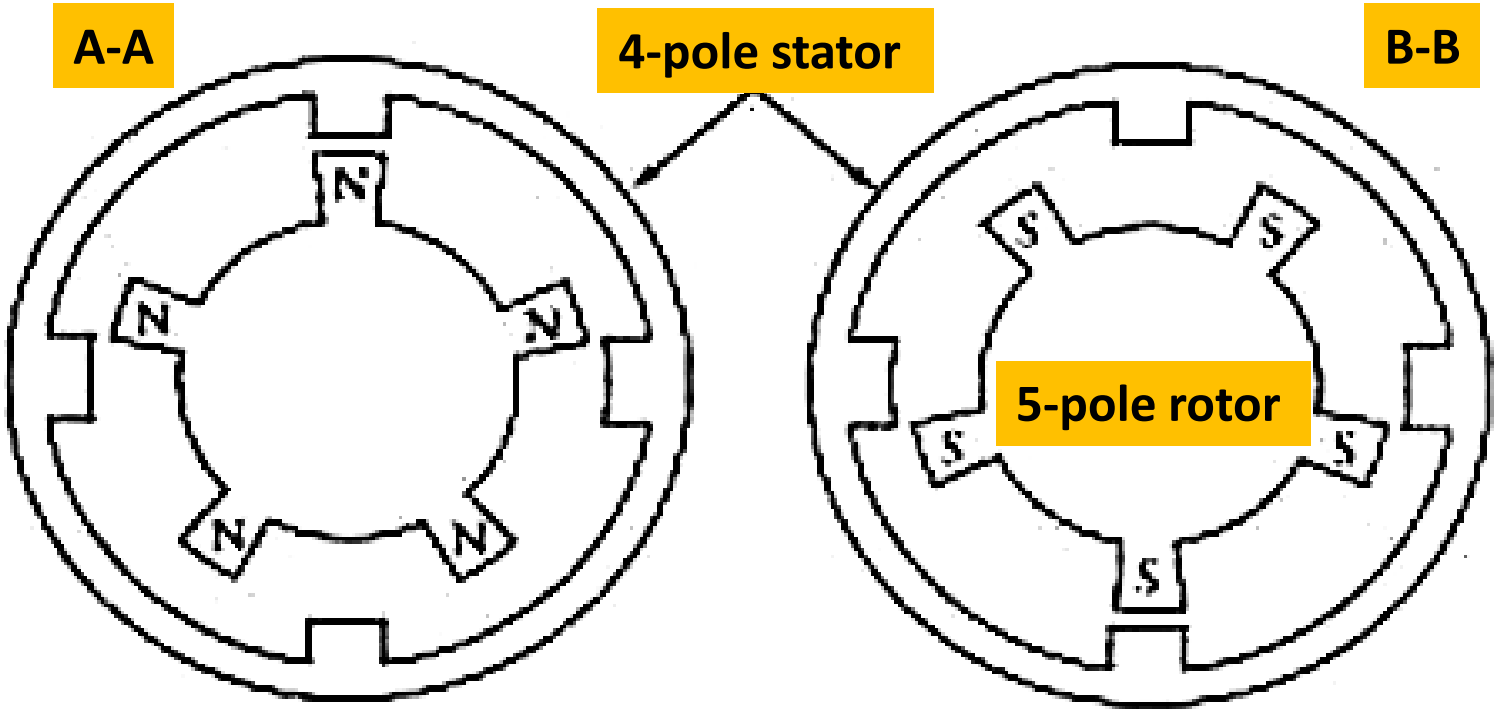
Construction of hybrid stepper motor

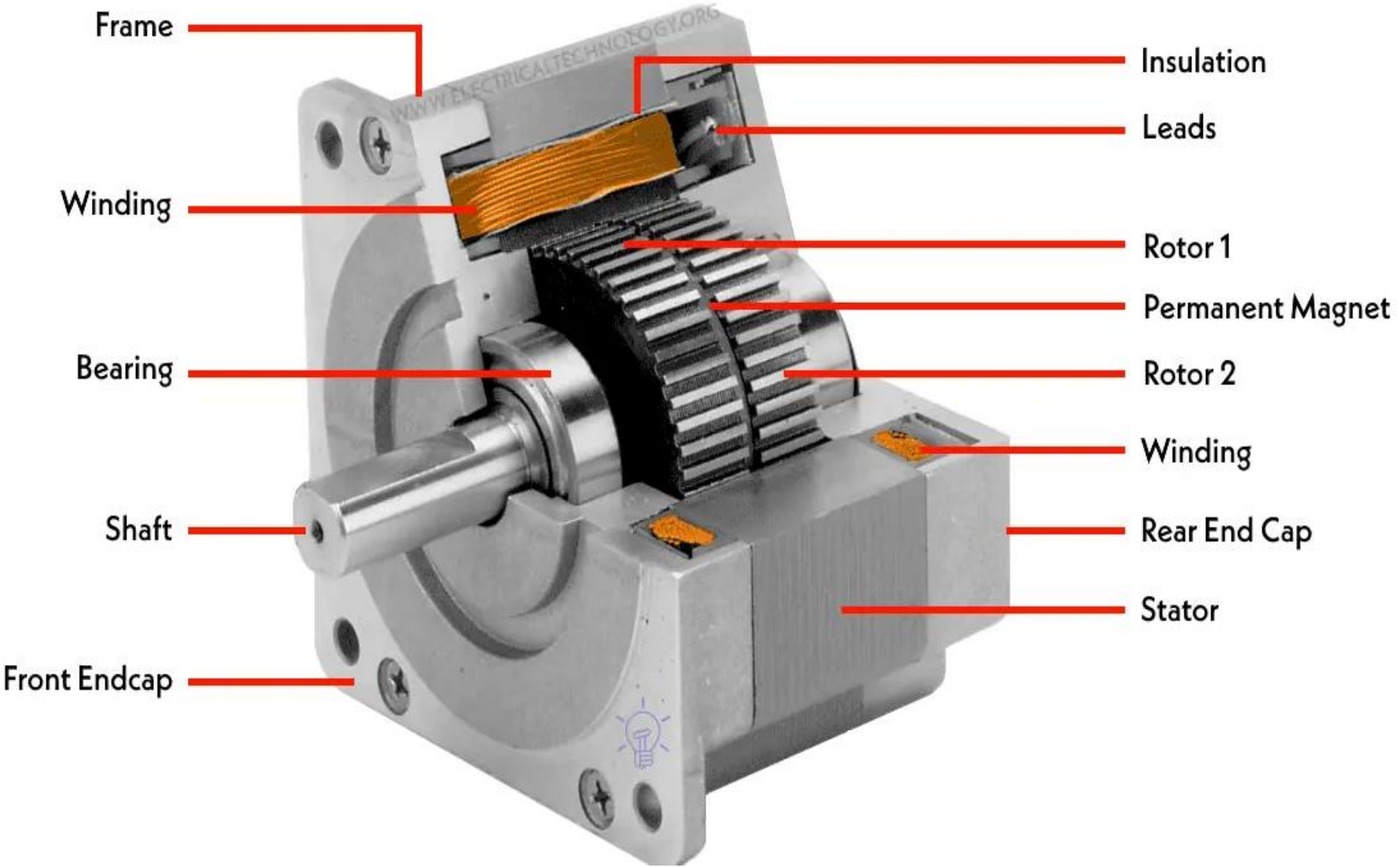
- تمتلك محركات الخطوة الهجينة جزء ثابت مماثل لتلك الموجودة في المحركات ذات الممانعة المتغيرة.
- يصمم الجزء الدوار بحيث يجمع بين كل من محركات الممانعة المتغيرة و المغناطيس الدائم.
- يتكون الدائر من مغناطيس دائم محوري في المنتصف ومجموعتين متماثلتين من أعمدة الحديد الناعمة عند الأطراف الخارجية المرتبطة بالقطبين الشمالي والجنوبي للمغناطيس الدائم .
- تشكل الأقطاب الدوارة المتصلة بالقطب الشمالي للمغناطيس الدائم القطب الشمالي، بينما تشكل الأقطاب الأخرى القطب الجنوبي كما هو موضح في الشكل.



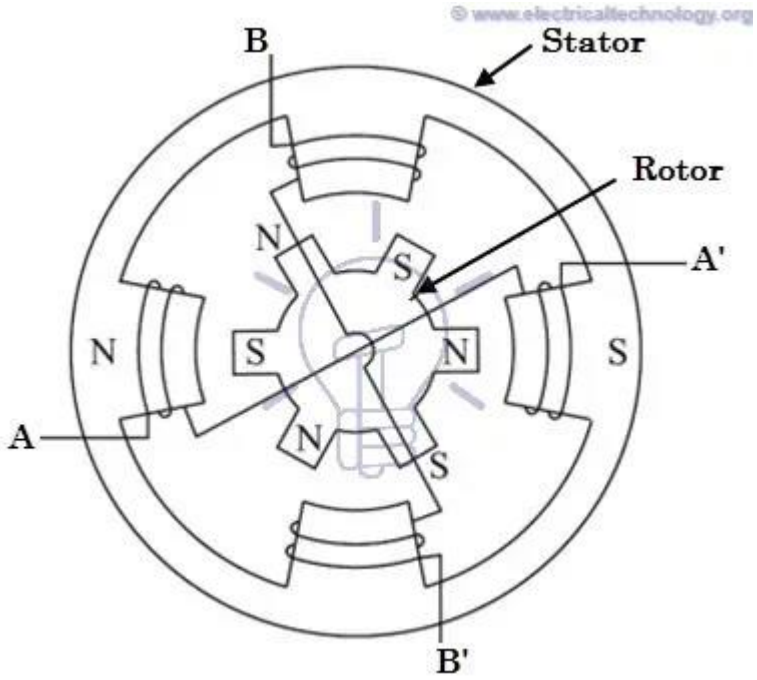
Construction of hybrid stepper motor

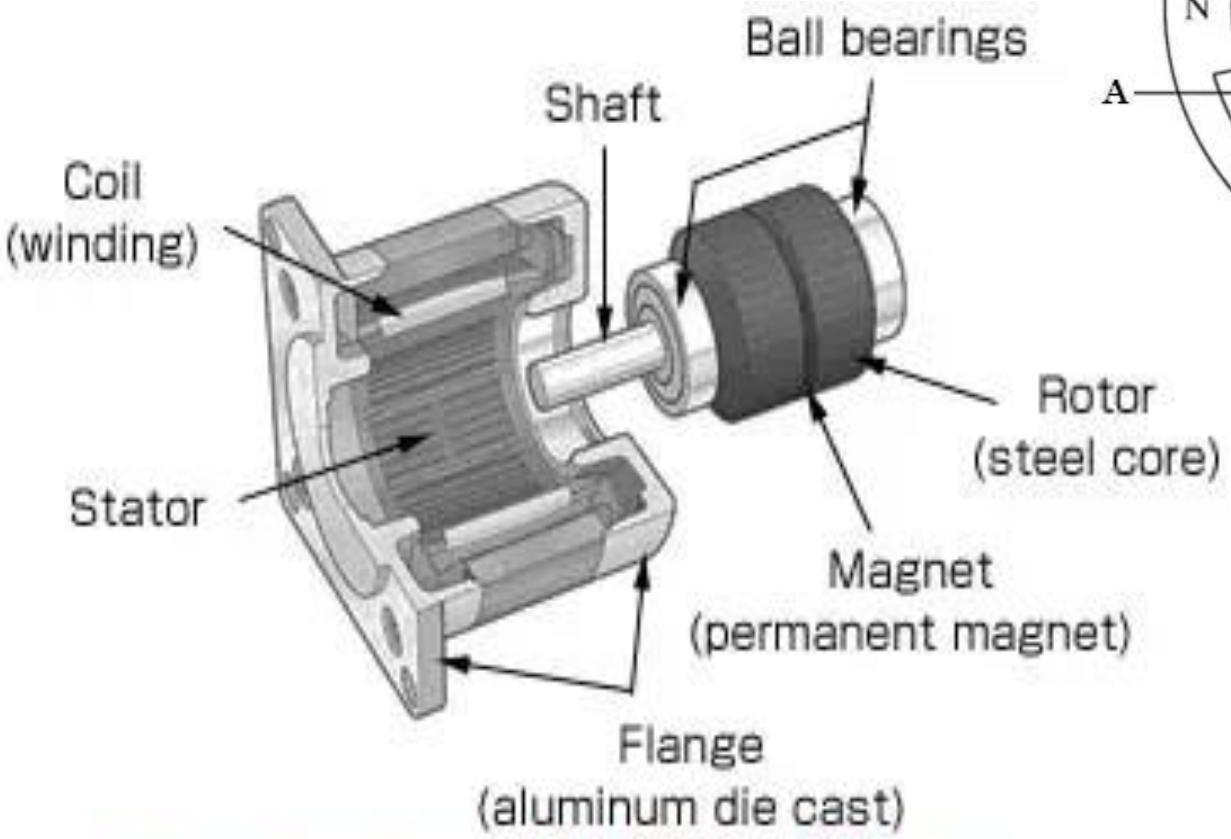
4-pole stator and 5-pole rotor



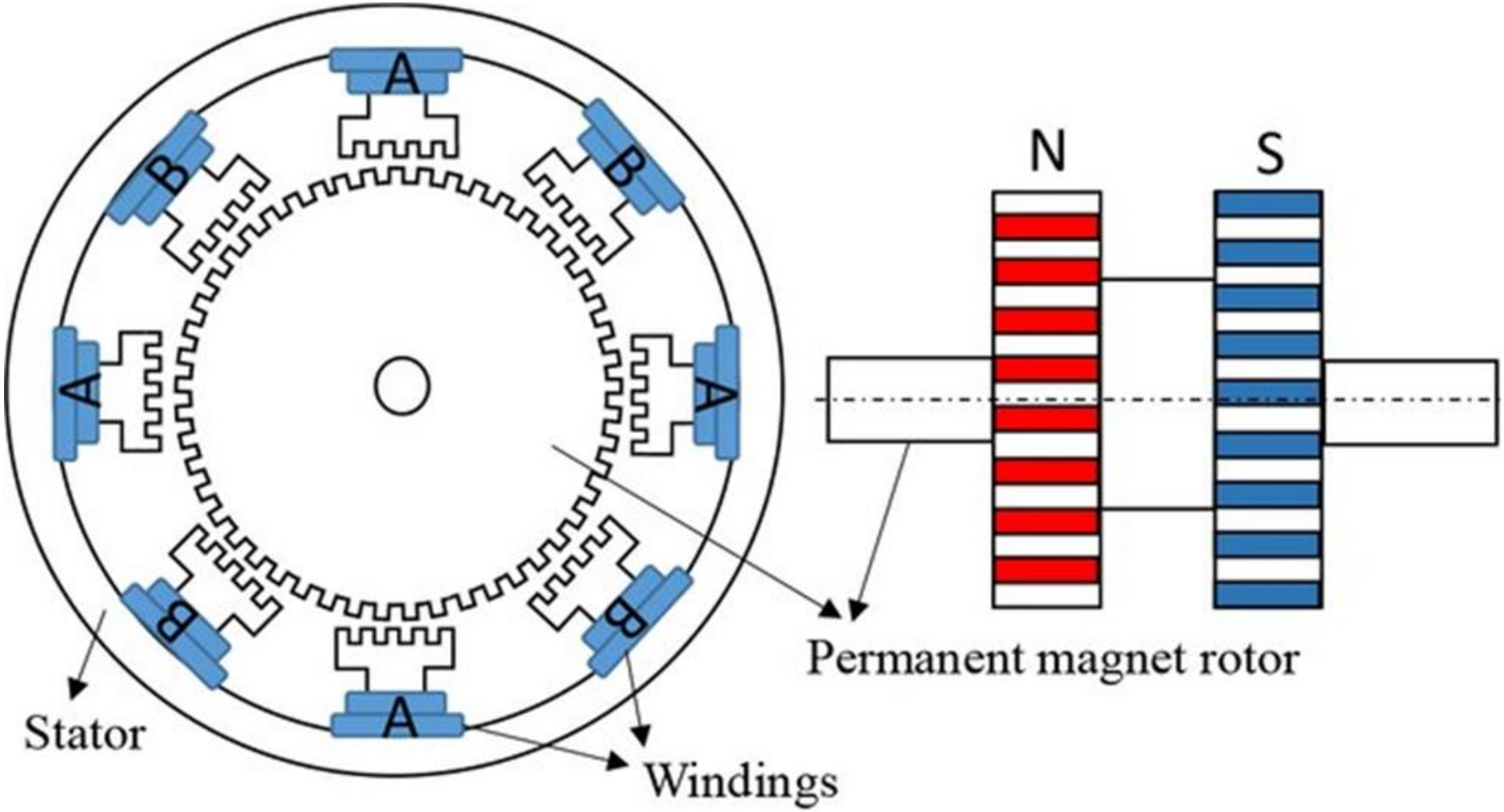

Frame
Winding
Bearing
Shaft
Front Endcap
Insulation
Leads
Rotor 1
Permanent Magnet
Rotor 2
Winding
Rear End Cap
Stator

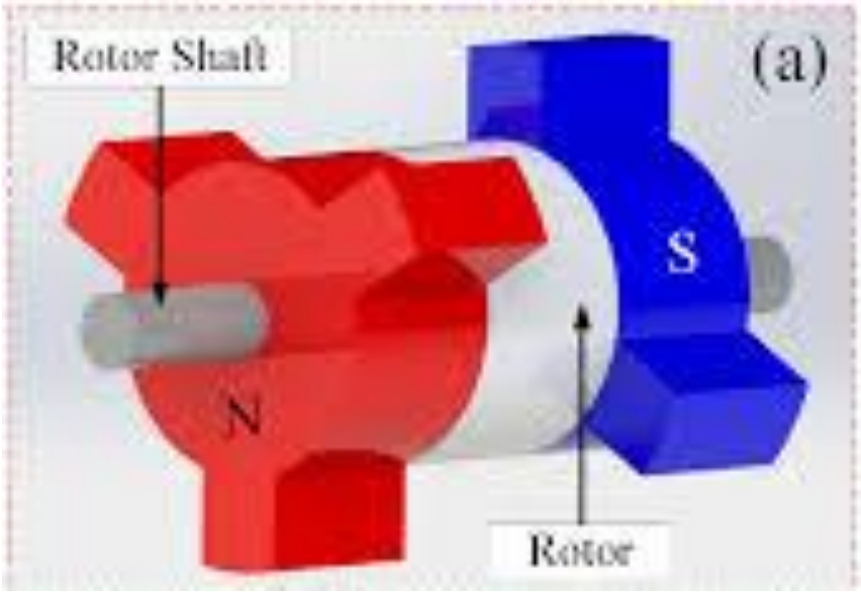
Construction of hybrid stepper motor

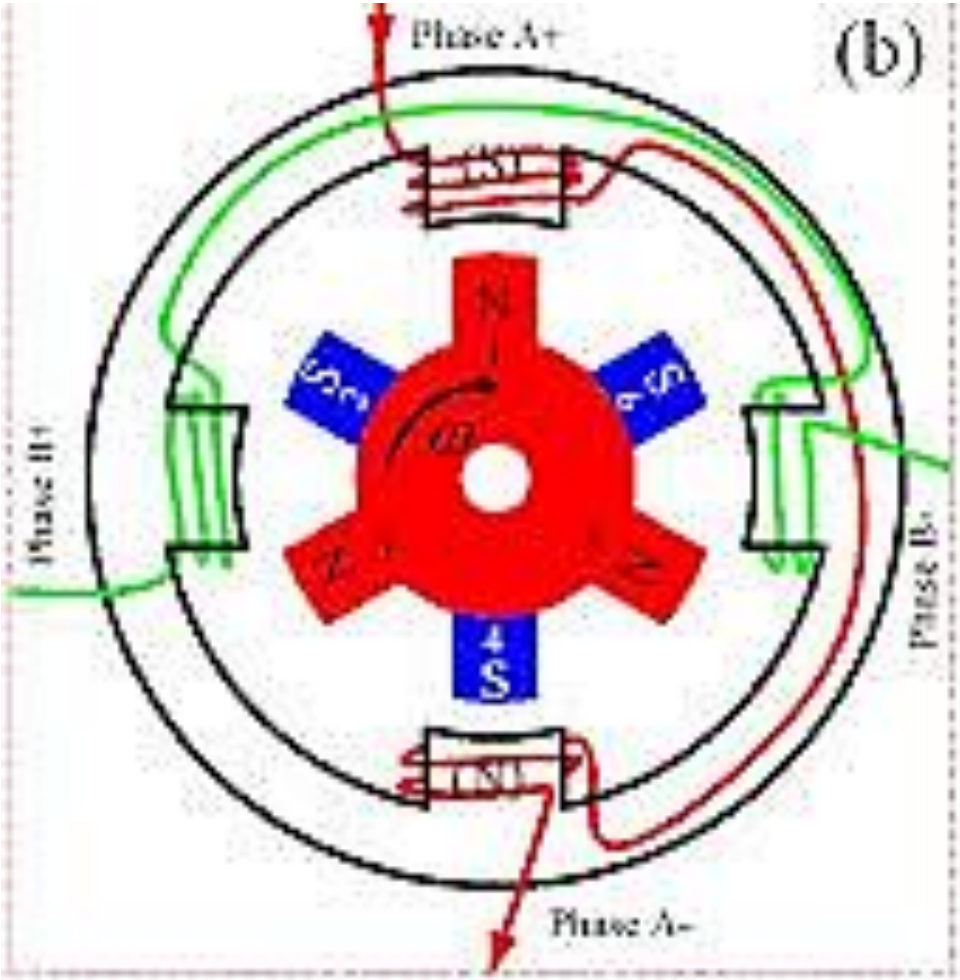




Construction of Stepper Motor

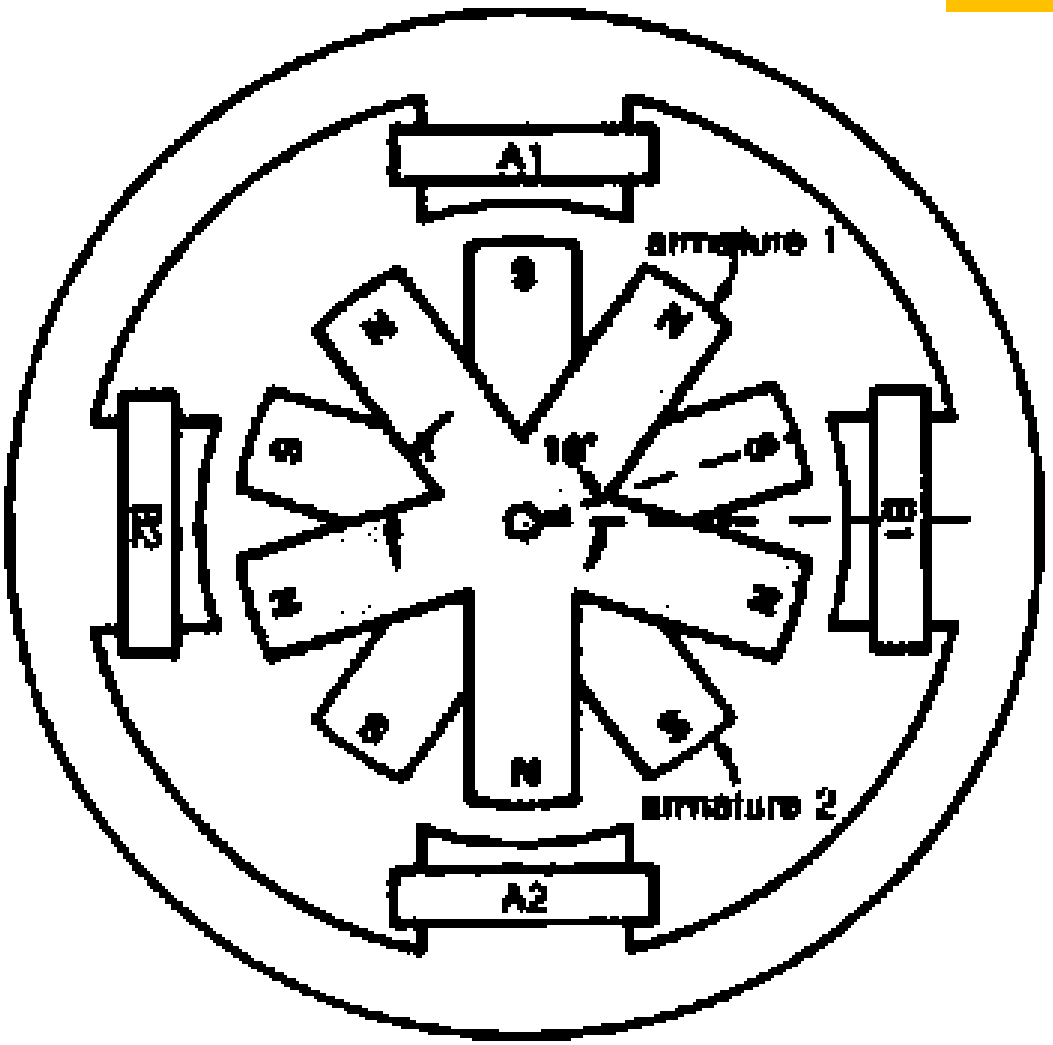

A
B
B
A
A
B
B
A
N
S
Permanent magnet rotor
Stator
Windings


Rotor Shaft
(a)
S
N
Rotor


Phase A+
(b)
N
S
S
S
Phase B-
Phase A-

Cross section view of

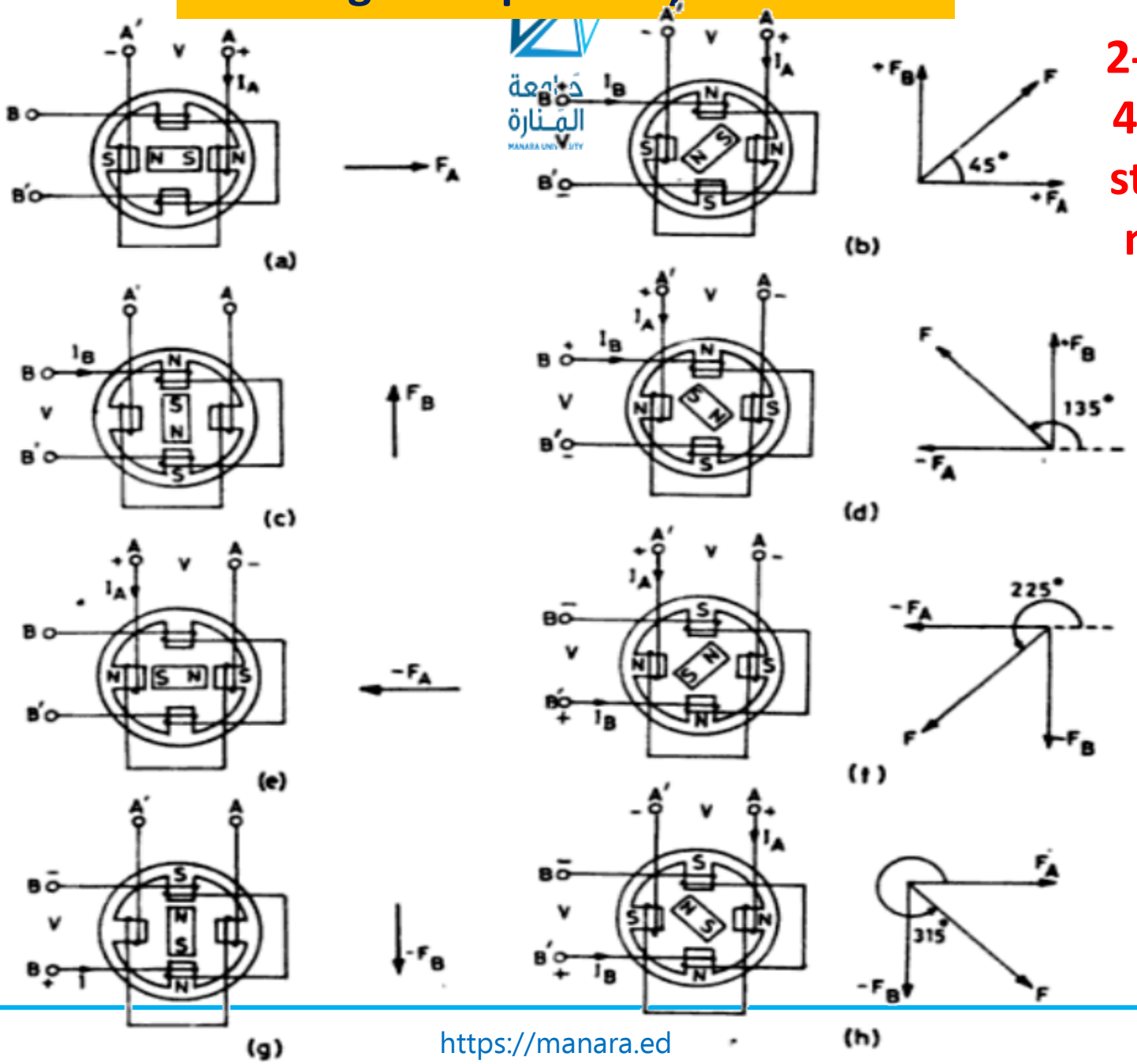
4-pole stator and 5-pole rotor hybrid stepper motor



هذه الأنواع من المحركات لها أوضاع تشغيل مماثلة لأنواع المغناطيس الدائم.

علاوة على ذلك، فهي تتميز بأحجام خطوات أصغر ولكنها مكلفة للغاية مقارنة بمحركات الخطوة ذات الممانعة المتغيرة.

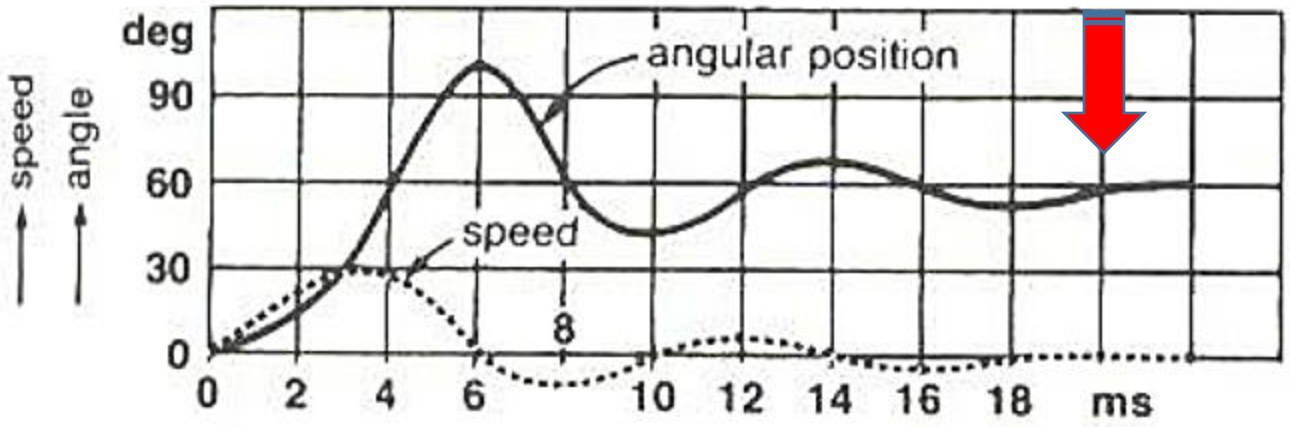
Working Principle of Hybrid Motors



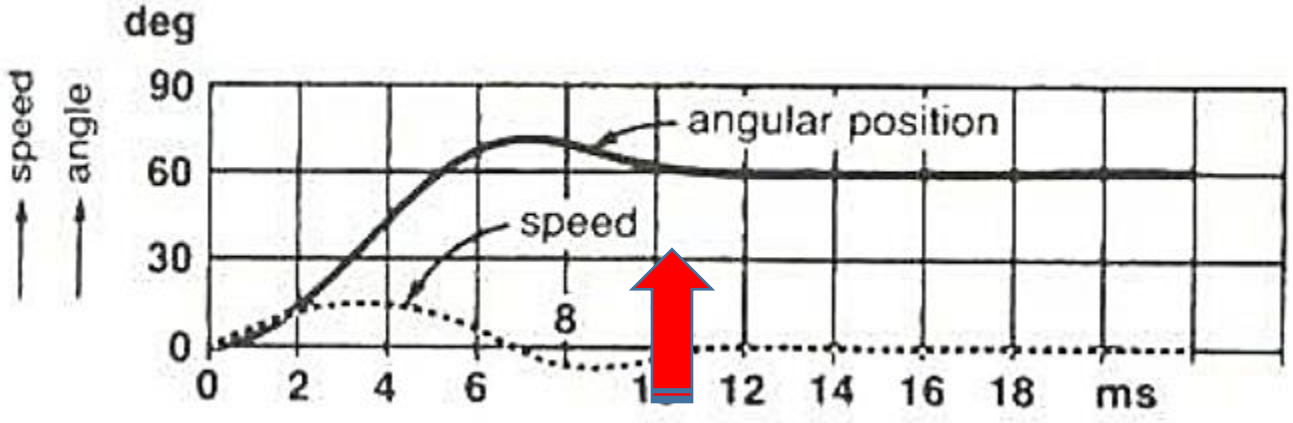
2-phase, 4-poles stepper motor

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

تأثير القصور الذاتي على السرعة الزاوية للدوار والموضع الزاوي
Effect of inertia on rotor angular speed and angular position



تأثير التخميد اللزج على السرعة الزاوية للدوار والموضع الزاوي
Effect of viscous damping on rotor angular speed and angular position



Modes of Operation:

هناك طريقتان رئيسيتان لتشغيل محركات الخطوة يمكن تلخيصهما فيما يلي:

وضع التشغيل والإيقاف:

- يتم التحكم بالمحرك ليستقر بعد كل خطوة قبل الانتقال إلى الخطوة التالية (rest).
- سرعة الدوران ستكون على شكل نبضات تنخفض إلى الصفر عند نهاية الخطوة، بينما موضع الدائر سيكون على شكل نبضات أيضاً ولكن بزمن استقرار عالي.
- يشار إليها أحيانًا بالبدء بدون وضع الخطأ. مطلوب الحد الأقصى المسموح به لمعدل الخطوة لهذا الوضع من التشغيل؛ وإلا فلن يتمكن المحرك من تتبع نبضات تيار التحكم وسيتم فقدان الخطوة.
- يعتمد هذا المعدل الأدنى على القصور الذاتي للمحرك (العطالة) وحالة التحميل.

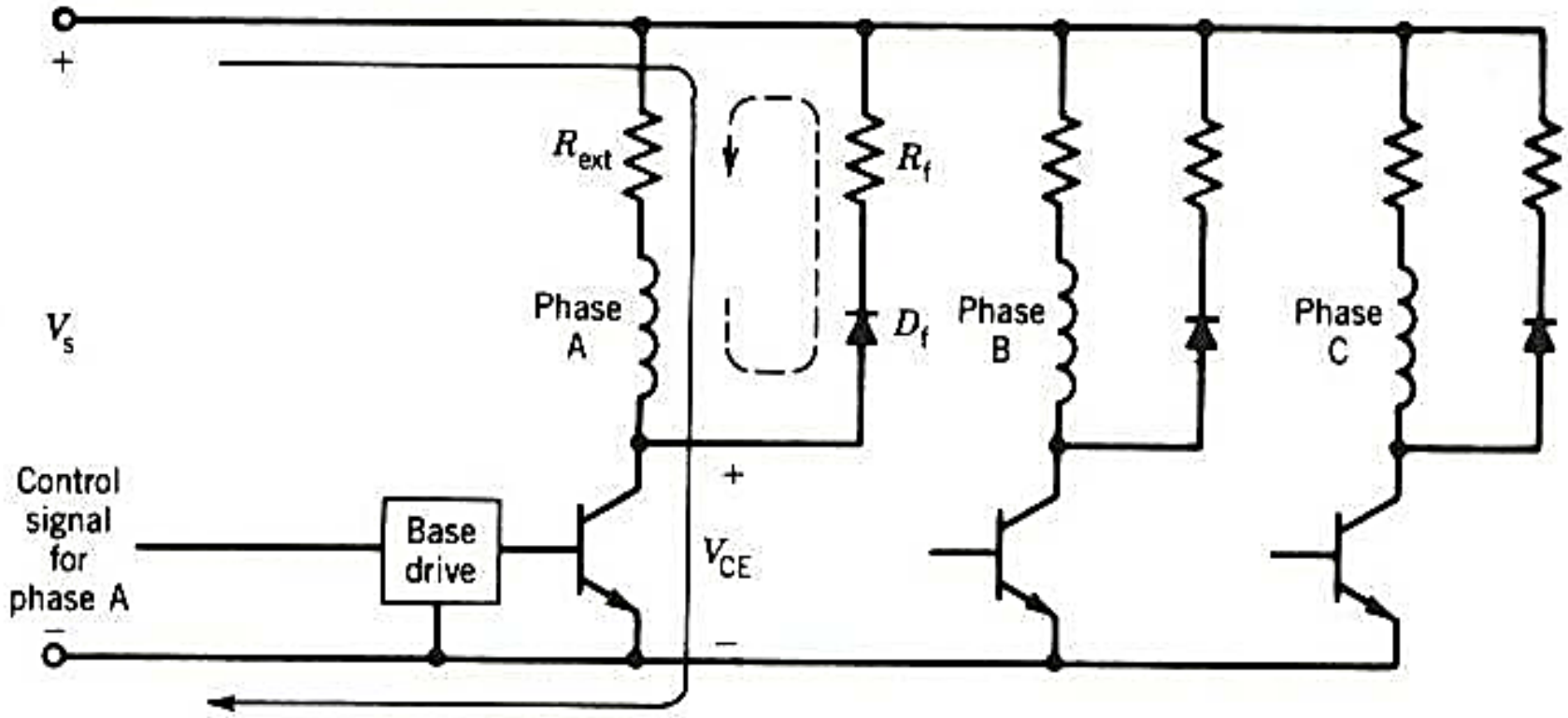
Drive Circuit

دارة القيادة

هناك دارتان رئيسيتان لقيادة المحركات الخطوة، وهما؛ دارات القيادة أحادية القطبية وثنائية القطبية (Uni-polar and Bi-polar drive circuits).

- دارة القيادة أحادية القطبية (Uni-polar Drive Circuit):

هذه الدارة مناسبة لمحركات الخطوة ذات الممانعة المتغيرة ثلاثية الطور.



يكون لكل ترانزستور وضعين للتشغيل على النحو التالي:

- **وضع التشغيل On Mode:** يوصل الترانزستور عندما يتدفق تيار بما فيه الكفاية عبر قاعدة الترانزستور، وبالتالي، سيتم تطبيق جهد التغذية عبر ملف الطور ويتم توصيل المقاومة الخارجية (Rext) على التوالي مع ملف الطور. يتم ضبط حجم مصدر التيار المستمر لإنتاج تيار الطور الاسمي عند تشغيل المفتاح. لذلك،

$$\tau_{ON} = \frac{L_{ph}}{(R_{ph} + R_{ext})}$$

$$V_s = I(R_{ph} + R_{ext})$$

Vs: هو جهد مصدر التيار المستمر،
I : هو التيار الاسمي لملف الطور في A،
Rph: مقاومة ملف الطور بـ Ω،
Rext: هي المقاومة الخارجية المتصلة على التوالي بملف الطور في Ω.
τ_{ON}: الثابت الزمني لمرحلة التوصيل.

إن محارضة ملف الطور كبيرة جدًا وبالتالي تؤدي إلى معدل بطيء لتيار ملف الطور الذي قد يؤدي إلى تشغيل غير مرضي للمحرك بمعدلات خطوة عالية (τ_{ON}). لذلك، يتم توصيل المقاومة الخارجية على التسلسل مع ملف الطور لتقليل الثابت الزمني.

- وضع إيقاف التشغيل OFF Mode :

في هذا الوضع، يتم فصل الترانزستور وسيستمر مرور تيار ملف الطور عبر الديود الحر Df والمقاومة الحرة Rf وسوف يتشكل جهد اعظمي على اطراف الترانزستور VCE (max) يتحدد بالعلاقة التالية:

$$V_{CE\,(\max)} = V_s + I\,R_f$$

خلال هذه المرحلة سوف يتخامد تيار الطور بالثابت الزمني التالي:

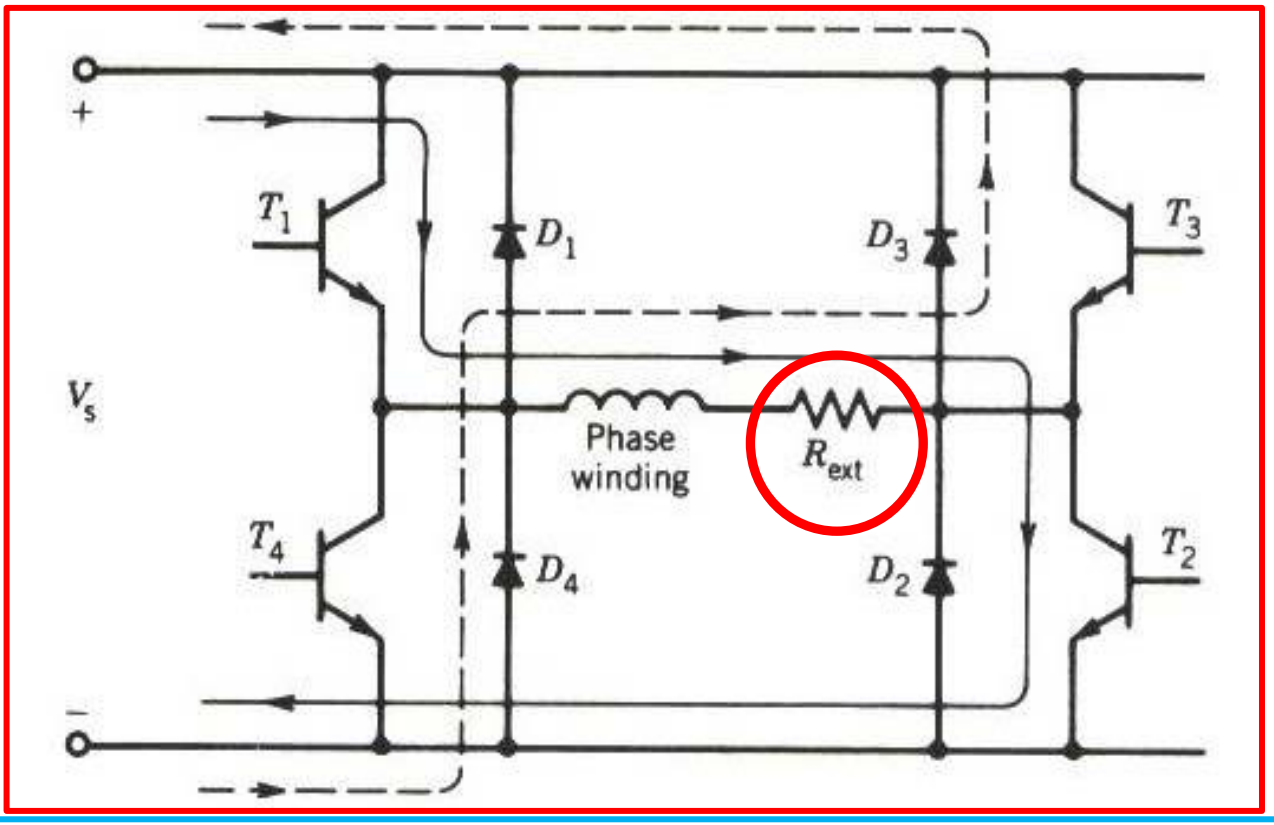
$$\tau_{OFF} = \frac{L_{ph}}{(R_{ph} + R_{ext} + R_f)}$$

Bi-polar Drive Circuit

دارة القيادة ثنائية القطبية

جَامعة المَنارة

يعرض الشكل دارة القيادة ثنائية القطب لطور واحد. هذه الدارة مناسبة لمحركات الخطوة ذات المغناطيسية الدائمة أو الهجينة. ويكون لكل طور دارة قيادة منفصلة. ويتم تغذية جميع دارات القيادة من نفس مصدر التيار المستمر.
تعمل هذه الدارات بمرحلتي تشغيل على النحو التالي:



One phase of a Bi-polar drive circuit for permanent magnet or hybrid stepper motors

• T1 و T2 On Mode

يتم ذلك عن طريق تامين نبضات تحكم كافية من دارة القيادة على قاعدة كل من الترانزستورين T1 و T2، وبالتالي فإن التيار سوف يتدفق بملف الطور كما هو مبين بالخط المتصل في الشكل.

• On Mode D3 and D4

يتم ذلك عن طريق فصل الترانزستورين T1 و T2، في هذا الوضع لا يمكن لتيار ملف الطور أن يغير اتجاهه أو يتراجع إلى الصفر على الفور بعد إيقاف تشغيل T1 و T2 بسبب محارضات ملفات الاطور. وبالتالي يستمر التيار في التدفق عبر D3 و D4 كما هو موضح بواسطة الخط المنقط في الشكل. يتم في هذه المرحلة تفريغ الطاقة المخزنة بملفات الاطوار في منبع التغذية (اعادة القدرة للمصدر).

يدور المحرك بالاتجاه العكسي عن طريق عكس اتجاه تيار ملف الطور عن طريق تفعيل T3وT4 . عند إيقاف تشغيل T3 و T4 سيتم توفير المسار الحر من خلال D1 و D2 .

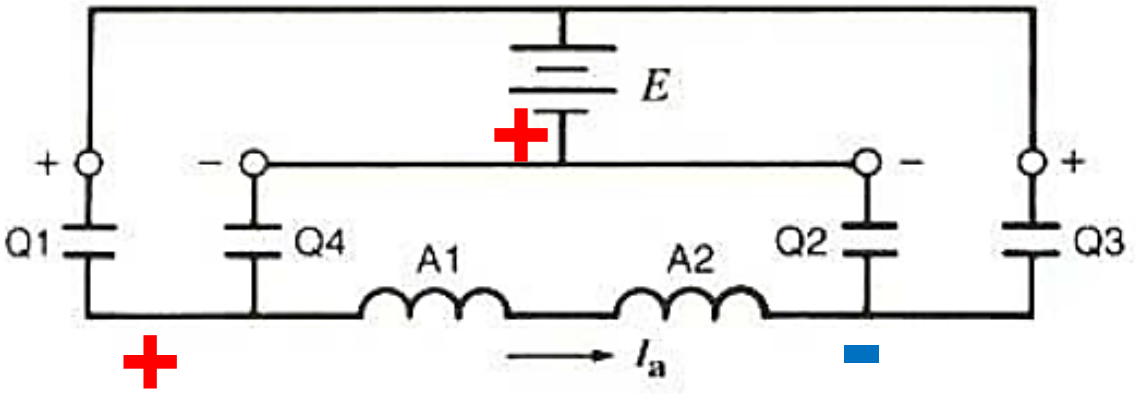
تتميز الدارة ثنائية القطب بكفاءة أعلى من أحادية القطب نظرا للأسباب التالية:

- تحقيق حالة اعادة القدرة من الطاقة المخزنة إلى مصدر التيار المستمر .
- التخامد السريع للتيار الحر أثناء تفريغ المحارضة من خلال مقاومة ملف الطور والمقاومة الخارجية.
- ليست هناك حاجة لمقاومة فرع الديود الحر.
- عدد اكبر من ترانزستورات القيادة (كلفة اكبر).
- يتم تشغيل معظم أنواع محركات الخطوة الكبيرة (> 1 كيلو واط) بواسطة محرك ثنائي القطب الدائرة بما في ذلك أنواع الممانعة المتغيرة.

تتابع التبديل Switching Sequence:

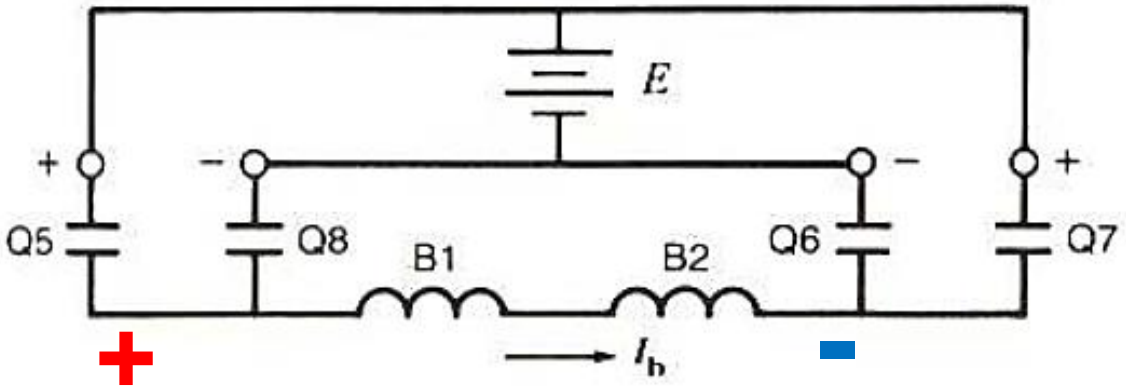
يبين الشكل دارة محرك خطوة هجين رباعي الأقطاب. يتم تشغيل المحرك بواسطة دارة قيادة ثنائية القطبية.

هناك ثلاثة تقنيات تبديل للتحكم وهي: تبديل الموجة Wave Switching، التبديل العادي Normal Switching، والتبديل بنصف الخطوة Half-Step Switching .



Q1;Q2

Drive circuit for the hybrid motor under consideration



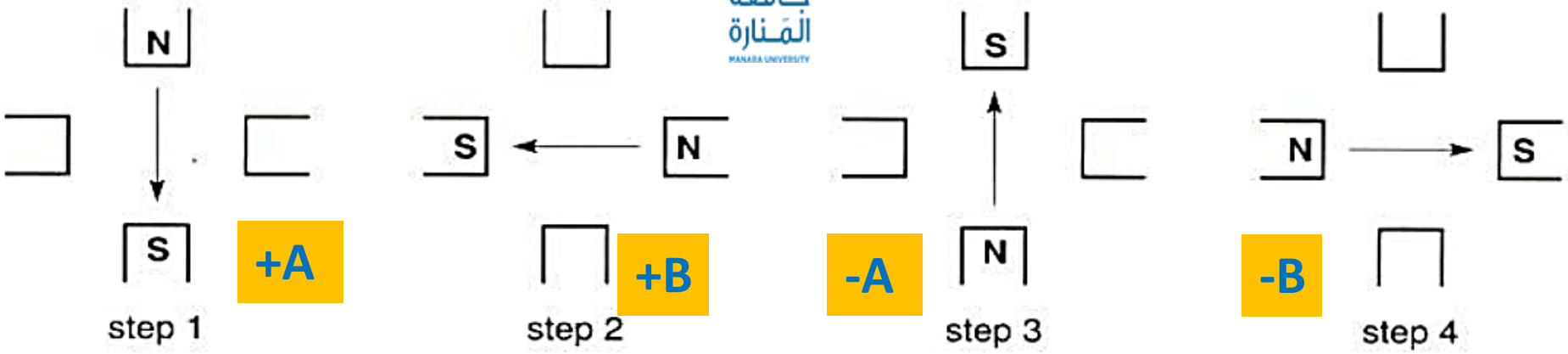
Q5;Q6

تبديل الموجة
Wave Switching

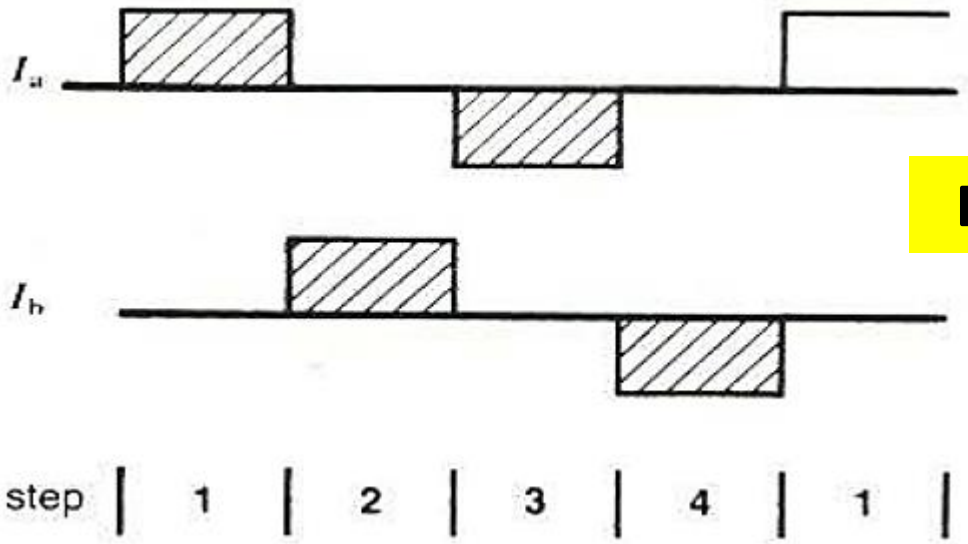
يتم في هذه التقنية توصيل طور واحد من كل ملف ليدور التدفق في الثغرة بمقدار 90 درجة لكل خطوة.

يعرض الجدول مراحل التبديل للدوران في اتجاه عقارب الساعة.

		+A	+B	-A	-B	+A
Step		1	2	3	4	1
Q1	Q2	on	—	—	—	on
Q3	Q4	—	—	on	—	—
Q5	Q6	—	on	—	—	—
Q7	Q8	—	—	—	on	—



اتجاهات التدفق حسب المراحل والاطوار A . B



اشكال اشارات التيارات للملفين A و B

Normal Switching

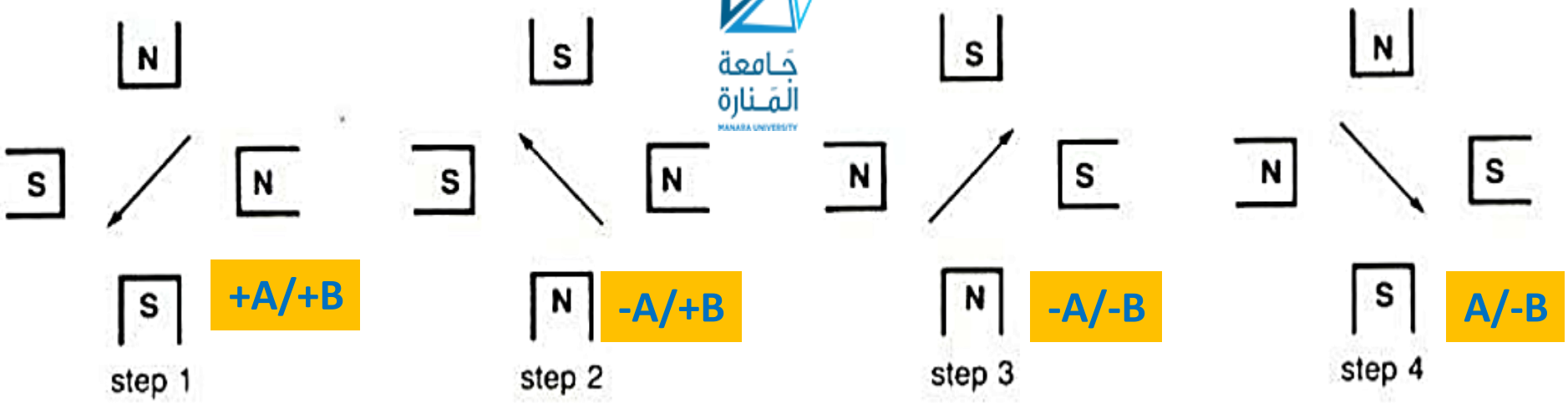
التبديل الطبيعي

يتم في هذه التقنية توصيل الملفات بشكل دائم ويتم التبديل على احد هذه اطوار الملفات ومنتصف الملف ليدور التدفق الناتج بمقدار 90 درجة لكل خطوة موجه نحو منتصف المسافة بين قطبي الجزء الثابت.

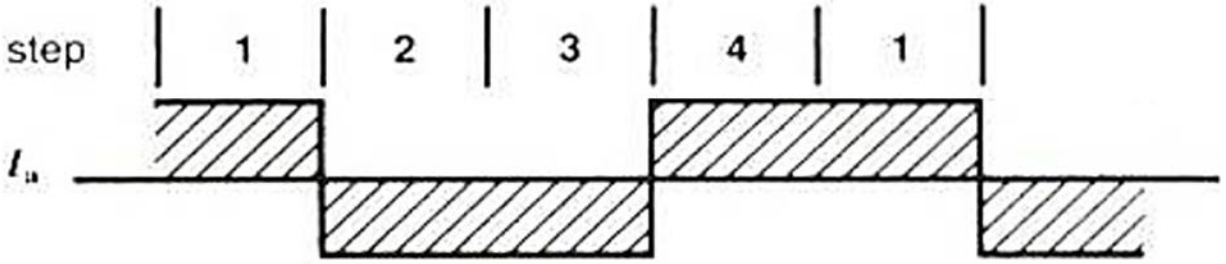
تتميز هذه التقنية بعزم دوران أكبر قليلاً من تقنية تبديل الموجة.

			+A/+B	-A/+B	-A/-B	+A /-B	
	Step		1	2	3	4	1
+A	Q1	Q2	on	—	—	on	on
-A	Q3	Q4	—	on	on	—	—
+B	Q5	Q6	on	on	—	—	on
-B	Q7	Q8	—	—	on	on	—

تسلسل التبديل للدوران في اتجاه عقارب الساعة



اتجاهات التدفق حسب المراحل والاطوار A . B



اشكال اشارات التيارات للملفين A و B

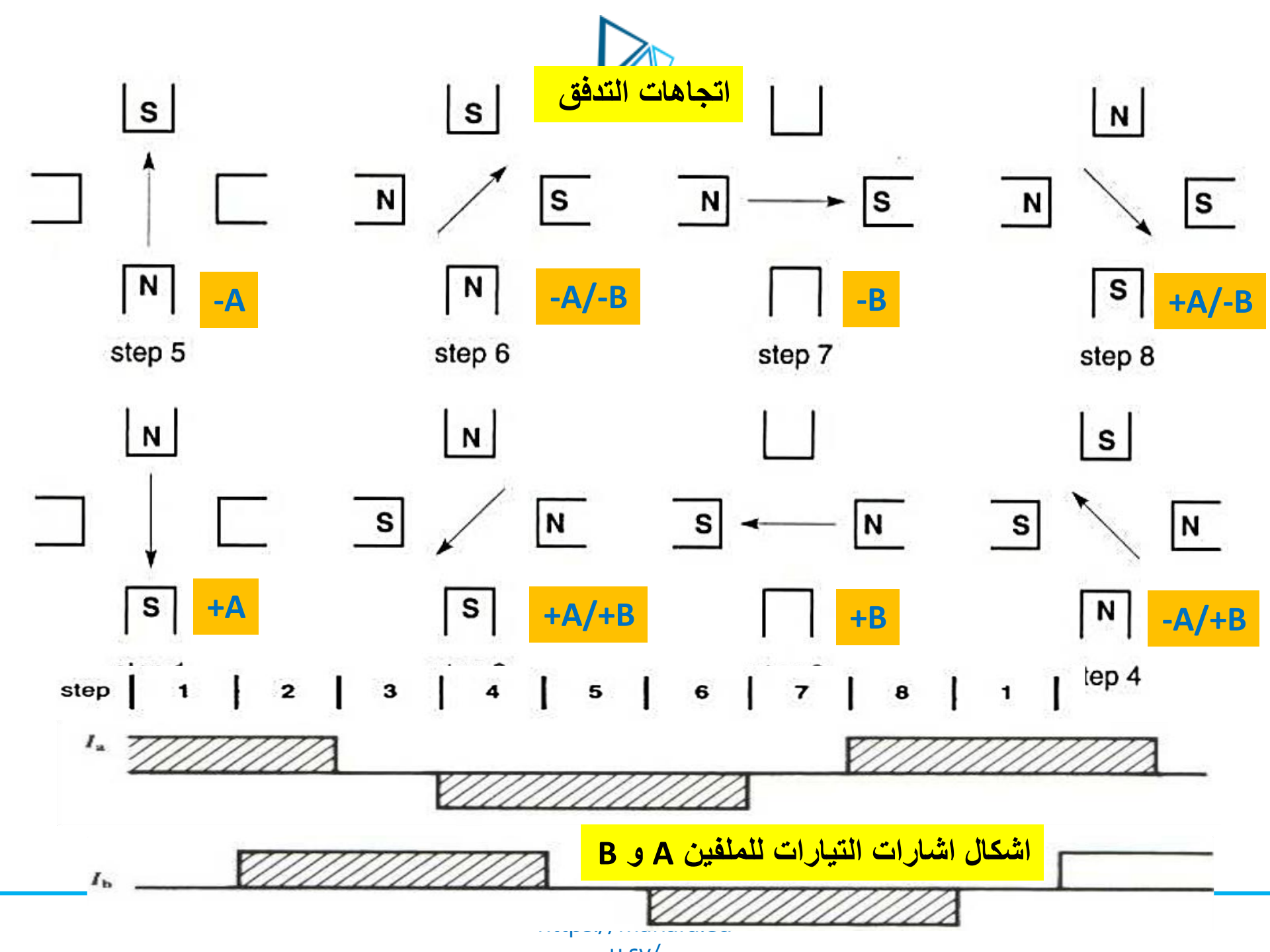
Half-Step Switching Sequence

تقنية التبديل بنصف الخطوة

- في هذه التقنية، يتم الجمع بين تسلسل التبديل لكل من تقنيات الموجة والعادي لتحقيق دوران بالتدفق بمقدار 45 درجة لكل خطوة.
- تتميز هذه التقنية بتحقيق دقة أفضل للتحكم بالموضع.

		-A	-A/-B	-B	+A/-B	+A	+A/+B	+B	-A/+B	
STEP		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**1**
Q1	**Q2**	on	on						on	on
Q3	**Q4**				on	on	on			
Q5	**Q6**		on	on	on					
Q7	**Q8**						on	on	on	

تسلسل تبديل نصف خطوة للدوران في اتجاه عقارب الساعة

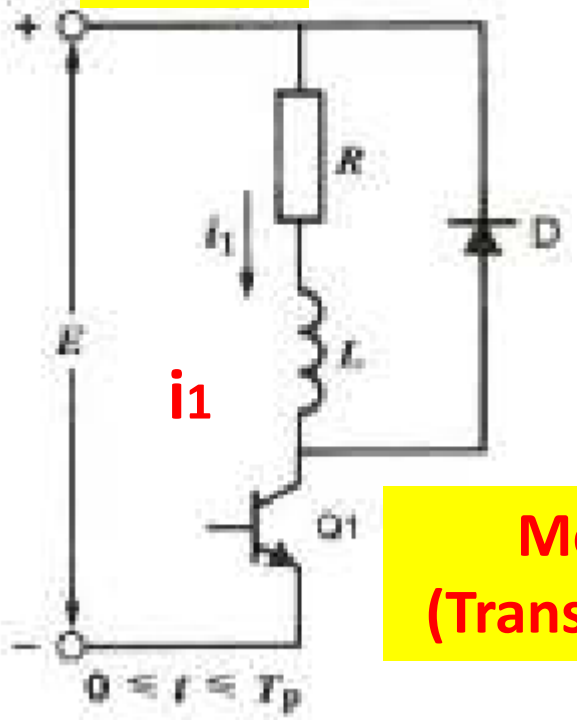

اتجاهات التدفق
S
N
-A
step 5
-A/-B
step 6
-B
step 7
+A/-B
step 8
+A
+A/+B
+B
-A/+B
step
1
2
3
4
5
6
7
8
1
tep 4
I_a
I_b
اشكال اشارات التيارات للملفين A و B

تقنية التبديل عالية السرعة

في التقنيات السابقة، كانت اشارات التيارات مثالية على شكل نبضات مستطيلة، وبسبب محارضة الملفات، فإن التيار لا يمكن أن يغير قيمته على الفور.

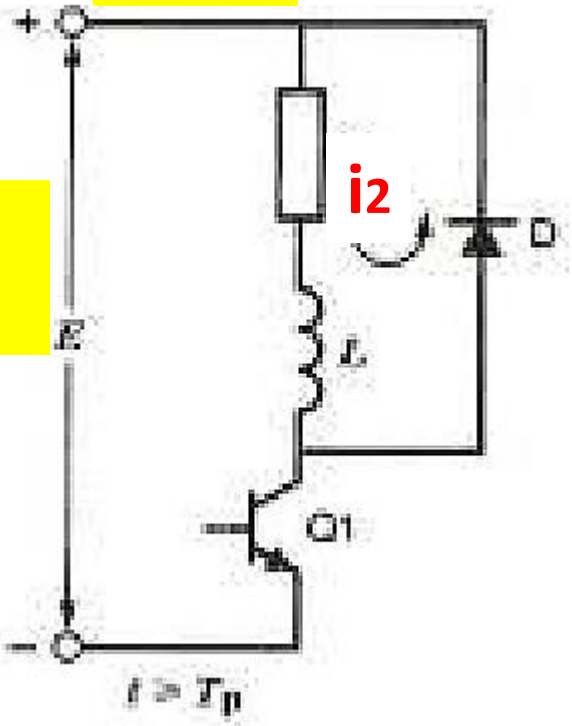
ان الهدف من هذه التقنية هو تحقيق دقة اكبر لموضع الدائر مع سرعات دوران عالية.

(i = i1)



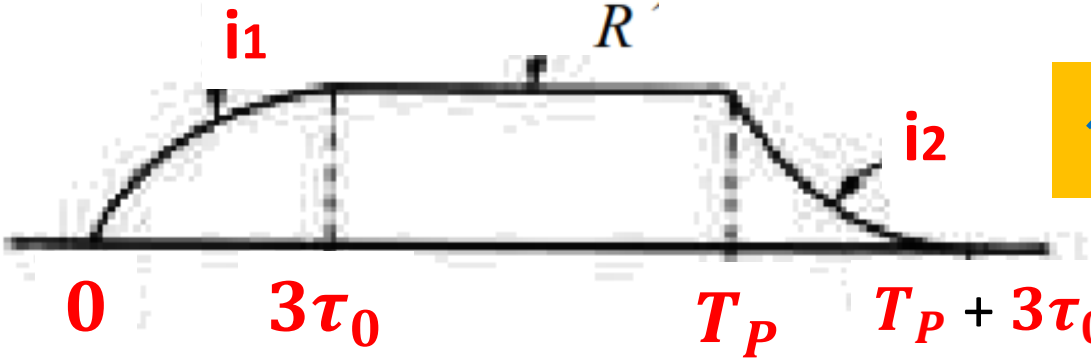
Mode 1
(Transistor ON)

(i = 0)



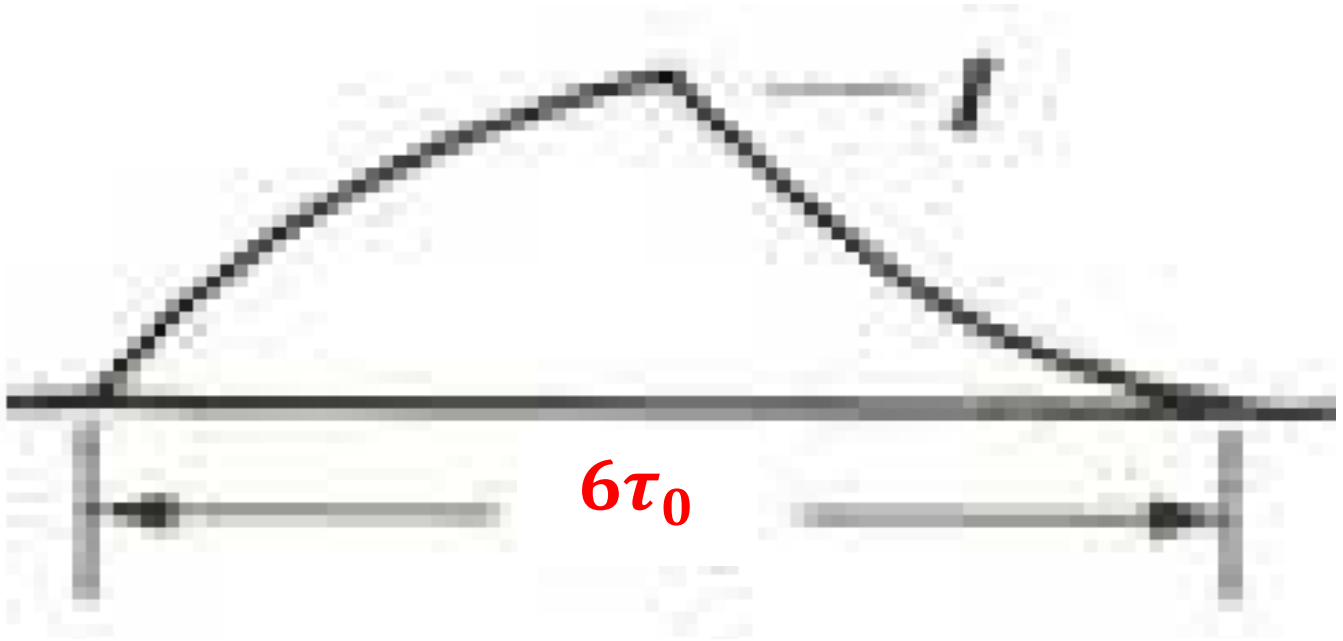
Mode 2
(Transistor OFF)

$$I = \frac{E}{R}$$



$$\tau_0 = L/R$$

اعلى سرعة للمحرك عندما تكون عرض فترة توصيل الترانزستور تعادل $3\tau_0$

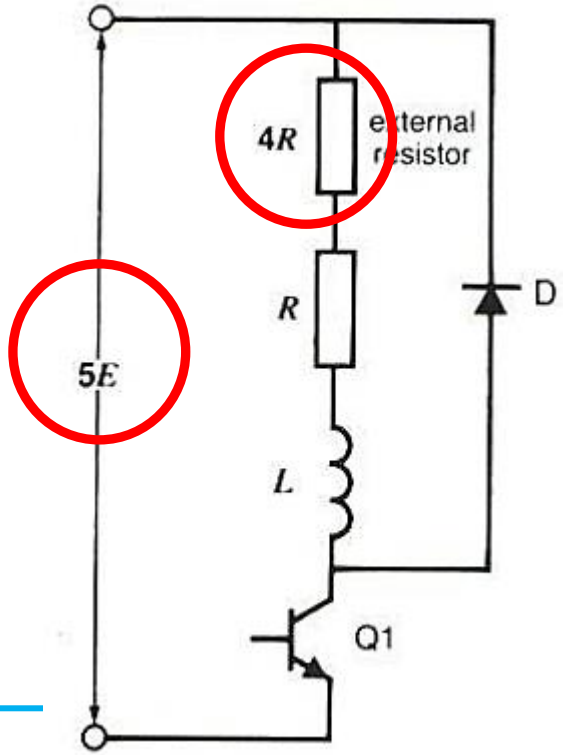


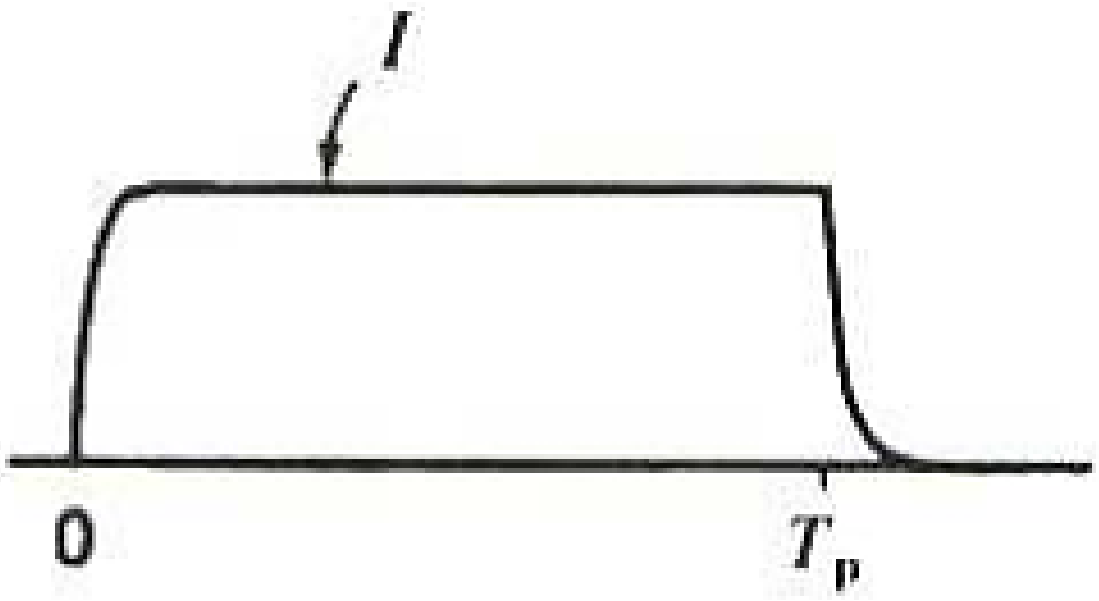
$$TP = 2 * 3 * \tau_0 = 6\tau_0$$

هناك طريقتان يمكن تطبيقهما لزيادة معدل التبديل switching rat.

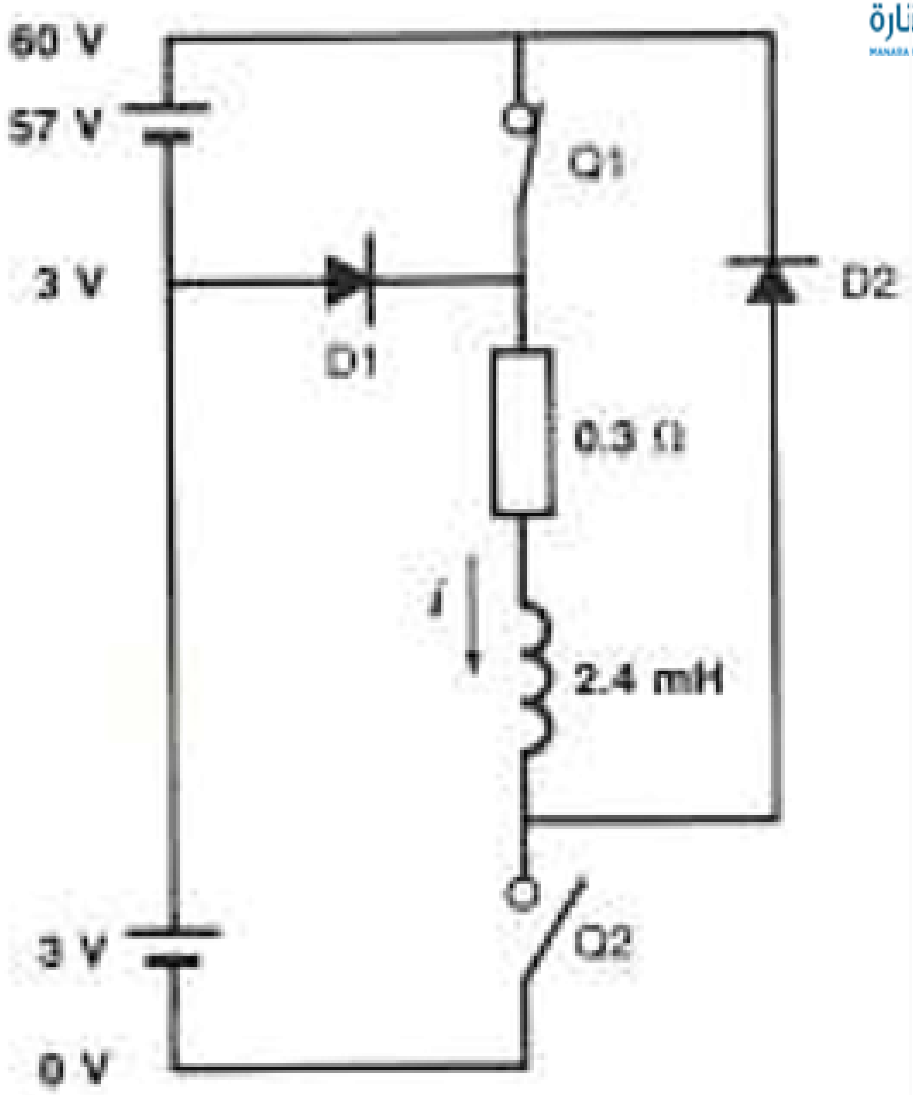
1. **إضافة المقاومة الخارجية External Resistance:** عن طريق إدخال مقاومة خارجية 4R على التوالي مع ملف الطور للمحرك، لتقليل الثابت الزمني للدارة τ_0.

تتطلب هذه الطريقة زيادة قيمة مصدر التيار المستمر إلى خمسة أضعاف قيمته الأولية 5E. **مما يشكل زيادة في ضياعات الطاقة بالمقاومات.**





القيادة بمستويين
:Bi-level Drive

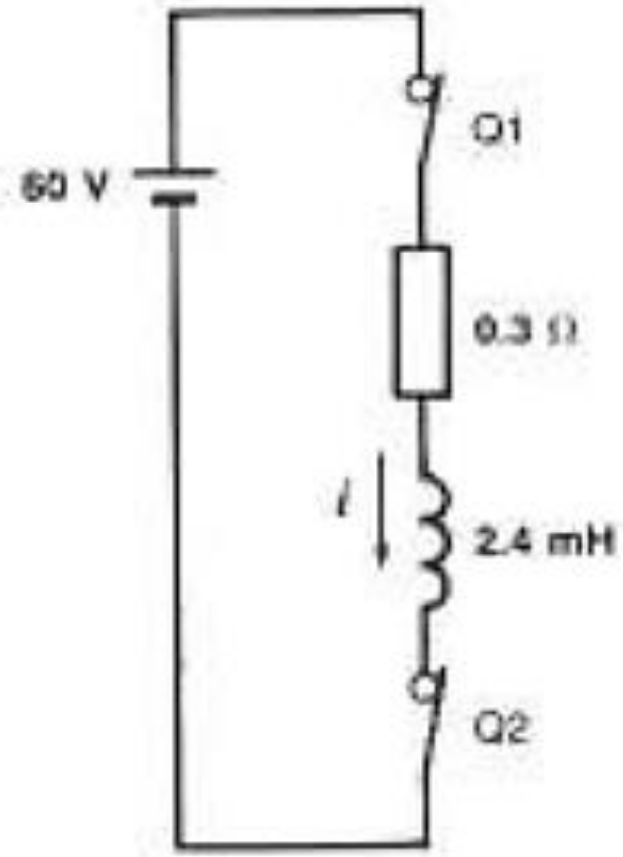


في هذه الطريقة :

- لا تستخدم مقاومات اضافية.
- يتم استخدام مفتاحين يمكن التحكم فيهما (Q1;Q2) وديودين في كل طور .
- ومنبع جهد اضافي Eext.
- تعمل الدارة بثلاث وضعيات.

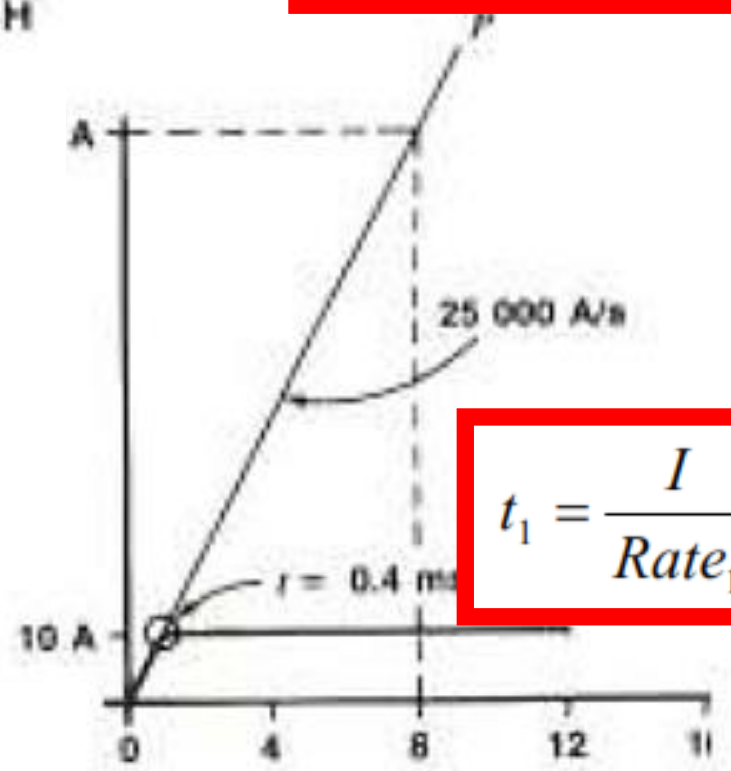
1. Q1+Q2:

حتى يصل التيار الى القيمة الاسمية



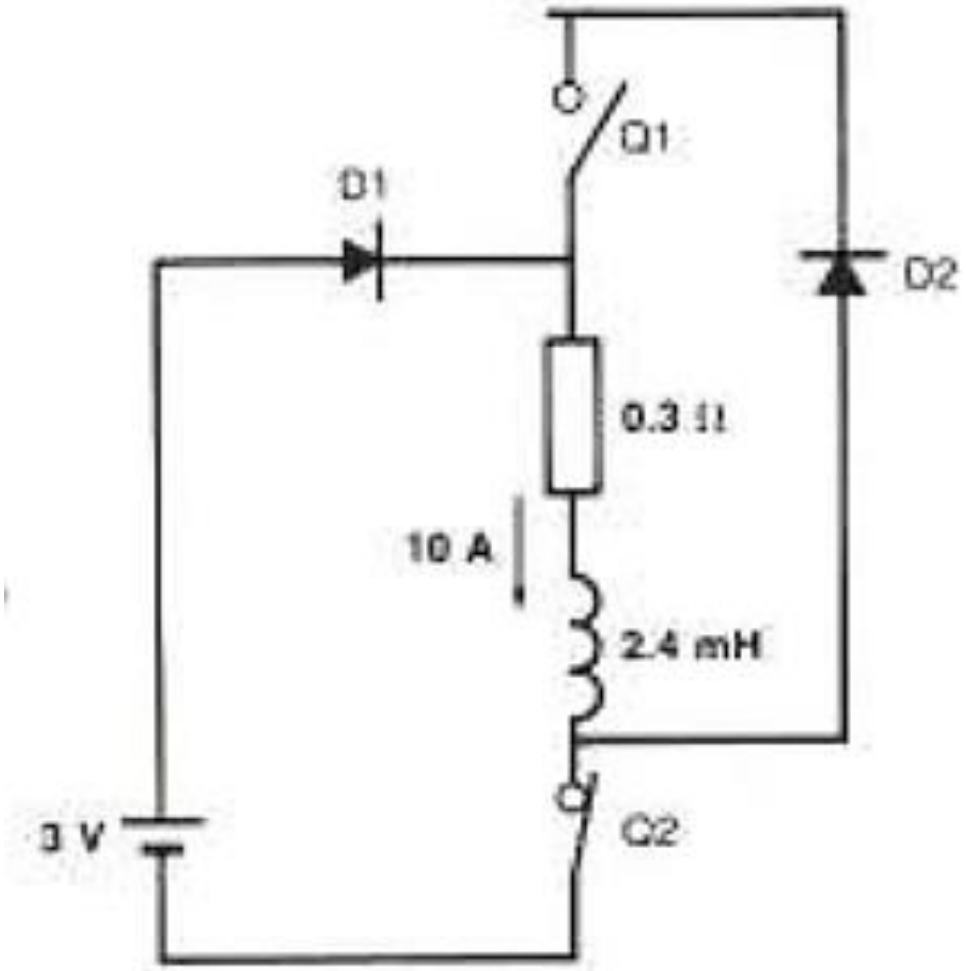
$$\tau_O = \frac{L}{R} = \frac{2.4x10^{-3}}{0.3} = 8ms$$

$$Rate_1 = \frac{\frac{E + E_{est}}{R}}{\tau_O} = \frac{\frac{3+57}{0.3}}{0.008} = 25{,}000\,A/\sec$$



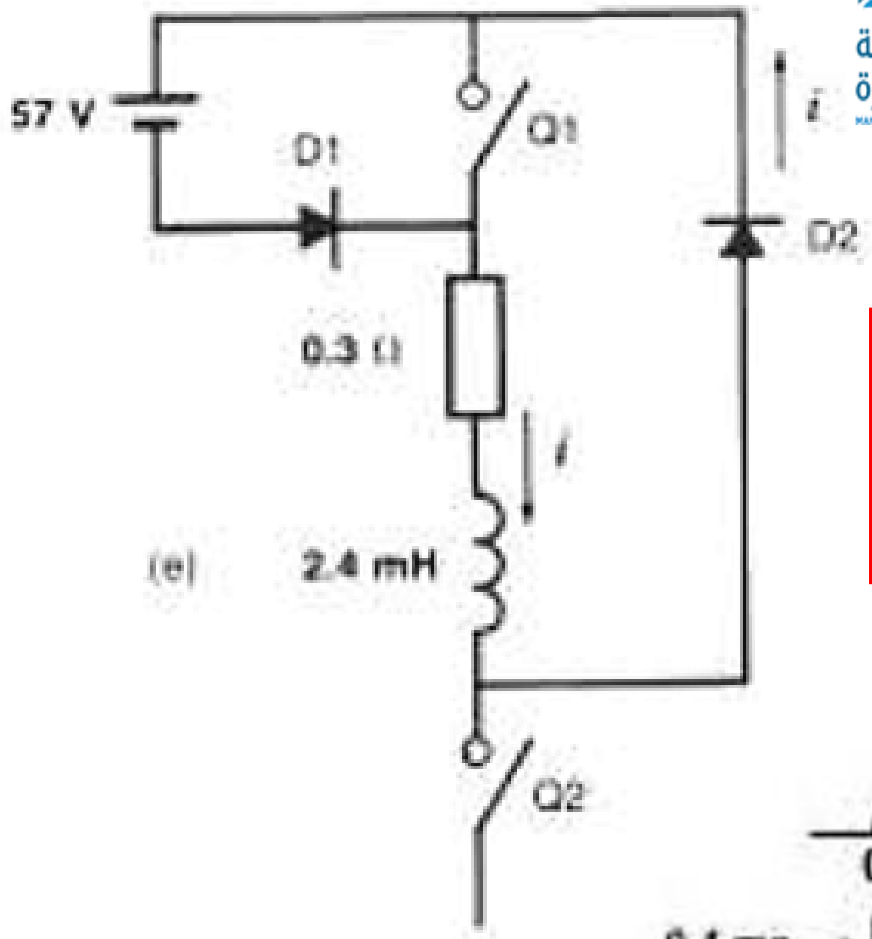
$$t_1 = \frac{I}{Rate_1} = \frac{10}{25{,}000} = 0.4ms$$

Q1 OFF ;Q2 ON: .2



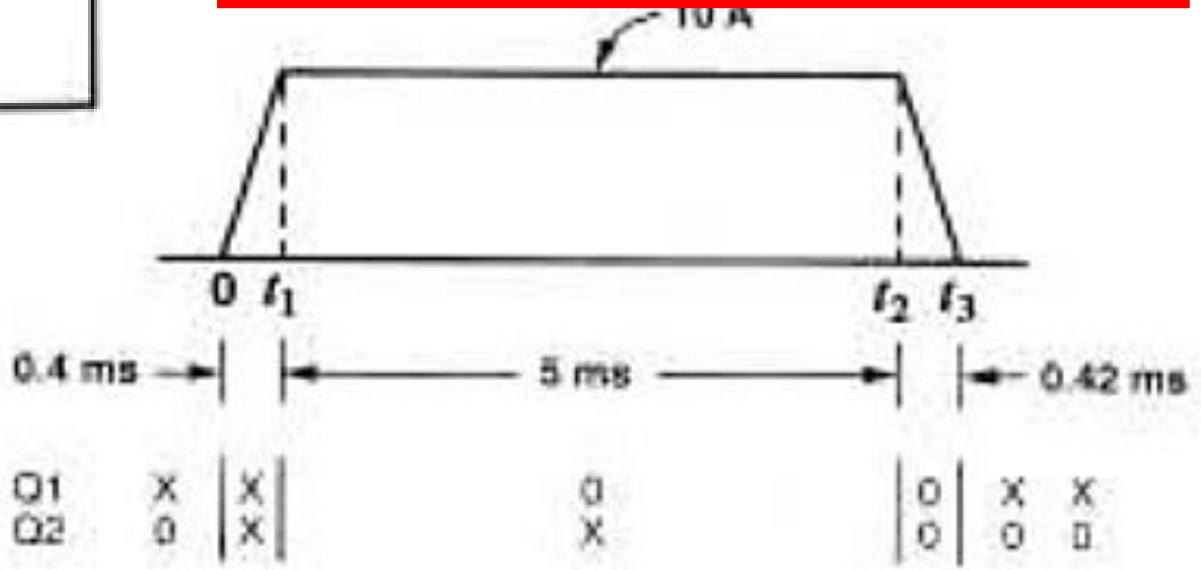
$$I = \frac{E}{R} = \frac{3}{0.3} = 10A$$

Q1 OFF ;Q2 OFF: .3



$$\tau_O = \frac{L}{R} = \frac{2.4x10^{-3}}{0.3} = 8ms$$

$$Rate_2 = \frac{\frac{E_{est}}{R}}{\tau_O} = \frac{\frac{57}{0.3}}{0.008} = 23{,}750\,A/\sec$$



$$t_2 = \frac{I}{Rate_2} = \frac{10}{23{,}750} = 0.42ms$$