

Kommentar zu den Lösungsvorschlägen

2.1. oK

2.2. Die angegebene Antwort ist richtig. Es gibt noch mindestens drei weitere, die aber in Repetitorium und Übungen nicht verwendet werden:

o) Wenn ein Kondensator mit einer Kapazität von 1 F für 1 s mit einem Strom von 1 A geladen wird, hat sich danach seine Spannung um 1 V erhöht.

o) Mittels des Weston – Normalelementes. Das war für den Großteil des 20. Jahrhunderts auch die amtliche Maßverkörperung.

Details siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/Weston-Normalelement>.

o) Und schließlich die besonders genaue, moderne, aber unhandliche und nicht intuitive Definition über den Zusammenhang zwischen Spannung und Frequenz an einem Josephson – Kontakt. Siehe dazu <https://de.wikipedia.org/wiki/Josephson-Effekt>.

2.3. oK

2.4. oK

2.5. Die gegebenen Antworten sind richtig, aber essentiell unvollständig. Gefragt ist nicht die Berechnungsformel, sondern die Definition. Und diese lautet

$$P = \frac{dW}{dt}$$

(Skriptum S.24)

2.6. oK

2.7. Die Nicht – Beachtung des Hinweises führte leider zu einer Serie von Problemen. Die Frage wird geändert.

2.8. oK

2.9. oK

2.10. oK

2.11. oK

2.12. oK

2.13. oK

1.3.1. oK

1.3.2. oK

1.3.3. oK

1.3.4. oK

1.4.1. oK

1.4.2. oK

1.4.3. oK

1.4.4. Die Formulierung „Jetzt wird die Spannungsquelle weggelassen“ empfehle ich nicht. Bitte die eindeutige Formulierung „Im zweiten Schritt wird die Spannungsquelle durch einen Kurzschluss ersetzt“ verwenden. Das ist elektrotechnisch korrekter und verleitet nicht zu Fehlern. Bitte auch die beliebte Formulierung „Im zweiten Schritt wird die Spannungsquelle kurzgeschlossen“ unterlassen! Warum wohl?

Der Rest ist in Ordnung. Die alternative Lösung über Kirchhoff empfehle ich nur den wirklich Geübten!

1.4.5. oK und korrekt argumentiert.

1.5.1. oK

1.5.2. Für die Besprechung sind die Antworten in Ordnung.

Das Stellelement für die Skalierung der Vertikalablenkung ist allerdings üblicherweise kein Potentiometer, sondern ein Stufenschalter bzw. ein entsprechender Dreh - Encoder. Potentiometer nennt man üblicherweise (!) nur stetig einstellbare Stellelemente.

1.5.3. Die Formulierung „Damit kann die Spannung gestreckt oder zusammengedrückt werden.“ schmerzt. Nein, die arme Spannung wird nicht gequetscht! Wenn schon, dann wird der Graph der Spannung als Funktion der Zeit gestreckt oder gestaucht. Wenn das schon sein muss...

Der Rest ist in Ordnung.

1.5.4. Die Einschränkung auf ein periodisches Signal ist erstens unnötig und zweitens falsch. Gerade auch bei selten auftretenden Signalen ist die Trigger - Funktion unerlässlich!

„Meistens wird auch CH1 - CH4 getriggert“ ist wohl ein Schreibfehler. Korrekt heißt es „Meistens wird auf CH1 - CH4 getriggert“

Der Rest ist in Ordnung.

1.5.5. oK

1.5.6. oK

1.5.7. oK und sehr schön ausgearbeitet.

1.5.8. Das Problem ist nicht, dass der Widerstand zerstört werden könnte. Ein kurzgeschlossener Widerstand wird durch Anlegen einer Spannung nicht zerstört! Warum wohl??? Nein, je nachdem welcher Anschluss des Funktionsgenerators mit der Erde verbunden ist, - was geschieht dann mit den Signalen X bzw. Y1? Aber da kommt Ihr selbst drauf.

1.5.9. Guess... Die Antworten sind vollständig und weitgehend richtig. Nur bei der Parameterdarstellung des Kreises ist ein kleiner Fehler passiert. Welcher? Da kommt Ihr selbst drauf.

2.3.1. Nahezu völlig korrekt.

Das Spektrum einer periodischen Sinus – Funktion über das Fourier – Integral darzustellen, führt wie angegeben zu einer Distribution. (Warum schon wieder selbst auspeitschen?). Mit einer (überaus kurzen) Fourier – Reihe geht das einfach und problemlos.

Die Aussage des letzten Satzes „dass symmetrische Signale nie gerade Oberschwingungen haben“ ist aber definitiv falsch. Gegenbeispiele: Zweiweg – gleichgerichteter Sinus oder auch Betragssinus, Einweg gleichgerichteter Sinus, quadratischer Parabelbogen, ...

2.3.2. Stimmt, diese Kritik geht auf meine Kappe. Die Frage wird nachgebessert.

Die gewünschte Darstellung des Widerstandes bzw. Blindwiderstandes als Funktion der Frequenz bezieht sich auf alle drei Fragen.

Die angegebenen Antworten sind korrekt und wunschgemäß.

2.3.3. Die erste Formel ist falsch! Seltsamerweise geht es dann aber richtig weiter.

Das Bel dient ursprünglich zur Kennzeichnung des dekadischen Logarithmus des Verhältnisses zweier gleichartiger Leistungs- bzw. Energiegrößen P1 und P2:

$$L = \lg \frac{P_2}{P_1} B = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} dB$$

In linearen Systemen verhalten sich die Leistungs- bzw. Energiegrößen P proportional zu den Quadraten der einwirkenden Effektivwerte von elektrischer Spannung, Schalldruck und dergleichen.

$$P \sim \hat{x}^2$$

Denkt beispielsweise an den elementaren Zusammenhang im Gleichstromkreis

$$P = U \cdot I = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

Sollen Verhältnisse von Effektivwerten berechnet werden, geschieht dies über das Verhältnis der Quadrate dieser Größen und es gilt

$$L = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} dB = 10 \lg \frac{\hat{x}_2^2}{\hat{x}_1^2} dB = 20 \lg \frac{\hat{x}_2}{\hat{x}_1} dB$$

Durch das Quadrieren werden Pegelangaben für Energiegrößen und Feldgrößen direkt vergleichbar. So weit so gut – damit sind wir mitten in den Verwirrungen rund um das dB. Denn einmal bedeuten 10 dB ein Verhältnis von 1:10, ein anderes Mal 1: 3,16.

Um die Angabe dB richtig interpretieren zu können, muss man wissen, was da verglichen wird!

(Skriptum S.119)

Also: Bei Spannungen 20 log, bei Energie oder Leistung 10 log!

2.3.4. Der Verweis führt zu bekanntlich höchst problematischen Aussagen.

2.3.5. Absolut korrekt argumentiert.

2.4.1. oK

2.4.2. oK

2.4.3. oK

2.4.4. oK

2.4.5. oK

2.4.6. oK

2.4.7. oK

2.4.8. Der Pflichtteil der Frage ist korrekt beantwortet.

Die Erklärung der negativen Ausgangsspannung ergibt sich einsichtiger, wenn man die Polarität der Spannung einzeichnet, auf die der Kondensator aufgeladen ist. Es sei die Eingangsspannung links und der Lastwiderstand rechts. Dann ist der Kondensator am Ende der Zeit der positiven Eingangsspannung so aufgeladen, dass links Plus und rechts Minus ist. Wird nun die Eingangsspannung Null, ist kurzzeitig der Pluspol des Kondensators auf Null, daher wird der rechte Anschluss auf Minus gedrückt. Schließlich ist ein Kondensator ein Bauteil, das versucht, die an ihm liegende Spannung konstant zu halten.

2.4.9. Die Antworten sind einwandfrei und können so belassen werden.

2.4.10. So ist es.

2.4.11. Der erste Teil der Antwort ist richtig. Die gesuchte Größe ist die „Filtersteilheit“. Sie ist – weit genug weg von der Grenzfrequenz – ein sicheres Maß für die ... Aber das wisst Ihr ja schon.

2.4.12. Siehe 2.4.11.

2.5.1. Die Antwort ist richtig und vollständig.

Nur bitte: Schaut Euch die Kurvenform der Übertragungsfunktion in den Simulationen an! Die haben in doppelt – logarithmischer Darstellung weder Schwänzchen noch gaudische Kurven. Bis auf die leichte Verrundung im Bereich der Grenzfrequenz sind das gerade Linien!

2.5.2. So ist es.

Kleiner Tipp: Statt „starke“ und „schwache“ Dämpfung ist es geschickter, die Adjektive „hohe“ und „niedrige“ zu verwenden. Dann haben nämlich die Werte des Widerstandes die gleichen Adjektive.

Der Zusatz ist für die Praxis extrem wichtig, da man versucht, das Einstellverhalten von Regelkreisen oder bewegten Objekten auf den aperiodischen Grenzfall hin zu optimieren. Genau dann treten weder Schwingungen auf, noch dauert es unnötig lange, bis der Sollzustand erreicht ist.

3.3.1. oK

3.3.2. Der angegebene Lösungsweg ist natürlich korrekt.

Viel einfacher und übersichtlicher gelingt die Herleitung aber, wenn die Voraussetzung bedacht wird, dass am negativen Eingang ein virtueller Nullpunkt ist.

Dann werden bei beiden Maschen trivial, da die Eingangsspannung nur an R1 und die Ausgangsspannung nur an R2 liegt. Die etwas unübersichtliche zweifache Anwendung von Kirchhoff 2 kann entfallen. Kirchhoff 1, Ohm'sches Gesetz und Ihr seid fertig.

3.3.3. oK

3.3.4. oK

3.3.5. Genau so.

Geübte HörerInnen können sich die Herleitung sparen, wenn sie die Spannungsteilerregel verwenden. Denn wenn das Verhältnis der Teilspannungen gleich dem der Teilwiderstände ist, dann ist das Ergebnis intuitiv. (Verpflichtend ist dieser Weg natürlich nicht.)

3.3.6. Passt.

Zu den Ergänzungen: Ein idealer OPV verhält sich ausgangsseitig wie eine ideale Spannungsquelle. Die nachfolgende Ergänzung ist falsch, denn die Widerstände im Gegenkopplungskreis gehen im Idealfall nicht in den Ausgangswiderstand ein. Außerdem ist irgendein Widerstand parallel 0 Ohm eben 0 Ohm, wie auch angeführt. Macht es nicht unnötig kompliziert!

Die Auslegung der Widerstände im Gegenkopplungskreis ist bei realen (!) Verstärkerschaltungen gegebenenfalls von Bedeutung. Da müssen aber selbst die Profis in Datenblätter und Applikationsschaltungen schauen, das ist alles andere als einfach. Euch setzen wir selbstverständlich solchen Designproblemen nicht aus! Wozu auch?

3.3.7. Naja. Ich möchte gerne hören, dass am negativen Eingang des OPV in dieser Schaltung ein virtueller Nullpunkt ist.

3.4.1. Teilweise. Für viele HörerInnen ein Problem ist das mit den -3dB bei Grenzfrequenz. Die schleppen sie dann fälschlich mit. Schaut nochmals auf die Übertragungsfunktion des Tiefpassfilters 1. Ordnung. Wenn Ω die normierte Grenzfrequenz ist, dann lautet der Realteil der Übertragungsfunktion (Amplitudengang)

$$|H(\Omega)| = \frac{1}{\sqrt{(1 + \Omega^2)}}$$

(Skriptum S.133).

Bei $\Omega = 1$

$$|H(1)| = \frac{1}{\sqrt{(1 + 1^2)}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = -3,01 \text{ dB}$$

Bei $\Omega = 10$

$$|H(10)| = \frac{1}{\sqrt{(1 + 10^2)}} = \frac{1}{\sqrt{101}} = -20,04 \text{ dB}$$

Bei $\Omega = 100$

$$|H(100)| = \frac{1}{\sqrt{(1 + 100^2)}} = \frac{1}{\sqrt{10001}} = -40,0004 \text{ dB}$$

Und bitte: Wenn Ihr die Vertikalen einzeichnet, was im Lösungsblatt unterblieben ist, dann achte ich darauf, dass diese (ungefähr, also im Rahmen der Genauigkeit der Handskizze) in x – Richtung gleiche Abstände haben. Wem das nicht klar ist, bitte nochmals ins Gymnasium gehen!

Der ganze kurze Absatz „Die Grenzfrequenz hat aber keinen Einfluss auf die maximale Verstärkung.“ ist nicht hilfreich. Bitte löschen! Davon ist nirgends die Rede, und gerade weniger Geübte werden davon nur verwirrt, da plötzlich das Thema der Beschaltung eingebracht wird, das in der Frage überhaupt nicht vorkommt.

3.4.2. Stimmt.

Bitte ergänzen, dass 10 fache Verstärkung +20 dB sind.

Bitte zu beachten, dass das Umrechnen von dB in Faktoren verboten ist! Ihr müsst logarithmisch rechnen können! Das gilt sowohl für die Zehnerpotenzen, die dB und die SI – Präfixe!

3.4.3. Die Argumentation ist mehr als wackelig. Das geht viel einfacher und klarer und kürzer!

3.4.4. Argumentation und Simulation sind einwandfrei. Lediglich der Sinn des letzten Satzes „Daraus folgt das Eingangsspannung = High und Low Spannungen.“ hat sich mir nicht erschlossen. Meiner Ansicht nach kann er ersatzlos entfallen.

3.5.1. An sich ist die Antwort korrekt.

Bitte die KollegInnen nicht mit der komplexen Darstellung verwirren, sonst kommen sie mir noch bei der Besprechung damit. Bitte ersatzlos löschen!

Und bitte um Verschönerung der Graphik der Ausgangsspannung. So manche Studierende zeichnen mir dann den Sprung am Anfang ein und es wird wieder unnötig kompliziert. Selbst in Paint geht das!

3.5.2. Detto.

3.5.3. An sich richtig, die untere Graphik verwirrt aber nur. Nur für Geübte!

3.5.4. Diese Frage wendet sich aus guten Gründen ausschließlich an wirklich Geübte! Zuerst einmal ist die Phasenverschiebung im praktikablen Frequenzbereich 90° . Alles andere sind parasitäre Effekte, die in einer Grundlagen – LV als solche gekennzeichnet oder weggelassen werden sollten. Das 100 Hz Schaubild ist gut, eventuell mit einem sehr hochohmigen Parallelwiderstand zum Kondensator noch einmal erstellen, damit die DC – Drift nicht wirksam wird.

Die genannte Ergänzung ist an sich korrekt, aber unbedingt an die Konstante $U_a(0)$ denken. Mit der haben viele HörerInnen ihre Probleme. Überlegen: $\cos(0) = ?$, es sollte aber 0 herauskommen.

Ansonsten eine schöne Darstellung.

4.3.1. Wie auch angeführt: Lass den Quatsch mit dem Empfänger – Widerstand. Und reduziert die Lösung auf die Ergänzung, der Ansatz mit der Zeitkonstante ist bei diesem Beispiel nicht hilfreich.

Wie so oft haben mir die weniger Geübten den Quatsch dann erzählt und haben Probleme mit der Argumentation bekommen.

4.3.2. Genau so.

4.3.3. Genau so.

4.3.4. Genau so.

4.3.5. Weitgehend. Bitte keinen Komparator verwenden, der neigt selbst zur Produktion von Schwingungen der Ausgangsspannung im Bereich der Schaltpunkte.

Zur Fleißaufgabe: Auch das Tiefpassfilter höherer Ordnung kann die Ausgangsspannung nicht schneller einstellen als der gesamte Prellvorgang dauert, also mehrere Millisekunden. Das ist aber um Größenordnungen länger als die vorgeschriebene Flankensteilheit digitaler Schaltungen. Sollten diese nicht selbst Schmitt – Trigger Eingänge haben, geht man von einer korrekten Flankensteilheit im Bereich von Nanosekunden aus.

4.3.6. Genau so.

4.3.7. Genau so.

4.4.1. Im Prinzip genau so. Aber die Formulierungen „Hingegen ist ein Spektrum ein Amplitudengang“ sowie „Dabei wird genau ein Zeitpunkt des Signals angezeigt“ schmerzen. Bitte nachbessern! Die Abschlusssätze sind gut und treffen den Punkt.

4.4.2. Weitgehend. Aber bitte zu beachten, dass der Effektivwert nicht der Gleichrichtwert ist! Schaut Euch das in der Wikipedia an, das ist dort sehr gut beschrieben. Das Thema Gleichrichtwert kommt in meinen Besprechungen überhaupt nicht vor. Bitte sauber auseinander halten!

Bitte bei der Berechnung des dBVrms beachten, dass im Nenner $1 V_{rms}$ steht und nicht 1. Wem das unklar ist, der soll mal versuchen, den Logarithmus der Einheit Volt zu bilden...

Und vielleicht macht sich jemand die Mühe, die Orthographie nachzubessern. Die sieht aus, als hätte das jemand am Handy geschrieben oder wäre in die Baumschule gegangen, dritte Reihe bei den Tannen.

4.4.3. oK.

4.4.4. oK.

4.4.5. „Diese wird dann mit dem Fourier Transformierten multipliziert.“ Wirklich? Solche problematischen Aussagen bitte entweder detailliert argumentieren oder weglassen.

Der Rest ist in Ordnung.

4.4.6. Nicht so ganz. Auch eine analoge Spannung ist kontinuierlich und kann sehr gut in den Fourier – Raum transformiert werden. Interessierte schauen unter Lock – In – Verstärker nach.

Der Rest ist in Ordnung.

Privater Tipp: Die praktische Transformation diskreter Funktionen gelingt im Reellen mit getrennter Auswertung der Kosinus- und Sinus – Koeffizienten viel einfacher und übersichtlicher.

4.4.7. Die Antwort ist Quatsch. Wenn eine unendliche periodische kontinuierliche Funktion im Zeitbereich vorliegt, dann kann sie natürlich nicht mit dem Fourier – Integral transformiert werden. Also verwendet man logischerweise die Fourier – Reihe. (Oder gleich Laplace, aber das ist hier nicht gefragt.) Und dazu sollte man die Berechnungsformeln für die Koeffizienten wissen. Tipp: Wer die Herleitung über die Vektorrechnung in Orthonormalsystemen begriffen hat, merkt sich die Formeln fast von selbst.

4.5.1. So ist es. Bitte unbedingt darauf hinweisen, dass es bei den meisten Oszilloskopen nicht möglich ist, die Abtastfrequenz einzustellen. Abgesehen davon, dass Ihr dadurch auch kein brauchbares Bild bekommt. Warum wohl? Verändert wird die Einstellung der Skalierung der Ablenkgeschwindigkeit.

4.5.2. Bitte lasst den armen Herrn Nyquist in Frieden, der hilft Euch hier nicht! Die praktische Bedeutung seines berühmten Theorems wird sowieso völlig überschätzt. Nyquist ist lediglich eine notwendige Bedingung, die noch dazu nur unter bestimmten Bedingungen gilt! Und bedenkt, dass wir in den 2020er Jahren leben und nicht in den 1970ern, wo aus technischen und wirtschaftlichen Gründen um jeden Abtastpunkt gefeilscht werden musste! Mehr ist mehr! Bedenkt, dass Ihr aus dem Datenstrom das Signal möglichst gut (!) regenerieren müsst! Das sollte eine bijektive Abbildung sein! Privater Tipp: $1\mu\text{s}$ macht schon ein schönes Bild.

4.5.3. So ungefähr. Im Text fehlt die wesentliche Aussage, dass Gibbs auftritt, wenn nur endlich viele Reihenglieder zur Approximation herangezogen werden. (Wenn ich gemein bin, frage ich auch, ob die unendliche Reihe die Unstetigkeit korrekt abbilden kann.) Bitte ergänzen. Der Rest ist in Ordnung.

4.5.4. Das angeführte Thema der Schwebung ist zwar richtig, leistet aber zu dieser Frage keinen Beitrag, da ausschließlich die Spektren gefragt sind, nicht aber die Funktionen im Zeitbereich.

Bitte Brille kaufen oder zählen lernen: „Wie man sehen kann entstehen 4 neue Spektrallinien.“

Abgesehen von diesen Details ist das Beispiel richtig ausgearbeitet.

4.5.5. oK.