



Lichtsender und Empfänger (LEYBOLD 47630) dienen zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach einem elektronischen Modulationsverfahren. Trotz kurzer Lichtwege von etwa 1,5 m erzielt man eine Genauigkeit von ca.  $\pm 1\%$ .

## 1 Technische Daten

### 1.1 Lichtsender und Empfänger

#### 1.1.1 Lichtsender

Sender	Leuchtdiode (rot, 670 nm mit vorgesetztem Kondensator)
Modulationsfrequenz	60,0 MHz $\pm$ 5 MHz
Referenzsignal	über abgeschirmtes Koaxialkabel (BNC) 6 m
Stromversorgung	(über obiges 6m-Kabel) aus dem Netzgerät des Lichtempfängers
Abmessungen	Lampengehäuse : ca. 60 mm $\varnothing$ , ca. 110 mm lang Stiel : 10 mm $\varnothing$ , , ca. 115 mm lang
Gewicht	0,8 kg incl. Koaxialkabel (6 m)

#### 1.1.2 Empfänger und Netzteil

Sensor	Silizium PIN - Fotodiode
Mischer	Referenzsignal $\times$ Hilfsfrequenz
Phasenlage	über Drehknopf von 0 bis $2\pi$ einstellbar
Ausgänge	2 $\times$ ca. 100 kHz über BNC-Buchsen
Ausgangsspannung	Referenzkanal ca. $2V_{SS}$ Arbeitskanal ca. $2V_{SS}$ bei guter Ausleuchtung
Rausch- und Störabstand	46 dB (0,5 % von gut ausgeleuchtetem Arbeitskanal)
Lastwiderstand	größter 2 k $\Omega$ , Ausgänge sind kurzschlussfest
Anschlussspannung	110/125/150 und 240 V, 50/60 Hz
Leistungsaufnahme	15 VA
Sicherungen	für 220 V und 240 V : T 0,125 B für 110/125/150 V : T 0,2 B
Abmessungen	185 mm $\times$ 190 mm $\times$ 230 mm
Gewicht	3,5 kg

### 1.2 Kunstglaskörper

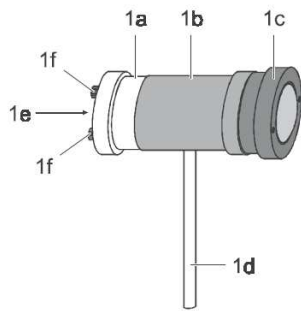
Material	Acryl
Brechzahl	ca. 1,5
Abmessungen	70 mm $\varnothing$ , 50 mm lang, polierte Endflächen

### 1.3 Rohr mit 2 Endfenstern

Länge	1000 mm incl. Glasscheiben
Glasscheiben	3 mm dick
Innenlänge	994 mm
Füllmenge	4 l Wasser
Gewicht	leer : 2,3 kg gefüllt : 6,3 kg

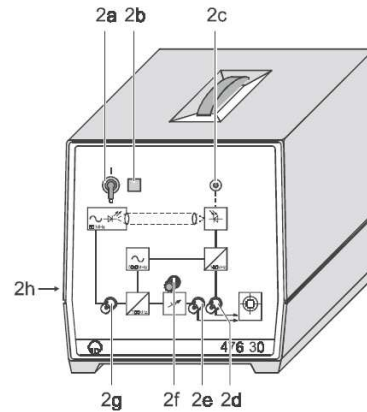
## 2 Beschreibung der Komponenten

### 2.1 Lichtsender



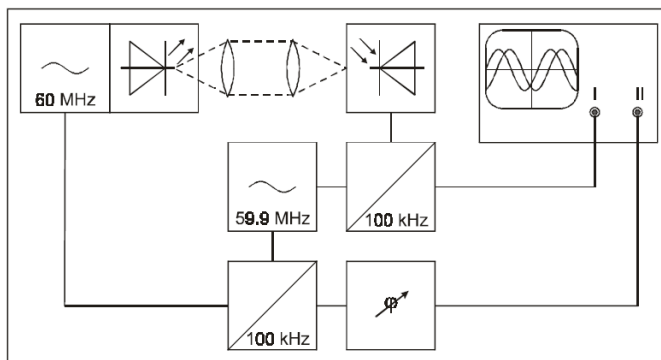
- 1a Einsatz mit LED
- 1b Gehäuse
- 1c Kondensator
- 1d Stiel
- 1e BNC-Anschluss
- 1f 3 Justierschrauben

### 2.2 Empfänger und Netzteil



- 2a Netzschalter
- 2b Kontrollleuchte
- 2c Eintrittsöffnung des Empfängers, 13 mm dahinter Photodiode
- 2d Empfängersignalausgang BNC (100 kHz) zum Oszilloskop
- 2e Referenzsignalausgang BNC (100 kHz) zum Oszilloskop, Signal dient zum Triggern
- 2f Phasensteller
- 2g Anschluss des Lichtsenders, Ausgang für Spannung an Sender Eingang für Referenzsignal vom Sender
- 2h Netzanschluss (Rückseite)

## 3 Funktionsweise



Die Intensität des Lichtsignals wird mit einer Frequenz von  $\nu_1 = 60,0$  MHz moduliert. Die Zeitverzögerung, die das Licht auf einer Laufstrecke  $\Delta s = c \cdot \Delta t$  erfährt (z.B. durch Verschieben des Senders oder Einbringen eines anderen Mediums), macht sich als Phasenverschiebung  $\Delta\varphi = 2\pi \cdot \nu_1 \cdot \Delta t$  des Empfängersignals (kurzer Weg, ca. 1 m) und dem Referenzsignal (längerer Weg, ca. 6 m) bemerkbar. 60 MHz sind mit einem normalen Oszilloskop nicht messbar. Deshalb werden beide Signale mit einem Signal der Frequenz  $\nu_2 = 59,9$  MHz gemischt (multipliziert). Dabei entstehen gemäß Additionstheorem  $2 \cos \alpha \cos \beta = \cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)$  zwei neue Frequenzen. Also aus

$$\begin{aligned}
 U &= 2\hat{U} \cos(2\pi\nu_1 t - \Delta\varphi) \quad \text{wird} \\
 &= \hat{U} \left( \cos\left(2\pi(\nu_1 + \nu_2)t - \Delta\varphi\right) + \cos\left(2\pi(\nu_1 - \nu_2)t - \Delta\varphi\right) \right)
 \end{aligned}$$

mit  $\nu_1 + \nu_2 = 119,9 \text{ MHz}$  und  $\nu_1 - \nu_2 = 100 \text{ kHz}$ .

Das hochfrequente  $119,9 \text{ MHz}$ -Signal wird durch einen Tiefpass herausgefiltert und das  $100 \text{ kHz}$ -Signal geht an das Oszilloskop, also

$$U_1 = \hat{U} \cos\left(2\pi(\nu_1 - \nu_2)t - \Delta\varphi\right).$$

Günstigerweise ist die Phasenverschiebung  $\Delta\varphi$  durch die Mischung nicht verändert worden. Sie steht aber jetzt für eine andere Zeit  $\Delta t'$ .

Ohne Frequenzmischung würde man beispielsweise bei einer Verschiebung des Senders um  $\Delta s = 0,1 \text{ m}$  eine Phasenverschiebung um

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= 2\pi\nu_1 \Delta t = 2\pi\nu_1 \frac{\Delta s}{c} \\ &= 2\pi \cdot 60 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{s}} \cdot \frac{0,1 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,04\pi \quad \text{messen.} \end{aligned}$$

Die Zeit des Lichtes für die  $0,1 \text{ m}$  ist

$$\Delta t = \frac{0,1 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3,3 \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

Die kleinste Zeiteinstellung auf dem Oszillographen beträgt  $0,1 \frac{\mu\text{s}}{\text{cm}}$ . Somit wäre  $\Delta t$  nicht messbar.

Nutzen wir nun aber das nach der Frequenzmischung entstehende  $100 \text{ kHz}$ -Signal, folgt für dieselbe Phasenverschiebung

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot \Delta t'.$$

Durch Gleichsetzen erhält man

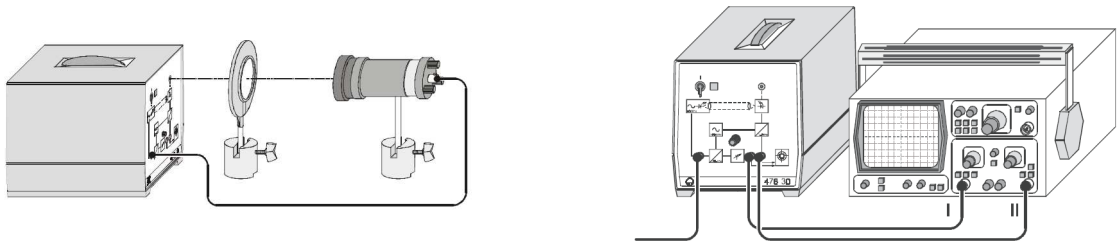
$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= 2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot \Delta t' = 2\pi \cdot 60 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot \Delta t \\ \Delta t' &= 600 \Delta t = 2 \cdot 10^{-7} \text{ s} = 0,2 \mu\text{s}. \end{aligned}$$

Das wären  $2 \text{ cm}$  auf dem Oszillographen bei  $0,1 \frac{\mu\text{s}}{\text{cm}}$ .

Durch die Mischung wurde also eine Zeitstreckung vom Faktor 600 erreicht. Durch genaue Messung von  $\nu_1$  und  $\nu_2$  kann dieser exakt ermittelt werden.

Dieser Zeitdehnungsfaktor muss dann bei jeder Messung wieder berücksichtigt werden, d.h. die gemessene Zeit für den Lichtweg durch 600 geteilt werden.

## 4 Bedienung und Justierung



- Lichtsender in ca. 1 m Abstand zur Eintrittsöffnung des Empfängers aufstellen und über 6 m langes Koaxialkabel mit dem Anschluss für den Lichtsender des Netzteils verbinden
- Netzteil einschalten
- roten Lichtfleck des Lichtsenders auf der Frontplatte des Netzteiles abbilden und Einsatz des mit der LED des Lichtsenders relativ zum Kondensator so verschieben, dass der rote Lichtfleck möglichst gleichmäßig ausgeleuchtet wird (weißes Papier in den Lichtweg halten)
- Abstand zwischen Lichtsender und Empfänger auf 50 cm reduzieren und Linse in den Strahlengang bringen