

Block 02 — Frequenzgang, Dezibel und Bode-Diagramm

Student Group

First Name	Surname	Matrikel Nr.

Table of Contents

Block 02 — Frequenzgang, Dezibel und Bode-Diagramm	3
2.0 Einführung	3
2.0.1 Lernziele	3
2.0.2 Vorbereitung zu Hause	4
2.0.3 90-Minuten-Plan	4
2.0.4 Konzeptübersicht	4
2.1 Kerninhalt	4
2.1.1 Vom Zeitbereich zum Frequenzbereich	4
Frequenz, Periodendauer und Kreisfrequenz	5
Phase als Zeitverschiebung	5
2.1.2 Übertragungsverhältnis und Frequenzgang	6
2.1.3 Warum Dezibel?	6
Warum 20 dB bei Spannungen, aber 10 dB bei Leistungen?	7
dB ist zunächst ein Verhältnis	7
Warum ist die logarithmische Darstellung praktisch?	7
2.1.4 Das Bode-Diagramm	8
Logarithmische Frequenzachse	8
Amplitudengang	9
Phasengang	9
2.1.5 Steigungen im Bode-Diagramm	9
Praktische Untersuchung	10
2.1.6 Grenzfrequenz und -3 dB	10
Praktische Untersuchung in Falstad	11
2.1.7 Frequenzgang und die Leit-Schaltung	11
2.2 Häufige Fehler	11
2.3 Übungen	12
Exercise E02.1 Frequenz, Periodendauer und Phase	12

Exercise E02.2 Lineare Faktoren und Dezibel	12
Exercise E02.3 Hintereinandergeschaltete Stufen	13
Exercise E02.4 Ein Bode-Diagramm lesen	13
Exercise E02.5 Praktische Untersuchung eines Frequenzgangs	14
Exercise E02.6 PWM-Störung im Strommesssignal	14
2.4 Zusammenfassung	15
2.5 Ausblick	15

Block 02 — Frequenzgang, Dezibel und Bode-Diagramm

2.0 Einführung

In der Leit-Schaltung wird der Motor mit einem PWM-Signal angesteuert. Gleichzeitig soll über den Shunt ein möglichst gut auswertbares Stromsignal gewonnen werden.

Damit treffen zwei sehr unterschiedliche Betrachtungsweisen aufeinander:

- Im **Zeitbereich** sehen wir Spannungen und Ströme als Funktion der Zeit.
- Im **Frequenzbereich** betrachten wir, wie eine Schaltung auf Signale unterschiedlicher Frequenz reagiert.

Warum ist diese zweite Sichtweise hilfreich?

Betrachten wir zunächst ein Signal, das durch hochfrequente Störungen überlagert ist.

Links ist das ursprüngliche Signal zu sehen. Anschließend wird Rauschen hinzugefügt. Nach den beiden Filterstufen nimmt der hochfrequente Anteil sichtbar ab.

Dabei entsteht jedoch ein Zielkonflikt: Das Signal wird glatter, gleichzeitig werden aber auch schnelle Änderungen des Nutzsignals abgeschwächt.

Die entscheidende Frage lautet deshalb nicht nur:

„Filtert die Schaltung?“

sondern vielmehr:

„Welche Frequenzen werden wie stark übertragen?“

Genau dafür werden in diesem Block Frequenzgang, Dezibel und Bode-Diagramm eingeführt.

2.0.1 Lernziele

Nach diesem 90-minütigen Block können Sie

- zwischen Zeitbereich und Frequenzbereich unterscheiden,
- die Frequenz f , Kreisfrequenz ω und Periodendauer T ineinander umrechnen,
- ein Spannungsübertragungsverhältnis $A_{\text{V}} = U_{\text{O}} / U_{\text{I}}$ interpretieren,
- lineare Spannungsverhältnisse in Dezibel umrechnen und typische dB-Werte ohne Taschenrechner abschätzen,
- erklären, warum für Spannungen der Faktor 20 und für Leistungen der Faktor 10 im Logarithmus verwendet wird,
- Amplituden- und Phasengang unterscheiden,
- ein einfaches Bode-Diagramm lesen,
- Dekaden und Steigungen in dB/dec interpretieren,

- die Bedeutung der -3 dB -Grenzfrequenz qualitativ erklären,
- Amplitude und Phase in Falstad für verschiedene Frequenzen untersuchen.

2.0.2 Vorbereitung zu Hause

Aus den vorherigen Lehrveranstaltungen werden folgende Zusammenhänge vorausgesetzt:

- $f = 1/T$
- $\omega = 2\pi f$
- sinusförmige Spannungen und Ströme,
- komplexe Impedanzen von Widerstand und Kondensator,
- $Z_R = R$ und $Z_C = 1/(j\omega C)$.

Überlegen Sie vor der Veranstaltung:

- Was geschieht mit $|Z_C|$, wenn die Frequenz steigt?
- Warum könnte eine Schaltung auf ein Signal mit 100 Hz anders reagieren als auf ein Signal mit 100 kHz ?
- Welche Information geht verloren, wenn nur die Amplitude eines Signals betrachtet wird?

2.0.3 90-Minuten-Plan

1. **Einstieg und Simulation (10 min):** verrauschtes Signal und unterschiedliche Wirkung auf niedrige und hohe Frequenzen.
2. **Vom Zeitbereich zum Frequenzgang (15 min):** Sinus als Testsignal, Amplitudenverhältnis und Phase.
3. **Dezibel (20 min):** lineare Faktoren, dB-Skala und typische Referenzwerte.
4. **Bode-Diagramm (25 min):** logarithmische Frequenzachse, Amplituden- und Phasengang, Dekaden und Steigungen.
5. **Praktische Falstad-Untersuchung (15 min):** Frequenz verändern, Grenzfrequenz und Phase ablesen.
6. **Abschluss (5 min):** zentrale Aussagen und Verbindung zum realen Kondensator in Block 03.

2.0.4 Konzeptübersicht

1. Eine Schaltung kann unterschiedliche Frequenzen unterschiedlich stark übertragen.
2. Ein sinusförmiges Testsignal ermöglicht es, für jede Frequenz Amplitudenverhältnis und Phasenverschiebung zu bestimmen.
3. Der **Frequenzgang** beschreibt diese beiden Größen über der Frequenz.
4. Die dB-Skala stellt große Wertebereiche kompakt dar und macht Multiplikationen zu Additionen.
5. Das Bode-Diagramm verwendet eine logarithmische Frequenzachse und besteht aus Amplituden- und Phasengang.
6. Eine Steigung von -20 dB/dec bedeutet: Bei einer Verzehnfachung der Frequenz wird das Amplitudenverhältnis um den Faktor 10 kleiner.
7. Die Grenzfrequenz eines Systems erster Ordnung liegt typischerweise dort, wo der Amplitudengang gegenüber dem Durchlassbereich um -3 dB abgefallen ist.

2.1 Kerninhalt

2.1.1 Vom Zeitbereich zum Frequenzbereich

Bisher wurden Spannungen häufig als Funktion der Zeit betrachtet: $u(t)$.

Eine solche Darstellung beantwortet beispielsweise die Fragen:

- Wann ändert sich das Signal?
- Wie groß ist die Spannung zu einem bestimmten Zeitpunkt?
- Wie schnell steigt oder fällt eine Flanke?

Für viele elektronische Schaltungen ist aber zusätzlich interessant, wie die Schaltung auf **unterschiedliche Frequenzen** reagiert.

Als Testsignal eignet sich besonders eine sinusförmige Spannung

$$u_{\text{I}}(t) = \hat{U}_{\text{I}} \sin(\omega t)$$

Nach dem Einschwingen entsteht in einer linearen Schaltung am Ausgang wieder ein sinusförmiges Signal mit derselben Frequenz. Seine Amplitude und seine zeitliche Lage können sich jedoch ändern:

$$u_{\text{O}}(t) = \hat{U}_{\text{O}} \sin(\omega t + \varphi)$$

Damit reichen zwei Größen aus, um die Wirkung der Schaltung bei einer bestimmten Frequenz zu beschreiben:

- das **Amplitudenverhältnis** $|A_{\text{V}}| = \hat{U}_{\text{O}} / \hat{U}_{\text{I}}$ und
- die **Phasenverschiebung** φ .



Ein Frequenzgang beantwortet für jede Frequenz zwei Fragen:

- **Wie stark** wird das Signal übertragen?
- **Wie stark zeitlich verschoben** erscheint es am Ausgang?

Frequenz, Periodendauer und Kreisfrequenz

Für ein periodisches Signal gilt $f = 1/T$.

Die Kreisfrequenz lautet $\omega = 2\pi f$.

Damit entspricht beispielsweise eine Frequenz von $f = 1 \sim \text{kHz}$ einer Periodendauer von $T = 1 \sim \text{ms}$ und einer Kreisfrequenz von ungefähr $\omega = 6283 \sim \text{rad/s}$.

In Datenblättern, Simulationen und Bode-Diagrammen wird meist die Frequenz f in Hz verwendet. In Gleichungen ist dagegen häufig ω zu finden.

Phase als Zeitverschiebung

Die Phase kann auch aus einer Zeitverschiebung zwischen zwei sinusförmigen Signalen bestimmt werden.

Eine vollständige Periodendauer T entspricht 360° . Für eine Zeitverschiebung Δt gilt daher

$$\varphi = 360^\circ \cdot \{\Delta t / T\}$$

Je nach Richtung der Verschiebung wird die Phase positiv oder negativ angegeben.

Beispiel: Bei $f=1\text{~kHz}$ gilt $T=1\text{~ms}$. Ist das Ausgangssignal gegenüber dem Eingang um $250\text{~}\mu\text{s}$ verzögert, entspricht dies einer Phasenverschiebung von 90° .

2.1.2 Übertragungsverhältnis und Frequenzgang

Das Spannungsübertragungsverhältnis einer Schaltung wird mit

$$A_{\text{V}} = \frac{U_{\text{O}}}{U_{\text{I}}}$$

beschrieben.

Ist $A_{\text{V}}=1$, besitzen Ein- und Ausgang dieselbe Amplitude. Bei $A_{\text{V}}=0.1$ besitzt das Ausgangssignal nur noch ein Zehntel der Eingangsamplitude.

Für eine frequenzabhängige Schaltung ist A_{V} jedoch keine einzelne Zahl mehr:

$$A_{\text{V}} = A_{\text{V}}(f).$$

Zusätzlich kann zwischen Ein- und Ausgang eine Phasenverschiebung entstehen. Vollständig wird die Übertragung deshalb durch eine komplexe Größe beschrieben:

$$\underline{A_{\text{V}}}(f) = \frac{\underline{U_{\text{O}}}(f)}{\underline{U_{\text{I}}}(f)}.$$

Für die praktische Betrachtung wird diese komplexe Größe in Betrag und Phase zerlegt:

- $|\underline{A_{\text{V}}}(f)|$: Amplitudenverhältnis
- $\varphi(f)$: Phasenverschiebung

Wir werden im Folgenden vor allem lernen, diese beiden Größen **zu lesen und zu interpretieren**. Die detaillierte Herleitung konkreter Filter folgt später.

2.1.3 Warum Dezibel?

Ein Amplitudenverhältnis kann direkt als linearer Faktor angegeben werden.

Beispielsweise bedeutet $A_{\text{V}}=0.001$, dass am Ausgang nur noch ein Tausendstel der Eingangsamplitude vorhanden ist.

Bei Schaltungen mit großen Frequenzbereichen entstehen schnell sehr kleine oder sehr große Zahlen. Deshalb wird in der Elektronik häufig die logarithmische Einheit **Dezibel** verwendet.

Für ein Spannungs- oder Stromverhältnis gilt

$$A_{\text{V,dB}} = 20 \log_{10}(|A_{\text{V}}|).$$

Einige Werte sollte man ohne Taschenrechner erkennen können:

linearer Faktor $ A_{\text{V}} $	Pegel
0.01	-40~dB
0.1	-20~dB

linearer Faktor $ A_{\rm V} $	Pegel
$1/\sqrt{2} \approx 0.707$	ungefähr -3 dB
1	0 dB
2	ungefähr $+6 \text{ dB}$
10	$+20 \text{ dB}$
100	$+40 \text{ dB}$



Drei wichtige Ankerpunkte

- Faktor 10 $\rightarrow +20 \text{ dB}$
- Faktor 2 $\rightarrow$ ungefähr $+6 \text{ dB}$
- Faktor 1 $\rightarrow 0 \text{ dB}$

Warum 20 dB bei Spannungen, aber 10 dB bei Leistungen?

Für Leistungsverhältnisse gilt

$$A_{\rm P, dB} = 10 \log_{10}(P_2/P_1).$$

Der Unterschied entsteht, weil bei konstantem Widerstand die Leistung proportional zum Quadrat der Spannung ist: $P \sim U^2$.

Damit führt beispielsweise eine Verzehnfachung der Spannung zu einer Verhundertfachung der Leistung.

Für die Spannung ergibt sich $20 \log_{10}(10) = 20 \text{ dB}$.

Für die Leistung ergibt sich entsprechend $10 \log_{10}(100) = 20 \text{ dB}$.

Beide Darstellungen beschreiben also dieselbe physikalische Änderung.

dB ist zunächst ein Verhältnis

Die Einheit dB allein beschreibt zunächst ein **Verhältnis**.

Davon zu unterscheiden sind Angaben wie dBV oder dBm , bei denen ein fester Bezugswert definiert ist.

Angabe	Bezugswert
dB	Verhältnis zweier Größen
dBV	$0 \text{ dBV} \hat{=} 1 \text{ V}$
dBm	$0 \text{ dBm} \hat{=} 1 \text{ mW}$

Für diesen Kurs wird im Zusammenhang mit Bode-Diagrammen überwiegend das dimensionslose Übertragungsverhältnis in dB verwendet.

Warum ist die logarithmische Darstellung praktisch?

Nehmen wir zwei hintereinandergeschaltete Stufen mit $A_1 = 10$ und $A_2 = 0.1$.

Linear müssen die Faktoren multipliziert werden:

$$A_{\text{ges}} = A_1 \cdot A_2 = 10 \cdot 0.1 = 1.$$

In dB werden daraus

$$A_1 = 20 \text{ dB} \text{ und } A_2 = -20 \text{ dB}.$$

Damit gilt einfach:

$$A_{\text{ges, dB}} = 20 \text{ dB} - 20 \text{ dB} = 0 \text{ dB}.$$



Bei hintereinandergeschalteten Übertragungsstufen gilt:

- lineare Faktoren werden **multipliziert**,
- dB-Werte werden **addiert**.

2.1.4 Das Bode-Diagramm

Um das Verhalten einer Schaltung über einen großen Frequenzbereich darzustellen, wird häufig das **Bode-Diagramm** verwendet.

Es besteht aus zwei Diagrammen:

- dem **Amplitudengang** und
- dem **Phasengang**.

Die Frequenzachse ist dabei logarithmisch.

Die Schaltung zeigt einen einfachen RC-Tiefpass. Der Filter selbst wird erst in einem späteren Block ausführlich hergeleitet und dimensioniert. Hier dient er zunächst nur als **Versuchsobjekt für das Bode-Diagramm**.

Bewegen Sie den Mauszeiger über den Frequenzgang und beobachten Sie

- die Frequenz,
- das Amplitudenverhältnis in dB und
- die Phase.

Logarithmische Frequenzachse

Eine logarithmische Achse besitzt keine gleichmäßigen Abstände für gleiche Frequenzdifferenzen.

Stattdessen entsprechen gleiche Abstände gleichen **Faktoren**.

Der Bereich von

$$100 \text{ Hz} \text{ bis } 1 \text{ kHz}$$

nimmt daher genauso viel Platz ein wie

$1\sim\mathrm{kHz}$ bis $10\sim\mathrm{kHz}$.

Eine Verzehnfachung der Frequenz wird als **Dekade** bezeichnet.

Beispiele:

- $10\sim\mathrm{Hz}\rightarrow 100\sim\mathrm{Hz}$: eine Dekade
- $1\sim\mathrm{kHz}\rightarrow 10\sim\mathrm{kHz}$: eine Dekade
- $10\sim\mathrm{kHz}\rightarrow 1\sim\mathrm{MHz}$: zwei Dekaden

Diese Darstellung ist sehr praktisch, weil elektronische Systeme häufig über viele Größenordnungen betrachtet werden.

Amplitudengang

Im oberen bzw. ersten Teil eines Bode-Diagramms wird der Betrag des Übertragungsverhältnisses in dB dargestellt.

Ein Wert von $0\sim\mathrm{dB}$ bedeutet $|A_{\mathrm{V}}|=1$.

Bei $-20\sim\mathrm{dB}$ ist die Ausgangsamplitude nur noch ein Zehntel der Eingangsamplitude.

Bei $-40\sim\mathrm{dB}$ ist sie nur noch ein Hundertstel.

Phasengang

Der Phasengang zeigt die Phasenverschiebung zwischen Ein- und Ausgang.

Eine Phase von 0° bedeutet, dass beide Sinussignale ihre Nulldurchgänge und Maxima gleichzeitig erreichen.

Eine Phase von -90° entspricht einer Verzögerung um ein Viertel der Periodendauer.



Das Bode-Diagramm zeigt dieselbe Schaltung aus zwei Blickwinkeln:

- **Amplitudengang:** Wie viel kommt noch am Ausgang an?
- **Phasengang:** Wie stark ist das Ausgangssignal gegenüber dem Eingang verschoben?

2.1.5 Steigungen im Bode-Diagramm

Eine große Stärke der logarithmischen Darstellung ist, dass Potenzfunktionen zu Geraden werden.

Nehmen wir beispielsweise ein Verhalten

$$|A(f)| \sim 1/f.$$

Wird die Frequenz um den Faktor 10 erhöht, sinkt das Amplitudenverhältnis ebenfalls um den Faktor 10.

Ein Faktor 0.1 entspricht $-20\sim\mathrm{dB}$.

Im Bode-Diagramm entsteht daher eine Steigung von

$-20 \sim \mathrm{dB/dec}$.

Entsprechend gilt:

Verhalten	Änderung bei $f \times 10$	Steigung
$A(f) \sim f$	Faktor 10	$+20 \sim \mathrm{dB/dec}$
$A(f) \sim 1/f$	Faktor 0.1	$-20 \sim \mathrm{dB/dec}$
$A(f) \sim 1/f^2$	Faktor 0.01	$-40 \sim \mathrm{dB/dec}$



$-20 \sim \mathrm{dB/dec}$ bedeutet nicht „minus 20 dB pro Hertz“.

Es bedeutet: **Bei jeder Verzehnfachung der Frequenz fällt der Pegel um $20 \sim \mathrm{dB}$.**

Praktische Untersuchung

Verwenden Sie erneut die Falstad-Simulation des RC-Glieds.

1. Suchen Sie einen Punkt im Frequenzgang, bei dem die Verstärkung ungefähr $-20 \sim \mathrm{dB}$ beträgt. 2. Erhöhen Sie die betrachtete Frequenz ungefähr um den Faktor 10. 3. Lesen Sie erneut die Verstärkung ab.

Im Bereich deutlich oberhalb der Grenzfrequenz sollte die Änderung näherungsweise $-20 \sim \mathrm{dB}$ pro Dekade betragen.

2.1.6 Grenzfrequenz und -3 dB

Im Bode-Diagramm des RC-Glieds ist ein Übergang zwischen zwei Bereichen zu erkennen:

- bei niedrigen Frequenzen liegt der Amplitudengang ungefähr bei $0 \sim \mathrm{dB}$,
- bei hohen Frequenzen fällt er mit ungefähr $-20 \sim \mathrm{dB/dec}$.

Der Übergangsbereich wird durch die **Grenzfrequenz** charakterisiert.

Für ein System erster Ordnung liegt der Betrag an der Grenzfrequenz beim Faktor

$$|A| = 1/\sqrt{2} \approx 0.707$$

des Werts im Durchlassbereich.

In Dezibel ergibt sich daraus ungefähr

$$20 \log_{10}(0.707) \approx -3 \sim \mathrm{dB}.$$

Deshalb wird häufig auch von der **$-3 \sim \mathrm{dB}$ -Grenzfrequenz** gesprochen.



$-3 \sim \mathrm{dB}$ bedeutet bei einem Spannungsverhältnis **nicht**, dass die Spannung halbiert wurde.

Es gilt:



- Spannung: ungefähr 0.707 des Ausgangswerts,
- Leistung bei gleichem Widerstand: ungefähr 0.5 der Leistung.

Praktische Untersuchung in Falstad

Bestimmen Sie mit dem Cursor in der Simulation näherungsweise die Frequenz, bei der der Amplitudengang -3 dB erreicht.

Beobachten Sie an derselben Stelle zusätzlich die Phase.

Für einen idealen RC-Tiefpass erster Ordnung liegt sie an dieser Stelle bei ungefähr -45° .

Die mathematische Herleitung dieses Zusammenhangs folgt im späteren Filterblock. Hier ist zunächst wichtig, die charakteristischen Punkte im Bode-Diagramm erkennen zu können.

2.1.7 Frequenzgang und die Leit-Schaltung

Warum benötigen wir dieses Werkzeug für die Motortreiberschaltung?

Das PWM-Signal der Leit-Schaltung besitzt eine Grundfrequenz von ungefähr 30 kHz . Schnelle Schaltvorgänge erzeugen darüber hinaus weitere hochfrequente Signalanteile.

Auch das gemessene Shunt-Signal kann daher neben dem gewünschten Stromverlauf schnelle Störungen und Schaltanteile enthalten.

Wenn später ein Filter für dieses Signal ausgewählt wird, reicht die Aussage

„Das Signal soll geglättet werden.“

nicht aus.

Stattdessen müssen Fragen beantwortet werden wie:

- Welche Frequenzanteile gehören zum Nutzsignal?
- Welche Frequenzanteile sollen abgeschwächt werden?
- Wie stark soll die Abschwächung bei 30 kHz sein?
- Wie viel Phasenverschiebung ist noch akzeptabel?

Das Bode-Diagramm ist das Werkzeug, mit dem diese Fragen quantitativ beschrieben werden können.

In diesem Block wurde also noch kein Filter **dimensioniert**. Zunächst wurde die Sprache eingeführt, mit der sein Verhalten beschrieben werden kann.

2.2 Häufige Fehler

- **dB mit einem absoluten Spannungswert verwechseln:** Eine Angabe in dB beschreibt zunächst ein Verhältnis.
- **Für Spannungen $20\log$ verwenden:** Für Spannungs- und Stromverhältnisse wird $20\log_{10}$ verwendet.
- **-3 dB mit halber Spannung gleichsetzen:** -3 dB entsprechen

ungefähr dem Spannungsfaktor 0.707 .

- **Eine logarithmische Frequenzachse wie eine lineare Achse lesen:** Gleiche Abstände entsprechen gleichen Faktoren und nicht gleichen Frequenzdifferenzen.
- **$\mathrm{dB/dec}$ mit $\mathrm{dB/Hz}$ verwechseln:** Eine Dekade entspricht einer Verzehnfachung der Frequenz.
- **Nur den Amplitudengang betrachten:** Ein Frequenzgang enthält zusätzlich die Phaseninformation.
- **Phase und Zeitverschiebung verwechseln:** Dieselbe Zeitverschiebung entspricht bei unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlichen Phasenwinkeln.
- **Den Frequenzgang als Einschaltvorgang interpretieren:** Der klassische Frequenzgang beschreibt das eingeschwungene Verhalten bei sinusförmiger Anregung.

2.3 Übungen

Exercise E02.1 Frequenz, Periodendauer und Phase

Die Ausgangsspannung einer Filterstufe beträgt $50\ \mu\text{s}$. Wie groß ist die Periodendauer T bei einer Frequenz von $20\ \text{kHz}$?
 1. Bestimmen Sie die Periodendauer T .

Solution
 Solution

Bei 40 vollständigen Perioden beträgt die $50\ \mu\text{s}$ Zeitdauer.
 Mit $T = 1/f$ ergibt sich
 $T = 1/20\ \text{kHz} = 50\ \mu\text{s}$.
 $T = 1/20\ \text{kHz} = 50\ \mu\text{s}$.
 $\varphi = 360^\circ \cdot 5\ \mu\text{s} / 50\ \mu\text{s} = 36^\circ$.

Da $\varphi = 360^\circ \cdot (5\ \mu\text{s} / 50\ \mu\text{s}) = 36^\circ$ die Phase üblicherweise als negativ angegeben:
 Das Ausgangssignal ist verzögert, daher gilt ungefähr
 $\varphi \approx -36^\circ$.
 $\varphi = -72^\circ$.

Die gleiche Zeitverzögerung führt bei höherer Frequenz also zu einer größeren Phasenverschiebung.

Exercise E02.2 Lineare Faktoren und Dezibel

Wie hoch ist der Spannungspegel in dB bei einer Verstärkung von 0.707 ?
 1. Wie hoch ist der Spannungspegel in dB bei einer Verstärkung von 0.707 ?
 Spannung ungefähr reduziert?

Solution Welchem dB-Wert entspricht ein Spannungsverhältnis von $A_{\text{V}}=10$?

Solution

$A_{\text{V,dB}} = 20 \log_{10}(A_{\text{V}}) = 20 \log_{10}(10) = 20 \text{ dB}$ entspricht einem Faktor 2.

Ein Spannungsverhältnis von $A_{\text{V,dB}} = 20 \text{ dB}$ entspricht einem Faktor 10.

Für Spannungsverhältnisse gilt

$$A_{\text{V,dB}} = 20 \log_{10}(A_{\text{V}}) \Rightarrow A_{\text{V}} = 10^{A_{\text{V,dB}}/20}$$

$$A_{\text{V,dB}} = 20 \log_{10}(A_{\text{V}}) \Rightarrow A_{\text{V}} = 10^{20/20} = 10$$

$A_{\text{V,dB}} = 20 \log_{10}(A_{\text{V}}) \Rightarrow A_{\text{V}} = 10^{20/20} = 10$ so groß wie die Eingangsspannung.

Für $A_{\text{V}}=10$ ergibt sich direkt:

$$A_{\text{V,dB}} = 20 \text{ dB}$$

Exercise E02.3 Hintereinandergeschaltete Stufen

Drei Stufen sind hintereinandergeschaltet. Die Verstärkungen sind in dB um:

- $A_1 = 10$,

Solution $A_2 = 0.1$ und

- $A_3 = 2$.

1. Bestimmen Sie das gesamte lineare Spannungsübertragungsverhältnis.

Es gilt: dB-Darstellung werden die einzelnen Werte addiert:

Solution

$$A_{\text{ges,dB}} = 20 \log_{10}(A_1) + 20 \log_{10}(A_2) + 20 \log_{10}(A_3) = 20 \log_{10}(10) - 20 \log_{10}(10) + 20 \log_{10}(2) = 6 \text{ dB}$$

$$A_{\text{ges}} = 10^{6/20} \approx 2$$

Dies entspricht wie erwartet ungefähr einem linearen Faktor 2.

Bei hintereinandergeschalteten Stufen werden die linearen Faktoren multipliziert:

$$A_{\text{ges}} = 10 \cdot 0.1 \cdot 2 = 2$$

Exercise E02.4 Ein Bode-Diagramm lesen

Ein System besitzt eine Verstärkung von 20 dB bei 1 kHz und eine Verstärkung von 20 dB bei 10 kHz .

Wie verändert sich die Verstärkung bei 1 kHz und 10 kHz ?

Welcher Pegel ist näherungsweise bei 10~kHz zu erwarten?

Solution

Von 1~kHz bis 10~kHz sind es zwei Dekaden.

Der Betrag des Bode-Diagramms entspricht einem Faktor von 0.01 .

Von 1~kHz nach 10~kHz liegt genau eine Dekade.

Das Ausgangssignal bei 10~kHz beträgt 10~dB noch ungefähr ein Zehntel

des Wertes bei 1~kHz . Der Pegel sinkt also auf -20~dB .

Der Pegel beträgt also -20~dB .

-20~dB .

Exercise E02.5 Praktische Untersuchung eines Frequenzgangs

Beobachten Sie, wie sich der charakteristische Übergang im Bode-Diagramm verschiebt.

1. Bestimmen Sie mit dem Cursor näherungsweise die Frequenz, bei der der Amplitudengang

0~dB erreicht.

Solution

Solution

Solution

Der Amplitudengang liegt ungefähr 20~dB unterhalb der Phase.

Die Grenzfrequenz wird kleiner.

Die Grenzfrequenz wird kleiner.

Die Grenzfrequenz wird kleiner.

Die Grenzfrequenz wird kleiner.

Die Grenzfrequenz wird kleiner.

Die Grenzfrequenz wird kleiner.

Die Grenzfrequenz wird kleiner.

Die Grenzfrequenz wird kleiner.

Die Grenzfrequenz wird kleiner.

Exercise E02.6 PWM-Störung im Strommesssignal

Die Amplitude des Strommesssignals beträgt 10~mA . Wie groß ist die Amplitude des Strommesssignals nach dem Filter?

Solution

Lösung: Zusammen, ein später eingesetztes Filter besitzt bei $30\text{~}\mathrm{kHz}$ eine Dämpfung von $-12\text{~}\mathrm{dB}$.

1. Schätzen Sie den zugehörigen linearen Spannungsfaktor ab.

Die Dämpfung bei $30\text{~}\mathrm{kHz}$ ergibt sich aus der Beschreibung nur einen einzelnen Punkt des Frequenzgangs.

$$\hat{U}_{\mathrm{O}} \approx 0.25 \cdot 80\text{~}\mathrm{mV} = 20\text{~}\mathrm{mV}.$$

Zusätzlich muss bekannt sein,

- welche Frequenzanteile zum Nutzsignal gehören, $-12\text{~}\mathrm{dB}$ können als zweimal $-6\text{~}\mathrm{dB}$ betrachtet werden.

- welche Phasenverschiebung entsteht und
- Änderung um $-6\text{~}\mathrm{dB}$ entspricht ungefähr einer Halbierung der Spannung.

Jede Änderung um $-6\text{~}\mathrm{dB}$ entspricht ungefähr einer Halbierung der Spannung. Wie sich höhere Frequenzanteile bzw. Oberwellen verhalten. Ein Filter muss daher immer über einen relevanten Frequenzbereich betrachtet werden. Damit gilt näherungsweise:

$$A_{\mathrm{V}} \approx 0.5 \cdot 0.5 = 0.25.$$

2.4 Zusammenfassung

- Der Frequenzgang beschreibt, wie eine Schaltung sinusförmige Signale unterschiedlicher Frequenz überträgt.
- Zur vollständigen Beschreibung gehören Amplitudenverhältnis und Phasenverschiebung.
- Für Spannungsverhältnisse gilt $A_{\mathrm{dB}} = 20 \log_{10}(|A|)$.
- $0\text{~}\mathrm{dB}$ entsprechen einem Faktor 1, $20\text{~}\mathrm{dB}$ einem Faktor 10 und ungefähr $6\text{~}\mathrm{dB}$ einem Faktor 2.
- Das Bode-Diagramm besitzt eine logarithmische Frequenzachse sowie einen Amplituden- und einen Phasengang.
- Eine Dekade entspricht einer Verzehnfachung der Frequenz.
- $-20\text{~}\mathrm{dB/dec}$ bedeuten eine Verringerung des Amplitudenverhältnisses um den Faktor 10 je Frequenzdekade.
- Bei einem System erster Ordnung liegt die Grenzfrequenz bei ungefähr $-3\text{~}\mathrm{dB}$ gegenüber dem Durchlassbereich.
- $-3\text{~}\mathrm{dB}$ entsprechen einem Spannungsfaktor von ungefähr 0.707 , nicht 0.5 .
- Bode-Diagramme ermöglichen es, Nutz- und Störfrequenzen einer realen Schaltung gezielt zu beurteilen.

2.5 Ausblick

Bisher wurde ein Kondensator im Frequenzbereich mit der idealen Impedanz

$$Z_{\mathrm{C}} = \frac{1}{j\omega C}$$

beschrieben.

Diese Gleichung sagt voraus, dass der Betrag der Impedanz mit steigender Frequenz immer weiter

abnimmt.

Ein realer Kondensator verhält sich jedoch nur in einem begrenzten Frequenzbereich so.

Im nächsten Block wird deshalb der **reale Kondensator** betrachtet: Bauformen, ESR, ESL, Resonanzfrequenz, Spannungsabhängigkeit und die Frage, warum ein Kondensator bei hohen Frequenzen schließlich sogar induktives Verhalten zeigen kann.

From:

<https://wiki.mexle.org/> - **MEXLE Wiki**

Permanent link:

https://wiki.mexle.org/elektronische_schaltungstechnik/block02?rev=1790543112

Last update: **2026/09/27 23:05**

