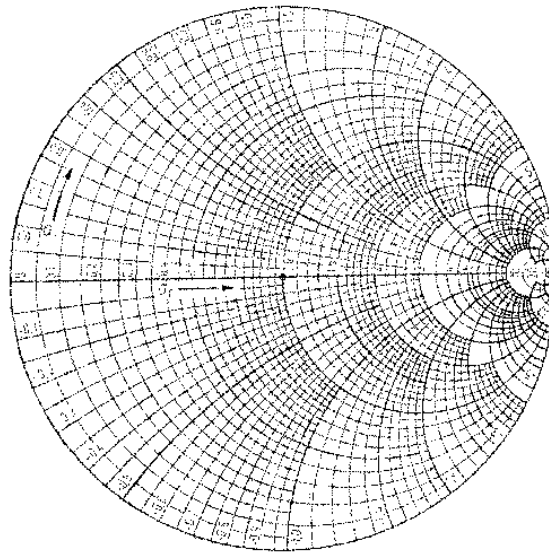


Überblick über Smith-Diagramm



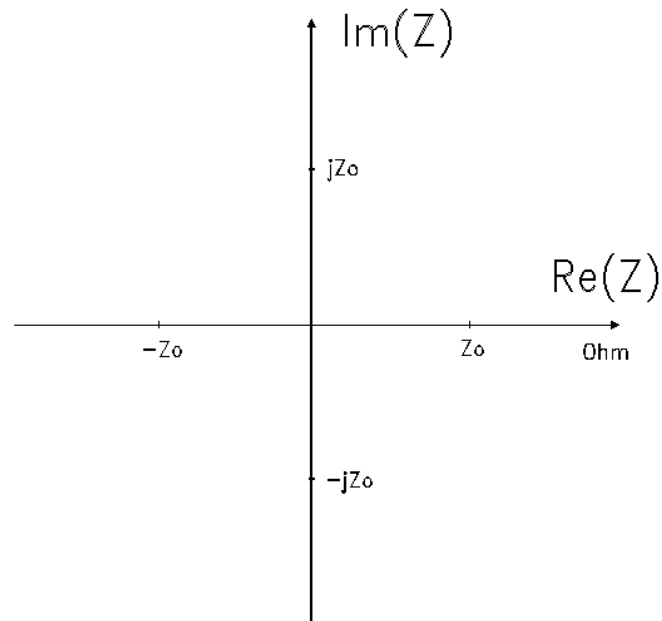
Roland Pfeiffer
22. Vorlesung

Gliederung

- Smith-Diagramm-was ist das?
 - ◆ Normierte kartesische Impedanz-Ebene, Reflexionsfaktor-Ebene
- Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm
 - ◆ nur R, nur C, nur L
 - ◆ Serienschaltung
 - ◆ Parallelschaltung
 - ◆ Beispiel
- Smith-Diagramm auf Leitungen
- Smith-Diagramm bei Verstärkern
 - ◆ Leistungsanpassung: Berechnung der konjugiert komplexen Impedanz/Admittanz
- Praktisches Arbeiten mit dem Smith-Diagramm
 - ◆ Impedanz-Admittanz-Übertragung bei Smith-Diagrammen
 - ◆ Präzision von Smith-Diagrammen, Download-Möglichkeiten

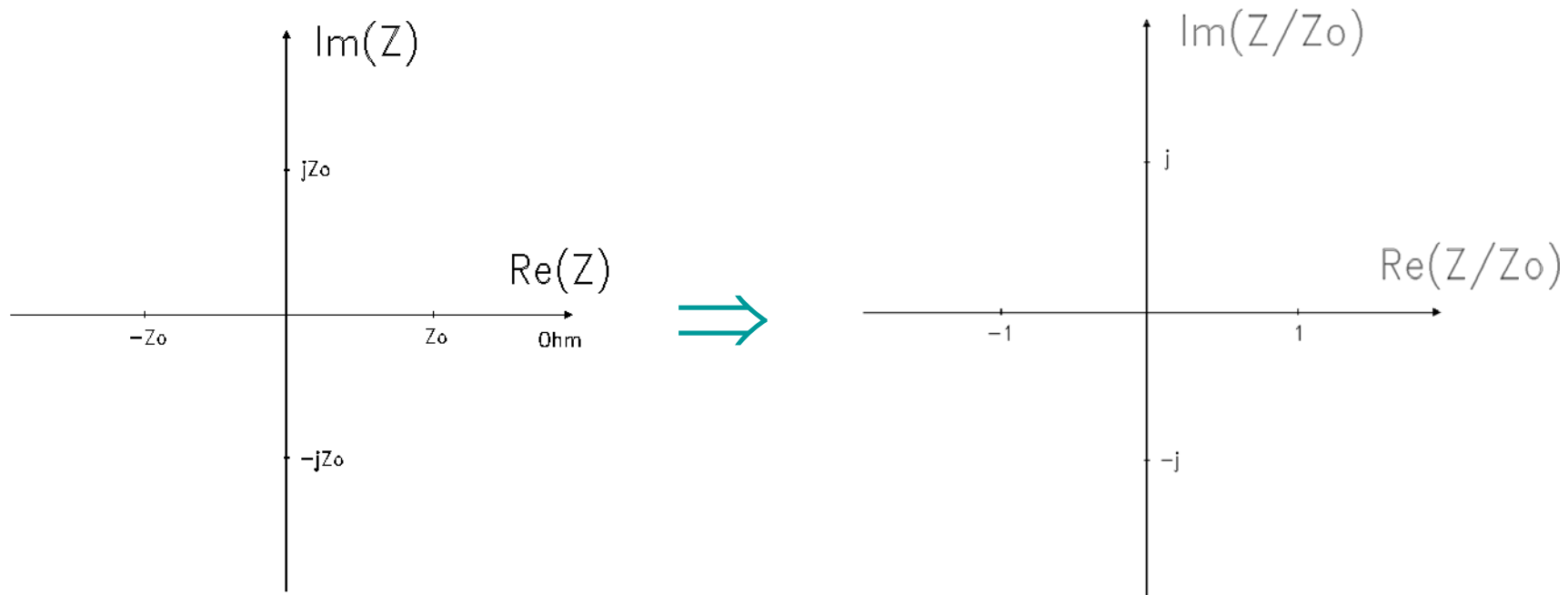
Smith-Diagramm-was ist das?

- Kartesische Impedanzebene (bekannt)



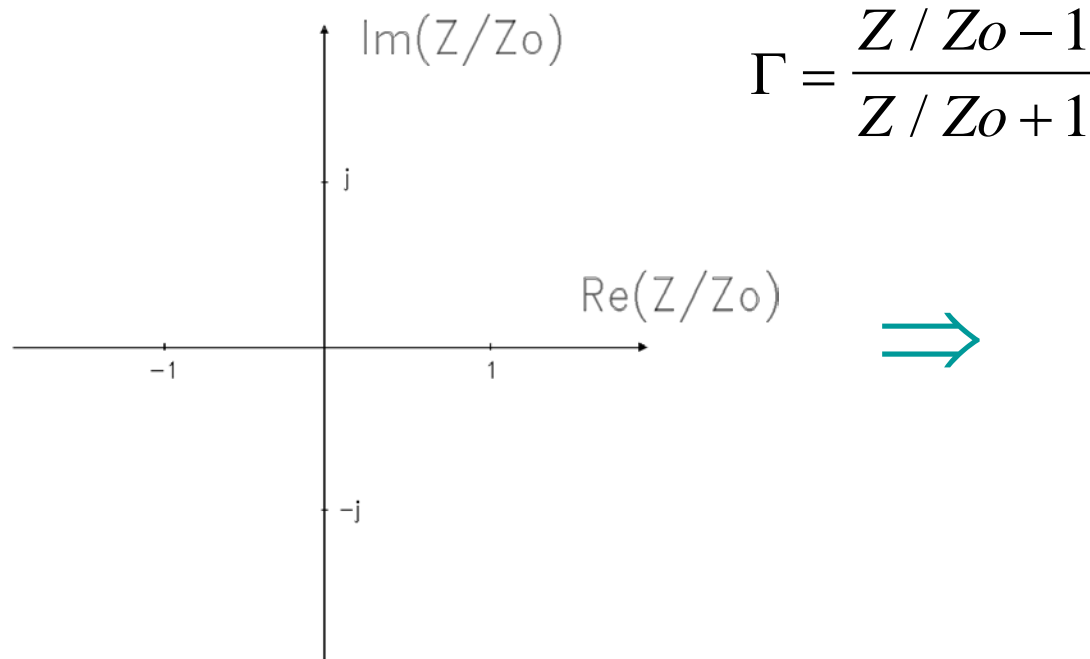
Smith-Diagramm-was ist das?

- Normierung der Impedanzebene auf Z_0 (meist $Z_0 = 50 \text{ Ohm}$)

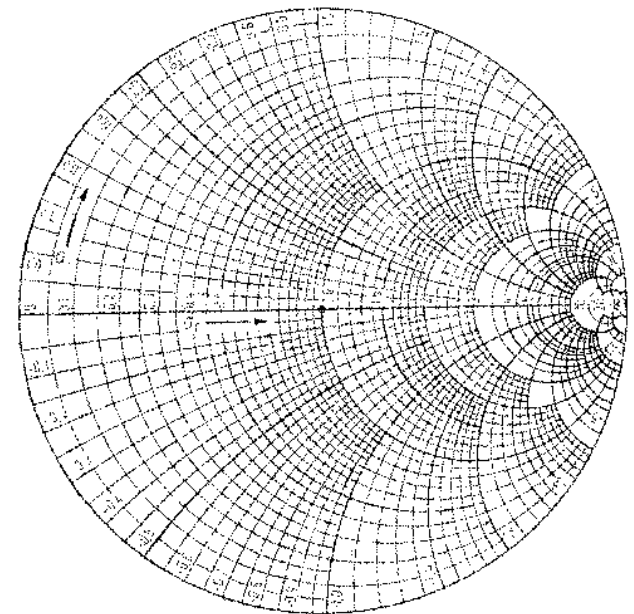


Smith-Diagramm-was ist das?

- Transformation der normierte Impedanzebene in die Reflexionsfaktorebene Γ mit



normierte kartesische Impedanzebene



Smith-Impedanz-Diagramm

Smith-Diagramm-was ist das?

- Transformation: normierte Impedanzebene - Reflexionsfaktorebene Γ



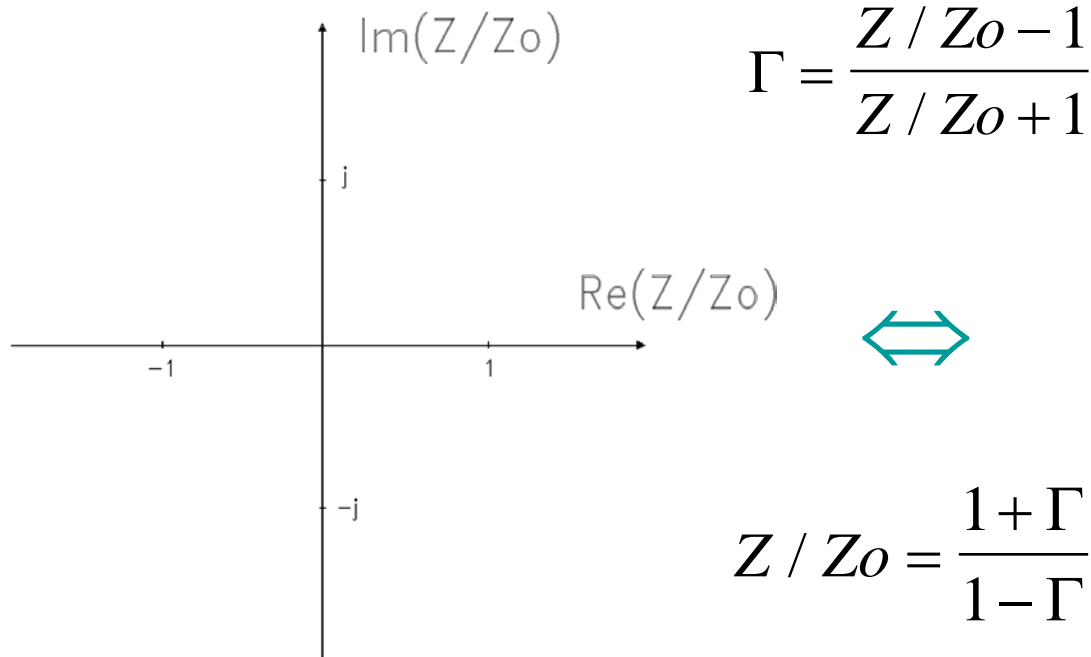
An-95-1a.mov

siehe auch:

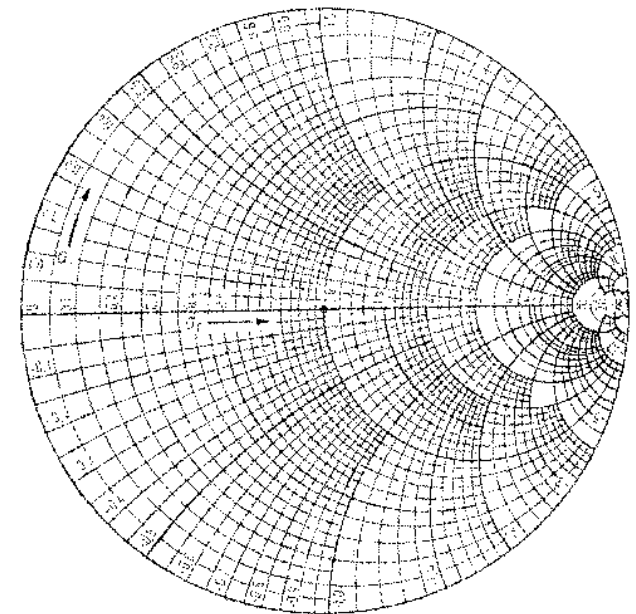
<http://www.hf.ruhr-uni-bochum.de/lehre/Animationen/SmithChart.html>

Smith-Diagramm-was ist das?

- Bilinearität der Transformation



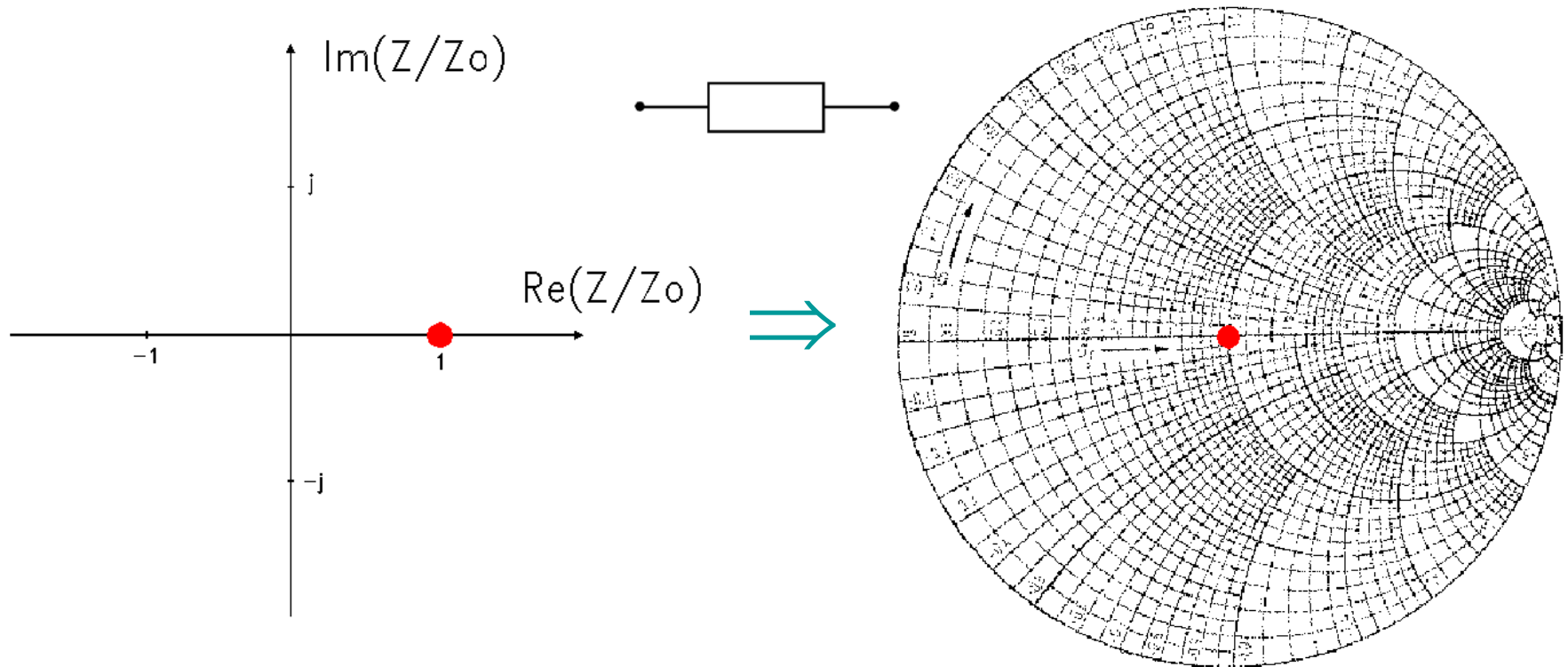
normierte kartesische Impedanzebene



Smith-Impedanz-Diagramm

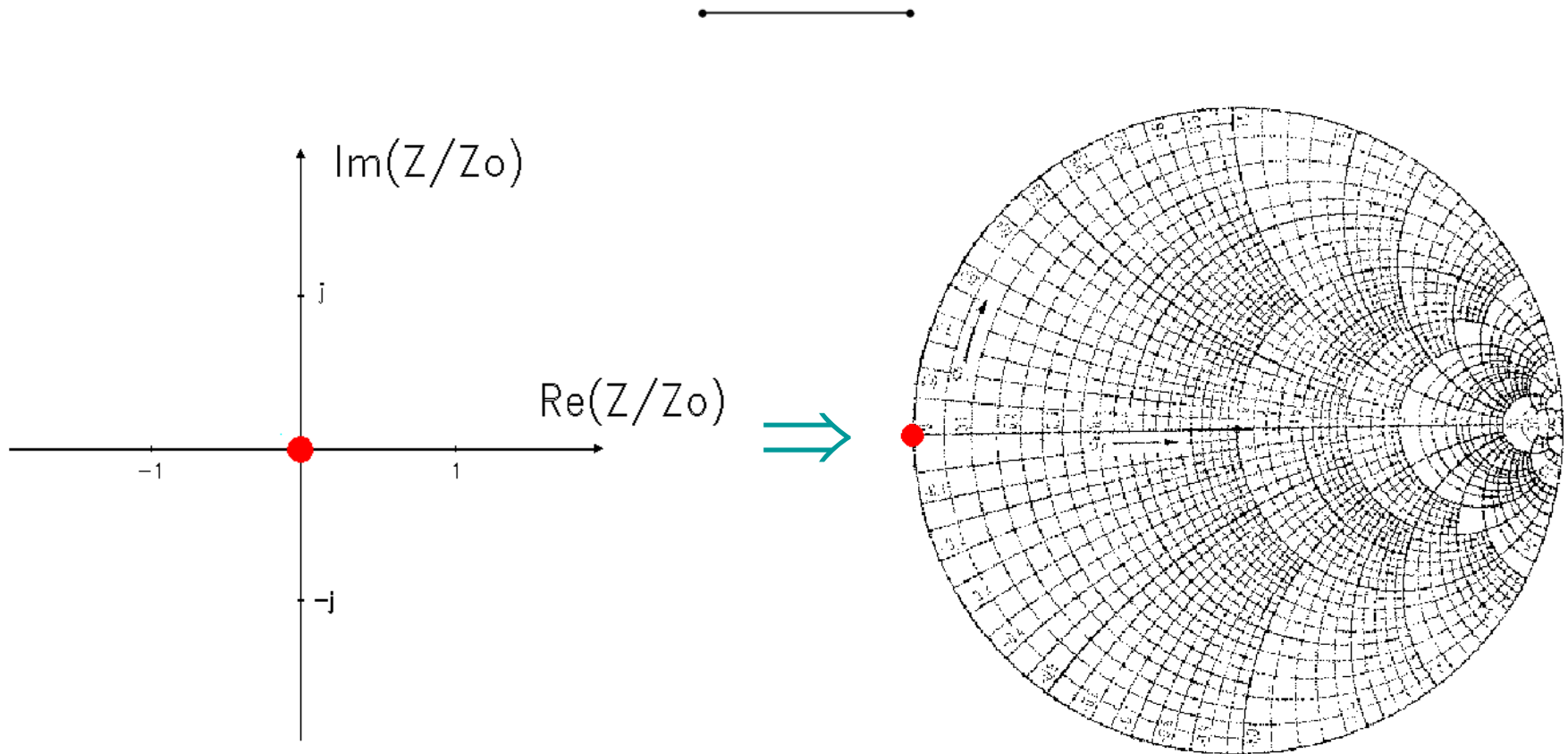
Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

- Nur R: $R = Z_0$ (Anpassung)



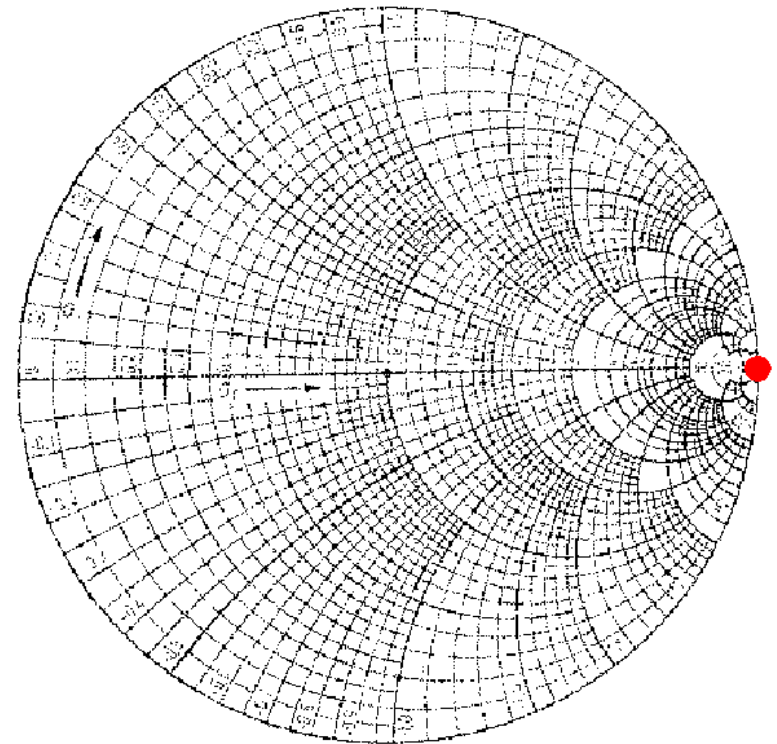
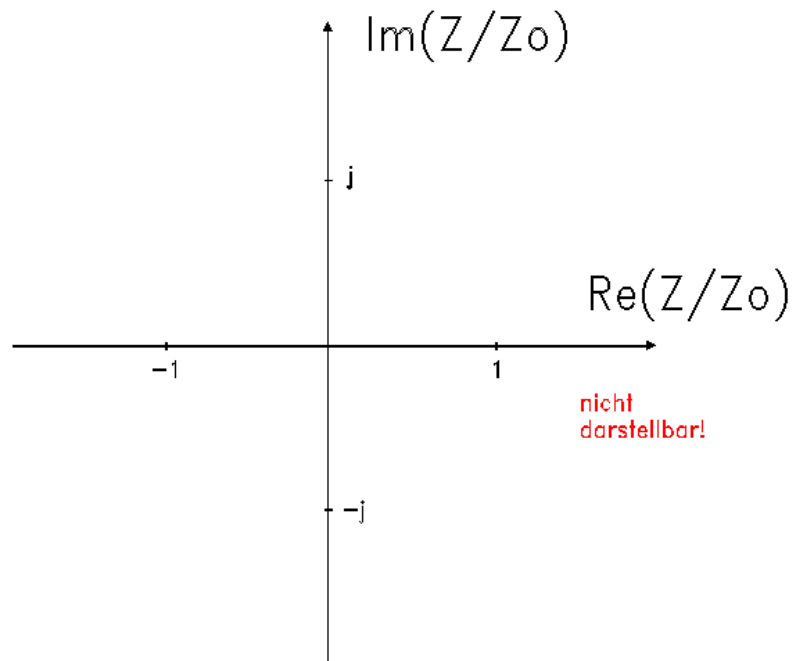
Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

- Nur R: $R=0$ Ohm (Kurzschluß)



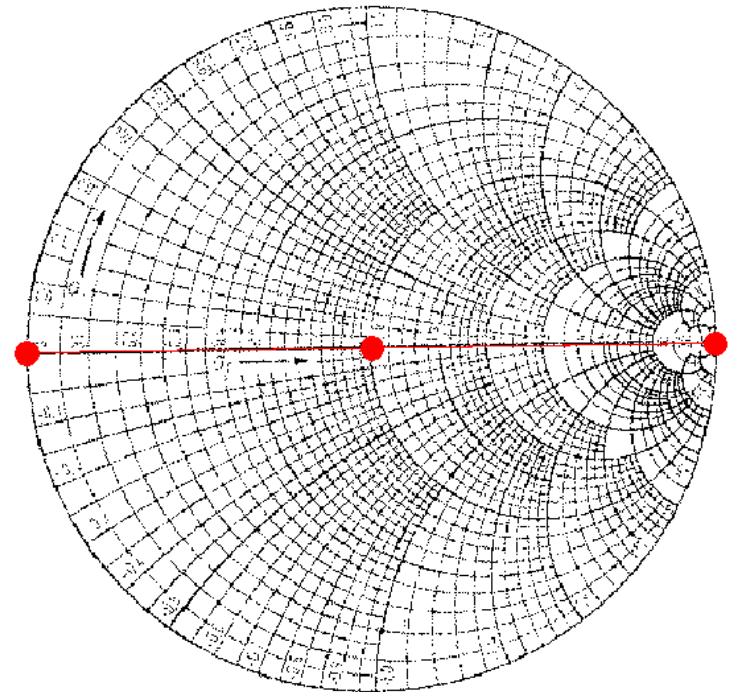
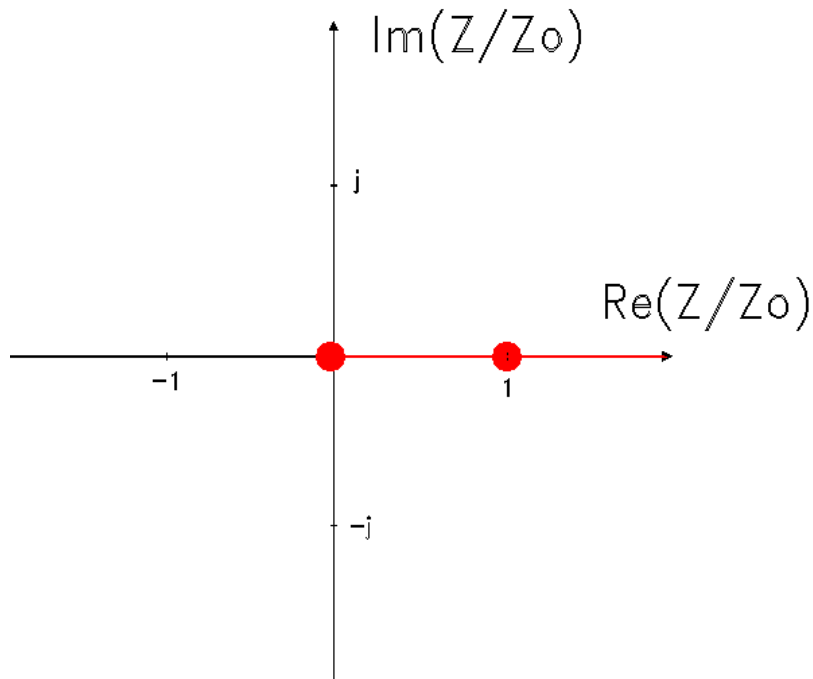
Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

- Nur R: $R = Z_0$ (Leerlauf)



Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

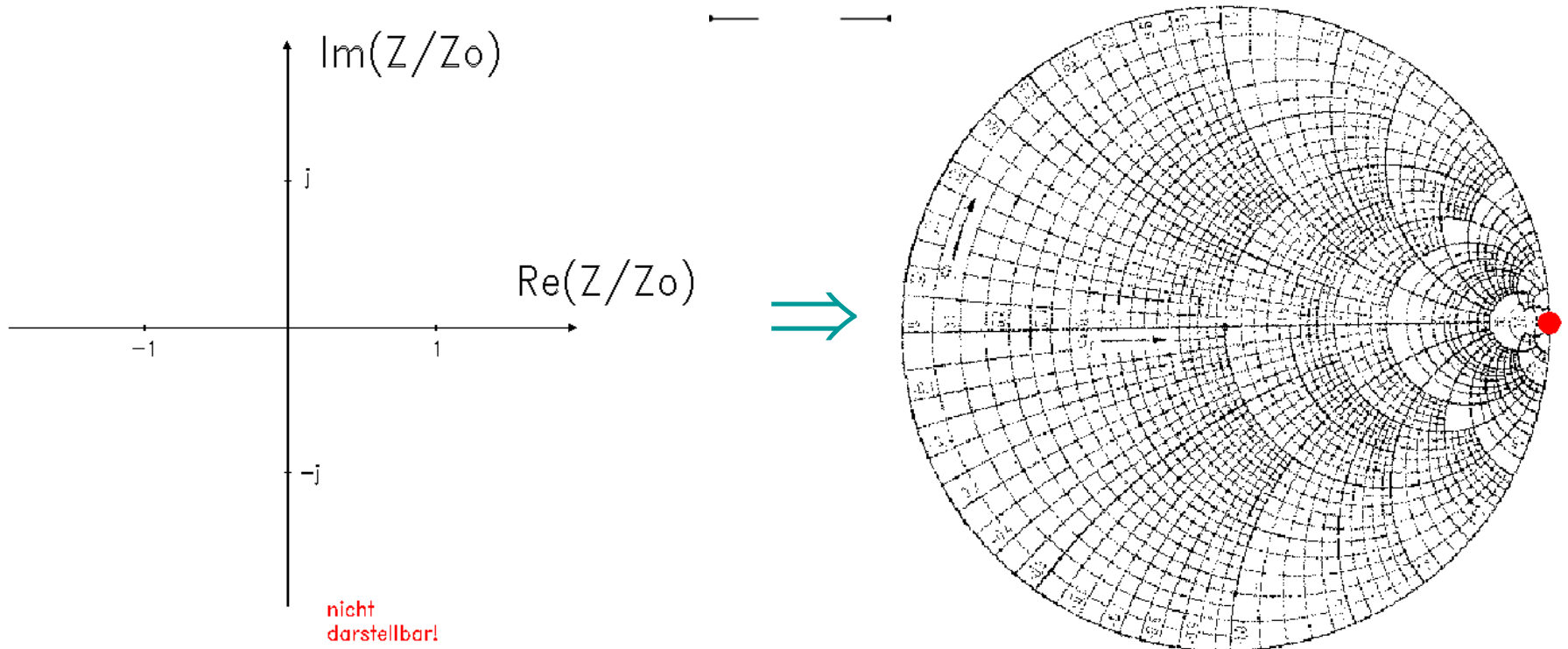
■ Nur R:



R im Smith-Impedanz-Diagramm: „mittendurch, nach rechts für steigendes R“

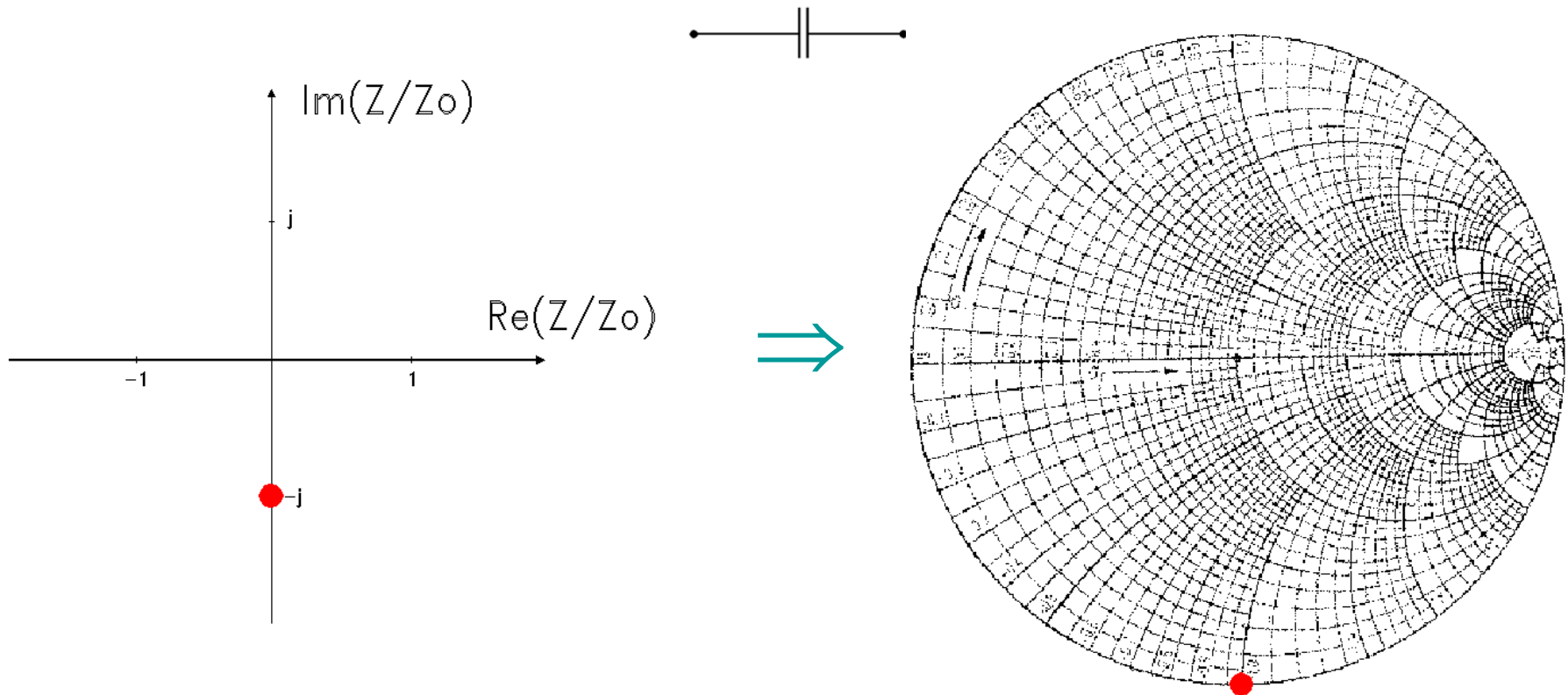
Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

- Nur C: $1/j\omega C = -j/\omega C$ Ohm ($\omega = 0 \text{ Hz} \Rightarrow \text{Leerlauf}$)



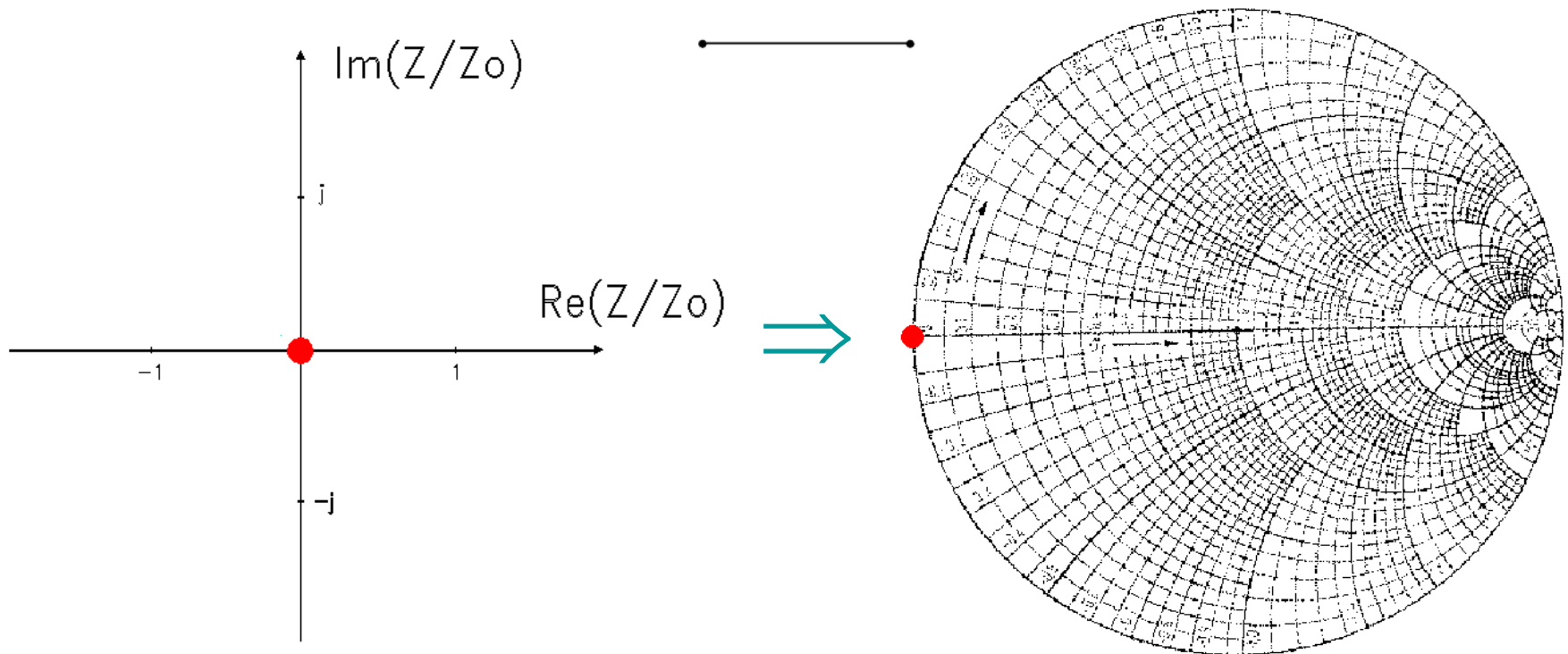
Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

- Nur C: $1/j\omega C = -jZ_0$



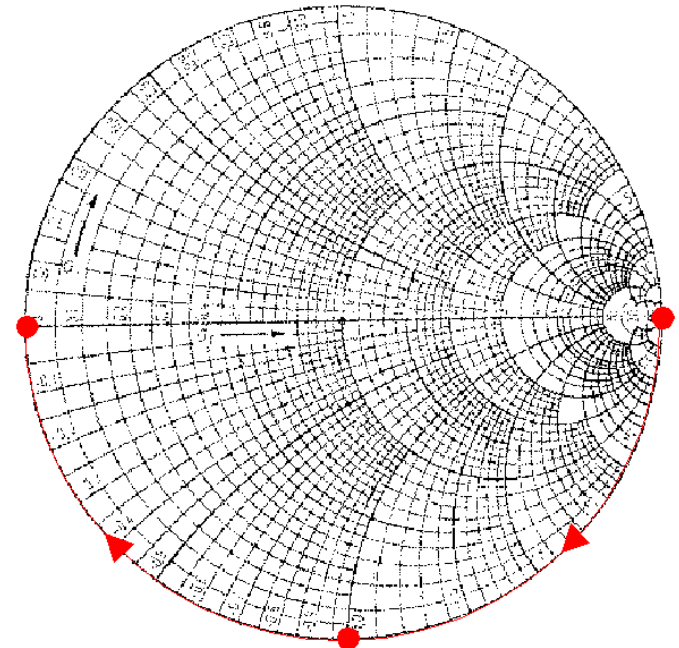
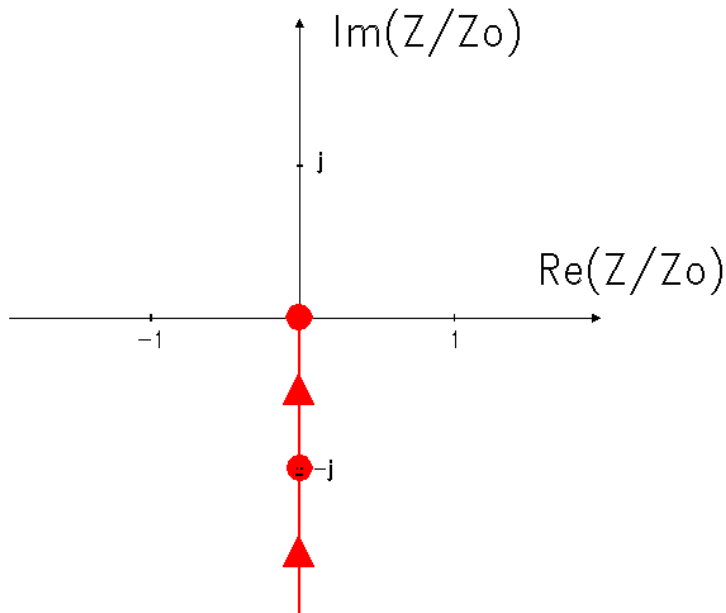
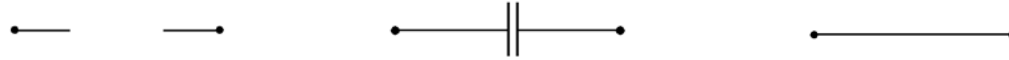
Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

- Nur C: $1/j\omega C = -j0 \text{ Ohm}$ ($\omega = : \text{ Hz} \Rightarrow \text{Kurzschluß}$)



Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

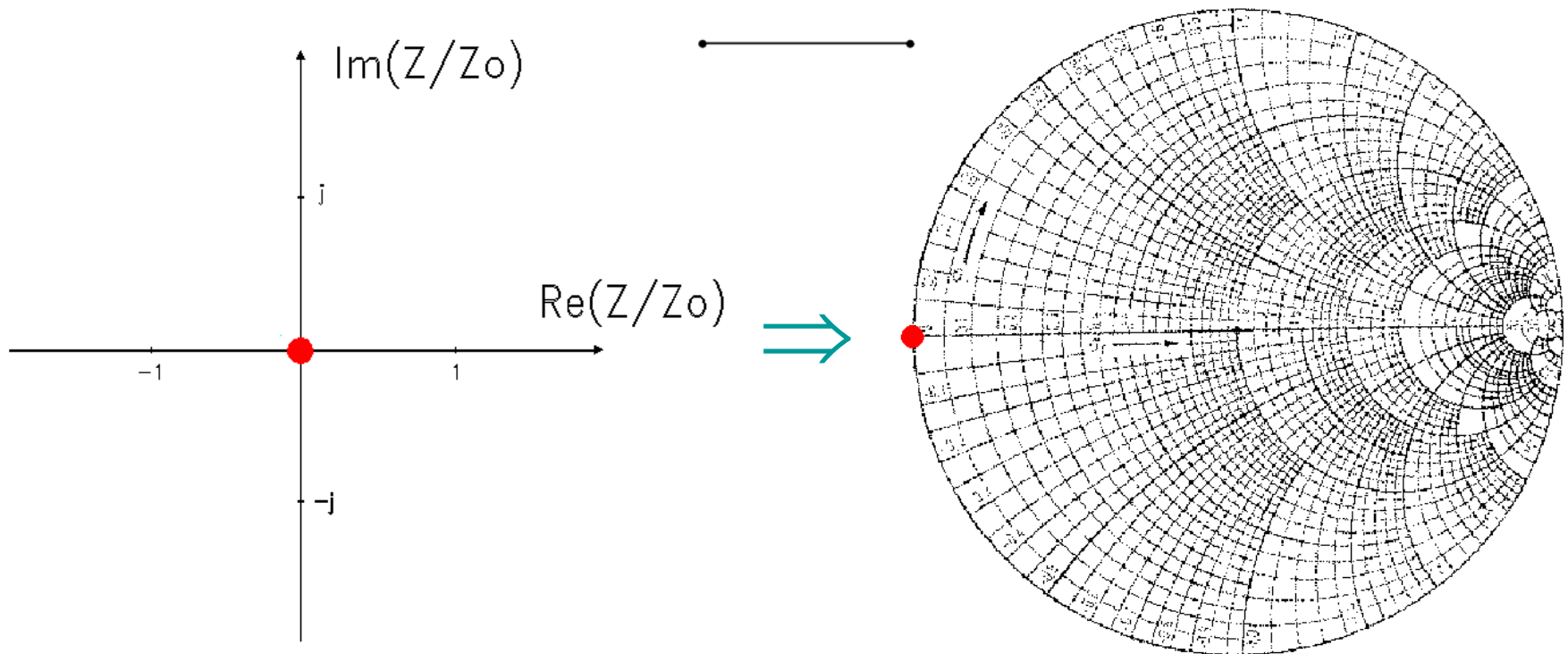
■ Nur C:



Rote Pfeilrichtung $\Rightarrow \omega C$ steigt
C im Smith-Impedanz-Diagramm:
„untere Hälfte, im Uhrzeigersinn für steigendes ωC “

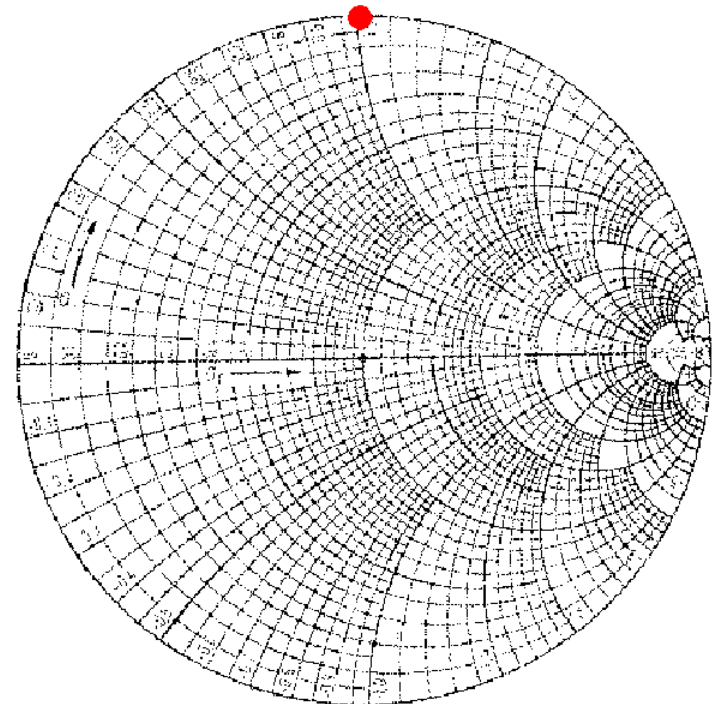
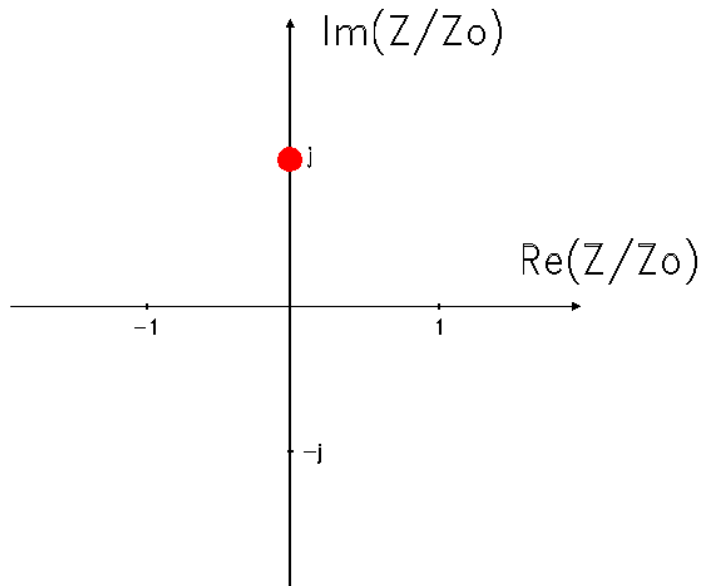
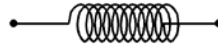
Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

- Nur L: $j\omega L = j0 \text{ Ohm}$ ($\omega = 0 \text{ Hz} \Rightarrow \text{Kurzschluß}$)



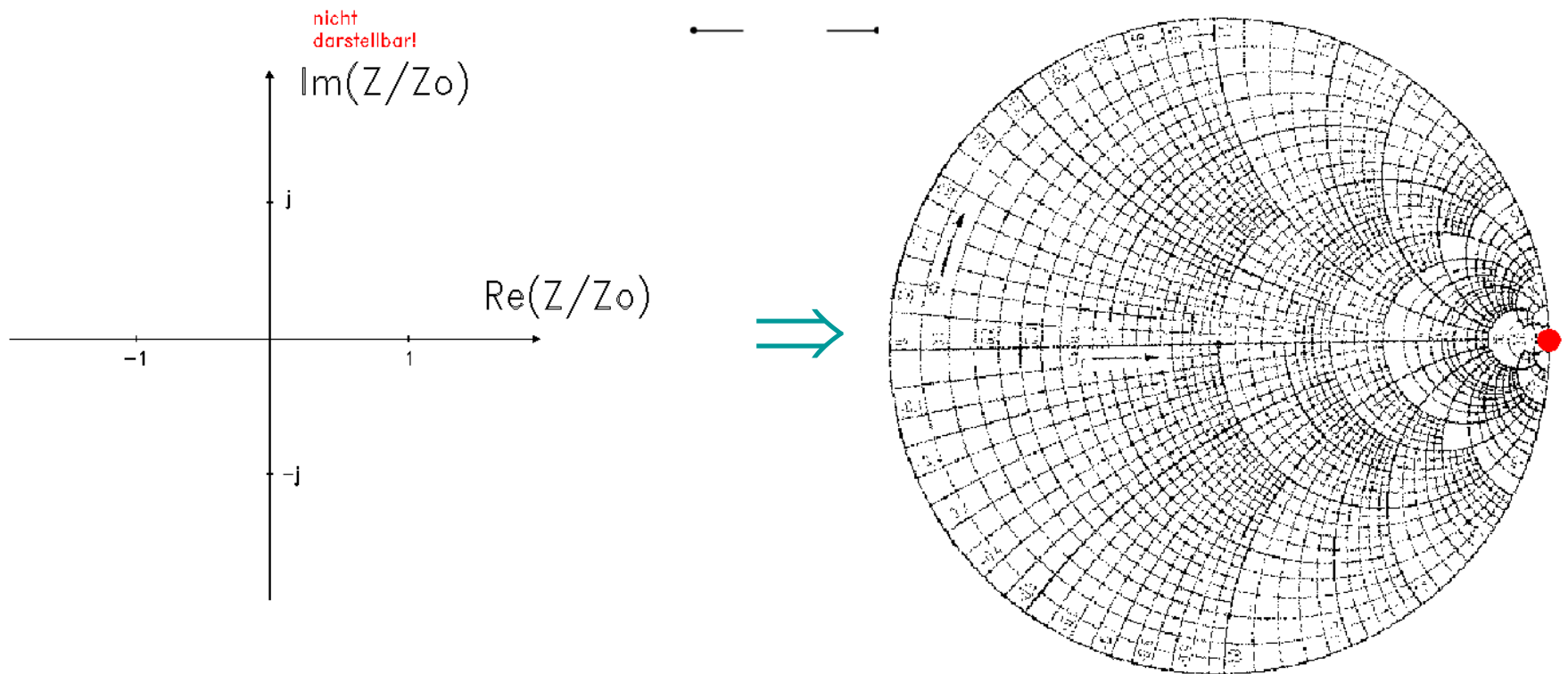
Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

- Nur L: $j\omega L = jZ_0$



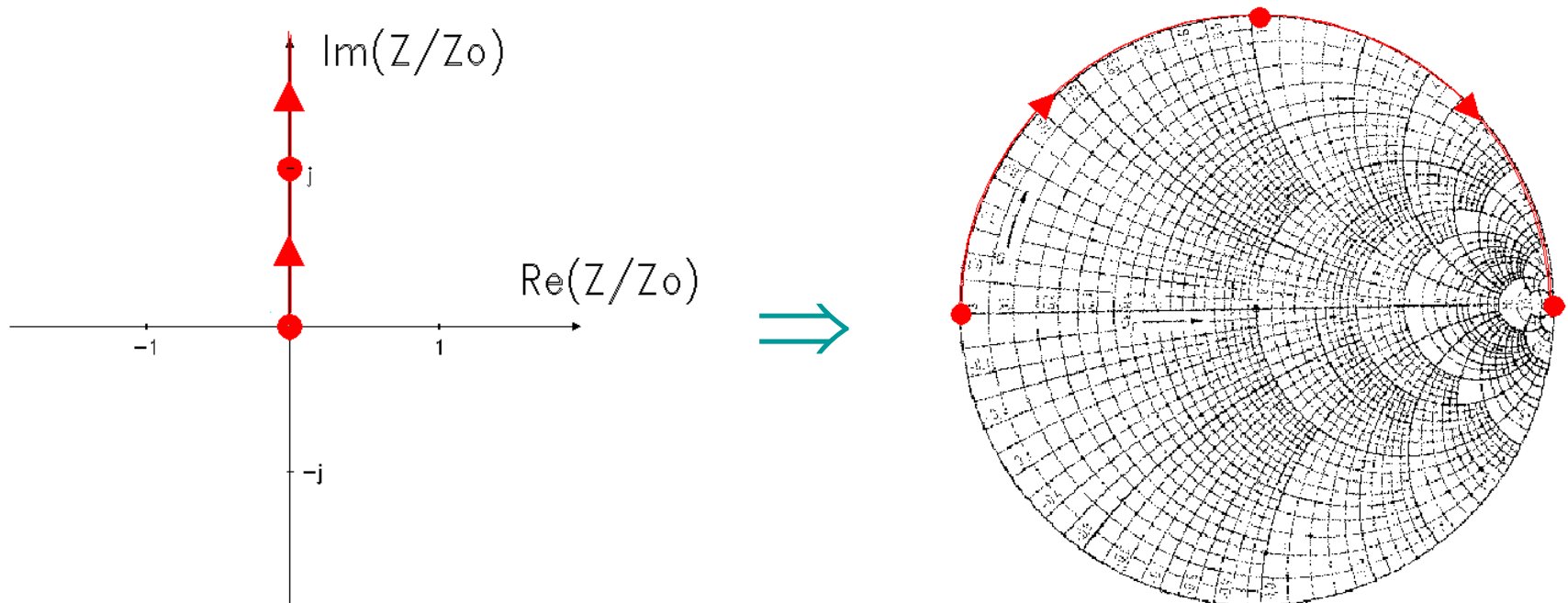
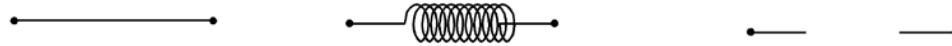
Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

- Nur L: $j\omega L = j \cdot \text{Ohm}$ ($\omega = \text{Hz} \Rightarrow \text{Leerlauf}$)



Darstellung von R,C und L im Smith-Impedanz-Diagramm

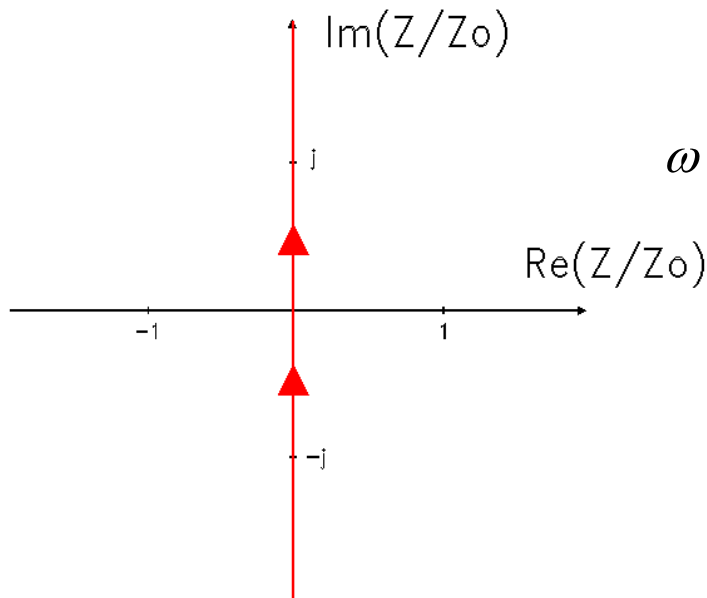
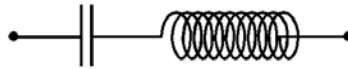
■ Nur L:



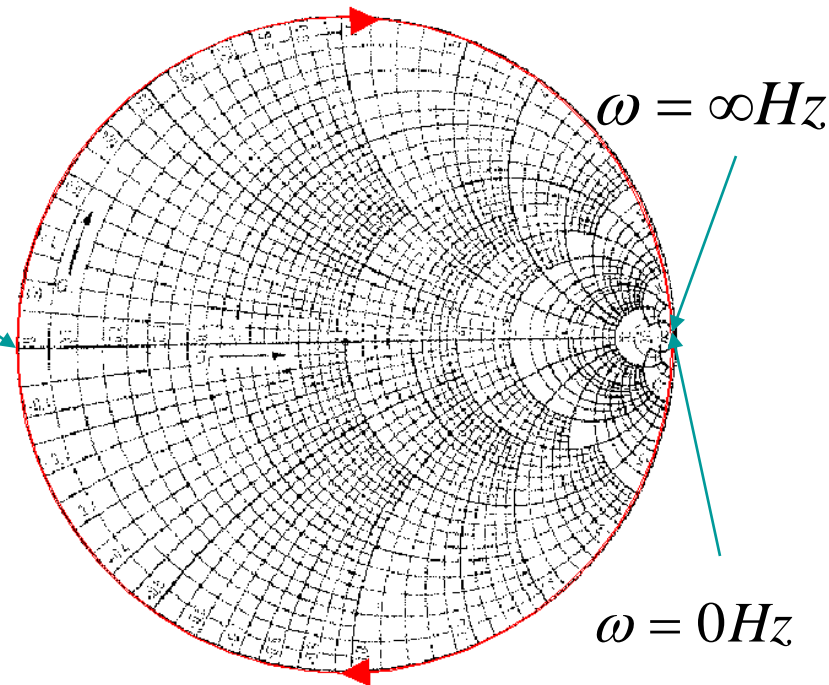
Rote Pfeilrichtung $\Rightarrow \omega L$ steigt
L im Smith-Impedanz-Diagramm:
„obere Hälfte, im Uhrzeigersinn für steigendes ωL “

Serienschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- Serienschaltung C,L

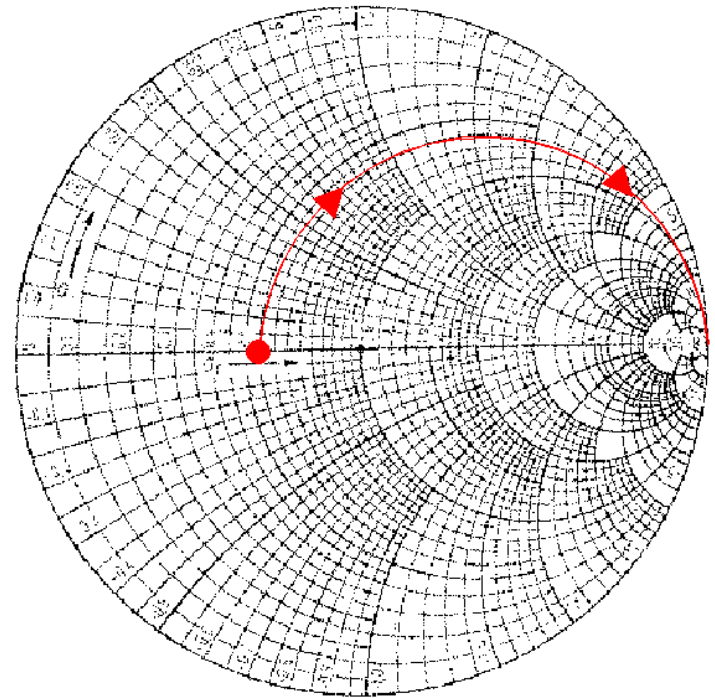
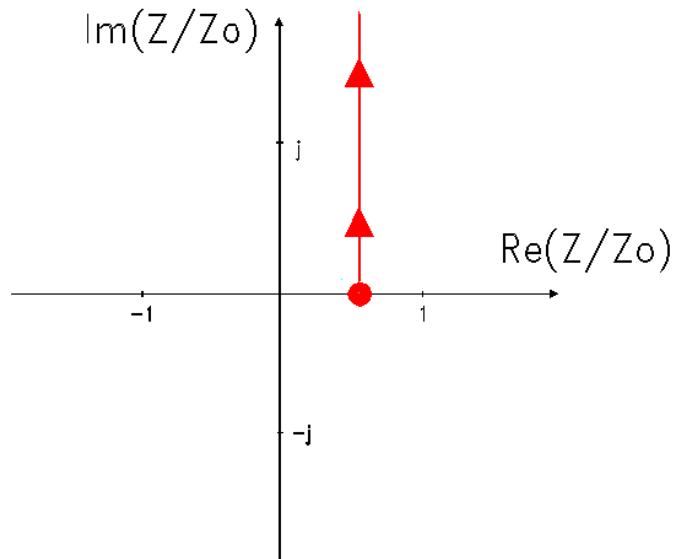
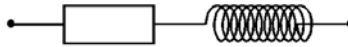


$$\omega = \sqrt{1/LC}$$



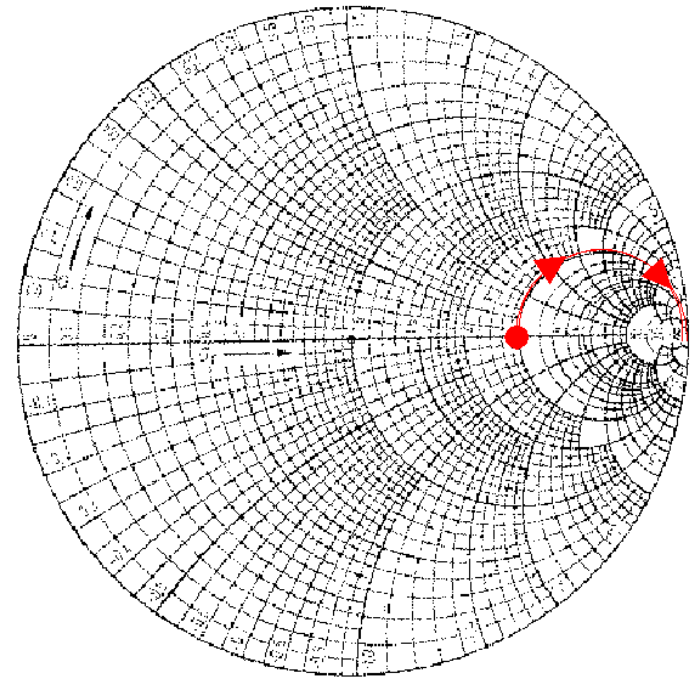
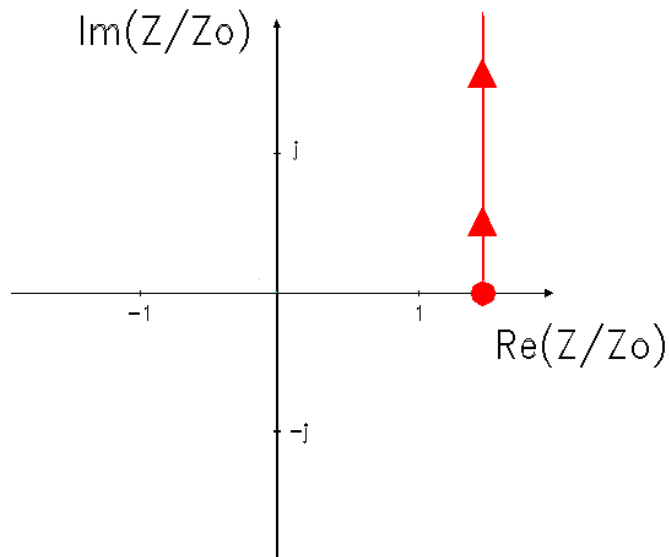
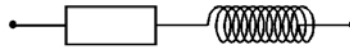
Serienschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- Serienschaltung R,L mit $R < Z_0$



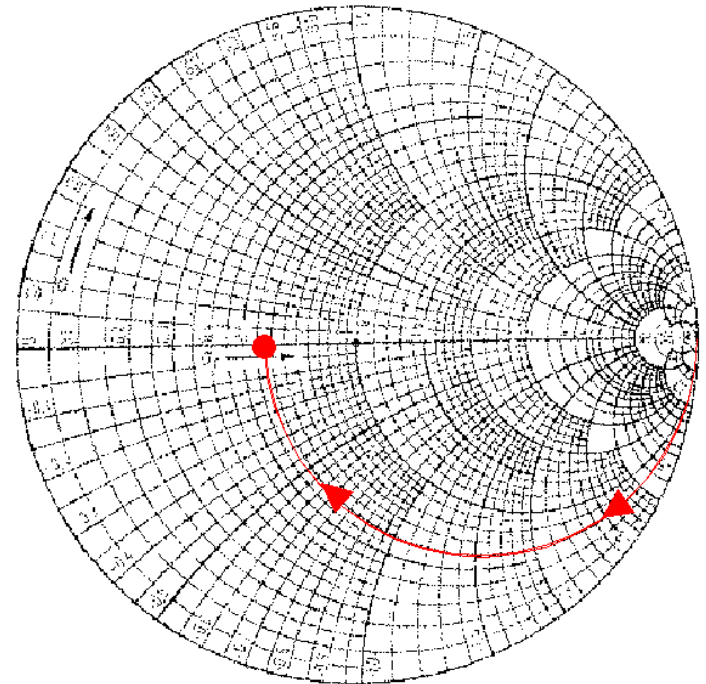
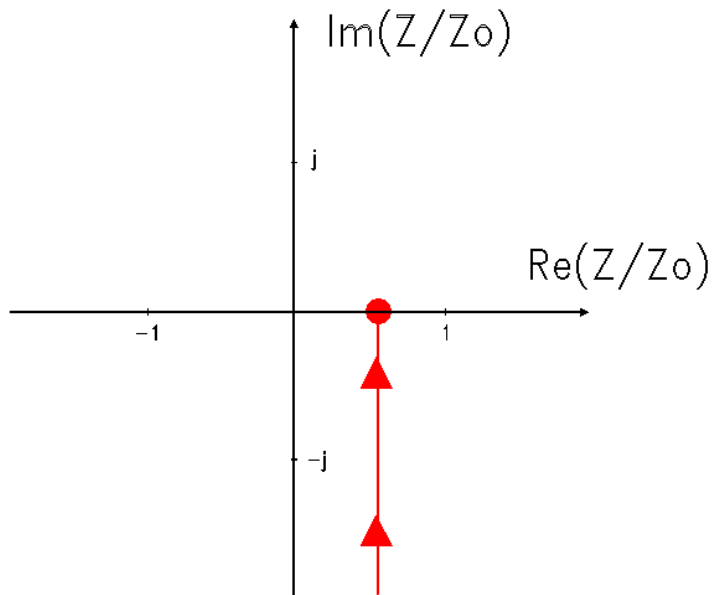
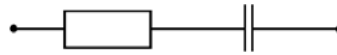
Serienschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- Serienschaltung R,L mit $R > Z_0$



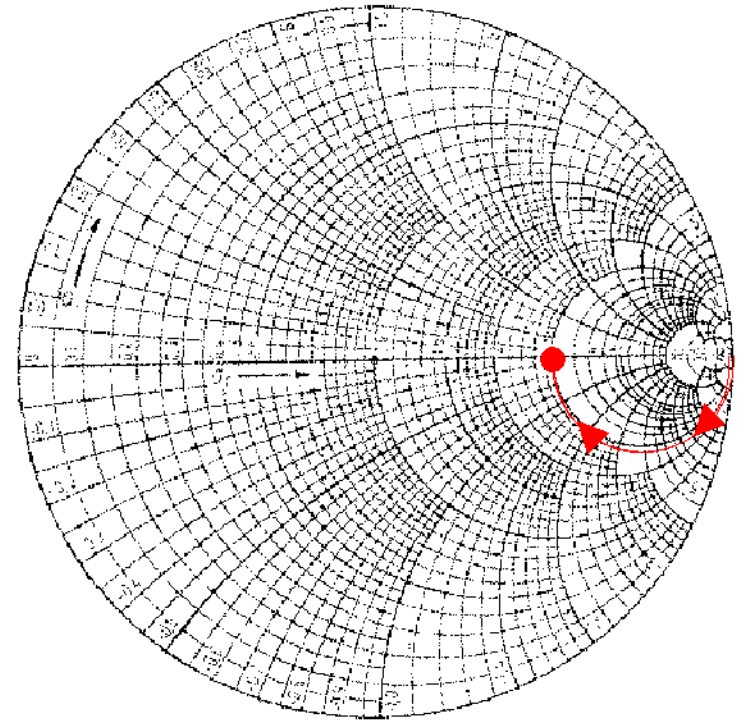
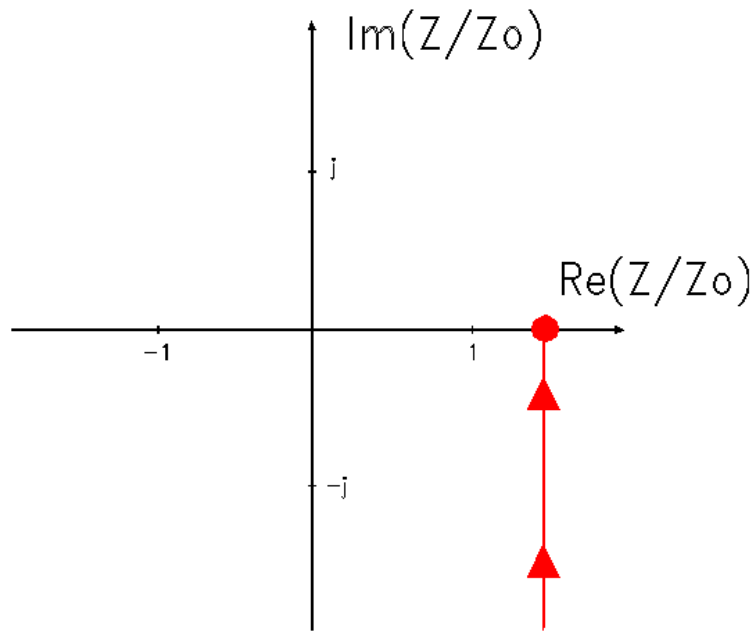
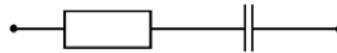
Serienschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- Serienschaltung R,C mit $R < Z_0$



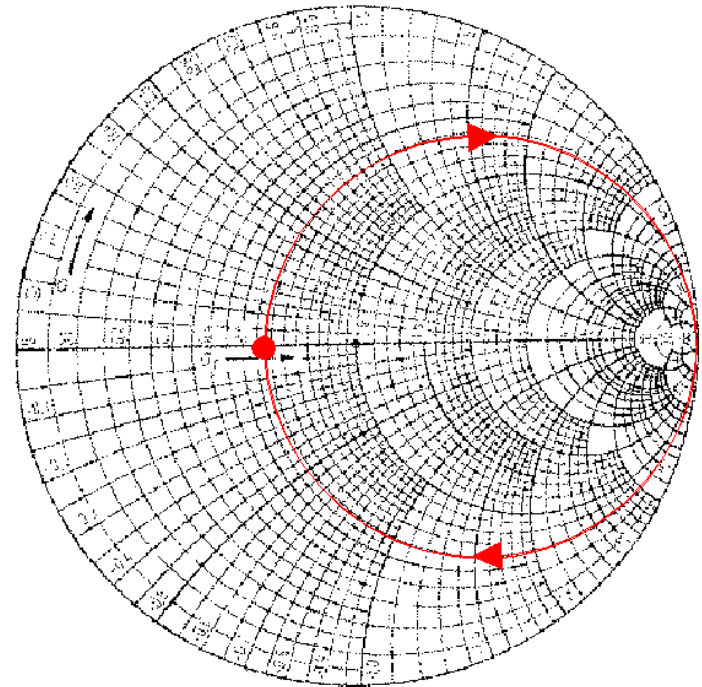
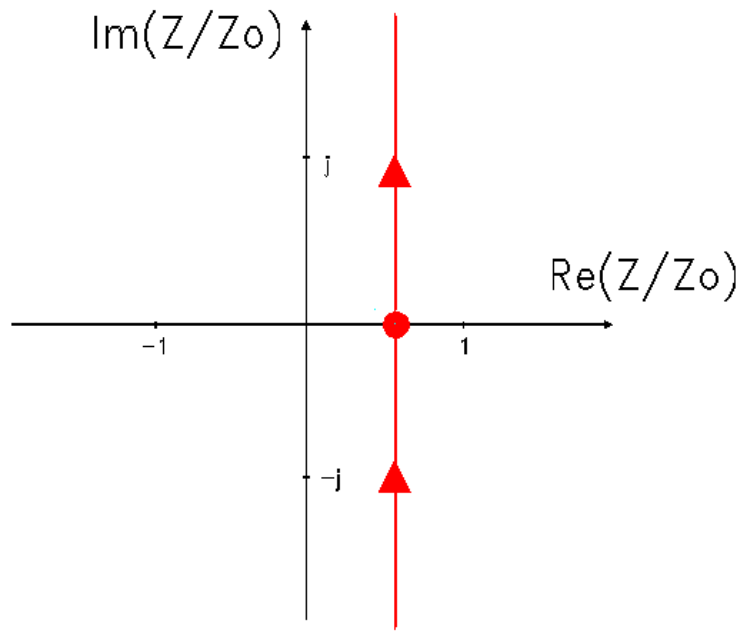
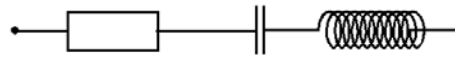
Serienschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- Serienschaltung R,C mit $R > Z_0$



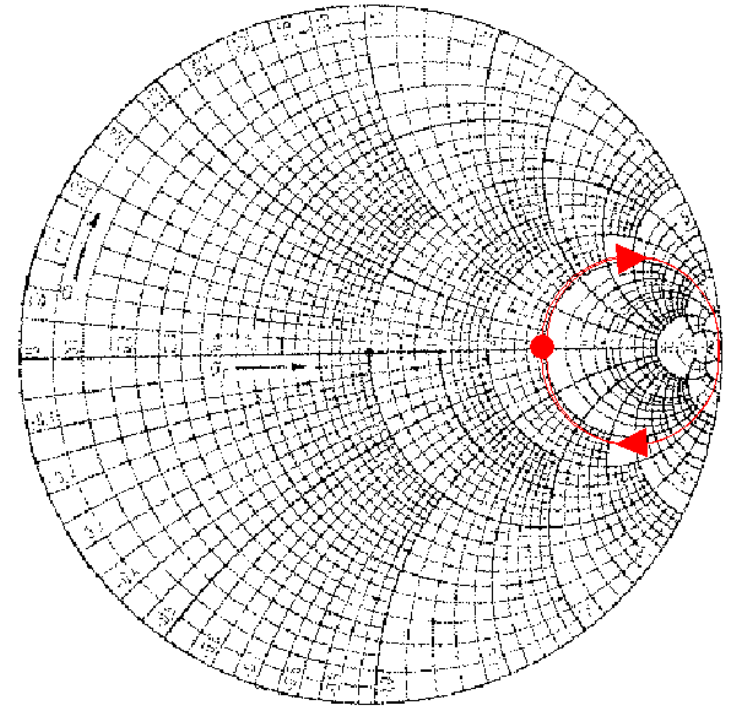
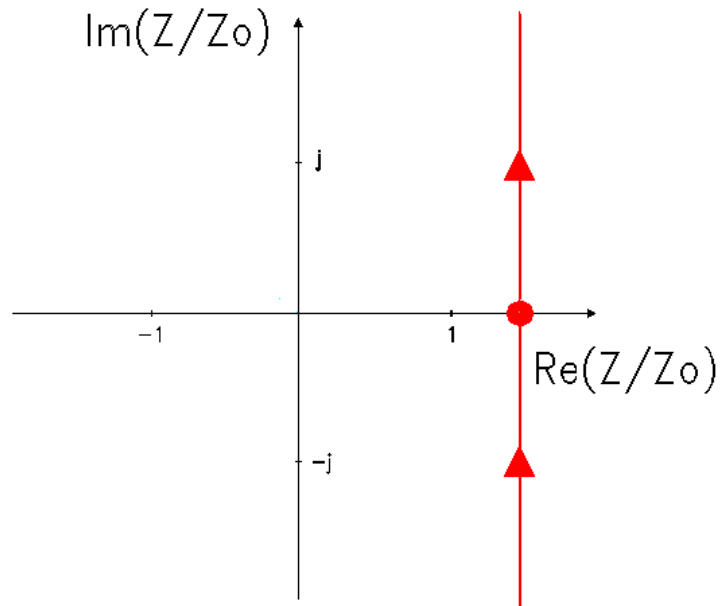
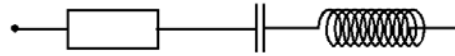
Serienschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- Serienschaltung R,C,L mit $R < Z_0$



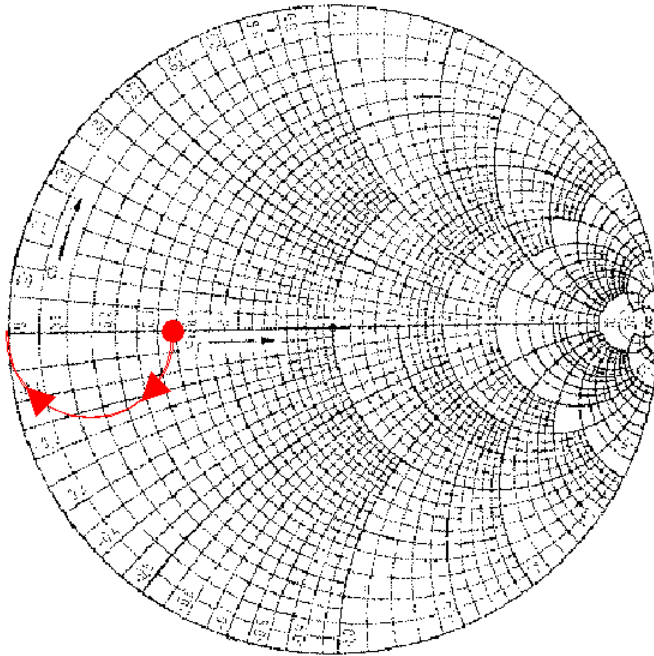
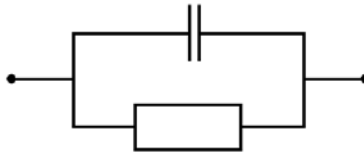
Serienschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- Serienschaltung R,C,L mit $R < Z_0$

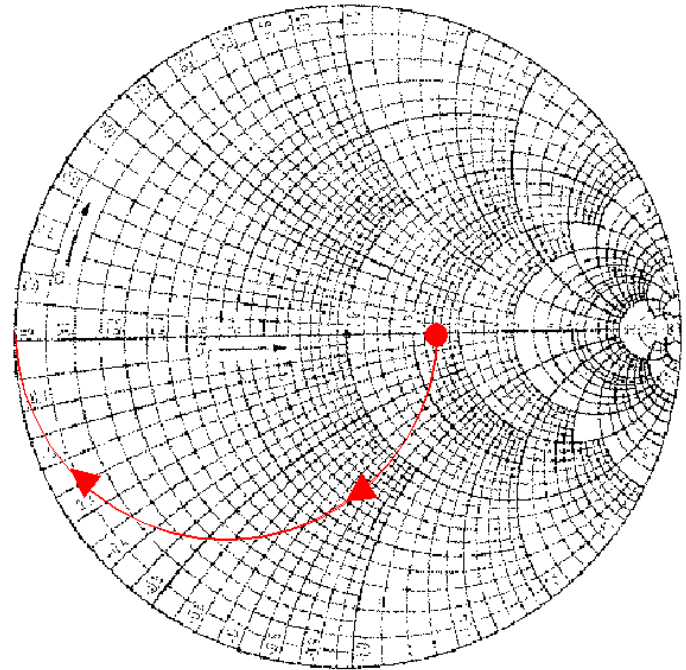


Parallelschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- Parallelschaltung R,C



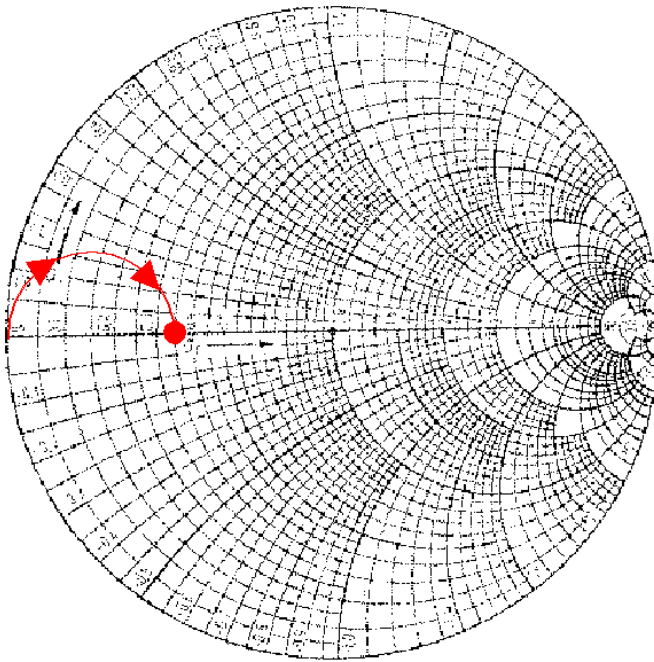
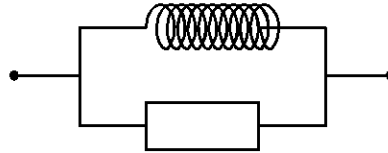
$R > Z_0$



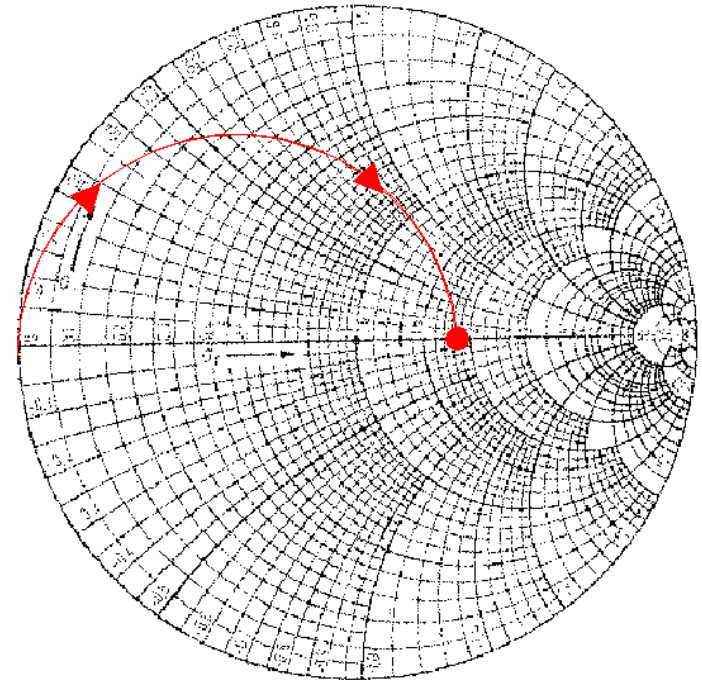
$R < Z_0$

Parallelschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- Parallelschaltung R,L



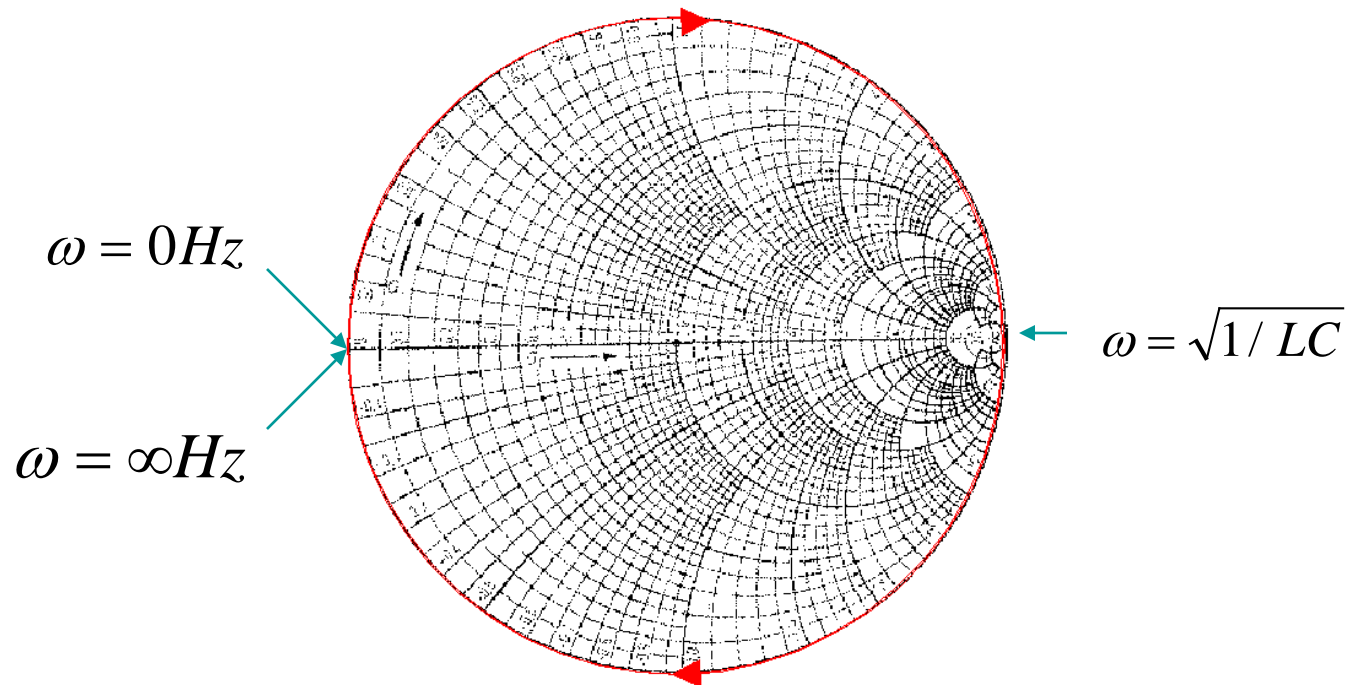
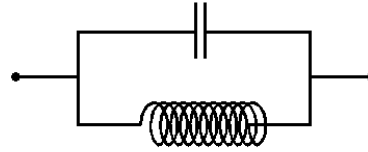
$R > Z_0$



$R < Z_0$

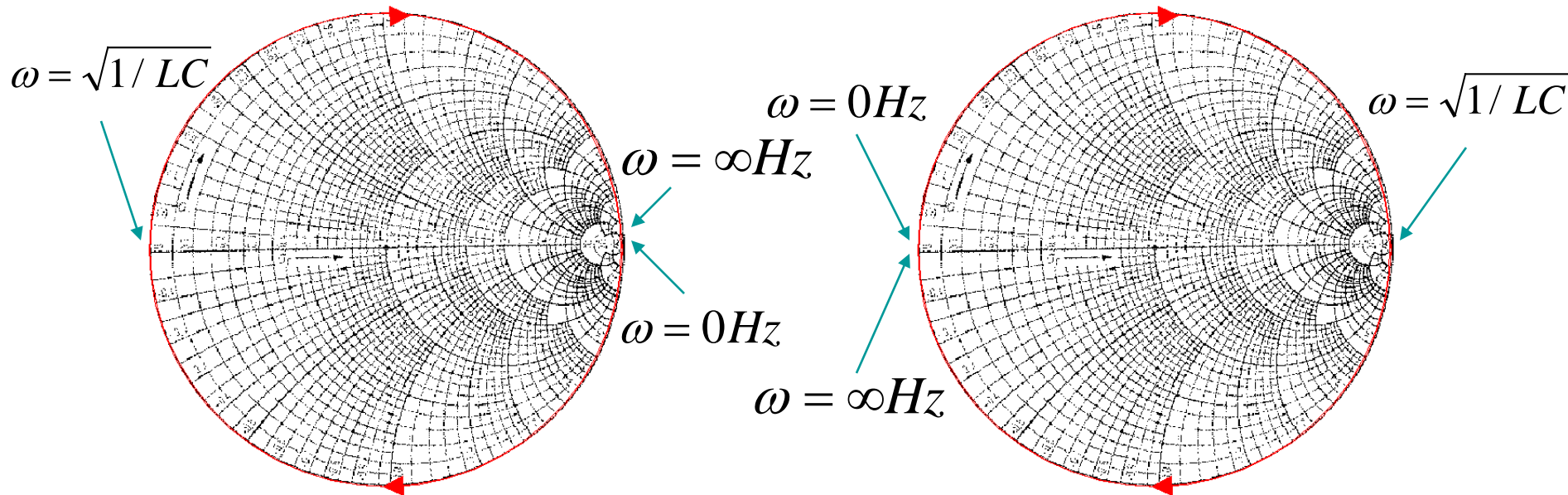
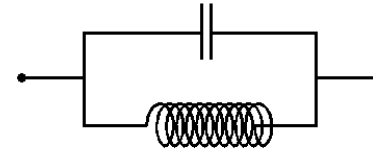
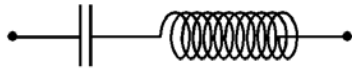
Parallelschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- Parallelschaltung C,L



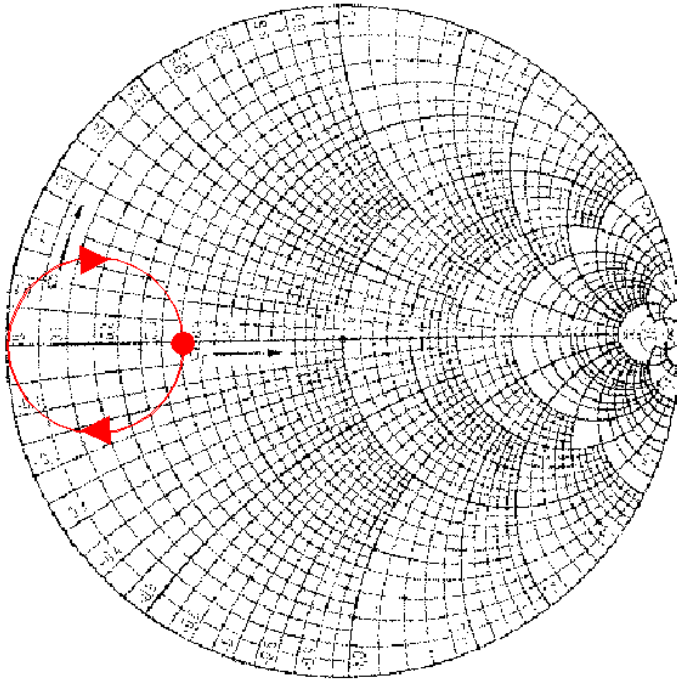
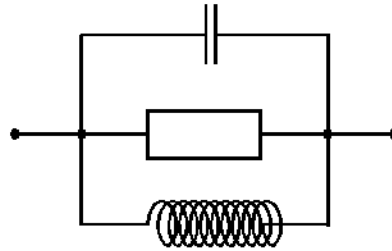
Parallelschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- **Achtung:** Serienschaltung C,L \neq Parallelschaltung C,L !!

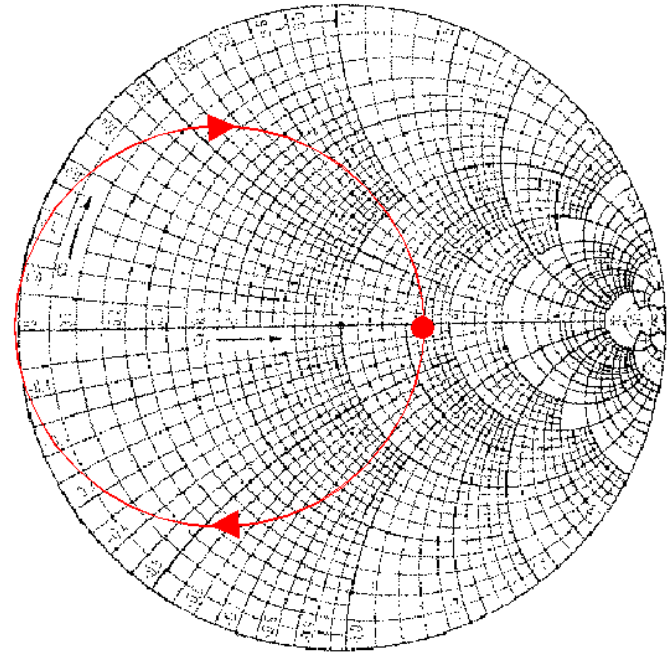


Parallelschaltung im Smith-Impedanz-Diagramm

- Parallelschaltung R,C,L



$R > Z_0$

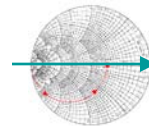


$R < Z_0$

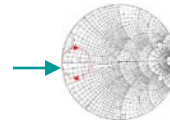
Schlagworte zum Smith-Impedanz-Diagramm

- nur C, nur L: Halbkreise
- C und L: Kreis
- “oben L, unten C, x-Achse R !!!“
- x-Achse: links Kurzschluß
- x-Achse: rechts Leerlauf
- im Uhrzeigersinn für steigendes ϖ

-Serienschaltung C,L beteiligt „rechts“

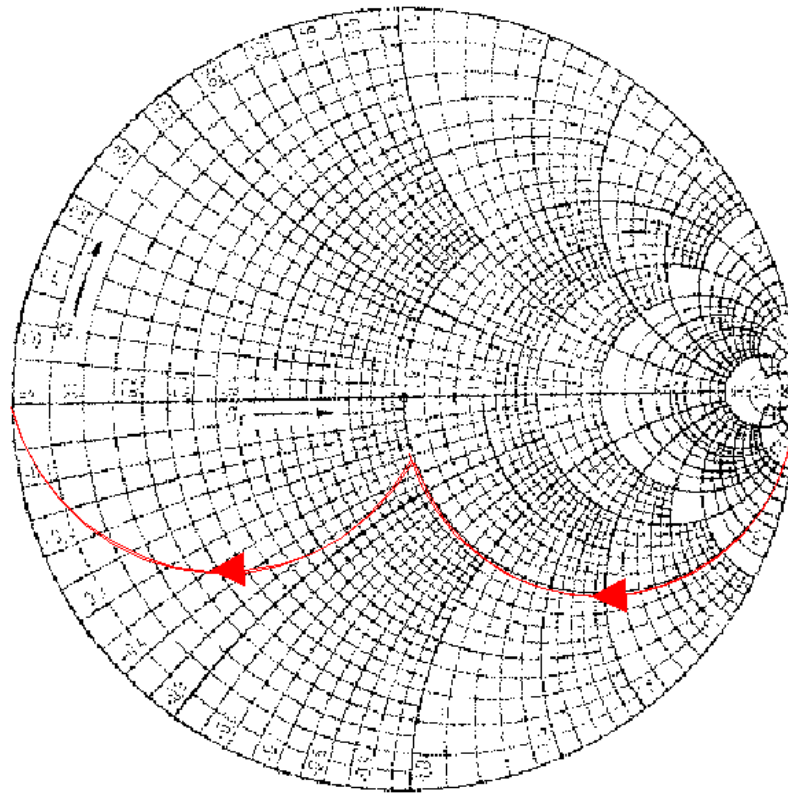


-Parallelschaltung C,L beteiligt „links“



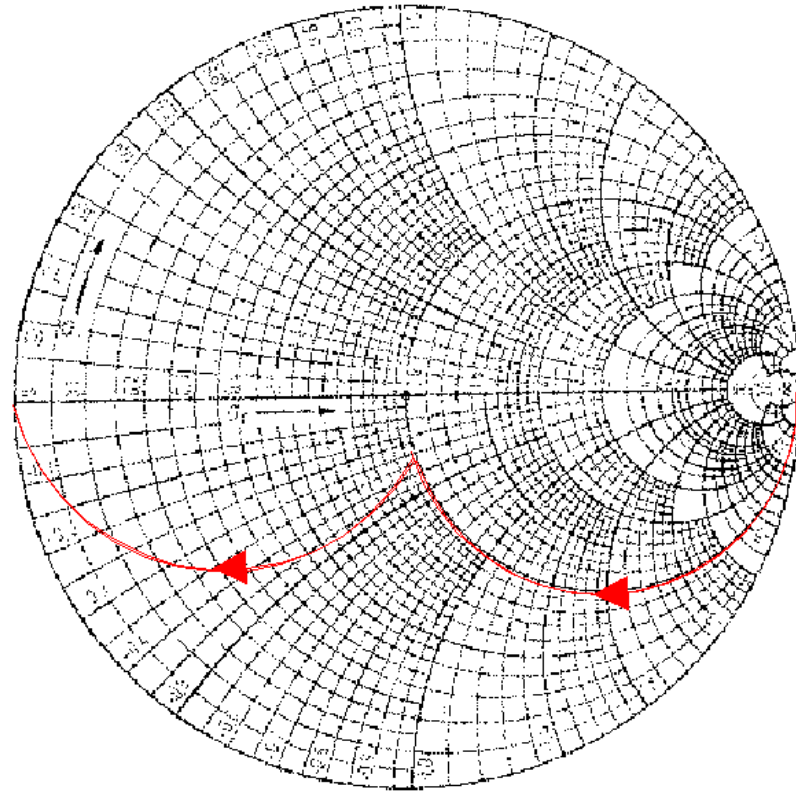
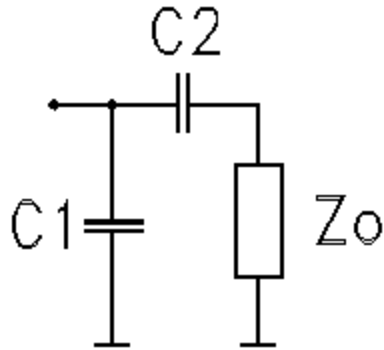
1. Beispiel im Smith-Impedanz-Diagramm

- Schaltung?



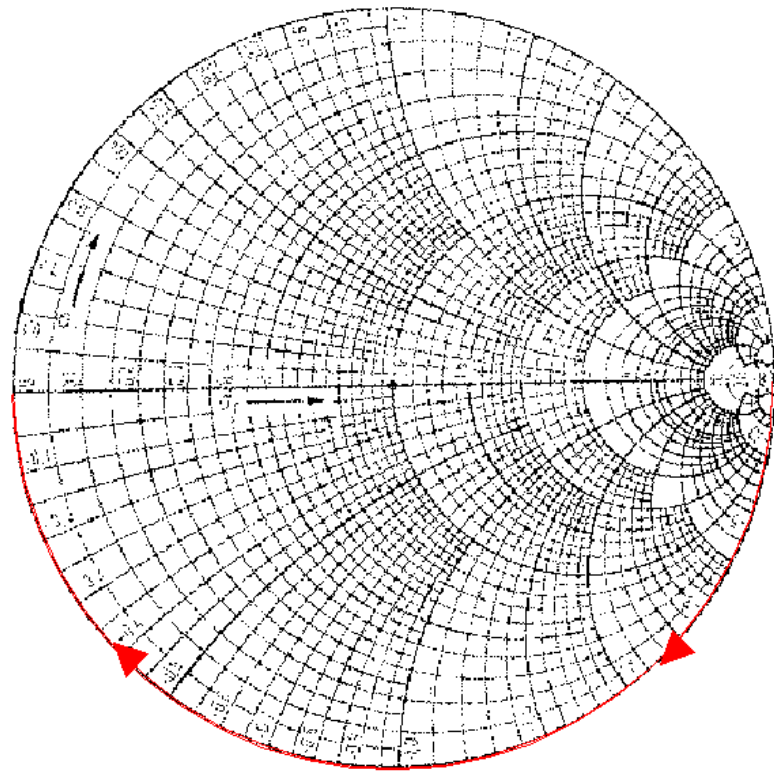
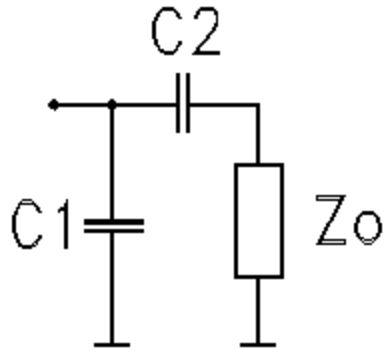
1. Beispiel im Smith-Impedanz-Diagramm

- Parallel/Serienschaltung $C1 \ll C2$, $R = Z_0$!
(z.B. Eingangsimpedanz bei Transistoren)



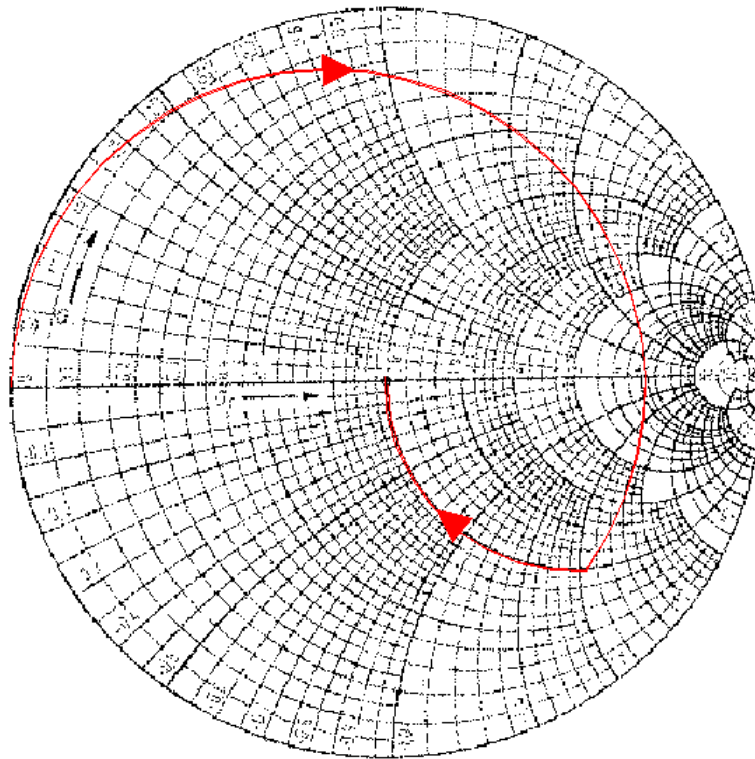
1. Beispiel im Smith-Impedanz-Diagramm

- Parallel/Serienschaltung $C1 \gg C2$, $R = Z_0$!
(z.B. Eingangsimpedanz bei Transistoren)



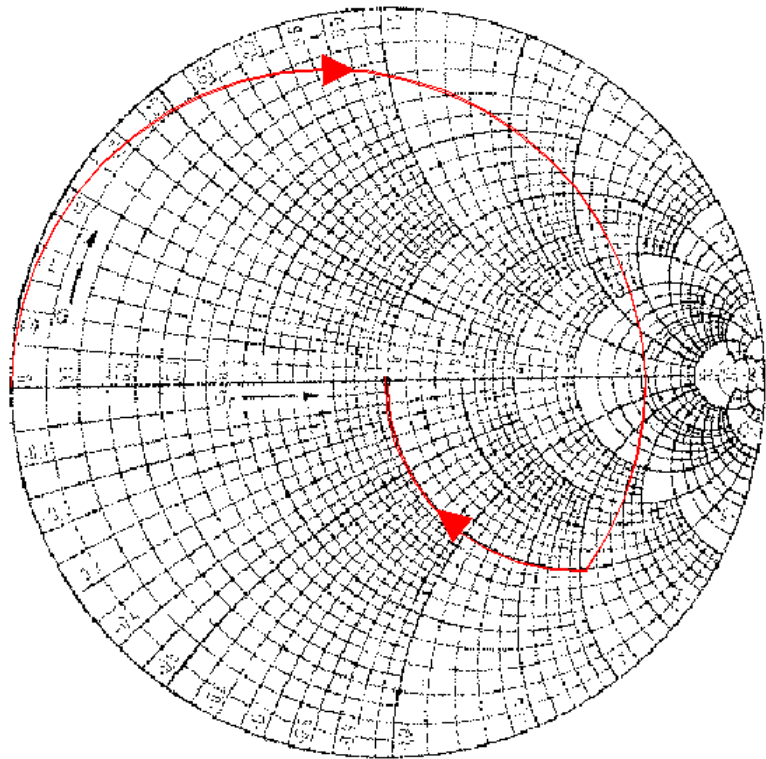
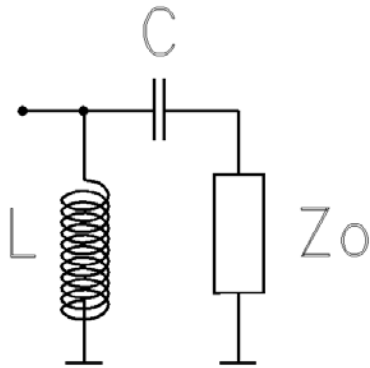
2. Beispiel im Smith-Impedanz-Diagramm

- Schaltung?



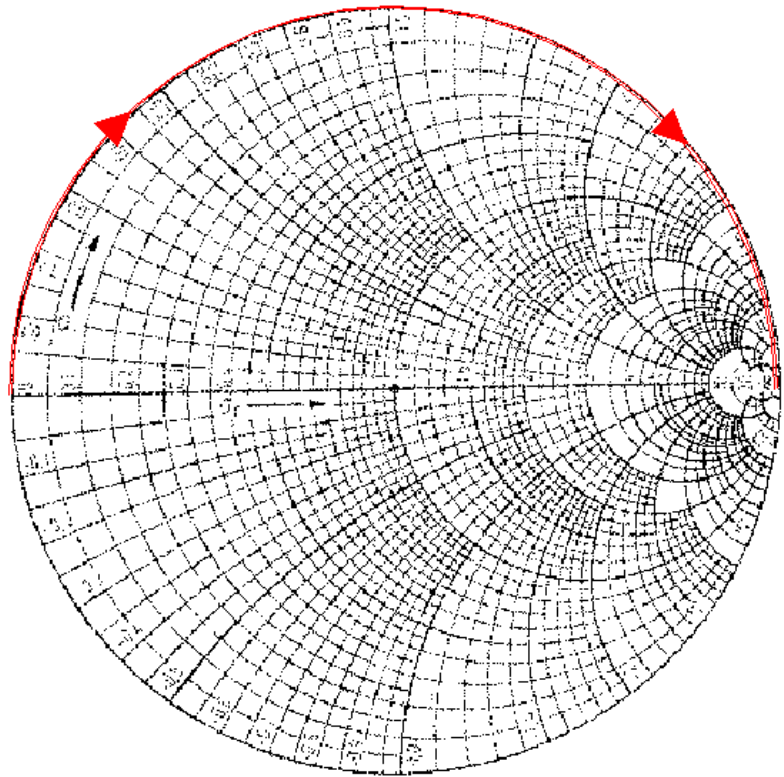
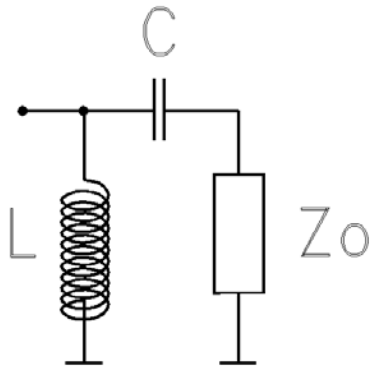
2. Beispiel im Smith-Impedanz-Diagramm

- Parallel/Serienschaltung $L \ll C$, $R = Z_0$!



2. Beispiel im Smith-Impedanz-Diagramm

- Parallel/Serienschaltung $L \gg C$, $R = Z_0$!



Smith-Diagramm auf Leitungen

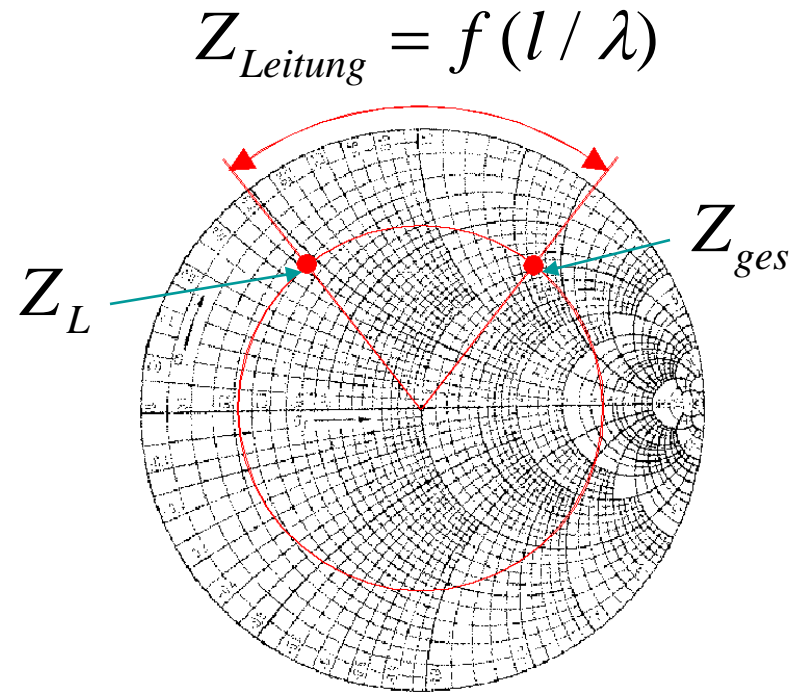
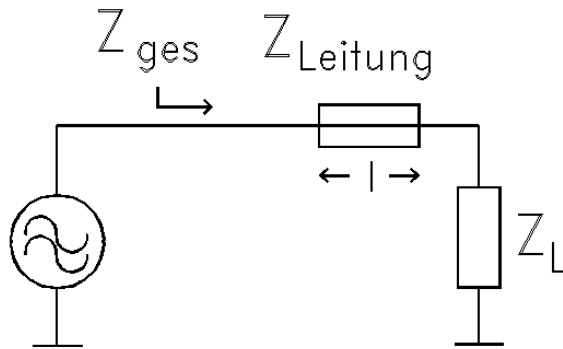
- Annahmen:
 - verlustlose Leitung (nur Phasenbeeinflussung induktiv-kapazitiv \Rightarrow , Kreise im Smith-Diagramm)
 - bestimmte Frequenz \Leftrightarrow bestimmte Wellenlänge λ
- Frage:
 - wie ist die Gesamtimpedanz von einer Leitung bestimmter Länge und einer Impedanz

oder

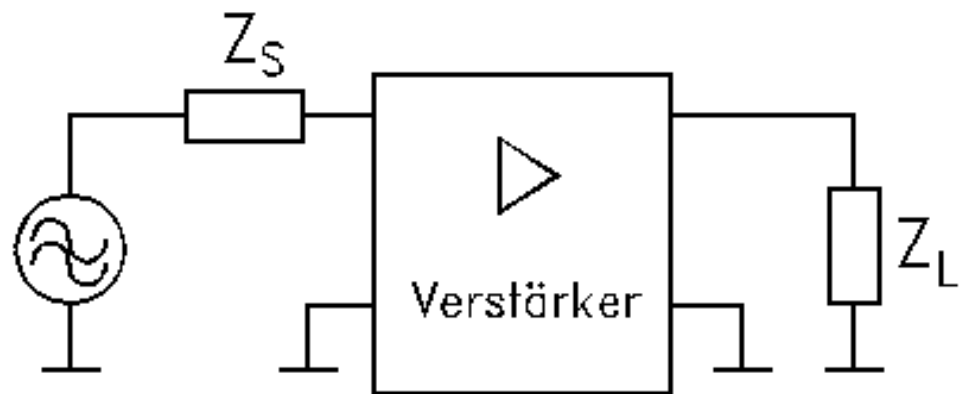
 - wie lang muß die Leitung sein, um eine Impedanztransformation zu gewährleisten?

Smith-Diagramm auf Leitungen

- Prinzip:
 - ablesbar am Rand im l/λ
 - “waveleight towards generator“ im Uhrzeigersinn
 - “waveleight towards load“ gegen den Uhrzeigersinn



Smith-Diagramm bei Verstärkern



Smith-Diagramm bei Verstärkern

■ Leistungsanpassung

Definition:

„sowenig Leistungsverluste wie möglich“

-bei NF-Verstärker unwesentlich,
da genügend Leistungs-Verstärkung bei NF!

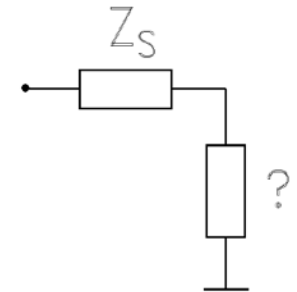
-bei HF-Verstärker wesentlich,
da nicht mehr genügend Leistungs-Verstärkung bei Hochfrequenz!

Smith-Diagramm bei Verstärkern

■ Leistungsanpassung

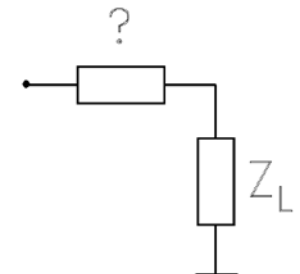
Fragestellung:

Welche Größe muß die Impedanz von $Z_L = R_L + j \cdot X_L$ bei festen $Z_s = R_s + j \cdot X_s$ haben, um maximale Leistungsübertragung zu gewährleisten?



oder:

Welche Größe muß die Impedanz von $Z_s = R_s + j \cdot X_s$ bei festen $Z_L = R_L + j \cdot X_L$ haben, um maximale Leistungsübertragung zu gewährleisten?



Smith-Diagramm bei Verstärkern

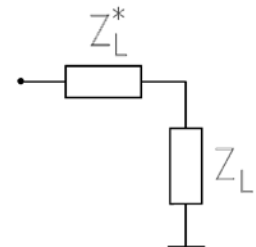
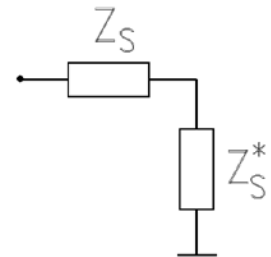
■ Leistungsanpassung

Antwort:

bei festen $Z_S = R_S + j \cdot X_S$ $Z_L = R_S - j \cdot X_S = Z_S^*$

oder

bei festen $Z_L = R_L + j \cdot X_L$ $Z_S = R_L - j \cdot X_L = Z_L^*$



„konjugiert komplexe Leistungsanpassung“

Smith-Diagramm bei Verstärkern

■ Leistungsanpassung

Realfall:

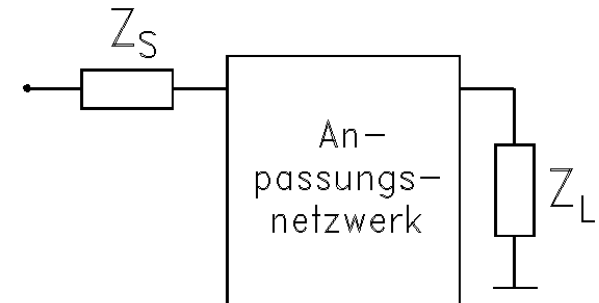
bei festen $Z_s = R_s + j \cdot X_s$ $Z_L \neq Z_s^*$

oder:

bei festen $Z_L = R_L + j \cdot X_L$ $Z_s \neq Z_L^*$

Ausweg: Anpassungsnetzwerke !!

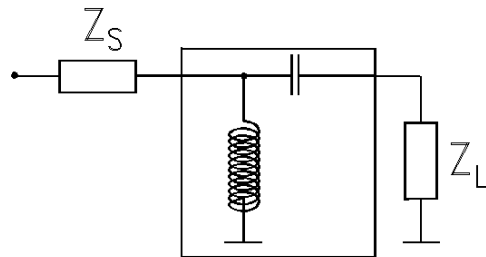
Bedingung: feste Frequenz („narrowband“) !!



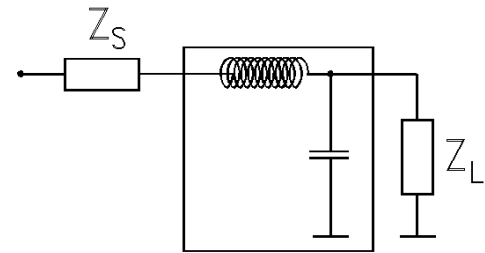
Smith-Diagramm bei Verstärkern

- **Leistungsanpassung**

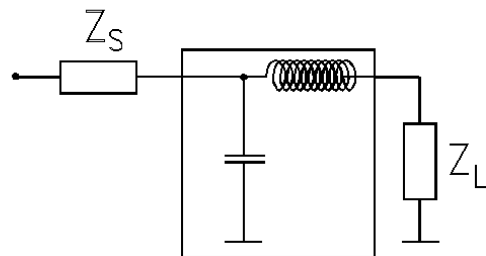
einfacher Fall von Anpassungsnetzwerke: „L-Netzwerke“



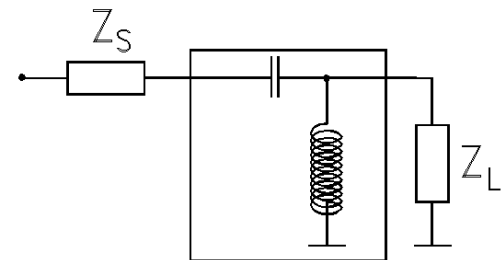
Hoch nach Tief
Hochpaß



Hoch nach Tief
Tiefpaß



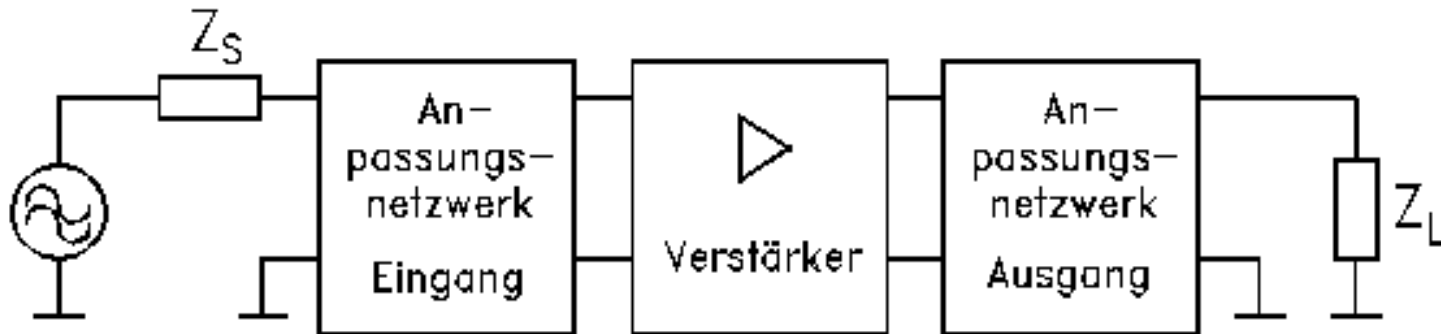
Tief nach Hoch
Hochpaß



Tief nach Hoch
Tiefpaß

Smith-Diagramm bei Verstärkern

- Leistungsanpassung bei „Narrowband“-Verstärkern



außerdem: Biasing durch L !

Smith-Diagramm bei Verstärkern

■ Leistungsanpassung

Möglichkeit der grafischen Ermittlung von „L-Netzwerke“
durch Smith-Diagramme!!

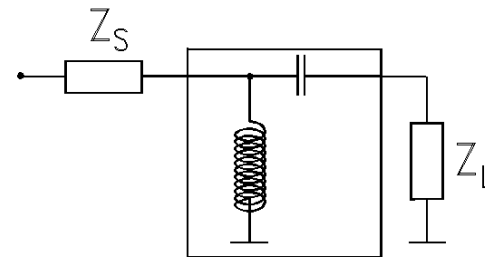
Beispiel: Anpassungsnetzwerk Ausgang

Frequenz = 300MHz

$$Z_L = 50 \text{ Ohm} \quad (Z_L = Z_0)$$

$$Z_S = s_{22}^* \quad (\text{siehe folgendes Beispiel})$$

verwendete Schaltung



Hoch nach Tief
Hochpaß

Smith-Diagramm bei Verstärkern

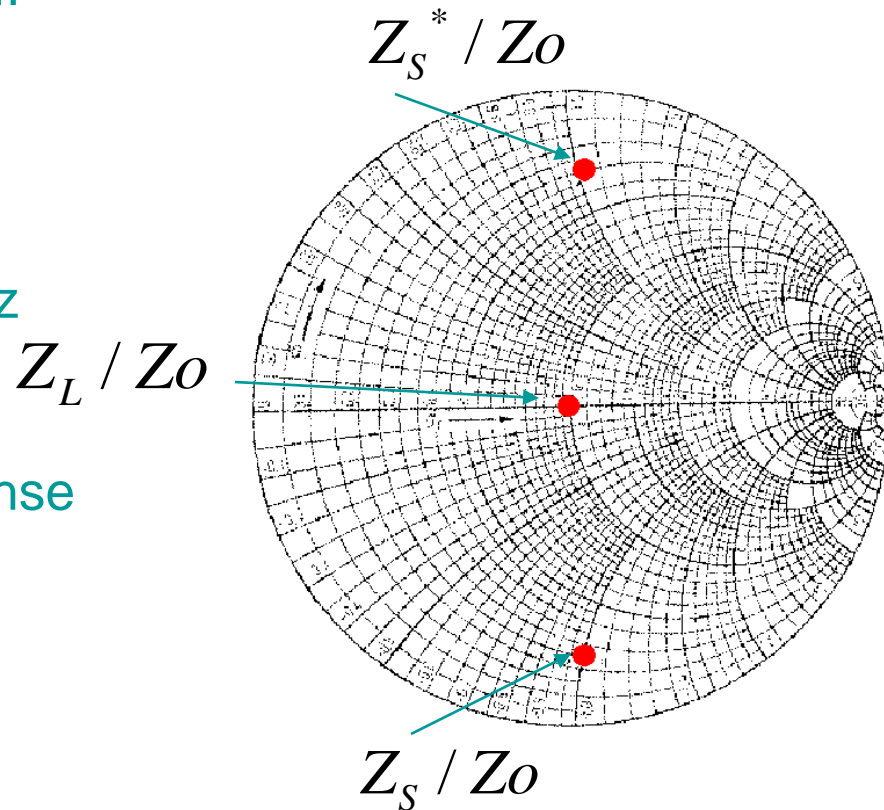
■ Leistungsanpassung

Möglichkeit der grafischen Ermittlung von „L-Netzwerke“
durch Smith-Diagramme!!

1.Schritt:

Einzeichnen der Punkte
bei Frequenz = 300 MHz

konjugiert komplex \Rightarrow
Spiegelung an der x-Achse



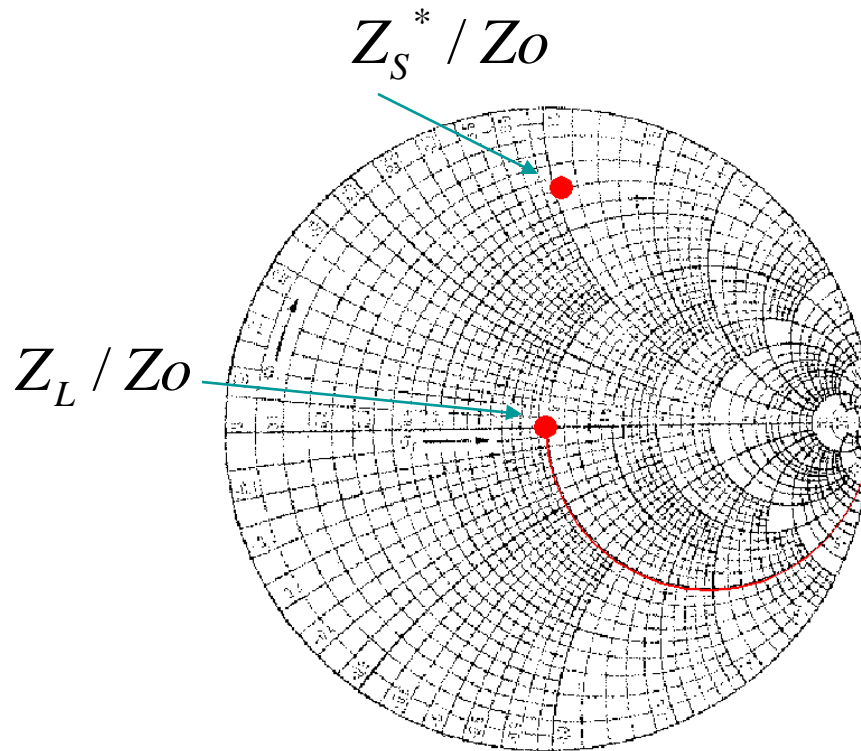
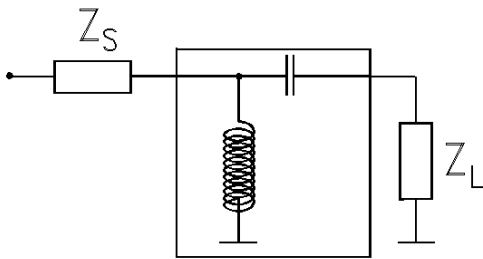
Smith-Diagramm bei Verstärkern

- **Leistungsanpassung**

Möglichkeit der grafischen Ermittlung von „L-Netzwerke“
durch Smith-Diagramme!!

2.Schritt:

Serienschaltung von C



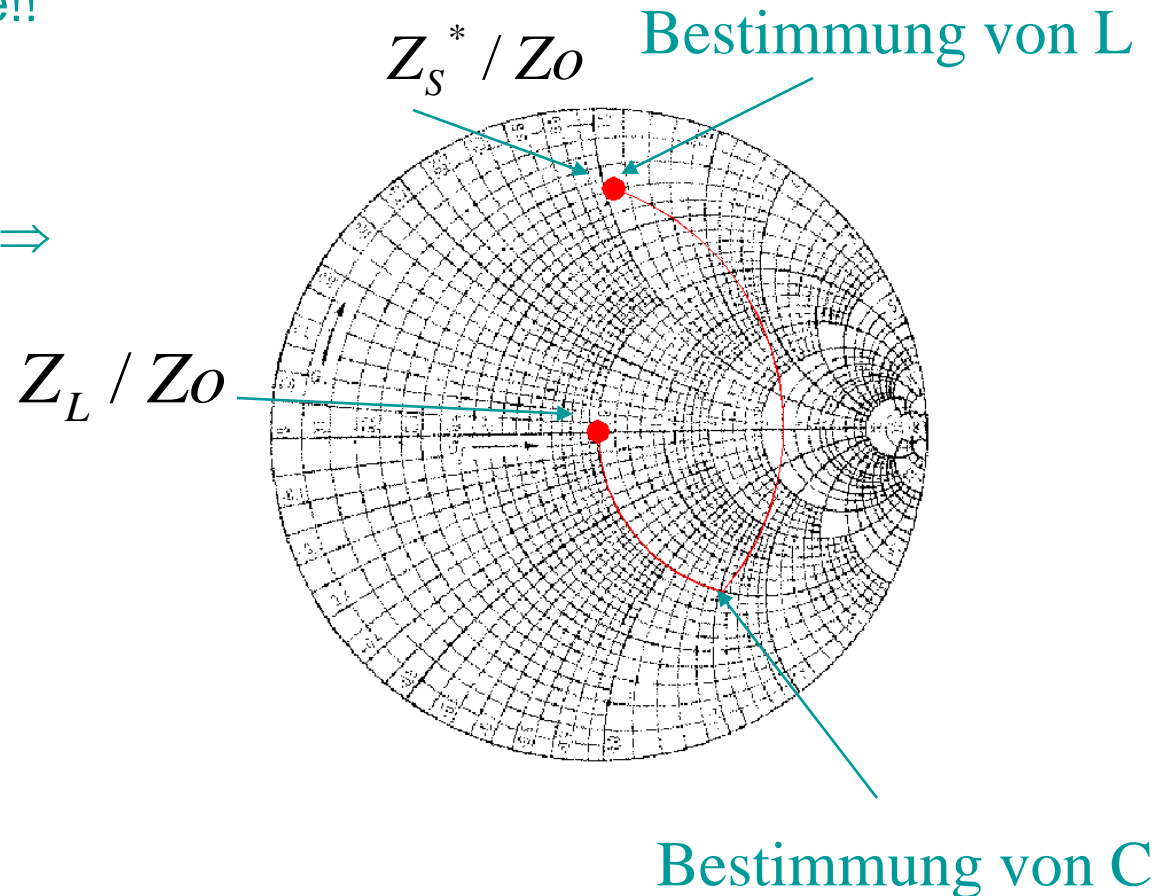
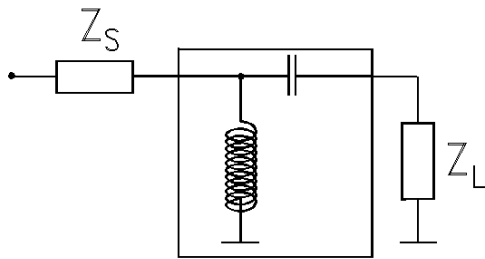
Smith-Diagramm bei Verstärkern

■ Leistungsanpassung

Möglichkeit der grafischen Ermittlung von „L-Netzwerke“
durch Smith-Diagramme!!

3.Schritt:

Parallelschaltung von L \Rightarrow
C und L bestimmt !!

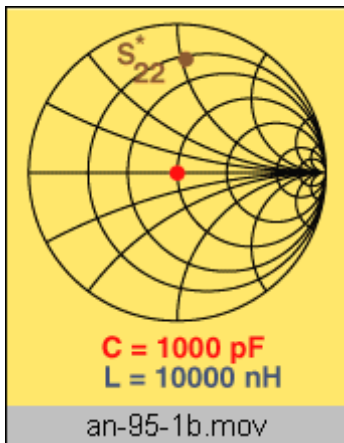


Smith-Diagramm bei Verstärkern

- **Leistungsanpassung**

Möglichkeit der grafischen Ermittlung von „L-Netzwerke“
durch Smith-Diagramme!!

2-3.Schritt:



An-95-1b.mov

Smith-Diagramm bei Verstärkern

- **Leistungsanpassung**

Möglichkeit der grafischen Ermittlung von „L-Netzwerke“ bei „Broadband“-Verstärkern (in einem gewissen Frequenzbereich) auch durch Smith-Diagramme!!

Prinzip: Rückgang der Verstärkung bei höheren Frequenzen wird durch „L-Netzwerke“ ausgeglichen

Näheres unter

<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5952-1087.pdf>

Literatur zur Leistungsanpassung z.Bsp.

John Rogers, Calvin Plett: „Radio Frequency Integrated Circuit Design“, Artech House, ISBN 1-58053-502-x

Smith-Diagramm bei Verstärkern

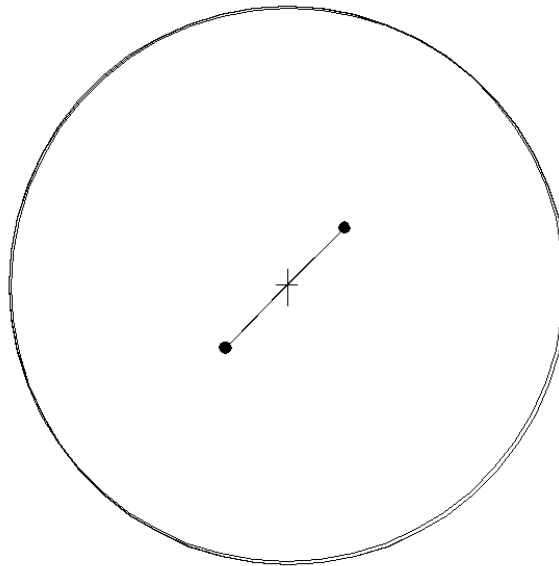
- **Leistungsanpassung**

interaktive Ermittlung von „L-Netzwerken“ und anderen Anpassungsnetzwerken unter

<http://www.circuitsage.com/matching/matcher2.html>

Praktisches Arbeiten mit dem Smith-Diagramm

- Impedanz-Admittanz-Übertragung bei Smith-Diagrammen
 - ◆ Reine Serienschaltung \Rightarrow Impedanzebene
 - ◆ Reine Parallelschaltung \Rightarrow Admittanzebene
- Übertragung: Spiegelung am Ursprung



Praktisches Arbeiten mit dem Smith-Diagramm

- Präzision von Smith-Diagrammen:
- Smith-Diagramme = grobe Rechnung?
- Beispiel: Leitungsanpassung
Frequenz 1 GHz $\Rightarrow \lambda = 20$ cm
Auflösung Smith-Diagramm große Striche $\lambda / 100$, 5 kleine Striche dazwischen
 \Rightarrow Auflösung Smith-Diagramm $20\text{cm}/500=0.4$ mm!!

Praktisches Arbeiten mit dem Smith-Diagramm

- Download-Möglichkeiten von Smith-Diagrammen unter

<http://sss-mag.com/smith.html>