

Diplomarbeit

Untersuchung neuer Technologien zur Realisierung von Kurzwellen-Leistungsverstärkern

Thomas Freyhoff

Universität Duisburg-Essen – Hochfrequenztechnik

Prof. Dr.-Ing. K. Solbach

Rohde & Schwarz

08.03.2007

Zielsetzung

1. Anhand eines bestehenden 150-W-Verstärkers sollen verschiedene Typen von Oberwellenfiltern untersucht werden.

Zielsetzung

1. Anhand eines bestehenden 150-W-Verstärkers sollen verschiedene Typen von Oberwellenfiltern untersucht werden.
 - Welcher Oberwellenabschluss wirkt sich optimal auf Linearität und Wirkungsgrad aus?

Zielsetzung

1. Anhand eines bestehenden 150-W-Verstärkers sollen verschiedene Typen von Oberwellenfiltern untersucht werden.
 - Welcher Oberwellenabschluss wirkt sich optimal auf Linearität und Wirkungsgrad aus?
 - Welchen Einfluss hat die Anpassung auf Linearität und Wirkungsgrad?

Zielsetzung

1. Anhand eines bestehenden 150-W-Verstärkers sollen verschiedene Typen von Oberwellenfiltern untersucht werden.
 - Welcher Oberwellenabschluss wirkt sich optimal auf Linearität und Wirkungsgrad aus?
 - Welchen Einfluss hat die Anpassung auf Linearität und Wirkungsgrad?
2. Optimierung des bestehenden Ausgangsnetzwerkes

Gliederung

- Verschiedene Typen von Oberwellenfiltern

Gliederung

- Verschiedene Typen von Oberwellenfiltern
- Entwurf und Aufbau der Oberwellenfilter

Gliederung

- Verschiedene Typen von Oberwellenfiltern
- Entwurf und Aufbau der Oberwellenfilter
- Vermessung der Oberwellenfilter

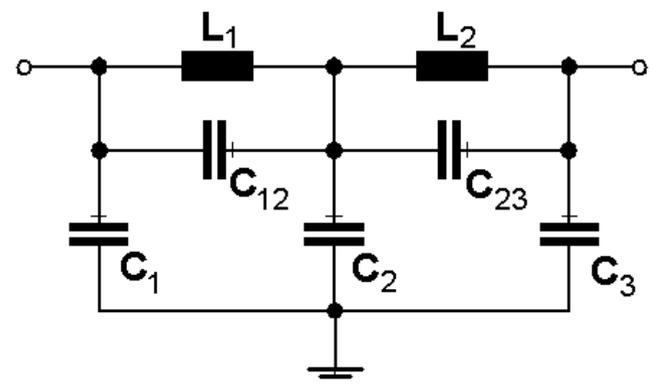
Gliederung

- Verschiedene Typen von Oberwellenfiltern
- Entwurf und Aufbau der Oberwellenfilter
- Vermessung der Oberwellenfilter
- Anwendungsbeispiel

Gliederung

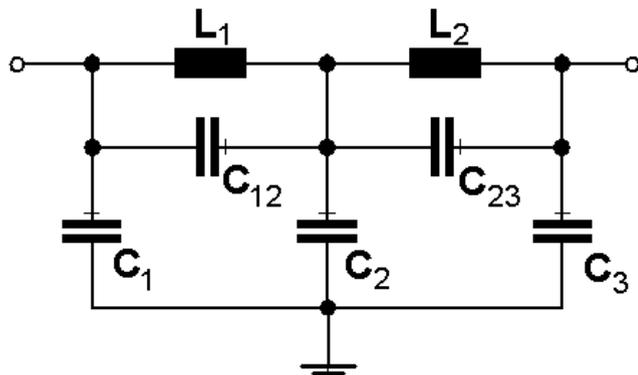
- Verschiedene Typen von Oberwellenfiltern
- Entwurf und Aufbau der Oberwellenfilter
- Vermessung der Oberwellenfilter
- Anwendungsbeispiel
- Optimierung des bestehenden Oberwellenfilters

Reflektierende Oberwellenfilter

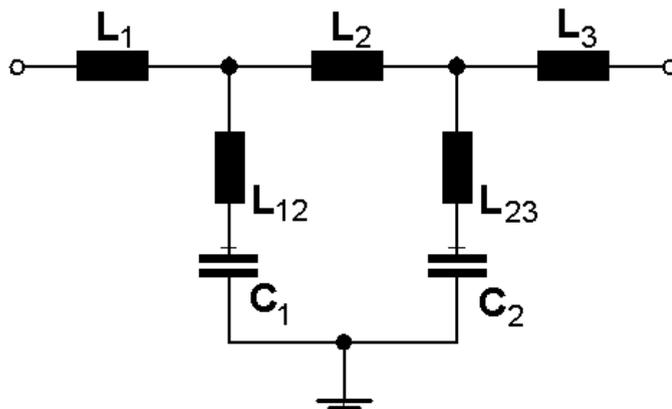


OWF mit kapazitivem Eingang

Reflektierende Oberwellenfilter

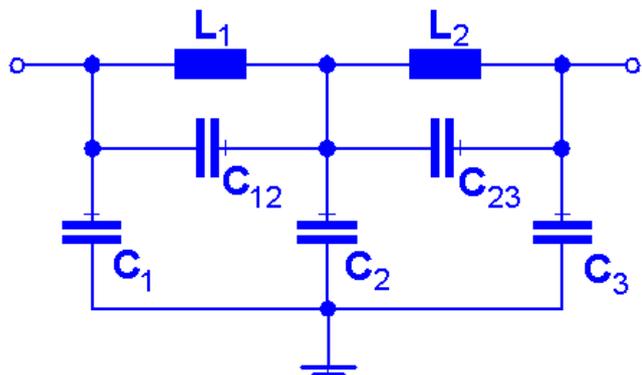


OWF mit kapazitivem Eingang

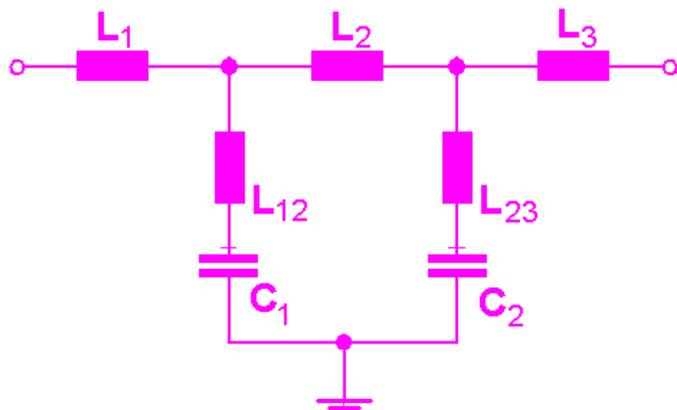


OWF mit induktivem Eingang

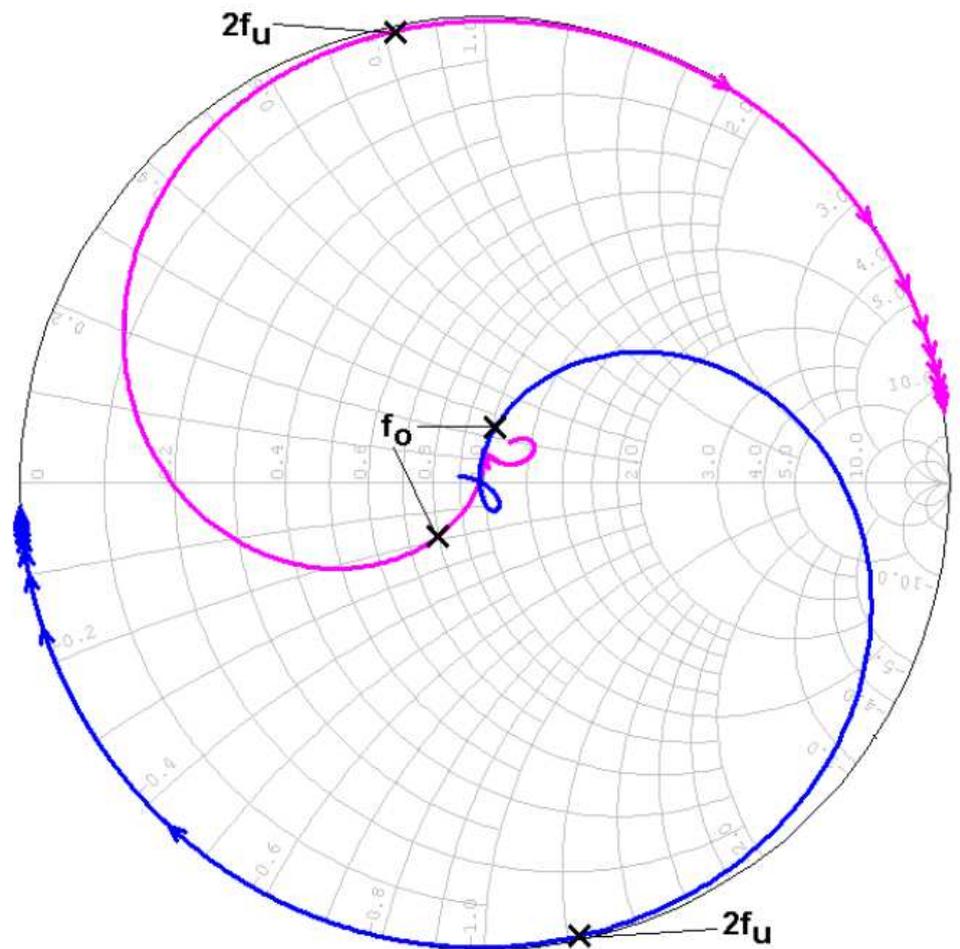
Reflektierende Oberwellenfilter



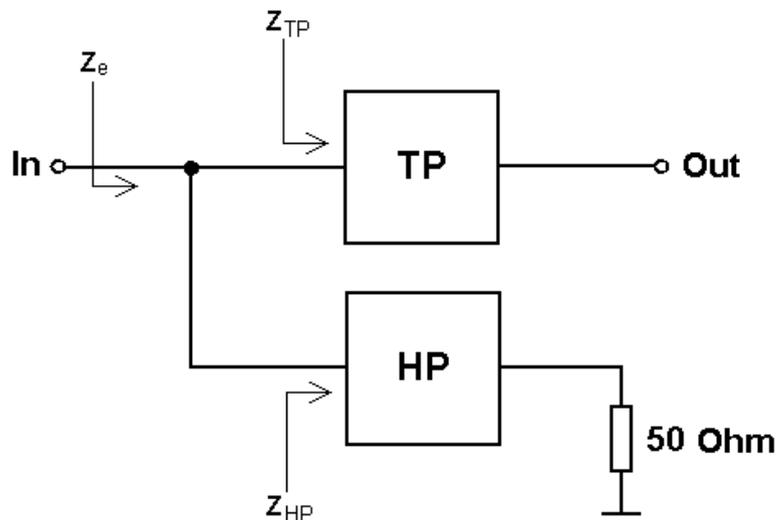
OWF mit kapazitivem Eingang → KS



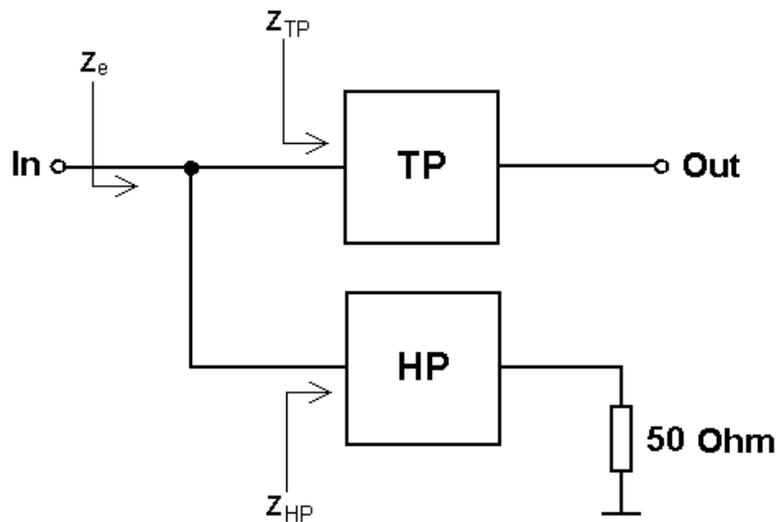
OWF mit induktivem Eingang → LL



Absorbierende Oberwellenfilter



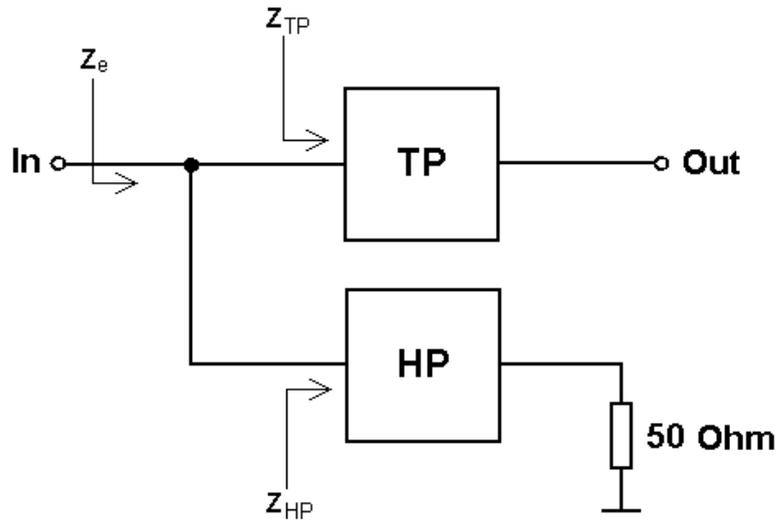
Absorbierende Oberwellenfilter



Bedingungen:

$$\blacksquare \underline{Z}_e = \frac{Z_{TP} \cdot Z_{HP}}{Z_{TP} + Z_{HP}} \rightarrow 50 \Omega$$

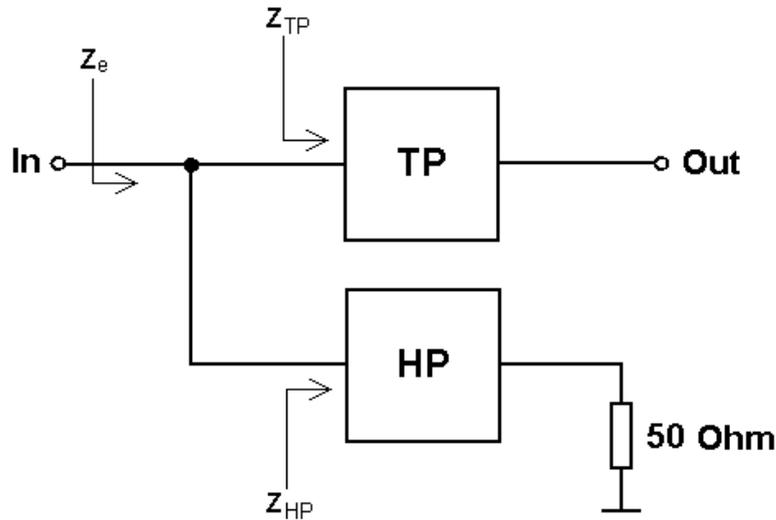
Absorbierende Oberwellenfilter



Bedingungen:

- $\underline{Z}_e = \frac{\underline{Z}_{TP} \cdot \underline{Z}_{HP}}{\underline{Z}_{TP} + \underline{Z}_{HP}} \rightarrow 50 \Omega$
- $\underline{Z}_{HP}(f \leq f_o) \rightarrow \infty$

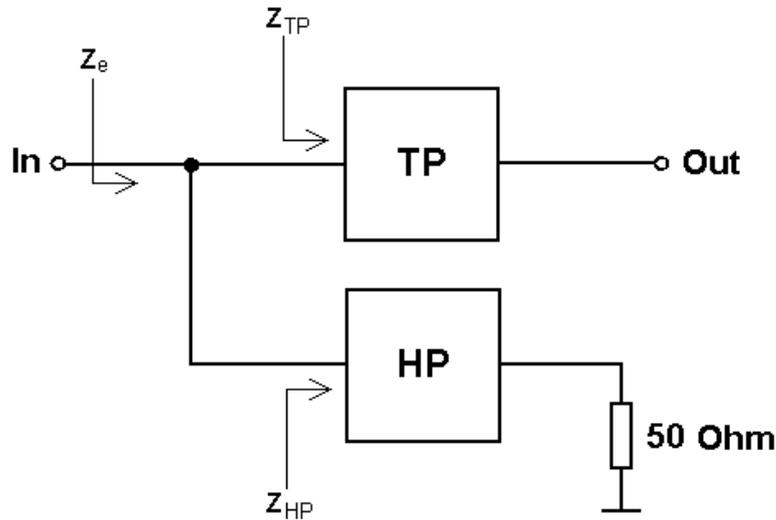
Absorbierende Oberwellenfilter



Bedingungen:

- $\underline{Z}_e = \frac{\underline{Z}_{TP} \cdot \underline{Z}_{HP}}{\underline{Z}_{TP} + \underline{Z}_{HP}} \rightarrow 50 \Omega$
- $\underline{Z}_{HP}(f \leq f_o) \rightarrow \infty$
- $\underline{Z}_{TP}(f \geq 2f_u) \rightarrow \infty$

Absorbierende Oberwellenfilter

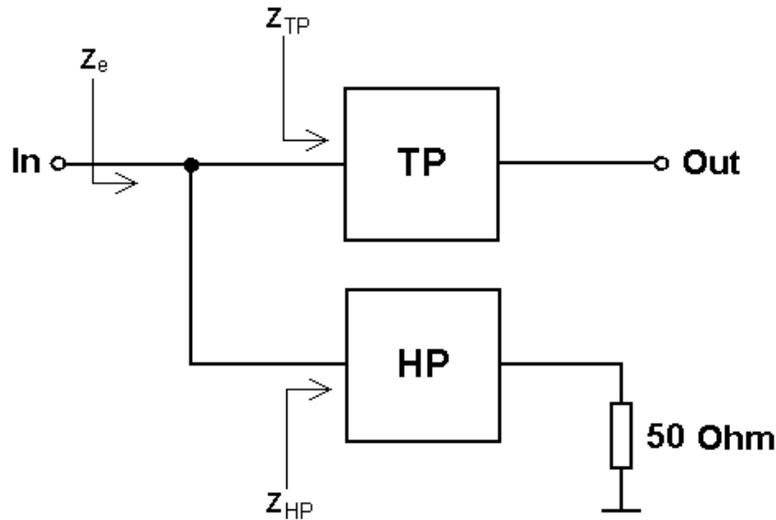


Bedingungen:

- $\underline{Z}_e = \frac{\underline{Z}_{TP} \cdot \underline{Z}_{HP}}{\underline{Z}_{TP} + \underline{Z}_{HP}} \rightarrow 50 \Omega$
- $\underline{Z}_{HP}(f \leq f_o) \rightarrow \infty$
- $\underline{Z}_{TP}(f \geq 2f_u) \rightarrow \infty$

- thermische Vorteile

Absorbierende Oberwellenfilter

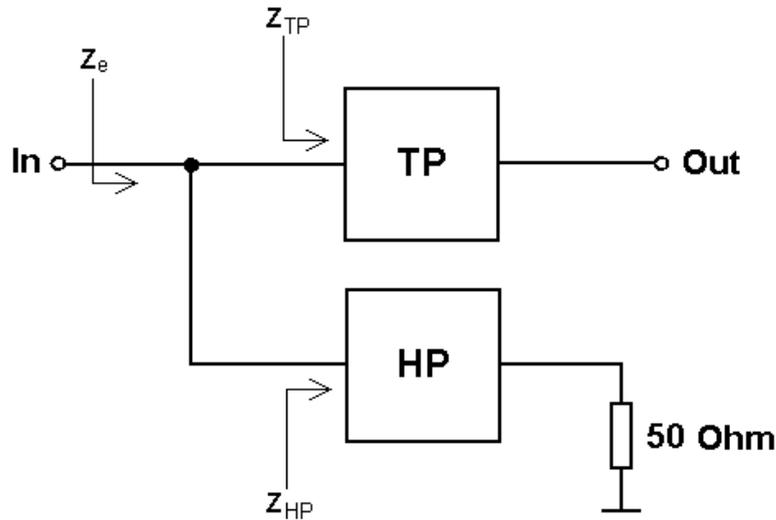


Bedingungen:

- $\underline{Z}_e = \frac{\underline{Z}_{TP} \cdot \underline{Z}_{HP}}{\underline{Z}_{TP} + \underline{Z}_{HP}} \rightarrow 50 \Omega$
- $\underline{Z}_{HP}(f \leq f_o) \rightarrow \infty$
- $\underline{Z}_{TP}(f \geq 2f_u) \rightarrow \infty$

- thermische Vorteile
- verbesserte Stabilität

Absorbierende Oberwellenfilter



Bedingungen:

$$\blacksquare \underline{Z}_e = \frac{\underline{Z}_{TP} \cdot \underline{Z}_{HP}}{\underline{Z}_{TP} + \underline{Z}_{HP}} \rightarrow 50 \Omega$$

$$\blacksquare \underline{Z}_{HP}(f \leq f_o) \rightarrow \infty$$

$$\blacksquare \underline{Z}_{TP}(f \geq 2f_u) \rightarrow \infty$$

- thermische Vorteile
- verbesserte Stabilität
- verbesserte Linearität?

Übersicht

- Verschiedene Typen von Oberwellenfiltern
- Entwurf und Aufbau der Oberwellenfilter
- Vermessung der Oberwellenfilter
- Anwendungsbeispiel
- Optimierung des bestehenden Oberwellenfilters

Entwurf und Aufbau der OWF

- Das Kurzwellenband (1,5 MHz – 30 MHz) wird in acht gleich große Frequenzbereiche aufgeteilt:

$$\frac{f_o}{f_u} = K_f = \sqrt[8]{\frac{30 \text{ MHz}}{1,5 \text{ MHz}}} = 1,454$$

Entwurf und Aufbau der OWF

- Das Kurzwellenband (1,5 MHz – 30 MHz) wird in acht gleich große Frequenzbereiche aufgeteilt:

$$\frac{f_o}{f_u} = K_f = \sqrt[8]{\frac{30 \text{ MHz}}{1,5 \text{ MHz}}} = 1,454$$

- Ein schaltbares OWF pro Frequenzbereich

Entwurf und Aufbau der OWF

- Das Kurzwellenband (1,5 MHz – 30 MHz) wird in acht gleich große Frequenzbereiche aufgeteilt:

$$\frac{f_o}{f_u} = K_f = \sqrt[8]{\frac{30 \text{ MHz}}{1,5 \text{ MHz}}} = 1,454$$

- Ein schaltbares OWF pro Frequenzbereich
- Aufbau der Filter für drei Frequenzbereiche:

F1: 1,5 MHz – 2,2 MHz

F4: 4,6 MHz – 6,7 MHz

F7: 14,2 MHz – 20,6 MHz

Entwurf und Aufbau der OWF

Anforderungen an die OWF:

1. max. Durchgangsdämpfung: 0,3 dB

Entwurf und Aufbau der OWF

Anforderungen an die OWF:

1. max. Durchgangsdämpfung: 0,3 dB
2. min. Sperrdämpfung: 30 dB

Entwurf und Aufbau der OWF

Anforderungen an die OWF:

1. max. Durchgangsdämpfung: 0,3 dB
2. min. Sperrdämpfung: 30 dB
3. Anpassung im Durchlassbereich: -20 dB

Entwurf und Aufbau der OWF

Anforderungen an die OWF:

1. max. Durchgangsdämpfung: 0,3 dB
2. min. Sperrdämpfung: 30 dB
3. Anpassung im Durchlassbereich: -20 dB
4. Anpassung im Sperrbereich (abs. OWF): -15 dB

Entwurf und Aufbau der OWF

Anforderungen an die OWF:

1. max. Durchgangsdämpfung: 0,3 dB
2. min. Sperrdämpfung: 30 dB
3. Anpassung im Durchlassbereich: -20 dB
4. Anpassung im Sperrbereich (abs. OWF): -15 dB

Entwurf/Simulation der OWF mit Hilfe von *Microwave Office*

Entwurf und Aufbau der OWF

Anforderungen an die OWF:

1. max. Durchgangsdämpfung: 0,3 dB
2. min. Sperrdämpfung: 30 dB
3. Anpassung im Durchlassbereich: -20 dB
4. Anpassung im Sperrbereich (abs. OWF): -15 dB

Entwurf/Simulation der OWF mit Hilfe von *Microwave Office*

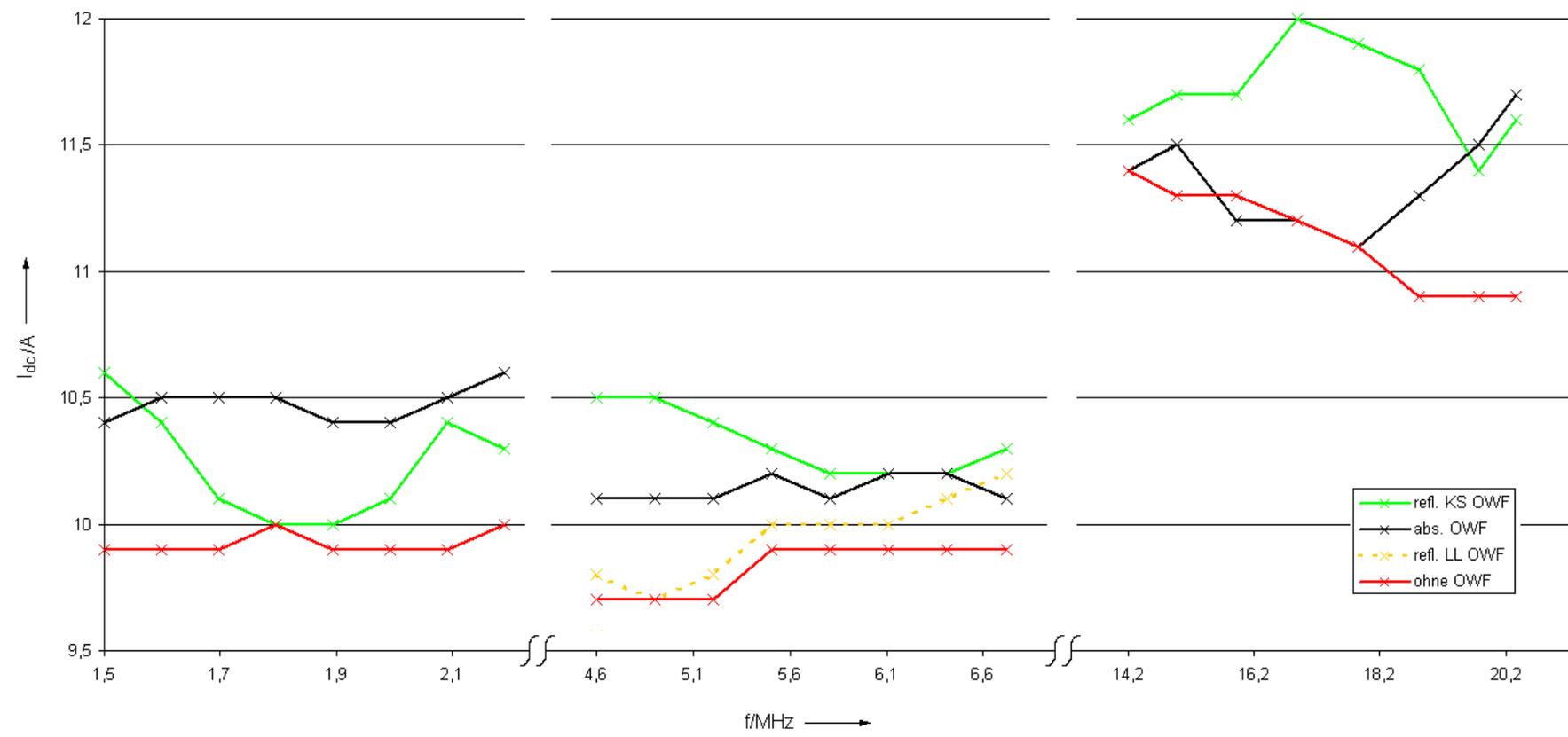
- Güte der Induktivitäten: $Q_L = 100$
- Güte der Kapazitäten: $Q_C = 5000$

Übersicht

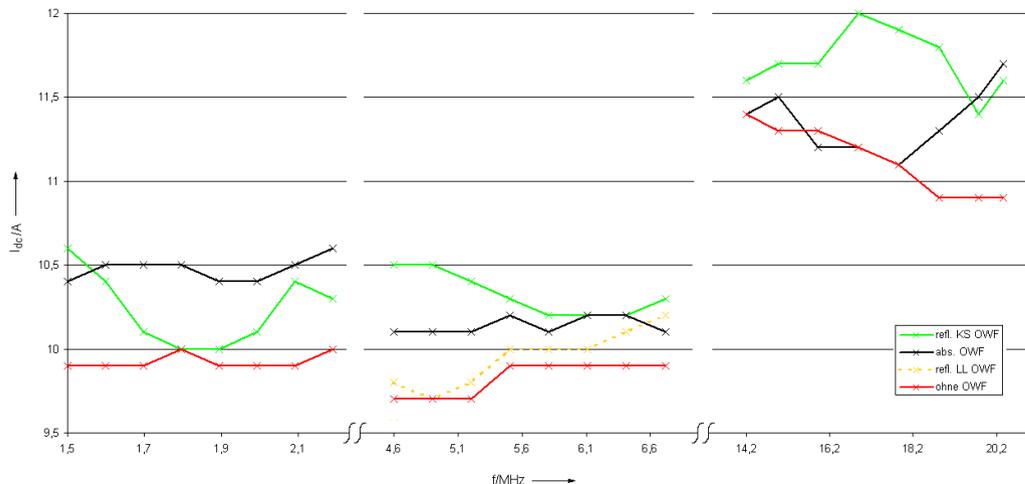
- Verschiedene Typen von Oberwellenfiltern
- Entwurf und Aufbau der Oberwellenfilter
- Vermessung der Oberwellenfilter
- Anwendungsbeispiel
- Optimierung des bestehenden Oberwellenfilters

Stromaufnahme

Einton-Messung: Einfluss der verschiedenen OWF auf die Stromaufnahme (Wirkungsgrad)



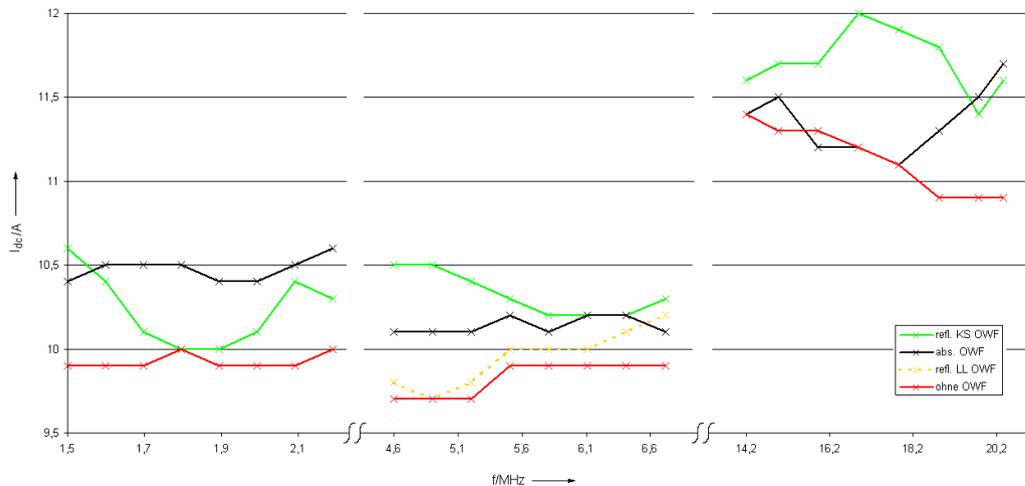
Stromaufnahme



Mittelwerte:

- ohne OWF: $\bar{I}_{dc} = 10,30 \text{ A}$ ($\eta_{el} = 0,347$)
- refl. OWF (KS): $\bar{I}_{dc} = 10,77 \text{ A}$ ($\eta_{el} = 0,332$)
- abs. OWF: $\bar{I}_{dc} = 10,66 \text{ A}$ ($\eta_{el} = 0,335$)

Stromaufnahme



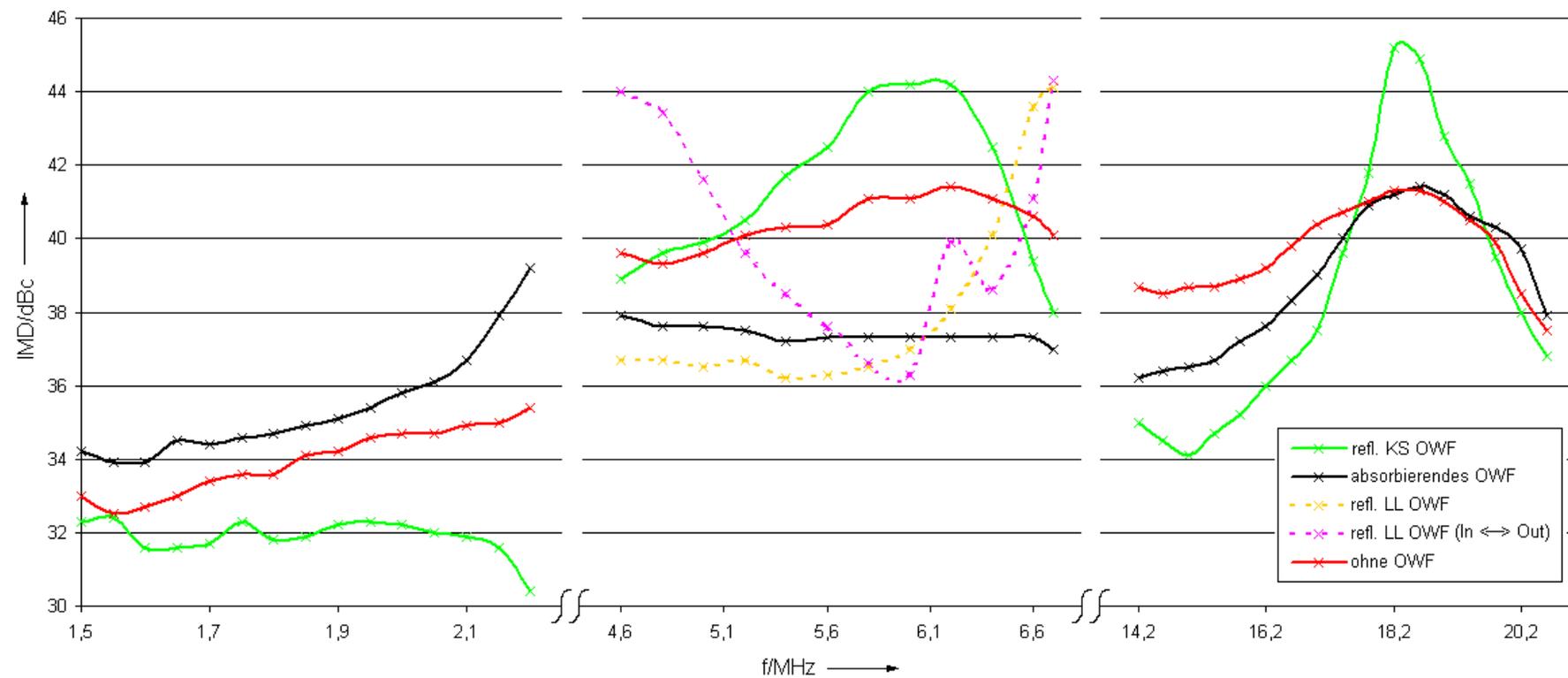
Mittelwerte:

- ohne OWF: $\bar{I}_{dc} = 10,30 \text{ A}$ ($\eta_{el} = 0,347$)
- refl. OWF (KS): $\bar{I}_{dc} = 10,77 \text{ A}$ ($\eta_{el} = 0,332$)
- abs. OWF: $\bar{I}_{dc} = 10,66 \text{ A}$ ($\eta_{el} = 0,335$)

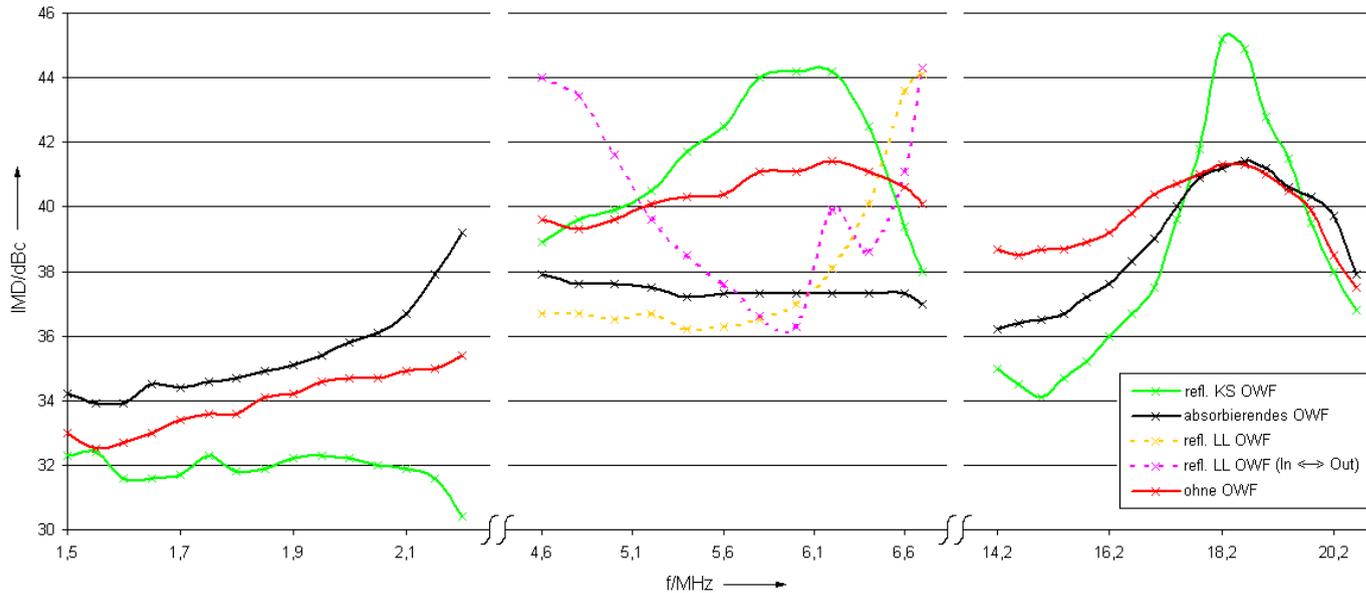
Durchgangsdämpfung: $\alpha = 20 \cdot \log \left(\frac{10,7 \text{ A}}{10,3 \text{ A}} \right) = 0,33 \text{ dB}$

Intermodulationsabstand

Zweiton-Messung: Einfluss der verschiedenen OWF auf den Intermodulationsabstand



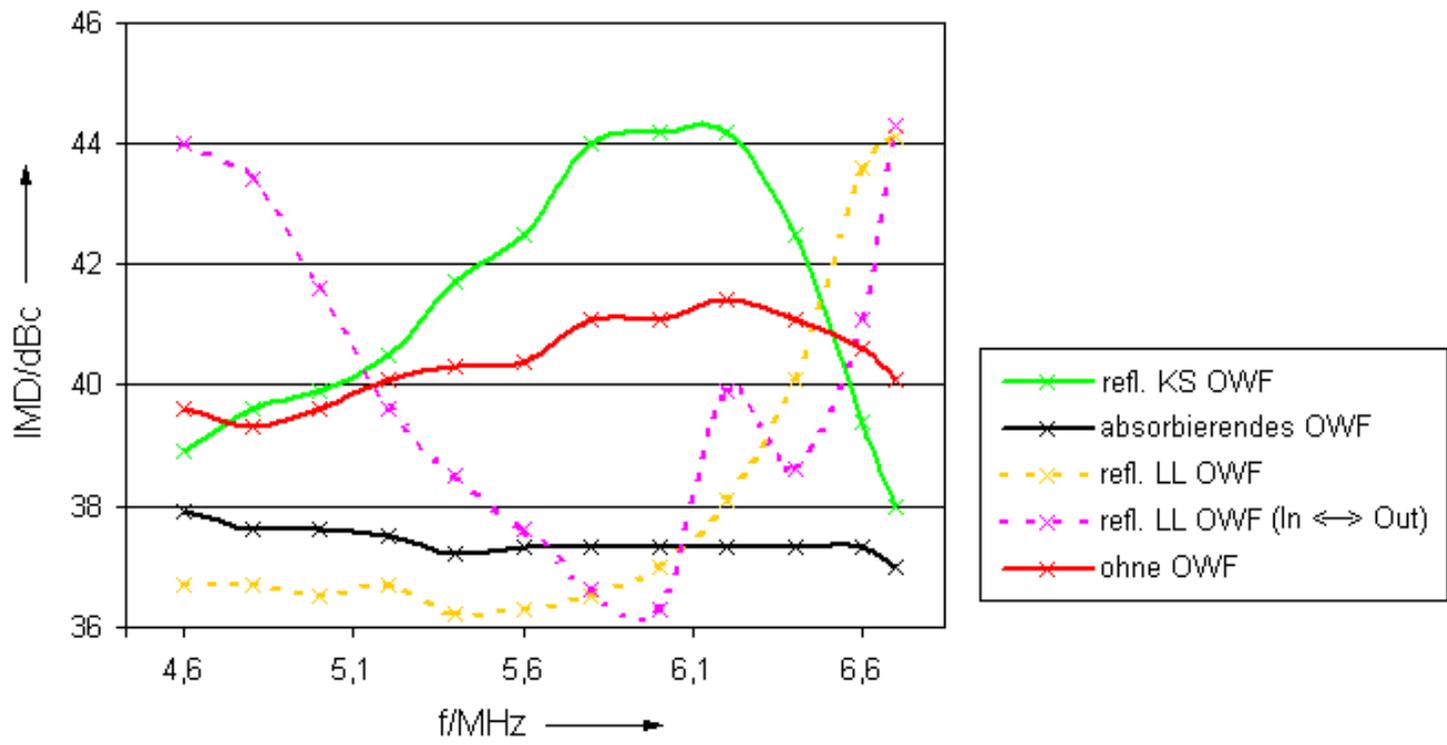
Intermodulationsabstand



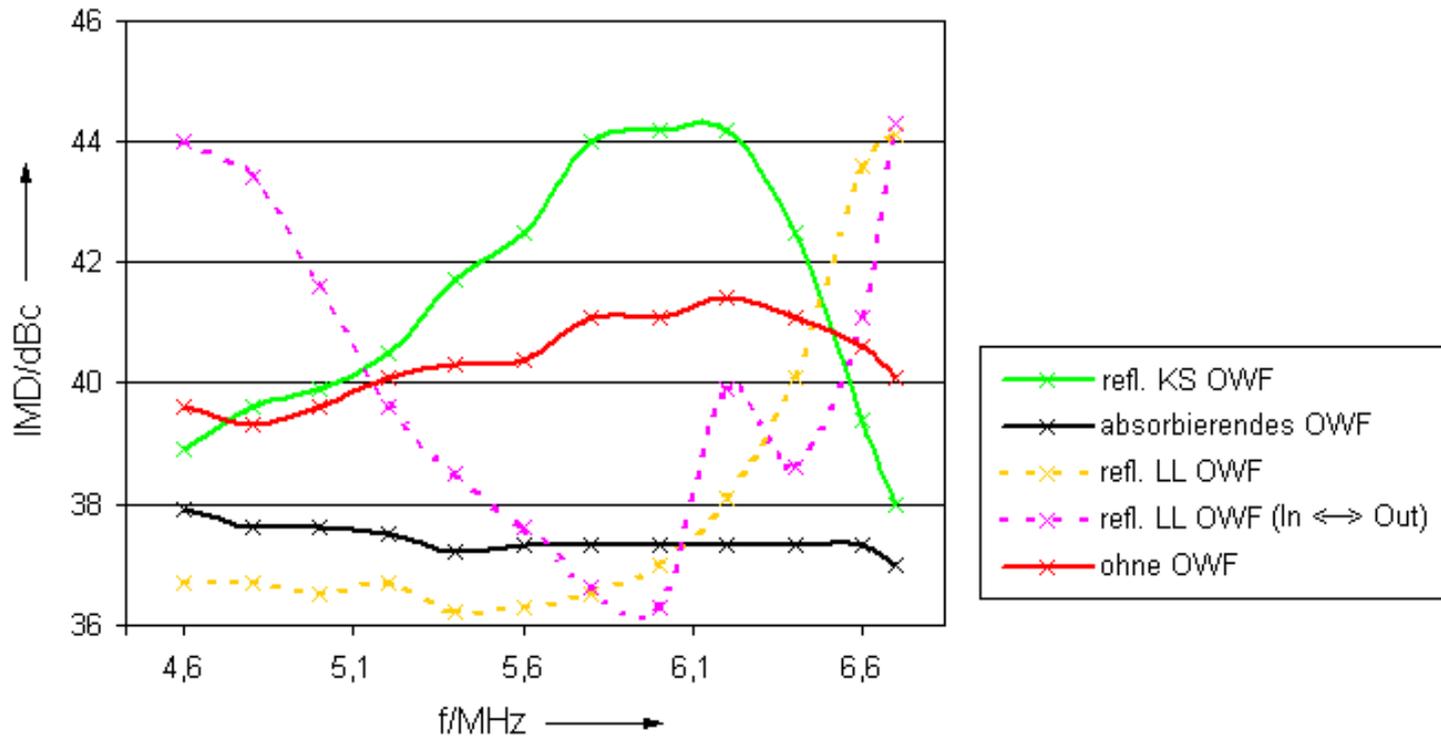
Mittelwerte:

- ohne OWF: $\overline{IMD} = 37,9 \text{ dBc}$
- refl. OWF (KS): $\overline{IMD} = 36,7 \text{ dBc}$
- abs. OWF: $\overline{IMD} = 37,2 \text{ dBc}$

Intermodulationsabstand

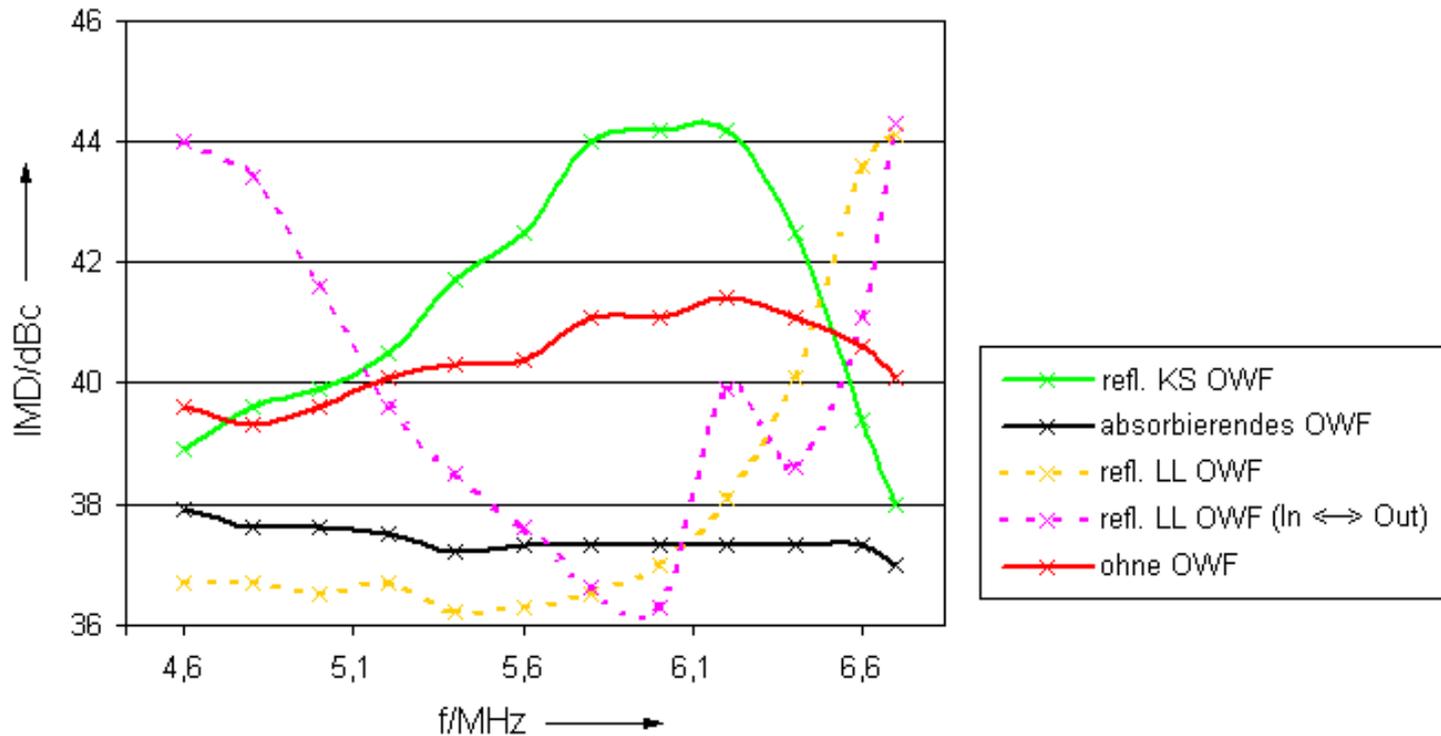


Intermodulationsabstand



- sehr große Schwankungen innerhalb eines Filterbereichs

Intermodulationsabstand



- sehr große Schwankungen innerhalb eines Filterbereichs
- sehr große Schwankungen zwischen den einzelnen Filtern bei einer Frequenz

Intermodulationsabstand

Mögliche Erklärungen:

1. Das Oberwellenfilter liefert für die Oberwellen eine (zufällig) günstige/schlechte Impedanz.

Intermodulationsabstand

Mögliche Erklärungen:

1. Das Oberwellenfilter liefert für die Oberwellen eine (zufällig) günstige/schlechte Impedanz.

Überprüfung: Verschieben der Oberwellenimpedanz mit Hilfe einer HF-Leitung

Intermodulationsabstand

Mögliche Erklärungen:

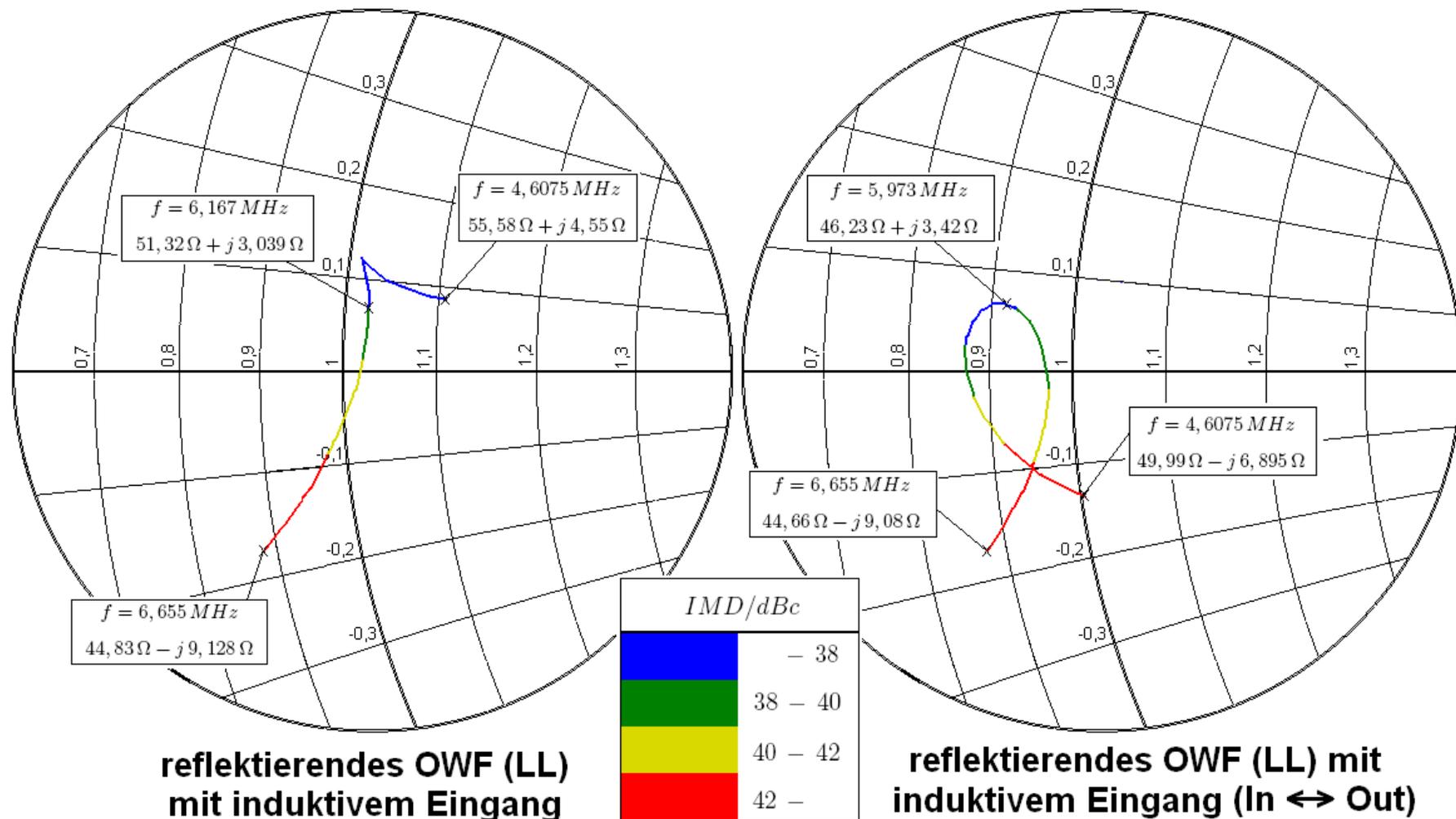
1. Das Oberwellenfilter liefert für die Oberwellen eine (zufällig) günstige/schlechte Impedanz.
Überprüfung: Verschieben der Oberwellenimpedanz mit Hilfe einer HF-Leitung
2. Durch das Oberwellenfilter wird die Endstufe (zufällig) besser/schlechter angepasst.

Intermodulationsabstand

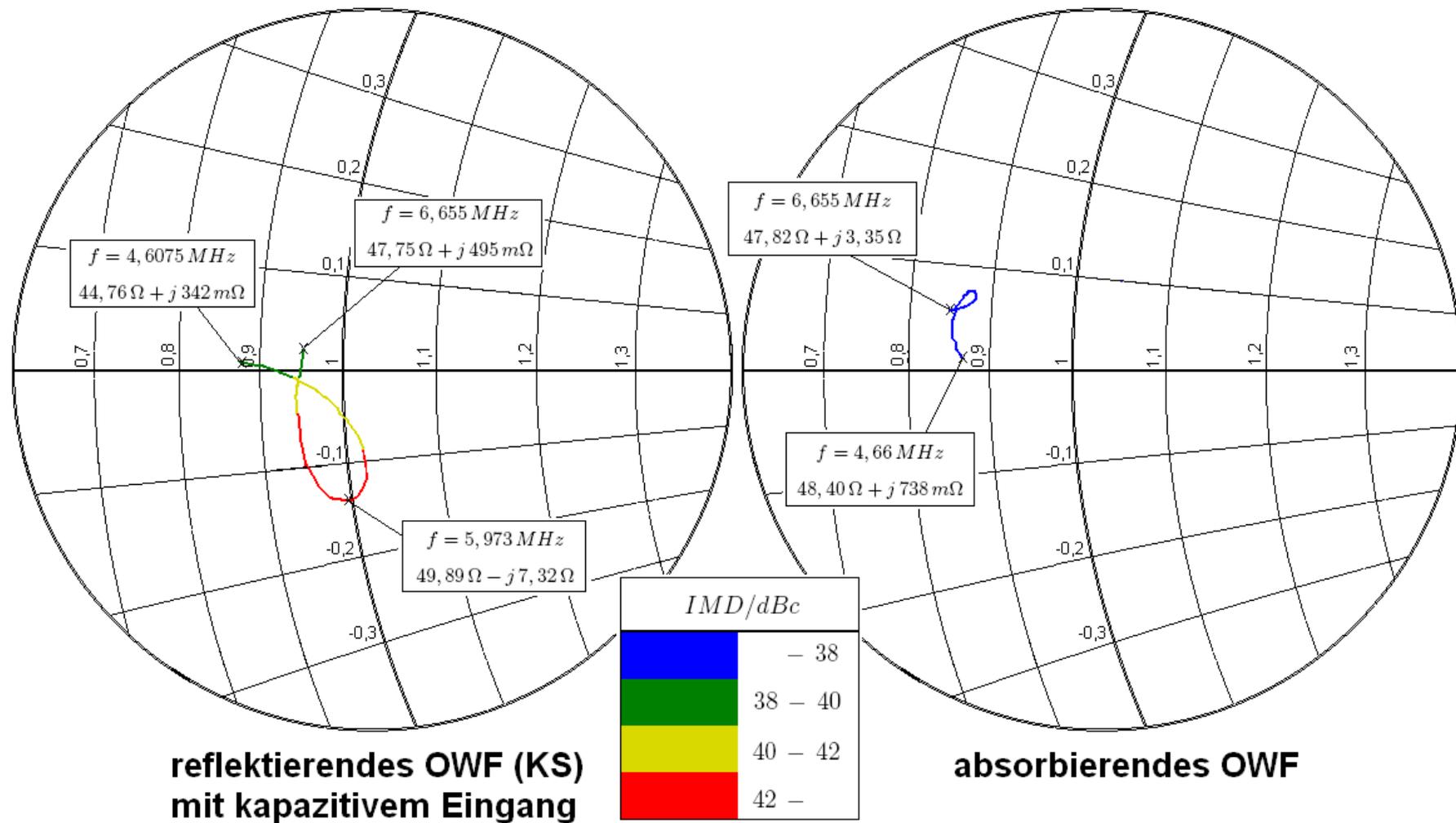
Mögliche Erklärungen:

1. Das Oberwellenfilter liefert für die Oberwellen eine (zufällig) günstige/schlechte Impedanz.
Überprüfung: Verschieben der Oberwellenimpedanz mit Hilfe einer HF–Leitung
2. Durch das Oberwellenfilter wird die Endstufe (zufällig) besser/schlechter angepasst.
Überprüfung: Verschieben der Eingangsimpedanz mit Hilfe eines vorgeschalteten LC–Netzwerks

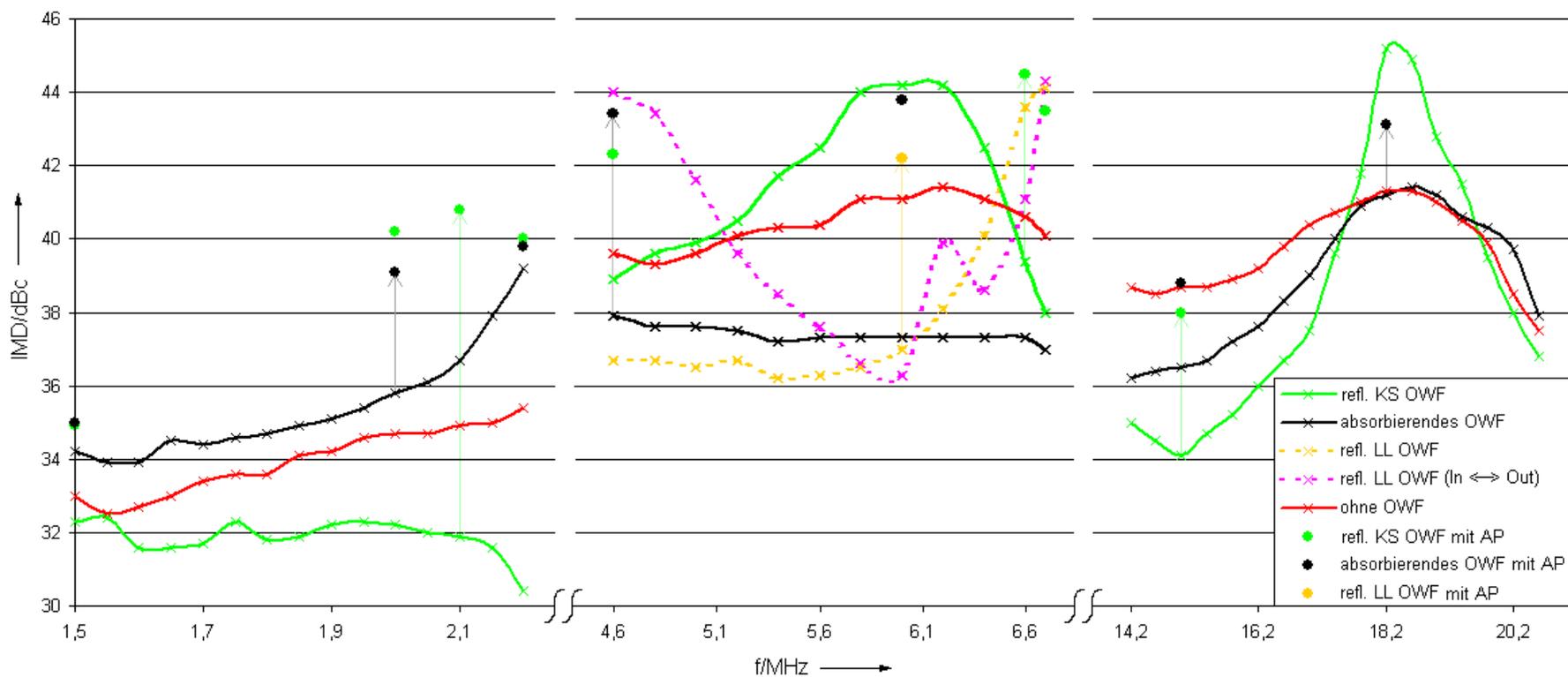
Intermodulationsabstand



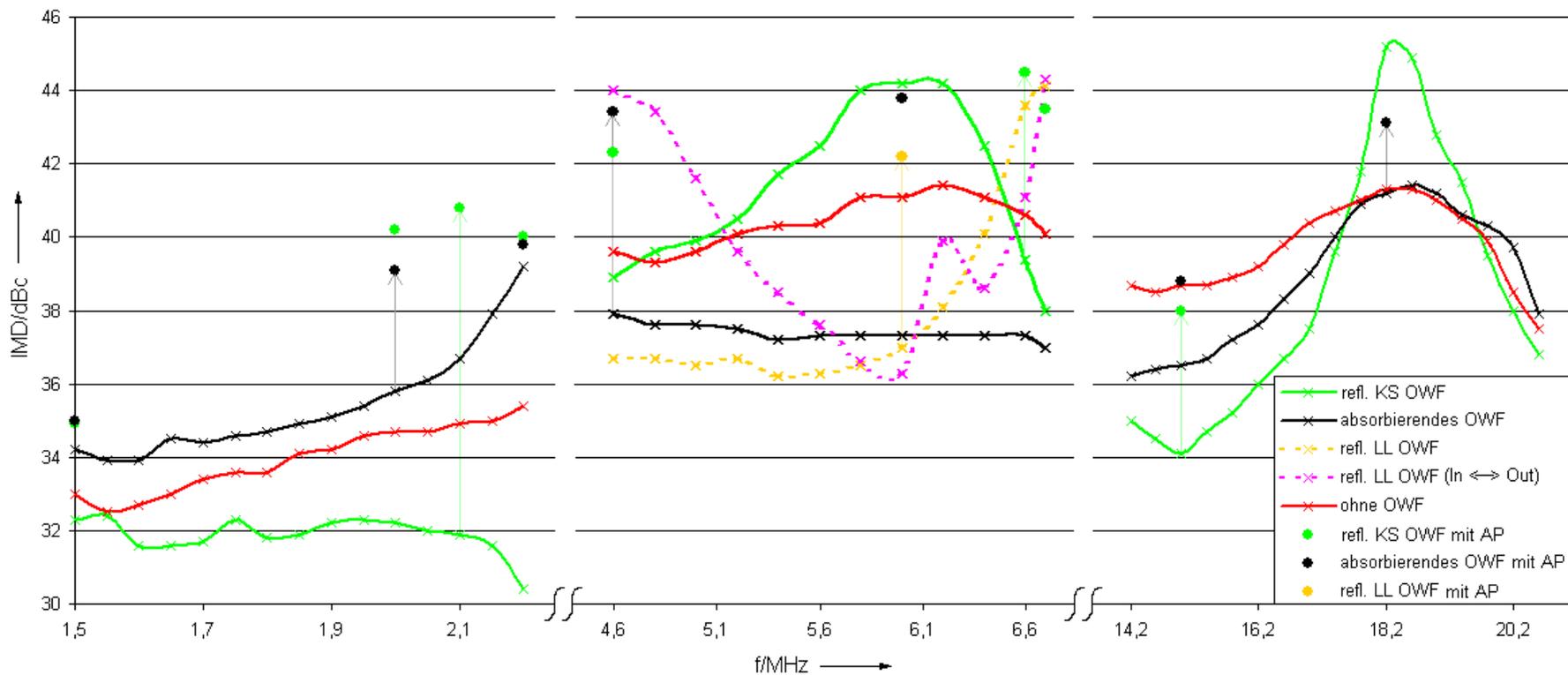
Intermodulationsabstand



Intermodulationsabstand

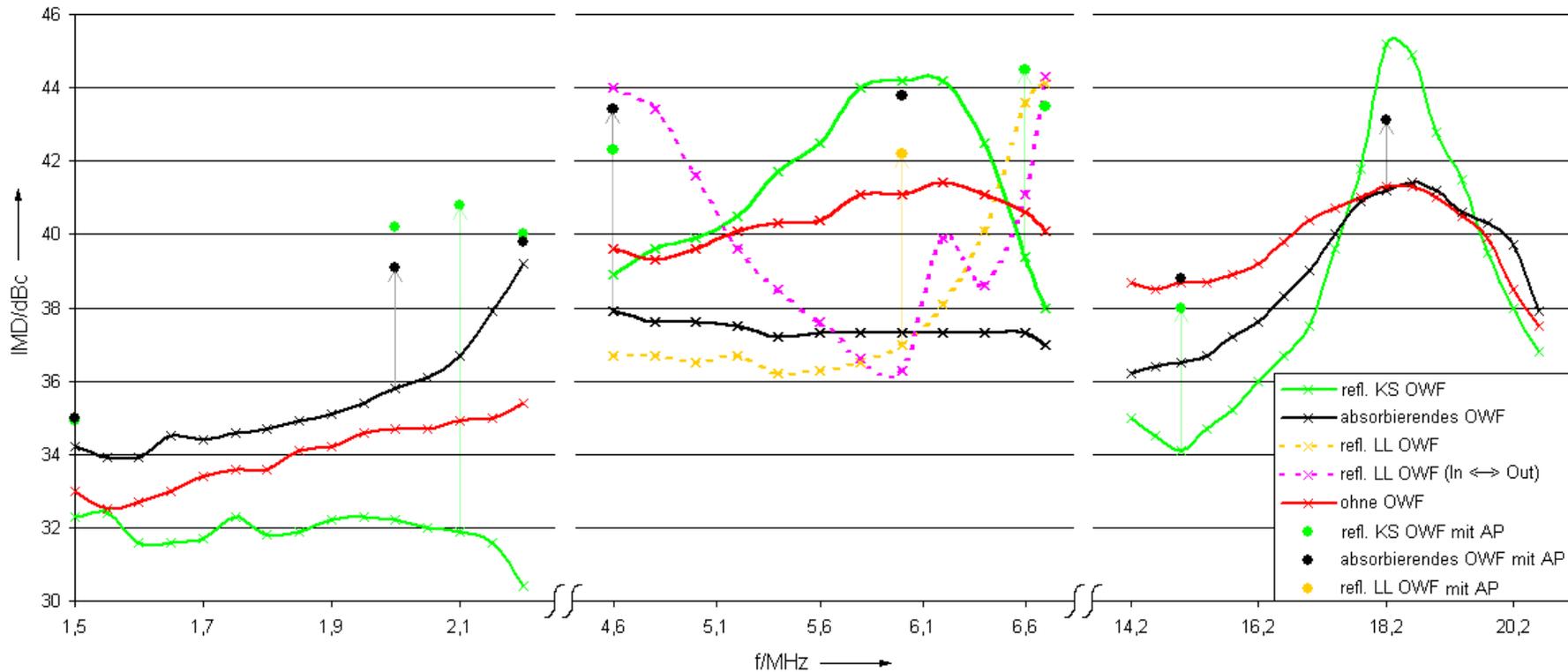


Intermodulationsabstand



- Verbesserungen einzelner Punkte durch vorgeschaltetes Anpassungsnetzwerk

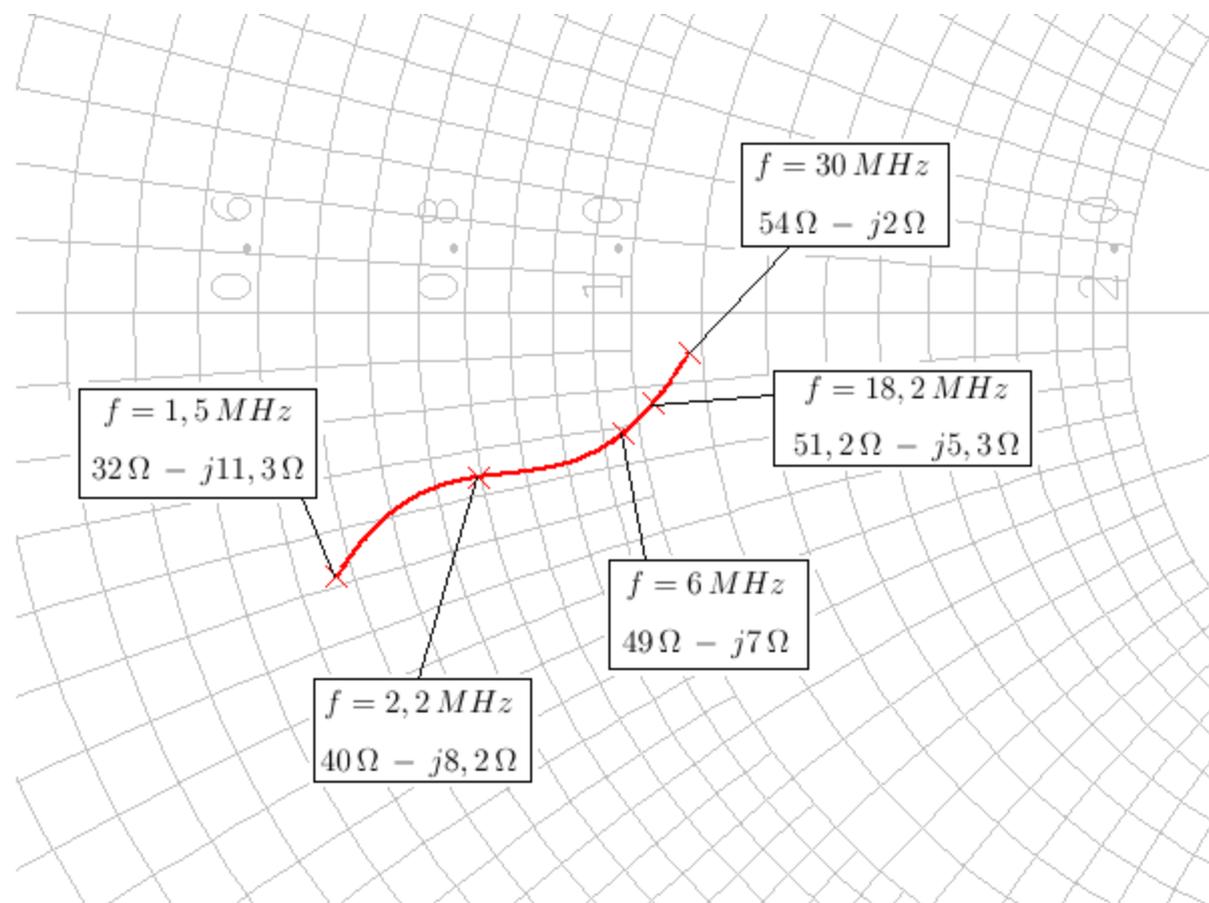
Intermodulationsabstand



- Verbesserungen einzelner Punkte durch vorgeschaltetes Anpassungsnetzwerk
- kaum Beeinflussung der Stromaufnahme

Intermodulationsabstand

Verlauf der optimalen Eingangsimpedanz

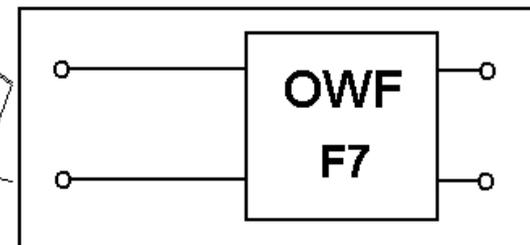
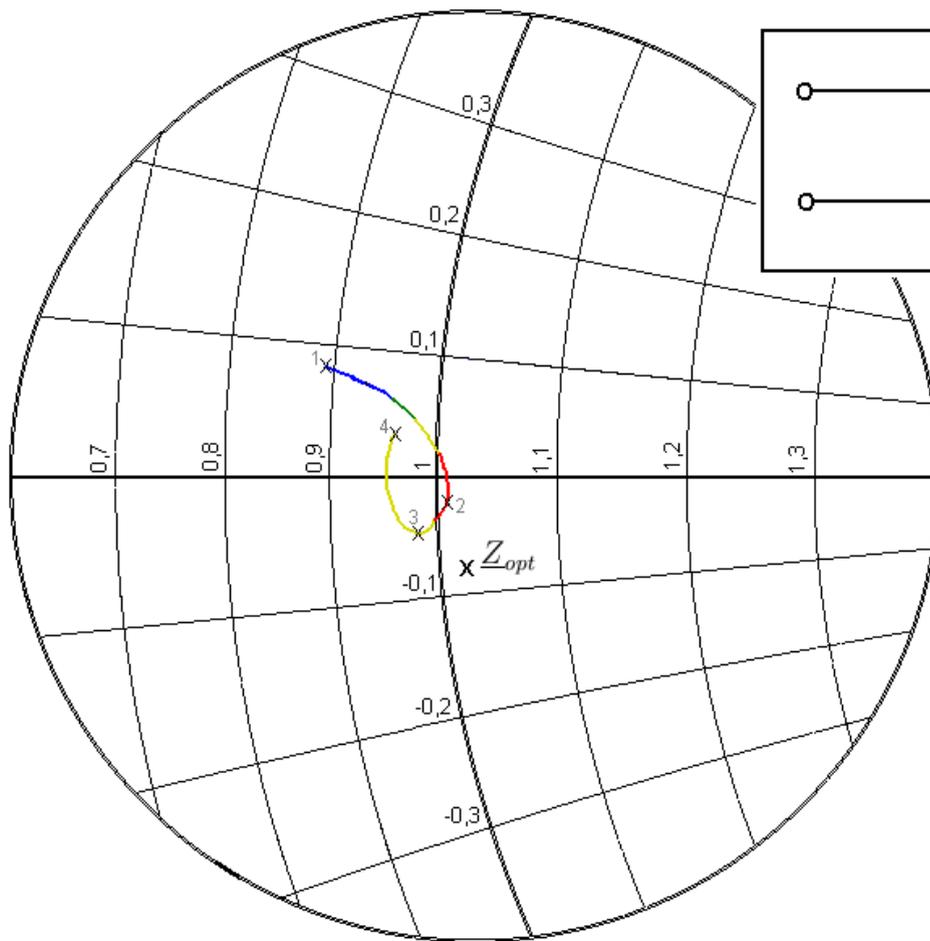


Übersicht

- Verschiedene Typen von Oberwellenfiltern
- Entwurf und Aufbau der Oberwellenfilter
- Vermessung der Oberwellenfilter
- Anwendungsbeispiel
- Optimierung des bestehenden Oberwellenfilters

Anwendungsbeispiel

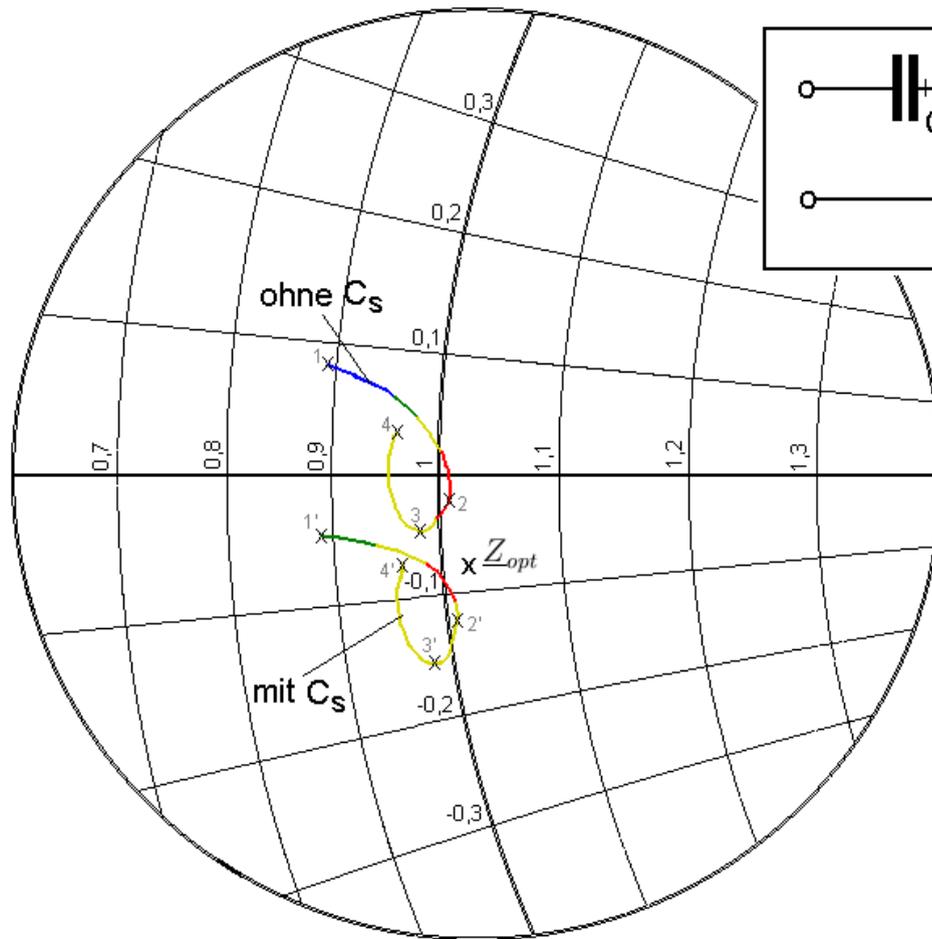
$f = 14,035 \text{ MHz}$	1	$44,97 \Omega + j4,2 \Omega$
$f = 17,59 \text{ MHz}$	2	$50,29 \Omega - j0,1 \Omega$
$f = 18,97 \text{ MHz}$	3	$49,05 \Omega - j2,2 \Omega$
$f = 20,55 \text{ MHz}$	4	$48,04 \Omega + j1,8 \Omega$



IMD/dBc	
Blue	- 33
Green	33 - 36
Yellow	36 - 39
Red	39 -

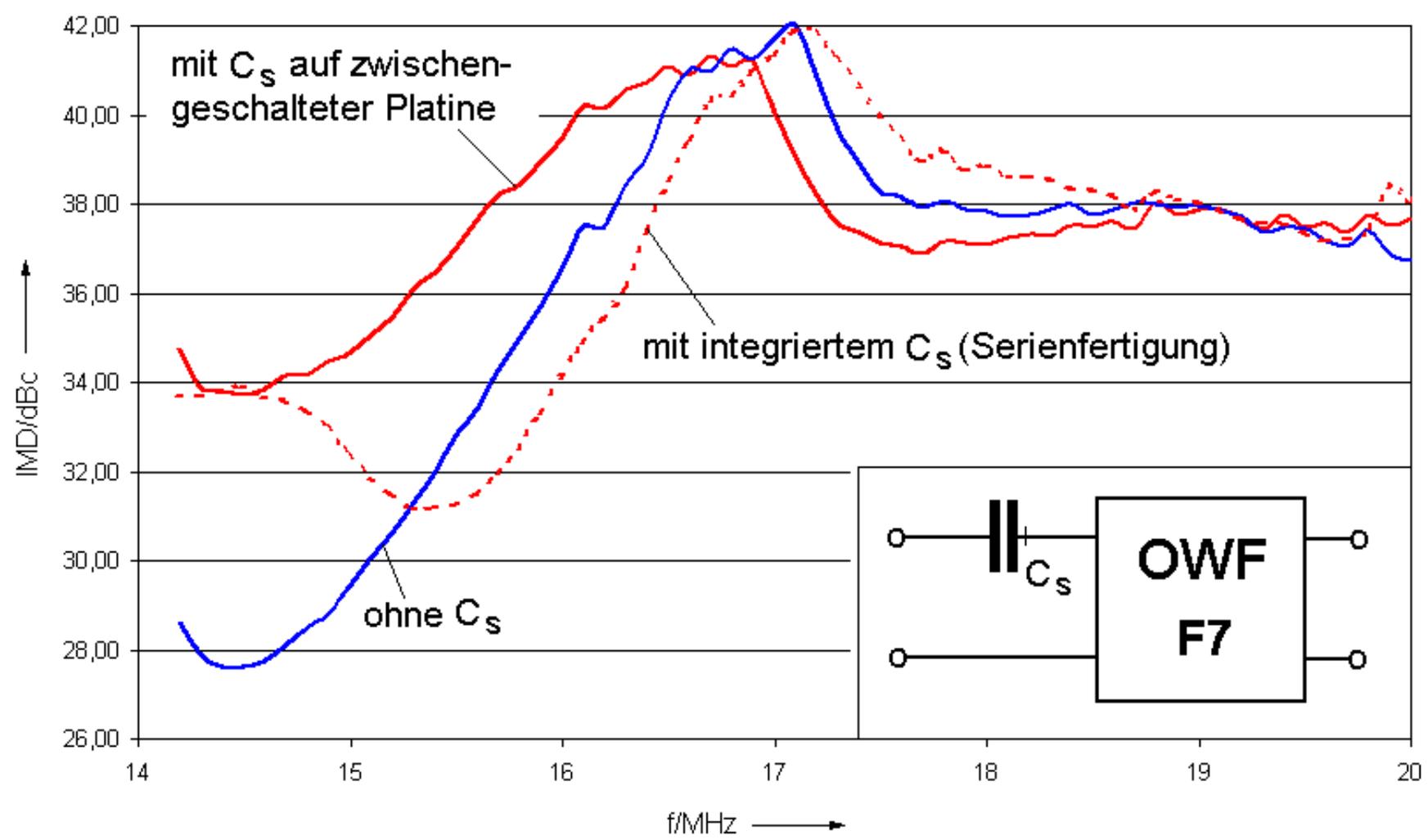
Anwendungsbeispiel

$f = 14,035 \text{ MHz}$	
1	$44,97 \Omega + j4,2 \Omega$
1'	$44,97 \Omega - j2,4 \Omega$
$f = 17,59 \text{ MHz}$	
2	$50,29 \Omega - j0,1 \Omega$
2'	$50,29 \Omega - j5,6 \Omega$
$f = 18,97 \text{ MHz}$	
3	$49,05 \Omega - j2,2 \Omega$
3'	$49,05 \Omega - j7,4 \Omega$
$f = 20,55 \text{ MHz}$	
4	$48,04 \Omega + j1,8 \Omega$
4'	$48,04 \Omega - j3 \Omega$



IMD/dBc	
	- 33
	33 - 36
	36 - 39
	39 -

Anwendungsbeispiel



Zusammenfassung

- Ein Einfluss des Oberwellenabschlusses auf Wirkungsgrad und Intermodulationsabstand kann nicht eindeutig festgestellt werden.

Zusammenfassung

- Ein Einfluss des Oberwellenabschlusses auf Wirkungsgrad und Intermodulationsabstand kann nicht eindeutig festgestellt werden.
- Dagegen beeinflusst die Anpassung massiv das Intermodulationsverhalten.

Zusammenfassung

- Ein Einfluss des Oberwellenabschlusses auf Wirkungsgrad und Intermodulationsabstand kann nicht eindeutig festgestellt werden.
- Dagegen beeinflusst die Anpassung massiv das Intermodulationsverhalten.
 - Die Einstellung der frequenzabhängigen optimalen Eingangsimpedanz bewirkt eine starke Verbesserung.

Übersicht

- Verschiedene Typen von Oberwellenfiltern
- Entwurf und Aufbau der Oberwellenfilter
- Vermessung der Oberwellenfilter
- Anwendungsbeispiel
- Optimierung des bestehenden Oberwellenfilters

Optimierung des OWFs

Ziele:

- Reduzierung der Herstellungskosten
→ Reduzierung der Anzahl der Spulen

Optimierung des OWFs

Ziele:

- Reduzierung der Herstellungskosten
→ Reduzierung der Anzahl der Spulen
- Verbesserung der Filtereigenschaften

Optimierung des OWFs

Ziele:

- Reduzierung der Herstellungskosten
→ Reduzierung der Anzahl der Spulen
- Verbesserung der Filtereigenschaften
- Mitberücksichtigung der Anpassung ($\underline{Z}_e \rightarrow \underline{Z}_{opt}$)

Optimierung des OWFs

Ziele:

- Reduzierung der Herstellungskosten
→ Reduzierung der Anzahl der Spulen
- Verbesserung der Filtereigenschaften
- Mitberücksichtigung der Anpassung ($\underline{Z}_e \rightarrow \underline{Z}_{opt}$)

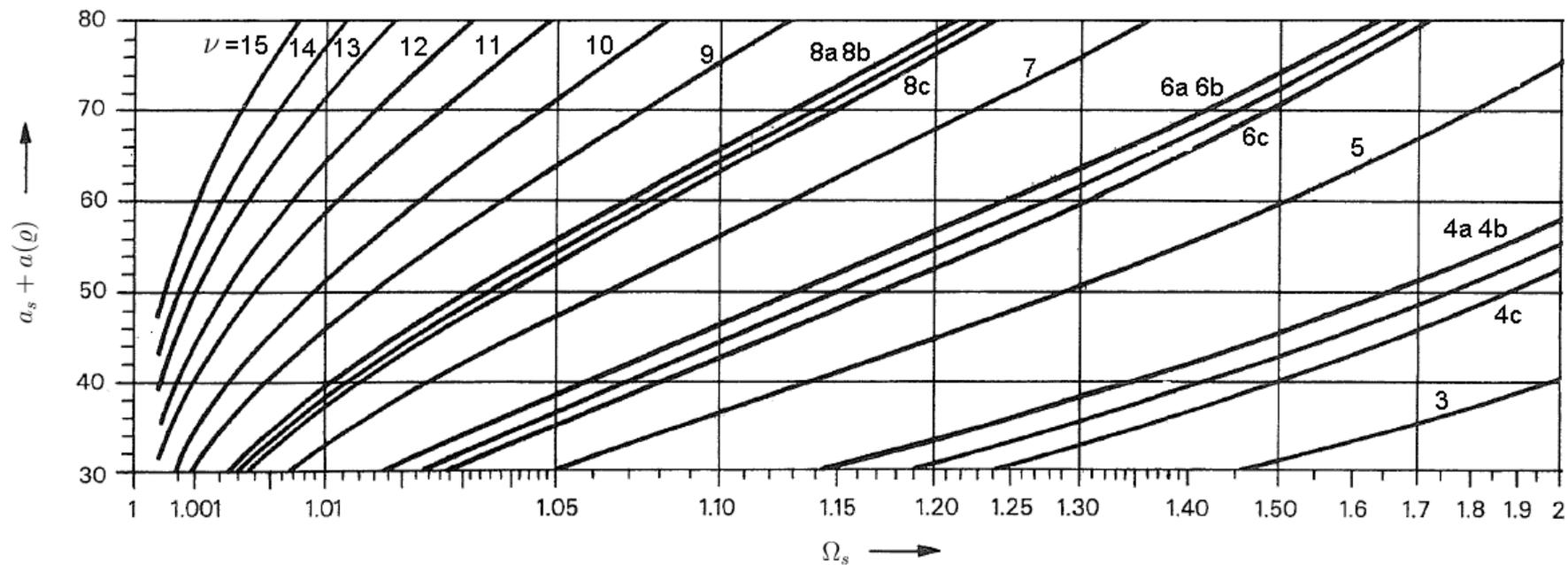
1. Ermittlung der optimalen Anzahl an Filterbereichen

Optimierung des OWFs

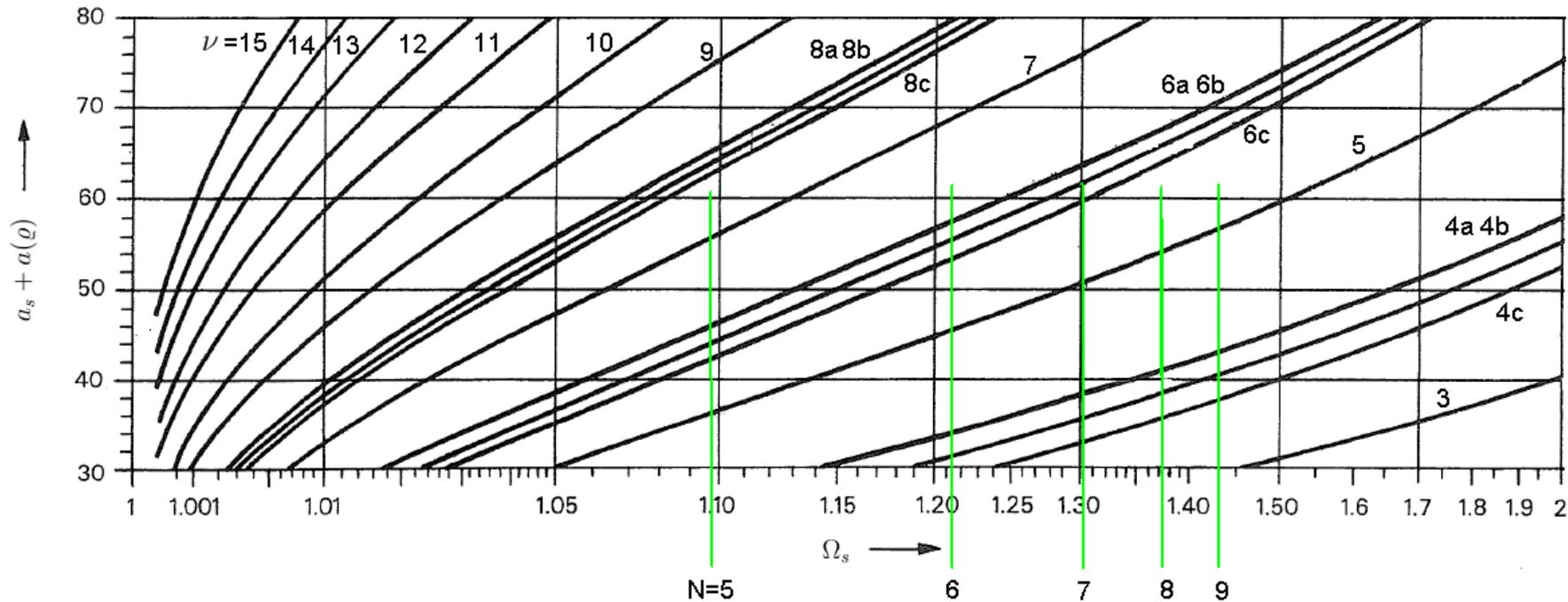
Ziele:

- Reduzierung der Herstellungskosten
→ Reduzierung der Anzahl der Spulen
 - Verbesserung der Filtereigenschaften
 - Mitberücksichtigung der Anpassung ($\underline{Z}_e \rightarrow \underline{Z}_{opt}$)
1. Ermittlung der optimalen Anzahl an Filterbereichen
 2. Redesign des Oberwellenfilters

Optimierung des OWFs



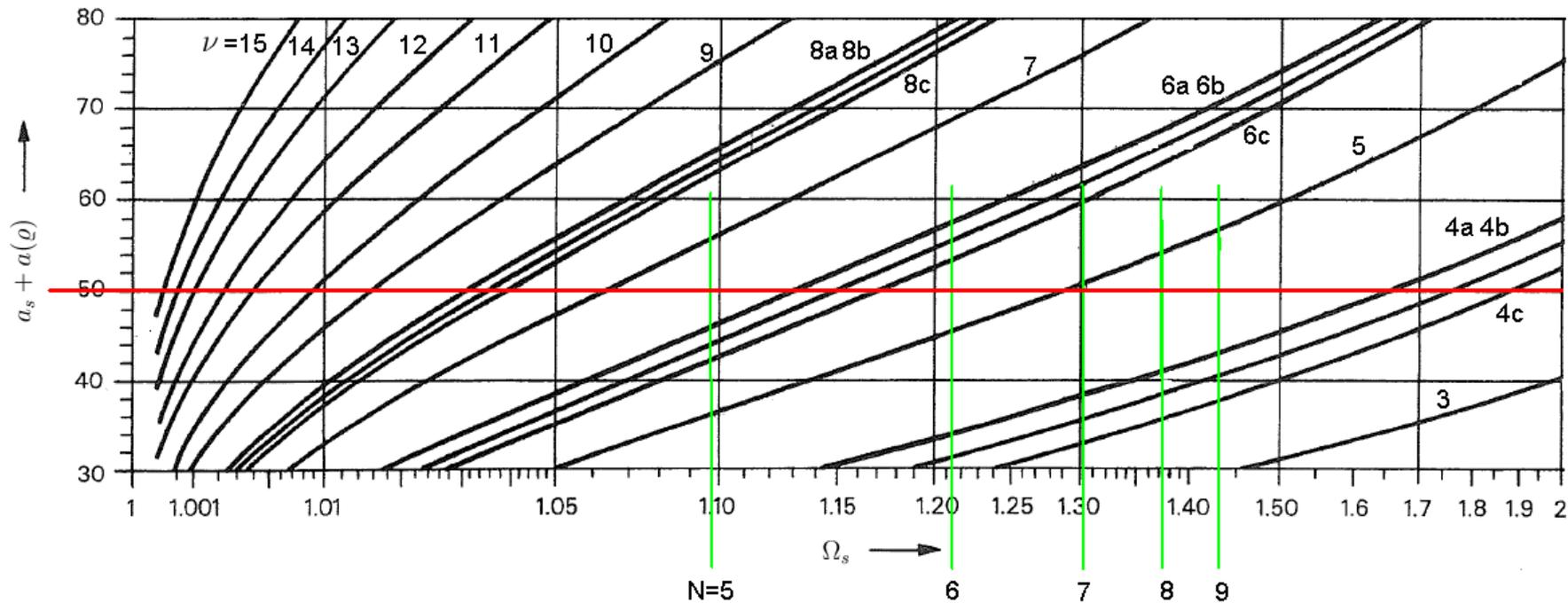
Optimierung des OWFs



Normierte Sperrfrequenz:

$$\Omega_s(N) = \frac{f_S}{f_D} = \frac{2f_u}{f_o} = \frac{2}{K_f} = \frac{2}{N \sqrt{\frac{f_{max}}{f_{min}}}} = 2 \cdot \left(\frac{30 \text{ MHz}}{1,5 \text{ MHz}} \right)^{-\frac{1}{N}}$$

Optimierung des OWFs

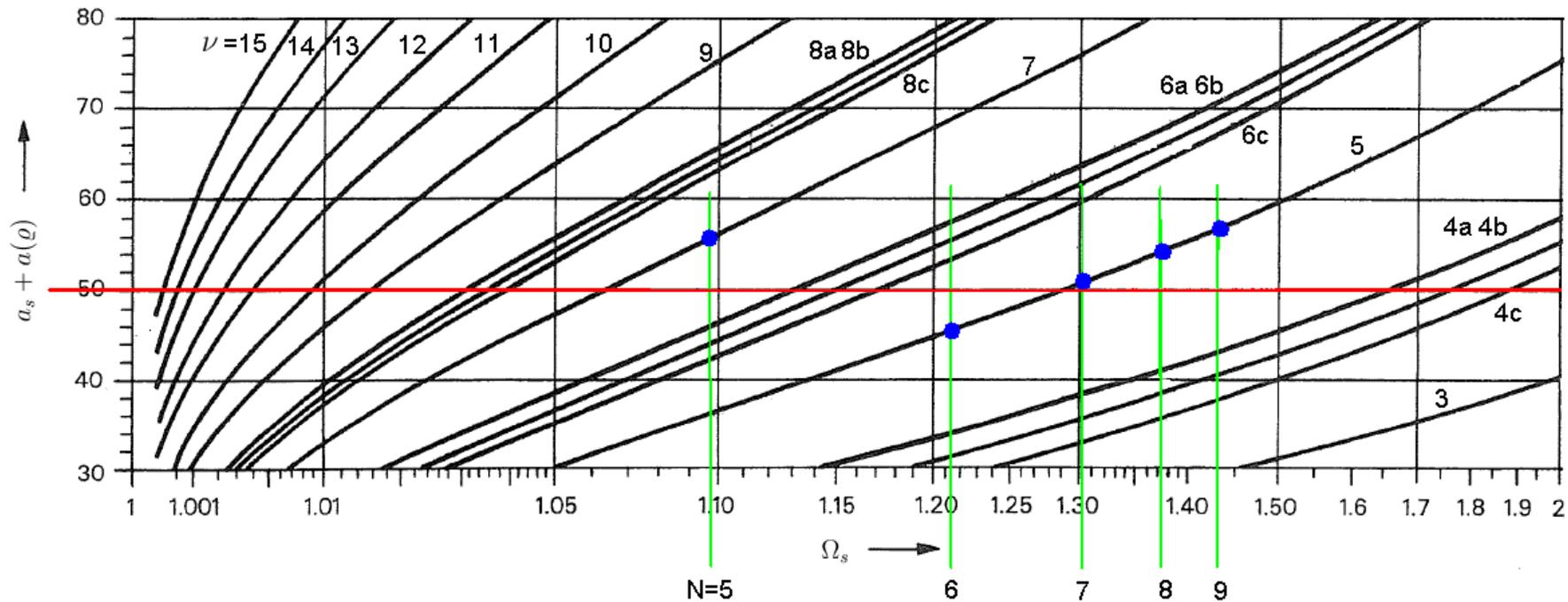


Sperrdämpfung: $\alpha_S = 30 \text{ dB}$

Durchgangsdämpfung: $\alpha_D = 0,3 \text{ dB} \Rightarrow \alpha(\varrho) \approx 20 \text{ dB}$

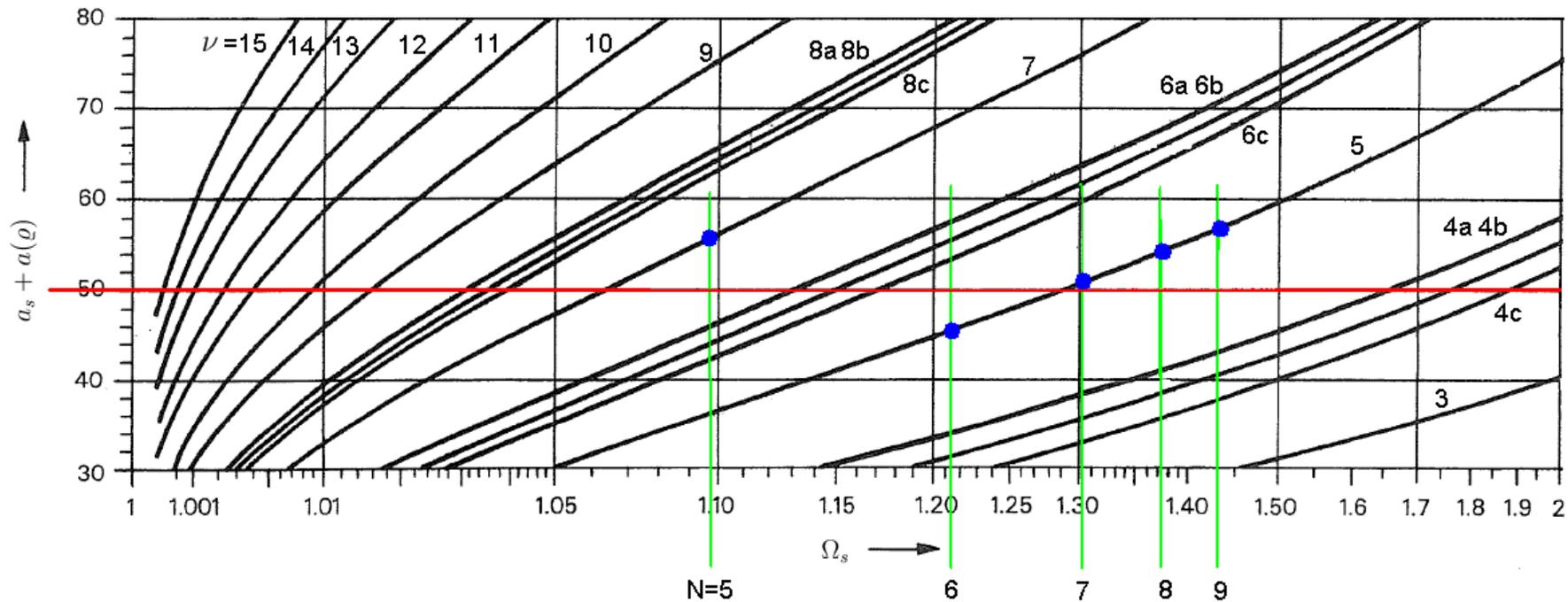
$$\Rightarrow \alpha_s + \alpha(\varrho) = 50 \text{ dB}$$

Optimierung des OWFs



1. $N = 5$ Filterbereiche; Filterordnung $\nu = 7$

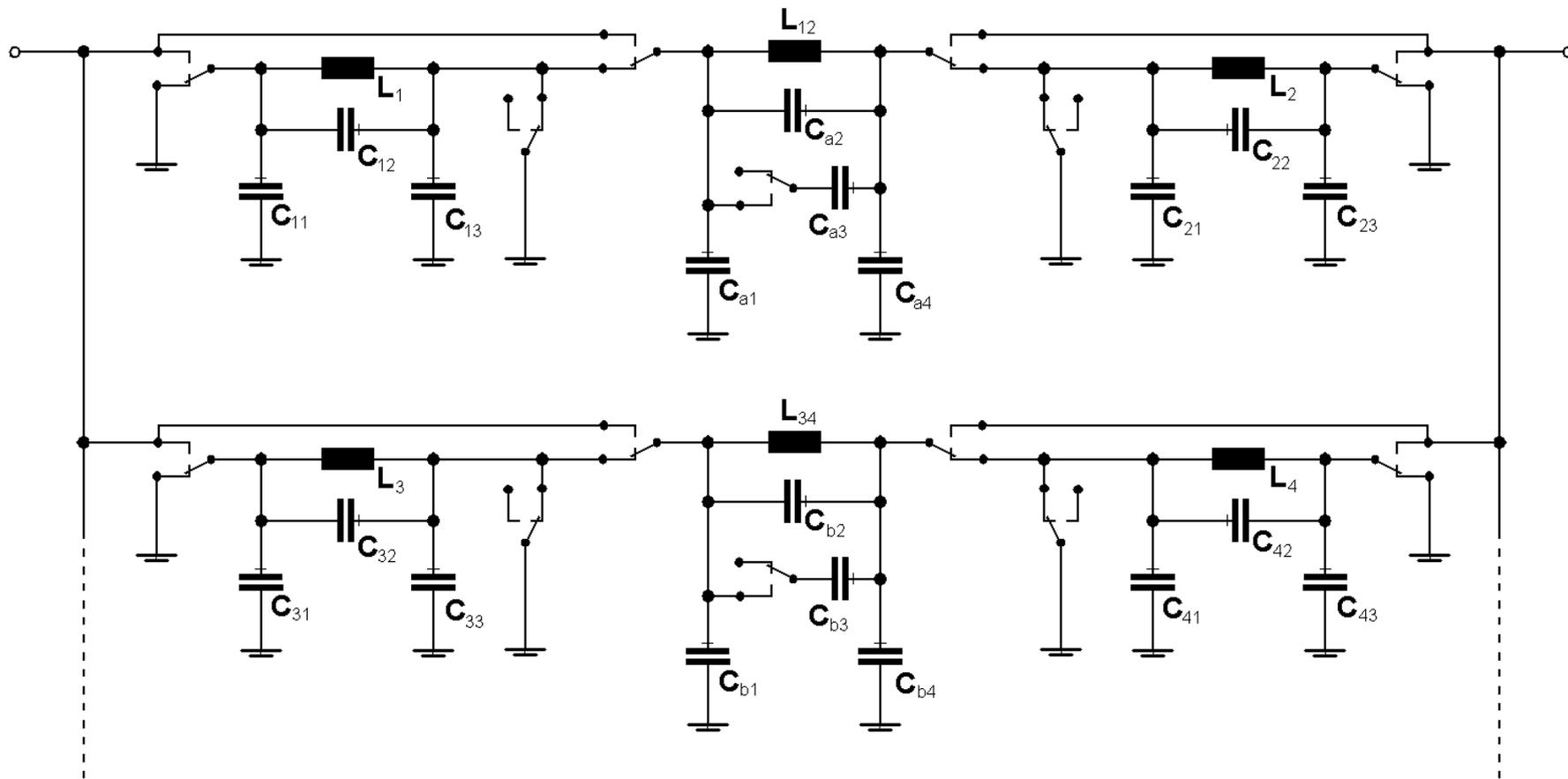
Optimierung des OWFs



1. $N = 5$ Filterbereiche; Filterordnung $\nu = 7$
2. $N = 7$ Filterbereiche; Filterordnung $\nu = 5$

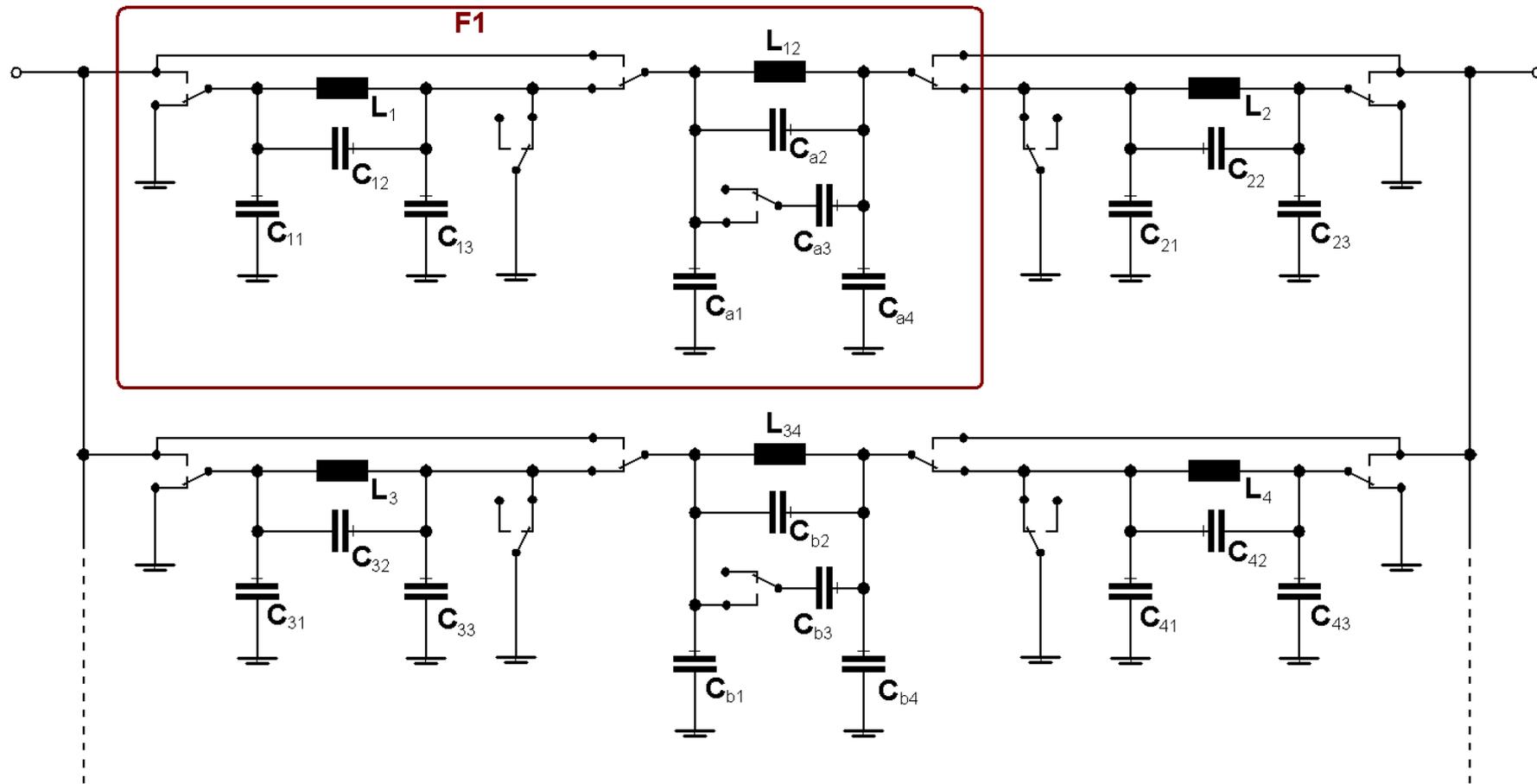
Optimierung des OWFs

Schaltung des bestehenden Oberwellenfilters



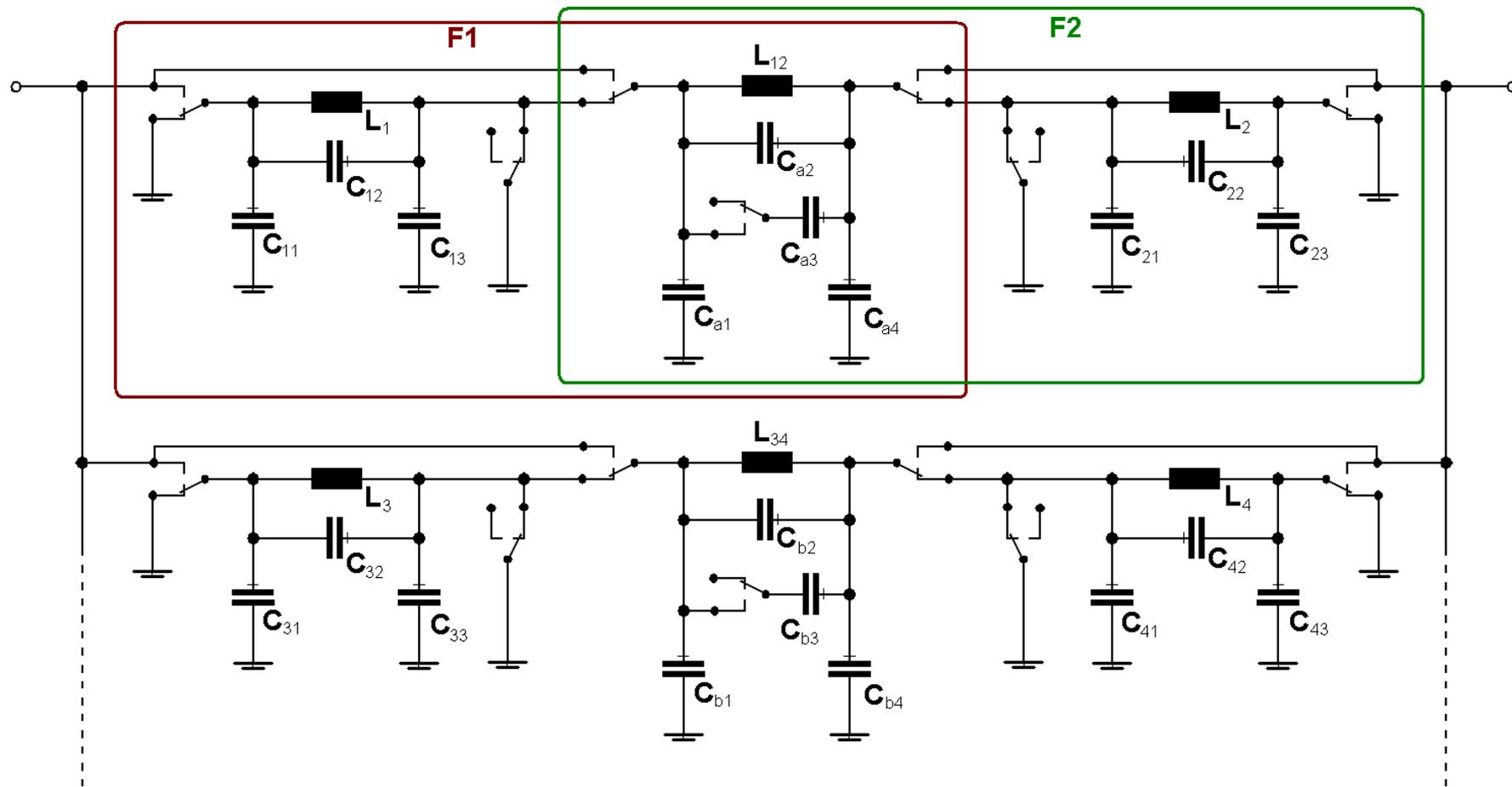
Optimierung des OWFs

Schaltung des bestehenden Oberwellenfilters



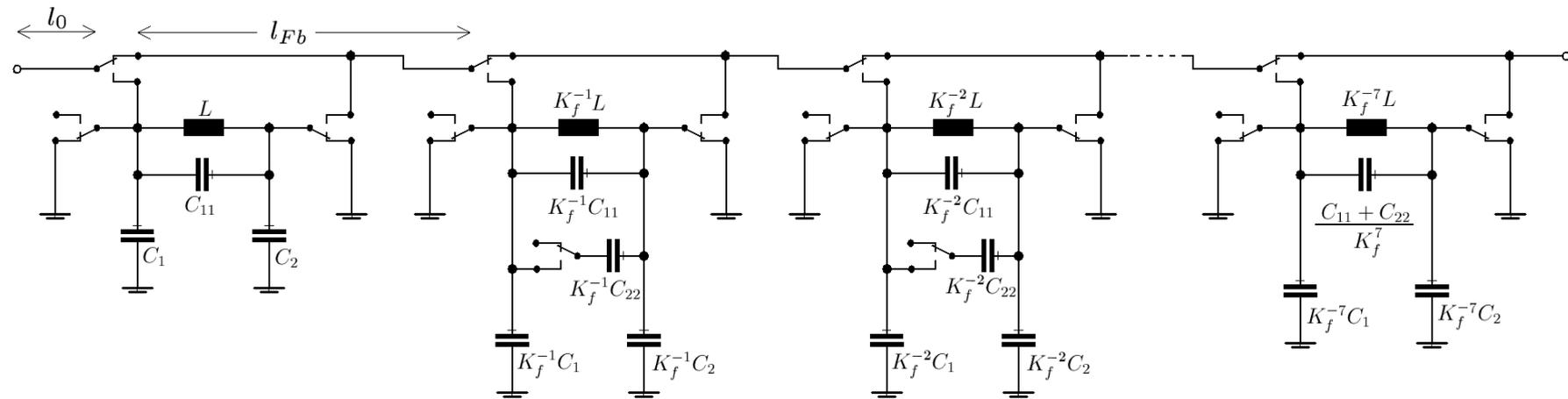
Optimierung des OWFs

Schaltung des bestehenden Oberwellenfilters



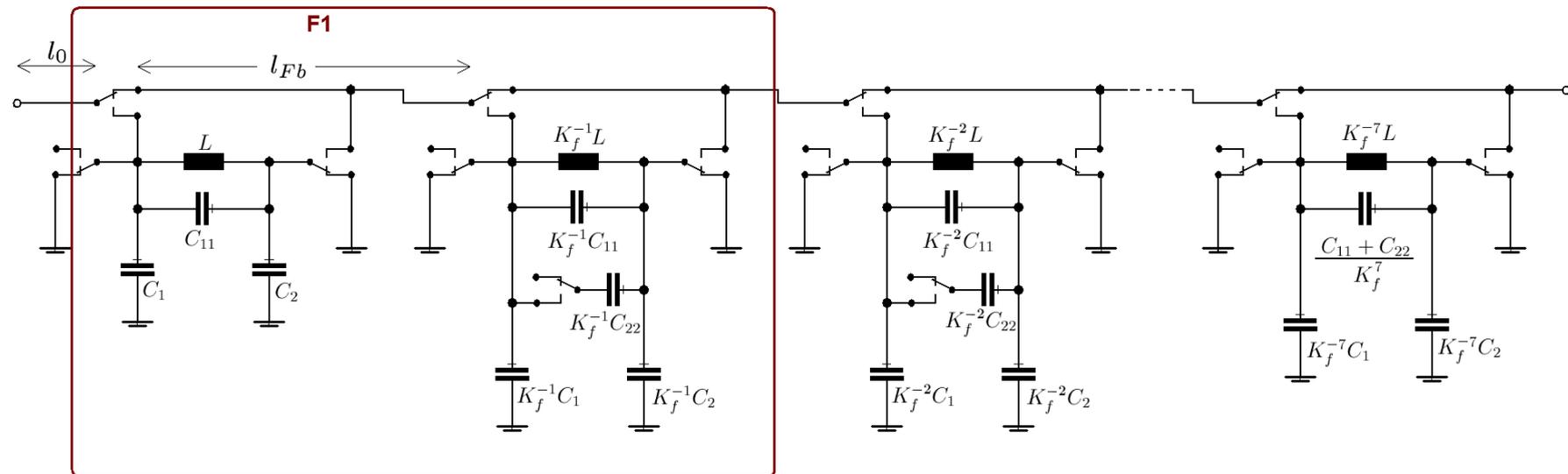
Optimierung des OWFs

Redesign des Oberwellenfilters



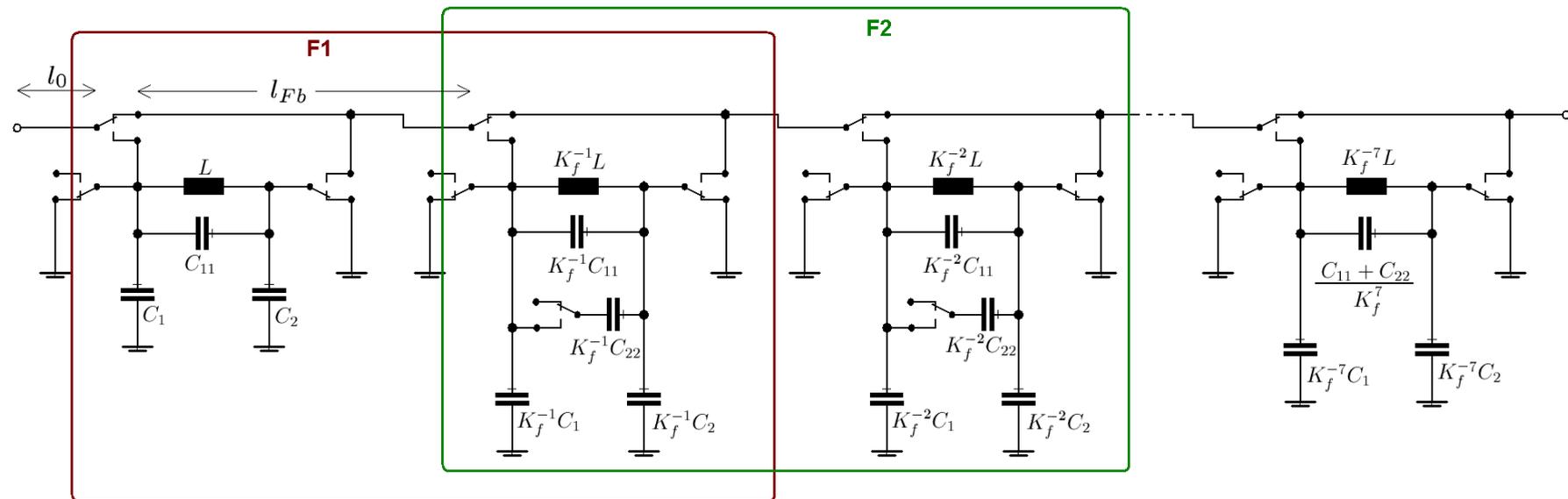
Optimierung des OWFs

Redesign des Oberwellenfilters



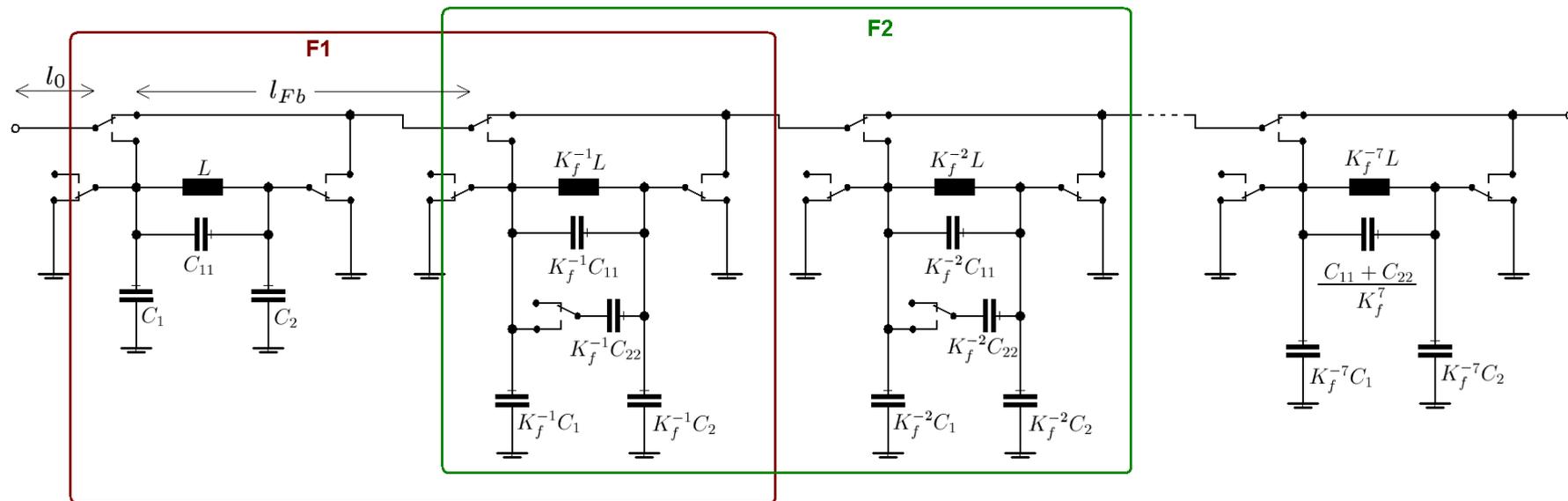
Optimierung des OWFs

Redesign des Oberwellenfilters



Optimierung des OWFs

Redesign des Oberwellenfilters

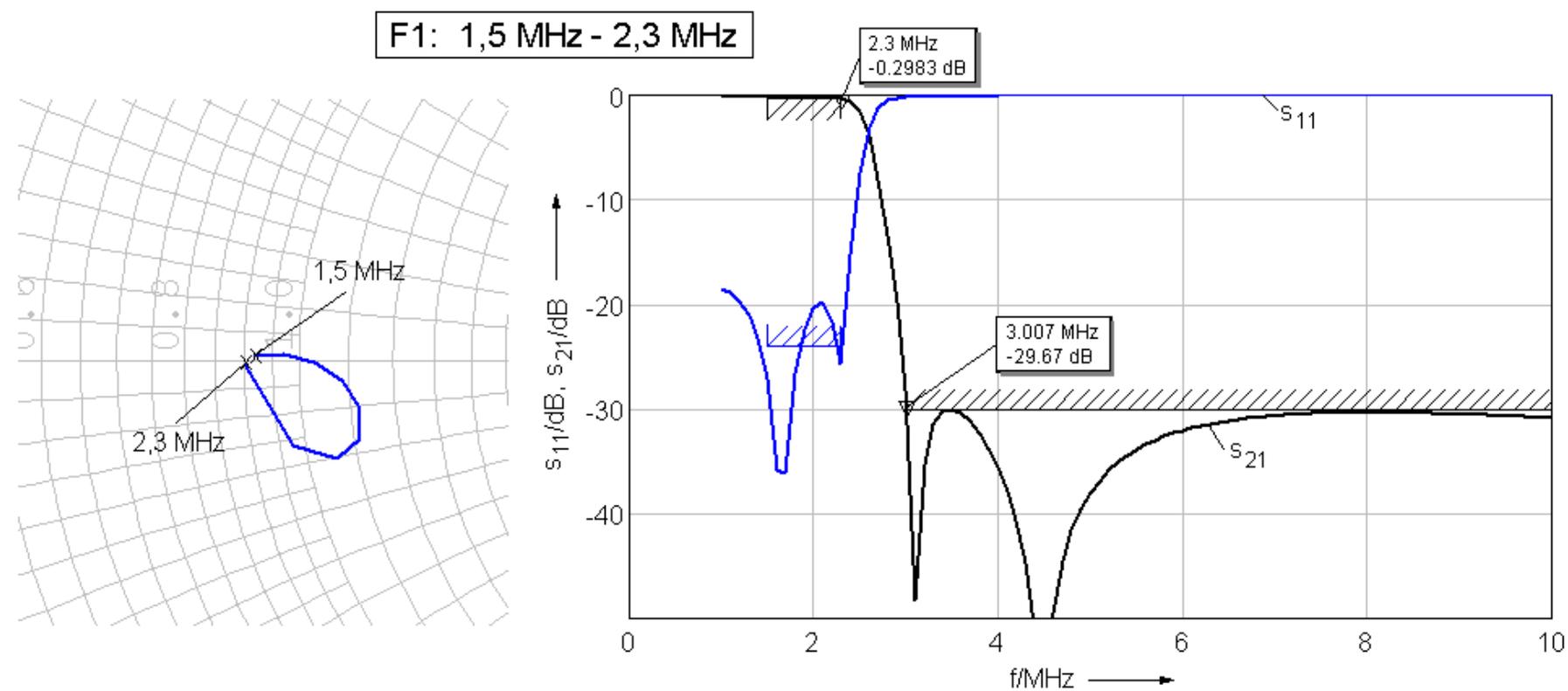


- $l_0 \approx 10 \text{ cm}$

- $l_{FB} \approx 5 \text{ cm}$

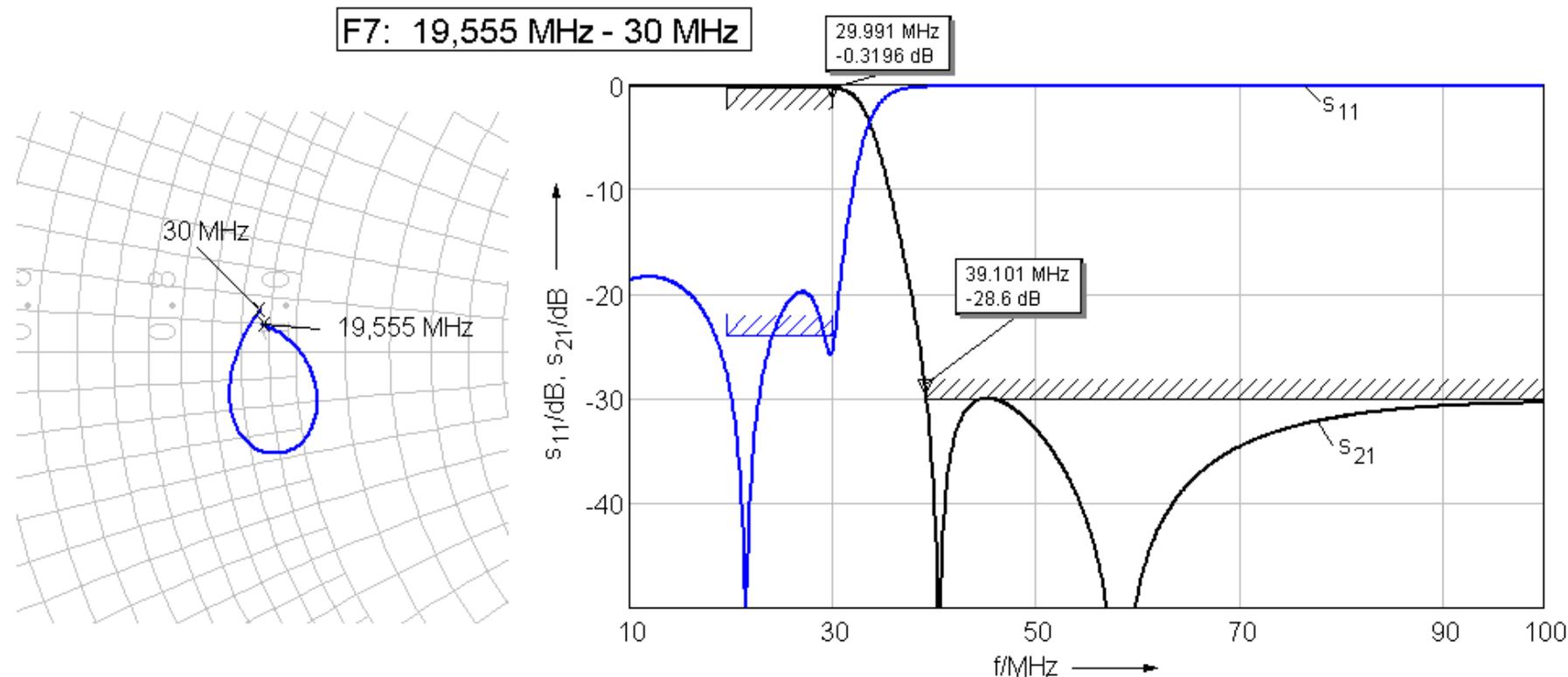
Optimierung des OWFs

Simulation des optimierten Oberwellenfilters



Optimierung des OWFs

Simulation des optimierten Oberwellenfilters



Optimierung des OWFs

Vergleich beider Oberwellenfilter

	bestehendes OWF	optimiertes OWF
Filterbereiche	8	7
Filterordnung	5	5

Optimierung des OWFs

Vergleich beider Oberwellenfilter

	bestehendes OWF	optimiertes OWF
Filterbereiche	8	7
Filterordnung	5	5
$\alpha_{D,max}$	0,13 dB – 0,31 dB	0,29 dB – 0,32 dB
$\alpha_{S,min}$	21,7 dB – 29,6 dB	28,6 dB – 30,4 dB

Optimierung des OWFs

Vergleich beider Oberwellenfilter

	bestehendes OWF	optimiertes OWF
Filterbereiche	8	7
Filterordnung	5	5
$\alpha_{D,max}$	0,13 dB – 0,31 dB	0,29 dB – 0,32 dB
$\alpha_{S,min}$	21,7 dB – 29,6 dB	28,6 dB – 30,4 dB
Anzahl der Spulen	12	8

Optimierung des OWFs

Vergleich beider Oberwellenfilter

	bestehendes OWF	optimiertes OWF
Filterbereiche	8	7
Filterordnung	5	5
$\alpha_{D,max}$	0,13 dB – 0,31 dB	0,29 dB – 0,32 dB
$\alpha_{S,min}$	21,7 dB – 29,6 dB	28,6 dB – 30,4 dB
Anzahl der Spulen	12	8
Anzahl der Schalter	28	30
Anzahl der Relais	16	15 – 16 (abh. vom Layout)

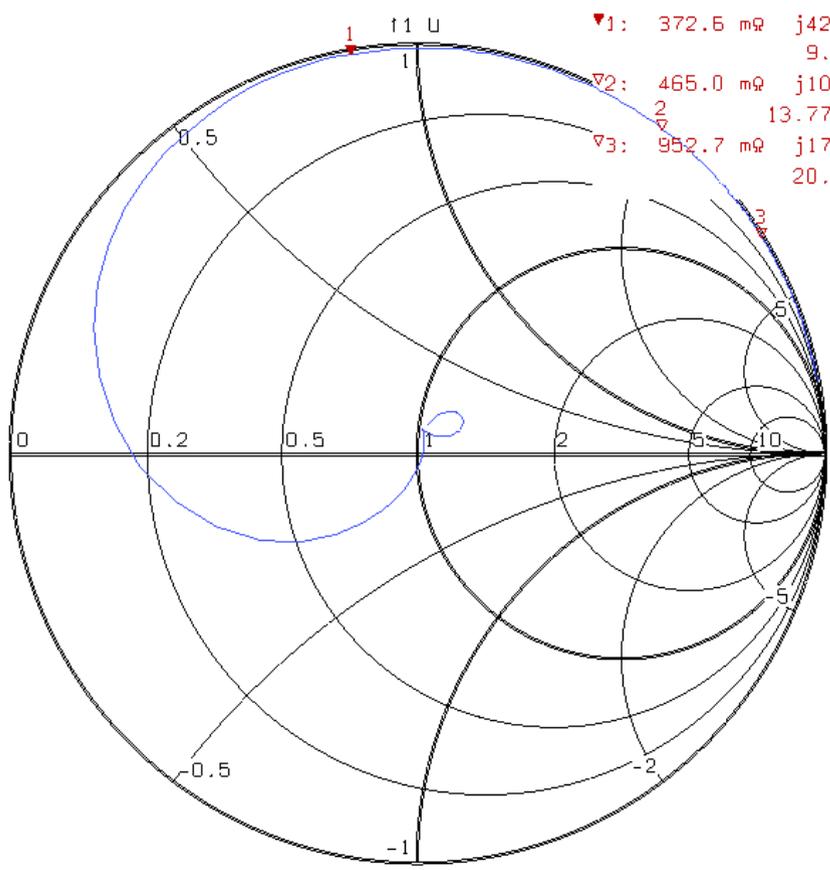
Optimierung des OWFs

Vergleich beider Oberwellenfilter

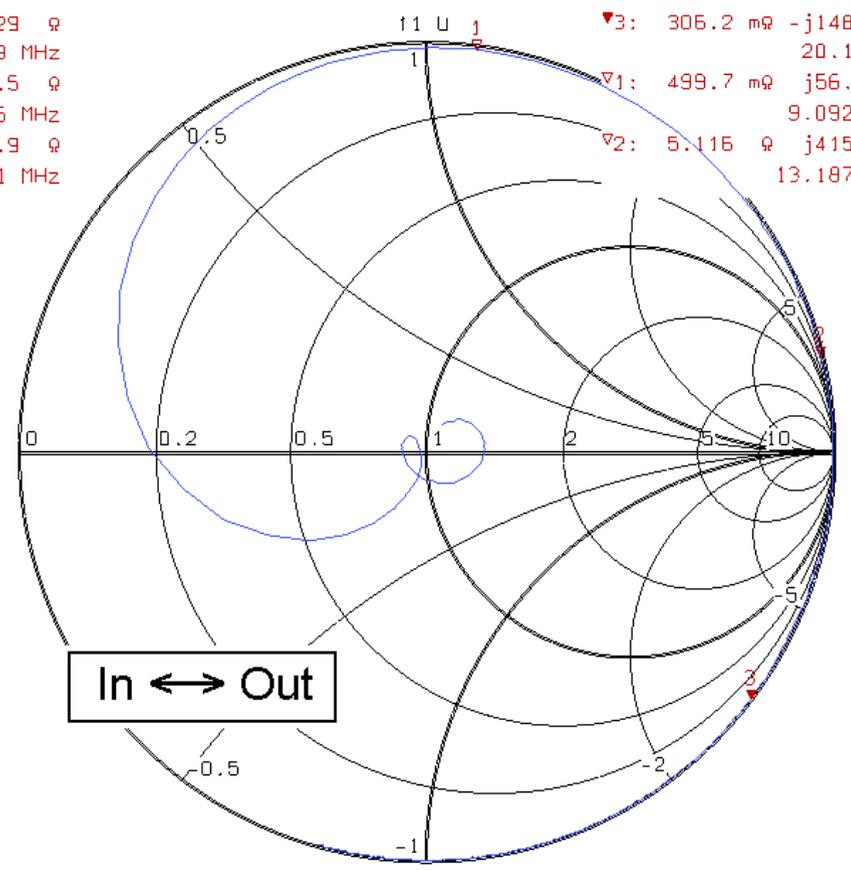
	bestehendes OWF	optimiertes OWF
Filterbereiche	8	7
Filterordnung	5	5
$\alpha_{D,max}$	0,13 dB – 0,31 dB	0,29 dB – 0,32 dB
$\alpha_{S,min}$	21,7 dB – 29,6 dB	28,6 dB – 30,4 dB
Anzahl der Spulen	12	8
Anzahl der Schalter	28	30
Anzahl der Relais	16	15 – 16 (abh. vom Layout)
Anzahl der Kapazitäten	40	30



- Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



▼1: 372.6 mΩ j42.29 Ω
9.19 MHz
▼2: 465.0 mΩ j100.5 Ω
13.7725 MHz
▼3: 952.7 mΩ j173.9 Ω
20.11 MHz



▼3: 306.2 mΩ -j148.4 Ω
20.11 MHz
▼1: 499.7 mΩ j56.63 Ω
9.0925 MHz
▼2: 5.116 Ω j415.5 Ω
13.1875 MHz

In ↔ Out

