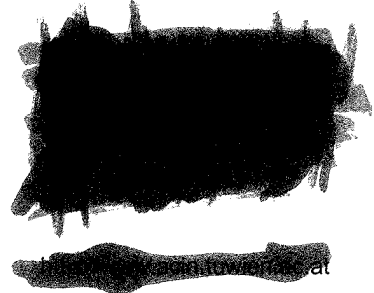


Prüfung

VU Automatisierung 376.000

23.11.2006



Name (Vor- und Zuname)	
Matrikelnummer/Kennzahl	

Beispiel 1:

Geg.: Von einem Standardregelkreis ist

$$F_o(s) = \frac{p(s)}{n(s)}, \quad p(s) = V(s+a) \text{ und } a = 8 \text{ bekannt.}$$

$F_o(s)$ besitzt zwei Pole bei $-3 \pm j5$ und einen bei 0 .

- Wie lautet das charakteristische Polynom und dessen Lösungen für $V=30$?
- Schätzen Sie die Dauer des Ausregelns für $V=30$ ab.
- Bei welchem V liegt die Stabilitätsgrenze (Routh) ?

*** **

Beispiel 2:

Geg.: Standardregelkreis mit instabiler Strecke mit Polen bei $+1$ und $+3$.

- Die Strecke ist mit einem PDT_1 -Regler zu stabilisieren.
- Wie sind die Parameter allgemein zu wählen, sodass der Regelkreis Pole von $\Re(s_i) < -\gamma \quad \forall i$ besitzt ?

Geg. Standardregelkreis mit folgender Schleifenübertragungsfunktion

$$F_o(s) = \frac{V(s-1,5)}{(s^2 - 6s + 13)}$$

- a) Zeichnen Sie die Wurzelortskurve in Abhängigkeit von V.
- b) Für welche Werte von V ist die Regelung stabil ?
- c) Bei welchem V weist der geschlossene Regelkreis aperiodisches Führungsverhalten auf?
- d) Bei welchem V ist der Regelkreis grenzstabil und mit welcher Frequenz oszilliert der Regelkreis?

EC - Mündlich

- 1) PT₁-Strecke mit I-Regler; Stabilitätsregeln; Dynamik
- 2) Geg: PT₁-Strecke, I-Regler, Totzeitelement Ges: Stabilitätsgrenze
- 3) Wirklin. Regelkreis allg. diskutieren anhand beliebigen Bsp.
- 4) Geg: instabiles PT₂ Ges: Regler für Stabilität
- 5) Unterschiede Abtastregelung u. kontinuierliche Regelung allg.

RT1

Schriftliches Bsp.: Geg: $\frac{1}{sT_D} \cdot \frac{1}{(s+2)(s+5)}$ Ges: TD für Grenzstabilität
Wurzelortskurve

Mündlich:

- 1) TD für Behauptsoptimum; was heißt Behauptsoptimum; Regelkreis für gutes Messungsverhalten bei Störgrößen (-> Sensitivität)
- 2) Änderung des Systems; Stabilität im Bodediagramm (Phasenminimierungssystem, Verknüpfung aller Parameter u. Totzeit)
- 3) Strecke: Pol soll in rechter Halbebene sein; kann man WOK zur Überprüfung verwenden? Warum erzwingt Nullstelle Stabilität 2-schleifigen Regelkreis (Sensitivität, Nebenschleife)
- 4) PT₂-Regler: V_{cl} , $T_N \gg$ was bedeutet das; Dynamik woher braucht man vollständige Ortskurve (für Umformungen)
- 5) Wäre sind im Regelkreis höherer Ordnung ist die WOK in rechter Halbebene?

Gibt es Regelkreise, die stabil bleiben, wenn Rückführung von \ominus auf \oplus vertauscht wird? (Ortskurven zeichnen, Nyquist, Nyquist)

Ortskurve innerhalb Einheitskreis (Bsp); stationäre Genauigkeit

- 6) Regelkreiseinstellung genau an Stabilitätsgrenze, wie bestimmt man Stabilitätsgrenze

Definition Wurzelortskurve, wo das "s" wird aufgehoben

7) Dämpfung

welche dynam. Qualität bringt was zu Dämpfung?

Pol: Mindestablenkungswinkel

Bodediagramm für F_o : welche Eigenschaften auf $T(s)$ übertragbar (Stabilität, Genauigkeit, Schnelligkeit; ω^* u. Nebenschleife)

- 8) Regelkreis mit symmetrischem Optimum, welche Überlegungen?
warum geometrische Symmetrie? (Optimum bei opt. Verhältnis
von Schnellzeit u. Stabilitätsgröße)
- 9) PID-Regler: differenzierende Anteil = Vorteil / Nachteil
(D-Regler dämpft Phasen, stabilisiert Lücken; Nachteil: Regelabweichung)
PID-Regler und Parameter (hält Parameter an, nichtische
Stillprobieren)
- 10) allg: Nullstellen von F_0 : welchen Einfluss auf
Wurzelpolstellen

schriftlich:

1. Aufgabe:

$$G(s) = \frac{10}{(1+0,1s)(1+0,03s)} \rightarrow \text{gefordert eine fehlerfreie Ausregelung des F\u00fchrungsverhaltens}$$

$$D=0,7$$

$$K(s)=?$$

2. Aufgabe:

$$K(s) = \frac{V}{1+sT_1} \quad ; \quad G(s) = \frac{e^{-sT_t}}{s} \quad \text{mit } V=5 \text{ ; } T_t=5 \text{ und } T_1=1$$

\rightarrow ist der Regelkreis stabil?

3. Aufgabe:

$$\text{WOK ~~von~~ mit } F_0(s) = \frac{V}{s(s+4)}$$

\rightarrow zus\u00e4tzlich detaillierte Eintragung von Phasen- und Betragsbedingung f\u00fcr $V=10$.

m\u00e4ndlich:

- 1) Bedingung f\u00fcr Grenzstabilit\u00e4t
- 1) PID-Glied: \u00dcbertragungsfunktion und Vorteil/Nutzen
- 1) WOK: Betrags- und Argumentbedingung
- 1) Konstruktionshilfen!

Automatisierung vom 23.03.04
Prof. Weinmann

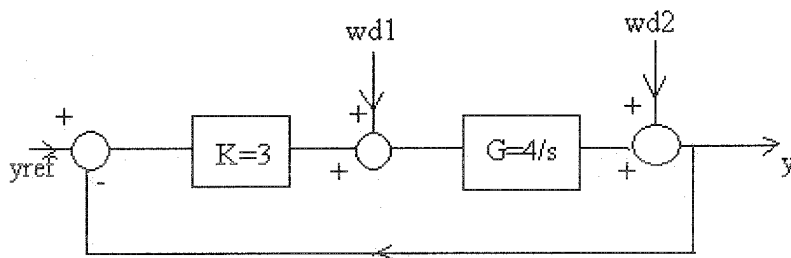
schriftlich:

1.) Bodediagramm

Geben wir ein Regler $K(s) = 1$ und eine Strecke $G(s) = \frac{10000}{s \cdot (s + 10)}$

- Bodediagramm von $F_o(s)$ (Betrag und Phase) in Knickzugnäherung zeichnen.
- Phasenrand aus dem Diagramm bestimmen.
- Den Regler durch $K(s) = V \frac{s}{1 + s \cdot 10^{-4}}$ ersetzen und Bodediagramm von F_o für $V = 1$ zeichnen.
- Ist dieser Regelkreis stabil? Begründung!
- Phasenrand aus dem Diagramm bestimmen.
- Welchen Wert darf V annehmen, damit das System stabil bleibt.

2.) Folgender Regelkreis ist gegeben



- Gesucht ist jeweils $y(t)$ für $t \rightarrow \infty$ für folgende Fälle
 - $y_{ref}(t) = 1$ für $t \geq 0$, 0 sonst ; $wd1(t) = 0$; $wd2(t) = 0$
 - $wd1(t) = 1$ für $t \geq 0$, 0 sonst ; $y_{ref}(t) = 0$; $wd2(t) = 0$
 - $wd2(t) = 1$ für $t \geq 0$, 0 sonst ; $wd1(t) = 0$; $y_{ref}(t) = 0$
 - $wd1(t) = 0,5$ für $t \geq 0$, 0 sonst ; $y_{ref}(t) = 1$ für $t \geq 0$, 0 sonst ; $wd2(t) = 0$
- Wie (mit welchem Regler) könnte man den Einfluss von $wd1 = \text{const.}$ verringern? Geben sie eine beispielhafte Dimensionierung des Reglers an!

3.) Nyquist

- Gegeben waren die Ortskurve und das Pol-Nullstellen-Diagramm einer Schleifenübertragungsfunktion. Die Stabilität war zu untersuchen
- Die Schleifenübertragungsfunktion war zu bestimmen.
- Wie vereinfacht sich die Nyquist-Bedingung, wenn Regler und Strecke für sich stabil sind?

4.) Wurzelortskurve

- Zeichne die WOK für folgenden Regler $K(s) = V \frac{s+1}{s+5}$ und Strecke $G(s) = \frac{1}{s^2 + 4}$.
- Geben sie 3 Konstruktionshilfen für die WOK an! (siehe B.S. 163-165)

mündlich:

Folgende Themen wurden im Anschluss bei der mündlichen Prüfung unter anderem gefragt:

- Symmetrisches Optimum
- Betragsoptimum
- Polvorgabe
- mehrschleifiger Regelkreis
- Phasenrand
- Stabilitätskriterien besonders im Hinblick auf Stabilitätsgüte
- Totzeit-Element (Zeitverhalten + Bode)
- Allpass-Element (Zeitverhalten + Bode)
- Analysieren sie folgende Schleifenübertragungsfunktion: $F_o(s) = \frac{1-s}{s^2+2s+1}$
- Wurzelortskurve allgemein erläutern

Prüfung zu Automatisierung (2.3.2004)

Schriftlicher Teil:

3 Fragen / Zeit: 1,5 Stunden

1. Man zeichne die WOK in Teilen auf der reellen Achse. Beschriftung mit signifikanten Daten.

$$F_o(s) = V \frac{s+4}{(s+1)(s+4)}$$

Als ich zur Prüfung kam und Prof. Weinmann sich die Prüfung kurz durchsah, meinte er, dass er sich bei der Angabe wohl verschrieben habe (Pol und Nullstelle gleich). => Zur Übung ev. selbst eine andere Nullstelle annehmen.

2. Stabilitätsbereich im Parameter k verlangt für:

$$K(s) = \frac{k}{2(1+s)} \quad G(s) = \frac{1-s}{2+s}$$

Der Stationärzustand für k=2 ist auch anzugeben.

Hinweis: Hier sollte für den Stationärzustand ~1/2 herauskommen..

3. Ortskurve von $F_o(j\omega)$ und Stabilitätsbeurteilung für $F_o(s) = \frac{5(1-s)}{(2+s)(s+1)}$.

Welches $e(t)|_{t \rightarrow \infty}$ tritt auf? Saubere Handskizze! Achsenbeschriftung!

Die Ortskurve habe ich, da genug Zeit war mit Punkten des Real- und Imaginärteils ausgerechnet. Prof. Weinmann meinte, dass man hier auf jeden Fall die Methode der Zusammensetzung aus Einzelortskurven (Beträge addieren und Phasen multiplizieren) ansehen sollte. => Das war dann auch gleich meine Prüfungsfrage an der Tafel.

Hinweis: $(1-s)/(1+s)$ ist ein Allpass, und bei $5/(2+s)$ kann man sich den Knickfrequenzpunkt (Real- und Imaginärteil gleich) ansehen. Weiters durchläuft diese OK 3 Quadranten => Begründung: Allpass dreht um -180° und $5/(s+2)$ um -90° => gesamt: 270°

Mündlicher Teil:

1-2 Fragen (5-30 Minuten Prüfungszeit) je nach Können; 4 Kandidaten bereiten gleichzeitig (wie bei Prof. Prechtel) ihre Antworten auf der Tafel vor; Beurteilung: von 15 Kandidaten ca. 1 Fünfer, 5 Dreier, 5 Zweier, 4 Einser, Befragungsklima: eher angenehm, wenn der Prof. gut drauf ist. Er war am freundlichsten (bzw. beurteilungsmild und tolerant) bei den ersten 8 Kandidaten (vor der ersten Pause). Stellt euch als Automatisierungskandidat bei der Prüfung auf eine längere Wartezeit (ca. 2,5 Stunden und darüber, davon 1,5 Stunden schriftl. Test) ein. Zuerst kamen RT2- (kein schriftl. Bsp.) und RT1-Leute (ein Bsp., Zeit: 15 Min.) dran und anschließend die Automatisierungs-Kandidaten.

Gutes Gelingen wünscht euch

Alex

①

$$G(s) = \frac{10}{s(1+0,01s)(1+0,0033s)}$$

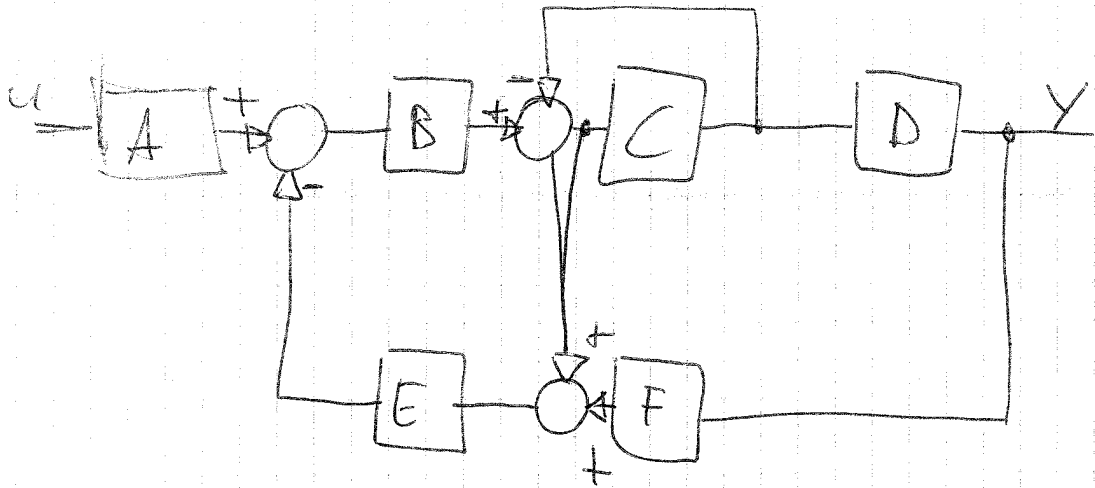
- Dimensioniere PI-Regler nach symmetrischen Optimum mit $T_u = 0,1s$
- Übertragungsfunktion von Messrauschen auf die Stellgröße
- Auswirkung von hochfrequentem Messrauschen auf die Stellgröße

②

$$F_0(s) = V \frac{s-0,5}{s^2-2s+2}$$

- WOK-konstruieren
- Routh-Kriterium \rightarrow stabiler Bereich
- In welchem Bereich von V hat der Regelkreis ein aperiodisches, exponentiell abklingendes Verhalten auf einen Sprung?
- Bei welchem V ist der Regelkreis grenzstabil?
Wie ist die zugehörige Regelgröße?

3



$$K(s) : u(t) = e(t)$$

- Vereinfachen des Blockschaltbildes
- Phasenrand, Durchtrittsfrequenz, Amplitudenrand
- $y_{\text{ref}}(t) = \sigma(t)$ gesucht $y(t_{\infty}), e(t_{\infty})$
 - $w_d(t) = \sigma(t)$ gesucht $e(t_{\infty})$



Institut für Automatisierung- und Regelungstechnik

Prüfung 8. März 2005

Automatisierung

Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Alexander Weinmann

13:00-14:30

Name:

Matrikelnummer:

Aufgabe 1 _____ von 7 Punkten

Aufgabe 2 _____ von 8 Punkten

Aufgabe 3 _____ von 6 Punkten

Insgesamt: _____ von 21 Punkten

1. Aufgabe)

Die Übertragungsfunktion eines offenen Kreises ist mit $F_o = \frac{V(1-s)}{s(1+100s)}$ und $V=1$ festgelegt.

- Zeichnen Sie das Bodediagramm (Betrags- und Phasenverlauf)! (3 Punkte!)
- Entwerfen Sie einen geeigneten, realisierbaren Regler im Frequenzbereich und zeichnen Sie das Bodediagramm für die Kombination Regler-Strecke. (Verschiedene Lösungsmöglichkeiten) Begründen Sie Ihren Entwurf! (4 Punkte)

2. Aufgabe)

Gegeben sei folgende Übertragungsfunktion eines Regelkreises $F_o = \frac{V(\frac{s}{n_0} + 1)}{s(s-2)}$

Wobei sich die Frequenz n_0 aus den letzten 2 Ziffern Ihrer Matrikelnummer nach folgendem Schema ergibt:

Matrikelnummer:xy	$n_0 = x + y + 1$
-------------------------	-------------------

- a) Bestimmen Sie mit Hilfe des Routhkriteriums den Bereich der Verstärkung V , in dem der geschlossene Regelkreis stabil ist! (2 Punkte)
- b) Zeichnen Sie die Wurzelortskurve! (3 Punkte)
- c) Geben Sie an, für welches n_0 mit gegebener Verstärkung $V=1$ der Regelkreis grenzstabil ist. (1 Punkte)
- d) Geben Sie an für welchen Wertebereich von V mit $n_0 = x + y + 1$ (aus Matrikelnummer) es nur aperiodische, exponentiell abklingende Lösungen für den geschlossenen Regelkreis gibt! (2 Punkte)

3.Aufgabe)

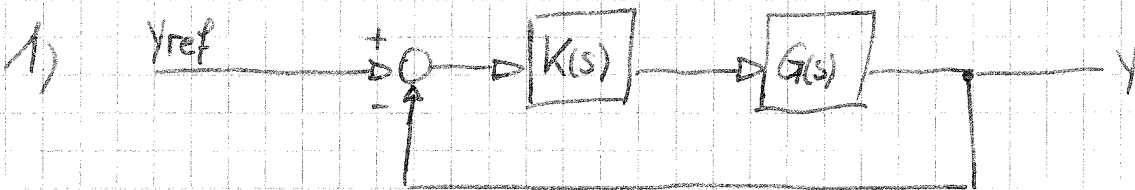
Zur Regelstrecke $S(s) = \frac{g}{1 + 2s + s^2}$ soll ein PI-Regler entworfen werden. Die Parameter des Reglers sind so zu wählen, dass für $g = 3$ der Regelkreis eine Dauerschwingung der Kreisfrequenz $\omega_0 = 2$ einnimmt.

- a) Bestimmen Sie die Parameter des PI-Reglers! (3 Punkte)
- b) Zeichnen Sie schematisch die Ortskurve des geschlossenen Regelkreises mit Ihrem aus a) parametrisierten Regler. (3 Punkte)

Edgar Holler's

9725754

$$\rightarrow a = 5; b = 22$$



$$K = a \cdot \frac{1 + \frac{1}{2}s}{\frac{1}{2}s} \quad G = \frac{b}{(s+2)(s+10)}$$

$$F_0(s) = K(s) \cdot G(s) = \frac{a(s+2)}{s} \cdot \frac{b}{(s+2)(s+10)} = \frac{ab}{s(s+10)}$$

$$T(s) = \frac{F_0(s)}{1 + F_0(s)} = \frac{\frac{ab}{s(s+10)}}{1 + \frac{ab}{s(s+10)}} = \frac{ab}{s(s+10) + ab} = \frac{ab}{s^2 + 10s + ab} \rightarrow \text{PT2}$$

$$Y(s) = Y_{\text{ref}}(s) \cdot T(s) = \frac{ab}{s(s^2 + 10s + ab)}$$

konjugiert komplexe Polstelle

$$Y(s) = \frac{1}{s} + \frac{A}{s^2 + 10s + ab} = \frac{ab}{s(s^2 + 10s + ab)}$$

$$\rightarrow s^2 + 10s + ab + sA = ab \Rightarrow A = -s - 10$$

$$Y(s) = \frac{1}{s} - \frac{s+10}{s^2 + 10s + ab} = \frac{1}{s} - \frac{s+10}{(s+5)^2 + c^2} \quad \text{mit } c = \sqrt{ab - 25}$$

$$= \frac{1}{s} - \frac{s+5}{(s+5)^2 + c^2} - \frac{5}{(s+5)^2 + c^2} = \frac{1}{s} - \frac{5}{(s+5)^2 + c^2} \cdot \frac{5}{c}$$

$$y(t) = 1 - e^{-5t} \cos ct - \frac{5}{c} e^{-5t} \sin ct$$

$$= \underline{\underline{1 - e^{-5t} \left(\cos ct + \frac{5}{c} \sin ct \right)}}$$

$$T(s) = \frac{ab}{s^2 + 10s + ab} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2D}{\omega_N}\right)s + \left(\frac{1}{\omega_N}\right)^2 s^2} \quad \dots \text{ generisches PT2}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{10}{ab}s + \frac{1}{ab}s^2} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{2D}{\omega_N} = \frac{10}{ab} \\ \left(\frac{1}{\omega_N}\right)^2 = \frac{1}{ab} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \omega_N = \sqrt{ab} \\ D = \frac{5}{\sqrt{ab}} \end{array}$$



$$c = \sqrt{ab - 25} = 9,22$$

$$\omega_N = \sqrt{ab} = 10,488 \dots \text{ungedämpfte Schwingkreisfrequenz}$$

$$D = \frac{5}{\sqrt{ab}} = 0,4767 \dots \text{Dämpfungsgrad}$$

$$\Delta h = e^{-\frac{\pi \cdot D}{\sqrt{1-D^2}}} = e^{-\frac{5\pi}{c}} = 0,182 \dots \text{Überschwingweite}$$

$$t_{2\%} = \frac{4}{\omega_N \cdot D} = \frac{4}{5} = 0,8 \dots \text{Ausregelzeit}$$

$$T_{\ddot{u}} = \frac{\pi}{\sqrt{1-D^2} \cdot \omega_N} = \frac{\pi}{c} = 0,341 \dots \text{Überschwingzeit}$$

$$y(t) = 1 - e^{-5t} \left(\cos ct + \frac{5}{c} \sin ct \right)$$

$$2) |F_0(j\omega_D)| \stackrel{!}{=} 1 = \left| \frac{ab}{j\omega_D(j\omega_D+10)} \right|$$

$$1 = \frac{ab}{j\omega_D(j\omega_D+10)} \cdot \frac{ab}{-j\omega_D(-j\omega_D+10)}$$

$$1 = \frac{(ab)^2}{\omega_D^2(\omega_D^2+100)}$$

$$0 = \omega_D^4 + 100\omega_D^2 - (ab)^2$$

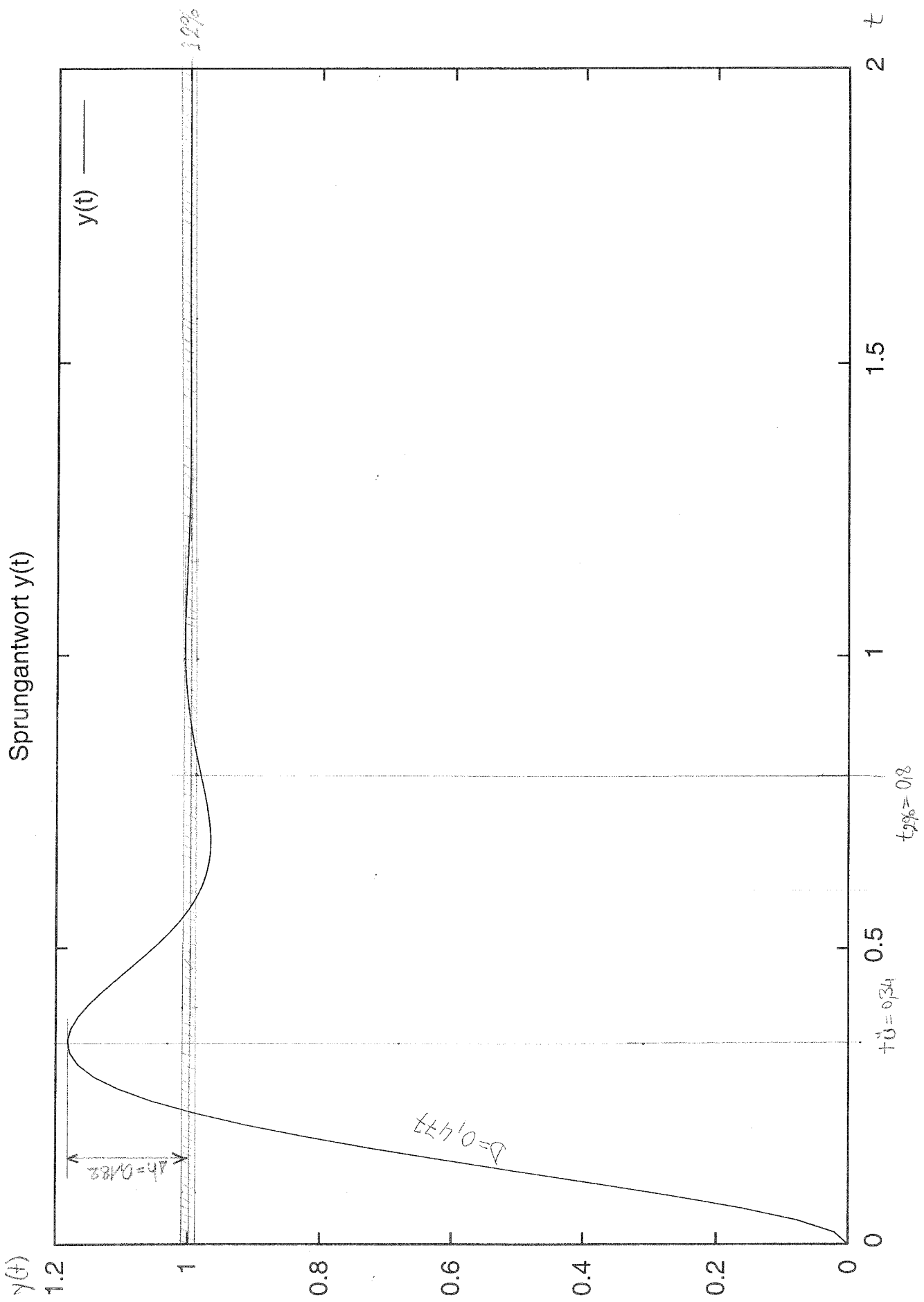
$$\omega_D^2 = -50 + \sqrt{2500 + (ab)^2}$$

$$\omega_D^2 = 70,83 \quad \underline{\omega_D = 8,42} \dots \text{Durchtrittsfrequenz}$$

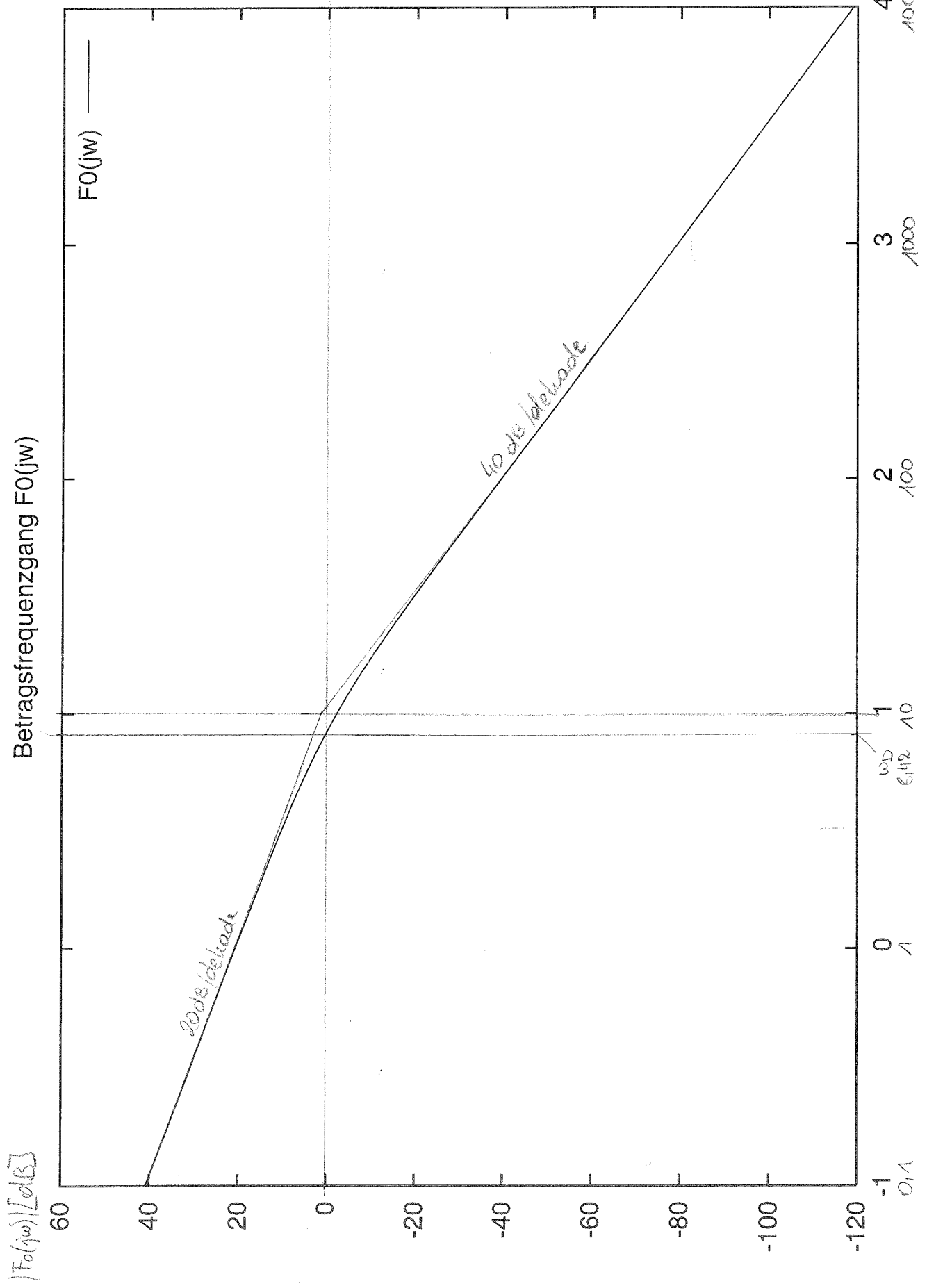
$$\alpha_r = \pi + \arg(F_0(j\omega_D)) = 0,8712 \text{ rad}$$

$$= \underline{49,92^\circ} \dots \text{Phasenrand}$$

[Redacted]







Betragsfrequenzgang $F_0(j\omega)$

$F_0(j\omega)$

20 dB/decade

40 dB/decade

0.1

1

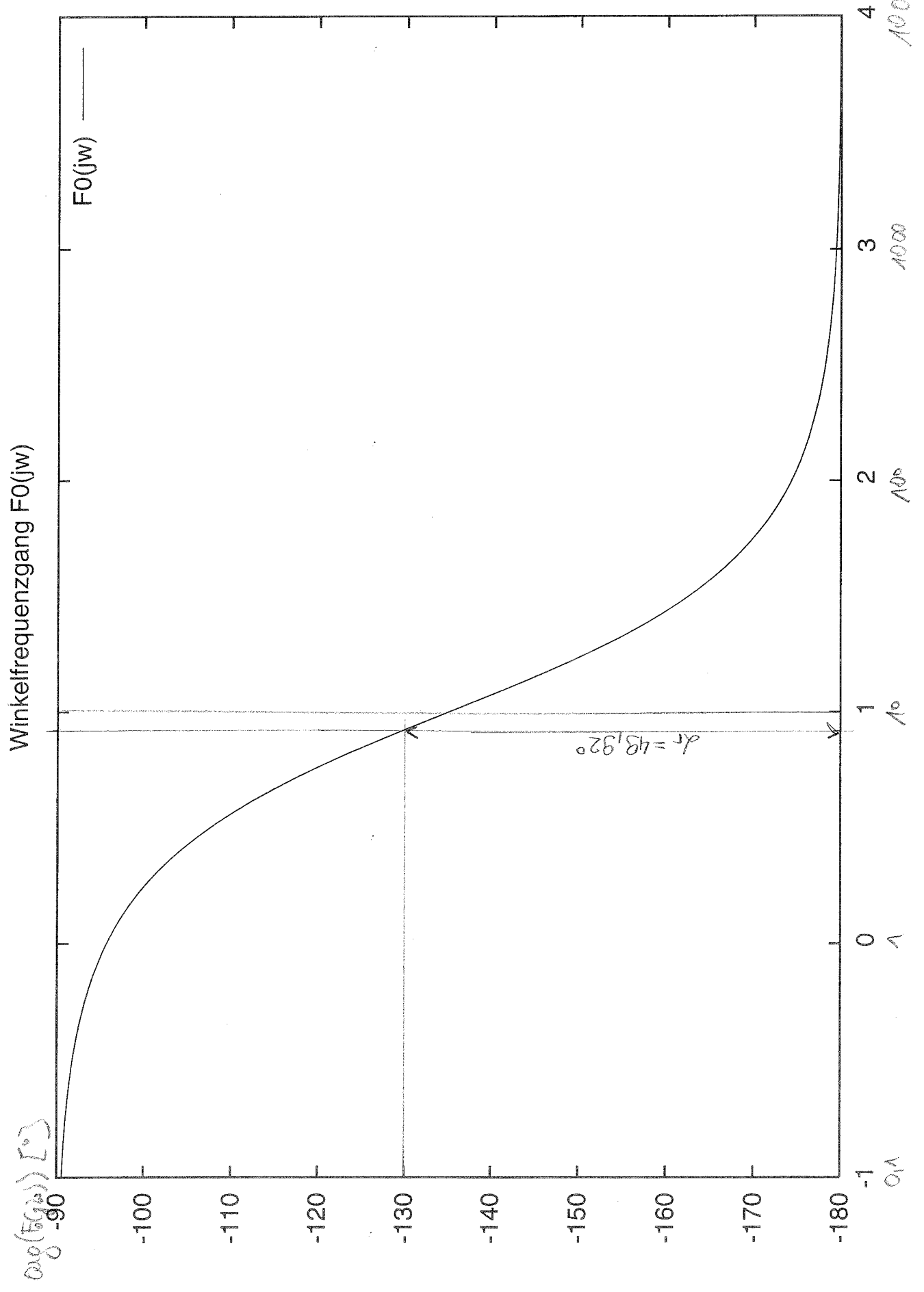
10
 $\omega_D = 6.12$

100

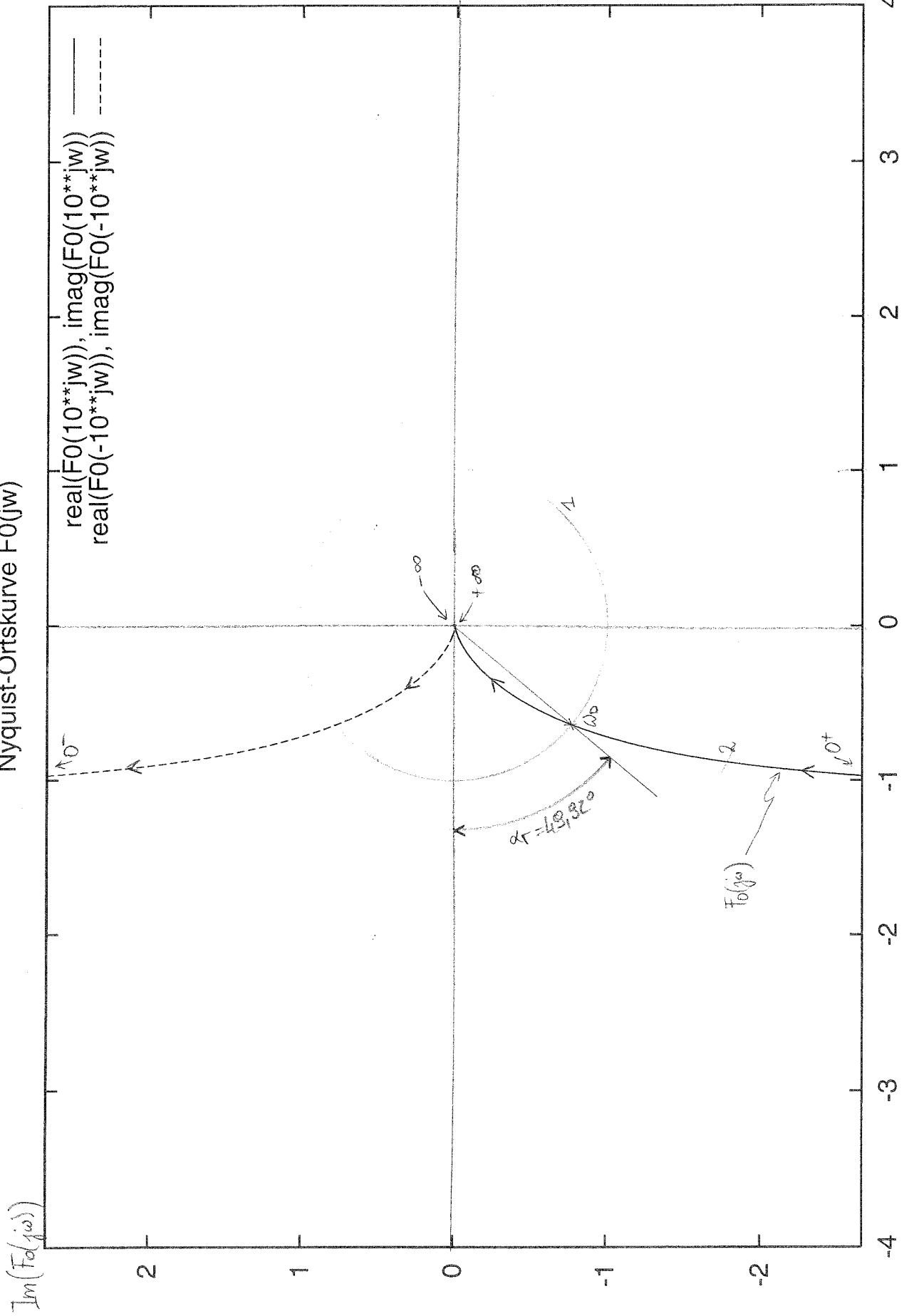
1000

10000

1



Nyquist-Ortskurve $F_0(j\omega)$




```
# Gnuplot Script
# Edgar Holleis 9725754
# a=5, b=22, c=sqrt(ab-25)=9.2195
```

8/8

```
set terminal postscript enhanced monochrome
set output "|lpr -Phplj5mp@pc046"
```

```
set title "Sprungantwort y(t)"
```

```
plot [t=0:2] y(t)=1-exp(-5*t)*(cos(c*t)+(5/c)*sin(c*t)), c=9.2195, y(t)
```

```
set title "Betragsfrequenzgang F0(jw)"
```

```
plot [jw=-1:4] F0(jw)=20*log10(abs((a*b)/({0,1}*10**jw*({0,1}*10**jw+10))
)), a=5, b=22, F0(jw)
```

```
set title "Winkelfrequenzgang F0(jw)"
```

```
plot [jw=-1:4] F0(jw)=57.296*(arg((a*b)/({0,1}*10**jw*({0,1}*10**jw+10)))
), a=5, b=22, F0(jw)
```

```
set parametric
```

```
set samples 10000
```

```
set title "Nyquist-Ortskurve F0(jw)"
```

```
plot [jw=-5:20] [-4:4] [-2.6666:2.6666] F0(jw)=(a*b)/({0,1}*jw*({0,1}*jw+
10)), a=5, b=22, real(F0(10**jw)), imag(F0(10**jw)), real(F0(-10**jw)), i
mag(F0(-10**jw))
```

```
set output
```

