

Der folgende Artikel erschien am 15. Januar 1982 in der Zeitschrift

# Elektronik

Fachzeitschrift für Entwickler und industrielle Anwender



Kenneth Jessen

## Taschenrechner steuert Zweidraht-Bussystem

Neues Digitalmultimeter als erste Systemkomponente

Im Gegensatz zur parallelen Informations-Struktur des Hewlett-Packard-Bus-Systems HP-IB (entspricht IEEE 488) ist der neuentwickelte HP-IL (Hewlett-Packard Interface Loop) für kleine und preisgünstige Systeme vorgesehen, die mit Batterien betrieben werden. Das Prinzip: Alle Geräte in einer HP-IL-Schleife sind derart miteinander verbunden, daß eine Mitteilung, welche von einem Gerät ausgesandt wurde, in der Schleife

solange weitergegeben wird, bis sie wieder bei dem Gerät angelangt ist, von dem sie ursprünglich herührte. Die nächste Meldung wird übertragen, sobald die vorhergehende Mitteilung wieder empfangen wurde, so daß auf diese Weise eine Handshake-Funktion realisiert wird. Als Controller fungiert, wie im vorliegenden Beitrag beschrieben, ein Taschenrechner HP-41C.

### 1 Funktion des neuen Zweidraht-Busses

Da der HP-IL völlig neu auf dem Markt ist, ist es wohl angebracht, dieses Bus-System zunächst etwas ausführlicher zu erläutern. An einer typischen Bus-Schleife lassen sich drei Arten von Geräten unterscheiden: ein Controller, „Sprecher“ (Talker) und „Hörer“ (Listener). Der Schleifen-Controller, hier ein Taschenrechner vom Typ HP-41C, übermittelt alle Befehle zur

Interface-Konfiguration an die übrigen Geräte in der Schleife. Ein Gerät, das Daten aussendet, ist ein „Sprecher“, während ein anderes Gerät, wie beispielsweise ein Drucker, ein „Hörer“ ist. Ein Meßinstrument, wie z. B. das ebenfalls neuentwickelte und in diesem Beitrag näher vorgestellte Digital-Multimeter 3468A, vereint dagegen in sich sowohl die Hörer- als auch die Sprecher-Funktion. Durch Übertragung entsprechender Befehle läßt der Controller immer nur einen Sprecher

gleichzeitig in der Schleife zu, jedoch kann es mehrere Hörer geben.

Um die Benutzerfreundlichkeit des Systems zu verbessern, wurde das Interface so konzipiert, daß jedem HP-IL-Gerät automatisch eine Adresse zugeordnet wird. Anschließend kann das jeweilige Gerät dem Controller mitteilen, zu welcher Geräteart es gehört. Andere Interface-Systeme machen es erforderlich, daß der Benutzer schon im Voraus weiß, welche Adresse jedes Gerät hat. Außerdem muß er geeignete Software schreiben, um jedes Gerät einzeln mit seiner Adresse aufzurufen. Das automatische Adressierungsverfahren des HP-IL dagegen ermöglicht es dem Benutzer, Geräte in der Software nach ihren Modell-Nummern oder ihrer Typenbezeichnung aufzurufen. Alle Geräte in der Schleife werden vom Rechner 41C bei jedem Einschalten der Betriebsspannung automatisch, oder auch durch einen „AUTO IO“-Befehl in der Software, adressiert.

In der Schleife wird immer nur eine Meldung gleichzeitig übertragen. Sie muß zu dem Gerät, das sie abgegeben hat, zurückkehren, bevor die nächste Meldung ausgesendet werden kann. Dies garantiert, daß Mitteilungen nicht schneller übertragen werden, als sie von anderen Geräten in der Schleife aufgenommen werden können. Alle Meldungen müssen jedes Gerät in der Schleife durchlaufen, wobei eine Meldung von ei-

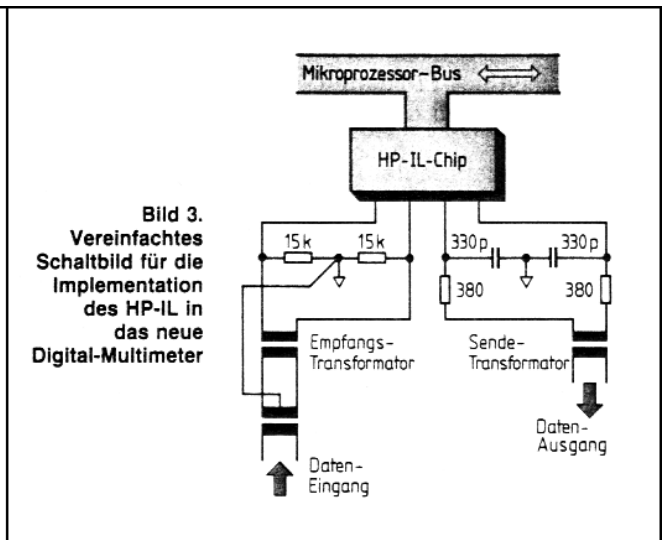
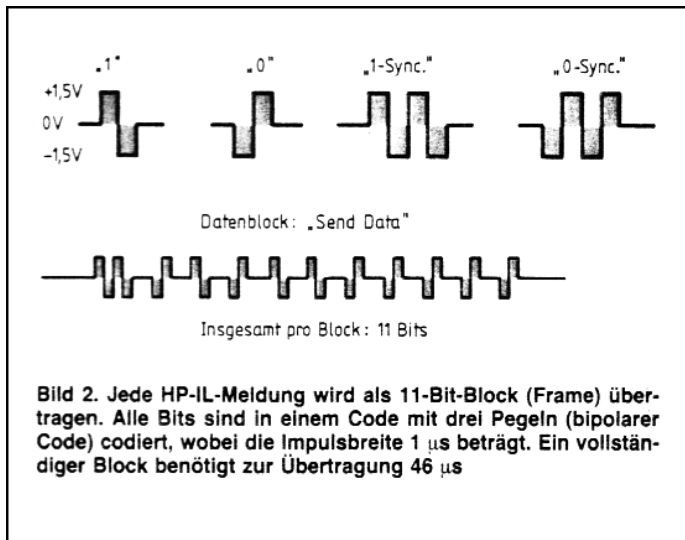
nem gegebenen Gerät nicht eher weitergegeben wird, bevor es nicht bereit ist, die nächste Mitteilung zu empfangen. Ein zusätzlicher Vorteil ergibt sich aus der Schleifen-Konfiguration insofern, als das aussendende Gerät eine Fehlerprüfung vornehmen kann, um sicherzustellen, daß jedes Gerät die Meldung fehlerfrei empfangen und weitergeleitet hat, bevor es die nächste Meldung aussendet.

Natürlich kann die Schleifen-Geschwindigkeit unakzeptabel niedrig werden, wenn sich eine Reihe langsamer Geräte in der Schleife befindet, jedoch sind die Meldungen gewöhnlich nur für ein oder zwei Geräte gleichzeitig bestimmt. Der speziell entwickelte HP-IL Interface-Baustein verfügt über einen Zustand, der es ermöglicht, daß Mitteilungen, die nicht für ein gegebenes Gerät gedacht sind, innerhalb von 20  $\mu$ s nach dem Empfang weitergegeben werden. Auf diese Weise läßt sich ein ausreichender Durchsatz erreichen.

Wenn der Controller ein für alle Geräte der Schleife bestimmtes Kommando ausgibt, wird der Handshake-Prozess so modifiziert, daß ein Gerät einen Befehl beim Empfang zunächst in einem Puffer-Speicher zur späteren Ausführung ablegt, ihn ansonsten jedoch sofort zum nächsten Gerät weitergibt. Dies ermöglicht es, daß alle Geräte an der Schleife den gleichen Befehl praktisch zur gleichen Zeit ausführen.



**Bild 1. Einfaches HP-IL System unter Benutzung des Taschenrechners HP-41C, des Multimeters HP 3468A und eines Thermodruckers**



Der Controller sendet dann eine spezielle Mitteilung mit der Bezeichnung „ready for command“, die von jedem Gerät in der Schleife festgehalten wird, bis der vorige Befehl ausgeführt wurde. Alle Geräte benötigen etwa die gleiche Zeit zur Ausführung eines Befehls, so daß der Befehl „ready for command“ nur durch das erste Gerät in der Schleife verzögert und dann mit hoher Geschwindigkeit in der Schleife weitergegeben wird.

## 2 Das HP-IL-kompatible Digital-Multimeter

Das Modell 3468A von Hewlett-Packard ist ein leistungsfähiges „Low-Cost“-Digital-Multimeter mit fünf Funktionen; der Benutzer kann die Auflösung zwischen 3½ und 5½ Stellen verändern. Bis zu 40 Messungen pro Sekunde sind bei einer Auflösung von 3½ Stellen möglich. Das Gerät ist vollständig programmierbar und verfügt über ein alphanumerisches Display mit zwölf Stellen, auf dem sowohl die Meßwerte als auch die jeweilige Einheit, sowie intern oder von einem Controller erzeugte Mitteilungen dargestellt werden können. Standardmäßig ist im Multimeter ein HP-IL-Interface vorgesehen.

Mit dem Rechner HP-41C, dem erwähnten Multimeter und einem Drucker/Plotter (HP 82162A) läßt sich dann auf einfache Weise ein kleines Meßsystem zusammenstellen (Bild 1), das zur weiteren Erläuterung überaus nützlich ist.

## 3 Meßabläufe im HP-IL-System

Zu Beginn einer Meßroutine konfiguriert der Controller (41C) die Schleife automatisch so, daß das erste

Gerät (der Drucker) die Adresse „1“ erhält, das zweite Gerät (das DMM) die Adresse „2“. Nach der Adressierung des Multimeters wird sein Meßwert in das numerische X-Register des Rechners gebracht. Im Programm wird dazu eine IND-Instruktion (Input Decimal) benutzt, die veranlaßt, daß ein „send data“-Befehl auf dem Bus übertragen wird. Sobald der „send data“-Befehl von DMM empfangen wird, sendet es ihn nicht zurück, sondern stattdessen beginnt das DMM damit, seine Meßwerte in Form einer Folge von „Daten-Frames“ (Blöcken) zu übertragen, die mit einem Befehl für Wagenrücklauf und Zeilenvorschub endet. Während dieses Datenübertragungs-Prozesses lädt der 41C den Meßwert in sein X-Register.

Die Schleifen-Struktur ermöglicht es dem DMM, vor der Übertragung des nächsten Daten-Frames eine Fehlerprüfung durchzuführen. Sollte dabei ein Fehler festgestellt werden, wird die Meßsequenz durch die Meldung „end of transmission with error“ beendet. Wenn der 41C diese Mitteilung erhält, wird das Programm angehalten und auf dem Display des Rechners ist zu lesen: „TRANSMIT ERR“.

Zum Ausdrucken des Inhalts des X-Registers wird eine PRX-Instruktion benutzt. Dazu wird jedes Gerät in der Schleife seriell abgefragt, bis der Drucker gefunden ist. Der Rechner befiehlt dem Drucker dann, als Hörer zu arbeiten, woraufhin der im X-Register des Rechners gespeicherte Meßwert des Digital-Multimeters als eine Folge von Frames ausgegeben und im Pufferspeicher des Druckers abgelegt wird. Am Ende der Übertragung wird ein Zeichen für Wagenrücklauf/Zeilenvorschub gesendet, welches den Drucker veranlaßt, den Inhalt seines Puffer-Speichers auszudrucken.

Die Geschwindigkeit dieses speziellen Systems wird durch den Taschenrechner auf ungefähr zwei Messun-

gen pro Sekunde beschränkt. Das DMM 3468A selbst dagegen kann, bei einer Auflösung von 3 Stellen, bis zu 40 Messungen pro Sekunde ausführen, was aber immer noch unter der maximalen Übertragungsrate des HP-IL liegt. Der Wert des HP-IL wird dadurch aber nicht eingeschränkt, da er vor allem entwickelt wurde, um den Bedarf nach einem kleinen, freundlichen und preiswerten Interface-System zu erfüllen, bei dem die Geschwindigkeit nicht der entscheidende Faktor ist.

Jede Meldung wird als ein Block aus elf Bits über den HP-IL übertragen, wobei das erste Bit ein Synchronisations-Bit ist, das eine leichte Erkennung des Block-Anfangs ermöglicht. Das Synchronisations-Bit und die beiden nächsten Bits bestimmen die Klassifizierung des Frames, d. h. ob es sich um einen Befehl oder um Daten handelt. Die restlichen acht Bits werden für den Inhalt des Frames benutzt. Alle Bits sind in einem dreiwertigen bipolaren Code, mit Spannungspegeln von -1,5 V, 0 V und +1,5 V codiert, so wie es *Bild 2* zeigt, wobei die nominelle Impulsbreite 1 µs beträgt. Ein kompletter Block (Frame) benötigt für die Übertragung 46 µs, wobei die einzelnen Blöcke asynchron zueinander sind. Die theoretische maximale Schleifen-Übertragungsrate liegt knapp über 20 kByte/s, jedoch dürften ca. 3...5 kByte/s, bei normalen Hardware- und Software-Verzögerungen, eine realistische Grenze darstellen. Das DMM 3468A sendet 13 „Frames“ pro Meßwert, einschließlich des Vorzeichens und des Exponenten.

Von großer Wichtigkeit für die Durchführung präziser Spannungsmessungen ist die Tatsache, daß der HP-IL ein „schwebendes“ (erdfreies) symmetrisches System ist. Schwebende Messungen sind möglich, ohne daß Erdschleifen entstehen, außerdem können die Massepotentiale der verschiedenen Geräte um bis zu 500 V Gleichspannung differieren. Bei früheren Digital-Voltmetern und Multimetern, die mit irgendeiner Art von Interface-System ausgestattet waren, war meist großer Aufwand nötig, um die eigentliche Meßschaltung des Instruments von einer auf Masse bezogenen Ein-/Ausgabe zu trennen. Wie *Bild 3* zeigt, benutzt der HP-IL Impulstransformatoren, die in einen symmetrischen Abschluß arbeiten, um die gewünschte Potentialtrennung zu erreichen. Ein spezielles Kunden-IC wird dazu verwendet, um die serielle Ein- und Ausgabe zwischen der Schleife und der internen Mikroprozessor-Struktur des Instruments abzuwickeln.

#### 4 Die „Rechen-Flexibilität“ des Systems

Es ist ganz zweckmäßig, die Erläuterung des HP-IL mit einem speziellen Programm abzuschließen, das

dazu benutzt wird, die Spannungsmeßwerte des 3468A in dB-Werte umzuwandeln, und zwar unter Benutzung der Formel:

$$\text{READING} = 20 \log X$$

*Bild 4* zeigt das Programm, das für den Rechner 41C geschrieben ist und die Bezeichnung „V to dB“ erhielt. Der erste Befehl lautet AUTO I/O und ist vorgesehen, um die Geräte an der Schleife automatisch zu adressieren (in diesem Fall nur den Drucker und das DMM). Die nächsten beiden Befehle, „HP 3468A“ und „FIND ID“ bewirken eine Abfrage jedes Gerätes an der Schleife. Wird das DMM befragt, übermittelt er „HP 3468A“ an den 41C, was nach Vergleich mit dem im Alpha-Register des Rechners untergebrachten „HP 3468A“ eine Übereinstimmung liefert. Die dem DMM zuvor während der automatischen Adressierung zugeordnete Adresse wird im numerischen Register abgelegt. Anschließend wählt der Befehl SELECT dieses Gerät aus.

REMOTE fordert das DMM auf, alle Eingaben über das Bedienungsfeld zu ignorieren und nur Befehle vom HP-IL entgegenzunehmen. Die nächste Zeile „F1 AR N5 Z1 T1“ gibt dem DMM dann die Anweisung für folgende Einstellungen: DC, Autorange, 5stellige Auflösung, Auto-Zero, kontinuierliche Triggerung. Der Befehl „OUTA“ bewirkt lediglich die Ausgabe dieser Instruktionen an den 3468A aus dem Alpha-Register des 41C.

Die nächste Gruppe von Befehlen, IND, LOG, 20 und \* weist das DMM an, seinen Meßwert in das X-Register (numerisches Register) einzugeben, ermittelt davon anschließend den Logarithmus und multipliziert das Ergebnis mit 20. FIX 1 ist ein Format-Statement zur Erzeugung einer Zahl, die eine Stelle rechts vom Dezimalpunkt hat. Der Befehl „D2“ bewirkt mehrere Dinge gleichzeitig, darunter die Unterdrückung der normalen Spannungs-Anzeige auf dem Display des 3468A, außerdem instruiert er das DMM, die nächsten zwölf, über den HP-IL übertragenen Zeichen entgegenzunehmen und sie auf dem LCD-Display darzustellen.

Nachdem der „D2“-Befehl (mit OUTA) ausgegeben und das Alpha-Register im Rechner gelöscht wurde (mit CLA), wird der Befehl ARCLX dazu benutzt, den Inhalt des X-Registers (das Ergebnis der Multiplikation  $20 \times \log X$ ) in das Alpha-Register zu transportieren. Die nächste Zeile ist in Form „1, Space, Space, Space, DB“ eingegeben. Sie bewirkt die Kombination des Resultats der Rechnung  $20 \log X$  mit der Einheit dB. OUTA bringt diese zunächst im Alpha-Register des Rechners befindliche Zeile in das Display des 3468A. Es dürfte dabei interessant sein, daß sowohl der Rechner HP-41C,

als auch das DMM 3468A mit kompatiblen, alphanumerischen LCD-Displays mit einer Länge von je 12 Zeichen ausgestattet sind.

Das Verhalten des 3468A entspricht jetzt einem dB-Meter und nicht mehr einem Spannungs-Meßgerät. Angezeigt werden nur noch Meßwerte in dB, und zwar unter Benutzung der Formel  $20 \log X$ . Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, kann man dieses Programm dazu veranlassen, daß es kontinuierlich Messungen ausführt, indem man LBL 01 vor TRIGGER einfügt und ein GO TO 01 vor END setzt.

Durch Ausnutzung der Rechenleistung des Taschenrechners 41C kann man den 3468A somit dazu veranlassen, in einer Vielzahl von Einheiten zu „messen“. Der 41C läßt sich zum Speichern der Meßwerte, zur Linearisierung, oder zur Berechnung des Mittelwertes und der Standardabweichung einer Folge von Meßwerten bei beliebigen Aufgaben einsetzen. Gleichzeitig mit dem Digitalmultimeter und der neuen Schnittstelle

wurden an Peripheriegeräten für den Taschenrechner noch ein Digital-Kassettenlaufwerk und ein 8-Bit-Converter angekündigt.

```
01 LBL "V TO DB" (label for program)
02 AUTOIO (automatic addressing)
03 "HP3468A" (finds the DVM in the loop)
04 FINDID (finds the DVM in the loop)
05 SELECT (DVM is device 41C will talk to)
06 REMOTE (tells DVM to accept only HP-IL input)
07 "F1ARN5Z1T1" (picks DCV, auto range, 5 digit resolution,
auto zero and continuous triggering)
08 OUTA (sends these instructions to DVM)
09 TRIGGER (optional - but sends trigger; for
continuous readings, the program can
be made to loop to line 09)
10 IND (put OVM reading in X register)
11 LOG (take log of X)
12 20
13 * (multiply by 20)
14 FIX 1 (the number is to have one place to the
right at the decimal point)
15 "D2" (blank the DVM's display of its normal
reading and take the next 12 characters
and put them in the display instead)
16 OUTA
17 CLA (clear the alpha register)
18 ARCL X (pull the contents of the X register
into the alpha register)
19 "| DB" (entered as "|, space, space, space, D, B"
to combine the contents of the X register
with DB)
20 OUTA (output the above to the 3468A's display)
21 END
```

**Bild 4. Programm für den Rechner HP-41C zur Umwandlung der Meßwerte des Multimeters von Spannung in dB**