This file has been cleaned of potential threats.

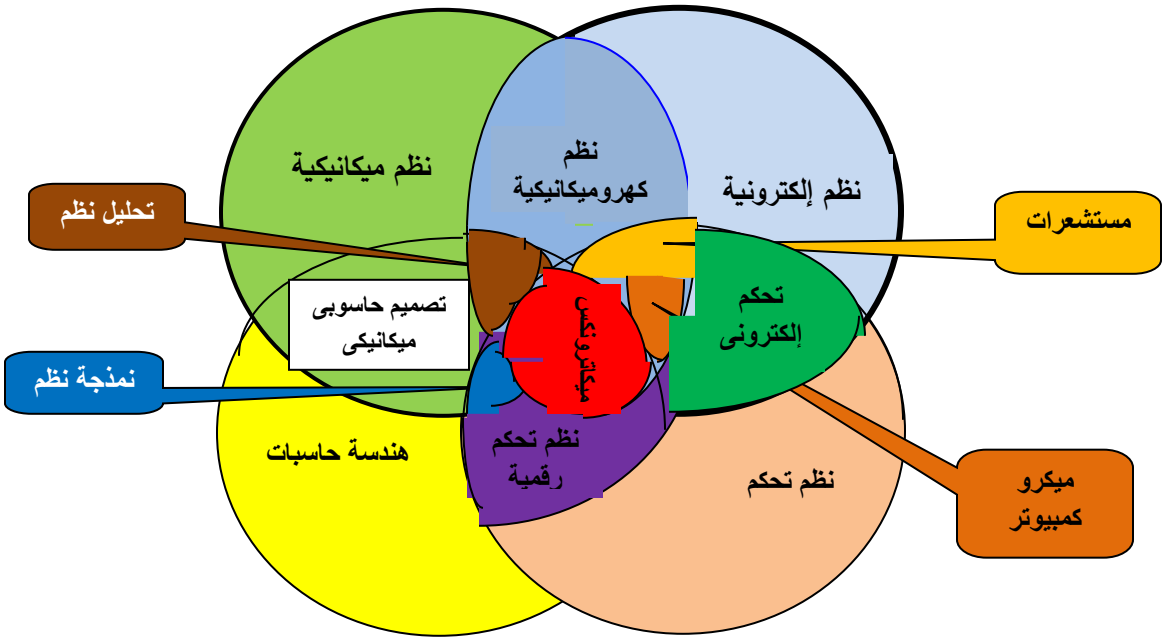
To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

الفصل الخامس

هندسة الميكاترونيات

٥-١ مقدمة

هندسة الميكاترونيات مجال متعدد التخصصات الهندسية ويمكن أن ينظر إليها بإعتبارها التصميم الهندسي الحديث بمعنى وجوب توافق أى تصميم نظام ميكانيكي مع الجوانب الكهربائية /الإلكترونية والجوانب المتعلقة بمجالات التحكم / والكمبيوتر التي سوف تشكل نظام كامل يجمع بين هندسة النظم والهندسة الميكانيكية، والهندسة الكهربائية، وهندسة الإلكترونيات والإتصالات وهندسة التحكم وهندسة الحاسبات ، الميكاترونيك هى عملية التصميم لتصنيع الأجهزة الآلية وتصنيع منتجات أكثر وظيفية وقابلة للتكيف ولكنها تختلف إختلافا واضحا عن التخصصات الجامعة لها. ومع تطور تكنولوجيا النظم المتقدمة، والتخصصات الفرعية للهندسة تطور مجال الميكاترونيكس بصورة مذهلة من يوم إلى آخر.



الشكل (٥-١) الرسم التخطيطي للتخصصات التي تشكل مجال الميكاترونكس

يهدف مجال الميكاترونيكس تصميم منتج يعتمد تشغيلة على دمج أنظمة ميكانيكية وإلكترونية، وإتسع المصطلح ليشمل مجالات تقنية كثيرة. ويُعرّف مصطلح الميكاترونكس

على أنه: "النهج الذي يهدف إلى التكامل المستمر للميكانيكا والالكترونيات ونظرية التحكم، وعلوم الحاسب الآلي في تصميم المنتجات والصناعات التحويلية، من أجل تحسينه و/ أو تحسين وظائفه". هندسة الميكاترونيك تختلف عن هندسة التحكم حيث يتميز ممارسيها بالفهم العميق لتحليل الأداء وتصميم الآلات المعقدة كما تختلف عن الهندسة الميكانيكية حيث يتميز ممارسيها بفهم كيفية إستخدام الأتمتة فى التصميم والتكامل في جهاز فعال لتحقيق منتج. وقد صيغ المصطلح لأول مرة في اليابان في الستينات من القرن الماضى للإشارة إلى مزيج متناغم من الميكانيكا والإلكترونيات وتم تسجيل مصطلح ميكاترونكس كعلامة تجارية فى اليابان فى العام ١٩٧١ ثم إنتشر المصطلح لباقى دول العالم، وأصبح مصطلح الميكاترونيك يعني منهجية تصميم منتجات لها الأداء الدقيق. هذه الخصائص لا يمكن أن تتحقق من خلال النظر في التصميم الميكانيكي فقط، ولكن أيضا كيفية إستخدام ضوابط التحكم، وأجهزة الإستشعار، والإلكترونيات. أستخدم مصطلح الميكاترونيك للتحكم فى المحركات الكهربائية بجهاز الكمبيوتر كما يعتبر الروبوت الصناعي مثال لنظم الميكاترونكس؛ حيث يشمل الجوانب العلمية المتعلقة للقيام بالمهام اليومية الخاصة بالروبوت، الأذرع الروبوتية المبكرة، كانت غير قادرة على تنسيق حركاتها ولكنها تطورت كثيرا مع التقدم في علم الحركة، والديناميكا، والتحكم، وتكنولوجيا الإستشعار، والبرمجة ذات المستوى العالى. خلال السبعينات من القرن الماضى، كان مجال الميكاترونيك هو المعنى بتكنولوجيا الحركة المستخدمة في المنتجات مثل فتح الأبواب الأوتوماتيكية، وآلات البيع، وكاميرات الضبط التلقائي للصورة. في الثمانينات، تم الإستعانة بتكنولوجيا المعلومات، وبدأ المهندسون تضمين المعالجات الدقيقة في الأنظمة الميكانيكية لتحسين أدائها ومع التسعينات يمكن القول بأن مجال الميكاترونيك وصل الى حد متميز بسبب زيادة إستخدام الذكاء الصناعى في النظم المنتجة.

❖ **لماذا الإهتمام بدراسة الميكاترونكس؟**

أصبح مجال الميكاترونيكس معروف ومتداول في اليابان وأوروبا لسنوات عديدة ولكنها كانت ضعيفة القبول الصناعي والأكاديمي كتخصص وممارسة في إنجلترا والولايات المتحدة. في الماضي، كانت الآلة وتصميم المنتجات تحظى بإهتمام المهندسين الميكانيكيين وأسندت الحلول لمجال التحكم والمراقبة ومشاكل البرمجة الى مهندسى الحاسبات والسيطرة ونتج عن تلك المقاربة الهندسية تصاميم ذات مستوى جيد. تتناول هندسة الكوبرنيتك [١] مسألة هندسة التحكم لنظم الميكاترونيكس والتى يتم إستخدامها للتحكم فى مثل هذا النظام، ساهمت هندسة الميكاترونيكس فى تنفيذ أهداف الإنتاج والتصنيع بخصائص ومرونة جيدة٠ تتكون معدات الإنتاج الحديثة من وحدات الميكاترونيكس التي تتكامل وفقا لبنية السيطرة والتحكم الأكثر شهرة [٢] وتشمل: تحكم التسلسل الهرمي، التحكم متعدد البنية، التحكم المتشعب البنية والتحكم الهجين. إن الأساليب التي تتخذ لتحقيق الفعالية التقنية يمكن أن توصف بـ "خوارزميات التحكم"، والتي يمكن إستخدام الطرق المنهجية أو غيرها لتصميم هذه الخوارزميات. أهمية الأنظمة المتعلقة بالميكاترونيكس [٣] تشمل: أنظمة الإنتاج، ديناميكية الآلات والآليات والديناميكا الحرارية، محُركات الطاقة الهجينة، التصميم الميكانيكي وإختيار المواد، روبوتات إستكشاف الفضاء، النظم الفرعية في السيارات مثل أنظمة الكبح المانع

---

١ هندسة الكوبرنيتك (Engineering cybernetics) علم نظرية الاتصالات والتحكم المعنية بدراسة مقارنة لنظم التحكم الآلي كالجهاز العصبي والدماغ (science of communication and control theory that is concerned especially with the comparative study of automatic control systems (as the nervous system and brain)

٢ لبنية السيطرة والتحكم الأكثر شهرة (The most known architectures involve hierarchy, polyarchy, heterarchy, and hybrid.)

٣ أهمية الأنظمة الهجينة بالنسبة للميكاترونيكس (Hybrid systems important to mechatronics include production systems, synergy drives, planetary exploration rovers, automotive subsystems such as anti-lock braking systems and spin-assist, and everyday equipment such as autofocus cameras, video, hard disks, and CD players.)

للإنغلاق ومساعدات الدوران، والمعدات اليومية مثل ضبط العدسة التلقائي للكاميرات، كاميرات ومسجلات الفيديو، محركات الأقراص الصلبة للكمبيوتر. مهندس الميكاترونكس يجب أن يكون قادرا على تصميم وإستخدام الدوائر الإلكترونية التماثلية والرقمية ، والمعالجات الدقيقة ، والآلات الميكانيكية، والحساسات ، التحكم فى الحركة ، هندسة الطيران ، ومحركات تحويل الطاقة الكهرومغناطيسية ، أنظمة مضمنة للوقت الحقيقي ، طاقة السوائل وغيرها من أجهزة التفجير، النمذجة والمحاكاة وتكامل الأنظمة ،البنية التحتية الذكية ، إدارة العمليات، والجدولة، التحسين، التحكم فى خطط الإنتاج ونظم التصنيع ، تقنيات الذكاء الاصطناعي ، ونظام التحكم السلكى في الطائرات كي يكون قادرا على الوصول إلى الأهداف المرجوة من التصميم . تدعى المنظومات الميكاترونية أحيانا بالأجهزة الذكية، حيث يفترض أنها تحاكي طريقة التفكير البشري. كل من هذه المنتجات هى منتجات ميكانيكية أساسا في الطبيعة، ولكنها دون تصميم لا يتجزأ عن أنظمة التحكم الكهربائية والكمبيوتر التي تعتبر بالغة الأهمية لتشغيلها. اليوم، دخلت الميكاترونكس إلى كل الأجهزة تقريبا فهي ليست مختصة بالروبوتات أو المصانع فقط، إن الميكاترونيكس هي المستقبل. الدور الرئيسى للميكاترونيك هو أحد تخصصات التكامل لجميع مراحل عملية التصميم بأكملها، يجب على الخبراء في مجال تخصصات الميكاترونيك إكتساب المعرفة العامة للتقنيات المختلفة وقادرين على السيطرة على عملية التصميم بأكملها والتفكير بشكل كلي لنظم الميكاترونيك، بدلا من التركيز على عناصر معينة فى مجال معين مثل نظام ميكانيكي أو برامج التشغيل. وكيفية تصميم نموذج لنظام من منظور الطاقة (بدلا من التفكير من حيث الفولتية أو القوى المؤثرة) وهو أمر أساسي. يتعامل العديد من مهندسين الميكاترونيك مع الأجهزة الإلكترونية وأنظمة التحكم والكمبيوتر بفعالية موثوق بها والأمر المسلم به هو أن يقوم مهندسين الميكاترونيك ببناء وتصميم النظم الآلية لمراقبة عمليات الكشف عن التسربات والعيوب، والحفاظ على تشغيل المصنع على مدار العام والتى تحتاج الى الخبرة في المجالات المتعلقة بها ، والقدرة على تحقيق كل هذه العناصر لتلبية نظم العمل لمستويات السلامة والموثوقية التي تعتبر أمرا مفروغا منه وقدرتهم على إستخدام مصادر المعرفة الخاصة للآخرين مع مزيج معين من

التقنيات التي من شأنها توفير الحل المبتكر والمناسب والأكثر إقتصاديا . لمهندسين الميكاترونيك أدوار في المشاريع الهندسية، والهندسة والموثوقية وهندسة الطاقة لتميزهم ومعارفهم متعددة التخصصات مما يعطيهم ميزة على المهندسين الميكانيكيين أو الكهربائيين. يمكن لمهندسي الميكاترونيك العمل مع الأنظمة الكهربائية والميكانيكية معا وحل المشاكل التي تتعدى حدود التخصصات وقدراتهم في تكنولوجيا المعلومات، أجهزة الكمبيوتر والشبكات وكذلك البرامج المساعدة تساهم أيضا فى حل مشاكل متعددة وكذلك كتابة وإختبار البرمجيات لأنظمة الكمبيوتر المتخصصة والتحكم الجزئي يشكل جزءا رئيسيا من عمل العديد من المهندسين الميكاترونيك. تحتاج الصناعة مهندسين الميكاترونيك لمواصلة تطوير منتجات مبتكرة بسرعة مع الأداء والجودة ومنخفضة التكلفة. مثل جميع المهندسين، يأخذ التعاون الفني معظم وقت عمل مهندس الميكاترونيك. تنطوي هندسة الميكاترونيك، بطبيعتها، على تعاون واسع النطاق مع الأشخاص الذين يعملون في أكثر من التخصصات الهندسية التقليدية. مهارات مثل التعليم والإقناع والتفاوض في سياق فني ذات قيمة لمهندسين الميكاترونيك. التنسيق الفني، وإكتساب الرغبة فى التعاون الجاد مع الآخرين دون صلاحيات تنظيمية ذو قيمة خاصة.

❖ المُحتوى العلمي لبرنامج البكالوريوس فى هندسة الميكاترونكس

تختلف المحتويات العلمية فى برنامج الميكاترونيك بشكل كبير عن برنامج الهندسة الميكانيكية التي يتم تدريسها للطلاب٠ يتم تدريس نصف المقررات للسنة الثانية والثالثة في قسم الميكاترونيك فى مجال هندسة التصميم بقسمى الهندسة الكهربائية وهندسة الكمبيوتر وهذا يجعل برنامج الميكاترونيك مثالى للطلاب الذين يفضلون مدارك واسعة ، التعليم الهندسي هو تعليم متعدد التخصصات ومتكامل للغاية – يدرس طلابُ الميكاترونيكس موادًا دراسية من مجالات علمية مختلفة وتشمل المجالات التالية: الهندسة الإلكترونية – الهندسة الكهربائية – الهندسة الميكانيكية – علوم المواد – هندسة الكمبيوتر – علوم الحاسب الآلي – هندسة النظم والتحكم – الهندسة الضوئية – هندسة الروبوتات٠

❖ **التطبيقات:**

هناك العديد من التطبيقات المرتبطة بمجالات متعددة منها , الأتمتة والروبوتيات – السيطرة الميكانيكية – نظم الإستشعار والتحكم – هندسة السيارات ، أنظمة المكابح المانعة للإنغلاق فى السيارات – التحكم الألى بجهاز الكمبيوتر، مثل تحريك الآلات بأجهزة الكمبيوتر[٤] مثل آلات طحن – الآلات الصناعية – المنتجات الإستهلاكية – أنظمة الميكاترونكس – ميكاترونكس الطبية، نظم التصوير الطبي – الأنظمة الديناميكية الهيكلية – نظم المركبات ووسائل النقل – نظم التصنيع المتكاملة – التصميم بمساعدة الكمبيوتر – النظم الهندسية للإنتاج – التعبئة والتغليف – المتحكمات الميكروووية والتحكم المنطقى القابل للبرمجة[٥] – الإتصالات الجوالة – الهندسة الكهروميكانيكية – المجففات الحساسة للرطوبة عند غسيل الملابس – مساحات الزجاج الأمامي – أجهزة التحكم المنطقي القابل للبرمجة[٥] – أنظمة التحكم الإشرافي وجلب البيانات[٦] – منظومة إدارة المباني[٧] – الأتمته، وهي جزء من الروبوتيات – المحركات التي تتحرك بمقدار وزاويه معين[٤] – نظم التحكم عن بعد – الرؤية الآلية – الأنظمة الخبيرة في تقنيات الذكاء الاصطناعي – كما لها تطبيقات فى تقنيات أنظمة التحكّم والتشخيص الدقيق في مجال الطب والجراحة، والزراعة، وصناعة لعب الأطفال والترفيه، والوسائل الذكية للمسنين والمعوقين. تعرف النمذجة والمحاكاة الميكانيكية بظاهرة مادية معقدة في نطاق نهج متعدد المستويات المادية وهذا ينطوي على تنفيذ وإدارة أساليب النمذجة والتحسين والأدوات، والتي يتم تكاملها في نهج شامل. ويهدف التخصص عند الطلاب في التخصصات الميكانيكية الذين يرغبون في فتح

---

٤ تحريك الآلات بأجهزة الكمبيوتر (Servo-mechanics) (Computer-machine controls, such as computer driven machines like IE CNC milling machines)

٥ المتحكمات الميكروووية والتحكم المنطقى القابل للبرمجة- PLCs / Microcontrollers (*programmable logic controller*, *PLC*, or programmable controller is a digital computer used for automation of typically industrial electromechanical processes,)

٦ أنظمة التحكم الإشرافي وجلب البيانات (Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

٧ منظومة إدارة المباني (Building Management System BMS)

أذهانهم للنظم الهندسية، إكتساب القدرة على دمج التكنولوجيات، فضلا عن زيادة معرفتهم في تحسين تقنيات المحاكاة المتعددة التخصصات. يعتمد التخصص على تثقيف الطلاب في أساليب التصور الأمثل للهياكل والعديد من النظم التكنولوجية، والنمذجة الرئيسية وأدوات المحاكاة المستخدمة في البحث والتطوير ويقترح أيضا دورات خاصة للتطبيقات الأصلية (مكونة من مواد متعددة، تشتمل على محولات الطاقة المبتكرة والمشغلات، النظم المتكاملة ،..) وذلك بهدف إعداد الطلاب لإختراق النظم القادمة في مجالات تشمل المواد والنظم. فى بعض نظم الميكاترونيك، هناك بعض المسائل الرئيسية لم تعد توضح كيفية تنفيذ نظام المراقبة، ولكن كيفية تنفيذ المشغلات. يستخدم فى مجال الميكاترونيك، نوعين من التكنولوجيات لإنتاج الحركة وهي: محركات البيزو- إلكتريك، والمحركات الكهرومغناطيسية وربما أكثر أنظمة الميكاترونيكس شهرةً هو نظام التحكم في ضبط العدسة للكاميرا أو الأنظمة المضادة للإهتزاز في الكاميرات. فيما يخص الطاقة، فإن أغلب التطبيقات تستخدم البطاريات ولكن هناك إتجاهاً جديداً يعتمد على تجميع الطاقة، مما يتيح التحويل إلى الطاقة الكهربائية من أنواع الطاقة الأخرى كالطاقة الميكانيكية من الإهتزاز والصدمات، أو الطاقة الحرارية من التباين الحراري،إلخ . وعلى المستوى الأساسى تكمن القدرة على تصميم ونمذجة وإختبار نظم ميكاترونيك "بسيطة" تتألف المكونات الميكانيكية والكهربائية متصلة بعنصر متحكم واحد أو جهاز تحكم منطقى, مثال على ذلك محرك تيار مباشر متصل بعلبة تروس لتشغيل كتلة الحمل مع أجهزة الإستشعار لمراقبة ردود الفعل من موقع وسرعة٠ ويتم تدريب المهندسين الميكاترونيك ليكون لديهم نظرة ثاقبة فى كيفية بناء أنظمة ذات نطاق أوسع على الرغم من تطبيق هذه المهارات الأساسية, على سبيل المثال قدرتهم على تصميم أنظمة أكثر تعقيدا بإستخدام المتحكمات لتحقيق السيطرة لنظام ميكاترونيك أكبر ويعتبر تصميم التقنيات المنهجية مهمة أيضا، جنبا إلى جنب مع مهارات المحادثة لتطوير حلول مع العملاء من حيث إحتمالات هندسة الميكاترونيك. معرفة كيفية إجراء إختبار منهجي صارم له نفس القدر من الأهمية. تم العثور على مجالات أخرى من خبرات محددة ذات الصلة لممارسة هندسة الميكاترونيك في، الهندسة الطبية الحيوية، هندسة الإتصالات، أنظمة الكمبيوتر، الهندسة

الكهربائية، هندسة الطاقة، الهندسة الإلكترونية، الهندسة الصناعية، الأجهزة وهندسة التحكم، هندسة الإنتاج والتصنيع، الهندسة الميكانيكية، هندسة البرمجيات وهندسة الفضاء.

❖ الميادين البديلة

إتفق كبار الأكاديميين فى مجال هندسة الميكاترونيك على تعريف أكثر وضوحا للمراجعات المستقبلية لمعايير كفاءة المهندسين حيث تمثل إنضباط الهندسة المعنية مع البحث والتصميم والتنفيذ وصيانة منتجات الهندسة الذكية والعمليات التى تمكن من التكامل مع الهندسة الميكانيكية والإلكترونية، وهندسة الكمبيوتر، وتقنيات هندسة البرمجيات" . يُعتبر مجالُ الميكاترونيكس البيولوجى مجالًا جديدًا، ويهدف إلى دمج أجزاء ميكانيكية لإنسان آلى، عادة في شكل الأدوات القابلة للتغيير مثل الهيكل الخارجي. يعتبر هذا تصنيف للحياة الحقيقية" في الخيال العلمي والذي يمثل نسخة من الأدوات الإلكترونية في الحياة الواقعية. مجال آخر ناشئ هو التحكم فى الحركة المعروف حاليا كمفتاح التكنولوجيا فى مجال الميكاترونكس المتقدمة، دقة ومتانة التحكم فى الحركة تمثل دالة لصلابة وأساس للتطبيق العملي. الهدف من الحركة صلابة التحكم التي يمكن أن تكون متغيرة وفقا لمرجعية المهمة، ومع ذلك، يتطلب متانة نظام الحركة دائماً صلابة عالية جداً في وحدة التحكم. مجال آخر ناشئ هو التصميم المركزي الإلكتروني [٨] التصميم المشارك (التصميم الإلكتروني/الميكانيكي بمساعدة الحاسوب). يكونُ النظامُ إلكترونيًا، عندما يحدثُ الإندماج والتصميم المُشارك بين فريق التصميم وأدوات التصميم لنظامٍ مركزيٍ إلكتروني من جهة، وفريق التصميم وأدوات التصميم لهذه الأنظمة، بشكلٍ فيزيائي/ميكانيكي. هناك عدد من الوظائف تحت مسمى "مهندس الميكاترونيك" وهي أقل من التخصصات الأخرى حيث لا يوجد العديد من المهندسين ذوي الخبرة فى مجالات الميكاترونيك المتاحة، حتى أن معظم أصحاب العمل لا يريدون التقييد بمجال المتقدمين من خلال الدعوة فقط لمهندس الميكاترونيك. وظائف هندسة الميكاترونيك في كثير من الأحيان على النحو التالي:

٨ التصميم المركزي الإلكتروني هو التصميم الإلكتروني/الميكانيكي بمساعدة الحاسوب (ECAD/MCAD)

- **مهندس إدارة الأصول – مهندس تحكم – مهندس تسجيل بيانات – مهندس هندسة الكهربائية / الإلكترونية – مهندس الكهروميكانيكي – مهندس أجهزة قياس – مهندس صيانة – مهندس المصنع – مهندس عملية – مهندس عمليات الرصد والنظم النباتية – مهندس المشروع – مهندس برمجيات – مهندس أنظمة.**

هندسة الميكاترونيك هي فرع معتمد رسميا للهندسة في أستراليا، اليابان، فرنسا، هولندا، ألمانيا وعدة دول أخرى، ولكن تتنافس المنظمات الهندسية المهنية في الولايات المتحدة الأمريكية وبريطانيا لتوفر الإعتماد وتم إعتماد عدد قليل نسبيا من البرامج حتى الآن. المهندسين الميكاترونيك في هذه البلدان تميل للإلتحاق ببرامج الماجستير في الدراسات العليا بعد الدرجة الأولى في الهندسة الميكانيكية أو الكهربائية. أصبحت الأجهزة الميكاترونيك أو الأجهزة الذكية متقدمة وشائعة في مجتمعنا من الناحية التكنولوجية. يمكن لمهندسي الميكاترونكس العمل في أي شركة تقوم بتطوير وتصميم أو تصنيع وتسويق الأجهزة "الذكية". توجد فرص عمل في مجال التصنيع والمبيعات، فضلا عن البحوث. تسللت أجهزة الميكاترونيك في كل الحياة اليومية للمجتمعات.

٥-٢ هندسة الميكاترونيات – المنتجات والنظم فى التصنيع

تشتمل تقنية الميكاترونيات على مجموعة متنوعة من التطبيقات للمنتجات والأنظمة في مجال أتمتة التصنيع – بعض من هذه التطبيقات كما يلي:

1. **آلات التحكم العددي بالكمبيوتر [٩]**
2. **أداة نظم الرصد**
3. **نظم التصنيع المتقدمة**
   - **أ. نظم التصنيع المرنة [١٠]**
   - **ب. نظم التصنيع المتكاملة بالحاسوب [١١]**

---

٩ آلات التحكم العددي بالكمبيوتر (Computer numerical control (CNC) machines)

١٠ نظم التصنيع المرنة ((Flexible manufacturing system (FMS)

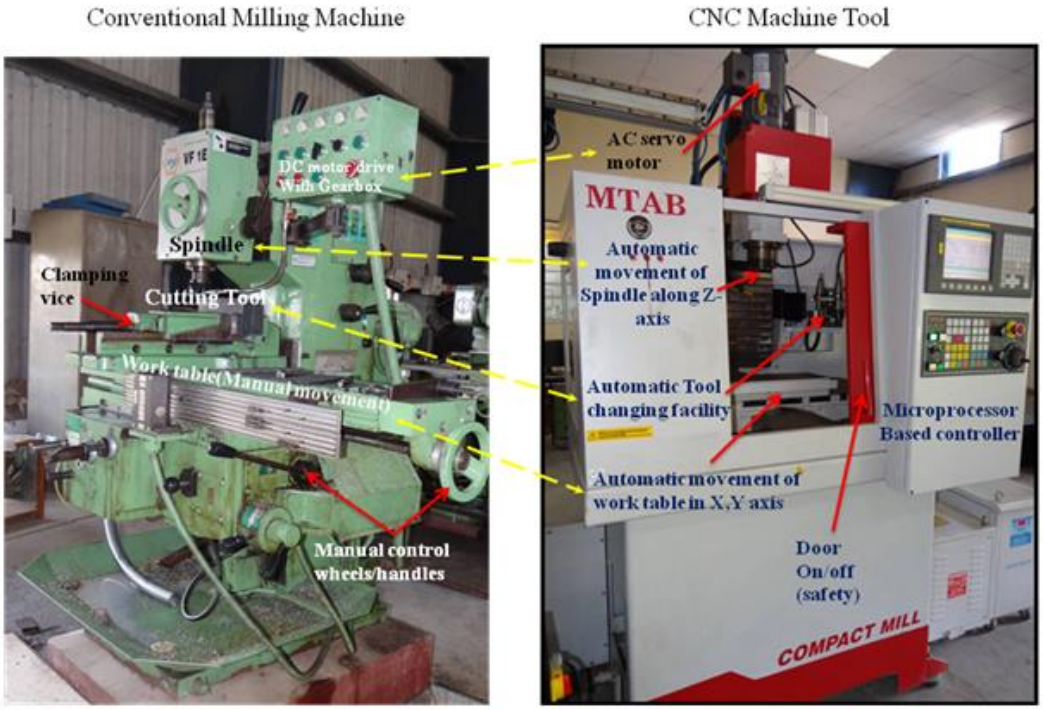
٤. الروبوتات الصناعية

٥. نظم التفتيش الآلي ونظم الرؤية فى الآلات

٦. أنظمة التعبئة والتغليف التلقائي

❖ آلات التحكم العددي بالكومبيوتر

آلات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي هي المثال الأفضل والأساسي لتطبيقات هندسة الميكاترونيات في أتمتة التصنيع. تعتمد كفاءة تشغيل أداة القطع فى الآلات التقليدية مثل المخارط، آلات الطحن، آلة التثقيب على التدريب ومهارة المشغل، إلا أنها تستهلك الكثير من الوقت في إعداد الجزء تحت التشغيل، وتحديد الأدوات والسيطرة على أي خصائص للعملية مثل التغذية والسرعة وعمق القطع، وهكذا فإن الآلات التقليدية بطيئة ومكلفة لمواجهة تحديات التغير فى شكل وحجم المنتجات، تستخدم الآن آلات التحكم العددي بالكومبيوتر على نطاق واسع في الصناعات الصغيرة والكبيرة.



الشكل (٥-٢) مقارنة بين أداة آلة تقليدية وأداة آلة التصنيع باستخدام الحاسب الآلي

---

١١ التصنيع المتكامل بالحاسوب ((Computer integrated manufacturing (CIM)

أدوات آلات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي هي جزء لا يتجزأ من التصنيع بمساعدة الحاسب [١٢] أو آلات التصنيع المتكامل بالحاسب [١٩]. تعني آلات التحكم العددي بالكومبيوتر تشغيل أداة الماكينة عن طريق سلسلة من تعليمات مشفرة تتألف من الأرقام والحروف من الحروف الهجائية، والرموز التي تتفهمها وحدة التحكم فى الآله [١٣]. يتم تحويل هذه التعليمات إلى نبضات كهربائية الى محركات الماكينة والضوابط لتتبع تنفيذ عمليات القطع على الجزء المراد تشغيلة. الأرقام والحروف والرموز هي تعليمات مشفرة تشير إلى مسافات، أماكن، وظائف أو حركات محددة التي يمكن أن تتفهمها أداة قطع الماكينة. توجه آلات التحكم العددي بالكومبيوتر تلقائيا الحركات المحورية لأدوات الآلات مع مساعدة من أجهزة الكمبيوتر، العمليات المساعدة مثل سائل التبريد، تغير أداة التشغيل، فتح وغلق الباب بمساعدة من وحدات التحكم الجزئي. يوضح الشكل (٥-٢) الإختلافات الجوهرية بين أداة آلات التصنيع التقليدية وآلات التحكم العددي بالكومبيوتر كما توضح جداول تشغيل الماكينة وحركة عمود الدوران آلية بالكامل بإستخدام وحدات التحكم بإستخدام الحاسب الآلي والمحركات المضاعفة. يمكن التحكم فى سرعة عمود الدوران والجزء تحت التشغيل على وجه التحديد والحفاظ على مستوى الدقة من قبل وحدة تحكم المزودة بوسيلة التشخيص الذاتي الذي يعطى إنذار للمشغل في حال وجود أي إنتهاك لمعيار السلامة مثل فتح باب نظام التحكم خلال التشغيل، أو كسر أداة القطع الخ. وقد تم تجهيز أدوات الآلات الحديثة بمحركات أقل إحتكاك عند إعادة ربط براغى محركات الأقراص، والمحركات الخطية الخ.

❖ نظم الرصد لأداة الآلات

التشغيل دون إنقطاع هو أحد التحديات التى تواجه الشركات المصنعة لتلبية أهداف الإنتاج والعملاء من حيث جودة المنتج، يعتبر تآكل وإهتراء أداة القطع عامل حاسم يؤثر على إنتاجية التشغيل، تتحقق الأتمتة الكاملة لعملية التشغيل عندما يكون هناك توقع بعدم

---

١٢ التصنيع بمساعدة الحاسوب ((Computer Aided Manufacturing (CAM))

١٣ وحدة التحكم الآله ((machine control unit (MCU))

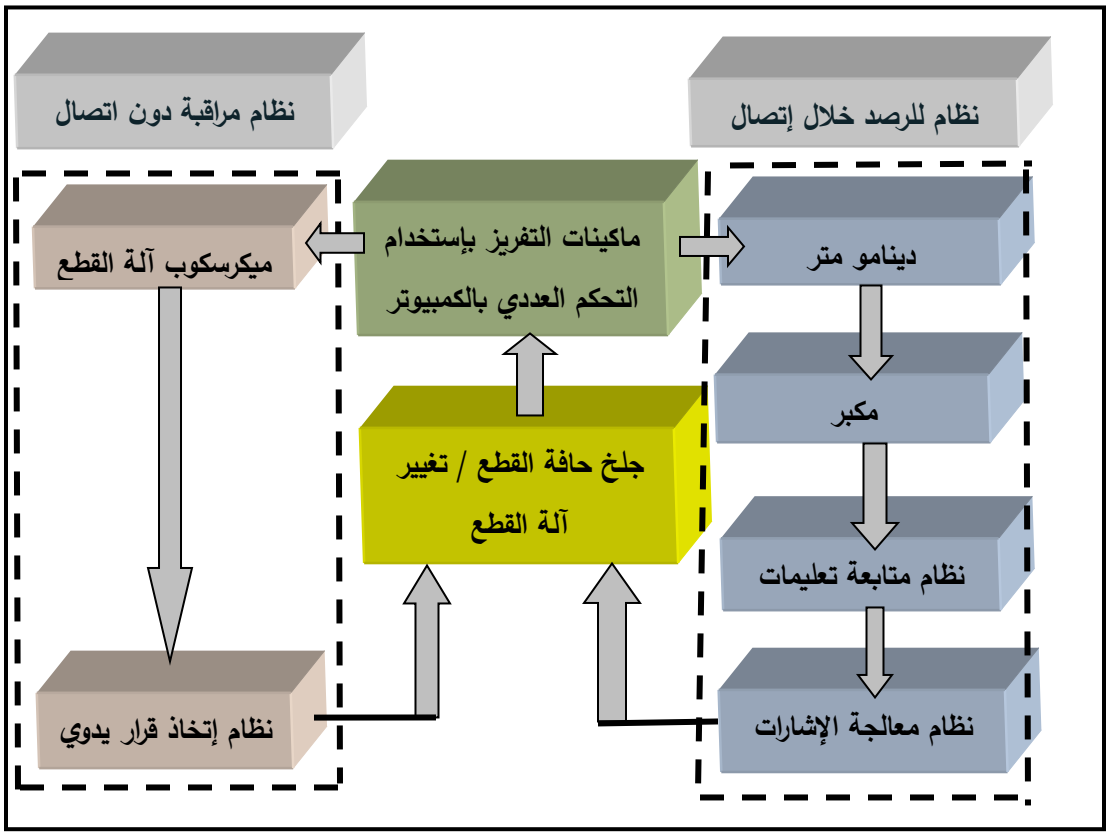
إهتراء أداة التشغيل خلال عملية القطع. الميكاترونيات نظام مبنى على أساس نظام رصد حالة أداة القطع كجزء لا يتجزأ من نظام مراقبة متكامل بصندوق الأدوات، تتنبأ هذه الأنظمة بإهتراء أو تآكل أداة القطع وتعطي إنذار إلى مشغل النظام حتى يتمكن من منع أي ضرر لأداة القطع والجزء تحت التشغيل، ولذلك فمن الضروري أن نعرف كيف يمكن أن تساعد هندسة الميكاترونيات في مراقبة إهتراء وتآكل الأداة. يمكن ملاحظة إهتراء وتآكل أداة القطع بمجموعة متنوعة من الطرق يمكن تصنيفها في مجموعتين (الجدول ٥-١). تتعامل تقنيات الطرق المباشرة بتطبيق مختلف أدوات الإستشعار عن بعد وأجهزة القياس مثل الميكروسكوب، كاميرات الرؤية، تقنيات إشعاعية لقياس إهتراء وتآكل الأداة، ترسل أدوات القطع المستخدمة أو المتآكلة إلى قسم القياس أو التفتيش بغرفة الأدوات حيث سيتم فحصها بإستخدام أحد الأساليب المباشرة المستخدمة ومع ذلك، يمكن بسهولة تطبيق هذه الأساليب في الممارسة ويطلق عليها نظام مراقبة خارجى لأدوات القطع ويوضح الشكل (٥ – ٣) رسم تخطيطي لأداة جلخ ونظام بديل يقوم على القياسات الخارجية.

الجدول (٥ – ١) نظم الرصد لأداة القطع

طرق مباشرة	طرق غير مباشرة
المقاومة الكهربائية	عزم وقوة الدوران
القياسات الضوئية	درجات الحرارة
ساعات التشغيل	التذبذب وصدى الصوت
إستشعار التلامس	قوة القطع وقياس الإجهادات

تعتبر طرق المراقبة الخارجية مضيعة للوقت وصعبة الإستخدام خلال عملية التشكيل الفعلية، التوقعات بإستخدام آليات الوسائل الغير مباشرة لحالة أداة القطع من خلال تحليل العلاقة بين حالة وإستجابة عملية القطع على أنها كمية يمكن قياسها من خلال خرج إشارات عناصر إستشعار مثل القوة، والإنبعاثات الصوتية، والإهتزازات، أو التيار. يوضح الشكل (٥-٤) مثال نموذجي لنظام رصد للأداة فى حالة التشغيل. بتوظيف قوى القطع المسجلة أثناء عملية

القطع في الوقت الحقيقي أثناء التشغيل للتنبؤ بإهتراء أداة القطع، يمكن الإحساس بقوة القطع بإستخدام إما الشحنات الكهربائية المتراكمة أو بقياس الإجهادات الناشئة عن محول الطاقة [١٤].



الشكل (٥-٣) نظام مراقبة ورصد لحافة أداة طحن أثناء التشغيل وخارج التشغيل

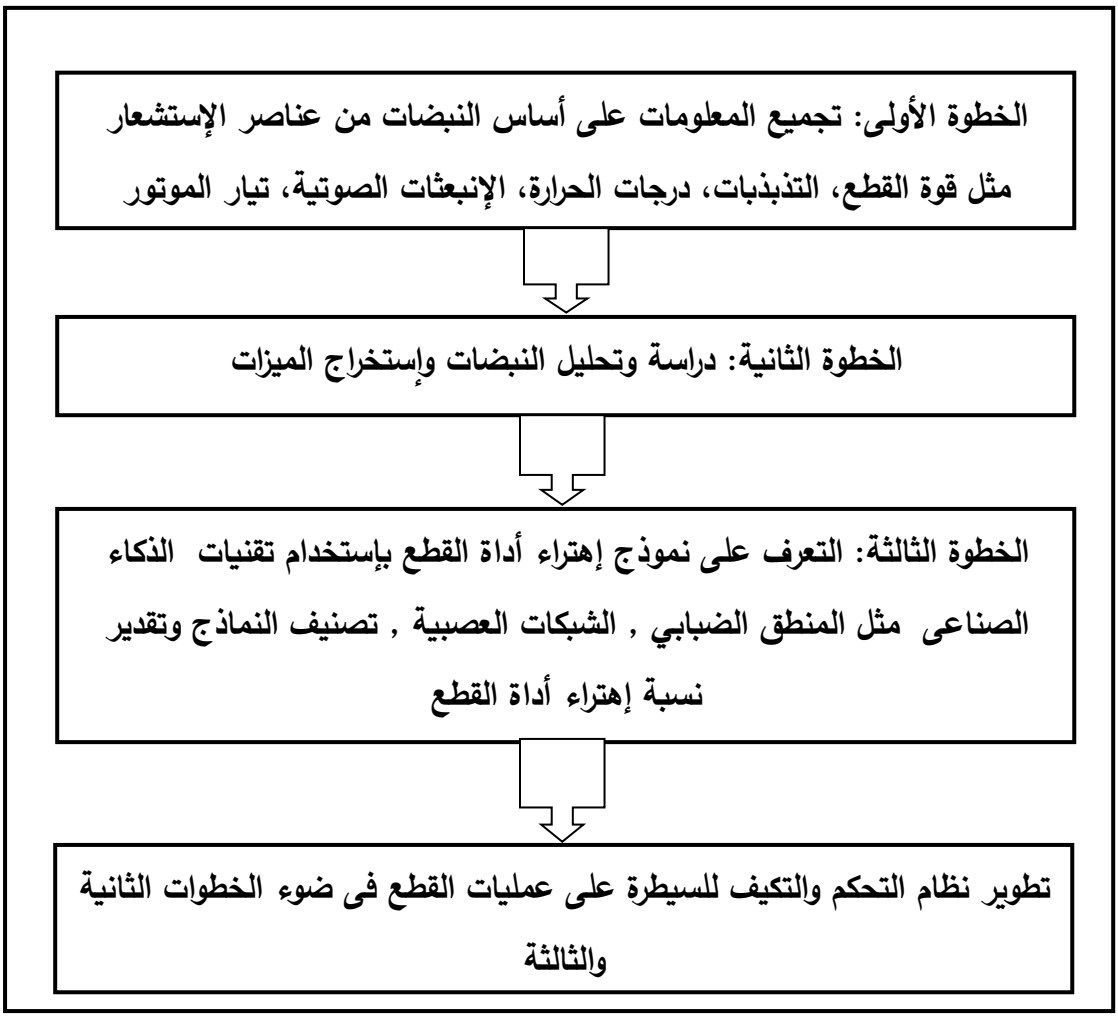
يراقب نظام التحكم القائم على المعالجات بإستمرار الإشارات الواردة من نظام الحصول على البيانات [١٥] والتى تمت برمجتها من خلال البيانات التجريبية السابقة لمجموعة واسعة من

---

١٤ بإستخدام إما الشحنات الكهربائية المتراكمة أو بقياس الإجهادات الناشئة عن محول الطاقة (cutting forces can be sensed by using either piezo-electric or strain gauge based force transducer)

١٥ يراقب نظام التحكم القائم على المعالجات باستمرار الإشارات الواردة من نظام الحصول على البيانات (A micro-processor based control system continuously monitors 'conditioned' signals received from the Data Acquisition System (DAS))

عمليات التشغيل لمجموعة متنوعة من المواد. تستخدم أدوات القطع تقتيات الذكاء الإصطناعي مثل الشبكات العصبية الصناعية، الخوارزميات الجينية لتدريب النظام القائم على إستخدام المعالج لقواعد منتظمة [١٦] وبناء على هذا التدريب يأخذ نظام التحكم القرار لتغيير أداة القطع أو يعطي إنذار للمشغل وأظهرت العديد من الخطوات المتبعة في النهج فى حالة التشغيل لقياس إهتراء أداة القطع وإتخاذ الإجراءات المناسبة كما هو موضح في الشكل (٤-٥).



الشكل (٥-٤) خطوات نظام رصد أداة القطع بالتقنية الغير مباشرة

١٦ تستخدم الأدوات تقتيات الذكاء الاصطناعي مثل الشبكات العصبية الصناعية، الخوارزميات الجينية لتدريب النظام القائم على المعالج على قواعد منتظمة (Artificial Intelligence (AI) tools such as Artificial Neural Network (ANN), (Genetic Algorithm (GA) are used to train the microprocessor based system on a regular basis

أجريت الكثير من الأبحاث الأكاديمية وكذلك الصناعية على الدراسات العددية والتجريبية من تصميم وتطوير وتحليل لأنظمة المراقبة والمنشورة بمختلف الدوريات العالمية مثل الدورية الدولية المتقدمة لتكنولوجيا التصنيع، الدورية الدولية لتصنيع آلات القطع، الدورية الدولية لتكنولوجيا معالجة المواد، وما إلى ذلك.

❖ نظم التصنيع المتقدمة

- نظام التصنيع المرن

في الوقت الحاضر يطالب العملاء بمجموعة واسعة من المنتجات ولتلبية هذا الطلب، إنتقل مفهوم الشركات المصنعة والمنتجين بعيدا عن الإنتتاج الكمى الى إنتاج الكميات الصغيرة. يوفر إنتاج الدفعات الصغيرة المزيد من المرونة في تصنيع المنتج لتلبية هذه الحاجة، وقد تطورت نظم التصنيع المرنة [١٧] بين الإلكترونيات الدقيقة والهندسة الميكانيكية لتحقيق إقتصاديات إنتاج الدفعات الصغيرة. يتحكم الكمبيوتر المركزي فى أدوات القطع الآلية ونقاط التشغيل الأخرى، ونقل المكونات والأدوات ويوفر جهاز الكمبيوتر أيضا رصد ومراقبة المعلومات. هذا المزيج من المرونة والسيطرة الكلية يجعل من الممكن إنتاج مجموعة واسعة من المنتجات بأعداد قليلة. يتكون نظام التصنيع المرن من آله أو أكثر من آلات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي، متصلة بواسطة نظام آلي لكل من تقنيات مناولة المواد، وإختيار ومكان الروبوتات. تعتبر نظم التصنيع المرن مركز تصنيع أو نظام يتكون من ماكينة أو أكثر من ماكينات التصنيع بمساعدة الحاسب الآلى متصلة بنظام آلى لمناولة المواد، تقوم الروبوتات بإلتقاط الأجزاء ووضعها تحت سيطرة جهاز كمبيوتر مركزي كما أن لديها الأنظمة الفرعية المساعدة مثل محطة تحميل / تفريغ، نظام تلقائى لمعالجة أداة القطع، معدات تثبيت الجزء تحت التشغيل، نظام قياس المكونات، محطة غسيل الخ. يوضح الشكل (٥-٥) ترتيب نموذجي لنظام التصنيع المرن ومكوناته وسيكون لكل منها مكونات أخرى تعتمد على المتطلبات على النحو المبين بعد:

---

١٧ نظم التصنيع المرنة ((Flexible Manufacturing Systems (FMS)

الشكل (٥-٥) نظام التصنيع المرن

أ. أماكن أو محطات التشغيل (أدوات آلة التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي – معدات التركيب والتجميع – أجهزة القياس – محطات الغسيل)

ب – معدات مناولة المواد (محطات تحميل وتفريغ (منصات نقالة) – الروبوتات – آليات المركبات الإرشادية وآليات التخزين ونظم الإسترجاع [١٨])

ج – نظم أداة القطع (محطات إعداد وتثبيت أداة القطع – أنظمة النقل لأداة القطع)

د – نظام السيطرة والتحكم (معدات المراقبة – الشبكات)

يمكن ملاحظة أن نظم التصنيع المرنة تظهر مع منطقتين للتشغيل بمعنى منطقة جلخ ومنطقة تحويل بالإضافة الى وجود منطقة تحميل وتفريغ للجزء المشغل وتخزين المواد الخام، وأسلاك التوجيه لآليات المركبات الإرشادية لنقل أجزاء بين مختلف عناصر نظام التصنيع المرن. هذا النظام بالكامل نظام آلى له القدرة على التغيير التلقائي لأداة القطع ويتحكم الكمبيوتر المركزي في كامل العملية والتنسيق بين مختلف مكونات نظام التصنيع المرن.

---

١٨ آليات المركبات الإرشادية وآليات التخزين ونظم الإسترجاع ((Automated Guided Vehicles (AGVs)– Automated Storage and retrieval Systems (AS/RS))

- **السمات المميزة لنظام التصنيع المرن**

١. يعالج نظام التصنيع المرن مشاكل الإنتاج المتنوعة متوسطة الحجم مثل تزايد خطوط النقل لمعدلات الإنتاج ولدرجة المرونة العالية لآلات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي.

٢. يمكن معالجة عدة أنواع محددة في وقت واحدعلى التوالي.

٣. لا يكاد يذكر أى تغيير لأداة القطع مع مرور الوقت.

٤. آليات المناولة من آلة إلى آلة أخرى هو أسهل وأسرع نتيجة لتوظيف الكمبيوتر للسيطرة على نظام مناولة المواد.

- **فوائد نظام التصنيع المرن**

المرونة لتغيير أجزاء متنوعة – الإنتاجية العالية – إستخدام عالى للألات – نسب صغيرة للمنتجات المرفوضة – إرتفاع جودة المنتجات – إنخفاض العمل في الإنتاج والتخزين – سيطرة أفضل على الإنتاج – التصنيع فى الأوقات المحددة – السهولة فى التوسع.

- **التصنيع المتكامل بالكومبيوتر [١٩]**

يتشارك عدد من الأنشطة والعمليات منها التصميم، التحليل، الإختبار، التصنيع، التعبئة والتغليف، مراقبة الجودة، وما إلى ذلك في دورة تصنيع المنتج. تطبيق مبادئ الأتمتة على كل من هذه الأنشطة يعزز الإنتاجية فقط على المستوى الفردي وتسمى هذه بجزر الأتمتة, دمج جميع جزر الأتمتة في نظام واحد يعزز الإنتاجية الإجمالية . يسمى هذا النظام بإسم التصنيع المتكامل بالكومبيوتر. تعتمد جمعية مهندسي التصنيع مصطلحات مؤسسة تكامل التصنيع الكلى من خلال إستخدام أنظمة متكاملة وتجميع البيانات إلى جانب الفلسفات الإدارية الجديدة التي تعمل على تحسين الكفاءة التنظيمية والشخصية. تشتمل تقنيات التصنيع المتكامل بالحاسب أساسا على دمج التقنيات المتقدمة مثل التصميم بمساعدة الحاسوب، آلات التصنيع بمساعدة الحاسب، والروبوتات، وأنظمة مناولة المواد الآلية، وما إلى ذلك. تطورت تقنيات التصنيع المتكامل بالحاسب خطوة إلى الأمام بشمولها ودمجها أنشطة تحسين الأعمال مثل رضا العملاء والجودة الشاملة والتحسين المستمر. يتم إدارة

هذه الأنشطة من قبل أجهزة الكمبيوتر. تجمع فرق العمل والتسويق بصفة مستمرة ملاحظات العملاء فى التصميم والإنتاج بإستخدام أنظمة الشبكات، ويمكن لفريق التصميم والتصنيع تحسين تصميم المنتج الموجود أو تطوير منتج جديد تماما وهكذا، نجد أن إستخدام أجهزة الكمبيوتر وتقنيات أتمتة الصناعة التحويلية قادرة على الإستجابة السريعة للإحتياجات المتغيرة للعملاء.

❖ الروبوتات الصناعية

تستخدم الروبوتات الصناعية للأغراض العامة مع إعادة برمجتها للإستجابة للإشارات الحسية الواردة من بيئة النظام وبناء على هذه الإشارات، تقوم الروبوتات بتنفيذ العمل المبرمج أو النشاط المطلوب كما يمكنها إتخاذ قرارات مستقلة بسيطة والتواصل والتفاعل مع الآلات الأخرى والكمبيوتر المركزي وتعمل الروبوتات على نطاق واسع في التطبيقات التالية في التصنيع:

أ – مناولة الأجزاء وتشتمل على الأنشطة المختلفة مثل: (التعرف والفرز وفصل الأجزاء – إلتقاط ووضع الأجزاء في الأماكن المطلوبة – تركيب المنصات النقالة [١٩] ورفعها – تحميل وتفريغ الأجزاء على ومن الماكينات المطلوبة).

ب – معالجة الأجزاء: وتنطوي على العديد من عمليات التصنيع مثل: (التوجيه فى مسارات – التثقيب – التثبيت – اللحام بالقوس الكهربائى – الطحن – القطع باللهب – رفع بقايا القطع المتناثرة – الطلاء بالرذاذ – التجليخ – اللصق – التلميع – المعالجة الحرارية).

ج – بناء المنتجات: وينطوي على تطوير وبناء مختلف المنتجات مثل: (المحركات الكهربائية – هياكل السيارات – تصنيع اللولبيات – لوحات الدوائر والعمليات المماثلة – التركيز – التثبيت – لحام النقطة – لحام التماس – الإدراج – التسمير – التركيبات – الربط باللصق – التفتيش).

---

١٩ تركيب المنصات النقالة ورفعها (Palletizing and de–palletizing)

❖ **نظم مراقبة الجودة والتفتيش الآلي**

نظام للتسويق لتوريد المنتجات ذات النوعية الجيدة هو الهدف الأساسي لقطاع الصناعة التحويلية. يجب أن يلبي المنتج إحتياجات العملاء ويجب أن يكون موثوق به لتحقيق مواصفات المنتج المهمة خلال فترة قصيرة في الحقيقة تحديا لقطاع الصناعة التحويلية. يمكن تحقيق ذلك عن طريق بناء متطلبات الجودة من مرحلة تصميم المنتج والحفاظ على المعايير خلال مراحل الإنتاج حتى تسليم المنتج إلى العميل وقد تم تطوير عدد من أجهزة الإستشعار والأنظمة التي يمكنها رصد الجودة بإستمرار مع أو بدون مساعدة من المشغل وتشمل هذه التقنيات المختلفة وأجهزة الإستشعار وأنظمة الحصول على البيانات، نظم الرؤية فى الآلة وأجهزة القياس مثل جهاز قياس تنسيق الآلة، الأجهزة البصرية الشخصية، الفرجار الرقمي ومقاييس المسامير الخ. تتم تنفيذ أنشطة مراقبة الجودة من مرحلة التصميم وتطوير المنتجات وتستخدم برامج محاكاة مختلفة على أساس التنبؤ لأداء المنتج أو تطوير النظام في تصنيع المنتجات مثل المركبات الفضائية أو الطائرات، يجري رصد جميع المكونات الحرجة بإستخدام نظم التصوير الرقمي في جميع إتجاهات التطوير.

٥ – ٣ تقنيات التحكم العددي

الشكل (٥ – ٦) مركز التصنيع بإستخدام التحكم العددى بالحاسب الآلي [٢٠]

٢٠ مركز التصنيع باستخدام التحكم العددى بالحاسب الآلي (CNC turning center)

التحكم العددي هو أتمتة معدات الآلات من قبل الأوامر المبرمجة المشفرة على وسيط التخزين بدقة . معظم المعدات اليوم محوسبة بإستخدام تقنيات التحكم العددى بالحاسب الآلي ، بحيث تكون أجهزة الكمبيوتر جزءا لا يتجزأ من الماكينات . تصميم المكونات جميعها يتم بشكل آلى بالكامل بإستخدام التصميم بتقنيات وبرامج التصنيع بمساعدة الكمبيوتر[٢١] . تنشأ البرامج ملف لإستخراج الأوامر اللازمة لتشغيل ماكينة معينة عن طريق معالج رئيسى، ومن ثم تحميلها في ماكينات التصنيع بإستخدام آليات التحكم العددى للإنتاج. يتطلب أي مكون معين إستخدام عدد من الأدوات المختلفة – مثاقيب، والمناشير وغيرها من الآلات الحديثة غالبا ما تجمع أدوات متعددة في "خلية" واحدة٠ في منشآت صناعية أخرى، يتم إستخدام عدد من الآلات المختلفة مع وحدة تحكم خارجي ومشغلين بشريين أو آليين لتحريك الأداة من جهاز لآخر. في كلتا الحالتين، فإن سلسلة من الخطوات اللازمة لإنتاج أي جزء تتم بشكل آلي بالكامل لإنتاج الجزء المطلوب مطابقا للتصميم الأصلي المستخرج من الحاسب الآلى. تم بناء آليات التحكم العددى الأولى في العام ١٩٤٠ و ١٩٥٠ ، التي تم تعديلها مع المحركات التي تحرك المؤشرات لمتابعة نقاط إدخالها في النظام على شريط مثقب ٠ إضافة المضاعفات[٢٢] الميكانيكية مع أجهزة الكمبيوتر التناظرية والرقمية ، ساهم فى بناء آليات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي الحديثة التي أحدثت ثورة في تشكيل العمليات. يتم التحكم فى الحركة من خلال محاور متعددة بما لا يقل عن محورين فى إتجاهى الطول والعرض، كما يتحرك عمود دوران الماكينة نفسها في المحور الثالث

---

٢١ إلتصميم بمساعدة الكمبيوتر وبرامج التصنيع بمساعدة الكمبيوتر (In modern CNC systems, end-to-end component design is highly automated using computer-aided design (CAD) (and computer-aided manufacturing (CAM) programs.

٢٢ المضاعفات الميكانيكية مع أجهزة الكمبيوتر التناظرية والرقمية، ساهم فى يناء آليات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي الحديثة (servomechanisms rapidly augmented with analog and digital computers, creating (the modern CNC machine tools Servomechanism definition, an electronic control system in which a hydraulic, pneumatic, or other type of controlling mechanism is actuated and controlled

(العمق). تتحرك أداة القطع عن طريق محرك الخطوات مباشرة أو المحركات المضاعفة [٢٣] من أجل تقديم حركات دقيقة للغاية. التحكم بأسلوب الحلقات المغلقة القياسية فى آلات تشغيل المعادن التجارية من أجل توفير الدقة والسرعة ، والتكرارية ومع تطور أجهزة التحكم ، تم وضع آليات التشغيل بالكامل في صندوق كبير كإجراء وقائي ، وغالبا ما تتداخل عوامل سلامة إضافية لضمان عدم إقتراب المشغل من قطعة العمل من أجل التشغيل الآمن. تستخدم أنظمة التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي المشابهة الآن لأي عملية التي يمكن وصفها بأنها مجموعة من الحركات والعمليات[٢٤] وتشمل القطع بالليزر ، اللحام ، لحام الإثارة بالإحتكاك، لحام بالموجات فوق الصوتية ، اللهب والقطع بالبلازما ، الإنحناء، الغزل ، التثقب، التدبيس ، الإلتصاق، قطع الأقمشة ، الخياطة ، تنسيب الألياف ، التوجيه ، الخ..

❖ أمثلة على آلات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي

هناك العديد من التقنيات وأدوات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي ، مثل: (التثقيب – القطع بالتفريغ الكهربائى – آلات التطريز – المخارط – آلات طحن – التعليب – تشكيل الأخشاب والصفائح المعدنية – ثنى الأسلاك – قواطع الأسلاك الساخنة بالرغوة – القطع بالبلازما – القطع بالمياه النفاثة – القطع بالليزر – أكسدة الوقود – مطاحن السطح – المطاحن الإسطوانية – الطباعة ذات الأبعاد الثلاث – آلات التقسية بالتأثير – اللحام بالدمج الجزئى – القطع بالسكين – قطع الزجاج).

- ماكينات التفريز

تستخدم تقنية التحكم بإستخدام الحاسب الآلي للتعامل مع المواد المختلفة ولها القدرة على ترجمة البرامج المكونة من أرقام وحروف محددة لنقل عمود الدوران (أو الشغل) لمواقع

---

٢٣ محرك الخطوات مباشرة أو المحركات المضاعفة (direct-drive stepper motor or servo motors)

٢٤ مجموعة من الحركات والعمليات (include laser cutting, welding, friction stir welding, ultrasonic welding, flame and plasma cutting, bending, spinning, hole-punching, pinning, gluing, fabric cutting, sewing, fiber placement, routing, picking and placing, and sawing.)

مختلفة وأعماق محددة. تستخدم معظم ماكينات التفريز برامج تشغيل [٢٥] قياسية خاصة، وهي لغة برمجة موحدة يتفهمها العديد من آلات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي، في حين يستخدم آخرين لغات خاصة تم إنشاؤها من قبل الشركات المصنعة للمعدات وهي في كثير من الأحيان أبسط من برامج التشغيل القياسية [٦]، وليست قابلة لتشغيل معدات أخرى. ماكينات التفريز بإستخدام الحاسب الآلي لها العديد من المهام [٢٦] بما في ذلك تفريز الوجهين والجوانب، والحفر والنقل. تقتصر الماكينات بإستخدام برامج الحاسب الآلي الخطية القياسية على ٣ محور (طول، وعرض، وعمق)، ولكن البعض الآخر قد يشتمل أيضا على عمود دوران أو أكثر، اليوم، يمكن أن تشتمل ماكينات التفريز على أربع الى ستة محاور باستخدام الحاسب الآلي.

الشكل (٥-٧) ماكينات تفريز تستخدم للتشغيل القصير متعددة الوظائف مكونة من أجزاء معقدة

---

٢٥ برامج تشغيل قياسية، وهي لغة برمجة موحدة يتفهمها العديد من آلات التصنيع باستخدام الحاسب الآلي (G-code, which is a standardized programming language that many CNC machines understand)

٢٦ ماكينات التفريز باستخدام الحاسب الآلي لها العديد من المهام (CNC mills have many functions including face milling, shoulder milling, tapping, drilling and some even offer turning)

- **المخارط**

عبارة عن ماكينات تقطيع بإستخدام الحاسب الآلي قادرة على زيادة سرعة التشغيل، والتقطيع بدقة بإستخدام آلات قطع ومثاقيب مفهرسة [٢٧] وهي فعالة بشكل خاص لبرامج معقدة تهدف إلى التعامل مع الأجزاء التي من الصعب تشغيلها على المخارط اليدوية. مخارط التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي ذات مواصفات تحكم مماثلة لمعدات التفريز بإستخدام الحاسب الآلي وفي كثير من الأحيان تتعامل بنفس برامج التشغيل القياسية [٦] أو بإستخدام لغة البرمجة الخاصة للشركة المصنعة. تشتمل مخارط التشغيل باستخدام الحاسب الآلي بشكل عام على محورين (طول وعرض)، ولكن النماذج الجديدة تشتمل على المزيد من المحاور، والسماح بالتشغيل الأكثر تقدما لمتطلبات التشكيل.

- **التقطيع بالبلازما**

تنطوي تقنية القطع بالبلازما على تقطيع الحديد الصلب ومجموعة متنوعة من المواد بإستخدام فوهة لشعلة البلازما وفي هذه العملية ، يخرج الغاز مثل الهواء المضغوط بسرعة عالية من الفوهة.

الشكل (٥-٨) التقطيع بتقنية البلازما باستخدام الحاسب الآلي

في نفس الوقت يتم تشكيل قوس كهربائي من خلال الغاز الخارج من الفوهة فى إتجاه السطح المراد تقطيعة، ويتحول بعض من هذا الغاز إلى بلازما ذات درجة حرارة مرتفعة بما

---

٢٧ المخارط بإستخدام الحاسب قادرة على التقطيع بدقة وزيادة سرعة التشغيل، باستخدام آلات قطع ومثاقيب مفهرسة CNC lathes can make fast, precision cuts, generally using ,tools drills

فيه الكفاية لإذابة المواد التي يجري تقطيعها بسرعة كافية لإبعاد المعدن المنصهر بعيدا عن القطعة المشغلة.

- تقنية القطع بالتفريغ الكهربائي

يشار الى تقنية القطع بالتفريغ الكهربائي [٢٨] القطع بالشرارة، التآكل بالشرارة، والحرق، للحصول على الشكل المطلوب بإستخدام شحنات كهربائية (الشرارات). تتم إزالة البقايا عن العينة تحت التشغيل من خلال التفريغ الكهربائى بين قطبين مفصولين بسائل عازل للكهرباء ، يسمى أحد القطبين أداة القطب، في حين أن الآخر يسمى قطب المادة تحت التشغيل، أو المادة تحت التشغيل. عندما يتم تقليل المسافة بين القطبين ، ترتفع شدة المجال الكهربائي في الفراغ بين القطبين وتصبح أكبر من قوة العزل في أقرب نقطة ، ويحدث إنهيار كهربائيا ، والسماح لتدفق التيار الكهربائى بين القطبين . هذه الظاهرة هي نفسها كظاهرة الإنهيار فى مكثف ونتيجة لذلك ، يتم إزالة المواد من كل من القطبين بمجرد أن يتوقف تدفق التيار، وعادة ما يتم تبديل سائل العازل بجديد في الحيز الداخلى للقطب، مما يتيح إبعاد الجسيمات الصلبة (الحطام) بعيدا وإستعادة خصائص العزل للسائل العازل كما يمكن إضافة سائل عزل جديد في الحيز الداخلى للقطب أيضا ، بعد تدفق التيار، الإختلاف فى الجهد بين القطبين يمكن أن يحدث إنهيار كهربائى جديد فى سائل العزل .

- تقنية قطع السلك بالتفريغ الكهربائي

حرق الأسلاك بتقنية قطع السلك بالتفريغ الكهربائي[٢٩] ، وتستخدم هذه التقنية لقطع السلك من خلال شرارة وإزالة المواد مع تحريك قطب السلك الكهربائي عن أي مادة موصلة للكهرباء وعادة يتكون قطب سلك الكهربائي من النحاس أو الزنك المغلف بمادة النحاس.

---

٢٨ تقنية القطع بالتفريغ الكهربائي Electric discharge machining (EDM)

٢٩ حرق الأسلاك بتقنية قطع السلك بالتفريغ الكهربائي (Also known as wire cutting EDM, wire burning EDM, this process uses spark erosion to machine or remove material with a traveling wire electrode from any electrically conductive material.)

- **ثقالة بالوعة بالتفريغ الكهربائي**

ثقالة بالوعة بالتفريغ الكهربائي ، وتسمى أيضا التجويف بالتفريغ الكهربائي[٣٠] ، ويتكون من القطب والشغل المطلوب المغمور في سائل العزل في كثير من الأحيان من الزيوت ولكن أحيانا من سوائل عازلة أخرى , يتم توصيل الكهرباء الى القطب والشغل المراد بمصدر جهد مناسب، الذى يولد جهد كهربائي بين القطبين, مع إقتراب القطب من مادة الشغل ، يحدث إنهيار للعزل الكهربائي في السائل وتشكيل قناة بلازما وتقفز شرارة صغيرة.

- **القطع بتيار المياه النفاثة**

القطع بتيار ماء نفاث ، والمعروف أيضا بالمدفع المائى ، وهى تقنية قادرة بتقطيع المواد مثل الجرانيت بإستخدام تدفق من تيار مائى بسرعة وضغط عالي ، أو خليط من الماء ومادة كاشطة، مثل الرمل وغالبا ما يستعمل أثناء التصنيع . المدفع المائى هو الأسلوب المفضل عندما تكون المواد المراد قطعها حساسة لدرجات الحرارة العالية الناتجة وقد وجدت تطبيقات في عدد متنوع من صناعات التعدين إلى التقنيات المستخدمة فى علوم الفضاء حيث يتم إستخدامها لعمليات مثل قطع ، تشكيل ، نحت ، والتوسيع .

- **معدات وآلات الإصطدام**

أثناء تشغيل الآلات بإستخدام الحاسب الآلي، قد يحدث بعض الإصطدامات عند أدائها العمل التي تضر بالألة، المعدات، أو الأجزاء التى يجري تشكيلها، مما يؤدى الى إنحناء أو كسر أدوات القطع، ومشابك الإكسسوارات، والتركيبات، أو أضرار تلحق بالألة نفسها عن طريق ثني القضبان، وكسر مسامير محرك الأقراص، أو تتسبب في القضاء على المكونات

---

٣٠ ثقالة بالوعة بالتفريغ الكهربائي (Sinker EDM, also called cavity type EDM or volume EDM, consists of electrode and workpiece submerged in an insulating liquid—often oil but sometimes other dielectric fluids. The electrode and workpiece are connected to a suitable power supply, which generates an electrical potential between the two parts. As the electrode approaches the workpiece, dielectric breakdown occurs in the fluid (forming a plasma channel and a small spark jumps.

الهيكلية أو التشوه تحت الضغط. الإصطدام الخفيف قد لا يتلف الألة أو المعدات، ولكن قد يؤدي إلى تلف الجزء الذي يجري تشكيله بحيث يجب أن يتم تفكيكه. العديد من الأدوات التى تعمل بالحاسب الآلى ليس لديها الرؤية أو الإستشعار بالمكان المحدد على طاولة التشغيل أو الأدوات عند تشغيلها لذا يجب تثبيتها يدويا على نقطة مرجعية كإشارة لبدأ التشغيل من هذه النقطة ، وهذه الحدود المرجعية لمعرفة وتحديد مكان وجود الجزء المراد تشغيلة ، ولا يوجد أي حدود للحركة الثابتة فى الألة ومن الممكن في كثير من الأحيان إندفاع أداة القطع خارج الحدود المادية للألة ، مما يؤدى إلى الإصطدام ويلحق أضرار لمحرك الأقراص فى الألة, العديد من الآلات مزودة ببرامج لتنفيذ معايير الرقابة للحد من حركة المحور بالإضافة إلى وجود مفاتيح للحدود المادية سواء للماكينة أو العينة تحت التشغيل ومع ذلك ، هذه المعايير كثيرا ما يمكن تغييرها من قبل المشغل , العديد من المعدات التى تعمل بالحاسب الآلى أيضا لا علاقة لها ببيئة عملها. بعض الماكينات يجرى تجهيزها بتقنية الإستشعار عن بعد بتثبيت جهاز الإستشعار على عمود الدوران ومحركات محاور الأقراص، ولكن البعض الآخر لا يشتمل على مثل هذه التجهيزات حيث تتبع أوامر أكواد التشغيل المخزنة للعمل بها والأمر متروك للعامل للكشف عما إذا كان الإصطدام إما حدث أو على وشك أن يحدث، وللمشغل إيقاف عملية القطع يدويا. يمكن للآلات المزودة بأجهزة إستشعار للعينة تحت التشغيل أن توقف محور القرص أو حركة عمود الدوران إستجابة لحالة الحمل الزائد، ولكن هذا لا يمنع الإصطدام من الحدوث وقد يحد فقط من الأضرار الناجمة عن الإصطدام. إذا كان نظام المحرك أضعف من حيث السلامة الهيكلية للماكينة، يسبب إندفاع أداة القطع عكس عرقلة محرك الأقراص و"تنزلق من مكانها. قد لا تكتشف أداة القطع الإصطدام أو الانزلاق ، وذلك على سبيل المثال يجب أن يكون أداة التشغيل على بعد ٢١٠ مم على محور التشغيل الأفقى ، ولكن ، في الواقع ، عند ٣٢ مم حيث مكان العرقلة وحدوث الإنزلاق فإن كل حركات أداة التشغيل التالية سوف تكون قبل -١٧٨مم على المحور الأفقى، مما يؤدى الى عدم

صلاحية جميع الحركات التالية ، مما قد يؤدي إلى مزيد من التصادم وهذا أمر شائع في سائر أنظمة الحلقات المفتوحة[٣١] ، ولكنه ليس من الممكن أن يحدث في نظم الحلقات المغلقة إلا إذا حدث إنزلاق ميكانيكي بين آلية المحرك ومحرك الأقراص بدلا من ذلك، في نظام الدائرة المغلقة ، سوف تستمر الماكينة فى محاولة التحرك ضد الحمل حتى إما يتحرك محرك الأقراص أو يستمر حتى يصل إلى حالة التيار الزائد أو توليد إنذار بالمضاعفات التالية . يمكن كشف التصادم وتجنبه ، من خلال إستخدام عناصر الإستشعار المكانى كشرائط التشفير الضوئية للتحقق من بدء التحرك ، أو من خلال أجهزة إستشعار عزم الدوران أو أجهزة الإستشعار للقدرات المسحوبة على نظام الدفع للكشف عن وجود إجهادات غير طبيعية عندما تتحرك الماكينة ولا تحقق القطع فى العينة تحت التشغيل ، ولكن هذه ليست تجهيزات عامة فى معظم أدوات التصنيع باستخدام الحاسب الآلي بدلا من ذلك ، تعتمد معظم أدوات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي على دقة محركات الخطوات المفترضة التي تتناوب على عدد معين من درجات التشغيل كإستجابة لتغيرات فى المجال المغناطيسي وغالبا ما يفترض أن يكون تحرك الخطوات دقيق تماما ، ولا مجال لحدوث أخطاء أبدا ، تشمل مراقبة مكان الأداة إحتساب عدد النبضات المرسلة إلى محرك الخطوات طول الوقت ولا توجد وسيلة بديلة لمراقبة مكان محرك الخطوات ، لذا من الصعب الكشف عن الإصطدمات أو الكشف عن إنزلاق غير متوقع. تستخدم آلات تشغيل المعادن بإستخدام الحاسب الآلي التجارية ضوابط ردود الفعل للحلقات المغلقة لحركة المحور. في نظام الدائرة المغلقة، من خلال نظم التحكم يمكن تحديد المكان الفعلي للمحور في جميع الأوقات. مع برامج الرقابة السليمة ، سوف يتناقص إحتمال وقوع تصادمات ، لكن على المشغل والمبرمج التأكيد لضمان أن الجهاز يتم تشغيل بطريقة آمنة ومع ذلك ، تطورت برامج لمحاكاة الآلات بسرعة خلال الأعوام ٢٠٠٠ وحتى ٢٠١٠ ، ولم يعد من غير المألوف لأدوات الآلة الكلية (بما في ذلك جميع المحاور، وأعمدة الدوران ، خراطيش، الأبراج، وحاملات الأدوات، والتركيبات، والمشابك وغيرها) إلا أن

---

٣١ أنظمة الحلقات المفتوحة (open loop stepper systems)

تكون بذات الدقة مع النماذج الصلبة ثلاثية الأبعاد ، والتى تسمح لبرامج المحاكاة التنبؤ بشكل دقيق إلى حد ما إذا كانت دورة التشغيل تنطوي على تصادمات . على الرغم من أن مثل هذه المحاكاة ليست جديدة، إلا أن دقتها وإنتشارها بالسوق تتغير بشكل كبير بسبب التقدم الملموس فى أجهزة الحاسبات.

❖ الدقة العددية ومعدات رد فعل العنيف

ضمن تقنيات البرمجة العددية للأنظمة التى تعمل بالحاسب الآلى يمكن لمولد الأكواد والرموز إفتراض أن الآلية التي يسيطر عليها دائما دقيقة تماما، أو أن دقة التسامح متطابقة لجميع إتجاهات الحركة أو القطع، وهذا الإفتراض ليس دائما هو الحالة الحقيقية لأدوات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي. يمكن أن تكون ردود الفعل الميكانيكية لأدوات التصنيع دقيقة للغاية إذا كانت آلية القطع تتحرك لتنفيذ قوة قطع فى إتجاه واحد مع التأكيد على أن جميع أنظمة القيادة تعمل بإحكام في إتجاه للقطع ويمكن أن يؤدي رد الفعل العالي لأدوات القطع فى ماكينات التصنيع إلى إهتزاز أداة القطع وإحتمال تحرك العينة تحت التشغيل مما يؤثر على دقة بعض العمليات على محور عمليات الإلغاء للحركة خلال القطع ، مثل التفريز الدائرى ، حيث يكون محور الحركة على النمط الجيبي ومع ذلك ، يمكن أن يتم التعويض إذا كان مقدار دقة رد الفعل العنيف معروفة على وجه التحديد عن طريق الترميز الخطي أو القياس اليدوي. آلية رد الفعل العالية نفسها لا تعتمد بالضرورة على أن تكون دقيقة مرارا وتكرارا لعملية التقطيع، ولكن يمكن إستخدام بعض الإشارات المرجعية أو دقة سطح آخر مرجعى بتقنية آلية الصفر، من خلال تطبيق الضغط بإحكام على الإشارة المرجعية وإعتبارها كمرجع الصفر لكل العمليات التالية المشفرة بإستخدام الحاسب الآلي. هذه الآلية مماثلة لطريقة تشغيل أدوات الماكينات اليدوية بإستخدام ميكرومتر مع شعاع إشارة ضبط الصفر المرجعية.

٥ – ٤ أجهزة الإستشعار ومعالجة الإشارات

تعتبر أنظمة القياس أنظمة فرعية هامة فى نظم الميكاترونيات مهمتها الرئيسية جمع المعلومات عن حالة النظام وتغذية هذه المعلومات كدخل الى المعالجات للسيطرة على النظام بأكمله. يتألف نظام القياس من أجهزة إستشعار، ومحولات الطاقة وأجهزة معالجة الإشارات، هذه المجموعة المتنوعة الواسعة من العناصر والأجهزة متاحة في السوق. من الصعب جداً لمصمم نظام ميكاترونيات إختيار أجهزة الإستشعار ومحولات الطاقة المناسبة للتطبيقات المطلوبة ولذلك من الضروري لمصممين نظم الميكاترونيات الإلمام بمبادئ العمل الشائعة لإستخدام هذه العناصر. توظف أجهزة الإستشعار في الصناعات التحويلية تلقائياً في عمليات الإنتاج، فضلا عن عملية رصد الأنشطة، تتميز تكنولوجيا الإستشعار بالمزايا الهامة التالية في تحويل وحدة التصنيع التقليدية إلى وحدة تصنيع حديثة.

١. تقوم أجهزة الإستشعار بإنذار مشغلي النظام حول عدم بدأ أي من الوحدات الفرعية لنظام التصنيع للعمل كما تساعد مشغلي النظام على تقليل أعطال نظام التصنيع بالكامل بالإضطلاع بتدابير وقائية

٢. يقلل من شرط تشغيل عمالة ماهرة وذوي خبرة

٣. يمكن تحقيق الجودة فائقة الدقة في المنتج

- **عناصر الإستشعار**

يتم تعريفها كأحد العناصر التي تنتج الإشارات المتعلقة بالكمية التي يتم قياسها. وفقا "لجمعية القياسات في أمريكا"، يمكن تعريف مصطلح الإستشعار بأنه جهاز يوفر خرج إستجابة لقياس محدد الناتج من خرج عنصر الإستشعار عادة هو عبارة عن كمية كهربائية والقياس يمثل خواص وشروط الكمية الفعلية التى يتم قياسها وبالتالي يمكن التعبير عنه بأنه عنصر محاثة متغيرة لتحديد التغير المكانى، الكمية التي يتم قياسها تمثل التغير المكانى، ويحولها عنصر الإستشعار كدخل يتسبب فى تغيير في قيم المحاثة فى الملف.

- **محول الطاقة**

يمكن تعريفه كعنصر عند تعرضه لبعض التغييرات المادية يظهر تغيير ذات صلة وأيضا يمكن تعريفه كعنصر يحول قياس محدد الى خرج قابل للإستخدام لمحول الطاقة، يمكن أيضا تحديده بأنه جهاز يحول إشارة من أحد أشكال الطاقة إلى شكل آخر. يمكن أن يعتبر سلك من سبيكة كونستانتان (سبائك النحاس والنيكل ٥٥-٤٥%) كجهاز إستشعار حيث يستشعر التغير الميكانيكي كنتيجة لقوى الشد أو الضغط ويمكن أن يمثل قيمة تغير في المقاومة الكهربائية ويصبح هذا السلك محول مع الأقطاب الكهربائية المناسبة وآلية دخل وخرج وهكذا يمكننا أن نقول إن أجهزة الإستشعار هي أيضا محولات طاقة.

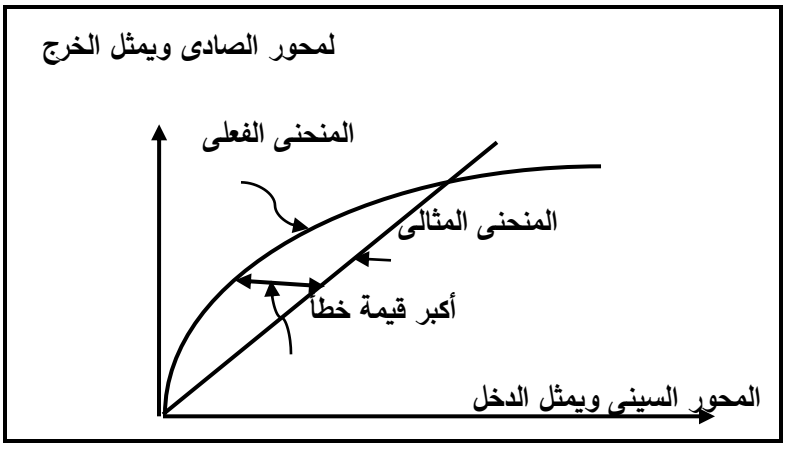
٥ – ٤ – ١ مواصفات أجهزة الإستشعار ومحولات الطاقة

لا تعتبر محولات الطاقة أو نظم القياس أنظمة مثالية. يجب أن يعلم مهندس الميكاترونيات مقدرة وأوجه القصور في نظام محول الطاقة أو القياس لتقييم أدائها بشكل صحيح، هناك عدد من الخواص المتعلقة بخصائص نظام محول الطاقة أو القياس وتسمى مواصفات لأجهزة الإستشعار توضح للمستخدم الإنحرافات عن القيم المثالية وفيما يلي المواصفات المختلفة لنظام إستشعار ومحول طاقة.

- **نطاق التشغيل: يمثل الحدود التي يمكن أن تغير قيم الإدخال، على سبيل المثال، المقاومة الحرارية لقياس درجة حرارة فى نطاق من ٢٥-٢٢٥ درجة مئوية.**
- **المدى المسموح: يمثل الفرق بين القيم العظمى والصغرى للدخل وبالتالي، سيكون نطاق تشغيل المقاومة الحرارية المذكورة أعلاه هو ٢٠٠ درجة مئوية.**
- **الخطأ: يمثل الفرق بين نتيجة القياس والقيمة الحقيقية للكمية المقاسة وقد يعطي جهاز الإستشعار قراءة التغير المكانى ٢٩,٨ مم، والإنزلاق الفعلي (بعد المكان الفعلى) ٣٠ مم، فإن الخطأ فى القياس – ٠,٢ مم.**
- **الدقة: يتم تعريف الدقة بقربها من القيم بين نتيجة القياس الفعلية والقيمة الحقيقية ويتم التعبير عنها كنسبة مئوية من الناتج الكلى للخرج أو الإنحراف عن النطاق الكلى**

للقياس. محول الكهروضغطية المستخدم لتقييم ظاهرة الضغط الديناميكى بالتفجيرات أو النبضات أو حالات الضغط الديناميكى في المحركات، محركات الصواريخ، الضواغط، ووسائل الضغط الأخرى القادرة على الكشف عن قيم التغير فى الضغوط.

- الحساسية: يمكن تعريف حساسية جهاز الإستشعار بأنها نسبة التغير في قيمة االخرج من أجهزة الإستشعار لكل وحدة تغيير في قيمة الإدخال الذي يسبب تغير فى قيم الخرج على سبيل المثال، الحساسية فى المقاومة الحرارية للأغراض العامة من ٤١ ميكرو فولت لكل درجة حرارة مئوية.
- الغير خطية: يشير مصطلح اللاخطية إلى الحد الأقصى لإنحراف المنحنى المقاس لجهاز إستشعار عن المنحنى المثالي.



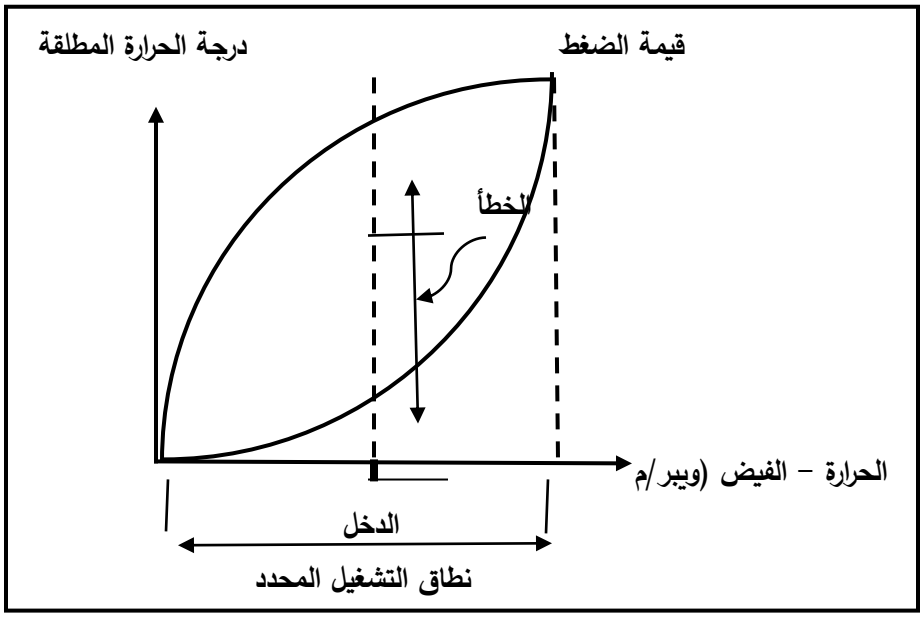
الشكل (٥ – ٩) الخطأ فى عدم الخطية

يوضح الشكل (٥ – ٩) علاقة مبالغ فيها إلى حد ما بين الخط المثالي، وخط القياس أو المعايرة الفعلي، مصطلح الخطية غالبا ما يحدد من حيث النسبة المئوية لمقدار اللاخطية وكثيراً ما يحدد بأنه مقدار الغير خطية الثابتة فى المعادلة (٥ – ١) ويتوقف على العوامل البيئية، بما في ذلك درجة الحرارة والإهتزازات، ومستوى الضوضاء الصوتية، والرطوبة ولذلك من المهم أن نعرف ما هي شروط المواصفات المقبولة.

المعادلة (٥ – ١) الغير خطية (%) = الحد الأقصى الانحراف في قيم الدخل مقسوم على الحد الأقصى لكامل نطاق الإدخال

- **التباطؤ**

التباطؤ هو خطأ من جهاز الإستشعار، الذي يحدد بأنه الحد الأقصى للفرق في الخرج مع أي قيم قياس ضمن النطاق المحدد للإستشعار عندما تقترب من النقطة الأولى مع زيادة، ومن ثم مع تناقص معاملات الإدخال. ويبين الشكل (٥ – ١٠) حدوث خطأ فى التباطؤ أثناء قياس درجة الحرارة بإستخدام المقاومة الحرارية عادة ما يتم تحديد قيمة الخطأ فى التباطؤ كنسبة مئوية موجبة أو سالبة عن نطاق الإدخال المحدد.



الشكل (٥ – ١٠) الخطأ فى منحنى التباطؤ

- **القرار: أصغر قيم للتغيير المتزايد يمكن كشفها لمعاملات الإدخال التى يمكن الكشف عنها في إشارة الخرج ويمكن التعبير عن القرار إما نسبة من القراءة الشاملة أو القراءة المطلقة على سبيل المثال، إذا كان جهاز إستشعار للكشف عن الجهد يقيس قيم إزاحة حتى ٢٠ مم، ويقدم ناتج كرقم بين ١ و١٠٠ فإن قرار جهاز الإستشعار ٠,٢ مم.**

- "الإستقرارية: عبارة عن مقدرة جهاز الإستشعار على إعطاء نفس قيم الخرج عند إستخدامه لقياس دخل ثابت الذي يحدث خلال فترة من الزمن ويتم إستخدام مصطلح الإنحراف للإشارة إلى التغيير في الخرج الذي يحدث على مدى فترة من الزمن ويتم التعبير عنه كنسبة مئوية من النطاق الكلى للخرج.
- التكرارية: تحدد قدرة جهاز الإستشعار بإعطاء نفس قيم الخرج للتطبيقات المتكررة لنفس قيمة الإدخال وعادة يتم التعبير عنها كنسبة مئوية من الناتج الكلى للخرج.

المعادلة (٥ – ٢) التكرارية = (الحد الأقصى – قيم الحد الأدنى المعطى) مضروب فى ١٠٠ مقسوم على كامل النطاق

- وقت الإستجابة: يصف سرعة التغير في الخرج عن التغيير التدريجي الذي تم قياسة يتم تحديده كإشارة إلى خطوة الإدخال ونطاق الخرج الذي تم تعريفه كوقت الإستجابة.
- نطاق الزمن الميت: النطاق الميت أو الفضاء الميت لمحول قدرة هو نطاق قيم الإدخال التى لا ينتج عنها خرج، الوقت الميت لجهاز إستشعار هو الفترة الزمنية من تطبيق الإدخال حتى يبدأ الخرج بالإستجابة أو بالتغيير.

٥ – ٤ – ٢ تصنيف أجهزة الإستشعار

يمكن تصنيف أجهزة الإستشعار فى مجموعات مختلفة وفقا للعوامل التى يتم قياسها منها، تطبيق مبادئ التحويل للقياسات، الطاقة وإعتبارات الديناميكا الحرارية كما يمكن تصنيفها في ضوء تطبيقاتها في قطاع الصناعة التحويلية على النحو التالي:

- الإنزلاق (التغير فى المكان) وقربه من أجهزة الإستشعار منها: (مقاومات الجهد الإنزلاقي – عناصر قياس الإجهادات – العناصر السعوية – المحولات التفاضلية – أجهزة إستشعار التيارات الدوامة – مفتاح التبديل الحثى – الترميز البصري – أجهزة إستشعار تعمل بالهواء المضغوط – مفاتيح القرب المغناطيسية– أجهزة إستشعار بتأثير هال)٠
- أجهزة إستشعار السرعة والحركة: (التشفير التزايدى – مولد سرعة الدوران – أجهزة الإستشعار الكهربائية بايرو)٠

- **أجهزة إستشعار قوى الضغط: (قياس ضغط تحميل خلية)**
- **ضغط السوائل: (قياس ضغط الحاجز – كبسولات، النفخ، أجهزة إستشعار كهروضغطية – مستشعرات اللمس).**
- **درجات الحرارة: (نظام الشرائط المعدنية – المقاومات الحرارية – الثنائيات والترانزستورات الحرارية – المزدوجات الحرارية – أجهزة إستشعار الضوء – الثنائيات الضوئية – المقاومات الضوئية – الترانزستورات الضوئية).**
- **تدفق السوائل: (لوحة الفوهة – أجهزة قياس التوربينات)**
- **مستوى السوائل: (عوامات – الضغط التفاضلي)**

➢ **أجهزة إستشعار الإنزلاق وأجهزة إستشعار المكان**

تستخدم أجهزة إستشعار الإنزلاق لقياس حركة الجسم كما تستخدم لتحديد موضع كائن ما بالنسبة لنقطة مرجعية وهناك أجهزة إستشعار القرب وهي نوع من إستشعار موضع قرب كائن ما من جهاز الإستشعار كما تستخدم للتتبع عندما ينتقل كائن ما مع المسافة الحرجة من محول الطاقة.

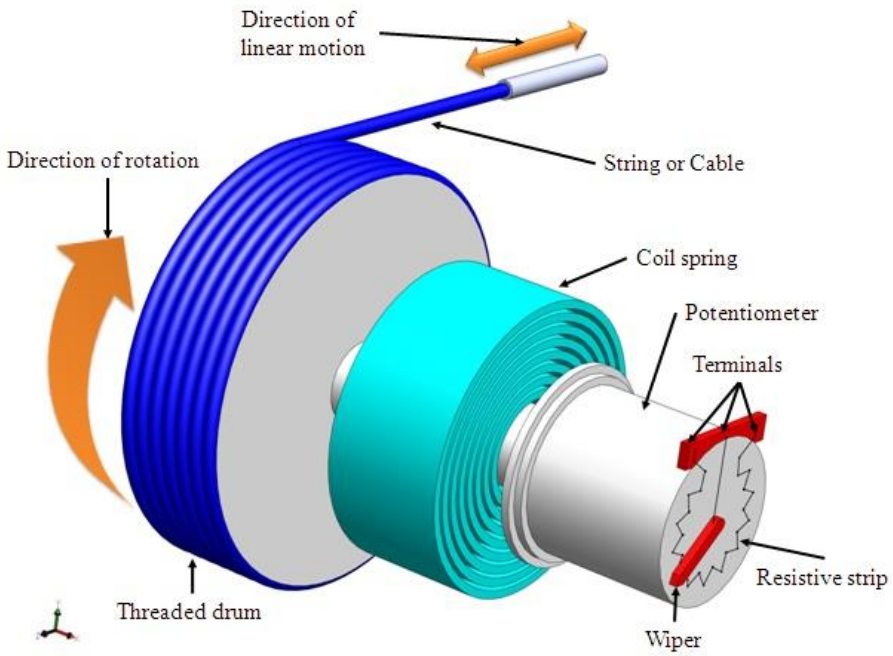
❖ **أجهزة إستشعار الإنزلاق**

١ – القياس بأجهزة إستشعار الجهد الإنزلاقي

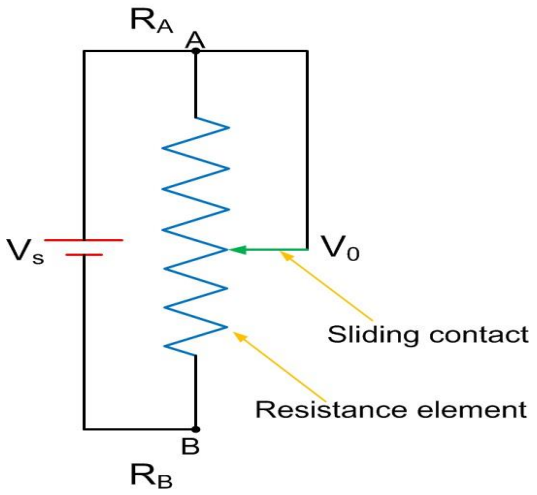
يوضح الشكل (٥ – ١١) بناء جهاز إستشعار لقياس الجهد الإنزلاقي من النوع الدوار المستخدم لقياس الإنزلاق الخطي أو الزاوي ويعمل الجهاز على مبدأ تحويل الإنزلاق الميكانيكي إلى إشارة كهربائية. يشتمل جهاز الإستشعار على عنصر مقاوم ووصلة منزلقة تعرف بالممسحة، تتحرك على طول الجسم الموصل بإعتباره وصلة كهربائية متحركة، الجزء المراد قياس إنزلاقة المكانى متصل بالوصلة المنزلقة بإستخدام:

- **عمود دوران (للإنزلاق الزاوي) – قضيب متحرك (للإنزلاق الخطي) – تمديد كابلات التي يتم الإحتفاظ بها أثناء العملية.**

العنصر المقاوم عبارة عن سلك موصل أو من البلاستيك الموصل ويتكون من عدد كبير من اللفات فى ترتيب متقارب. يتكون البلاستيك الموصل من بلاستيك صمغى متضمن مسحوق الكربون، لفات السلك متقاربة فى حدود ± ٠,٠١ ٪ بينما فى البلاستيك الموصل قد يكون ٠,١ ميكرومتر ٠ خلال عملية الإستشعار يتم تطبيق جهد (V_s) عبر العنصر المقاوم.



الشكل (٥ – ١١) الشكل التخطيطي لجهاز إستشعار مقياس الجهد الإنزلاقي لقياس الإنزلاق الخطي



الشكل (٥ – ١٢) دائرة كهربائية لقياس الجهد الإنزلاقي

يتم تشكيل دائرة تقسيم الجهد عندما تكون الوصلة المنزلقة متصلة مع السلك ويتم قياس جهد الخرج (V_A) كما هو موضح في الشكل (٥ – ١٢) – يتناسب جهد الخرج مع الوصلة المنزلقة عبر الأسلاك ثم معايرة معامل إنزلاق الخرج مع جهد الخرج (V_A)

$V_A = I R_A$ المعادلة (٥–٣)

ولكن

$$I = V_s/(R_A + R_B)$$ المعادلة (٥ – ٤)

ولذلك

$$V_A = V_S R_A/(R_A + R_B)$$ المعادلة (٥ – ٥)

وحيث أن $R = \rho L / A$ حيث (ρ) هي المقاومة النوعية الكهربائية، (L) طول المقاومة و(A) مساحة المقطع

$$V_A = V_S L_A/(L_A + L_B)$$ المعادلة (٥ –٦)

❖ تطبيقات مقياس الجهد الإنزلاقي

تستخدم أجهزة الإستشعار مبدئيا فى نظم التحكم مع دائرة تغذية عكسية للتأكد من أن الجزء المتحرك يصل إلى الموضع المطلوب كما تستخدم تقنية مقياس الجهد الإنزلاقي للتحكم فى عناصر الماكينة، والمصاعد، وأدوات مستوى السائل، شاحنات الرفع الشوكية، عناصر التحكم فى كبح السيارات. في الصناعة التحويلية، تستخدم تقنية مقياس الجهد الإنزلاقي في السيطرة على الحقن فى ماكينات الصب وتقنيات تشغيل الأخشاب وآلات النجارة والطباعة والرش، الروبوتات، إلخ٠

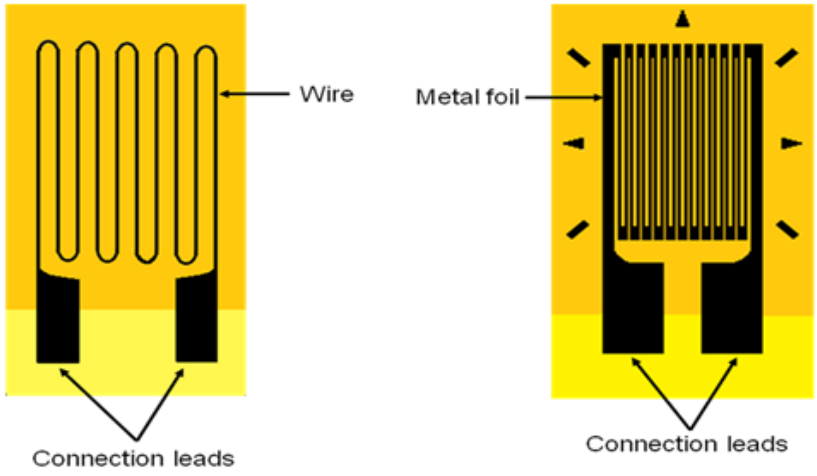
➢ أجهزة قياس الإجهادات

هى عناصر لقياس نسبة التغير في الطول إلى الطول الأصلي للعنصر (في إتجاه تطبيق الحمل) ٠ تتغيير قيمة المقاومة (R) بناء على التغيير فى الإجهاد ولذلك،

$$\frac{\Delta R}{R} \alpha \varepsilon$$

$$\frac{\Delta R}{R} = G\,\varepsilon \qquad \text{المعادلة (٥ – ٧)}$$

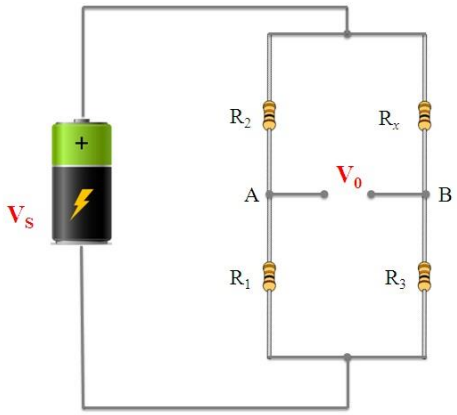
حيث (G) ثابت تناسب ويسمى معامل قياس فى حدود ٢ الى ٤ وقيمة المقاومة فى حدود ١٠٠ أوم ٠ يتبع مقياس مقاومة الإجهاد أسس التغير فى قيم المقاومة كما هو موضح فى المعادلة (٥ – ٧) وهي تتألف من نمط من رقائق مقاومة كما هو موضح في الشكل (٥ – ١٣).



الشكل (٥ – ١٣) نمط من رقائق مقاومة الإجهاد

هذه الرقائق مصنوعة من سبيكة كونستانتان (سبائك النحاس والنيكل ٥٥-٤٥ ٪) ومثبتان بقاعدة لتدعيمها من مواد بلاستيكية (بلوييميدي) أو الإيبوكسي أو الإيبوكسي المعزز بألياف زجاجية. يتم تأمين عنصر قياس الإجهادات إلى الجزء تحت التشغيل بإستخدام الإيبوكسي أو من مادة لاصقة أسمنتية [٣٢]. كلما تغير شكل الجزء تحت التشغيل بسبب التحميل الخارجي، تتغير مقاومة عنصر قياس الإجهاد.

٣٢ مادة لاصقة جدا أسمنتية (Cyanoacrylate cement Eastman 910 SL)



الشكل (٥ – ١٤) قنطرة ويتستون

يمكن الكشف عن التغيير في المقاومة بإستخدام تقنية قنطرة مقاومة ويتستون كما هو مبين في الشكل (٥ – ١٤)، فى حالة إتزان القنطرة يمكن يمكن الحصول على العلاقة التالية:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_3}$$

المعادلة (٥ – ٨)

حيث (R) مقاومة عنصر قياس الإجهاد، (R_2) مقاومة الإتزان، المقاومة (R_1) و(R_3) مقاومات ذات قيم قياسية ثابتة. يمكن قياس الإنزلاق المكانى بقياس الإجهاد الذي يتم معايرتة بنسبة التغيير في المقاومة المعدلة (R_2) مما يجعل الجهد فى النقاط (A) و(B) مساوياً للصفر.

❖ تطبيقات مقياس الإجهاد

يستخدم مقياس الإجهاد على نطاق واسع في تحليل الإجهاد التجريبي وتشخيص الآلات وتحليل القصور كما يستخدم لإختبار الإجهاد المحوري المتعدد، تثبيت نتائج الإختبار، إثبات وقياس الضغط والإهتزازات المتبقية، قياس عزم الدوران، قياس الإنحناء والإنحراف ، قياس الضغط والتمدد وقياس الإجهادات . تستخدم مقاييس الإجهاد أساسا كعناصر إستشعار لأدوات القطع فى الماكينات كما تستخدم كعناصر سلامة وأمن في السيارات وعلى وجه

الخصوص، تستخدم لقياس قوة أدوات القطع فى الآلات الهيدروليكية أو التى تعمل بالهواء المضغوط وأيضا أجهزة إستشعار الأثر في المركبات الفضائية.

➢ أجهزة الإستشعار المعتمدة على عناصر سعوية

أجهزة الإستشعار السعوية نوع من العناصر التى لا تتلامس وتستخدم في المقام الأول لقياس الإزاحة الخطية من مليمترات قليلة إلى مئات المليمتر. وهي تتألف من ثلاث لوحات، اللوحين العلوين يشكلان مكثف واحد واللوحين السفليين يشكلان مكثف آخر ويمكن تمثيل الإزاحة الخطية في شكلين:

أ – تتحرك إحدى اللوحات بالإزاحة وبالتالى تتغير المسافة الفاصلة بين اللوحين.

ب – تتغير مساحة التداخل نتيجة للتغييرات الناجمة عن الإزاحة.

يوضح الشكل (٥ – ١٥) رسم تخطيطي لعنصر سعوي يتكون من من ثلاثة ألواح لقياس إزاحة عنصر ميكانيكي متصل باللوح الثانى. يمكن الحصول عى قيمة السعة (C) لمكثف متوازي اللوحات على النحو التالى:

$$C = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_o A}{d}$$

المعادلة (٥ – ٩)

حيث (ε) العزل النسبى للمادة العازلة بين اللوحات، (ε_o) ثابت العزل فى الفراغ، (A) مساحة التداخل بين اللوحين، (d) المسافة بين اللوحين، كلما يتحرك اللوح الأوسط فى إتجاه اللوح العلوي أو اللوح السفلى بسبب حركة العنصر/أو الجزء تحت القياس، فإن قيم إزاحته تغير المسافة الفاصلة بين اللوحين على النحو التالى:

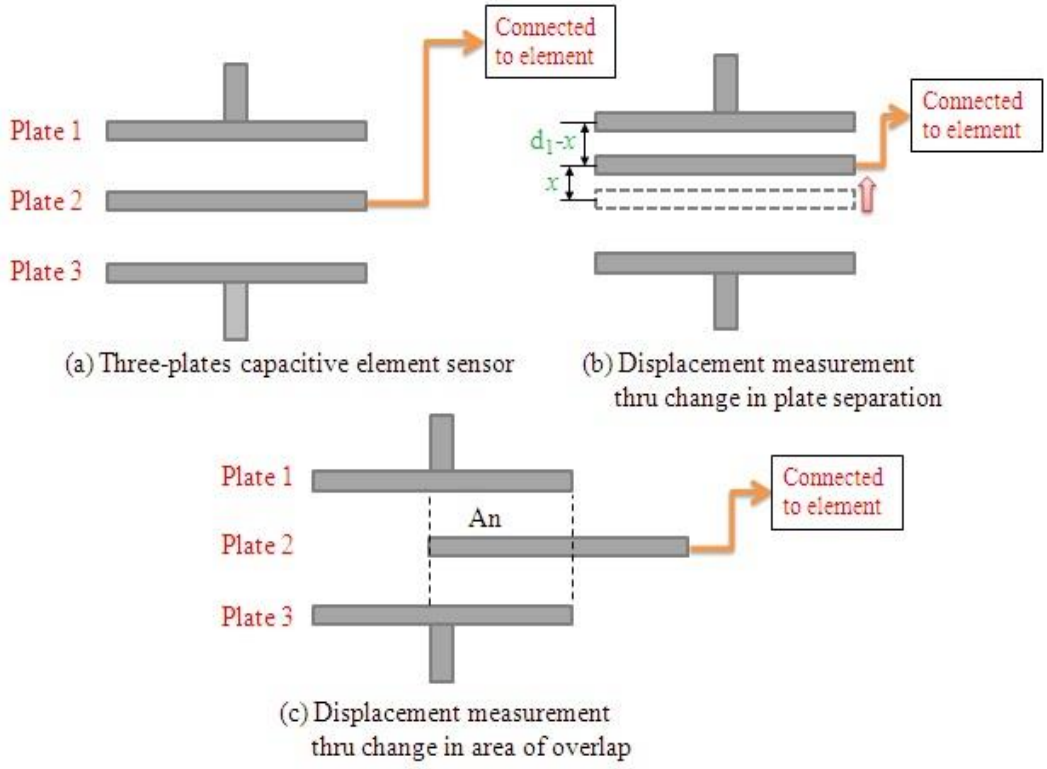
$$C_1 = \frac{(\varepsilon_r \varepsilon_o A)}{(d + x)}$$

المعادلة (٥ – ١٠)

$$C_2 = \frac{(\varepsilon_r \varepsilon_o A)}{(d - x)}$$

المعادلة (٥ – ١١)

عندما يتم توصيل المكثفان ((C_1 و C_2) بقنطرة وياتسون، ينتج جهد توازن يتناسب مع مسافة الإزاحة (x)، يمكن أيضا إستخدام العناصر السعوية كأجهزة إستشعار القرب. يتم إستخدام تقارب الكائن نحو لوحة جهاز الإستشعار للتغير الحثى فى المسافة الفاصلة بين اللوحين ويؤدي هذا إلى تغيير السعة التي تستخدم للكشف عن كائن.



الشكل (٥ – ١٥) قياس الإزاحة بإستخدام جهاز إستشعار العنصر السعوى

➢ تطبيقات لأجهزة استشعار العناصر السعوية

تغذية رصد مستوى – التحكم فى المضخات الصغيرة – رصد مستوى الشحوم – مراقبة مستوى السوائل.

❖ تطبيقات علم القياس

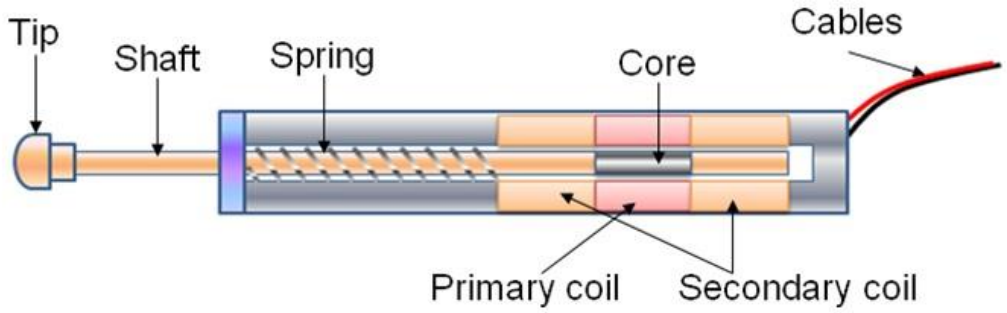
- قياس أخطاء الشكل في الجزء الذي يجري إنتاجه
- تحليل وتحسين تناوب عمود الدوران في مختلف أدوات القطع فى الآلات مثل التجليخ السطحي، والمخارط، وآلات الطحن وقياس الأخطاء في أدوات الماكينة نفسها.

❖ **إختبار خط التجميع**

- **إختبار تجميع الأجزاء لتوحيد السمك أو متطلبات التصميم الأخرى**
- **الكشف عن وجود أو عدم وجود عنصر معين، مثل الغراء إلخ.**

➢ **المحول التفاضلي المتغير الخطي** [٣٣]

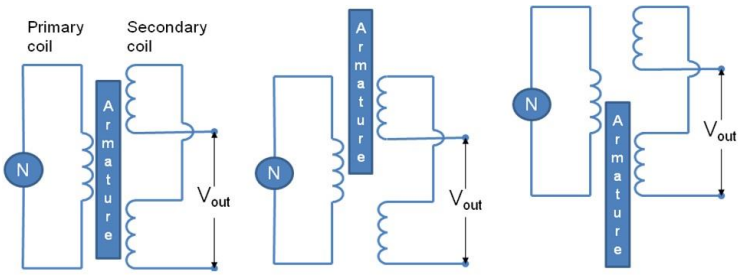
جهاز إستشعار المحول التفاضلي المتغير الخطي هو فى الأساس محول طاقة يستخدم لقياس الإزاحة أو الإنزلاق الخطي فى نطاق قيم دخل من ± ٢ إلى ± ٤٠٠ ملم في العموم بتسامح خطأ فى اللاخطية ± ٠,٢٥% من النطاق الكلى. يوضح الشكل (٥ – ١٦) بناء جهاز إستشعار المحول التفاضلي المتغير الخطي ويتكون من ثلاث لفائف متناظرة متباعدة على طول أنبوب عازل، الملف الأوسط هو الملف الإبتدائي والآخران هما الملفات الثانوية. ترتبط الملفات الثانوية على التوالى بطريقة تتعارض نواتجها بعضها البعض. ويوضع قلب مغناطيسي داخل الأنبوب العازل المقترن بالعنصر الذي يتم قياس إزاحته٠ بتطبيق جهد متغير كدخل الى الملف الإبتدائى، تتولد قوة كهرومغناطيسية فى الملف الثانوي وعندما يتم وضع القلب المغناطيسي فى منطقة وسطً فى نصف الجزء لكل من الملفين الثانويين فإن الجهد الناتج يساوى صفر، لو إنزلق القلب المغناطيسى من مركز الوسط كما هو موضح في الشكل (٥ – ١٧).



الشكل (٥ – ١٦) بناء جهاز الإستشعار المحول التفاضلي المتغير الخطي

---

٣٣ المحول التفاضلي المتغير الخطي ((Linear variable differential transformer (LVDT.)



الشكل (٥ – ١٧) تقنية تشغيل جهاز الإستشعار المحول التفاضلي المتغير الخطي

في الملف الثانوي الأول مسافة أكثر من الملف الثانوى الثانى، تتولد قوة كهرومغناطيسية أكبر فى الملف الأول عن القوة الكهرومغناطيسية المتولدة فى الملف الثانى وينشأ جهد بين الملفين، إذا إستمر القلب المغناطيسي فى الإنزلاق، يرتفع مقدار الجهد الناتج بالتناسب مع الإنزلاق. مع مساعدة أجهزة معالجة الإشارات مثل مرشحات التمرير المنخفض وإعادة التعديل، يمكن قياس قيم إنزلاق دقيقة بإستخدام أجهزة إستشعار المحول التفاضلي المتغير الخطي. تعطى أجهزة إستشعار المحول التفاضلي المتغير الخطي تقنية تكرار وإنتاجية جيدة ويستخدم عموما كجهاز إستشعار أو مجس موضع مطلق. وحبث لا يوجد تلامس أو إنزلاق بين العناصر المكونة لأجهزة الإستشعار، يمكن الحصول على نتائج موثوق بها للغاية. تغلف أجهزة الإستشعار تماما وتستخدم على نطاق واسع في تقنيات المضاعفات، القياس الآلي لأدوات قطع الماكينات ويمكن إستخدام المحول التفاضلي المتغير الدوار [٣٤] لقياس الدوران.

❖ **تطبيقات أجهزة إستشعار المحول التفاضلي المتغير الخطي**

- **قياس وضع التخزين المؤقت في نطاق واسع من تطبيقات صمامات المضاعفات**
- **توفير التغذية المرتدة للإنزلاق للمعدات الهيدروليكية**
- **التحكم في الوزن وسمك المنتجات الطبية مثل أقراص الدواء**
- **الفحص التلقائي للأبعاد النهائية لمنتجات يجري تعبأتها لنقلها**
- **قياس المسافة بين تقارب المعادن أثناء عملية لحام الإحتكاك**
- **الرصد المستمر لمستوى السائل كجزء من نظام الكشف عن التسرب**
- **الكشف عن قيم سحب العملات بواسطة أجهزة الصراف الآلي**

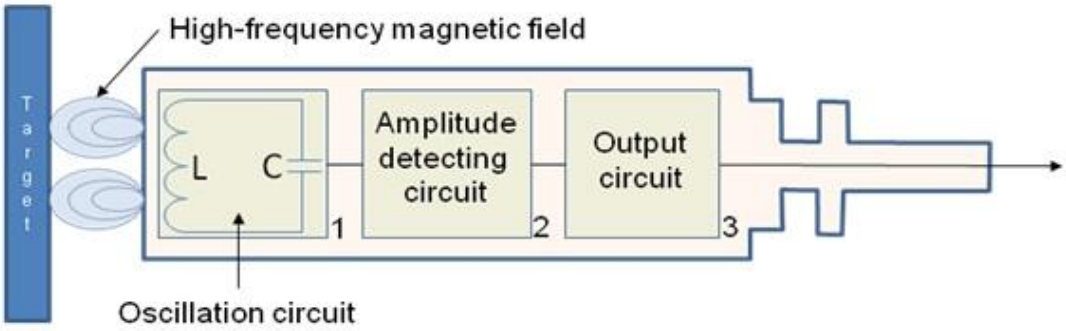
---

٣٤ المحول التفاضلي المتغير الدوار (**rotary variable differential transformer (RVDT)**)

➢ **أجهزة إستشعار الوضع والقرب من الإنزلاق**

١ – أجهزة إستشعار القرب بتيار الدوامة

تستخدم أجهزة إستشعار القرب بتيار الدوامة للكشف عن المواد الموصلة الغير مغناطيسية وتتكون من ملف، مذبذب، وجهاز كشف ودائرة تشغيل [٣٥] يوضح الشكل (٥ – ١٨) بناء مفتاح تبديل القرب بتيار الدوامة. عندما يتم تمرير تيار متردد من خلال الملف، يتم توليد حقل مغناطيسي بديل. إذا كان هناك جسم معدني على مقربة من الملف، يتسبب فى توليد تيارات دوامة في الجسم الكائن بسبب المجال المغناطيسي ينتج عنها مجال مغناطيسي خاص بها الذي يتسبب فى تشويه المجال المغناطيسي المسئول عن التوليد وكنتيجة لذلك تتغير معاوقة الملف وبالتالى قيم التيار المتردد. يمكن إستخدام أجهزة إستشعار القرب بتيار الدوامة لإحداث التحول في بعض المستويات السابق تحديدها للتغير في التيار. أجهزة إستشعار تيار الدوامة رخيصة نسبيا، ومتاحة في أحجام صغيرة، عالية الموثوقية ولديها حساسية عالية للإنزلقات الصغيرة.



الشكل (٥ – ١٨) الشكل التخطيطي لجهاز إستشعار قرب حثي

---

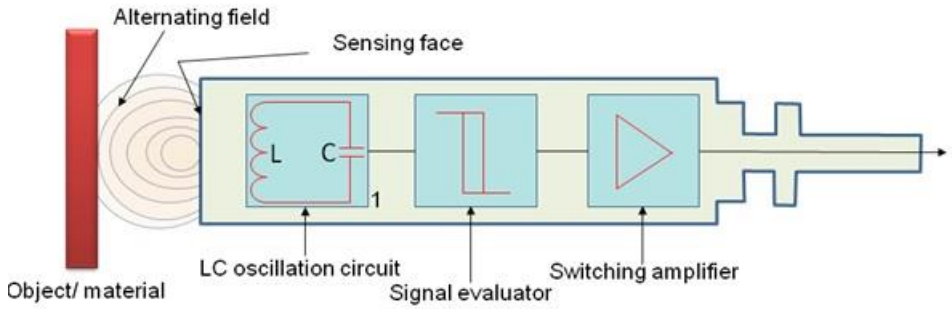
٣٥ تستخدم أجهزة إستشعار قرب تيار الدوامة للكشف عن المواد الموصلة الغير المغناطيسية. تتكون من ملف، مذبذب، وجهاز كشف ودائرة تشغيل (Eddy current proximity sensors are used to detect non-magnetic but conductive materials. They comprise of a coil, an oscillator, a detector and a triggering circuit).

❖ **تطبيقات أجهزة إستشعار القرب بتيار الدوامة**

التشغيل الآلي الذي يتطلب دقة الموقع – تصادم أداة القطع فى الألات – التجميع النهائي للمعدات الدقيقة مثل محركات الأقراص – قياس ديناميكا هدف متحرك بإستمرار، مثل عناصر الإهتزاز – رصد حركة عمود الدوران – قياسات الإهتزازات

٢ – مفتاح التبديل الحثي للقرب

تستخدم مفاتيح القرب الحثى للكشف عن الأهداف المعدنية، يوضح الشكل (٥-١٩) تكوين مفتاح تبديل قرب حثي الذي يتكون من أربعة عناصر؛ الملف والمذبذب ودائرة كشف ودائرة خرج.



الشكل (٥ – ١٩) تخطيط لجهاز إستشعار قرب حثي

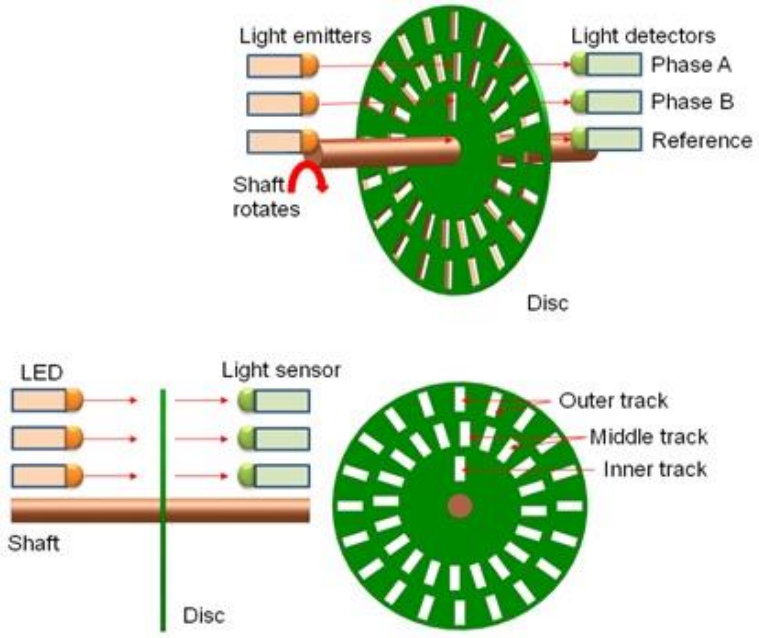
يتم توصيل تيار متردد الى الملف الذي يقوم بتوليد حقل مغناطيسي عندما يقترب جسم معدني إلى نهاية الملف تتغير قيمة حث الملف الذي يتم رصده بإستمرار بدائرة تقوم بتشغيل مفتاح تبديل عند حدوث تغير فى قيمة الحث.

❖ **تطبيقات مفاتيح القرب الحثي**

- **الأتمتة الصناعية: تقوم بتسجيل كميات المنتجات خلال عمليات الإنتاج أو النقل**
- **الأمن: الكشف عن الأجسام المعدنية والأسلحة والألغام الأرضية**

٣ – الترميز البصري

يقدم الترميز البصري خرج رقمي نتيجة لإنزلاق خطي أو زاوي وتستخدم هذه التقنية على نطاق واسع في المحركات المؤازرة لقياس دوران الأعمدة.

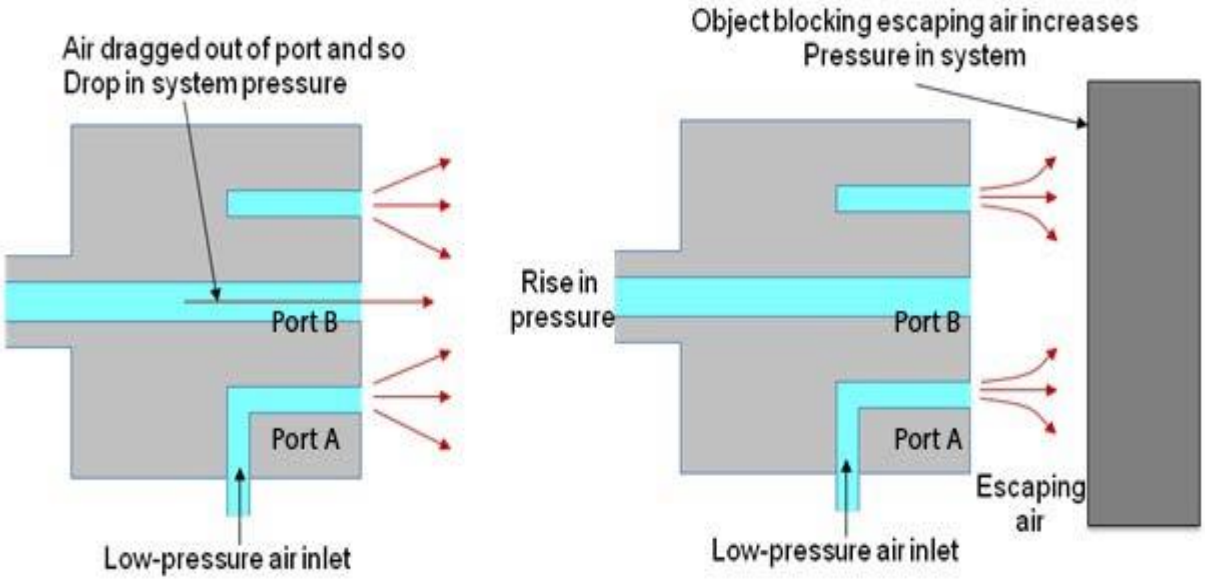


الشكل (٥ – ٢٠) البناء وتشغيل تقنية التشفير الضوئية

يوضح الشكل (٥ – ٢٠) تكوين تقنية الترميز الضوئية التى تتألف من قرص مع ثلاثة مسارات متحدة المركز وثلاثة ثقوب متباعدة بالتساوي. تستخدم ثلاثة أجهزة إستشعار ضوئى للكشف عن الضوء المار من خلال الثقوب وتنتج أجهزة الإستشعار نبضات كهربائية تسبب إنزلاق زاوي للجزء الميكانيكي مثل عمود الدوران المركب عليه تقنية التشفير الضوئية. يشتمل المسار الداخلي على ثقب واحد فقط يستخدم في تحديد موقع القرص وتمثل الثقوب في المسار الأوسط إزاحة الثقوب عن المسار الخارجي بنصف عرض الثقب ويوفر هذا الترتيب تحديد إتجاه الدوران. عندما يدور القرص في إتجاه عقارب الساعة، تظهر النبضات في المسار الخارجي الى داخل العداد في إتجاه عقارب الساعة ويكون متأخر فى الخلف ويمكن أن يحدد القرار بعدد الثقوب الموجودة على القرص، مع كل مائة ثقب في دورة واحدة، سيكون القرار ٣٦٠ ° مقسومة على ١٠٠ تساوى ٦و٣.°

٤ – أجهزة إستشعار تعمل بالهواء المضغوط

تستخدم أجهزة الإستشعار الهوائية لقياس الإنزلاق، وكذلك ما يتعلق بالإحساس بالقرب من كائن قريب منه، يتم تحويل الإنزلاق والقرب من كائن إلى التغيير في الضغط الجوي.



الشكل (٥ – ٢١) تشغيل أجهزة إستشعار تعمل بالهواء المضغوط

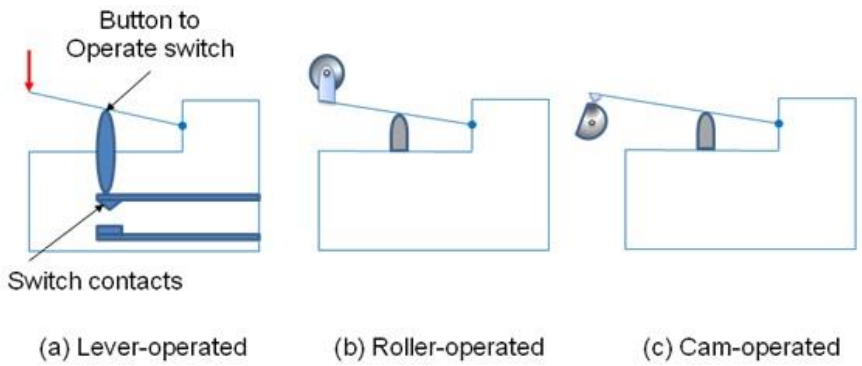
يوضح الشكل (٥ – ٢١) تخطيط للبناء والعمل لأجهزة الإستشعار الهوائية وهي تتألف من ثلاثة فتحات تسمح لضغط الهواء المنخفض الهروب من خلال المنفذ (أ). في حالة عدم وجود أي عقبة أو كائن يعترض المسار، يقل ضغط الهواء المنخفض، وبناء على ذلك، يقلل الضغط في المنفذ (ب) ومع ذلك عندما يعوق كائن ضغط الهواء المنخفض (المنفذ أ)، هناك إرتفاع في الضغط في منفذ الخرج (ب) ويتم معايرة الإرتفاع في الضغط لقياس الإنزلاق أو لتشغيل مفتاح التبديل وتستخدم هذه المجسات في الروبوتيات ، المضاعفات ، وأدوات القطع فى آلات التصنيع باستخدام الحاسب.

٥ – مفاتيح القرب [٣٦]

يوضح الشكل (٥ – ٢٢) عدد من التكوينات لمفتاح تبديل من النوع تلامس الفرب المستخدم في التصنيع الآلي وهي مفاتيح تبديل كهربائية صغيرة التي تتطلب التلامس الفيزيائى وقوة تشغيل صغيرة لإغلاق الوصلات وتستخدم أساسا في نظم النقل للكشف عن وجود عنصر على الحزام الناقل.

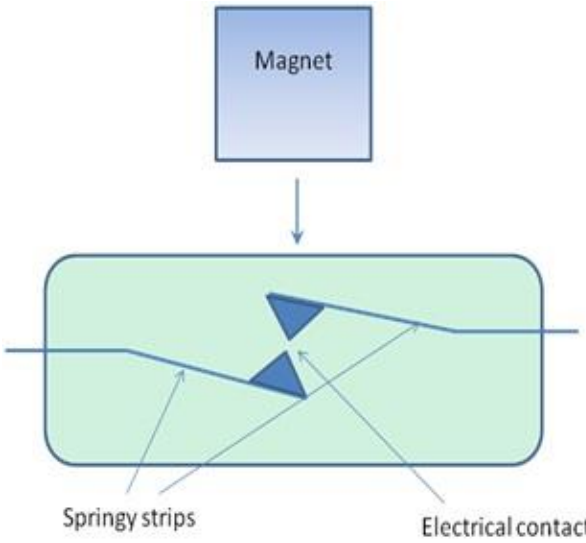
---

٣٦ مفاتيح القرب (A proximity sensor is a sensor able to detect the presence of nearby (objects without any physical contact. A proximity sensor often emits an electromagnetic



الشكل (٥ – ٢٢) تكوينات مفتاح التبديل من نوع تلامس القرب

يستخدم مفتاح التبديل على أساس المجال المغناطيسى كمفاتيح إحساس بالقرب، عند إتصال مغناطيس إلى كائن بالقرب من مفتاح التبديل، مفتاحى ريد [٣٣] المغناطيسى تنجذبان الى بعضهما البعض ويتم إغلاق وصلة المفتاح. يوضح الشكل (٥ – ٢٣) رسم تخطيطي لمفتاح ريد. تستخدم العناصر الضوئية مثل الصمامات الضوئية المشعة والعناصر الحساسة للضوء مثل الثنائيات الضوئية والترانزستور الضوئى في التجميع لتعمل كأجهزة إستشعار بالقرب.

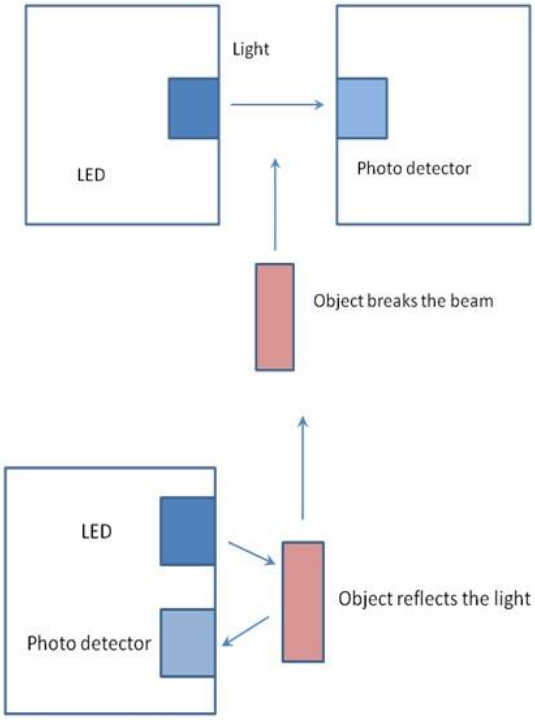


الشكل (٥ – ٢٣) مفتاح يعمل بالمجال المغناطيسى [٣٧]

---

٣٧ مفتاح ريد يعمل بالمجال المغناطيسى (Reed switch, an electrical switch operated by an applied magnetic field)

يوضح الشكل (٥ – ٢٤) تكونين نموذجيين من الصمامات الضوئية المشعة والثنائيات الضوئية للكشف عن أشياء تعارض مسار الشعاع وتعكس الضوء.



الشكل (٥ – ٢٤) أجهزة إستشعار صمامات الضوء المشع على أساس القرب

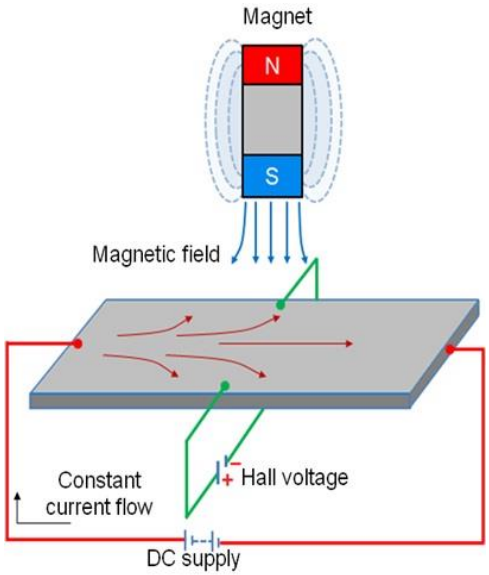
٦ – أجهزة إستشعار بتأثير هال [٣٨]

يوضح الشكل (٥ – ٢٥) مبدأ عمل جهاز إستشعار تأثير هال التى تعمل على مبدأ مرور شعاع من جسيمات الشحنات خلال حقل مغناطيسي، تؤثر القوى المغناطيسية على جسيمات الشحنات وينحرف شعاع التيار من مساره المستقيم وهكذا يتم شحن أحد جوانب القرص بشحنات سالبة والجانب الآخر بشحنات موجبة. ينشئ عن فصل الشحنات فرق فى الجهد والذي يمثل قياس لمسافة المجال المغناطيسي من القرص الحامل للتيار. التطبيق

---

٣٨ بتأثير هال (The Hall effect is the production of a voltage difference (the Hall voltage) across an electrical conductor, transverse to an electric current in the conductor and a magnetic field perpendicular to the current. It was discovered by Edwin Hall in 1879)

النموذجي لأجهزة إستشعار تأثير هال هو قياس مستوى السائل في حاوية. تضم الحاوية عوامة مع مغناطيس دائم معلق في أعلى السائل فى وجود دائرة كهربائية مع قرص يحمل تيار معلق في جدار الحاوية.



الشكل (٥ – ٢٥) مبدأ عمل جهاز إستشعار تأثير هول

عندما يزيد مستوى السائل، يقترب المغناطيس من القرص ويولد فرق جهد الذي يتسبب فى وقف مفتاح التبديل للسائل القادم الى داخل الحاوية وتستخدم هذه المجسات لقياس الإنزلاق والكشف عن موضع الكائن. أجهزة إستشعار تأثير هال بحاجة إلى إشارة تردد تعمل عند ١٠٠ كيلو هرتز وطبيعة عملها الغير موصلة تعطى حصانة جيدة من ملوثات البيئة وقدرة على تحمل الظروف القاسية في جعلها منتشرة جداً في الأتمتة الصناعية.

➢ أجهزة إستشعار السرعة والحركة والقوة والضغط

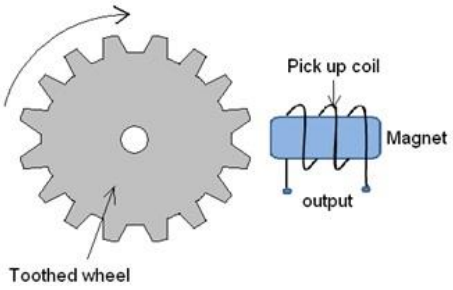
١ – مولدات السرعة [٣٩]

تعمل مولدات السرعة بمبدأ التردد المتغير وتتكون من عجلة مسننة ودائرة مغناطيسية كما هو موضح في الشكل (٥ – ٢٦). يتم تثبيت العجلة المسننة على عمود أو على العنصر الذي يراد قياس حركتة الزاوية، تتكون الدائرة المغناطيسية من ملف بداخله قلب من

---

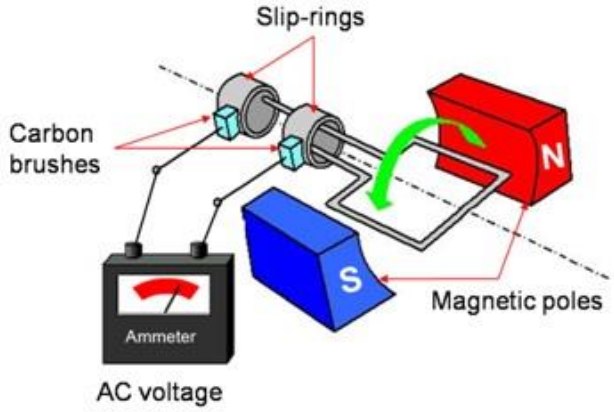
٣٩ مولدات السرعة (tacho– a combining form meaning “speed”: *tachometer.*)

مادة مغناطيسية كلما تدور العجلة، تتغير الفجوة الهوائية بين أسنان العجلة والقلب المغناطيسى الذي ينتج تغير دوري في الحقل المغناطيسى المرتبط مع الملف.



الشكل (٥ – ٢٦) مبدأ عمل مولدات السرعة

تتولد قوة دافعة مغناطيسية متناوبة بمقياس الحركة الزاوية وتستخدم نبضة تشكيل لتحويل الخرج الناتج إلى عدد من النبضات التي يتم حساب عددها من خلال عداد. يمكن أيضا إستخدام مولد التيار المتردد كمولد سرعة ويتكون من ملف دوار الذي يدور بعمود دوران



الشكل (٥ – ٢٧) بناء وتشغيل لمولد التيار المتردد

ويوضح الشكل (٥ – ٢٧) تركيب مولد التيار المتردد، يدور المحرك الدائرى [٤٠] في مجال مغناطيسي ناتج عن مغناطيس دائم ثابت أو مغناطيس كهربائى. أثناء هذه العملية، تتولد قوة دافعة مغناطيسية التى تمثل مقياس للسرعة الزاوية للمحرك الدوار وبشكل عام،

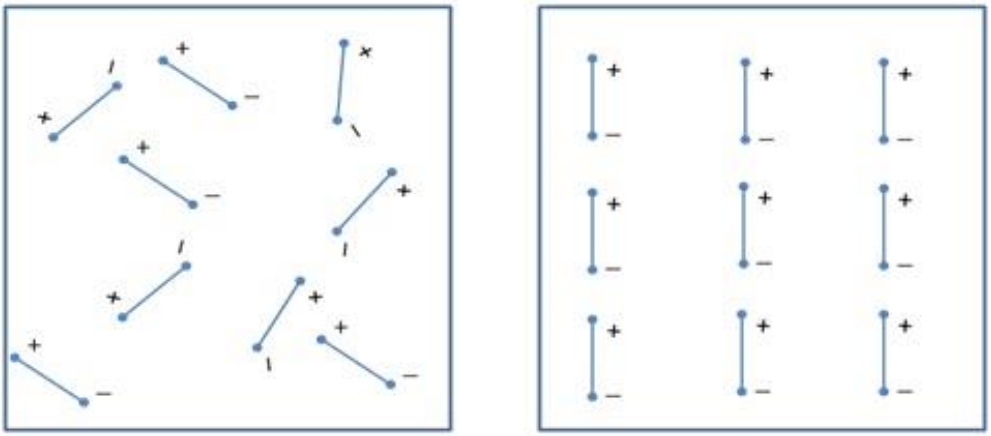
---

٤٠ المحرك الدائرى (The rotor rotates in the magnetic field produced by a stationary (permanent magnet or electromagnet)

هذه المجسات معرضة لخطأ غير خطي فى حدود ± ٠,١٥% وتستخدم لعدد لفات حوالي ١٠٠٠ لفة فى الدقيقة.

٢ – أجهزة إستشعار الكهروحرارية (بيروليكتريك) [٤١]

تعمل أجهزة الإستشعار الكهروحرارية على مبدأ الكهرباء الحرارية، حبث تولد المادة البلورية مثل الليثيوم تانتاليوم شحنات إستجابة لتدفق الحرارة في وجود المجال الكهربائي، عندما يتم تسخين المادة البلورية يظهر خط الأقطاب الكهربية كما هو موضح فى الشكل (٥ – ٢٨) والذي يسمى بالإستقطاب.

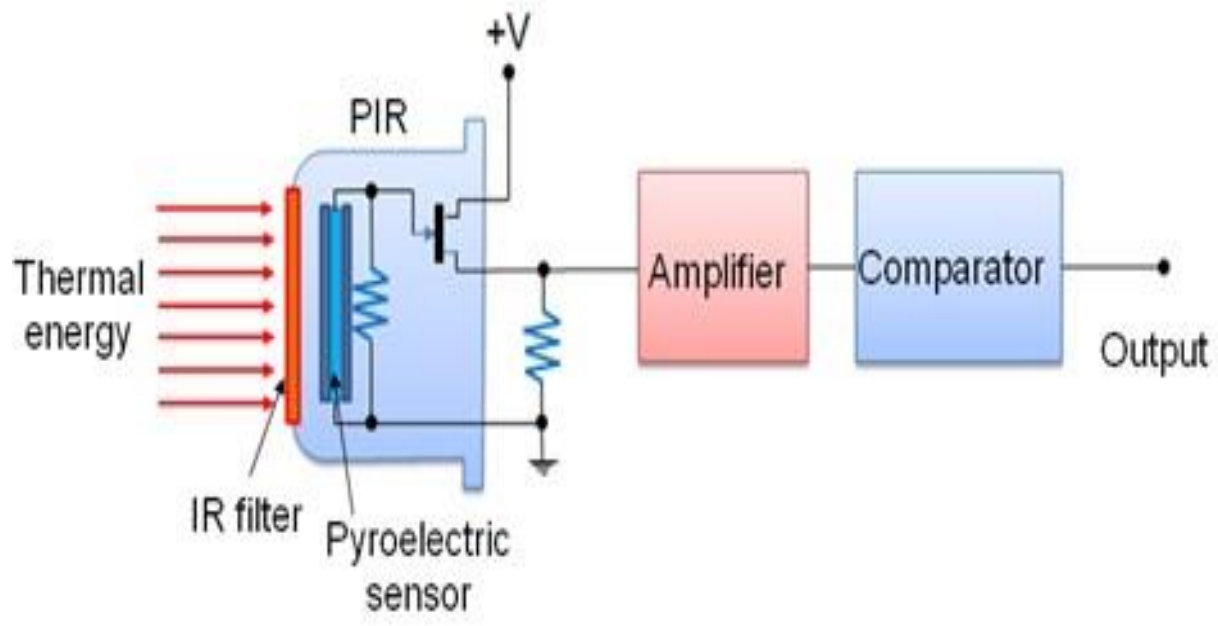


الشكل (٥ – ٢٨) مبدأ الكهرباء الحرارية

في حالة التبريد، تحتفظ المواد بشحناتها المستقطبة في حالة عدم وجود مجال كهربائي، عندما يتم تعريض المواد المستقطبة للأشعة تحت الحمراء، مما يتسبب فى تقليل قيم إستقطابها، هذه الظاهرة هي مقياس للكشف عن حركة الجسم. يتكون جهاز إستشعار الكهروحرارى من عنصر سميك من المواد المستقطبة المغلفة بطبقة فيلم رقيق للأقطاب على الوجوه المعاكسة كما هو موضح في الشكل (٥ – ٢٩).

---

٤١ أجهزة إستشعار الكهروحرارية (بيروليكتريك) (pyro a combining form meaning “fire,” “heat,” “high temperature,” used in the formation of compound words: pyrogen; pyrolusite; pyromancy)



الشكل (٥ – ٢٩) بناء وتشغيل جهاز إستشعار كهروحرارى

في البداية فإن الأقطاب الكهربائية فى حالة إتزان كهربائى مع المواد المستقطبة، بالتعرض للأشعة تحت الحمراء ترتفع درجات حرارة البلورات ويقل الإستقطاب وهذا يؤدي إلى خلل فى إتزان الشحنات على واجهة البلورة والأقطاب ولموازنة هذا الإختلال، تغذى دائرة القياس الشحنات والتى يتم معايرتها ضد الكشف عن كائن أو حركته.

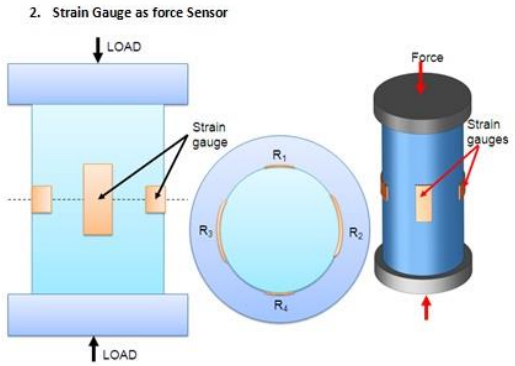
❖ تطبيقات أجهزة الإستشعار الكهروحرارية

كشف التسلل – كاشف البصريات الحرارية – الكشف عن التلوث – جهاز إستشعار الوضع المكانى – دراسات الخلايا الشمسية – تحليل المحركات.

- **جهاز إستشعار قياس قوة الضغط**

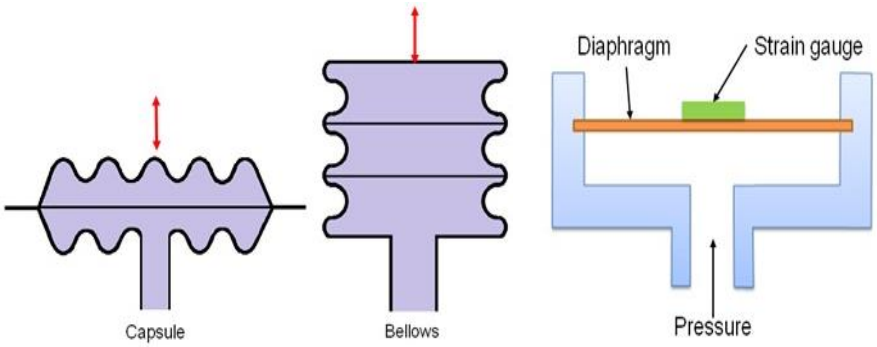
تعمل أجهزة إستشعار قياس الضغط على أساس مبدأ التغير في المقاومة الكهربائية، عندما يتعرض عنصر ميكانيكي للشد أو الضغط تتغير المقاومة الكهربائية للمادة. تستخدم هذه التقنية لقياس القوة المؤثرة على العنصر ويوضح الشكل (٥ – ٣٠) خلية تحميل قياس الضغط وهي تتألف من أنبوبة أسطوانية يتعلق بها أجهزة قياس الضغط، يوضع حمل على

أعلى رقبة الإسطوانة الضاغطة على جهاز قياس الضغط الذي تتغير مقاومته الكهربائية. عموما تستخدم أجهزة قياس الشد لقياس القوى ما يصل إلى ١٠ ميجا نيوتن [٤٢] وأخطاء اللاخطية والتكرارية لهذا المحول فى حدود ± ٠,٠٣% و ±٠,٠٢% على التوالي.



الشكل (٥ – ٣٠) قياس الضغط على أساس تحميل خلية

- ضغط السوائل



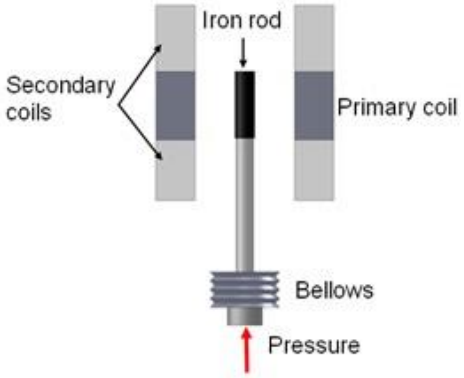
الشكل (٥ – ٣١) توضيح للغشاء

الشكل (٥ – ٣٢) تخطيط الكابسولات والمنفاخ

تحتاج الصناعات الكيميائية والبترولية، وصناعة الطاقة في كثير من الأحيان إلى مراقبة ضغط السائل وتستخدم أجهزة مختلفة مثل الحواجز والكبسولات لمراقبة ضغط السائل والمصممة خصيصا كأجهزة قياس للإجهادات وهي مغموسة في أغشية تستخدم عادة لقياس الضغط لمداخل متشعبة في تطبيقات مثل السيارات. ويوضح الشكل (٥ – ٣١) ترتيب نموذجي لقياس الإجهاد على غشاء، دخول السائل المضغوط يزيح الحجاب الحاجز ويقاس الإنزلاق بأجهزة قياس الإجهاد من خلال شعاع و/أو الإجهاد الجانبي. تترابط أجهزة قياس

٤٢ وحدة لقياس القوى بالميجا نيوتن (measure forces in meganewten MN)

الإجهاد لتشكل أفرع قنطرة ويتستون وتتكون الكابسولات بجمع غشائين متموجين [٤٣]مما يساهم فى تحسين الحساسية بالمقارنة مع تقنيات الأغشية. يوضح الشكل (٥ – ٣٢) تخطيط لكبسولة ومنفاخ، عدد من الكبسولات تعرف بإسم منفاخ (الخوار) [٤٤] ويستخدم المنفاخ مع جهاز إستشعار المحول التفاضلي المتغير الخطي فى قياس ضغط السائل من حيث التغير الناتج في الجهد خلال الملفات الثانوية لجهاز الإستشعار ويوضح الشكل (٥ – ٣٣) الترتيب النموذجي لنفس الشكل.



الشكل (٥ – ٣٣) تخطيط للمنفاخ مع جهاز الإستشعار المحول التفاضلي المتغير الخطي

- أجهزة الاستشعار عن طريق اللمس

بشكل عام، تستخدم أجهزة الإستشعار عن طريق اللمس للإحساس بتلامس أطراف أصابع روبوت مع جسم أو كائن آخر كما أنها تستخدم في تصنيع شاشات العرض باللمس لوحدات العرض المرئي لأدوات القطع فى آلات التصنيع بإستخدام الحاسب [٤٥]. ويبين الشكل (٥ – ٣٤) بناء أجهزة إستشعار تراكم الشحنات الكهربائية أو كهروضغطية (بيزو كهربائية) من فلوريد الفينيليدن على أساس الإحساس عن طريق اللمس [٤٦].

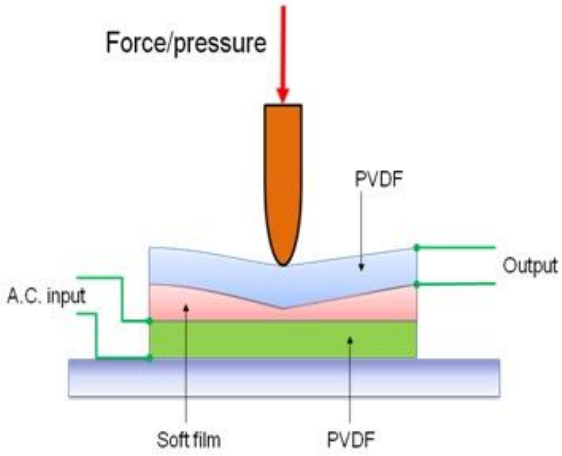
---

٤٣ تتكون الكابسولات بجمع غشائين متموجين (Capsule is formed by combining two corrugated diaphragms)

٤٤ عدد من الكبسولات تعرف بإسم منفاخ (الخوار) 'Bellows' A stack of capsules is called as

٤٥ تصنيع شاشات العرض باللمس المرئي لأدوات القطع فى آلات التصنيع بإستخدام الحاسب (in manufacturing of 'touch display' screens of visual display units (VDUs) of CNC machine tools.)

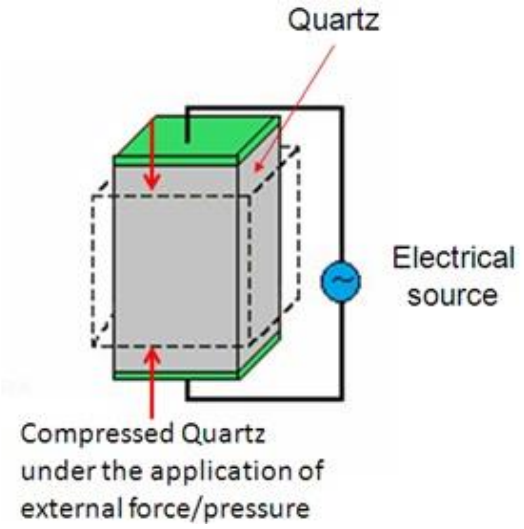
٤٦ أجهزة إستشعار تراكم الشحنات الكهربائية (بيزو كهربائية) من فلوريد الفينيليدن عن طريق اللمس (the construction of piezo-electric polyvinylidene fluoride (PVDF) based tactile sensor)



الشكل (٥ – ٣٤) تخطيط لجهاز إستشعار عن طريق اللمس

ويشتمل على طبقتين منفصلين بطبقة لينة والتى تنقل الإهتزازات ويتم توصيل تيار متردد للطبقة السفلى من الفلوريد الفينيليدن مما يولد الإهتزازات بسبب تأثير كهرضغطية العكسية وترسل هذه الإهتزازات إلى الطبقة العلوية من خلال الفيلم اللين. عند تطبيق بعض الضغط على الطبقة العلوية من الفلوريد الفينيليدن تتأثر الإهتزازات، ويتغير الجهد الناتج ويتم تشغيل مفتاح تبديل أو لإجراء تطبيق في الروبوتات أو للشاشات التى تعمل باللمس.

- **جهاز إستشعار كهرضغطية [٤٧]**



الشكل (٥ – ٣٥) مبدأ عمل جهاز إستشعار كهرضغطية

٤٧ جهاز إستشعار كهرضغطية (Piezoelectric sensor)

يتم إستخدام جهاز إستشعار كهرضغطية لقياس الضغط والتسارع والقوى الديناميكية مثل التذبذب أو الأثر، أو الشد والضغط عالي السرعة الشكل (٥ – ٣٥). يشتمل الجهاز على مواد من بلورات كهرضغطية متأينة مثل الكوارتز، فى تطبيقات القوة أو الضغط يحدث إمتداد أو ضغط لهذه المواد وخلال هذه العملية، تتغير الشحنات على البلورات ويعاد توزيعها ويصبح وجه واحد من البلورة موجب الشحنة والوجه الآخر سالب الشحنة. قيمة الشحنات الصافية (q) على السطح تتناسب مع المقدار (x) حيث إنزلقت الشحنات وتتناسب قيمة إنزلاق مع القوة على النحو التالى:

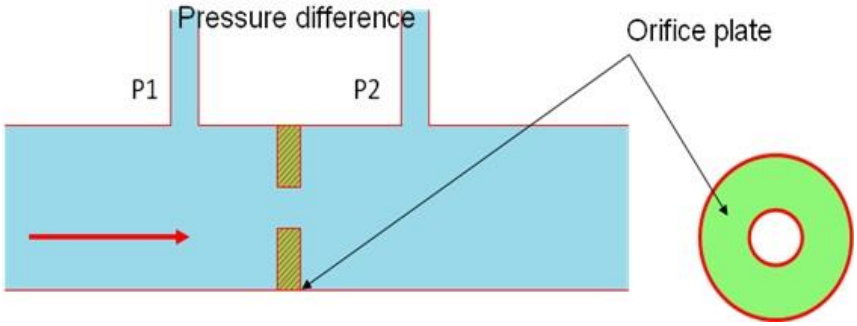
$$q = kx = SF$$ المعادلة (٥ – ١٢)

حيث (k) ثابت و (S) ثابت يسمى حساسية الشحنة.

- تدفق السائل

يتم قياس تدفق السائل بتطبيق مبدأ بيرنولي لتدفق السوائل من خلال الإنقباض. تحتسب كمية تدفق السائل بإستخدام قياس إنخفاض الضغط، حجم تدفق السائل يتناسب مع الجذر التربيعي لفرق الضغط على طرفي الإنقباض وهناك أنواع مختلفة من أجهزة قياس تدفق السوائل المستخدمة في أتمتة التصنيع مثل لوحة الفوهة، مقياس التوربينات[٤٨].

أ – لوحة الفوهة



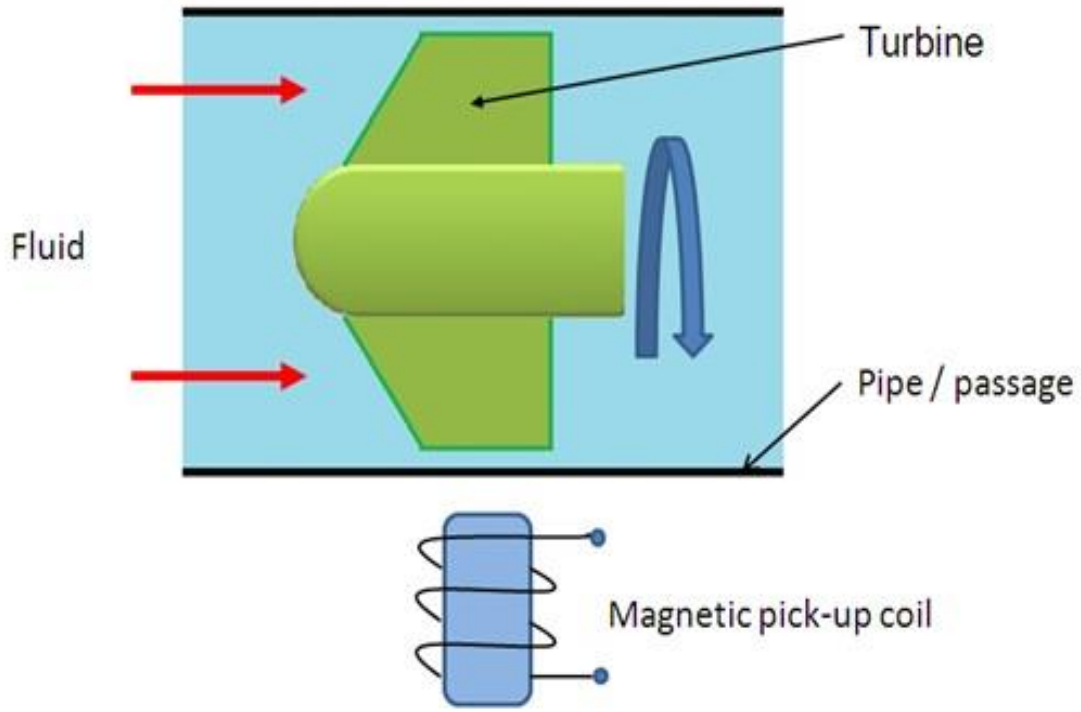
الشكل (٥ – ٣٦) لوحة الفوهة

٤٨ أنواع مختلفة من أجهزة قياس تدفق السوائل المستخدمة في أتمتة التصنيع مثل لوحة الفوهة، مقياس التوربينات (There are various types of fluid flow measurement devices being used in manufacturing automation such as Orifice plate, Turbine meter)

يوضح الشكل (٥ – ٣٦) تخطيط لجهاز لوحة الفوهة الذي يحتوي على قرص مثقوب فى الوسط، من خلاله يتدفق السائل ويتم قياس فرق الضغط بين نقطة تساوي قطر أنبوب المنبع ونقطة مساوية لنصف قطر أنبوب المنبع. لوحة الفوهة غير مكلفة وبسيطة في التركيب مع عدم وجود أي أجزاء متحركة ومن خصائصها السلوك الغير خطي ولا تعمل مع عجائن وذات دقة ± ١,٥%.

ب – مقياس التوربينات

يتميز مقياس تدفق التوربينات بالدقة ±٠,٣%، يشتمل فى الوسط على عمود دوران بشفرات متعددة في الأنبوب على طول التدفق المطلوب قياسه ويوضح الشكل (٥ – ٣٧) الترتيب النموذجي لعمود الدوران وملف الإلتقاط المغناطيسيى. عند تدفق السائل يدور عمود الدوران وبناء على ذلك يلتقط المغناطيس الملف حساب عدد النبضات المغناطيسية المتولدة بسبب تشويه المجال المغناطيسي بريش عمود الدوران وتتناسب السرعة الزاوية مع عدد النبضات وتدفق السوائل يتناسب مع السرعة الزاوية.



الشكل (٥ – ٣٧) تخطيط مقياس التوربينات

- **مستوى السائل**

ويمكن قياس مستوى السائل في حاوية بأسلوبين:

- **مباشرة برصد وضع سطح السائل**
- **بصفة غير مباشرة بقياس بعض المتغيرات فى الإرتفاع.**

تنطوى القياسات المباشرة على إستخدام العوامات ومع ذلك فإن الطرق الغير مباشرة تستخدم خلايا الحمل. يمكن إستخدام المقاومات أو أجهزة إستشعار المحول التفاضلي المتغير الخطي جنبا إلى جنب مع العوامات لقياس إرتفاع عمود السائل، إحساس القوة بخلايا الحمل تتناسب مع إرتفاع عمود السائل.

- **أجهزة إستشعار درجة الحرارة والضوء**

توضح درجة الحرارة حالة النظم الميكانيكية فيما يخص ظاهرة التمدد أو الإنكماش فى المواد الصلبة أو السوائل أو الغازات، تنتج قوى كهرومغناطيسية عند التغير في المقاومة الكهربائية للموصلات وأشباه الموصلات والمواد الكهروحرارية. تستخدم أجهزة إستشعار درجة الحرارة على نطاق واسع منها الشرائط المعدنية الثنائية، المزدوجات الحرارية، المقاومات الحرارية في رصد عمليات التصنيع مثل صب المعادن المنصهرة وقطع المعادن [٤٩].

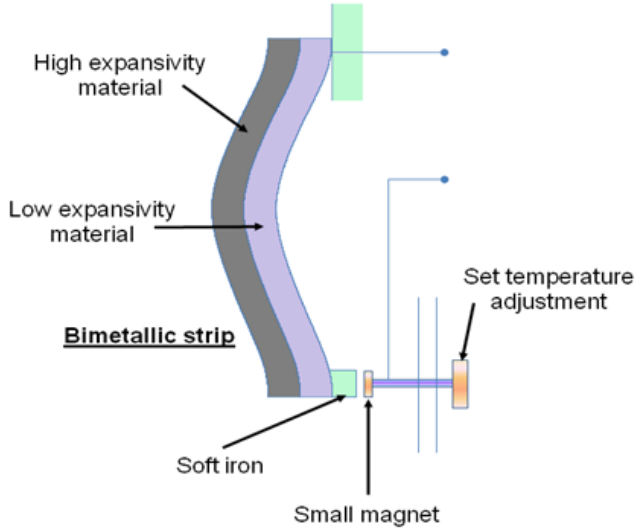
١- الشرائط المعدنية الثنائية

تستخدم الشرائط المعدنية الثنائية كمفاتيح تبديل حرارية للتحكم في درجة الحرارة أو حرارة النظم في عملية التصنيع. تشتمل على شريطين من معدنين مختلفين متصلين معا ولها معاملات تمدد مختلفة، في حالة التسخين تنحني الشرائط ويكون المعدن ذو معامل تمدد أعلى على الجانب الخارجى للمنحنى. يوضح الشكل (٥ - ٣٨) قطاع بترتيب نموذجي متعلق بنظام المعدنين المستخدمين مع وضع مغناطيس، كلما تنحني الشرائط، يقترب المعدن

---

٤٩ تستخدم أجهزة إستشعار درجة الحرارة على نطاق واسع منها الشرائط المعدنين، المزدوجات الحرارية، المقاومات الحرارية في رصد عمليات التصنيع مثل صب المعادن المنصهرة وقطع المعادن (Temperature sensors such as bimetallic strips, thermocouples, thermistors are widely used in monitoring of manufacturing processes such as casting, molding, metal cutting)

اللين من مغناطيس صغير ثم يتلامسان وتكتمل الدائرة الكهربائية وتقوم بإعطاء إنذار وبهذه الطريقة تساعد تقنية الشرائط المعدنية الثنائية فى حماية التطبيقات المطلوبة من التسخين لدرجة حرارة أعلى من القيمة المحددة مسبقاً.



الشكل (٥ – ٣٨) تشكيل وتشغيل الشرائط المعدنية الثنائية

٢ – أجهزة كشف درجة حرارة مقاومة [٥٠]

تعمل أجهزة كشف درجة الحرارة لمقاومة على المبدأ المعروف بأن المقاومة الكهربائية للمعادن تتغير نتيجة لتغيير في درجة الحرارة. عند تسخين المعادن، تتزايد مقاومتها وتتبع علاقة خطية كما هو موضح في الشكل (٥ – ٣٩) ٠فى ضوء المعادلة التالية:

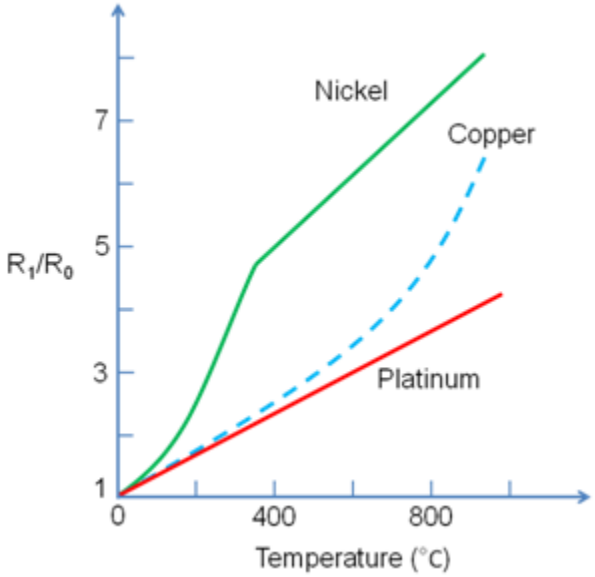
$$R_t = R_0(1 + \alpha T)$$

المعادلة (٥ – ١٣)

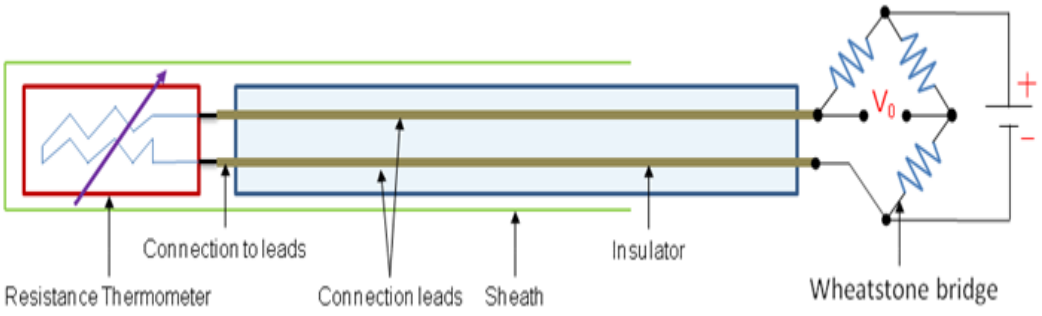
حيث (R_t) المقاومة عند درجة حرارة T (°C) و(R_0) درجة الحرارة عند درجة حرارة صفر مئوية و(α) ثابت المعدن المستخدم كمعامل درجة الحرارة للمقاومة. جهاز الإستشعار مصنوع عادة لقيم مقاومة من ١٠٠ أوم في درجة مئوية صفر. يوضح الشكل (٥ – ٤٠) تكوين جهاز الكشف عن درجة حرارة المقاومة [٤٦] ويشتمل على عنصر مقاوم متصل بقنطرة ويتستون، العنصر وأطراف التوصيل معزولة ويحميها جراب، تمرير كمية صغيرة من التيار

٥٠ أجهزة كشف درجة حرارة مقاومة Resistance temperature detectors (RTDs)

بإستمرار من خلال الملف كلما تتغير درجة الحرارة تتغير مقاومة الملف التي يتم الكشف عنها بقنطرة ويتستون. جهاز الكشف عن درجة حرارة المقاومة على شكل طبقات رقيقة أو أسلاك أو ملف مصنوع من المعادن مثل البلاتين أو النيكل أو سبائك النحاس والنيكل٠ سلك البلاتين مثبت بمادة لاصقة زجاجية ذات درجة حرارة عالية في أنبوبة من السيراميك وتستخدم لقياس درجة الحرارة في أفران المعادن وهناك تطبيقات أخرى: (تطبيقات تكييف الهواء والتبريد – تجهيز الأغذية – المواقد والشوايات – إنتاج المنسوجات – تصنيع المواد البلاستيكية – تصنيع البتروكيماويات – الإلكترونيات الدقيقة – قياس درجة حرارة الهواء والغاز السائل في الأنابيب والصهاريج – قياس درجة حرارة غازات العادم) .



الشكل (٥ – ٣٩) سلوك المواد الكشف عن درجة حرارة المقاومة

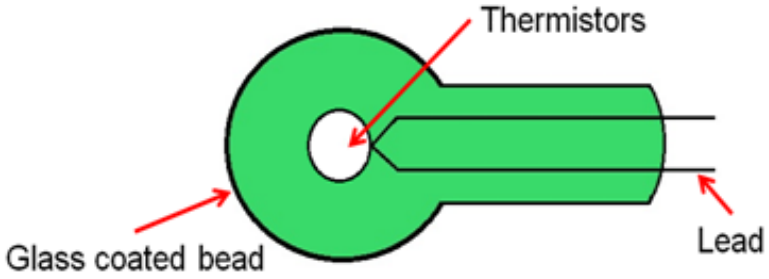


الشكل (٥ – ٤٠) تكوين جهاز الكشف عن درجة حرارة المقاومة

٣ – المقاومات الحرارية

تتبع المقاومات الحرارية مبدأ إنخفاض قيمة المقاومة مع إرتفاع درجة الحرارة. المواد المستخدمة في تصنيع المقاومات الحرارية عموما من مواد أشباه الموصلات مثل أكاسيد المعادن المتكلسة (خليط من أكاسيد المعادن، والكروم، الكوبالت والحديد، والمنجنيز والنيكل) أو بلورات السيراميك المطعمة بمادة تيتانات باريوم وغيرها من المركبات، بزيادة درجة حرارة مواد أشباه الموصلات يزداد عدد الإلكترونات القادرة على الحركة التى تتسبب فى سريان التيار فى المواد وبالتالى تنخفض المقاومة. المقاومات الحرارية صلبة وصغيرة في الأبعاد ولها خصائص الإستجابة الغير خطية وتتوفر المقاومات الحرارية على شكل القرص المضغوط، أو مسبار أو رقاقة.

يوضح الشكل (٥ – ٤١) بناء مقاومة حرارية على شكل القرص المضغوط أبعادة من ٥و٠ الى ٥ مم مغلفة بمادة السيراميك أو الزجاج. القرص المضغوط متصل بدائرة كهربائية من خلال طرفين وللحماية من الجو المحيط، توضع فى أنبوب من الفولاذ المقاوم للصدأ.



الشكل (٥ – ٤١) تخطيطي لمقاومة حرارية

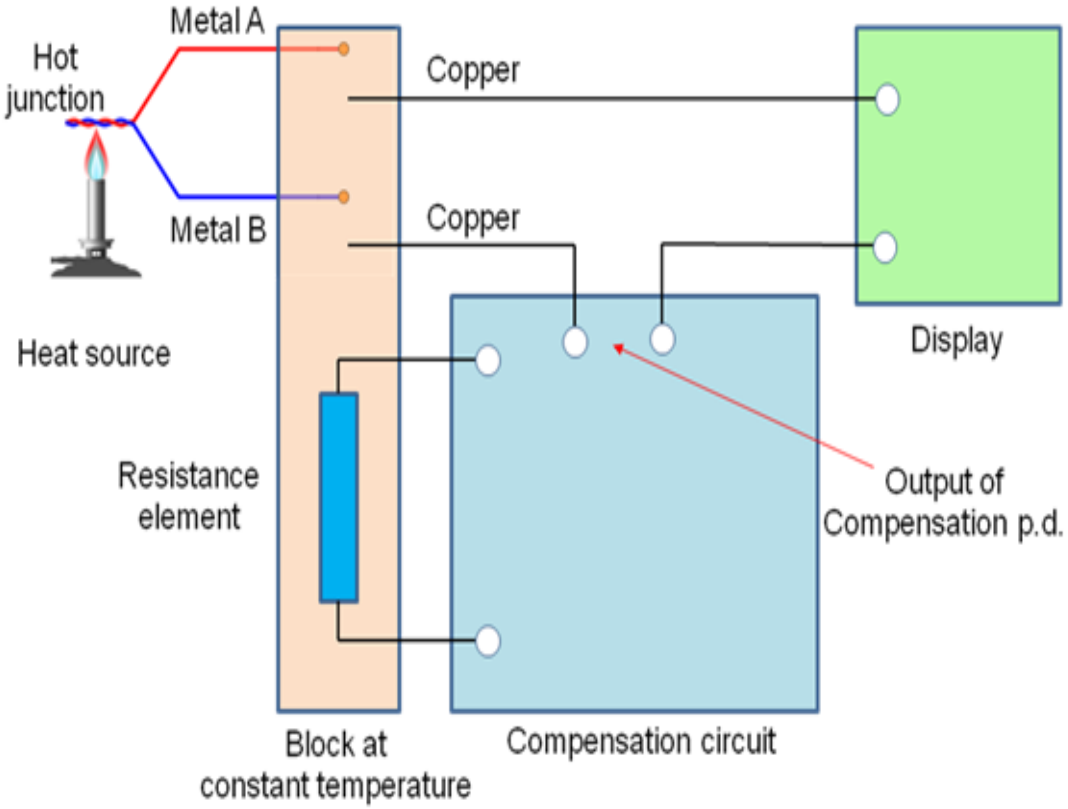
تطبيقات المقاومات الحرارية: (رصد درجة حرارة المبرد و/أو درجة حرارة الزيت داخل المحرك – رصد درجة حرارة حاضنة أطفال – وتستخدم في المقاومات الحرارية الرقمية الحديثة – رصد درجة حرارة أعمدة البطارية أثناء الشحن – رصد درجة الحرارة الأطراف الساخنة فى الطابعات ثلاثية الأبعاد – للحفاظ على درجة الحرارة الصحيحة في معالجة الأغذية وتجهيز معدات الصناعة – للتحكم بعمليات الأجهزة الإستهلاكية مثل المحامص، ماكينات القهوة، والثلاجات، والمجمدات، ومجففات الشعر، وما إلى ذلك.

٤ – المزدوجات الحرارية

تعمل المزدوجات الحرارية عند تسخين الوصلة بين المعادن الغير متشابهة، تنتج جهد كهربائي يتناسب مع درجة الحرارة ويسرى تيار فى الدائرة الكهروحرارية ويوضح الشكل (٥ – ٤٢) التخطيط لدوائر المزدوجات الحرارية. الجهد الصافي للدائرة المفتوحة ويشار له بجهد سيبك وهو دالة لدرجة حرارة الوصلة وتكوين المعدنين.

$$\Delta V_{AB} = \alpha \Delta T$$ المعادلة (٥ – ١٤)

حيث (α) معامل سيبك وهو ثابت تناسب



الشكل (٥ – ٤٢) التخطيط للدوائر المزدوجة الحرارية

وبصفة عامة، كرومل (٩٠ ٪ النيكل و١٠ ٪ الكروم) – الومل (٩٥% نيكل، ٢% المنجنيز، ٢% الألومنيوم و١% السيليكون) تستخدم في تصنيع المزدوجات الحرارية. ويبين الجدول (٥ – ١) مواد أخرى مختلفة ومكوناتها ونطاق درجة حرارة التطبيق.

الجدول (٥ – ٢) المواد المستخدة فى تصنيع المزدوجات الحرارية ونطاق درجات الحرارة

المادة ومكوناتها	نطاق درجات الحرارة (درجة مئوية)	معامل درجات الحرارة (ميكرو فولت / درجة حرارة)
بلاتنيوم ٣٠% وروديوم/بلاتين ٦% وروديوم	من صفر الى ١٨٠٠	٣
كروم /كونستانتان	من –٢٠٠ الى ١٠٠٠	٦٣
حديد / كونستانتان	من –٢٠٠ الى ٩٠٠	٥٣
كروم / أليوميل	من –٢٠٠ الى ١٣٠٠	٤١
نيروزول/نيسيل	من –٢٠٠ الى ١٣٠٠	٢٨
بلاتنيوم/ بلاتنيوم وروديوم ١٣%	من صفر الى ١٤٠٠	٦
بلاتنيوم/ بلاتنيوم وروديوم ١٠%	من صفر الى ١٤٠٠	٦
نحاس /كونستانتان	من –٢٠٠ الى ٤٠٠	٤٣

❖ **تطبيقات المزدوجات الحرارية: (رصد درجات الحرارة والمكونات الكيميائية أثناء تصنيع الصلب – إختبار درجات الحرارة المرتبطة بخطط الإنتاج مثل مصافي النفط والمنتجات الكيميائية – إختبار سلامة أجهزة التدفئة – درجة حرارة التنميط في الأفران والأفران والقمائن – قياس درجة الحرارة الغازات التربونية وعوادم المحركات – رصد درجات الحرارة في جميع خطوات الإنتاج وعملية الصهر في صناعة الصلب والحديد والألومنيوم).**

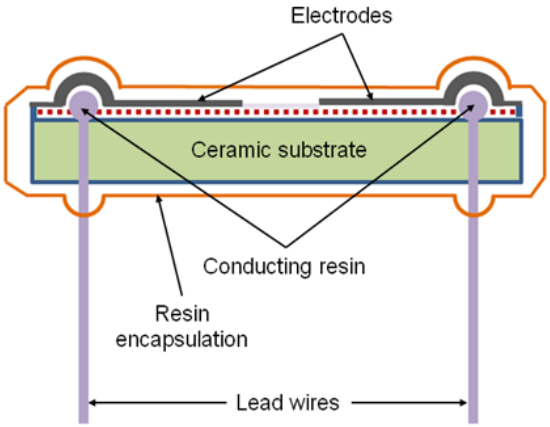
➢ **أجهزة إستشعار الضوء**

جهاز إستشعار الضوء هو جهاز يستخدم للكشف عن الضوء وهناك أنواع مختلفة من أجهزة كشف الضوء الخفيفة منها الخلايا والمقاومات الضوئية والثنائيات الضوئية وتستخدم فى الصناعات التحويلية وغيرها من التطبيقات الصناعية وتسمى المقاومات الضوئية أيضا المقاومات المعتمدة على الضوء [٥١]. تتناقص مقاومة المقاومات الضوئية مع زيادة كثافة الضوء الناشئ. مصنوعة من مادة أشباه الموصلات عالية المقاومة مثل كبريتيد الكادميوم.

---

٥١ المقاومات المعتمدة على الضوء (Photoresistor is also called as light dependent resistor (LDR)

تتناسب مقاومة المقاومات الضوئية المصنوعة من كبريتيد الكادميوم عكسيا مع كمية الضوء الواقع عليها. تتبع المقاومات الضوئية مبدأ الموصلية الضوئية الناتجة عن توليد الشحنات المتحركة عندما تمتص مادة أشباه الموصلات الفوتونات.



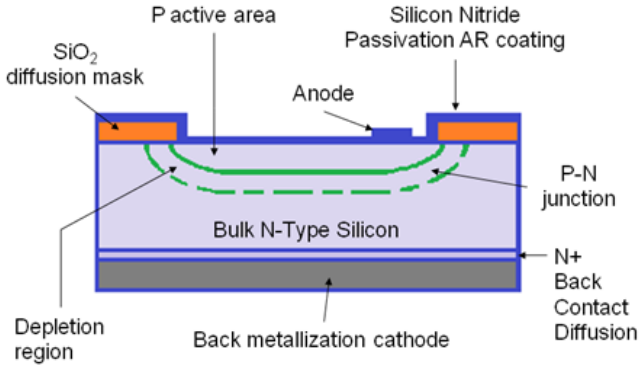
الشكل (٥ – ٤٣) تكوين المقاومة الضوئية

يوضح الشكل (٥ – ٤٣) تكوين المقاومة الضوئية. تشكل مقاومة كبريتيد الكادميوم على ركيزة من السيراميك ويتم تغليفها بمادة صمغية ويتم توصيل أطراف الملف الحساس بنظام تحكم من خلال أطراف سلكية. في حالات تعرض الأقطاب الكهربائية لكثافة ضوء عالية، تتناقص مقاومة الملف التي تستخدم لتوليد إشارة ملائمة بواسطة المعالج عبر أسلاك الرصاص. تستخدم المقاومات الضوئية في العلم وفي أي فرع من فروع الصناعة للرقابة والسلامة، والتسلية، وإستنساخ الصوت، التفتيش والقياس.

❖ تطبيقات المقاومات الضوئية : (فى أجهزة الكمبيوتر والهواتف اللاسلكية وأجهزة التلفزيون، إستخدام أجهزة إستشعار الضوء المحيط للتحكم فى سطوع الإضاءة على الشاشة تلقائياً – عمل الباركود للماسحات الضوئية المستخدمة في مواقع متاجر التجزئة بإستخدام تقنية إستشعار الضوء – الفلاش الأتوماتى للكاميرا – التحكم في العمليات الصناعية – في الفضاء وعلم الإنسان الآلي: للتحكم وتوجيه الحركة فى المركبات والروبوتات وجهاز إستشعار الضوء يساعد الروبوتات للكشف عن مصدر الضوء ويمكن برمجة الروبوتات لردود فعل محددة إذا تم الكشف عن كمية معينة من الضوء.

❖ ثنائيات أشباه الموصلات الضوئية

الثنائيات الضوئية هى عناصر لتحويل الضوء الواقع الى تيار كهربائي وهى مصنوعة من السيلكون وهى تتألف من وصلة شبه موصل (ب – ن) رفيعة، عادة تتكون من طبقة موصلية (ب) على طبقة موصلية (ن)، عندما يتعرض الثنائى الضوئى الى الفوتونات الضوئية بطاقة أكبر من الفجوة الطاقية للسيلكون ١و١ إلكترون فولت، سوف تمتص وينشأ أزواج من الإلكترونات والثقوب وعمق الفوتونات الممتصة يعتمد على كمية طاقتها. الفوتونات الممتصة ذات الطاقة الأقل هى الأكثر عمقا مما يسبب إنحراف أزواج من الإلكترونات والثقوب، عندما تصل الشحنات الأقلية الى الوصلة سوف يتم سحبها بواسطة المجال الكهربائى وينشأ تيار كهربائى. الثنائيات الضوئية هي أحد أنواع الكاشفات الضوئية، التى تحول الضوء إلى التيار أو الجهد وهي صمامات أشباه موصلات للكشف عن الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة السينية [٥٢] وتشتمل على فتحة للسماح للضوء الوصول إلى الجزء الحساس من الجهاز.



الشكل (٥ – ٤٤) تكوين صمام ثنائي كاشف

الشكل (٥ – ٤٤) بناء صمام ثنائي ضوئى كاشف مكون من رقائق السليكون أحادى البلورة وهى عنصر ذو وصلة (ب – ن) , الطبقة العليا من مادة موصلية (ب) وهى طبقة رقيقة جداً وتم تشكيلها بتقنية الإنتشار الحرارى أو غرس أيون من مادة مطعمة بمادة مثل

---

٥٢ الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة السينية (vacuum UV or X-rays) Ultraviolet (UV) light is an electromagnetic radiation with awavelength from 400 nm (750 THz) to 10 nm (30 PHz), shorter than that of visible light but longer than X-rays.

البورن, المنطقة العازلة أو المستنزفة ذات سمك رفيع جداً وهي محصورة بين طبقة (ب) والركيزة الأساسية من السيلكون ذو موصلية (ن) , يقع الضوء على السطح الأمامي، الأنود، بينما السطح الخلفي هو الكاثود, الضوء الواقع على الأنود يولد تدفق من الإلكترونات خلال الوصلة (ب – ن) والتى تعتبر مقباس لشدة الضوء .

❖ تطبيقات الصمامات الضوئية [٥٣]:

- التصوير بالكاميرا: مقاييس الضوء، التحكم فى غطاء العدسة، التركيز التلقائي، التحكم فى فلاش التصوير الفوتوغرافي.
- التقنيات الطبية: ماسحات التصوير الطبقي المحوري المحوسب [٥٤]، كشف الأشعة السينية، نبضات قياس الإكسوجين، تحليل جسيمات الدم.
- الصناعة: ماسحات الباركود، الأقلام الضوئية، عناصر تحكم السطوع، البرمجة، أجهزة إستشعار الوضع، أجهزة المسح، كثافة أحبار الناسخات.
- معدات السلامة: كاشفات الدخان، شاشات اللهب، معدات التفتيش الأمنية بالأشعة السينية فى المطارات، تنبيه الدخيل– كنظام الأمن.
- السيارات: المصابيح الباهتة، كاشفات الشفق [٥٥]، التحكم في المناخ وكاشف لأشعة الشمس.
- الإتصالات: وصلات الألياف البصرية، جهاز التحكم البصري عن بعد.

---

٥٣ تطبيقات الصمامات الضوئية (Applications of photo diodes) Camera: Light Meters, Automatic Shutter – Control, Auto–focus, Photographic Flash Control Medical: CAT Scanners – X ray Detection, (Pulse Oximeters, Blood Particle Analyzers)

٥٤ ماسحات التصوير الطبقي المحوري المحوسب (computerized axial tomography scan (CAT scan، makes use of computer–processed combinations of many X–ray images from different angles to produce (tomographic) images (virtual 'slices') of specific areas of a scanned object, allowing user to see inside the object without cutting.

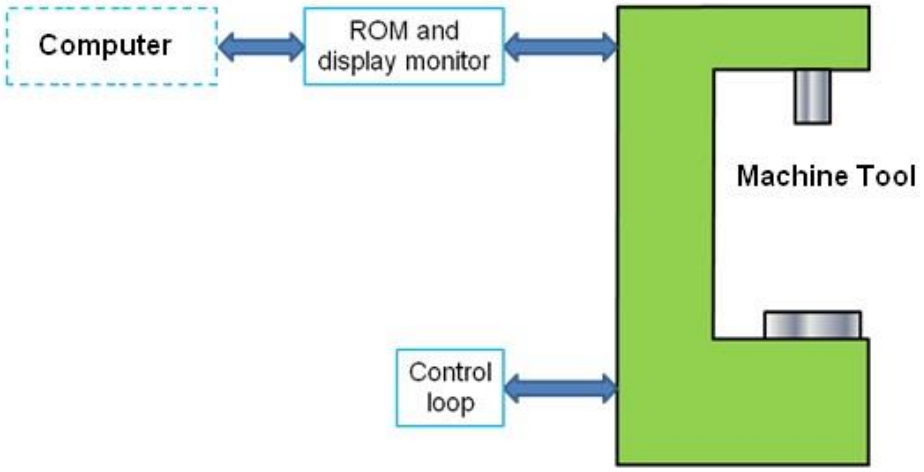
٥٥ كاشفات الشفق Twilight is the illumination of the Earth's lower atmosphere when the Sun itself is not directly visible because it is below the horizon.

٥ – ٥ أسس برمجة الآلات بإستخدام الحاسب الآلي

يشتمل برنامج تشغيل الآلات بإستخدام الحاسب الآلي على مجموعة من التعليمات البرمجية الخاصة لأداة القطع بالماكينة ويتكون من: (معلومات حول هندسة الجزء المراد تشغيلة – بيانات الحركة لتحريك أداة القطع – سرعة القطع – التغذية – الوظائف الإضافية مثل تشغيل نظام التبريد، إتجاه محور الدوران) ٠ سوف يتم مناقشة تنسيق نظم الآلات وأدوات القطع وكيفية عملها.

❖ أدوات القطع فى الآلات

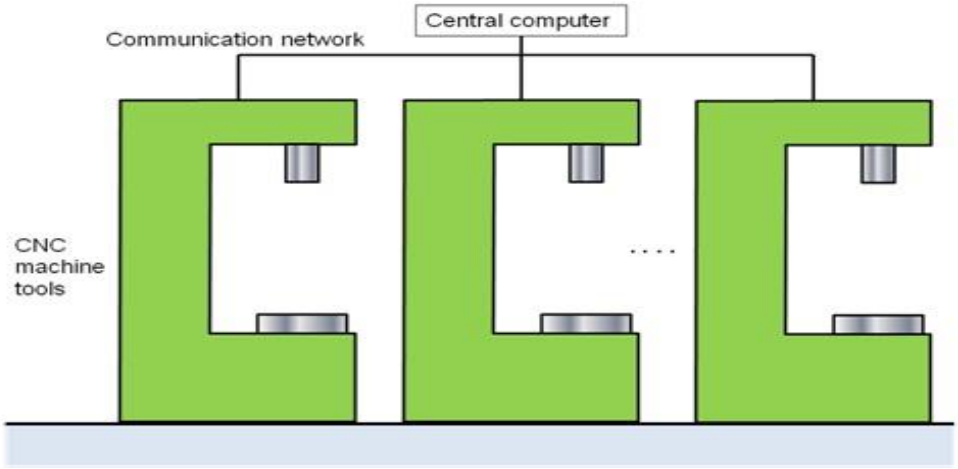
يوضح الشكل (٥ – ٤٥) نموذج لتخطيط أداة القطع بآلة التصنيع بإستخدام الحاسب وتتكون من وحدة تحكم الآلة [٥٦] وأداة القطع نفسها. تعتبر وحدة تحكم الآلة هي المسيطرة على أداة القطع في الماكينة تقرأ البرامج وتتحكم قى تشغيل أدوات القطع ثم تقوم بفك ترميز برنامج الجزء تحت التشغيل لتوفر أوامر وتعليمات لمراقبة مختلف محاور الآلة للحركة ونظم آلات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلى لها حدود تشغيل.



الشكل (٥ – ٤٥) التخطيطي لأداة القطع بآلة التصنيع بإستخدام الحاسب

٥٦ وحدة تحكم الآلة Machine Control Unit (MCU)

إذا تم إستخدام برنامج التحكم العددى لمختلف الآلات والأدوات فيجب تحميل برنامج الجزء بشكل منفصل الخاص بالماكينة ويعتبر ذلك مضيعة للوقت، ويشمل مهام متكررة ولهذا الغرض تم تطوير نظام تحكم رقمي مباشر [٥٧].



الشكل (٥ – ٤٦) تخطيط لنظام تحكم رقمي مباشر

يوضح الشكل (٥ –٤٦) تخطيط لنظام تحكم رقمي مباشر يتكون من جهاز حاسب مركزي متصل بمجموعة أدوات آلة التصنيع من خلال شبكة إتصال بإستخدام بروتوكول تحكم قياسي بالإرسال [٥٨] من خلال إنترنت بروتوكول أو بروتوكول أتمتة التصنيع [٥٩]. يمكن مراقبة نظام التحكم الرقمي المباشر مركزياً عندما يتعامل عمال مختلفين في ورديات مختلفة على ماكينات مختلفة.

---

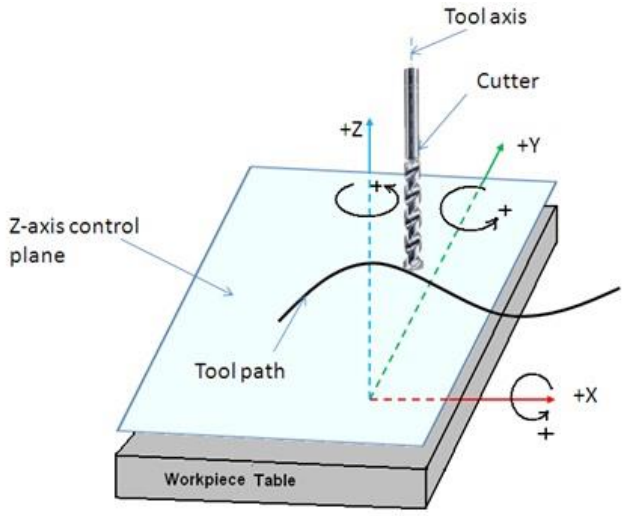
٥٧ نظام تحكم رقمي مباشر (direct numerical control (DNC) system)

٥٨ بروتوكول تحكم قياسي بالإرسال (The Transmission Control Protocol (TCP) is a core protocol of the Internet protocol suite. It originated in the initial network implementation in which it complemented the Internet Protocol (IP). Therefore, the entire suite is commonly referred to as *TCP/IP*.)

٥٩ بروتوكول أتمتة التصنيع Manufacturing Automation Protocol was a computer network standard released in 1982 for interconnection of devices from multiple manufacturers. It was developed by General Motors to combat the proliferation of incompatible communications standards used by suppliers of automation products such as programmable controllers

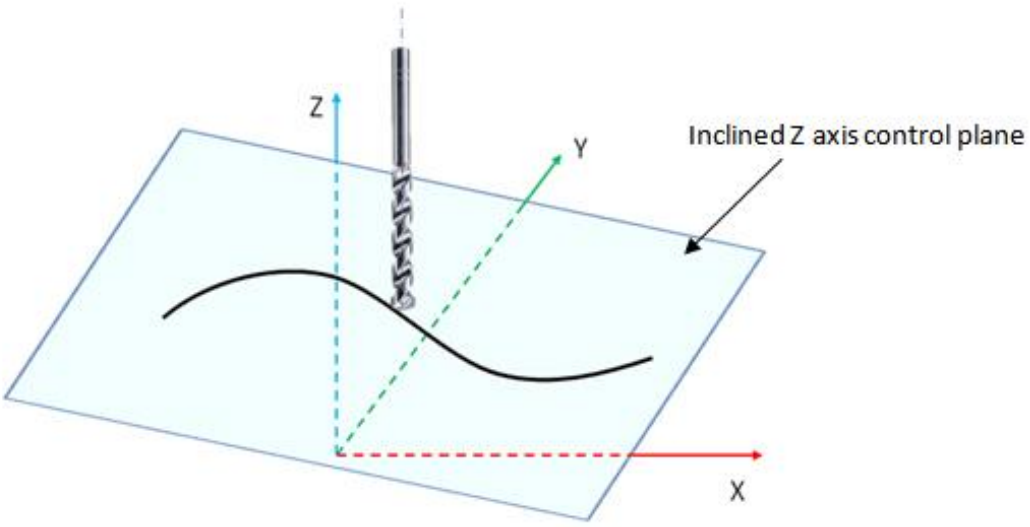
❖ **محاور أداة القطع فى آلات التصنيع بإستخدام الحاسب**

كل محور للحركة لأداة القطع فى آلات التصنيع بإستخدام الحاسب، مزود بجهاز تشغيل ليحل محل العجلة اليدوية لأداة القطع فى الآلات التقليدية. يتم تعريف محور الحركة بأنه أحد المحاور التي تحدث فيها الحركة النسبية بين أداة القطع والجزء تحت التشغيل ويشار إلى هذه المحاور الأساسية على أنها المحاور (س، ص، ع) وتشكل نظام الإحداثيات لأداة القطع فى الآلات. يوضح الشكل (٥ – ٤٧) نظام الإحداثيات ومحاور الحركة لأداوات الآلات النموذجية ٠ صممت أدوات قطع الآلات التقليدية بعدد من محاور الحركة التى يمكنها التحكم فى وضع أداة القطع وتوجيهها. إذا أمكن التحكم فى أداة قطع الآلة بشكل مستمر فى محورين، تصنف على أنها ماكينة ذات محورين وتكون أداة القطع موازية ومستقلة ومسيطرة على طول المحور الثالث وهذا يعني أن أداة قطع الماكينة يتم توجيهها على طول محيط المحورين مع حركة مستقلة محددة على طول المحور الثالث (ع) حيث أنه موازي للمستوى (س ص).



الشكل (٥ – ٤٧) محاور أدوات قطع الآلات

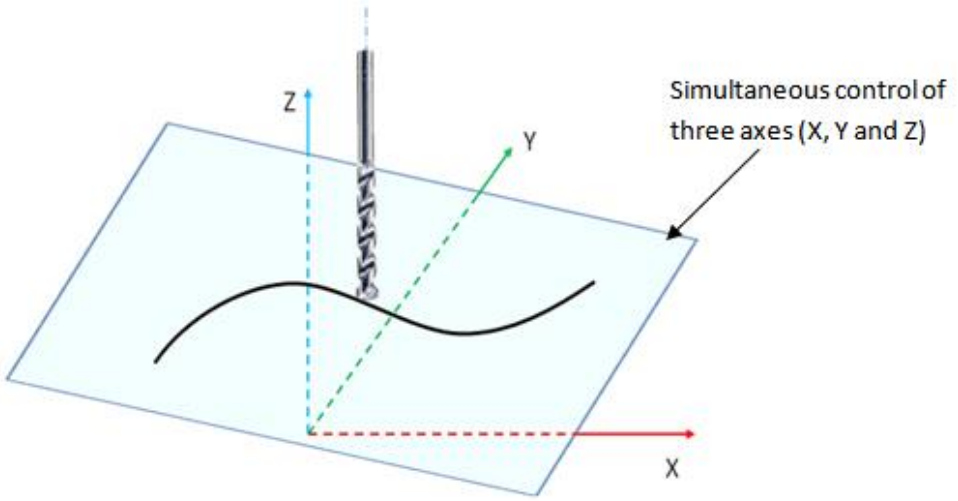
في هذا النوع من أداة قطع الآلة، يمكن التحكم فى أداة القطع حتى تتبع المحور الثالث (ع) بميل وهو ما يسمى كأداة الآله ذات محورين ونصف – يوضح الشكل (الشكل ٥ – ٤٨) نظام المحاور في أداة ماكينة ذات محورين ونصف.



الشكل (٥ – ٤٨) محاور أداة قطع الماكينة ذات محورين ونصف

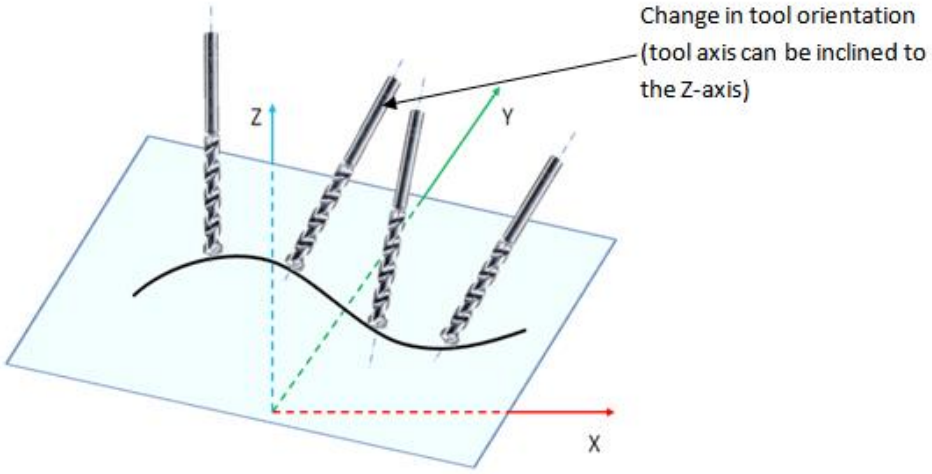
❖ المحاور لماكينة أدوات قطع متعددة

يتم التحكم فى أداة القطع على طول المحاور الثلاثة (س، ص، ع) في نفس الوقت، ولكن لا يتغير إتجاه أداة القطع مع حركة الأداة كما هو موضح في الشكل (٥ – ٤٩). إذا تغير إتجاه محور الأداة مع الحركة في الأبعاد الثلاثة، تتحول إلى ماكينة متعددة المحاور (أربع أو خمسة أو ست محاور).



الشكل (٥ – ٤٩) أدوات قطع الآلات ذات ثلاث محاور

يوضح الشكل (٥ – ٥٠) تخطيط لأداة الحركة في أداة آلة التصنيع بإستخدام الحاسب المتعددة المحاور.



الشكل (٥ – ٥٠) أداة الآله متعددة المحاور

❖ **هيكل البرنامج بإستخدام الحاسب الآلي**

هناك أربعة مصطلحات أساسية مستخدمة في البرمجة بإستخدام الحاسب الآلي على النحو التالي: (حرف، كلمة، كتلة، البرنامج).

- **(الحرف) هو أصغر وحدة للبرنامج ويمكن أن يكون رقم / حرف / رمز.**
- **(الكلمة) هى خليط من أحرف وأرقام تؤدي إلى إنشاء أحد التعليمات على ماكينة التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي. كل كلمة تبدأ بحرف كبير، متبوعاً برقم تستخدم لتمثيل مواقع المحاور، معدل التغذية، السرعة، الأوامر التحضيرية ومهام متنوعة.**
- **(الكتلة) جزء من البرنامج يحتوي على كلمات متعددة، متتابعة في ترتيب منطقي للمعالجة.**
- **(البرنامج) يتألف من عدة أسطر من التعليمات، "الكتل" التي سيتم تنفيذها بواسطة وحدة تحكم الجهاز. يوضح الشكل (٥ – ٥١ أ) عينة لبرنامج ماكينة تصنيع بإستخدام الحاسب الآلي تتكون من ثلاثة مقاطع هي قسم الأوامر الأولية؛ القسم الرئيسي؛ قسم التعليمات النهائية.**

الشكل (٥ – ٥١ أ) برنامج بسيط لألات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلى

```
%                                                    //% symbol
O0012                                                //Program number and ID
(Sample program structure for demonstration)         //Program description
N10  G21                                             //Units setting
N20  G40  G80  G49                                   //Initial commands
N30  T01                                             //Tool T01 in waiting position
N40  M06                                             //replace present tool at spindle by T01
.
.
.
N100 G01  X20.0     Y34.0                            //Linear interpolation
N110 Y100.0                                          //Linear interpolation
N120 G00  X100.0                                     //Linear interpolation: rapid mode
N130 G01  Y20.0                                      //Linear interpolation at given feed rate
.
.
.
N200 G80  Z40.0     M09                              //Cycle cancel
N210 G28  Z40.0     M05                              //Home in z only
N220 G28  X...      Y...                             //Home in XY only
N240 M30                                             //End of program
%                                                    //Stop code
```

في مقطع الأوامر الأولية يشار الى، رقم البرنامج، ويمثل رموز السلامة الأولية التحضيرية مثل 'إلغاء كافة الدورات المفعّلة بالبرنامج السابق تحديدها. في القسم الرئيسي يشار الى، الأوامر/التعليمات المتصلة بحركات محاور أدوات القطع بماكينة التصنيع، تجدر الإشارة لتغيير أداة القطع إلخ ٠٠٠، في النهاية، الأوامر وتعليمات إلغاء الأمر كصاروخ موجه للأداة لإنهاء البرنامج. يحدد الحرف (G) خاصية الأمر وغالبا ما يسمى الكود (G). ويستخدم للإعداد المسبق لنظام التحكم للشروط المطلوبة أو بوضع معين لحالة التشغيل، فعلى سبيل المثال الكود (G01) للإعداد المسبق للإستيفاء الخطي عند سرعة تغذية معطاة ولكنها لا تحرك أي من المحاور.

الجدول (٥ – ٥١ ب) الكود (G) لتشغيل ماكينات الطحن وتحويل عمليات التشغيل

G00	Rapid Linear Positioning	G55	Work Coordinate System 2 Selection
G01	Linear Feed Interpolation	G56	Work Coordinate System 3 Selection
G02	CW Circular Interpolation	G57	Work Coordinate System 4 Selection
G03	CCW Circular Interpolation	G58	Work Coordinate System 5 Selection
G04	Dwell	G59	Work Coordinate System 6 Selection
G07	Imaginary Axis Designation	G60	Single Direction Positioning
G09	Exact Stop	G61	Exact Stop Mode
G10	Offset Value Setting	G64	Cutting Mode
G17	XY Plane Selection	G65	Custom Macro Simple Call
G18	ZX Plane Selection	G66	Custom Macro Modal Call
G19	YZ plane Selection	G67	Custom Macro Modal Call Cancel
G20	Input In Inches	G68	Coordinate System Rotation On
G21	Input In Millimeters	G69	Coordinate System Rotation Off
G22	Stored Stroke Limit On	G73	Peck Drilling Cycle
G23	Stored Stroke Limit Off	G74	Counter Tapping Cycle
G27	Reference Point Return Check	G76	Fine Boring
G28	Return To Reference Point	G80	Canned Cycle Cancel
G29	Return From Reference Point	G81	Drilling Cycle, Spot Boring
G30	Return To 2nd, 3rd and 4th Ref. Point	G82	Drilling Cycle, Counter Boring
G31	Skip Cutting	G83	Peck Drilling Cycle
G33	Thread Cutting	G84	Tapping Cycle
G40	Cutter Compensation Cancel	G85	Boring Cycle
G41	Cutter Compensation Left	G86	Boring Cycle
G42	Cutter Compensation Right	G87	Back Boring Cycle
G43	Tool Length Compensation + Direction	G88	Boring Cycle
G44	Tool Length Compensation - Direction	G89	Boring Cycle
G45	Tool Offset Increase	G90	Absolute Programming
G46	Tool Offset Double	G91	Incremental Programming
G47	Tool Offset Double Increase	G92	Programming Of Absolute Zero
G48	Tool Offset Double Decrease	G94	Feed Per Minute
G49	Tool Length Compensation Cancel	G95	Feed Per Revolution
G50	Scaling Off	G96	Constant Surface Speed Control
G51	Scaling On	G97	Constant Surface Speed Control Cancel
G52	Local Coordinate System Setting	G98	Return To Initial Point In Canned Cycles
G54	Work Coordinate System 1 Selection	G99	Return To R Point In Canned Cycles

يحدد الحرف (N) وظائف متنوعة في برنامج الحاسب الآلي لماكينات التصنيع ويسمى أيضا كوظيفة للماكينة. ترشد هذه المهام أداة قطع الماكينة للعمليات المختلفة مثل: تحريك محور دوران، تغيير نطاق ترس الحركة، التغيير التلقائي لأداة القطع، عملية التبريد، إلخ. الكود (G) و (N) هي خاصة بالشركات المصنعة لوحدة التحكم.

الجدول (٥ – ٥١ ج) الكود (G) لتحويل عمليات التشغيل

G00	Rapid Linear Positioning
G01	Linear Feed Interpolation
G02	CW Circular Interpolation
G03	CCW Circular Interpolation
G04	Dwell
G07	Hypothetical Axis Interpolation, Sine Curve
G09	Exact Stop
G10	Offset Value Setting
G20	Input In Inches
G21	Input In Millimeters
G22	Stored Stroke Limit On
G23	Stored Stroke Limit Off
G27	Reference Point Return Check
G28	Return To Reference Point
G29	Return From Reference Point
G30	Return To 2nd, 3rd, and 4th Reference Point
G31	Skip Cutting
G32	Thread Cutting
G34	Variable Lead Thread Cutting
G36	Automatic Tool Comp. X
G37	Automatic Tool Comp. Z
G40	Tool Nose Rad. Comp. Cancel
G41	Tool Nose Radius Comp. Left
G42	Tool Nose Radius Comp. Right
G50	Programming Of Absolute Zero
G65	User Macro Simple Call
G66	User Macro Modal Call
G67	User Macro Modal Call Cancel
G68	Mirror Image For Double Turrets On
G69	Mirror Image For Double Turrets Off
G70	Finishing Cycle
G71	Stock Removal, Turning
G72	Stock Removal, Facing
G73	Repeat Pattern
G74	Peck Drilling, Z Axis
G75	Grooving, X Axis
G76	Thread Cutting Cycle
G90	Cutting Cycle A
G92	Thread Cutting Cycle
G94	Cutting Cycle B
G96	Constant Surface Speed Control
G97	Constant Surface Speed Cancel
G98	Feed Per Minute
G99	Feed Per Revolution
G90	Absolute Programming
G91	Incremental Programming

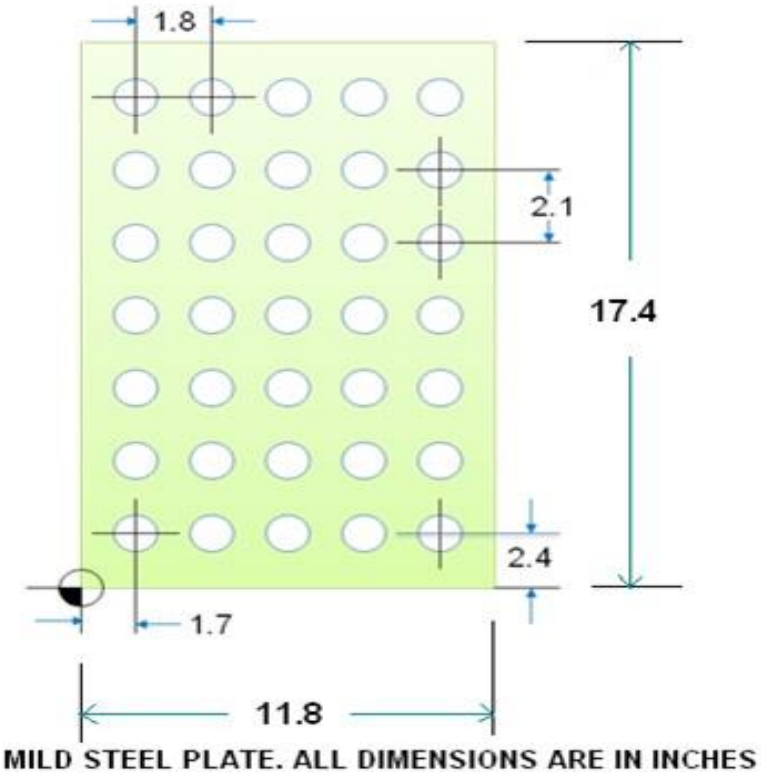
الجدول (٥ – ٥١ د) الكود (M) لتشغيل ماكينات الطحن

M00	Program Stop
M01	Optional Stop
M02	End of Program
M03	Spindle On CW
M04	Spindle On CCW
M05	Spindle Stop
M06	Tool Change
M07	Mist Coolant On
M08	Flood Coolant On
M09	Coolant Off
M19	Spindle Orientation On
M20	Spindle Orientation Off
M21	Tool Magazine Right
M22	Tool Magazine Left
M23	Tool Magazine Up
M24	Tool Magazine Down
M25	Tool Clamp
M26	Tool Unclamp
M27	Clutch Neutral On
M28	Clutch Neutral Off
M30	End Program, Stop and Rewind
M98	Call Sub Program
M99	End Sub Program

❖ برمجة ماكينات التثقيب بإستخدام الحاسب الآلي

كيفية كتابة جزء من برنامج التصنيع لعمل الثقوب كمثال لممارسة ودراسة مختلف المهام التحضيرية والمتنوعة المرتبطة بعملية التثقيب. فمثلا كتابة برنامج بإستخدام الحاسب الآلي لتثقيب ٣٥ ثقب بقطر ٥و٠ بوصة كما هو موضح في الشكل (٥– ٥٢) في لوح مسطح من

الصلب بسمك ٠,٤ بوصة وتحديد الوظائف المستخدمة في التعليمات البرمجية لماكينة التصنيع بإستخدام بالحاسب الآلي.



الشكل (٥ – ٥٢) لوح مسطح من الصلب بالأبعاد المبينة والمطلوب تثقيبها

إستناداً إلى التعليمات البرمجية G وM، يمكن كتابة البرنامج للتحكم فى ماكينة التثقيب فانوك حيث تشير كل كتلة من البرنامج كما يلي:

- الكتلة ١: تشير إلى بداية البرنامج
- الكتلة ٢: تحدد رقم البرنامج والتعريف بالبرنامج وعادة رمز لحرف أبجدى ورقمي وتبدأ دائماً مع الحرف '0'
- الكتلة ٣: تعيين إدخال أبعاد الوحدات فى تنسيق رئيسى
- الكتلة ٤, الكود G17: لتحديد مستوى التشغيل مثل المستوى (س – ص) – تستخدم الأكواد G40، G80، G49 لإلغاء كل الدورات المعتادة التي قد تركت في وضع

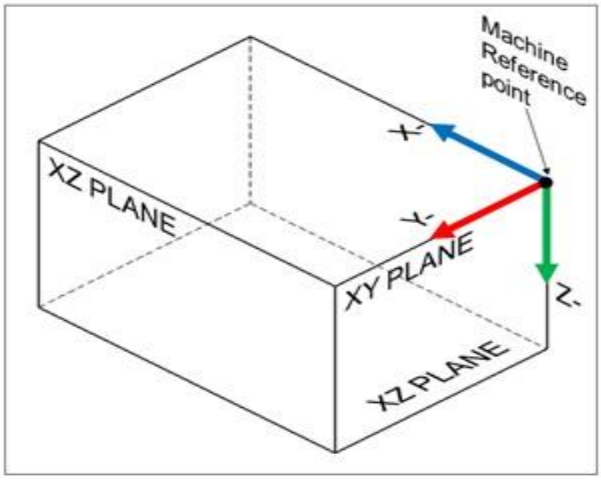
التشغيل أثناء تنفيذ التعليمات البرمجية الأخيرة لماكينة التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي، يحدد الكود G90 طريقة تحديد الأبعاد بشكل مطلق.

Block 1		%
2		O0001
3	N10	G20
4	N20	G17 G40 G80 G49 G90
5	N30	G92 X... Y... Z...
6	N40	M06 T01
7	N50	G00 X1.7 Y2.4 S900 M03
8	N60	G43 Z1.0 H01 M08
9	N70	G99 G81 R0.1 Z-0.4 F3.0
10	N80	G91 Y2.1 K6 (L6)
11	N90	X1.8
12	N100	Y-2.1 K6 (L6)
13	N110	X1.8
14	N120	Y2.1 K6 (L6)
15	N130	X1.8
16	N140	Y-2.1 K6 (L6)
17	N150	X1.8
18	N160	Y2.1 K6 (L6)
19	N170	G90 G80 M09
20	N180	G28 Z10 M05
21	N190	G28 X0 Y0
22	N200	M30
23		%

- الكتلة ٥: تعيين صفر البرنامج على الجزء تحت التشغيل وهناك ثلاث بيئات رئيسية في البرمجة التي تتطلب وضع علاقات رياضية.
  - الماكينة: أداة الماكينة ونظام المراقبة
  - الجزء: الجزء تحت التشغيل + الرسم + المادة
  - آداة القطع: الحامل + أداة القطع

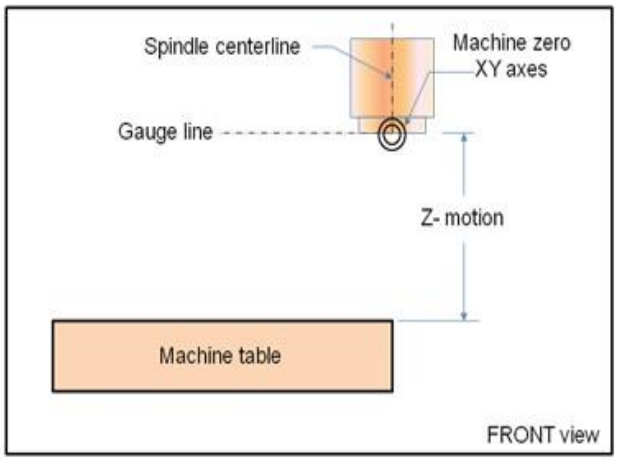
نقطة صفر التشغيل:

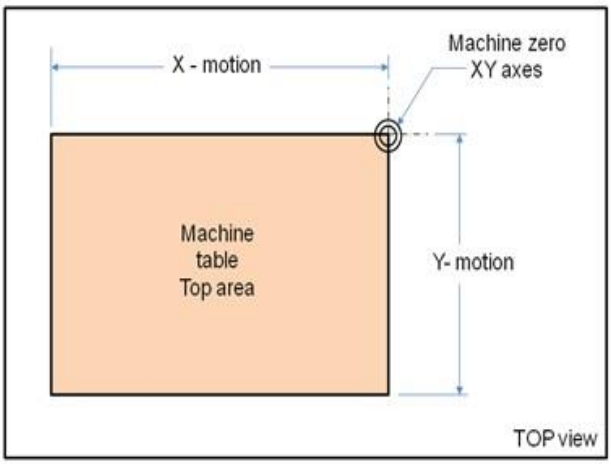
تسمى أيضا نقطة البدأ أو النقطة المرجعية فهى النقطة الأصلية لنظام إحداثيات ماكينة التصنيع. فى جميع آلات التصنيع بإستخدام الحاسب، تقع نقطة الصفر في النهاية الموجبة لكل نطاق لحركة المحور ويوضح الشكل (٥ – ٥٣) حجم التشغيل والمستويات المختلفة.



الشكل (٥ – ٥٣) حجم التشغيل والنقطة المرجعية للآلة

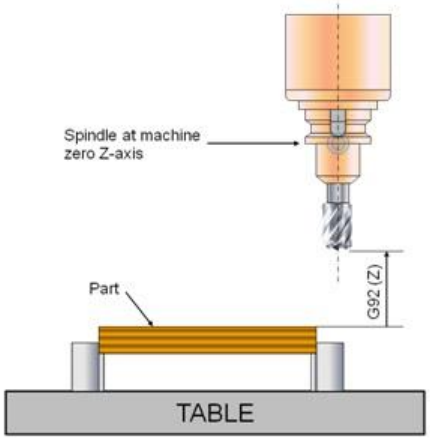
تحدد نقطة التشغيل المرجعية في نهاية النطاقات الموجبة (س – ص – ع) للمحاور، يوضح الشكل (٥ – ٥٤) والشكل (٥ – ٥٥) تقديم آراء واضحة للنقطة المرجعية للماكينة. تتفهم وحدة مراقبة الماكينة المقدمة فيما يتعلق بالنقطة المرجعية للأبعاد ويوفر المبرمج الأبعاد على الرسومات التي تستند إلى نظام الإحداثيات المحلية لأي جزء من نظام الإحداثيات كما يوضع الجزء الجاهز للتشغيل على حدود حركة أداة التثقيب. النقطة المرجعية للجزء معروفة بأنها صفر البرنامج أو صفر الجزء تحت التشغيل وغالباً ما يتم تحديده على الجزء نفسه أو على الحامل. يوضح الشكل (٥ – ٥٦) وضع صفر الجزء في الزاوية اليسرى السفلي على السطح العلوي للجزء المراد تشغيله. يجب وضع إحداثيات صفر البرنامج بالنسبة الى نقطة صفر الماكينة متصلا بوحدة تحكم الماكينة [٥٢] حيث أنها تقوم بتحويل جزء البرنامج بالإشارات المطلوبة للتحكم في أدوات قطع الماكينات ويمكن تحقيق ذلك بإستخدام رمز تحضيري 'G92' وبناء جملة G92 كما يلي: G92 X... Y... Z... لإستخدام هذا الأمر يحتاج المشغل الحصول على مسافة الحركة بواسطة نقطة إتصال أداة القطع (نقطة النهاية) من مكان أداة التثقيب لوضع صفر البرنامج وهذا يتم بتلامس أداة القطع عند نقطة الجزء صفر. مع ملاحظة المسافات (س – ص – ع) من شاشة عرض الماكينة وكذلك بإستخدام الأمر G92 جنبا إلى جنب.

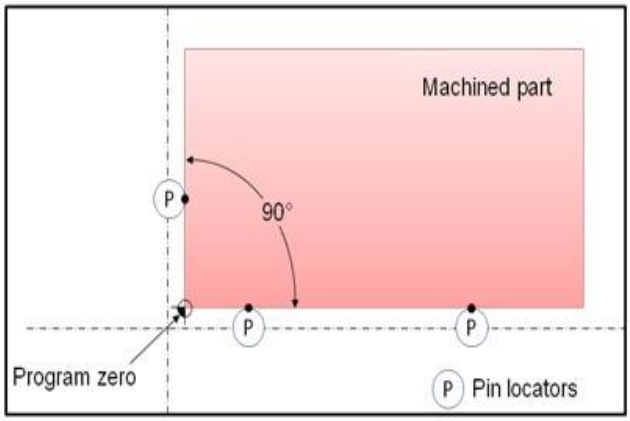




الشكل (٥ – ٥٤) مقطع أفقى لماكينة رأسية

الشكل (٥ – ٥٥) مقطع جانبى لماكينة رأسية





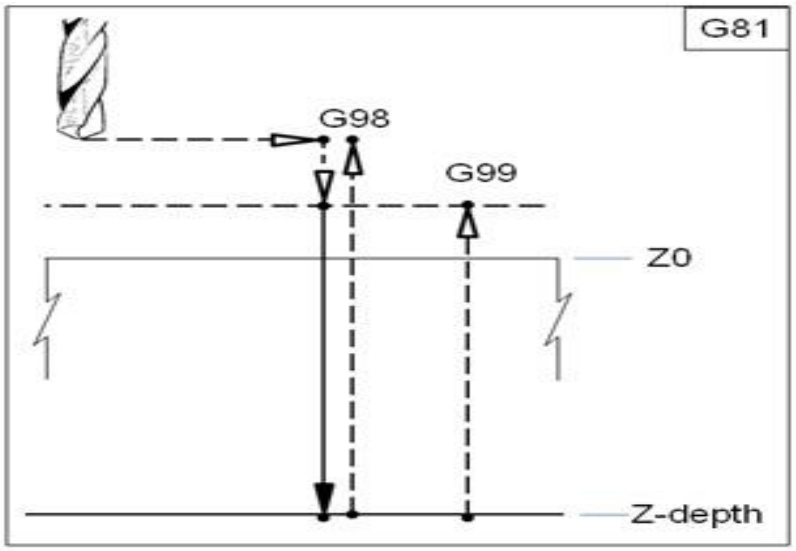
الشكل (٥ – ٥٦) وضع نقطة الصفر

الشكل (٥ – ٥٧) وضع نقطة الصفر البرنامج

يوضح الشكل (٥ – ٥٧) مسافة تلميح أداة القطع من صفر البرنامج إلى صفر الماكينة على طول الإتجاه ع.

- **الكتلة ٦: إستبدال أداة القطع الموجودة بالأداة رقم ١**
- **الكتلة ٧: الحركة السريعة للأداة من الموقع الأصلى إلى موضع الإشارة المرجعية: الثقب مع إحداثيات مفتاح التبديل .X1.7 – Y2.4 على محور الدوران بسرعة حوالي ٩٠٠ دورة في الدقيقة.**
- **دورة التثقيب بالكود (G81)**

G98 (G99) G81 X..Y..Z..F..	
الخطوة	وصف الدورة G81
الأولى	حركة سريعة الى الوضع س ص
الثانية	حركة سريعة الى المستوى R
الثالثة	معدل حركة التغذية الى العمق ع
الرابعة	تراجع سريع الى المستوى الإبتدائى بالكود G98 أو تراجع سريع للمستوى R بالكود G99



الشكل (٥ – ٥٨) دورة التثقيب الحفر المعلبة

- الكتلة ٨: النهج إلى وضع مأمون عند Z = ١ بسرعة. وفي الوقت نفسه يتم تنشيط تعويض طول أداة القطع بإستخدام G43 التى تستخدم لإتصال طول أداة القطع المسجلة في السجل رقم H01 بوحدة تحكم الآلة [٥٢] وتشغيل مفتاح التبديل الى وضع تدفق سائل التبريد.
- الكتلة ٩: عدد الثقوب المطلوبة – يتم إستخدام دالة خاصة أو دورة لهذا الغرض تسمى دورة تثقيب الحفر المعلبة [٦٠]. بناء الجملة والمعنى موضحة أدناه، يتم تحديد

٦٠ تسمى دورة التثقيب الحفر المعلبة (called as drilling canned cycle)

عدد الحركات والعناصر الإجرائية لعمليات التثقيب في مرة واحدة فقط بعد ذلك وضع الثقوب المطلوب تثقيبها سبق حفظه بوحدة تحكم الآلة.

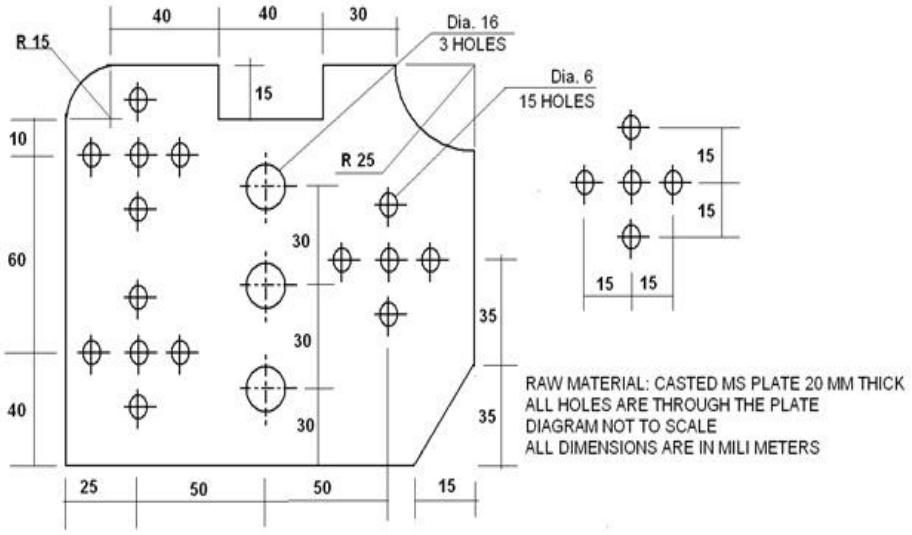
- الكتلة ١٠: تقترح مسافة الموقع التالي وتقترح أيضا القيام بعملية التثقيب نفسها ٦ مرات على طول المحور ص بزيادة ١و٢
- الكتلة ١١: حفر الثقب بزيادة ٨و١ على طول الإتجاه س
- الكتلة ١٢: القيام بعملية التثقيب ٦ مرات على طول المحور ص مع إنقاص ١و٢
- الكتلة ١٣: حفر الثقب في زيادة ٨و١ على طول إتجاه المحور س
- الكتلة ١٤: القيام بعملية الحفر ٦ مرات على طول المحور ص بزيادة ١و٢
- الكتلة ١٥: حفر الثقب في زيادة ٨و١ على طول إتجاه المحور س
- الكتلة ١٦: التثقيب ٦ مرات على طول المحور الصادي مع الإنقاص ١و٢
- الكتلة ١٧: حفر الثقب بزيادة ١,٨ على طول إتجاه المحور السينى
- الكتلة ١٨: التثقيب ٦ مرات على طول المحور الصادى بزيادة ١و٢
- الكتلة ١٩: إلغاء دورة التشغيل وإيقاف تدفق سائل التبريد.
- الكتلة ٢٠: إيقاف محور الدوران والذهاب إلى الموضع الآمن على طول إتجاه المحور (ع) عند النقاط صفر وصفر
- الكتلة ٢١: الذهاب إلى الموقع الأصلى عند س = صفر وص = صفر
- الكتلة ٢٢: إيقاف البرنامج التنفيذ
- الكتلة ٢٣: إنهاء البرنامج

يوضح الشكل (٥ – ٥٩) النموذج النهائي المطلوب تثقيبة بإستخدام ماكينة تصنيع عمودية مركزية [٦١] بإستخدام الحاسب الآلي. لكتابة برنامج كفء بإستخدام الحاسب الآلي مع فرض أن التسامح المطلوب فى التشطيب لا يزيد عن ٢ مم. بعد دراسة هندسة الجزء المطلوب – يتم إعداد البرنامج الرئيسي التالي والبرنامج الفرعي.

---

٦١ ماكينة تصنيع عمودية مركزية (CNC Vertical Machining Center)

Block		
1		%
2		O0001
3	N10	G21
4	N20	G40 G80 G49 G90
5	N30	G92 X… Y… Z…
6	N40	M06 T01
7	N50	G00 X-20 Y-20
8	N60	G43 Z10 H01 M08
9	N70	M03 S1000
10	N80	G01 Z-20 F50
11	N90	G41 X0 D01 F25
12	N100	Y110
13	N110	G02 X15 Y125
14	N120	G01 X55
15	N130	Y115
16	N140	X95
17	N150	Y125
18	N160	X125
19	N170	G03 X150 Y100
20	N180	G01 Y35
21	N190	X135 Y0
22	N200	X-20
23	N210	G00 Z10
24	N220	X25 Y40
25	N230	G99 G81 R10 Z-20 F30
26	N240	M98 P0002
27	N250	G90 X25 Y100
28	N260	M98 P0002
29	N270	G90 X125 Y70
30	N280	M98 P1002
31	N290	G80 M09
32	N300	G28 Z10 M05
33	N310	G28 X0 Y0
34	N320	M06 T02
35	N330	G00 X75 Y30
36	N340	G43 Z10 H02 M08
37	N350	M03 S800
38	N360	G99 G81 R10 Z-20 F30
39	N370	Y60
40	N380	Y90
41	N390	G80 M09
42	N400	G28 Z10 M05
43	N410	G28 X0 Y0
44	N420	M30
45		%



الشكل (٥ – ٥٩) مسطح مطلوب تشكيلة على ماكينة تصنيع عمودية مركزية

الجدول (٥ –٣) خطة العملية.

رقم العملية	العملية	إسم أداة القطع	رقم أداة القطع	الرقم الطولى المسجل	رقم القطر المسجل
١	كفاف التشطيب	نهاية مطحنة	T01	H01	D01
٢	تثقيب ثقوب بقطر ٦ مم	نهاية مطحنة	T01	H01	D01
٣	تثقيب ثقوب بقطر ١٦ مم	مثقاب	T02	H02	D02

البرنامج الفرعى:

Block 1		%
2		O0002
3	N10	G91 X15
4	N20	X-15 Y15
5	N30	X-15 Y-15
6	N40	X15 Y-15
7	N50	M99
8		%

تحديد معنى ومغزى كل كتلة فى البرنامج الرئيسي والفرعي ثم إعداد البرامج أعلاة إستناداً إلى خطة التشغيل الموضحة في الجدول (٥ – ٣).

- **الكتلة ١ الى ٥: التعليمات التحضيرية**

- **الكتلة ٦ الى ٨: إختيار وتغيير أداة القطع مثل T01؛ والإنتقال إلى الموقع الآمن**
- **الكتلة ٩: تشغيل عمود الدوران**
- **الكتلة ١٠: نهج العمق في تغذية معينة**
- **الكتلة ١١: تشغيل المنحدر– نهج الشغل مع التعويض نصف قطر أداة القطع نحو اليسار وبرمجة نقاط المسطح حيث تجد وحدة تحكم الماكينة خارج الموقع نقاط موقع أداة القطع وتبعاً لذلك يتم توجيه أدلة أداة القطع في الماكينة**
- **الكتلة ١٢ الى ٢١: إتمام برمجة مسطح الجزء تحت التشغيل بإستخدام أوامر الإستيفاء الخطية (G01) والدائرية (G02/G03) , بمجرد تنشيط هذه الأوامر لا تحتاج إلى التكرار في الكتل اللاحقة حتى تغيير المطلوب لإدراجه وتسمى هذه بالأوامر المشروطة**
- **الكتلة ٢٢: إيقاف منحدر التشغيل: أداة القطع سوف تخرج تماما عن المسطح**
- **الكتلة ٢٣ و٢٤: تقترب أداة القطع من العملية التالية بمعنى تثقيب ثلاثة ثقوب متماثلة**
- **الكتلة ٢٥: يتم تنشيط دورة التثقيب المعلبة**
- **الكتلة ٢٦ الى ٣٠: البرنامج الفرعي O0002 ويسمى بدأ التنفيذ وهو خيار متقدم يستخدم في برمجة ماكينات التصنيع بإستخدام الحاسب الآلي وهذا يلغي تكرار الكتل للقطع المتماثلة في أماكن مختلفة مما يقلل حجم البرنامج ويعزز كفاءة البرمجة يساهم البرنامج O0002 فى تحديد مواقع الثقوب التي ذكرت مع الأبعاد الإضافية، يمكن تنفيذ هذا البرنامج لتثقيب نمط الثقوب في أي مكان في الجزء تحت التشغيل**
- **الكتلة ٣١: إلغاء دورة التشغيل والتبديل لإيقاف تدفق سائل التبريد**
- **الكتلة ٣٢ و٣٣: الإنتقال إلى الموقع الرئيسي بأمان وغلق محور الدوران**
- **الكتلة ٣٤ الى ٣٧: تجهيز أداة ٢ لتثقيب ثقب قطرة ١٦ مم؛ تغيير الأداة ؛ وتشغيل محور الدوران ، فضلا عن التبريد**
- **الكتلة ٣٨ الى ٤٠: تنفيذ دورة التثقيب ثلاثة مواقع**

- **الكتلة ٤١ الى ٤٥: إرسال أداة القطع الى الموقف الأصلى بأمان؛ إيقاف تشغيل محور الدوران فضلا عن التبريد؛ وتوقف البرنامج**

٥ – ٦ الروبوتات الصناعية

➢ **مقدمة:**

الروبوت الصناعي آلة للأغراض العامة، والقابلة للبرمجة وتمتلك بعض الخصائص المجسمة التي تشبه الهيكل المادي البشري مثل الأذرع الميكانيكية للمهام المختلفة في الصناعة. تسمح أجهزة الإدراك الحسي للروبوتات الشبيهه بأجهزة الإستشعار التواصل والتفاعل مع الأجهزة الأخرى وإتخاذ قرارات بسيطة كما تستجيب أيضا للإشارات الحسية بطريقة مشابهة للبشر ومن المزايا التجارية والتكنولوجية العامة للروبوتات:

- **تعتبر الروبوتات بدائل جيدة للبشر في بيئات العمل الخطرة أو الغير مريحة.**
- **يقوم الروبوت بدوره عمله بالإتساق والتكرار التي يصعب على البشر تحقيقها على مدى فترات طويلة من العمل المتواصل.**
- **يمكن إعادة برمجة الروبوت عندما يتم الإنتهاء من تشغيل المهمة، ويمكن إعادة برمجتة وتجهيزه بالأدوات اللازمة لأداء مهمة مختلفة تماما.**
- **يمكن توصيل الروبوتات إلى أنظمة الكمبيوتر وأنظمة الروبوتات الأخرى. في الوقت الحاضر يمكن التحكم فى الروبوتات بتكنولوجيات التحكم باللاسلكى وقد عزز هذا من إنتاجية وكفاءة صناعة الأتمتة.**

➢ **تشريح الروبوت والسمات ذات الصلة**

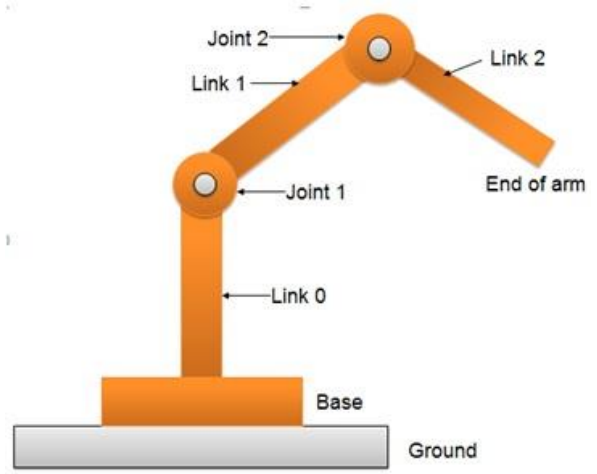
❖ **المفاصل والروابط**

يتكون هيكل الروبوت الصناعي من سلسلة من المفاصل والجوانب الأخرى لهيكل الروبوت كما توفر وصلات الروبوت الحركة النسبية بين وصلتين. توفر كل وصلة، أو محور، درجة لحرية الحركة [٦٢] وفي معظم الحالات، درجة واحدة من حرية الحركة المقترنة مع كل وصلة

---

٦٢ درجة لحرية الحركة (certain degree-of-freedom (dof) of motion)

ولذلك يمكن تصنيف تعقيد الروبوت وفقا للعدد الإجمالي لدرجات حرية حركتها. كل مفصل متصل بوصلتين للإرتباط وصلة إدخال ووصلة خرج كما توفر الوصلات المشتركة السيطرة على الحركة النسبية بين وصلتى الإدخال والإخراج وهي عنصر جامد فى هيكل الروبوت. تصمم معظم الروبوتات على قاعدة ثابتة، مثل الأرضية ومن هذه القاعدة، يتم ترقيم الوصلات المشتركة كما هو موضح في الشكل (٥ – ٦٨). القاعدة الروبوتية وتوصيلاتها بالمفصل الأول توصف بأنها الوصلة(صفر).

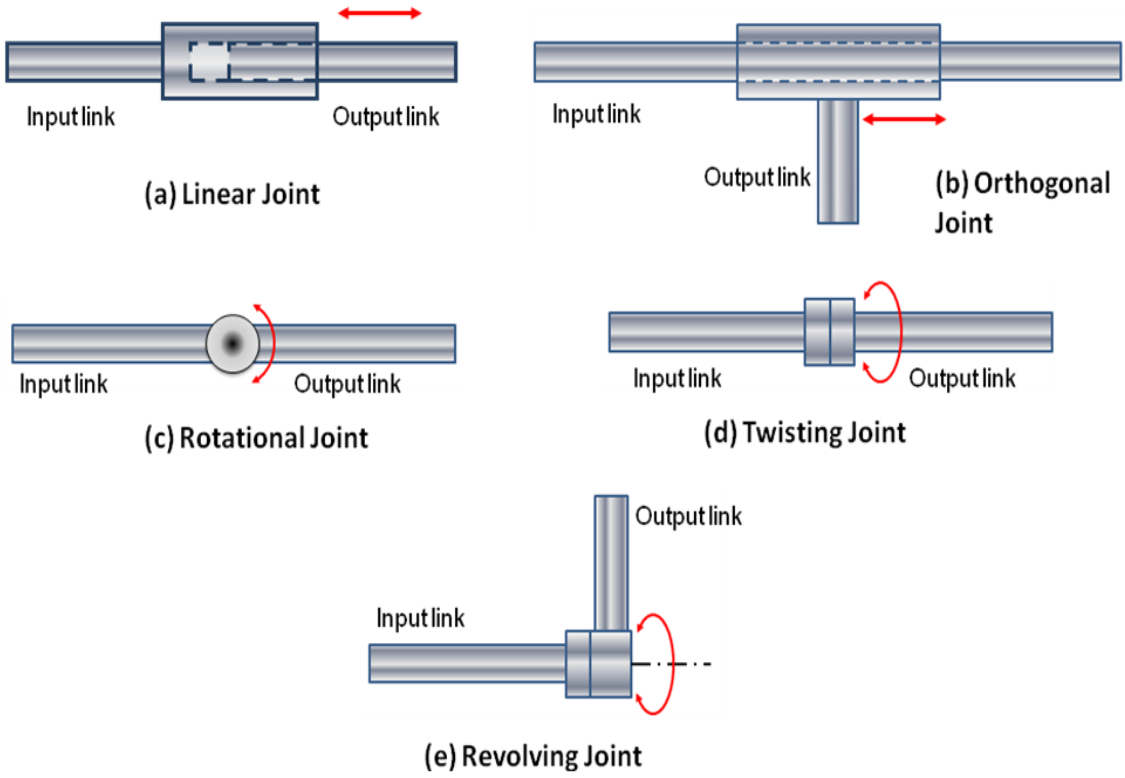


الشكل (٥ – ٦٨) مخطط الارتباط المشترك لهيكل الروبوت

الوصلة الأولى في التسلسل هى الوصلة (١)، الوصلة (صفر) هى مدخل الوصلة (١) بينما وصلة الخرج من الوصلة (١) هى وصلة الإدخال الى الوصلة (٢). يتبع مخطط ترقيم وصلات المفاصل لجميع المفاصل والروابط في النظم الروبوتية. جميع الروبوتات الصناعية ذات مفاصل ميكانيكية التي يمكن تصنيفها إلى الأنواع الخمسة التالية كما هو موضح في الشكل (٥ – ٦٩).

- الوصلات الخطية (النوع على شكل حرف L): تعتبر الحركة النسبية بين وصلة الإدخال ووصلة الإخراج ترجمة لإنزلاق الحركة، مع محورين متوازيين.
- الوصلات المتعامدة (النوع على شكل الحرف U): وهي أيضا ترجمة لإنزلاق الحركة، ولكن وصلات الإدخال والإخراج متعامدة على بعضها البعض أثناء التحريك.

- الوصلات الدائرية (النوع على شكل الحرف R): يوفر هذا النوع من الحركة الدائرية النسبية، مع محور الدوران العمودي لمحاور وصلات الإدخال والإخراج.

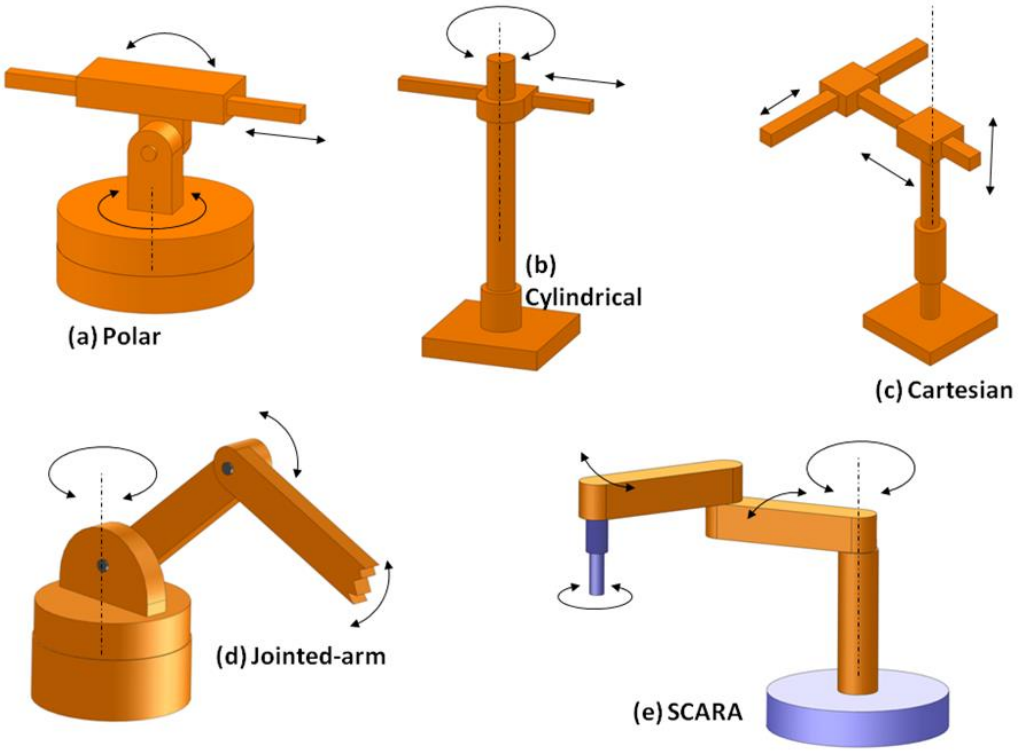


الشكل (٥ – ٦٩) تصنيف المفاصل الميكانيكية

- الوصلات الملتوية (النوع على شكل الحرف T): تنطوي هذه الوصلة أيضا على حركة دائرية، ولكن المحور أو إتجاه الدوران موازي لمحاور الوصلتين.
- الوصلات الدوارة (النوع على شكل الحرف V): في هذا النوع، محور وصلة الإدخال موازي لمحور دوران الوصلة ومع ذلك محور وصلة الإخراج عمودي على محور الدوران.

❖ تكوينات الروبوت الشائعة

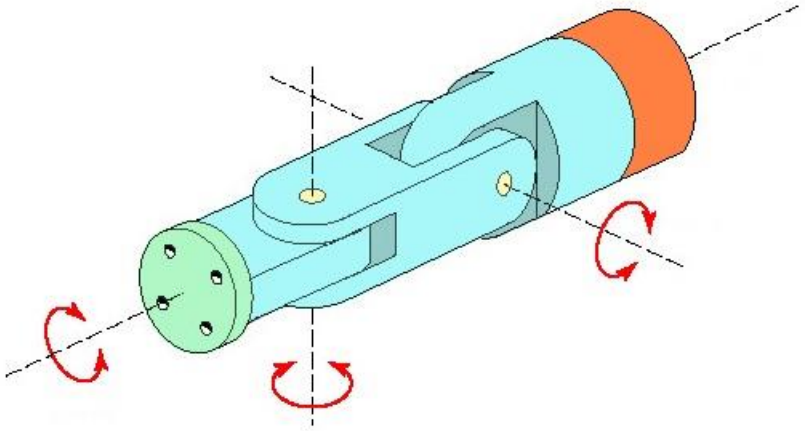
يتكون هيكل الروبوت من جزئين أي مجموعة الجسم والذراعان مع ثلاث درجات لحرية حركة الجسم والذراعان (درجتين أو ثلاث لحرية حركة) ويوضح الشكل (٥ – ٧٠) خمسة تكوينات للجسم والذراع الشائعة.



الشكل (٥ – ٧٠) تكوينات للجسم والذراع الشائعة

- التكوين القطبي: يتكون من وصلة ذراع إنزلاق على شكل الحرف (L) ، تتحرك بالنسبة للجسم، والتي تدور حول محورين هما المحور الرأسى (وصلة على شكل حرف T)، والمحور الأفقي (وصلة على شكل حرف R).
- التكوين الأسطواني: يتكون من العمود الرأسي لتحريك مجموعة الأذرع الى أعلى أو أسفل بالنسبة للعمود الرأسي ويمكن تحريك الذراع الى الداخل والخارج بالنسبة للمحور العمودى. يستخدم التكوين الشائع وصلة على شكل حرف T لتدوير العمود حول محوره وتستخدم وصلة على شكل حرف (L) لتحريك مجموعة الذراع عمودياً على طول العمود، بينما تستخدم وصلة على شكل حرف (O) لتحقيق حركة شعاعية للذراع.
- الروبوت ذات التنسيق الديكارتي: كما هو معروف الروبوت المستقيم والروبوت ذات المستويات الثلاث (س – ص – ع) الذي يتألف من ثلاثة مفاصل إنزلاق، ووصلتين متعامدتين على شكل حرف (O).

- **ذراع الروبوت المشتركة: مماثلة لتكوين ذراع الإنسان ويتألف من العمود الرأسي الذي يدور حول قاعدة تستخدم وصلة على شكل حرف T ومفصل الكتف (على شكل حرف R) يقع في الجزء العلوي من العمود والمفصل الخارج هو الكوع (وصلة على شكل حرف R).**
- **سكارا: النموذج الكامل "مجموعة الإمتثال الإنتقائي لذراع الروبوت [٦٣] " مشابه في البناء لمفاصل ذراع الروبوت، فيما عدا المحاور العمودية لدوران الكتف والكوع وهذا يعني أن الذراع جامده جداً في الإتجاه الرأسي لكنها متوافقة في الإتجاه الأفقي.**



الشكل (٥ – ٧١) وصلة الرسغ للروبوت

مجموعة المعصم للروبوت تتألف من درجتين أو ثلاث درجات من حرية الحركة يوضح الشكل (٥ – ٧١) نموذج لثلاث درجات من حرية الحركة لوصلة المعصم ويتم إنجاز وصلة اللف على شكل حرف (T) وتتحقق وصلة الخطوة عن طريق اللجوء إلى وصلة على شكل حرف (R) حيث وصلة ياو [٦٤]، للحركة الى اليمين واليسار المكتسبة عن طريق ثانى وصلة على شكل حرف (R). عادة لا يستخدم النموذج الكامل سكارا [٢] لتكوين الجسم والذراع

---

٦٣ سكارا: النموذج الكامل هو مجموعة الإمتثال الإنتقائي لذراع الروبوت SCARA body–and–arm configuration 'Selective Compliance Assembly Robot Arm'.

٦٤ وصلة ياو (Robotic yaw joint for smooth manipulation. By linking a smooth–operating robotic joint with an advanced)

كمجموعة معصم منفصلة حيث مفاصل المعصم غير ضرورية، تتبع التكوينات الأربعة الأخرى للجسم والذراع أكثر أو أقل لتكوين وصلة المعصم بإستخدام مكونات مختلفة من المفاصل الدوارة أي من النوع على شكل حرف (R) والحرف (T).

❖ أنظمة القيادة

يستخدم ثلاثة أنواع من أنظمة القيادة لتحفيز مفاصل الروبوت وهى محركات كهربائية، الهيدروليكية والهوائية تعمل بالهواء المضغوط , المحركات الكهربائية هي المحرك الرئيسي في الروبوتات وتستخدم محركات المضاعفات أو محركات الخطوات على نطاق واسع في تكنولوجيا الإنسان الآلي كما تستخدم النظم الهيدروليكية والهوائية مثل نظام المكبس الإسطوانى ، مشغلات المراوح الدوارة لإنجاز الحركات الخطية، والحركات الدوارة للمفاصل والوصلات على التوالي ويستخدم المحرك الهوائي بإنتظام لتطبيقات الروبوت الصغيرة والبسيطة وفي حين نجد تطبيقات المحركات الكهربائية والهيدروليكية فى الروبوتات الصناعية الأكثر تطورا. بسبب التقدم في تكنولوجيا المحركات الكهربائية في السنوات الأخيرة، يتم تفضيل المحركات الكهربائية في التطبيقات التجارية وهى أيضا متوافقة مع أنظمة الحاسبات. عادة ما تستخدم النظم الهيدروليكية في تطبيقات التى تتطلب السرعات الكبيرة على الرغم من عدم مرونة النظم الهيدروليكية مثل المحركات الكهربائية عموما تستخدم للإضطلاع بالتطبيقات الثقيلة بإستخدام الإنسان الآلي. تحدد مجموعة النظم المحركة، وأجهزة الإستشعار، ونظم مراقبة التغذية المرتدة خصائص الإستجابة الديناميكية لهيكل الروبوت، تشير السرعة في الروبوت لشروط السرعة المطلقة لهيكل الروبوت عند نهاية طول الذراع. يمكن برمجة الروبوت لدورة عمل حيث أن الأجزاء المختلفة من دورة العمل تجري في سرعات مختلفة، التحكم فى التسارع والتباطؤ أيضا عوامل هامة، لا سيما في ظروف عمل محصورة، قدرة الروبوت على التحكم في التبديل بين السرعات محدداً رئيسيا من قدرات هيكل الروبوت. المحددات الرئيسية الأخرى هي الوزن (الكتلة) للجزء المراد التعامل معه ومعالجته، والدقة المطلوبة لتحديد موقع وتعيين موضع الجزء المراد التعامل معه بشكل صحيح، كل من هذه

المحددات تجتمع تحت مصطلح 'سرعة الاستجابة'، التى تحدد الوقت المطلوب للإنتقال من نقطة واحدة في متطلبات العمل إلى النقطة التالية كما تؤثر سرعة إستجابة الروبوت لدورة الزمن، التى تؤثر بدورها على معدل إنتاج ما يمكن تحقيقه. يشير الإستقرار إلى مقدار الإنحسار والتذبذب الذي يحدث في حركة الروبوت في نهاية الذراع كما أنها محاولات للإنتقال إلى الموقع التالي المبرمج. الذبذبات الكثيرة في حركة الروبوت تؤدي إلى إستقرار أقل في هيكل الروبوت ومع ذلك، فإن الإستقرار الأكثر قد ينتج نظام روبوت مع معدل إستجابة أبطأ. القدرة الإستيعابية للتحميل عاملاً هاما أيضا ويمكن تحديدها بوزن القابض المستخدم، يضع القابض الثقيل حمولة أعلى على هيكل الروبوت بالإضافة إلى كتلة أو وزن الجزء المراد التعامل معه ويمكن أن تحمل الروبوتات التجارية أحمال حتى ٩٠٠ كجم، بينما الروبوتات الصناعية متوسطة القدرات يمكنها أن تحمل حتى ٤٥ كجم.

❖ السيطرة على وصلات ومفاصل الروبوت

وفقا لتعليمات البرنامج، يجب أن يتم السيطرة على تحركات وصلات ومفاصل الروبوت الصناعي بدقة. تستخدم وحدات تحكم معتمدة من المعالجات الدقيقة للتحكم فى الروبوتات وهناك أنواع مختلفة من نظم التحكم يستخدمها الروبوت على النحو التالي.

- مراقبة التسلسل المحدودة: يستخدم عنصر تحكم إبتدائي لحركة بسيطة، مثل عملية الإلتقاط وإختيار المكان ويتم تنفيذ المهام من خلال تحديد حدود توقف ميكانيكية لكل وصلة وتسلسل حركة المفاصل لإنجاز العملية وتستخدم حلقات التغذية المرتدة لإبلاغ المراقب بأن العمل قد تم إنجازه، حيث أن البرنامج يمكنه الإنتقال إلى الخطوة التالية، دقة نظام التحكم أقل يستخدم عادة في الروبوتات التى تعمل بالمحركات الهوائية.
- تستخدم تقنية التشغيل من "نقطة تحكم إلى نقطة تحكم أخرى في دورة التشغيل" وحدة تحكم بالذاكرة فى سجل الحركة لتتابع دورة العمل فى المواقع المرتبطة بها، ثم العودة لدورة العمل أثناء تنفيذ البرنامج. تعنى تقنية التحكم مراقبة وتسجيل المواقف الفردية للروبوت نقطة إلى نقطة في الذاكرة وتشمل هذه الوظائف كل توقف ميكانيكي لكل وصلة، ومجموعة

المعاملات التي تمثل المواقع في نطاق كل وصلة، يتم إستخدام مراقبة التغذية المرتدة لتأكيد أن المفاصل الفردية تحقق مواقع محددة في البرنامج.

- **تقنية التشغيل مع "إستمرار مسار التحكم المستمر": يشير مسار التحكم إلى نظام تحكم قادر على التحكم المتزامن المستمر لمحورين أو أكثر وتتم الإشارة إلى المزايا التالية مع هذه التقنية من التحكم في التشغيل: سعة تخزين أكبر – عدد المواقع التي يمكن تخزينها أكبر من تقنية التحكم من نقطة إلى نقطة؛ ويمكن إستخدام حسابات الإستيفاء، والإستنتاج المستخدمة وخاصة فى النظم الخطية والدائرية.**
- **تقنية التحكم الذكي: الروبوت الذكي يتميز بسلوك يجعله يبدو ذكي على سبيل المثال، له القدرة على التفاعل مع البيئة المحيطة؛ القدرة على إتخاذ القرار؛ القدرة على التواصل مع البشر؛ القدرة على القيام بالتحليل الحسابي أثناء دورة العمل؛ والقدرة على الإستجابة لمدخلات عناصر الإستشعار المتقدمة؛ القدرة على إعادة عناصر التشغيل ومع ذلك فإنه يتطلب درجة عالية من التحكم بالكمبيوتر، ولغة برمجة متقدمة لإدخال منطق صنع القرار وغيرها من التطبيقات الذكية في الذاكرة.**

الجدول (٥ – ٤) نهايات المستجيبات والقوابض

النوع	الوصف
القوابض الميكانيكية	إصبعان أو أكثر تستخدم من خلال نظام التحكم فى الروبوت لترك أو إمساك الجزء المراد التعامل معه
قابض الفراغ	تستخدم كؤوس شفط للإمساك بالإجزاء المسطحة
العناصر الممغنطة	تعتمد على المبادى المغناطيسية وتستخدم للإمساك بالمكونات المغناطيسية
العناصر اللاصقة	بنشر المواد اللاصقة للإمساك بالمواد المرنة مثل المنسوجات
العناصر البسيطة	الخطافات والمجارف
المقابض الثنائية	يستخدم مقبضين فى نهاية المستجيبات فى تحميل وتنزيل الآلات وتقلل زمن دورة التشغيل لكل جزء بالقبض على جزئين فى نفس الوقت
الأصابع المتغيرة	مقابض ميكانيكية على شكل أصابع لتتعامل مع أجزاء مختلفة الحجوم
أصابع برد فعل حسي	مقابض ميكانيكية بأصابع برد فعل حسي لوضع الجزء فى المكان المخصص

	وتحديد قوة القبض الصحيحة التى تستخدم (للأجزاء القابلة للكسر)
مقابض بأصابع متعددة	مقابض ميكانيكية المماثلة لليد البشرية
مقابض قياسية	مقابض ميكانيكية متوفرة تجاريا وتقلل من الحاجة لتصميم معتاد للمقبض لتطبيقات منفصلة للروبوت

٢ – نهايات المستجيبات: ترتبط نهاية المستجيب عادة مع معصم الروبوت [٦٥]، ويسمح للروبوت بإنجاز مهمة محددة وهذا يعني أن تصميم وتصنيع نهاية المستجيبات لكل عملية تختلف عن الأخرى وهناك فئتين لنهاية المستجيبات مثل القوابض والأدوات. تقوم القوابض بمعالجة الأشياء أثناء دورة العمل وعادة هي الأشياء التي بحاجة إلى تحميل أو إلغاء تحميلها من موقع واحد إلى موقع آخر، يتم تصميم القوابض لتلائم المواصفات المادية من أجزاء العمل– نهايات المستجيبات المختلفة والقوابض ملخصة في الجدول (٥ – ٤) . يمكن أن تستخدم نهايات مستجيبات الروبوت بعض الأدوات لتنفيذ عمليات التجهيز في الجزء المراد تشغيله عادة ما يستخدم الروبوت الأدوات للتعامل مع الأجزاء الثابتة أو التى تتحرك ببطء على سبيل المثال معالجة العملية الخاصة بكل من تطبيقات لحام البقعة، قوس اللحام، الطلاء بالرش كما يمكن أيضا تحميل أدوات في عمود دوران هيكل الروبوت لتنفيذ تطبيقات مثل التثقيب، والتوجيه، والطحن، إلخ.

- **عناصر الإستشعار فى الروبوت**

هناك فئتان من أجهزة الإستشعار المستخدمة في الروبوتات للأغراض الداخلية والخارجية وتستخدم أجهزة الإستشعار الداخلية لرصد ومراقبة مختلف مفاصل الروبوت وهي تشكل حلقة سيطرة مع وحدة تحكم الروبوت. تتضمن أجهزة الإستشعار الداخلية المقاومات المتغيرة والترميز البصري، بينما يتم إستخدام أنواع مختلفة من التاكومترات للتحكم في سرعة ذراع

---

٦٥ ترتبط نهاية المستجيب عادة مع معصم الروبوت (**End Effectors** – An end effector is usually attached to the robot's wrist)

الروبوت. تستخدم أجهزة الإستشعار الخارجية خارج الروبوت نفسه عند الرغبة فى التحكم في عمليات الروبوت.

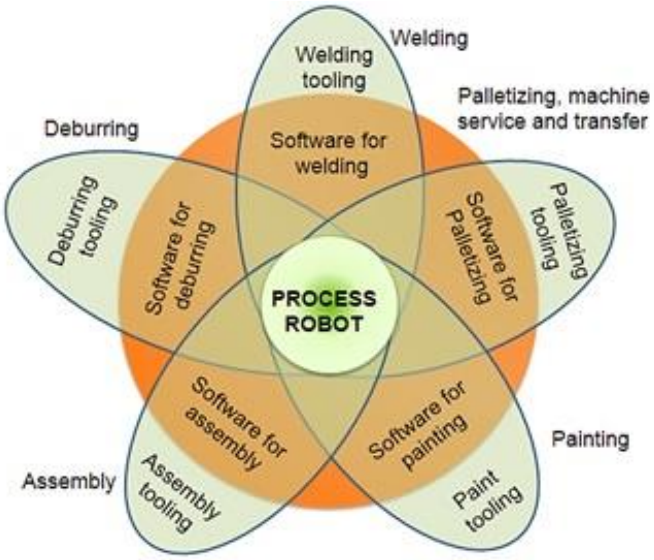
الجدول (٥ – ٥) تقنيات أجهزة الإستشعار للروبوت

نوع جهاز الإستشعار	الوصف
أجهزة إستشعار عن طريق اللمس	تستخدم لتحديد إتمام العملية عن طريق التلامس بين أجهزة الإستشعار والأجزاء الأخرى أجهزة إستشعار اللمس: توضح الوصلة أجهزة إستشعار القوة: تبين مقدار القوة بالنسبة للجزء المراد التعامل معه
أجهزة إستشعار القرب	تستخدم لتحديد مدى تقارب الجزء المراد التعامل معه بالنسبة الى جهاز الإستشعار كما يسمى أيضا جهاز إستشعار المدى
أجهزة إستشعار البصرية	الخلايا الضوئية والعناصر الضوئية المترية الأخرى التى تستخدم للكشف عن وجود أو عدم وجود الجزء المراد التعامل معه وتستخدم غالبا مع أجهزة الإستشعار القرب
أجهزة إستشعار الرؤيا الآلية	تستخدم فى الروبوت للفحص – وتحديد الأجزاء – التوجيه ..
أجهزة إستشعار أخرى	قياس درجات الحرارة – ضغط السوائل – الجهد الكهربائى – التيار الكهربائى – والخواص الفيزيائية الأخرى

أجهزة الإستشعار الخارجية هي أجهزة بسيطة، مثل مفاتيح تبديل الحدود التي تحدد ما إذا كان قد تم وضع الجزء المراد تشغيله بشكل صحيح، أو ما إذا كان الجزء جاهز ليتم إنتقاؤه من مستودع تفريغ يوضح الجدول (٥ – ٥) أجهزة إستشعار مختلفة مستخدمة في الروبوتات.

- تطبيقات الروبوت الصناعى

يوضح الشكل (٥ – ٧٢) رسم تخطيطي يصور لمحة عامة عن تطبيقات الروبوتات في الصناعات التحويلية. ويبين الجدول (٥ – ٦) الخصائص العامة لحالات العمل الصناعية التي تميل إلى تشجيع الإستعاضة بالروبوتات للعمل البشري.



الشكل (٥ – ٧٢) تطبيقات الروبوتات في الصناعة والإنتاج

الجدول (٥ – ٦) خصائص الحالات حيث يمكن أن تحل الروبوتات محل للبشر

الوضع	الوصف
بيئات العمل الخطرة للبشر	التطبيقات التى يستخدم فيها الروبوت منها بيئات العمل الغير آمنه – غير صحية – غير مريحة أو غير مناسبة للبشر
دورات العمل المتكررة	فى حالة تتابع عناصر العمل فى دورة التشغيل وتتكون من حركات بسيطة نسبيا – يؤمن الروبوت العمل بإستمرارية وتكرارية كبيرة بالمقارنة مع البشر
صعوبة المناولة مع البشر	إذا إحتاج العمل إستخدام أجزاء ثقيلة أو صعبة لمناولتها للبشر – يؤمن الروبوت قدرتة على الأداء بجودة أكثر
الأعمال متعددة الفترات	يمكن أن يحل الروبوت محل عاملين أو ثلاث فى نفس الوقت وفى ثوانى زمنية وبالتالي يؤمن الروبوت دورة تشغيل سريعة وإقتصادية
الأعمال النادرة المتكررة	تستخدم الروبوتات للإنتاج الكبير للأعمال النادرة المتكررة والتى تتعارض مع حزمة أو ورشة العمل الإنتاجى حيث إستمرارية التكرار
مكان الجزء وملائمته مع التشغيل	غالبا لا تتمتع الروبوتات بالقدرة على الرؤية مما يعنى وجوب وضع الجزء المراد التعامل معه بدقة ومناسب للعمليات الناجحة للروبوت

➢ **تطبيقات مناولة المواد**

تستخدم الروبوتات أساسا في ثلاثة أنواع من التطبيقات: مناولة المواد؛ عمليات التجهيز؛ التجميع والتفتيش. في مناولة المواد، تتحرك الروبوتات بين المواقع المختلفة عن طريق نهايات المستجيبات من النوع القابض وينقسم نشاط مناولة المواد الفرعية إلى نقل المواد، وتحميل الجهاز و/أو التفريغ كما هو موضح في الجدول (٥ – ٧).

الجدول (٥ – ٧) تطبيقات مناولة المواد

التطبيقات	الوصف
نقل المواد	▪ إلتقاط الأجزاء المراد التعامل معها من موقع ووضعها فى مكان جديد، يتم إعادة ترتيب الأجزاء أثناء النقل. التطبيق الأساسى عمليات الإلتقاط ونقلها- بواسطة روبوت ذات تكنولوجيا بسيطة وغالبا بالطاقة الهوائية ويستخدم فقط أربعة وصلات. ▪ العملية الأكثر تعقيد هى التغطية حيث يستقبل الروبوت الأجزاء من موقع واحد ويضعها فى مكان محدد حيث أن رص الأجزاء يختلف قليلا لكل جزء يتم نقله، يجب أن يكون الروبوت قادر على حساب الموضع الصحيح بطريقة تعمل بزمام المبادرة بأسلوب تحديد الأبعاد. ▪ تشمل تطبيقات آخرى لنقل المواد عمليات الرص والإدراج والتغطية
تحميل وتفريغ الأحمال	▪ الهدف الأولى نقل الأجزاء من أو خارج آلات الإنتاج ▪ هناك ثلاث فئات يجب أخذها فى الإعتبار ١. التحميل – حيث يقوم الروبوت بتحميل الألات ٢. التفريغ – حيث يقوم الروبوت بتفريغ الألات ٣. التحميل والتفريغ – يقوم الروبوت بكلا التطبيقين ٤. يستخدم الروبوت فى تطبيقات صب السبائك – صب البلاستيك – عمليات معالجة المعادن – الحدادة – أعمال الضغط – عمليات المعالجات الحرارية.

❖ **عمليات المعالجة**

في عمليات التجهيز، ينفذ الروبوت بعض أنشطة التجهيز للجزء تحت التشغيل حيث نهايات المستجيبات مجهزة بالأدوات المتخصصة المطلوبة لكل عملية ويتم تحريك الأداة

بالنسبة إلى السطح الجزء تحت التشغيل ويوضح الجدول (٥ – ٨) أمثلة لمختلف عمليات التجهيز التي تقوم بها الروبوتات.

الجدول (٥ – ٨) عمليات التجهيز الروبوتية

العملية	الوصف
تقنية لحام البقعة	لحام المعادن حيث يضغط جزئين مسطحين من المعدن عند نقطة إتصال بإستخدام إلكترودين لتثبيت المعدنين مع بعضهما وتوصيل تيار كهربائى. تتكون الإلكترودات بمدفع لحام بقعة الموجود بأداة فى نهاية المستجيب للروبوت القائم باللحام.
تقنية اللحام بالقوس الكهربائى	لحام معدنين بإستخدام تقنية نقطاط لحام مستمرة بنفس الطريقة أعلاه، نهاية المستجيب هى الإلكترود المستخدم لإتمام اللحام بالقوس الكهربائى ويجب أن يتحكم الروبوت فى مسار مستمر وذراع الروبوت المتصل يتكون من ستة وصلات.
تقنية الدهانات بالرش	توجيه مدفع الرش للجزء المراد التعامل معه، الدهان أو رش سوائل أخرى تمر خلال فتحة مدفع الرش وهو نهاية مستجيب وموجه أعلى سطح الجزء المراد التعامل معه ويجب أن يتحكم الروبوت فى مسار مستمر ومبرمج بإستخدام التوجيه اليدوى ويبدو ذراع الروبوت الجزء المهم لهذا التطبيق.
تطبيقات أخرى	تشمل التطبيقات الأخرى التثقيب – التوجيه – وعمليات تشغيل أخرى منها الطحن – دهان الأسلاك – والعمليات المتشابهه – القطع بمدفع مائى – والقطع بالليزر

- **يرمجة الروبوت**

برنامج الروبوت هو مسار الواجب إتباعة بهيكل الروبوت، جنبا إلى جنب مع الإجراءات الهامشية التي تدعم دورة العمل. لبرمجة روبوت، يتم إدخال أوامر محددة في وحدة تحكم فى ذاكرة الروبوت، ويمكن تنفيذ هذه الإجراءات بعدد من الطرق وتجري برمجة روبوت بتتابع محدود عند حدود مفاتيح التبديل ونقاط التوقف الميكانيكية للتحكم في إنهاء نقاط التطبيق

المطلوب. يتحكم جهاز التتابع لتواجد مؤشرات الحركة، التى بدورها تتحكم في حركة المفاصل التي تقوم بإكمال دورة الحركة.

❖ زمام المبادرة من خلال البرمجة:

فى الروبوتات الصناعية مع الحاسبات الرقمية كوحدات التحكم، يمكن التمييز بين ثلاثة أساليب للبرمجة وهي: زمام المبادرة من خلال البرمجة؛ الروبوت المشابهه للغة برمجة الكمبيوتر؛ والبرمجة المستخدمة دون إتصال، منهجيات زمام المبادرة من خلال وأساليب البرمجة المرتبطة بها موضحة في الجدول (٥ – ٩).

الجدول (٥ – ٩) زمام المبادرة من خلال البرمجة للروبوتات الصناعية

الطريقة	الوصف
زمام المبادرة من خلال البرمجة	▪ تدرس المهام المطلوبة من الروبوت بالتحريك اليدوى لهيكل الروبوت من خلال دورة الحركة المطلوبة والدخول المستمر الى البرنامج فى ذاكرة التحكم للإعادة. ▪ يستخدم أسلوبين للتعليم من خلال زمام المبادرة والمبادرة اليدوية
برمجة الحركة	▪ للتغلب على صعوبات تنسيق المفاصل الفردى المجمعة بالمبادرة من خلال البرمجة – هناك تقنيتين ميكانيكتين يمكن إستخدامهما: النظام الدولى للتنسيق حيث تحدد الأعضاء والمحاور بالنسبة الى قاعدة الروبوت ونظام ترتيب الأدوات حيث المحاذاة لنظام المحاور محدد بالنسبة الى تنسيق غطاء المعصم. ▪ تستخدم هذه الطرق للروبوت بتنسيق كارتيزين وليس للروبوتات ذات الوصلات الدائرية. ▪ أنواع الروبوتات بالوصلات الدائرية تعتمد على إستيفاء العمليات للحصول على حركة خط مستقيم. ▪ يستخدم نوعين لإستيفاء العمليات: إستيفاء الخط المستقيم حيث يقوم الحاسب بحساب النقاط الضرورية التى يجب أن يتحرك هيكل الروبوت لتوصيل النقطتين ولإستيفاء الوصلات حيث أنها تتحرك

	بإستمرارية عند سرعتها الثابتة مثل كل الوصلات للبدأ والإيقاف فى نفس الوقت.

❖ **برمجة الروبوت المشابهة للحاسبات**

لغات البرمجة المماثلة للحاسبات التى تستخدم طرق التنفيذ للبرمجة أثناء التشغيل أو بدون إتصال وتشمل مزايا البرمجة النصية على نظيرتها الرائدة من خلال:

- **إستخدام قدرات إستشعار محسنة، بما في ذلك إستخدام المدخلات الرقمية والتماثلية**
- **قدرات الخرج المحسنة للتحكم في المعدات الخارجية**
- **توسيع منطق البرنامج، تتجاوز قدرات زمام المبادرة**
- **قدرات متقدمة في مجال الحاسوب ومعالجة البيانات**
- **الإتصالات مع أنظمة كمبيوتر أخرى**

References

1. ***Mechanical and Mechatronics Engineering Department. "What is Mechatronics Engineering?". Prospective Student Information. University of Waterloo. Retrieved 30 May 2011.***
2. ***Faculty of Mechatronics, Informatics and Interdisciplinary Studies TUL. "Mechatronics (Bc., Ing., PhD.)". Retrieved 15 April 2011.***
3. **Bradley, Dawson et al.,** ***Mechatronics, Electronics in products and processes,*** **Chapman and Hall Verlag, London, 1991.**
4. **Karnopp, Dean C., Donald L. Margolis, Ronald C. Rosenberg,** ***System Dynamics: Modeling and Simulation of Mechatronic Systems,*** **4th Edition, Wiley, 2006.**
5. **Cetinkunt, Sabri,** ***Mechatronics,*** **John Wiley & Sons, Inc, 2007**
6. **James J. Nutaro (2010). Building software for simulation: theory and algorithms, with applications in C++. Wiley.**
7. **"Computerized Numerical Control". www.sheltonstate.edu. Shelton State Community College. Retrieved March 24, 2015.**
8. **Mike Lynch, "Key CNC Concept #1—The Fundamentals Of CNC", Modern Machine Shop, 4 January 1997. Accessed 11 February 2015**
9. **Zelinski, Peter (2014-03-14), "New users are adopting simulation software", Modern Machine Shop.**
10. **"Sensors for mechatronics" by Paul P.L. Regtien, Elsevier, 2012**