

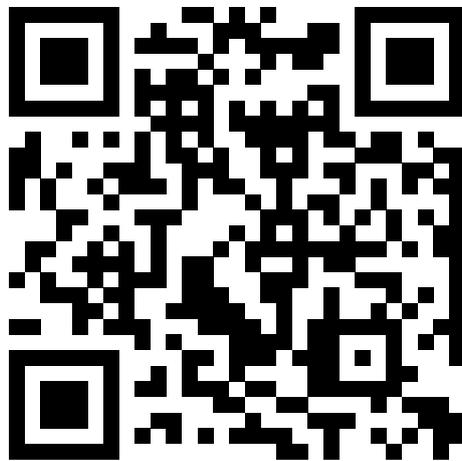
Netzwerke und Schaltungen II

D-ITET

FS2025

Übung 2

28.2.2025



Rares Sahleanu

1 Übersicht

Heute machen wir den großen Sprung von den zunächst sehr abstrakten Zeigern zur komplexen Wechselstromrechnung. Wir werden sehen, dass wir dank der Zeiger nicht mehr integrieren oder differenzieren müssen, um mit Kondensatoren und Induktivitäten zu arbeiten. Stattdessen können wir ihnen einfach einen komplexen Widerstand zuweisen.

Die zweite wichtige Erkenntnis wird sein, dass wir feststellen können, dass wir Stromteiler, Spannungsteiler, Kirchhoffsche Regeln und alles andere auch mit Zeigern verwenden können.

Damit hätten wir das Fundament für den Kurs gelegt, und wir können uns ab der nächsten Übungsstunde den wichtigen Themen widmen. Jeder, der es bisher sehr schwer fand, den kann ich beruhigen: Das „komplizierte neue Konzept“ des Kurses haben wir jetzt hinter uns, und ab jetzt nutzen wir nur noch bekannte Werkzeuge und Konzepte. :))

2 Reim der Woche

*Ich brauch' meinen Namen nicht mehr sagen, bin ein Made Man - Da ist kein Salat in meinem Magen,
bin ein Steak-Fan*

Sido in "Made Man"

3 Komplexe Widerstände

Wir können reaktiven Bauteilen komplexe Widerstände (**Impedanz**) zuweisen. Die lineare Strom-Spannungs-Beziehung gilt damit auch mit **Zeigern!**

Bauteil	Impedanz
Induktivität	$j\omega L$
Kapazität	$\frac{1}{j\omega C}$
Widerstand	R

Theorie 3.1 Ohmsches Gesetz

Das Ohmsche Gesetz gilt nun auch für **Zeiger**. Wir verwenden jetzt jedoch statt des **Widerstands** die **Impedanz**:

$$\hat{u} = Z \cdot \hat{i}$$

Eigentlich ist das bereits die Hauptidee des ersten Kapitels. Alles, was ab jetzt folgt, sind lediglich Konsequenzen bzw. Folgerungen der dieser Theorie. Als zentrale Beispiele dienen bestimmte Arten von Spannungsteilern (sog. Filter), die nur spezifische Ausführungen normaler Spannungsteiler darstellen.

Bemerkung 3.1

Für ein tieferes Verständnis: Eine **Impedanz** ist klar definiert durch ihren **Betrag** (Scheinwiderstand) und ihre **Phase** (Winkel in der komplexen Ebene). Der **Betrag** gibt an, wie groß der **Widerstand** ist, unabhängig vom **imaginären Anteil**. Die **Phase** beschreibt, wie stark der **Strom** bei angelegter **Spannung verzögert** wird.^a

^aDafür habe ich ein Video vorbereitet.

Theorie 3.2 Kirchhoff, Stromteiler, Spannungsteiler

Alle bekannten Werkzeuge zur Berechnung von **Netzwerken** gelten weiterhin, nun jedoch mit **komplexen Widerständen**:

$$\sum_{\text{Masche}} \hat{u} = 0 \quad \sum_{\text{Knoten}} \hat{i} = 0$$

Zusätzlich gelten auch die **Teilerregeln**:

Spannungsteilerregel:

$$\hat{u}_2 = \hat{u}_{\text{ges}} \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Stromteilerregel:

$$\hat{i}_2 = \hat{i}_{\text{ges}} \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Bemerkung 3.2

Tipp: Wenn Ihr eine Formel bestimmt habt mit der ihr aber nicht ganz sicher seid, dann ist hier ein Tipp wie man das schnell ueberpruefen kann:

1. Erinnert euch zuruck wie sich Induktivitaeten und Kapaziteten bei Gleichstrom und sehr hohen Frequenzen und Gleichspannung verhalten
2. Stellt euch vor wie sich das Netzwerken in den beiden Oberen fallen verhalten wurde
3. setzt in die Formel, die ihr errechnet habt, $\omega = 0$ und $\omega = \infty$ ein.
4. interpretiert das Ergebnis

4 Was wird wie genannt?

Damit wir später alle dieselben Begriffe verwenden, ist es notwendig, eine Definition zu treffen. Diese ist, Gott sei Dank, sehr intuitiv und trägt jetzt nicht maßgeblich zum Verständnis bei.

Definition 4.1 Bezeichnungen

Admittanz Y Kehrwert der Impedanz, gibt an, wie leicht Strom fließen kann:

$$Y = \frac{1}{Z}.$$

Impedanz Z Komplexer Widerstand in Wechselstromkreisen, definiert als:

$$Z = R + jX.$$

Scheinwiderstand Betrag der Impedanz, der den "effektiven" Widerstand ohne Phasenbetrachtung angibt:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

Phase Winkel φ zwischen Spannung und Strom, bestimmt durch:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{X}{R}\right).$$

Realteil R Der ohmsche Anteil der Impedanz, verantwortlich für den Energieverbrauch.

Imaginärteil X Der reaktive Anteil (Blindwiderstand), bedingt durch induktive oder kapazitive Elemente.

Aufgabe 4.1 Aufgabe

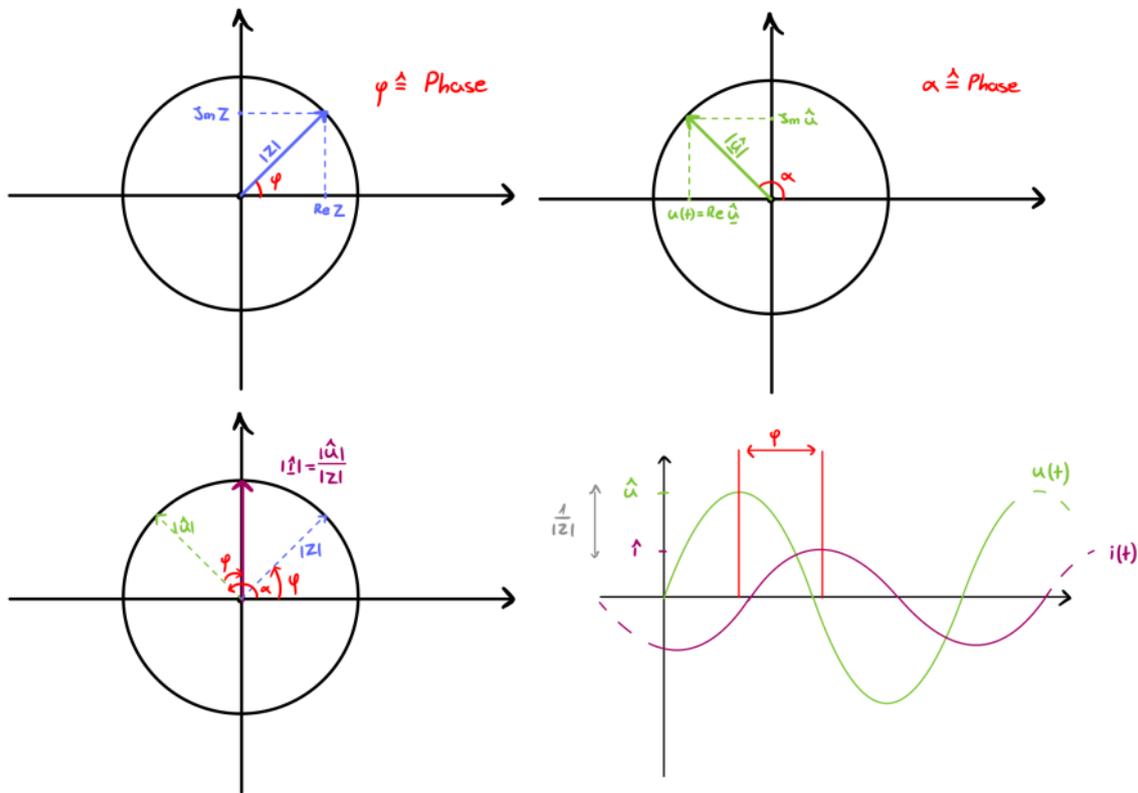
Bestimme die Phase und den Betrag dieser Impedanz:

$$\underline{Z} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$

Tipp: $\frac{1}{j} = -j$

5 Graphische Tipps und Visualisierung

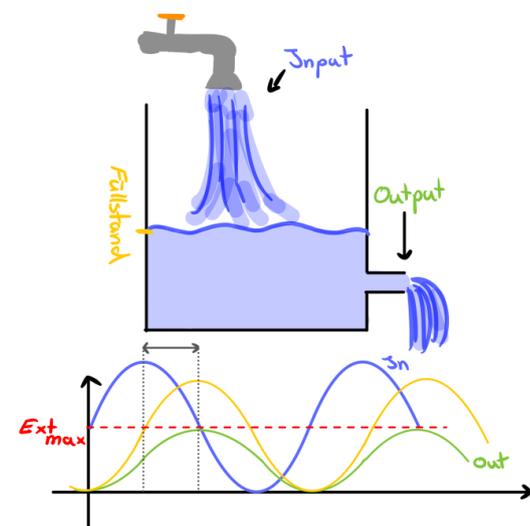
5.1 Visualisierung - Impedanz



In diesem Beispiel wird ein einfaches Beispiel einer Impedanz an einer Spannungsquelle behandelt. Die oberen zwei Bilder zeigen jeweils die Impedanz und die Spannung in Zeigerdarstellung. Unten ist dann der resultierende Strom in Zeit- und Zeigerdarstellung. Hervorgehoben wurde die isolierte Auswirkung der Impedanz auf den Strom. Dieser ist um $\varphi = \arg(Z)$ gegenüber der Spannung voreilend und ist gegenüber der Spannung um den Betrag $|Z|$ skaliert¹

Beachte: Im Falle eines realen Widerstands sind Strom und Spannung in Phase, da $\arg(Z) = 0$ ist

5.2 Intuition - Wie können Spannung und Strom nicht in Phase sein?



Je höher der Wasserstand im Kanister, desto mehr Wasser fließt heraus, und Wasser kann nur maximal halb so schnell ausfließen, wie es eingegossen werden kann. Wenn ich eine sinusförmige Menge Wasser eingieße, ist der Kanister erst nach Erreichen der maximalen Eingießgeschwindigkeit am vollsten und entleert sich dementsprechend auch am schnellsten. Die Maxima der Eingießgeschwindigkeit und der Wasseraustrittsgeschwindigkeit bzw. des Wasserstands sind demnach nicht in Phase.

¹Eine animierte Simulation auf meiner Website: <https://n.ethz.ch/rsahleanu/nus2/utis/impe.html>

6 Tipps zur Übung

1. Aufgabe:

- Das ohm'sche Gesetz mit Zeigern: $\hat{u} = \underline{Z}$

2. Aufgabe:

- Stromteiler für Zeiger:

$$\hat{i}_2 = \hat{i}_{\text{ges}} \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

zurück.

- Für das Zeichnen der Zeiger in 2.3: Maschen- und Knotengleichungen gelten auch bei Zeigern!

3. Aufgabe:

- Serieschaltung gilt auch bei Impedanzen:

$$\underline{Z}_{\text{ges}} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2$$

- Parallelschaltung gilt auch bei Impedanzen:

$$\frac{1}{\underline{Z}_{\text{ges}}} = \frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2}$$

4. Aufgabe:

- Aufgabe lässt sich relativ leicht berechnen mit den Maschengleichungen
- für die 4.2: Parallel- und Serienschaltung von Impedanzen!

7 Übersicht und Ausblick

In dieser Stunde haben wir sozusagen alle notwendigen Werkzeuge zusammengetragen, um den Kurs "Netzwerke und Schaltungen II" voll zu starten. Wir wissen, wie wir mit Wechselstrom und reaktiven Komponenten arbeiten können und können nun alles Erdenkliche in einem Netzwerk berechnen. In den nächsten Stunden werden wir uns mit Filtern beschäftigen – diese sind Spannungsteiler, die das Teilungsverhältnis abhängig von Frequenzen ändern. Bei hohen Frequenzen können diese bspw. einen größeren Spannungsabfall bewirken als bei geringen, und dadurch schreibt man ihnen eine gewisse Filtercharakteristik zu, wie bspw. Low-Pass oder High-Pass.