

# Drahtlose Energie- und Datenübertragung

P5 Disposition

Windisch, 2. Januar 2019



|                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| <b>Hochschule</b>   | Hochschule für Technik - FHNW    |
| <b>Studiengang</b>  | Elektro- und Informationstechnik |
| <b>Autor</b>        | Adrian Annaheim und Simon Zoller |
| <b>Betreuer</b>     | Schleuniger Pascal               |
| <b>Auftraggeber</b> |                                  |
| <b>Version</b>      | 1.0                              |

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                           | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen</b>                           | <b>2</b>  |
| 2.1      | Grundlagen zur Energieübertragung . . . . . | 2         |
| 2.2      | Grundlagen zur Datenübertragung . . . . .   | 2         |
| <b>3</b> | <b>Energieübertragung</b>                   | <b>6</b>  |
| 3.1      | Konzept . . . . .                           | 6         |
| 3.2      | Dimensionierung . . . . .                   | 6         |
| 3.3      | Simulation . . . . .                        | 6         |
| 3.4      | Testaufbau . . . . .                        | 6         |
| <b>4</b> | <b>Datenübertragung</b>                     | <b>7</b>  |
| 4.1      | Konzept . . . . .                           | 7         |
| 4.2      | Dimensionierung . . . . .                   | 8         |
| 4.3      | Simulation . . . . .                        | 8         |
| 4.4      | Testaufbau . . . . .                        | 8         |
| <b>5</b> | <b>Validierung</b>                          | <b>9</b>  |
| 5.1      | Validierung Energieübertragung . . . . .    | 9         |
| 5.2      | Validierung Datenübertragung . . . . .      | 9         |
| <b>6</b> | <b>Fazit</b>                                | <b>10</b> |

# **1 Einleitung**

In der Einleitung wird die Problemstellung geklärt und die Einbettung im Gesamtsystem erläutert. Dem Leser wird der Aufbau des Berichts erklärt.

## 2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Grundlagen erklärt, welche nötig sind um den Bericht zu verstehen.

### 2.1 Grundlagen zur Energieübertragung

In diesem Unterkapitel werden die Grundlagen zur Energieübertragung erläutert. Im wesentlichen beinhaltet dies folgende Themen:

**Flyback**

**Kopplungsfaktor**

**Transformator Ersatzschaltbild**

### 2.2 Grundlagen zur Datenübertragung

In diesem Unterkapitel werden einige Grundlagen zur Datenübertragung erläutert. Mittels dieser Grundlagen sollen die Eigenschaften des zu übertragenden Datenbussystems und Grundkenntnisse zu Photodioden und Empfängerschaltungen vermittelt werden. Es soll dem Leser als Basis für das Kapitel 4 **Datenübertragung** dienen.

**VARAN-Bus**

Der VARAN-Bus ist ein Echtzeit-Bussystem für die industrielle Automatisierung. Der Bus ist ein offener, herstellerunabhängiger Standard. Er verbindet Anlagen, Maschinen und Komponenten in der modernen Industrie. Das Bussystem arbeitet nach dem Manager-/Client-Prinzip. Weil der Manager die Kommunikation initialisiert, sind Paketkollisionen ausgeschlossen. Die Übertragungsschicht basiert auf dem Ethernet-Standard nach IEEE 802.3. Die verwendete 100TX Standard Ethernet Technologie erlaubt eine maximale Übertragungsgeschwindigkeit von 100MBit pro Sekunde.

**Ethernet**

Ethernet ermöglicht den kabelgebundenen Datenaustausch in Form von Datenframes zwischen Geräten in einem lokalen Netz. Dabei gibt es verschiedene Standards für unterschiedliche Übertragungsraten. Der 100Base-TX Standard (Fast Ethernet) des VARAN-Bus erlaubt eine maximale Datenrate von 100MBit/s. Statt der Manchesterkodierung wie beim 10MBit/s-Ethernet, wird der effizientere 4B5B-Code eingesetzt. Dadurch wird eine Taktrückgewinnung aus dem Signal möglich. Durch eine zusätzliche MLT-3 Kodierung wird der Gleichspannungsanteil entfernt.

**4B5B-Code:**

Der Leitungscode 4B5B bildet vier Nutzdatenbits auf fünf Codebits ab. Dadurch erhöht sich die codierte Bitrate um 25%. Beim verwendeten Ethernet-Standard beträgt die codierte Symbolrate somit 125MBit/s. Bei der Abbildung auf fünf Codebits werden lange '0' oder '1'-Folgen vermieden. Dadurch wird die Taktrückgewinnung aus dem Signal verbessert.

**MLT-3-Code:**

Multilevel Transmission Encoding (MLT-3) ist ein Leitungscode mit drei Spannungspegeln. Diese

werden mit den Symbolen (+,0,-) bezeichnet. Bei einer logischen '1' ändert sich der Spannungspegel nach der fixen Folge [0,+,0,-]. Wird eine logische '0' übertragen, ändert sich der Zustand der Leitung nicht.

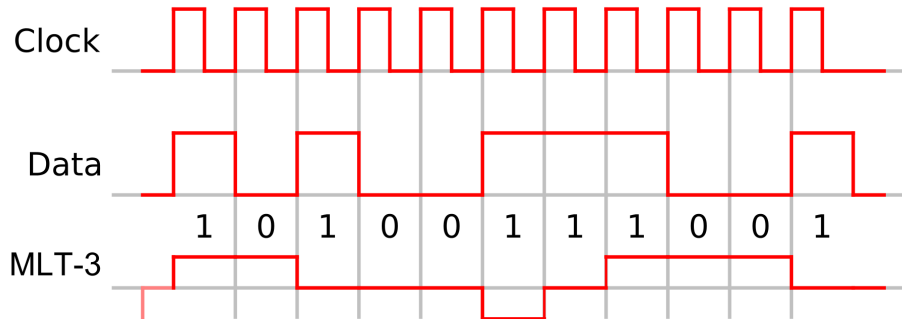


Abbildung 2.1: MLT-3 codierte Datenfolge

In einer Übertragungsschwingung werden 4 Bit übertragen. Damit reduziert sich die eigentliche Übertragungsfrequenz auf einen Viertel der Symbolrate. Die maximale Übertragungsfrequenz auf der Leitung beträgt demnach:

$$f_{max} = \frac{Symbolrate}{4Bit} = \frac{125Mbit/s}{4Bit} = 31.25MHz \quad (2.1)$$

### Photodioden-Verstärker

Photodioden sind Halbleiter-Dioden, die auftreffende Photonen in einen elektrischen Strom umwandeln. Folgende Abbildung zeigt die typische U-I-Kennlinie einer Photodiode. Da im dritten

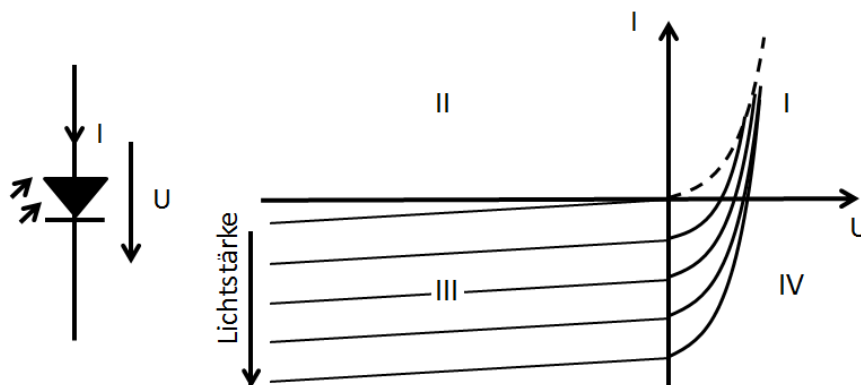


Abbildung 2.2: typische Kennlinie einer Photodiode

Quadranten ein linearer Zusammenhang zwischen Lichtstärke und Photostrom erkennbar ist, eignet sich dieser Bereich für Sensoranwendungen und in unserem Fall auch Signalübertragungen. Eine reale Photodiode besteht aus einer idealen Diode und einer parallel geschalteten Stromquelle. Der Strom ist abhängig von der Lichtstärke. Ein hochohmiger Widerstand stellt den Dunkelstrom der Photodiode dar. Die parasitäre Kapazität hängt primär von der Geometrie der Diode ab.

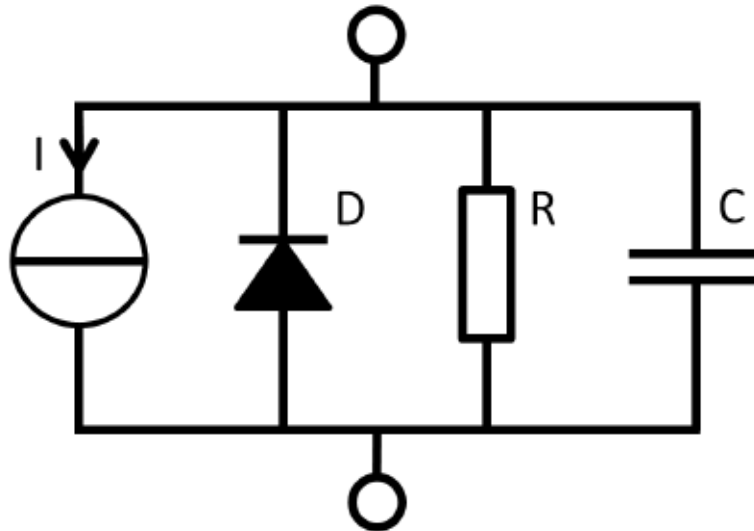


Abbildung 2.3: Ersatzschaltbild einer Photodiode

Für eine erfolgreiche Dimensionierung einer Schaltung, sind diese Parameter des Ersatzschaltbildes unbedingt zu beachten.

Der Photostrom liegt meist im Nanoampere-Bereich und muss entsprechend verstärkt werden. Mit Hilfe eines Photodioden-Verstärkers wird der Photostrom in eine proportionale Spannung gewandelt. Meist werden dafür Transimpedanzverstärkerschaltungen eingesetzt.

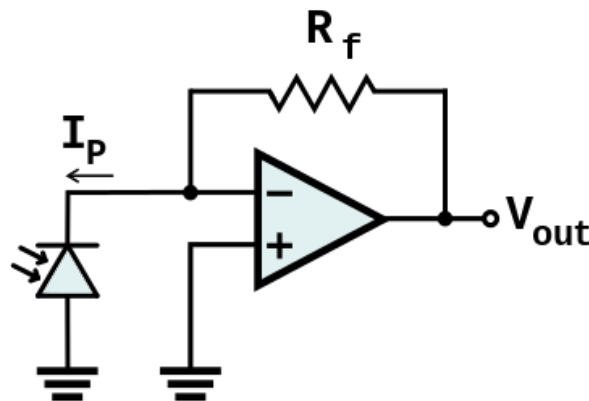


Abbildung 2.4: Transimpedanzverstärker

Da die Eingänge des Verstärkers hochimpedant sind, fließt der Photostrom  $I_p$  nur durch den Rückkopplungswiderstand  $R_f$ . Am Ausgang des Verstärkers stellt sich eine positive Spannung proportional zum Strom  $I_p$  ein. Die Ausgangsspannung beträgt:

$$V_{out} = R_f \cdot I_p \quad (2.2)$$

Aus der Formel 2.2 ist leicht ersichtlich, dass  $R_f$  dem Verstärkungsfaktor der Transimpedanzverstärkerschaltung entspricht.

Die Bandbreite eines Photodiodenverstärkers ist begrenzt und hängt vom Gain-Bandwidth Product  $GBWP$  des Operationsverstärkers, dem Rückkopplungswiderstand  $R_f$  und den parasitären

Kapazitäten von Operationsverstärker  $C_{opamp}$  und Photodiode  $C_{photo}$  ab. Mit folgender Formel 2.3 kann die Bandbreite berechnet werden:

$$B = \sqrt{\frac{GBWP}{2\pi \cdot R_f \cdot (C_{opamp} + C_{photo})}} \quad (2.3)$$

Wie man in der Formel erkennen kann, begrenzt unter anderem die Kapazität  $C_{photo}$  der Photodiode die Bandbreite der Schaltung. Durch Anlegen einer negativen Biasspannung an der Anode der Photodiode, kann  $C_{photo}$  reduziert werden.

Für eine Anwendung mit hoher Bandbreite, wie in dieser Arbeit verlangt, ist also ein Operationsverstärker mit hohem Gain-Bandwidth Product  $GBWP$  und kleiner Eingangskapazität  $C_{opamp}$  gewünscht. Ausserdem wird idealerweise eine Photodiode mit kleiner parasitärer Kapazität  $C_{photo}$  verwendet und diese zusätzlich durch Anlegen einer negativen Biasspannung reduziert.

### **3 Energieübertragung**

In diesem Kapitel wird auf das Konzept, die Dimensionierung, die Simulation und den Testaufbau der Energieübertragung eingegangen.

#### **3.1 Konzept**

Im Gesamtkonzept wird die Schaltung und deren Komponenten erklärt.

#### **3.2 Dimensionierung**

In diesen Abschnitt wird die Auslegung der Spule und der Halbleiterelemente erklärt. Für die Dimensionierung der Spule wird die Simulation in femm für den Kopplungsfaktor betrachtet.

#### **3.3 Simulation**

Die Simulation der Schaltung sowie die erhaltenen Erkenntnisse aus der Simulation werden beschrieben.

#### **3.4 Testaufbau**

Der Testaufbau der Schaltung wird betrachtet.



## 4 Datenübertragung

Im folgenden wird ein Konzept beschrieben, um Daten des VARAN-Buses optisch und bidirektional zu übertragen. Ausserdem wird eine Sende- und Empfängerschaltung entworfen, um einen Teilbereich des Konzepts zu überprüfen und wichtige Erkenntnisse für die Fortsetzung der Arbeit zu sammeln.

### 4.1 Konzept

In Abbildung 4.1 wird grob das Konzept zur optischen Datenübertragung gezeigt.

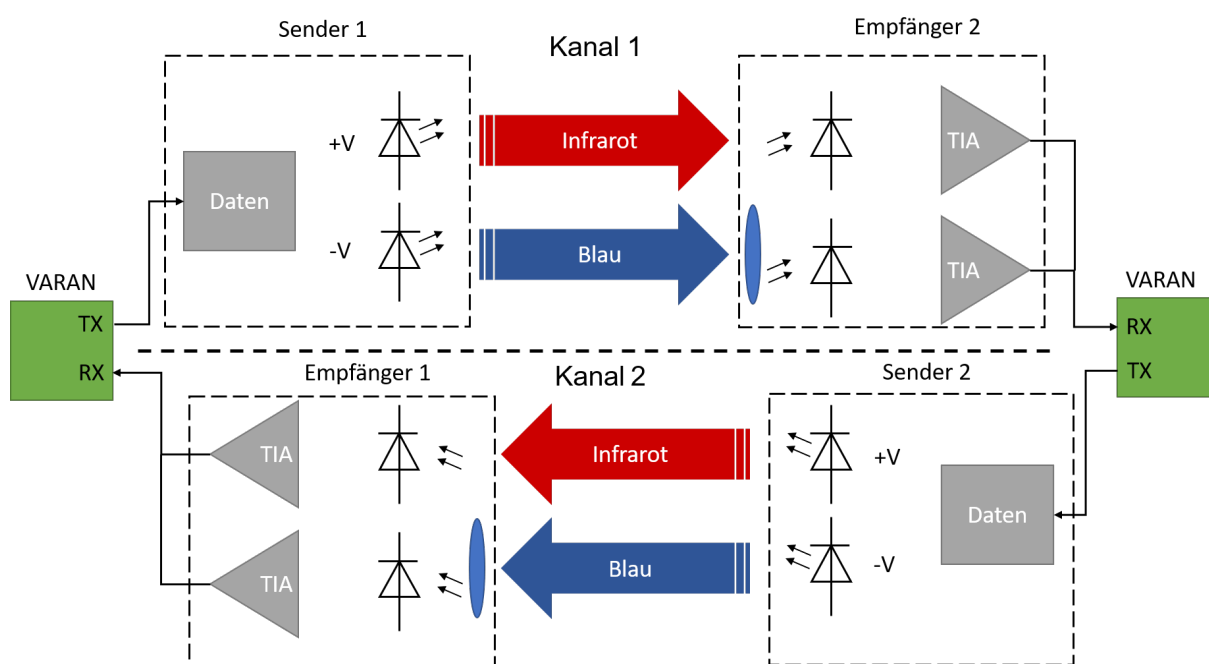


Abbildung 4.1: Konzept der optischen Datenübertragung

In der Abbildung sind die beiden Kanäle zu erkennen, welche optisch voneinander getrennt sind. Jeder Kanal überträgt dabei die Daten nur in jeweils eine Richtung. Beide Kanäle zusammen sorgen für die gewünschte Bidirektionalität. Auf der Primär- und Sekundärseite hat es jeweils eine Sende- und Empfangseinheit. Eine Sendeeinheit besteht aus der Datenerfassung und den Leuchtdioden. Da der VARAN-Bus MLT-3 codiert ist, müssen drei Zustände übertragen werden können. Die positiven Spannungspegel werden mit einer Infrarot-LED übertragen und die negativen Spannungspegel mit einer blauen LED. Der Zustand „0“ steht an, wenn keine der LEDs leuchtet.

Eine Empfangseinheit besteht aus Photodioden und Verstärkerschaltungen. Im blauen Spektralbereich werden mit Hilfe eines optischen Filters vor der Photodiode die unerwünschten Spektralanteile herausgefiltert.

Die beiden Sende- und Empfangseinheiten sind identisch aufgebaut und unterscheiden sich nur in der Übertragungsrichtung.

#### Sender

In folgender Abbildung wird das Konzept einer Sendeeinheit detaillierter beschrieben.

#### Empfänger

In folgender Abbildung wird das Konzept einer Empfangseinheit detaillierter beschrieben.

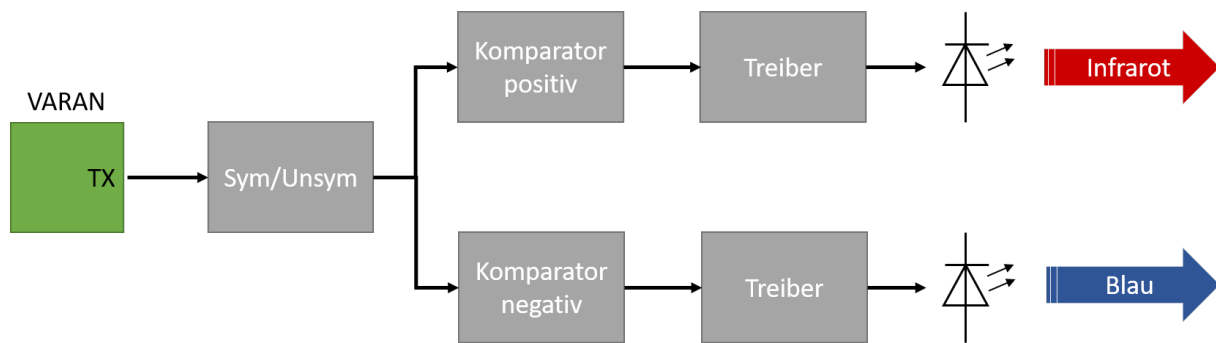


Abbildung 4.2: Konzept der optischen Sendeeinheit

## 4.2 Dimensionierung

Hier wird auf die Dimensionierung der Schaltung eingegangen.

## 4.3 Simulation

Im Simulations-Abschnitt wird die Dimensionierung und das Konzept überprüft.

## 4.4 Testaufbau

In diesem Unterkapitel wird der Testaufbau beschrieben.

## **5 Validierung**

In diesem Kapitel werden die Messungen der Testaufbauten betrachtet und mit den Zielen und der Simulation verglichen.

### **5.1 Validierung Energieübertragung**

Zur Energieübertragung wird der Kopplungsfaktor und die zu übertragene Leistung validiert. Auch der erreichte Wirkungsgrad wird betrachtet.

### **5.2 Validierung Datenübertragung**

Bei der Datenübertragung wird die maximal erreichte Frequenz, sowie die Distanz validiert.

## 6 Fazit

In diesem Kapitel wird das Erreichte beschrieben. Es wird erklärt, welche Schlüsse gezogen wurden und mit welcher Ausgangslage das Projekt 6 gestartet werden könnte.