

Dieter Scholz

Arbeitsbereich Flugzeug-Systemtechnik

Technische Universität Hamburg-Harburg

G7 < C @Nž8]YHf. : 'i [j Yfgi W gVYi fH]i b['ni f'
FYXi n]Yfi b['a U]a UYf'
Ei Yffi XYfghY` [YgW k]bX][_Y]hYb" < Ua Vi f[ž
HYW b]gW YI b]j Yfg]h} hi < Ua Vi f[! < UfVi f[ž
5 fVY]hgVYfY]W : 'i [nYi [!Gng]Ya hW b]_ž
J Yfgi W gVYf]W lž% - *'

Versuchsbericht

Flugversuchsbeurteilung zur Reduzierung maximaler Querruderstellgeschwindigkeiten

Im Fixed Base Simulator der Daimler-Benz Aerospace Airbus, Hamburg wurden Anflüge durchgeführt, um eine erste Beurteilung der Auswirkungen aufgrund einer Reduzierung maximaler Querruderstellgeschwindigkeiten zu erhalten.

Testpilot: H. Seleske
Flugtestingenieur: H. Krome
Programmierung des Simulators: H. Fuhrmann
Vorbereitung und Auswertung: H. Scholz

Flugzeug

Das simulierte Testflugzeug war eine VFW 614. Statt der mechanischen Flugsteuerung war die VFW 614 im Simulator modifiziert und mit einer FBW-Flugsteuerung ausgerüstet. Die Piloteneingabe erfolgte über Sidestick. Die Eingabe am Sidestick in der Rollachse wurde vom Rechner als Kommando der Rollrate interpretiert. Bis zu einem Hängewinkel von 33° besitzt das simulierte Testflugzeug neutrale Stabilität. Das Rollratenkommando wirkt nur auf die Querruder nicht auf die Spoiler. Der Schiebewinkel wird automatisch durch die Seitenrudersteuerung minimiert. Die Rollrate ist durch das FBW-System begrenzt

Flugaufgabe

ILS-Anflug Frankfurt, rechte der parallelen Landebahnen. In 500 ft GND wird zur Landung auf die linke Landebahn gewechselt (Offset-Landing).

Flugzeugkonfiguration und Anflugparameter

Fahrwerk ausgefahren, Landeklappen in Stellung 20° , Anfluggeschwindigkeit ca. 140 kt IAS.

Parameterraum

Um die Einflüsse der Rollratenbegrenzung zu eliminieren wurden Versuche mit einer Rollratenbegrenzung von $40^\circ/s$ gefahren (A320 $15^\circ/s$). Die A320 Rollratenbegrenzung hat jedoch die Aufgabe PIO-Tendenzen zu eliminieren. Dadurch könnte eine Rollratenbegrenzung sich auch stabilisierend bei begrenzter Ruderstellgeschwindigkeit auswirken. Die gegenseitige Abhängigkeit der Parameter Rollratenbegrenzung und Stellgeschwindigkeitsbegrenzung wurde durch die Parameterkombinationen gemäß **Tabelle 1** abgedeckt.

Versuchsauswertung

Die Flugversuche wurden zusammenfassend in **Tabelle 1** ausgewertet. Die Zusammenfassung beruht auf der Mitschrift der Pilotenbeurteilung nach jedem Anflug und den Plots der wichtigsten Parameter (siehe Anhang). In **Tabelle 1** bedeutet:

- p_{max} maximale Rollrate.
- $\dot{\delta}_{a, max}$ maximale Stellgeschwindigkeit des Querruders.
- Zahlen in Klammern (z.B. (1)) kennzeichnen den Versuch.
- δ -lim und p-lim geben an, ob während des Offset-Manövers die Begrenzungen der Stellgeschwindigkeit bzw. der Rollrate erreicht wurden.
 - δ -lim: L Stellratenbegrenzung aufgetreten nur beim (stärkeren) Kurven nach links.
 - δ -lim: L + R Stellratenbegrenzung aufgetreten beim Kurven nach links und rechts.
- Zahlenkombination der Form xx-xx besagen mit welchen Hängewinkeln das Offset-Manöver geflogen wurde. 25-20 bedeutet z.B. Offset-Manöver einleiten mit 25° ausleiten mit 20° Hängewinkel.
- Die Kommentare des Testpiloten sind verkürzt wiedergegeben.

Abschließender Testpiloten-Kommentar

Eine Verminderung der Rollratenbegrenzung scheint PIO-Tendenzen zu verringern. Die Rollratenbegrenzung muß jedoch ausreichende Rollraten für Flugsituationen wie Seitenwindlandung mit Turbulenz, Treibwerksfehler und Systemausfälle abdecken. Je höher p_{max} gewählt wird, desto höher muß auch $\dot{\delta}_{a, max}$ gewählt werden. Die Aussagen aus dieser Versuchsreihe beziehen sich nur auf das Flugzeugmuster, die Flugaufgabe und die Flugzeugkonfiguration. Eine Verallgemeinerung der Aussagen würde weitere Versuche erfordern wie z.B. Seitenwindlandung mit Turbulenz, Treibwerksfehler und Systemausfälle.

Diskussion der numerischen Ergebnisse

Die Rollratenbegrenzung wurde in keinem Anflug erreicht. Die Versuche wurden in der nummerierten Reihenfolge geflogen. Dadurch war der Testpilot bei den Versuchen mit einer Rollratenbegrenzung bereits besser an das Flugzeug und die Testaufgabe adaptiert. Je geringer die verbleibende Rollrate und Stellgeschwindigkeit eingestellt wurde, desto weniger Hängewinkel versuchte der Pilot zu gebrauchen, um die Flugaufgabe PIO-frei zu fliegen. Dadurch waren schließlich Anflüge mit

einer Stellgeschwindigkeitsbegrenzung von $5^\circ/s$ möglich. Die Versuche 5 und 11 zeigen, daß bei geringerer Adaption bei der gestellten Aufgabe mehr als $10^\circ/s$ Stellgeschwindigkeit erforderlich sind. Bei der gestellten Flugaufgabe wird die Stellratenbegrenzung bei $\dot{\delta}_{a, \max} \leq 20^\circ/s$ aktiviert.

Anhang

Aufzeichnungen der Versuchsparameter

Parameter 1: Querruderkommando [deg], -20° bis 20°

Parameter 2: Querruderausschlag [deg], -20° bis 20°

Parameter 3: Hängewinkel [deg], -50° bis 50°

Parameter 4: Rollrate, p [deg/s], $-50^\circ/s$ bis $50^\circ/s$

Parameter 5: Querruderstellratenbegrenzung,
 $\dot{\delta}_{a, \max}$ [deg/s], $-100^\circ/s$ bis $100^\circ/s$

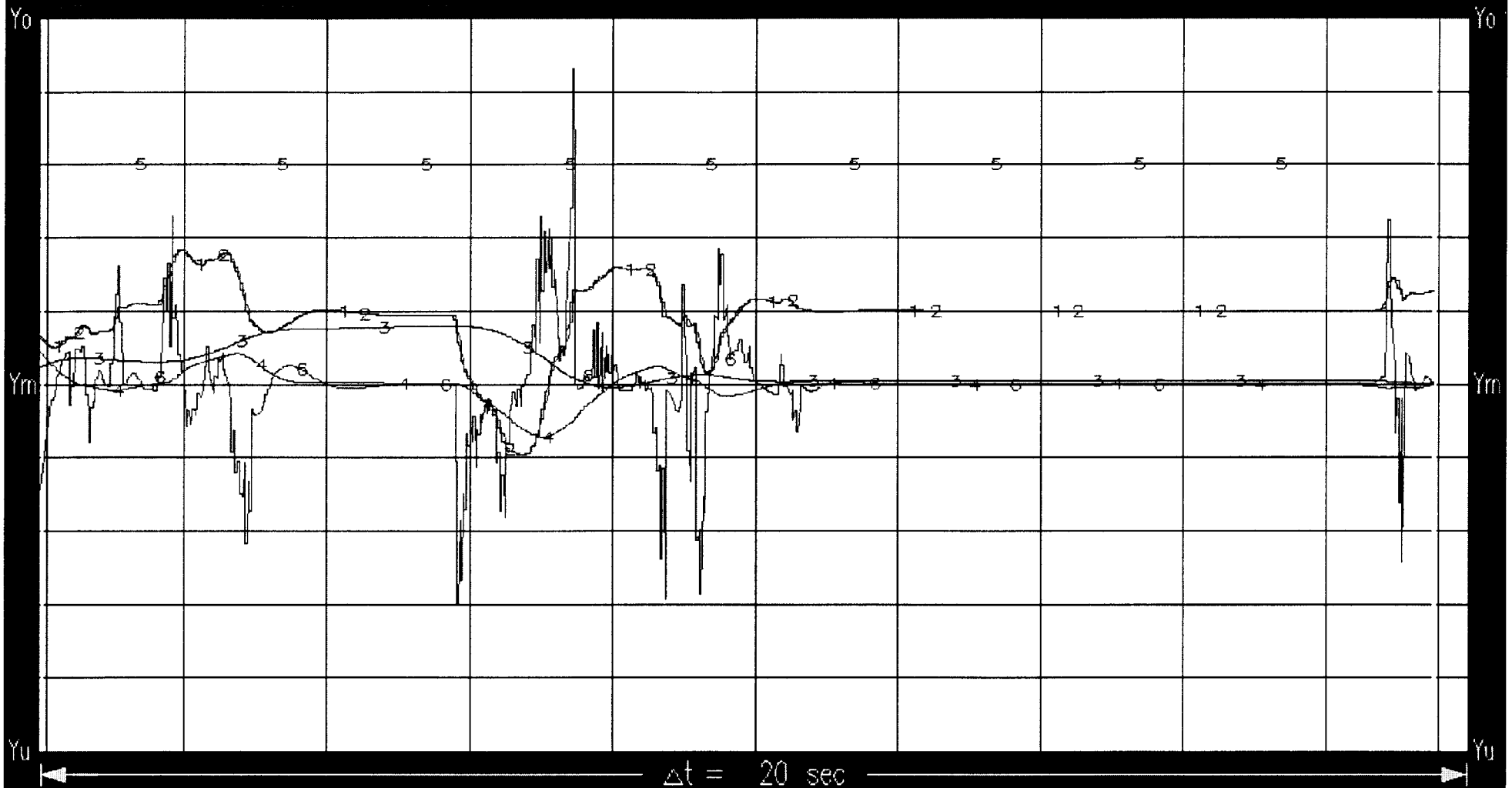
Parameter 6: Querruderstellgeschwindigkeit, $\dot{\delta}_a$
[deg/s], $-50^\circ/s$ bis $50^\circ/s$

Tabelle 1: Versuchsauswertung - Übersicht

$\delta_{0,max}$ / p_{max}	40%	20%	10%
60%	① δ -Lim: nein p-Lim: nein	⑥ δ -Lim: nein p-Lim: nein 30-20 besser als $p_{max} = 40\%$	
40%	② δ -Lim: nein p-Lim: nein 25-20 etwas schwieriger als ①	⑦ δ -Lim: nein p-Lim: nein 30-15 Kein Problem, etwas treiger	⑫ δ -Lim: nein p-Lim: nein 16-13 Lohn, ⑦ war besser
20%	③ δ -Lim: leicht L+r p-Lim: nein 30-15 durchführbar, ③ nicht unbedingt schlechtestes von ①-③	⑧ δ -Lim: leicht L p-Lim: nein 30-10 kein Problem, fast gleich gut wie ⑦	⑬ δ -Lim: nein p-Lim: nein 25-20 fliegbar
15%	④ δ -Lim: etwas L p-Lim: nein 20-15	⑨ δ -Lim: etwas stärker L p-Lim: nein 25-20 deutlich besser als ④ Aufgabe erfordert mehr Aufmerksamkeit	⑭ δ -Lim: leicht L p-Lim: nein 23-15 fliegbar bei geringen Eingaben
10%	⑤ δ -Lim: stark L+r p-Lim: nein 20-110 P10% im Rollen nach rechts	⑩ δ -Lim: stark L p-Lim: nein 25-15 noch keine P10-Toleranz	⑮ δ -Lim: etwas stärker L p-Lim: nein 18-13 geht auch noch
5%		⑪ δ -Lim: stark L+r p-Lim: nein P10%	⑯ δ -Lim: stark L+r p-Lim: nein 15-15 noch fliegbar

①

Simulations—Parameter—Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$

Datum : 17. Okt. 1996

Uhrzeit: 15:47:40

PARAMETER—MENUE

EXIT

1: R4EFCS(33) [deg] ; $Y_u = -20.00$ $Y_m = 0.000$ $Y_o = 20.00$

2: R4VARI(35) [deg] ; $Y_u = -20.00$ $Y_m = 0.000$ $Y_o = 20.00$

3: R4DYNA(7) [deg] ; $Y_u = -50.00$ $Y_m = 0.000$ $Y_o = 50.00$

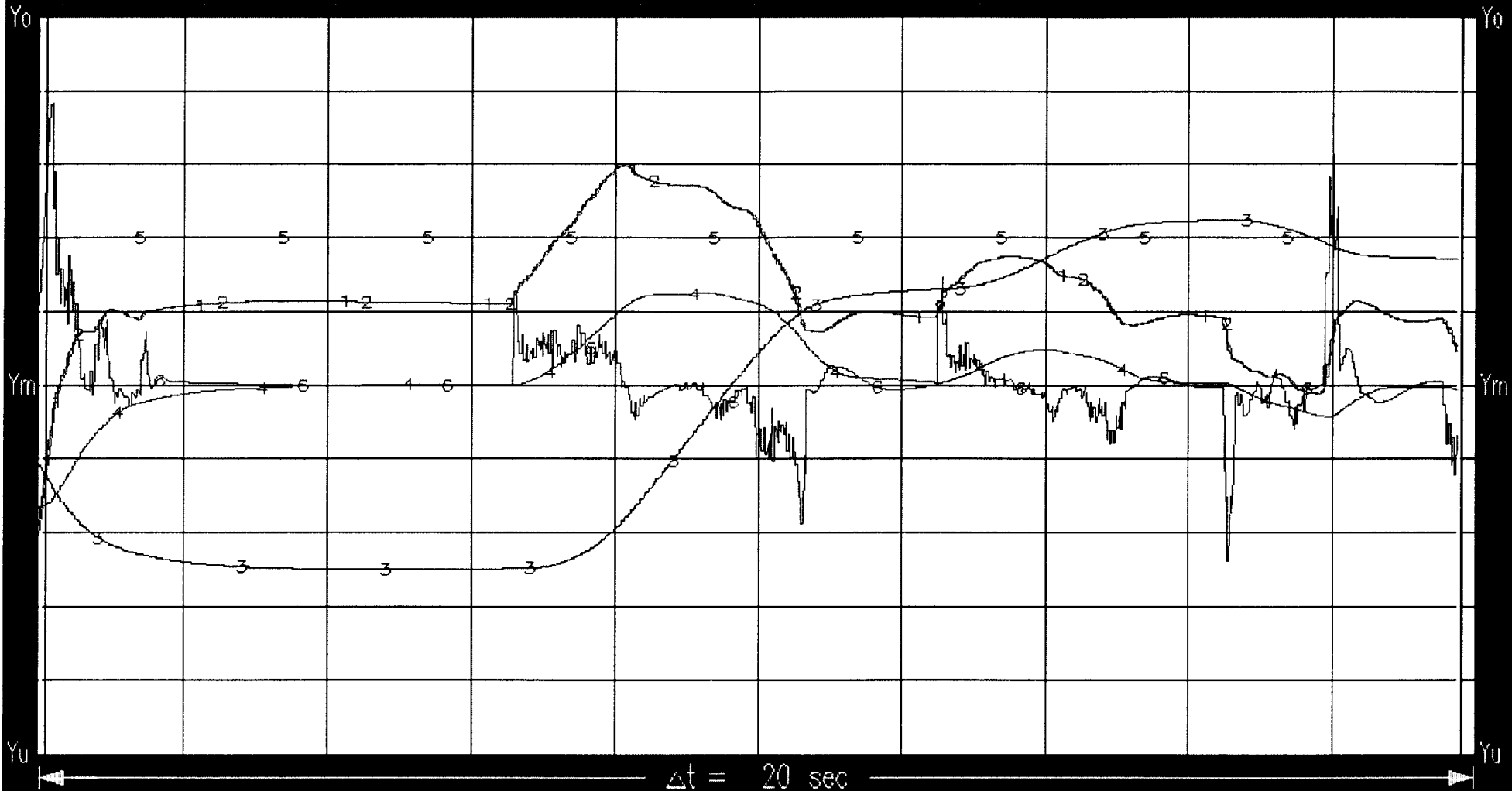
4: R4DYNA(33) [deg/s] ; $Y_u = -50.00$ $Y_m = 0.000$ $Y_o = 50.00$

5: R4DREC(1) [—] ; $Y_u = -100.00$ $Y_m = 0.000$ $Y_o = 100.00$

6: R4DREC(2) [—] ; $Y_u = -50.00$ $Y_m = 0.000$ $Y_o = 50.00$

2

Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$

Datum : 17. Okt. 1996

Uhrzeit: 15:53: 6

PARAMETER-MENUE

EXIT

1: R4EFCS(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00

2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00

3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

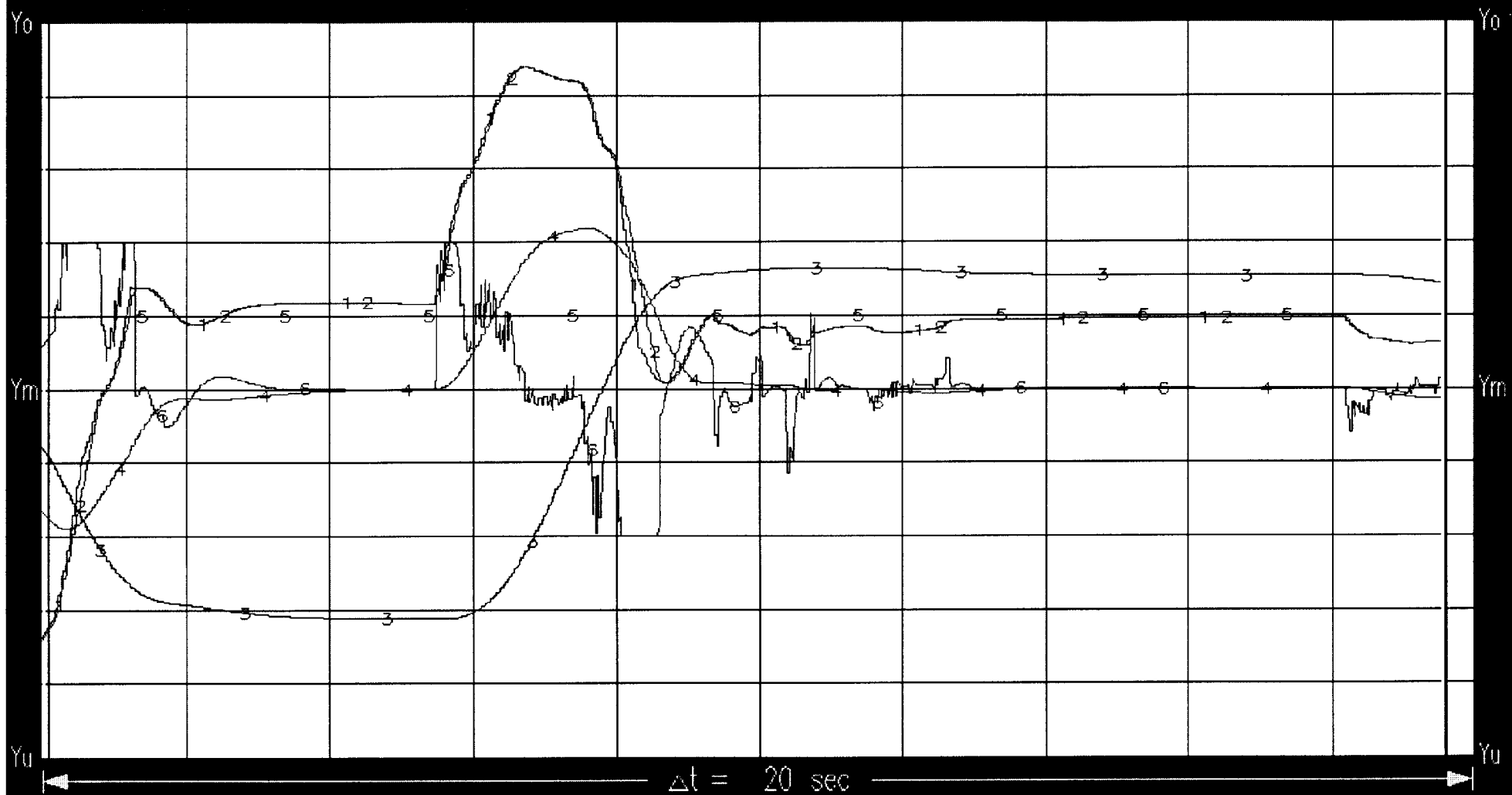
4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00

6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

3

Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$

Datum : 17. Okt. 1996

Uhrzeit: 15:57:55

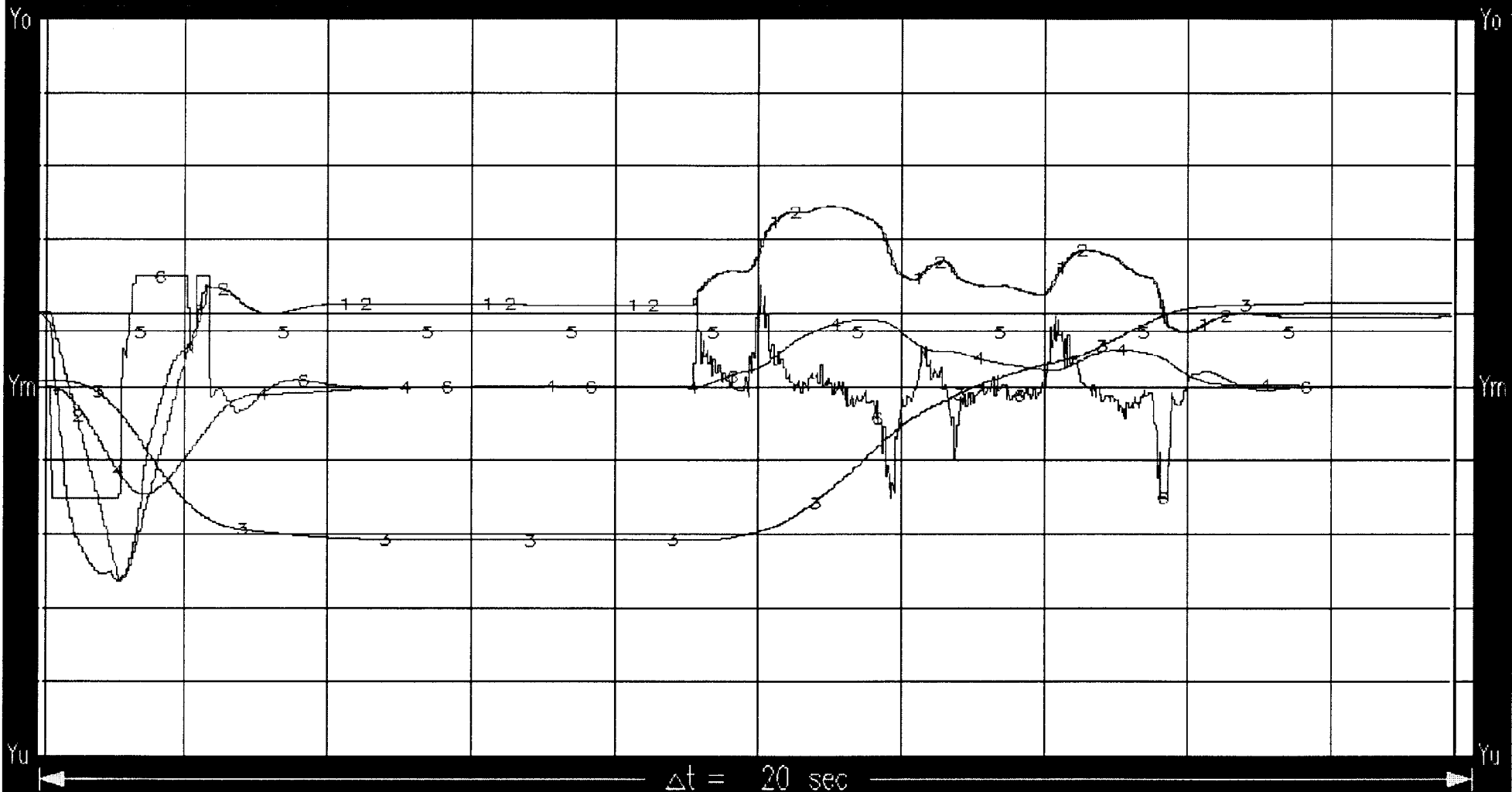
PARAMETER-MENUE

EXIT

1 : R4EFC(33)	[deg]	Yu=	-20.00	Ym=	0.000	Yo=	20.00
2 : R4VARI(35)	[deg]	Yu=	-20.00	Ym=	0.000	Yo=	20.00
3 : R4DYNA(7)	[deg]	Yu=	-50.00	Ym=	0.000	Yo=	50.00
4 : R4DYNA(33)	[deg/s]	Yu=	-50.00	Ym=	0.000	Yo=	50.00
5 : R4DREC(1)	[-]	Yu=	-100.00	Ym=	0.000	Yo=	100.00
6 : R4DREC(2)	[-]	Yu=	-50.00	Ym=	0.000	Yo=	50.00

4

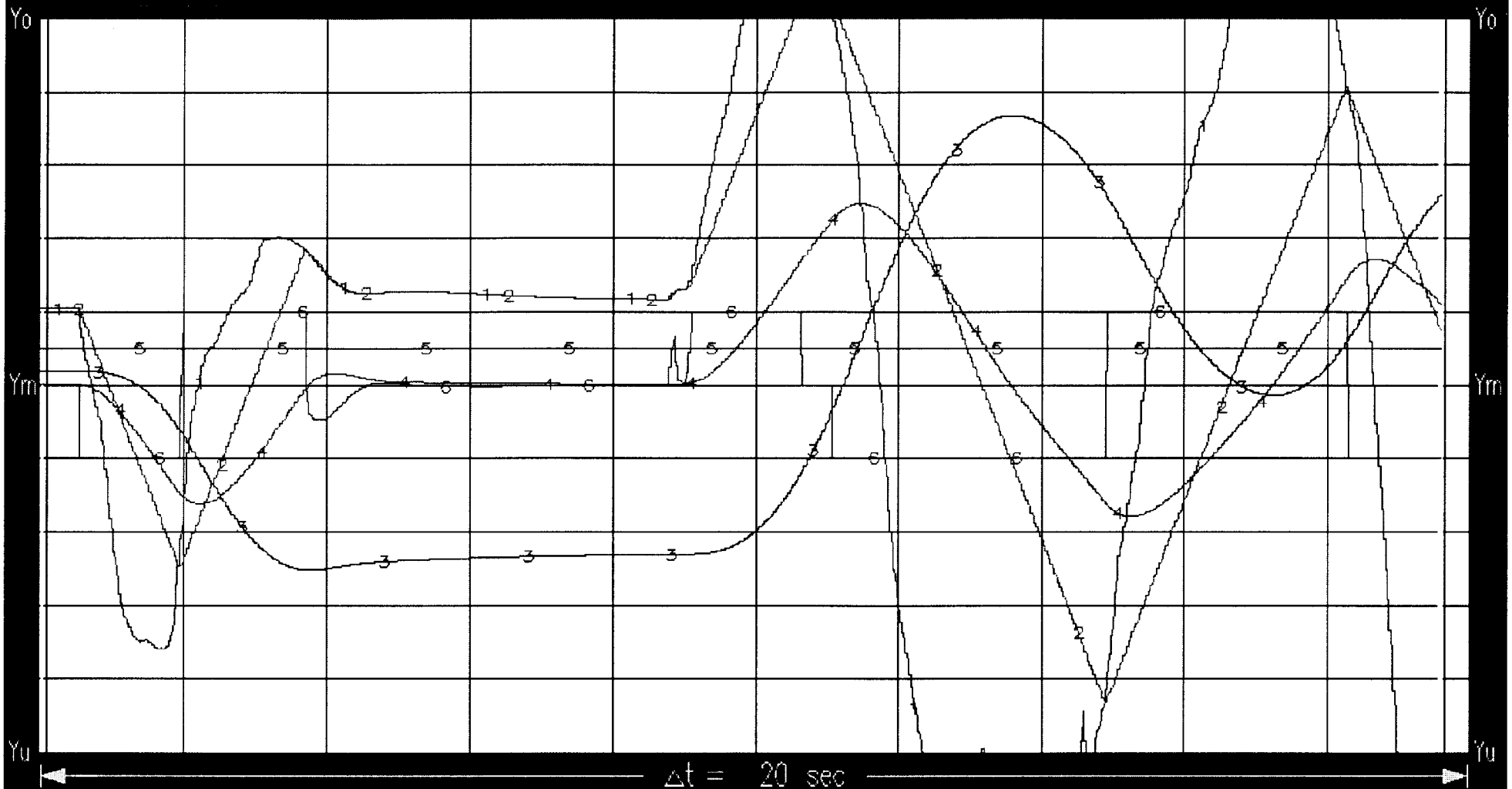
Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$	1: R4EFCS(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Datum : 17. Okt. 1996	2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Uhrzeit: 16:54:12	3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
	4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
PARAMETER-MENUE	5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00
EXIT	6: R4DREC(2) [-] ; Yu= X -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

5

Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t =$ 20 sec

Datum : 17. Okt. 1996

Uhrzeit: 16:24:13

PARAMETER-MENUE

EXIT

1: R4EFCS(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00

2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00

3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

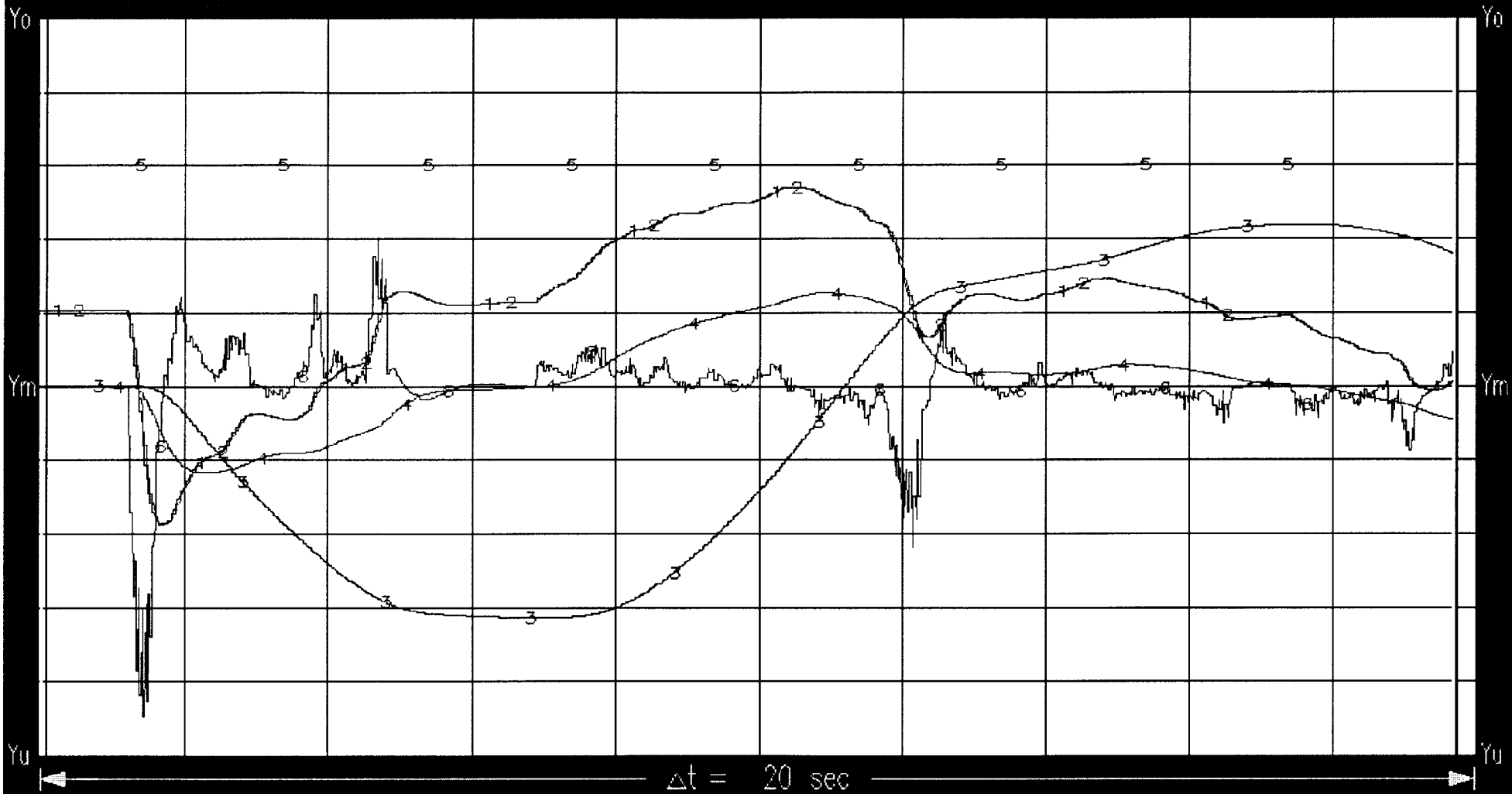
4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00

6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

6

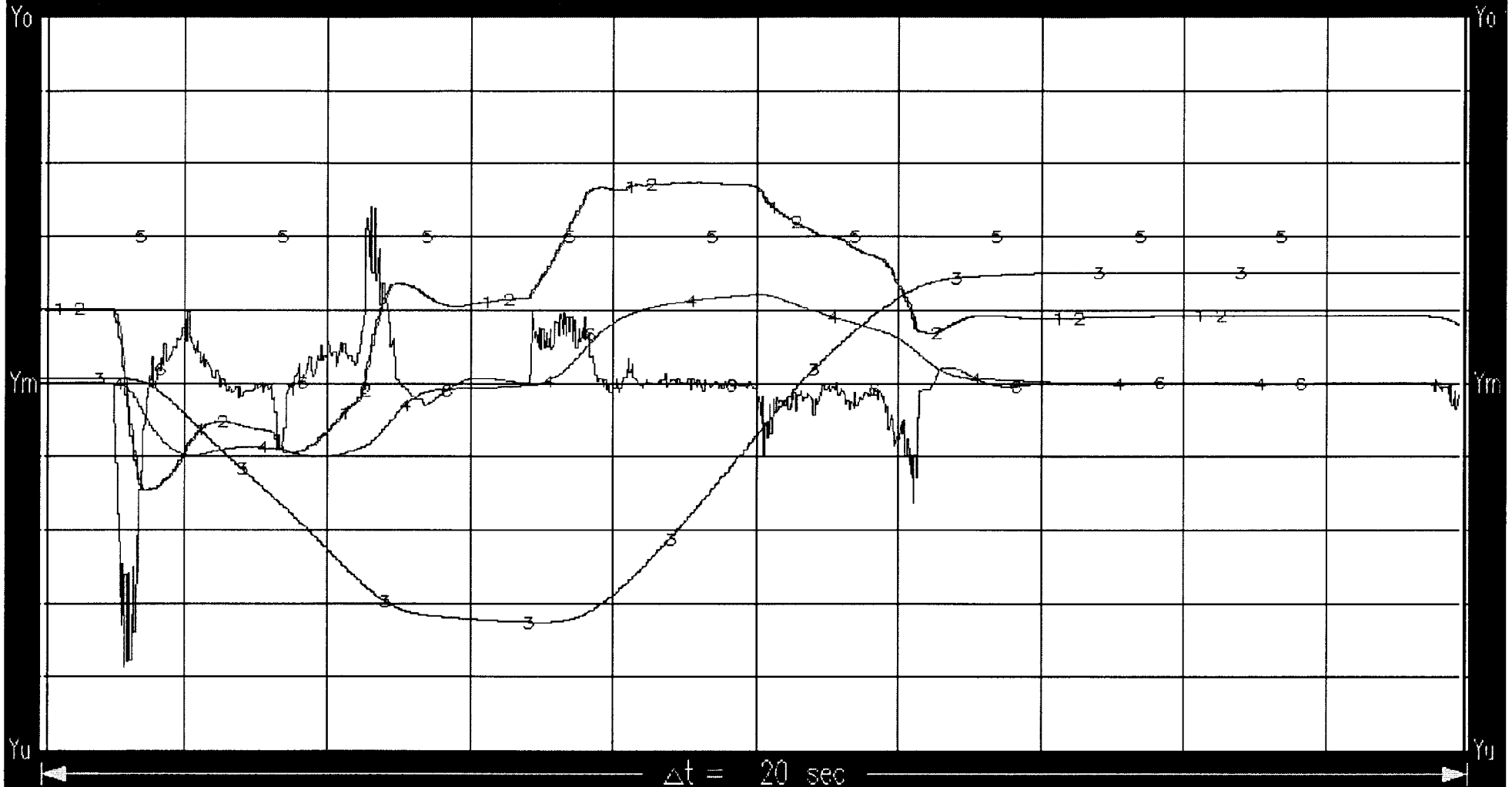
Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$	1: R4EFC(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Datum : 17. Okt. 1996	2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Uhrzeit: 17: 6: 5	3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
	4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
PARAMETER-MENUE	5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00
EXIT	6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

7

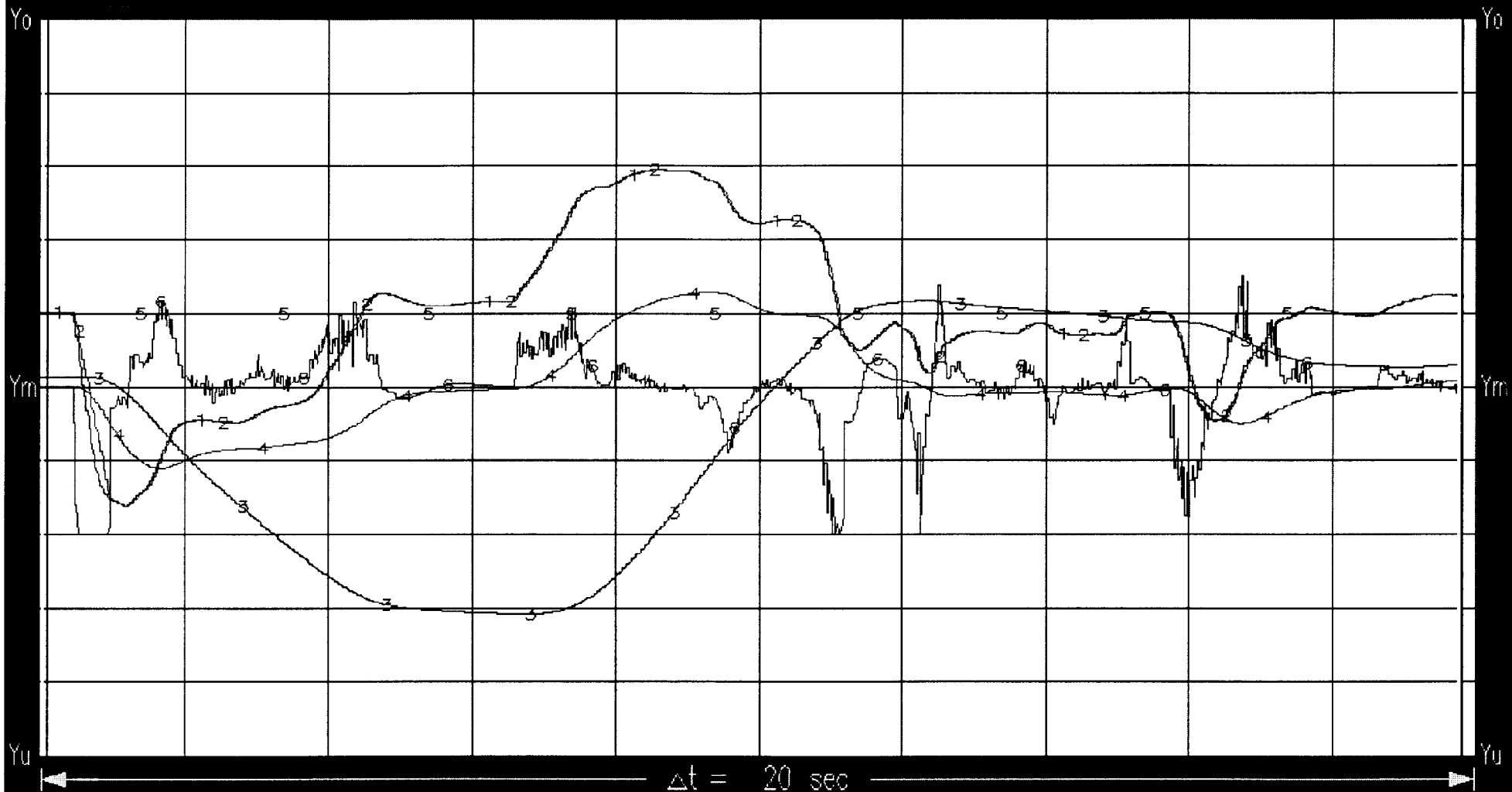
Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$	1: R4EFCS(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Datum : 17. Okt. 1996	2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Uhrzeit: 17:11: 8	3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
	4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
PARAMETER-MENUE	5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00
EXIT	6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

8

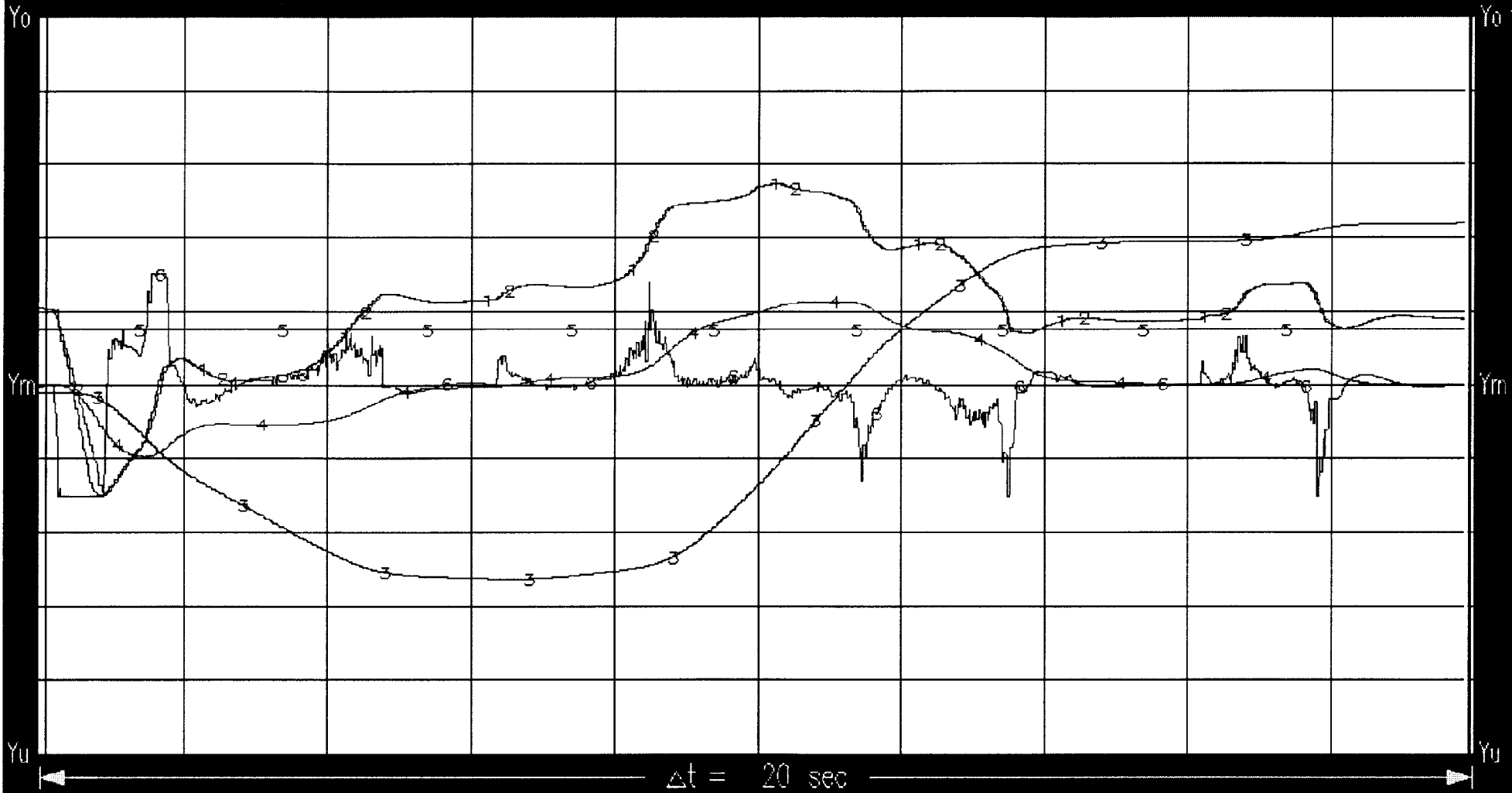
Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$	1: R4EPCS(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Datum : 17. Okt. 1996	2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Uhrzeit: 17:18: 2	3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
	4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
PARAMETER-MENUE	5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00
EXIT	6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

9

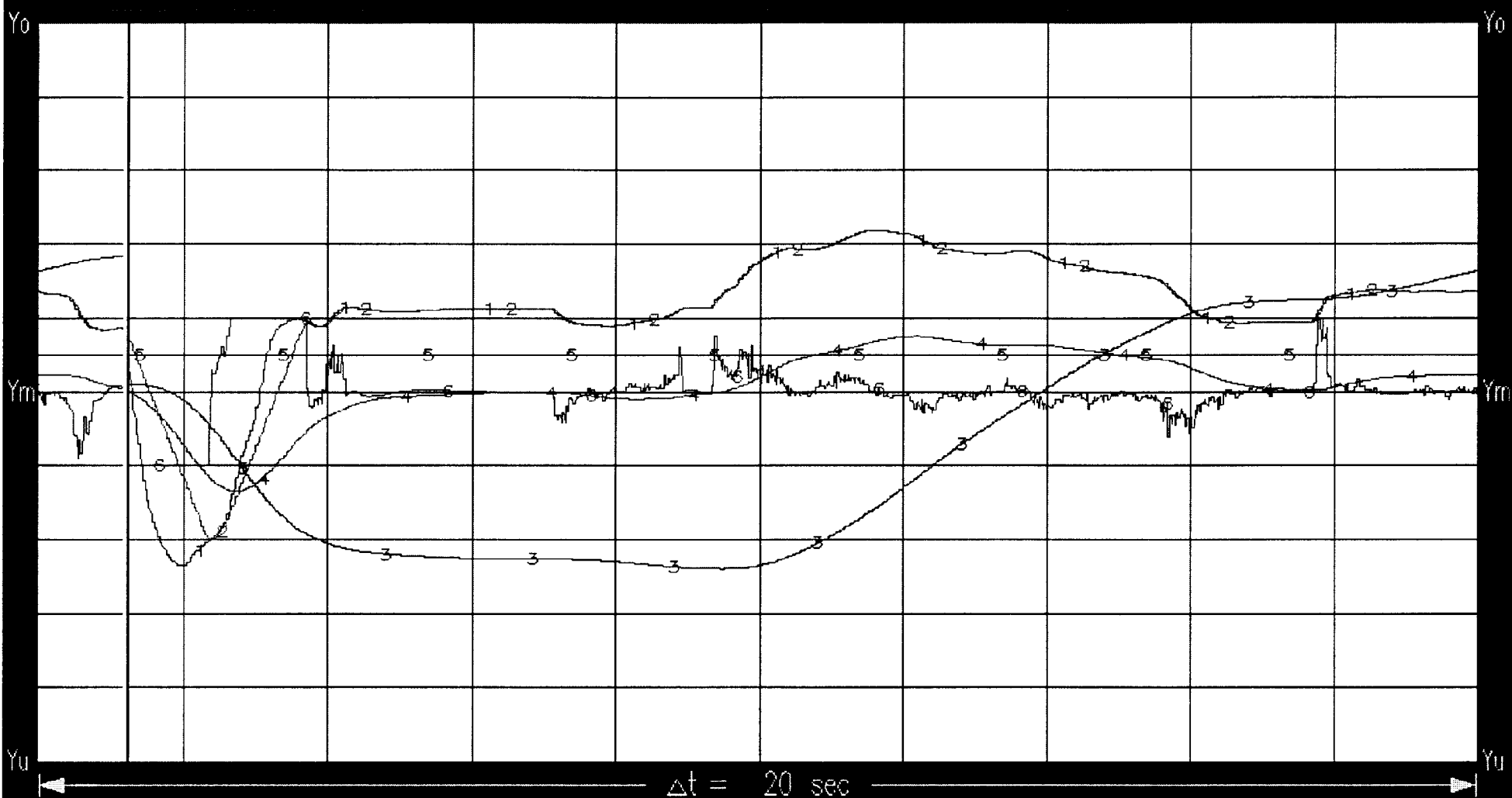
Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t =$ 20 sec	1: R4EFC(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Datum : 17. Okt. 1996	2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Uhrzeit: 17:23:14	3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
	4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
PARAMETER-MENUE	5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00
EXIT	6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

10

Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$

Datum : 17. Okt. 1996

Uhrzeit: 17:28:51

PARAMETER-MENUE

EXIT

1: R4EFCS(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00

2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00

3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

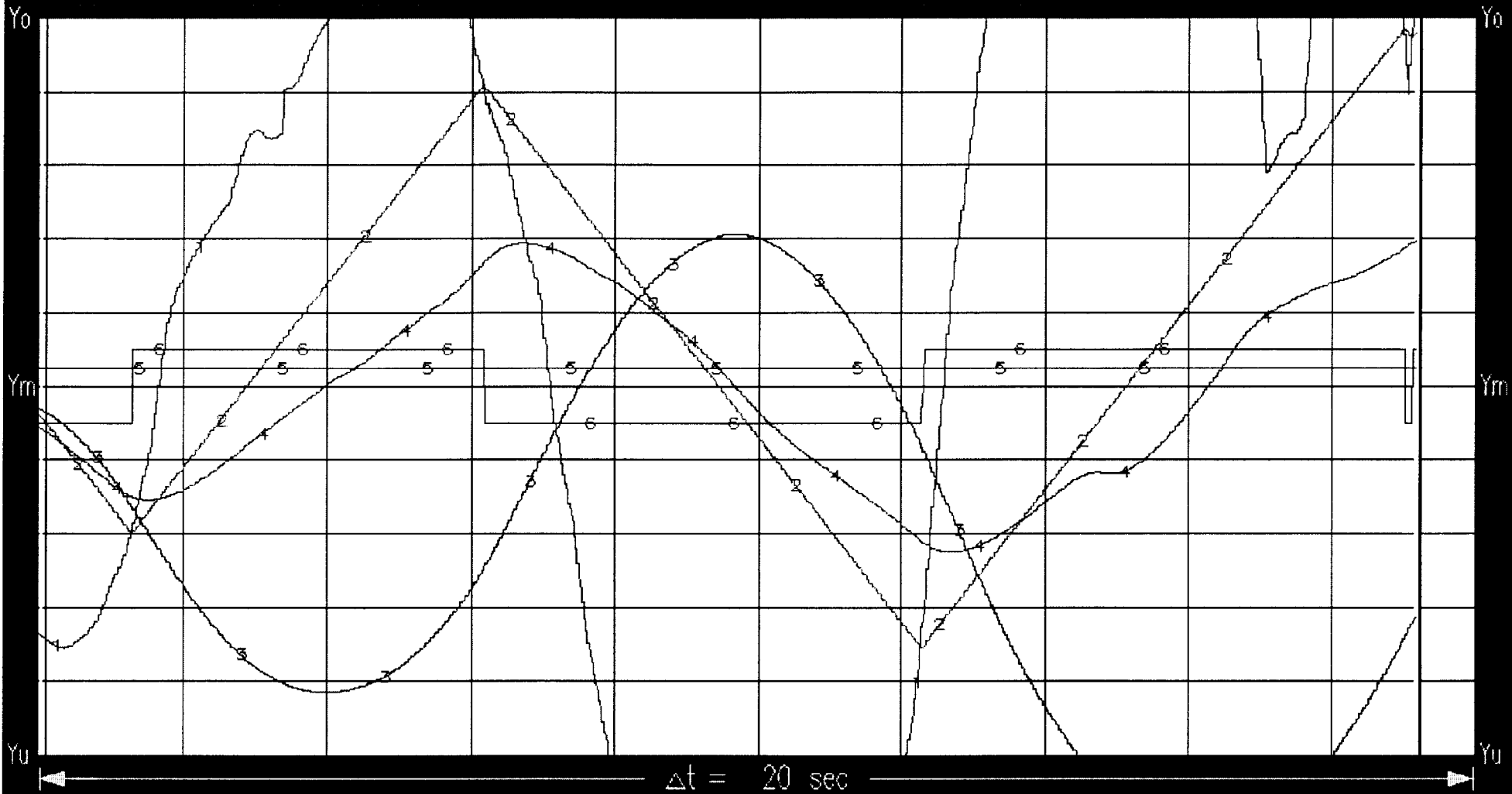
4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00

6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00



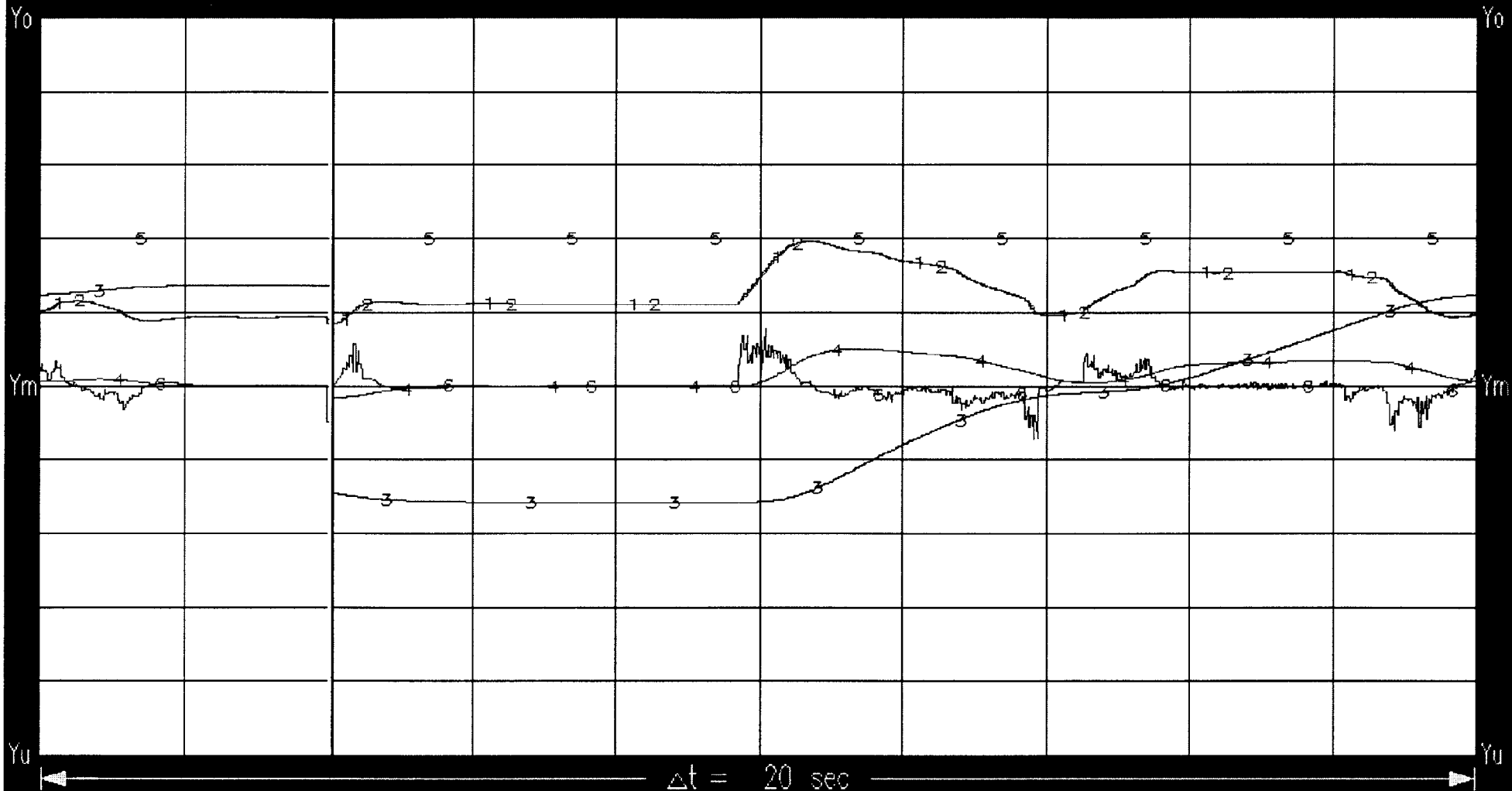
Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$	1: R4EFC(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Datum : 17. Okt. 1996	2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Uhrzeit: 17:33:47	3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
	4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
PARAMETER-MENUE	5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00
EXIT	6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

12

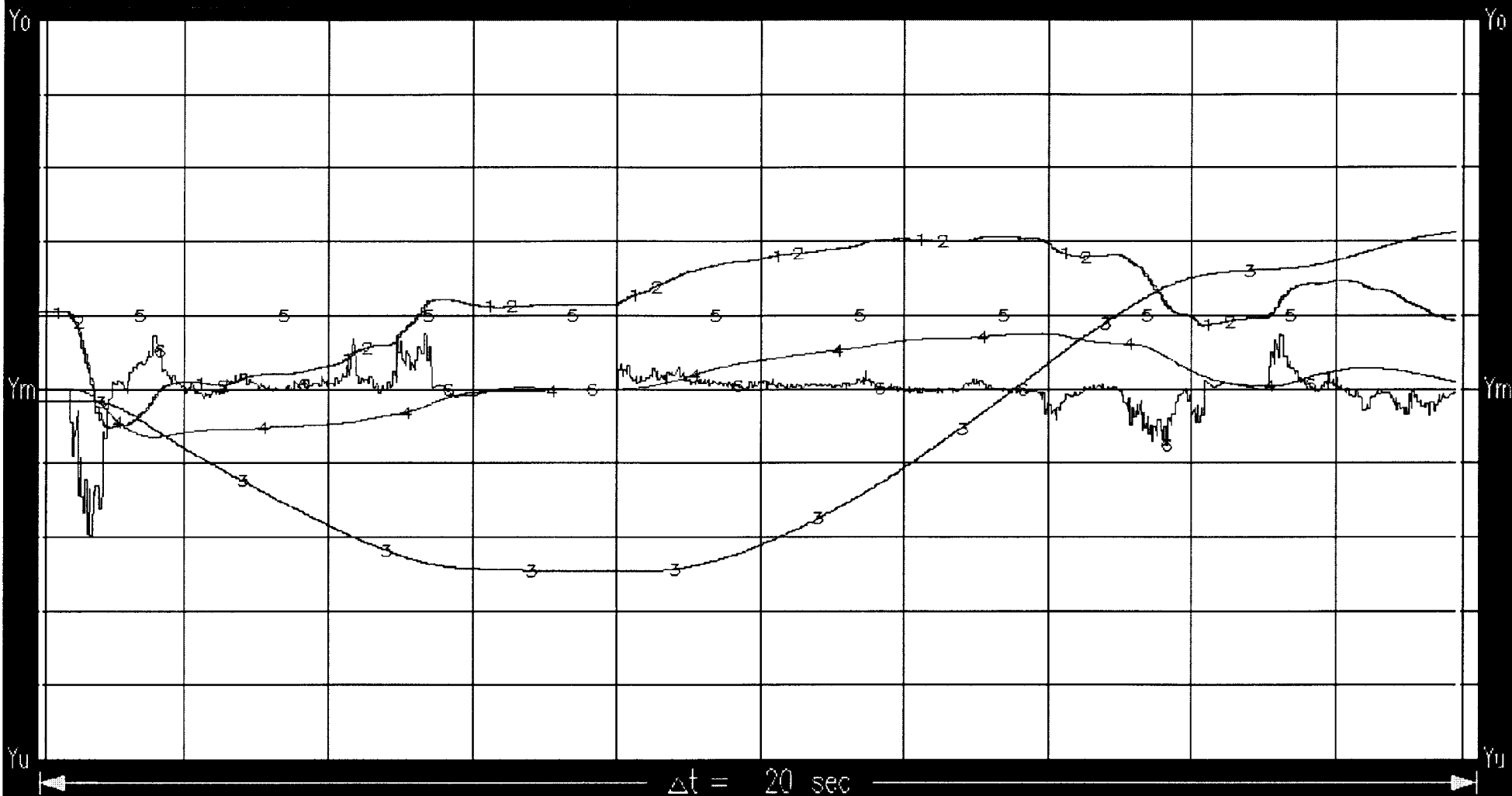
Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$	1: R4EFCS(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Datum : 17. Okt. 1996	2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Uhrzeit: 17:51:10	3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
	4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
PARAMETER-MENUE	5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00
EXIT	6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

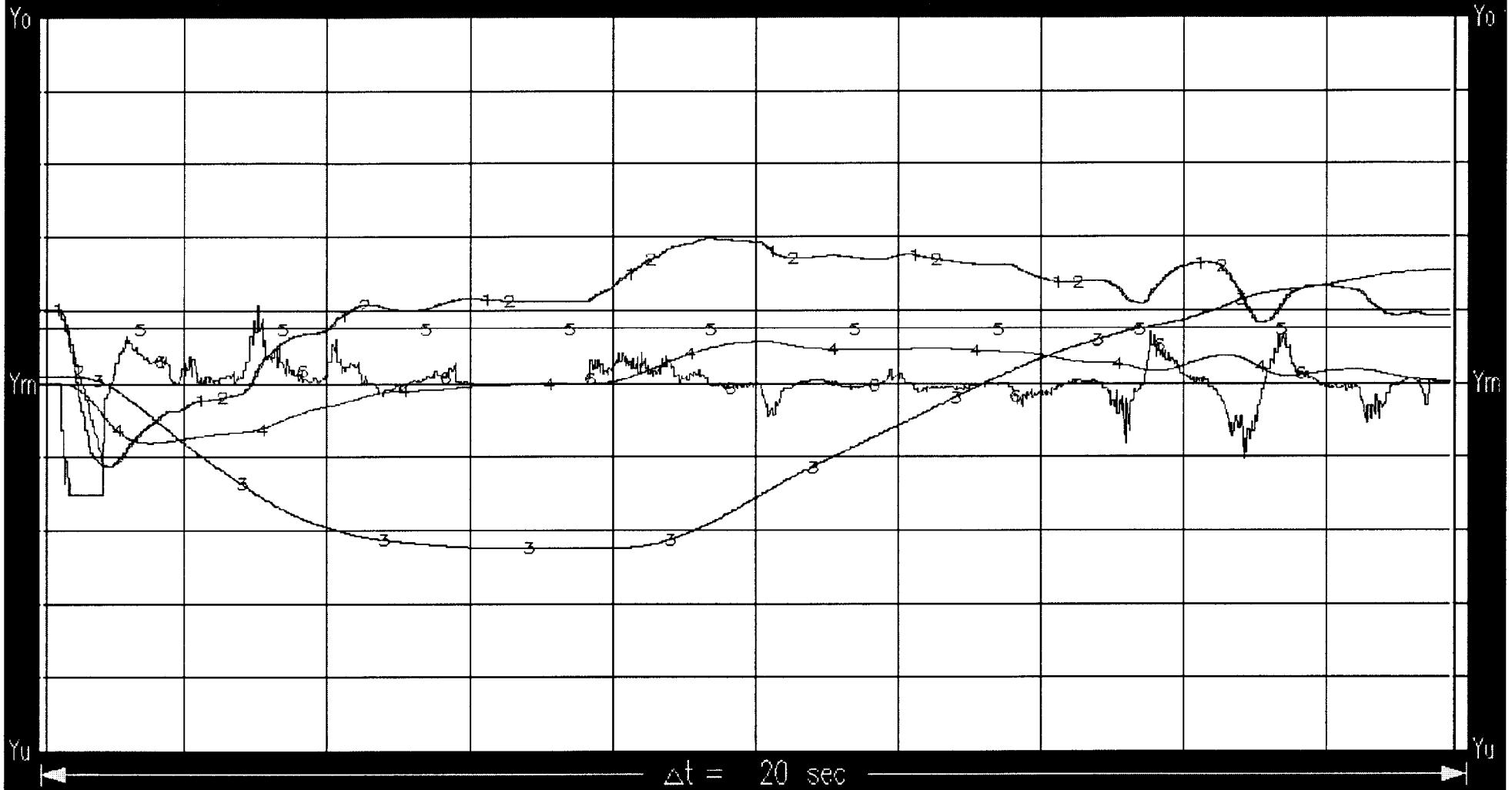
Simulations-Parameter-Quicklook

13



$\Delta t = 20 \text{ sec}$	1: R4EFCS(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Datum : 17. Okt. 1996	2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Uhrzeit: 17:55:46	3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
	4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
PARAMETER-MENUE	5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00
EXIT	6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

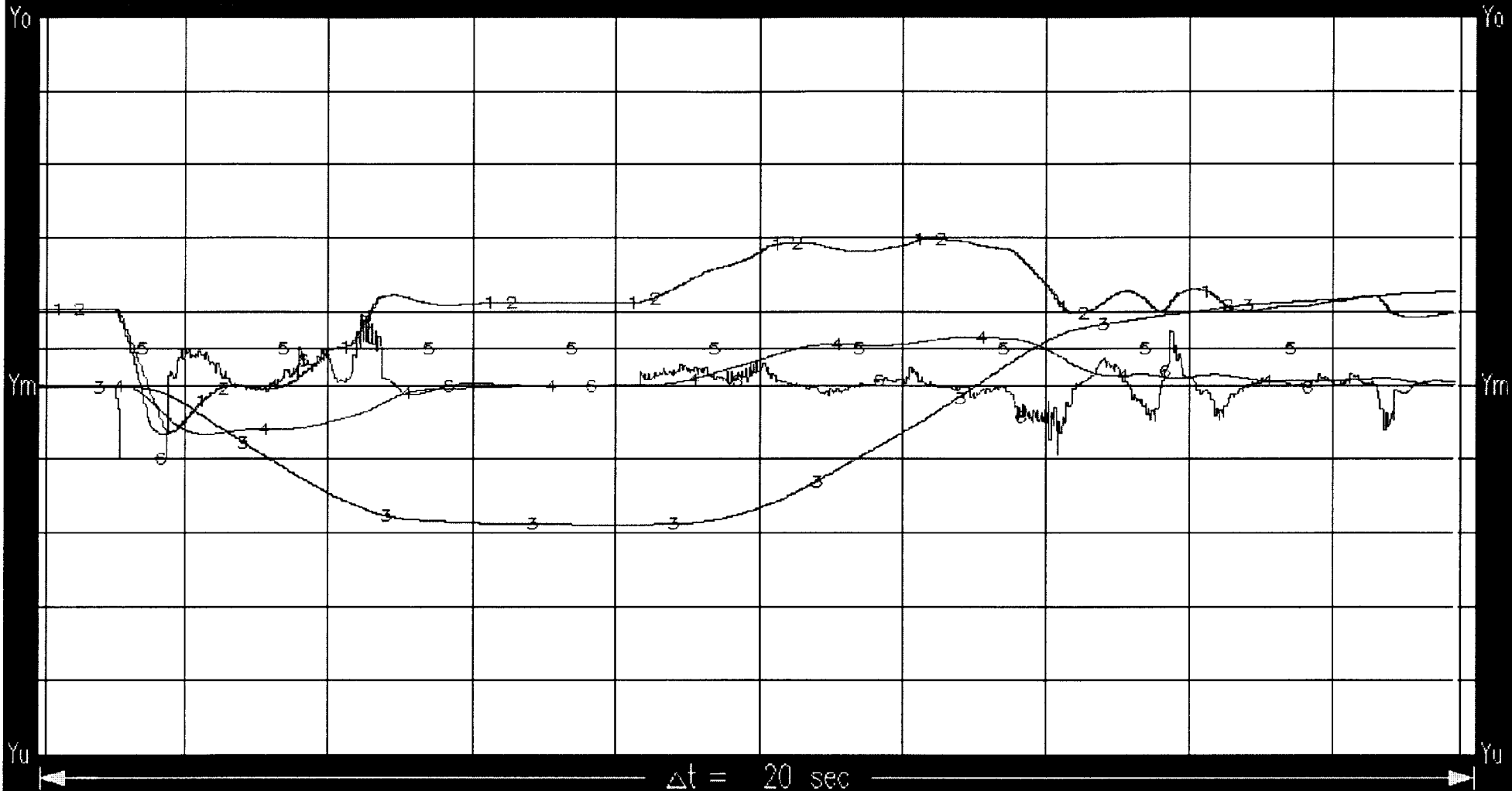
Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t =$ 20 sec	1: R4EFC3(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Datum : 17. Okt. 1996	2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Uhrzeit: 18: 1:44	3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
	4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
PARAMETER-MENUE	5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00
EXIT	6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

15

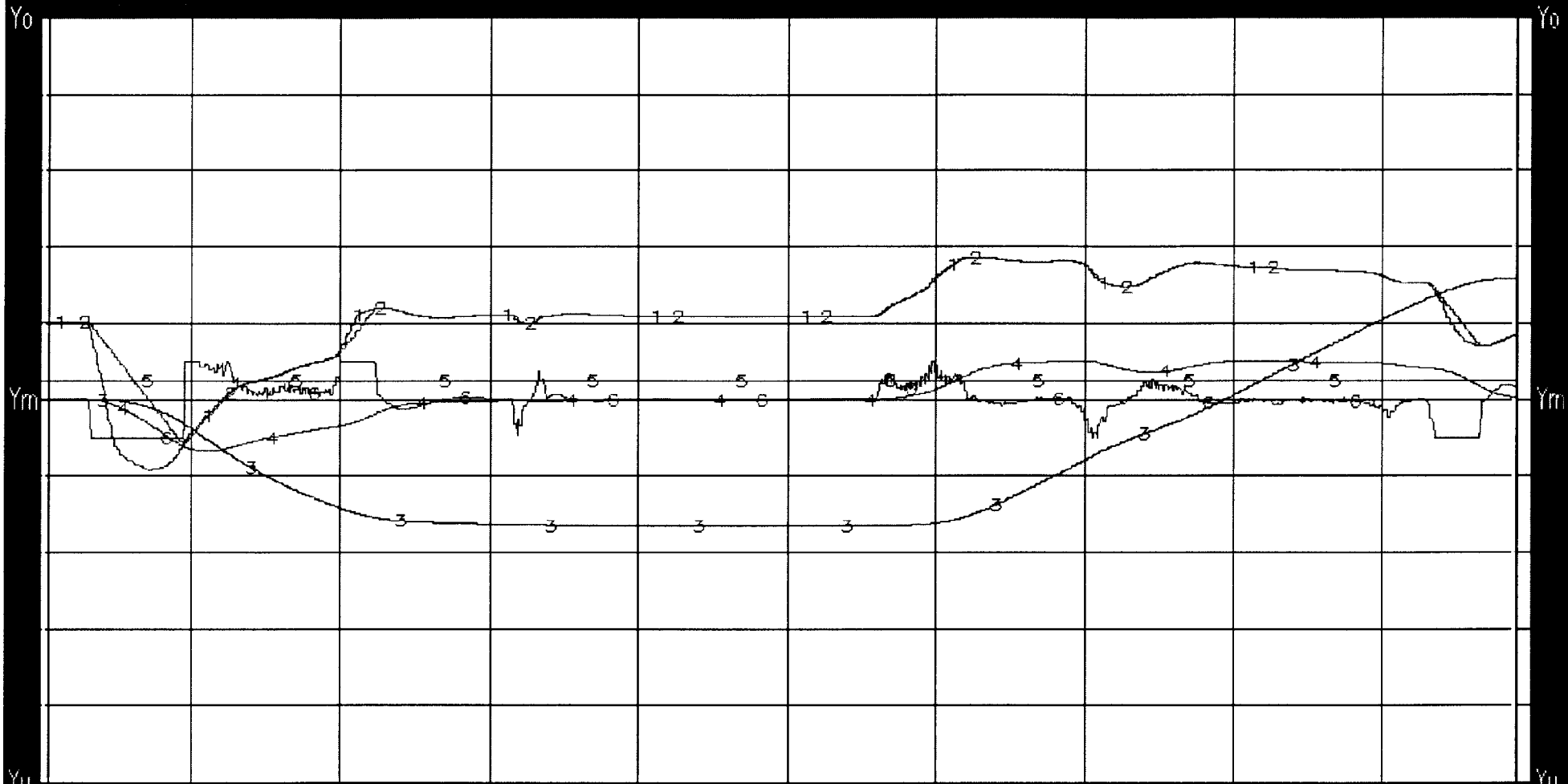
Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$	1: R4EFCS(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Datum : 17. Okt. 1996	2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Uhrzeit: 18: 7: 3	3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
PARAMETER-MENUE	4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
EXIT	5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00
	6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00

16

Simulations-Parameter-Quicklook



$\Delta t = 20 \text{ sec}$	1: R4EFCS(33) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Datum : 17. Okt. 1996	2: R4VARI(35) [deg] ; Yu= -20.00 Ym= 0.000 Yo= 20.00
Uhrzeit: 18:11:40	3: R4DYNA(7) [deg] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
	4: R4DYNA(33) [deg/s] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00
PARAMETER-MENUE	5: R4DREC(1) [-] ; Yu= -100.00 Ym= 0.000 Yo= 100.00
EXIT	6: R4DREC(2) [-] ; Yu= -50.00 Ym= 0.000 Yo= 50.00