

## 1 Pegeldifferenzstereophonie

1) Erläutern Sie die Begriffe *Hauptachsenwinkel*, *Aufnahmewinkel* und *Akzentanzwinkel* eines XY-Stereophonie-Mikrofonsystems.

**Lösung:**

Unter dem *Hauptachsenwinkel* versteht man den Öffnungswinkel der Mikrofone, also den Winkel, der zwischen der Hauptachsen der beiden Mikrofone entsteht. Als *Aufnahmewinkel* bezeichnet man den Winkel zwischen den beiden Schalleinfallrichtungen, die das Klanggeschehen gerade aus einem der beiden Lautsprecher lokalisieren lassen. Nach DIN 60268 wird ein Schallereignis aus einem der beiden Lautsprecher lokalisiert, wenn die Pegeldifferenz zwischen den Signalen für linken und rechten Kanal zwischen 15 und 18 dB betragen.

2) Gegeben sei ein stereofones Aufnahmesystem nach dem XY-Verfahren aus zwei Mikrofonen in Nierencharakteristik mit 90 Grad Öffnungswinkel. Welche Pegeldifferenz zwischen linkem und rechtem Kanal erzeugt eine Schallquelle aus 45 Grad Einfallrichtung und aus 90 Grad Einfallrichtung (seitlicher Schalleinfall)?

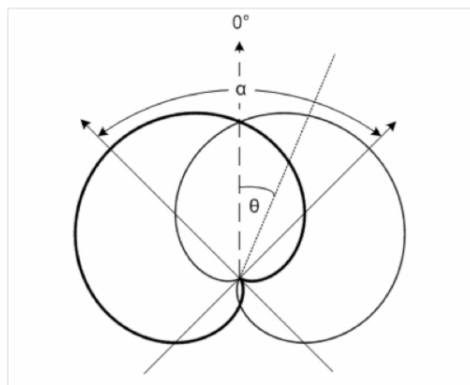


Abbildung 1: Stereofones XY-System mit Nierencharakteristiken

**Lösung:**

Die Pegeldifferenz ergibt sich als logarithmisches Maß des Verhältnisses von linkem und rechtem Kanal:

$$\begin{aligned} \Delta L &= 20 \log \left( \frac{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \theta\right)}{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \theta\right)} \right) \\ &= 20 \log \left( \frac{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \theta\right)}{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \theta\right)} \right) \end{aligned}$$

Der Öffnungswinkel  $\alpha$  (Hauptachsenwinkel) beträgt laut Aufgabenstellung 90 Grad ( $= \pi/2$ ). Bei einer Schalleinfallrichtung von  $\theta = 45$  Grad ( $= \pi/4$ ) beträgt die Pegeldifferenz zwischen linkem und rechtem Kanal demnach:

$$\begin{aligned}\Delta L_{45} &= 20 \log \left( \frac{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\pi/2} + \frac{\pi}{4}\right)}{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\pi/2} - \frac{\pi}{4}\right)} \right) \\ &= 20 \log \left( \frac{0,5}{1} \right) = -6,02 \text{ dB}\end{aligned}$$

Und bei einer Schalleinfallrichtung von 90 Grad:

$$\begin{aligned}\Delta L_{90} &= 20 \log \left( \frac{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\pi/2} + \frac{\pi}{2}\right)}{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\pi/2} - \frac{\pi}{2}\right)} \right) \\ &= 20 \log \left( \frac{0,5 + 0,5 \cos(3\pi/4)}{0,5 + 0,5 \cos(-\pi/4)} \right) = -15,3 \text{ dB}\end{aligned}$$

3) Wo werden die beiden Schallquellen bei der stereofonen Wiedergabe auf der Lautsprecherbasis abgebildet?

**Lösung:**

Folgende Richtwerte gelten für die Auslenkung auf der Stereobasis:

|                |      |      |        |       |       |
|----------------|------|------|--------|-------|-------|
| Auslenkung     | 0%   | 25%  | 50%    | 75%   | 100%  |
| Pegeldifferenz | 0 dB | 3 dB | 6,5 dB | 10 dB | 16 dB |

Demnach ergibt sich für eine Schalleinfallrichtung aus 45 Grad (Pegeldifferenz: -6 dB) eine Auslenkung von etwas weniger als 50%, bei 90 Grad (Pegeldifferenz: -15,3 dB) eine Lokalisierung bei fast 100%.

4) Welchen Hauptachsenwinkel muss man bei einem XY-System mit zwei Nieren einstellen, um einen Aufnahmewinkel von 120 Grad zu erhalten?

**Lösung:**

Hinweis: Verwenden Sie folgende Zusammenhänge:

$$1. \cos(x \pm y) = \cos x \cos y \mp \sin x \sin y$$

$$2. \alpha \sin(\omega t) + b \cos(\omega t) = A \sin(\omega t + \phi)$$

$$A = \sqrt{\alpha^2 + b^2}, \tan(\phi) = \frac{b}{\alpha}$$

Um den Öffnungswinkel errechnen zu können ist es notwendig, die Gleichung für die Pegeldifferenz nach  $\alpha$  umzustellen:

$$\begin{aligned}\Delta L &= 20 \log\left(\frac{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \theta\right)}{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \theta\right)}\right) \\ 10^{\frac{\Delta L}{20}} &= \frac{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \theta\right)}{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \theta\right)} \\ 10^{\frac{\Delta L}{20}} (A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \theta\right)) &= A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \theta\right) \\ A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} + B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} \left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos(\theta) + \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sin(\theta)\right) &= A + B \left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos(\theta) - \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sin(\theta)\right) \\ (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} + B)\sin(\theta)\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} - B)\cos(\theta)\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) &= A - A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}}\end{aligned}$$

Mit  $k = (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} + B)\sin(\theta)$  und  $l = (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} - B)\cos(\theta)$  bekommt man:

$$\begin{aligned}\sqrt{k^2 + l^2} \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \arctan\left(\frac{l}{k}\right)\right) &= A - A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} \\ \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \arctan\left(\frac{l}{k}\right)\right) &= \frac{A - A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}}}{\sqrt{k^2 + l^2}} \\ \alpha &= 2 \cdot \arcsin\left(\frac{A - A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}}}{\sqrt{k^2 + l^2}}\right) - 2 \cdot \arctan\left(\frac{l}{k}\right)\end{aligned}$$

Die numerische Werte können jetzt eingesetzt werden: Es ist  $\theta = 60$  Grad (die Hälfte des Aufnahmewinkels),  $A = B = 0,5$  (für eine Nierencharakteristik), und die Pegeldifferenz für den Wert des Aufnahmewinkels beträgt -16 dB. Daraus lassen sich  $k$  und  $l$  berechnen.

$$\begin{aligned}k &= (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} + B)\sin(\theta) = (0,5 \cdot 10^{\frac{-16}{20}} + 0,5)\sin\left(\frac{\pi}{3}\right) = (0,5 \cdot 0,158 + 0,5)\frac{\sqrt{3}}{2} = 0,5 \\ l &= (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} - B)\cos(\theta) = (0,5 \cdot 10^{\frac{-16}{20}} - 0,5)\cos\left(\frac{\pi}{3}\right) = (0,5 \cdot 0,158 - 0,5)\frac{1}{2} = -0,21 \\ A - A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} &= 0,5 - 0,5 \cdot 10^{\frac{-16}{20}} = (0,5 - 0,5 \cdot 0,158) = 0,421\end{aligned}$$

Und somit ergibt sich ein Öffnungswinkel von:

$$\alpha = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{0,421}{\sqrt{(0,5)^2 + (-0,21)^2}}\right) - 2 \cdot \arctan\left(\frac{-0,21}{0,5}\right) = 2,56 \text{ Rad} = 147 \text{ Grad}$$

## 2 Pegeldifferenzstereophonie

Gegeben sei ein stereofones Aufnahmesystem nach dem XY-Verfahren aus zwei Mikrofonen in Hypernierencharakteristik mit 90 Grad Öffnungswinkel (siehe Abbildung 2).

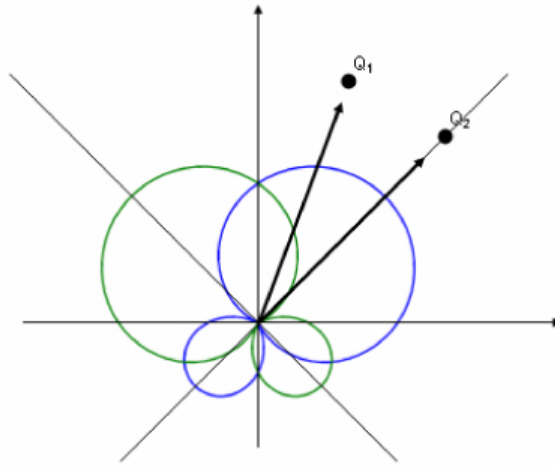


Abbildung 2: Stereofones XY-System mit Hypernierencharakteristiken

1) Durch welche Mikrofongleichung ist die Richtungsabhängigkeit des Übertragungsfaktors des Hypernierenmikrofons gegeben?

**Lösung:**

$$s(\theta) = A + B\cos(\theta) = 0,25 + 0,75\cos(\theta)$$

2) Welche Pegeldifferenzen zwischen linkem und rechtem Kanal erzeugen eine Schallquelle  $Q_1$  aus 22,5 Grad Einfallsrichtung (gegenüber frontaler Einfallsrichtung) und eine Schallquelle  $Q_2$  aus 45 Grad Einfallsrichtung?

**Lösung:**

$$dL_{22,5} = 20\log\left|\left(\frac{s(-22,5)}{s(67,5)}\right)\right| = 20\log\left|\left(\frac{0,25 + 0,75\cos(-22,5)}{0,25 + 0,75\cos(67,5)}\right)\right| = 4,9dB$$

$$dL_{45} = 20\log\left|\left(\frac{s(0)}{s(90)}\right)\right| = 20\log\left|\left(\frac{0,25 + 0,75\cos(0)}{0,25 + 0,75\cos(90)}\right)\right| = 12dB$$

3) Bei der Wiedergabe des stereofonen Mikrofonsignals über ein stereofones Lautsprecherpaar: Welche der beiden Quellen wird bei gleicher Schallleistung der Quellen lauter übertragen?

**Lösung:**

Konstruktive Überlagerung (Spannungsaddition) der beiden Lautsprechersignale am Hörerort ergibt:

$$L_{\Sigma 22,5} = 20 \log |s(-22,5) + s(67,5)| = 20 \log(0,711 + 0,537) = 3,4048 \text{ dB}$$

$$L_{\Sigma 45} = 20 \log |s(0) + s(90)| = 20 \log(1 + 0,25) = 1,93 \text{ dB}$$

Die Quelle aus 22.5 Grad Richtung ist also ein wenig lauter als die aus 45 Grad Richtung.

### 3 Frequenzgang eines dynamischen Lautsprechers

1) Leiten Sie anhand der vereinfachenden mechanischen und elektrischen Ersatzschaltbilder die Gesamtübertragungsfunktion des elektrodynamischen Lautsprechers her. Diskutieren Sie das Zusammenspiel der Einzelübertragungsfunktionen zur Gesamtübertragungsfunktion.

Lösung: Siehe *KT1\_SCF\_UE05.pdf*