

INFORMATIONSTECHNISCHES PRAKTIKUM 1

Versuch 1: Lineare, zeitinvariante Systeme

Fachgebiet: Nachrichtentechnik

Name:

Matr.-Nr.:

Betreuer:

Datum:



Die Vorbereitungsaufgaben sind vor dem Praktikumstermin zu lösen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.	2
2	Erläuterungen und Vorbereitungsaufgaben.	3
2.1	Theoretische Berechnungen	3
2.1.1	Überprüfung der Linearität:	3
2.1.2	Überprüfung der Zeitinvarianz:	3
2.1.3	Reaktion des LZI-Systems auf sinusförmige Erregungen:	4
2.1.4	Reaktion nichtlinearer, zeitinvarianter Systeme auf sinusförmige Erregungen	6
2.2	Praktische Aspekte bei der Messung an LZI - Systemen.	7
2.2.1	Der approximierter Diracstoß	7
2.2.2	Relation zwischen Anstiegszeit und Grenzfrequenz eines idealen Tiefpasses	9
3	Versuchsdurchführung:	10
3.1	Überprüfung der Zeitinvarianz und des Linearitätsbereiches	10
3.2	Meßtechnische Ermittlung der Übertragungsfunktion	11
3.3	Abschätzung der Bandbreite des Systems aus der Sprungantwort	12

1 Einleitung.

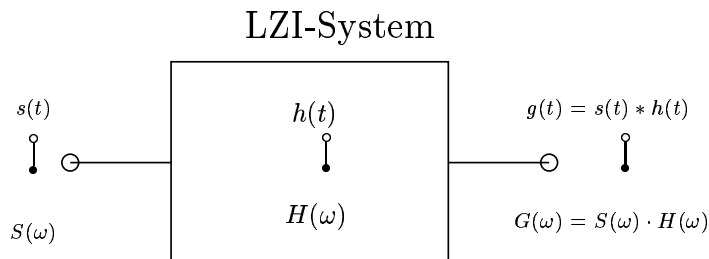
Das Verhalten eines linearen, zeitinvarianten Systems (LZI - Systems) kann durch eine einfache Funktion (z.B. die Stoßantwort $h(t)$ bzw. deren Fouriertransformierte $H(\omega)$) beschrieben werden. Die Kenntnis der u.U. komplizierten elektrischen Schaltung des Systems ist nicht erforderlich, um die Reaktion $g(t)$ des Systems auf ein beliebiges Eingangssignal $s(t)$ zu bestimmen. Der Zusammenhang zwischen Ausgangs- und Eingangssignal ergibt sich aus dem sog. Faltungsintegral:

$$g(t) = s(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau \quad (1)$$

Mit $G(\omega) \xrightarrow{\mathcal{F}} g(t)$, $S(\omega) \xrightarrow{\mathcal{F}} s(t)$, $H(\omega) \xrightarrow{\mathcal{F}} h(t)$, den Fouriertransformationen der entsprechenden Zeitfunktionen $g(t)$, $s(t)$, $h(t)$ wird der gleiche Zusammenhang im Frequenzbereich wie folgt formuliert:

$$G(\omega) = S(\omega) \cdot H(\omega) \quad (2)$$

Diese fundamentalen Zusammenhänge sind in der folgenden Skizze noch einmal zusammengestellt. Die einzigen Voraussetzungen für die Gültigkeit dieser Zusammenhänge sind, daß das System linear und zeitinvariant ist und daß es sich vor der Anregung mit $s(t)$ im sog. "Nullzustand" befindet.



Bei der Behandlung linearer, zeitinvarianter Systeme mit der systemtheoretischen Betrachtungsweise werden Idealisierungen benutzt, die entweder garnicht oder nur näherungsweise in die Praxis umzusetzen sind. (Beispiele: Diracstöße als Signalkomponenten, ideal rechteckförmige Übertragungsfunktionen, Systeme mit nichtkausalen Stoßantworten, unbeschränkte Linearitätsbereiche der betrachteten Systeme etc.). Bei der Konzeption oder Analyse komplizierter, ggf. aus verschiedenen Blöcken zusammengesetzter Systeme, erreicht man aber mit solchen Idealisierungen bei relativ geringem Rechenaufwand einen sehr guten Überblick über das Systemverhalten.

Mit dem Praktikumsversuch soll gezeigt werden, welche Bedingungen bei Messungen an realisierbaren LZI - Systemen zu beachten sind und daß die Systemtheorie auch und gerade mit idealisierten Modellrechnungen für die praktische Arbeit im Labor ein geeignetes Hilfsmittel ist. Dabei sollen durch geeignete Messungen die Übertragungseigenschaften eines Systems ermittelt werden, das nur an den Eingangs- und Ausgangsklemmen zugänglich ist.

Zur Vorbereitung des Versuchs sind die im Abschnitt 2 gestellten Aufgaben zu lösen, und soweit möglich die Ergebnisse in sauberer Form in diese Versuchsanleitung einzutragen.

2 Erläuterungen und Vorbereitungsaufgaben.

2.1 Theoretische Berechnungen

Die theoretische Überprüfung der Linearität und Zeitinvarianz eines gegebenen Systems erfolgt nach folgenden Schemata:

2.1.1 Überprüfung der Linearität:

1. Versuch: $s_1(t) \rightarrow g_1(t) = T\{s_1(t)\}$ (3)

2. Versuch: $s_2(t) \rightarrow g_2(t) = T\{s_2(t)\}$ (4)

3. Versuch: $s_3(t) = as_1(t) + bs_2(t) \rightarrow g_{3_{Ist}}(t) = T\{s_3(t)\}$ (5)

Bedingung für die Linearität des Systems ist:

$$g_{3_{Soll}}(t) = ag_1(t) + bg_2(t) \quad (6)$$

Darin ist $T\{s_i(t)\}$ die Transformation, mit der das System das Eingangssignal $s_i(t)$ verändert, der Pfeil kennzeichnet die Übertragung über das System.

Die tatsächliche Reaktion $g_{3_{Ist}}(t) = T\{s_3(t)\}$ auf die Erregung $s_3(t)$ ergibt sich im 3. Versuch. Sie muß verglichen werden mit der Forderung an ein lineares System $g_{3_{Soll}}(t)$.

Dazu sind $g_{3_{Ist}}(t)$ und $g_{3_{Soll}}(t)$ mit Hilfe der in dem Schema vorgegebenen Gleichungen durch geeignete Substitutionen auf vergleichbare Größen zurückzuführen.

2.1.2 Überprüfung der Zeitinvarianz:

1. Versuch: $s_1(t) \rightarrow g_1(t) = T\{s_1(t)\}$ (7)

2. Versuch: $s_2(t) = s_1(t - t_0) \rightarrow g_{2_{Ist}}(t) = T\{s_2(t)\}$ (8)

Bedingung für die Zeitinvarianz eines Systems ist:

$$g_{2_{Soll}}(t) = g_1(t - t_0) \quad (9)$$

Durch geeignete Substitutionen mit Hilfe der in dem Schema vorgegebenen Gleichungen sind $g_{2_{Ist}}(t)$ und $g_{2_{Soll}}(t)$ auf vergleichbare Größen zurückzuführen und miteinander zu vergleichen.

Vorbereitungsaufgabe 2.1:

Überprüfen Sie, ob das folgende System $s(t) \rightarrow g(t) = s(a \cdot t)$ zeitinvariant ist !

1. Versuch: $s_1(t) \rightarrow g_1(t) = s_1(a \cdot t)$ (10)

2. Versuch: $s_2(t) = s_1(t - t_0) \rightarrow g_{2_{Ist}}(t) = s_2(a \cdot t) =$ (11)

Bedingung für die Zeitinvarianz eines Systems ist:

$$g_{2_{Soll}}(t) = g_1(t - t_0) = \quad (12)$$

In diesem Schema können durch Verwendung der entsprechenden Gleichungen sowohl $s_2(a \cdot t)$ als auch $g_1(t - t_0)$ auf die vergleichbare Größe $s_1(\dots)$ umgerechnet werden. Ergänzen Sie die notwendigen Umrechnungen!

Ist das System $s(t) \rightarrow g(t) = s(a \cdot t)$ zeitinvariant?

Die Umsetzung solcher Schemata in die Praxis ist sehr aufwendig und nur mit Einschränkungen möglich.

Bei der Überprüfung der Linearität laufen beispielsweise in dem o.a. Schema drei Versuche gleichzeitig ab. Das ist in der Praxis an einem System nicht möglich. Wenn das System zeitinvariant ist, können die Versuche auch nacheinander gemacht werden.

Jedes $s_i(t)$ repräsentiert in den o.g. Schemata jede beliebige Funktion aus der Klasse der zugelassenen Funktionen. Im Labor kann immer nur bei einem Versuch eine spezielle Funktion verwendet werden. Die Verschiebungszeit t_0 repräsentiert jede beliebige positive oder negative Zeitverschiebung; in der Praxis muß t_0 auf kleine positive, endliche Werte beschränkt bleiben.

2.1.3 Reaktion des LZI-Systems auf sinusförmige Erregungen:

Dieses sind hinreichende Gründe, sich in der Praxis auf ein einfacheres, aber nicht ganz so aussagekräftiges Verfahren zu beschränken, um die Linearität bzw. Nichtlinearität bzw. Nichtlinearitätsbereiche eines gegebenen Systems zu ermitteln. Dieses Verfahren beruht auf der Eigenschaft von LZI - Systemen, die **immer** auf sinusförmige Eingangssignale mit sinusförmigen Reaktionen antworten. Es gilt:

$$s(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t) \rightarrow g(t) = A \cdot |H(\omega_0)| \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi(\omega_0)) \quad (13)$$

Dieser Zusammenhang im Zeitbereich beinhaltet die systemkennzeichnenden Größen $|H(\omega_0)|$ und $\varphi(\omega_0)$ der i.A. komplexen Übertragungsfunktion $H(\omega_0) = |H(\omega_0)| \cdot e^{j\varphi(\omega_0)}$, die ja die systemkennzeichnende Größe im Frequenzbereich darstellt. Der Index bei ω_0 soll hier nur verdeutlichen, daß hier eine feste aber beliebige Frequenz vorgegeben ist. Dieser Zusammenhang zeigt auch, daß über eine Messung im Zeitbereich die systemkennzeichnende Größe im Frequenzbereich $H(\omega_0)$ für jede beliebige Frequenz ermittelt werden kann.

Vorbereitungsaufgabe 2.2:

Zeigen Sie zunächst mit Hilfe des Faltungsintegrals, daß der o.g. Zusammenhang gilt!

Benutzen Sie dabei den folgenden Ansatz:

$$g(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t) * h(t) = A \cdot \frac{e^{j\omega_0 t} + e^{-j\omega_0 t}}{2} * h(t) \quad (14)$$

Führen Sie die Faltung rechnerisch durch, eliminieren Sie die dabei auftretenden Integrale durch Verwendung des Zusammenhangs:

$$H(\omega_0) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \cdot e^{-j\omega_0 \tau} d\tau \quad (15)$$

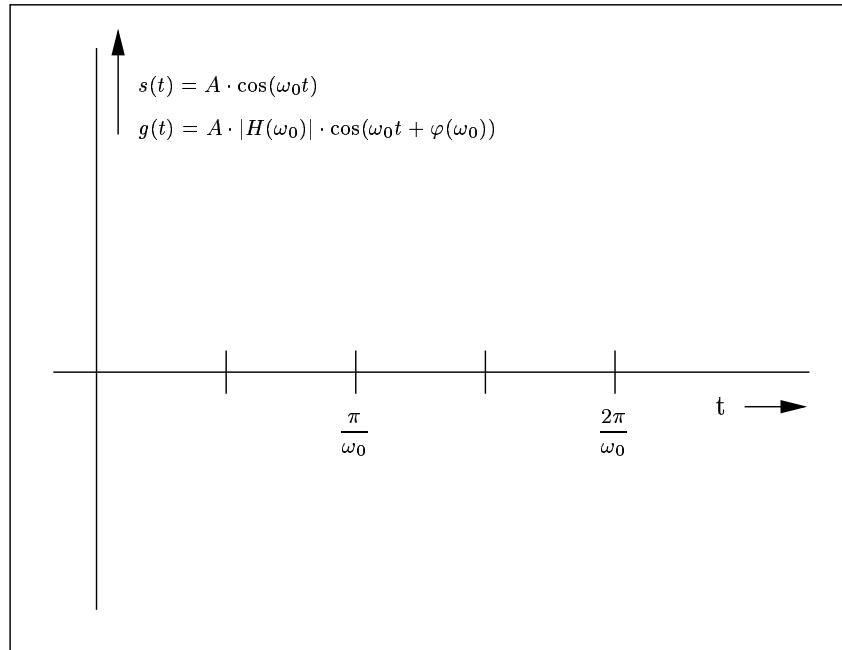
und benutzen Sie die **Eigenschaft reeller Systeme**: $H(-\omega) = H^*(\omega) = |H(\omega)| \cdot e^{-j\varphi(\omega)}$.

$$g(t) = \quad (16)$$

Vorbereitungsaufgabe 2.3:

Beschreiben Sie eine Methode, mit der aufgrund dieses Zusammenhangs die Übertragungsfunktion $H(\omega)$ nach Betrag und Phase bzw. Real- und Imaginärteil durch die gleichzeitige Darstellung des Eingangs- und Ausgangssignals auf dem Oszillographen ermittelt werden kann.

Zeichnen Sie dazu in das folgende Diagramm über eine Periode das Eingangs- und Ausgangssignal, das in Gl. (13) beschrieben ist und ergänzen Sie auf beiden Diagrammachsen die wesentlichen Größen.



Vorbereitungsaufgabe 2.4:

Geben Sie die Fouriertransformierten der unten angegebenen Eingangs- und Ausgangssignale an.

$t_{ph} = -\frac{\varphi(\omega_0)}{\omega_0}$ ist darin die sog. Phasenlaufzeit des sinusförmigen Signals der festen Frequenz ω_0 .

$$s(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t) \xrightarrow{\mathcal{F}} S(\omega) = \tag{17}$$

$$g_{LZI}(t) = A \cdot |H(\omega_0)| \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi(\omega_0)) = A \cdot |H(\omega_0)| \cdot \cos \left(\omega_0 \left[t + \underbrace{\frac{\varphi(\omega_0)}{\omega_0}}_{-t_{ph}} \right] \right) \tag{18}$$

$$\mathcal{F} \uparrow$$

$$G_{LZI}(\omega) = \tag{19}$$

2.1.4 Reaktion nichtlinearer, zeitinvarianter Systeme auf sinusförmige Erregungen

Bei der Übertragung des Signals $s(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t)$ über ein nichtlineares, zeitinvariantes System (NZI - System) wird das Signal nichtlinear verzerrt. D.h. die Reaktion $g_{NZI}(t)$ ist nicht mehr sinusförmig aber nach wie vor periodisch mit der Periodendauer $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$.

(Beispiele: Amplitudenbegrenzung, Gleichrichtung etc.).

Ein solches periodisches Signal kann durch eine Fourierreihenentwicklung dargestellt werden in der Form:

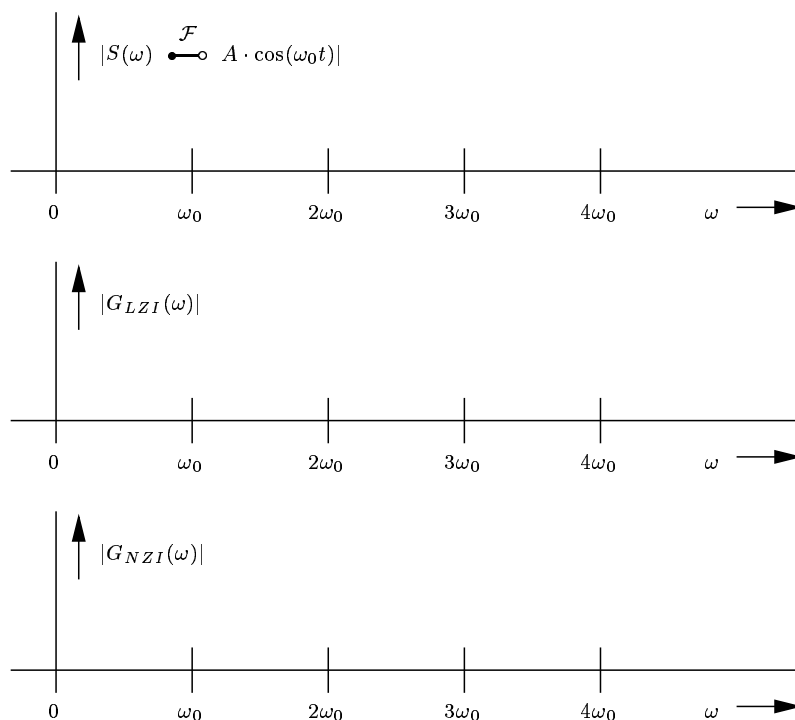
$$g_{NZI}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \cdot \cos(k \cdot \omega_0 t) + b_k \cdot \sin(k \cdot \omega_0 t) = \sum_{k=0}^{\infty} c_k \cdot \cos(k \cdot \omega_0 t + \varphi_k) \quad (20)$$

Vorbereitungsaufgabe 2.5:

Geben Sie die Fouriertransformation $G_{NZI}(\omega)$ der Zeitfunktion $g_{NZI}(t)$ an,

$$G_{NZI}(\omega) = \quad (21)$$

und skizzieren Sie die Betragsspektren der an den Achsen gekennzeichneten Funktionen in den folgenden Diagrammen !



Ein LZI -System reagiert also auf eine spektral reine Anregung mit einer spektral reinen Reaktion. Dagegen treten bei nichtlinearen Systemen bei spektral reiner Anregung Oberwellen auf. Der Grad der Nichtlinearität wird mit dem sog. Klirrfaktor beschrieben (siehe Definitionen in der Vorlesung).

Entsteht i.A. bei $\omega = 0$ auch ein Diracstoß im Spektrum von $G_{NZI}(\omega)$ und wenn ja welche Signalkomponente kennzeichnet dieser Diracstoß?

Kein praktisch realisierbares System ist über beliebig große Aussteuerungsbereiche streng linear und schon wegen der Alterung von Bauelementen und anderer physikalischer Einflüsse (z.B. Temperatur) auch nicht zeitinvariant. Entscheidend für die Praxis ist, daß realisierte Systeme für begrenzte Aussteuerungsbereiche hinreichend linear und - in Bezug auf die Nutzungsdauer - auch hinreichend zeitinvariant sind. Wie Eingangs beschrieben ist ein LZI - System durch seine sog. Stoßantwort $h(t)$ bzw. durch die zugehörige Fouriertransformation $H(\omega)$ eindeutig beschrieben. Einzige zusätzliche Bedingung ist, daß das System im "Nullzustand" ist bei der Anregung mit einem neuen Eingangssignal.

2.2 Praktische Aspekte bei der Messung an LZI - Systemen.

2.2.1 Der approximierter Diracstoß

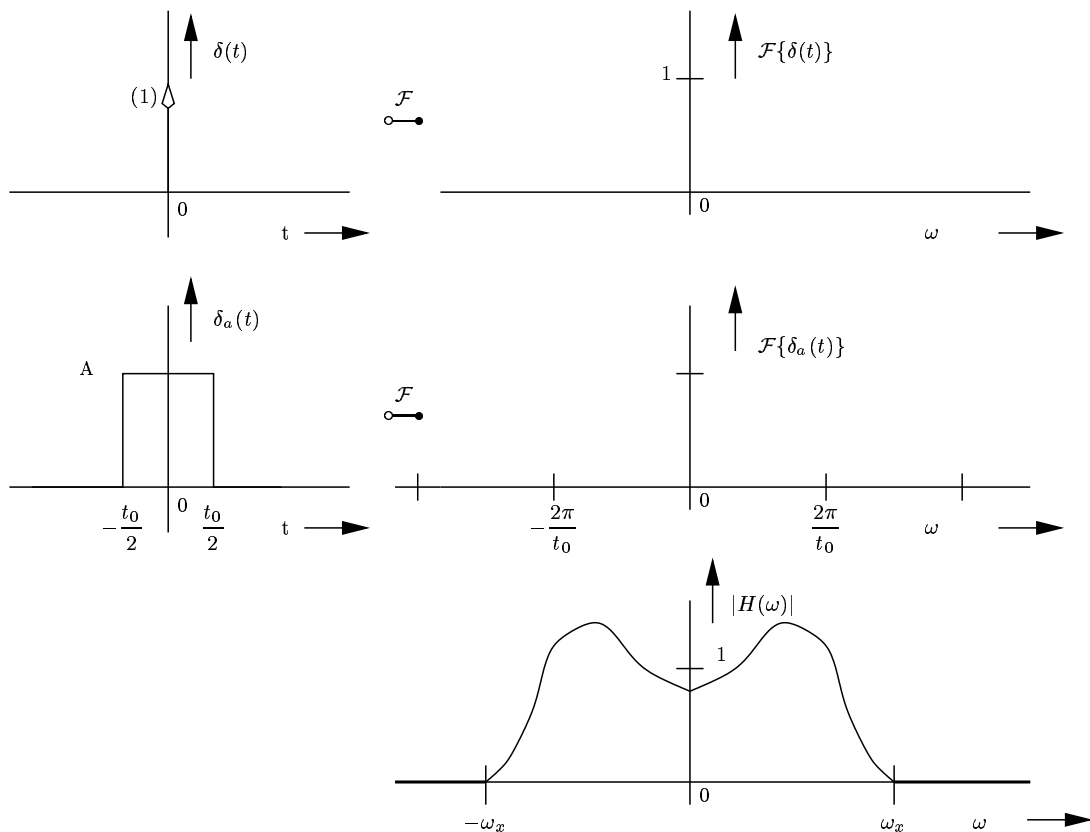
Theoretisch muß ein LZI-System bei der Anregung mit einem Diracstoß $\delta(t)$ mit der Stoßantwort $h(t)$ reagieren.

Ein Diracstoß ist aber im Labor nicht herzustellen ! Er ist unendlich hoch und unendlich schmal. Beides ist nicht zu realisieren. Da der Aussteuerungsbereich eines praktisch realisierten Systems auch immer endlich ist, muß stattdessen ein Puls begrenzter Dauer und endlicher Höhe verwendet werden. Auch die Approximation $\delta_a(t) = A \cdot \text{rect}\left(\frac{t}{t_0}\right)$ ist streng genommen nicht realisierbar, weil beliebig steile Flanken angenommen werden. Es ist aber eine hinreichend gute Approximation für einen praktisch realisierbaren Impuls, wenn die Pulsbreite groß im Vergleich zur Flankensteilheit ist.

Vorbereitungsaufgabe 2.6:

Stellen Sie die die Spektren des idealen und des approximierten Stoßes unter Angabe aller wesentlichen Parameter in den folgenden Diagrammen dar.

In dem untersten rechten Diagramm ist das Betragsspektrum irgendeines Übertragungssystems dargestellt, wobei bei allen praktisch realisierbaren Übertragungsfunktionen vorausgesetzt werden kann, daß es irgendeine Frequenz ω_x so gibt, daß außerhalb des Bereiches von $-\omega_x \leq \omega \leq \omega_x$ das Betragsspektrum $|H(\omega)| \Rightarrow 0$ oder vernachlässigbar klein wird, denn realisierbare Systeme haben keine beliebig große Bandbreite.



Wie auch immer die Übertragungsfunktion innerhalb des Bereiches $-\omega_x \leq \omega \leq \omega_x$ beschaffen ist, eine Anregung mit dem Spektrum des approximierten Diracstoßes, so wie oben skizziert, würde zu Fehlern führen, denn gemäß der Formel $G(\omega) = S(\omega) \cdot H(\omega)$ gilt im Idealfall mit $S(\omega) = \mathcal{F}\{\delta(t)\} = 1 \Rightarrow G(\omega) = 1 \cdot H(\omega)$ und im Fall der Approximation gilt mit $S(\omega) = \mathcal{F}\{\delta_a(t)\}$, daß das entsprechende Produkt $\mathcal{F}\{\delta_a(t)\} \cdot H(\omega) \neq H(\omega)$ ist.

Vorbereitungsaufgabe 2.7:

Geben Sie eine Ungleichungsbedingung zwischen t_0 und ω_x an, die erfüllt sein muß, damit innerhalb des Übertragungsbereiches eines gegebenen Systems $-\omega_x \leq \omega \leq \omega_x$ das Spektrum des approximierten Diracstoßes hinreichend konstant ist.

Hinweis: Mit "hinreichend" ist hier nicht eine definierte prozentuale Abweichung vom Idealfall, der Konstanten, innerhalb des Bereiches $-\omega_x \leq \omega \leq \omega_x$ gemeint. Welche Genauigkeit erzielt werden soll ist dem Experimentator überlassen.

Bei genügend guter Einhaltung dieser Ungleichungsbedingung entspricht die Form der Antwort des Systems $h_a(t)$ hinreichend genau der tatsächlichen Stoßantwort $h(t)$. Allerdings stimmt die Skalierung nicht!

Vorbereitungsaufgabe 2.8:

Welche Skalierung ermöglicht die Umrechnung zwischen der tatsächlichen Stoßantwort $h(t)$ und der approximierten Stoßantwort $h_a(t)$?

Vergleichen Sie dazu das Spektrum des idealen Diracstoßes mit dem des approximierten Stoßes und stellen Sie fest welche Forderung bei Einhaltung der Bedingung aus 2.7 noch nicht erfüllt ist!

$$h(t) = h_a(t). \quad (22)$$

2.2.2 Relation zwischen Anstiegszeit und Grenzfrequenz eines idealen Tiefpasses

Die Eigenanstiegszeit eines Tiefpaßsystems, ist die Anstiegszeit, mit der das System bei Anregung mit einem idealen Sprung $A \cdot \varepsilon(t)$ reagiert.

(Die Anstiegszeit ist die Zeitspanne, in der die Sprungantwort $A \cdot w(t)$ den Bereich zwischen 10% und 90% des Intervalls bis zum eingeschwungenen Zustand überwindet, bzw. die Zeitspanne, innerhalb derer die Tangente im Punkt maximaler Steigung der Sprungantwort die Linien 0% und 100% des Intervalls bis zum eingeschwungenen Zustand schneidet).

Vorbereitungsaufgabe 2.9:

Berechnen Sie die Eigenanstiegszeit t_e eines idealen Tiefpasses mit der Grenzfrequenz f_g , d.h. eines Tiefpasses mit der idealisierten Übertragungsfunktion $H(\omega) = H(0) \cdot \text{rect}\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)$.

Geben Sie eine Faustformel für den Zusammenhang zwischen f_g und t_E an!

Hinweis: Bestimmen Sie zunächst rechnerisch in allgemeiner Form,

d.h. zunächst **ohne** die Verwendung des aus den Fourierkorrespondenzen ermittelbaren tatsächlichen $h(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} H(\omega) = H(0) \cdot \text{rect}\left(\frac{\omega}{2\omega_g}\right)$,

die Sprungantwort $A \cdot w(t) = A \cdot \varepsilon(t) * h(t)$.

$$A \cdot w(t) = A \cdot \varepsilon(t) * h(t) = A \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon(t - \tau) \cdot h(\tau) d\tau = \quad (23)$$

Bestimmen Sie dann aus dem folgenden Zusammenhang:

$$A \cdot w(\infty) = A \cdot \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) d\tau = A \cdot \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \cdot \underbrace{e^{j\omega\tau}}_{\omega=0} d\tau = A \cdot H(0) \quad (24)$$

$H(0)$ so, daß die Sprungantwort im eingeschwungenen Zustand den Wert der Eingangssprunghöhe erreicht.

$$H(0) = \quad (25)$$

Ermitteln Sie nun in allgemeiner Form den Anstieg $A \cdot \dot{w}(t)$ der Sprungantwort, und unter Verwendung des tatsächlichen $h(t)$ dem Maximalwert $A \cdot \dot{w}(t)|_{max}$. Stellen Sie dann die Geradengleichung für die Tangente auf und geben Sie nach der o.a. zweiten Definition für die Anstiegszeit t_e an.

$$\left. \frac{\partial w(t)}{\partial t} \right|_{max} = \quad (26)$$

$$t_e = \quad (27)$$

Dieser Zusammenhang wurde mithilfe einer idealisierten Modellrechnung für ein nichtrealisierbares Filter, das nicht einmal kausal ist ermittelt. Er ist dennoch als Schätzformel für die Laborpraxis anwendbar, allerdings dann nur als \approx Relation.

Bei der Messung der Anstiegszeit von Impulsen mit Hilfe eines Oszillographen ist darauf zu achten, daß der gemessene Wert nur dann zuverlässig ist, wenn die Eigenanstiegszeit des Oszillographen und die Anstiegszeit der Impulse des Funktionsgenerators wesentlich kleiner sind als der gemessene Wert.

3 Versuchsdurchführung:

Als Meßobjekt steht ein System zur Verfügung, das nur an den Eingangs- und Ausgangsklemmen zugänglich ist. D.h. es ist nichts bekannt über den inneren Aufbau des Systems, das in der Tat mit den gleichen Übertragungseigenschaften auf unterschiedlichste Art realisiert werden könnte.

3.1 Überprüfung der Zeitinvarianz und des Linearitätsbereiches

Meßaufgabe 3.1:

Überprüfen Sie mit verschiedenen, zeitbegrenzten Eingangssignalen, ob das System zeitinvariant ist !

Meßaufgabe 3.2:

Ermitteln Sie meßtechnisch mit einer sinusförmigen Anregung den Linearitätsbereich des Systems und geben Sie den zulässigen Aussteuerungsbereich an, innerhalb dessen das System noch keine sichtbaren nichtlinearen Verzerrungen aufweist !

$$\leq \widehat{u_{in}} \leq$$

Beachten Sie, daß nichtlineare Verzerrungen u.U. erst dann sichtbar werden, wenn die Frequenz der sinusförmigen Anregung niedrig ist, weil dann die Oberwellen besonders dicht beieinander liegen.

3.2 Meßtechnische Ermittlung der Übertragungsfunktion

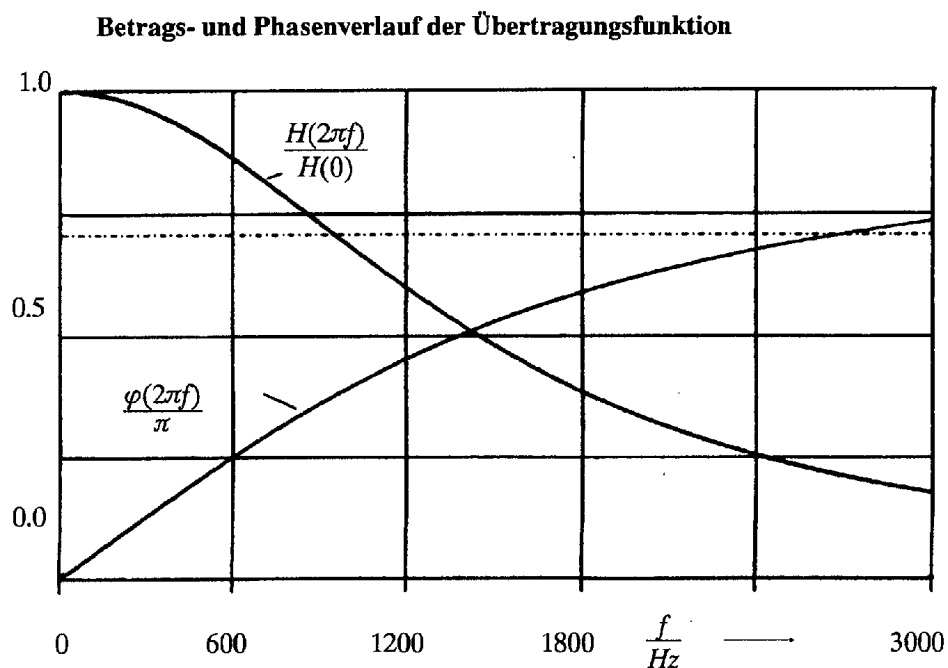
Meßaufgabe 3.3:

Ermitteln Sie bei den in der folgenden Tabelle eingetragenen Frequenzen die Phasenwinkel φ die Phasenlaufzeiten t_{ph} und die Beträge der normierten Übertragungsfunktion $H(2\pi f)$!

$\frac{f}{\text{Hz}}$	0	600	1200	1800	2400
$t_{ph}(2\pi f)$	0				
$\varphi(2\pi f)$	0				
$\frac{ H(2\pi f) }{H(0)}$	1				

Meßaufgabe 3.4:

Vergleichen Sie, ob die von Ihnen ermittelten Werte hinreichend gut übereinstimmen mit den Werten in dem folgenden Diagramm, das mithilfe eines sog. "Sweepgenerators" automatisch ermittelt wurde.



3.3 Abschätzung der Bandbreite des Systems aus der Sprungantwort

Meßaufgabe 3.5:

Erregen Sie das System mit einer tastsymmetrischen Rechteckimpulsfolge und stellen Sie die Pulsdauer und die Pulslückendauer so ein, daß das System jeweils sicher den eingeschwungenen Zustand bzw. den Nullzustand erreicht.

Begründen Sie, warum mit dieser Einstellung aus der zugehörigen Reaktion die Sprungantwort konstruiert werden kann !

(Rekonstruieren Sie die periodische Pulsfolge aus überlagerten Sprungsignalen und nutzen Sie zur Ermittlung der zugehörigen Reaktion die Zeitinvarianz- und Superpositionseigenschaften eines LZI-Systems!)

Meßaufgabe 3.6:

Bestimmen Sie aus der Anstiegszeit der Sprungantwort mit der in Aufg. 2.9 ermittelten Formel die ungefähre Grenzfrequenz dieses Tiefpaßsystems,

$$f_g \approx$$

und vergleichen Sie sie mit der sog. 3 dB-Grenzfrequenz aus dem gemessenen Verlauf im o.a. Diagramm.

Ist diese Abschätzung hinreichend gut und im Vergleich zu der meßtechnischen Ermittlung nach der Methode gemäß 3.3 einfacher?