

Signal-Übertragung auf Drahtleitungen: HW-Prinzipien

Um zwischen zwei Geräten Informationen auszutauschen, wird oft eine Drahtverbindung genutzt.

Für die Übertragung wird ein Spannungs- und/oder ein Stromsignal verwendet.

Die Information kann entweder aus einem analogen Signal oder einem digitalen Datenstrom bestehen.

In diesem Artikel werden die üblicherweise verwendeten HW-Prinzipien auf dem physikalischen Layer und die jeweiligen Vor- und Nachteile eingeführt.

Zur Vertiefung dient die vorgeschlagene Labor-Übung im Klassenverband.

Zeitbedarf: Theoretische Einführung plus Labor-Übung: total ca. 4 Lektionen

Material, üblicherweise im Labor vorhanden: OpAmps, Transistoren, LEDs, Rs, Cs, Instrumente

Speziell organisieren pro Gruppe: 1 Koaxkabel, 2 BNC-T-Stücke, 1 BNC-Bananen-Adapter
(statt Koax-Kabel können auch normale Bananen-Stecker-Kabel verwendet werden)

Inhaltsverzeichnis

1. Übersicht	2
2. 0..20mA-Schnittstelle für analoge Signale	3
2.1. Sender	3
2.2. Empfänger	4
3. Bus für digitale Signale, mit Kollisionserkennung	6
3.1. Kollisionserkennung bei Ethernet	6
3.2. Umbau der Schaltungen und Tests	7
4. 4..20mA-Schnittstelle für analoge Signale	7

Original-URL: <http://www.zhaw.ch/~hhrt/EK2/SignalDrahtHW/SignalDrahtHW.pdf>

TINA-Simulationsdateien: <http://www.zhaw.ch/~hhrt/EK2/SignalDrahtHW/>

© Hanspeter Hochreutener, hhrt@zhaw.ch , 12. November 2010

Zentrum für Signalverarbeitung und Nachrichtentechnik, <http://www.zsn.zhaw.ch/>

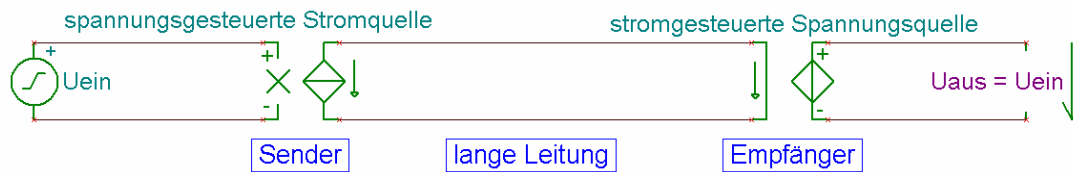
School of Engineering <http://www.engineering.zhaw.ch/>

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften <http://www.zhaw.ch/>

Übersicht

Signalart	Spannung	Strom	Signal mit Wellenimpedanz
Prinzip	Spannungssignal Strom vernachlässigbar	Stromsignal Spannung vernachlässigbar	Signal = Spannung & Strom Spannung/Strom = Kabel-Wellenimpedanz
Vorteile	Sehr einfach, da wenige Bauteile Direkt vom OpAmp- oder μ C-Ausgang Direkt zum OpAmp- oder μ C-Eingang	Unempfindlich auf elektro- magnetische Störungen, da niederohmig Schnell, da sich Ströme schneller schalten lassen als Spannungen Kabelbruch und Geräteausfall einfach detektierbar	Hohe Datenraten, da keine Signalreflexionen am Kabelende, weil diese mit einem Widerstand (Wert = Wellenimpedanz) abgeschlossen
Nachteile	Empfindlich auf elektro- magnetische Störungen Kabelbruch und Geräteausfall schlecht detektierbar	Aufwendiger und teurer, da zusätzliche Treiber- und Empfänger-Schaltung notwendig	Ungeeignet für analoge Signale, da Signalverluste im Kabel nicht korrigierbar
Verbesserte Varianten	Abgeschirmte Leitungen mit verdrellten Adern Erdschlaufen vermeiden Differentielle Aus- und Eingänge gegen Störungen	Differentielle Aus- und Eingänge gegen Störungen und für höhere Datenraten	Differentielle Aus- und Eingänge gegen Störungen und für höhere Datenraten
Standards für analoge Signale Sensoren und Aktoren	0-10V , >1k Ω : Haustechnik	0-20mA , 10..100 Ω : Industrie 4-20mA : Industrie: Ausfall- erkennung und Speisung über das selbe Kabel	
Standards für digitale Signale Computer- Netzwerke und Schnitt- stellen	RS232 : serielle PC- Schnittstelle: ca. $\pm 9V$	Ethernet (alte Variante mit Koax-Kabel): CSMA/CD- Verfahren (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection): 90mA, 50 Ω -Abschluss	Ethernet : (mit Twisted-Pair) Computer-Netzwerk: $\pm 1V$, 100 Ω USB : Punkt-zu-Punkt: 3.6V, 90 Ω Firewire : Punkt-zu-Punkt: $\pm 0.3V$, 110 Ω CAN : Automobil-Bussystem: CSMA/CA-Verfahren (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance): 110 Ω

1. 0..20mA-Schnittstelle für analoge Signale



Im Sender wird ein zur Eingangsspannung U_{ein} proportionaler Strom erzeugt und auf die Leitung gekoppelt.

Beim Empfänger wird der Strom gemessen und am Ausgang eine proportionale Spannung ausgegeben.

In der Regel wird die Transimpedanz $= \Delta U_{\text{aus}} / \Delta I_{\text{ein}}$ des Empfängers gleich dem Kehrwert der Transkonduktanz $= \Delta I_{\text{aus}} / \Delta U_{\text{ein}}$ des Senders gewählt. Damit wird $U_{\text{aus}} = U_{\text{ein}}$.

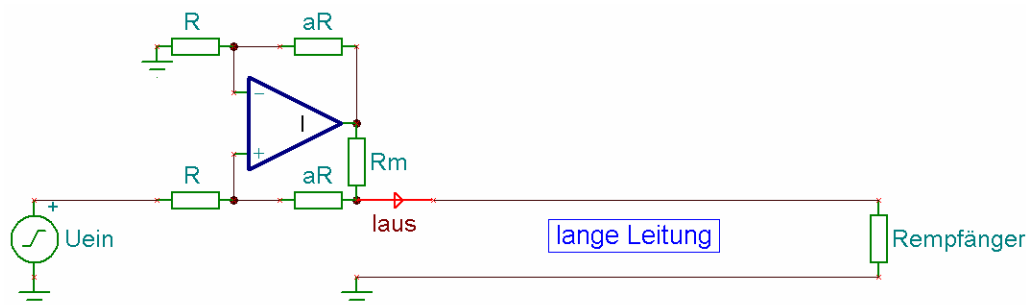
Je grösser der Strom, desto weniger wirken sich elektromagnetische Störungen aus. Andererseits bedeutet ein grösserer Strom auch einen höheren Verbrauch. Als Kompromiss wird meist ein Strom zwischen 10 und 100mA gewählt.

Der Sender arbeitet wie eine ideale Stromquelle. D.h. wenn bei einer langen Leitung der Leitungswiderstand grösser ist, erhöht der Sender einfach die Spannung, bis wieder der geforderte Strom fliesst. Genau so wird der Strom geregelt, wenn ein Empfänger mit anderem Eingangswiderstand angeschlossen wird.

1.1. Sender

Da man beim Entwurf des Senders nicht weiss, wie gross der Leitungswiderstand und die Eingangsimpedanz des Empfängers sind, muss eine Schaltung gefunden werden, welche den Strom misst und auf den korrekten Wert nachregelt.

Bei Sensoren und Aktoren wird oft diese Schaltung verwendet:



Funktionsweise

Das Herz bildet der Differenzverstärker mit den Widerständen R und $a \cdot R$.

Die Schaltung ist dann im Gleichgewicht, wenn die Eingangs-Spannungs-Differenz am Operationsverstärker 0 ist. Damit ist der Fall, wenn $U_{Rm} = U_{\text{ein}} \cdot a$

Für den Strom durch R_m (ca. 100Ω) gilt $I_{Rm} = U_{\text{ein}} \cdot a / R_m$

Weil $a \cdot R + R$ (ca. $100k\Omega$) sehr viel grösser gewählt wird als $R_{\text{empfänger}}$ (ca. 100Ω), kann der Strom durch $a \cdot R$ und R vernachlässigt werden und es gilt $I_{\text{aus}} = I_{Rm}$

$$I_{\text{aus}} = U_{\text{ein}} \cdot a / R_m$$

Aufgaben für die eine Hälfte der Klasse

1. Dimensionieren sie alle Widerstände für $U_{\text{ein}} = 0..10\text{V}$ und $I_{\text{aus}} = 0..20\text{mA}$
2. Testen sie ihre Schaltung und tragen sie die Resultate in die Tabelle ein.

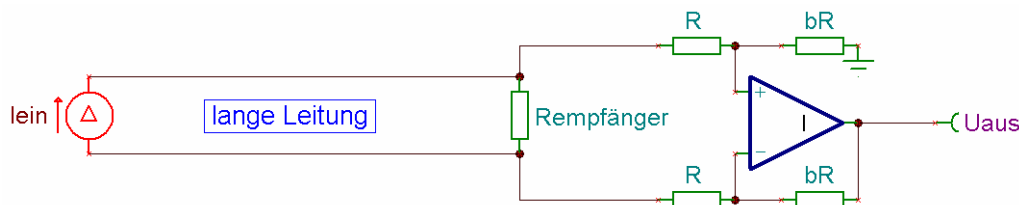
U_{ein} V	Empfänger Ω	I_{aus} (Soll) mA	I_{aus} (Ist) mA	Fehler % fullscale	Bemerkung
0	100				
1	100				
5	100				
9	100				
10	100				
0	0				
5	0				
10	0				
0	1000				
5	1000				
10	1000				

3. Schalten sie ihren Sender mit einem Empfänger einer anderen Gruppe zusammen und messen sie nach, wie genau $U_{\text{aus}} = U_{\text{ein}}$ erreicht wird.

U_{ein} V	I (Soll) mA	I (Ist) mA	Fehler % fullscale	U_{aus} V	Fehler % fullscale	Bemerkung
0						
1						
5						
9						
10						

1.2. Empfänger

Bei Sensoren und Aktoren wird oft diese Schaltung verwendet:



Funktionsweise

Das Herz bildet der Differenzverstärker mit den Widerständen R und $b \cdot R$.

Dank des Differenzverstärkers spielt es keine Rolle, wenn der Ground der Stromquelle um einige Volt differiert gegenüber dem Ground des Empfängers (Gleichtakt-Spannung = common mode voltage).

Die Schaltung ist dann im Gleichgewicht, wenn die Eingangs-Spannungs-Differenz am Operationsverstärker 0 ist. Das ist der Fall wenn $U_{aus} = U_{Rempfänger} \cdot b$

Weil $b \cdot R + R$ (ca. $100k\Omega$) sehr viel grösser gewählt wird als Rempfänger (ca. 100Ω), kann der Strom durch $b \cdot R$ und R vernachlässigt werden und es gilt $I_{Rempfänger} = I_{ein}$

Für die Spannung an Rempfänger (ca. 100Ω) gilt $U_{Rempfänger} = I_{ein} \cdot R_{empfänger}$

$$U_{aus} = I_{ein} \cdot R_{empfänger} \cdot b$$

Aufgaben für die eine Hälfte der Klasse

1. Dimensionieren sie alle Widerstände für $I_{ein} = 0..20mA$ und $U_{aus} = 0..10V$ sowie $R_{empfänger} = 27\Omega$.
2. Testen sie ihre Schaltung und tragen sie die Resultate in die Tabelle ein.

I_{ein} mA	Gleichtakt V	U_{aus} (Soll) V	U_{aus} (Ist) V	Fehler % fullscale	Bemerkung
0	0				
2	0				
10	0				
18	0				
20	0				
0	6				
10	6				
20	6				
0	12				
10	12				
20	12				

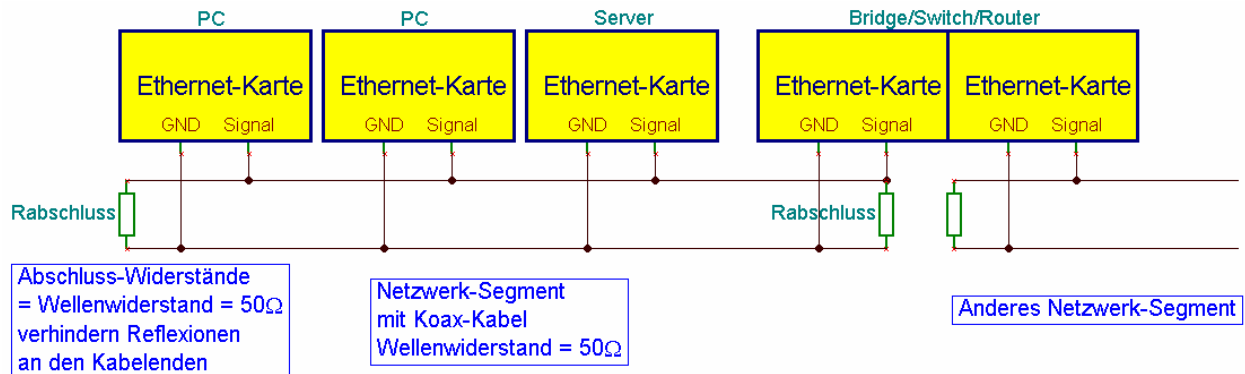
3. Schalten sie ihren Empfänger mit einem Sender einer anderen Gruppe zusammen und messen sie nach, wie genau $U_{aus} = U_{ein}$ erreicht wird.

U_{ein} V	I (Soll) mA	I (Ist) mA	Fehler % fullscale	U_{aus} V	Fehler % fullscale	Bemerkung
0						
1						
5						
9						
10						

2. Bus für digitale Signale, mit Kollisionserkennung

Beim Ethernet-Bus (altes System mit Koax-Kabel) und beim CAN-Bus können viele Geräte an die selbe Leitung angeschlossen werden.

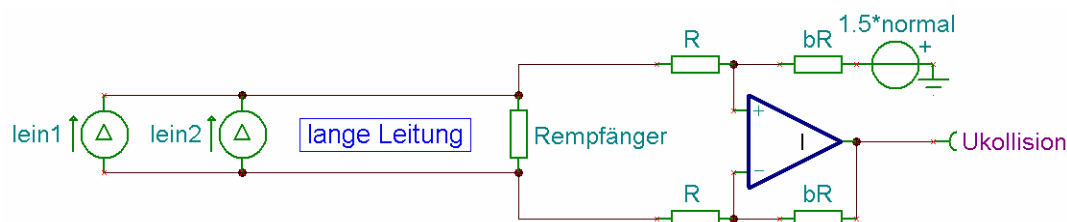
Bei Ethernet hört ein Gerät vor dem Senden, ob die Leitung frei ist (**CSMA = carrier sense multiple access**). Falls ja beginnt es asynchron zu senden. Wegen der endlichen Signalausbreitungsgeschwindigkeit auf der Leitung, kann es vorkommen, dass mehrere Geräte eine freie Leitung sehen und zu senden beginnen. Nach kurzer Zeit kommt es zur Kollision der Datenpakete und alle Geräte stellen das fest (**CD = collision detection**) hören auf zu senden. Nach individuellen zufälligen Wartezeiten wird ein erneuter Sendeversuch unternommen.



Beim **CAN-Bus** hören die Gerät vor dem Senden ebenfalls zuerst, ob die Leitung frei ist (**CSMA = carrier sense multiple access**). Falls ja beginnen sie beim Start des nächsten Frames synchron zu senden. Die Geräte senden gleichzeitig zuerst ihre Adresse. Diese wird auf dem Bus und-verknüpft. Jedes Gerät, das eine „1“ gesendet hat, kann damit feststellen, ob ein anderes Gerät eine „0“ gesendet hat. Falls das der Fall sein sollte, hören alle Geräte mit einer „1“ auf zu senden, womit immer das Gerät mit der niedrigsten Adresse bevorzugt wird (**CA = collision avoidance**). Die zurückgestellten Geräte versuchen es im nächsten Frame wieder.

2.1. Kollisionserkennung bei Ethernet

Falls zwei Geräte gleichzeitig eine „1“ senden, fließt doppelt so viel Strom in die Leitung und an den Abschlusswiderständen entsteht ein doppelt so hoher Spannungsabfall. Die Kollision kann so erkannt werden.



Der Offset der Schaltung wird auf den Wert von 1.5·Uaus bei nur einem Sender eingestellt. Bei keinem oder einem Sender ist Ukollision negativ und bei zwei oder mehr Sendern positiv.

Man verwendet meist eine Komparator-Schaltung mit Schmitt-Trigger um saubere Flanken zu erzielen. Mit der Schaltung oben kann man aber einfach die Signalpegel für die verschiedenen Fälle nachverfolgen.

2.2. Umbau der Schaltungen und Tests

Die 0..20mA-Sender und -Empfänger sollen zu einem Ethernet-ähnlichen Bus zusammengeschlossen und für die digitale Daten-Übertragung genutzt werden.

Aufgaben für alle

1. Empfänger: Rempfänger (270Ω) weglassen. Am Ausgang Uaus eine LED über einen 270Ω -Widerstand anschliessen, damit das empfangene Signal optisch angezeigt wird.
2. Sender: In die Ausgangsleitung laus eine LED einschlaufen, damit das gesendete Signal optisch angezeigt wird.
3. Kollisionsdetektor: ausrüsten mit einer LED am Ausgang Ukollision über einen 270Ω -Widerstand
4. Alle Sender, Empfänger und Kollisionsdetektoren parallel an das Kabel anschliessen.
5. An jedem Kabelende je einen 50Ω -Abschlusswiderstand anbringen (= 25Ω , entspricht dem Rempfänger).
6. Als Eingangssignal an einem (und nur einem) Sender ein TTL-Signal (knapp 5V) von ca. 1 Hz einspeisen. Bei allen Empfängern blickt die LED im Sekundentakt.
7. Reihum testen, ob das bei allen Sendern funktioniert.
8. An zwei Sendern gleichzeitig je ein Signal mit leicht unterschiedlichen Frequenzen einspeisen. Die Kollisionsdetektoren sprechen an, wenn beide Sender gleichzeitig eine „1“ senden.

3. 4..20mA-Schnittstelle für analoge Signale

Als Hausaufgabe zu lösen:

1. Weshalb kann bei einer 4..20mA-Schnittstelle (im Gegensatz zu 0..20mA) ein Kabelbruch detektiert werden?
2. Wie ist es möglich über die gleiche Leitung einen Sensor oder Aktor zu speisen? Unter welchen Randbedingungen ist das möglich?
3. Was muss an obigen Schaltungen geändert werden, damit eine Spannung von 0..10V einem Strom von 4..20mA entspricht?
4. Wie wär's, wenn sie den Wikipedia-Artikel <http://de.wikipedia.org/wiki/Einheitssignal> ergänzen und verbessern würden. Meine Schemata dürfen sie dazu gerne verwenden und auf Wikipedia hochladen.