

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.

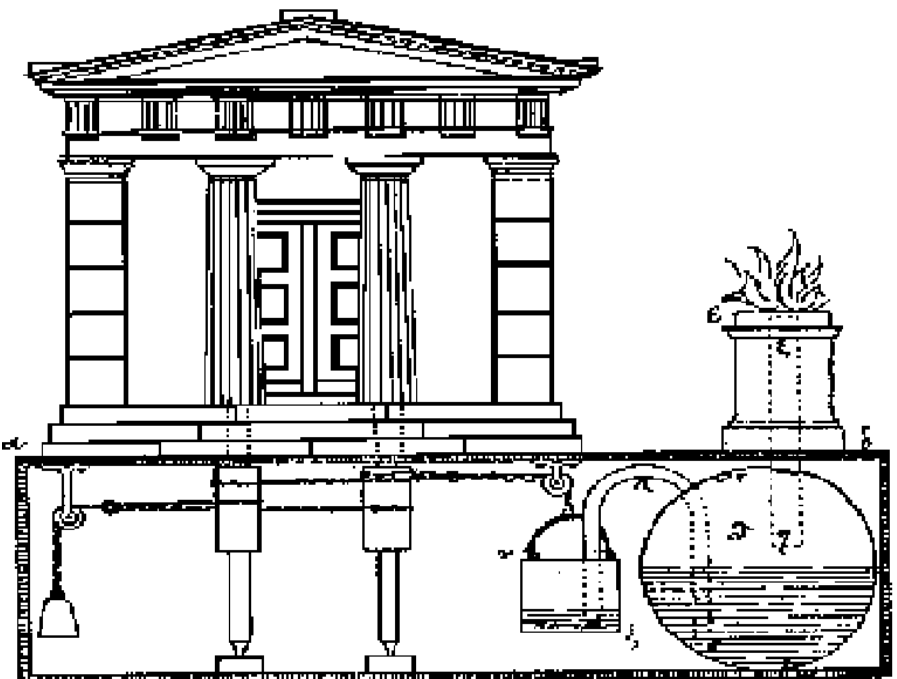
Niveau: 2

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 z.B. auf SharePoint, OneNote vom BBZW-S!)

1. Grundlagen von Steuerungen und Regelungen

- 1.1 Anwendung von Regelungen und Steuerungen
- 1.2 Regelfunktionsgrundarten
- 1.3 Regelfunktionskombinationen
- 1.4 Zweipunktschalter
- 1.5 Übungen zu Steuerungen und Regelungen

2. Steuer- und Regelungstechnik

- 2.1 Einführung, Begriffe
- 2.2 Steuerung
- 2.3 Regelung
- 2.4 Mathematische Grundlagen
- 2.5 Kombinationen der stetigen Regler
- 2.6 Übungen
- 2.7 Stabilität von Reglern
- 2.8 Die optimale Regeleinrichtung
- 2.9 Arten von Reglern
- 2.10 Regeleinrichtung
- 2.11 Führungs- und Störverhalten
- 2.12 Übungen zu Stabilität, Optimierung und Arten von Reglern

3. Sensoren, Messgeräte und Aktoren

- 3.1 Definition
- 3.2 Grössenumwandlung durch Sensoren
- 3.3 Umformung in elektrische Grössen
- 3.4 Unterscheidung aktiver und passiver Sensoren
- 3.5 Gebräuchliche Sensoren
- 3.6 Übungen

4. Entwicklung von Regeleinrichtungen

Entwicklung von Steuerungen und Regelungen → Siehe z.B. Unterrichtsblock 4!

Bei der Entwicklung von Steuer- und Regeleinrichtungen gilt folgender, aus der Praxis und erarbeiteten Modulen sicher bereits längst bekannter, sieben schrittiger Algorithmus:

1. Aufgabenstellung definieren → *Werden Sie meistens erhalten!*
2. Problemanalyse durchführen
3. Grafische Darstellung aufzeichnen
4. Programmablaufplan festlegen
5. Programm codieren
6. Programm testen, diese Tests auswerten und notwendige Änderungen anbringen
7. Abschluss mit Zusammenstellung der bei der Entwicklung erstellten Dokumente und gemachten Erfahrungen

Hilfsmittel

- In der Physik erarbeiteten, angewendeten Grössen und Formeln der Elektrotechnik wie z.B. nebenan:
- Unterlagen und Ihr Arbeitsheft zu diesem Modul 121
- Modulspezifische Übungen und Aufgaben
- Simulationsprogramme wie z.B. WorkBench
- Fischer-Technik- und Mindstorms-Baukasten

$$U = R \cdot I$$

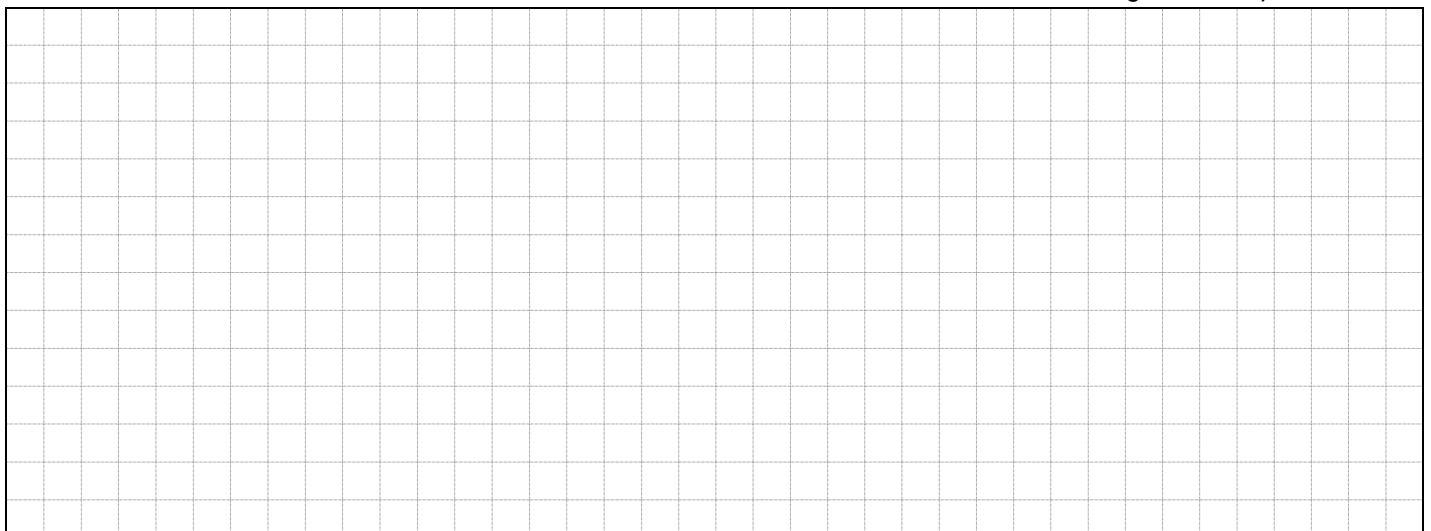
- U elektrische Spannung in V (Volt)
I elektrische Stromstärke in A (Ampere)
R elektrischer Widerstand in Ω (Ohm)

Beispiel einer Übung zu den Elektrotechnikgrundlagen

An einem elektrischen Widerstand $R = 1.8\text{k}\Omega$ ist eine elektrische Spannung $U = 640\text{mV}$.

Berechnen Sie die elektrische Stromstärke durch diesen Widerstand!

< Resultat ergibt: $I = 356\mu\text{A}$ >



Modul 121

Block 1

- Grundlagen von Steuerungen und Regelungen -

1.1 Anwendung von Regelungen und Steuerungen

In unserer Freizeit, in der Wohnung, bei der Arbeit und bei Luxusgütern, ja eigentlich überall in unserer Umgebung wird Steuer- und Regelungstechnik eingesetzt. So ist es wichtig, dass wir die Definition der Steuerung und der Regelung kennen. Mit Hilfe von Informatikprogrammen werden dann die entsprechenden Werte wie z.B. Temperatur, Geschwindigkeit, Lautstärke oder Luftfeuchtigkeit geregelt. In diesem Block sollen nun die Grundlagen der Steuerungs- und Regelungstechnik erkannt und definiert werden. Dies wird hier jeweils am Beispiel einer Raumheizung vertieft und damit klargestellt.

Da diese Werte heute meistens einen bestimmten *Sollwert* wie z.B. 20°C als Raumtemperatur haben sollen, braucht es vor allem *Regelungen*. Dabei wird der *Istwert*, d.h. bei diesem Raumheizungsbeispiel die Raumtemperatur mit einem Sensor, d.h. hier mit einer Raumtemperaturmesssonde gemessen. Mit einem *Vergleicher* wird dann die Differenz zwischen dem Istwert und dem Sollwert bestimmt. Diese Differenz wird *Regeldifferenz* genannt wie z.B. hier die abweichende Temperatur.

Diese Regeldifferenz ist damit die Eingangsgrösse der Regeleinrichtung, womit diese dann mit Hilfe der Stellgrösse den entsprechenden Aktor so aktiviert, dass die Regeldifferenz schlussendlich in einem zugelassenen Toleranzbereich kommt. Bezogen auf das Raumheizungsbeispiel heisst das, dass die Temperaturregeleinrichtung z.B. mit dem Heizungsventil die Warmwasserzufuhr auf den Radiator so öffnet bzw. schliesst, dass die Isttemperatur, d.h. die mit der Raumtemperaturmesssonde gemessene Raumtemperatur im zugelassenen *Toleranzbereich* der eingestellten Solltemperatur ist.

Bei der Programmierung eines Reglers wird dies mit Selektionen (if-then-else-Anweisung bei z.B. einer Programmiersprache) und bei elektronischen Reglern mit Differenzverstärkern (Operationsverstärkern, d.h. OPV) erreicht.

Wichtig ist nun aber, dass die meisten Sensoren einen sehr hohen Innenwiderstand haben und damit nicht belastet werden dürfen. Wenn ein Sensor nicht belastet wird, dann wird an seinem Ausgang die Istgrösse nicht abgeschwächt, sondern eben der realen, d.h. gemessenen Grösse entsprechen. Also muss der Eingangswiderstand in die Regeleinrichtung sehr hochohmig, d.h. muss einen sehr hohen Eingangswiderstand haben. Damit wird dann die reelle Istgrösse, d.h. die reelle Isttemperatur mit dem entsprechenden, meist manuell eingestellten Sollwert verglichen.

Für die Aktivierung des entsprechenden Aktors, d.h. hier z.B. jene des Heizventils wird viel Einstellungsenergie gebraucht. Damit muss die Regeleinrichtung einen sehr kleinen Ausgangswiderstand haben, womit die Einstellungsenergie auch richtig geliefert werden kann und damit die Stellgrösse nicht durch den Aktor abgeschwächt wird.

Damit muss eine Regeleinrichtung sehr hohe Eingangswiderstände und sehr kleine Ausgangswiderstände haben. Dazu werden Spannungsfolger (Komparatoren), d.h. in der Regelungstechnik vor allem das elektronische Element 'Operationsverstärker' (OPV) eingesetzt. Die Sensoren werden an die Eingänge und die Aktoren an die entsprechenden Ausgänge der Regeleinrichtung angeschlossen.

Da ein Istwert einem bestimmten, eingestellten Sollwert entsprechen soll, werden vor allem Regelungen angewendet. Bei einfachen Gegebenheiten werden aber auch heute noch *Steuerungen* eingesetzt wie z.B. beim Kellerlicht. Ein Keller ist ja ein Raum im Untergeschoss und damit auch ein Raum, bei dem meist keine Fenster sind. Wenn kein Fenster vorhanden ist, dann ist es in diesem Keller ohne fremdes Licht dunkel. Mit Hilfe von Licht wie z.B. mit einer LED-Lampe, welche beim Eingang in den Keller mit einem Lichtschalter ein- bzw. ausgeschaltet werden kann, wird dann der Keller beleuchtet. In diesem Fall handelt es sich damit um eine Steuerung. Bei Raumheizungen wäre aber eine Heizungssteuerung nicht ideal, da die eingeschaltete Heizungssteuerung den Raum solange aufheizen würde, bis die Raumtemperatur gleich der Radiatortemperatur dieser Heizungssteuerung entsprechen würde. Da der Raum möglichst schnell und auch immer konstant z.B. 20°C sein sollte, muss die Radiatortemperatur sicher so um die 50°C betragen. Damit sehen Sie, dass bei Heizungen heute Regelungen sicher Vorrang haben.

Damit sollten Sie bereits folgende Begriffe der Steuer- und Regelungstechnik kennen:

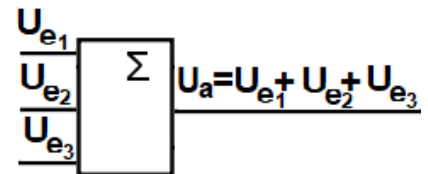
- | | | |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| - Steuerung und Regelung | - Steuer- bzw. Regelwerte | - Ist-, Soll- und Stellwert |
| - Vergleicher | - Regeldifferenz | - Regeleinrichtung |
| - Toleranzbereich des Istwertes | - Sensor und Aktor | - Komparator, Spannungsfolger, OPV |

1.2 Regelfunktionsgrundarten (Einteilung der Regler)

Damit eine Regelverhalten z.B. einer Heizung beliebig eingestellt werden kann, braucht es auch verschiedene Regelfunktionsarten. Nachfolgend werden die einzelnen, grundlegenden Regelfunktionsgrundarten kurz erklärt:

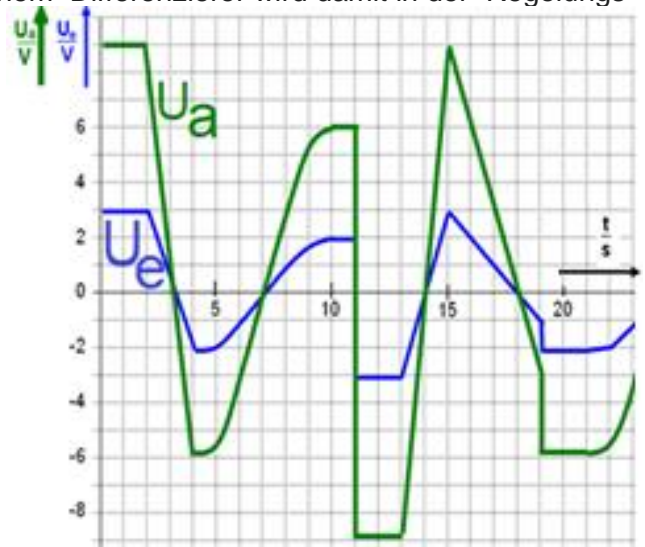
- **Proportional** Bei einem proportionalen Regler wird die Eingangsgrösse mit einem bestimmten Faktor multipliziert und damit die Ausgangsgrösse erzeugt wie z.B. $U_a = 5 \cdot U_e$, wo der Proportionalverstärkungs-Faktor "5" beträgt!
- **Invertierend** Bei einem invertierenden Regler handelt es sich auch um einen proportionalen Regler, nur dass hier der Multiplikationsfaktor zwischen Eingangs- und Ausgangsgrösse *negativ* ist wie z.B. mit dem Verstärkungsfaktor "-5": $U_a = -5 \cdot U_e$!

- **Summierer** Bei einem Summierer werden mehrere Eingangsgrössen wie z.B. die Spannungswerte U_{e1} , U_{e2} und U_{e3} addiert und mit der Summe die Ausgangsgrösse U_a definiert. Jede Eingangsgrösse kann zudem mit einem bestimmten Faktor, eben einem Proportionalfaktor multipliziert werden wie z.B. $U_a = 5 \cdot U_{e1} + 3 \cdot U_{e2} + 2 \cdot U_{e3}$!



- **Integral** (Fläche) Bei einem Integrierer (integrierender Regler) ergibt sich die Ausgangsgrösse 'U_a' aus dem Produkt der Differenz von Istgrösse und Sollgrösse mal die verstrichene Zeit 't'. Mit einem Integrierer wird in der Regelungstechnik erreicht, dass die Regeldifferenz, d.h. die Differenz zwischen Istwert und Sollwert wirklich Null beträgt.

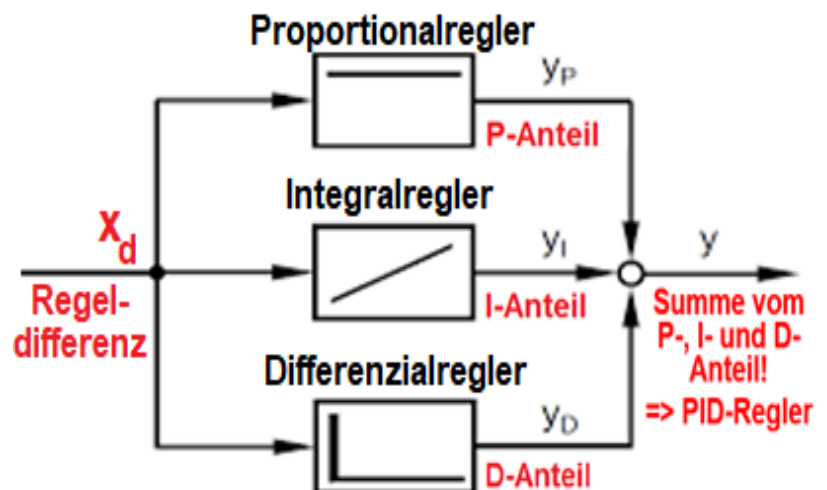
- **Differenzial** (Steilheit) Ein Differenzierer (differenzierender Regler) reagiert auf die Grösse der Regeldifferenz. Damit ist sein Ausgangssignal proportional zur Soll- bzw. Istgrössenänderung, d.h. zur Steilheit der Soll- bzw. Istgrössenänderung. Mit einem Differenzierer wird damit in der Regelungstechnik erreicht, dass die Ausgangsgrösse besser auf schnelle Soll- bzw. Istgrössenänderungen reagieren kann.



Merke: Damit kennen Sie bereits die fünf wichtigsten Regelfunktionsgrundarten. Für die Klarheit dienen Ihnen die noch folgenden Unterrichtsblöcke in diesem Modul und auch grafische Darstellungen wie z.B. das Beispiel rechts mit der grafischen Darstellung vom Verlauf der Eingangsspannung U_e und der Ausgangsspannung U_a . Wie gross ist bei diesem Proportionalverstärker der Faktor zw. U_e und U_a , d.h. der Faktor 'n' der Funktion $U_a = n \cdot U_e$?

1.3 Regelfunktionskombinationen

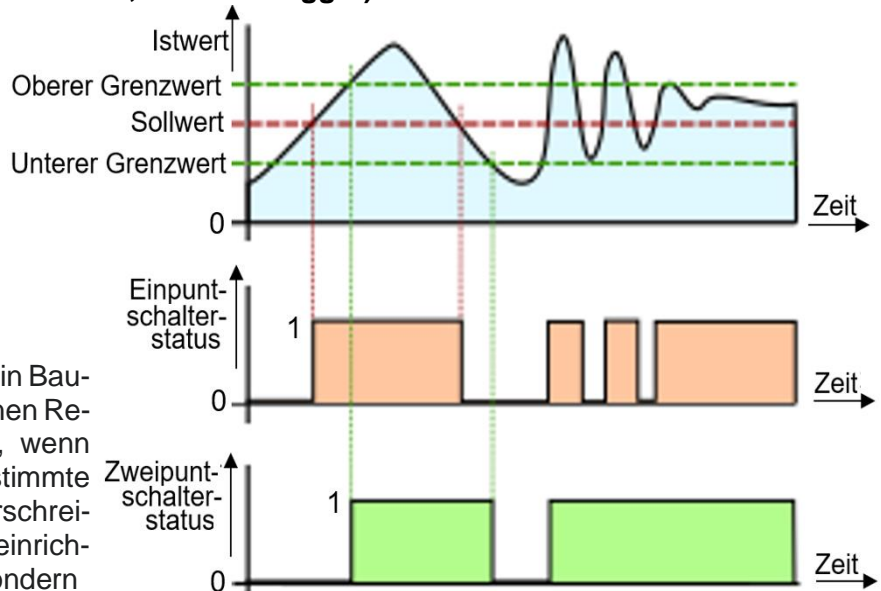
Die oben genannten Regelfunktionsgrundarten wie Proportional, Integral und Differenzial werden nun in der Praxis kombiniert. Mit einem PID-Regler können so alle Funktionsarten beliebig und damit allen Wünschen entsprechend eingestellt werden. Damit sind diese PID-Regler heute auch meistens vorhanden.



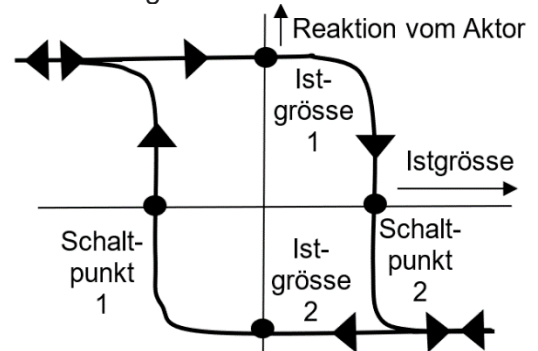
1.4 Zweipunktschalter (Schwellwertschalter, Schmitt-Trigger)

Bei einem Einpunktschalter wird z.B. eine Heizung eingeschaltet, wenn die Raumisttemperatur die gewünschte Solltemperatur unterschreitet und wieder ausgeschaltet, wenn die Raumisttemperatur die gewünschte Solltemperatur erreicht. Wie das Bild nebenan klar zeigt, führt dies zu einer sehr grossen Ein-/Ausschalthäufigkeit und die Lebensdauer einer Regeleinrichtung würde sich damit verkleinern.

Demgegenüber ist ein Zweipunktschalter ein Bauelement, das bei einer Regeleinrichtung einen Regelvorgang einschaltet bzw. ausschaltet, wenn der vom Sensor gemessene Istwert bestimmte Grenzwerte vom Sollwert über- bzw. unterschreitet. Damit wird erreicht, dass die Regeleinrichtung nicht ständig ein- und ausschaltet, sondern zwischen diesen beiden vorhandenen Grenzwerten meistens dann nicht aktiv sein wird. Die Grenzwerte bilden damit die beiden Schaltunkte eines solchen Zweipunktschalters, wie dies das obere Bild klar zeigt. Diese Darstellungen zeigen auch klar, dass bei einem Einpunktschalter die Schalthäufigkeit viel höher als bei einem Zweipunktschalter sind.

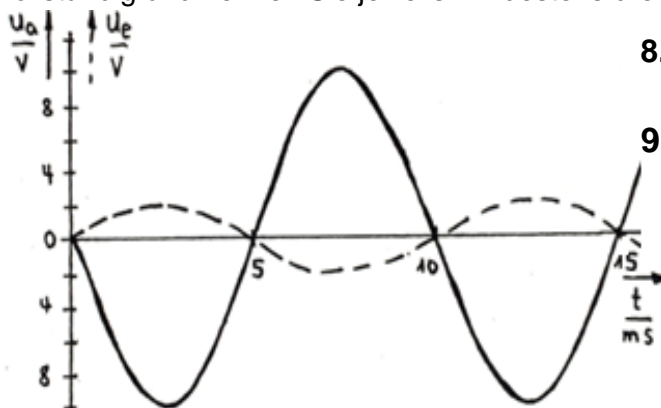


Mit einer *Hysterese* kann das Schaltverhalten eines Zweipunktschalters ebenfalls klar dargestellt werden. Dies zeigt das Bild rechts. In diesem Fall wäre dies ein invertierender Zweipunktschalter.



1.5 Übungen zu Steuerungen und Regelungen → Lösen Sie diese im z.B. M121-Arbeitsheft!

1. Erklären Sie klar und deutlich, was eine Steuerung und was eine Regelung ist. Aus Ihrer Erklärung muss der Unterschied zwischen einer Steuerung und einer Regelung klar erkennbar sein.
2. Was ist der Unterschied zwischen Istgrösse und Sollgrösse bei einer Regelung? Aus Ihren Erklärungen muss der Unterschied zwischen Istgrösse und Sollgrösse klar erkennbar sein!
3. Was ist ein Vergleichler und welche drei Grössen sind bei einem solchen Vergleichler vorhanden?
4. Wie und aus was genau ergibt sich eine Regeldifferenz?
5. Was ist eine Regeleinrichtung?
6. Was genau definiert den Toleranzbereich eines Istwertes und wieso wurde dieser genau festgelegt?
7. Was sind Sensoren und was sind Aktoren genau? Erklären Sie diese beiden Element klar und vollständig und nennen Sie jeweils mindestens drei typische, in der Praxis angewendete Beispiele!

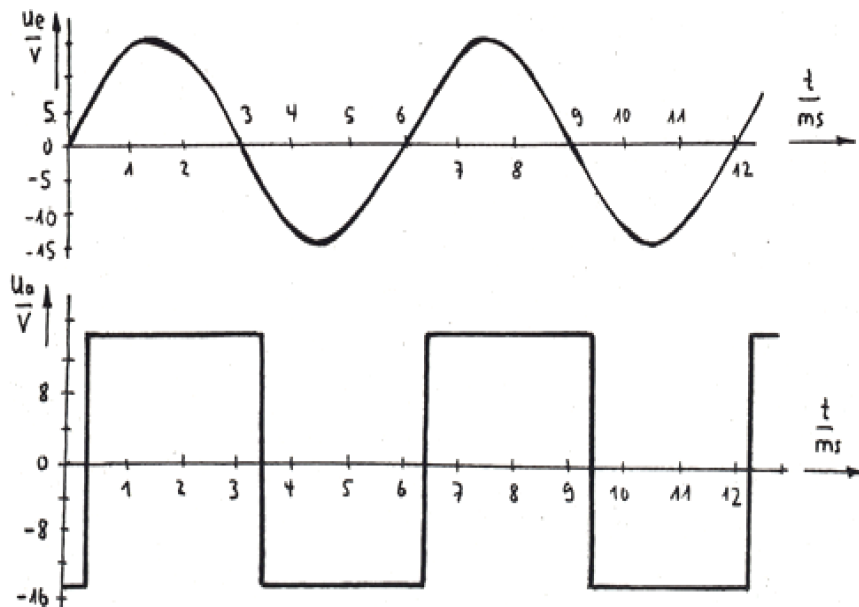


8. Was ist ein Proportionalverstärker und was ein Invertierer?

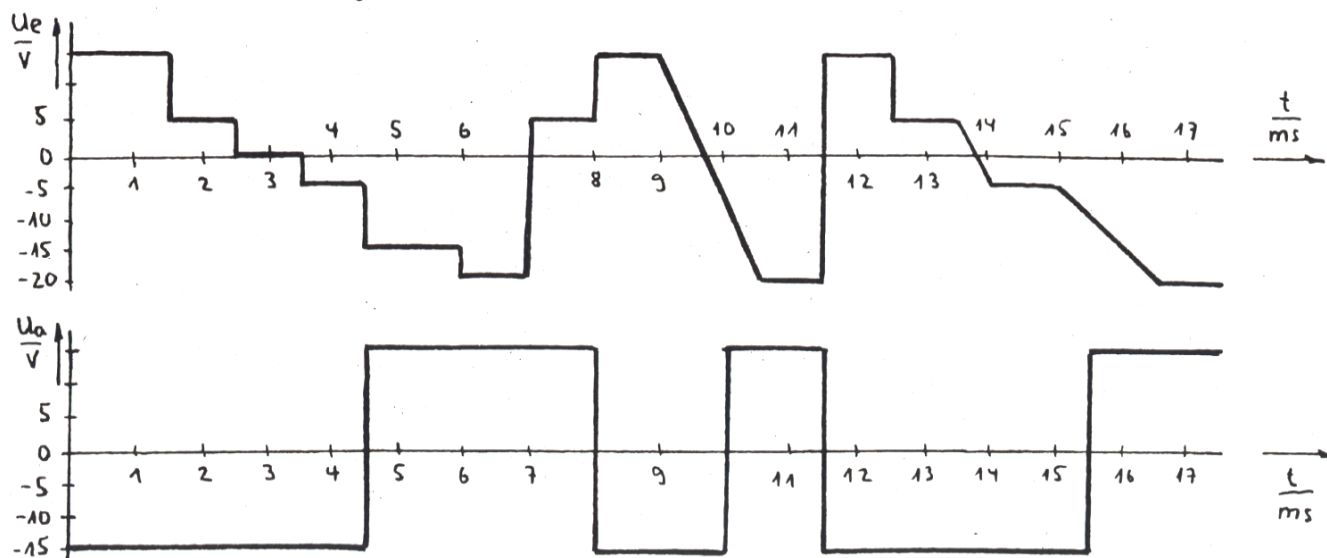
9. Welche Regelart erzeugt beim links gezeichneten Bild aus der gegebenen Eingangsspannung U_e die resultierende Ausgangsspannung U_a . Wie gross ist zudem der resultierende Faktor zwischen U_a und U_e ?

10. Was ist ein Integrierer und was ein Differenzierer? Aus Ihrer Erklärung muss der Unterschied zwischen diesen beiden Elementen der Regelungstechnik klar erkennbar sein!

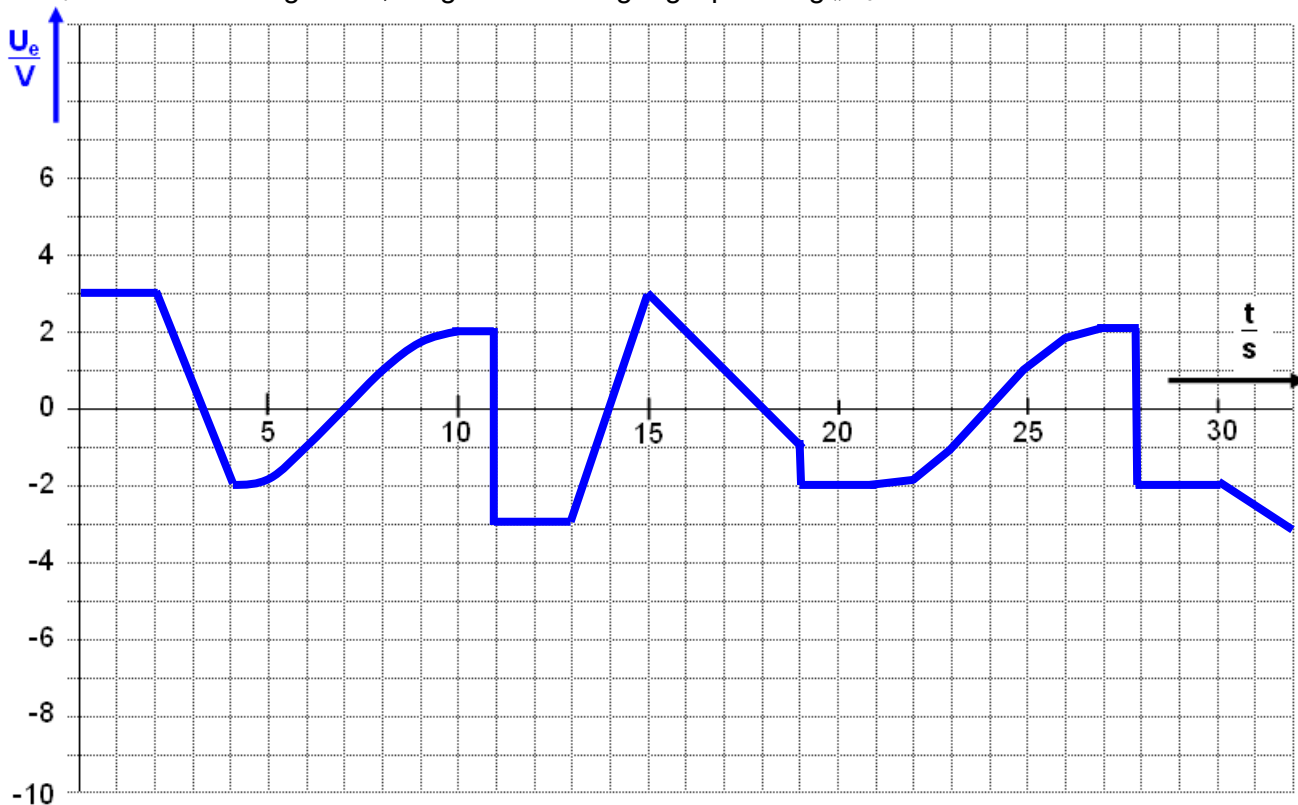
11. Ein Zweipunktschalter liefert die bei der rechts gegebenen Eingangsspannung U_e die Ausgangsspannung U_a . Bei welchen beiden Eingangsspannungswerten U_e reagiert dieser Zweipunktschalter?



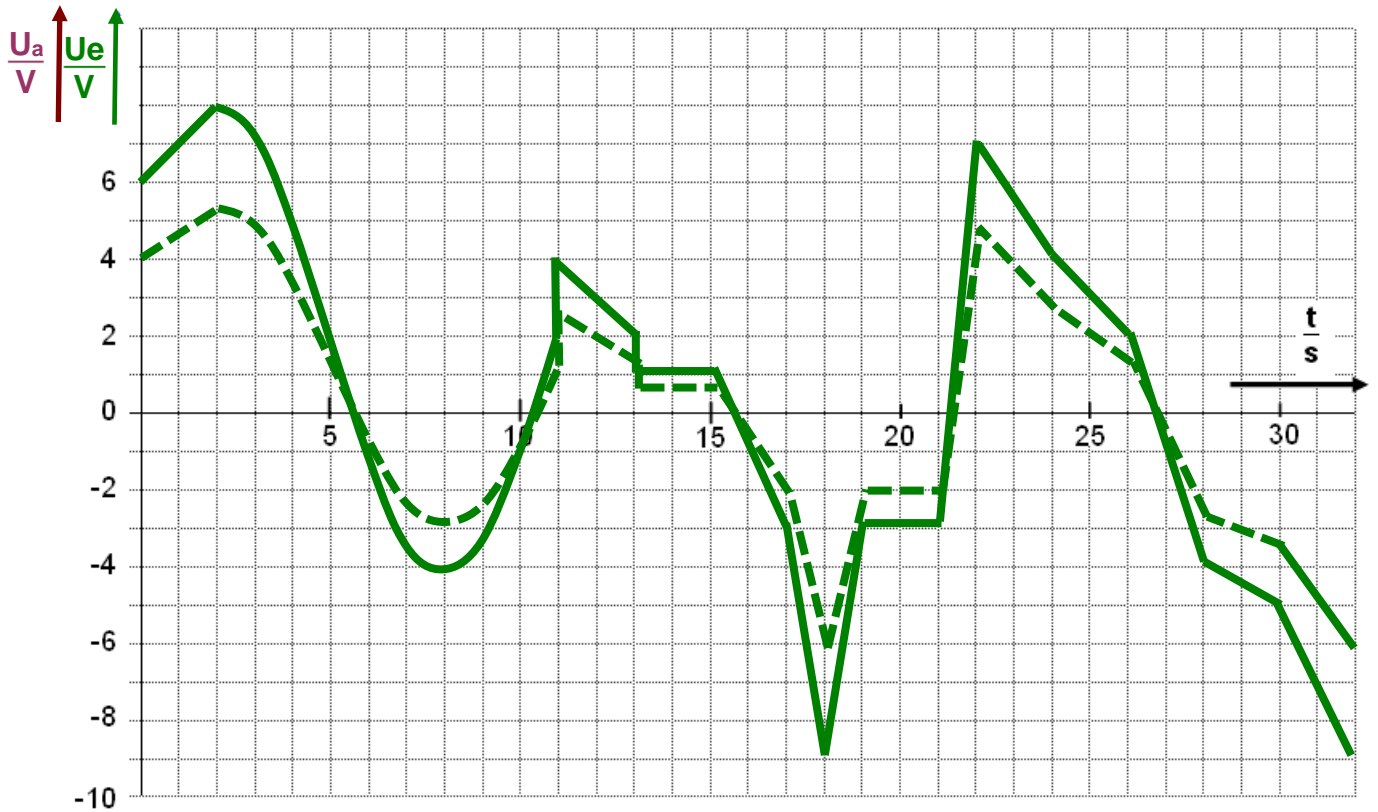
12. Geben Sie die beiden folgenden Spannungsverläufe von der Eingangsspannung U_e und der Ausgangsspannung U_a . Bestimmen Sie die vorhandenen Schaltspannungen dieses Zweipunktschalters!



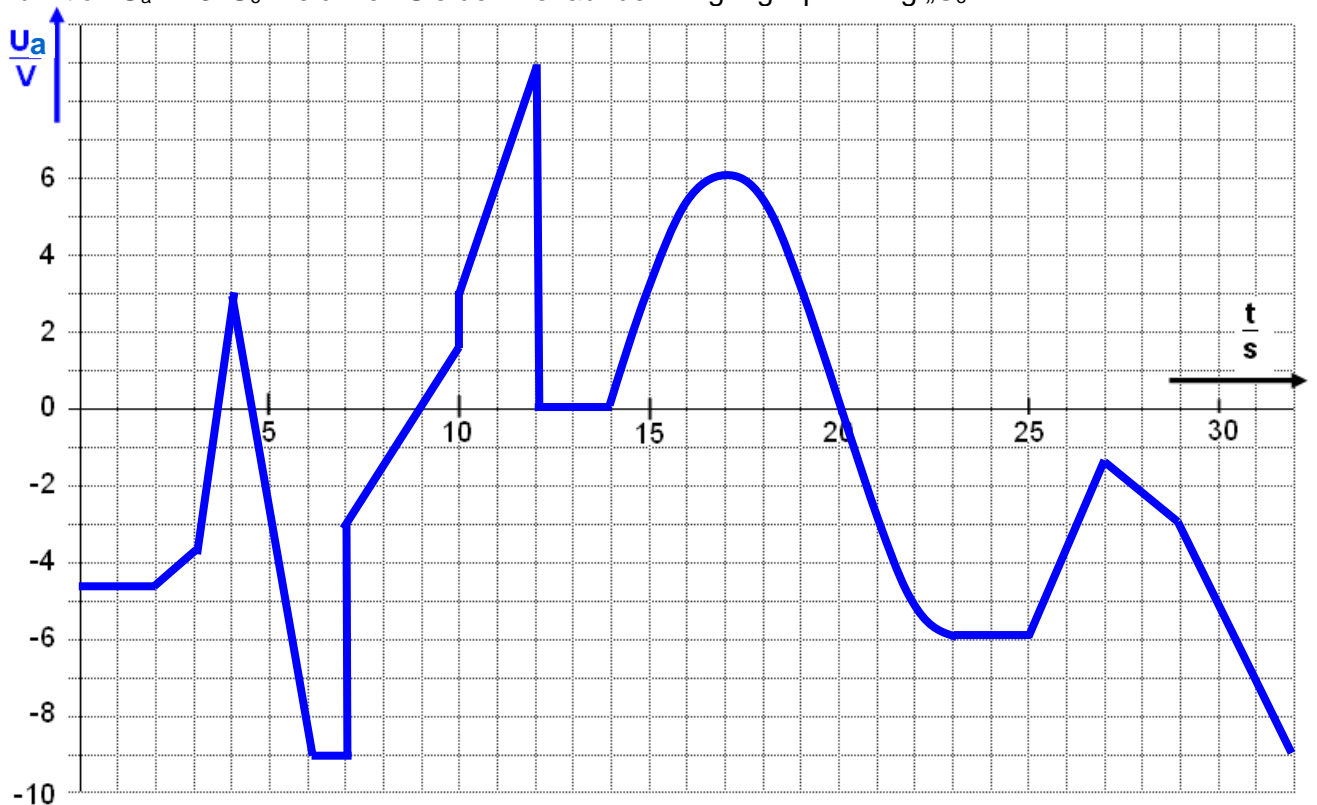
13. Konstruieren Sie die Ausgangsspannung „ U_a “ an einen Proportionalverstärker mit dem Verstärkungsfaktor $V_u = -3$ aus der folgenden, dargestellten Eingangsspannung „ U_e “!



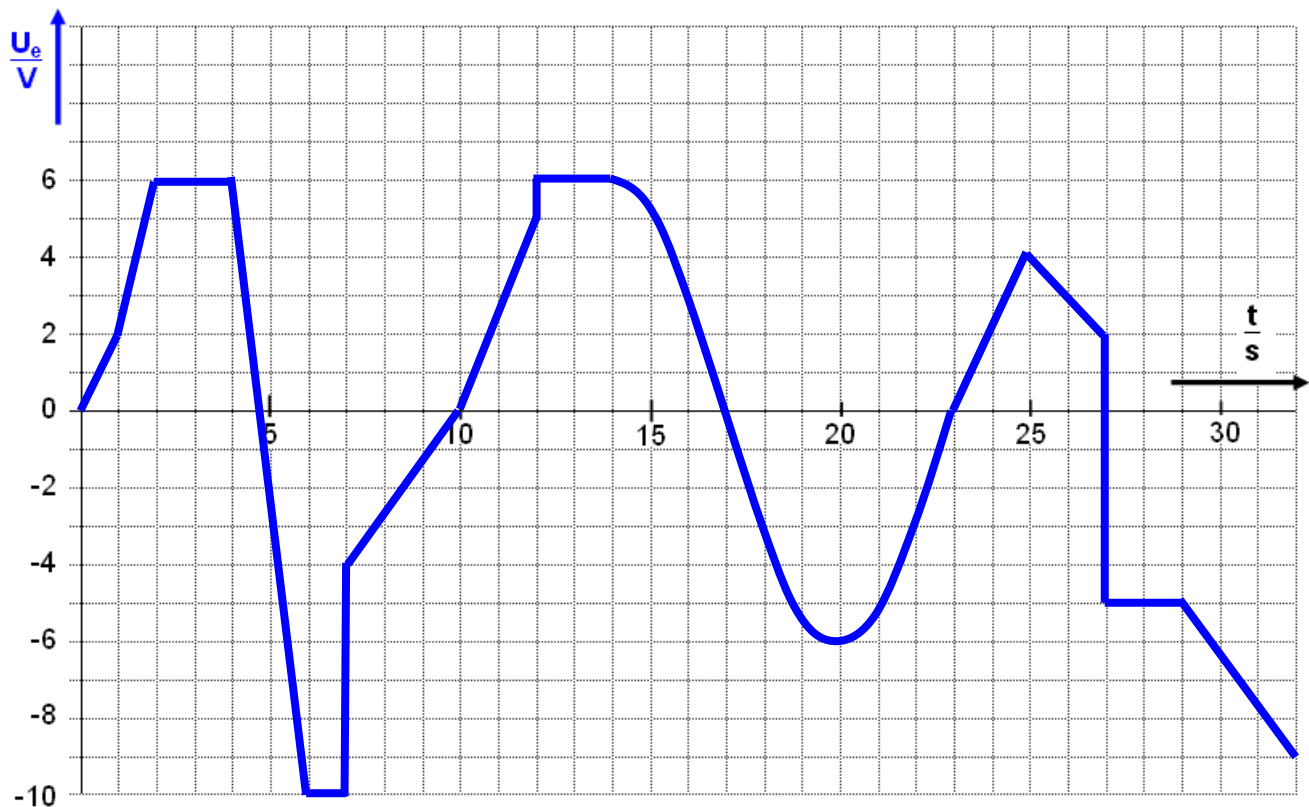
14. Welche Regelart liefert bei der gegebenen Eingangsspannung U_e die resultierende Ausgangsspannung U_a und wie gross ist der Faktor zwischen diesen beiden Spannungen?



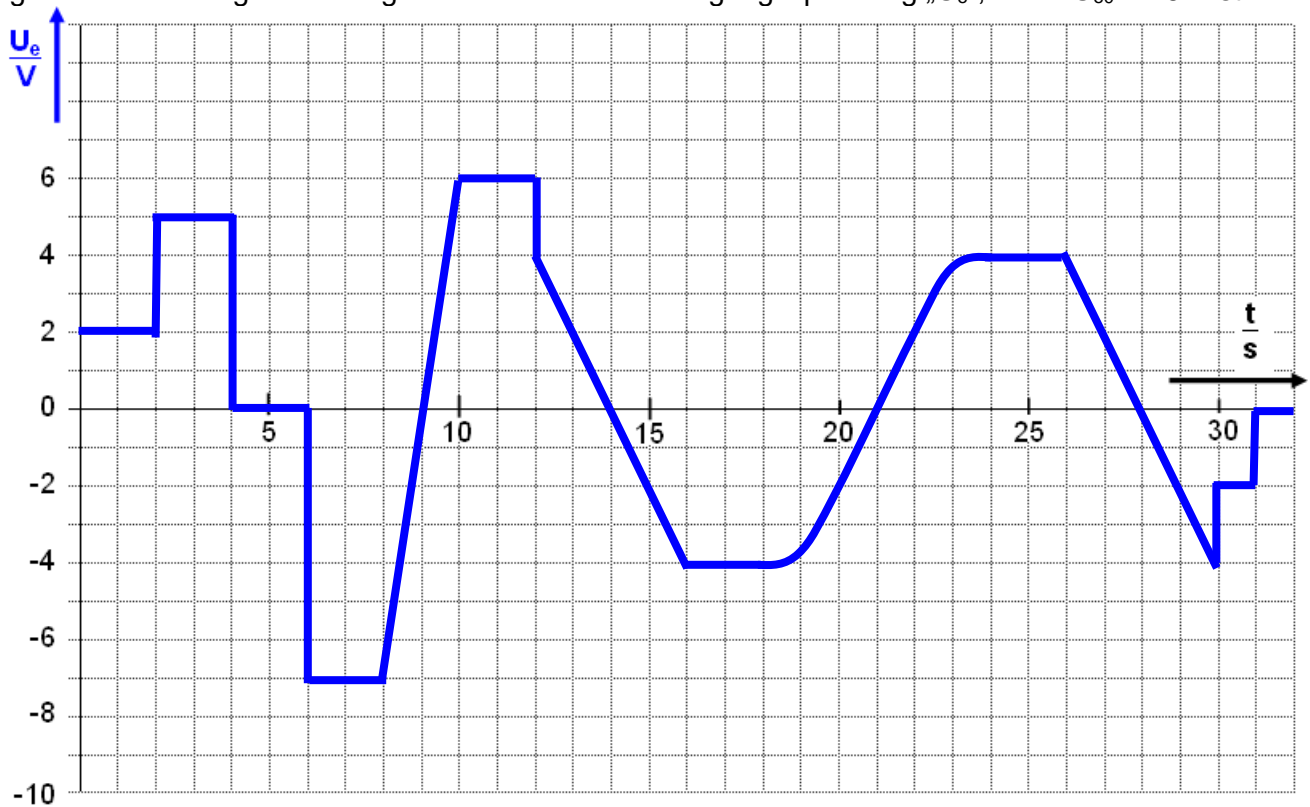
15. Gegeben ist der Verlauf der folgenden Ausgangsspannung „ U_a “ eines Proportionalverstärkers mit der Funktion $U_a = -3 \cdot U_e$! Zeichnen Sie den Verlauf der Eingangsspannung „ U_e “!



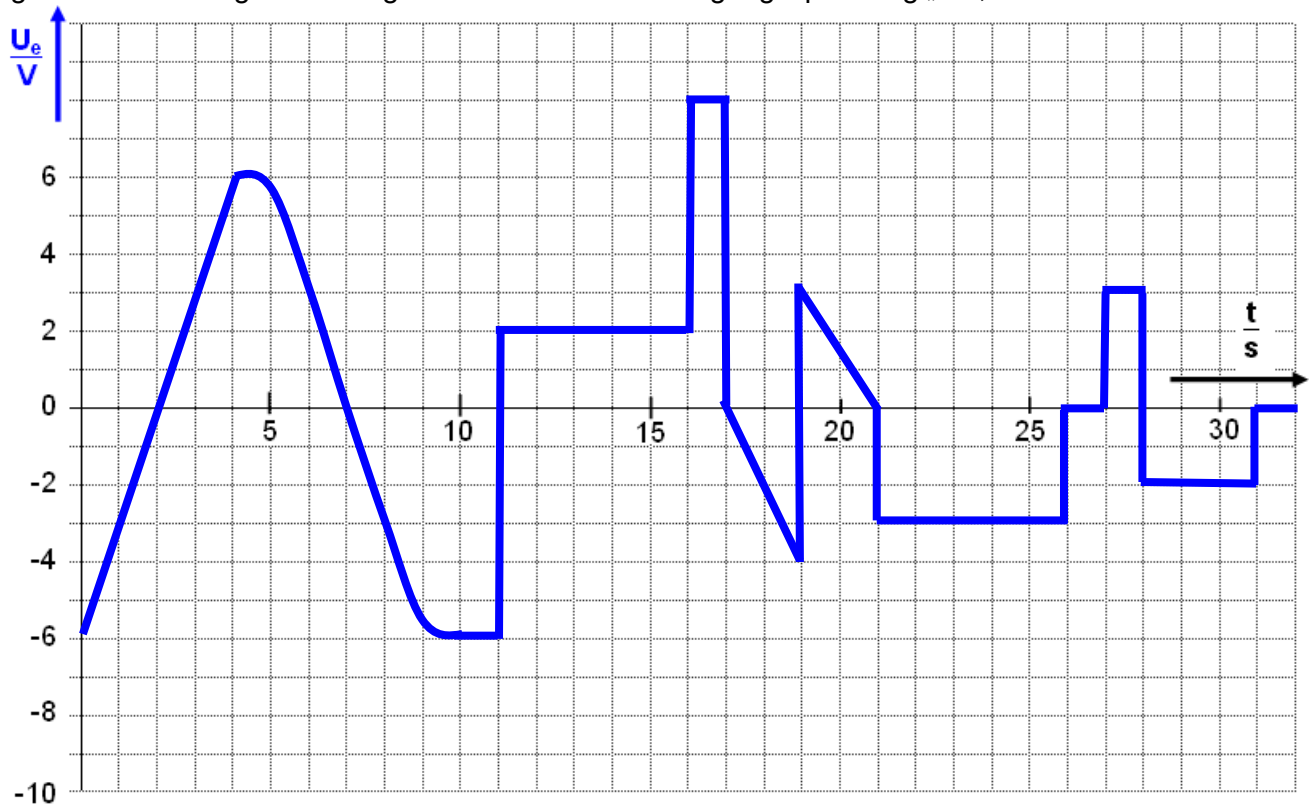
16. Konstruieren Sie durch Häuschenzählen den Verlauf der Ausgangsspannung „ U_a “ eines Differenzierers für den folgenden dargestellten Verlauf der Eingangsspannung „ U_e “!



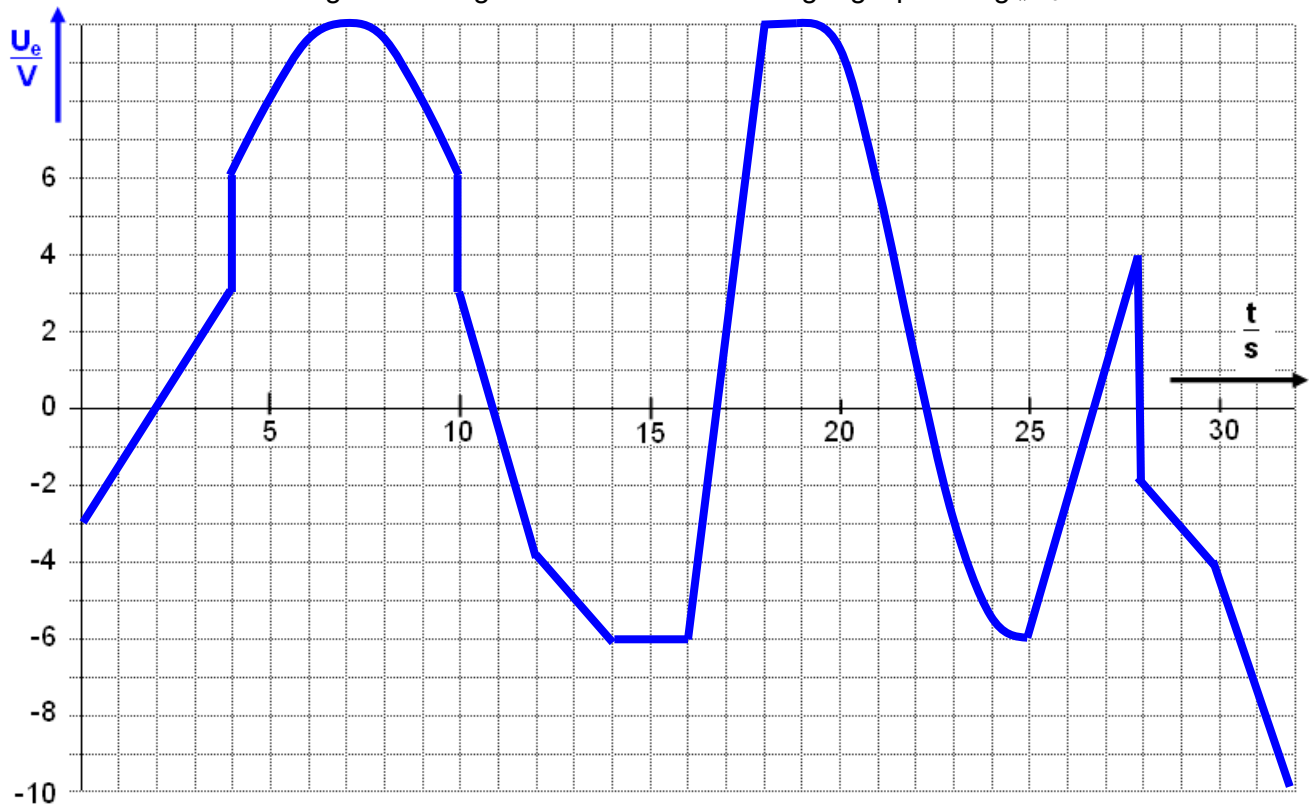
17. Konstruieren Sie durch Häuschenzählen den Verlauf der Ausgangsspannung „ U_a “ am Integrierer für den folgenden dargestellten Verlauf der Eingangsspannung „ U_e “, wenn $U_{e0} = +6$ V ist!



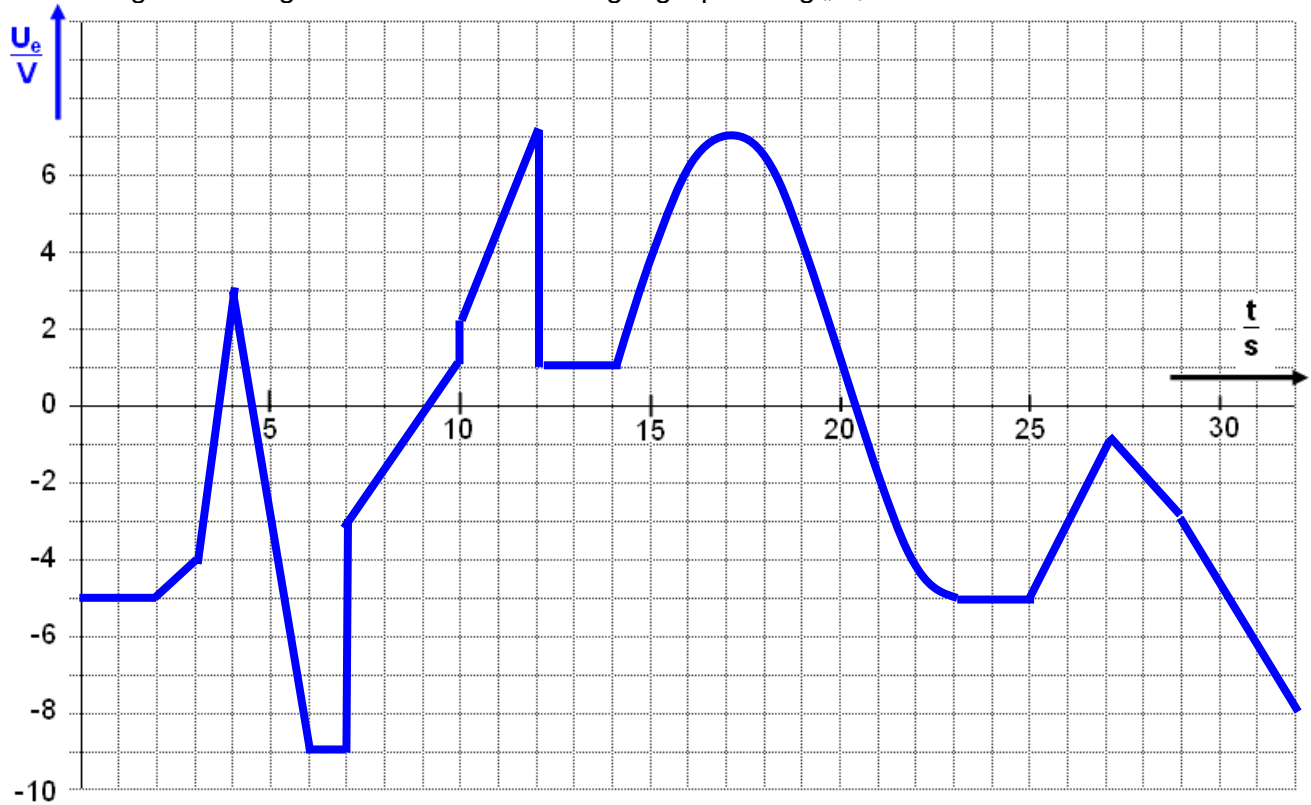
18. Konstruieren Sie durch Häuschenzählen den Verlauf der Ausgangsspannung „ U_a “ am Integrierer für den folgenden dargestellten Verlauf der Eingangsspannung „ U_e “, wenn $U_{e0} = +3V$ ist!



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



20. Konstruieren Sie den Verlauf der Ausgangsspannung „ U_a “ eines Differenzierers für den folgenden dargestellten Verlauf der Eingangsspannung „ U_e “!



21. Zeichnen Sie das Ausgangssignal U_a , welches ein OPV-Integrierer mit dem folgenden Eingangssignals U_e liefern würde! Der Startwert des Ausgangssignals ist $U_{a0} = -9$ Vs!

