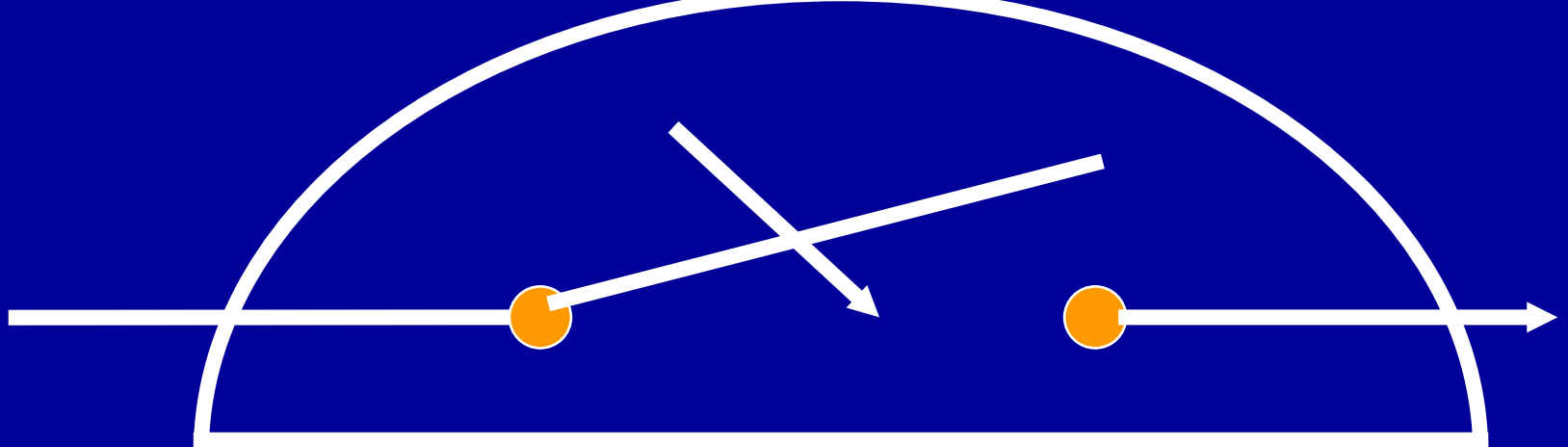


Protection
in Electrical System

الوقاية في النظام الكهربائي

أهميتها　　أجهزة الوقاية　　مبدأ عملها

Protection

مفهوم الوقاية

لغة تعني:

وضع الاحتياطات الكفيلة بمنع وقوع أمر خطير متوقع حدوثه.

اصطلاحاً في مجال توليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية تعني:

وضع الاحتياطات اللازمة للتقليل من أثر هذا الأمر الخطر، والحد من انتشاره، وحصره في دائرة ضيقة قدر المستطاع.

هذه الاحتياطات تسمى دوائر وأجهزة (أنظمة) الوقاية الكهربائية.

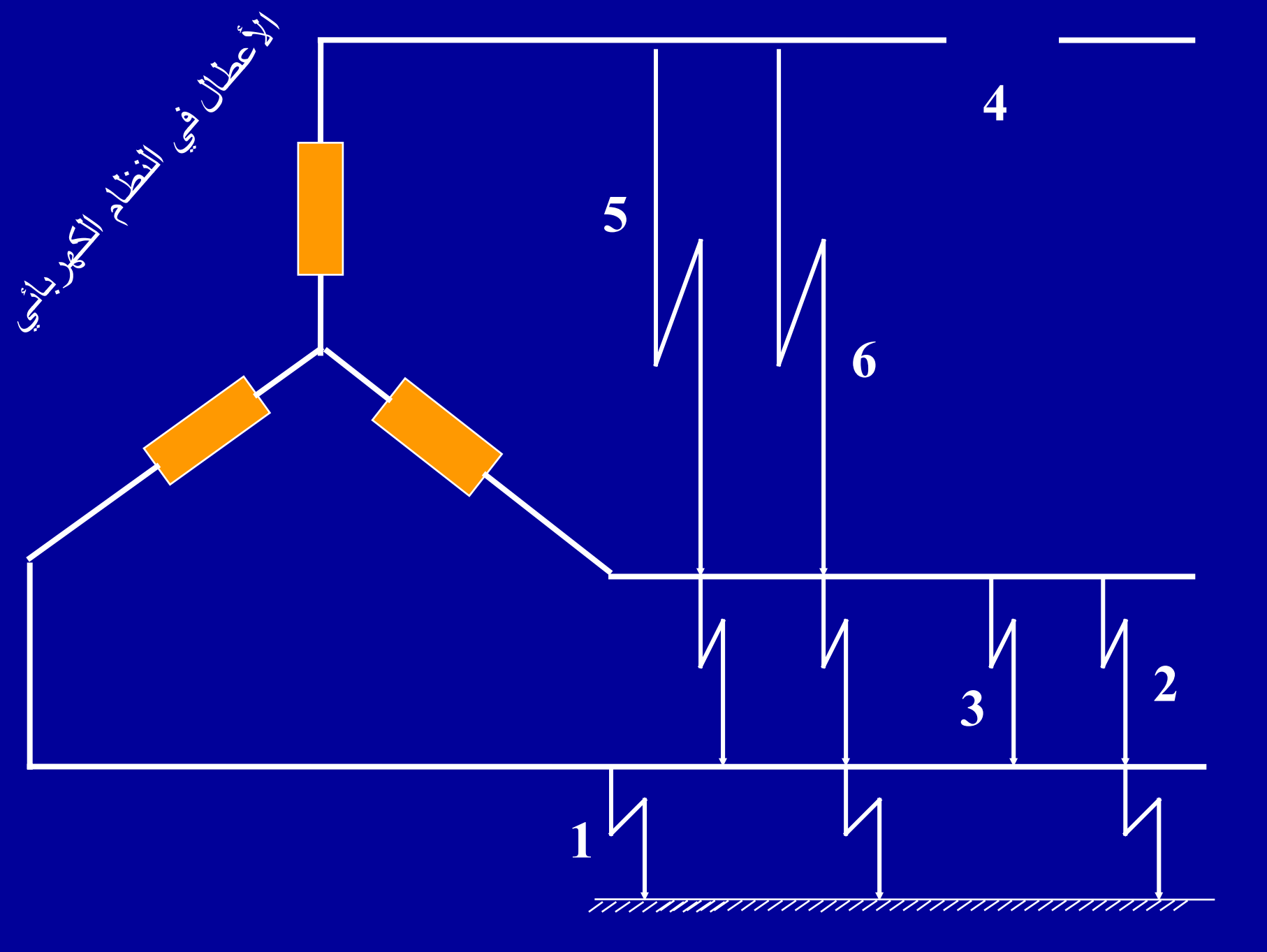
مبدأ حاجة النظام الكهربائي لأنظمة الوقاية يكمن في افتراض وقوع الأعطال

Protection

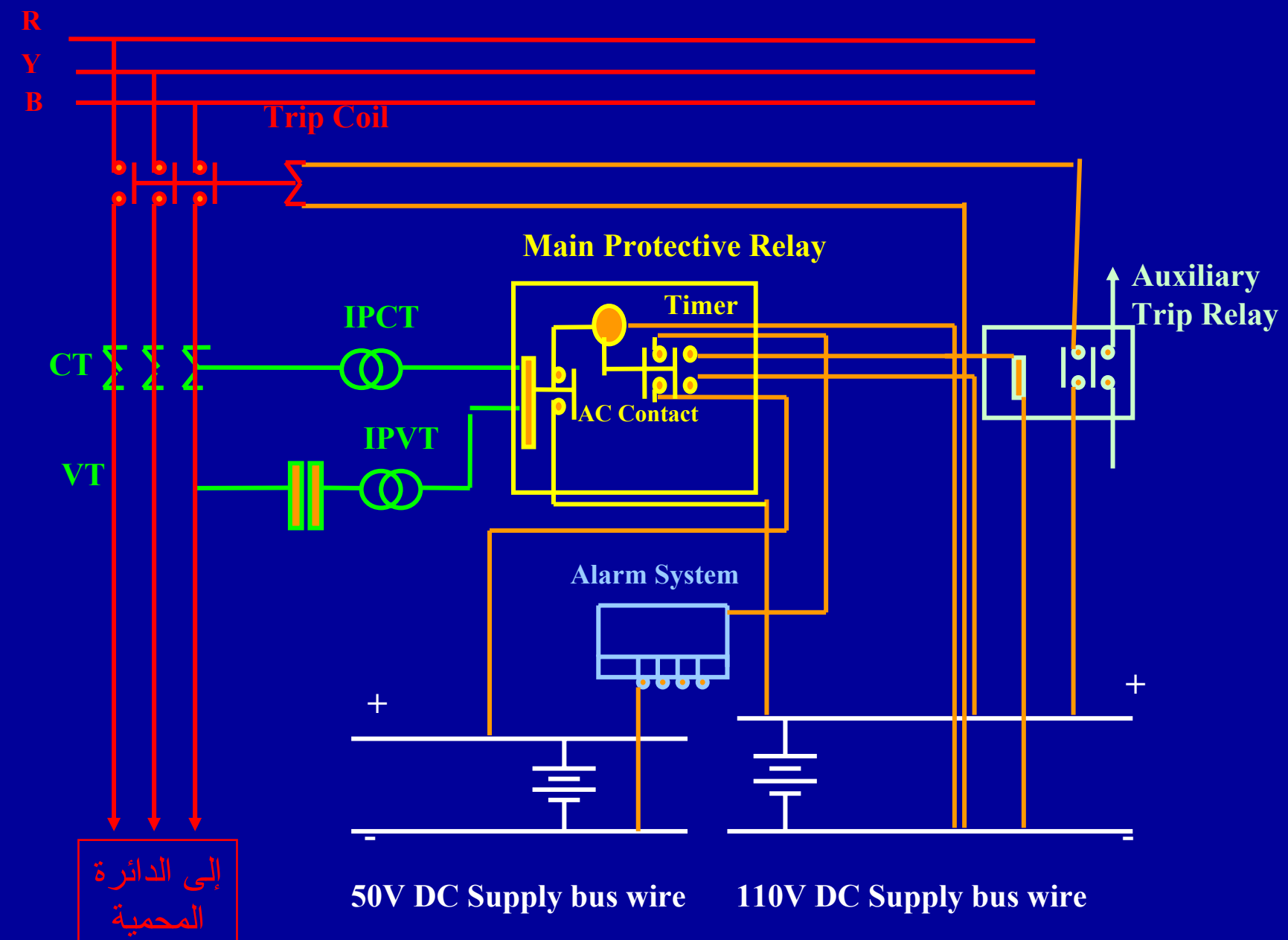
أهمية الوقاية في النظام الكهربائي

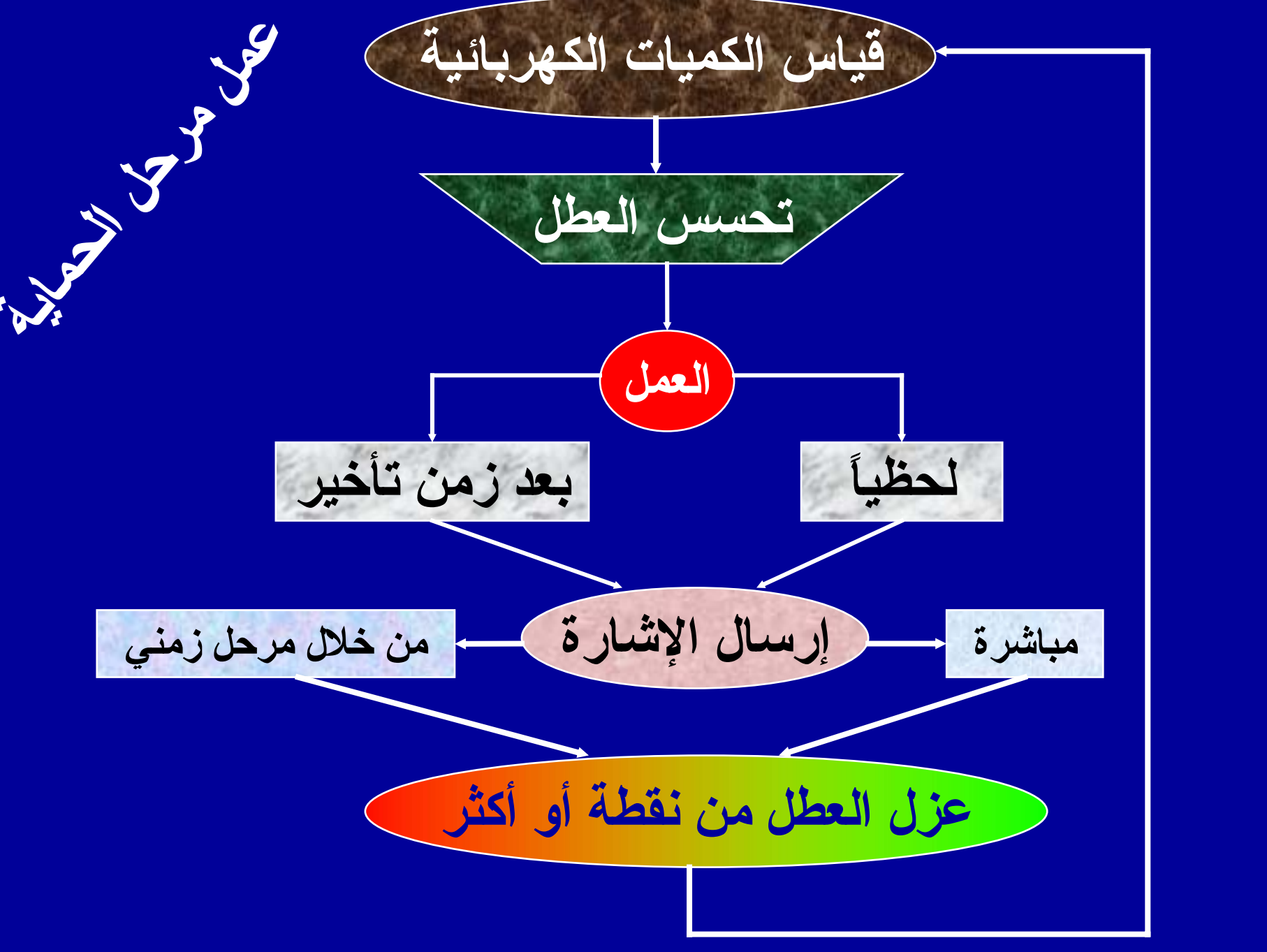
١- ضمان جودة الطاقة الكهربائية

٢- الحد من نتائج الأعطال في النظام الكهربائي


الأعطال في النظام الكهربائي
4
5
6
3
2
1

مكونات دائرة الوقاية




عمل مرحل الحماية
قياس الكميات الكهربائية
تحسس العطل
العمل
بعد زمن تأخير
لحظياً
إرسال الإشارة
من خلال مرحل زمني
مباشرة
عزل العطل من نقطة أو أكثر

الوقاية في النظام الكهربائي

خصائص مرحل الحماية

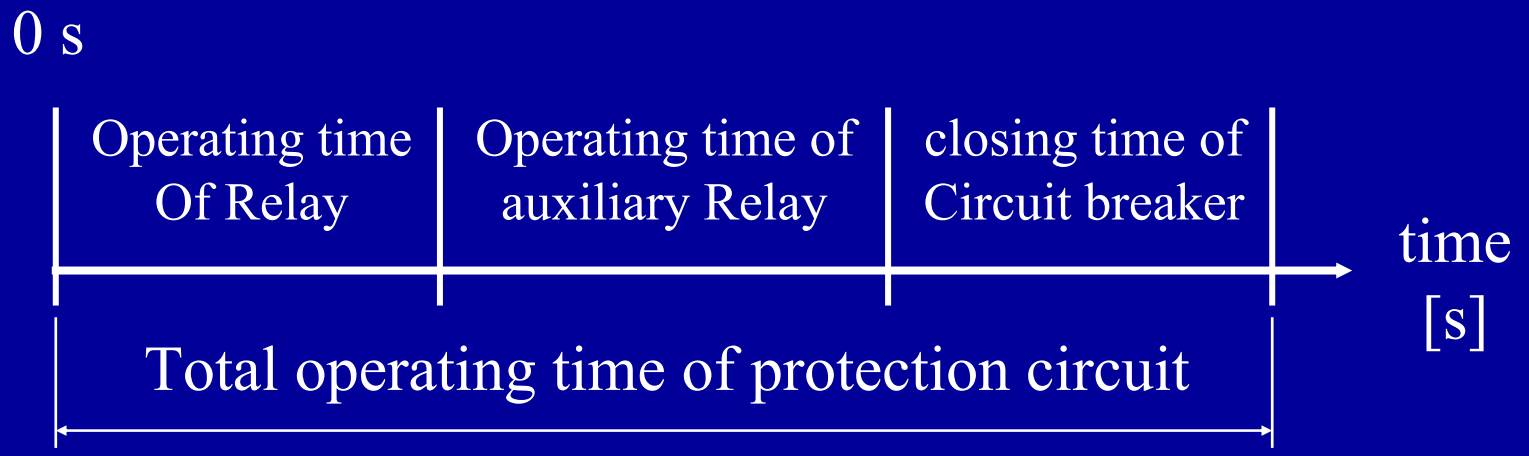
Speed السرعة في العمل

تؤدي إلى:

استقرارية النظام

عدم انتقال العطل إلى أجزاء سليمة من النظام

تقليل الأضرار



خصائص مرحل الحماية

البساطة في التركيب Simplicity

تعني أن يكون جهاز الوقاية سهل التركيب
سهولة ضبطه والتعامل معه
سرعة صيانته

الاعتمادية Reliability

تعني أن جهاز الوقاية يجب أن يكون جديراً بالثقة فلا يفشل إذا وقع العطل في منطقة إرسائه
عليه أن يكون ذو جاهزية عالية
وأن تخلو دائرة الحماية نفسها من الأعطال

تكمن في مقدرة جهاز الحماية على التخمين من خلال المعطيات التي يُزوَد بها

خصائص مرحل الحماية

الحساسية Sensitivity

وتعني أن يقوم المرحل بعمله بشكل أكيد فقط إذا وقع العطل في منطقة إرسائه

أن يقوم بعمله في أسوأ الظروف

أن لا يستجيب إلا للأعطال في منطقة إرسائه

$$K_s = I_{f\,min} / I_o \qquad K_s > 1.4$$

كيف تتوصل للحساسية المطلوبة؟

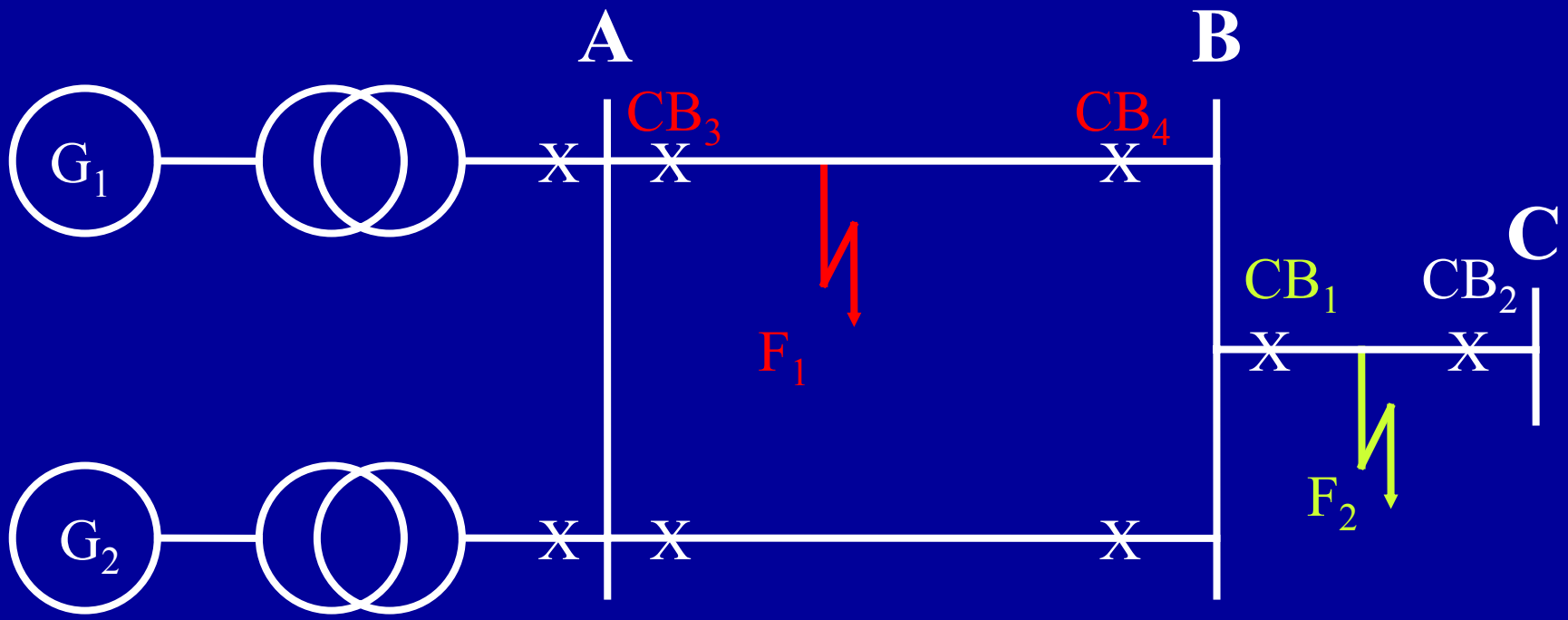
- بالمعايرة الجيدة
- بجعل جهاز الحماية لا يتحسس إلا القيم الموضوع لأجلها
- باستخدام أجهزة تختص بمنطقة معينة ومحددة
- بتزويد أجهزة الحماية بمعلومات عن كميات تتغير خصائصها لا قيمتها فقط.

خصائص مرحل الحماية

Selectivity الانتقائية

وتعني:

- مقدرة جهاز الحماية على إنتقاء مكان حدوث العطل.
- اختيار القاطع أو القواطع التي تعزل منطقة العطل فقط.
- المقدرة على التفريق بين الظروف الطبيعية وظروف العطل.
- المقدرة على التفريق فيما إذا كان العطل ضمن مسؤوليته أم لا.



إن توفير جهاز حماية ليحمي من كل ظرف من ظروف النظام الكهربائي المتوقعة، أمر غير مجد إقتصادياً.

إن اختيار النظام المناسب للحماية تحكمه الأمور التالية:

- قيمة الآلة أو الجهاز المراد حمايته
- أهمية الآلة أو الجهاز المراد حمايته في النظام الكهربائي ومدى أثر انقطاع الطاقة الكهربائية عنه .

التمييز بين:

جهاز الوقاية

هو الوحدة الأساسية في نظام الوقاية، يحتوي على واحد أو أكثر من الملفات والملامسات ووحدات الضبط.
تتم تسميته حسب نوعه أو مبدأ عمله أو حسب تركيبه (حثي أو رقمي)

ونظام الوقاية

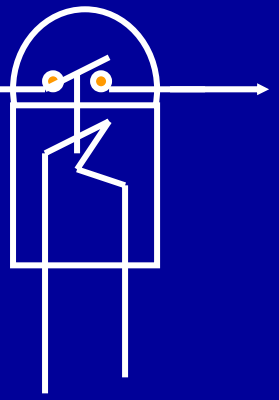
هو مصطلح يطلق على جهاز وقاية واحد أو مجموعة أجهزة تتعاون فيما بينها لتأدية واجب وقاية معين.
تتم تسميته عادة حسب مبدأ العمل مثل: الوقاية التفاضلية أو المسافية. وحسب الظرف غير الطبيعي مثل:
الوقاية من ارتفاع التيار، أو الأعطال الأرضية.... .

ومشروع الوقاية

هو مصطلح يطلق على مجموعة من أنظمة الحماية ، ويسمى عادة باسم المعدة المراد حمايتها، مثل:
مشروع حماية المولد، ومشروع حماية المحول، أو الشبكة، وغيرها

Protective relays

أجهزة الحماية



تصنيف أجهزة الحماية

حسب موقعها في الدائرة الكهربائية

- أجهزة ابتدائية (Fuses, MCB's)
- أجهزة ثانوية (Protec. Relays)

حسب التركيب :
- مرحلات حثية (كهرومغناطيسية).
- مرحلات رقمية (إليكترونية).

حسب الكمية التي تتحسسها :
- مرحلات التيار .
- مرحلات الفولطية.
- مرحلات التردد.
- مرحلات القدرة
- ..... وغيرها

وهو التصنيف الأكثر شيوعاً

حسب خصائصها
- إعتمادية
- لا إعتمادية
- مركبة

مرحلات التيار Current Relays

مرحلات الوقاية من ارتفاع التيار

Over Current Relays (OCR)

مرحلات التيار التفاضلية

Deferential Relays

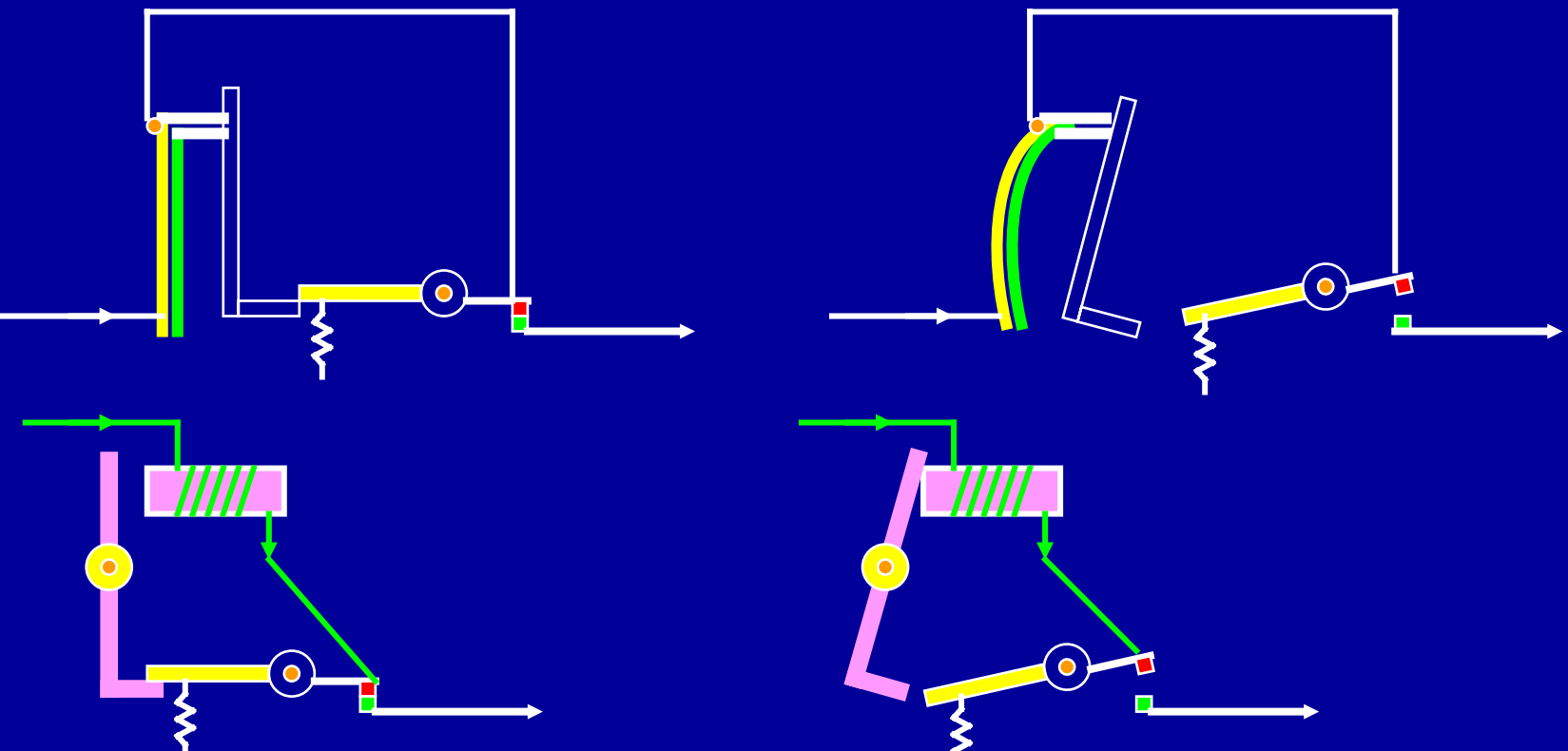
مرحلات التيار للوقاية من حالة عدم الاتزان

Unbalance Relays

Current Relays مرحلات التيار

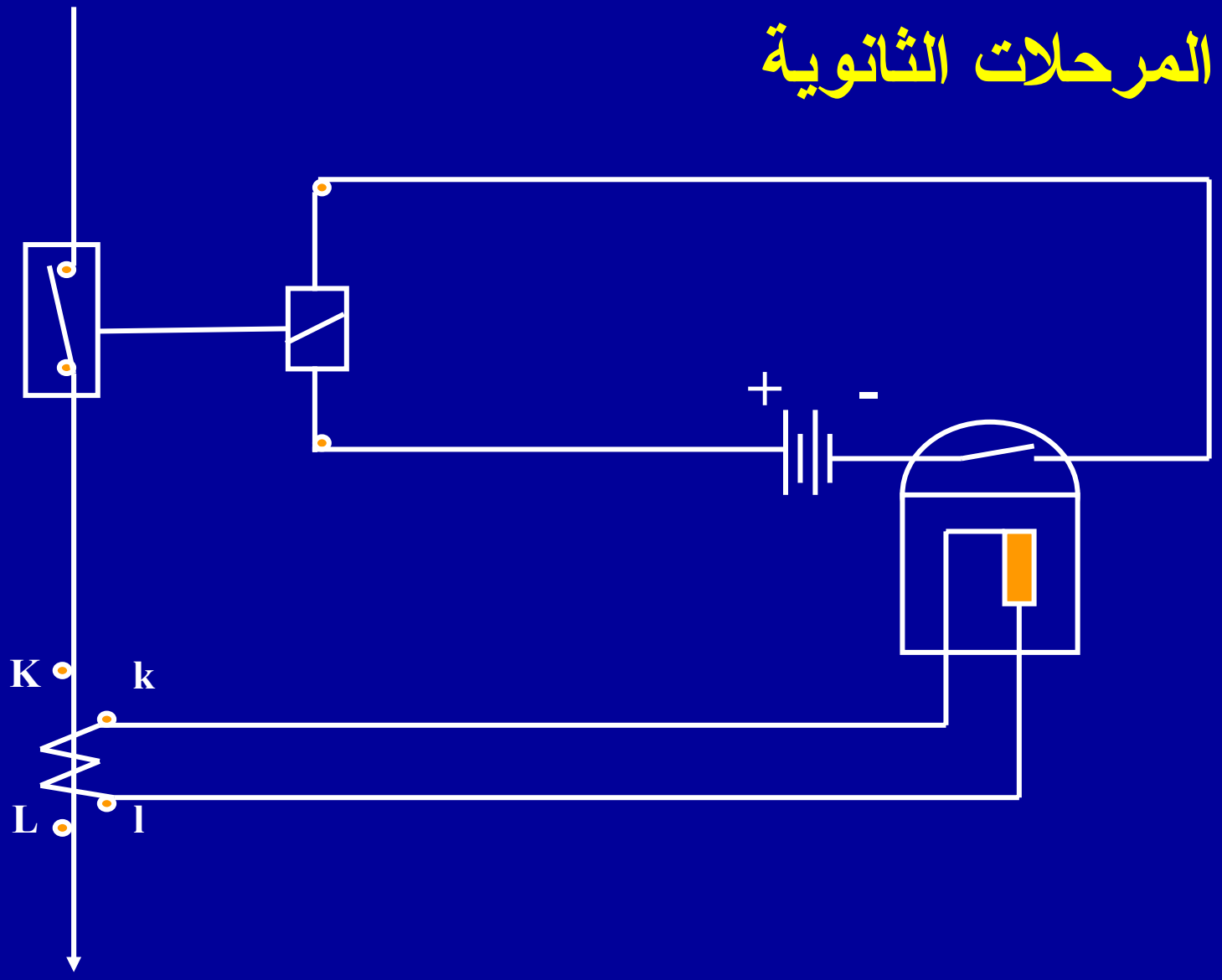
المرحلات الابتدائية

- لا تحتاج إلى أية أجهزة إضافية، VT's ، CT's، DC P/S
- كونها تعمل على كامل تيار الدارة فإن ضبطها بسيط.

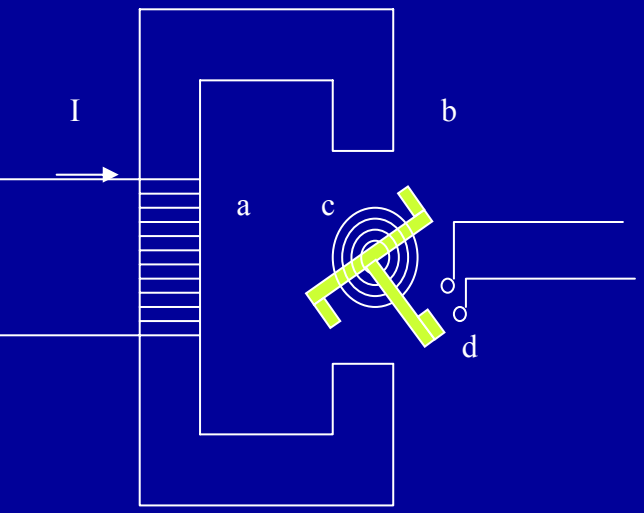


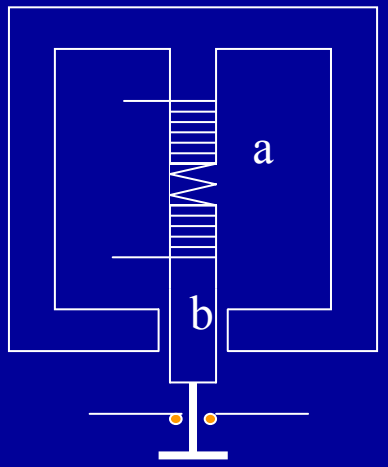
Current Relays مرحلات التيار

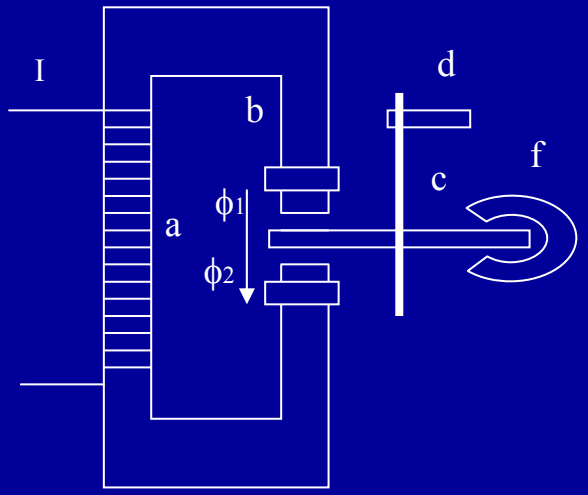
المرحلات الثانوية

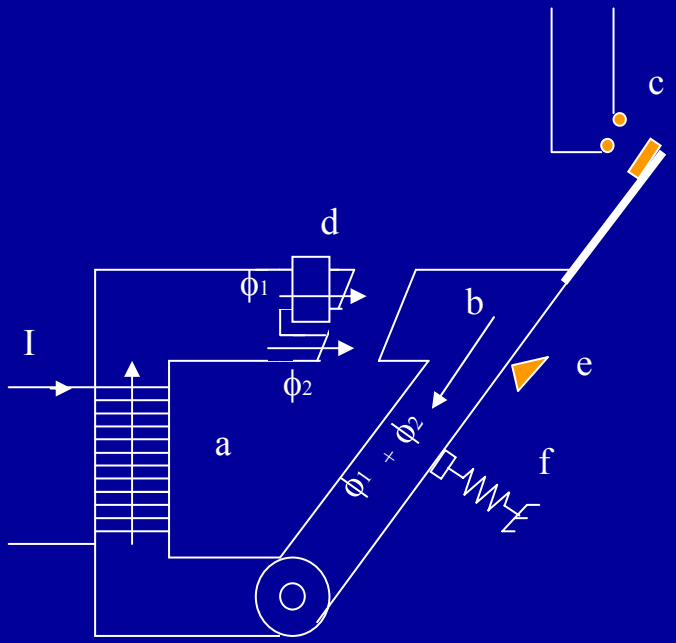


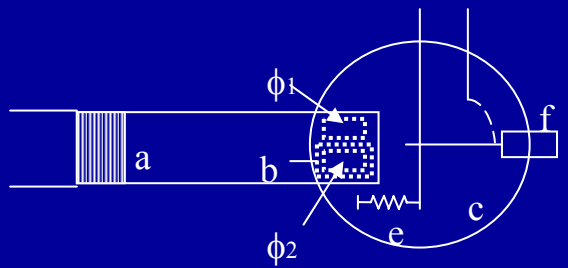
الأشكال التي تنتج بها مرحلات التيار



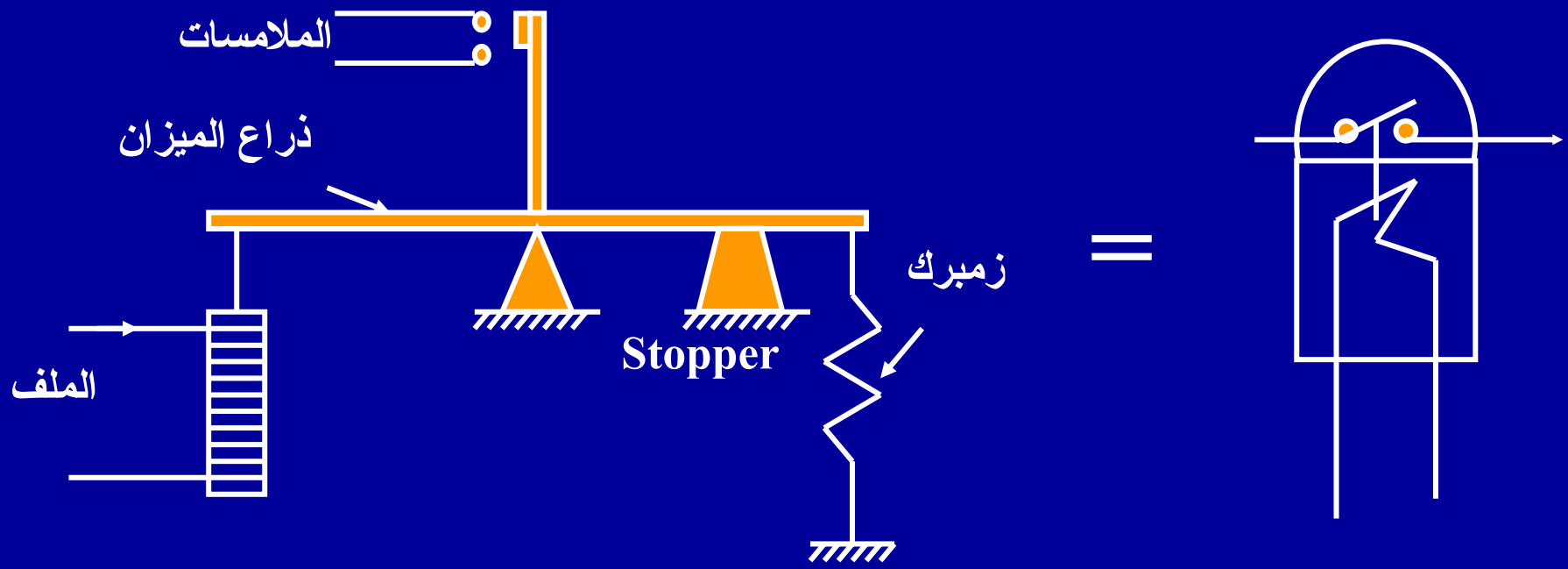




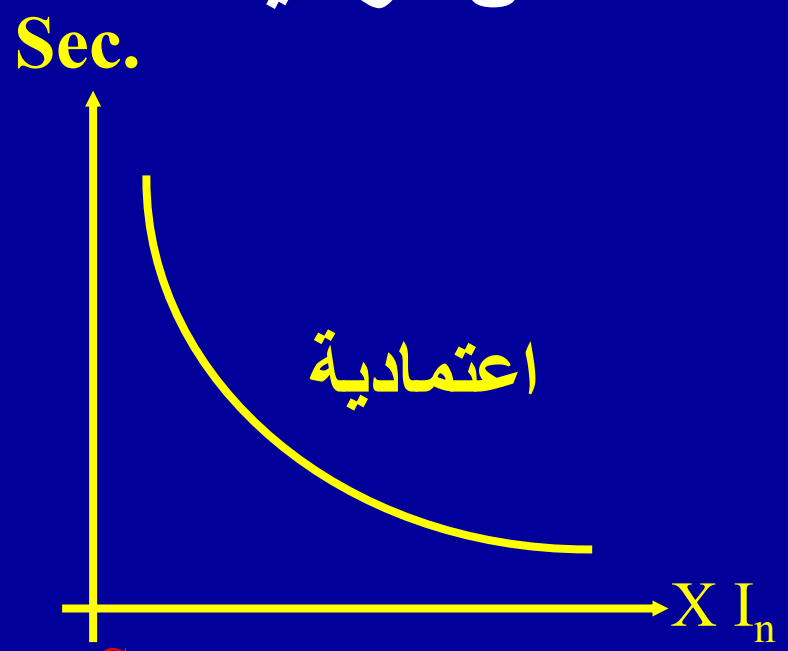


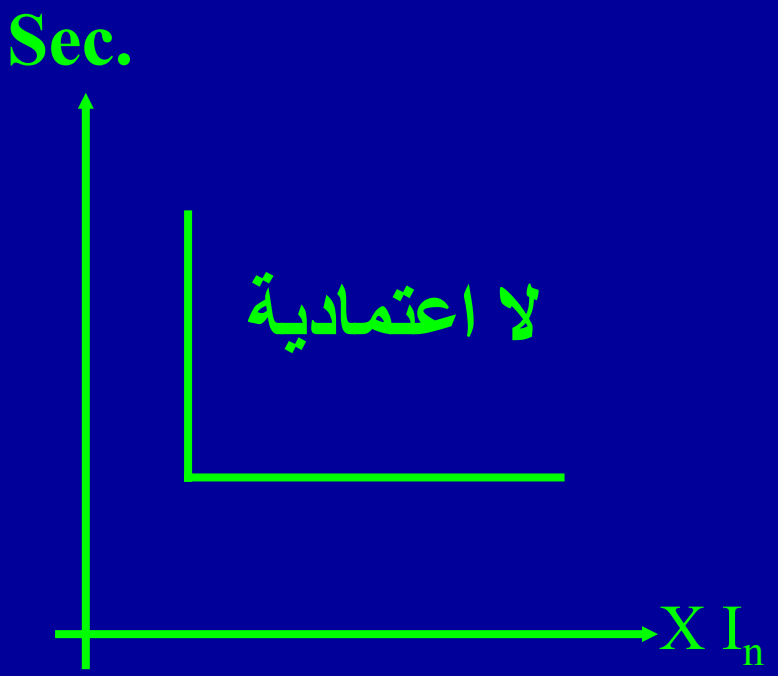


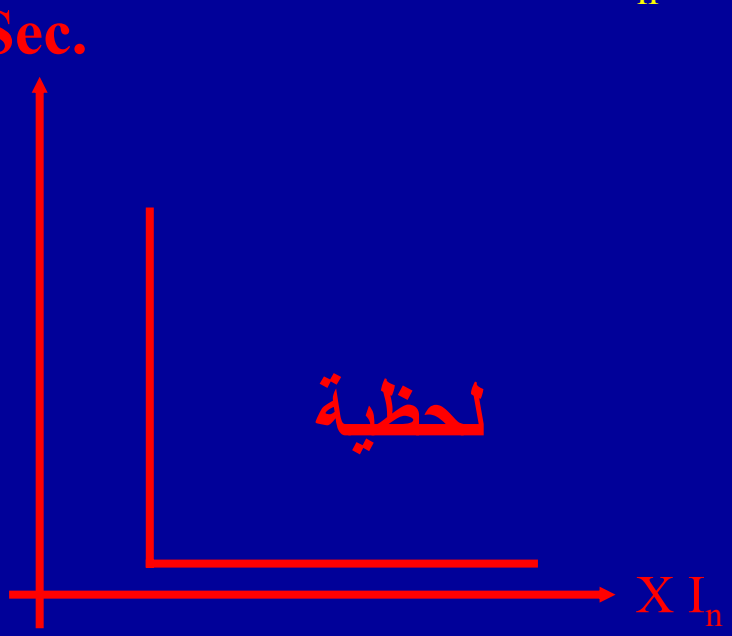
مبدأ عمل مرحل التيار

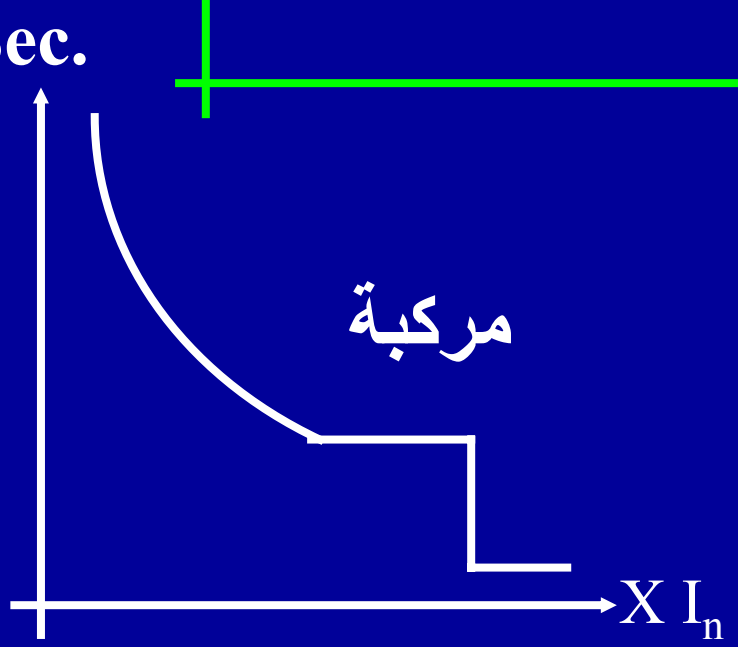


تصنيف مرحلات التيار حسب الخصائص الزمنية

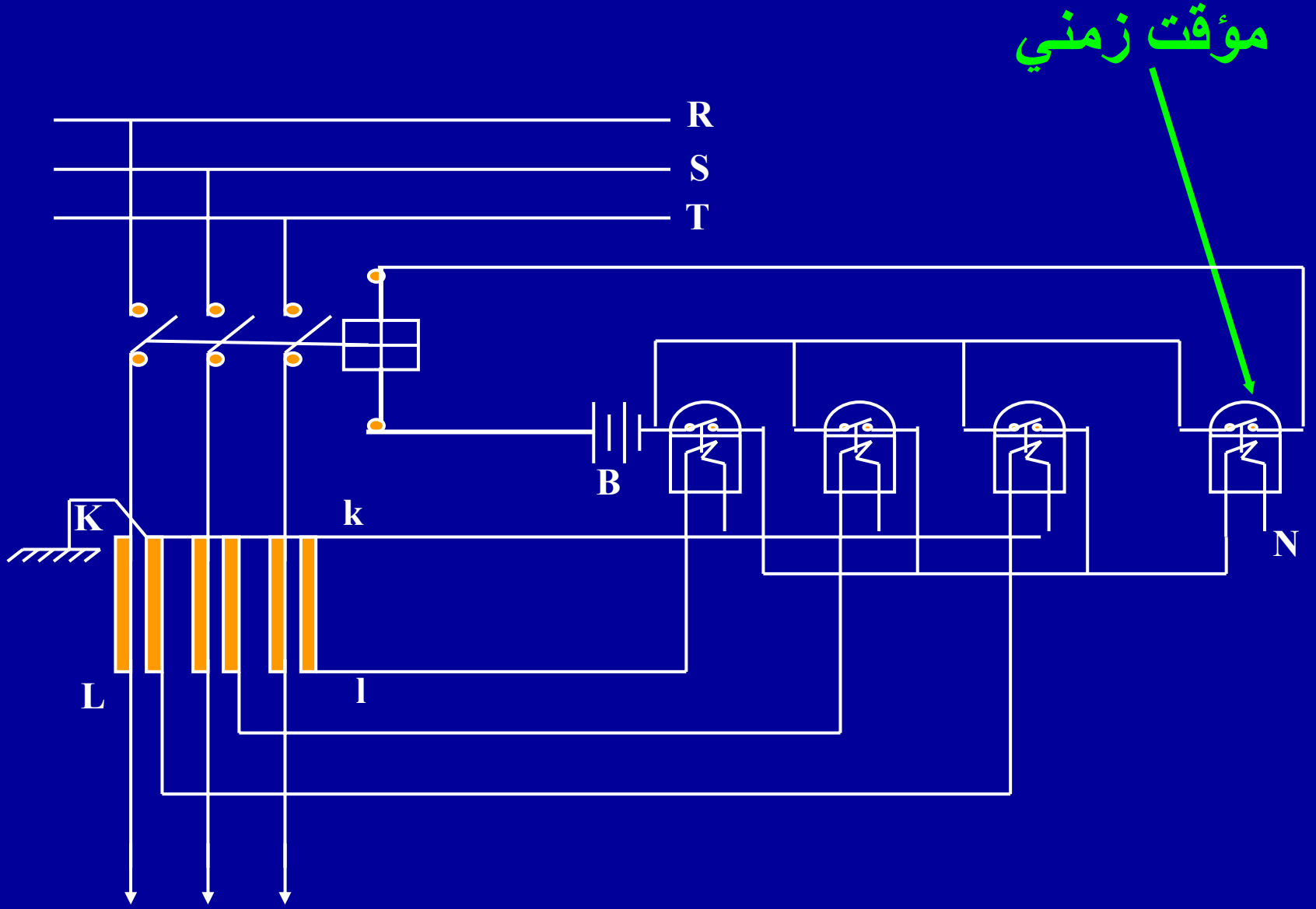




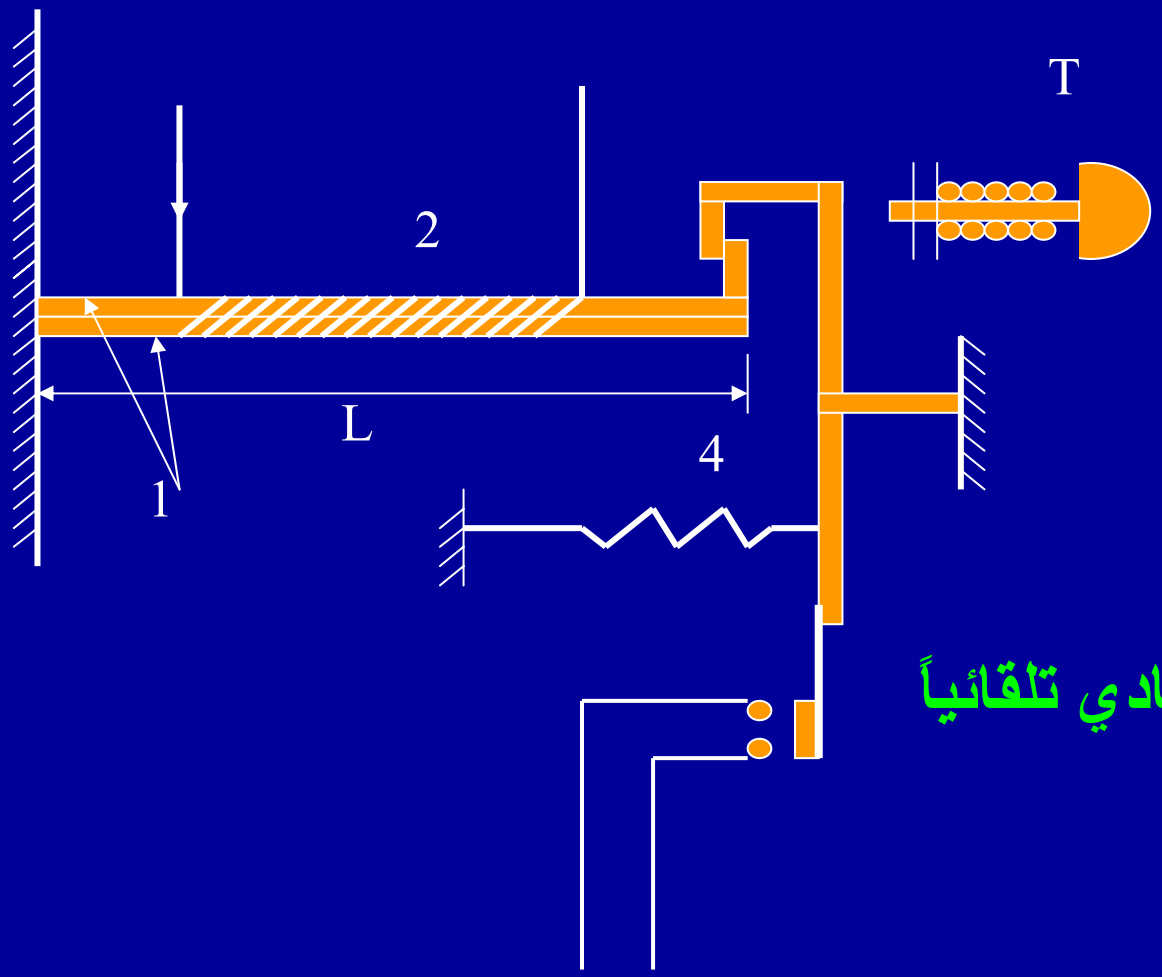




في المرحلات اللحظية يتم الحصول على زمن التأخير المناسب باستخدام



مبدأ عمل المرحل الحراري للحماية من زيادة التيار

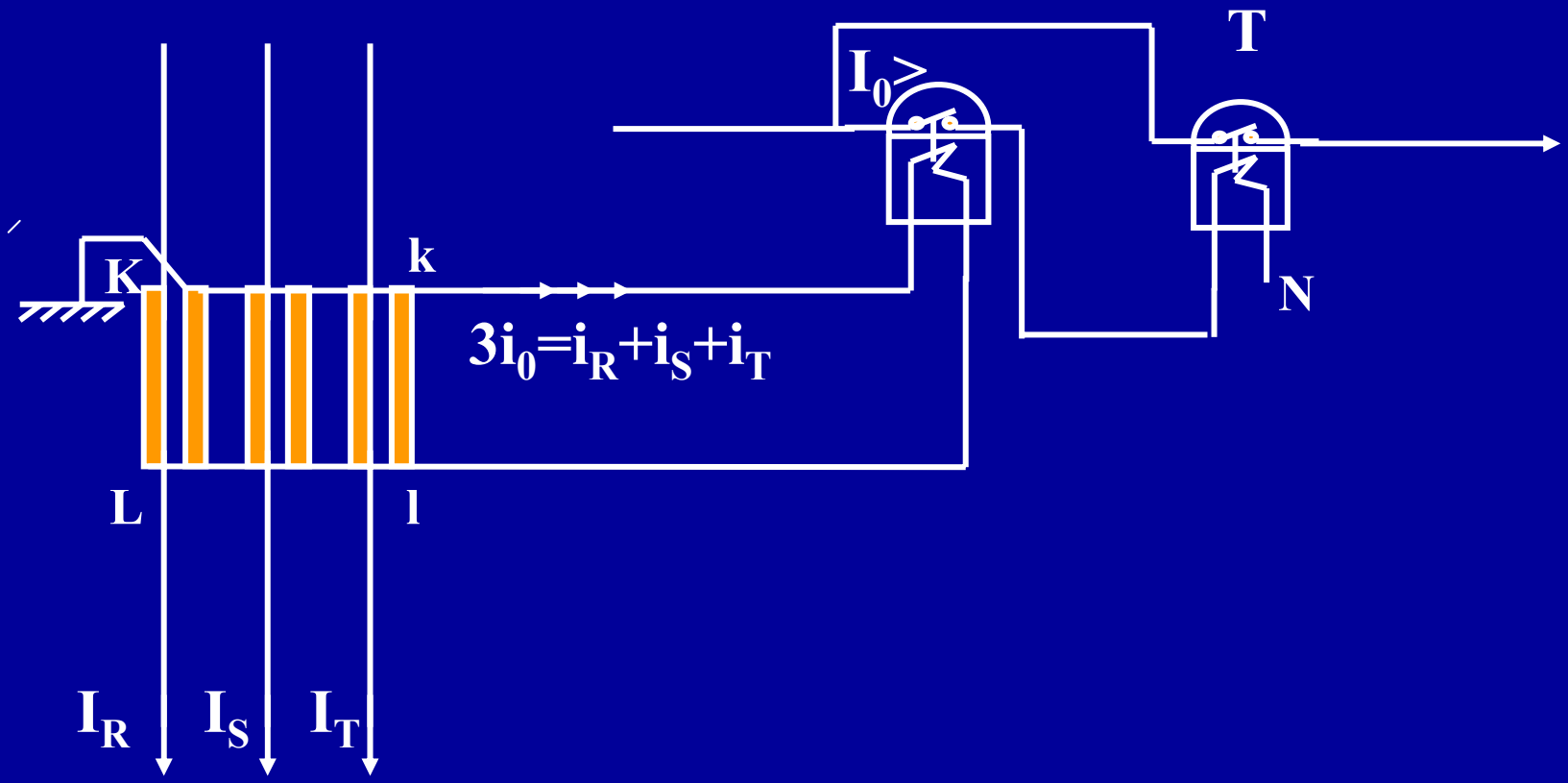


ميزته : اعتمادي تلقائياً

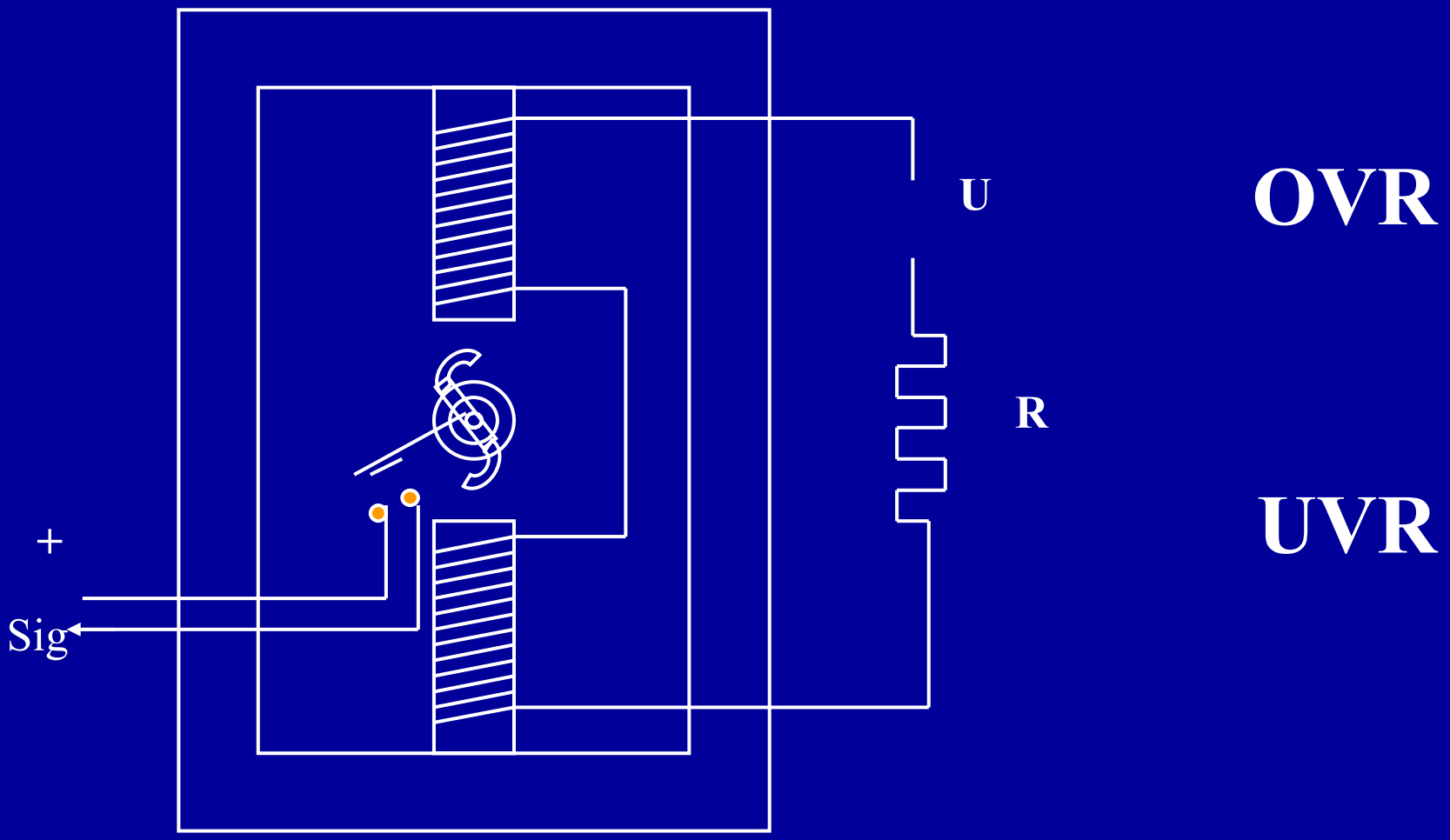
سيئته : لا يمكن إعادته للعمل إلا بعد انخفاض درجة الحرارة

مرحلات الحماية من حالة عدم الاتزان

للحماية من تيارات التسرب الأرضي، وعدم تماثل الأحمال

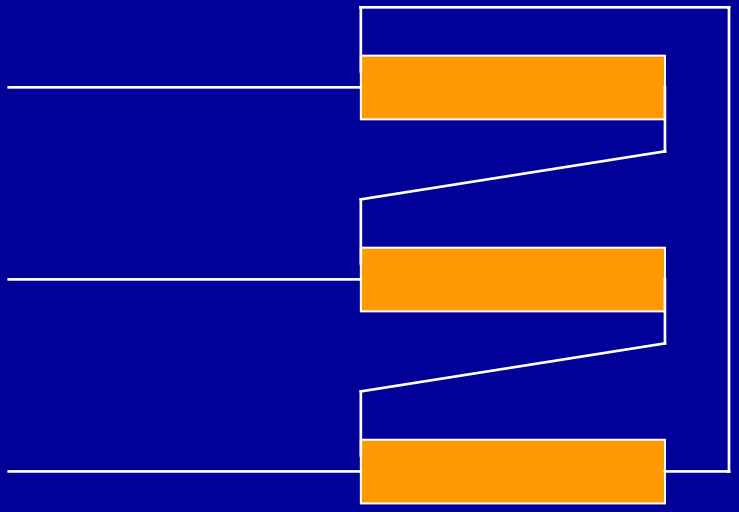


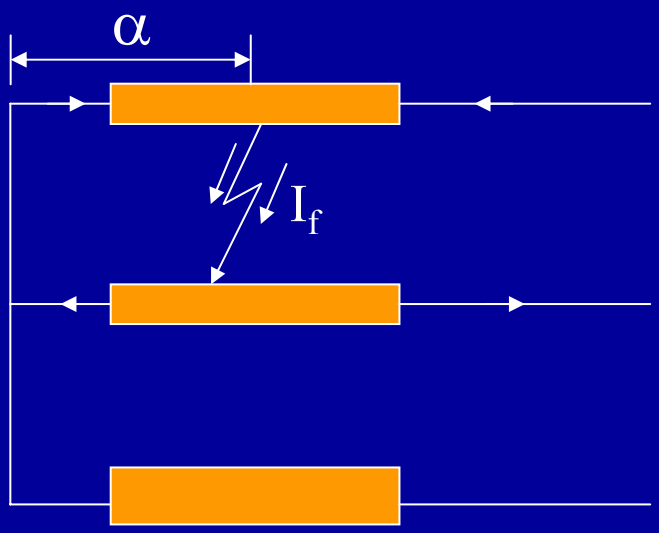
Voltage Relays مرحلات الفولطية



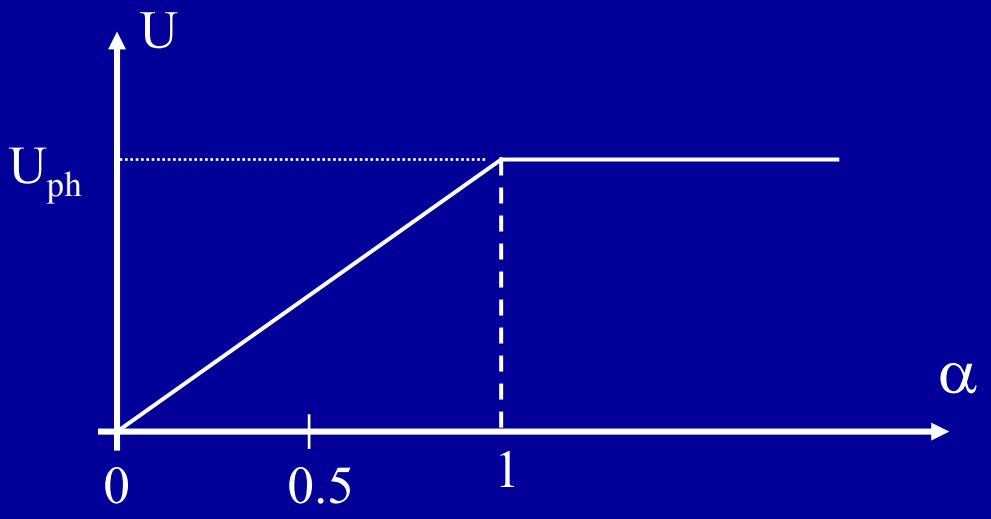
Deferential Relays مرحلات التيار التفاضلية

Why?

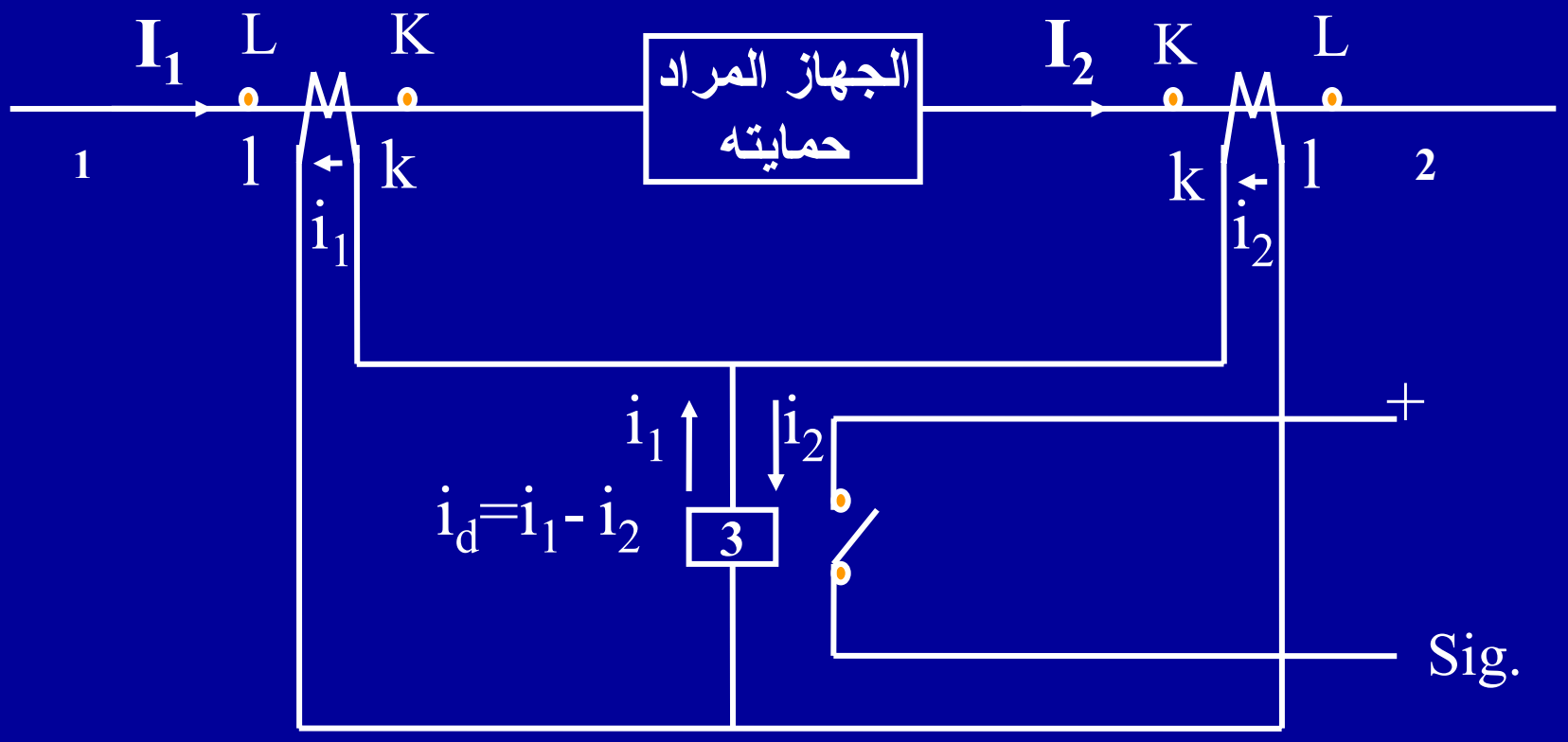




α = % of coil length

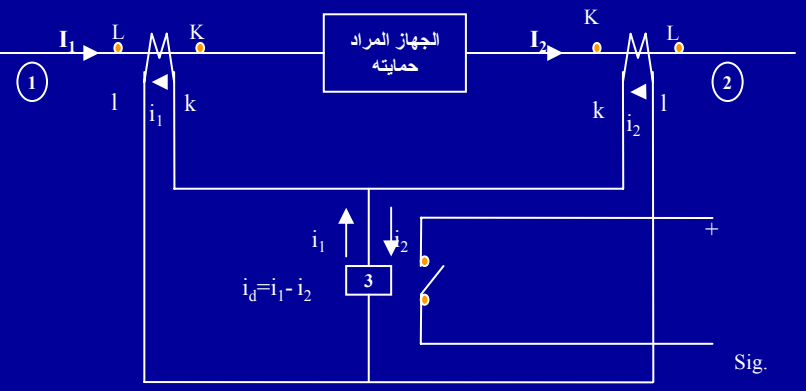


Deferential Relays مرحلات التيار التفاضلية



يعمل على مبدأ المفاضلة (الفرق) بين التيارات
الداخلة والخارجة من الجهاز المراد حمايته

Deferential Relays مرحلات التيار التفاضلية



في حالة عدم وجود عطل:

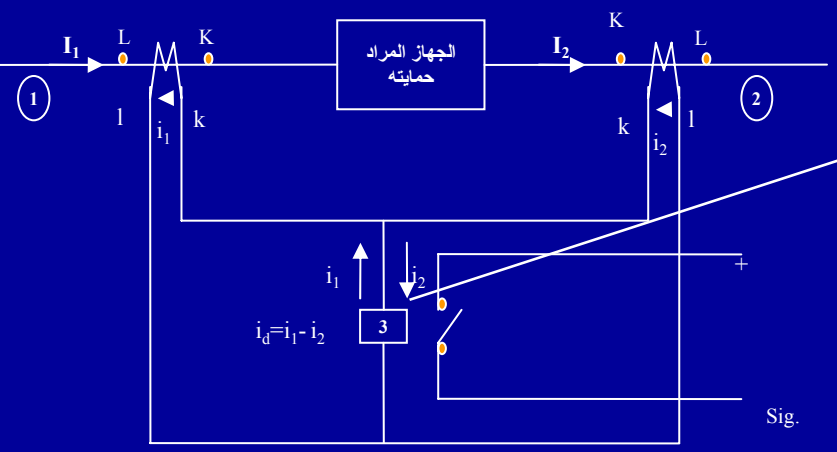
$$I_1 = I_2 \ , \ i_1 = i_2 \ \& \ i_d = i_1 - i_2$$

$$\text{If} \quad i_1 = i_2 \quad \text{then} \quad i_d = 0$$

في حالة العطل:

$$I_1 \neq I_2 \ , \ i_1 \neq i_2 \ \& \ i_d = i_1 - i_2 \neq 0$$

Deferential Relays مرحلات التيار التفاضلية

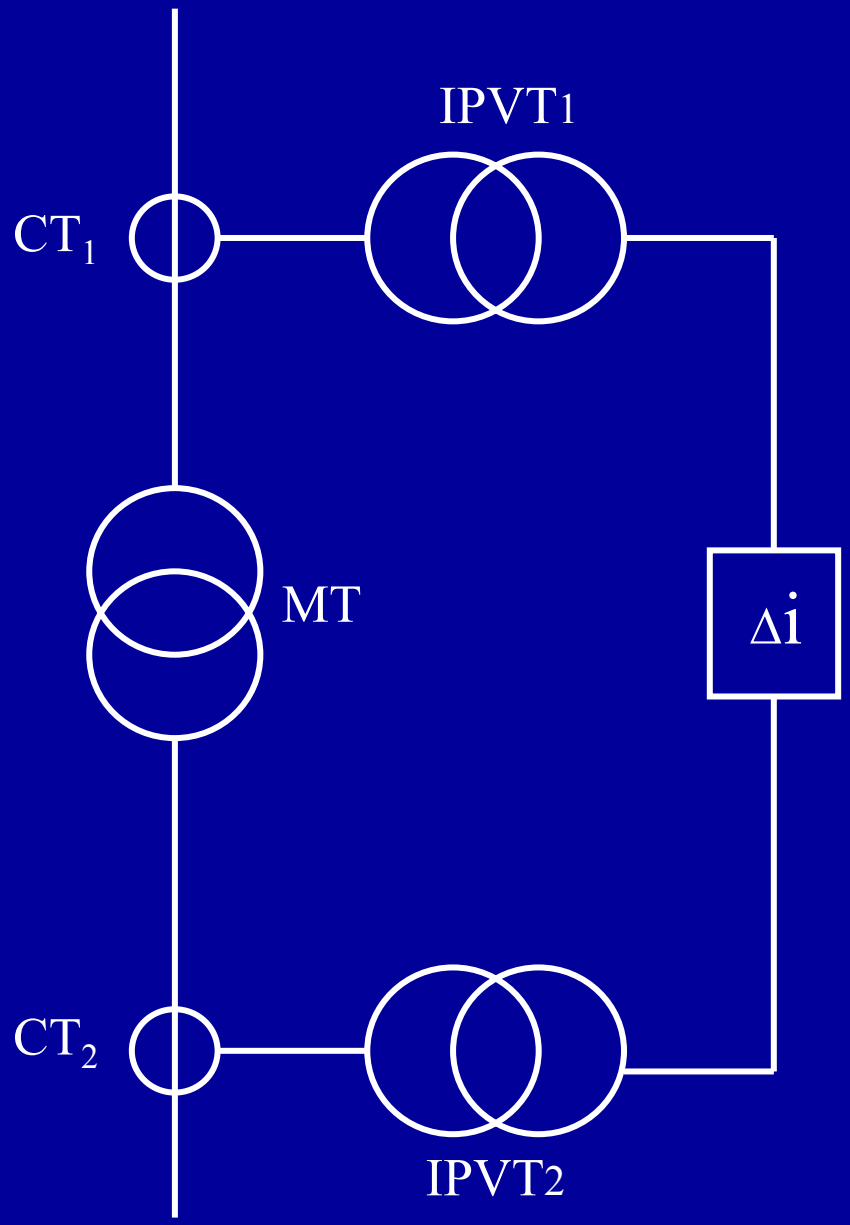


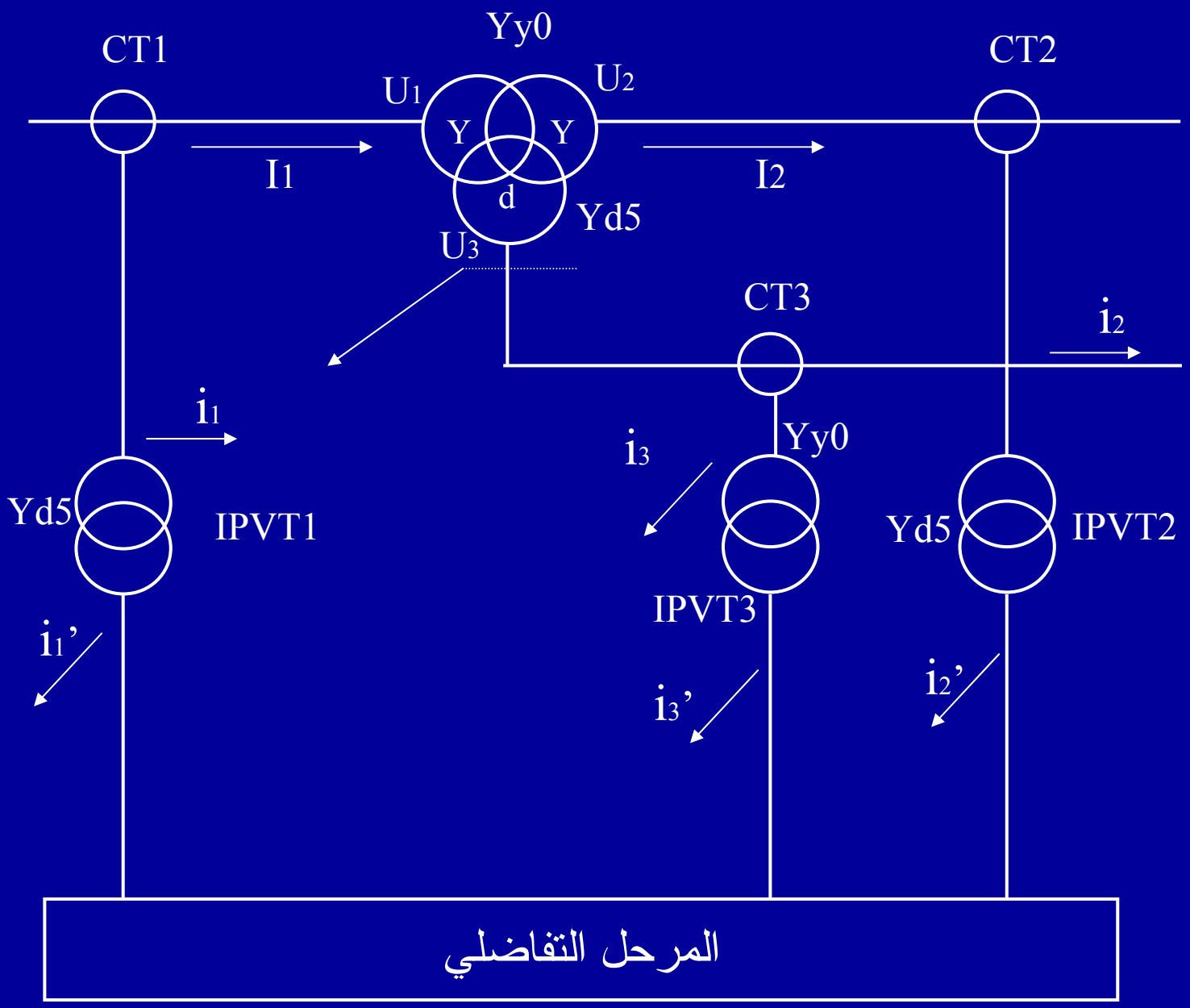
Relay (3) isn't instantaneous relay

Actually $i_1 \neq i_2$:

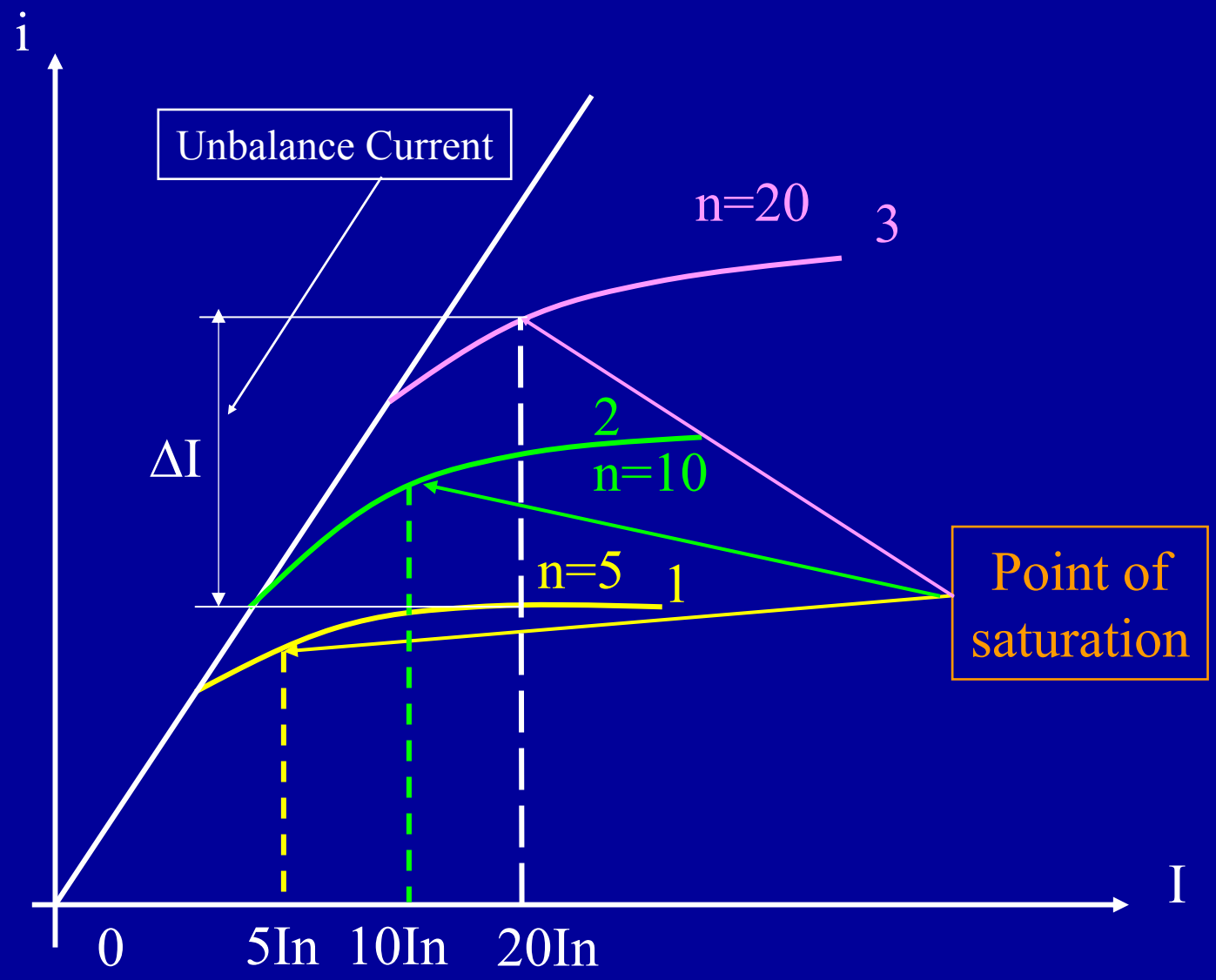
- Vector group of protected Tr.
- $n_1 \neq n_2$
- Outside S/C.
- Prim. Curr. of Protected Tr. ≠ Sec. Curr.
- Protected Tr. Have ON Load Tap Changer.

لذلك فإنه يتم ضبطه عادة على قيمة معينة
بحيث يبدأ العمل عند مرور تيار تتجاوز قيمته
(10% - 40%) من قيمة التيار الإسمي للجهاز المحمي.

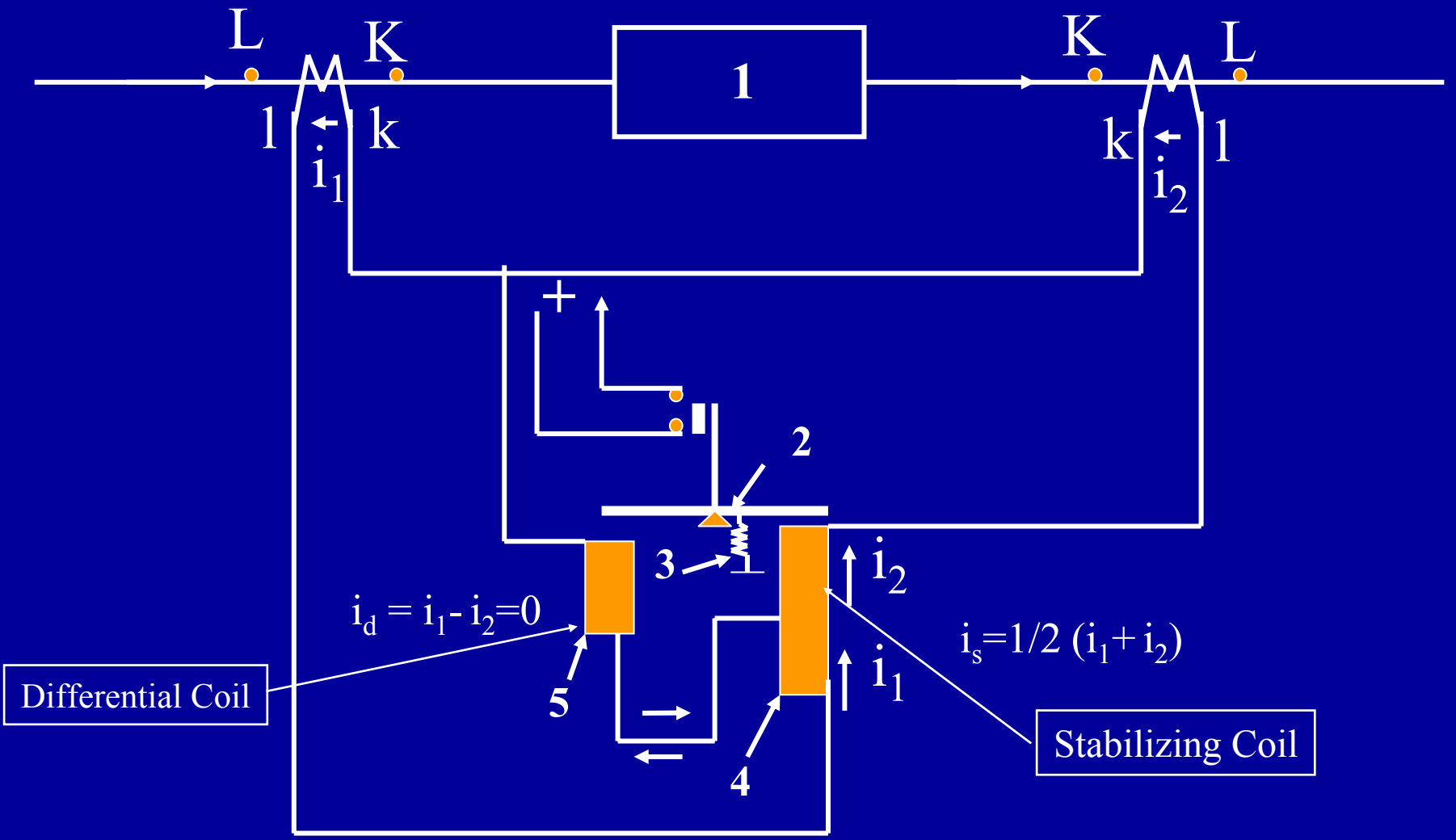

IPVT1
CT1
MT
Δi
CT2
IPVT2


CT1
Yy0
U1
U2
CT2
Y
Y
d
I1
I2
Yd5
U3
CT3
i2
i1
Yy0
i3
Yd5
IPVT1
Yd5
IPVT2
IPVT3
i1'
i3'
i2'
المرحل التفاضلي

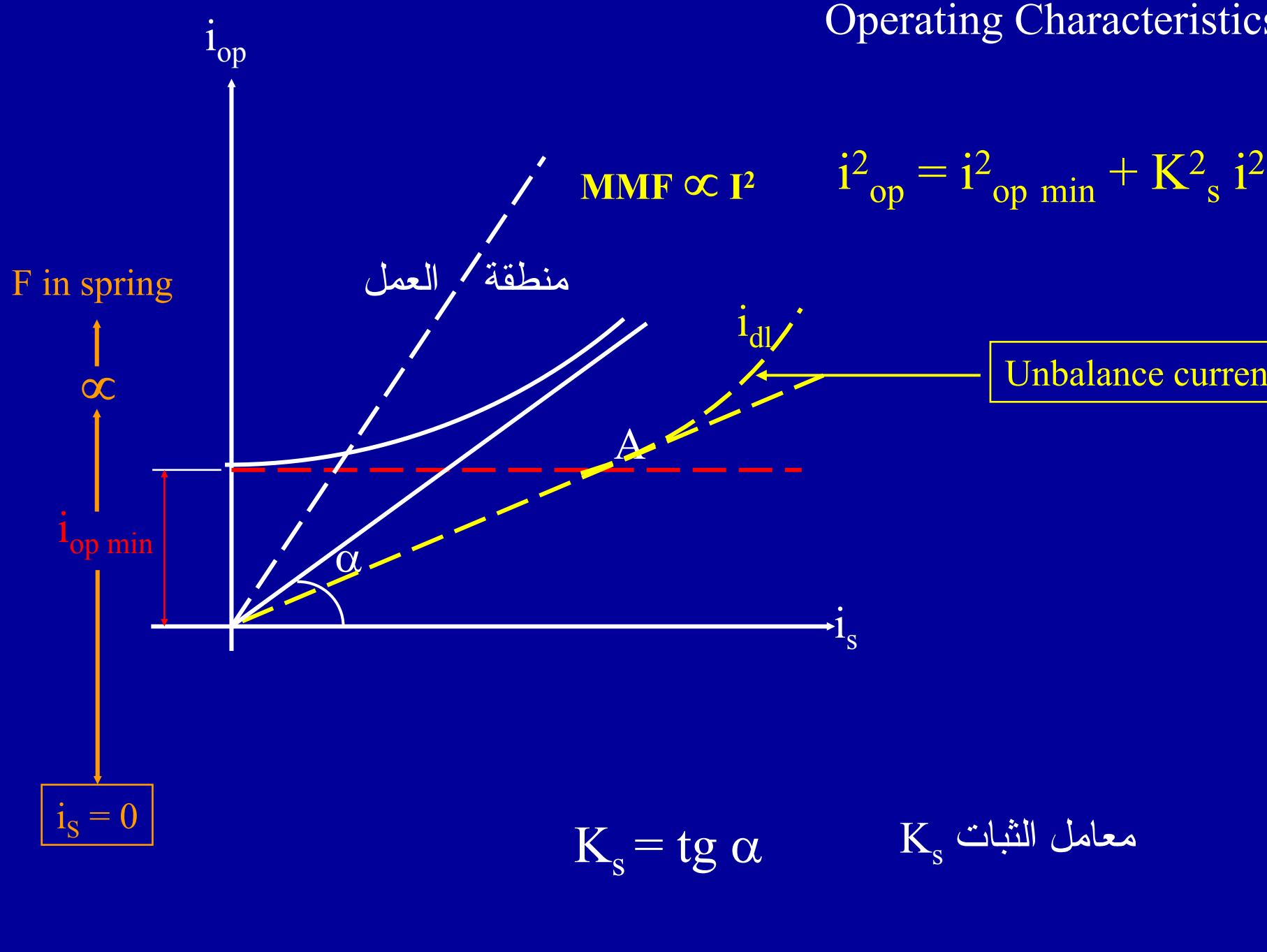
CT's Characteristics



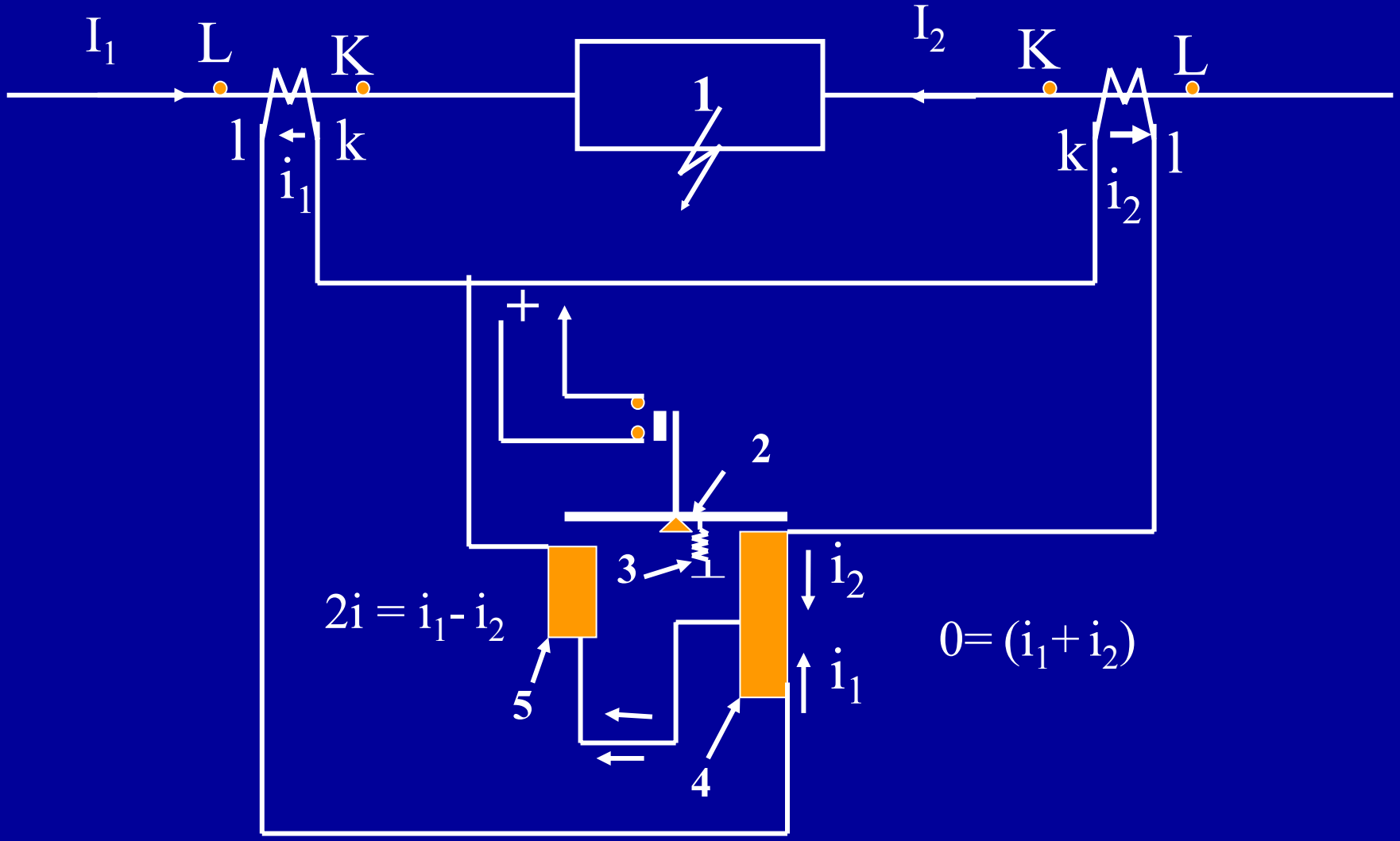
لذلك بدلاً من مرحل التيار يوضع مرحل اتزان
أو مرحل نسبي كالموضح في الشكل



Operating Characteristics

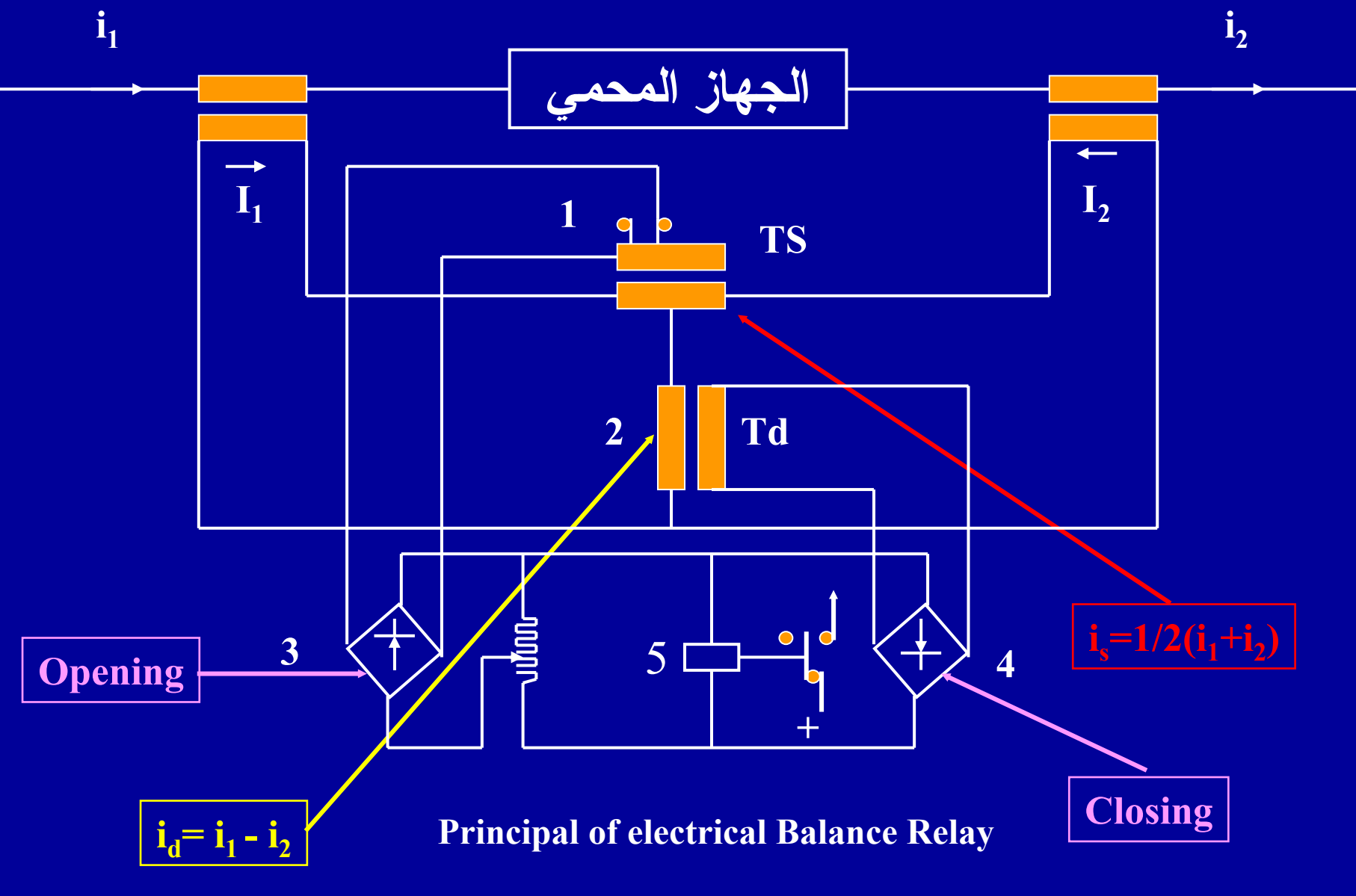


عند وجود عطل في الجهاز المحمي مع تغذية من الطرفين تكون مسارات التيارات كما هو في الشكل

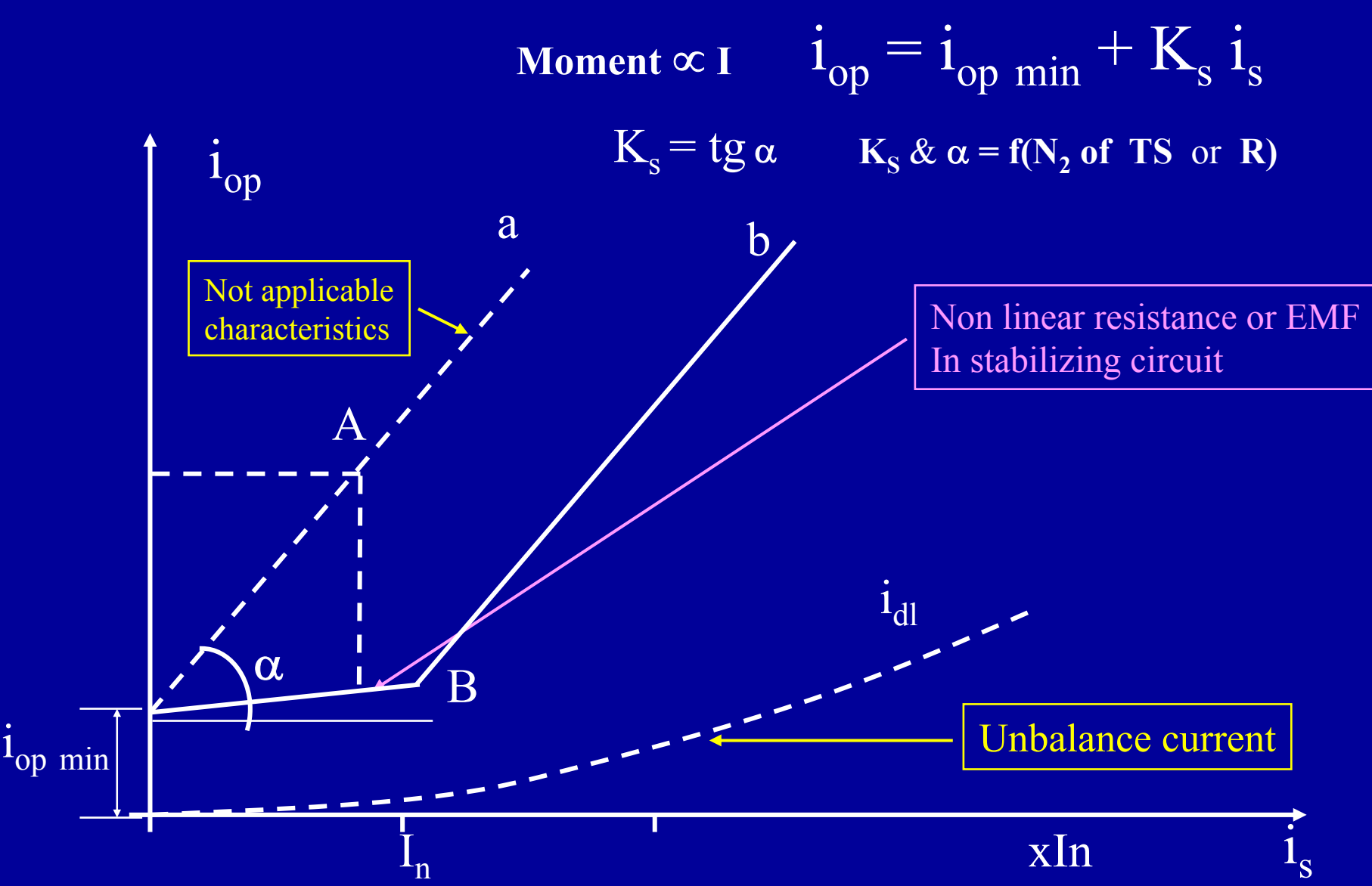


مرحلات الاتزان الكهربائي

تعمل على مبدأ مقارنة التيارات مباشرة، لا من خلال القوى الكهرومغناطيسية

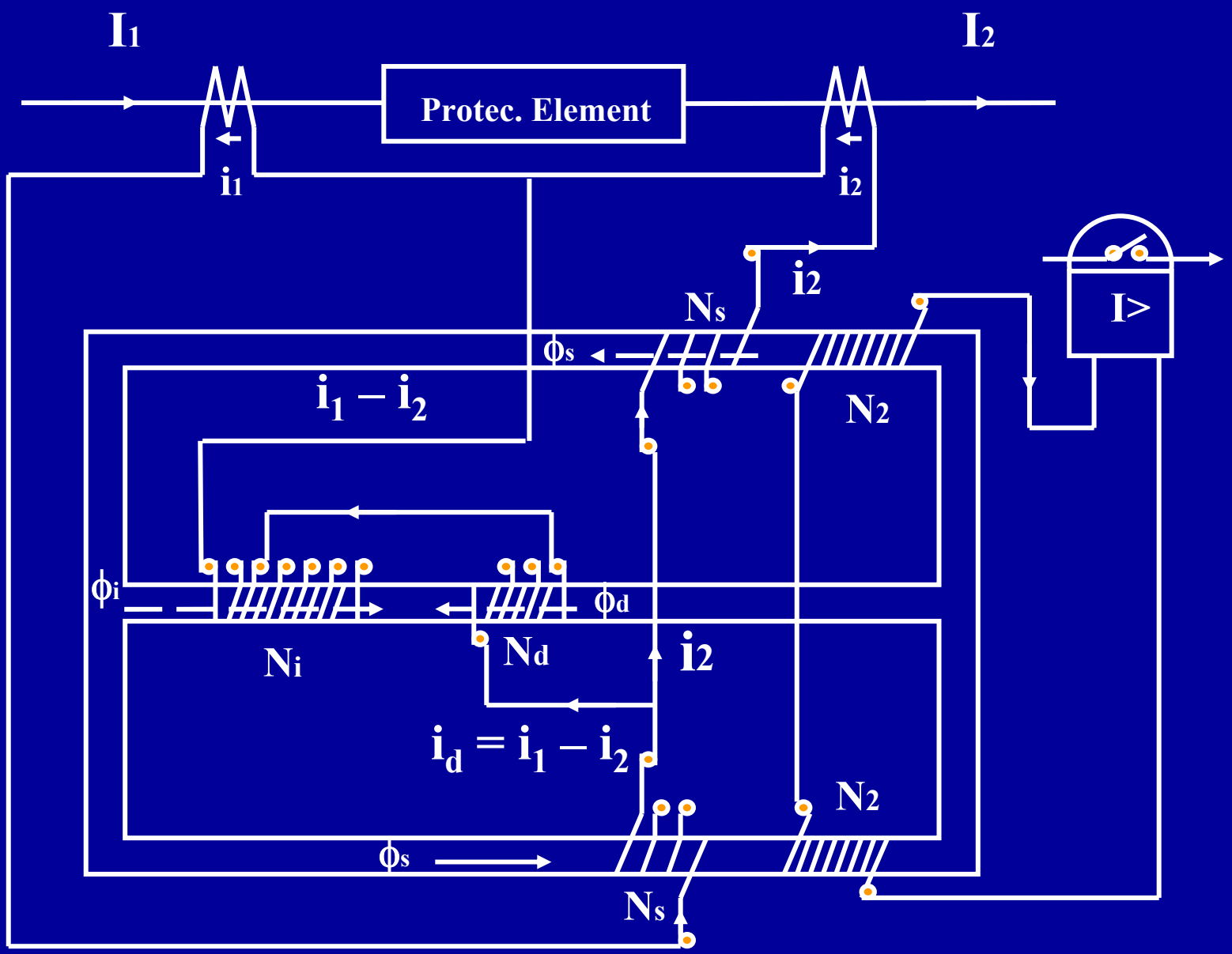


Principal of electrical Balance Relay



Operating Characteristics

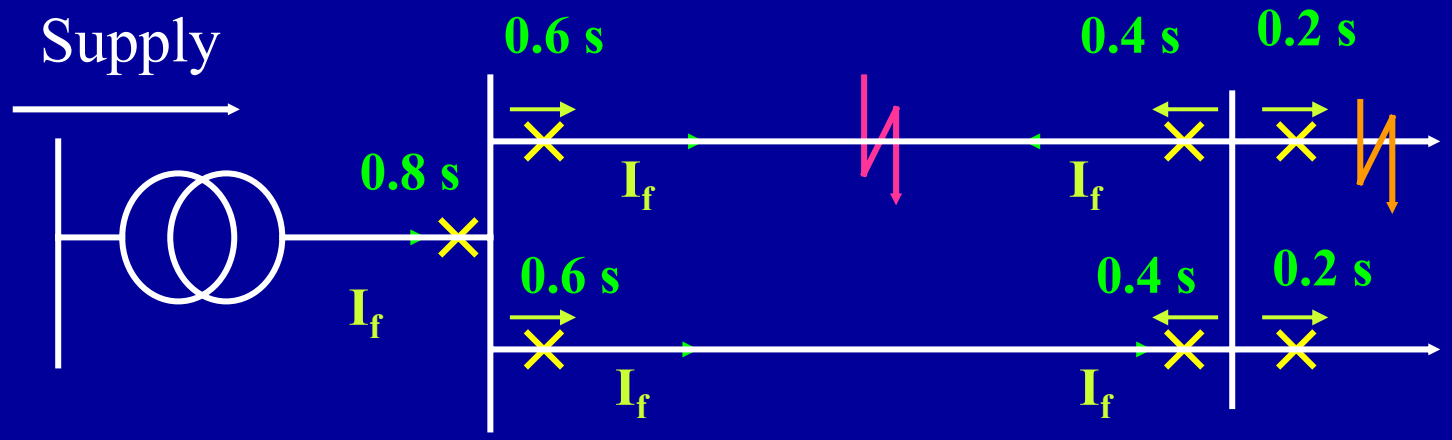
Magnetic Balance Relay



Directional Protection Relays

المرحلات الاتجاهية

Why?



المرحلات الاتجاهية

تكمن أهمية هذه المرحلات في إعطائها قيمة مضافة لخصائص أجهزة وأنظمة الوقاية، فهي تحسن من : انتقائيتها، حساسيتها وترفع اعتماديتها.

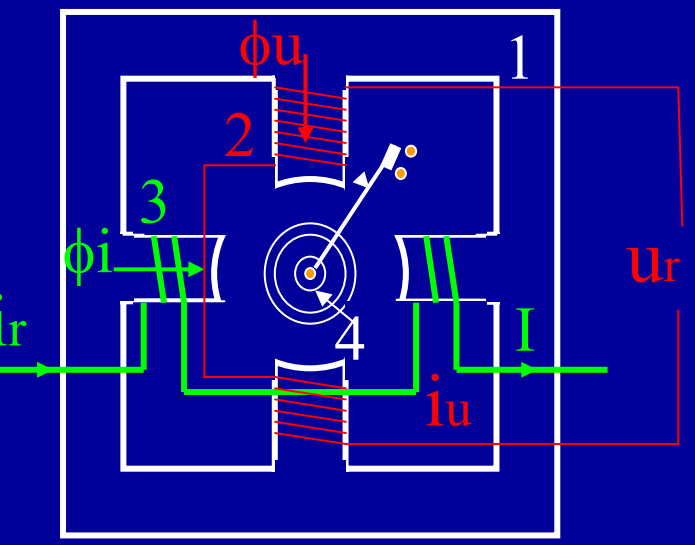
تعتمد في عملها على زاوية انحراف متجه القدرة الكهربائية.

$$P = KU\ I\ \cos\varphi$$

$P > 0$ if $90° \geq \varphi \geq 0°$ or $0° \geq \varphi \geq 270°$

Else $P < 0$

المرحلات الاتجاهية



تركيبها الميكانيكي غالباً ما يتألف من عضو متحرك يتأثر بعزم يعتمد على القدرة.

$$M_r = K\, U_r\, i_r\, \mathrm{Cos}(\varphi_r + \alpha) - M_m$$

حيث : M_r – العزم المحصل المؤثر على العضو المتحرك

φ_r – الزاوية بين الفولطية والتيار.

α – الزاوية الداخلية للمرحل.

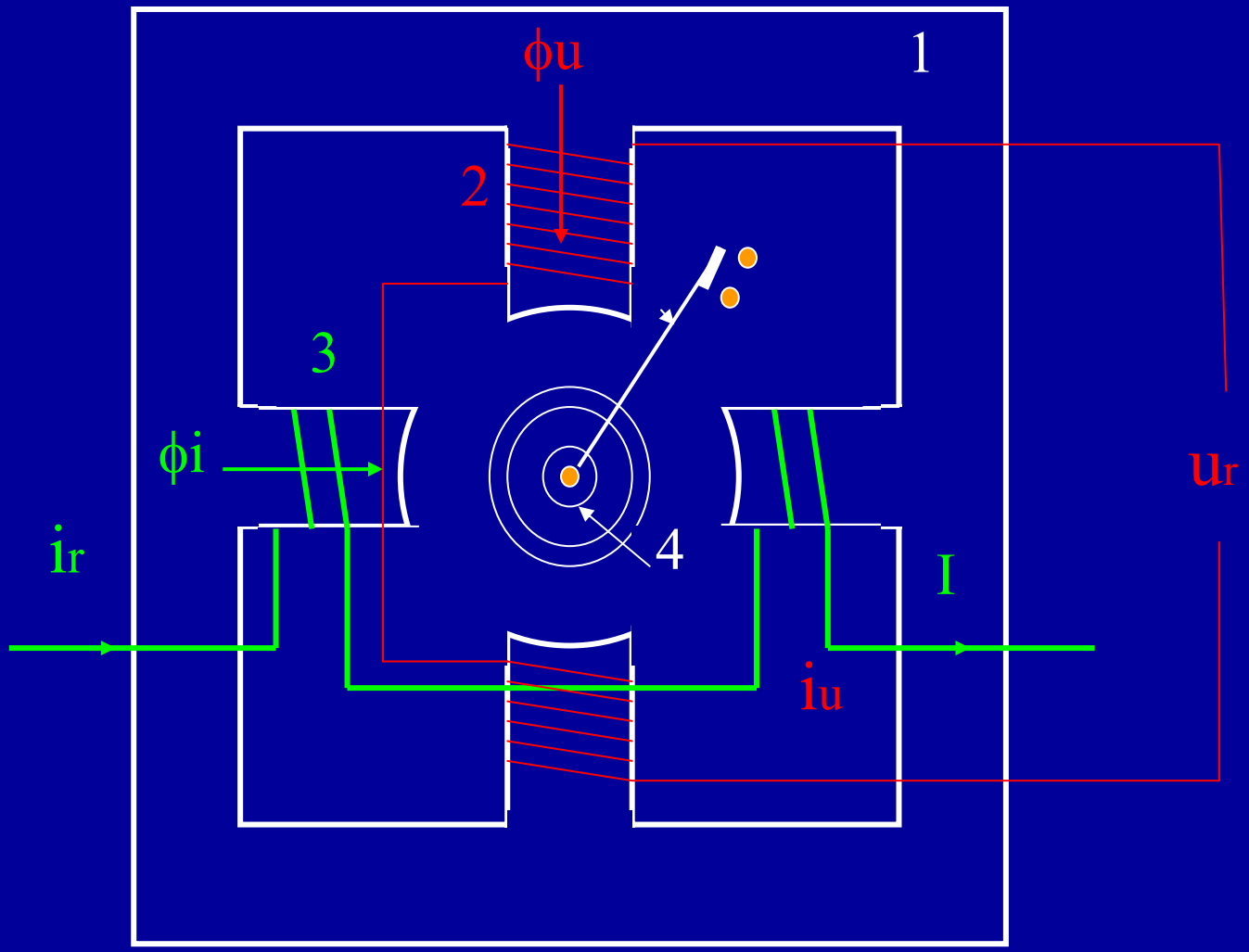
K – ثابت يعتمد على تركيب المرحل.

M_m – العزم الميكانيكي المقاوم (الاحتكاك، الزمبرك، .... وغيره.

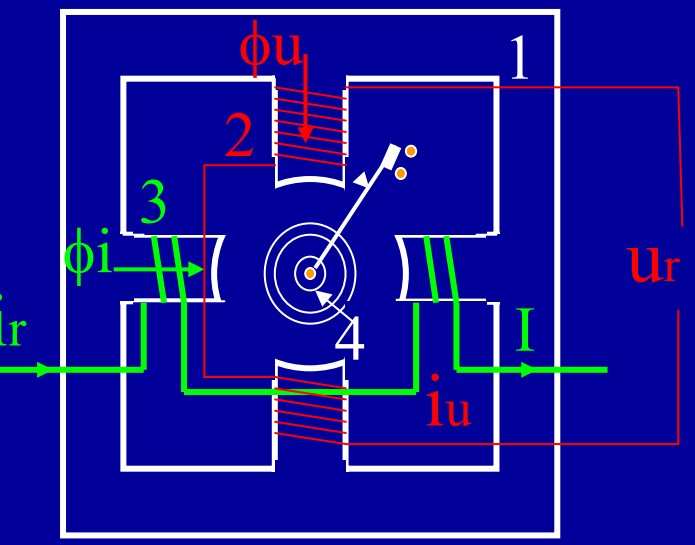
$$M_r = 0 \text{ or } >0 \text{ or } <0 \text{ Depends on } (\varphi_r + \alpha)$$

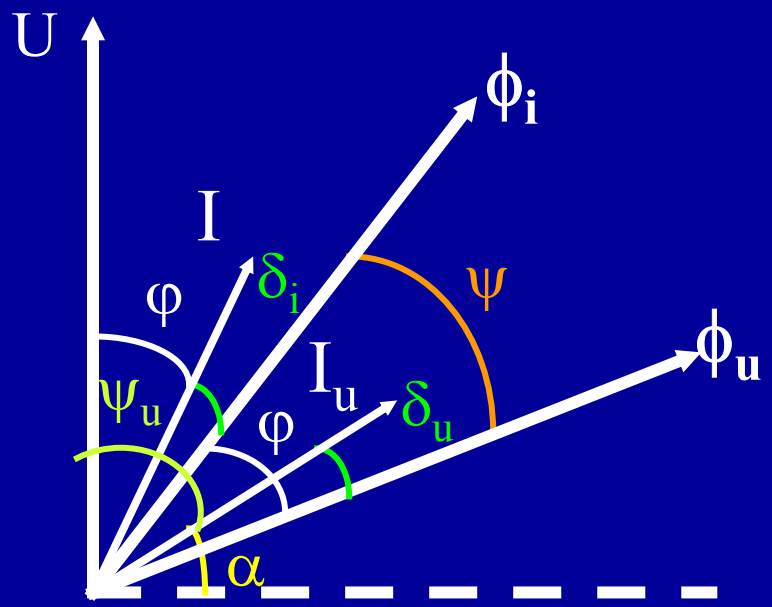
To be Operate $K\, U_r\, i_r\, \mathrm{Cos}(\varphi_r + \alpha) \geq M_m$

مكونات مرحلات القدرة (المرحلات الاتجاهية)



المرحلات الاتجاهية





$\phi_i \propto I \qquad \phi_u \propto U$

$M = k\,\phi_i \phi_u \sin\psi$

$\psi_u = 90 - \alpha$

$\delta_i = \delta_u$

$M = k_1\, IU \sin(\psi_u - \varphi)$

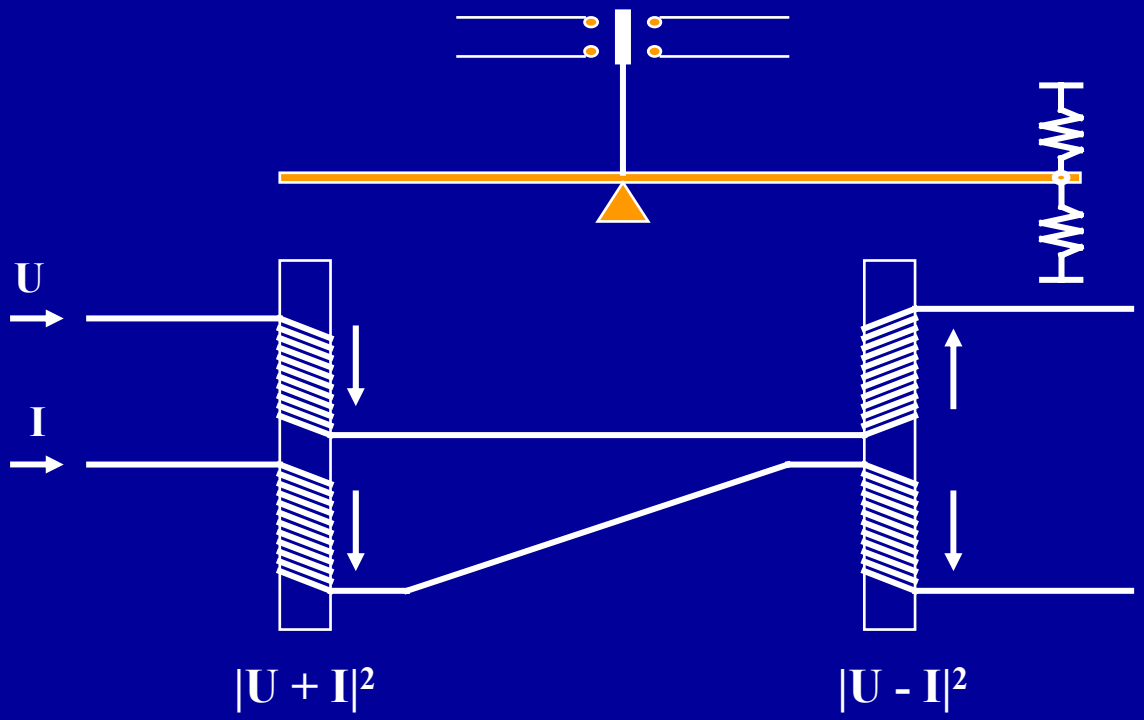
$M = k_1\, IU \cos(\varphi + \alpha)$

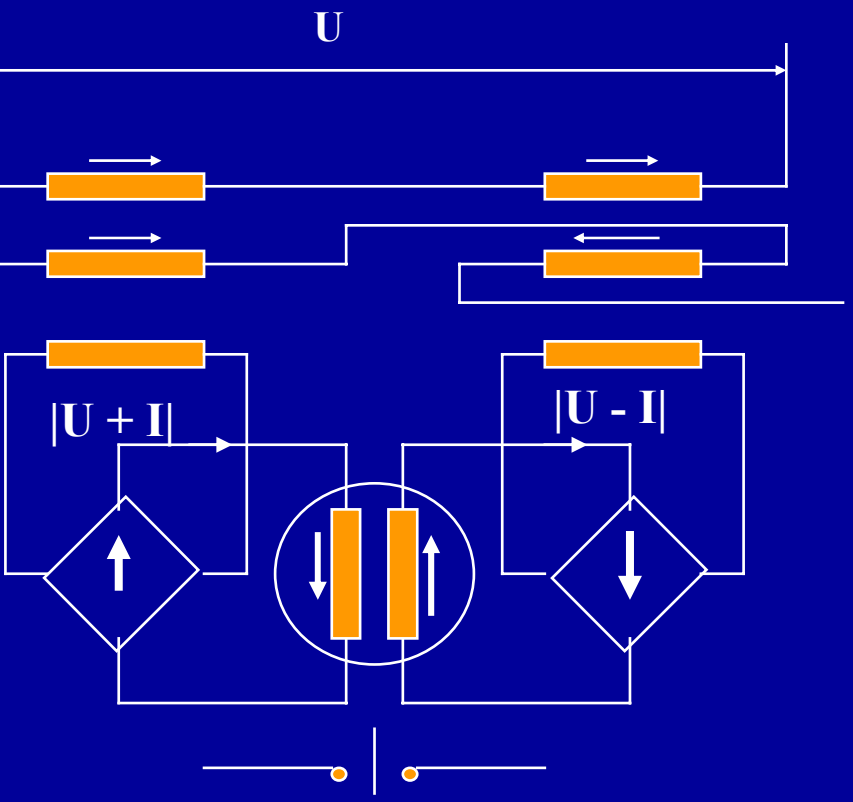
If $P = IU \cos(\varphi + \alpha)$ ⟹ $M = k_1 P$

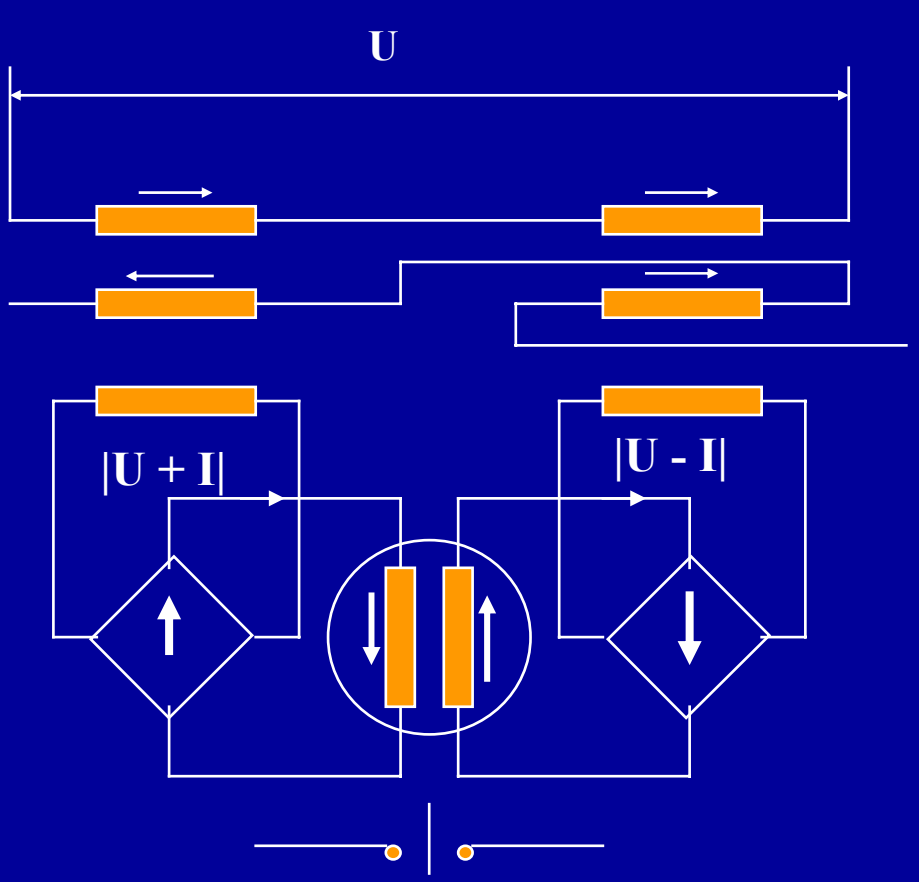
$$P = IU\cos(\varphi + \alpha) + \left|(U/2)^2 + (I/2)^2\right| - \left|(U/2)^2 + (I/2)^2\right|$$

$$P = \left|(U/2)^2 + (UI\cos(\varphi + \alpha))/2 + (I/2)^2\right| - \left|(U/2)^2 - (U/2)^2\cos(\varphi + \alpha))/2 + (I/2)\right.$$

$$P = \left|U/2 + I/2\right|^2 - \left|U/2 - I/2\right|^2$$



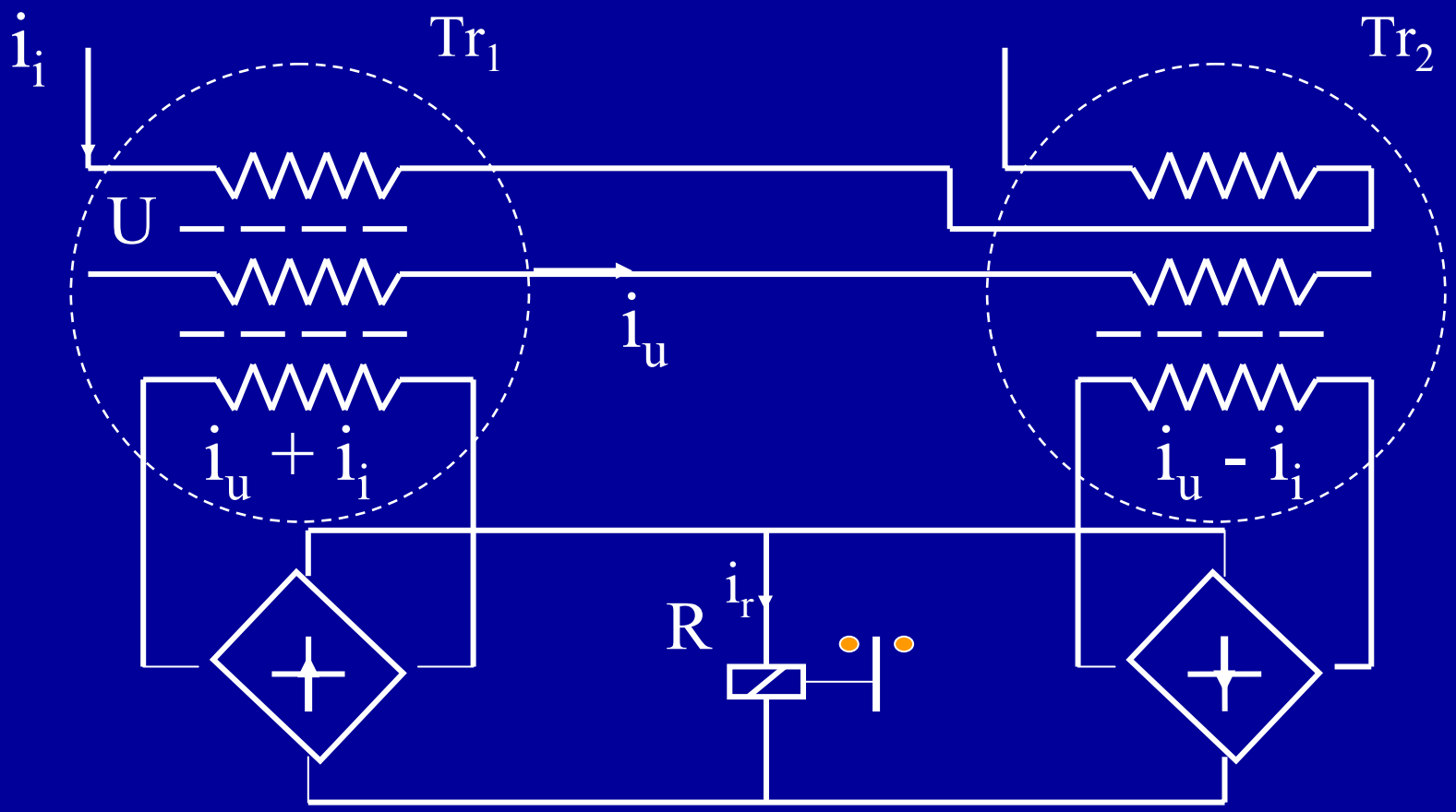

U
|U + I|
|U - I|

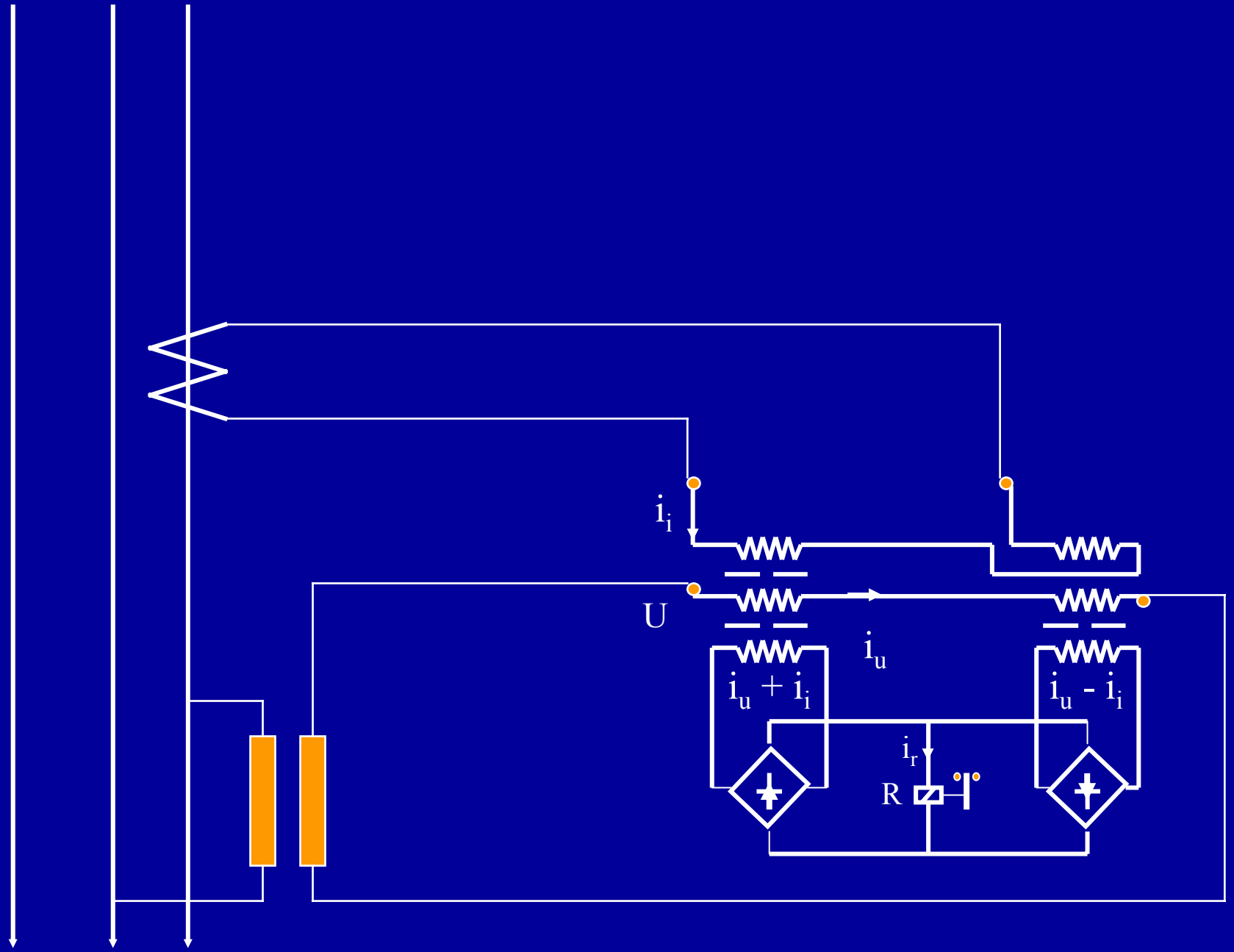

U
|U + I|
|U - I|

Electrical Balance Relays

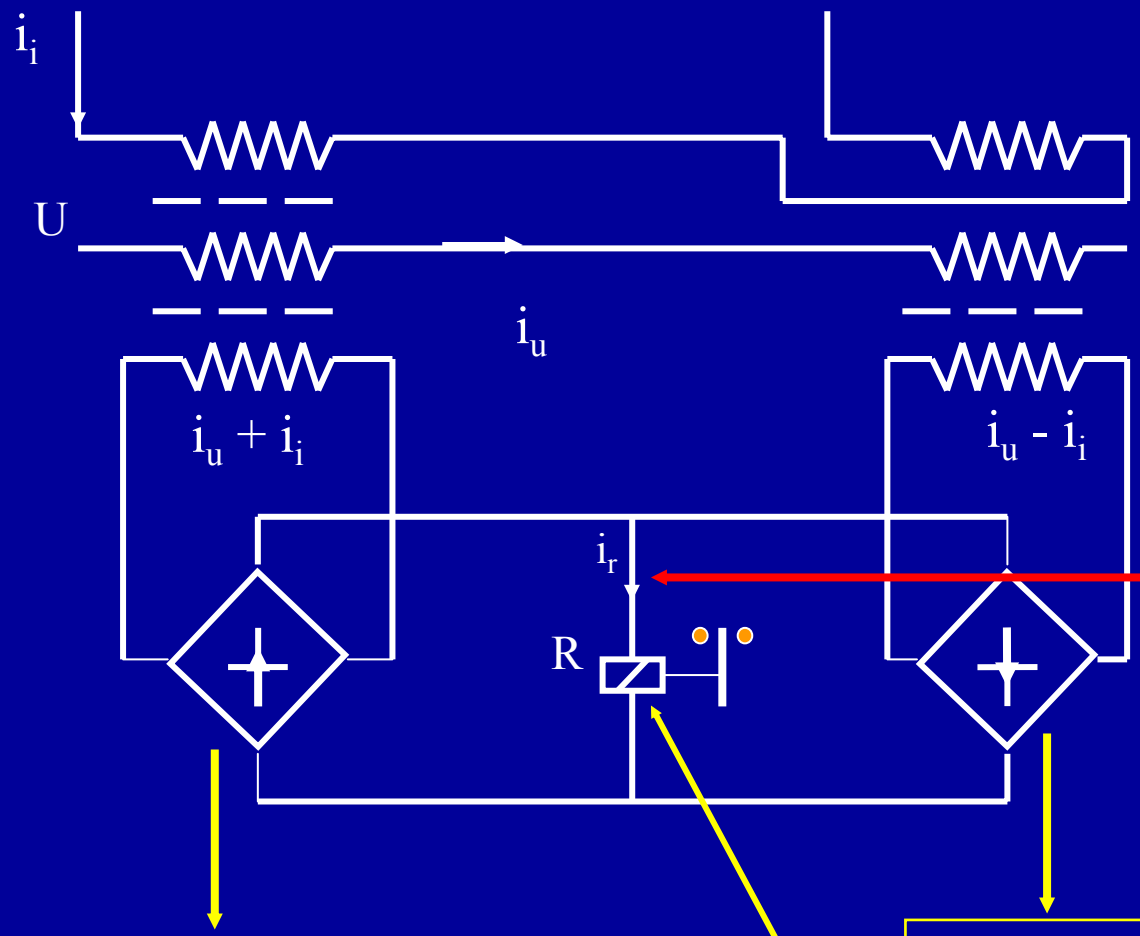
مبدأ عمل مرحل الاتزان الكهربائي

إن مقارنة مجموع وطرح المتجهات أفضل ما تكون كهربائياً كما في الشكل التالي:




i_i
U
i_u
$i_u + i_i$
$i_u - i_i$
i_r
R

مبدأ عمل مرحل الاتزان الكهربائي

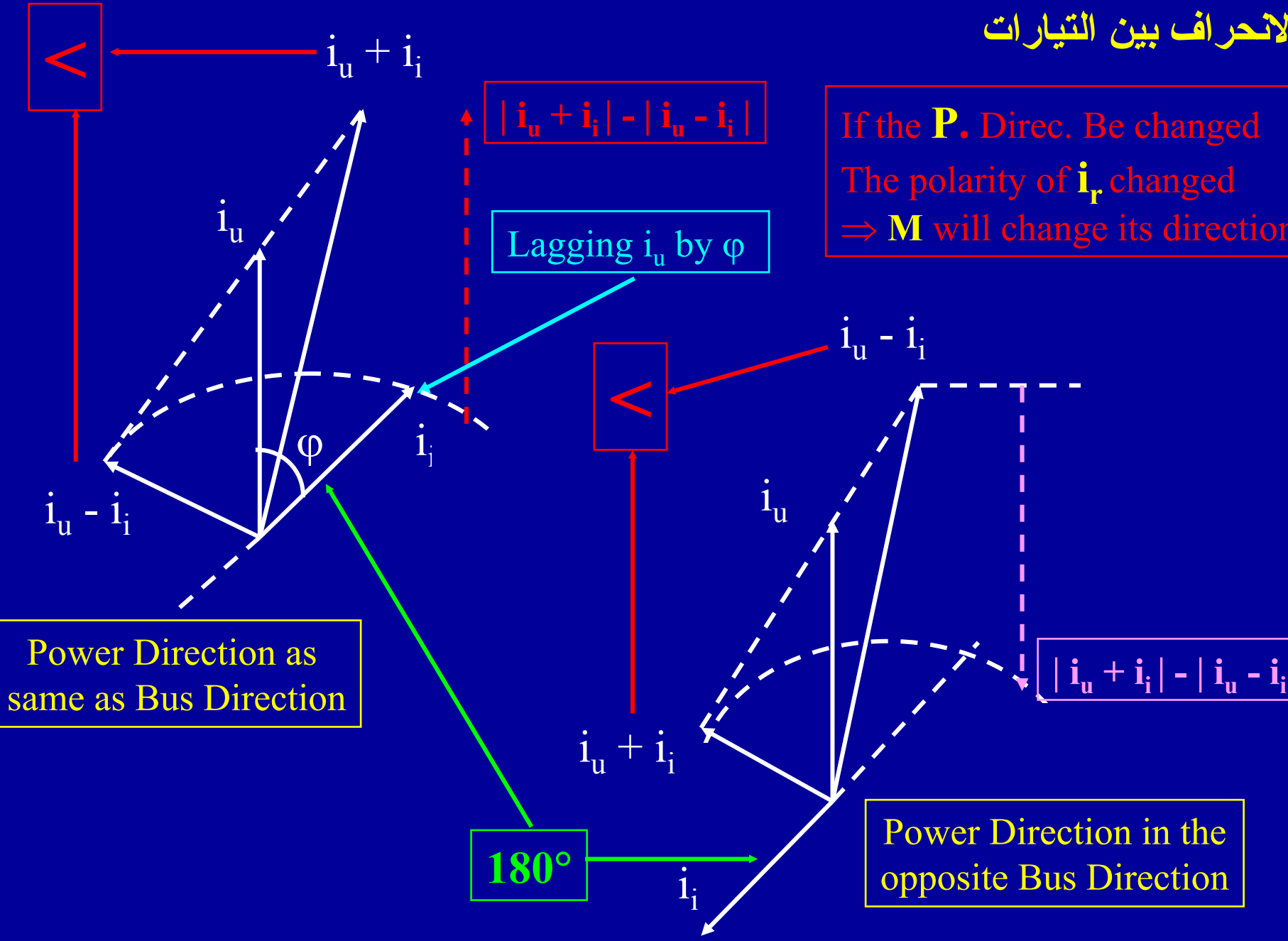


$$i_r = |i_u + i_i| - |i_u - i_i|$$

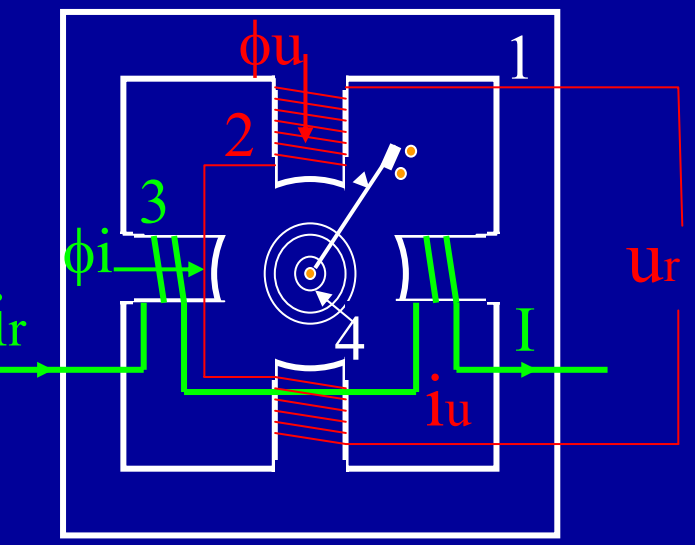
$$I_{DC} \propto (i_u + i_i)$$

$$I_{DC} \propto (i_u - i_i)$$

المرحلات الرقمية الحالية تستخدم دائرة إليكترونية بدلاً من المرحل R


$i_u + i_i$
$|i_u + i_i| - |i_u - i_i|$
If the **P.** Direc. Be changed
The polarity of i_r changed
⇒ **M** will change its direction
i_u
Lagging i_u by φ
φ
i_j
$i_u - i_i$
Power Direction as same as Bus Direction
$i_u - i_i$
i_u
$|i_u + i_i| - |i_u - i_i|$
$i_u + i_i$
180°
i_i
Power Direction in the opposite Bus Direction

المرحلات الاتجاهية



تركيبها الميكانيكي غالباً ما يتألف من عضو متحرك يتأثر بعزم يعتمد على القدرة.

$$M_r = K\, U_r\, i_r\, \mathrm{Cos}(\varphi_r + \alpha) - M_m$$

حيث : M_r – العزم المحصل المؤثر على العضو المتحرك

φ_r – الزاوية بين الفولطية والتيار.

α – الزاوية الداخلية للمرحل.

K – ثابت يعتمد على تركيب المرحل.

M_m – العزم الميكانيكي المقاوم (الاحتكاك، الزمبرك، .... وغيره.

$$M_r = 0 \text{ or } >0 \text{ or } <0 \text{ Depends on } (\varphi_r + \alpha)$$

To be Operate $K\, U_r\, i_r\, \mathrm{Cos}(\varphi_r + \alpha) \geq M_m$

المرحلات الاتجاهية

Total Operating Power : $U_r\, i_r = S_r$ [VA]

$$S_{op} = M_m / K \cos(\varphi_r + \alpha)$$

The relay will be very Sensitive

If $\varphi_r + \alpha = 0$ because of $S_{op} = S_{op\ min}$

To be operate with max. sensitivity Should

φ - Angle between I_r & U_r During Fault time

$$\varphi_r + \alpha = \varphi$$

&

$$M_m = \text{min}$$

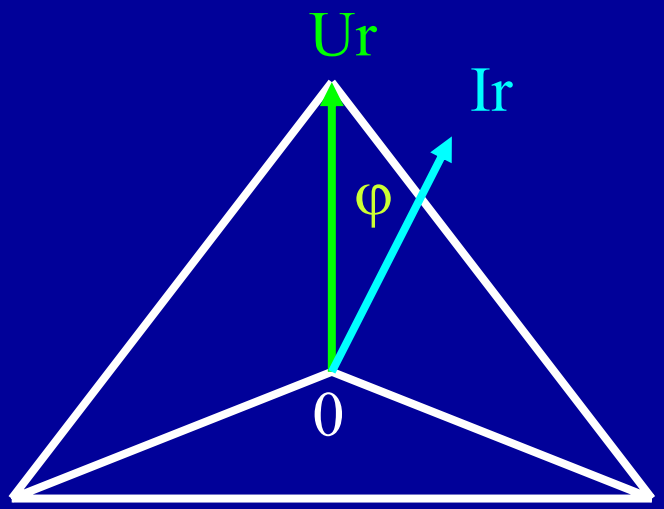
Above conditions obtained by Changing α using reconnections

ربط المرحلات الاتجاهية

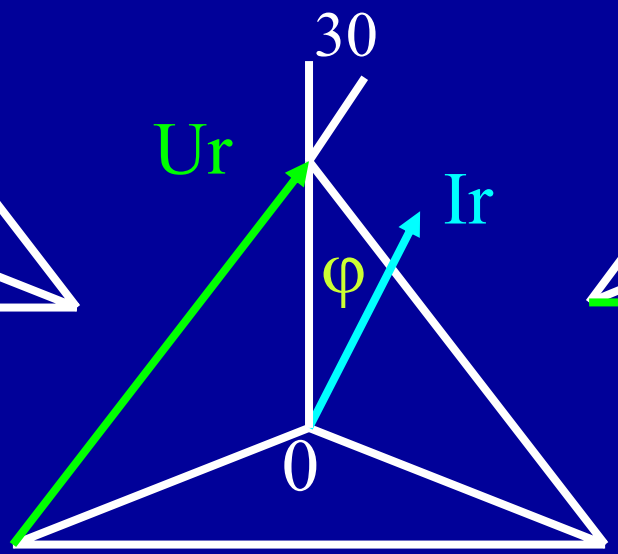
In this case : $\varphi_r = \varphi + \beta$

β - New angle obtained by reconnections on the Relay terminals

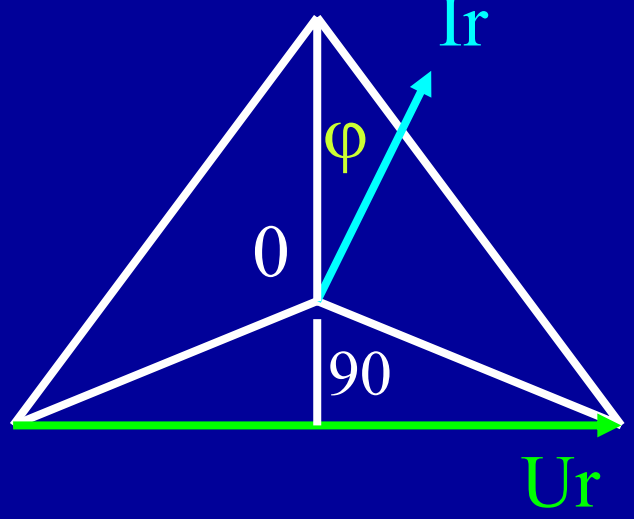
Reconnections can be made by connecting the current circuit on One phase wile the voltage circuit on the other phase, also by mixing phase & line voltages & currents together.



β=0



β= - 30



β= - 90

β>0 , Lagging

β<0 , Leading

مرحلات الاتجاهية

باختيار التوصيلة المناسبة لقيمة الزاوية الداخلية α المقابلة لها يمكن الوصول إلى أكبر حساسية ممكنة عند أي زاوية عطل φ مرغوبة، وغالباً ما تنتج هذه المرحلات بالأنواع التالية:

$\alpha + \beta = 0°$ **(W)** ⟷ P - relays

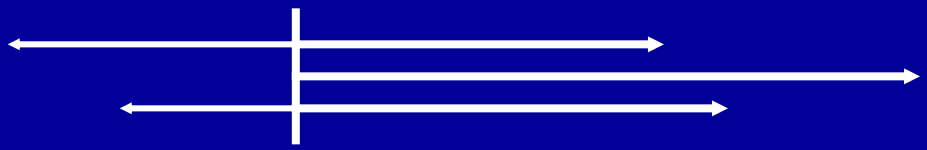
$\alpha + \beta = 90°$ **(VAR)** ⟷ Q - relays

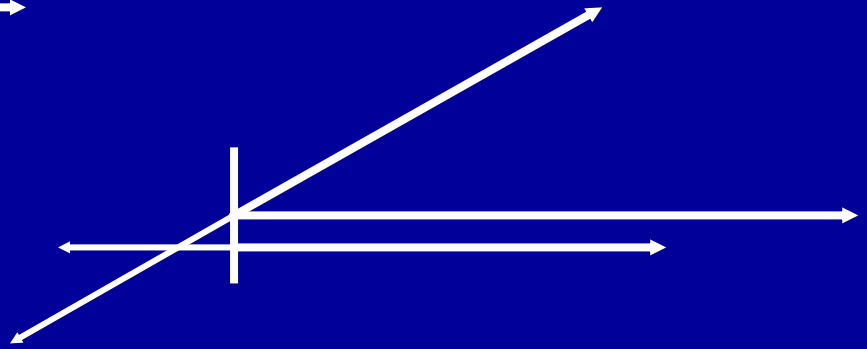
$\alpha + \beta = 30° - 180°$ **(VA)** ⟷ S - relays

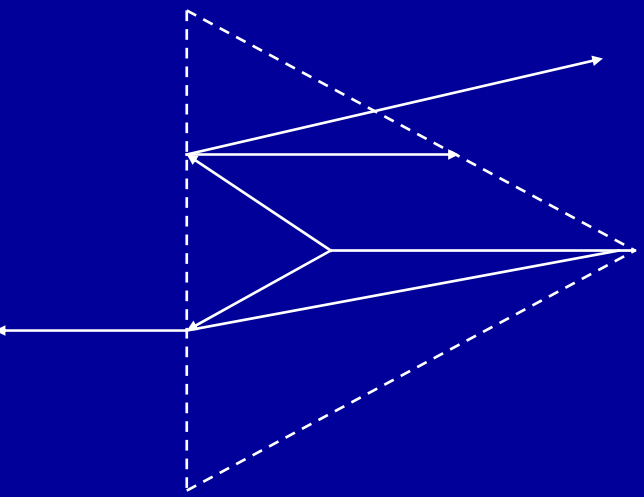
$\alpha + \beta = 180°$ Reverse Power relays

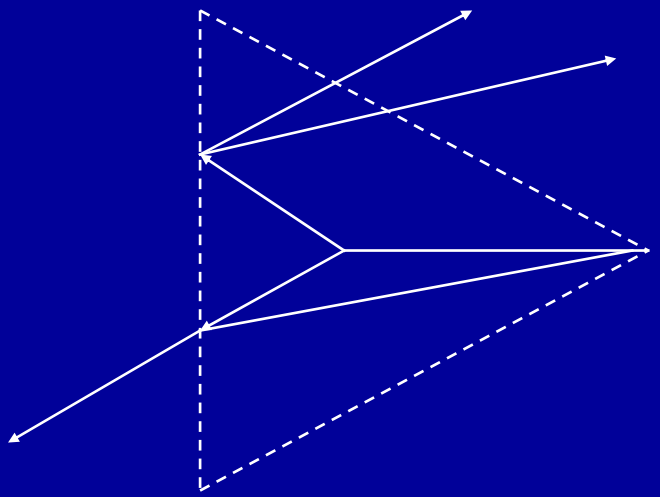
Depending on it's construction these relays can be divided into :

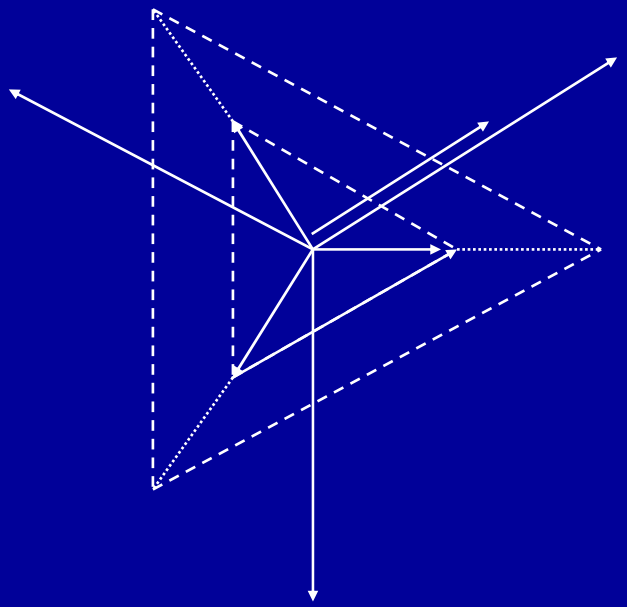
- Induction relays,
- Electro dynamic Relays,
- Electrical Balance Relays.

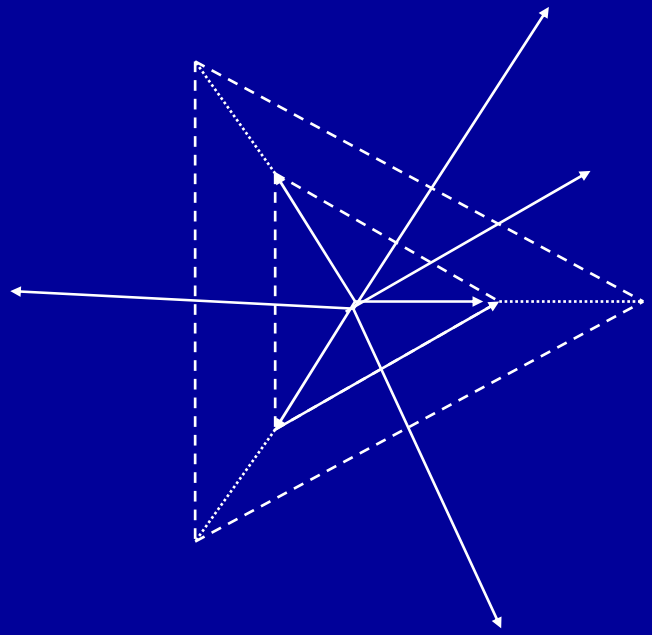


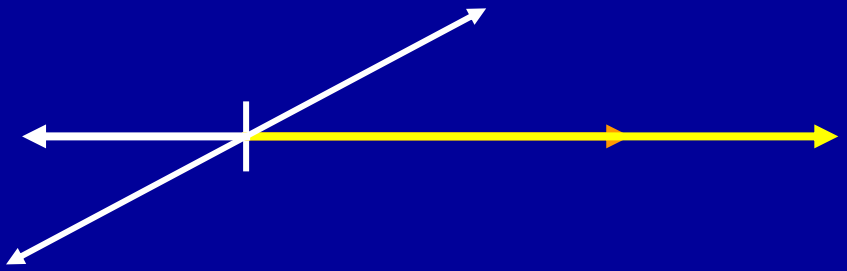


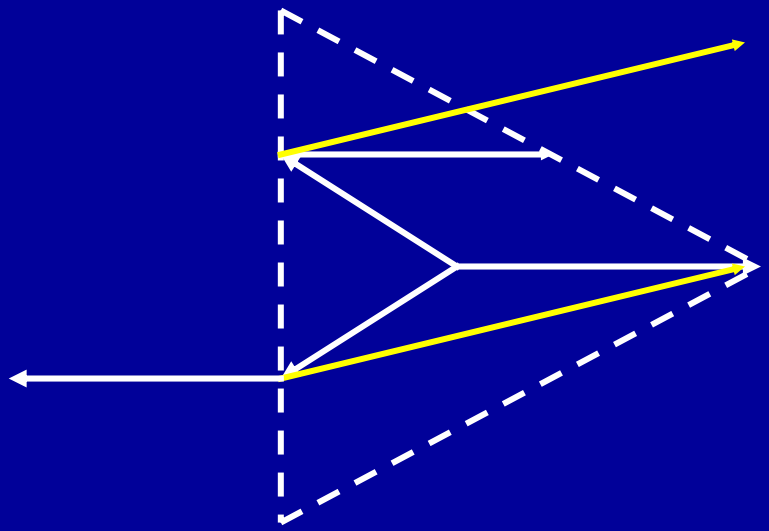


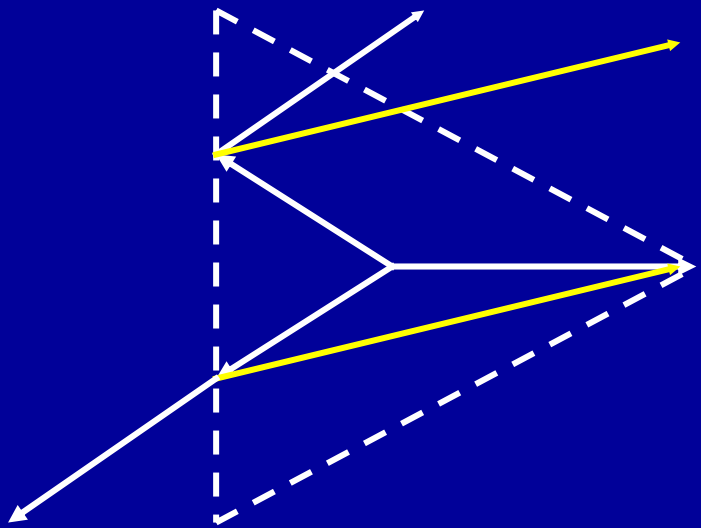












خصائص المرحلات الاتجاهية

العناصر الأساسية التي تؤثر في خصائص المرحلات الاتجاهية هي :

- **الزاوية الداخلية (α) وتأخذ القيم (0°, 30°, 45°, 60°, 80°, 90°, 180°)**
  ويكون للجهاز عندها أعلى حساسية

- **الزاوية الناتجة عن طريق التوصيل (β) وهي في الغالب (0° or 90°)**
  وهي الزاوية بين الفولطية التي تدفع التيار في المرحل، والفولطية الموصولة فعلياً مع المرحل

- **الخطأ الزاوي** وهو الخطأ بين الكميات الفعلية والكميات التي المقاسة

- **الحساسية** وهي القيمة الصغرى لإحدى الكميات الداخله إلى المرحل وتؤدي إلى عمله، في الوقت الذي تكون فيه قيمة الكمية الأخرى كما هي في الوضع الطبيعي

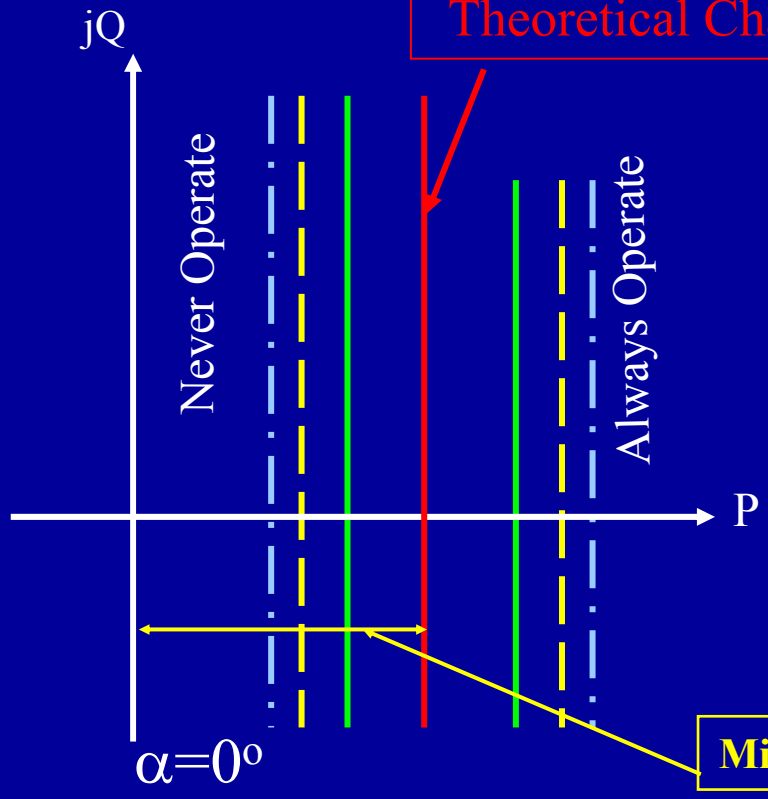
- **القيم الفعالة التي تدخل المرحل** وهي في العادة (1 or 5 A) أو (110 Or 110√3 V)

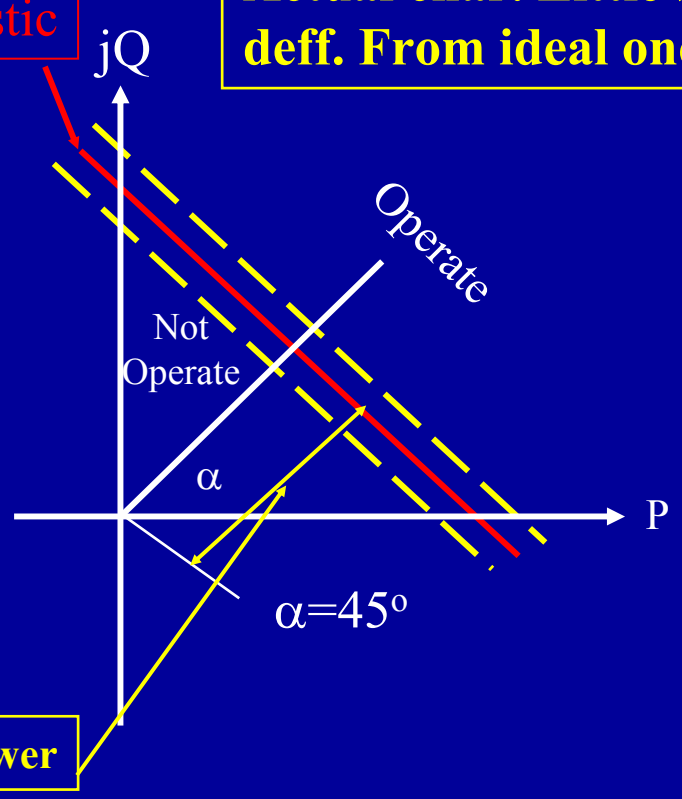
خصائص المرحلات الاتجاهية

خصائص العمل

تعطى في المستوى (P - j Q)

الخصائص الزمنية





Actual char. Little bet deff. From ideal one.

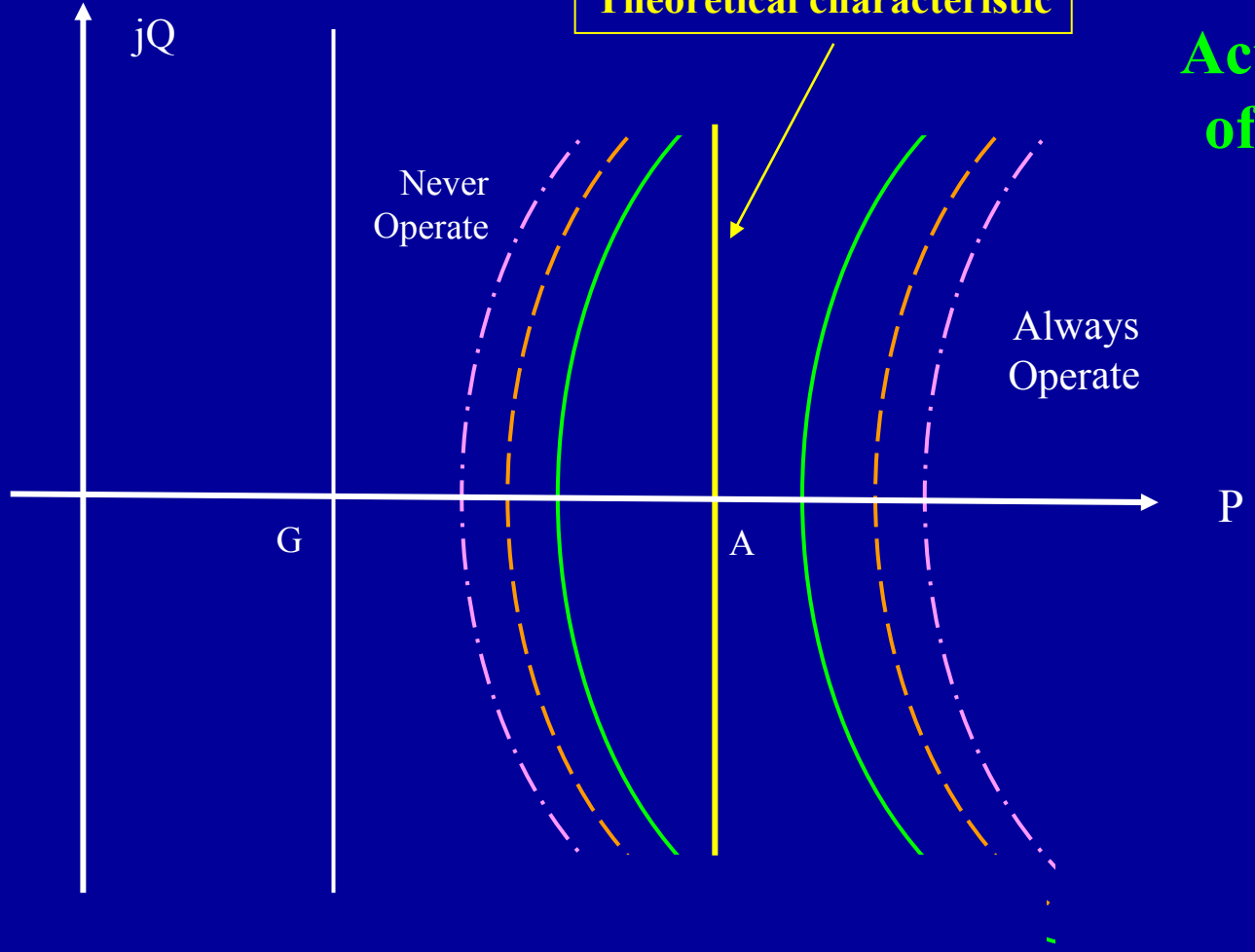
Error Boundary when U=K1% Un K1<100%

Error Boundary when U=100% Un

Error Boundary when U=K2% Un K2< K1

Actual oper.Char. of Direc. P Relay

$\propto = 0°$



G Nominal value relay.

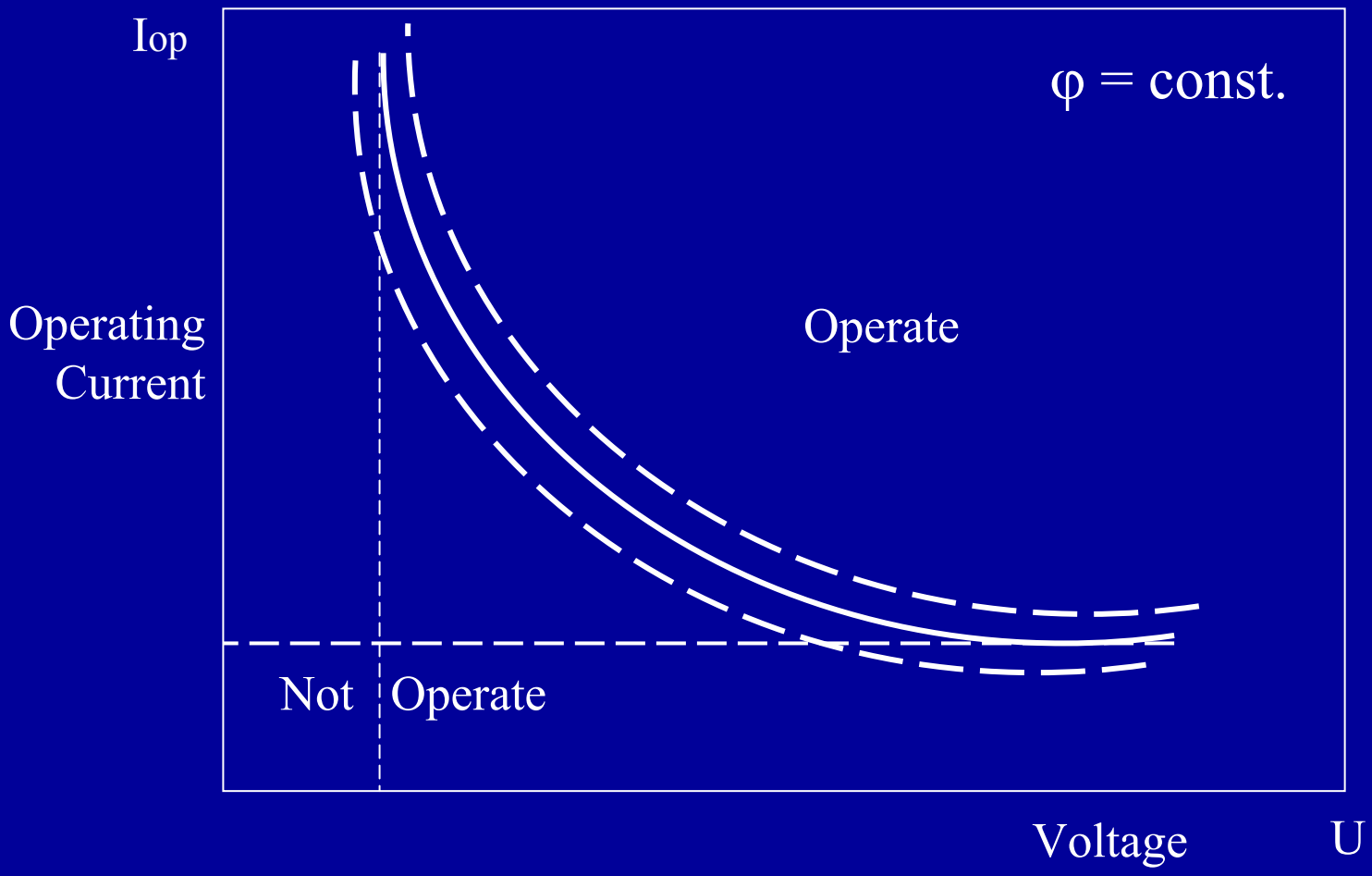
A Theoretical setting value

Error Boundary when U=K_1% Un K_1<100%

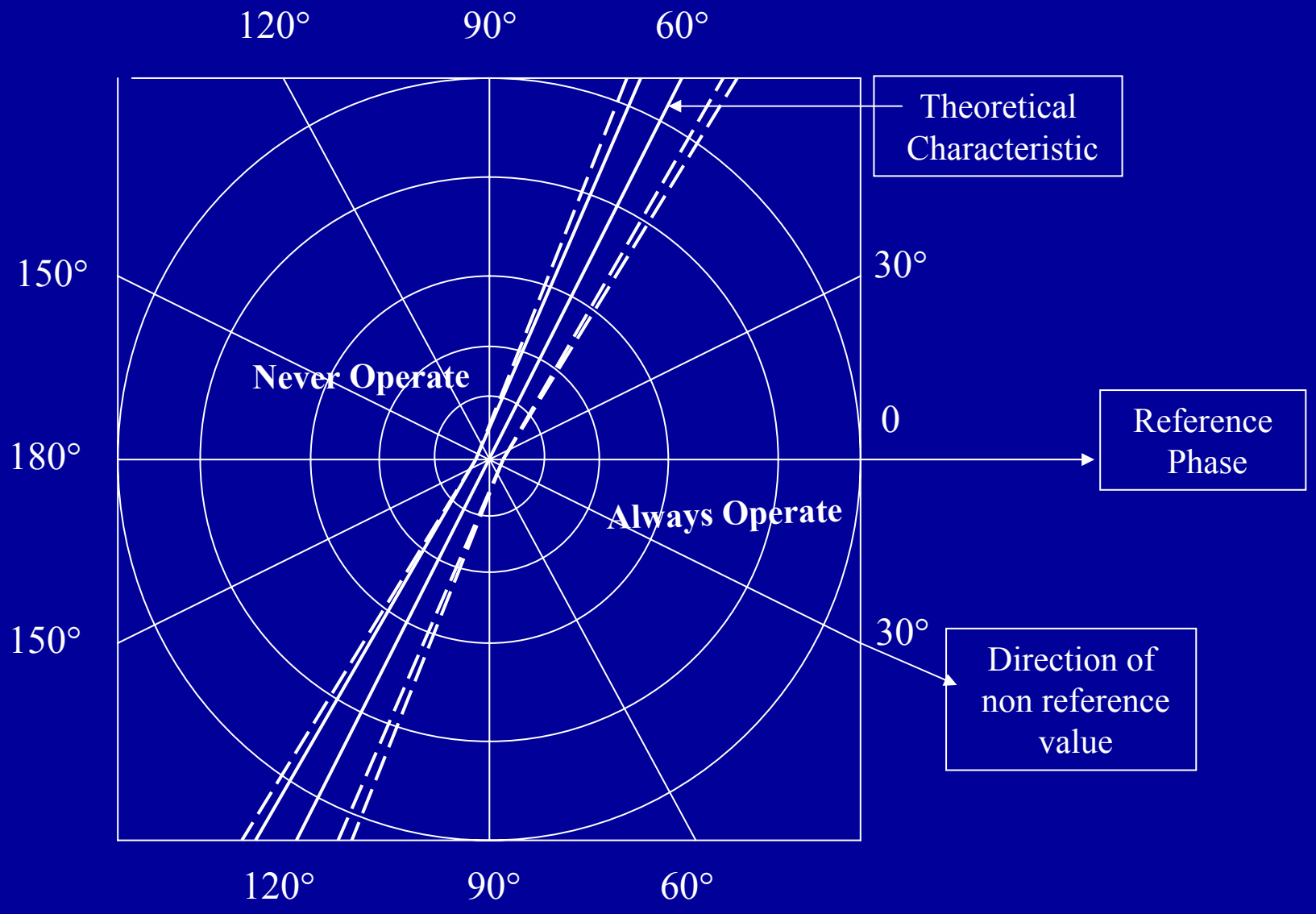
Error Boundary when U=100% Un

Error Boundary when U=K_2% Un K_2< K_1

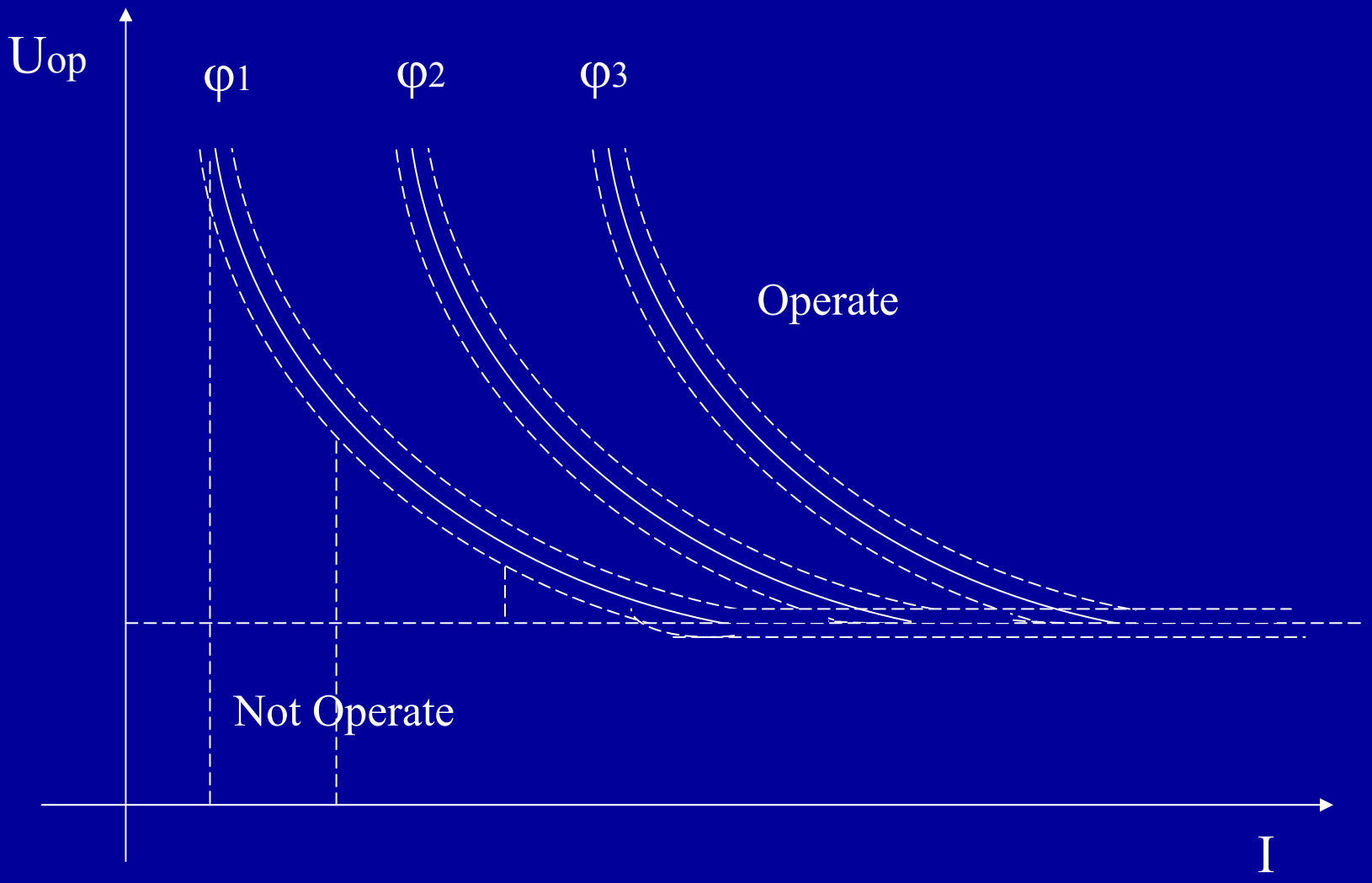
Operating Characteristics of Directional relay as $I_{op} = f(U)$



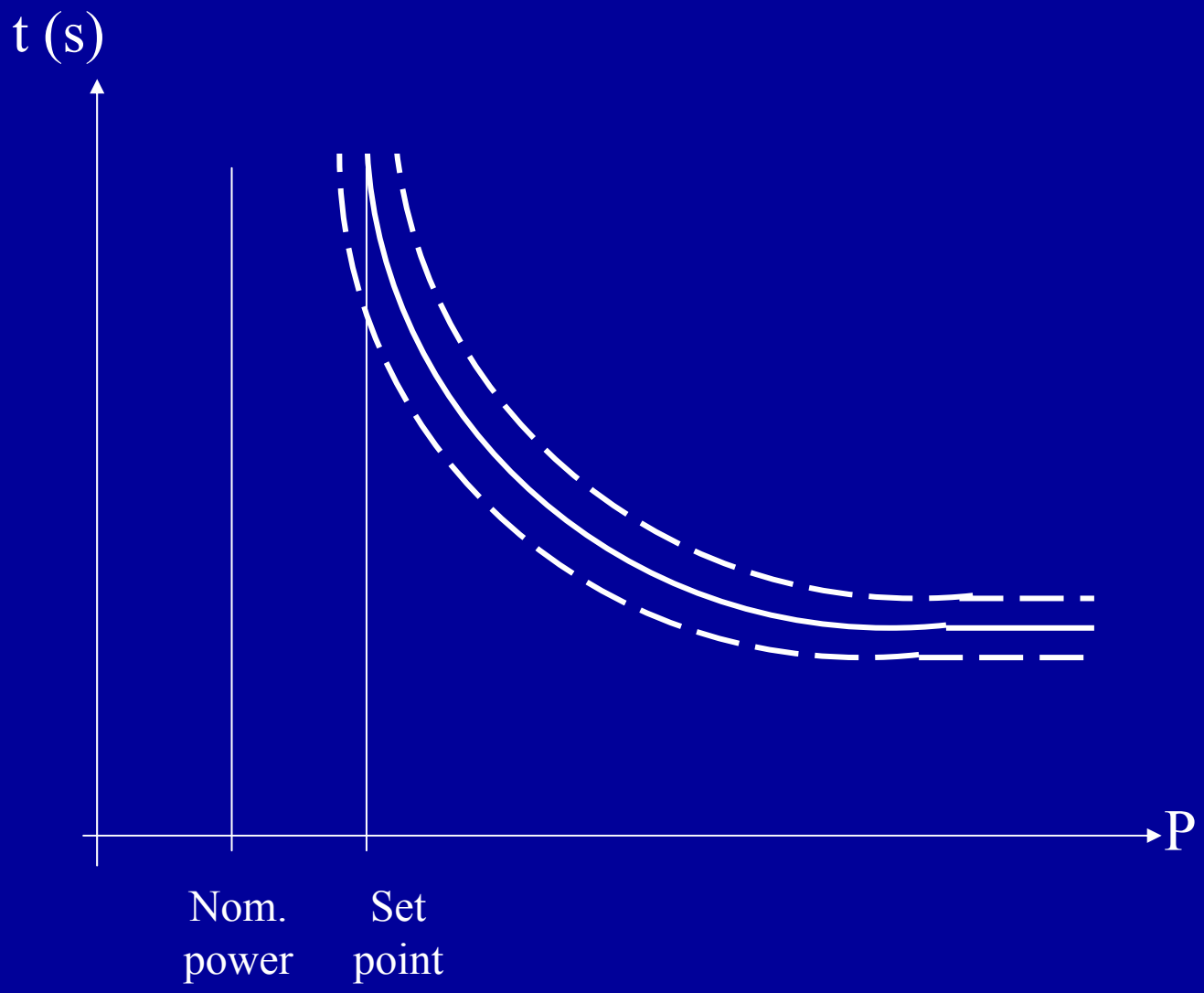
Oper. Char. of Direc. relay in polar system $\alpha = 30°$



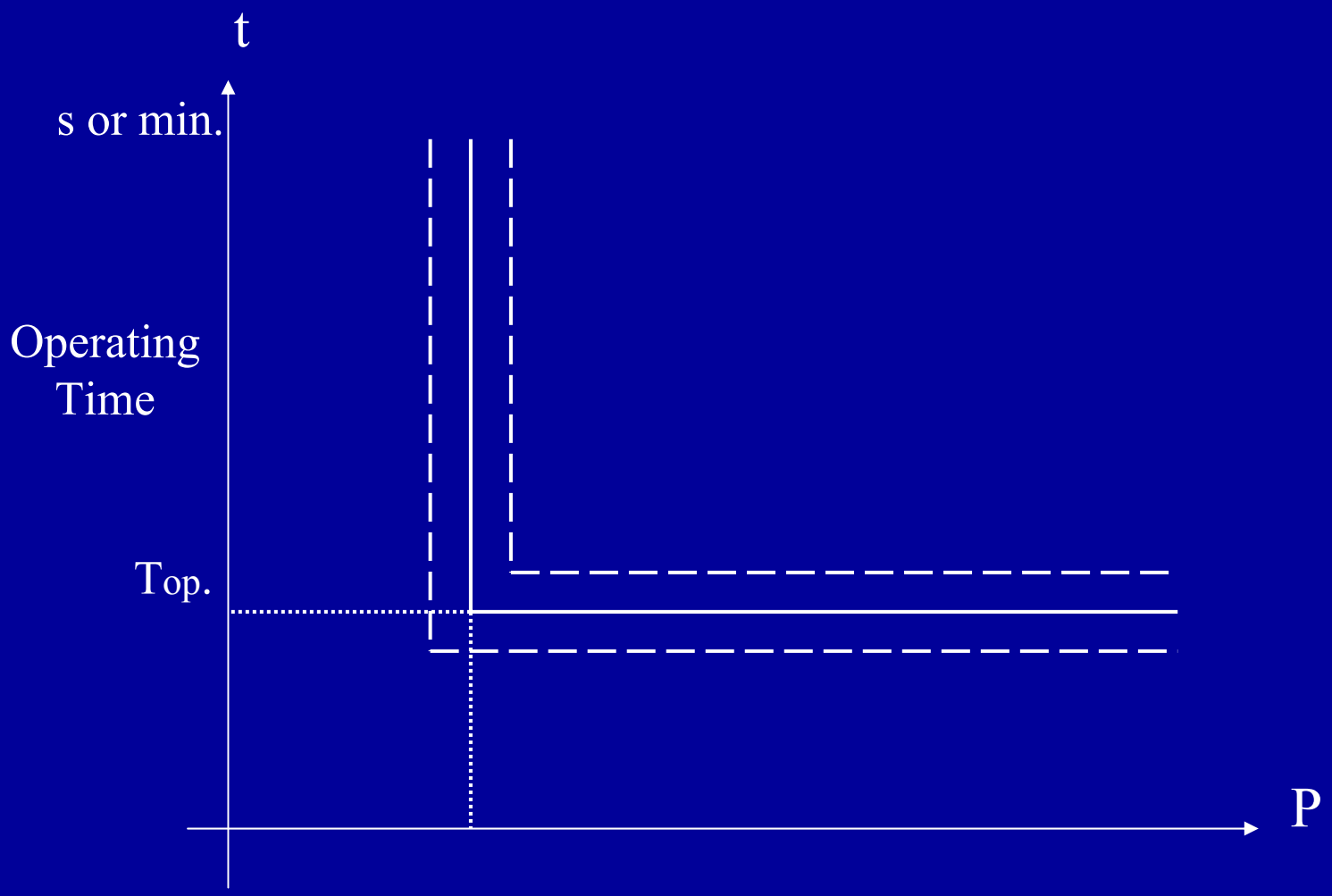
Operating Characteristics of Directional relay as $U_{op} = f(I)$



Time Characteristics of Directional relay



Time Characteristics of Directional relay



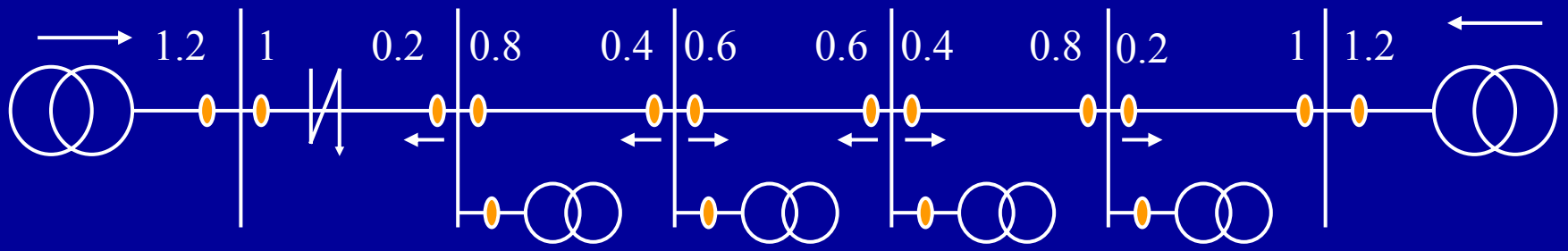
Distance Relays المرحلات المسافية

L_{TL} >> **No of TL Supplies >>** Complex form Of TL >>

Geographical & Natural Conditions become more Difficult

Probability of Faults becomes more & more

request the protective relays to have a high speed to eliminate the faults as quick as possible.



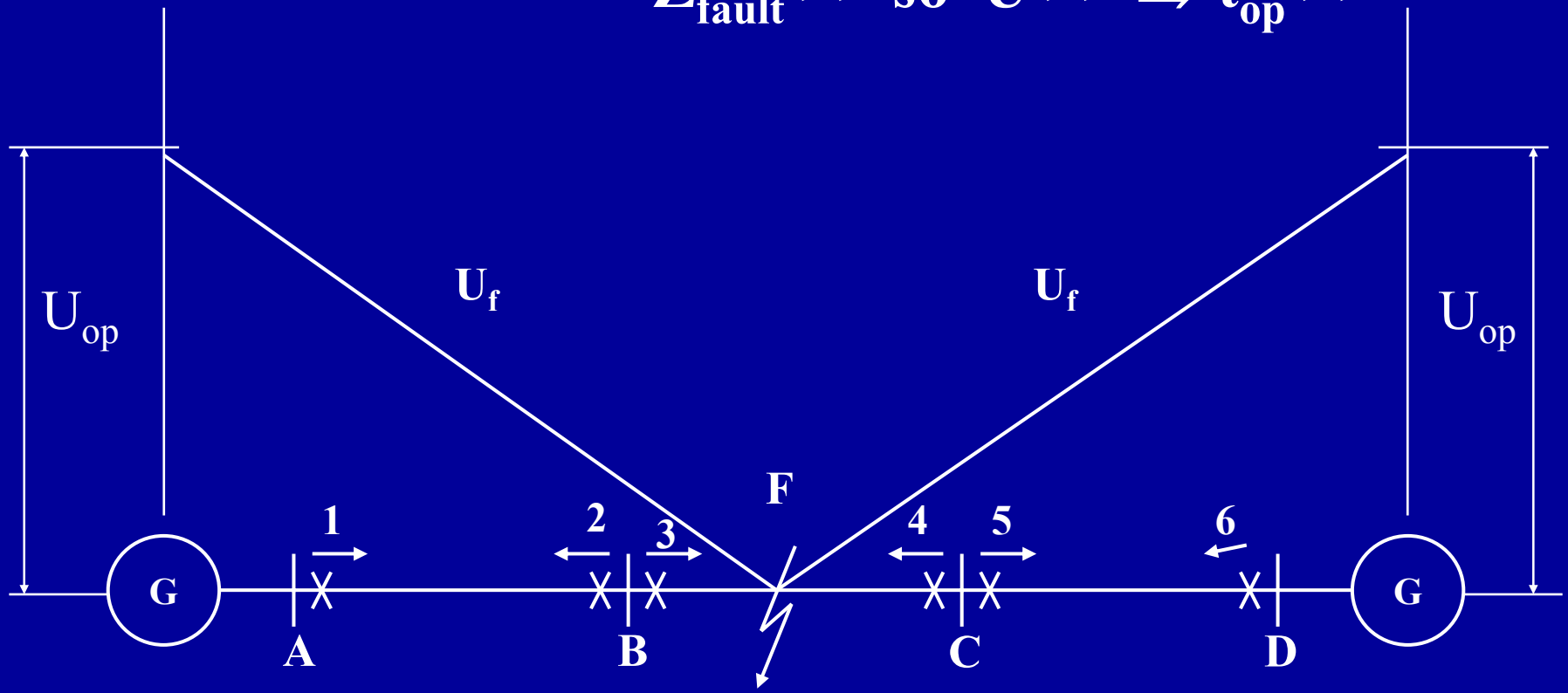
Solution: t_{op}<< as L_{fault} <<

Distance Relays المرحلات المسافية

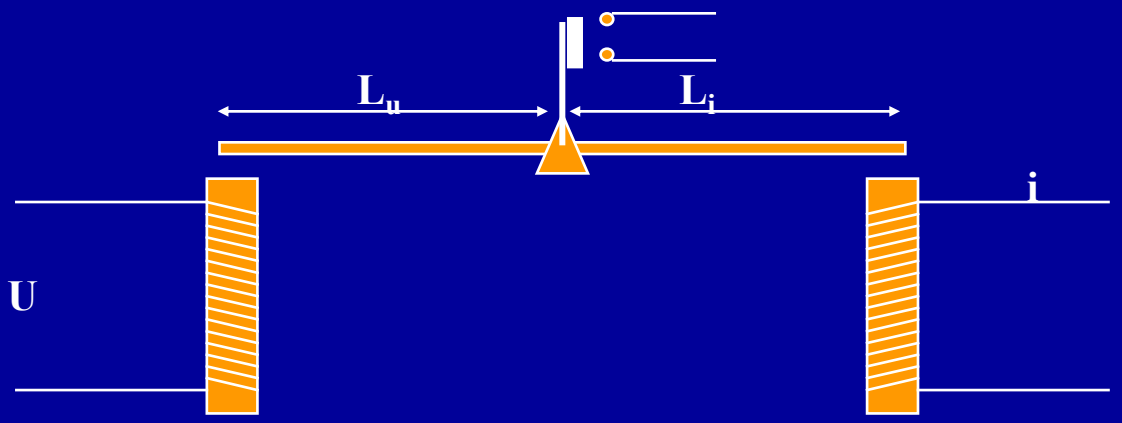
Old Criteria : $t_{op} \propto U$

Disadvantages:

- $U = f(Z_L, I_f) \Rightarrow t_{op} >>$ as $I_f >>$
- $Z_{fault} >>$ so $U >> \Rightarrow t_{op} >>$



مبدأ عمل الحماية المسافية



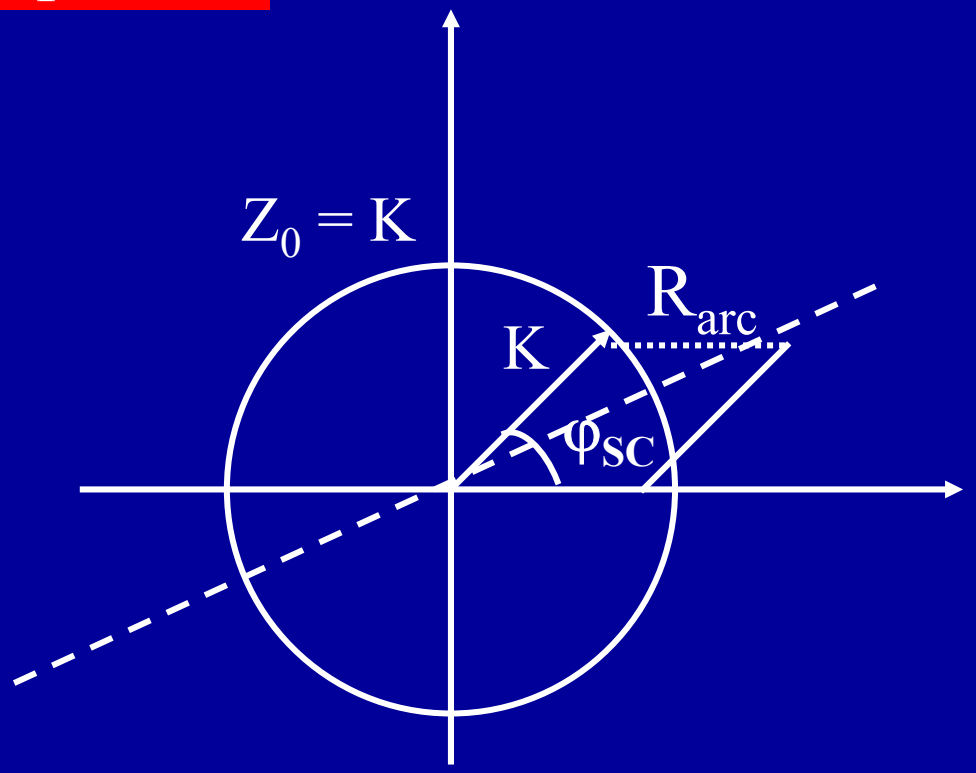
$u = c_{u1}\, U_{SC}$ $\quad i = c_{i1}\, I_{SC}$ $\quad F_u = c_{u2}\, u^2$ $\quad F_i = c_{i2}\, i^2$

$F_u\, L_u = F_i\, L_i$ $\quad c_u\, u^2 = c_i\, i^2$ $\quad (u/i)^2 = c_i/c_u = k_1^2$

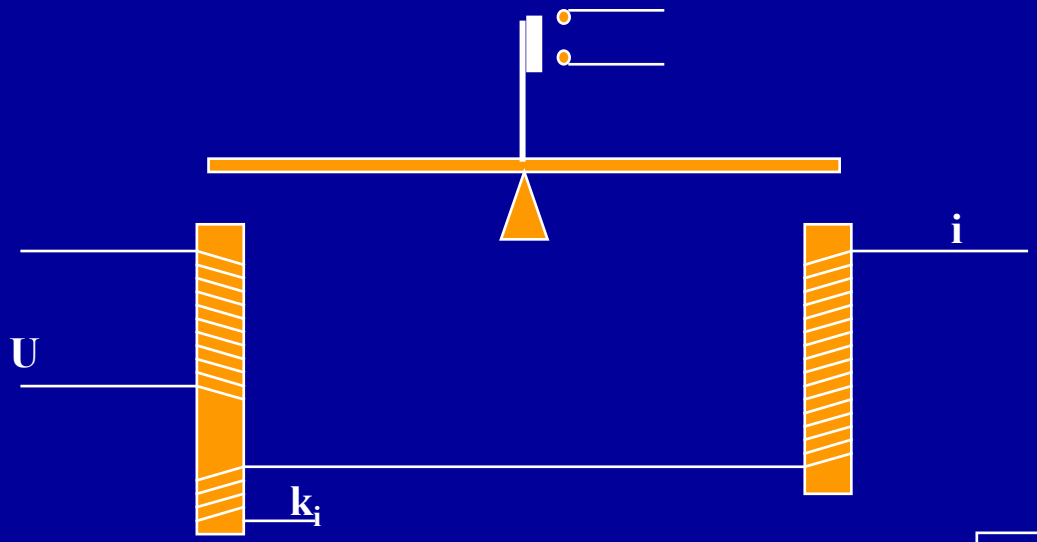
$u/I = c_{u1}\, U_{SC}/c_{i1}\, I_{SC} = c\, Z$ $\quad \mathbf{Z = k_1/c = K}$

$Z = k_1/c = K$

$R_2 + X_2 = K$



مبدأ عمل الحماية المسافية



It's a vector has ohm character

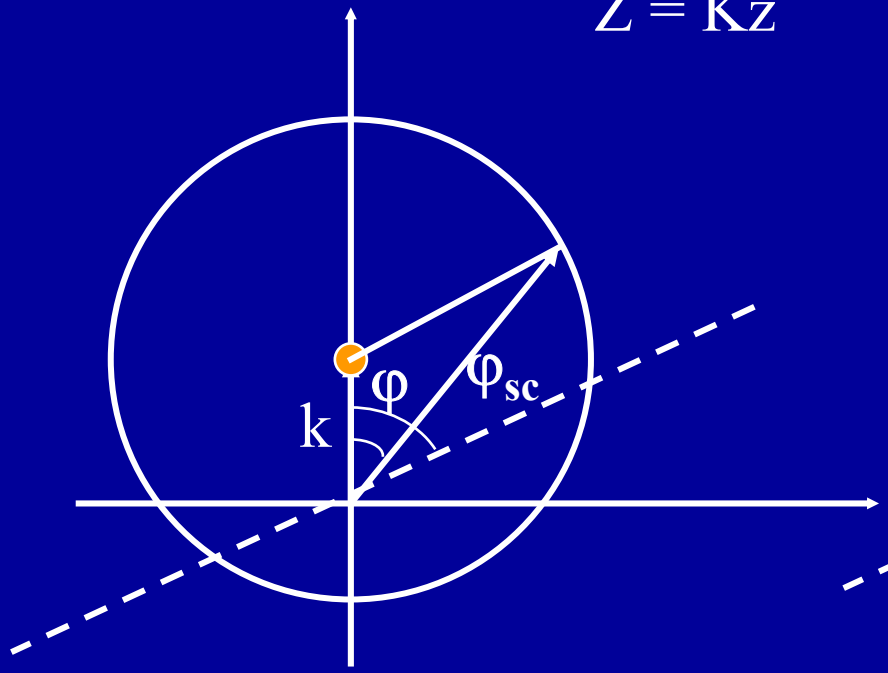
$$|u - ki|^2 = i^2 \qquad z = u/i \qquad |z - k|^2 = 1$$

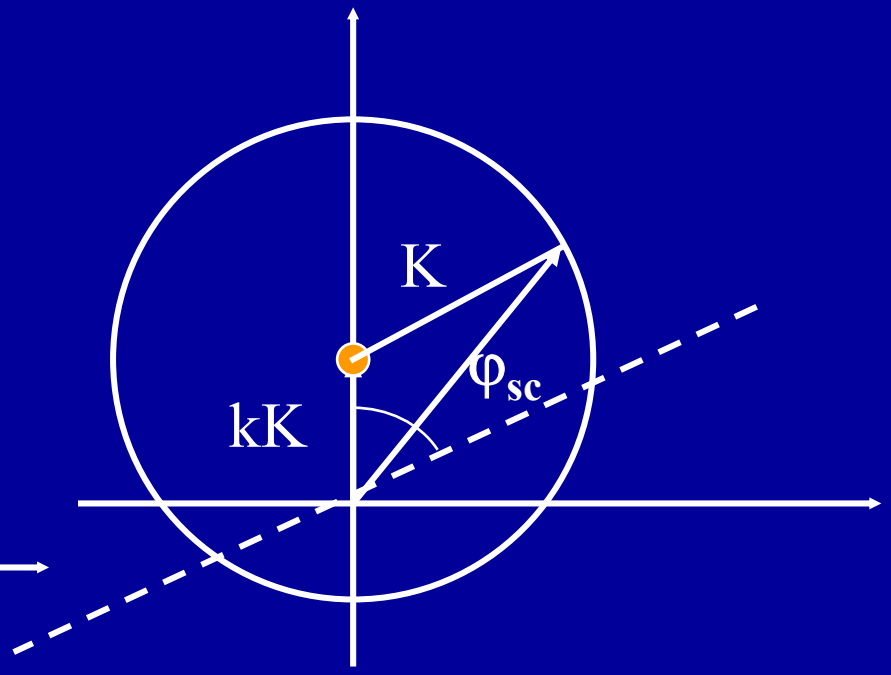
If the angle between k & z is φ then : $\mathbf{z^2 - 2zk\cos\varphi + k^2 = 1}$

$z^2 - 2zk\cos\varphi + k^2 = 1$

$Z^2 - 2ZkK\cos\varphi + (kK)^2 = K^2$

$Z = Kz$



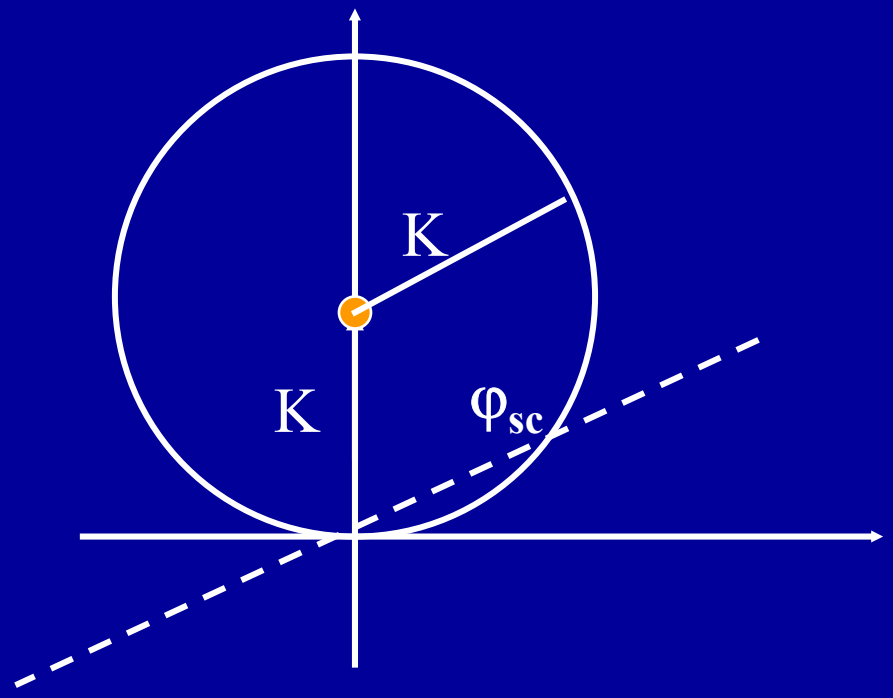


For k = 1

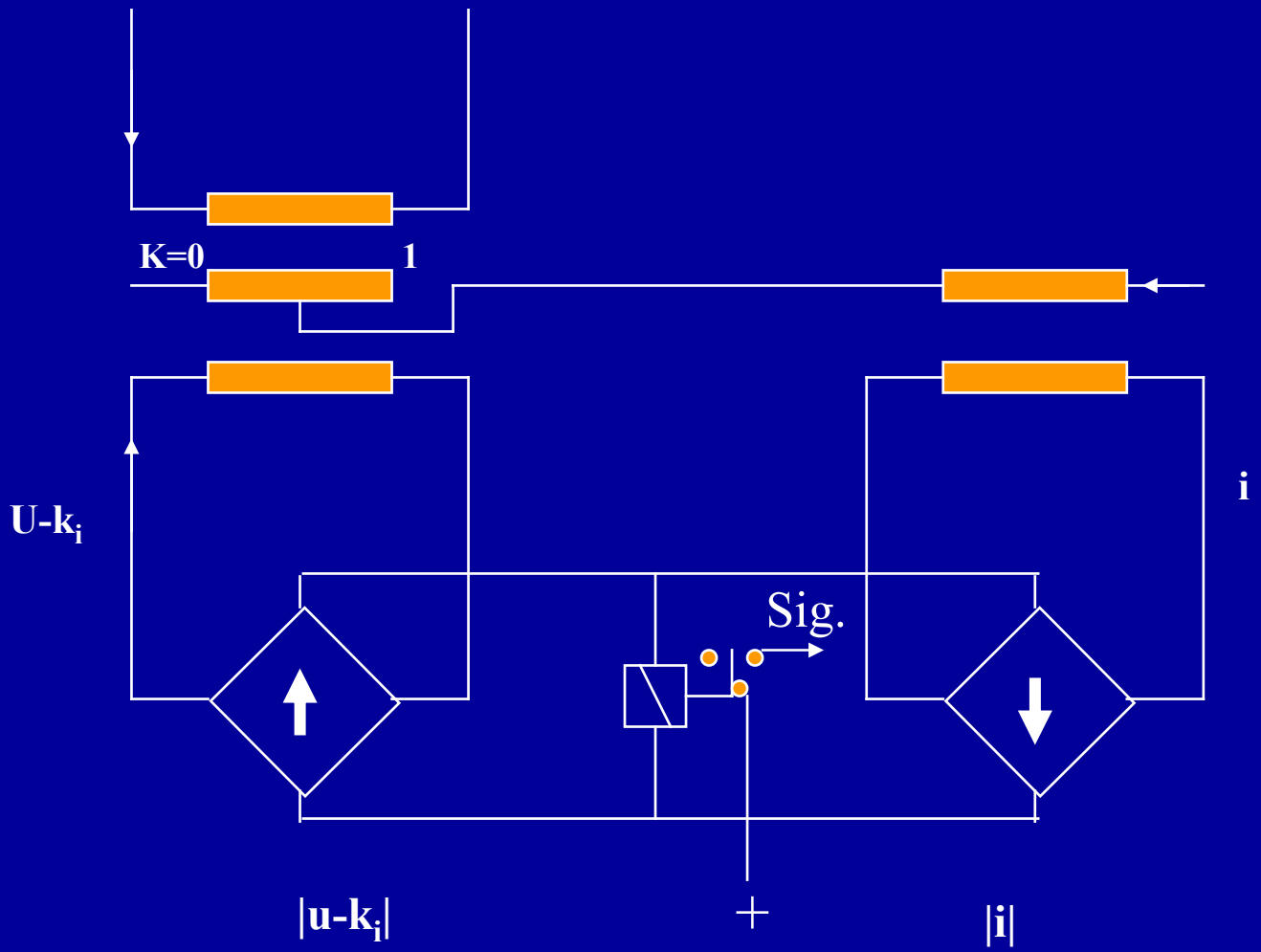
$$Z^2 - 2ZK\cos\varphi + K^2 = K^2$$

تصبح الخصائص عبارة عن دائرة تمر بنقطة الأصل وهي تمثل خصائص

MOH Relay



مبدأ عمل الحماية المسافية



Distance Relays المرحلات المسافية

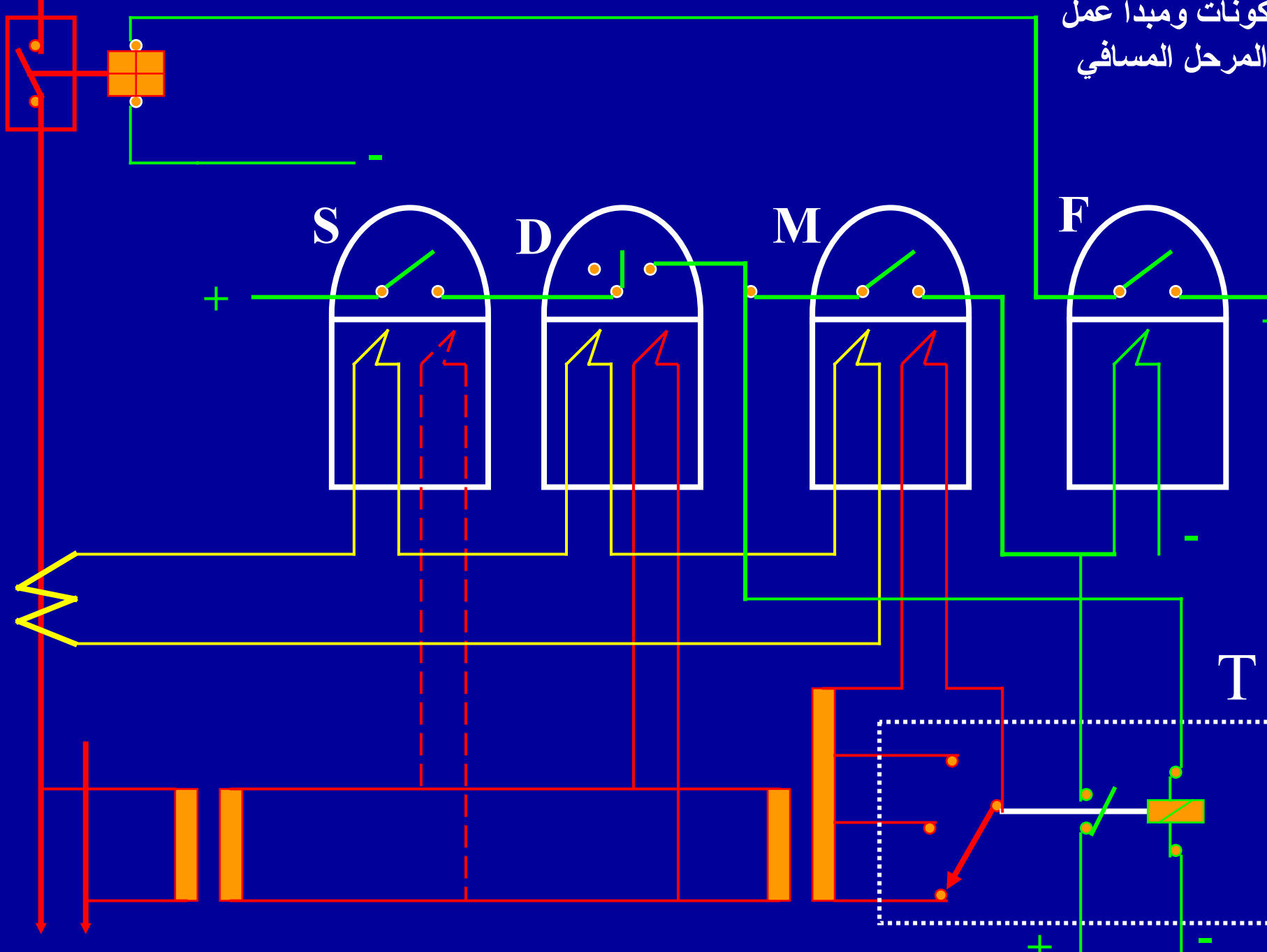
New Criteria : $t_{op} \propto (U, 1/I_f)$

$$t_{op} = K\, U/I_f = K\, Z_{line}$$

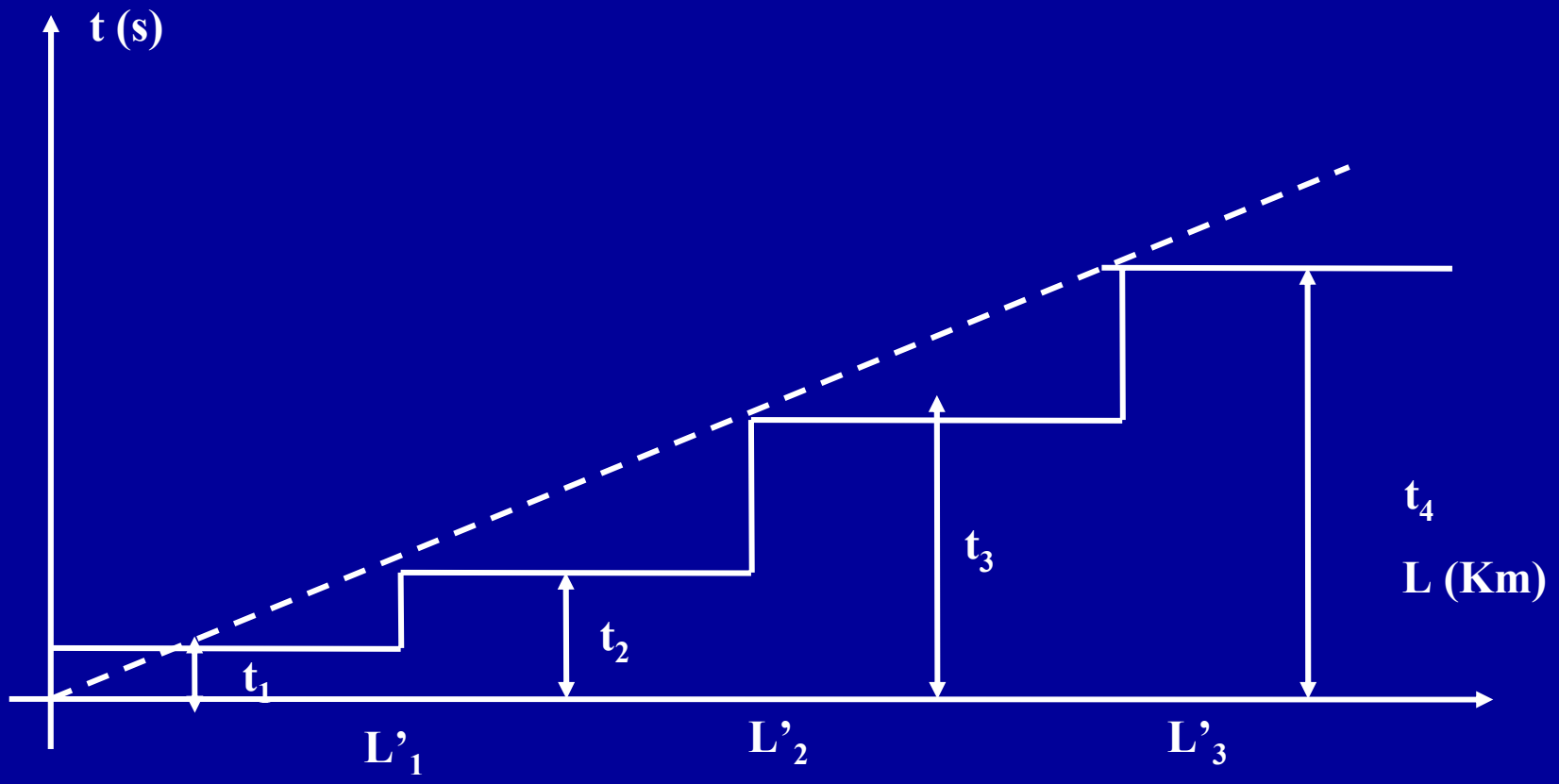
$$Z_{line} = Z_1 * L \quad \& \quad U = I * Z_1 * L$$

- $Z_{line} = Z_1 * L$: Impedance of length unit
- $U = I * Z_1 * L$: Voltage where the Relay build in
- L : Distance R - F

These Relays called : **Impedance** or **Distance** Relays


S
D
M
F
+
-
T

خصائص المرحلات المسافية



Distance Relays المرحلات المسافية

Operating Conditions $Z_{line} < Z_{set}$

$$U_{tr} >> \ \& \ L_{tr} >>$$

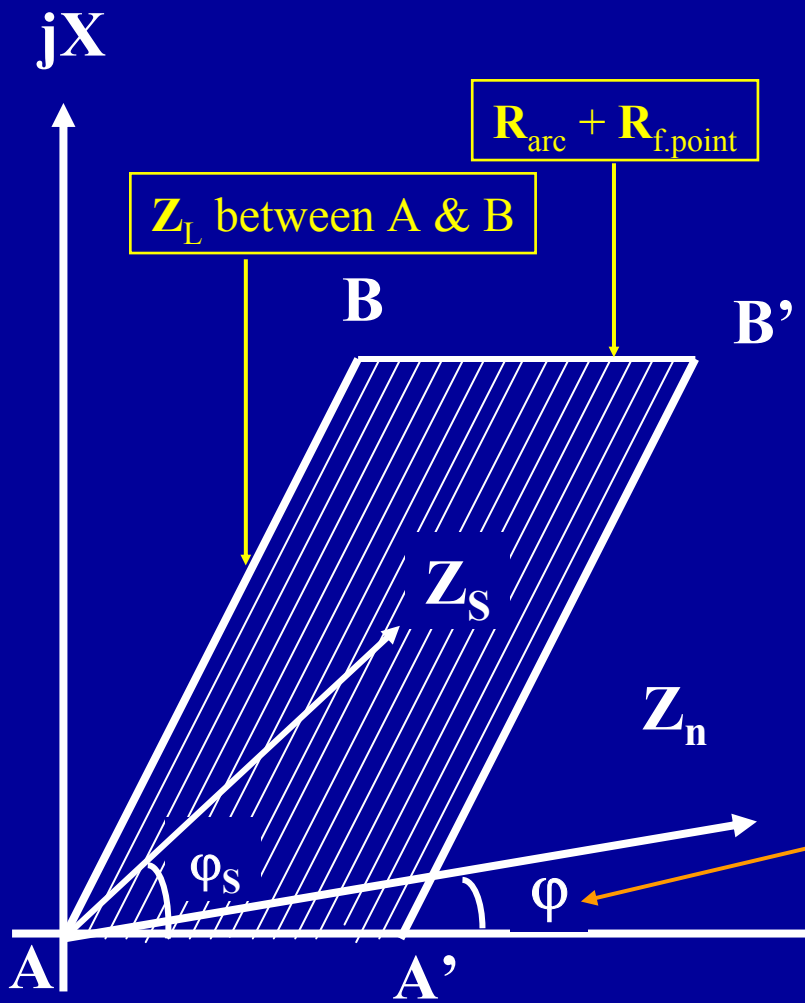
$$\Downarrow$$

Protective Distance >>

$$P_{tr} >> \Rightarrow Z_{nor.\ Cond.} \ \text{or} \ Z_{O/L} \leq Z_{op}$$

المرحلات التي تعمل على مبدأ قياس القيمة المطلقة للمقاومة لم تعد قادرة على التفريق بين قصر الدارة في نهاية منطقة الإرساء والظروف الطبيعية أو ظروف الحمل لزائد.

Distance Relays المرحلات المسافية



At ideal cases relay Should operate, if the measured impedance Less than A-B & $\varphi \approx \varphi_s$

φ_s : S/C angle of faulty line.

But when S/C accurse there is an additional ohm resistance Added to the line impedance. Because of S/C arc.

At normal cases $\varphi \approx 0$

لذا أصبح من الواجب على جهاز الحماية المسافية أن يعمل لا بمجرد إحساسه بنقصان قيمة المقاومة فحسب، بل ويجب أن يتحسس زاوية ميل الممانعة التي يقيس.

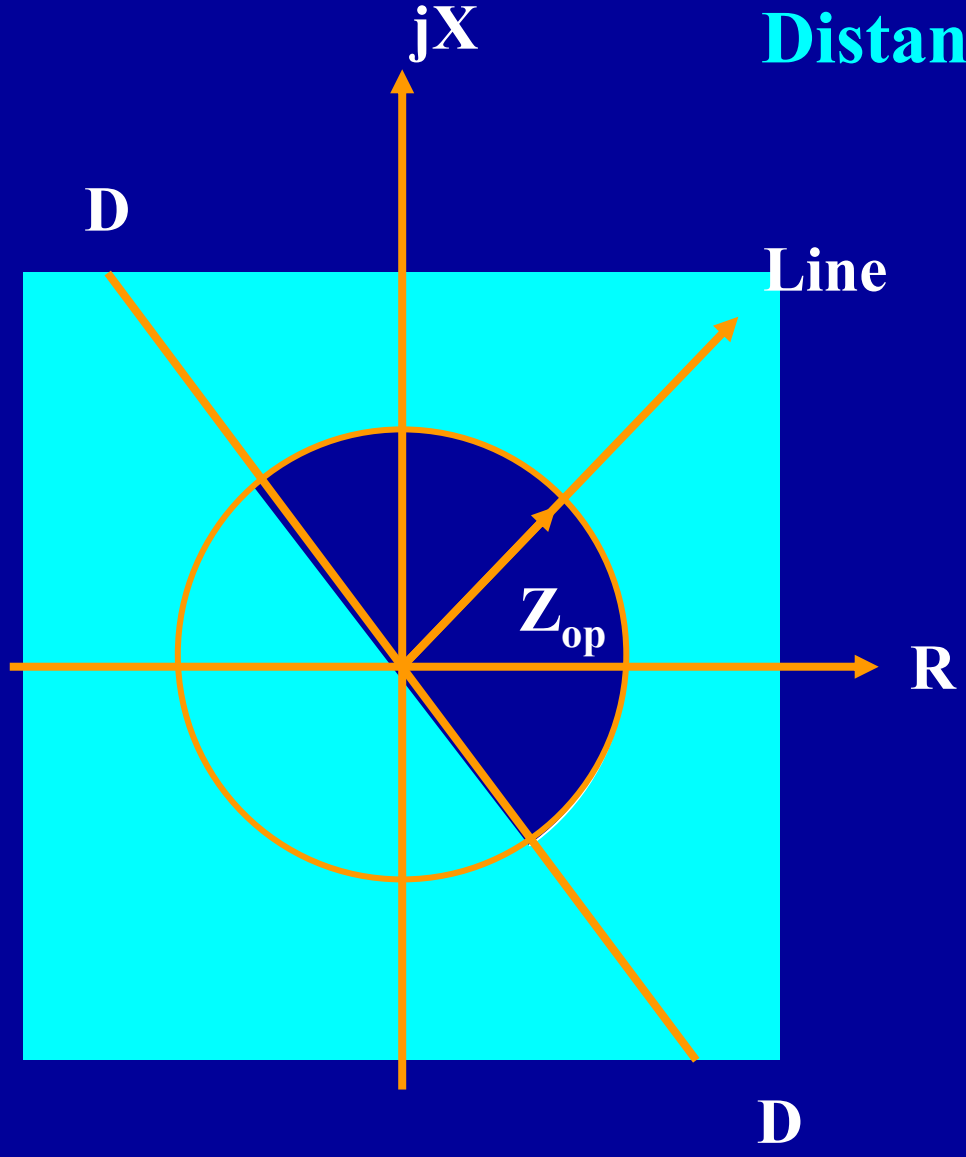
To be relay operated correctly for any fault happened a long A - B it should has the characteristics above.

Distance Relays المرحلات المسافية

ظراً لاختلاف الزاوية بين الفولطية والتيار فهناك إمكانية لاختلاف
يمة مقاومة الناقل المقاسة، وعليه يتم تصنيف أجهزة الوقاية المسافية:

اسم الجهاز	المقاومة التي يقيسها الجهاز
Impedance	$U_s/I_s = Z_s$
Resistive	$U_s/I_s \, Cos\varphi_s = Z_s \, Cos\varphi_s = R_s$
Reactance	$U_s/I_s \, Sin\varphi_s = Z_s \, Sin\varphi_s = X_s$
Admitance	$I_s/U_s = 1/Z_s = Y_s$
Conductance	$I_s/U_s \, Cos\varphi_s = Y_s \, Cos\varphi_s = G$
Suseptance	$I_s/U_s \, Sin\varphi_s = Y_s \, Sin\varphi_s = B$

Distance Relays المرحلات المسافية



أبسط أنواع هذه الأجهزة هو (Impedance Relays) لأنها علاقة بين فولطية وتيار ولا علاقة لها بالزاوية بينهما.

Z_{op} = const.

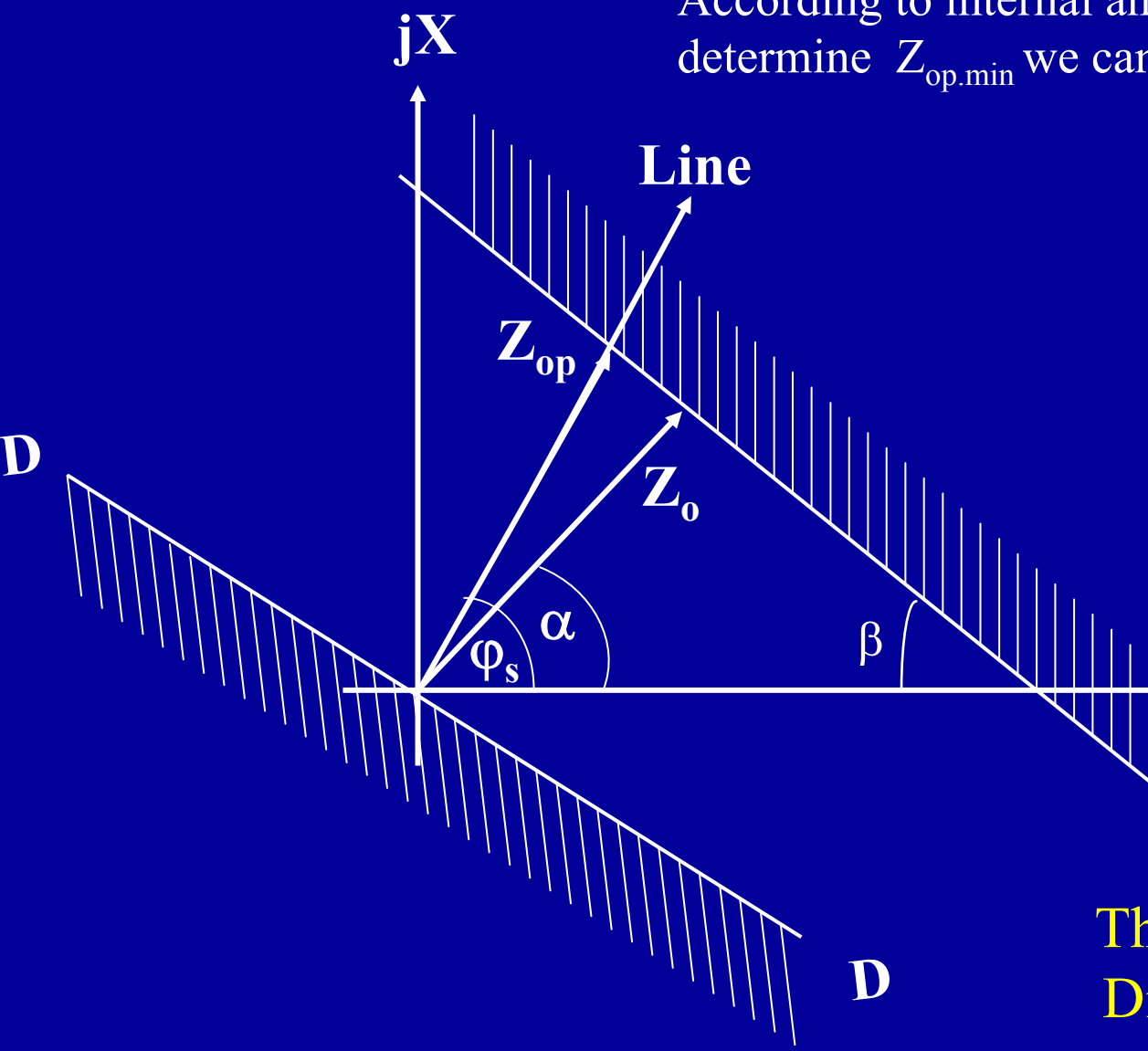
If $Z < Z_{op}$ Relay will Operate

Because of **Z** not **f(φ)** so This type of relay need Directional unit, D - D

Making new reconnections on the relay terminals, the circle can Be moved left, up, right or down.

Distance Relays المرحلات المسافية

According to internal angle in the relay (α) Which determine $Z_{op.min}$ we can draw the following char.



$$Z_o = Z_{op\ min}$$

$$Z_o = Z_{op}\ Cos(\varphi_s - \alpha)$$

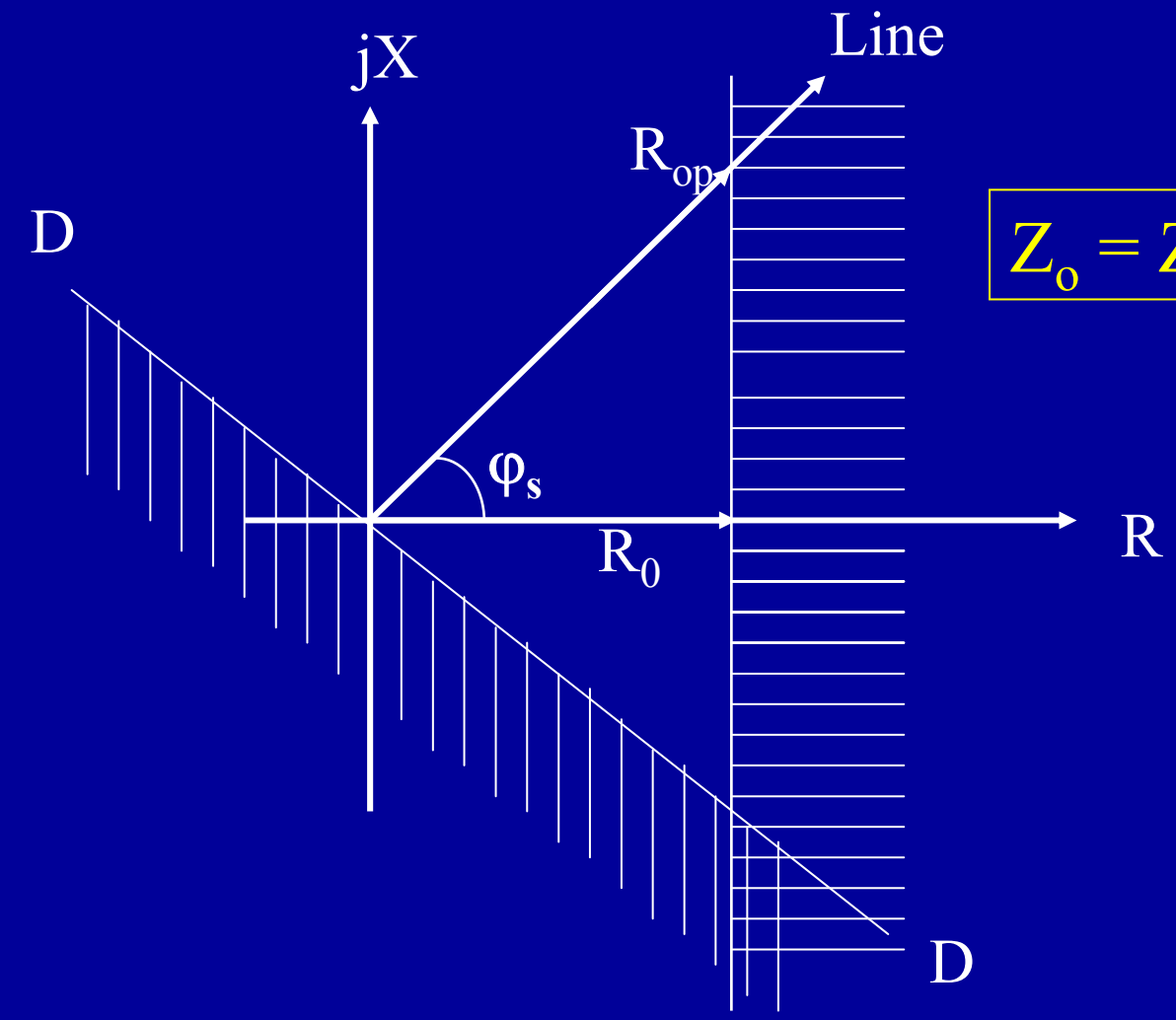
$$\beta = f(\alpha)$$

This type of relay need Directional unit, D - D

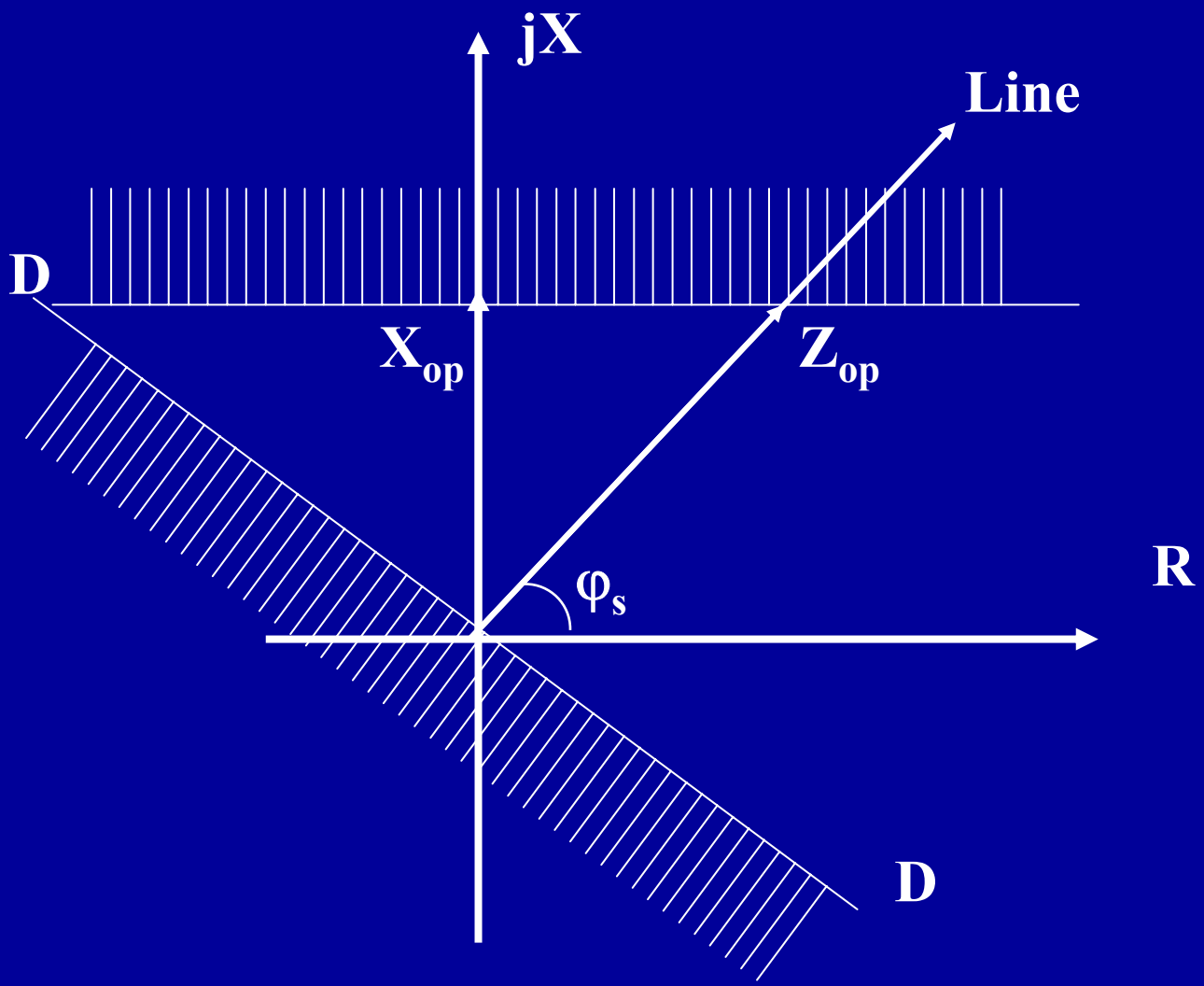
Changing internal angle (α)
We'll obtained deferent
Kinds Of Characteristics

For $\alpha = 0$

$$Z_o = Z_{op} \cos\varphi_s = \mathbf{R_{op} = const}$$



$\alpha = 90 \Rightarrow Z_o = Z_{op} \text{ Sin } \varphi_s = X_{op} = \text{const}$

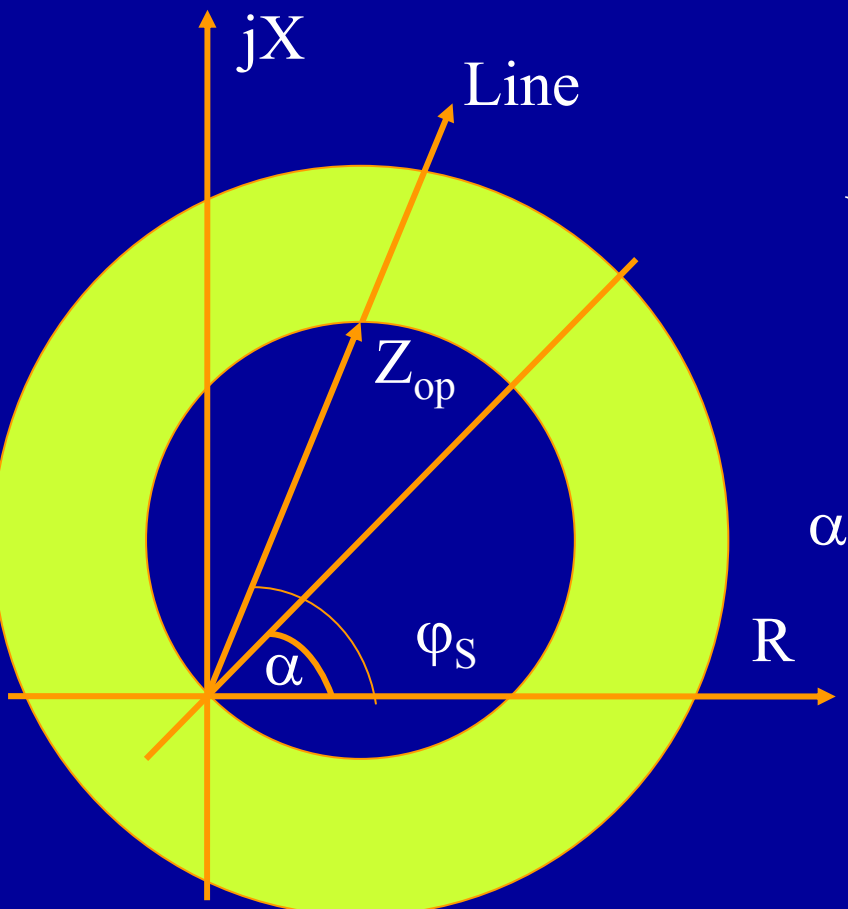


MHO Relays

ن الأجهزة التي تعمل على مبدأ قياس الموصلية وجدت تطبيقات
واسعة إذ يمكن جعل العزم المحرك يتناسب حسب العلاقة :

$$1/Z_{op} * (Cos (\varphi_s - \alpha))$$

هذه العلاقة هي دائرة قطرها يصنع مع محور
الإحداثيات الحقيقي زاوية مقدارها (α).
وقد رسمت هنا على سبيل المثال $\alpha = 45°$



α=45°

No need directional unit for this type of relays This Relay Called MHO Relay as an Opposite of OHM Relays.

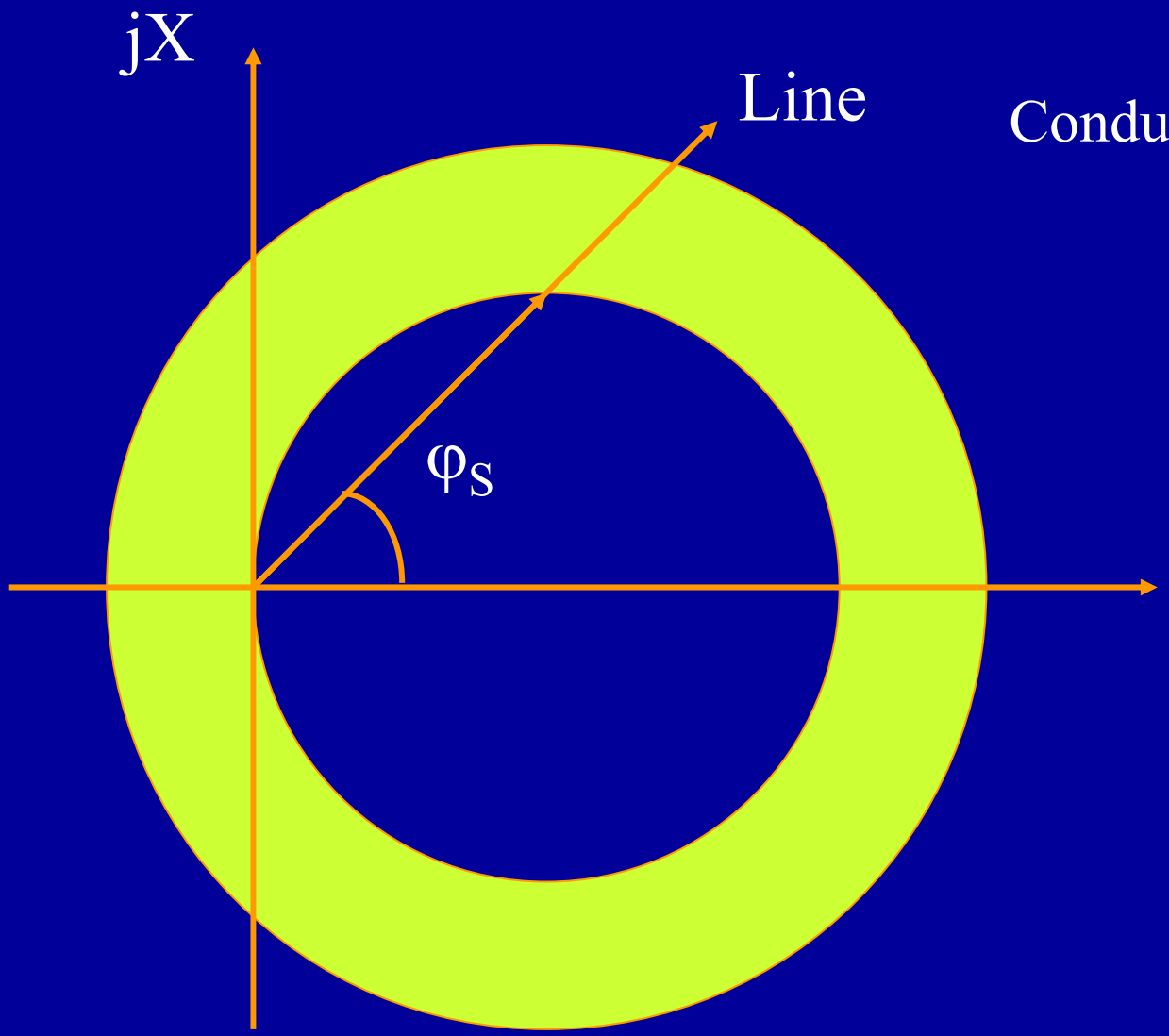
Relay will operate when $Z < Z_{op}$

MHO Relays

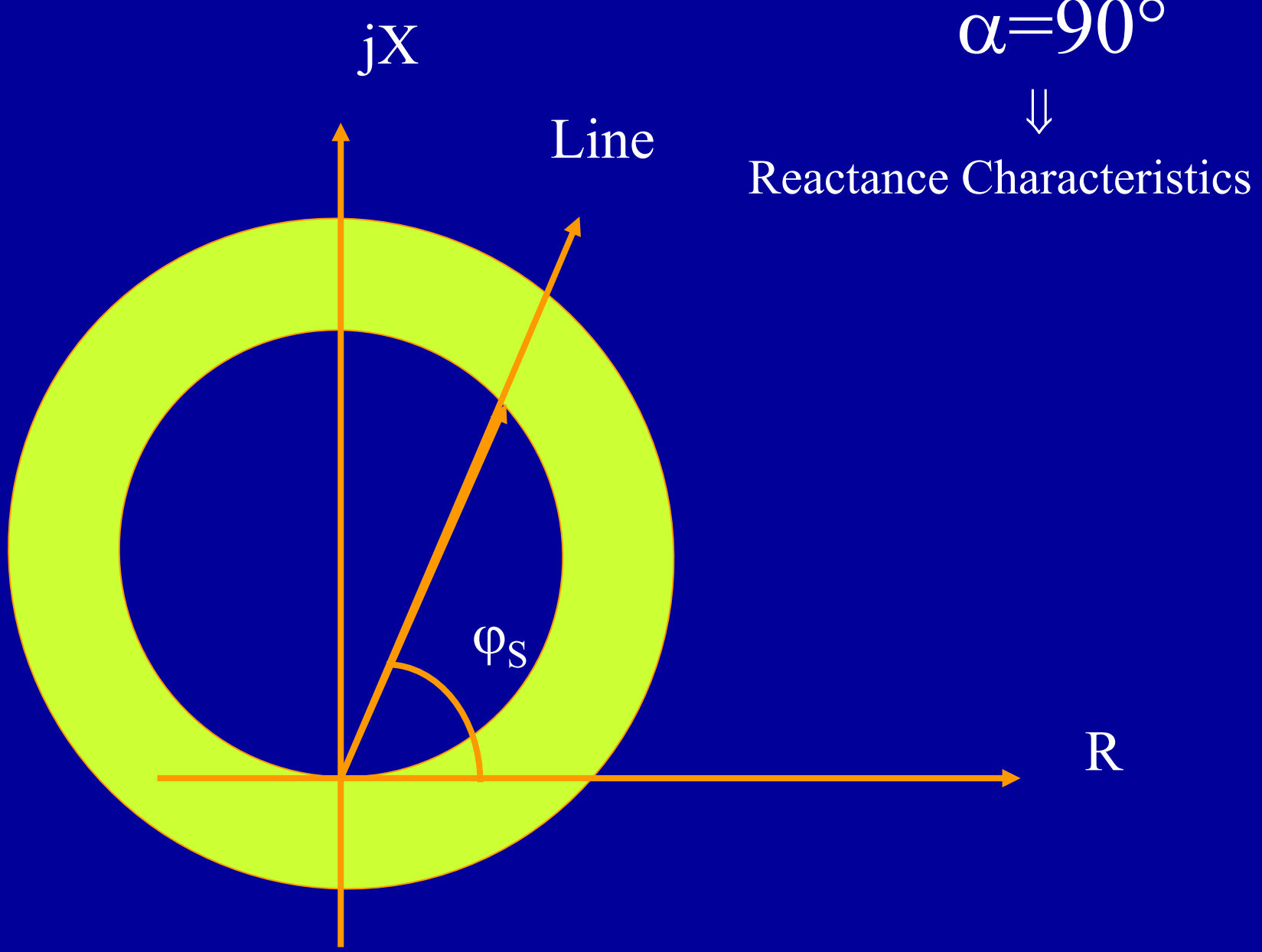
$\alpha=0°$

$\Downarrow$

Conductance Characteristics

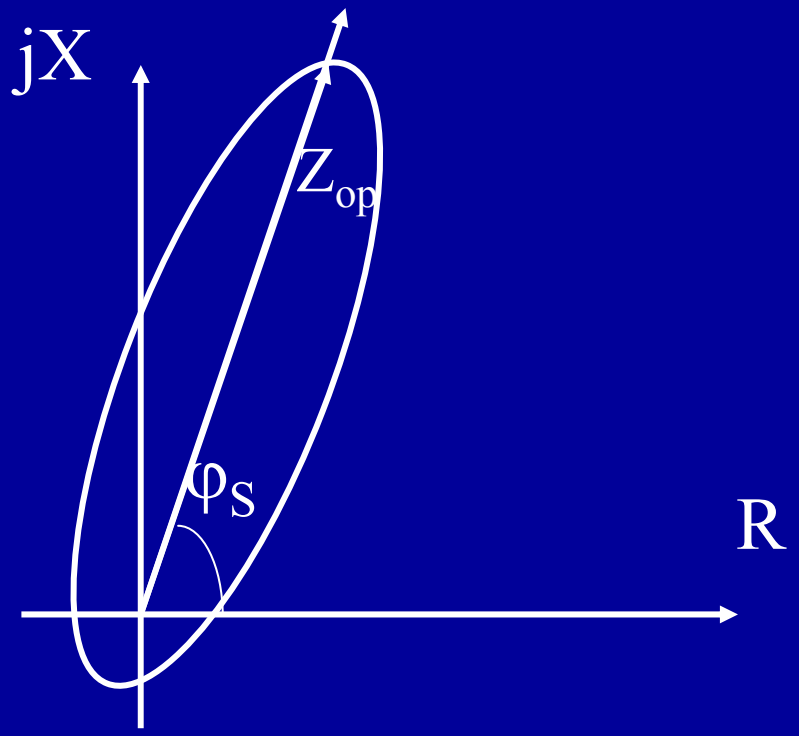


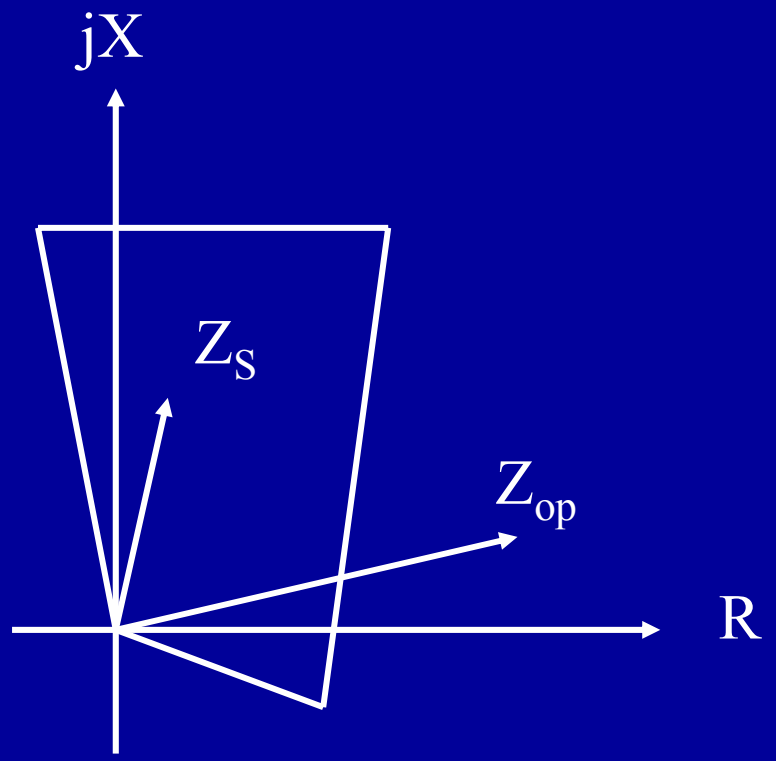
MHO Relays



MHO Relays

بهدف تحسين خصائص أجهزة الحماية وتقريبها من الوضع المثالي،
م إنتاج مرحلات بخصائص كما في الأشكال التالية:





أثر مقاومة القوس الكهربائى على عمل وحدة القياس فى جهاز الحماية

حسب المواصفات الإنجليزية، تقدر قيمة مقاومة القوس الكهربائي بـ

$$R_a = 28700/(I^{1.4}) \ \Omega/m$$

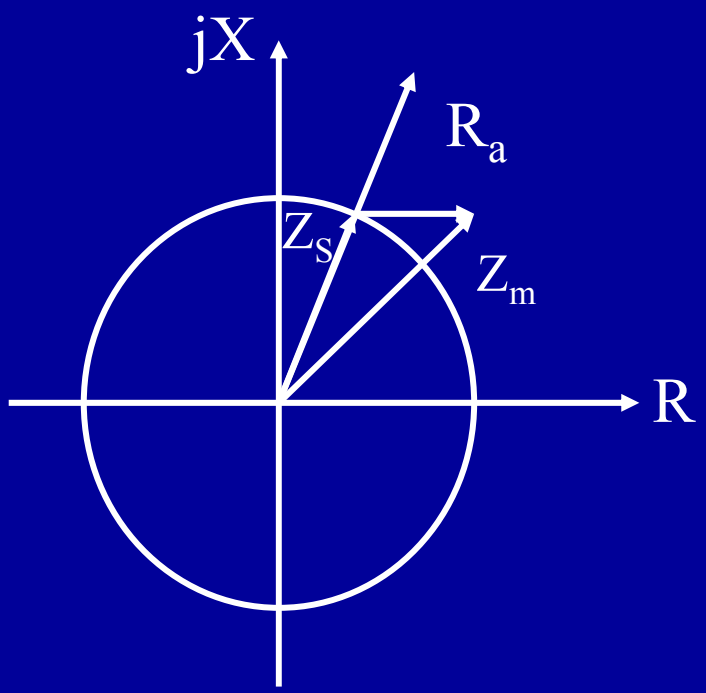
بالأخذ بعين الاعتبار المسافات بين نواقل خطوط النقل وقيمة تيار القصر،

فإن مقاومة القوس تقع في الحدود Ω (5 - 0.5)

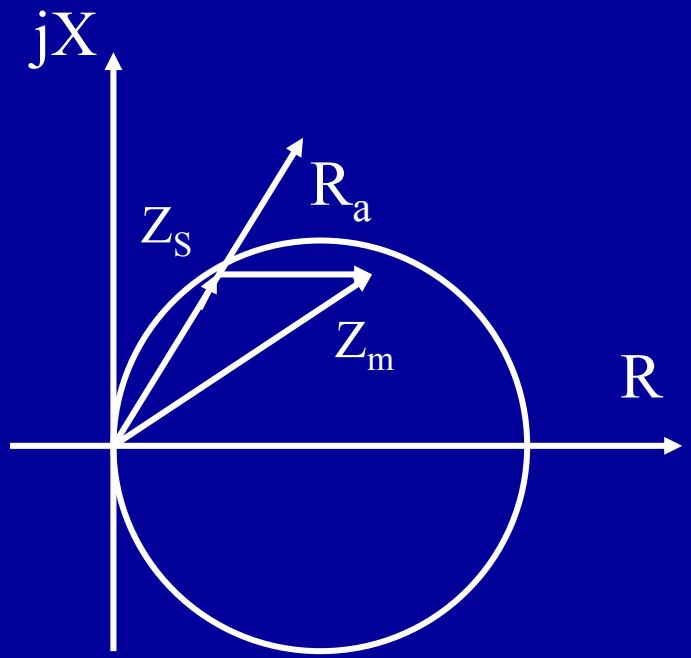
وعند وصل طور مع الأرض فتصل في أسوأ الظروف إلى Ω (50 – 5)

وهذه المقاومة ذات طابع أومي ، حيث تظهر عند القصر كمقاومة إضافية إلى مقاومة الناقل وبالتالي يكون تقدير المرحل للمسافة خاطئاً.
ويختلف أثرها باختلاف الخصائص التي يعمل عندها المرحل

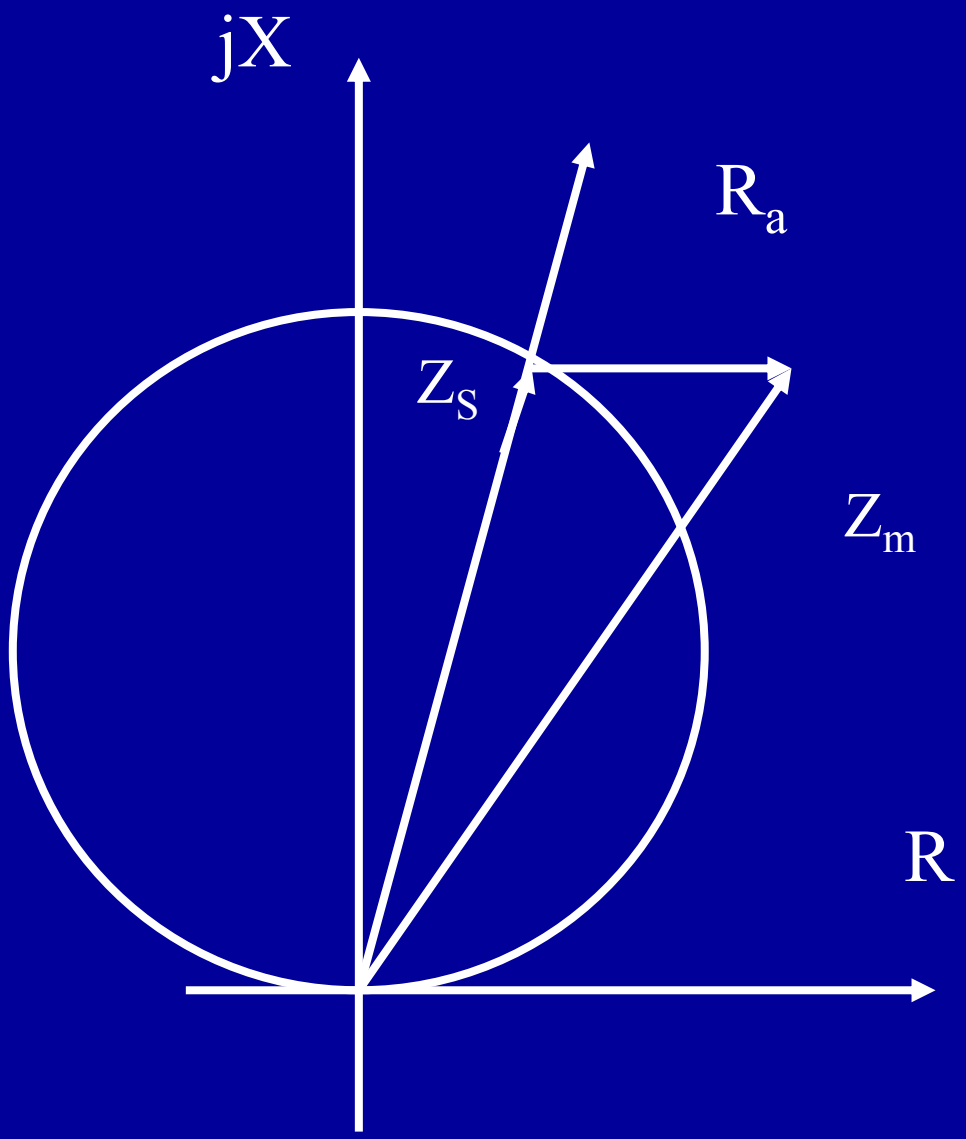
For Impedance Relays



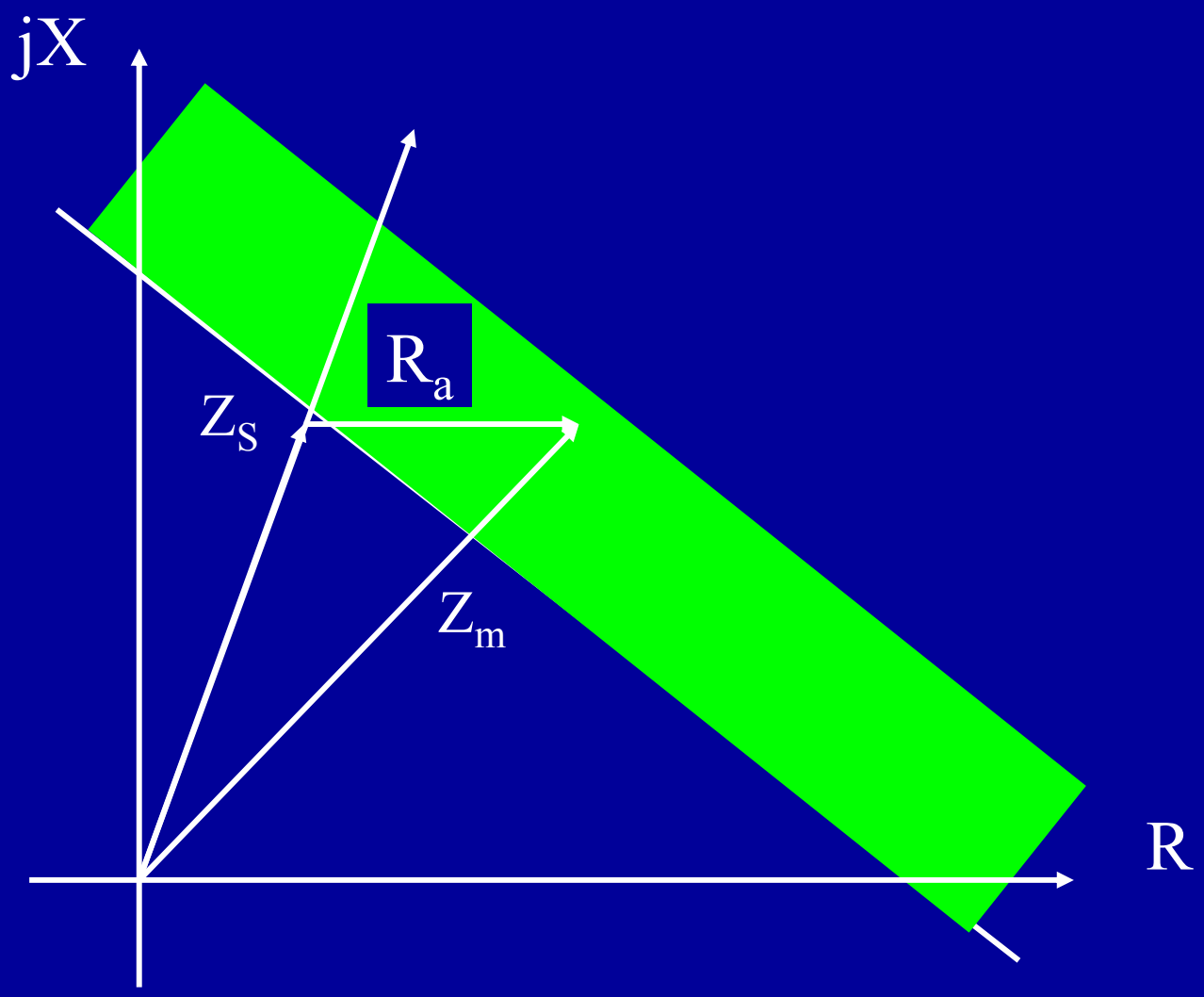
For MHO Relays (R)



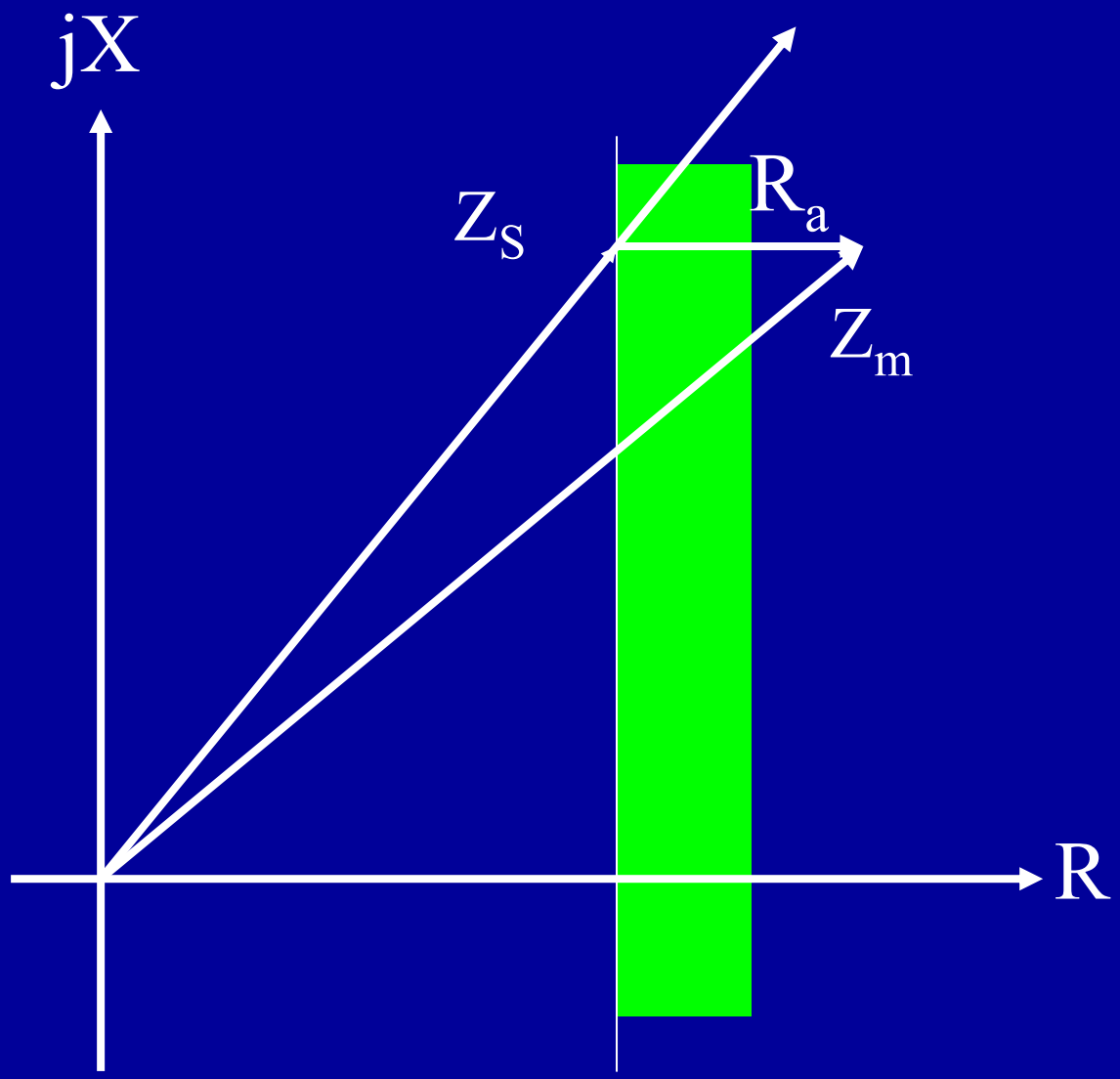
For MHO Relays (X)



Impedance Relays



Resistance Relays



Inductance Relays