٦ - الدوائر والنظم والإلكترونية

١/٦ مقدمة

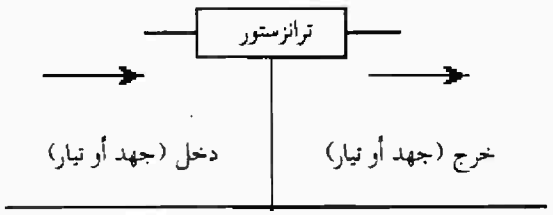
مع تطور الدوائر المتكاملة إلى المستوى الشديد الاتساع – Very Large Scale Integration (VLSI) وما يسمى أحياناً المستوى الفائق الاتساع – Ultra Large Scale Integration (ULSI) ، فإن تعريف الدوائر والنظم الإلكترونية والتمييز بينها أصبح يختلف تماماً عما كان الحال عليه قبل أيام الصمامات الإلكترونية أو الترنزستورات المنفردة . فقد تداخلت المسميات واختلطت المصنفات . كما أوضحنا سابقاً ، فإن الدوائر المتكاملة تندرج من دوائر صغيرة الاتساع – SSI إلى متوسطة الاتساع – MSI إلى كبيرة الاتساع – LSI إلى شديدة الاتساع – VLSI إلى ما يسمى أحياناً فائقة الاتساع – ULSI ، حسب عدد الترانزستورات فى كل منها وتعقيد الدوائر وشمول الأداء . من هذه الوجهة ، يمكن إعتبار الإتساعين الأول والثانى – SSI,MSI فى عداد الدوائر ، والاتساع الثالث – LSI بين دائرة ووحدة – Module ، والاتساع الرابع فما فوقه – VLSI,ULSI نظاماً كاملاً يطلق عليه أحياناً «نظام على شريحة – System on Chip » . من الأمثلة المشهورة للنظم على شرائح المعالج الدقيق – Microprocessor ، والمحكم الدقيق – Microcontroller ، والمعالج الرقمى للإشارات – Digital Signal Processor (DSP) ، وغير ذلك . تتكون الدوائر من مجموعة من النبائط ، وتتكون الوحدة من مجموعة من الدوائر ، ويتكون النظام من مجموعة من الوحدات . والمقصود عادة بالنظام هو مجموعة الوحدات التى تؤدى غرضاً تطبيقياً مفيداً بمواصفات أداء محددة .

تندرج النظم من نظم كبيرة جداً تشمل العالم بأجمعه كشبكة الإنترنيت – Internet ومحطات الإرسال الإذاعي والتليفزيون العالمية ، إلى نظم محلية كشبكة التليفون المحلية والإرسال الإذاعى والتليفزيون المحلى ، إلى نظم محدودة كشبكات الحاسبات المحلية – Local Area Networks (LANs) إلى أجهزة متعددة الأغراض ، كسنترال تليفونى مثلاً ، مكون من مجموعة من الكارتات المطبوعة – Printed Circuit Boards (PCBs) يحتوى كل منها على مجموعة من الدوائر المتكاملة ومتواجدة داخل كابينة أو أكثر ، إلى أجهزة محدودة كأجهزة التليفون والراديو والتليفزيون والحاسب الشخصى ، إلى نظام على شريحة دائرة متكاملة شديدة أو فائقة الاتساع . عندما يكون النظام كبيراً جداً ، يتم عادة تقسيمه إلي مجموعة من النظم

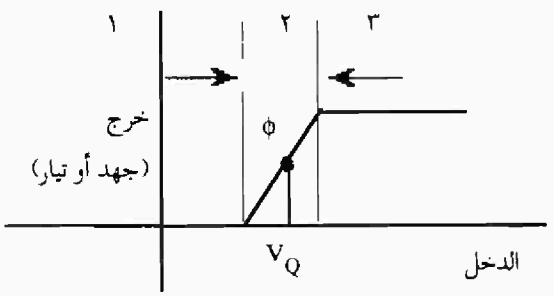
الأصغر تسمي نظماً تحتية – Subsystems ، وذلك كى يسهل التعامل معها فى التحليل والتصميم والاختبار والصيانة .

تنقسم الدوائر والنظم الإلكترونية إلى دوائر ونظم تماثلية تتعامل مع الإشارات التماثلية ، ودوائر ونظم رقمية تتعامل مع الإشارات الرقمية . كما توجد أيضاً دوائر مواجهة بين التماثلى والرقمى مثل DAC , ADC السابق ذكرها ، وكذلك دوائر المقارنة – Comparators ، ودوائر القطع والربط التماثلية – Analog Switches التى تتحكم فيها إشارات رقمية .

الدوائر الإلكترونية ، سواء منها التماثلى أو الرقمى، تستعمل النبائط الفعالة (الترانزستور) نفسها بالإضافة أحياناً إلي بعض المكونات غير الفعالة مثل المقاومات والمكثفات. دون الإخلال بالعموميات، فإنه يمكن تقريب خواص دائرة الترانزستور كما هو موضح بالشكل (٦–١) . الشكل (٦–١–أ)يوضح نموذج الدائرة من حيث إن له



(أ)



(ب)

شكل (٦–١)

دخلاً وخرجاً يحدد كل منهما بالجهد أو التيار . الشكل (٦–١–ب) يمثل نموذجاً للعلاقة بين الدخل والخرج ، حيث يلاحظ أنه ينقسم إلى ثلاثة مناطق ١ ، ٢ ، ٣ .

المنطقة ١ تمثل القطع حيث لا يوجد خرج ويعرف بالمستوى "0" . المنطقة ٢ تمثل الحالة الفعالة للترانزستور ، حيث يتغير الخرج تدريجياً مع الدخل بطريقة خطية تناسبية – Linear Relation . المنطقة ٣ تمثل التشبع ، حيث يستقر الخرج عند قيمة ثابتة مهما ازداد الدخل ويعرف بالمستوى "1" . فى الدوائر التماثلية ، ينحصر عمل الدائرة فى المنطقة ٢ ، وفى أغلب الأحيان لا يسمح لها بتجاوزها إلى أى من المنطقتين ١ أو ٣ ، حيث يتسبب أى تجاوز فى حدوث تشويه فى إشارة الخرج التماثلية. لضمان ذلك يلزم توصيل جهد انحياز مستمر V_Q على الدخل فى وسط المنطقة ٢ والسماح لإشارة الدخل التماثلية بالتغير يمين ويسار هذه النقطة V_Q فقط بالقدر الذى يحفظها داخل المنطقة ٢ ، مع ملاحظة أن المدى الديناميكى للإشارة التماثلية يزداد كلما ازداد عرض وارتفاع المنطقة ٢ . فى الدوائر الرقمية ، تنحصر الإشارة الرقمية إما فى المنطقة ١ ، وتمثل الخرج "0" ، أو فى المنطقة ٣ وتمثل الخرج "1" . الانتقال من "0" إلى "1" وبالعكس مروراً بالمنطقة ٢ يجب أن يتم سريعاً . فى الواقع سرعة هذا الانتقال هى التى تحدد سرعة الدوائر والنظم الإلكترونية الرقمية . واضح أنه كلما كان عرض المنطقة ٢ أقل كانت سرعة الانتقال أعلى ، وعادة تصمم الدوائر الرقمية بحيث يكون هذا العرض صفر تقريباً .

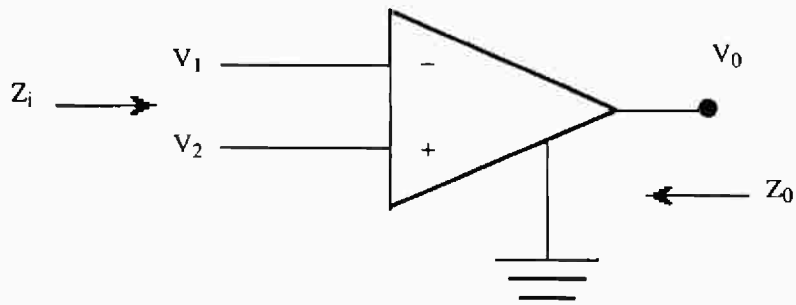
مع الإلكترونيات الدقيقة والدوائر المتكاملة ، يستحيل تصميم النظم يدوياً . يتم التصميم عادة باستعمال الحاسب الإلكترونى وآليات خلفية متداولة خصيصاً لهذه الأغراض فيما يسمي بآليات التصميم بمساعدة الحاسب – Computer Aided Design Tools (CAD Tools) ، متدرجة من آليات صغيرة متواضعة إلي آليات كبيرة متقدمة حسب حجم وتعقيد النظم المراد تصميمها . تستعمل هذه الآليات فى التصميم ابتداء من أعلى مستوى وهو المواصفات المطلوبة ، إلى أدنى مستوى وهو ترتيب أوضاع الترانزستورات – Layout على شريحة السيليكون ، والربط بينها – Routing . يدخل التصميم بعد ذلك إلى مرحلة التنفيذ إبتداء من تجهيز الأقنعة – Masks إلى صناعة الدوائر المتكاملة كما ذكرنا سابقاً . تستعمل طرق التصميم نفسها بمساعدة الحاسب الإلكترونى فى حالة نظام على كارت دائرة مطبوعة – PCB ، أو مجموعة من هذه الكارتات ، وذلك باستخدام آليات خلفية مخصصة لذلك . فى النظم التماثلية أو الرقمية ، يوجد مجموعة من الدوائر أو الوحدات الكثيرة الاستعمال . عادة ، تختزن تصميمات مثالية لهذه الدوائر والوحدات على شكل بيانات فى خلفيات تسمى مكتبات – Libraries . بذلك ، لن يكون هناك ما يدعو إلى تكرار تصميمها كلما احتجنا إليها ، بل تستدعى التصميمات المطلوبة من المكتبات التى هى عادة متوفرة من مصادر عديدة. عند الاحتياج إلى أى من هذه الدوائر أو الوحدات فى تصميم نظام، يتم استدعاؤها من المكتبة المناسبة وضمها إلى البرنامج الرئيسى الخاص بتصميم النظام .

كلما ازداد تعقيد النظام ، سواء على شريحة أو كارت أو مجموعة كارتات ، ازدادت صعوبة إختباره وصيانته وإصلاحه . كما يستحيل القيام بذلك يدوياً . لذلك ، ازداد الإهتمام بتسهيل اختبار هذه النظم آلياً . وأصبحت طرق الاختبار الآلي للنظم الإلكترونية الحديثة فرعاً علمياً بذاته له أبحاثه ومؤلفاته وتطبيقاته . حالياً ، يؤخذ الاختبار فى الحسبان مبكراً مع بداية التصميم ، وغالباً ما تضاف دوائر خاصة لتسهيل الاختبارات واكتشاف الأعطال سواء أثناء الإنتاج أو عند التشغيل .

٢/٦ الدوائر التماثلية

كما ذكرنا فى مقدمة هذا الباب ، تستعمل الدوائر التماثلية الترانزستور فى منطقته الفعالة التى يتغير فيها الخرج مع الدخل بتناسب خطى – Linear . وهذا يستلزم تدبير جهد انحياز مناسب لوضع الترانزستور فى منتصف هذه المنطقة . يسمح تواجد الإشارة التماثلية بالتحرك حول نقطة المنتصف هذه فى حدود المنطقة الفعالة وعدم تخطيها إلى أى من منطقتى القطع أو التشبع . يوجد العديد من الدوائر التماثلية من أهمها دوائر توليد الإشارات الجيبية وتسمى مذبذبات – Oscillators عند ترددات وقيم مختلفة والمكبرات – Amplifiers بأنواعها من مكبرات سمعية لتغطية مدى التردد السمعى من ٢٠ هرتز إلى ٢٠ كيلو هرتز ، ومكبرات الفيديو لتغطية مدى تردد إشارات الفيديو من ٢٥ هرتز إلى ٥ ميجاهرتز ، ومكبرات الراديو المولفة التى تغطى حزمة معينة فى مدى تردد الراديو حتى بداية الترددات الميكروية ، ومكبرات التردد البينى – IF ، وغير ذلك . يوجد أيضاً مجموعة أخرى من الدوائر تدخل فى نطاق الدوائر التماثلية، وتتميز بأن عملها يعتمد على علاقة غير خطية – Nonlinear بين الدخل والخرج. من هذه الدوائر ، دوائر الخلط – Mixers التى تستعمل فى أجهزة الاستقبال اللاسلكية وتنقل المدى الترددى للإشارة التماثلية من حزمة ترددية عند أى موقع على الطيف الكهرومغناطيسى إلى حزمة ترددية عند موقع آخر حول تردد بينى Intermediate Frequency (IF) - f_I ، ودوائر التعديل – Modulators التى تستعمل فى دوائر الإرسال اللاسلكية وتنقل المدى الترددى للإشارات التماثلية إلى حزمة ترددية عند أى موقع على الطيف الكهرومغناطيسى حسب تردد الموجه الحاملة Carrier Frequency (f_c) ، ودوائر الكشف – Detectors التى تستعمل فى أجهزة الاستقبال وتسترجع الحزمة الترددية المعدلة ثانية إلى المدى الترددى الأصلى للإشارة التماثلية ، ودوائر التحديد – Limiters التى تحدد القيم العليا للإشارات التماثلية عند مستويات معينة ، وغير ذلك .

هناك نوع من المكبرات له صفات وأهمية خاصة ، يطلق عليه مكبر العمليات – Operational Amplifiers . يمتاز هذا النوع من المكبرات بمواصفات خاصة تجعله محوراً لعديد من التطبيقات المهمة فى النظم التماثلية . يوضح الشكل (٦-٢) الرسم الرمزي لهذا المكبر ، ومن مواصفاته المثلى ما يلى :



شكل (٦-٢)

١ – الخـــرج V_0 يتناسب مع الفرق بين دخلين V_1 , V_2 ، ولا يتأثر بمتوسط قيمتهما . $V_0 = A (V_2 - V_1)$.

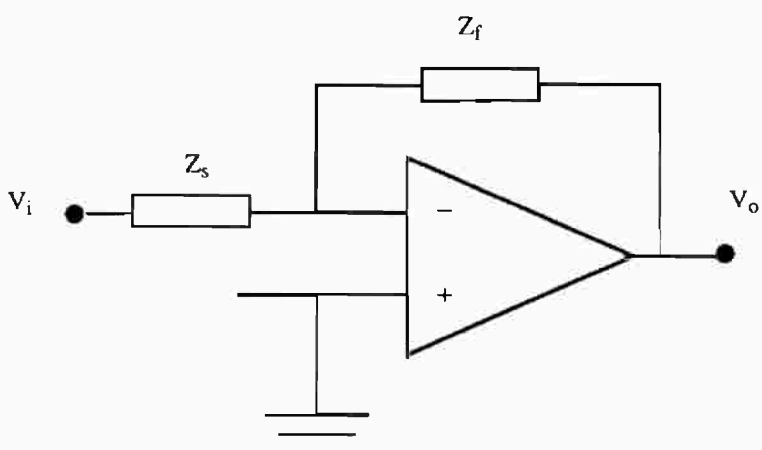
٢ – يغطى المدى الترددى من صفر – DC إلى تردد مرتفع حسب الإحتياج .

٣ – قيمة التكبير – A عند بداية المدى الترددى يساوى ما لا نهاية .

٤ – قيمة ممانعة الدخل – Z_i تساوى مالا نهاية .

٥ – قيمة ممانعة الخرج – Z_0 تساوى صفراً .

هذه هى المواصفات المثلى ، ولكن الواقع دائماً يختلف ، وكلما اقتربت المواصفات الواقعية من المثلى كان المكبر أفضل . باستعمال هذا المكبر مع تغذية خلفية كما هو موضح بالشكل (٦-٣) فإنه يمكن الحصول على دوائر تماثلية مفيدة تعتمد خواصها على قيم ونوعية الممانعات Z_f , Z_s . فعلى سبيل المثال :



$$A = V_o / V_i = Z_f / Z_s$$

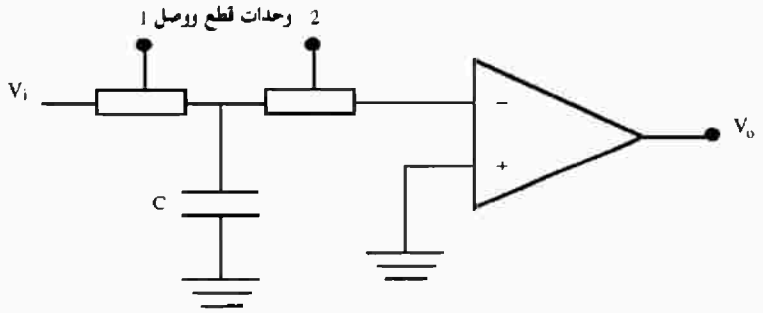
شكل (٦-٣)

١ – إذا كانت كل من Z_f , Z_s مقاومة ، فإننا نحصل على مكبر عادى بقيم للتكبير حسب الاحتياج .

٢ – إذا كانت Z_f مقاومة و Z_s مكثف ، فإننا نحصل على دائرة تفاضلية ، حيث يكون الخرج تفاضل الدخل .

٣ – إذا كانت Z_f مكثف و Z_s مقاومة ، فإننا نحصل على دائرة تكاملية ، حيث يكون الخرج تكامل الدخل .

أيضاً ، باستعمال هذه المكبرات ، يمكن تصميم دوائر تماثلية أخرى مهمة تعرف بالدوائر التماثلية الفعالة ، من أمثلة هذه الدوائر مرشحات الترددات بأنواعها الثلاثة ، السماح المنخفض – Low Pass (LP) ، السماح الحزمى – Band Pass (BP) ، السماح المرتفع – High Pass (LP) . وكذلك دوائر أخرى مفيدة مثل الدوائر الدوارة – Gyration Circuits ودوائر تحويل التيار – Current Conveyors ، وغير ذلك مما لا مجال هنا للدخول فى تفاصيله . أيضاً ، يستعمل مكبر العمليات فى نوع آخر مهم من الدوائر التماثلية تسمى دوائر قطع ووصل المكثفات – Switched Capacitor Circuits . يوضح الشكل (٦-٤) عينة مبسطة لهذا النوع من الدوائر .



شكل (٦-٤)

بقطع ووصل مكثفات فى الدائرة فى أماكن مختارة بتردد وتوزيع معين يمكن تصميم عديد من الدوائر المفيدة بما فى ذلك المرشحات بأنواعها . تمتاز هذه الدوائر بأنها من أكثر الدوائر التماثلية مواءمة مع تكنولوجيا الدوائر المتكاملة من حيث سهولة التنفيذ وزيادة الكثافة علي الشريحة .

٣/٦ النظم التماثلية

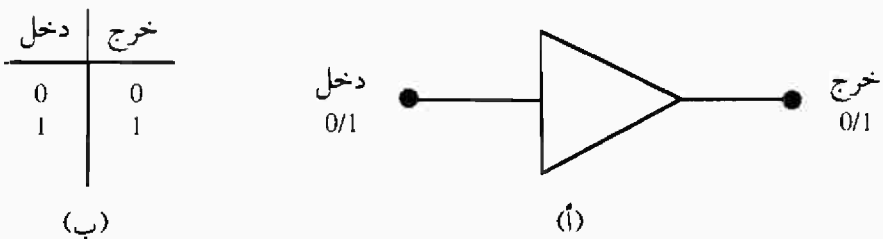
تتكون النظم التماثلية من دوائر تماثلية ، وتتعامل مع إشارات تماثلية . فى زمن الصمامات الإلكترونية وبداية الترانزستورات المنفردة ، كانت معظم النظم

الإلكترونية تماثلية . رغم الانكماش الحالى للنظم التماثلية فى صالح النظم الرقمية مع التطورات فى الدوائر المتكاملة والحاسبات ، فإن تواجدها سيظل حتمياً فى تطبيقات عديدة إما تماثلية بالكامل أو خليط بين التماثلى والرقمى فيما يعرف بالنظم المختلطة .

من النظم التى مازالت تماثلية حتى يومنا هذا ، نظم الإرسال والاستقبال الإذاعى والتليفزيون ، ومن النظم التى هى خليط بين تماثلية ورقمى نظم الشبكات والخدمات التليفونية . على أية حال ، فإن التحول من نظم تماثلية إلى نظم رقمية مستمر . فعلى سبيل المثال ، هناك جهود جدية تبذل حالياً لتحويل الإرسال والاستقبال التليفزيونى إلى نظام رقمى فيما يعرف بالتليفزيون العالى الجودة – High Difinition TV (HDTV) . وقد وصلت هذه الجهود إلى مراحل متقدمة ينتظر تطبيقها فى وقت قريب .

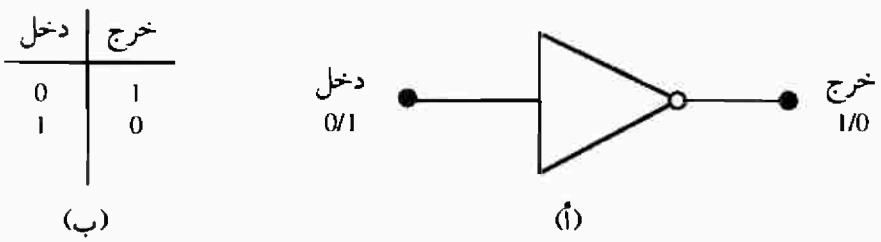
٤/٦ الدوائر الرقمية

كما ذكرنا فى مقدمة هذا الباب ، تستعمل الدوائر الرقمية الترانزستور فى حالتى القطع والتشبع ، بحيث إذا مثلت إحدى هذين الحالتين "0" تمثل الثانية "1" . وعند الانتقال من حالة إلى أخرى ، مروراً بالمنطقة الفعالة ، فإن هذا يجب أن يحدث بأقصى سرعة ، حيث إن سرعة هذا الانتقال هى التى تحدد سرعة الدوائر والنظم الرقمية عند التطبيق العملى . يمكن تمثيل الدوائر والنظم الرقمية على عدة مستويات ، ابتداء من مستوى دوائر الترانزستور عند القاع ، وهو المستوى الذى ينقل على السيليكون عند التصنيع ، إلى مستوى مواصفات النظام عند القمة ، مروراً بمستوي البوابات ، ثم مستوى السجلات ، ثم مستوى الوحدات ، ثم مستوى النظم التحتية ، إلى مستوى النظام الكامل . كما أن المكبر يمثل الوحدة الأساسية التى تبنى منها الدوائر التماثلية فإن البوابة – Gate تمثل الوحدة الأساسية التى تبنى منها الدوائر الرقمية . هنا يجب أن نتذكر أن الدوائر والنظم الإلكترونية الرقمية تتعامل مع قيمتين فقط فى تمثيل الإشارة القيمة "0" والقيمة "1" ، أى أن أى نقطة أو خط توصيل فى الدائرة الرقمية أو النظام الرقمى تأخذ فقط إما القيمة "0" أو القيمة "1" ، مع الانتقال بين هاتين القيمتين حسب ديناميكية الدائرة الرقمية أو النظام الرقمى . أبسط أنواع البوابات هى بوابة الحاجز – Buffer ، وهذه لها مدخل واحد ومخرج واحد ، والخرج هو الدخل نفسه. يرمز لبوابة الحاجز بالرمز البيانى الموضح بالشكل (٦–٥–أ) وتتحدد



شكل (٦–٥)

العلاقة بين الخرج والدخل بما يعرف بجدول الحقيقة – Truth Table الموضحة بالشكل (٦–٥–ب) . قد يسأل البعض ، ما فائدة هذه البوابة إذا كان الخرج هو الدخل نفسه ؟ فى الواقع ، لهذه البوابة فائدة كبيرة ، ومن أجلها تستعمل كثيراً ، ذلك أنه ، رغم أن الخرج هو الدخل نفسه ، إلا أنها تحجز البيئة ناحية الخرج عن البيئة ناحية الدخل ، بمعني أن أى مؤثر غير مرغوب فى ناحية الخرج لا ينتقل تأثيره إلى ناحية الدخل . فمثلاً ، إذا تواجد فى ناحية الخرج حمل نازف كمكثف كبير ، فإن ناحية الدخل. لا تشعر بهذا الحمل . بوابة أخري على المستوى نفسه من البساطة ، ولها أيضاً مدخل واحد ومخرج واحد ، هى بوابة العاكس – Inverter . يرمز لهذه البوابة بالرمز البيانى الموضح بالشكل (٦–٦–أ) . بالإضافة إلى حجز الخرج عن

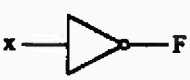
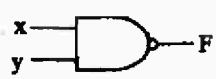


شكل (٦–٦)

الدخل كالبوابة السابقة ، فإن هذه البوابة تعكس الدخل ، بمعنى أن الخرج عكس الدخل كما هو موضح بجدول الحقيقة فى الشكل (٦–٦–ب) . يلاحظ فى رمز بوابة العاكس وجود الدائرة الصغيرة عند نقطة الخرج . هذه الدائرة الصغيرة تستعمل كثيراً فى الدوائر الرقمية كى تمثل الانعكاس ، بمعنى أن ما بعدها عكس ما قبلها . وبمفهوم أعم ، إذا كان ما قبلها x فإن ما بعدها يكون $\bar{x}$ ، حيث تواجد العلامة ‾ على المتغير يمثل عكس هذا المتغير .

معظم البوابات الأخرى لها أكبر من دخل ، على الأقل اثنين ، وفى الغالب لها خرج واحد . يوضح الشكل (٦–٧) مجموعة البوابات المنطقية الأساسية التى منها يمكن تجميع أى دائرة رقمية من أى نوع ولأى غرض . يوضح هذا الشكل الرمز الممثل لكل بوابة ومعادلة بولين وجدول الحقيقة الخاصين بكل منها ، وهذه البوابات هي :

١ – البوابة الجمعية – AND Gate ، لها مدخلان أو أكثر وخرج واحد . يكون الخرج "١" عندما تكون كل المداخل "١" .

إسم البوابة Name	الرمز البيانى Graphic Symbol	معادلة بولين Algebriac Function	جدول الحقيقة Truth Table
جماعى - AND		$F = xy$	x y | F 0 0 | 0 0 1 | 0 1 0 | 0 1 1 | 1
اختيارى - OR		$F = x + y$	x y | F 0 0 | 0 0 1 | 1 1 0 | 1 1 1 | 1
حاجز - Buffer		$F = x$	x | F 0 | 0 1 | 1
عاكس - Inverter		$F = \bar{x}$	x | F 0 | 1 1 | 0
لاجماعى - NAND		$F = (\overline{xy})$	x y | F 0 0 | 1 0 1 | 1 1 0 | 1 1 1 | 0
لااختيارى - NOR		$F = (\overline{x + y})$	x y | F 0 0 | 1 0 1 | 0 1 0 | 0 1 1 | 0
Exlusive-OR (XOR) - اختيارى مقصور		$F = x\bar{y} + \bar{x}y$ $= x \oplus y$	x y | F 0 0 | 0 0 1 | 1 1 0 | 1 1 1 | 0
Exlusive NOR or (Equivalence) - لااختيارى مقصور		$F = x\bar{y} + x\bar{y}$ $= x \odot y$	x y | F 0 0 | 1 0 1 | 0 1 0 | 0 1 1 | 1

شكل (٦-٧) : مجموعة البوابات المنطقية الأساسية .

٢ – البوابة الاختيارية – OR Gate ، لها مدخلان أو أكثر وخرج واحد . يكون الخرج "1" عندما يكون أى من المداخل أو جميعهم "1" .

٣ – بوابة الحاجز – Buffer ، لها دخل واحد وخرج واحد. الخرج هو الدخل نفسه.

٤ – بوابة العاكس – Inverter لها دخل واحد وخرج واحد . الخرج عكس الدخل .

٥ – البوابة اللاجمعية – NAND Gate ، عكس البوابة رقم ١ .

٦ – البوابة اللااختيارية – NOR Gate ، عكس البوابة رقم ٢ .

٧ – بوابة اختيارية مقصورة – Exclusive OR (XOR) ، لها مدخلان وخرج واحد. الخرج يكون "1" فقط عندما يكون أحد المدخلين "1" وليس كليهما .

٨ – بوابة لا اختيارية مقصورة – Exclusive NOR (XNOR) ، وأحياناً تسمي بوابة التكافؤ ، لها مدخلان وخرج واحد . يكون الخرج "1" فقط عندما يكون المدخلان متكافئين ، أى كليهما "0" أو كليهما "1" .

كما قلنا سابقاً ، فإن أى دائرة رقمية ، مهما كان نوعها أو الغرض منها ، يمكن تجميعها من هذه البوابات .

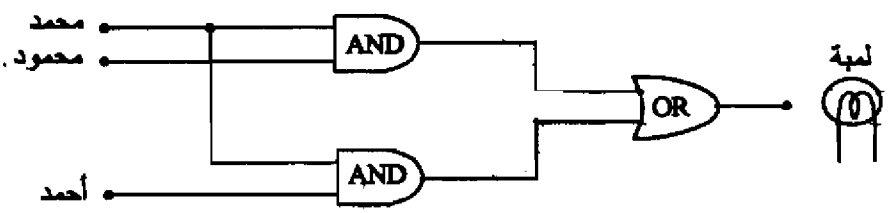
بخلاف الوضع فى حالة الدوائر التماثلية ، يوجد نوعان مميزان للدوائر الرقمية ، النوع الأول يسمى الدوائر الرقمية التجمعية – Combinational Digital Circuits ، وفيها يتحدد الخرج حسب قيم الدخول المتواجدة . النوع الثانى يسمى الدوائر الرقمية التعاقبية – Sequential Digital Circuits ، وفيها يتحدد الخرج حسب قيم الدخول المتواجدة بالإضافة إلى قيم خرج سابقة ، وهذا يعنى إما تواجد تغذية خلفية – Feedback أو تخزين – Storage . فى حالة الدوائر التعاقبية ، يلزم الانتباه إلي عامل الزمن كى نضمن صحة تزامن المداخل المختلفة قبل اعتماد الخرج . هذا يستدعى إما تدبير إشارات تزامن – Clock Signals لحفظ التزامن – Synchronization أو الاعتماد على بروتوكولات تزامنية ذاتية – Self Timing دون الحاجة إلي إشارات تزامن – Asynchronous . يحتاج التزامن الذاتى إلى دوائر إضافية لتأمين فاعليته . لزيادة الإيضاح ، نستعرض ثلاثة أمثلة . إثنان لدوائر رقمية تجمعية ، إحداهما منطقية والأخرى حسابية ، والمثال الثالث لدائرة رقمية تعاقبية .

مثال ١ – دائرة رقمية تجمعية منطقية .

ثلاثة شبان ، محمد ومحمود وأحمد ، يمثل تواجد أى منهم "1" ، وعدم تواجده "0" . ولمبة تضئ عند المستوى "1" وتنطفئ عند المستوى "0" .

المطلوب : أن تضئ اللمبة إذا تواجد محمد مع محمود أو محمد مع أحمد ، وتنطفئ فيما عدا ذلك . أى تنطفىء إذا تواجد أى شاب بمفرده أو تواجد محمود مع أحمد .

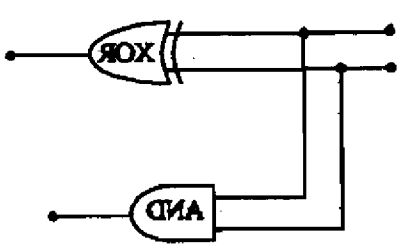
يمكن تنفيذ ذلك بالدائرة المنطقية الموضحة بالشكل (٦-٨) والمكونة من بوابتين جمعيتين وبوابة واحدة اختيارية . بمراجعة هذا الشكل يتضح أن اللمبة تضئ فقط إذا تواجد محمد مع محمود أو محمد مع أحمد كما هو مطلوب .



شكل (٦-٨)

مثال ٢ – دائرة رقمية تجمعية حسابية :

لجمع ٢ ماك – bits ، x , y ، من السهل متابعة أن الجمع S والباقي C يتبعان جدول الحقيقة فى الشكل ٦-٩-ب) . كما أنه من السهل متابعة تنفيذ هذا الجدول بالدائرة الحسابية الموضحة فى الشكل (٦-٩-أ) .



(أ)

y	x	c	s
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	1	0

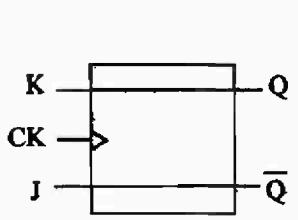
(ب)

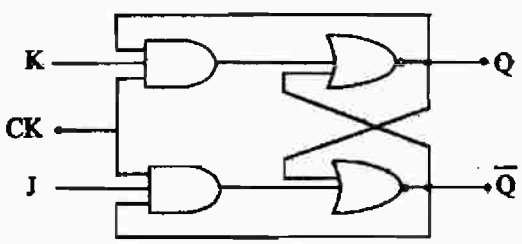
شكل (٦-٩) : دائرة حسابية .

مثال ٣ – دائرة رقمية تعاقبية :

أبسط مثال لهذه الدائرة هو دائرة النطاط – Flip Flop . ومن أشهرها نطاط JK كما هو موضح بالشكل (٦–١٠–أ) ورمزه بالشكل (٦–١٠–ب) وجدول الحقيقة بالشكل (٦–١٠–جـ) .

Q	J	K	Q+
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0





(جـ) جدول الحقيقة (ب) الرمز (أ) الدائرة

شكل (٦–١٠) : دائرة رقمية تعاقبية .

الأمثلة السابقة ، رغم بساطتها ، إلا أنها تعطى وتوضح الفكر المتبع لتنفيذ الدوائر الرقمية التجمعية والتعاقبية الأكثر تعقيداً .

بالإضافة إلي ما سبق ، يوجد فرع آخر من الدوائر الرقمية ذات طابع خاص ، وتستعمل أساساً فى تخزين الإشارات والمعلومات . يعتبر تخزين الإشارات والمعلومات احتياجاً أساسيًا في النظم الرقمية عامة والحاسبات الإلكترونية بوجه خاص . أوعية التخزين عديدة ، منها المتنقل والمحمول كالشرائط والأقراص المغناطيسية ، ومنها المثبت فى جهاز ويسمى ذاكرة – Memory . يمكن تنفيذ الذاكرة بعديد من التكنولوجيات. ففى بداية ظهور الحاسبات الإلكترونية كانت تستعمل أسطوانة مغناطيسية – Magnetic Drum ، ثم تطورت هذه إلى قوالب مغناطيسية Magnetic Cores ، ثم تطورت هذه إلى ذاكرة أشباه الموصلات Semiconductor Memory . ما يهمنا هنا هو التكنولوچيا الأخيرة ، أى ذاكرة أشباه الموصلات .

هناك نوعان أساسيان لذاكرة أشباه الموصلات . ذاكرة دائمة تحتفظ بما فيها من مخزون رغم انقطاع الطاقة الكهربية . وذاكرة متبخرة تفقد ما فيها من مخزون عند انقطاع الطاقة الكهربية . من أمثلة الذاكرة الدائمة الذاكرة التى يمكن أن تقرأ فقط – Read Only Memory (ROM) ، ومن أمثلة الذاكرة المتبخرة تلك التى يمكن

القراءة منها والكتابة فيها ويطلق عليها اسم الذاكرة العشوائية الاتصال – Random Access Memory (RAM) . يوجد أربعة أنواع من الذاكرة الدائمة كما يلي :

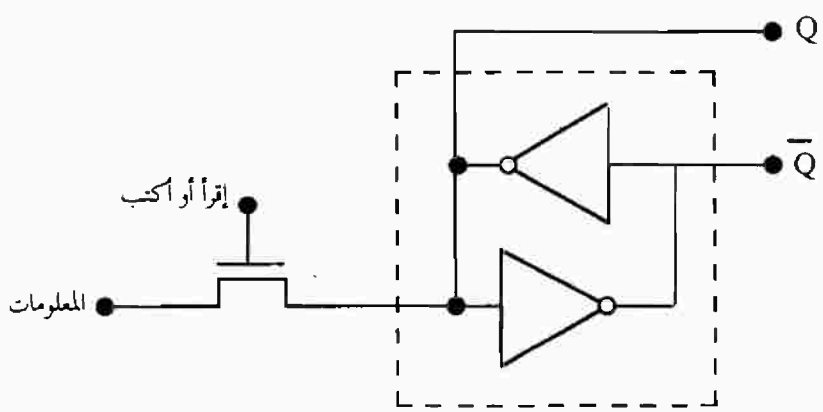
١ – ذاكرة مبرمجة فى المصنع حسب احتياج العمل ، ولا يمكن تغيير المخزون ، وتسمي ROM .

٢ – ذاكرة يمكن أن يبرمجها العميل بمعرفته ، ولكن لمرة واحدة فقط ، وتسمى PROM .

٣ – ذاكرة يمكن أن يبرمجها العميل بمعرفته ، ويمكن مسحها باستعمال الأشعة فوق البنفسجية وبرمجتها مرة أخرى ، ويمكن تكرار ذلك عدة مرات ، وتسمى EPROM .

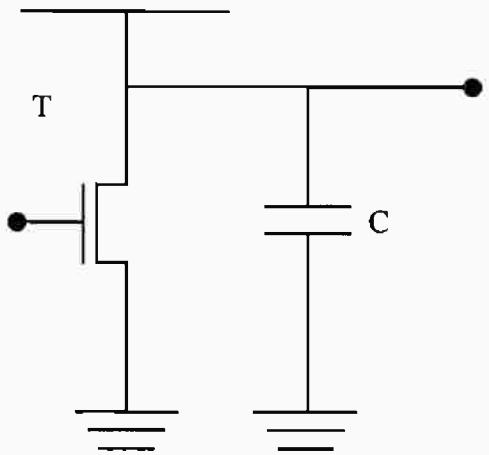
٤ – كالسابقة ، ولكن يتم المسح كهربيا ، وتسمى EEPROM .

الذاكرة العشوائية الاتصال – RAM نوعان . نوع إستاتيكى – SRAM يحتفظ بالمخزون مادامت الطاقة الكهربية متواجدة ، وخلية هذه الذاكرة تتكون من عاكسين فى دائرة معلقة ، كما هو موضح بالشكل (٦–١١) .



شكل (٦–11) : خلية الذاكرة الإستاتيكية .

النوع الآخر ديناميكى – DRAM يحتاج المخزون فيه إلى التجديد على فترات رغم استمرارية الطاقة الكهربية ، وخلية هذه الذاكرة تتكون من ترانزستور ومكثف كما هو موضح بالشكل (٦–١٢) . عندما يكون المكثف مشحوناً يكون المخزون "1" ، وعندما يكون المكثف مفرغاً يكون المخزون "0" . تمتاز الذاكرة الإستاتيكية بأنها لا تحتاج إلى تحديد المخزون ما دامت الطاقة الكهربية لم تنقطع ، ولكنها قليلة الكثافة على



شكل (٦-١٢) : خلية الذاكرة الديناميكية .

الشريحة ، تعانى الذاكرة الديناميكية من احتياجها إلى تجديد المخزون على فترات رغم استمرارية تواجد الطاقة الكهربية ، ولكنها عالية الكثافة على الشريحة . بسبب السعة الكبيرة لشريحة الذاكرة الديناميكية ، فإنها هى التى تستعمل فى ذاكرة الحاسبات الإلكترونية .

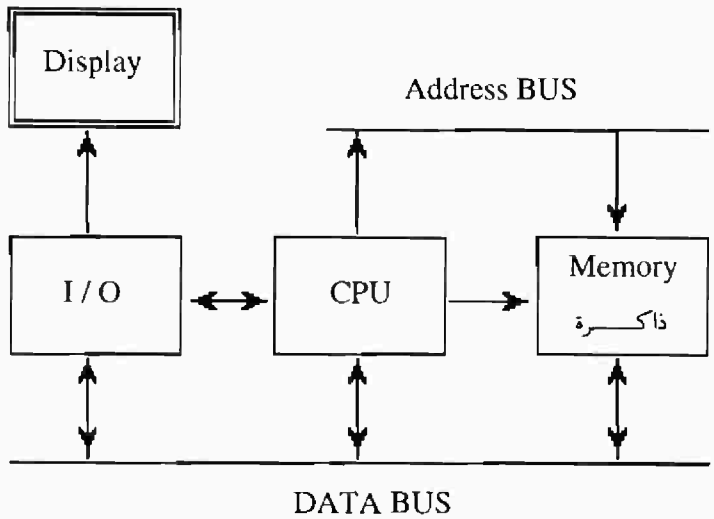
٥/٦ النظم الإلكترونية الرقمية

تتكون النظم الإلكترونية الرقمية من دوائر إلكترونية رقمية ، وتتعامل مع إشارات رقمية . هذه النظم هي المنتشرة حالياً فى عالم الإلكترونيات والاتصالات الكهربية والتحكم والحاسبات والشبكات . هناك حالياً سباق لتحويل النظم التماثلية إلى رقمية كلما أمكن ، والنظم التماثلية التى لم تتحول بعد إلى رقمية فى طريقها إلى ذلك ، حيث من المتوقع ألا يبق للنظم التماثلية إلا فجوات قليلة بالإضافة إلى مواقع حتمية مثل مواقع المواجهات عند مداخل ومخارج النظم الرقمية . تبدأ النظم الإلكترونية الرقمية من نظم صغيرة كجهاز قياس رقمى محمول أو تليفون محمول إلى نظم تشمل العالم بأكمله كسلسلة الأقمار الصناعية ونظام شبكة الإنترنيت . وقد انتشرت النظم الإلكترونية الرقمية فى جميع أوجه الحياة ، وغطت عديداً من المجالات لدرجة أنها أصبحت ملموسة للشخص العادى فى المنزل والمكتب والشارع . والتقدم فى هذه النظم سريع الإيقاع سواء فى التطور رأسياً فى المجال نفسه أو أفقيا فى الاتساع والانتشار إلى مجالات أخرى . رغم انتشار النظم الإلكترونية الرقمية وتداخلها المتشعب فى نسيج الحياة ، فإننا سنتعرض هنا باختصار لأهم سبعة مجالات فقط هى الحاسبات وشبكات الحاسب ، الاتصالات الكهربية ، الإلكترونيات الاستهلاكية ، الإلكترونيات الصناعية ، إلكترونيات الفضاء والتطبيقات الحربية ، الإلكترونيات الطبية ، القياسات والاختبارات

الآلية ، حيث سنتعرض باختصار شديد للوضع الحالى فى كل مجال وتوقعاته المستقبلية .

١/٥/٦ نظم الحاسبات وشبكات الحاسب

تعتبر الحاسبات حالياً من أكثر النظم الإلكترونية الرقمية شعبية . فكثيرون يمتلكون حاسباً من نوع أو آخر ، وأكثرون يستعملون الحاسبات ، والكل يسمع عنها . كما هو موضح فى الشكل (٦-١٣) ، يتكون الحاسب أساساً من خمسة أجزاء ملموسة رئيسية



شكل (٦-١٣) : الوحدات الأساسية المكونة للحاسب الإلكتروني .

هى وحدة المعالجة المركزية – Central Processing Unit (CPU) التى بها تتم العمليات المنطقية والحسابية ، وحدة الذاكرة ، مسار متعدد الخطوط – Bus لنقل المعلومات ، وحدة الدخل والخرج كلوحة المفاتيح مثلاً ، وشاشة العرض . كى يعمل جهاز الحاسب يلزم تحميله بخلفيات نظام تشغيل – Operating System (OS) ، وتواجد وحدة معجلات تسمى BIOS تعمل كوسيط بين نظام التشغيل وملموسات الجهاز . فى بداية عهد الحاسبات ، كان المنتشر هو حاسب الهيكل الرئيسى – Main Frame (MF) الذى تواجد فى الجامعات والمؤسسات الكبرى . ثم ظهر الحاسب الصغير – Mini Computer الذى تواجد أيضاً فى الجامعات والمؤسسات . مع التقدم فى الدوائر المتكاملة وظهور المعالج الدقيق – Microprocessor فى بداية السبعينيات ، تطورت الحاسبات إلى ظهور محطات التشغيل – Work Stations (WS) والحاسبات الشخصية – Personal Computers (PC) التى أصبحت فى متناول الأفراد مع

انتشارها بالجامعات والمؤسسات حيث غطت تقريباً على حاسبات الهيكل الرئيسى والحاسبات الصغيرة .

مع انتشار الحاسبات بأنواعها ، بدأ التفكير فى ربطها بشبكات ، أولاً محلية – Local Area Networks (LANs) ، ثم عالمية مثل الإنترنيت . فى شبكات الحاسب تستعمل حاسبات الهيكل الرئيسى والحاسبات الصغيرة كمساعدين – Servers ، بينما تستعمل محطات التشغيل والحاسبات الشخصية أحياناً كمساعدين وأحياناً كأطراف استخدام . هناك اتجاه حالياً لإنتاج أطراف استخدام منخفضة السعر بإمكانيات ذاتية أقل وتعتمد فى أدائها على قدرات الشبكة . يحتاج الحاسب فى مواجهته مع الشبكة إلى وحدة تعديل وكشف – Modem قادرة على التعامل مع الإشارات بسرعات عالية تصل إلى عشرات ميجاماك/ث .

رغم هذا النجاح والازدهار والانتشار فى الحاسبات والشبكات ، فإنها مازالت سريعة التطور ، والتنافس العالمى فيها على أشده .

٢/٥/٦ نظم الاتصالات الكهربية الرقمية :

فى النظم الحديثة ، يكاد يتلاشى الفرق بين شبكات الحاسبات وشبكات الاتصالات ، فكلاهما متجه حالياً فيما يعرف بنظام تعدد الأوساط – Multinedia على شبكة الإنترنيت . فى هذا النظام ، بالإضافة إلى نقل البيانات ، فإن الشبكة تنقل أيضاً الإشارات المسموعة والمرئية مما يسمح بعديد من الخدمات المضافة مثل الرؤية تحت الطلب – Video on Demand والمؤتمرات المرئية – Video Conferencing وغير ذلك . الإشارات المسموعة والمرئية تتبع وتعالج بأجهزتها الخاصة مثل أجهزة الإرسال وأجهزة الاستقبال وأجهزة الاستدعاء – Pagers وأجهزة الفاكس وأجهزة تحديد المواقع. تنتقل هذه الإشارات على مساراتها الخاصة من أسلاك نحاسية مجدولة أو كابلات محورية أو كابلات ألياف ضوئية قبل تحميلها على الشبكة من خلال وحدات التعديل والكشف – Modems . كما أن استعمال الأقمار الصناعية فى خدمات الاتصالات المحمولة فى سبيلها لتسهيل الاتصال بين أى نقطتين على الكرة الأرضية .

مع الاتجاه إلى ضم إمكانيات جهاز الحاسب الإلكترونى مع إمكانيات جهاز الاستقبال التليفزيونى فى جهاز واحد، ستتوحد وحدة التحكم عن بعد فى جهاز التليفزيون مع فأرة الحاسب – Mouse فى وحدة واحدة تجمع كل الإمكانيات والقدرة على التعامل . فمثلاً ، أثناء مشاهدة برنامج تليفزيونى وظهور إعلانات تجارية ، يمكن إتمام عملية الشراء بالتعامل مباشرة مع شاشة التليفزيون باستعمال الفأرة الموحدة . كذلك ، أثناء مشاهدة برنامج تليفزيونى ، بوضع سهم الفأر على رمز التليفون على الشاشة ، يمكن إتمام مكالمات تليفونية صادرة أو واردة من خلال جهاز التليفزيون نفسه ثم العودة إلى البرنامج نفسه بعد إتمام المكالمة ، وهكذا .

٣/٥/٦ نظم الإلكترونيات الاستهلاكية الرقمية

المقصود بنظم الإلكترونيات الاستهلاكية الرقمية تلك النظم الإلكترونية الرقمية التي تستعملها عائلة متوسطة بالمنزل ، أو مهنى بالمكتب ، أو فرد بذاته . قد تكون هذه النظم وحدات مساعدة كوحدة التحكم فى الغسالات الأتوماتيكية والأفران ووحدات الاستشعار وتسجيل البيانات فى آلات التصوير الحديثة ، أو نظم متكاملة كجهاز التليفزيون وأجهزة تسجيل الفيديو ونظم التخاطب وغير ذلك .

فيما يختص بالنظم المساعدة ، فربة المنزل تستعمل نظاماً من هذه النظم حينما تختار برنامج غسيل من بين عدة برامج متاحة . كذلك فى آلات التصوير الحديثة تستعمل مثل هذه النظم لتحديد فتحة العدسة وتركيز الصورة وضبط زمن العرض آليًا ، وكذلك تسجيل بيانات إضافية خاصة بكل صورة كمناسبة وتاريخ أخذها وحجم وعدد النسخ المطلوبة منها وغير ذلك . تستعمل هذه النظم المساعدة دوائر إلكترونية متكاملة تصل أحياناً إلى مستوى المعالج الدقيق – Microprocessor أو المحكم الدقيق – Micerocontroller .

فيما يختص بالنظم المتكاملة ، فمن أهمها جهاز الاستقبال التليفزيونى الذى يتسابق حالياً مع جهاز الحاسب الإلكترونى للفوز بلقب الجهاز الأول فى المنزل أو المكتب الحديث . التطور المهم فى مجال التليفزيون حالياً هو الاتجاه إلى الإرسال والاستقبال التليفزيونى الرقمى العالى الجودة – High Difinition TV (HDTV) .

كذلك ، فإن شاشة العرض التليفزيونى المسطحة ببعد قطرى أكثر من ٤٠ بوصة وسمك ١٠ سم ، والتى تعتمد على تكنولوچيا البلازما الغازية فى طريقها إلى الظهور . ولا أستبعد أن تتطور شاشة العرض مستقبلاً إلي شاشة رقيقة ملفوفة يمكن فردها عند الاستعمال . فى الوقت نفسه هناك تقدم فى الوحدات التى تخدم كلاً من جهاز التليفزيون وجهاز الحاسب الإلكترونى . فالقرص الصلد – Compact Disc (CD) تطور إلى قرص صلد يمكن الكتابة عليه – CD-RW . كما ظهرت وحدة تسمى قرص الفيديو الرقمى – Digtal Video Disc (DVD) يمكن تخزين فيلم سينمائى كامل عليها . وسبق ذلك ظهور آلات تصوير الفيديو الرقمية منذ عام ١٩٩٥ .

٤/٥/٦ نظم الإلكترونيات الصناعية الرقمية

معظم نظم الإلكترونيات الصناعية الرقمية تدور حول التحكم فى إدارة وتغيير سرعات موتورات كهربية من أصناف مختلفة بأحجام وطاقات مختلفة . ينقسم أى من هذه النظم إلى شقين . الشق الأول هو الشق التابع الذى يتحكم مباشرة فى توصيل الطاقة الكهربية إلى الوحدة تحت التحكم . يتكون هذا الشق أساساً من نبائط لها خاصية القطع والوصل عند جهود وتيارات تصل أحياناً إلى آلاف الفولتات وآلاف

الأمبيرات . تقع هذه النبائط فى مجال إلكترونيات القوى – Power Elctronics ، ومن أمثلتها الثايرستور العادى ، والثايرستور الذى يمكن قطع التيار المار به عن طريق بوابة – Gate Turn Off (GTO) ، والترانزستور ثنائى الاستقطاب ذو البوابة المعزولة – IGBT . الشق الثانى للنظام هو الشق المتبوع الذى يحدد أى النبائط تكون فى حالة قطع وأيها فى حالة توصيل ، وزمن فترة هذا القطع أو التوصيل حسب تصميم النظام كى يفى بالغرض المطلوب . يتكون هذا الشق أساساً من دوائر متكاملة متباينة ، بما فى ذلك المعالج الدقيق والمحكم الدقيق .

فى مجال إلكترونيات الطاقة ، يعتبر الترانزستور الثنائى الاستقطاب ذو البوابة المعزولة حالياً الاختيار الأمثل حتى أحمال تصل إلى ١٥٠٠ أمبير و ٣٥٠٠ فولت . ففى هذا المدى ، حل هذا الترانزستور محل الثايرستور GTO يسبب انخفاض طاقة الفقد وسرعة الأداء التى تتعدى ١٠٠ كيلوهرتز . فى محاولة كى يحتفظ الثايرستور GTO بمكانته ، فقد تم تطويره على رقيقة بقطر ١٥ سم بحيث يعمل عند أحمال تصل إلى ٦٠٠٠ أمبير و ٦٠٠٠ فولت .

فى شق الإلكترونيات الدقيقة ، فهو الشق المفكر فى النظام والذى يحدد نوعيته من حيث إذا كان من نوع التحكم المنطقى المبرمج – Programmable Logic Control (PLC) أو التحكم العددى بالحاسب – Computer Numerical Control (CNC) أو غير ذلك . بما أن التطبيقات محددة لأغراض صناعية معينة ، فإن الحاسبات المستعملة ، وتسمى الحاسبات الصناعية ، أقوى فى الأداء وأصغر فى الحجم ، وقد تتكون أحياناً من كارت واحد . هذه الحاسبات تستعمل قمة التكنولوجية المتاحة سواء من ناحية اختيار المعالج الدقيق أو المحكم الدقيق ، مع استعمال أكثر من معالج دقيق على التوازى أحياناً لزيادة السرعة . ويمكن أن يتصل هذا الشق بشبكات محلية أو شبكات أوسع بما فيها الإنترنيت .

بسبب تشعب وتعقيد نظم الإلكترونيات الصناعية الرقمية الحديثة ، هناك اتجاه للاتفاق على تصميم هذه النظم على أسس مفتوحة ، بحيث يمكن تبادل الوحدات بين النظم المختلفة بدلاً من غلق كل نظام على نفسه واحتكاره لاستراتيجية ذاتية فى الإحلال والتطوير والتجديد . كما أن الروبوت – Robot الذى كان قد بدأ يتوارى عام ١٩٩٣ ، بدأ ثانية فى الانتعاش والنمو .

٥/٥/٦ نظم إلكترونيات الفضاء والتطبيقات الحربية

تكنولوجيا الفضاء ، رغم أنها أكثر التكنولوجيات تقدماً وعمقاً وتعقيداً ، فإنها أيضاً تكنولوجيا لها شعبيتها من حيث إنها دائماً فى الأخبار وتتداولها جميع وسائل الإعلام أولاً بأول ، ويتابعها الأفراد على جميع مستوياتهم فى جميع أنحاء العالم .

تكنولوچيا الفضاء تشمل عديداً من التكنولوچيات نخص بالذكر منها ثلاثة تكنولوچيات رئيسية . الأولى هى تكنولوچيا القوى الميكانيكية التى عن طريقها أمكن إعطاء الصاروخ الطاقة اللازمة لدفعه خارج مجال الأرض إلى الفضاء الخارجى . الثانية هى تكنولوچيا المواد التى عن طريقها أمكن الحصول على المواد التى تتحمل الحرارة والإجهادات الهائلة ، التى تتعرض لها أسطح هذه الصواريخ وغرف الاحتراق وغيرها . الثالثة هي تكنولوجيا الإلكترونيات التى بها يمكن التحكم فى مسار الصاروخ، ومنها تتكون نظم القياس والتحكم والإرسال والاستقبال المتواجدة في الحمل الفعال الذي يدور في الفضاء بعد استهلاك صاروخ الدفع ، وكذلك قنوات الاتصال بينه وبين المحطات الأرضية المختصة بالمتابعة والإشراف .

ليست تكنولوجيا الفضاء رفاهية وإهدار كما قد يتصور البعض . فهي تمثل مدارس ومعامل أبحاث وورش عمل تلقي بدلوها في عديد من المجالات التي تخدم البشرية بطرق مباشرة وغير مباشرة . فبالإضافة إلي اكتشافات الفضاء نفسها المثيرة والمفيدة قطعا لجيلنا والأجيال القادمة ، فإن تكنولوجيا الفضاء لها الفضل في تطور الطيران المدني والحربي إلى الصورة التى نراها اليوم بما في ذلك طائرات الركاب الحديثة التى تصل سرعات بعضها إلي ضعف سرعة الصوت والطائرات الحربية المتقدمة ذوات القدرات الخارقة . كذلك ، تطوير نظم الليزر المضادة للصواريخ ، وعواكس البلازما لهوائيات الرادار التي تعطي أجهزة الرادار إمكانيات تكتيكية هائلة في الحروب . ولولا تكنولوجيا الفضاء ، ما ظهرت معظم المواد الحديثة التى تستخدم في مختلف الصناعات من سبائك معدنية ومواد بلاستيكية ومواد لاصقة وخلافه ، وما ظهرت الأقمار الصناعية وما تطورت نظم الاتصالات الرقمية لما نراه اليوم من أجهزة وشبكات بما في ذلك شبكة الإنترنيت .

واضح أنه لولا تكنولوجيا الإلكترونيات الدقيقة عامة ، والدوائر المتكاملة الشديدة الإتساع– VLSI بصفة خاصة ، ما أمكن التوصل أو حتي التفكير في كل هذا .

٦/٥/٦ نظم الإلكترونيات الطبية الرقمية

بفضل نظم الإلكترونيات الطبية الرقمية ، أصبح الطبيب قادراً علي القيام بجولة داخل جسم الإنسان دون أن يترك كرسى مكتبه . بالإشارة إلى دليل وضغطة على زر الفأرة – Mouse ، يظهر أمامه على شاشة الحاسب الإلكترونى المنطقة التى يرغب فى رؤيتها ، دليل آخر وضغطة أخرى يستطيع التركيز على نقطة محددة داخل هذه المنطقة لاكتشاف دقائق وتفاصيل معالمها . يستطيع الطبيب أن يفعل كل هذا وأكثر ويكتفى بالمشاهدة أو ، إذا أراد ، بالإشارة إلي دليل ثالث وضغطة على زر الفأرة يحصل على أى عدد من النسخ المطبوعة لأى منظر يرغبه . هذا مجرد عينة من التسهيلات التى قدمتها

الإلكترونيات لعالم الطب . كذلك ، فإن معظم الأطباء حالياً على اتصال بشبكة الإنترنيت ، ويمارسون الخدمات المذهلة التى تقدمها لهم فى مجالات تخصصاتهم . هذا بالإضافة إلى فيض من الأجهزة المتنوعة التى تساعدهم فى أداء مهامهم من كشف وتحليل وتشخيص وعلاج .

كما هو الحال دائماً ، فالإلكترونيات لا تهدأ ، ولا تتوقف يوماً عن تقديم ما هو جديد . إذا التفتنا إلى الجديد الذى تقدمه الإلكترونيات لعالم الطب ، سنرى الكثير ، سأكتفى هنا بالتركيز على مثالين اثنين فقط . الأول يتعلق بجراحة المخ . فالمعروف الآن أن أهم وسيلة لتعرُّف أماكن الخلل بالمخ ، سواء ورم أو انسداد ، هى التصوير بالرنين المغناطيسى – Magnetic Resonance Imaging (MRI) . هذه الوسيلة تحدد فقط مكان الخلل ، وتترك العلاج لنظم الجراحة التقليدية . تم حالياً، وعلى مدى أكثر من عشرة أعوام من البحث والتجارب ، تطوير نظام مغناطيسى آلى لتسهيل جراحات المخ ، من المتوقع تجربته إكلينيكياً هذا العام ١٩٩٩ . يتكون هذا النظام من مجال مغناطيسى قوى ، شدته ٣ تسلا ، يتم توليده باستعمال ملفات كهربية من أسلاك فائقة التوصيل – Superconducting لتقليل طاقة الفقد . يوضع رأس المريض داخل هذا المجال المغناطيسى القوى الذى يتحكم فى تحريك قسطرة – Catheter تحت غشاء الأم الجافية – Dura mater بمعدل نصف ملليمتر فى الثانية. تتكون القسطرة من سلك داخل جراب وفى مقدمته مغناطيس أسطوانى صغير قطره ٢,٣ سم وطوله ٦ سم . فى الوقت نفسه يمكن تحديد مكان رأس القسطرة بدقة متناهية ، ورؤيتها مع صورة المخ على شاشة الحاسب الإلكترونى عند تقاطع ثلاث شعرات عمودية تمثل الأبعاد الثلاثة . عند وصول رأس القسطرة عند المكان المطلوب ، يتم سحب السلك والمغناطيس ويبقى الجراب المبستر الذى من خلاله يمكن إتمام العلاج الذى ممكن أن يكون استئصال ورم ، أو فتح انسداد ، أو حقن جرعة إشعاعية ، أو غير ذلك . المثال الثانى يتعلق بمشروع دولى كبير بدأ عام ١٩٩١ م ، ومتوقع له أن ينتهى عام ٢٠٠٦م . هذا المشروع ممول أساساً من مؤسسات بالولايات المتحدة الأمريكية وإنجلترا بمبلغ إجمالي ٣ بلايين دولار أمريكى ، ويسمى – Human Genome Project . الهدف من هذا المشروع هو حل ألغاز وتصنيف الثنائيات النووية فى الكروموزومات البشرية . فالمعروف أن عدد الجينات المورثة فى الإنسان يبلغ مائة ألف . تتجمع هذه فى ثنائيات بعدد يزيد عن ثلاثة بلايين . هذه الثنائيات مجمعة من الأربعة مكونات المعروفة للأحماض الأمينية الحلزونية التشكيل – Dioxyribo Nuclic Acid (DNA) . لحل ألغاز وتصنيف هذه الثنائيات الفلكية العدد ، يتم وضعها على شرائح زجاجية كما توضع الترانزستورات على شرائح السيليكون فى النظم الإلكترونية ، ويطبق عليها برامج