

Messabweichung

absolut: $F = y_a - y_w$
relativ: $F_r = \frac{F}{y_w} = \frac{y_a - y_w}{y_w}$

Approximation → einfache Funktion, möglichst gut angepasst
Least Square (linear) → gegeben: n -Messwerte (x_i, y_i)

Vorgehen: 1) Aufstellen des Signalmodells der Ordnung m
 $\hat{y}(u) = a_0 \phi_0(u) + a_1 \phi_1(u) + \dots + a_{m-1} \phi_{m-1}(u)$

2) Approximationsansatz
aufstellen: $\hat{y} = \hat{\Phi} \cdot a = \begin{bmatrix} \phi_0(u_1) & \dots & \phi_{m-1}(u_1) \\ \vdots & & \vdots \\ \phi_0(u_n) & \dots & \phi_{m-1}(u_n) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ \vdots \\ a_{m-1} \end{bmatrix}$

3) Minimierung (Kampf für auf Max-Prinzip $\alpha = (\hat{\Phi}^T \hat{\Phi})^{-1} \hat{\Phi}^T \hat{y}$)
→ falls Signalmodell nicht linear in Koeffizienten z.B. $\hat{y} = e^{ax}$

dann Modell linear machen $\hat{y}(u) = \ln(\hat{y}) = a \cdot u$

Verteile: 1) Mittelwertfehler unterdrückt 2) Schräge, vorwiegend
unabhängige Rauschen (varianz) 3) Modellordnung unabhängig

von Stützstellen Zahl Interpolation Vorteile: 1) kein Signalmodell erforderlich 2) geht durch Wertepaare 3) Modellordnung steigt mit # Wertepaare

4) Newton-Verfahren
1) $y_i = \sum_{j=0}^n a_j u_j$
2) gesucht $y(u) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n$

3) Ansatz:
 $y(u) = a_0 \tilde{p}_0(u-u_1) + a_1 \tilde{p}_1(u-u_1)(u-u_2) + \dots + a_{n-1} \tilde{p}_{n-1}(u-u_1) \dots (u-u_{n-1})$

4) dann multiplizieren von 3), dann hat man 2) // Differenzschema $\Delta^2 y_i = y_i - 2y_{i-1} + y_{i-2}$

3) Ansatz:
 $y(u) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n$

2) Ansatz: $y(u) = \sum_{j=0}^n a_j \tilde{p}_j(u-u_1) \dots (u-u_{j+1})$

1) Ansatz: $y(u) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n$

2) Ansatz: $y(u) = \sum_{j=0}^n a_j \tilde{p}_j(u-u_1) \dots (u-u_{j+1})$

1) Ansatz: $y(u) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n$

2) Ansatz: $y(u) = \sum_{j=0}^n a_j \tilde{p}_j(u-u_1) \dots (u-u_{j+1})$

1) Ansatz: $y(u) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n$

2) Ansatz: $y(u) = \sum_{j=0}^n a_j \tilde{p}_j(u-u_1) \dots (u-u_{j+1})$

1) Ansatz: $y(u) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n$

2) Ansatz: $y(u) = \sum_{j=0}^n a_j \tilde{p}_j(u-u_1) \dots (u-u_{j+1})$

1) Ansatz: $y(u) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n$

2) Ansatz: $y(u) = \sum_{j=0}^n a_j \tilde{p}_j(u-u_1) \dots (u-u_{j+1})$

1) Ansatz: $y(u) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n$

2) Ansatz: $y(u) = \sum_{j=0}^n a_j \tilde{p}_j(u-u_1) \dots (u-u_{j+1})$

1) Ansatz: $y(u) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n$

2) Ansatz: $y(u) = \sum_{j=0}^n a_j \tilde{p}_j(u-u_1) \dots (u-u_{j+1})$

Superponierende Störgröße (Alliv) → Eigenfunktionen:

1) Abweichung über gesamten Messbereich → Berechnung des Messwertes
2) Nullpunktfehler → relative Fehler

3) Empfindlichkeit ändert sich mit $S(u, z) = S(u, z_0) + (z - z_0) \cdot \text{rel. Fehler}$

4) Unterdrückbar nur mit Differenzmethode (falls auf beiden Zweigen)

Deformierende Störgröße (Multiplikativ) → Eigenschaften

1) Empfindlichkeit S ändert sich in Abhängigkeit vom Störgrößenvektor

2) $S(u, z) = S(u, z_0) + \Delta S$ → hängt auch von Messgröße ab

3) Nullpunktfehler ändert sich (bei nicht deformierend) nicht

4) rel. deformierende Fehler $F_{rel} = \frac{y - y_0}{y_0} = \frac{y - y_0}{y_0}$

Störgrößen $y(u, z) = y(u, z_0) + F_{sup}(u, z) + F_{def}(u, z)$ mit $F_{sup} = a \cdot (z - z_0) + a \cdot \Delta z$ & $F_{def} = b \cdot (z - z_0)(u - u_0) + b \cdot \Delta z \cdot u$

Zufallsvariable Jede auf

der Ereignismenge eines Zufalls experiments definierte reelle Funktion

Wahrscheinlichkeitsdichte $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$ mit $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$

Bedingte Wahrscheinlichkeitsdichte $f(x|y) = \frac{f(x, y)}{f(y)}$

Korrelationskoeffizient $r_{xy} = \frac{E\{(x - \mu_x)(y - \mu_y)\}}{\sigma_x \sigma_y}$

Kovarianz $C_{xy} = E\{(x - \mu_x)(y - \mu_y)\} = r_{xy} \sigma_x \sigma_y$

Unkorreliertheit $r_{xy} = 0$ falls x & y stochastisch unabhängig

Korrelationskoeffizient $r_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$

Charakteristische Funktion $\Phi(x) = E\{e^{ix}\}$

Stichprobe $\hat{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

Stichprobenmittelwert \hat{x} → erwartungstreu & konsistent

Stichprobenvarianz $\hat{s}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x})^2$

Stichprobenstandardabweichung $\hat{s} = \sqrt{\hat{s}^2}$

Stichprobenstandardabweichung \hat{s} → erwartungstreu & konsistent

Stichprobenmittelwert $\hat{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

Stichprobenvarianz $\hat{s}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x})^2$

Stichprobenstandardabweichung $\hat{s} = \sqrt{\hat{s}^2}$

Stichprobenstandardabweichung \hat{s} → erwartungstreu & konsistent

Signifikanztest Prüft ob erhaltener Schätzwert $(\hat{x}, \hat{\sigma}_x^2)$ repräsentativ für angenommene Verteilung ist. Also z.B. liegt \hat{x} nach Meinung von H_0 der Verteilung. **Annahme** meist Normalverteilung mit $N(\mu, \sigma^2)$ **Vorgehen**

- Voraussetzungen prüfen, d.h. \rightarrow 1) Normalverteilung mit μ
- Ermitteln von \hat{x} & falls σ^2 unbekannt auch $\hat{\sigma}_x^2$
- Aufstellen der Hypothesen (z.B. $H_0: \hat{x} = \mu_0, H_1: \hat{x} \neq \mu_0$)
- Bestimmen der Prüfgröße C (berechnen von C)
- σ^2 bekannt: $\rightarrow Z = (\hat{x} - \mu_0) / \hat{\sigma}_x = (\hat{x} - \mu_0) / \sqrt{\sigma^2 / n} = C \sim N$
- σ^2 unbekannt: $\rightarrow T = (\hat{x} - \mu_0) / \sqrt{\hat{\sigma}_x^2} = C \sim t$ (Wird mit $n-1$ Freiheitsgraden)
- Bestimmen Signifikanzniveau α (oft in Aufgabe gegeben)
- statische Sicherheit = $1 - \alpha$ mit der H_0 beibehalten wird
- Bestimmen der Wahrscheinlichkeit
- σ^2 bekannt: $P(C) < c$ von N & in Normalverteilungstabelle
- σ^2 unbekannt: $P(n-1, C) < c$ in t -Verteilung bei $(n-1)$ -Länge
- Testentscheidung: Annahme der Nullhypothese, falls gilt $P(C) \leq 1 - \alpha$, Ablehnung der Nullhypothese, falls $P(C) > 1 - \alpha$

χ^2 -Anpassungstest Prüft ob erhaltene Stichprobe einem bestimmten Verteilungsmodell entspricht. Also gesamte Verteilung! Annahme: Eine Normalverteilung liegt für $N(\mu, \sigma^2)$ **Vorgehen**

- Voraussetzung prüfen: 1) Konstante unabhängig 2) großer Stichprobenumfang
- Bestimmen des Systems: Festlegen der k Klassen Δ_i mit $\Delta_i \geq 1$ & $\Delta_i \geq 1$ Erweitern absolute Häufigkeit n_i für
- Aufstellen Hypothesen: $H_0: f(x) = f_0(x)$ & $H_1: f(x) \neq f_0(x)$
- Bestimmen Signifikanzniveau α & statische Sicherheit $1 - \alpha$
- Bestimmen der Prüfgröße $\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$ mit $n_i = \#$ Elemente in der Klasse Δ_i & $n = \#$ Stichprobenumfang
- p_i = Wahrscheinlichkeit das ein Element in der Klasse Δ_i liegt für die Hypothesen Wahrscheinlichkeitsdichte $f_0(x) = N(\mu, \sigma^2)$
- Bestimmen der Freiheitsgrade $m = k - 1$ (Anzahl geschätzte Parameter) verwendet
- Bestimmen der Wahrscheinlichkeit der Prüfgröße
- Testentscheidung: Annahme der Nullhypothese, falls gilt $\chi^2 \leq \chi_{1-\alpha}^2$ & Ablehnung der Nullhypothese, falls $\chi^2 > \chi_{1-\alpha}^2$

Auswahlr. Wahrscheinlichkeit, dass in der Stichprobe mit n Exemplaren k der kausalen Wahrscheinlichkeit p zwischen k_1 & k_2 Exemplare ausgefallen sind (Binomialverteilung) $P_n(k_1, k_2) = \sum_{i=k_1}^{k_2} \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}$ für $n \rightarrow \infty$ & $np \rightarrow \text{const.}$ \rightarrow Übergang in Poisson-Verteilung, d.h. $P_n(k_1, k_2) \approx \sum_{i=k_1}^{k_2} \frac{n!}{i!} p^i e^{-np}$ mit $\lambda = np$ = Ausfallrate

\rightarrow Prüftzeit t Beobachtungsstunden $n = t \cdot \lambda$ & $n \cdot t = n \cdot p \cdot t$

Konfidenzintervall r = Bestimmung der Konfidenz r (z.B. 95%)

Fehlerfortpflanzung \rightarrow Wenn Messergebnis aus mehreren Messungen besteht: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ \rightarrow Einzelne Messergebnisse

in Abhängigkeit $\Delta x_i = x_i - x_{i0}$ vom richtigen Messwert x_{i0}

\rightarrow Fehlerfortpflanzung = Ermittlung der Abweichung des Messergebnisses aus dem Einzelabweichungen Δx_i **Ansatz: Taylorentwicklung**

$f(x) \approx f(x_0) + f'(x_0) \Delta x_1 + \frac{1}{2} f''(x_0) \Delta x_1^2 + \dots$

hierbei $\partial f / \partial x_i$ = Empfindlichkeit: \parallel falls maximale Abweichungen bekannt (Vereinfacht, Abweichung $\Delta y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i$)

Sonderfall: Linearkombination, d.h. $y = f(x) = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n$, dann $\Delta y = \sum_{i=1}^n a_i \Delta x_i = a_1 \Delta x_1 + a_2 \Delta x_2 + \dots + a_n \Delta x_n$

Sonderfall: Multiplikativ, d.h. $y = f(x) = a_1 x_1^{p_1} \cdot a_2 x_2^{p_2} \cdot \dots \cdot a_n x_n^{p_n}$, dann $\Delta y = \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{y} a_i x_i^{p_i} \Delta x_i = \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{y} \Delta x_i$ (wobei $x_i = x_{i0} + \Delta x_i$)

VARIANZ: $\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_{x_i}^2 + 2 \sum_{i < j} \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \sigma_{x_i x_j}$ falls $\sigma_{x_i x_j} = 0$ $\rightarrow \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2$

Stochastischer Prozess Bestrebt sich auf Beobachtung ξ & Bestimmung von deterministischen Funktionen $y(t, \xi)$ = **MUSTERFUNKTIONEN** mit ξ = Elementarereignisse des betrachteten Experiments \parallel für jeden festen Zeitpunkt $t_i = t_0$ geht der stochastische Prozess $y(t, \xi)$ in eine Zufallsvariable $Z(t_i, \xi)$ über

DETERMINIERTE:

Elementarereignis	fest	variabel
Fest	Zahlenwert $y(t_i, \xi_0)$	Musterfunktion $y(t, \xi_0)$
Variabel	Zufallsvariable $y(t_i, \xi)$	Zufallsprozess $y(t, \xi)$

Wahrscheinlichkeitsverteilung $F_{xy}(y) = P(y \leq Y)$

Wahrscheinlichkeitsdichte $f_{xy}(y) = dF_{xy}(y) / dy$ mit $\int_{-\infty}^{\infty} f_{xy}(y) dy = 1$

Verbundwahrscheinlichkeitsverteilung

$F_{xy}(t_1, t_2) = P(x(t_1) \leq x, y(t_2) \leq y)$ & 2 Prozesse

$F_{xy}(t_1, t_2) = P(x(t_1) \leq x, x(t_2) \leq x) + P(y(t_2) \leq y)$

Verbundwahrscheinlichkeitsdichte

$f_{xy}(t_1, t_2) = \partial^2 F_{xy}(t_1, t_2) / \partial x \partial y$ & 2 Prozesse

$f_{xy}(t_1, t_2) = \partial^2 F_{xy}(t_1, t_2) / \partial x \partial y$ & 1 Prozess

Stochastische Unabhängigkeit $F_{xy}(t_1, t_2) = F_x(t_1) \cdot F_y(t_2)$ bzw. $f_{xy}(t_1, t_2) = f_x(t_1) \cdot f_y(t_2)$

Schmittwert Mittel über alle Musterfunktionen $y(t, \xi_1), y(t, \xi_2), \dots$ bei festem t (hängt i.A. von t ab) \rightarrow i.d.R. verschieden

Zeitmittelwert Mittelung über den Parameter t einer einzigen Musterfunktion $y(t, \xi_0) \rightarrow$ verschiedene ξ_0

m-tes Moment $\mu_y^m(t) = E\{y^m(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} y^m(t) f_{xy}(t) dy$

1. Moment = zeitabhängiger Mittelwert (Schwermittel) $\mu_y(t) = \mu_y(t)$

m-tes zentrales Moment $E\{(y(t) - \mu_y(t))^m\} = \int_{-\infty}^{\infty} (y - \mu_y)^m f_{xy}(y) dy$

2. tes zentrales Moment = $\sigma_y^2(t)$ = zeitabhängige Varianz

Autokorrelationsfunktion $\gamma_{yy}(t_1, t_2) = E\{y(t_1) y(t_2)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} y_1 y_2 f_{xy}(t_1, t_2) dy_1 dy_2$

Autokovarianzfunktion $C_{yy}(t_1, t_2) = E\{(y(t_1) - \mu_y(t_1))(y(t_2) - \mu_y(t_2))\} = \gamma_{yy}(t_1, t_2) - \mu_y(t_1) \mu_y(t_2)$

Kreuzkorrelationsfunktion $\gamma_{xy}(t_1, t_2) = E\{x(t_1) y(t_2)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x y f_{xy}(t_1, t_2) dx dy$

Kreuzkovarianzfunktion $C_{xy}(t_1, t_2) = E\{(x(t_1) - \mu_x(t_1))(y(t_2) - \mu_y(t_2))\} = \gamma_{xy}(t_1, t_2) - \mu_x(t_1) \mu_y(t_2)$

Unkorreliert $E\{x(t_1) y(t_2)\} = E\{x(t_1)\} E\{y(t_2)\} = \mu_x(t_1) \mu_y(t_2)$

Orthogonalität falls $\gamma_{xy}(t_1, t_2) = 0$ $\forall t_1, t_2$

Stationarität \rightarrow stochastische Eigenschaften sind invariant gegenüber der Zeit. \rightarrow VERBUNDENE Stationarität zweier Prozesse, wenn beide Prozesse stationär & gemeinsame stochastische Eigenschaften invariant gegenüber der Zeitverschiebung \parallel **POLAR**

1) $F_y(t) = F_y(t + \tau)$ & $f_y(t) = f_y(t + \tau)$

2) $\mu_y(t) = \mu_y(t + \tau)$ & $\sigma_y^2(t) = \sigma_y^2(t + \tau)$

3) $\mu_{xy}(t) = \mu_{xy}(t + \tau)$ & $\sigma_{xy}(t) = \sigma_{xy}(t + \tau)$

Schwache Stationarität \rightarrow wenn Erwartungswert $\mu_y(t)$ & Autokorrelationsfunktion $\gamma_{yy}(t_1, t_2)$ invariant gegenüber Verschiebung der Zeit. $\rightarrow \mu_y(t) = \mu_y$ & $\gamma_{yy}(t_1, t_2) = \gamma_{yy}(\tau)$

streng Stat. \rightarrow Schwach Stat. Anforderungen nur für $N(\mu, \sigma^2)$

Ergodizität Ein Zufallsprozess heißt ergodisch, wenn die Zeitmittelwerte aller Momente einer beliebigen Musterfunktion $y(t, \xi)$ mit den Schmittwerten des Prozess übereinstimmen \rightarrow **stoch. Stationarität**

Schwache Ergodizität Ein Zufallsprozess heißt schwach ergodisch, wenn die Mittelwerte für das erste Moment und für die AKF mit dem entsprechenden Schmittwert μ_y & γ_{yy} der Prozess übereinstimmen $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt = \mu_y$ & $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t) y(t + \tau) dt = \gamma_{yy}(\tau)$ (jeweils über alle Musterfunktionen ξ gemittelt)

Energiesignal Ein beschränktes, stichweise stetiges Signal $x(t)$ heißt Energiesignal, wenn $\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt < \infty$

Leistungssignal Falls $x(t)$ kein Energiesignal, aber es gilt: $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)|^2 dt = P < \infty$ \rightarrow P = mittlere plausibelste Leistung \parallel **periodische Signale**

sonstige Signale Wenn kein Energie- & Leistungssignal, z.B. $x(t) = e^{j\omega t}$

NORM \parallel Energiesignal $\|x(t)\| = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt} < \infty$

\parallel Leistungssignal $\|x(t)\| = \sqrt{\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)|^2 dt} < \infty$

Innenprodukt $\langle x(t), y(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) y^*(t) dt$

1) Leistungssignal $\langle x(t), y(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y^*(t) dt$

Schwarz'sche Ungleichung $|\langle x(t), y(t) \rangle| \leq \|x(t)\| \|y(t)\|$

Falls $x(t)$ Leistungssignal $\parallel \langle x(t), y(t) \rangle \leq P_x \cdot P_y < \infty$

Leistung $P_x = \langle x(t), x(t) \rangle = \|x(t)\|^2$

Energie $E_x = \langle x(t), x(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt$ mit $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E_x = P_x$

Korrelationsenergiesignal $\langle x(t), y(t) \rangle = \langle x(t), y(t) \rangle = \langle x(t), y(t) \rangle$

AKF Energiesignal $\gamma_{xx}(t) = \langle x(t), x(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) x^*(t) dt$

Energie-dichte $S_{xx}(t) = x(t) \cdot x^*(t) = |x(t)|^2$ für $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E_x = P_x$

Parseval'sche Beziehung $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |S_{xx}(f)|^2 df$

Eigenschaften für stationäre Prozesse (AKF $\gamma_{xy}(t)$ & KKF $C_{xy}(t)$)

- 1) Maximalwert bei $\tau = 0$: $\gamma_{xx}(0) = \sigma_x^2 + \mu_x^2$
- 2) Symmetrie: $\gamma_{xx}(\tau) = \gamma_{xx}^*(-\tau)$
- 3) Unkorreliertheit für $|\tau| \rightarrow \infty$: $\lim_{|\tau| \rightarrow \infty} \gamma_{xx}(\tau) = \mu_x^2$
- 4) Periodische Funktionen: $\gamma_{xx}(\tau) = \gamma_{xx}(\tau + T)$

1) Maximalwert $\text{Re}\{\gamma_{xx}(\tau)\} \leq \gamma_{xx}(0) = \sigma_x^2 + \mu_x^2$

2) Symmetrie $\gamma_{xy}(\tau) = \gamma_{yx}^*(-\tau) \neq \gamma_{xy}^*(-\tau)$

3) Unkorreliertheit für $|\tau| \rightarrow \infty$: $\lim_{|\tau| \rightarrow \infty} \gamma_{xy}(\tau) = \mu_x \mu_y$

4) Periodische Funktionen $\gamma_{xy}(\tau) = \gamma_{xy}(\tau + T)$

2) 1) Maximalwert $\text{Re}\{\gamma_{xy}(\tau)\} \leq \sqrt{(\sigma_x^2 + \mu_x^2)(\sigma_y^2 + \mu_y^2)}$

2) Symmetrie $\gamma_{xy}(\tau) = \gamma_{yx}^*(-\tau) \neq \gamma_{xy}^*(-\tau)$

3) Unkorreliertheit für $|\tau| \rightarrow \infty$: $\lim_{|\tau| \rightarrow \infty} \gamma_{xy}(\tau) = \mu_x \mu_y$

Closed Loop Korrelation Verfahren zur Korrelationsermittlung

\rightarrow Vorteil: numerischer Aufwand viel kleiner als bei LKF

\rightarrow Ansatz: Interpretation der Laufzeitkennlinien als Identifizierungsproblem

der unbekanntes Laufzeit T_{max} \parallel Vorgehen: 1) kleine Laufzeit mit

Korrelationszeit τ vergleichen 2) Verschieben der Korrelationszeit τ so lange bis optimale Anpassung durch Minimierung (steigend) = Regelabweichung

$x(t)$ \rightarrow $x(t - \tau)$ \rightarrow Multiplizieren \rightarrow Integrieren \rightarrow **Polenmäßig-Korrelation** \rightarrow **Closed Loop**

bildet immermal Projekt (aufwändig) \parallel Alternative:

große Auswertung von $x(t)$ mit 1 Bit \rightarrow Erstes Nachhyllfunktion durch

logische Operation \rightarrow viel einfacher \parallel anschließende Ableitung ist einfacher

Anfälligkeit (von Spektrum) = KLF im Frequenzbereich

$S_{xy}(f) = \langle X(f) Y^*(f) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) Y^*(f) df$ \rightarrow $S_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) y^*(t - \tau) e^{-j2\pi f \tau} dt d\tau$

Leistungsdichtespektrum = AKF im Frequenzbereich, also wie selbstähnlich ist das Spektrum \parallel **Autoleistungsdichtespektrum**

Für stationäre stationäre Prozess $S_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \gamma_{xx}(\tau) e^{-j2\pi f \tau} d\tau$

\rightarrow analog $\gamma_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xx}(f) e^{j2\pi f \tau} df$

\rightarrow gibt an welche Frequenz wie stark im stochastischen Mittel zur Leistung der Musterfunktion beiträgt (Leistungsverteilung über f)

\rightarrow $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) x^*(t + \tau) dt = S_{xx}(f)$ \rightarrow mittlere Leistung

Kreuzleistungsdichtespektrum \rightarrow x, y stichweise stationär

$S_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \gamma_{xy}(\tau) e^{-j2\pi f \tau} d\tau$ analog

$\gamma_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xy}(f) e^{j2\pi f \tau} df$

LDS für Energiesignale $S_{xx}(f) = X(f) \cdot X^*(f) = |X(f)|^2$

best. sich die Impulsantwort eines stationären LTI Systems, dann

Eigenwertleistungsdichtespektrum \circledast $S_{xx}(f) \geq 0 \forall f$

\circledast für reelle Prozesse $S_{xx}(f) = S_{xx}^*(-f) \rightarrow S_{xx}(f) = S_{xx}(-f)$

\circledast $S_{xy}(f)$ ist im Allgemeinen nicht reellwertig

Weißes Rauschen Ein Zufallsprozess heißt weißes Rauschen, wenn LDS für alle Frequenzen konst. \rightarrow $S_{xx}(f) = \sigma^2 = \text{const.} \forall f$

\rightarrow AKF: $\gamma_{xx}(\tau) = \sigma^2 \delta(\tau)$ \rightarrow δ = Dirac-Delta-Funktion \rightarrow $\sigma^2 = \text{const.} \forall f$

weißes Gaußsches Rauschen ist weißes Rauschen mit normalverteilten Signalwerten. Damit folgt aus Unkorreliertheit auch stochastische Unabhängigkeit \parallel **farbiges Rauschen** = weißes Rauschen das zu hohen Frequenzen gedämpft ist \parallel \rightarrow Maß für die Breite des AKF von farbigem Rauschen

Korrelationslänge $T_c = \text{Re}\{\gamma_{xx}(T_c)\} = \text{Re}\{\gamma_{xx}(0)\} / 2$

Realisierung weißes Rauschen: \circledast übermischtes Rauschen (W. gestrichelt)

\circledast pseudostochastische Binärfolge \rightarrow für N -Binäre \rightarrow Binärlänge $2^N - 1$

Additive Überlagerung zufälliger Störsignale: $y(t) = u(t) + n(t)$

$\gamma_{yy}(\tau) = \gamma_{uu}(\tau) + \gamma_{nn}(\tau) + \gamma_{un}(\tau) + \gamma_{nu}(\tau)$

$\gamma_{yy}(f) = S_{uu}(f) + S_{nn}(f) + 2 \text{Re}\{S_{un}(f)\}$

\rightarrow für reelle Signale: $S_{yy}(f) = S_{uu}(f) + S_{nn}(f) + 2 \text{Re}\{S_{un}(f)\}$

\rightarrow falls u & n unkorreliert & mind. eines der beiden mittelwertfrei $\gamma_{yy}(f) = S_{uu}(f) + S_{nn}(f) \circledast$ $S_{yy}(f) = S_{uu}(f) + S_{nn}(f)$

Übertragung durch LTI-Systeme \rightarrow vollständige Beschreibung durch Impulsantwort $g(t)$ bzw. Übertragungsfunktion $G(f)$

\rightarrow $y(t) = g(t) * x(t) \rightarrow Y(f) = G(f) X(f)$

\rightarrow falls $x(t)$ **Leistungssignal** & ergodisches Zufallsprozess:

1) $\gamma_{yy}(\tau) = \gamma_{xx}(\tau) * g^*(-\tau) \circledast$ $S_{yy}(f) = S_{xx}(f) \cdot |G(f)|^2$

2) $\gamma_{yy}(\tau) = \gamma_{xx}(\tau) * g(\tau) \circledast$ $S_{yy}(f) = S_{xx}(f) \cdot G(f)$

3) $\gamma_{yy}(\tau) = \gamma_{xx}(\tau) * g^*(\tau) \circledast$ $S_{yy}(f) = S_{xx}(f) \cdot |G(f)|^2$

Systemidentifikation

Falls $n(t) = 0$ & Punktquelle weiß ist ($S_{xx}(f) = \sigma^2$), dann gilt: $\gamma_{yy}(\tau) = \gamma_{xx}(\tau) |G(f)|^2 \rightarrow G(f) = \sqrt{S_{yy}(f) / \sigma^2}$

Möglichkeit 1 Schätzung $S_{yy} = X(f) Y^*(f)$ & hierfür $X(f)$ & $Y(f)$ messen \rightarrow Veranschauligung durch Mittelung über viele Schätzungen, d.h. $S_{xy}(f) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i(f) Y_i^*(f)$

Möglichkeit 2 Nur PERIODENRAMM $S_{yy}(f) = Y(f) Y^*(f)$ schätzen, dann $G(f) = \sqrt{S_{yy}(f) / S_{xx}(f)}$ & $S_{xx}(f) = |X(f)|^2$

\rightarrow Nachteil: 1) Störprozess nicht sorgf. für Verstärkung 2) Nur Amplitude

Möglichkeit 3 $G(f) = S_{xy}(f) / S_{xx}(f)$

\rightarrow Vorteil: 1) Schätzung für Betrag & Phase, sowie geringer Einfluss der überlagerten Störprozess $n(t)$

$G(f) = \frac{S_{xy}(f)}{S_{xx}(f)} = \frac{S_{xy}(f)}{S_{xx}(f)}$

\rightarrow falls $n(t) = 0$ & $u(t)$ unkorreliert \rightarrow D.h. Signalidentifikation geht am besten

dynamische Systemidentifikation

$u(t) \rightarrow$ $G(f) \rightarrow$ $y(t)$

\rightarrow falls $n(t) = 0$ & $u(t)$ unkorreliert \rightarrow D.h. Signalidentifikation geht am besten

dynamischen Betriebs ohne Messstellen des Geräts, kein Einfluss von $u(t)$ der Betriebsangabesignale, solange $u(t)$ & $n(t)$ unkorreliert.

Kreuzkorrelationskoeffizient $\gamma_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) y^*(t - \tau) dt$

Systemidentifikation

Falls $n(t) = 0$ & Punktquelle weiß ist ($S_{xx}(f) = \sigma^2$), dann gilt: $\gamma_{yy}(\tau) = \gamma_{xx}(\tau) |G(f)|^2 \rightarrow G(f) = \sqrt{S_{yy}(f) / \sigma^2}$

Möglichkeit 1 Schätzung $S_{yy} = X(f) Y^*(f)$ & hierfür $X(f)$ & $Y(f)$ messen \rightarrow Veranschauligung durch Mittelung über viele Schätzungen, d.h. $S_{xy}(f) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i(f) Y_i^*(f)$

Möglichkeit 2 Nur PERIODENRAMM $S_{yy}(f) = Y(f) Y^*(f)$ schätzen, dann $G(f) = \sqrt{S_{yy}(f) / S_{xx}(f)}$ & $S_{xx}(f) = |X(f)|^2$

\rightarrow Nachteil: 1) Störprozess nicht sorgf. für Verstärkung 2) Nur Amplitude

Möglichkeit 3 $G(f) = S_{xy}(f) / S_{xx}(f)$

\rightarrow Vorteil: 1) Schätzung für Betrag & Phase, sowie geringer Einfluss der überlagerten Störprozess $n(t)$

$G(f) = \frac{S_{xy}(f)}{S_{xx}(f)} = \frac{S_{xy}(f)}{S_{xx}(f)}$

\rightarrow falls $n(t) = 0$ & $u(t)$ unkorreliert \rightarrow D.h. Signalidentifikation geht am besten

dynamische Systemidentifikation

$u(t) \rightarrow$ $G(f) \rightarrow$ $y(t)$

\rightarrow falls $n(t) = 0$ & $u(t)$ unkorreliert \rightarrow D.h. Signalidentifikation geht am besten

dynamischen Betriebs ohne Messstellen des Geräts, kein Einfluss von $u(t)$ der Betriebsangabesignale, solange $u(t)$ & $n(t)$ unkorreliert.

Kreuzkorrelationskoeffizient $\gamma_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) y^*(t - \tau) dt$

dynamische Systemidentifikation

$u(t) \rightarrow$ $G(f) \rightarrow$ $y(t)$

\rightarrow falls $n(t) = 0$ & $u(t)$ unkorreliert \rightarrow D.h. Signalidentifikation geht am besten

dynamischen Betriebs ohne Messstellen des Geräts, kein Einfluss von $u(t)$ der Betriebsangabesignale, solange $u(t)$ & $n(t)$ unkorreliert.

Kreuzkorrelationskoeffizient $\gamma_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) y^*(t - \tau) dt$

dynamische Systemidentifikation

$u(t) \rightarrow$ $G(f) \rightarrow$ $y(t)$

\rightarrow falls $n(t) = 0$ & $u(t)$ unkorreliert \rightarrow D.h. Signalidentifikation geht am besten

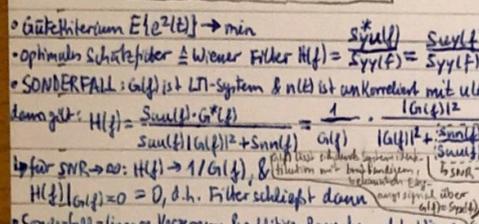
dynamischen Betriebs ohne Messstellen des Geräts, kein Einfluss von $u(t)$ der Betriebsangabesignale, solange $u(t)$ & $n(t)$ unkorreliert.

Kreuzkorrelationskoeffizient $\gamma_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) y^*(t - \tau) dt$

Signaldekl. Aufgabe: 1) Erkennung von

bekannten Mustern in einem Signal 2) Feststellung der Lage des Musters im Signal // Problem: Signal durch überlagerte Störung verformt // Anwendung: Signal- & Bildverarbeitung, Multimediale Technik

Signalmodell $y(t) = K \cdot u(t - t_0) + n(t)$ // Signalmodell // Elongationsfaktoren: 1) bekannt 2) periodisch durch Eingangssignal 3) Amplitude durch Faktor K veränderbar 4) Verschiebung um t_0 möglich 5) Überlagerung Störung $n(t)$ // Matched Filter // Zweck: optimaler Detektorfilter // Optimaler Filter $V(f) = \frac{S^*(f)}{|S(f)|^2 + N(f)}$



Gütekriterium $E\{z^2(t)} \rightarrow \min$ // optimaler Schutzfilter // Wiener Filter $H(f) = \frac{S^*(f)}{S^*(f) + N(f)}$ // Sonderfall: $G(f) = 1$ ist LTI-System & $n(t)$ ist unkorreliert mit $u(t)$ // Lösung: $H(f) = \frac{S^*(f) \cdot G^*(f)}{|G(f)|^2 + N(f)}$

Spezialfall: lineare Verzerrung & additives Rauschen, d.h. Wiener Filter $H(f)$ ist akausal, dann 2. Ableitbarkeit // 1) Verzögerung von $y(t)$, dann „weniger“ akausal, aber keine Kausalitätsverletzung // 2) Amplitude des Filters, also $h(t)$ unakausal // 3) Abtastung (Sampling) // 4) Abtastung // 5) Abtastung

Abtasttheorem: zeitkontinuierliches Signal aus abgetasteten Signal ist fehlerfrei rekonstruierbar, falls für Abtastfrequenz $f_A = 1/T_A$ die Bedingung $f_A \geq 2 \cdot f_{max}$ erfüllt ist // hier ist $B \leq f_{max}$ // Bandbreite // $f_A \geq 2 \cdot f_{max}$ // Frequenz des Signals // Rekonstruktion durch Multiplikation mit Rechteckfunktion in Frequenzbereich oder Filterung mit sinc im Zeitbereich

Rekonstruktion: Kombination der Amplitudenwerte auf diskrete Amplitudenstufen abbilden // ideale Abtastung $x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) \cdot \delta(t - nT)$ // Abtasttheorem // zeitkontinuierliches Signal aus abgetasteten Signal ist fehlerfrei rekonstruierbar, falls für Abtastfrequenz $f_A = 1/T_A$ die Bedingung $f_A \geq 2 \cdot f_{max}$ erfüllt ist

Abtasttheorem: zeitkontinuierliches Signal aus abgetasteten Signal ist fehlerfrei rekonstruierbar, falls für Abtastfrequenz $f_A = 1/T_A$ die Bedingung $f_A \geq 2 \cdot f_{max}$ erfüllt ist // hier ist $B \leq f_{max}$ // Bandbreite // $f_A \geq 2 \cdot f_{max}$ // Frequenz des Signals // Rekonstruktion durch Multiplikation mit Rechteckfunktion in Frequenzbereich oder Filterung mit sinc im Zeitbereich

Abtasttheorem: zeitkontinuierliches Signal aus abgetasteten Signal ist fehlerfrei rekonstruierbar, falls für Abtastfrequenz $f_A = 1/T_A$ die Bedingung $f_A \geq 2 \cdot f_{max}$ erfüllt ist // hier ist $B \leq f_{max}$ // Bandbreite // $f_A \geq 2 \cdot f_{max}$ // Frequenz des Signals // Rekonstruktion durch Multiplikation mit Rechteckfunktion in Frequenzbereich oder Filterung mit sinc im Zeitbereich

zu Quantisierungstheorem: zu beibehalten: 1) Bei Quantisierungstheorem kann auch Meinung aufgebracht // 2) Theorem für reale Signale nie ideal einhält // 3) Theorem muss keine geringe Quantisierungsfehler // 4) Signal muss kein Quantisierbares, möglichst viele Quantisierungsstufen überquert // 5) damit möglichst variabel sein // 6) auch bei Abtasttheorem // Erwartungswert aus Theorem folgt $E\{x^2} = E\{y^2}$ // Varianz aus Theorem folgt $E\{x^2} = E\{y^2\} + \sigma^2$ // SNR @ sinusförmige Signale $\sigma_y^2 = \sigma_x^2 / 12 = q^2 / 12 \cdot 1.5$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

zu Delta-Sigma Umsetzer // zu Modulator: Modulatorbezug sollte wesentlich kleiner als $f_A/2$ // 1) nichtfolgende Tiefpassfilterung // 2) selbst Digital-Signal & Wertedicht-Abtastung // 3) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 4) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 5) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 6) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 7) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 8) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 9) Parameter $f_A \gg f_{max}$ // 10) Parameter $f_A \gg f_{max}$

Winkelschrittmeßung Messung der Winkeländerung $\Delta\theta$ über die Zeit Δt mit Hilfe eines Winkelgeschwindigkeitsmessers (Winkelgeber).
 → Für jeden durchlaufenen Zahn messen den Kontrastverlauf zeitintervall $\Delta t_m(l) = t_2(l) - t_1(l)$
 → Referenzwinkel $\theta_0 = \theta_2 - \theta_1 = 2\pi f \Delta t$
 → Bestimmung $\Delta\theta_m(l)$ durch Auszahlen $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 der Impulse $\Delta\theta_m(l)$ einer Referenzfrequenz f_0 (Quantisierungsglieder aufgrund Diskretisierung des Referenzzeitintervalls $\Delta t = 1/f_0$)



Zeitsynchrone Erfassung Messung der Frequenz f mit Hilfe eines Zeitintervallmessers (ZIM).
 → feste Vorgabe Zeitintervall $T_{ref} = t_2 - t_1$ (diskret)
 → Messung: überestimator Winkel $\theta_m(l) = \theta_2(l) - \theta_1(l)$ [Kontrastverlauf]
 → Quantisierungsglieder aufgrund diskretisierung des Winkels

Quantisierungsglieder $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $f = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} = \frac{2\pi \cdot N \cdot \theta_2 - 2\pi \cdot N \cdot \theta_1}{2\pi \cdot N \cdot \Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} \cdot \frac{1}{N}$
 $f = \frac{1}{N} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} \cdot f_0$
 $f_0 = \frac{1}{N} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} \cdot f_0 = f_0 \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} \cdot \frac{1}{N}$
 $f_0 = \frac{1}{N} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} \cdot f_0 = f_0 \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} \cdot \frac{1}{N}$

2) Frequenzmessung: $f = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} = \frac{2\pi \cdot N \cdot \theta_2 - 2\pi \cdot N \cdot \theta_1}{2\pi \cdot N \cdot \Delta t}$
 $f = \frac{1}{N} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} \cdot f_0$
 $f = \frac{1}{N} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} \cdot f_0$

3) Alternative: Erweiterte Periodendauernmessung: sodass f unabhängig von $\omega_2 \rightarrow$ Messung von K -Periodendauern, d.h. Winkel von $K \cdot \theta_0$ in $K \cdot T_{ref}$, dann $\omega = K \cdot \theta_0 / T_{ref}$ Maximale Messzeit T_{max} vorgegeben
 $T_{ref} \leq T_{max} \cdot N \Rightarrow T_{ref} \leq T_{max} / N$, dann folgt: $f = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} = \frac{2\pi \cdot N \cdot \theta_2 - 2\pi \cdot N \cdot \theta_1}{2\pi \cdot N \cdot \Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} \cdot \frac{1}{N}$

Mittelwertbildung Mittelwert über Konstanten Δt \rightarrow $\bar{\omega} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt$
 $\bar{\omega} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt$
 $\bar{\omega} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt$

Referenzperiode T_{ref} & Abstandsfrequenz f_{ref}
 $\bar{\omega} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt$
 $\bar{\omega} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt$

Diagonalmethode, warum linearisierende Wirkung? $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$

Wurum Rechenschieberfehler beeinflusst? $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$

Wie breite der Quantisierungsglieder eines unkorrelierten, periodischen Quantisierers in Praxis bestimmen?
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$

Optimale Quantisierungsglieder eines Sinussignals
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$

Wie Approx. mit τ in Falle der Approximation?
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$

Wann rechenschaft Approximation unstelle von Mittelwertbildung?
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$

Die Offizierschaltung ist als superpräzises, 24-Stufiges in Kombination mit dem Referenzwert der superpräzisen Skala von dem Positionen ab dem ersten Verstärker und von allen Verstärkern vergrößert & hat dem ersten Einfluss, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist.

Die Offizierschaltung ist als superpräzises, 24-Stufiges in Kombination mit dem Referenzwert der superpräzisen Skala von dem Positionen ab dem ersten Verstärker und von allen Verstärkern vergrößert & hat dem ersten Einfluss, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist.

Die Offizierschaltung ist als superpräzises, 24-Stufiges in Kombination mit dem Referenzwert der superpräzisen Skala von dem Positionen ab dem ersten Verstärker und von allen Verstärkern vergrößert & hat dem ersten Einfluss, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist.

Die Offizierschaltung ist als superpräzises, 24-Stufiges in Kombination mit dem Referenzwert der superpräzisen Skala von dem Positionen ab dem ersten Verstärker und von allen Verstärkern vergrößert & hat dem ersten Einfluss, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist.

Dreh-/Richtungserkennung Prinzip: Verändern von 2 Sensoren die leicht versetzt über 2 Bahnen stehen \rightarrow Winkeländerung des Zahnes $\theta_0 = 2\pi f \Delta t$ \rightarrow Winkeländerung des Sensoren: $\theta = K \cdot \theta_0 \cdot \Delta t$ Drehung im Uhrzeigersinn: Impulse an Sensor 1 früher als an Sensor 2 Drehung gegen Uhrzeigersinn: Impulse an Sensor 2 früher als an Sensor 1 \rightarrow Drehrichtung mit NAND-Gatter auswerten

Positionsbestimmung $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 Winkel: nur Positionänderung erkennbar, keine absolute Position
 bei Einschleusen: führt zu Referenzposition nötig, Worst-Case-Fall:
 Fast 360° Fehler möglich \parallel $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 mit Indexmarken in unterschiedlich am Winkelabstand \rightarrow beim Einschleusen maximale Marktlänge zur Referenzposition \rightarrow Problem Indexmarkenabstand

**3) Dual-Codes \rightarrow jede Spur codiert ein Bit \rightarrow mit Fehlerstellenver-toleranz \rightarrow Winkel: fehlerhafte Ausdeutern mit den Übergängen
 zweier benachbarter Codewörter durch falsche Zuordnung der Bit-anzahl möglich \parallel $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 zyklisch \parallel Vorteil: keine Ausreißer an den Übergängen zweier benachbarter Codewörter \rightarrow Eingehet bei Messung der absoluten θ Winkelposition**

Direkte Messverfahren Bestimmung des Messwert durch unmittelbaren Vergleich der Messgröße mit einem Referenzwert (z.B. Balkenwaage)
 Bestimmung des gemessenen Messwert durch Vergleich der Messgröße mit einem Referenzwert (z.B. Balkenwaage)
 Bestimmung des gemessenen Messwert durch Vergleich der Messgröße mit einem Referenzwert (z.B. Balkenwaage)

Indirekte Messverfahren Bestimmung des Messwert durch Vergleich der Messgröße mit einem Referenzwert (z.B. Balkenwaage)
 Bestimmung des gemessenen Messwert durch Vergleich der Messgröße mit einem Referenzwert (z.B. Balkenwaage)
 Bestimmung des gemessenen Messwert durch Vergleich der Messgröße mit einem Referenzwert (z.B. Balkenwaage)

Beschreibung Messsystem
 Zustandsraum (x_1, x_2, \dots, x_n)
 Klassifikation \rightarrow Amplitudenanalog (Zeit kontinuierlich) & Wert kontinuierlich
 Messsignal \rightarrow digitale Signale (Zeit & Wert diskret)
 Frequenzanaloge Signale (Zeit kontinuierlich, Wert kontinuierlich) \rightarrow diskretes Signal (Zeit diskontinuierlich, Wert kontinuierlich)
 Referenzsignale (Zeit & Wert diskret)

Kennabweichung Arten: 1) zufällig, 2) systematisch
 Interpolation \rightarrow Annahme von Werten zwischen den gemessenen Werten
 Approximation \rightarrow Annahme von Werten zwischen den gemessenen Werten
 Schieberegister \rightarrow Verschiebung von Werten

Kennbereich \rightarrow im dem Bereich liegen Messgrößen $\Delta t_m(l)$
 Anzeigebereich \rightarrow im dem Bereich liegen Anzeigewerte $\Delta t_m(l)$
 Empfindlichkeit \rightarrow $S = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta t_m(l)}{\Delta \theta}$
 ideale Kennlinie \rightarrow $y = a \cdot x + b$

Kalibrierung Analyse & Bestätigung der Messwert von x mit y durch Vergleich mit einem Referenzwert
 Justierung \rightarrow optisch/elektronisch Einzug um den gemessenen Einzugbereich der physikalischen Kennlinie, Kombination mit dem gemessenen Messwert, absoluten Wert, multiplikative Verdrängung & additive Verdrängung (Korrektur)

Wie Frequenzwert messen?
 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt$
 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt$

Wie breite der Quantisierungsglieder eines unkorrelierten, periodischen Quantisierers in Praxis bestimmen?
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$

Optimale Quantisierungsglieder eines Sinussignals
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$

Wie Approx. mit τ in Falle der Approximation?
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$

Wann rechenschaft Approximation unstelle von Mittelwertbildung?
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$
 $\Delta\theta_m(l) = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f = \frac{2\pi}{N} \cdot \Delta t_m(l) \cdot f$

Die Offizierschaltung ist als superpräzises, 24-Stufiges in Kombination mit dem Referenzwert der superpräzisen Skala von dem Positionen ab dem ersten Verstärker und von allen Verstärkern vergrößert & hat dem ersten Einfluss, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist.

Die Offizierschaltung ist als superpräzises, 24-Stufiges in Kombination mit dem Referenzwert der superpräzisen Skala von dem Positionen ab dem ersten Verstärker und von allen Verstärkern vergrößert & hat dem ersten Einfluss, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist.

Die Offizierschaltung ist als superpräzises, 24-Stufiges in Kombination mit dem Referenzwert der superpräzisen Skala von dem Positionen ab dem ersten Verstärker und von allen Verstärkern vergrößert & hat dem ersten Einfluss, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist.

Die Offizierschaltung ist als superpräzises, 24-Stufiges in Kombination mit dem Referenzwert der superpräzisen Skala von dem Positionen ab dem ersten Verstärker und von allen Verstärkern vergrößert & hat dem ersten Einfluss, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist, wenn die Referenzwert der Offizierschaltung weniger ungenau ist.

Signal-AKF-IDS mit KE Z
 x(t) Sägezahn, f_0 PRBS, f_0
 f(x,t) Parabelförmig, f_0 Puls bei $T = K/f_0$
 f(x,t) Impulse bei K/f_0 Impulse bei K/f_0 & $S(f)$

x(t) Rechteck, f_0 harmonische (Sinus f_0)
 f(x,t) Dreieck, f_0 Cosinus f_0
 f(x,t) Impulse bei K/f_0 Impulse bei K/f_0
 x(t) Offset weißes Rauschen farbiges Rauschen
 f(x,t) Offset $S(f)$ Überhöhung um $T=0$

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima

Amplitude \rightarrow die maximale Auslenkung des Signals
Phase \rightarrow die zeitliche Verschiebung des Signals
Frequenz \rightarrow die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
Wellenlänge \rightarrow die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima