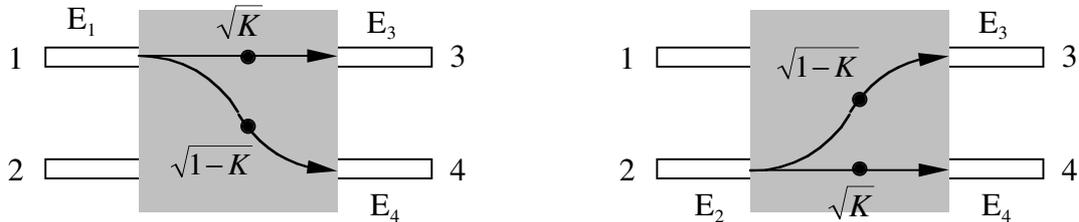


Optischer Vierpol

In jedem Interferometer spielen Koppler (Strahlenteiler) eine Rolle. Schematisch können Koppler als optischer Vierpol skizziert werden.



Die vorliegende Skizze zeigt diese Vierpole mit den Werten der elektrischen Feldstärke an den Toren. Die Variable K steht für den Leistungskopplfaktor, der angibt, welche Anteile der eingespeisten Leistung in den Ausgängen des Kopplers zu finden sind. Hat der Kopplfaktor den Wert $K=0.5$ so spricht man von einem 3-dB Koppler, der bei einer vorgegebenen Wellenlänge ein Teilungsverhältnis von 50:50 aufweist.

Es wird vorausgesetzt, dass die elektrischen Feldstärkevektoren stets parallel zueinander sind; d. h., die Lichtwellen weisen eine gleich bleibende, lineare Polarisierung auf.

Mathematisch gelten folgende Beziehungen zwischen den Größen des Eingangs- und des Ausgangstors:

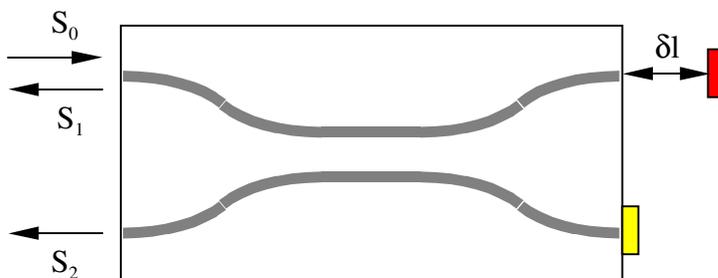
$$\begin{pmatrix} E_3 \\ E_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{K} & -i\sqrt{1-K} \\ -i\sqrt{1-K} & \sqrt{K} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \end{pmatrix}$$

Der imaginäre Faktor

$$-i = e^{-i\pi/2}$$

beschreibt den Sachverhalt, dass die auf den anderen Zweig übergekoppelte Lichtwelle gegenüber der Welle im Eingangspfad um $\pi/2$ nachläuft.

Am Beispiel eines mikrooptischen Michelsoninterferometers (s. Skizze) soll unter Verwendung der optischen Vierpolgleichung die Kennlinie des Interferometers abgeleitet werden.



Das Licht eines Halbleiterlasers (Intensität S_0) wird mittels eines integriert optischen Kopplers auf zwei Pfade aufgeteilt. Der Strahlenteiler soll ein polarisationsneutraler 3-dB Koppler sein. Das Licht im Referenzlichtwellenleiter wird durch einen fixierten Spiegel am rechten Ende der Anordnung zurückgeführt. Das gleiche geschieht im Messpfad, nur das der entsprechende Spiegel in diesem Fall zur Distanzmessung verwendet wird. Die Strecke vom Chip zum Spiegel und zurück hat die optische Länge δl .

Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich für die zurückgeführten, elektrischen Felder E_1 und E_2 folgender, mathematischer Zusammenhang zur eingespeisten Feldstärke E_0 .

$$\begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \end{pmatrix} = \underbrace{\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & -i \\ -i & 1 \end{pmatrix}}_{\substack{\text{Koppler} \\ \text{Rückweg}}} \begin{pmatrix} \exp(i\Phi_1) & 0 \\ 0 & \exp(i\Phi_2) \end{pmatrix} \underbrace{\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & -i \\ -i & 1 \end{pmatrix}}_{\substack{\text{Koppler} \\ \text{Hinweg}}} \begin{pmatrix} E_0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Die mittlere Matrix beschreibt die Phasenverschiebungen Φ_1 , Φ_2 in den Laufstrecken bis zu den Spiegeln und wieder zurück zum Koppler.

Die Betragsquadrate der elektrischen Feldstärken liefern die Intensitäten. Das Signal S_2 wird an einer Photodiode ausgewertet. Es hat die Intensität:

$$S_2 = \frac{1}{2} S_0 [1 + \cos \Delta \Phi]$$

Die Phasendifferenz

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} \delta l$$

folgt bei einer Wellenlänge λ , ausgeglichene Balance des Interferometers vorausgesetzt, aus dem optischen Wegunterschied δl zwischen beiden Pfaden.

Zur Eliminierung des Untergrunds bei sehr kleinen Phasendifferenzen $\Delta \Phi$ bietet es sich an folgendes Verhältnis der beiden, zurück gestreuten Signalanteile zu bilden:

$$\eta = \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1} = \cos(\Delta \Phi)$$

Mögliche Leistungsschwankungen der Quelle S_0 wirken sich nicht mehr auf die Kennlinie aus. Wegen der symmetrischen \cos -Funktion kann aber nicht zwischen positiven und negativen Messwerten $\Delta \Phi$ unterschieden werden; außerdem ist die Kennlinie für kleine Phasendifferenzen nichtlinear. Aus diesem Grund empfiehlt es sich in einen der Zweige eine zusätzliche Phasenverschiebung $\pi/2$ einzubauen; dann gilt:

$$\eta = \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1} = \mp \sin(\Delta \Phi) \approx \mp \Delta \Phi$$

Für hinreichend kleine Messgrößen $\Delta \Phi$ wird damit die Kennlinie linear.