

USB-Messtechnik Kapitel 1

Von Nothart Rohde / März 2008

-1-

Der USB ist inzwischen überall und dient nicht nur für die Leselampe. Aber 480 Mbit/sec für die Modellbahnsteuerung oder für einen Prozessor, der eigentlich keinen Strom verbrauchen darf, wie soll das gehen ? Der Blick auf die Werbung, demnächst auch für USB 3, ist eine Sache, die konkret nachgemessen Kommunikation zwischen preisgünstigen USB 2 Komponenten die andere. Man stellt dabei fest, dass nicht immer USB 2 drin sein muss, wenn es draufsteht. Und wer möchte, kann bei dieser Gelegenheit mit einem einfachen, selbstgebauten *Augengenerator* seine ganzen Datenleitungen durchklingeln.

Den USB (Universal Serial Bus) gibt es schon lange. So lange, dass man sich nur noch dunkel an seine Anfänge erinnert. Damals wurde beklagt, dass diesen schönen Bus kaum jemand nutzen würde, zumal der klassische PC in Bezug auf externe Schnittstellen absolut mager ausgestattet war. RS 232 stammt ja aus einer Zeit, wo bei Kleinrechnern der Fernschreiber und der Lochstreifenstanzer die normalen Ausgabegeräte waren.

Irgendwann wurde dann in Abgrenzung zum bisherigen USB 1.0 bzw. USB 1.1 der USB 2.0 eingeführt, der bis zu 480 Mbit/sec schafft. Das freute natürliche alle, die vorhatten, hohe Datenraten zu übertragen, besonders die Videospezialisten.

Dann kam die Sache allmählich in Gang und die Verfügbarkeit einer Stromversorgung am Stecker führte zu innovativen Produkten wie Tischventilatoren, Kaffewärmern und Leselampen. Man sollte aber nicht darüber lächen, denn so etwas schafft Markpräsenz und der PC ist nun einmal ein sehr populäres Gerät geworden. Dabei gibt es viele Arten von Bussen und speziell am PC konkurriert der USB mit dem FireWire. Über ihn war allerdings schon zu hören, dass sein eindrücklicher Name speziell auf dem amerikanischen Markt Probleme bereiten würde, da die breite Masse der Anwender den Begriff falsch versteht und Angst davor hätten, dass Feuer aus dem Gerät schlägt oder das Haus abbrennt, UL-Zulassung hin oder her. Ein Beispiel für die Psychologie des Marktes und für unpassende Werbung.

Inzwischen steht zum einen der USB 3.0 mit sagenhaften 5 Gbit/sec in den Startlöchern und zum anderen muss der normale Anwender, der mit dem PC den Rollladen oder die Modellbahn steuern möchte, um seine geliebte serielle Schnittstelle fürchten. Und 5 Gbd heißt in jedem Fall allerneueste Technik, erhöhter Stromverbrauch und kurze, dicke Leitungen. Das ist nicht jedermanns Geschmack und passt auch nicht immer.

Nun ist die weltweite Werbung der USB-Vereinigung, die schnelle Chips verkaufen möchte, und der riesige Berg an Detailinformation, der hinter dem USB-Konzept steckt, nur ein Teil der Wahrheit. Denn bereits die 480 Mbd sind echte Hochfrequenz und weder Chip noch Kabel können recht preisgünstig hergestellt werden. Wichtig ist dabei, dass USB 2.0 zu USB 1.1 abwärtskompatibel ist. Das bedeutet, dass zwei Geräte zunächst mit der geringstmöglichen Datenrate das Protokoll besprechen und dann gegebenenfalls bei Einverständnis mit höherer Geschwindigkeit kommunizieren. Von USB 1.1 spricht inzwischen kaum noch jemand, fast alle haben USB 2.0 im Programm. Besonders ehrliche Anbieter sprechen von „USB 2.0, full speed“, will sagen USB 2.0 mit schlappen 12 Mbd.

Für die Freunde der geringen Datenrate, der langen Verbindungsleitung und der stromsparenden Mikroprozessortechnik ist es daher schön zu wissen, dass nicht immer USB 2.0 drin ist, wenn es draufsteht. Man kann das gut mit einfachen Webcams verifizieren, die mit 12 Mbd arbeiten. Sie machen dann an allen Slots hartnäckig 12 Mbd, nur der Startvorgang ist am USB 1.1 - Port etwas anders als am USB 2.0 - Port. Dazu braucht es keinen Protokollanalysator, man sieht das auch mit dem Oszilloskop.

Für den Fall, dass der USB auch bei Mikroprozessoren weiter an Bedeutung gewinnt, muss man sich etwas mehr mit der Verkabelung auseinandersetzen. Weder Standardstecker noch Standardkabel mit eingeschränkter Länge sind hier die optimale Lösung. Auch die mitgeführte DC-Versorgung ist nicht immer nötig. Grundsätzlich benötigt werden 2 Signalleitungen (**D+** und **D-**), die Bezug zur Masse haben. Beide Leitungen sind üblicherweise verdrillt, aber nicht unbedingt geschirmt, was manche wacklige Kommunikation erklären kann. Die meiste Zeit ist das Signal D- die Invertierung von D+, aber nicht immer. Es lohnt daher den Versuch, mit 2 getrennten Koaxialleitungen zu verdrahten, die 75 Ohm Impedanz haben. Die normgerechten 90 Ohm sind nicht so gängig. Über kurze Entfernungen geht vielleicht sogar eine 2-adrige, geschirmte Mikrofonleitung.

Was hier sinnvoll wäre, ist eine einfache Messeinrichtung, mit der ein Kabel auf die Eignung zur digitalen Datenübertragung untersucht werden kann. Dazu muss man zunächst darüber nachdenken, welche Forderungen eigentlich gestellt werden.

Betrachtet man ein 500 kHz - Rechtecksignal aus einem Funktionsgenerator, so ist das eine Folge von Nullen und Einsen, die jeweils eine Dauer von 1 µsec haben, entsprechend einer Datenrate von 1 Mbit/sec (1 Mbd). Kämen in Folge jeweils 2 Nullen und 2 Einsen, müsste man den Generator dazu auf 250 kHz einstellen. Man sieht daran, dass eine beliebige Bitfolge richtig übertragen wird, wenn die Folge LHLHLH... richtig übertragen wird, denn alle anderen Folgen sind irgendwie „langsamer“, bis hin zu DC, entsprechend LLLLLL... oder HHHH... .

Wird nun ein solches Signal in der Bandbreite begrenzt, etwa durch ein Kabel oder einen Tiefpass oder vielleicht einen Optokoppler, so werden die Flanken verschliffen und sind dann irgendwann, bei in Gedanken langsam abnehmender Bandbreite, nicht mehr als L oder H zu erkennen. Es ist bekannt, dass sich nach Fourier ein Rechteck aus einem Sinus und seinen ungradzahligen Oberwellen zusammensetzen lässt. Im obigen Beispiel käme man dann schon auf einige MHz Bandbreite. Überraschenderweise besagt die Theorie, die hinter den klassischen Telefonmodems und inzwischen hinter jeglichem digitalen Funk steht, dass sich das verschliffene Signal kaum von einem Sinus unterscheiden muss, wenn man alle bekannten Tricks anwendet.

Für die einfacheren Fälle hat sich eine Messmethode eingebürgert, die vielleicht etwas ungewohnt erscheint. Es ist die Darstellung von Augendiagrammen, eine Art Mischung von analoger und digitaler Sichtweise. Man geht hier davon aus, dass es für die saubere Erkennung einer verschliffenen Bitfolge nur von Bedeutung ist, dass das Signal zu festen Zeitpunkten einen definiert Zustand einnimmt. Was dazwischen passiert, ist uninteressant. Durch die nicht weiter definierte Bitfolge lässt sich ein derartiges Signal auf dem Oszilloskop aber nicht eindeutig darstellen. Man sieht vielmehr die Überlagerung vieler Kurven, die nur zu definierten Zeitpunkten die Werte L oder H haben. Das erzeugt, ganz anschaulich, die besagten Augen, allerdings nur auf einem Analog-Oszilloskop und neuerdings auch auf hochpreisigen Digital-Oszilloskopen, die diese Überlagerung simulieren können.

Ein derartiger Test kann nicht mit einem üblichen Signalgenerator durchgeführt werden. Man benötigt dazu einen Generator, der eine zufällige Bitfolge erzeugt und einen Takt bereitstellt, der das Oszilloskop stabil triggert. **Bild 1** zeigt einen recht einfachen Generator, der für Untersuchungen am USB aufgebaut wurde. Er kann unverändert oder auch sinngemäß für alle anderen digitalen Übertragungsstrecken verwendet werden, bei denen eine Frequenzbegrenzung untersucht werden soll. Das sind besonders schlechte oder zu lange Leitungen oder Bausteine zur Potenzialtrennung, besonders analoge Optokoppler.

Die Schaltung besteht aus einem Schieberegister mit 6 Stufen, das aus dem Baustein 74HC174 gebildet ist. Die letzten beiden Stufen werden über Exor verknüpft und wieder in das Schieberegister eingespeist. Dadurch wird in bekannter Weise ein Pseudorauschen erzeugt, also eine „zufällige“ Bitfolge. Getaktet wird wahlweise mit 1,5 MHz (low speed) oder 12 MHz (full speed). Derartige Generatoren starten nicht, wenn alle Bits im Register auf L stehen. Man benötigt daher einen definierten Startvorgang. Leider lässt sich gerade der verwendete Baustein nur auf L setzen. Daher wird zusätzlich, vor und nach der ersten Stelle im Register, eine Invertierung durchgeführt, so dass beim Start das Register faktisch auf HL LL LL steht. Zum sauberen Start wird zusätzlich der Taktoszillator vorübergehend angehalten. **Bild 2** zeigt ein Stück der erzeugten Bitfolge und dazu die Verformung durch einen Tiefpass. Man sieht sehr deutlich, wie das gedachte Erreichen der Schaltschwelle von der Bitfolge beeinflusst wird.

Man sollte festhalten, dass eine seriöse Messung an Kabeln die Kabelimpedanz und die Abschlusswiderstände berücksichtigen muss. Das ist gerade bei USB nicht gegeben, denn die Bausteine haben je nach Zeitpunkt und Betriebsituation ganz unterschiedliche Innenwiderstände, ein Bereich, der sich grob zwischen 50 Ohm und 1 kOhm bewegt. Auch die Verbindungskabel, die man so findet, sind unter HF-Gesichtspunkten nicht sehr überzeugend. Es wird da eher das Prinzip „es muss nur gehen“ zur Anwendung gebracht. Der Generator hat daher die üblichen 50 Ohm am Ausgang. Er liefert aber auch so in der Praxis bei Unklarheiten in der Übertragungstrecke einen ganz erheblichen Erkenntnisgewinn.

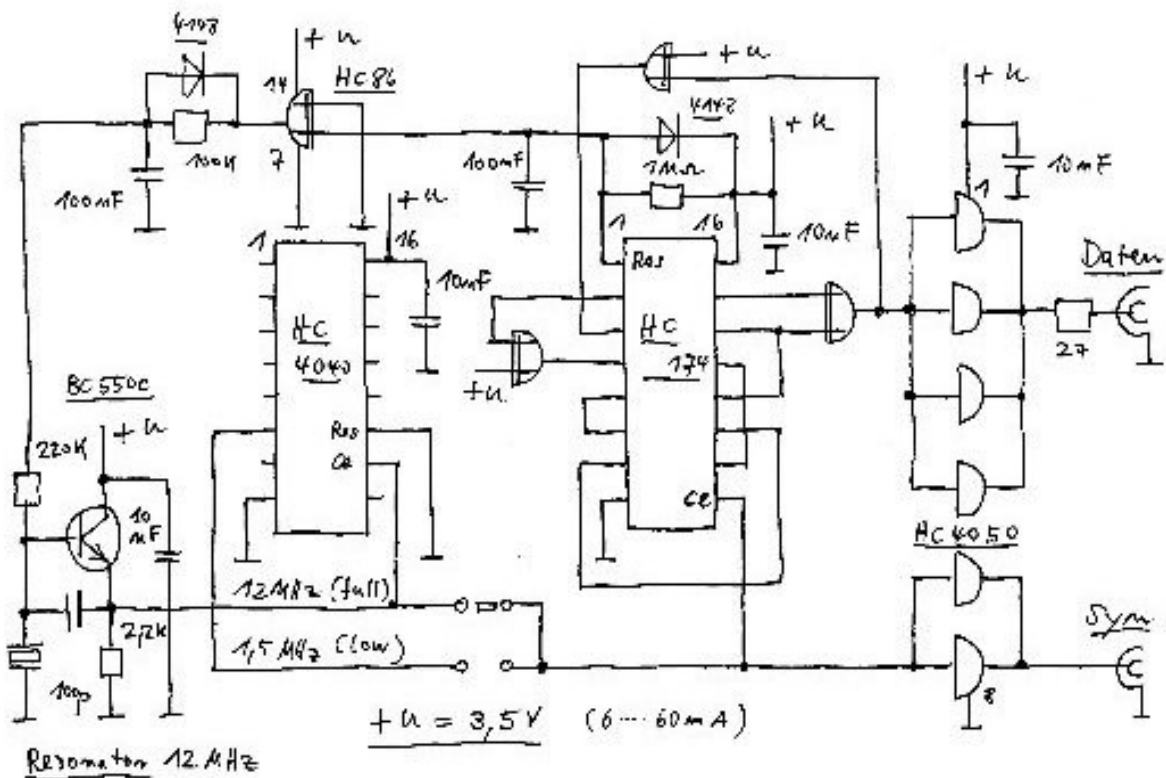


Bild 1 Schaltung des Testgenerators. Die Höhe der Versorgungsspannung ist auf den USB abgestimmt.

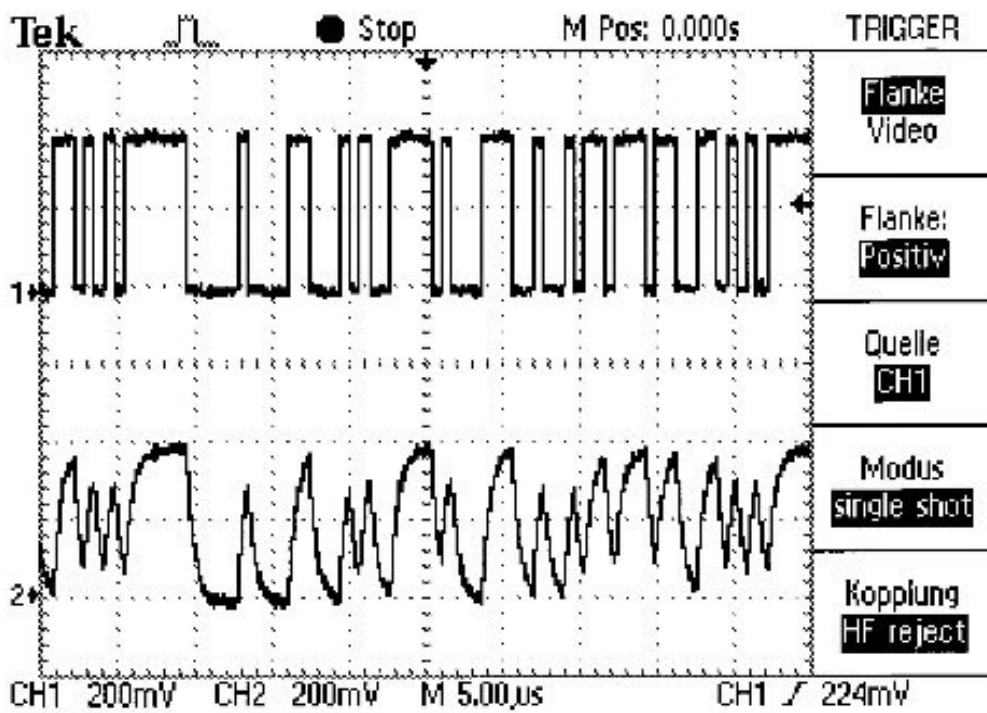


Bild 2 Ausgangssignal des Generators, hochohmig gemessen. Datenrate 1,5 Mbd / low speed.

- a) Ausgang direkt.
- b) Hinter einem Tiefpass, einem RC-Glied mit 1 k Ω / 100 pF.