

Systemidentifikation mit IDA

Leistungsumfang	3.2
Programmoptionen	3.2
Einlesen der Messwerte	3.2
Steuerparameter für die Identifikation	3.3
Identifikation	3.5
Wahl eines Zeitfensters	3.8
Messmodus	3.8
Anwendung zur Modellreduktion	3.9
Programmkonstanten	3.10
Anwendungsbeispiel	3.10

Leistungsumfang


IDA ermöglicht die Identifikation linearer Systeme anhand des gemessenen Ein-/Ausgangsverhaltens. Die Eingangsgröße kann prinzipiell beliebigen Verlauf aufweisen. Zur Identifikation wird das Verfahren der mehrfachen Integration benutzt, das sich insbesondere durch seine Robustheit gegenüber Messrauschen auszeichnet [5]. Das identifizierte Systemmodell besitzt die Form


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

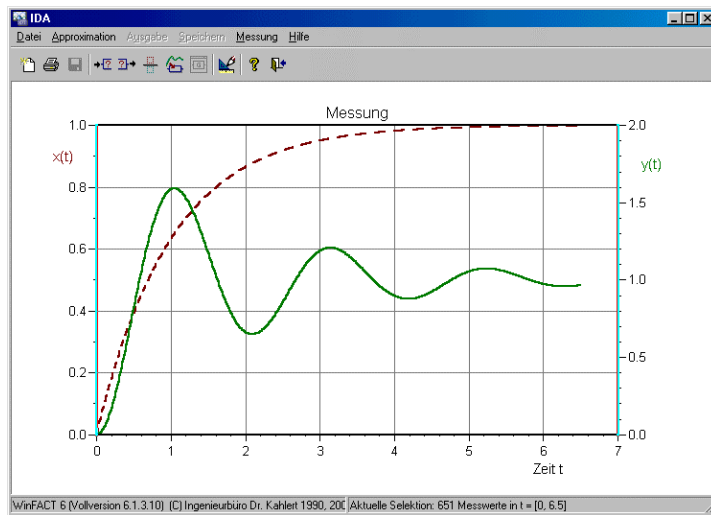
Zählergrad m und Nennergrad n können vom Anwender vorgegeben oder vom Programm automatisch ermittelt werden. Die Totzeit T_t wird ebenfalls - nach Eingabe einer Unter- und Obergrenze - automatisch vom Programm ermittelt.

Programmooptionen

Einlesen der Messwerte

Die gemessenen Verläufe der Ein- und Ausgangsgröße müssen in getrennten Dateien vom Typ SIM vorliegen. Dabei ist für die Funktionsfähigkeit des Algorithmus wesentlich, dass beide Verläufe zu *denselben, äquidistanten* Zeitpunkten aufgenommen wurden, beide Dateien also die gleiche Anzahl an Wertepaaren enthalten. Die Einhaltung dieser Bedingung wird vom Programm automatisch überprüft. Das Einlesen des Eingangsgrößenverlaufs erfolgt über die Menüfolge DATEI|EINGANGSSIGNAL X(T), die Tastenkombination <Strg><E> oder die Toolbar-Schaltfläche , das Einlesen des Ausgangsgrößenverlaufs entsprechend über DATEI|AUSGANGSSIGNAL Y(T) bzw.


<Strg><A> oder die Schaltfläche . Die eingelesenen Daten werden automatisch grafisch im Anwendungs-Hauptfenster dargestellt.



Hauptfenster nach dem Einlesen der Messwerte: Die Eingangsgröße wird als gestrichelte rote Kurve, der Ausgangsgrößenverlauf als durchgezogene grüne Kurve dargestellt.

Die Qualität des ermittelten Modells ist ganz erheblich abhängig von der Anzahl der Messwerte. Aus diesem Grunde sollten möglichst 500 Messwerte oder mehr verwendet werden.

Steuerparameter für die Identifikation

Im Anschluss daran sind die Steuerparameter für die Identifikation über die Menüfolge DATEI | STEUERPARAMETER..., die Tastenkombination <Strg><S> oder die Toolbar-Schaltfläche  festzulegen.

Steuerparameter

Ordnung der Übertragungsfunktion:
 Zählergrad m: 0 Nennergrad n: 1

Identifikationsmode:
☒ einzeln ☐ m anpassen ☐ n anpassen ☐ m und n anpassen
☒ Einzelbestätigung

Totzeitanpassung:
 Ttmin: 0 Ttmax: 0 Zwischenschritte: 10

Arbeitspunktfestlegung für t = 0
 Eingelesene Daten:

xmin = 1	xmax = 1	xmitt = 1	x(t=0) = 1
ymin = -0.04918	ymax = 1.002	ymitt = 0.8721	y(t=0) = 0

 Gewählter Arbeitspunkt (Daten-Offset):
 x-Offset: 0 y-Offset: 0

OK Abbrechen

Eingabedialog für Steuerparameter

Der entsprechende Eingabedialog enthält folgende Daten:

<i>Zählergrad m</i>	(Maximaler) Zählergrad der Übertragungsfunktion
<i>Nennergrad n</i>	(Maximaler) Nennergrad der Übertragungsfunktion
<i>Identifikationsmode</i>	Wird der Identifikationsmode <i>Einzeln</i> gewählt, wird die Identifikation nur für die festgelegten Grade m und n durchgeführt. In den anderen Identifikationsmodi wird die optimale Übertragungsfunktion für alle Zähler- bzw. Nennergrade beginnend bei 0 bis zum angegebenen Wert ermittelt. Auf diese Art kann die geeignete Modellordnung automatisch bestimmt werden. Die automatische Identifikation kann vom Anwender jederzeit abgebrochen werden.

Totzeitanpassung

Soll ein System mit Totzeit ermittelt werden, sind die Einstellungen im Gruppenfenster *Totzeitanpassung* vorzunehmen. Diese betreffen die verschiedenen Werte für die Totzeit T_t , für die eine Identifikation durchgeführt wird: $T_{t \min}$ gibt den ersten Totzeitwert an, $T_{t \max}$ den letzten Totzeitwert und *Zwischenschritte* die Anzahl der Zwischenwerte.


Beispiel: Für $T_{t \min} = 0$, $T_{t \max} = 1$ und vier Zwischenschritte werden für jede Zähler-/Nennergradkombination Identifikationen für Totzeiten von $T_t = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ und 1 durchgeführt. Die Totzeit, die zum besten Ergebnis führt, wird dann ausgewählt.

Arbeitspunktfestlegung für $t = 0$



Innerhalb dieses Gruppenfeldes kann der System-Arbeitspunkt beim Aufschalten des Eingangssignals festgelegt werden; er wird dann bei der anschließenden Identifikation automatisch "herausgerechnet". Als Hilfestellung werden Anfangswert, Minimal- und Maximalwert sowie Mittelwert von Ein- und Ausgangssignal angezeigt.

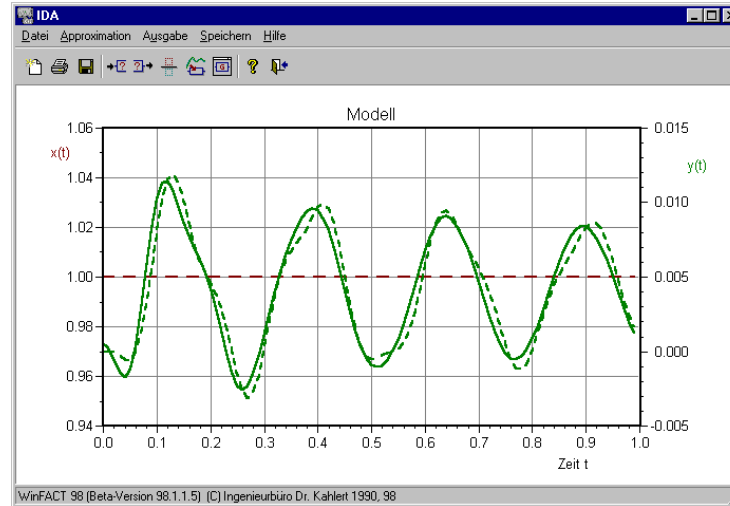
Identifikation

Nach Festlegung der Steuerparameter kann der Identifikationsvorgang über die Hauptmenüoption APPROXIMATION | APPROXIMATION oder die Toolbar-Schaltfläche  gestartet werden. Der Rechenzeitbedarf für einen Identifikationsvorgang hängt ab von der angesetzten Ordnung der Übertragungsfunktion, der Anzahl der eingelesenen Messwerte und naturgemäß vom verwendeten Rechnertyp. In der Regel überschreitet er wenige Sekunden nicht. Bei automatischer Identifikation - womöglich noch mit unterlagerter Totzeitanpassung - erhöht sich der Rechenzeitaufwand dementsprechend.

Nach Beendigung wird das berechnete Modellverhalten automatisch angezeigt. Dargestellt werden

- der gemessene Eingangsgrößenverlauf (rote gestrichelte Kurve),
- der gemessene Ausgangsgrößenverlauf (grüne gestrichelte Kurve),

- der berechnete Ausgangsgrößenverlauf des identifizierten Modells (grüne durchgezogene Kurve).



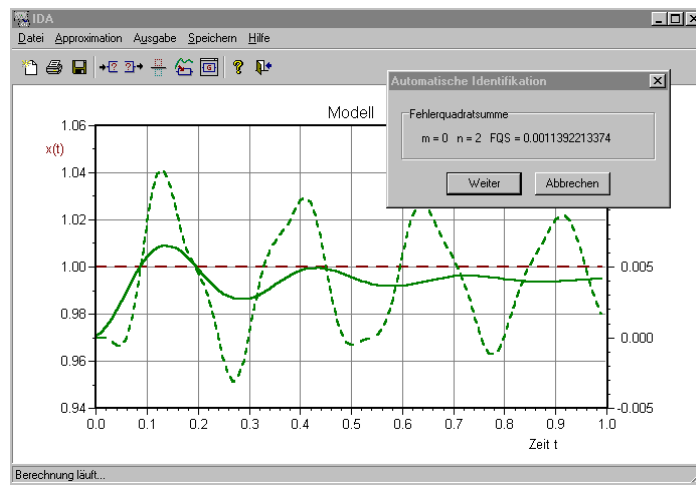
Grafische Anzeige der Ergebnisse

Bei Wahl eines anderen Identifikationsmodes als *Einzeln* wird nach jeder durchgeführten Identifikation das Ergebnis einerseits grafisch, andererseits in Form der ermittelten Fehlerquadratsumme ausgegeben. Diese ist definiert als


$$FQS = \sum_{i=1}^m (y_{i,Mess} - y_{i,Modell})^2$$

Dabei ist:


m :	die Anzahl der eingelesenen Messwerte
$y_{i,Mess}$:	der Messwert zum Zeitpunkt t_i
$y_{i,Modell}$:	der berechnete Wert zum Zeitpunkt t_i



Automatische Identifikation

Die zugehörige Übertragungsfunktion kann über die Menüfolge **AUSGABE | ÜBERTRAGUNGSFUNKTION ANZEIGEN** oder die Schaltfläche  auf dem Bildschirm ausgegeben werden. Außerdem kann sie, beispielsweise zur Weiterverarbeitung in anderen WinFACT-Modulen, durch **AUSGABE | KOPIEREN** bzw. **<Strg><Einf>** in die Windows-Zwischenablage kopiert werden. Die entsprechende Fehlerquadratsumme kann mit Hilfe von **AUSGABE | FEHLERQUADRATSUMME** betrachtet werden.

Speziell bei instabilen Systemen oder Systemen nahe der Stabilitätsgrenze kann das ermittelte Systemmodell je nach angesetztem Zähler- und Nennergrad instabil sein. Dies kann dazu führen, dass sich bei der nachfolgenden Simulation des Modellsystems sehr hohe Zahlenwerte für die Ausgangsgröße ergeben. In solchen Fällen wird die Simulation abgebrochen, um einen Zahlenüberlauf zu verhindern. Der Anwender wird durch eine entsprechende Warnmeldung darüber informiert. Obwohl in diesem Fall keine vollständige Simulation möglich ist, steht die ermittelte Übertragungsfunktion natürlich dennoch zur Verfügung.

Ein Abspeichern der Übertragungsfunktion ist über die Option **SPEICHERN | SPEICHERN...** oder die Schaltfläche  möglich. Die zugehörige Datei ist vom Typ UFK.

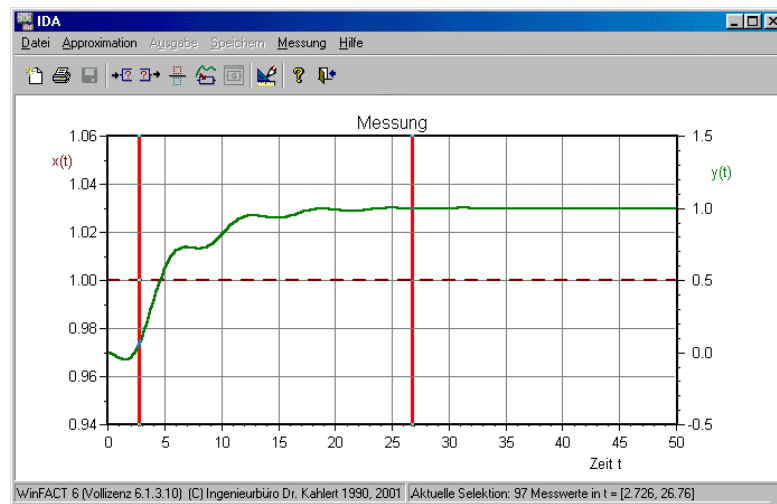
*Instabile
Systeme*

Wahl eines Zeitfensters




Standardmäßig wird die Identifikation über den gesamten von den eingelesenen Daten überdeckten Zeitbereich durchgeführt. Bei Bedarf kann jedoch ein Zeitfenster innerhalb dieses Zeitbereichs festgelegt werden; die Identifikation stützt sich dann nur auf diejenigen Werte, die innerhalb dieses Zeitfensters liegen.

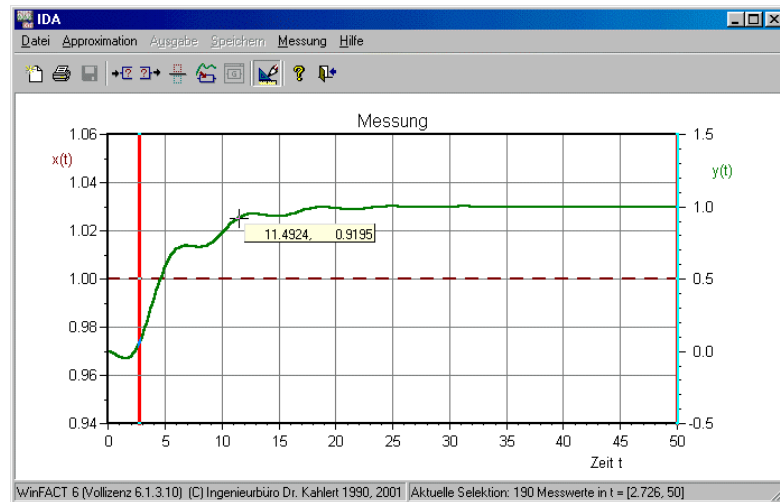
Um ein Zeitfenster festzulegen, benutzen Sie die beiden bei Programmstart am linken bzw. rechten Rand des Koordinatensystems befindlichen roten Marker. In der Statuszeile erhalten Sie beim Verschieben der Marker jeweils eine genaue Angabe über den ausgewählten Bereich und die Anzahl der darin enthaltenen Messwerte.



Wahl eines Zeitfensters für die Identifikation

Messmodus

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



Programmfenster bei aktiviertem Messmodus

Anwendung zur Modellreduktion



IDA lässt sich nicht nur zur Identifikation, sondern auch zur *Modellreduktion* heranziehen. Ziel der Modellreduktion ist es, ein System mit der Übertragungsfunktion

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

zu ersetzen durch ein Modell niedrigerer Ordnung

$$\tilde{G}(s) = \frac{d_p s^p + d_{p-1} s^{p-1} + \dots + d_1 s + d_0}{s^q + c_{q-1} s^{q-1} + \dots + c_1 s + c_0}$$

mit

$$p + q < m + n ,$$

das dem Originalmodell möglichst ähnlich ist:

$$G(s) \approx \tilde{G}(s) .$$

Zur Lösung dieser Aufgabe mit Hilfe von IDA berechnet man zunächst die Sprungantwort des Originalmodells (z. B. mit LISA) und legt die Zeitverläufe in entsprechenden Dateien vom Typ SIM ab. Diese Dateien werden dann in IDA eingelesen und das reduzierte Modell durch Vorgabe der gewünschten Grade p und q ermittelt.

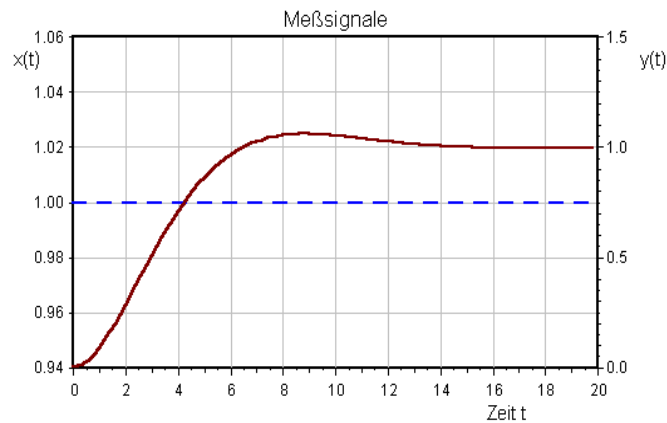
Programmkonstanten

Maximale Anzahl an Messwerten:	unbegrenzt
Maximale Modellordnung:	20

Anwendungsbeispiel



Es werde der folgende Verlauf von Eingangsgröße $x(t)$ und Ausgangsgröße $y(t)$ betrachtet (die zugehörigen Dateien befinden sich unter den Namen VZ2_X.SIM bzw. VZ2_Y.SIM im WinFACT-Beispiel-Verzeichnis):



Gemessene Zeitverläufe der Eingangsgröße $x(t)$ (gestrichelt) und der Ausgangsgröße $y(t)$ (durchgezogene Kurve)

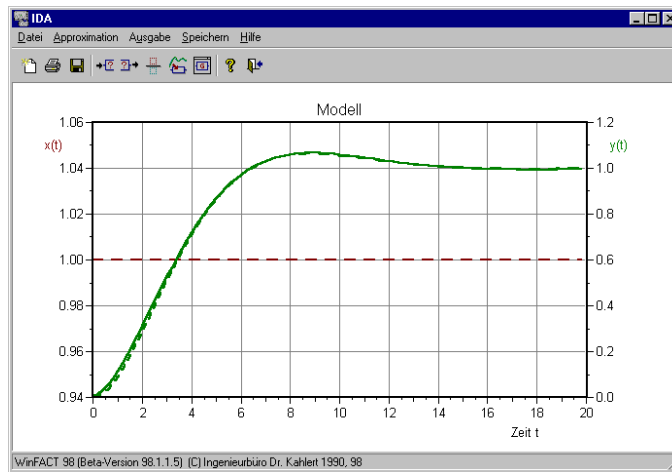
Das System weist typisches PT_2 -Verhalten auf und soll daher durch einen Ansatz der Form

$$G(s) = \frac{b_0}{s^2 + a_1 s + a_0}$$

mit $m = 0$, $n = 2$ identifiziert werden. IDA ermittelt für die Übertragungsfunktion

$$G(s) = \frac{0.21}{s^2 + 0.59s + 0.21}.$$

Grafisch erkennt man unmittelbar die Güte des berechneten Modells.



Ergebnis der Identifikation des Verzögerungsgliedes 2. Ordnung

Im Beispiel-Verzeichnis befinden sich fünf weitere, komplexere Beispiele:



CHEN3_X.SIM, CHEN3_Y.SIM:

Beispielsystem mit $m = 6$ und $n = 8$, lässt sich aber bereits gut durch $m = 3$, $n = 4$ approximieren.

EX1_X.SIM, EX1_Y.SIM:

Beispielsystem aus [5] mit $m = 1$ und $n = 2$, die Eingangsgröße ist hier eine Exponentialfunktion.

N4_X.SIM, N4_Y.SIM:

Beispielsystem mit Allpassanteil ($m = 2$ und $n = 4$).

RAUSCH_X.SIM, RAUSCH_Y.SIM:

Beispielsystem mit starkem Messrauschen ($m = 0$ und $n = 2$).

SIN_X.SIM, SIN_Y.SIM:

Beispielsystem mit sinusförmiger Eingangsgröße ($m = 0$ und $n = 2$).