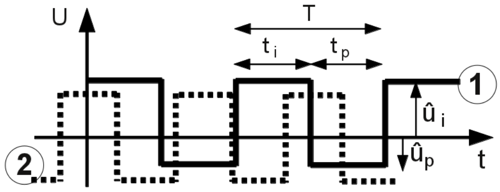
Hinweis: Im Allgemeinen ist bei allen Antworten eine kurze stichwortartige Begründung, bzw. eine Berechnung anzugeben, damit der Lösungsweg nachvollziehbar ist.

Formeln zu Fourieranalyse von Rechtecksignalen: **Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8$ m/s**



Signal (1) : nicht phasenverschoben, Beginn bei t=0

Signal (2) : um 90° phasenverschoben, symmetrisch zur U - Achse, also ist f (t) = f (- t)

Bei Berechnung den Taschenrechner ggf. auf Bogenmaß einstellen !

a) Zeitfunktion mittels Fourierreihen annähern

$$\textbf{Signal 1)}\quad u(t) = U_{DC} + \frac{2U_{SS}}{\pi}\left[1*\sin(1\omega_0 t) + \frac{1}{3}*\sin(3\omega_0 t) + \frac{1}{5}*\sin(5\omega_0 t) + \frac{1}{7}*\sin(7\omega_0 t)....\right]$$

$$\textbf{Signal 2)}\quad u(t) = U_{DC} + \frac{2U_{SS}}{\pi}\left[1*\cos(1\omega_0 t) - \frac{1}{3}*\cos(3\omega_0 t) + \frac{1}{5}*\cos(5\omega_0 t) - \frac{1}{7}*\cos(7\omega_0 t)....\right]$$

b) Amplituden der Spektrallinien über Spektraldichtefunktion berechnen

$$\textbf{Signal 2)}\quad u(n*f_0) = \frac{2U_{SS}*t_i}{T} * \frac{\sin(\pi*n*f_0*t_i)}{\pi*n*f_0*t_i} = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} * \sin(\pi*n*f_0*t_i)$$

1. Aufgabe Fourieranalyse 1

Gegeben ist das Signal U in Diagramm 1.

a) Berechnen Sie den Gleichanteil für das Signal U.

b) Berechnen Sie für das Signal U die **Amplituden** der Spektrallinien in mV bis zu A_6 mit $f = 6 * f_0$.
Hinweis: Erstellen Sie eine Tabelle, in die Sie die Amplitudenwerte für U eintragen.

c) Berechnen Sie die Nullstellen im Spektrum von Signal U.

d) Zeichnen Sie das Spektrum für das Signal U.

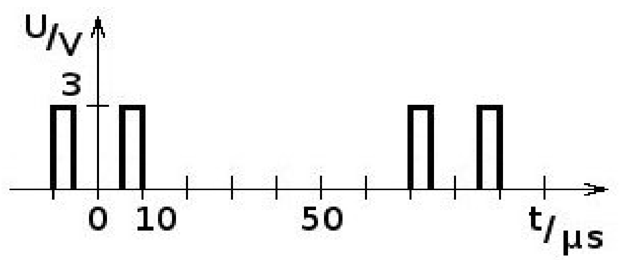


Diagramm 1

2. Aufgabe Fourieranalyse 2

Zerlegen Sie das Signal U in *Bild 2* in für die Fourieranalyse geeignete Teilsignale.

a) Zeichnen Sie die Teilsignale S1, S2... mit entsprechender Kennzeichnung und unterschiedlichen Farben in das *Bild 2* ein.

b) Geben Sie für jedes Teilsignal **alle** Merkmale mit Zahlenwert und Einheit so an, dass **allein aus diesen Angaben** ohne weitere Information das Diagramm für das jeweilige Signal erstellt werden kann.

c) Berechnen Sie den Gleichanteil für das Signal U.

d) Ermitteln Sie für jedes Teilsignal die Nullstellen im Spektrum.

e) Berechnen Sie für das Signal U die Amplituden der Spektrallinien in mV bis zu A6 mit f = 6 * f0 .
Hinweis: Führen Sie eine beispielhafte Berechnung für die erste Amplitude durch. Erstellen Sie dann eine Tabelle, in die Sie die Werte für die Teilsignale und für Signal U eintragen.

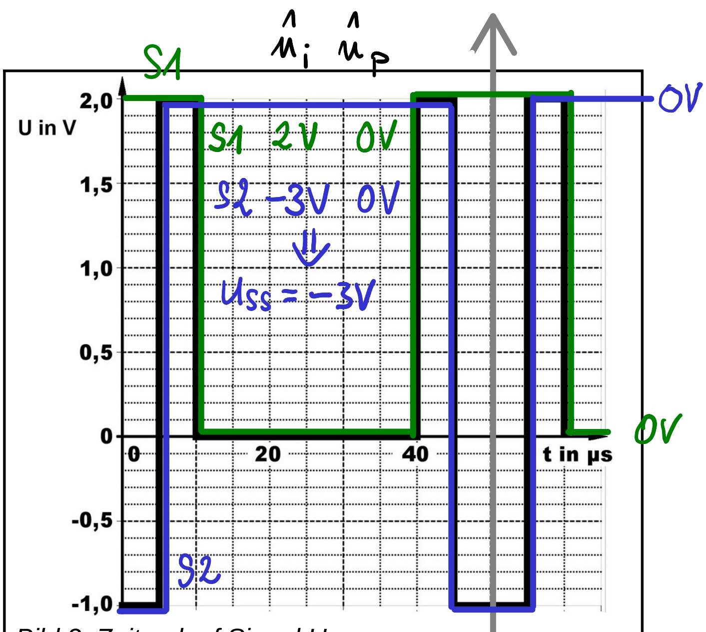


Bild 2: Zeitverlauf Signal U

3. Aufgabe **Fourieranalyse 3**

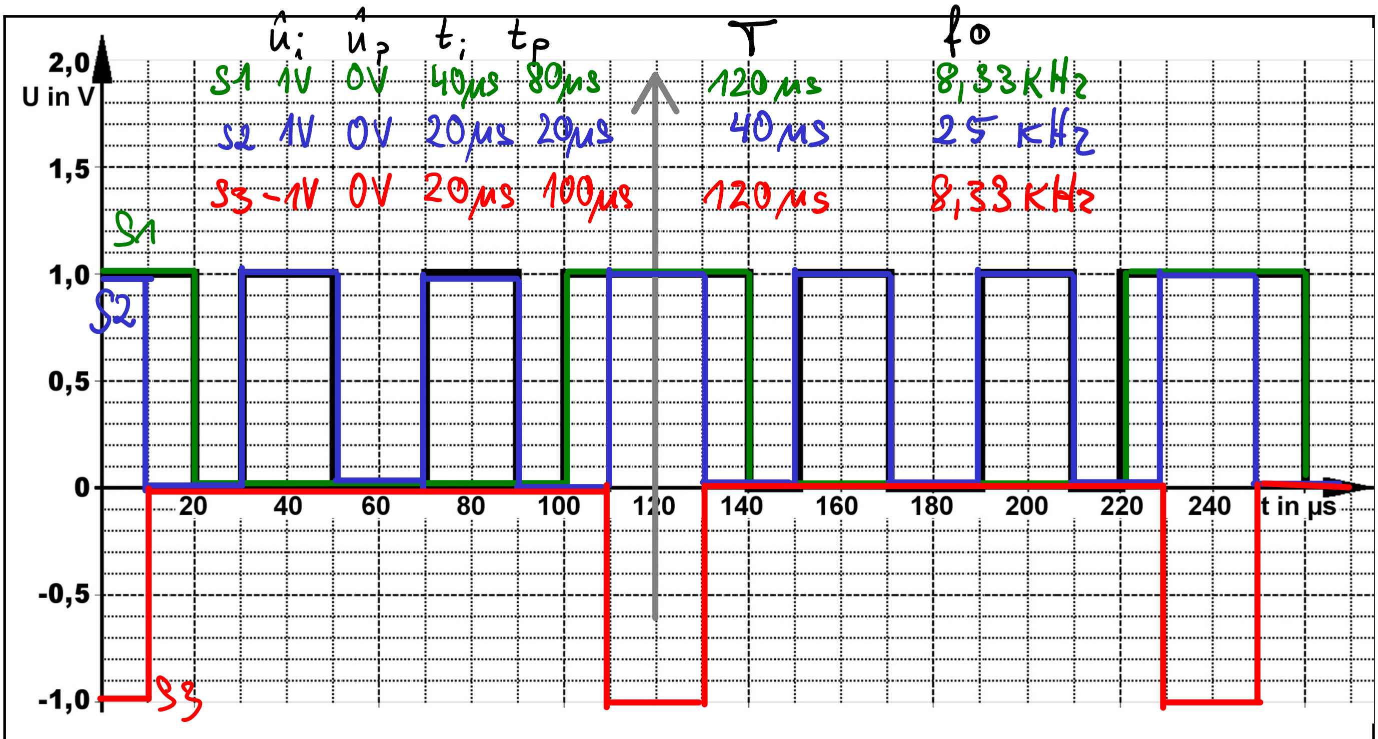


Diagramm 3: Zeitverlauf Signal 1

a) Berechnen Sie den Gleichspannungsanteil U_{DC} für das Signal 1.

Zerlegen Sie für die Fourieranalyse das periodische Signal 1 in *Diagramm 3* in geeignete Teilsignale.

b) Zeichnen Sie die Teilsignale mit entsprechender Kennzeichnung (A, B, C, D **...**) **und** unterschiedlichen Farben in das *Diagramm 3* ein.

c) Geben Sie für jedes Einzelsignal ti, tp, $\hat{u}_i$ und $\hat{u}_p$ mit Zahlenwert und Einheit an.

d) Ermitteln Sie für **jedes** Teilsignal einzeln die ersten beiden Nullstellen im Spektrum.

e) Berechnen Sie **für das gesamte Signal 1** die Amplituden A1, A2 ... A6 der Spektrallinien (Angabe in mV mit 1 Nachkommastelle). A6 ist die Amplitude der Spektrallinie mit f = 6 * fx. fx ist die niedrigste auftretende Grundfrequenz (Grundwelle) eines Teilsignals.
<u>**Hinweis:**</u> Führen Sie die Berechnung bei jedem Teilsignal exemplarisch für einen Wert durch und berechnen Sie den Wert für das Gesamtsignal. Erstellen Sie eine Tabelle, in die Sie die Werte für die Teilsignale und für das gesamte Signal 1 eintragen.

4. Aufgabe **Fourieranalyse 4**

Aufgabenpunkte wie unter Aufgabe 3

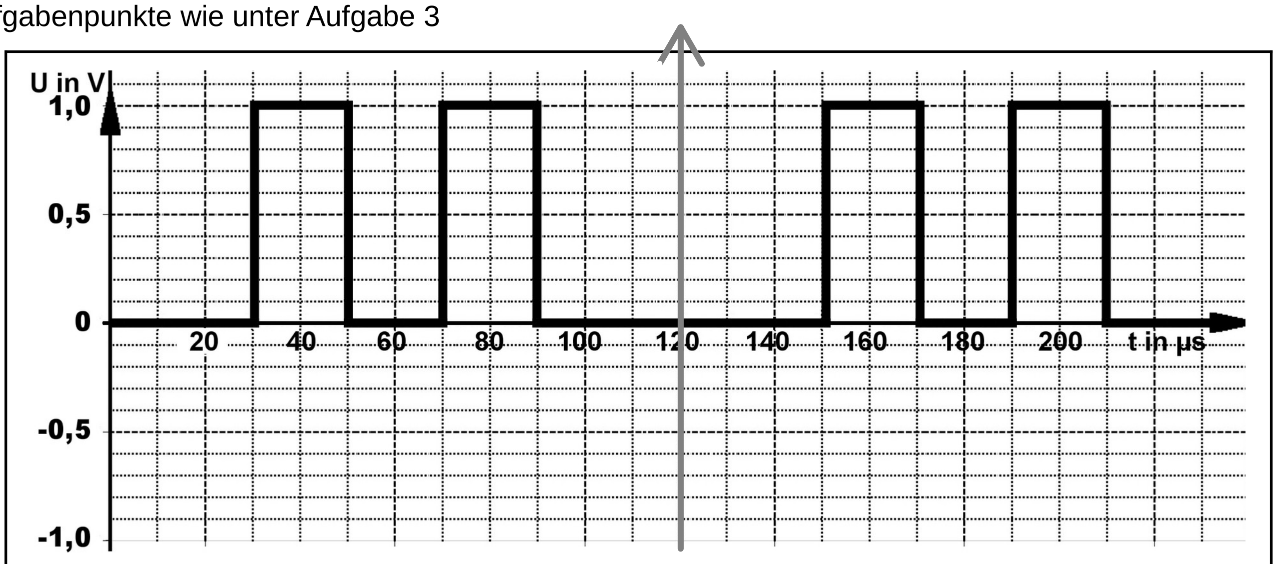


Diagramm 3: Zeitverlauf Signal 1

Aufgabe 3 mit anderen Teilsignalen

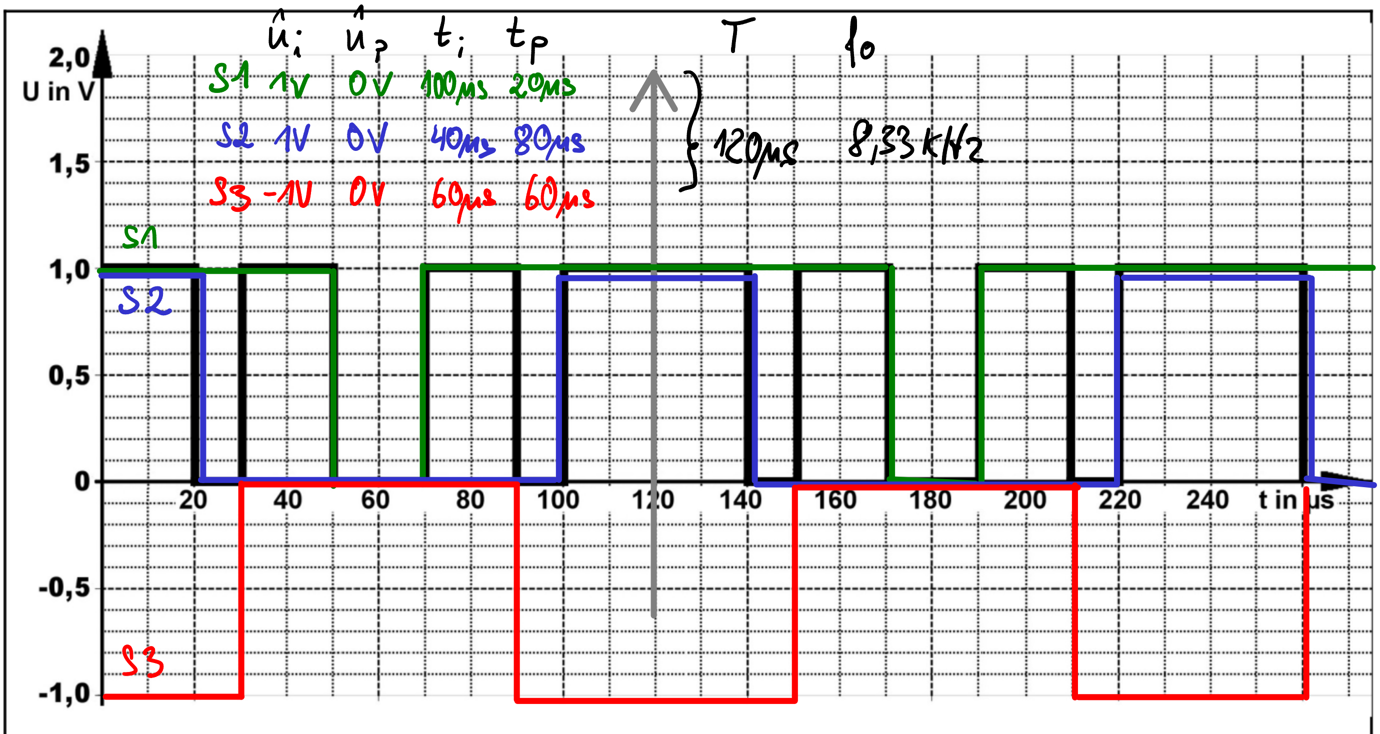


Diagramm 3: Zeitverlauf Signal 1

Signal	1	2	3	4	5	6
S1	318,3	-275,6	212,2	-137,8	63,7	0
S2	551,3	275,6	0	-137,8	-110,2	0
S3	-636,6	0	212,2	0	-127,3	0
ges	233	0	424,4	-275,6	-173,9	0

5. Aufgabe Klirrfaktor

Für Signal 2 wurde das Spektrum in *Bild 4* ermittelt.

a) Geben Sie **in Worten** an, wie der Klirrfaktor berechnet wird.

b) Berechnen Sie den Klirrfaktor für Signal 2 in Prozent.

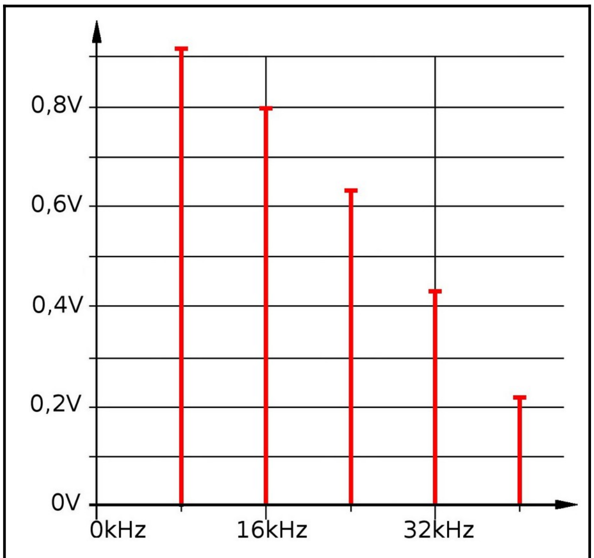


Bild 4: Spektrum Signal 2

6. Aufgabe Kommunikationstechnik allgemein

a) Sie müssen jemandem in einem Telefongespräch das auf einem Oszilloskopschirm dargestellte nachrichtentechnische Signal so beschreiben, dass er die Parameter an einem Signalgenerator einstellen und das Signal exakt reproduzieren kann. Beschreiben Sie kurz diese Parameter und verwenden Sie Skizzen, um sie zu veranschaulichen.

b) Fourier untersuchte Rechtecksignale. Geben Sie die 8 wichtigsten dabei gewonnenen Erkenntnisse an.

c) Nennen Sie **je 2** Beispiele für lineare und nichtlineare Verzerrungen.

7. Aufgabe Koaxialkabel

a) Skizzieren Sie das **vollständige** Ersatzschaltbild einer Koaxialleitung.

b) Erklären Sie, welche **beiden** Vereinfachungen des Ersatzschaltbildes bei einer <u>kurzen</u> Leitung für <u>hohe</u> Frequenzen verwendet werden können.

c) Eine Koaxialleitung besitzt die Kapazität C' =0,6nF/100m, eine Induktivität L' =32µH/100m, ein Dielektrikum mit ε_r = 1,7 und hat eine Länge von 20m.

1) Berechnen Sie den Wellenwiderstand Zw.

2) Berechnen Sie den Verkürzungsfaktor vk.

8. Aufgabe Impuls auf Leitung 1

An einem 6m langen Koaxialkabel wurde eine Impulsmessung (s. *Diagramm 7*) durchgeführt. Am Impulsgenerator waren folgende Werte eingestellt :
$\hat{u}_0$ = 6 V; T = 80 ns ; Ri = Zw = 75 Ω.

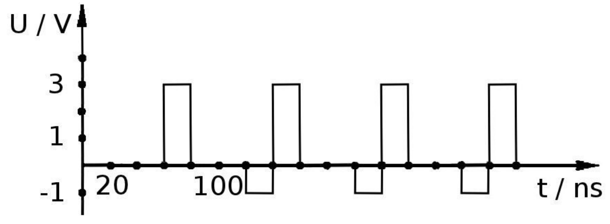


Diagramm 7

a) Erklären Sie, woran zu erkennen ist, dass die Messung am Eingang der Leitung durchgeführt wurde.

b) Berechnen Sie den Verkürzungsfaktor v_k (Gut nachvollziehbarer Rechengang!).

c) Berechnen Sie den Reflexionsfaktor r.

d) Berechnen Sie den Lastwiderstand R_L.

e) Beschreiben Sie in Stichworten, wie das Diagramm aussehen würde, wenn das Koaxialkabel
1) mit offenem Ende (Leerlauf) betrieben würde?
2) mit kurzgeschlossenem Ende betrieben würde?
3) 8m lang wäre? Begründung mit Rechnung!

9. Aufgabe Impuls auf Leitung 2

An einem Koaxkabel wurde eine Impulsmessung (s. *Diagramm 3*) durchgeführt. Die Messstelle lag **irgendwo am Kabel**. Die Messung wurde zeitgleich mit dem Impulsgenerator gestartet. Die Impulse wurden am Leitungsanfang eingespeist.

Am Impulsgenerator waren folgende Werte eingestellt : T = 100 ns ; Ri = Zw = 90 Ω.

Die gemessene Leitung hatte folgende Daten:
v = 1,7*10^8 m/s ; Zw = 90Ω ; C'=100nF/km

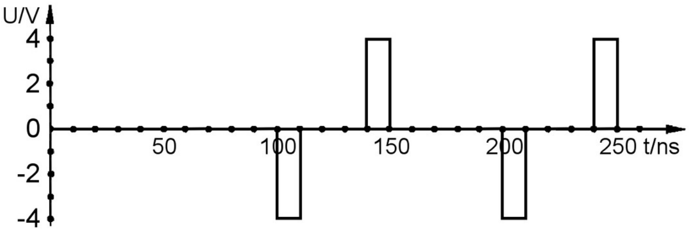


Diagramm 3

a) Berechnen Sie den Induktivitätsbelag L' für eine Leitungslänge von 1km.

b) Berechnen Sie den Verkürzungsfaktor v_k und die Permittivitätszahl ε_r für die Leitung.

c) **Erklären** Sie, ob der Lastwiderstand RL am Ende der Leitung an den Wellenwiderstand Zw angepasst ist, ob die Leitung am Ende offen ist oder ob am Leitungsende ein Kurzschluss vorliegt.

d) Beschreiben Sie **jeweils in einem** Satz, wie das Signal bei den anderen beiden unter c) genannten Varianten des Lastwiderstands aussehen würde.

e) **Berechnen** Sie die gesamte Kabellänge **L** in Metern **und** den Ort **X** (in Metern vom Leitungsanfang) an dem gemessen wurde.

10. Aufgabe Impuls auf Leitung 3

An einem Koaxkabel mit dem Wellenwiderstand Zw wurde eine Impulsmessung (s. *Diagramm 9*) **zeitgleich mit dem Impulsgenerator gestartet**.

Am Impulsgenerator waren folgende Werte eingestellt :
$\hat{u}_0$ = 6 V; T = 180 ns ; Ri = Zw = 60Ω.

Für die gemessene Leitung gilt vk = 0,5.

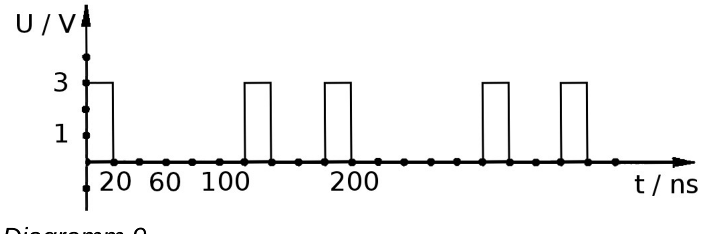


Diagramm 9

a) **Erläutern** Sie **kurz**, ob der Lastwiderstand RL am Ende der Leitung an den Wellenwiderstand Zw angepasst war, ob die Leitung am Ende offen war oder ob am Leitungsende ein Kurzschluss vorlag.

b) Berechnen Sie die Kabellänge **L**.

c) Der Widerstand am Ende der Leitung wird gegen **R_L = 20Ω ausgetauscht**.
Berechnen Sie den Reflexionsfaktor **r** (r = 0,386)
und die Höhe **$\hat{u}_L$** des Spannungspulses am Leitungsende über R_L .

1. Aufgabe Fourieranalyse 1

Gegeben ist das Signal U in Diagramm 1.

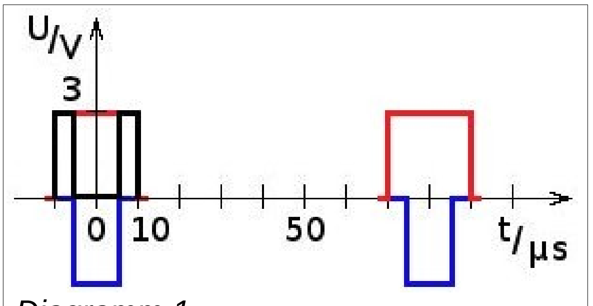


Diagramm 1

a) Berechnen Sie den Gleichanteil für das Signal U.

U_{DC} = 10µs*3V / 80µs = 0,375V

b) Berechnen Sie für das Signal U die Amplituden der Spektrallinien in mV bis zu A_6 mit f = 6 * f_0 .

Hinweis: Erstellen Sie eine Tabelle, in die Sie die Amplitudenwerte für U eintragen.

T=80µs => f_0=1/T = 12500 Hz

Beispiel Signal U1 (+3V, ti=20µs) , Signal U2 (-3V, ti=10µs), U = U1 + U2

$$U_1(n*f_0) = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} * \sin(\pi*n*f_0*t_i) = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} * \sin\left(\pi*n*\frac{t_i}{T}\right) = \frac{1}{n}*1{,}91V*\sin(n*0{,}7854)$$

f in kHz (n*f0)	12,5 (1*)	25(2*)	37,5(3*)	50(4*)	62,5(5*)	75(6*)	87,5(7*)	100(8*)
An1 in V	A1=1,350	A2=0,955	A3=0,450	A4=0	A5= -0,270	A6= -0,318	-0,193	0
An2 in V	A1= -0,731	A2= -0,675	A3= -0,588	A4= -0,477	A5= -0,353	A6= -0,225	-0,104	0
An in V	A1=0,619	A2=0,28	A3= -0,138	A4= -0,477	A5= -0,623	A6= -0,543	-0,297	0

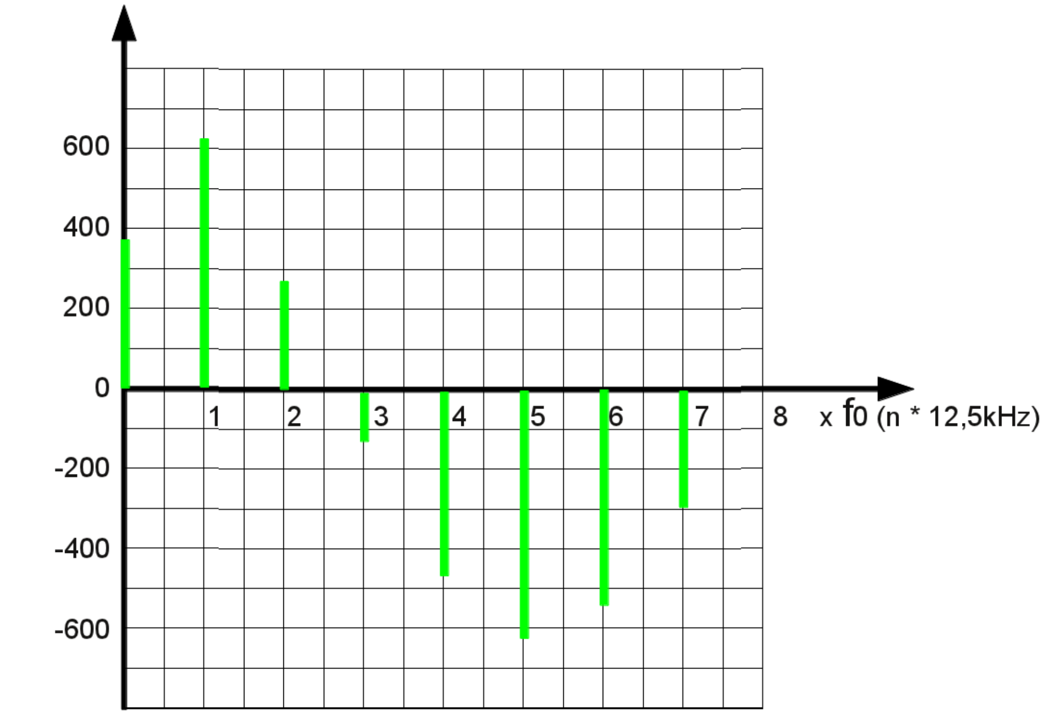
c) Berechnen Sie die Nullstellen im Spektrum von Signal U.

fNull1 = m * 1 / ti = m * 50 kHz = 50kHz, 100kHz, 150kHz ….

fNull2 = m * 1 / ti = m * 100 kHz = 100kHz, 200kHz ….

=> fNull = fNull2 = m * 100 kHz = 100kHz, 200kHz = Vielfache von f_0 , fNull1 <u>und</u> fNull2

d) Zeichnen Sie das Spektrum für das Signal U.



2. Aufgabe Fourieranalyse 2

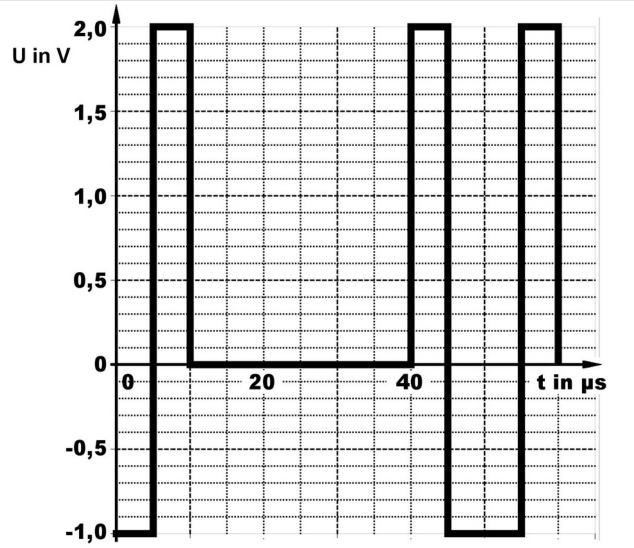


Bild 2: Zeitverlauf Signal U

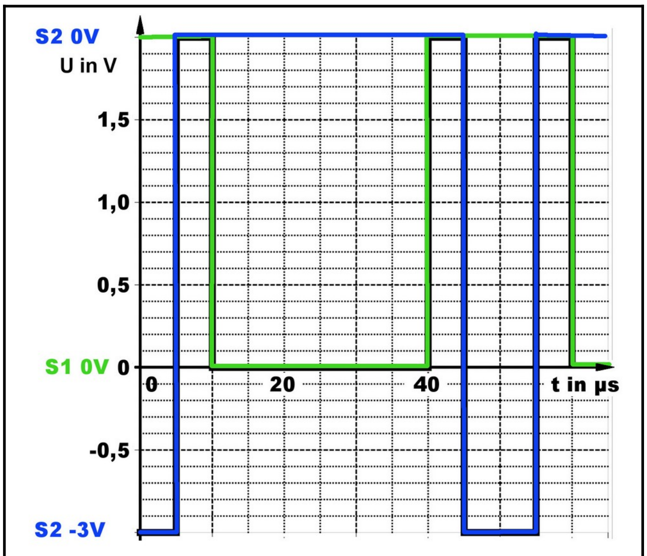


Bild 2: mögliche Zeitverläufe der Teilsignale

Zerlegen Sie das Signal U in *Bild 2* in für die Fourieranalyse geeignete Teilsignale.

a) Zeichnen Sie die Teilsignale S1, S2...mit entsprechender Kennzeichnung und unterschiedlichen Farben in das *Bild 2* ein.

Hinweis: Nulllinie für S2 nach oben verschoben, damit das Signal S2 in das Bild passt.

b) Geben Sie für jedes Teilsignal **alle** Merkmale mit Zahlenwert und Einheit so an, dass **allein aus diesen Angaben** ohne weitere Information das Diagramm für das jeweilige Signal erstellt werden kann.

Merkmale S1 : rechtecktförmig, T=50µs, ti = 20µs, ûi=2V, ûp=0V, t_D = -10µs

Merkmale S2 : rechtecktförmig, T=50µs, ti = 10µs, ûi=-3V, ûp=0V, t_D = -5µs

c) Berechnen Sie den Gleichanteil für das Signal U.

U_{DC} = (ti * ûi + tp * ûp) / T = (2 * 5µs * 2V + 10µs * - 1V) / 50µs = 1V / 5 = 0,2V

d) Ermitteln Sie für jedes Teilsignal die Nullstellen im Spektrum.

f_{Null1} = m * 1/ti_1 = m * 1/20µs = m * 50kHz mit m=1,2,3.... => 50kHz , 100kHz, 150kHz....

f_{Null2} = m * 1/ti_2 = m * 1/10µs = m * 100kHz mit m=1,2,3.... => 100kHz, 200kHz, 300kHz....

e) Berechnen Sie für das Signal U die Amplituden der Spektrallinien in mV bis zu A6 mit f = 6 * f0 .

Hinweis: Führen Sie eine beispielhafte Berechnung für die erste Amplitude durch. Erstellen Sie dann eine Tabelle, in die Sie die Werte für die Teilsignale und für Signal U eintragen.

T=50µs => f_0=1/T = 20 kHz für Signal S1 und Signal S2

Beispielrechnung mit Spektraldichtefunktion

Signal S1 (Uss = +2V, ti=20µs)

$$U_1(n*f_0) = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} * \sin(\pi*n*f_0*t_i) = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} * \sin\left(\pi*n*\frac{t_i}{T}\right) = \frac{1}{n}*1{,}27V*\sin(n*1{,}257)$$

Signal S2 (Uss = -3V, ti=10µs)

$$U_2(n*f_0) = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} * \sin(\pi*n*f_0*t_i) = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} * \sin\left(\pi*n*\frac{t_i}{T}\right) = \frac{1}{n}*(-1{,}91V)*\sin(n*0{,}628)$$

Signal U(1*f_0) = S1 + S2 = 1211mV - 1123mV = 88mV

f in kHz (n*f_0)	20(1*)	40(2*)	60(3*)	80(4*)	100(5*)	120(6*)	140(7*)	160(8*)
An1 in V	1211	374	250	303	0	202	107	-94
An2 in V	-1123	-908	-606	-281	0	187	259	227
An in V	88	-534	-854	-584	0	389	366	133

3. Aufgabe Fourieranalyse 3

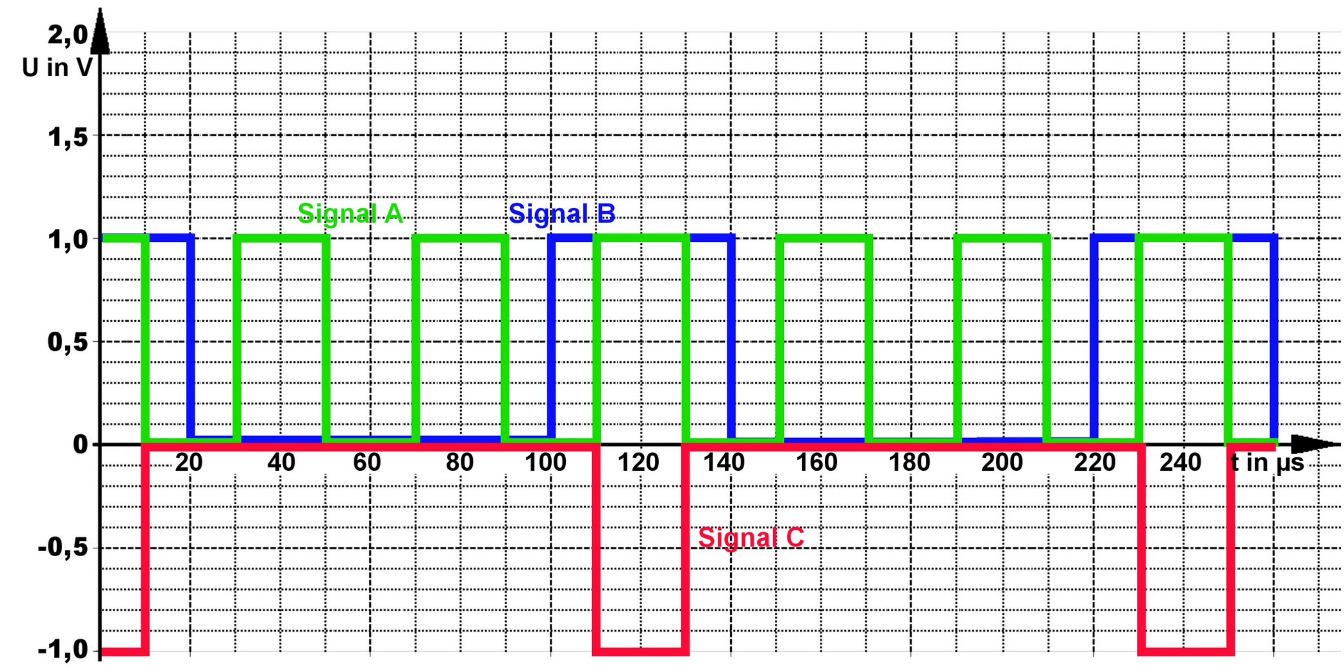


Diagramm 3: Zeitverlauf Signal 1

a) Berechnen Sie den Gleichspannungsanteil U_{DC} für das Signal 1.

U_{DC} = (ûi * ti + ûp * tp) / T = [(2 * 1V*20µs + 1V*40µs) + (0V*20µs + 2 * 0V*10µs)] / 120µs = 0,667V

Zerlegen Sie für die Fourieranalyse das periodische Signal 1 in *Diagramm 3* in geeignete Teilsignale.

b) Zeichnen Sie die Teilsignale mit entsprechender Kennzeichnung (A, B, C, D **...**) **und** unterschiedlichen Farben in das *Diagramm 3* ein.

Signale müssen symmetrisch zur Y-Achse sein, Signal C hebt Signal A bei den Pulsen von Signal B auf.

c) Geben Sie für jedes Einzelsignal ti, tp, $û_i$ und $û_p$ mit Zahlenwert und Einheit an.

A: ûi = 1V ti = 20µs ûp = 0V tp = 20µs T = 40µs f_{0A} = 25kHz

B: ûi = 1V ti = 40µs ûp = 0V tp = 80µs T = 120µs f_{0B} = 8,333kHz

C: ûi = -1V ti = 20µs ûp = 0V tp = 100µs T = 120µs f_{0C} = 8,333kHz

d) Ermitteln Sie für **jedes** Teilsignal einzeln die ersten beiden Nullstellen im Spektrum.

A: f_{Null_A} = m * 1 / ti = m * 1 / 20µs = m * 50kHz 50kHz 100kHz

B: f_{Null_B} = m * 1 / 40µs = m * 25kHz 25kHz 50kHz

C: f_{Null_C} = m * 1 / 20µs = m * 50kHz 50kHz 100kHz

Fortsetzung 3. Aufgabe:

e) Berechnen Sie **für das gesamte Signal 1** die Amplituden A1, A2 ... A6 der Spektrallinien (Angabe in mV mit 1 Nachkommastelle). A6 ist die Amplitude der Spektrallinie mit f = 6 * fx. fx ist die niedrigste auftretende Grundfrequenz (Grundwelle) eines Teilsignals.
Hinweis: Führen Sie die Berechnung bei jedem Teilsignal exemplarisch für einen Wert durch und berechnen Sie den Wert für das Gesamtsignal. Erstellen Sie eine Tabelle, in die Sie die Werte für die Teilsignale und für das gesamte Signal 1 eintragen.

Amplituden der Spektrallinien über die Spektraldichtefunktion berechnen, dafür müssen die Teilsignale symmetrisch zur U-Achse (y-Achse) verlaufen, d.h. die Pulsmitte muss auf der Achse liegen.

f_0 = 1/ T

A: T = 40µs f_{0A} = 25kHz **B + C: T = 120µs f_{0B} = 8,333kHz** **f_{0C} = 8,333kHz**

Beispielrechnung für Signal A bei 1*f_{0A} :

$$U_A(f_0) = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} * \sin(\pi*n*f_0*t_i) = \frac{2*(1\,V)}{1*\pi} * \sin(\pi*1*25\,kHz*20\,\mu s) = 636{,}6\,mV$$

Beispielrechnung für Signal B bei 1*f_{0B} :

$$U_B(f_0) = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} * \sin(\pi*n*f_0*t_i) = \frac{2*(1\,V)}{1*\pi} * \sin(\pi*1*8{,}3\,kHz*40\,\mu s) = 551{,}3\,mV$$

Beispielrechnung für Signal C bei 1*f_{0C} :

$$U_C(f_0) = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} * \sin(\pi*n*f_0*t_i) = \frac{2*(-1\,V)}{1*\pi} * \sin(\pi*1*8{,}3\,kHz*20\,\mu s) = -318{,}3\,mV$$

B und C werden für jedes Vielfache ihrer Grundfrequenz addiert.

A wird nur für Vielfache von f_{0A} dazu addiert.

Signal 1 ergibt sich durch die Addition aller Teilsignal-Anteile bei der jeweiligen Frequenz.

n * f_{0B}	**1** (8,3kHz)	**2** (16,6kHz)	**3** (25kHz)	**4** (33,3kHz)	**5** (41,6kHz)	**6** (50kHz)
UA / mV	-	-	636,6	-	-	0
UB / mV	551,300	275,700	0,000	-137,800	-110,300	0,000
UC / mV	-318,300	-275,700	-212,200	-137,800	-63,700	0,000
U1 / mV	**233,000**	**0,000**	**424,400**	**-275,6**	**-174,000**	**0,000**

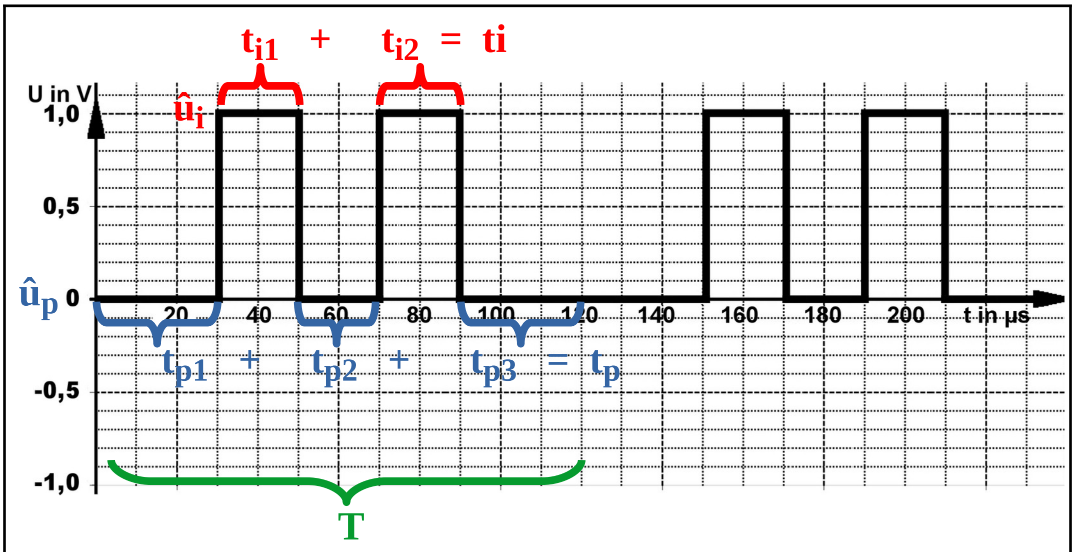


Diagramm 3: Zeitverlauf Signal 1

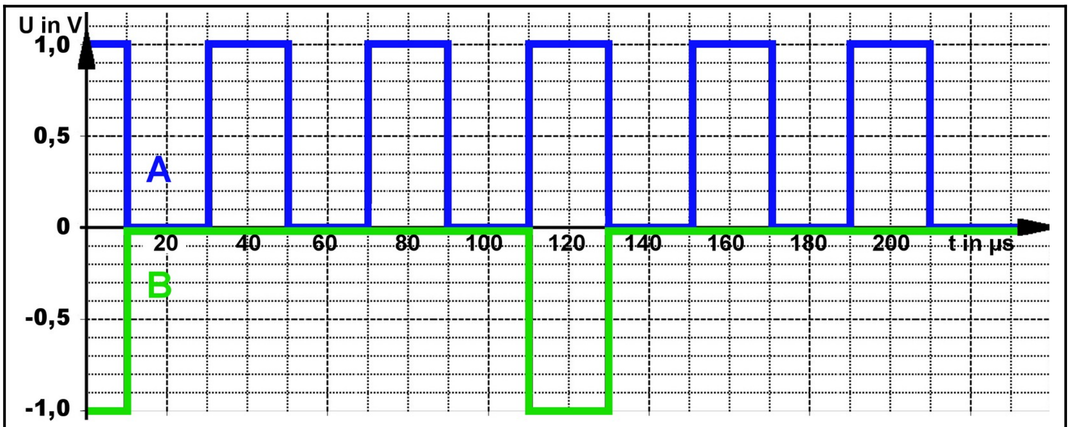


Diagramm 3a: Zeitverlauf 1 Signale A + B = Signal 1

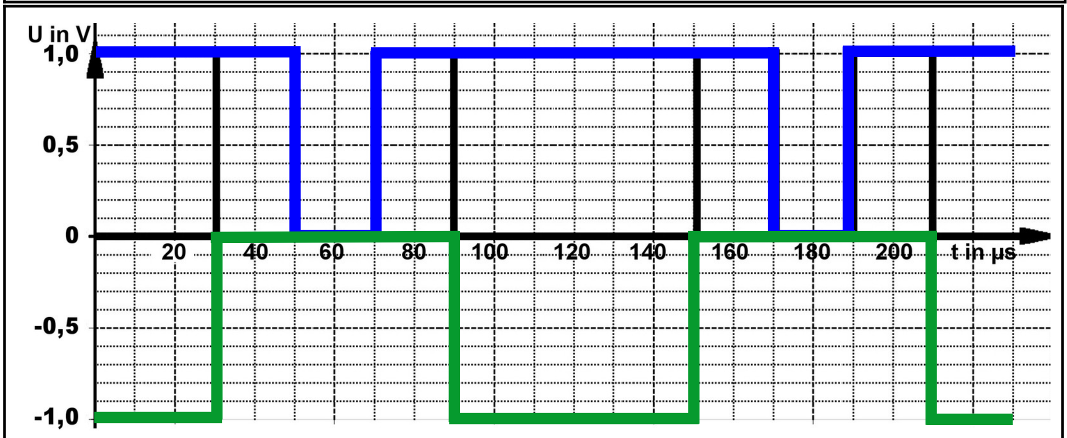


Diagramm 3b: Zeitverlauf 2 Signale A + B = Signal 1

a) Berechnen Sie den Gleichspannungsanteil U_{DC} für das Signal 1.

U_{DC} = (ti * ûi + tp * ûp) / T = 2 * 20µs * 1V / 120µs = 0,333V

Zerlegen Sie das periodische Signal 1 in *Diagramm 3* in für die Fourieranalyse geeignete Teilsignale A, B, C ....

b) Zeichnen Sie die Teilsignale mit entsprechender Kennzeichnung (A, B, C...) **und** unterschiedlichen Farben in das *Diagramm 3* ein.

Fortsetzung 4. Aufgabe:

c) Geben Sie für jedes Einzelsignal ti, tp, $\hat{u}_i$ und $\hat{u}_p$ mit Zahlenwert **und** Einheit an.

Signal A: ti = 20µs   ûi = 1V   tp = 20µs   ûp = 0V   T = 40µs

Signal B: ti = 20µs   ûi = -1V   tp = 100µs   ûp = 0V   T = 120µs

d) Ermitteln Sie für **<u>jedes</u>** Teilsignal einzeln die ersten beiden Nullstellen im Spektrum.

Signal A und B: gleiches ti   => gleiche Nullstellen

f_{NULL} = m * 1 / ti   = m * 1 / 20µs   = m * 50kHz   => 50kHz   , 100kHz

e) Berechnen Sie für das **gesamte Signal 1** (so wie in *Diagramm 3* dargestellt) die Amplituden A1, A2 ... A6 der Spektrallinien (**Angabe in mV mit 1 Nachkommastelle**). A6 ist die Amplitude der Spektrallinie mit f = 6 * fx . **fx** ist die **niedrigste** auftretende **Grundfrequenz** (Grundwelle) **eines Teilsignals**.

<u>Hinweis:</u> Führen Sie die Berechnung bei jedem Teilsignal exemplarisch für einen Wert durch. Berechnen Sie mit **<u>nachvollziehbarem</u>** Rechenweg die Amplitude der ersten Spektrallinie von Signal 1. Erstellen Sie dann eine Tabelle, in die Sie die **Werte für die Teilsignale <u>und</u> für das gesamte Signal 1** eintragen.

f_0=1/T

Signal A: 1V, ti=20µs , T = 40µs   => ti = tp f_{0A} = 25 kHz   = 3 * f_{0B}

Signal B: - 1V, ti=20µs , T = 120µs f_{0B} = 8333,33 Hz

Signal A: ti = tp und cosinusartiger Verlauf => Berechnung mit Fourierreihe möglich

$$\textit{Signal}\quad A:\ A(n*f_0) = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} = \frac{1}{n}*0{,}63662V = 636{,}6\ mV \qquad \textbf{Rechnung für n=1}$$

nur ungerade n, alternierendes Vorzeichen

Signal B: ti ungleich tp, cosinusartig => Berechnung mit Spektraldichtefunktion

$$\textit{Signal}\quad B:\ B(n*f_0) = \frac{2U_{SS}}{n*\pi} * \sin\left(n*\pi*\frac{t_i}{T}\right) = \frac{-1}{n}*0{,}63662V*\sin(n*0{,}1666) = -0{,}3183\ V$$

Rechnung für n=1

S1 = A + B <u>nur</u> für <u>n * 25kHz</u>   (Die Grundwelle von Signal A ist <u>3x so hoch</u>!),   S1 = B sonst

f in kHz ($n*f_{0B}$)	8,33	16,66	**25**	33,33	41,67	**50**	58,33
An in mV	0	0	**636,6**	0	0	**0**	0
Bn in mV	-318,3	-275,7	-212,2	-137,8	-63,7	0	45,5
S1n in mV	-318,3	-275,7	424,4	-137,8	-63,7	0	45,5

5. Aufgabe Klirrfaktor

Für Signal 2 wurde das Spektrum in *Bild 4* ermittelt.

a) Geben Sie **in Worten** an, wie der Klirrfaktor berechnet wird.

K = (Summe der Effektivwerte der Spannungen der Oberwellen) geteilt durch

(Summe der Effektivwerte der Spannungen des Gesamtsignals)

b) Berechnen Sie den Klirrfaktor für Signal 2 in Prozent.

$$K = \sqrt{\frac{u_1^2+u_2^2+u_3^2+....}{u_0^2+u_1^2+u_2^2+u_3^2+....}}$$

Zähler: 1,2961 V^2 , Nenner: 2,1425V^2 , k = 0,777
=> k = 77,7%

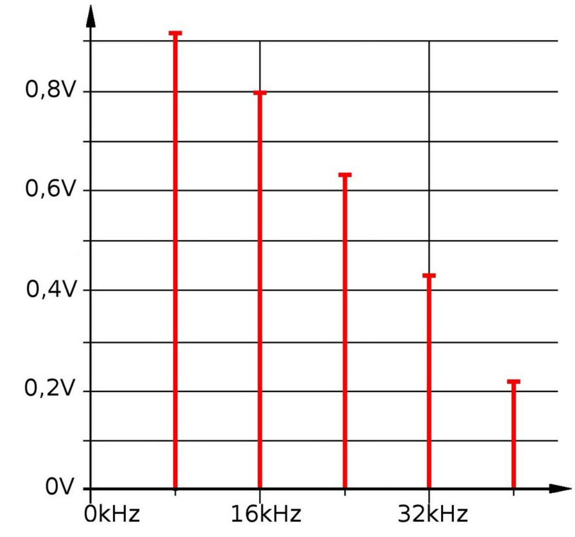


Bild 4: Spektrum Signal 2

6. Aufgabe Kommunikationstechnik allgemein

a) Sie müssen jemandem in einem Telefongespräch das auf einem Oszilloskopschirm dargestellte nachrichtentechnische Signal so beschreiben, dass er die Parameter an einem Signalgenerator einstellen und das Signal exakt reproduzieren kann. Beschreiben Sie kurz diese Parameter und verwenden Sie Skizzen, um sie zu veranschaulichen.

sinusförmig: **Periodendauer T (oder Frequenz f=1/T), Amplitude û (oder Spitze-Spitze-Wert uss), Offset UDC , ggf. zusätzlich Verzögerungszeit (Delay), bzw. Phasenverschiebung**

rechteckförmig: **T, t_i oder t_p , $\hat{u}_i$, $\hat{u}_p$, U_{DC} , ggf. zusätzlich Verzögerungszeit (Delay)**

b) Fourier untersuchte Rechtecksignale. Geben Sie die 8 wichtigsten dabei gewonnenen Erkenntnisse an.

für periodische Zeitfunktionen gilt: 1)darstellbar als Überlagerung von (vielen) Sinussignalen
für Spektrum: 2)Linienabstände gleich, 3)nur Vielfache von f0, 4)Grundwelle hat höchste Amplitude und 5)kleinste Frequenz, 6)unendlich viele Oberwellen, 7)wenn ti=tp nur ungeradzahlige Vielfache, 8)wenn ti ungleich tp können alle Vielfachen von f0 auftreten

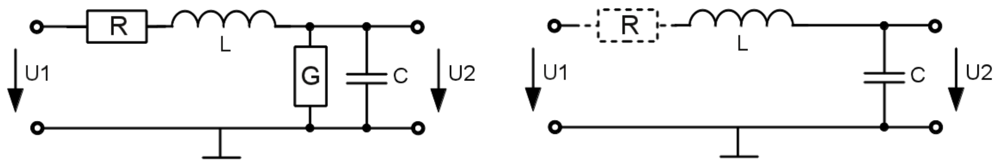
c) Nennen Sie **je 2** Beispiele für lineare und nichtlineare Verzerrungen.

linear: **Verstärkung / Dämpfung , Überlagerung, Phasenverschiebung**

nichtlinear: **Übersteuern , Frequenzänderungen**

7. Aufgabe Koaxialkabel

a) Skizzieren Sie das **vollständige** Ersatzschaltbild einer Koaxialleitung.



Leitungsabschnitt vollständig vereinfacht

b) Erklären Sie, welche **beiden** Vereinfachungen des Ersatzschaltbildes bei einer <u>kurzen</u> Leitung für <u>hohe</u> Frequenzen verwendet werden können.

kurze Leitung bei hoher Frequenz X_L >> R => R vernachlässigen

hohe Frequenz Xc << R_G => G vernachlässigen

c) Eine Koaxialleitung besitzt die Kapazität C' =0,6nF/100m, eine Induktivität L' =32µH/100m, ein Dielektrikum mit ε_r = 1,7 und hat eine Länge von 20m.

1) Berechnen Sie den Wellenwiderstand Zw.

$$Zw = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \sqrt{\frac{32\,\mu H * 100\,m}{100\,m * 0{,}6\,nF}} = \sqrt{53333}\,\Omega = 230{,}94\,\Omega$$

2) Berechnen Sie den Verkürzungsfaktor vk.

$$v_k = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_r}} = 0{,}767$$

8. Aufgabe Impuls auf Leitung 1

An einem 6m langen Koaxialkabel wurde eine Impulsmessung (s. *Diagramm 7*) durchgeführt. Am Impulsgenerator waren folgende Werte eingestellt :

$\hat{u}_0$ = 6 V; T = 80 ns ; Ri = Zw = 75 Ω.

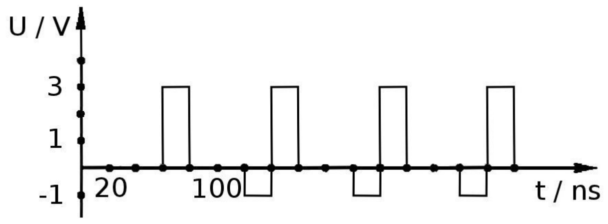


Diagramm 7

a) <u>Erklären</u> Sie, woran zu erkennen ist, dass die Messung am Eingang der Leitung durchgeführt wurde.

Reflektierter Puls separat erkennbar, da Laufzeit hin und rück durch das Kabel. Bei Messung am Reflexionsende wäre nur ein Puls mit einer Amplitude kleiner als 6V zu erkennen. Die Amplitude am Ende ergibt sich durch Überlagerung (Addition) von hin- und rücklaufendem Puls.

b) Berechnen Sie den Verkürzungsfaktor v_k (Gut nachvollziehbarer Rechengang!).

Reflektierter Puls nach Hin- und Rückweg (=12m) nach 60 ns am Eingang,

V = 12m / 60ns = 2 *10^8 m/s = v_k * c

v_k = v / c = 2/3 = 0,66

c) Berechnen Sie den Reflexionsfaktor r.

$\hat{u}_r = r \cdot \hat{u}_h$ => $r = \hat{u}_r / \hat{u}_h$ aus Diagramm: $\hat{u}_r$ = -1V , $\hat{u}_h$ = 3V => r = -1V / 3V = -1/3 = -0,333

d) Berechnen Sie den Lastwiderstand R_L.

r = (R_L - Z) / (R_L + Z) = -1/3 => -3 (R_L - Z) = R_L + Z => 4 R_L = 2 Z => R_L = 1/2 Z = 37,5 Ω.

e) Beschreiben Sie in Stichworten, wie das Diagramm aussehen würde, wenn das Koaxialkabel

1) mit offenem Ende (Leerlauf) betrieben würde?

Totalreflexion des Pulses, am Reflexionsort ist û = 6V,
$\hat{u}_r$ hat gleiche Polarität und Amplitude wie $\hat{u}_h$

2) mit kurzgeschlossenem Ende betrieben würde?

Totalreflexion des Pulses, am Reflexionsort ist û = 0V,
$\hat{u}_r$ hat gleiche Amplitude aber entgegengesetzte Polarität wie $\hat{u}_h$

3) 8m lang wäre? Begründung mit Rechnung!

Hin- und Rückweg des reflektierten Pulses: td = 16m / 2 * 10^8 m/s = 80ns,
alle Folgepulse würden durch reflektierten Puls überlagert und deshalb nur 2V groß,
nur der 1. Puls am Eingang wäre 3V groß,

9. Aufgabe Impuls auf Leitung 2

An einem Koaxkabel wurde eine Impulsmessung (s. *Diagramm 8*) durchgeführt. Die Messstelle lag **irgendwo am Kabel**. Die Messung wurde zeitgleich mit dem Impulsgenerator gestartet. Die Impulse wurden am Leitungsanfang eingespeist.

Am Impulsgenerator waren folgende Werte eingestellt : T = 100 ns ; Ri = Zw = 90 Ω.

Die gemessene Leitung hatte folgende Daten:
v = $1{,}7 \cdot 10^8$ m/s ; Zw = 90Ω ; C'=100nF/km

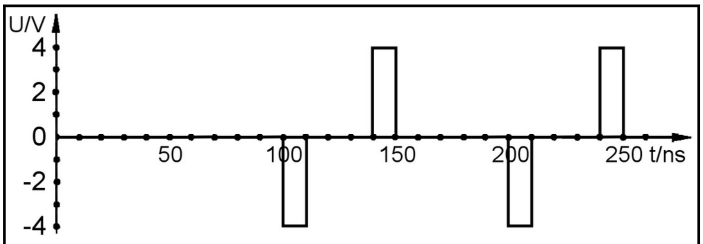


Diagramm 8

a) Berechnen Sie den Induktivitätsbelag L' für eine Leitungslänge von 1km.

$$\mathbf{Zw = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad \rightarrow \quad L' = Zw^2 * C' \quad = \frac{0{,}81\,mH}{1\,km}}$$

b) Berechnen Sie den Verkürzungsfaktor v_k und die Permittivitätszahl ε_r für die Leitung.

$$\mathbf{v = vk * c \rightarrow vk = \frac{v}{c} = \frac{1{,}7}{3} = 0{,}567}$$

$$\mathbf{vk = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}} \rightarrow \varepsilon_r = \frac{1}{vk^2} = \frac{1}{0{,}567^2} = 3{,}114}$$

c) **Erklären** Sie, ob der Lastwiderstand RL am Ende der Leitung an den Wellenwiderstand Zw angepasst ist, ob die Leitung am Ende offen ist oder ob am Leitungsende ein Kurzschluss vorliegt.

Kurzschluss da Reflexion mit entgegengesetzter Polarität und gleicher Amplitude

d) Beschreiben Sie **jeweils in einem** Satz, wie das Signal bei den anderen beiden unter c) genannten Varianten des Lastwiderstands aussehen würde.

Bei Anpassung gibt es keine reflektierten Pulse.

Bei offenem Ende hat der reflektierte Puls gleiche Polarität und gleiche Amplitude wie der hinlaufende Puls.

e) **Berechnen** Sie die gesamte Kabellänge **L** in Metern **und** den Ort **X** (in Metern vom Leitungsanfang) an dem gemessen wurde.

Hinlaufender Puls benötigt 100ns bis zur Messstelle

X = v * 100ns = 17m

Reflektierter Puls benötigt von Messstelle bis zum Leitungsende und zurück 40ns

Laufzeit von Messstelle bis zum Leitungsende = 20ns

E = L - X = v * 20ns = 3,4m

L = X + E = 17m + 3,4m = 20,4m

10. Aufgabe Impuls auf Leitung 3

An einem Koaxkabel mit dem Wellenwiderstand Zw wurde eine Impulsmessung (s. *Diagramm 9*) **zeitgleich mit dem Impulsgenerator gestartet**.

Am Impulsgenerator waren folgende Werte eingestellt :
$\hat{u}_0$ = 6 V; T = 180 ns ; Ri = Zw = 60Ω.

Für die gemessene Leitung gilt vk = 0,5.

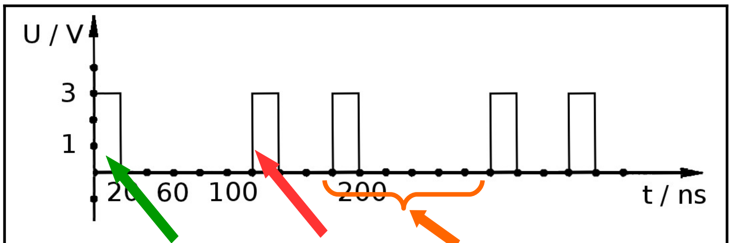


Diagramm 9

a) Erläutern Sie **kurz**, ob der Lastwiderstand RL am Ende der Leitung an den Wellenwiderstand Zw angepasst war, ob die Leitung am Ende offen war oder ob am Leitungsende ein Kurzschluss vorlag.

offenes Ende, denn am Leitungsende reflektierter Impuls (Reflexion) hat gleiche Polarität(Richtung) und gleiche Amplitude wie hinlaufender Impuls (Original)

b) Berechnen Sie die Kabellänge **L**.

Die Messung wird zeitgleich mit dem Impulsgenerator gestartet und der Puls beginnt im Diagramm bei t=0. Deshalb befindet sich die Messstelle am Leitungsanfang.

v = vk * c = 0,5 * 3 * 10^8 m/s = 1,5 * 10^8 m/s
Laufzeit t_L für Hin- und Rückweg über ganze Kabellänge L ,
Wert aus Diagramm: Laufzeit t_L = 120ns
=> L = 0,5 * t_L * v = 9m

c) Der Widerstand am Ende der Leitung wird gegen **R_L = 20Ω ausgetauscht**.
Berechnen Sie den Reflexionsfaktor **r** (r = 0,386)
und die Höhe **$\hat{u}_L$** des Spannungspulses am Leitungsende über R_L .

r = (R_L - Zw) / (R_L+Zw) = (20 - 60) / (20 + 60) = - 0,5

aus Diagramm:
$\hat{u}_h$ = 3V $\hat{u}_r = r * \hat{u}_h$ = - 1,5V $\hat{u}_L = \hat{u}_r + \hat{u}_h$ = 1,5V