الفصل الثالث

حاكمات الحماية (زواجل الحماية)

PROTECTION RELAYS

٣-١ مبدأ مل حاكمات الحماية :

تعرف حاكمات الحماية بأنها أجهزة تتحسس المتغيرات في الإشارات والقيم الفيزيائية التي تأتيها عبر محولات التيار والتوتر. إذا كانت مطالات هذه الإشارات والقيم الداخلة إلى الحاكمات مختلفة عن قيم المعايرة وتعبر عن حالة خللٍ ما فإنها سوف تعمل وذلك بفتح بعض نقاط التلامس الكهربائية أو إغلاقها لإعطاء إنذار عن حدوث شروط غير نظامية، أو لفصل القاطع الآلي .

إن حالات القصر هي أكثر الأعطال خطورة على نظام القدرة الكهربائية، لتحسس هذه الحالات والأعطال يجب اختيار أفضل وأحدث وأسرع تجهيزات حماية لنظام القدرة .

عند حدوث قصر على أحد عناصر نظام القدرة ، فإن جهاز الحماية المستخدم لحمايته سيتحسس زيادة كبيرة في التيار $I(A)$ ، وانخفاض في التوتر $U(V)$ والممانعة الظاهرية $Z(\Omega)$ ، لذلك يجب اختيار تجهيزات تتحسس لإحدى تلك الحالات الثلاث عند حدوث العطل ، وهذا الاختيار يتعلق بطبيعة الشبكة بحيث يكون نظام الحماية قادراً على إنهاء حالة القصر وإعادة العمل الطبيعي للنظام المحمي .

آ- التحسس للتيار:

عند حدوث القصر يزداد التيار إلى قيمة أكبر بكثير من التيار الاسمي لعناصر نظام القدرة ، لهذا تستخدم حاكمة حماية تتحسس لتيار العطل ، على أن يتم تعييرها على قيمة أكبر من تيار الحمل الأعظمي $I_{nmax}(A)$ ، وأصغر من تيار القصر الأصغري I_{scmin} عندما يكون الحمل أصغرياً ، أي :

$$I_{nmax} < I_s < I_{scmin} \qquad (3.1)$$

$$\frac{I_{sc\,min}}{I_{n\,max}} = a > 1 \qquad (3.2)$$

عندما تكون a قريبة جداً من الواحد ، يجب اختيار طرق حماية مختلفة، علماً أنه ليس بالضرورة أن يحدث كل من $I_{sc\,min}$ و $I_{n\,max}$ في وقت واحد .

في الشبكات ذات التأريض المباشر، فإن التيارات التي تسري في الأطوار السليمة (في حالة الحمل الأعظمي) لا يمكن تمييزها عن تيار القصر الأصغري $I_{sc\,min}$ في الطور المصاب في حالة الحمل الأصغري ، في هذه الحالة يجب اختيار نظام حماية آخر، لكنه أكثر تعقيداً .

ب– التحسس لانخفاض التوتر:

دائما، تنتج حالات القصر انخفاضاً في التوتر، يستفاد من هذه الظاهرة باستخدام حاكمات انخفاض توتر لتحسس العطل شرط أن تحقق المعادلة الآتية :

$$\frac{U_n}{U_{sc\,max}} = b > 1 \qquad (3.3)$$

حيث U_n : التوتر الاسمي المطبق على العنصر المراد حمايته ؛ $[V]$.

$U_{sc\,max}$: توتر القصر الأعظمي عند حدوث العطل .

رغم إمكانية استخدام حماية انخفاض التوتر، إلا أنه في الواقع نادراً ما تستخدم منفردة لأنه ليس فقط في أثناء حدوث حالة قصر ينخفض التوتر، بل هناك أسباب أخرى مثل انصهار الفاصمة في الدارة الثانوية لمحول التوتر، أو فصل دارة الأتمتة والتحكم ... إلخ .

ج– التحسس لانخفاض الممانعة:

عند حدوث القصر يزاد التيار وينخفض التوتر بشكل عام ، وبالتالي تنخفض النسبة بينهما، إذ تظهر القيمة الاسمية الصغرى للممانعة عند الحمل الأعظمي ، أي :

$$Z_n = \frac{U_n}{I_{n\,max}} \qquad (3.4)$$

في حالة العطل تكون ممانعة الدارة أصغر من هذه القيمة، أي إن :

$$Z_{sc} < Z_n \qquad (3.5)$$

حيث Z_{sc} : ممانعة القصر ؛ $[\Omega]$.

Z_n : الممانعة الاسمية الصغرى للدارة عند الحمل الأعظمي ؛ $[\Omega]$.

إذا تحقق الشرط كما في المعادلة (3.5)، يمكن اختيار حاكمات حماية تتحسس لانخفاض الممانعة، لكن قد لا تتحقق الانتقائية (selective) في النظام المراد حمايته. ولتحقيق الانتقائية في أثناء اختيار حماية انخفاض الممانعة يجب أن يتحقق الشرط الآتي :

$$\frac{Z_n}{Z_{sc}} = \frac{U_n / I_n}{U_{sc} / I_{sc}} = \frac{U_n}{U_{sc}} . \frac{I_{sc}}{I_n} = a.b > 1 \qquad (3.6)$$

بهذا نجد أن استخدام حماية انخفاض الممانعة يتضمن حالتي التحسس لزيادة التيار، وانخفاض التوتر عند الحمل الأعظمي والأصغري .

في هذا الفصل سندرس بالتفصيل حماية التيار الأعظمي ، ونترك الحماية من انخفاض الممانعة والتوتر لفصول أخرى .

٣-١-١ العناصر الرئيسة للحمايات الزاجلية :

تتكون الحماية الزاجلية عادة من عناصر إقلاع (تشغيل) ، وقسم منطقي .

آ- عناصر التشغيل :

تسمى في مصادر مختلفة بالأسماء الآتية : عناصر رئيسة ، مراقبة، قياس ، عناصر تأثير، عناصر كشف ، وهي تقوم بمراقبة حالة ونظام عمل الجهاز المراد حمايته بشكل مستمر ومباشر، إذ تتأثر وتستجيب هذه العناصر لظهور القصر والخلل في نظام العمل الطبيعي . يتم تنفيذ عناصر التشغيل بوساطة زواجل التيار، التوتر، الاستطاعة ... وغيرها.

ب- القسم المنطقي :

عبارة عن دارة تعمل – بتأثير عناصر التشغيل – على فصل القواطع بشكل لحظي أو مع تأخير زمني ، قد تقوم بالتأثير على تجهيزات أخرى لتشغيلها، أو تقوم بإعطاء إشارات وما شابه ذلك . يتألف القسم المنطقي بشكل رئيس حاكمة زمنية وزواجل وسيطة وتأشيرية.

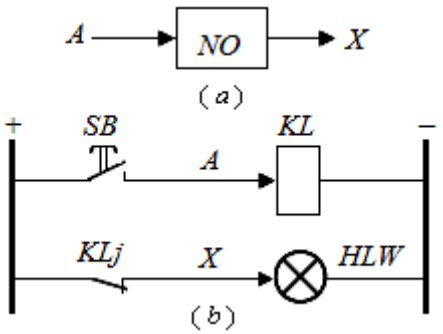
في حالات خاصة يمكن أن تصمم عناصر التشغيل والقسم المنطقي بشكل مدمج . في أثناء تنفيذ الدارات التصميمية للحماية الزاجلية يتم تمثيل القسم المنطقي بوساطة عناصر منطقية نذكر منها بشكلٍ رئيس العناصر الآتية : (*NO*) و (*AND*) و (*OR*) .

١– القسم المنطقي (*NO*) :

مخصص لتنفيذ عملية النفي ، يتميز هذا العنصر بأنه عند غياب الإشارة *A* على دخله، الشكل (٣–١)، يكون له إشارة خرج *X* وبالعكس ، عند ظهور إشارة الدخل *A* فإن إشارة الخرج *X* تصبح معدومة .

أحد أمثلة العنصر (*NO*) هو الزاجل *KL* ذي التماس المغلق ، الشكل (٣–١ *b*)، دخل هذا العنصر هو ملف الزاجل ، أما خرجه فهو التماس المغلق .

في الحالة العادية عندما يكون القاطع *SB* مفتوحاً تكون الإشارة *A* معدومة، وسيكون هناك إشارة خرج *X* مطبقة على المصباح وسيضيء المصباح . عند إغلاق القاطع *SB* ستظهر إشارة الدخل *A* ، عندها سيعمل الزاجل *KL* مسبباً فتح تماسه KL_1 ، في هذه الحالة ستختفي إشارة الخرج *X* ، الأمر الذي يؤدي إلى إطفاء المصباح *HLW* .



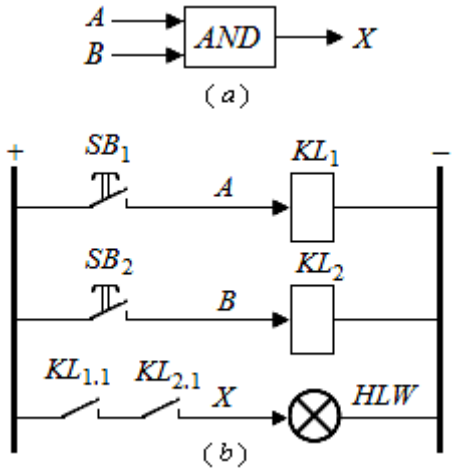
الشكل (٣–١) العنصر المنطقي (*NO*)

a– التمثيل الاصطلاحي ، *b*– الدارة التوضيحية

ب– العنصر المنطقي (*AND*) ، الشكل (٣–٢) :

يعطي هذا العنصر الإشارة *X* على الخرج فقط عند وجود الإشارات على الدخل في وقت واحد ، فمثلاً الإشارات *A* و*B* كما هو موضح في الشكل (٣–٢ *a*) إحدى طرق تنفيذ العنصر (*AND*) هي الوصل التسلسلي لتماسات الزواجل . وكما مبين في الشكل (٣–٢ *b*) فإن الإشارة

X تظهر على خرج الدارة فقط في حالة عمل (إغلاق) تماسات الزواجل KL_1 و KL_2 ، وهذه الحالة تتحقق فقط في حال وجود الإشارات A وB في الوقت نفسه .

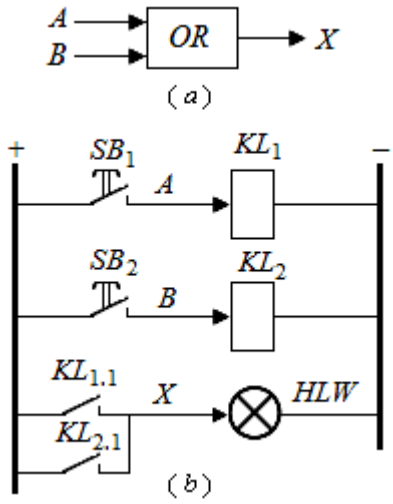


الشكل (٣-٢) العنصر المنطقي (*AND*)

a- التمثيل الاصطلاحي ، *b*- الدارة التوضيحية

ب- العنصر المنطقي (*OR*) ، الشكل (٣-٣) :

يعطي هذا العنصر الإشارة X على الخرج في حالة وجود إحدى الإشارتين A وB ، أو كلتا الإشارتين معاً على دخله .

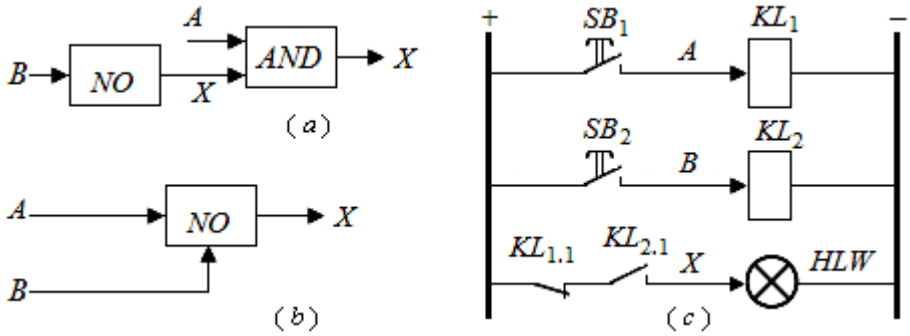


الشكل (٣-٣) العنصر المنطقي (*OR*)

a- التمثيل الاصطلاحي ، *b*- الدارة التوضيحية

إحدى طرق تنفيذ العنصر (*OR*) هي الوصل التفرعي لتماسات الزواجل كما هو مبين في الشكل (٣-٣ *b*)، فإن الإشارة *X* تظهر على خرج الدارة عند عمل أحد الزاجلين ، أو كليهما معاً. يمكن تنفيذ العمليات المنطقية الضرورية جميعها بوساطة العناصر المنطقية المدروسة أعلاه ، فمثلاً يمكن دمج العنصرين (*NO*) و(*AND*) لتأمين عملية منع التشغيل . في الشكل (٣-٤) يتضح بأن الإشارة *X* على خرج الدارة تظهر فقط في الحالة الآتية: وجود الإشارة *B* وعدم وجود الإشارة *A* ، عند وجود الإشارة *A* التي تسبب الإعاقة، فإن الإشارة *X* على خرج العنصر (*NO*) تصبح معدومة، وبالتالي ستغيب الإشارة العامة *X* على خرج العنصر (*AND*) . ويوضح الشكل (٣-٤ *c*) مثالاً لتنفيذ عملية إعاقة بمساعدة زاجل وسيط .

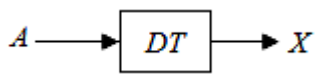
أما الشكل (٣-٤ *b*) فيوضح التمثيل التصميمي البنيوي لهذه العملية بشكل عنصر واحد والذي يسمى في هذه الحالة العنصر (*NO*)، أو عنصر الإعاقة .



الشكل (٣-٤) آلية منع التشغيل بوساطة العناصر المنطقية (*NO*) و (*AND*)

a,b- التمثيل الاصطلاحي ، *c*- الدارة التوضيحية

إضافة إلى العناصر المنطقية المدروسة أعلاه ، فإن القسم المنطقي لغالبية أجهزة الحماية الزاجلية يحتوي على عناصر زمنية. تمثيل عنصر الزمن بدارات تصميمية موضحة في الشكل (٣-٥).



الشكل (٣-٥) التمثيل الاصطلاحي لعنصر الزمن

تظهر الإشارة *X* على خرج هذا العنصر بعد ظهور الإشارة *A* على دخله .

٣-٢ تصنيف حاكمات الحماية Classification of Protection Relays :

تصنف حاكمات الحماية بناء على العمل الذي تقوم به وعلى مكونات أجزائها وعلى إشارة الدخل ونوعها وطريقة عملها .

أولاً– الوظيفة العامة General Function :

- حاكمات حماية مساعدة Auxiliary Relays
- حماية نظام القدرة Protection Relays
- إعطاء إشارة أو إنذار Monitoring or Alarm
- تحكم Control

ثانياً– مكونات أجزائها – بنيتها – Construction وتكون حاكمات :

- إلكتروميكانيكية Electromechanical .
- إلكترونية ستاتيكية Static , Solid State
- ميكروبرسيسور – رقيمة – Microprocessor Digital
- غير كهربائية (حرارة ، ضغط ، إلخ) Non Electric

ثالثاً– إشارة الدخل Incoming Signal ، وتكون عادة :

Temperature	حرارة		Current	تيار
Pressure	ضغط		Voltage	توتر
Velocity	سرعة		Power	استطاعة
Others	وغيرهم		Frequency	تردد

رابعاً– نوع الحماية Type of Protection ، وتكون :

- زيادة تيار Over Current
- زيادة تيار اتجاهية Directional over Current
- مسافية Distanec

- توتر Voltage
- تفاضلية Differential
- استطاعة عكسية Reverse Power

سوف ندرس بالتفصيل أنواع حاكمات الحماية حسب بنيتها التصميمية المختلفة، وإشارات دخلها بأنواعها كافة. أما التي إشارات دخلها (ضغط – سرعة .. إلخ) فستكون خارج الرؤية في هذا الكتاب .

٣-٣ مبدأ عمل الزواجل الكهروميكانيكية

: Principled of Electromechanical Relays

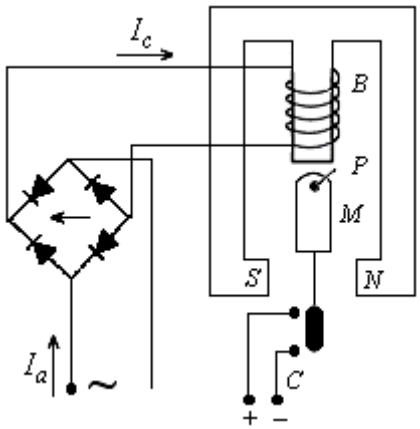
تتكون حاكمات الحماية الكهروميكانيكية من الغلاف ، وملف عمل كهربائي أو أكثر، ونقاط تلامس ووسائل ضبط قيم التشغيل أو الأجزاء المتحركة. وهناك أنواع ثلاثة رئيسة هي:

- حاكمات الجذب المغناطيسي Magnetic Attraction Relays
- حاكمات الملف المتحرك Moving Coil Relays
- الزواجل التحريضية Induction Relays

ز– حاكمة استقطاب مع مقوم Polarity Relay With Rectifier :

تعمل هذه الحاكمة بالتيار المستمر، إذ يتم تحويل التيار المتناوب $(a.c)$ إلى تيار مستمر $(d.c)$ من خلال الموحدات Rectifier ، أو جسر التقويم ، إذ باستعمال مقوم التيار أمكن تطوير حاكمة التيار والتوتر بحيث تصبح أكثر سرعة وأشد حساسية وأقل استهلاكاً للطاقة، وهذا أفضل بكثير بالنسبة إلى محولات التيار والتوتر.

يبين الشكل (٣–١٤) حاكمة استقطاب مؤلفة من مغناطيس دائم (N)، (S)، وفي الوسط يوجد جزء ثابت يشكل وشيعة ملف التحريض (B). وعلى الطرف السفلي لوشيعة ملف التحريض الثابت (B) يوجد الجزء المتحرك الذي يتحرك حول النقطة المفصلية (P)، والذي بتحريكه الذراع المثبت عليه يعمل على غلق التماس (C) أو فتحه ، وهذه الحركة تأتي من التأثير المتبادل لأقطاب المغناطيس (N)، (S)، مع القطبية المغناطيسية التي يكتسبها الجزء المتحرك من وشيعة ملف التحريض إذ يغذي المقوم الوشيعة (B) باتجاه محدد لتصبح النهاية المتحركة (M) قطباً شمالياً (N)، عندها يتجه هذا الجزء نحو القطب الجنوبي الدائم (S)، هذه الحركة تؤمن إغلاق التماس (C) .



الشكل (٣–١٤) يبين حاكمة استقطاب

يكون زمن العمل في هذه الحاكمة بحدود $1[m.sec]$ لتماس واحد ، وحسب استطاعة الدخل يتغير زمن العمل .

٣-٤ حاكمات الحماية الإلكترونية (الستاتيكية) Electronic Protective Relays

نظراً للتطور الكبير والسريع في أنظمة القدرة الكهربائية وزيادة تعقيداتها وضخامة المولدات المركبة في المحطات وخاصة النووية منها، وانتشار ربط شبكات الدول بعضها مع

٣-٤-١ ميزات الحاكمات الإلكترونية Advantages of Electronic Relays :

- ضعف استهلاكها للطاقة، وبالتالي هي حمولات صغيرة على محولات التيار والتوتر.
- إلغاء التأثيرات الميكانيكية والتماسات والاهتزاز .
- عمرها الفني طويل نسبياً، وهي سريعة العمل .
- صيانة أقل نتيجة لعدم ظهور العناصر المتحركة وعدم وجود مساند احتكاك .
- سريعة في الرجوع إلى الوضع قبل الانطلاق ، وسريعة الاستجابة.
- حجمها صغير، وبالتالي يمكن وضع جميع الحمايات الخاصة بعنصر الشبكة في خزانة واحدة .
- اقتصادية، وخاصة لأنها لا تحتاج إلى محولات تيار وتوتر كبيرة .

٣-٤-٢ عيوب الحاكمات الإلكترونية Disadvantages of Electronic Relays :

- تحتاج لمصدر جهد ($D.C$) مساعد لتشغيل العناصر المكونة لها وإمكانية التغلب على ذلك باستخدام جهد بطاريات المحطة.
- عند تعرض هذه الحاكمات للجهود الفجائية أو المرتفعة، قد تنهار أو تؤدي إلى تشغيل خاطئ ، وللتغلب على هذه الحالة تم وضع مرشحات (Filters) وحواجز عند مدخل دوائر الجهد .
- تتأثر مكوناتها بدرجات الحرارة المرتفعة، وهذا العيب من أهم المشكلات ، وقد أمكن الوصول إلى تشغيل هذه الحاكمات عند درجات حرارة بين (10−) حتى (50+) درجة مئوية من خلال إضافة معوضات .

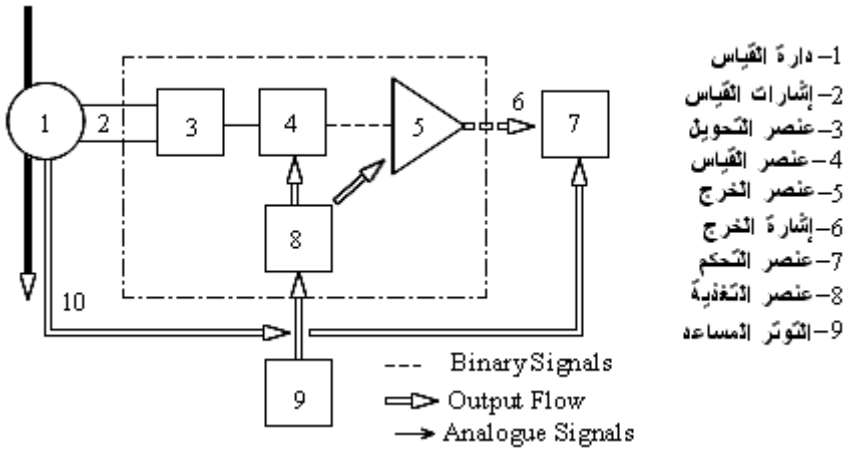
- سعرها مرتفع نسبياً مقارنة مع الحاكمات الميكانيكية .
- يمكن حدوث انهيارات لمكونات هذه الحاكمات عند تعرضها لبعض حالات زيادة الحمل (Over Loading)، وقد أمكن التغلب على هذه الحالة بالتصميم الدقيق والجيد .

٣-٤-٣ البنية الأساسية لحاكمات الحماية الإلكترونية

: Basic Construction of Electronic Relays

يبين الشكل (٣-٢٨) مخططاً صندوقياً لحاكمة إلكترونية . تتألف كل حاكمة من عناصر منفصلة كما هو مبين في المخطط ، إذ تغذى إشارات القياس (2) من دارات القياس التي تمثل ($C.T$) و($V.T$) .

الوحدة (3) تحول إشارات القياس إلى أشكال أسهل للمعالجة عن طريق عناصر القياس (4)، تعمل هذه العناصر عندما تتخطى إشارات الدخل قيمة محددة . خرج هذه الوحدة يكون إشارة الإطلاق مطبقاً إلى وحدة الخرج (5) التي بدورها تضخم هذه الإشارة إلى إشارة الخرج (6) محولاً إياها إلى عناصر التحكم (7)، هذه العناصر تعطي الإشارة الأخيرة لفصل أو منع فصل القاطع الآلي . يؤمن عنصر التغذية (8) الاستطاعة إلى وحدتي القياس والخرج ، نحصل على هذه الاستطاعة من منبع مساعد للتوتر (9) أو من دارة القياس .



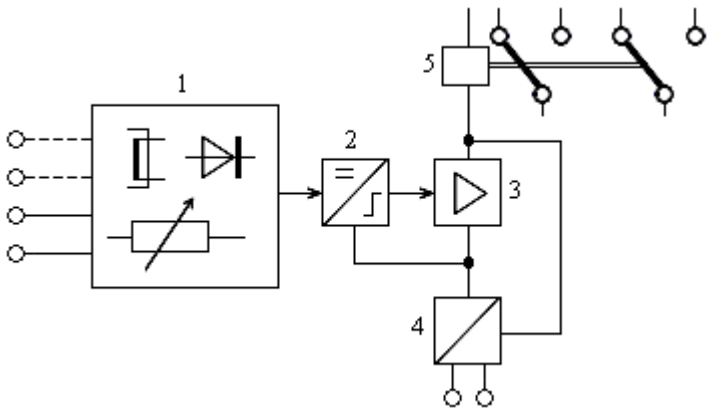
الشكل (٣-٢٨) يبين مخططاً صندوقياً لحاكمة إلكترونية

من خلال المتابعة لسير العمليات في هذه الحاكمات نجد أنها عبارة عن محولات إشارة بمراحل متشابهة مع وظائف قياس المتحولات مثل : تيار، توتر، زاوية، تردد ، أو إشارات ناتجة من تفاضل أو تكامل أو أية عملية حسابية تظهر دائماً بشكل إشارات متشابهة على دخل وحدة القياس .

أما الخرج فهو دائماً ثنائي إما (off) إذا كان الزاجل ليس من أجل الإطلاق ، وإما إشارة (on) إذا كان الزاجل من أجل الإطلاق ، وهكذا يمكن حساب هذه الإشارات عن طريق عناصر تحكم بشكل متتابع .

يبين الشكل (٣-٢٩) بنية حاكمة قياس إلكترونية بسيطة، إذ تدل الأرقام المبينة في الشكل إلى: (1): دارة الدخل . (2): مقارن إشارة يقارن بين القيم المقاسة من الشبكة والقيمة المعيرة على أساسها الحاكمة. (3): مضخم إشارة . (4): تغذية مساعدة . (5): حاكمة مساعدة .

في حال تحسس الحاكمة لكميات متناوبة تكون عناصر الصندوق (1) محولات تيار وتوتر ومقومات ومقاومات .. إلخ . في حال كانت الحاكمة تتحسس لكميات تيار مستمر فليس بالضرورة أن تكون تلك العناصر جميعها موجودة في الصندوق (1)، تدخل الإشارة من (1) إلى المقارن رقم (2)، المضخم (3) يضخم الإشارة بحيث تصبح مناسبة لتشغيل الحاكمة المساعدة (5). يمكن أن يركب عنصر نصف ناقل مكان الحاكمة المساعدة مما يساعد على تقليل زمن تشغيل الحاكمة.



الشكل (٣-٢٩) يبين بنية حاكمة قياس إلكترونية بسيطة

تجهز معظم الحاكمات الإلكترونية الحديثة :

١- بعنصر تسجيل زمني لتحديد الفروق الزمنية لعمل مختلف الحاكمات ، ولتحديد تأخر إشارة كل عنصر.

٢- بعنصر إشارة وذاكرة تحدد الحاكمة التي تحرضت بسبب العطل ، لذا تدخل إشارة خرج القيم إلى عنصر ذاكرة الذي يغذي لمبة إشارة تبقى منارة خلال فترة عمل الحاكمة .

٣- يضاف إليها أحياناً عناصر إمهال زمني وهي عبارة عن دارة (RC).