

Modul 121

Einführung

- Steuerungsaufgaben bearbeiten -

Schuljahr: 2021 // 2022

Modulreferenz: <https://cf.ict-berufsbildung.ch/>

Kompetenz: Steuerungsaufgabe aus einer Vorlage identifizieren, analysieren und als offene Steuerung oder als Regelkreis aufbauen.

Objekte: Ablauf, der mit Sensoren und Aktoren gesteuert wird.

Voraussetzungen: Grundlagen der Elektrotechnik, die für das Verständnis der Verarbeitung von elektrischen Analog- und Digitalsignalen notwendig sind.

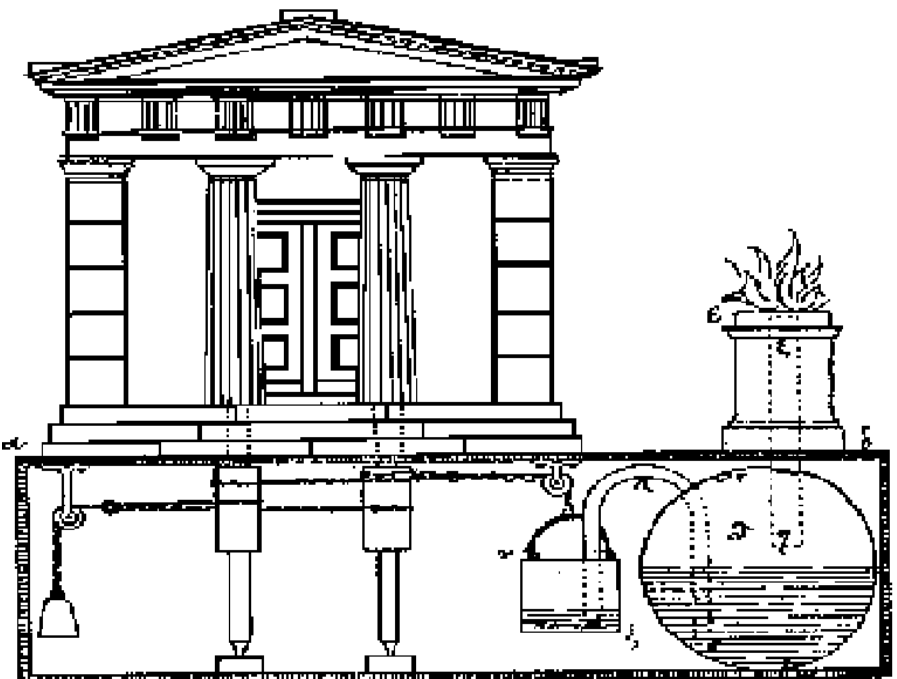
Niveau: 2

Version: 3

Aus Herons Pneumatik:

Der Dampf als Antriebskraft: Automatische Tempeltüren "Bau einer Kapelle, deren Türen infolge eines Opferfeuers sich von selbst öffnen und wieder schliessen"

Heron von Alexandria lebte wahrscheinlich um 50 nach Christus, in einer Zeit, wo die altgriechische Theorie und Kunst, die ägyptische Tradition und die römische Technik sich vereinigten.



Handlungsziele mit definierten handlungsnotwendigen Kenntnissen

1. Einen zu steuernden Prozess analysieren, die erforderlichen Elemente für die Steuerung bestimmen und die Funktionen der Steuerung in einer Prinzip-Skizze dokumentieren.
 - 1.1 Kennt den Aufbau häufig eingesetzter Sensoren und Aktoren und deren grundsätzliche funktionsweise
 - 1.2 Kennt Kriterien für die Auswahl von Sensoren und Aktoren, sowie deren mögliche Einsatzgebiete.
 - 1.3 Kennt die Elemente für die schematische Darstellung von Steuerungen und Regelungen.
2. System auf der Grundlage der Prinzip-Skizze in Form einer Schaltung entwerfen oder als Simulation realisieren.
 - 2.1 Kennt Arten, Aufbau und Verhalten von offenen Steuerungen und Regelkreisen, sowie deren Unterscheidungsmerkmale.
 - 2.2 Kennt die Grundprinzipien für die Steuerung von Abläufen.
 - 2.3 Kennt die Möglichkeit mittels Zustandsdiagrammen Steuerungsaufgaben zu beschreiben.
3. Geeignete Elemente für die Steuerung inkl. Aktoren und Sensoren auswählen und zu einem System zusammenbauen.
 - 3.1 Kennt die wesentlichen Komponenten zur Realisierung einfacher Steuerungen.
 - 3.2 Kennt Möglichkeiten, wie einfache Steuerungen simuliert oder realisiert werden können.
4. Die Testfälle aus den Anforderungen ableiten, die Funktionen des Systems testen und die identifizierten Fehler korrigieren.
 - 4.1 Kennt die Methodik, systematisch aus Anforderungen Testfälle zu definieren, sowie Grenzzustände zu berücksichtigen.

Inhaltsverzeichnis: (Stoffplan und Unterrichtshilfen zu diesen 19·2 Unterrichtslektionen finden Sie 1. Steuer- und Regelfunktionen mit OPV wie bekannt auch auf SharePoint vom BBZW Sursee!)

[illegible]

Modul 121

Block 1

- Steuer- und Regelfunktionen mit OPV -

1.1 Grundlagen von Operationsverstärkern



Ein Operationsverstärker (Englisch: operational amplifier) dient z.B. für Signalverstärkung bzw. zur Definition von Rechenoperationen. Für Operationsverstärker wird dabei meistens die Abkürzung 'OPV' verwendet!

In den 60er- und 70er-Jahren wurden besonders an Forschungseinrichtungen Analogrechner verwendet, mit denen man auf einfache Weise Proportionalverstärkungs-, Differential- und Integral-Funktionseinheiten, als auch Summierer erstellen konnte.

Da die reale Welt mit ihrer Natur analog ist, eignete sich bis ins einundzwanzigste Jahrhundert für solche speziellen Aufgaben ein Digitalrechner nicht, da er naturgemäß digital arbeitet und noch sehr leistungsschwach war. Heute aber sind diese Rechenleistung dieser Computer sehr hoch und Daten können einfach ausgewertet und dargestellt werden, weshalb heute Digitalrechner bevorzugt werden.

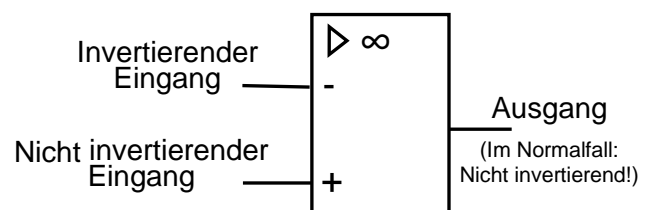
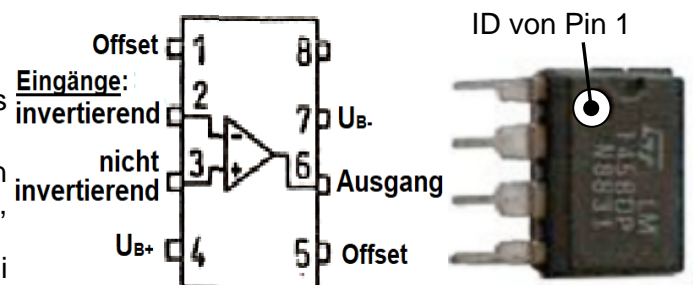
Ein Analog-Rechner ist keine fest verdrahtete Maschine, d.h. seine Funktion kann durch Programmierung geändert werden. Er hat auch vielen Funktionseinheiten, die man je nach Aufgabenstellung miteinander kombiniert. Funktionseinheiten sind dabei z.B. invertierende oder nichtinvertierende Verstärker, Summierer, Subtrahierer, Integrierer und Differenzierer (Siehe Kapitel 1.2 bis Kapitel 1.8!). Herzstück dieser Funktionsglieder ist jeweils der Operationsverstärker, weshalb wir uns mit diesem im Unterrichtsblock 1 beschäftigen. Damit werden uns die Funktionen und die Einsätze der verschiedenen Steuer- und Regelfunktionen klar.

Aufbau, Funktion und Symbol eines OPV

Das wesentliche Glied eines Operationsverstärkers ist der Differenzverstärker.

Ein "normaler" Verstärker besitzt einen Eingang, an dem man das Signal einspeist, und einen Ausgang, an dem das verstärkte, Signal abnimmt.

Demgegenüber besitzt ein Operationsverstärker zwei Eingänge und einen Ausgang. Das Ausgangssignal ergibt sich dabei aus der konfigurierten Differenz der Eingangssignale. Damit ein Operationsverstärker Unter- und Überschreitungen vom Istwert gegenüber dem Sollwert auswerten kann, braucht er auch zwei Speisespannungen wie U_{B+} und U_{B-} . Damit wird der Istwert einer Steuer- bzw. Regeleinrichtung gleich dem Sollwert. Dies ist ja auch das Wichtigste bei einer Steuerung bzw. einer Regelung!



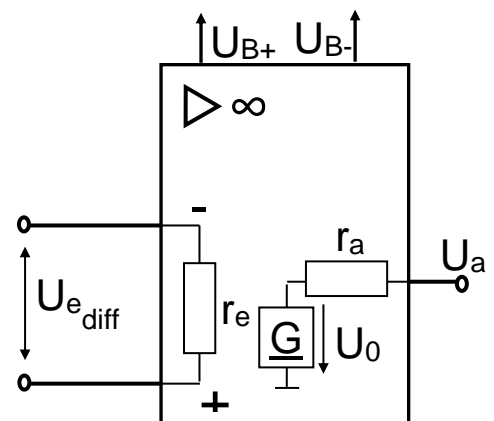
Aktuelles Symbol eines idealen OPV

Daten eines idealen Operationsverstärkers

Wir werden uns bei unsern Rechen- und Entwicklungsaufgaben auf ideale Operationsverstärker begrenzen, der folgende, wichtige Eigenschaften hat:

		idealer OPV	realer OPV
r_e	Eingangswiderstand	$\infty \Omega$	$10^5 \dots 10^{12} \Omega$
r_a	Ausgangswiderstand	0Ω	$10 \dots 100 \Omega$
U_{U0}	Leerlaufverstärkungsfaktor	∞	$10^4 \dots 10^6$

Für unsere Rechenaufgaben brauchen wir diese drei definierten, idealen Größen. Die Betriebsspannungen U_{B+} und U_{B-} werden bei Schemas im Normalfall nicht eingezeichnet und betragen meistens $U_{B+} = +15V$ und $U_{B-} = -15V$!



1.2 Invertierende Signalverstärkung

Nebenan ist der wohl einfachste Signalverstärker gezeichnet. Er verwendet einen OPV und funktioniert folgendermaßen:

Der OPV ist immer bestrebt, die Differenzspannung zwischen Plus- und Minuseingang so gering wie möglich zu halten (ideal 0V). Der Pluseingang des OPV's liegt dabei fest an Masse und hat damit 0V Spannung, auch wenn ein Querwiderstand R_Q vorhanden ist. Vorhandene Querwiderstände R_Q müssen wir damit bei unseren Rechnungen nicht beachten. Da der Minuseingang den gleichen Spannungspegel besitzt, wird an ihm eine *virtuelle Masse* erzeugt. Der durch die Eingangsspannung hervorgerufene Strom durch den Eingangswiderstand R_e kann nicht einfach verschwinden, sondern muss irgendwohin weiterfließen. Der Minuseingang vom OPV ist ja sehr, sehr hochohmig, also muss er weiter zum OPV-Ausgang durch R_K hindurchfließen. Bei einer positiven Eingangsspannung muss daher die Ausgangsspannung U_a negativ sein. Der OPV stellt daher die Ausgangsspannung genau auf den Wert, der erforderlich ist, damit an den beiden OPV-Eingängen keine Differenzspannung auftritt, also damit 0V beträgt.

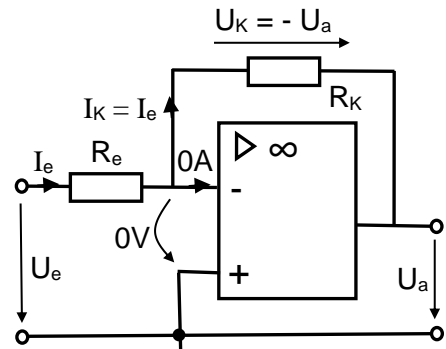
Sind R_e und R_K gleich gross, so ist die Spannungsverstärkung -1, d.h. der Spannungsbetrag am Ausgang ist gleich wie jener am Eingang. Die Vorzeichen der beiden Spannungen haben aber entgegengesetzte Polarität. Die Stromstärke durch R_e berechnet sich aus $I_e = U_e / R_e$ und fliesst weiter durch R_K . Sie erzeugt an ihm nach dem ohmschen Gesetz $U_K = R_K \cdot I_e$ die gleiche Spannung wie an R_e , weil ja die beiden Widerstandswerte gleich sind. Damit haben wir in diesem Fall einen *Inverter*.

Die Eingangsimpedanz, d.h. der Verstärkereingangswiderstand r_e ist bei der invertierenden OPV-Verstärkerschaltung gleich dem Widerstand R_e und die Ausgangsimpedanz, d.h. der Verstärkungsausgangswiderstand r_a ist bei unsern idealen OPV 0Ω, womit dieser bei Rechnungen nicht beachtet werden muss.

Ist R_K größer als R_e , muss der OPV den Betrag der Ausgangsspannung erhöhen, um den gleichen Strom fließen zu lassen. Da in diesem Fall $|V_u| > 1$ ist, spricht man von Verstärkung und von Verstärkern.

Ist R_K kleiner als R_e , ist $|V_u| < 1$, womit man in solchen Fällen von Dämpfung spricht.

Beispiel: Mit Hilfe einer OPV-Schaltung soll aus einem vorhandenen Signal mit $U_s = -450\text{mV}$ und $I_s = -56\mu\text{A}$ für die Datenerfassung eine Spannung von 3.4V entstehen. Zeichnen Sie diese Schaltung und berechnen Sie die notwendigen Widerstandswerte! <inv. OPV mit $V_u = -7.56$; $R_e = 8.04\text{k}\Omega$; $R_K = 60.7\text{k}\Omega$ >



V_u Spannungsverstärkungsfaktor
 R_K Rückkopplungswiderstand
 R_e Eingangswiderstand
 U_e Eingangsspannung
 U_a Ausgangsspannung
 r_e Verstärkereingangswiderstand
 r_a Verstärkerausgangswiderstand

$$V_u = \frac{U_a}{U_e} = -\frac{R_K}{R_e}$$

$$r_e = R_e; r_a = 0\Omega$$

Diese Formeln gelten für den idealen OPV!

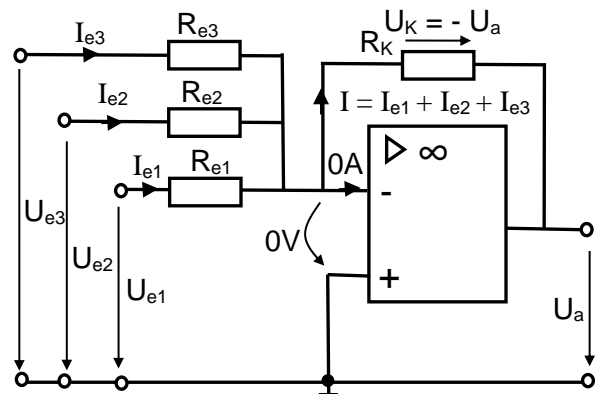
1.3 Summierer

Der Summierer (Addierer) basiert auf dem invertierenden Verstärker. Statt eines Eingangs besitzt er zwei oder mehr Eingänge, deren Signale addiert werden.

Ein typisches Anwendungsbeispiel im Audiobereich ist ein Mischpult, bei dem zwei oder mehr Signale "zusammengemischt" sprich addiert werden. Hier gibt es nun zwei oder mehr Eingangsspannungen und damit zwei oder mehr Eingangsströme, die in Summe zum OPV-Ausgang fließen müssen. Der OPV stellt daher bei identischen Widerständen die Ausgangsspannung so ein, dass die Ausgangsspannung der Summe der Eingangsspannungen entspricht, aber die entgegengesetzte Polarität besitzt. Durch Wahl der Widerstände kann man einzelnen Eingängen eine größere Verstärkung geben als anderen.

Die Verstärkung des Eingangssignals U_{e1} berechnet sich zu $V_1 = -R_K / R_{e1}$ und die des Eingangs 2 zu $V_2 = -R_K / R_{e2}$, etc.. Daraus ergibt sich die rechts definierte Formel für U_a .

Ein großer Vorteil dieser Schaltung ist es, dass der Minuseingang eine virtuelle Masse darstellt. Dadurch kommt es nicht zu Rückwirkungen auf andere Eingänge, wie dies bei vielen anderen Schaltungen ohne OPV der Fall ist. Durch weitere Widerstände R_{e4} , R_{e5} , etc. kann man die Anzahl der Eingänge nahezu beliebig erhöhen.



V_u Spannungsverstärkungsfaktor
 R_K Rückkopplungswiderstand
 R_{e_n} Eingangswiderstände
 U_{e_n} Eingangsspannungen
 U_a Ausgangsspannung

$$U_a = -R_K \cdot \left(\frac{U_{e1}}{R_{e1}} + \frac{U_{e2}}{R_{e2}} + \frac{U_{e3}}{R_{e3}} \right)$$

Beispiel: Ein Summierer mit $R_K = 68\text{k}\Omega$ soll eine Spannung $-U_a = 2 \cdot U_{e1} + 3 \cdot U_{e2}$ liefern. Zeichnen Sie das Schaltschema und berechnen Sie die notwendigen Widerstandswerte, als auch die vorhandene Spannung U_{e1} bei $U_{e2} = -105\text{mV}$ und $U_a = -2.00\text{V}$! <OPV-Summierer mit $R_{e1} = 34.0\text{k}\Omega$, $R_{e2} = 22.7\text{k}\Omega$ und $U_{e1} = 1.56\text{V}$ bei $U_{e2} = -105\text{mV}$ und $U_a = -2.00\text{V}$ >

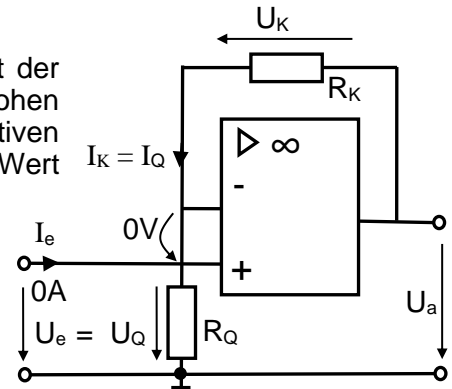
1.4 Nicht invertierende Signalverstärkung

Eine weitere bekannte und stark verbreitete Grundschialtungen ist der nicht invertierende Signalverstärker. Er besitzt einen sehr, sehr hohen Eingangswiderstand r_e , und einen nicht invertierenden, d.h. positiven Verstärkungsfaktor V_u , der mittels zwei Widerstände auf einen Wert von 1 oder mehr eingestellt werden kann.

Aufgrund der hohen Differenzverstärkung ist bekanntlich der Spannungspegel am Pluseingang nahezu gleich gross wie jener am Minuseingang, so dass die Spannung am Minuseingang der Eingangsspannung genau folgt. Da der Strom $I_Q = I_K$ ist, ergibt sich die Ausgangsspannung U_a aus der Summe der beiden Widerstände R_K und R_Q mal die Stromstärke I_Q , wie dies die Formel nebenan zeigt!

Beispiel: Mit Hilfe einer OPV-Schaltung mit $R_K = 68\text{k}\Omega$ soll aus einem vorhandenen Signal mit $U_s = 630\text{mV}$ für die Datenerfassung eine Spannung von 3.4V entstehen. Zeichnen Sie diese Schaltung und berechnen Sie V_u und R_Q !

<nicht inv. OPV mit $V_u = 5.40$; $R_Q = 15.5\text{k}\Omega$ >



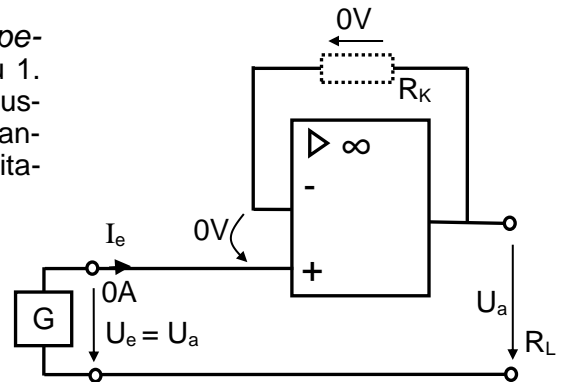
V_u Spannungsverstärkungsfaktor
 R_K Rückkopplungswiderstand
 R_e Eingangswiderstand
 U_e Eingangsspannung
 U_a Ausgangsspannung
 r_e Verstärkereingangswiderstand
 r_a Verstärkerausgangswiderstand

$$V_u = \frac{U_a}{U_e} = \frac{R_K}{R_Q} + 1$$

Diese Formeln
gelten für
ideale OPV!

$$r_e = \infty; r_a = 0\Omega$$

Ein Sonderfall des nicht invertierenden Verstärkers ist der *Impedanzwandler*. Er besitzt einen Verstärkungsfaktor von genau 1. Da der Minuseingang über den Widerstand R_e direkt mit dem Ausgang verbunden ist, ist seine Spannung mit der Ausgangsspannung U_a identisch. Solche Schaltungen werden z.B. an den digitalen Eingängen eines Mikroprozessors eingesetzt.

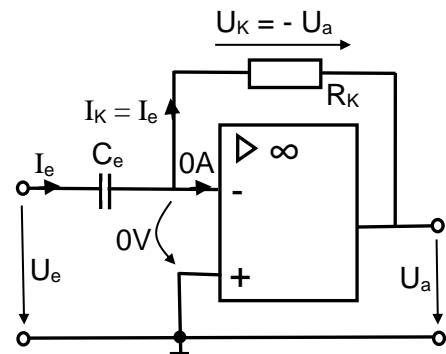


1.5 Differenzierer $\rightarrow U_a = \Delta U_e / \Delta t$ (Steilheit)

Die Ausgangsspannung U_a vom rechts gezeichneten Differenzierer ergibt sich aus der Auswertung der Steilheit der Eingangsspannung U_e , d.h. $\Delta U_e / \Delta t$.

Die Auswertung einer Steilheit nennt man allgemein Differenzial. Durch einen Differenzierer können Pegeländerungen am überwachten Signal ausgewertet werden.

Beispiele: Übungen 26 und 29 von K1.9, Rückblickübungen

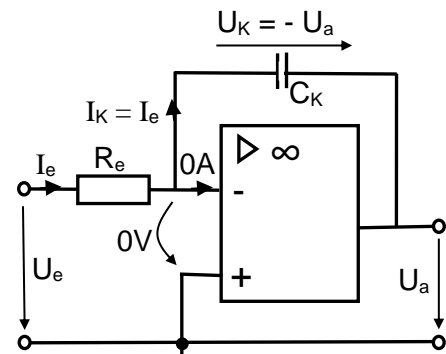


1.6 Integrierer $\rightarrow U_a = U_e \cdot t$ (Fläche)

Die Ausgangsspannung U_a vom rechts gezeichneten Integrierer ergibt sich aus der Spannungs-Zeit-Fläche der Eingangsspannung „ U_e “.

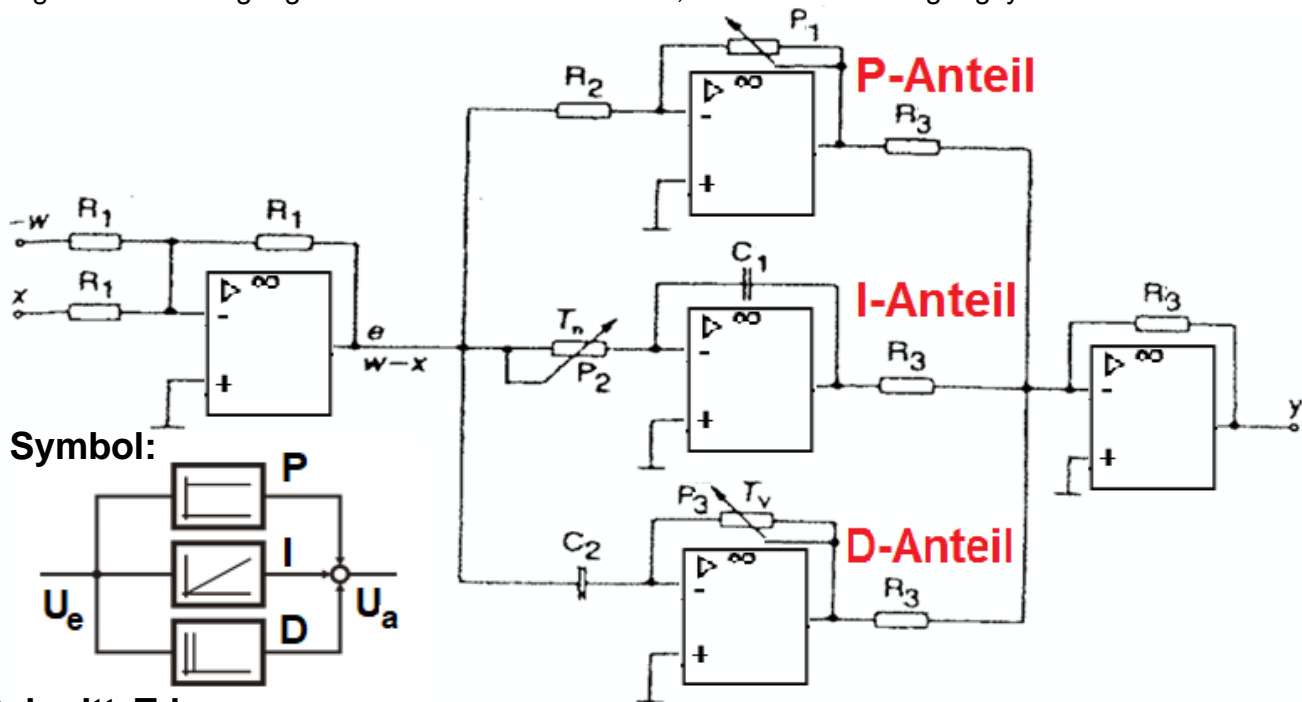
Diese Flächenauswertung nennt man Integral. Mit dem Integrierer können damit kleine Abweichungen zwischen Ist- und Sollsignal erfasst und damit dann auch ausgeglichen werden.

Beispiele: Übungen 27 und 28 von K1.9, Rückblickübungen



1.7 Kombinationen von Regelkreisen (z.B. PID-Regler)

Die erarbeiteten Grundsaltungen wie Proportionalverstärker (P-Regler), Differenzierer (D-Regler) und Integrierer (I-Regler) werden z.B. bei Reglern zusammengeschaltet. Damit kann ein beliebiges Regelverhalten eingestellt werden, welches heute in der Praxis auch gefordert wird. Somit ergibt sich der folgende PID-Regler mit den Eingängen Sollwert 'w' und Istwert 'x', als auch dem Ausgang 'y':



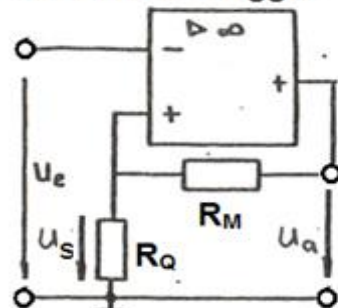
1.8 Schmitt-Trigger (Stufenschalter)

Mit einem Schmitt-Trigger ergibt sich ein Zweipunktschalter, d.h. dass die Umschaltung der Ausgangsgrösse nicht bei gleichem steigendem und fallendem Istwert erfolgt. Damit ergibt sich eine bestimmte Regelpause, welche bei einem Einpunktschalter nicht vorhanden wäre.

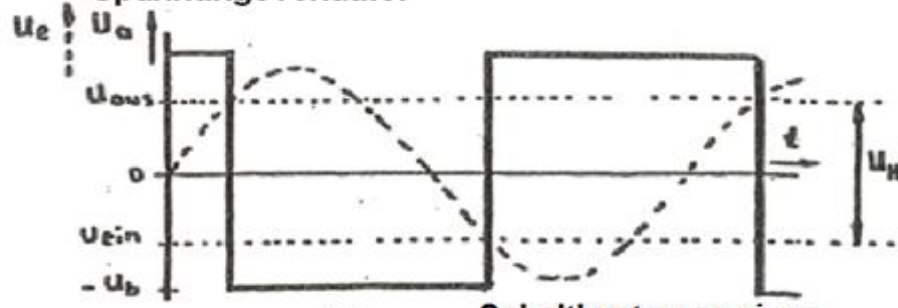
Mit einem Operationsverstärker lassen sich sowohl invertierende, als auch nicht invertierende Schmitt-Trigger realisieren. Für beide Fälle werden die gewünschten Einschaltpegel U_{ein} , Ausschaltpegel U_{aus} und die Schalthysterese U_H durch das Verhältnis der Widerstände R_Q und R_M festgelegt.

Bei der folgenden Schaltung handelt es sich um einen invertierenden Schmitt-Trigger, der in der Praxis meistens verwendet wird, da er gegen eine Wertänderung wirkt. Die folgende, dargestellte *Schaltungshysterese* entsteht die von den Widerständen R_M und R_Q entstandene Mitkopplung. Am rechts unten dargestellten Verlauf der Eingangsspannung U_e ist die resultierende Ausgangsspannung U_a erkennbar.

inv. Schmitt-Trigger:

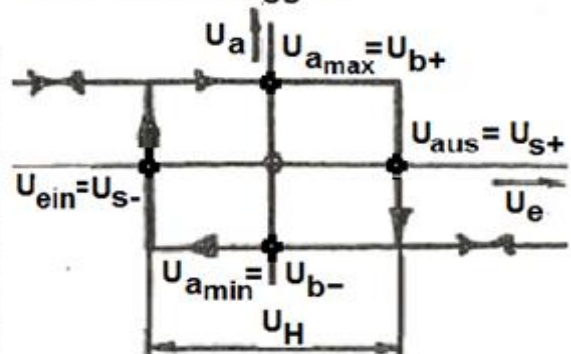


Spannungsverläufe:



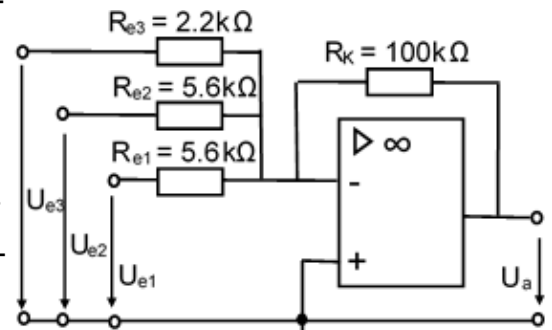
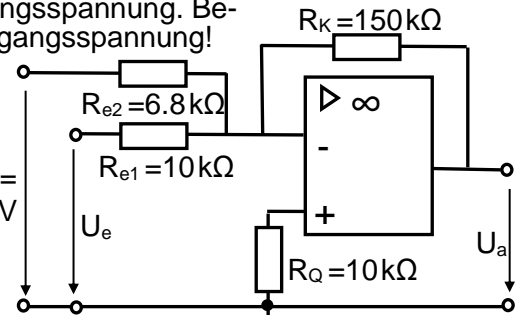
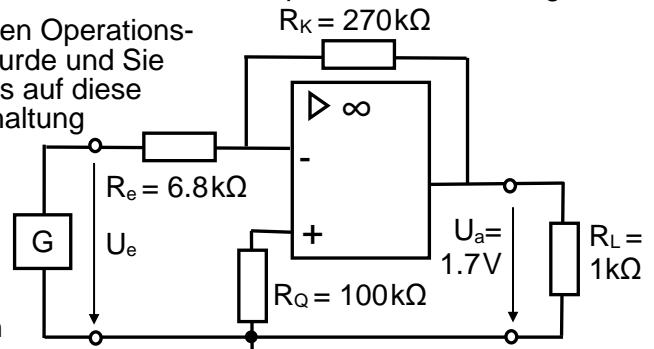
Schaltspannung: $U_s = U_Q = R_Q \cdot I_Q = R_Q \cdot \frac{\pm U_b}{R_Q + R_M}$
(Für invertierenden Schmitt-Trigger)

Schalthysterese eines inv. Schmitt-Trigger

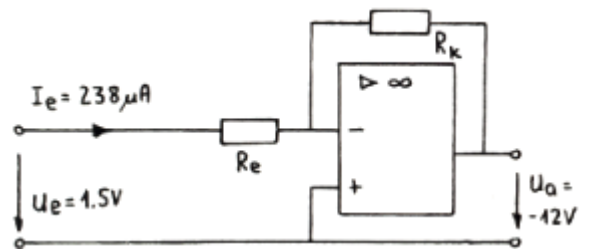
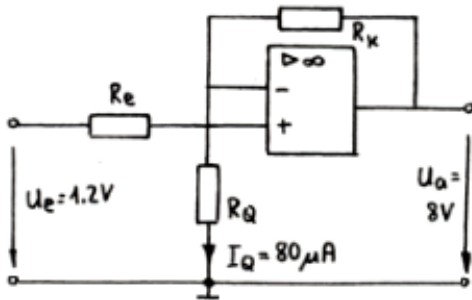


1.9 Übungen zu Steuer- und Regelfunktionen mit OPV → Lösen Sie sauber in Ihrem M121-Arbeitsheft!

- Warum sind bei einem Operationsverstärker meistens zwei Speisespannungen notwendig und welche elektrischen Spannungswerte haben diese beispielsweise?
- Warum hat ein Operationsverstärker zwei Signaleingänge? Wie heißen zudem diese Signaleingänge und welches DIN-Symbol ist heute für einen Operationsverstärker definiert?
- Beschreiben Sie die drei wichtigen Eigenschaften, die für einen idealen Operationsverstärker gelten!
- Nebenan sehen Sie das Schema eines invertierenden Operationsverstärkers. Wie Ihnen gezeigt, als auch erläutert wurde und Sie damit wissen, hat der Widerstand R_Q keinen Einfluss auf diese Rechnung! Berechnen Sie nun von dieser OPV-Schaltung die vorhandene Eingangsspannung U_e !
- Von einem OPV sind $10\text{k}\Omega$ Eingangswiderstand und $150\text{k}\Omega$ Rückkopplungswiderstand bekannt. Berechnen Sie den vorhandenen Spannungsverstärkungsfaktor!
- Ein OPV hat den Spannungsverstärkungsfaktor von -150 und einen $220\text{k}\Omega$ Rückkopplungswiderstand. Zeichnen Sie das Schaltungsschema und berechnen Sie den notwendigen, zweiten Widerstand!
- Ein Invertierer, d.h. in unserem Fall ein invertierender OPV hat einen $10\text{k}\Omega$ Eingangswiderstand, einen $1\text{M}\Omega$ Rückkopplungswiderstand und $250\mu\text{V}$ als Eingangsspannung. Berechnen Sie den Spannungsverstärkungsfaktor und die Ausgangsspannung!
- Berechnen Sie bei der Schaltung nebenan die notwendige Eingangsspannung U_{e1} , wenn die Ausgangsspannung U_a bei den gegebenen Grössen 0V betragen muss!
- Den drei Eingängen beim rechts gezeichneten Summierer werden Rechtecksignale mit High-Spannungswerten von 50mV zugeführt. Berechnen Sie die Ausgangsspannung U_a , wenn:
 - an allen Eingängen diese High-Spannung anliegt
 - an Eingang E1 und E3 die High-Spannung und an Eingang E2 die Low-Spannung mit 0V anliegt
- Die Ausgangsspannung eines Summierverstärkers soll $U_a = -(U_{e1} + 2U_{e2} + 4U_{e3})$ sein. Die Eingangsspannungen U_{e1} und U_{e2} haben dabei Werte von 0.00V bis $+1.50\text{V}$. Die Ausgangsspannung schwankt damit zwischen 0V bis max. -10.5V . Berechnen Sie beim vorhandenen Widerstand R_{e3} von $100\text{k}\Omega$ den notwendigen Rückkopplungswiderstand, den Eingangswiderstand R_{e1} und R_{e2} und den Spannungsbereich der Eingangsspannung U_{e3} !
- Ein nicht invertierender Verstärker ist mit dem Rückkopplungswiderstand von $820\text{k}\Omega$ und dem Querwiderstand von $10\text{k}\Omega$ beschaltet. Berechnen Sie den Spannungsverstärkungsfaktor und die Eingangsspannung, wenn die Ausgangsspannung 4.2V beträgt!
- Bei einem nicht invertierenden Verstärker mit $120\text{k}\Omega$ Rückkopplungswiderstand und $39\text{k}\Omega$ Querwiderstand beträgt die Ausgangsspannung -6V . Berechnen Sie die Eingangsspannung!
- Ein nicht invertierender Verstärker hat einen Rückkopplungswiderstand von $82\text{k}\Omega$. Er soll am Ausgang das Doppelte der Eingangsspannung liefern. Der lineare Aussteuerbereich der Ausgangsspannung ist dabei von -8V bis $+8\text{V}$. Berechnen Sie den dafür notwendigen Eingangsquerwiderstand und die Grenzen der Eingangsspannung!
- Ein nicht invertierender Verstärker soll am Ausgang das 10-fache der Eingangsspannung liefern. Der Eingangsquerwiderstand beträgt $10\text{k}\Omega$. Berechnen Sie den notwendigen Rückkopplungswiderstand!
- Bei einem nicht invertierenden Verstärker mit dem Rückkopplungswiderstand von $56\text{k}\Omega$ ist der lineare Bereich der Ausgangsspannung zwischen -6V und $+6\text{V}$. Die Eingangsspannung schwankt zwischen -2V und $+2\text{V}$. Berechnen Sie den Eingangsquerwiderstand für volle Aussteuerung!
- Ein Operationsverstärker wird als Impedanzwandler betrieben, wobei kein Querwiderstand vorhanden ist. Bei der Rückkopplung wird ein Widerstand von $100\text{k}\Omega$ eingesetzt. Zeichnen Sie das notwendige Schema!

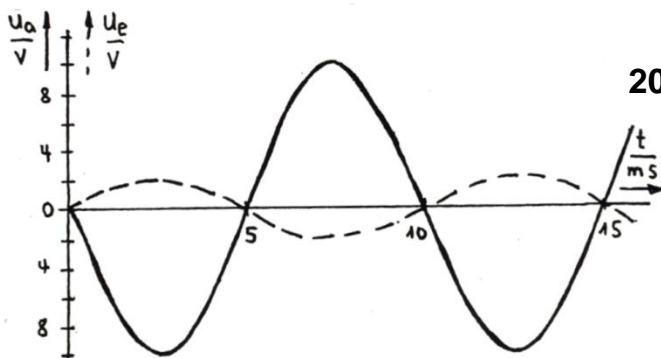
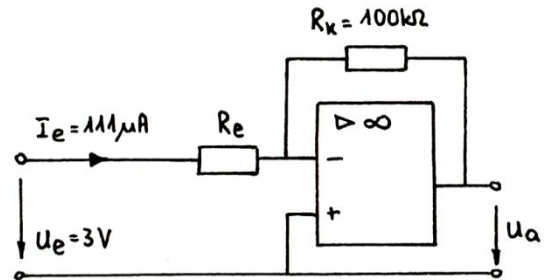


17. Berechnen Sie bei der rechts gezeichneten OPV-Verstärkerschaltung die notwendigen Widerstandswerte der vorhandenen Widerstände R_e und R_K !



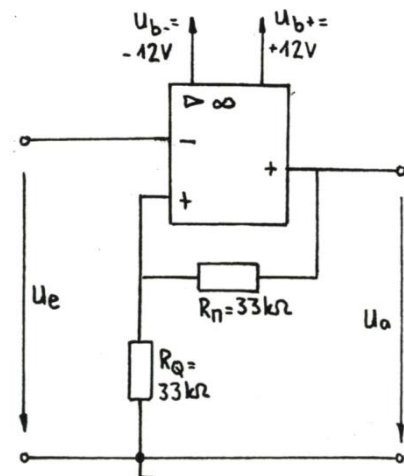
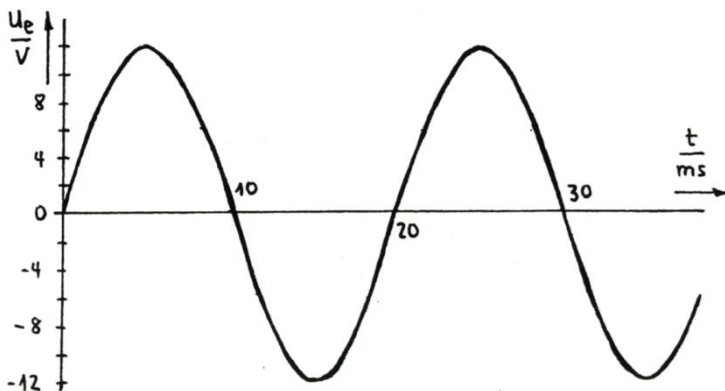
18. Bestimmen Sie bei der links gezeichneten Operationsverstärkerschaltung die notwendigen Widerstandswerte der vorhandenen Widerstände R_e , R_Q und R_K !

19. Wie gross ist bei der nebenan gezeichneten Operationsverstärkerschaltung die Ausgangsspannung und der notwendige Widerstandswert von R_e !

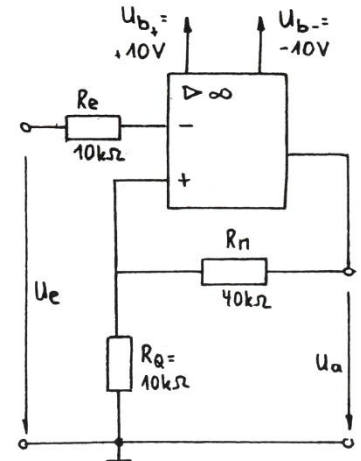
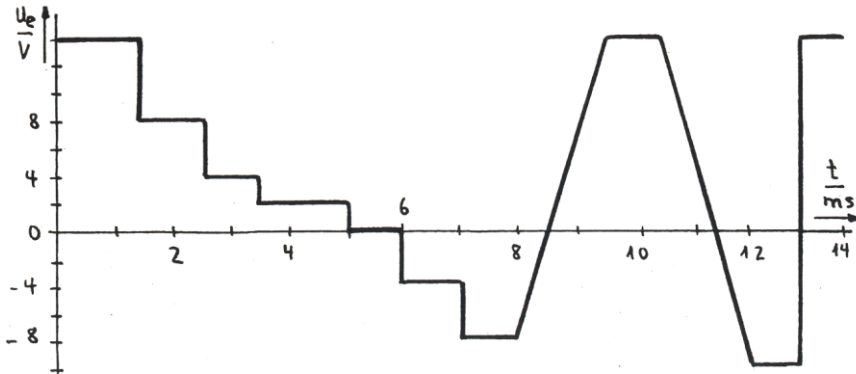


20. Zeichnen Sie eine für den links definierten Spannungsverlauf von der Ausgangsspannung U_a und der Eingangsspannung U_e das notwendige Schema der entsprechenden Operationsverstärkerschaltung und definieren Sie die notwendigen Widerstandswerte, wenn der Eingangsstrom maximal $200 \mu A$ betragen darf!

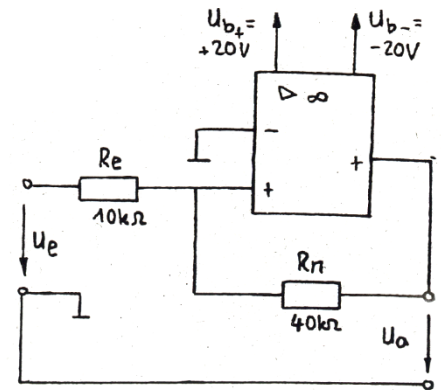
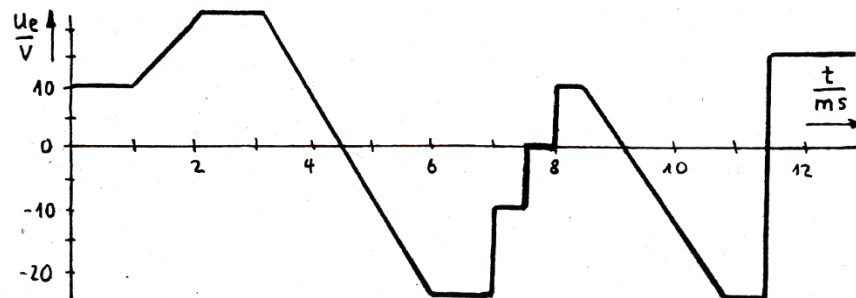
21. Bestimmen Sie für den folgenden Schmitt-Trigger (Schwellwertschalter) den Spannungsverlauf von U_a !



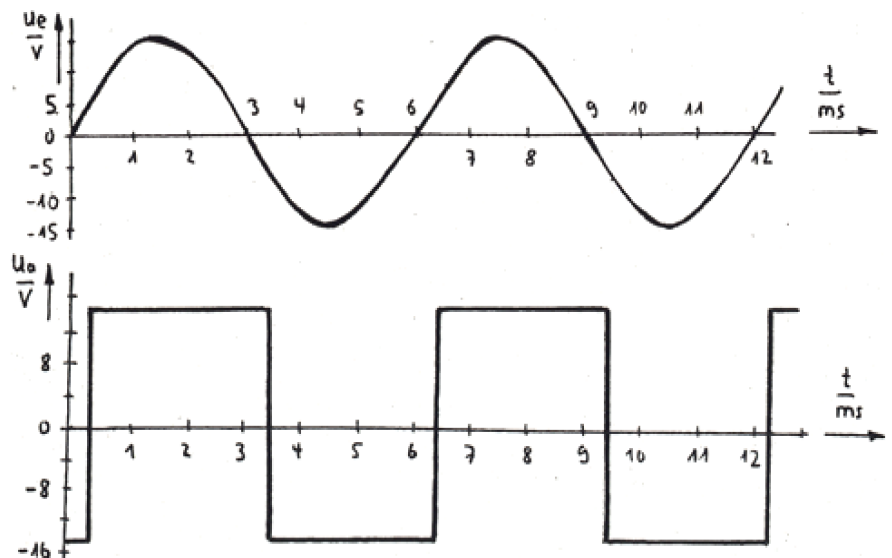
22. Bestimmen Sie für folgende Schaltung den Spannungsverlauf von der Ausgangsspannung U_a bei der gegebenen Eingangsspannung U_e !



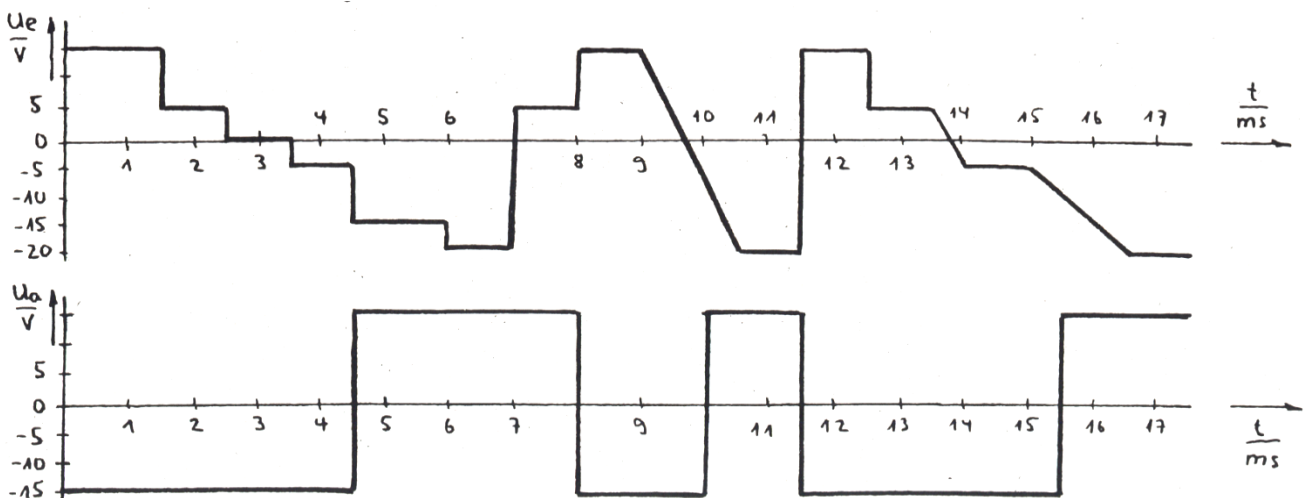
23. Bestimmen Sie für Schaltung nebenan den Spannungsverlauf der Ausgangsspannung U_a bei der gegebenen Eingangsspannung U_e !



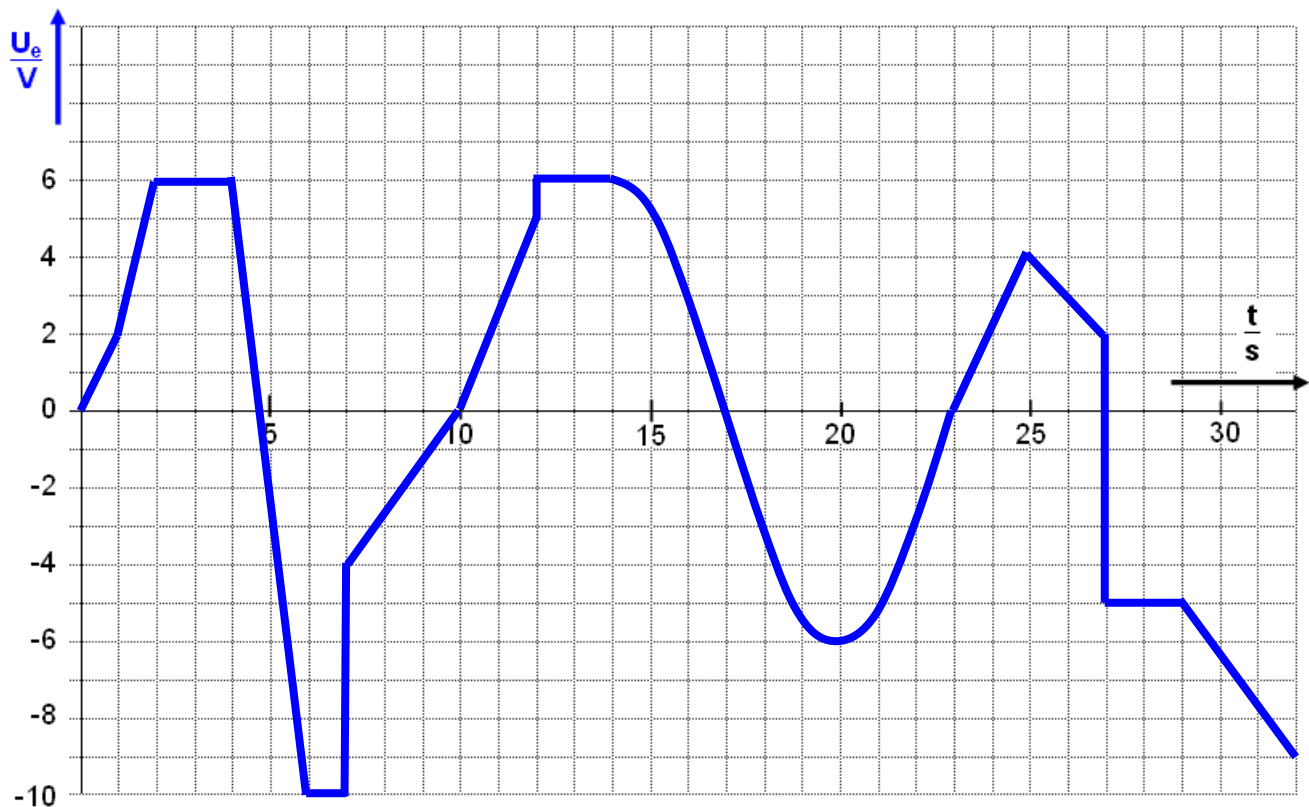
24. Zeichnen Sie vom rechts gezeichneten Verlauf der Eingangsspannung U_e und Ausgangsspannung U_a das Schema vom notwendigen Schmitt-Trigger. Bestimmen Sie die Schwellwertspannung und den notwendigen Widerstand von R_M , wenn der andere, notwendige Widerstand $10\text{k}\Omega$ beträgt.



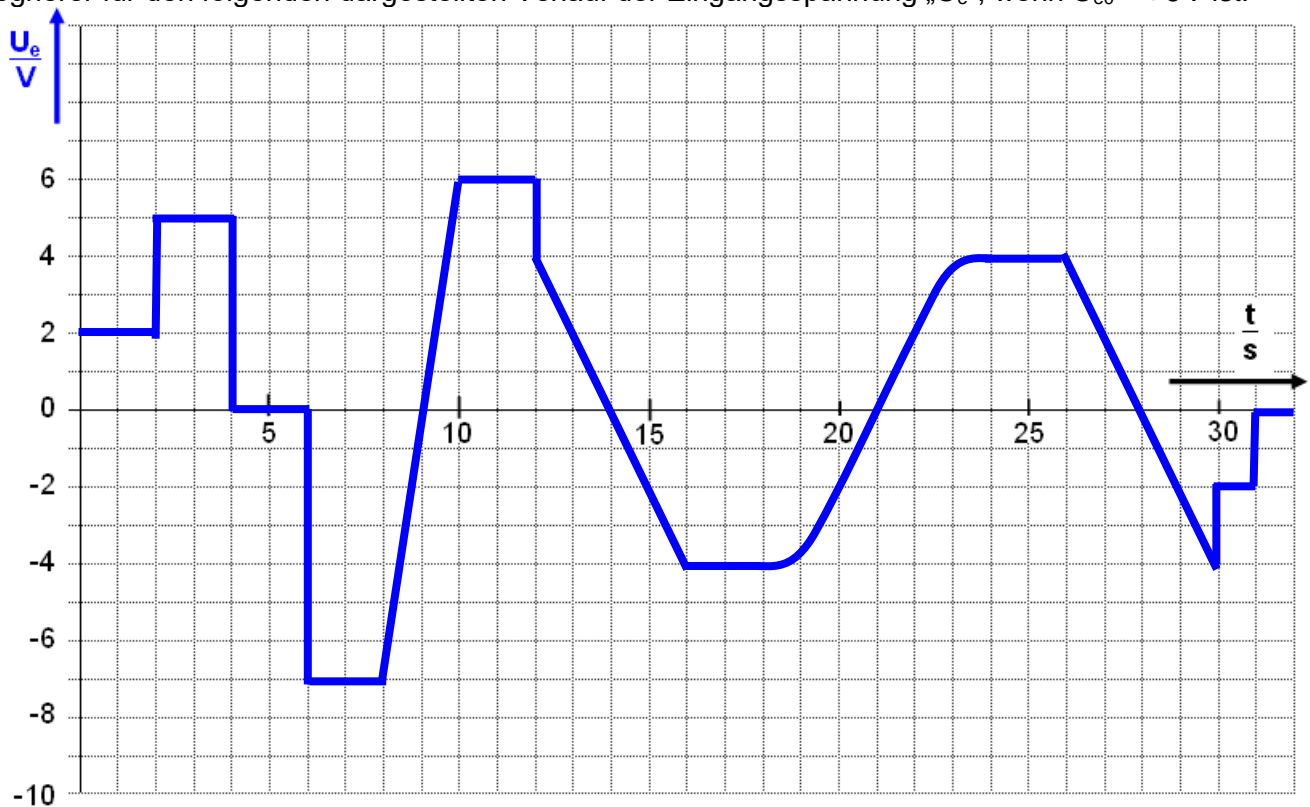
25. Geben Sie die beiden folgenden Spannungsverläufe von der Eingangsspannung U_e und der Ausgangsspannung U_a . Zeichnen Sie das Schema der notwendigen Schwellwertschaltung und dimensionieren Sie die notwendigen Widerstandswerte! Der Querstrom sollte dabei max. 1mA sein!



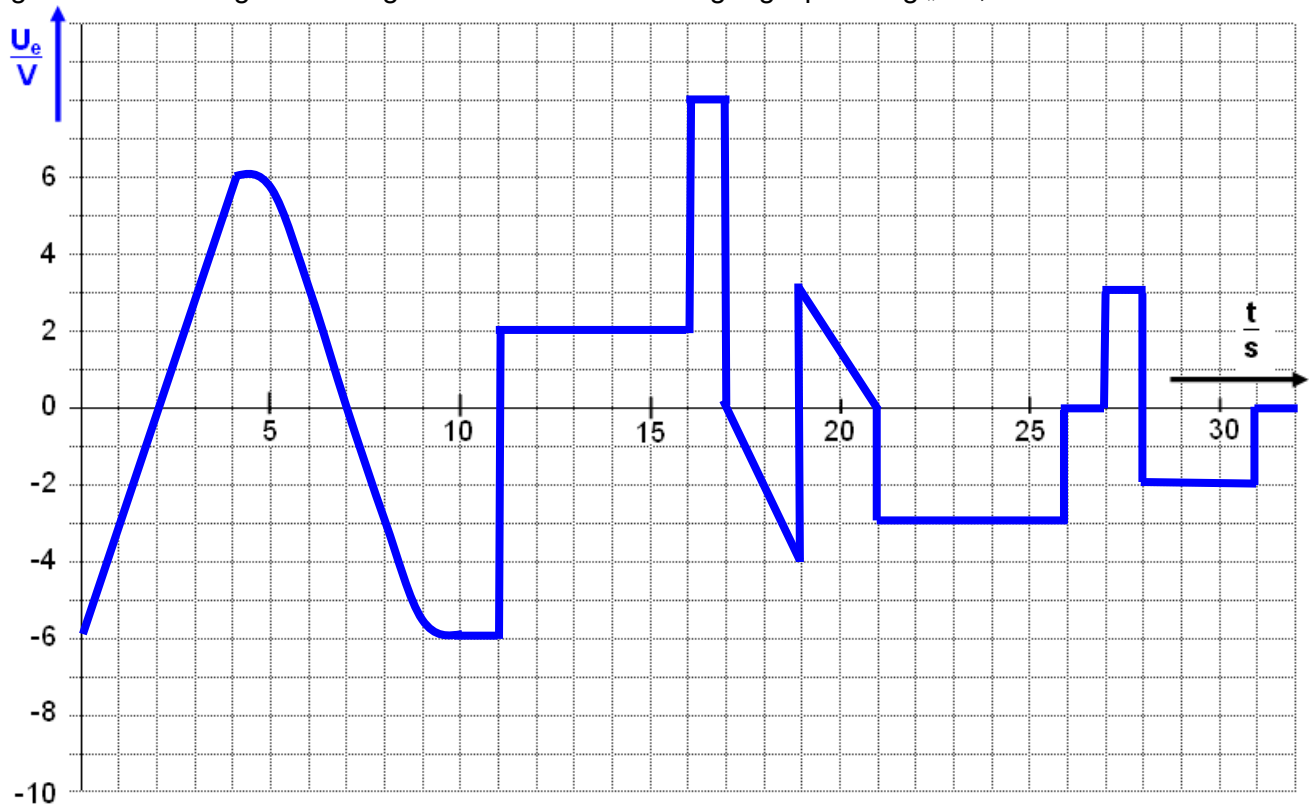
26. Konstruieren Sie durch Häuschenzählen den Verlauf der Ausgangsspannung „ U_a “ am OPV - Differenzierer für den folgenden dargestellten Verlauf der Eingangsspannung „ U_e “!



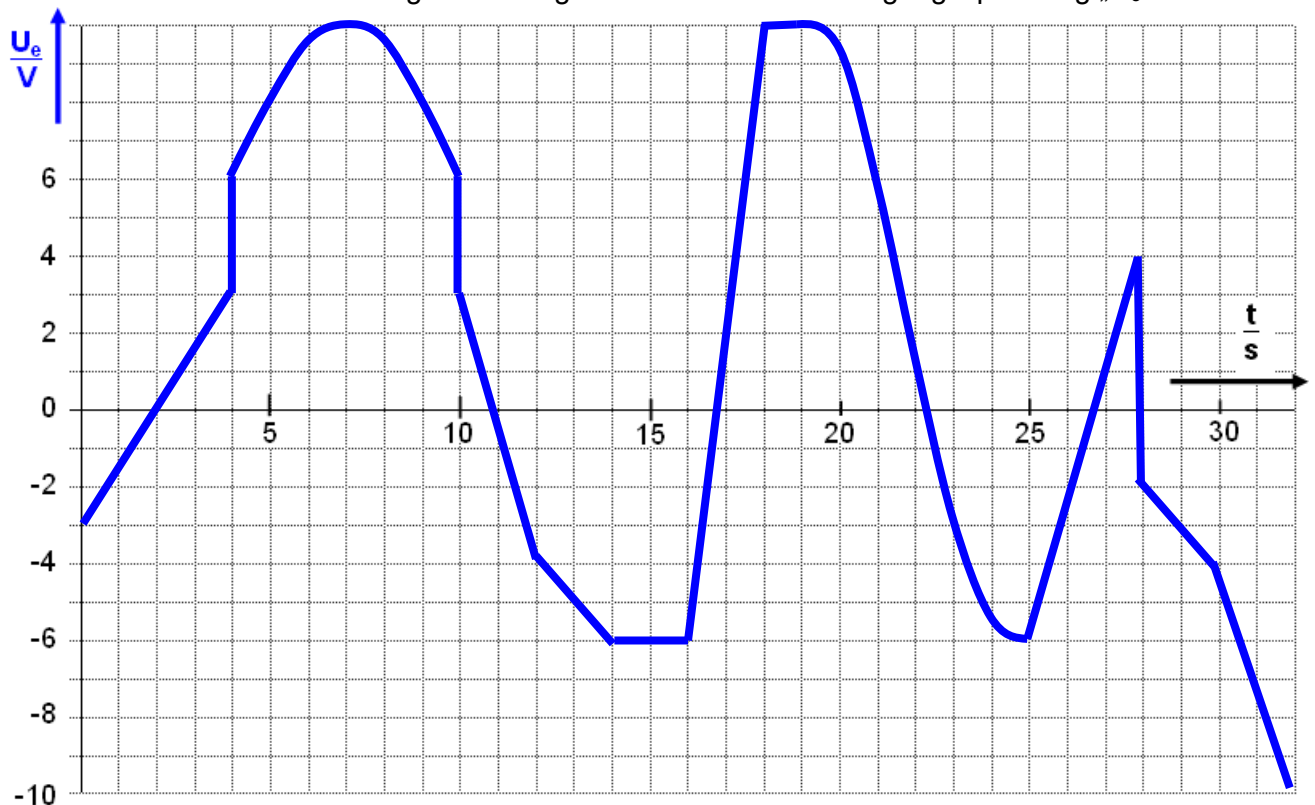
27. Konstruieren Sie durch Häuschenzählen den Verlauf der Ausgangsspannung „ U_a “ am OPV - Integrierer für den folgenden dargestellten Verlauf der Eingangsspannung „ U_e “, wenn $U_{e0} = +6$ V ist!



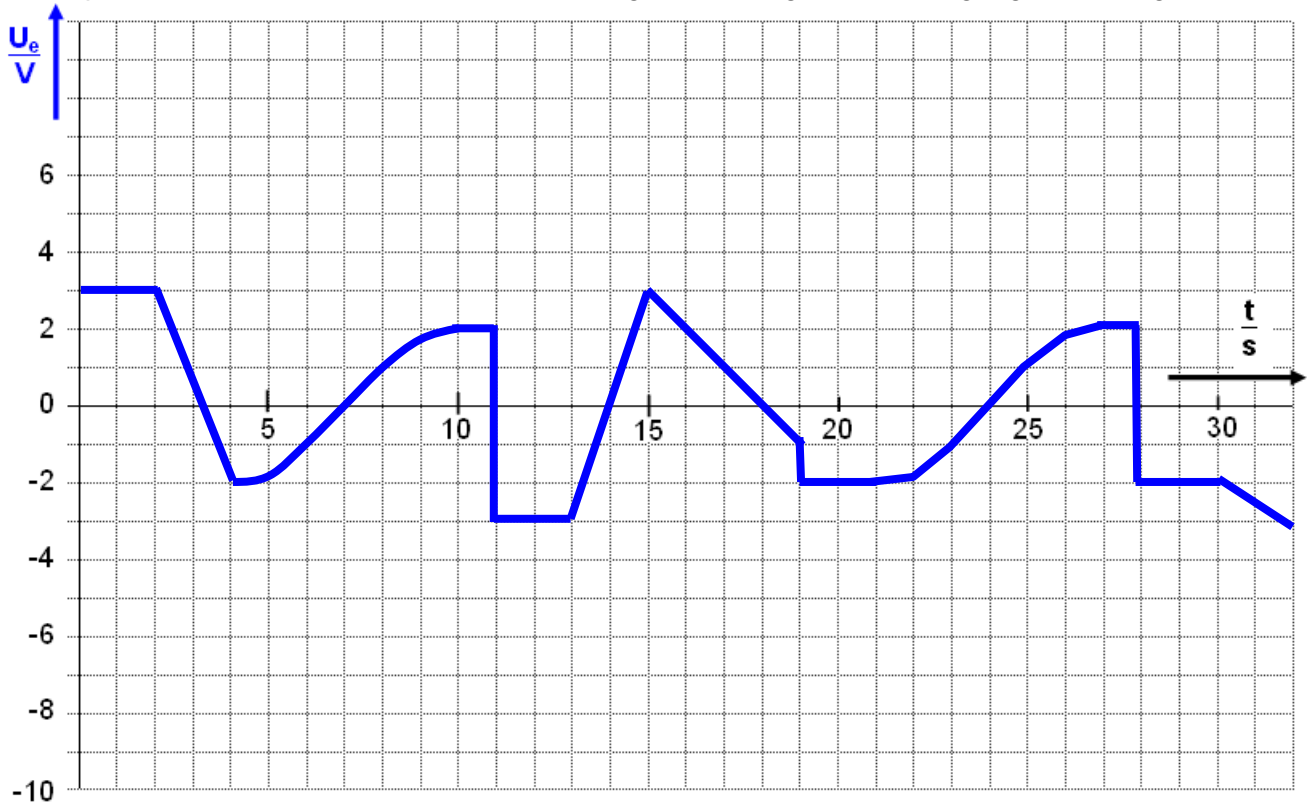
28. Konstruieren Sie durch Häuschenzählen den Verlauf der Ausgangsspannung „ U_a “ am OPV-Integrator für den folgenden dargestellten Verlauf der Eingangsspannung „ U_e “, wenn $U_{e0} = +3V$ ist!



29. Konstruieren Sie durch Häuschenzählen den Verlauf der Ausgangsspannung „ U_a “ am OPV-Differenzierer für den folgenden dargestellten Verlauf der Eingangsspannung „ U_e “!



30. Konstruieren Sie die Ausgangsspannung „ U_a “ an einen Proportionalverstärker mit $V_u = -3$ aus der folgenden, dargestellten Eingangsspannung „ U_e “!



Mögliche Resultate dieser OPV-Übungen:

- 1...3. Siehe Theorie von Seite 3 bis 6!
4. $U_e = -42.9\text{mV}$
5. $V_u = -15.0$
6. $R_e = 1.47\text{k}\Omega$
7. $V_u = -100$; $U_a = -25.0\text{mV}$
8. $U_{e1} = -735\text{mV}$
9. a) $U_a = -4.06\text{V}$; b) $U_a = -3.17\text{V}$
10. $R_K = 400\text{k}\Omega$; $R_{e1} = 400\text{k}\Omega$; $R_{e2} = 200\text{k}\Omega$; $U_{e3\text{max}} = 1.50\text{V}$; $U_{e3\text{min}} = 0.00\text{V}$
11. $V_u = 83.0$; $U_e = 50.6\text{mV}$
12. $U_e = -1.47\text{V}$
13. $R_Q = 82.0\text{k}\Omega$; $-4.00\text{V} \leq U_e \leq +4.00\text{V}$
14. $R_K = 90.0\text{k}\Omega$
15. $R_Q = 28.0\text{k}\Omega$
16. Nicht invertierender Komparator \rightarrow Spannungsfolger mit resultierendem $V_u = +1.00$
17. $R_e = 6.30\text{k}\Omega$; $R_K = 50.4\text{k}\Omega$
18. $R_e \overset{\text{Wahl}}{=} 10.0\text{k}\Omega$; $R_Q = 15.0\text{k}\Omega$; $R_K = 85.0\text{k}\Omega$
19. $U_a = -11.1\text{V}$; $R_e = 27.0\text{k}\Omega$
20. $R_e = 10.0\text{k}\Omega$; $R_K = 50.0\text{k}\Omega$
21. $U_S = \pm 6.00\text{V}$; $U_a = f(t)$
22. $U_S = \pm 2.00\text{V}$; $U_a = f(t)$
23. $U_S = \pm 5.00\text{V}$; $U_a = f(t)$
24. $U_S = \pm 5.00\text{V}$; $R_M = 30.0\text{k}\Omega$
25. $R_Q = 10.0\text{k}\Omega$; $R_M = 5.00\text{k}\Omega$
- 26...30. Diese grafischen Aufzeichnungen sind nach dem Unterricht und der persönlichen Erarbeitung von diesem 1. Unterrichtsblock klar!