

Universal serial Bus – USB

المسرى التسلسلي العمومي (Universal serial Bus – USB) ماهو الا تخاطبية سريعة ومرنة من أجل وصل الاجهزة مع الحاسب ، وكل حاسب شخصي PC جديد يتضمن بوابتي USB على الاقل ، هذه التخاطبية متعددة الاستعمالات بحيث يمكن استخدامها مع الطرفيات المعيارية مثل لوحات المفاتيح وسواقات الاقراص إضافة الى الاجهزة الاكثر تخصصا" مثل الاجهزة ذات التصميم الخاصة وقد تم تصميم التخاطبية USB اساسا" لتكون سهلة الاستخدام بالنسبة للمستخدم النهائي (end user) دون الحاجة لاية إعدادات سواء على صعيد التجهيزات (hardware) او البرمجيات (software) .

التخاطبية USB – بإختصار – مختلفة عن التخاطبيات التراثية الاخرى التي صممت لتحل محلها ، حيث يمكن لجهاز USB ان يستخدم حتى اربعة انماط نقل للمعطيات وثلاث سرعات ، واثناء وصله الى الحاسب الشخصي ينبغي على الجهاز ان يستجيب لسلسلة من الطلبات التي تمكن الحاسب من معرفة بعض المعلومات حوله وتأسيس الاتصال معه ، وفي الحاسب الشخصي ينبغي ان يوجد لكل جهاز برنامج قيادة منخفض المستوى من اجل إدارة الاتصالات بين التطبيقات وبرامج القيادة USB الخاصة بالنظام .

ان تطوير كل من جهاز USB وبرمجية الاتصال معه يتطلب بعض المعارف حول كيفية عمل التخاطبية USB وكيفية تحقيق نظام تشغيل الحاسب الشخصي للتخاطب معها ، إضافة الى ان الاختيار المناسب لشريحة المتحكم وصف الجهاز والادوات والتقنيات يمكن ان يساعد كثيرا" في تجنب العقبات وتبسيط ما نحتاج القيام به . وقد تم تصميم المسرى USB مع ثلاث سمات تميزه عن الطرق الاخرى في وصل التجهيزات الى الحاسب الشخصي ، السمة الاولى هي سهولة الاستخدام ، وقد تم تحقيقها عن طريق جعل الاجهزة قابلة للوصل والفصل الساخنين (hot pluggable unplugable) وهذا يعني انه يمكن وصلها وفصلها اثناء تشغيل الحاسب ، اي لا حاجة لإطفاء الحاسب من اجل من اجل وصل الاجهزة او فصلها وقابلة للإعداد بشكل ديناميكي مما يعني انه يتم تحديد عنوان الجهاز على الشبكة USB بشكل برمجي عندما يتم التعداد (enumerate) للجهاز اي التعرف اليه عن طريق برمجياته التي تم إعدادها في الحاسب . وهذه السمة – بشقيها – تخلصنا من العديد من المواضيع المرتبطة بإضافة التجهيزات الى الحواسيب الشخصية ومن المشاكل التي قد يواجهها المستخدمون .

السمة الثانية للمسرى USB هي قدرته على نقل المعطيات الصوتية نوعية الكلام (voice quality) عبر المسرى USB وقد اعطى هذا متطلبات أداء محددة حوالي (40 Kbps) كانت تستخدم على انها الحد الأدنى للمسرى USB ، من المهم ان نوعية الكلام ليست هي نفس صوت القرص الليزري (CD Quality) أو حتى نوعية المعطيات (data quality) فلكل منها متطلبات متشددة فيما يتعلق بمعدل الاخطاء ، نوعية الكلام تعنى ببساطة انه سيكون على المسرى USB تمرير

المعطيات data بالنوعية نفسها التي قد تتوقعها باستخدام خط الهاتف مثلا" والتي تتطلب اسلاكاً خاصة أو اجهزة الكترونية عالية السرعة من اجل تمرير المعطيات . السمة الثالثة للمسرى USB هي قابلية التوسيع (expandability) ففي الحواسيب القديمة كانت موائمات الفيديو ومتحكمات الاقراص تاخذ قسماً كبيراً من الماخذ المتاحة لكن مع امكانية وصل حتى 127 جهازاً على المسرى USB سترحب معظم الحواسيب الشخصية باى جهاز يتم وصله إليها .

الشكل ادناه يوضح مكان المسرى USB على الحاسب الشخصي :-



Connections to the PC

التوصيلات مع الحاسب الشخصي :-

يوصف المسرى USB غالبا" بأنه شبكة نجمية ذات طبقات (tiered star network).

يتكون المسرى USB من حلقة يقوم فيها المضيف (الحاسب الشخصي) بتبديئة الاتصال مع مختلف الاجهزة الموجودة على الشبكة ، ان الوصف الافضل لهذه الشبكة هو انها حلقة لان كافة الاجهزة موصولة تسلسليا" فيما بينها عبر وصلة وحيدة مع تدفق المعطيات في اتجاه واحد وكل جهاز على الحلقة يراقب مرور المعطيات ولا يستجيب الا للرسائل الموجهة له .

تتكون كل وصلة USB من موصلين A و B وأربعة اسلاك ، يتصل الموصل A مع مضيف المسرى USB أو الجهاز العلوي (upstream) اي الموجود في الاتجاه المعاكس لتدفق المعطيات ، ويتصل الموصل B مع الطرفية أو الجهاز السفلي (downstream) اي الجهاز الموجود في نفس اتجاه تدفق المعطيات ، ويتكون كبل المسرى USB من موصلين A و B من كلا جانبيه .

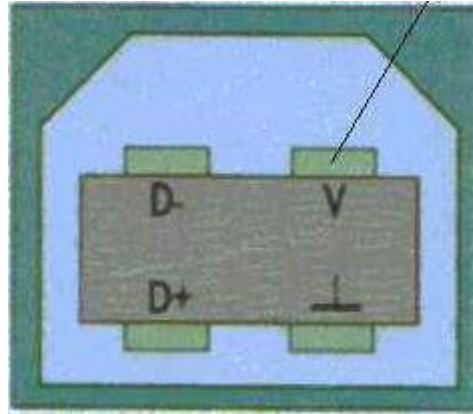
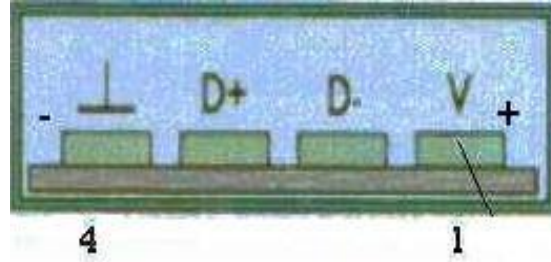
كهربائيا" يتكون الكبل من اربع وصلات ، تستخدم اثنتان منهما من اجل الإشارة ثنائية الاتجاه بين الحاسب والمجمع (hub) والطرفية ، ويقوم الحاسب الشخصي بقيادة الاشارات على هذين (ذوى الجهود التفاضلية من اجل تحسين المناعة ضد الضجيج الكهربائي) ، وتقوم التجهيزات الطرفية بقيادة المعطيات على هذين الخططين في الاوقات المناسبة .

الخطان الاخران في كبل المسرى USB هما التغذية (+5V) و (GND) ، ويمكن للمسرى USB في الحاسب الشخصي أو للمجمع (hub) أن يغذي كل جهاز طرفي موصل معه بتيار يصل حتى (100 mA) ، ويمكن لبعض الحواسيب الشخصية والمجمعات أن تغذي بتيار يصل الى (500 mA) لكل جهاز لكن لا يمكن الاعتماد على هذا في التصاميم ، فاذا كانت هنالك حاجة لاكثر من (100 mA) في تطبيق فيجب استخدام مصدر تغذية خارجي .

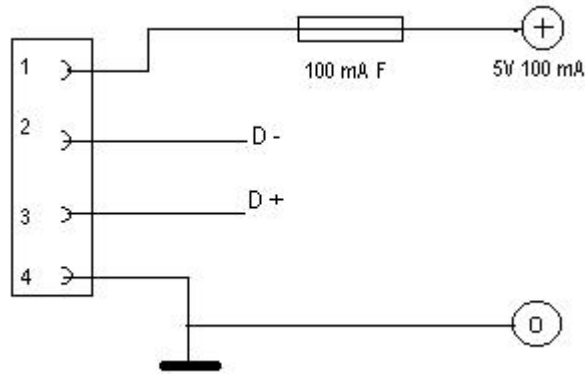
الشكل ادناه يوضح كابل USB مع اربعة موصلات كما ذكرت :-



الشكل التالي يوضح وظائف الاربعة موصلات :-



الشكل التالي يوضح الموصلات والجهود والتيارات :-



معدل نقل المعطيات الاعظمي الذي يساوي (12 Mbps) يعني انه ليس من الضروري أن يكون الكبل محميا" أو معالجا" بطريقة خاصة بأي شكل ، بالإضافة الى هذا المعدل يمكن استخدام المسرى USB بمعدل معطيات " بطيء" يساوي (1.5 Mbps) مصمم من اجل لوحات المفاتيح والاجهزة الاخرى ذات السرعة ومعدل المعطيات البطيئين .

Data Packet Formats

صيغ رزم المعطيات :-

تتكون المعلومات الممررة بين المضيف والجهاز الموصل عبر المسرى USB من مجموعة من الرزم التي يتم إرسالها بسرعة (12 Mbps) ، هنالك خمسة أنماط من الرزم متاحة للاستخدام ، تتكون هذه الرزم من حقل التزامن (synch field) الذي يستخدم لمزامنة جهاز المسرى USB مع المضيف ، الحقل التالي وهو الحقل (PID) الذي يستخدم لتحديد نمط الرزمة التي يتم تمريرها ، وتليه معلومات الرزمة والاختبار CRC الاختياري .

الحقل PID هو حقل ذو 8 Bit يحوي اربعة بتات معطيات مكررة مرتين (من اجل اكتشاف الاخطاء) ، هذه البتات الاربعة معرفة كما يلي :-

البتات PID3 – PID0	اسم الحقل PIN	نمط الرزمة
0001	Out	Token
1001	In	Token
0101	-	SOF
1101	Setup	Token
0011	Data0	معطيات
1011	Data1	معطيات
0010	Ack	مصافحة
1010	Nak	مصافحة
1110	Stall	مصافحة
1100	Pre	رزمة خاصة

يقوم المضيف بإرسال رزمة بداية الاطار (Start Of Frame - SOF) كل (1 ms) الى كل جهاز والغاية من هذه الرزمة هي إعلام جهاز المسرى USB بان هنالك مجموعة من الرزم قادمة ، وصيغة هذه الرزمة مبينة في الشكل التالي :-

رزمة بداية الاطار الخاصة بالمسرى USB

Synch	PID = SOF	FRAME #	CRC
-------	-----------	---------	-----

تطلب رزم المعطيات (data packets) من الرزم SOF الداخلة (In) أو الخارجة (Out) مع طلب تحديد الذاكرة المؤقتة Buffer على أنها Data0 أو Data1 ، صيغة رزمة المعطيات مبينة في الشكل التالي :-

رزمة المعطيات الخاصة بالمسرى USB

Synch	PID = Data	Data0 / Data1	CRC
-------	------------	---------------	-----

في كافة أنماط الطلبات – بإستثناء طلبات المعطيات متساوية الازمنة (isochronous) تتبع رزمة المعطيات برزمة مصافحة مثل تلك المبينة في الشكا ادناه يقوم المضيف بإرسال الرزمة التمهيدية الخاصة لإعلام جهاز ذي سرعة منخفضة (1.5 Mbps) بأنه سوف يتصل معه ، هذه الرزمة مبينة في الشكل التالي :-

رزمة المصافحة الخاصة بالمسرى USB

Synch	PID = H /S	CRC
-------	------------	-----

الشكل التالي يوضح شكل الرزمة الخاصة للمسرى USB

Synch	PID = Special	CRC
-------	---------------	-----

Data Transfer Types

أنماط نقل المعطيات :-

في المسرى USB يتم نقل المعطيات على شكل رزم تتكون كل منها من عدد من الحقول ، وتستخدم الرزم المختلفة لإنشاء أنماط مختلفة من الرسائل التي يقوم الحاسب الشخصي المضيف بتوليدها ، من المهم ملاحظة انه لا يمكن تبديء الطلبات إلا من قبل الحاسب الشخصي المضيف ، وهذه العملية تؤثر على كفاءة عمل المقاطعات (interrupt) والاليات الاخرى الخاصة بنقل المعطيات التي يتم توليدها في اجهزة المسرى USB .

الانماط الاربعة لنقل المعطيات عبر المسرى USB هي : نمط التحكم (control) والنمط متساوي الازمنة (isochronous) والنمط (bulk) ونمط المقاطعة (interrupt) وكل هذه الانماط تتكون من ثلاث مراحل هي : الاقلاع (startup) والمعطيات الاختيارية (optional data) والحالة (status) ، مرحلة الاقلاع تمرر نمط الطلب الى جهاز المسرى USB وتتم إعادة المعطيات عند الحاجة الي المرحلة اللاحقة .

في نهاية اى عملية نقل معطيات تقوم عملية النقل DMA بإعادة القيمة ACK أو القيمة NAK أو القيمة STALL ، القيمة ACK تدل على ان العملية تمت بنجاح ، والقيمة NAK تدل على عدم إمكانية إتمام العملية ، اما القيمة STALL تدل على الحاجة للمساعدة من الحاسب الشخصي المضيف ، الحالة المثلى لتوضيح دلالة القيمة STALL هي الحالة التي تكون هناك ضرورة لجعل المضيف يطلب من المستخدم إدخال قرص مرن في محرك الاقراص حتى يصبح بالإمكان حدوث عملية القراءة .

يستخدم نقل المعطيات data بنمط التحكم من اجل تمرير المعطيات بين المضيف وجهاز المسرى USB بشكل لا مترامن ، يستخدم هذا النمط من اجل الكتابات والقراءات من الاجهزة العامة .

يتم تحقيق النقل متساوي الازمنة داخل إطار اتصالات USB (الذي هو نافذة عرضها 1 ms من اجل نقل المعطيات) ، وعندما يقوم جهاز المسرى USB بإستقبال In token فإنه يرسل المعطيات ، اما عندما يقوم بإستقبال Out token فإنه ينتظر من اجل إستقبال المعطيات ، لا توجد مرحلة مصافحة بعد نقل المعطيات مما يجعل هذا النمط من النقل مناسباً من اجل تطبيقات الاتصالات الهاتفية التي يمكن التسامح فيها بشأن المعطيات الخاطئة . نمط النقل bulk مماثل للنمط متساوي الازمنة بإستثناء أنه يتم تمرير مصافحة بعد كل إطار .

النمط الاخير لنقل المعطيات عبر المسرى USB هو نمط المقاطعة ، وفيه يقوم المضيف بالتحقق من اجهزة المسرى USB كل 1ms ليرى ان كانت هنالك اية تغيرات ، تتم الاستجابة لهذا التحقق عبر إرسال رزمة معطيات (تحتوي معلومات

المقاطعة) و القيمة NAK أو STALL ، ويستجيب الحاسب الشخصي المضيف بدوره بإرسال ACK أو NAK أو STALL وهذا النمط مصمم من أجل اجهزة مثل لوحات المفاتيح والماوسات والتي تتطلب المقاطعات بمعدل بطيء نسبيا" (بالنسبة للحاسب) .

Device Enumeration:-

تعداد الاجهزة :-

التعداد هو العملية التي يقوم بها الحاسب الشخصي عند بداية إقلاعه للتعرف على أجهزة المسرى USB الموجودة في جداول موارد النظام وربطها ، يمكن ان تحدث هذه العملية في اي وقت لإعطاء إمكانية " وصل وتشغيل ساخن " حقيقية ، وهذا يعني أنه يمكن وصل الاجهزة أو فصلها في اي وقت أثناء عمل الحاسب الشخصي تتكون العملية الفعلية من خمس مراحل – مبينة الشكل ادناه :-

Attached

Powered

Default

Address

Confirmed

في مجمع المسرى USB توجد مقاومتان 15K تصلان قناة المسرى USB بالارضي ، وعند وصل الرجلين D+ و D- الى التغذية سيغير هذه الحالة مما يجعل المجمع يعلم بوصل الجهاز الجديد .

شراح USB :-

ان تعقيد بروتوكول التخاطبية USB يقتضي ان تكون طرفياتها " ذكية " إذا يجب أن يتعرف متحكم الطرفية كيف يكتشف الاحداث على بوابة المسرى ويستجيب لها وعليه ان يؤمن طريقة لتخزين المعطيات التي يجب إرسالها من الجهاز وتحصيل المعطيات التي يتم استقبالها وكذلك استخدام هذه المعطيات .
تختلف رقاقات المتحكمات في مقدار الدعم البرمجي الذي تتطلبه من اجل إجراء الاتصالات عبر التخاطبية USB ، فبعضها يتطلب أكثر بقليل فقط من الولوج الى سلسلة من السجلات لتخزين معطيات المسرى USB وتخزينها ، أما بعضها الآخر فيتطلب أن يقوم البرنامج الموجود في الجهاز بأكثر من هذا مثل إدارة إرسال الوصفات الى المضيف وإعداد قيم تبديل المعطيات والتأكد من إرسال رزمة المصافحة المناسبة .

تتضمن كافة المتحكمات USB بوابة أو أكثر للمسرى USB إضافة الى ذواكر مؤقتة (buffer) وسجلات وأجهزة دخل / خرج أخرى ، وهناك بعض المتحكمات التي تحتوي على وحدة معالجة مركزية (CPU) لهذا يجب ان تتضمن أيضا " ذواكر للبرنامج و المعطيات على الرقاقة أو واجهات تخاطب لهذه الذواكر عند استخدام ذواكر خارجية .
ليست كافة المتحكمات تدعم انماط النقل الاربعة كما أنه باختلاف المتحكم تختلف سرعة المسرى ، ومعظم المتحكمات تدعم عدداً من نقاط الاتصال أقل من العدد الاعظمي (نقطة اتصال واحدة للتحكم و 30 نقطة اتصال أخرى) .

بوابة المسرى USB :-

بالطبع ينبغي أن يكون لدى متحكم طرفية USB بوابة للمسرى USB إضافة الى دارات تدعم الاتصالات مع المضيف ، يؤمن المرسل / المستقبل تجهيزات التخاطب مع المسرى USB ، والدارات التي تتصل مع المرسل / المستقبل تشكل وحدة تسمى " محرك التخاطب التسلسلي (Serial Interface Engine - SIE) " .

الذواكر المؤقتة لمعطيات المسرى USB :-

يجب على متحكم USB أن يتضمن أيضا " ذواكر مؤقتة (buffers) لتخزين المعطيات التي تم استقبالها مؤخراً " أو المعطيات الجاهزة للإرسال على المسرى ، معظم الرقاقات – مثل الرقاقة NET2888 من شركة NetChip تستخدم السجلات

في حين ان بعضها الاخر – مثل الرقاقة EZ-USB من شركة Cypress – يحجز جزءاً من ذاكرة المعطيات كذاكرة مؤقتة .
غالباً ما تكون بنية السجلات التي يتم فيها تخزين المعطيات المرسله أو المستقبله من نمط الرتل (اي مايدخل اولاً" يخرج اولاً" (First In First Out (FIFO) ، اي أن كل قراءة لرتل المعطيات المستقبله تعيد البايت الموجود في هذا الرتل منذ أطول فترة ، كما ان كل كتابة في رتل الارسال تخزن بايتاً لن يتم نقله الا بعد نقل كافة البايتات الموجودة مسبقاً في الرتل ، و مع كل قراءة للرتل أو كتابة فيه تتم بشكل الي زيادة قيمة مؤشر الى الموقع التالي الذي يجب ان تتم القراءة التالية منه أو الكتابة التالية فيه (على الترتيب) .

الرقاقات المصممة خصيصاً من أجل التخاطبية USB :-

**** الرقاقات المصممة من اجل التخاطب مع USB كثيرة جداً لهذا سنتحدث عن رقاقتان فقط :-**

بعض المتحكمات controller مصممة خصيصاً من أجل تطبيقات التخاطبية USB ، فبدلاً من إضافة إمكانيات التخاطبية USB الى بنية موجودة مسبقاً تتم امثلة هذه التصاميم من البداية من أجل التخاطبية USB ، هنالك مصدران لهذا النمط من الرقاقات هما (Cypress Semiconductor) و (Scanlogic) .
تتوفر رقاقات متوافقة مع عائلات أخرى أيضاً بما في ذلك متحكمات AVR من شركة Atmel و PIC من شركة Microchip و 68HC05/8 من شركة Motorola .

السلسلة Microchip PIC 16C7x5 :-

للمتحكمات الصغيرة PIC من شركة Microchip الكثير من المستخدمين نتيجة لانخفاض تكلفتها وتوفرها على نطاق واسع ووجود الكثير من الخيارات فيها وانخفاض استهلاكها للطاقة وبساطة تعليماتها ، المتحكمات 16C745 و 16C765 هما متحكمات PIC يتضمنان بوابات USB منخفضة السرعة .

هاتان الرقاقتان هما عنصران محسنان من السلسلة 16C5x ، البرنامج المكتوب للسلسلة 16C5x قابل للنقل الى السلسلة 16C7x5 ، هذه الرقاقات تدعم 35 تعليمة او امر .

إضافة الى التخاطب مع USB هنالك 19 Pins دخل / خرج اضافة الى الرقاقة 16C765 تتضمن بوابة تفرعية Parallel Port تابعة (Slave) ذات 8 bit من وصل المتحكم الصغير مع مسرى معطيات خارجي ، يمكن ل 8 من ارجل الدخل والخرج ان تعمل كمدخلات لمبدلات تماثلية / رقمية ، والبوابة USART تدعم الاتصالات التسلسلية المتزامنة وغير المتزامنة ، ولهذه الرقاقة ثلاث مؤقتات .

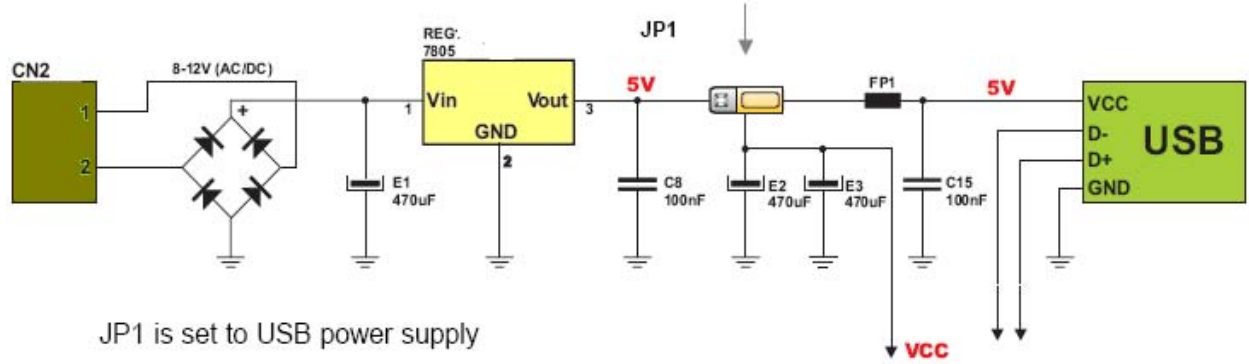
يمكن استخدام مهتز كريستالي أو سيراميكي كساعة لهذه الرقاقة ، ذاكرة البرنامج من النمط EPROM أو OTP .

الرقاقة NetChip NET2888 :-

لا تتضمن الرقاقة NET2888 من شركة NetChip وحدة CPU عامة الأغراض أو ذاكرة ، فهي تتضمن متحكم USB فقط وتخاطبية مع مسرى معطيات عام يمكن وصله الى اي وحدة معالجة مركزية لها مسرى متاح .
لا تتضمن الرقاقة NET2888 اية ذاكرة للبرنامج أو المعطيات باستثناء الذواكر المؤقتة الخاصة بالتخاطبية USB ، للمسرى المحلي خمسة بتات عنوانية (A0-A4) وثمانية بتات معطيات (D0-D7) تمكن من القراءة و الكتابة لبايتات موجودة في 32 عنواناً .
نقل المعطيات عبر المسرى المحلي يستخدم خط "اختيار الرقاقة (ChipSelect) " وإشارات IOR و IOW منفصلة للتحكم بعمليات القراءة والكتابة ، ويمكن لمعظم المتحكمات الصغيرة التي تدعم مساري المعطيات الخارجية ان تستخدم هذا التخاطب مع القليل من المنطق الاضافي او حتى دون ذلك .

الملحق

الشكل ادناه يوضح وحدة power لتطبيقات USB خارجية :-



الشكل ادناه يوضح طريقة التحويل من USB الى RS232

