

# Analyse linearer Systeme mit LISA

<b>Leistungsumfang</b>	<b>2</b>
<b>Programmooptionen</b>	<b>3</b>
Einlesen der Daten	3
Darstellungsform und Speichern von Ergebnissen	6
Zoom-Modus und Messfunktion	11
Programmkonstanten	13
<b>Anwendungsbeispiel</b>	<b>13</b>

## Leistungsumfang

LISA ermöglicht die Analyse linearer Systeme mit der Eingangsgröße  $u(t)$  und der Ausgangsgröße  $y(t)$ , die in Form einer gebrochen rationalen Übertragungsfunktion mit Totzeit

Systemmodell

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} e^{-Ts}$$



vorliegen. Alternativ dazu kann das zu analysierende System auch in Form einer Blockliste – d. h. einer Reihenschaltung linearer Standardglieder – konfiguriert werden, die dann programmiert in die resultierende Übertragungsfunktion umgerechnet wird. Einzelheiten dazu finden Sie im Kapitel 2 *Grundlagen*.

Die Systemanalyse umfasst folgende Punkte:

- Berechnung der Sprungantwort

Es wird die Antwort des Systems auf eine sprungförmige Testfunktion

$$u(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 0 \\ 1 & \text{für } t \geq 0 \end{cases}$$

ermittelt. Simulationsdauer und -schrittzahl sind vorgebar. Zur Simulation wird das Matrizenexponentialverfahren [3] benutzt.

- Darstellung des Frequenzgangs in Form des Bode-Diagramms

Es wird der Frequenzgang

$$G(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{U(j\omega)} = \frac{b_m (j\omega)^m + b_{m-1} (j\omega)^{m-1} + \dots + b_1 (j\omega) + b_0}{(j\omega)^n + a_{n-1} (j\omega)^{n-1} + \dots + a_1 (j\omega) + a_0} e^{-j\omega T}$$

für einen vorgebbaren Frequenzbereich in Form der Betragskennlinie  $|G(j\omega)|_{\text{dB}}$  und der Phasenkennlinie  $\angle G(j\omega)$  berechnet und über der logarithmischen Frequenzachse dargestellt.

- Darstellung des Frequenzgangs in Form der Nyquist-Ortskurve  
In diesem Fall wird der Frequenzgang aufgesplittet in Realteil  $\text{Re}\{G(j\omega)\}$  und Imaginärteil  $\text{Im}\{G(j\omega)\}$  und in der komplexen Ebene aufgetragen. Die Kurve kann auf Wunsch mit der Frequenz  $\omega$  als Kurvenparameter parametrisiert werden.
- Berechnung der Wurzelortskurve  
Es wird der Verlauf der Eigenwerte des geschlossenen Regelkreises in Abhängigkeit von der Verstärkung eines P-Reglers ermittelt und in der komplexen Ebene dargestellt.
- Berechnung von Pol- und Nullstellen  
Es werden die Polstellen (Eigenwerte) und Nullstellen von  $G(s)$  berechnet. Zur Anwendung kommt die Methode von Lagrange.

Das Programm verfügt über eine MDI-Schnittstelle, sodass ein- und dasselbe System gleichzeitig in verschiedenen Darstellungsformen, mit unterschiedlichen Skalierungen usw. dargestellt werden kann.

---

## Programmoptionen

### Einlesen der Daten

Nach dem Aufruf des Programms wird automatisch ein (zunächst noch leeres) Dokumentfenster geöffnet. Das zu analysierende System kann wahlweise direkt als Übertragungsfunktion oder in Form einer Blockliste spezifiziert werden, die dann programmintern unmittelbar in die zugehörige Übertragungsfunktion umgerechnet wird. Zu diesem Zweck werden die Menüoptionen SYSTEMDATEI ÖFFNEN..., SYSTEMDATEI SPEICHERN (UNTER) bzw. ÜBERTRAGUNGSFUNKTION BEARBEITEN... oder BLOCKLISTE BEARBEITEN... im Menü DA-TEI oder die entsprechenden Schaltflächen der Toolbar angewählt. Das entsprechende System wird dann im gerade aktiven Dokumentfenster dargestellt. Soll

ein neues Dokumentfenster geöffnet werden, so ist zunächst die Menüoption DATEI | NEUES FENSTER anzuwählen.

Das nachfolgende Bild zeigt den Eingabedialog für Übertragungsfunktionen. Dieser Eingabedialog ermöglicht

- die Modifikation der Übertragungsfunktion,
- das Kopieren der Übertragungsfunktion in die Zwischenablage,
- das Einfügen einer Übertragungsfunktion aus der Zwischenablage,
- das Abspeichern der Übertragungsfunktion in einer UFK-Datei,
- das Laden einer Übertragungsfunktion aus einer UFK-Datei,
- das Anzeigen und Modifizieren der Projekt-Information.

Zähler- und Nennerpolynom können - sofern sie bereits in ausmultiplizierter Form vorliegen - direkt eingegeben werden. Sie können jedoch alternativ auch in faktorisierte Form, d. h. als Kombination von Termen nullter bis zweiter Ordnung, aufgebaut werden. Diese Einzeltermen werden in der unteren Hälfte des Dialogs eingegeben und über *Hinzu* jeweils dem aktuellen Gesamtzähler- bzw. -nennerpolynom hinzugerechnet. Über die *Reset*-Schaltflächen können Zähler- bzw. Nennerpolynom jederzeit auf eins zurückgesetzt werden. Die nachfolgenden Bildschirmfotos erläutern diese Vorgehensweise. Für die Berechnung der Wurzelortskurve wird eine eventuell vorhandene Systemtotzeit zu null gesetzt.

*Beispiel für faktorisierte Vorgabe von Übertragungsfunktionen:  
Eingabe eines Nennerterms zweiter Ordnung...*

... und Hinzufügen zum aktuellen Nennerpolynom



Wird das System in Form einer Blockliste spezifiziert, so erscheint der nachfolgende Dialog.

Dialog zur Konfigurierung einer Blockliste

Im linken Dialogteil sind alle zur Verfügung stehenden Blocktypen aufgelistet; ein Block kann jeweils durch Doppelklick oder Anwahl des Blocktyps und Betätigen der Schaltfläche *Einfügen >>* in die Blockliste übernommen werden. Im rechten Teil des Dialogs werden alle in der aktuellen Blockliste geführten

Blöcke mit ihrem Namen, dem Blocktyp und den Blockparametern aufgeführt. Durch Doppelklick auf einen Block innerhalb dieser Liste kann der Block bearbeitet werden (siehe nachfolgende Bildschirmgrafik). Über die Schaltfläche *Frequenzgang* kann das Bode-Diagramm des ausgewählten Blocks angezeigt werden. Die Schaltflächen am rechten Dialogrand erlauben u. a. das Laden und Speichern von Blocklisten in einer Blocklisten-Datei (Extension BL) oder der Windows-Zwischenablage.

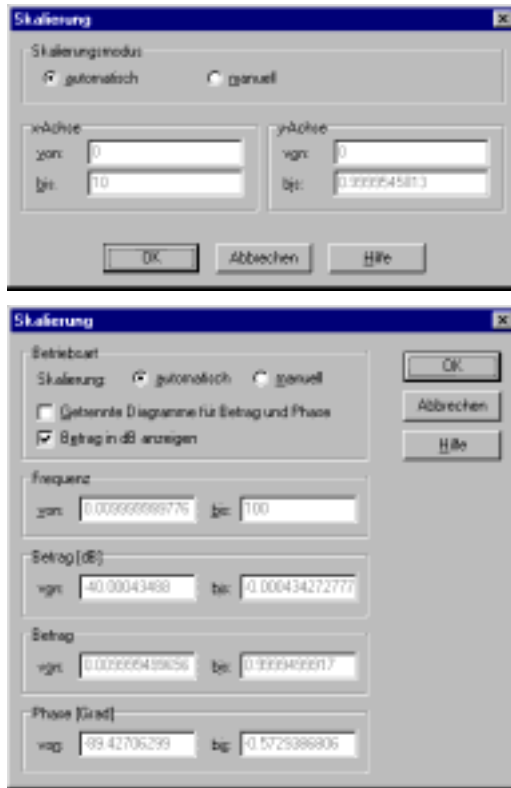


Beispiel: Dialog zur Bearbeitung eines P-T1-Blocks

Nach dem Verlassen des Blocklisten-Dialogs wird die aktuelle Blockliste unmittelbar in die entsprechende Gesamt-Übertragungsfunktion umgerechnet und kann dann – was in der Regel jedoch nicht empfehlenswert ist – auch als solche weiterverarbeitet werden. Normalerweise sollte ein als Blockliste spezifiziertes System später aber immer auch als Blockliste weiterverarbeitet werden, da dieses die flexiblere Darstellungsform des Systems ist.

## Darstellungsform und Speichern von Ergebnissen

Nach dem Aufruf eines neuen Dokumentfensters ist für dieses zunächst die Darstellungsform *Sprungantwort* eingestellt. Ein Wechsel der Darstellungsform für das aktive Dokumentfenster kann über das Menü ANZEIGE oder die entsprechenden Schaltflächen der Toolbar erfolgen. Sprungantworten, Bode-Diagramme und Ortskurven können in WinFACT-Dateien vom Typ SIM, BD bzw. OK abgespeichert werden. Dazu dient das Untermenü SPEICHERN. Ein Abspeichern von Wurzelortskurven und Pol-Nullstellen ist z. Z. noch nicht möglich. Die Skalierung von Koordinatenachsen sowie zusätzliche, von der Darstellungsform abhängige Parameter werden über die Menüoptionen SKALIERUNG bzw. PARAMETER beeinflusst.



Dialoge zur Skalierung linearer (oben) bzw. logarithmischer Diagramme (unten)

Die über den Parameter-Dialog einstellbaren Größen sind für die Sprungantwort:

- Die Simulationsdauer  $T_{\text{Ende}}$ .
- Die Anzahl der Simulationsschritte  $n$ . Diese sollte so groß gewählt werden, dass die resultierende Schrittweite

$$\Delta T = \frac{T_{\text{Ende}}}{n - 1}$$

maximal 10% der kleinsten Systemzeitkonstanten entspricht, um eine genügend genaue Simulation zu ermöglichen.

Voreingestellte Werte:

Simulationsdauer: 10  
 Simulationsschritte: 100



Dialog für Simulationsparameter

Für Bode-Diagramm und Ortskurve sind einstellbar:

- Die kleinste berechnete Frequenz  $\omega_{\min}$
- Die Anzahl berechneter Frequenzdekaden
- Die Anzahl der Mindestwerte pro Dekade. Weist der Frequenzgang einen nicht hinreichend glatten Verlauf auf, kann dieser Wert u. U. vergrößert werden.
- Der Winkel  $\Delta\Phi$ , der angibt, wie stark sich der Phasenwinkel zwischen zwei Frequenzwerten maximal ändern darf, bevor zusätzliche Zwischenwerte berechnet werden. Weist der Frequenzgang einen nicht hinreichend glatten Verlauf auf, kann dieser Wert u. U. verkleinert werden.

Voreingestellte Werte:

$\omega_{\min}$  : 0.01  
 Dekaden: 4  
 Werte/Dekade: 20  
 $\Delta\Phi$  : 5

Für die Wurzelortskurve sind wählbar:

- Die *Berechnungsgrenzen* für die Wurzelortskurve (Real- und Imaginärteil). Bei der automatischen Berechnung werden diese abhängig von der Pol-Nullstellenverteilung des Systems festgelegt. Durch Auswahl von *manuell* können sie vom Anwender verändert werden.
- Die *Schrittweite* für die iterative Berechnung der Wurzelortskurve. Auch diese wird im automatischen Modus an die Pol-Nullstellenver-



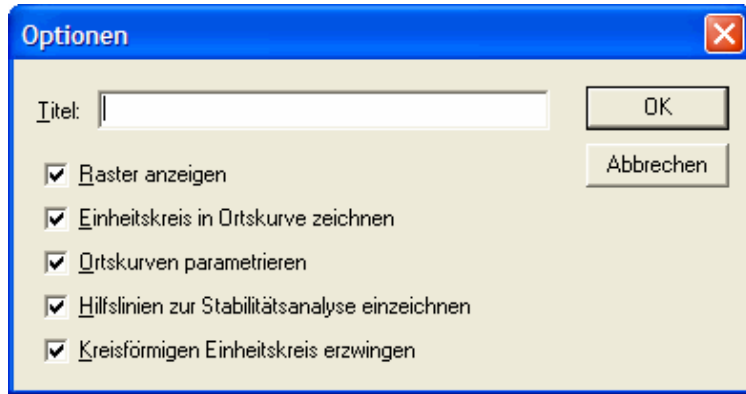
teilung angepasst. Bei Systemen mit sehr nah beieinanderliegenden Polen und Nullstellen kann es sinnvoll sein, den von der Automatik ermittelten Wert manuell zu verkleinern; bei sehr weit auseinanderliegenden Werten kann er u. U. vergrößert werden.



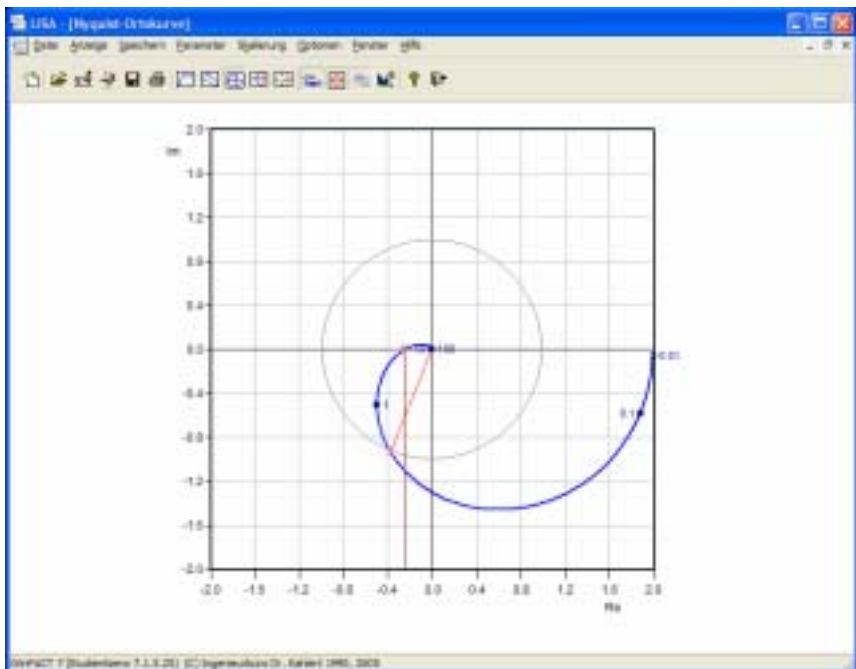
*Dialog für Frequenzbereichparameter (oben) und Parameter der Wurzelortskurve (unten)*



Der Menüpunkt OPTIONEN erlaubt schließlich für jedes Dokumentfenster die Eingabe eines Titels, das Zu- und Abschalten des Koordinatenrasters sowie die Aktivierung eines Einheitskreises und der Kurvenparametrierung für Nyquist-Ortskurven. Außerdem können in der Darstellungsform Bode-Diagramm und Nyquist-Ortskurve Hilfslinien eingezeichnet werden, die eine Stabilitätsanalyse des Systems anhand von Phasen- und Amplitudenreserve ermöglichen. Für Ortskurven kann darüber hinaus eine Darstellung erzwungen werden, bei der der Einheitskreis unabhängig von der Bildschirmauflösung und der aktuellen Fenstergröße immer auch tatsächlich kreisförmig dargestellt wird (siehe nachfolgende Bildschirmgrafik).



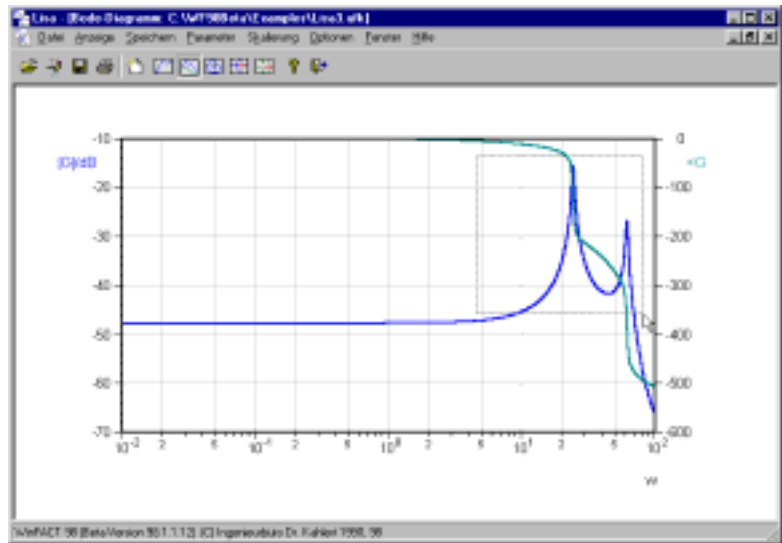
Optionen-Dialog



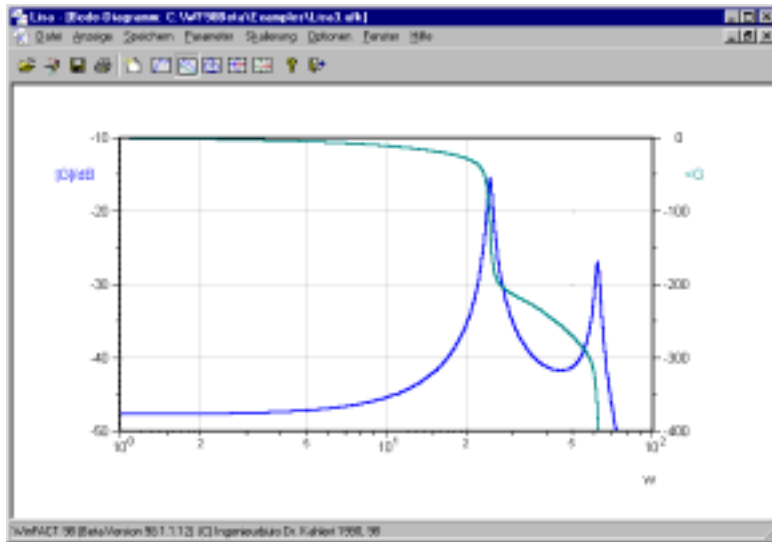
Beispiel: Parametrisierte Ortskurve mit (kreisförmigem) Einheitskreis und Hilfslinien zur Stabilitätsanalyse

## Zoom-Modus und Messfunktion


In allen Darstellungsformen mit Ausnahme der Pol-/Nullstellenausgabe ist ein *Zoom-Modus* verfügbar. Er ermöglicht eine vergrößerte Darstellung eines Bildausschnitts mit Hilfe der Maus. Dazu wird der linke obere Eckpunkt des zu vergrößernden Bildausschnitts mit der linken Maustaste angeklickt und dann bei festgehaltener Maustaste der Bereich festgelegt. Nach dem Loslassen der Maustaste erfolgt eine automatische Neuausgabe des vorgegebenen Bereiches. Dazu wird intern auf manuelle Skalierung umgeschaltet. Zur Wiederherstellung des kompletten Bereichs schaltet man daher entweder zurück auf automatische Skalierung oder betätigt den der Systemdarstellung entsprechenden Toolbar-Button.



*Zoom-Modus: Wahl des zu vergrößernden Bildausschnitts...*

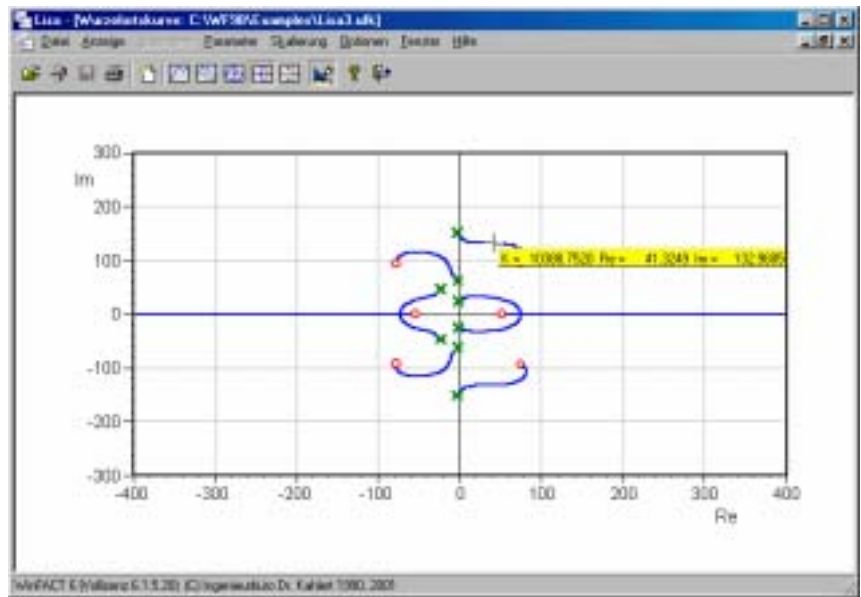


...und Anzeige des vergrößerten Bildausschnitts

Über die Option ANZEIGE | MESSMODUS AKTIVIEREN oder die Schaltfläche  kann der Messmodus aktiviert werden. Ist dieser aktiv, wird beim Bewegen des Mauszeigers innerhalb des Koordinatensystem ständig ein kleines Hinweisfenster (Tooltip) angezeigt, das die Koordinaten an der aktuellen Position des Mauszeigers enthält.

In den Darstellungsarten *Nyquist-Ortskurve* und *Wurzelortskurve* werden im Hinweisfenster bei aktiver Messfunktion zusätzliche Informationen angezeigt, sobald der Mauscursor sich auf der Kurve befindet:

- Bei Nyquist-Ortskurven werden Frequenz, Real- und Imaginärteil des angewählten Kurvenpunktes angezeigt.
- Bei Wurzelortskurven werden Verstärkung, Real- und Imaginärteil angezeigt.



Programmfenster bei aktiviertem Messmodus (hier in der Darstellungsart Wurzelortskurve)

## Programmkonstanten

Maximale Systemordnung: 20

---

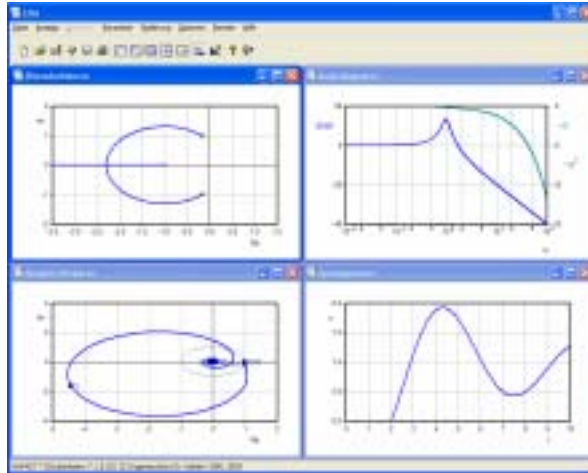


---

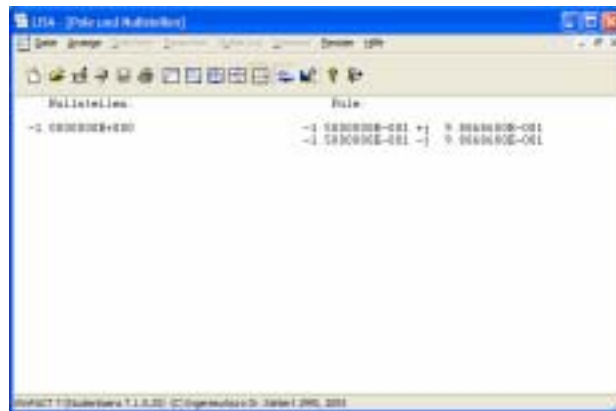
## Anwendungsbeispiel

Die folgenden Bildschirmgrafiken zeigen die Darstellung von Sprungantwort, Bode-Diagramm, Ortskurve und Wurzelortskurve sowie Pol-/Nullstellen für ein System 2. Ordnung mit der Übertragungsfunktion

$$G(s) = \frac{s+1}{s^2 + 0.3s + 1} e^{-2s}.$$



*Sprungantwort, Bode-Diagramm, Nyquist-Ortskurve und Wurzelortskurve für Beispiel*



*Ausgabe von Polen und Nullstellen für Beispielsystem*



Im Beispiel-Verzeichnis befinden sich zusätzlich folgende Beispieldateien:

- LISA1.UFK: System mit  $m = 1$ ,  $n = 2$  und Allpassverhalten
- LISA2.UFK: Entspricht LISA1.UFK mit zusätzlicher Totzeit
- LISA3.UFK: System mit  $m = 6$ ,  $n = 8$  und Allpassverhalten