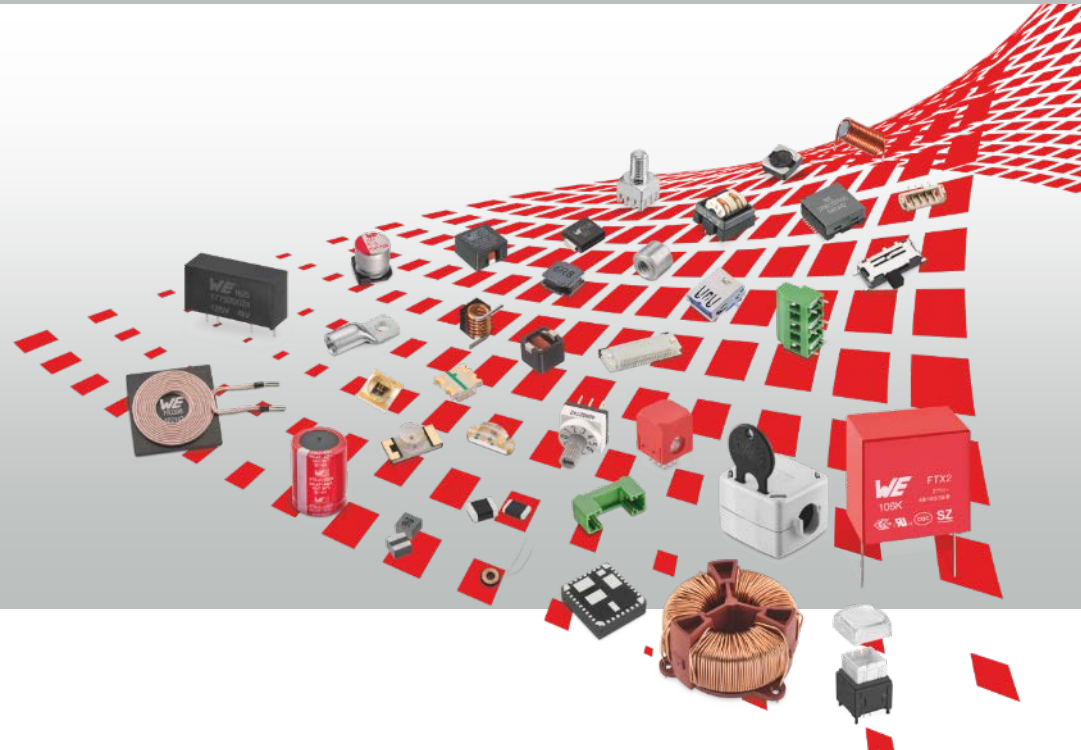




Kompendium zu Gleichtaktdrosseln

Aufbau, Einsatz, Besonderheiten und Unterschiede anhand von Praxisbeispielen erklärt

more
than you
expect



Referent:

Lorandt Fölkel M. Eng
Field Application Engineer &
Business Development Manager

lorandt.foelkel@we-online.de



ANFORDERUNGEN IM EMV

EMV-Zulassungszeichen



- **Federal Communications Commission**



- **Voluntary Control Council for Interference**



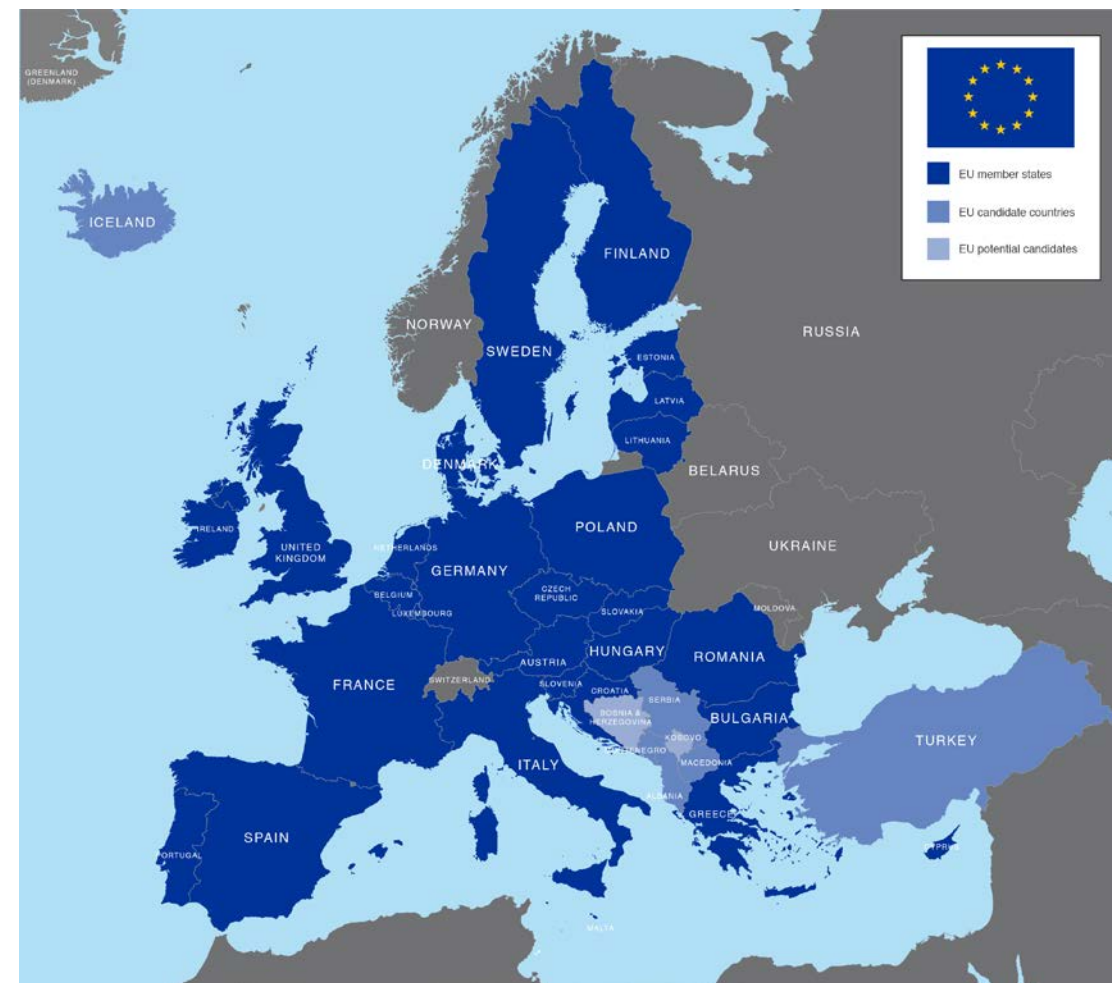
- **Australian Communications and Media Authority**



CE-Kennzeichnung



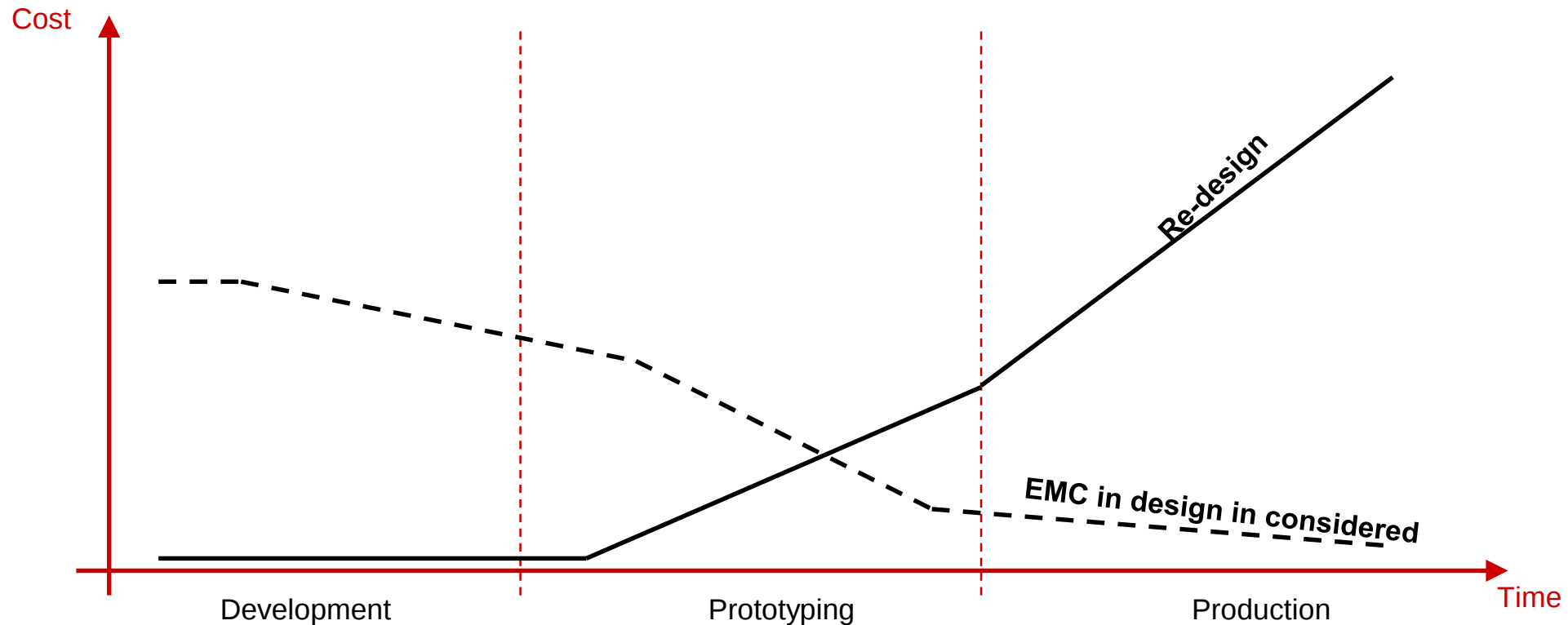
- Mit der Vollendung des europäischen Binnenmarktes war eine Normung erforderlich, um technische Handelshemmnisse zu beseitigen.
- Um diese Handelsbeschränkungen zu beseitigen, wurden Richtlinien nach dem neuen Konzept eingeführt.
- 20 Verordnungen und Richtlinien:
 - LVD - Low Voltage Directive 2014/35/EU
 - EMC - Electromagnetic Compatibility 2014/30/EU
 - R.E.D. - Radio Equipped Directive 2014/53/EU
 - MD - Machinery Directive 2014/90/EU



Designphase für EMV



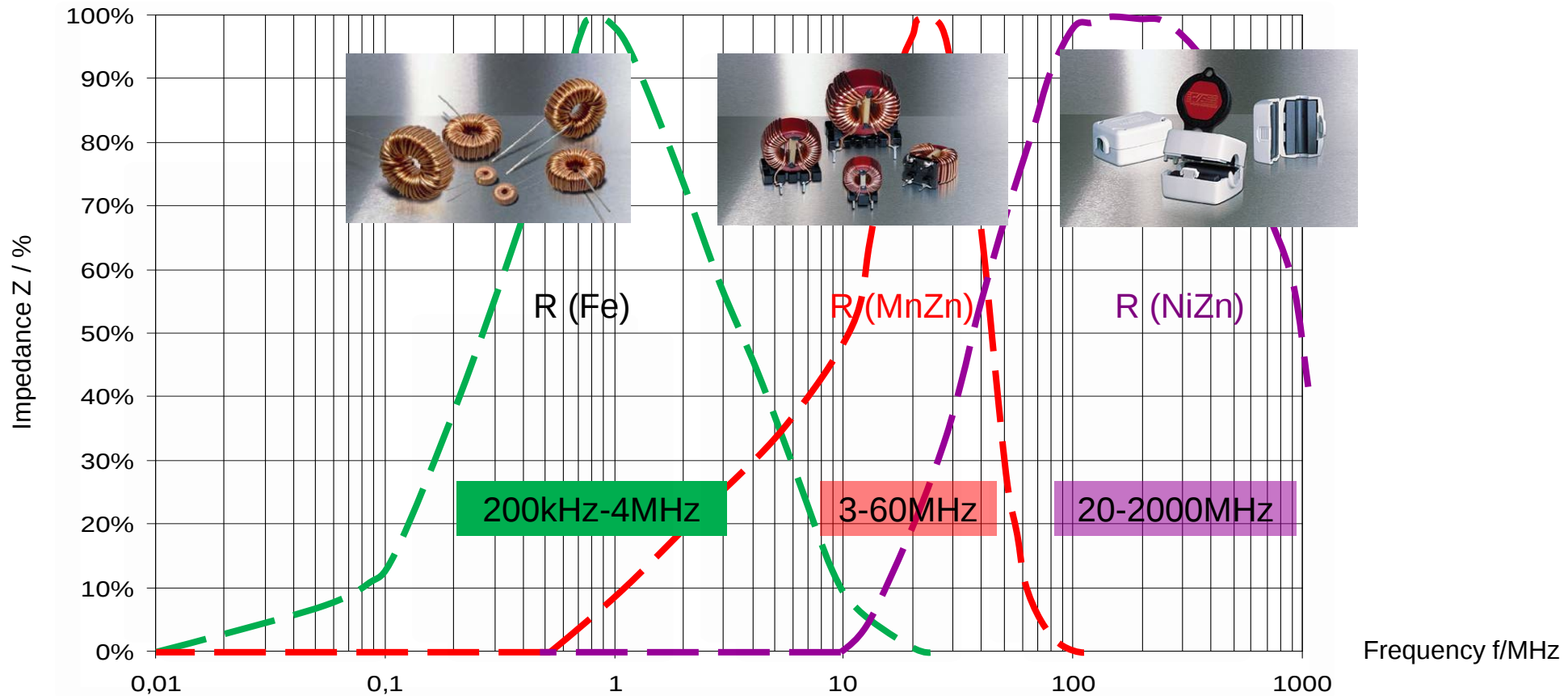
- Wirtschaftliche Sichtweise:
Hängt davon ab, wann Sie mit der EMV-gerechten Konstruktion beginnen möchten.



Kernmaterialien - Drosseln (Filtern)



Rauschfrequenzbereich muss bekannt sein

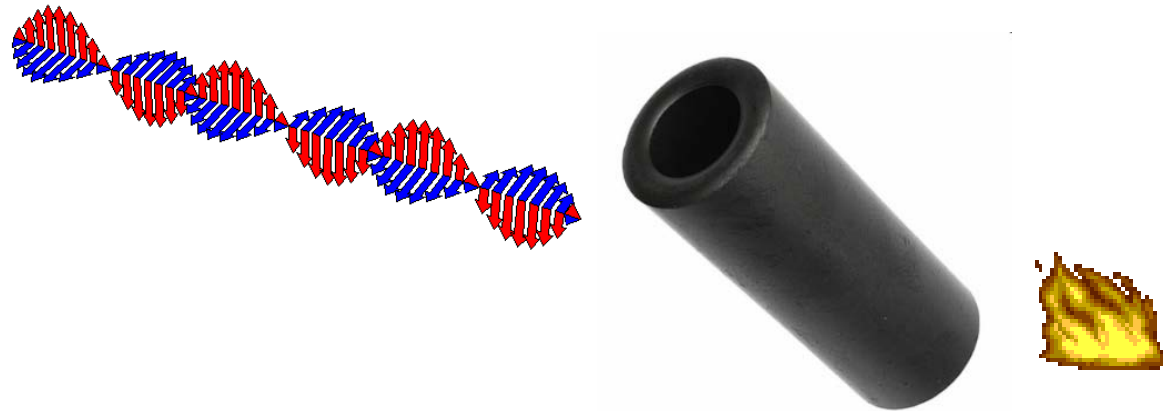


Kernverluste



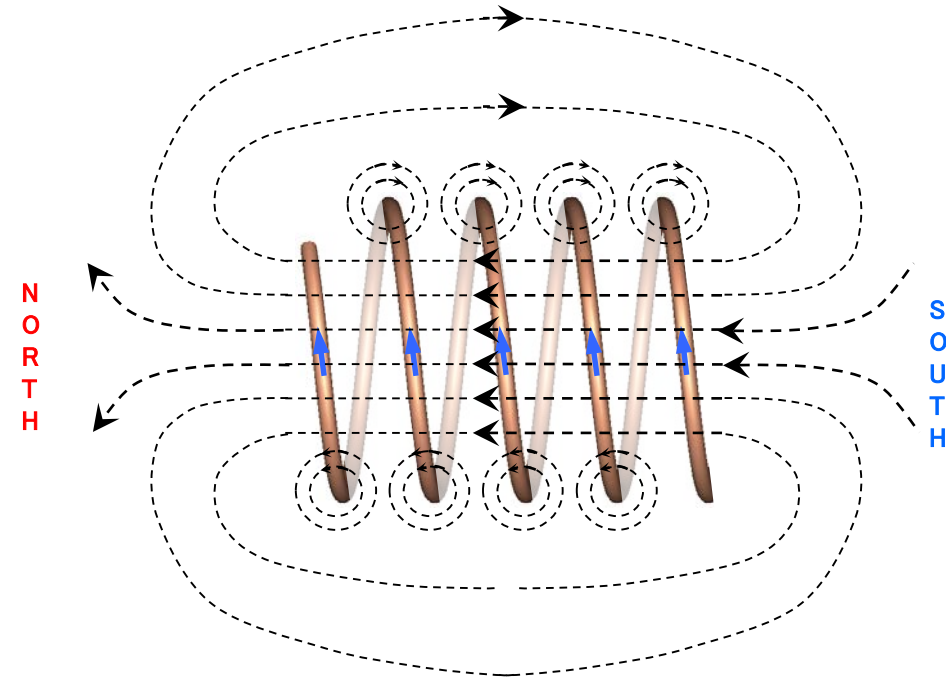
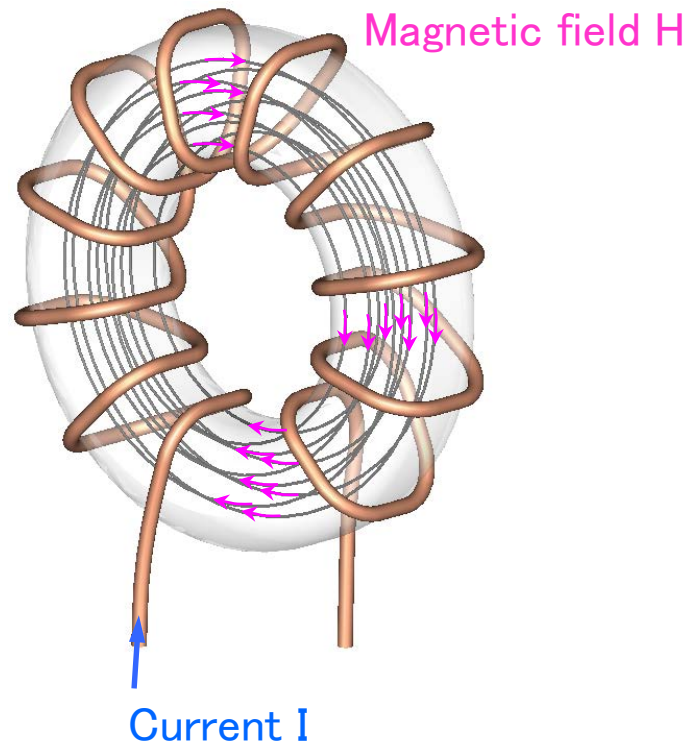
Elektromagnetische Energie kann nicht verschwinden, sie wird nur in andere Energieformen umgewandelt.
→ Energieerhaltungsgesetz

z.B. elektrische Energie, die in thermische Energie umgewandelt wird.



Die Kernverluste aus Ferriten wandeln die Rauschenergie in Wärme um.

Das Magnetfeld - Feldmodell



Gleichtaktfilter - So funktioniert es



Es ist ein bidirektionaler Filter

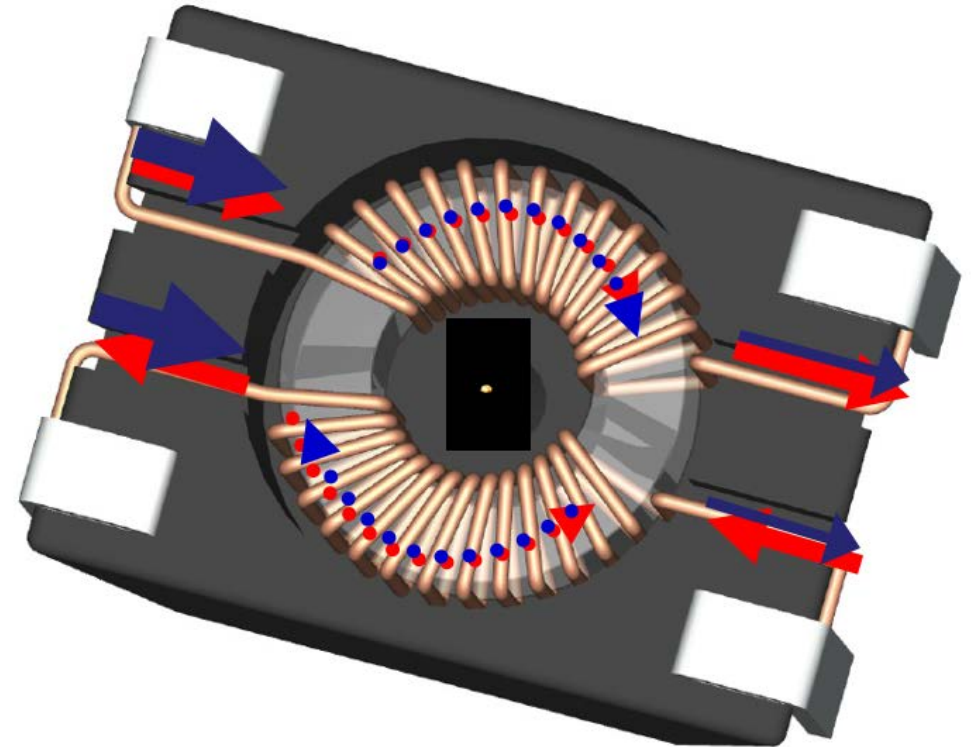
- Vom Gerät zur Außenumgebung
- Von der Außenumgebung zum Innengerät

Vorgesehenes Signal - **Differenzmodus**

Störsignal (Rauschen) - **Gleichtaktbetrieb**

Fazit:

- "Fast" keine Beeinflussung des Signals - **Differenzmodus**
- Hohe Dämpfung des Störsignals (Rauschen) - **Gleichtaktbetrieb**

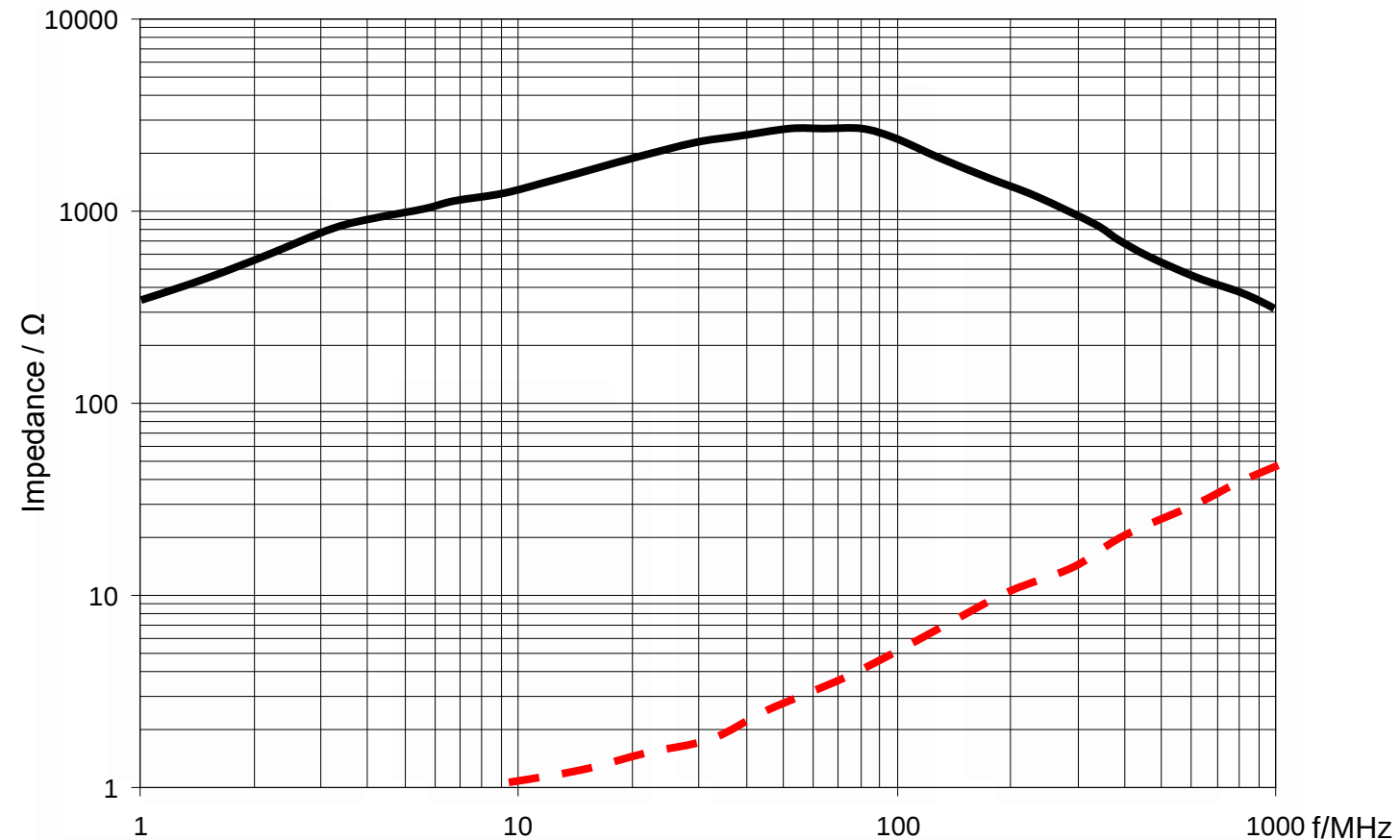


Gleichtaktfilter - Signaltheorien



- Der **differentielle Modus** - Impedanz dämpft auch das **Signal**.

Wann wird das Signal
gedämpft?

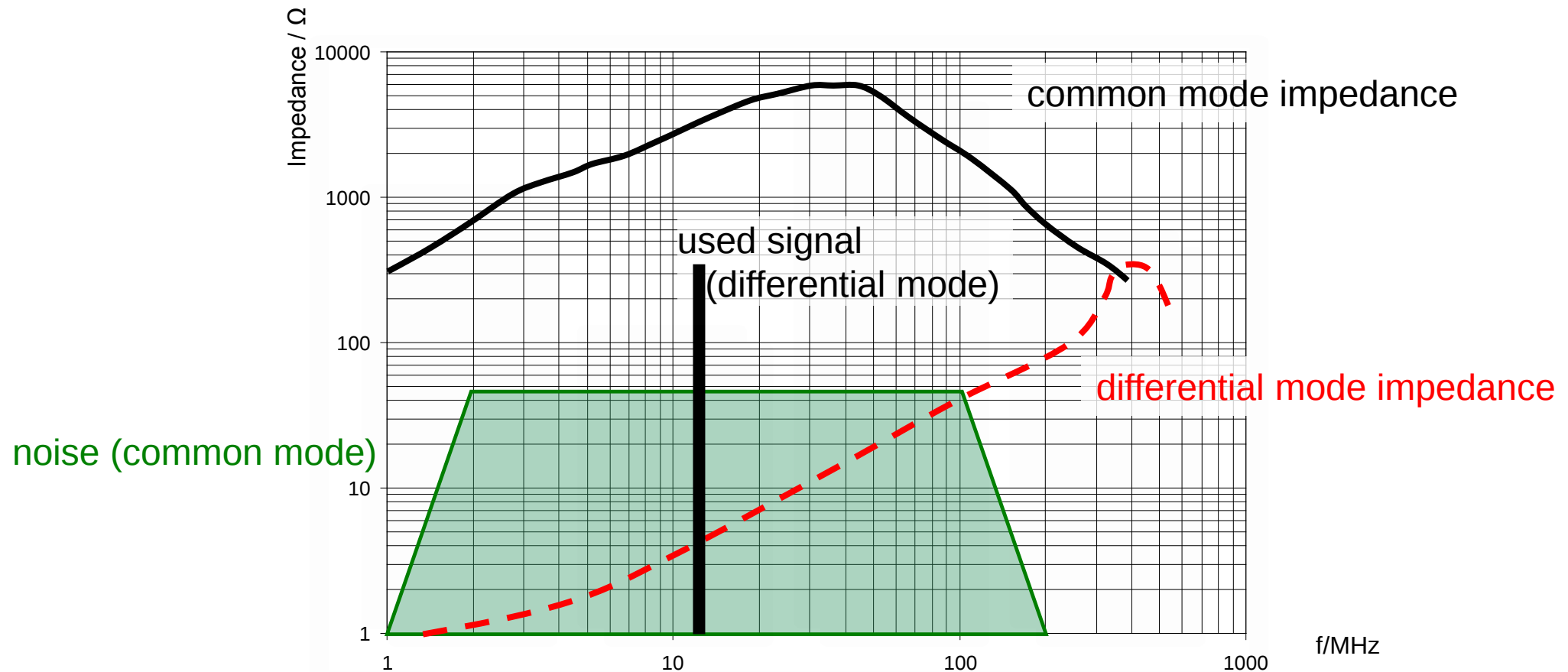


- Die Common Mode Impedanz dämpft nur das Rauschen.

Gleichtaktdrossel



- Beste Lösung zur Filterung von Rauschen in der Nähe der Signalfrequenz



Gleichtaktdrossel - Aufbau



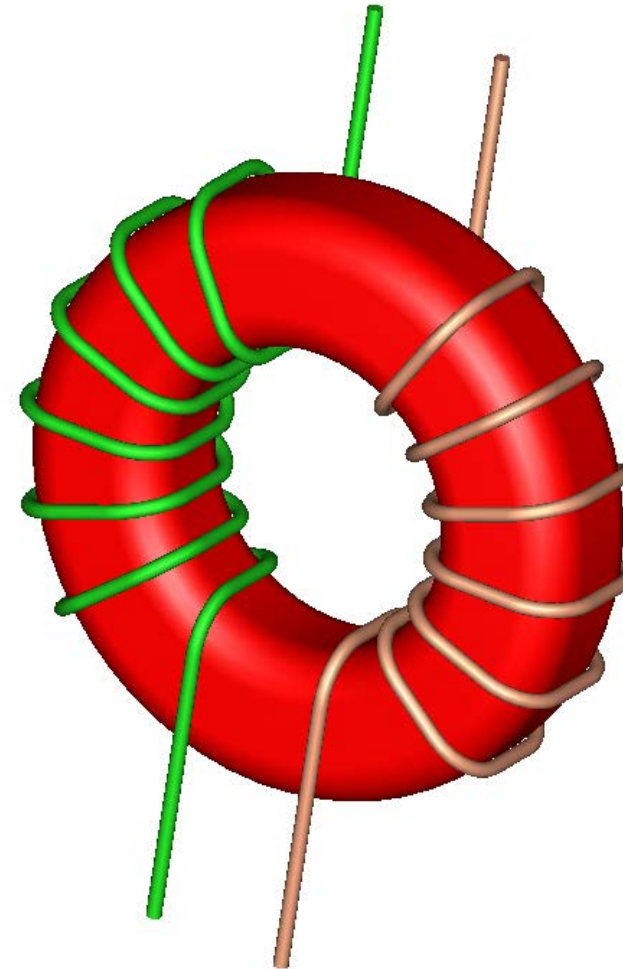
bifilar



< ? Vorteil ? >

$$L_S \sim 0,01 \dots 0,1 \% * L_R$$

sectional



$$L_S \sim 0,5 \dots 2\% * L_R$$

Gleichtaktdrossel - Aufbau



bifilar



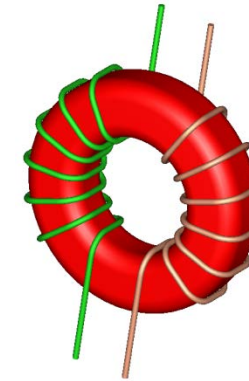
- Geringere differentielle Impedanz
- Hochkapazitive Kopplung
- Geringere Streuinduktivität

- Datenleitungen
- Sensorleitung
- USB
- HDMI
- CAN-Bus

- Niedrige kapazitive Kopplung
- Hohe Streuinduktivität

- Stromversorgung Ein-/Ausgangsfilter
→ CMC für Hauptstromleitungen (AC-Leitung)
- Hochspannungsanwendung (bis 400V)
- Entkopplung der Schaltnetzteile

sectional



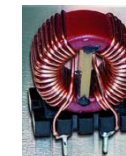
WE-CNSW



WE-SLM

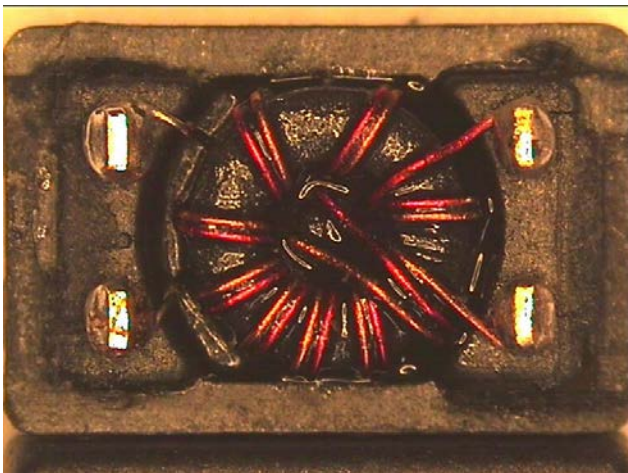


WE-LF seires

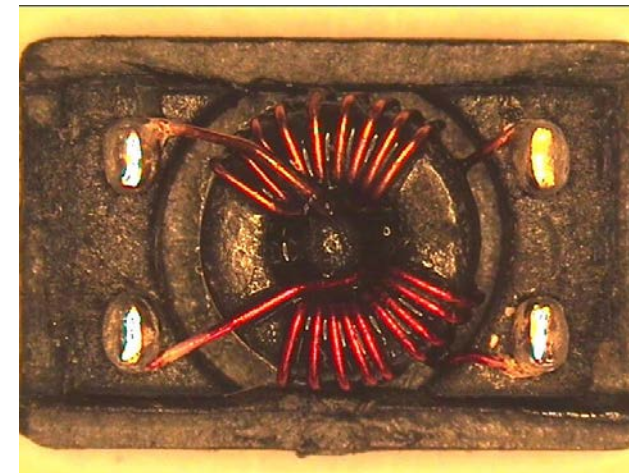


WE-CMB series

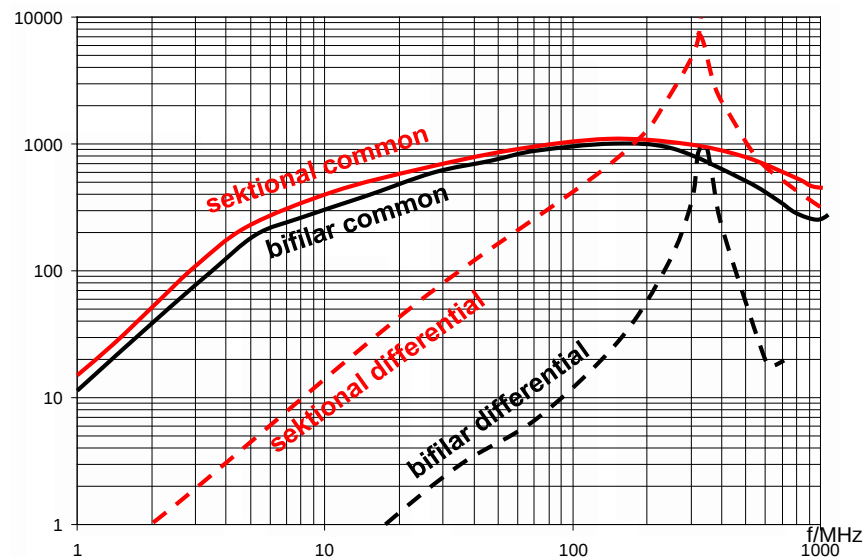
Gleichtaktdrosseln - Wicklungsbeispiel



WE-SL2 744227
bifilar winding



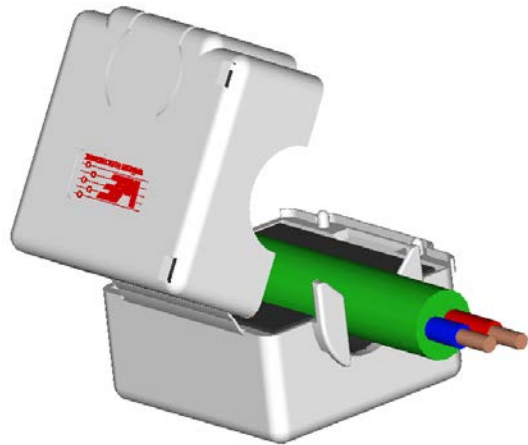
WE-SL2 744227S
sectional winding



Klappferrit - Aufbau



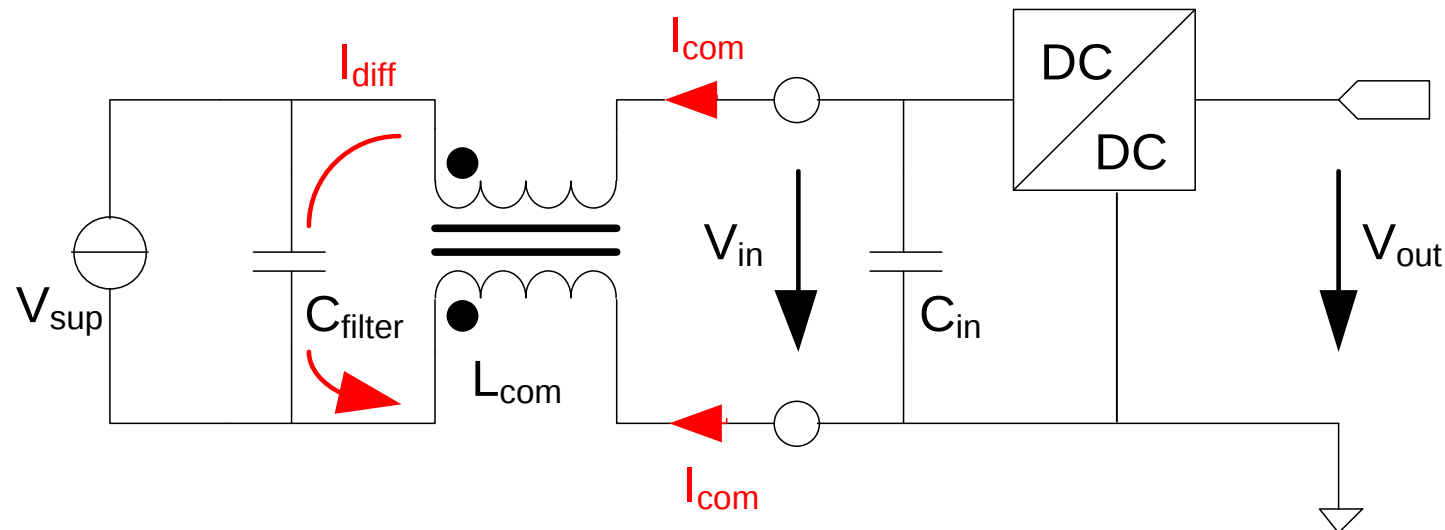
- Klappferrit wirkt wie eine Gleichaktdrossel
- Absorbiert Gleichtaktstörungen
- Vergleichbar mit der Bifilarwicklung von Gleichaktdrosseln



Entkopplung von Gleichtaktrauschen

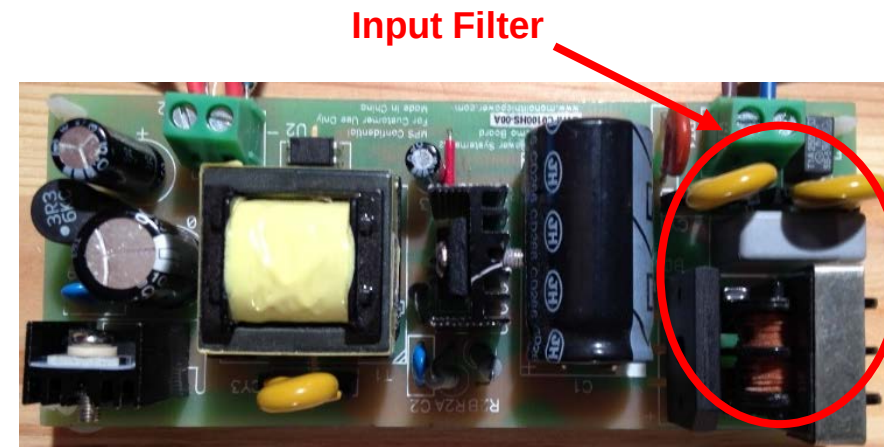
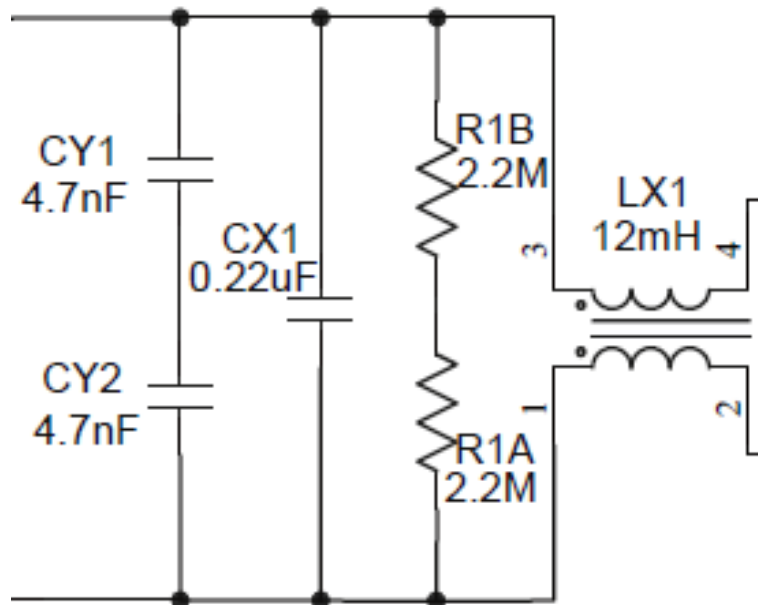


- Für die Gleichtaktunterdrückung verwenden Sie Gleichtaktdrosseln.
- Für die Stromversorgung über weite Strecken werden Gleichtaktdrosseln empfohlen.
- Zusätzlicher Kondensator reduziert Rauschen im Differenzmodus
 - Ein kleiner Wert für den Keramikkondensator wird empfohlen.
 - Kondensator und Gleichtaktdrossel fungieren als LC-Filter für Differenzmodusrauschen.
- Kann für Ein- und Ausgangsleitungen verwendet werden.



Abgestrahlte Emissionen des AC/DC-Wandlers

Verwendung des Eingangsfilters & Y -Cap

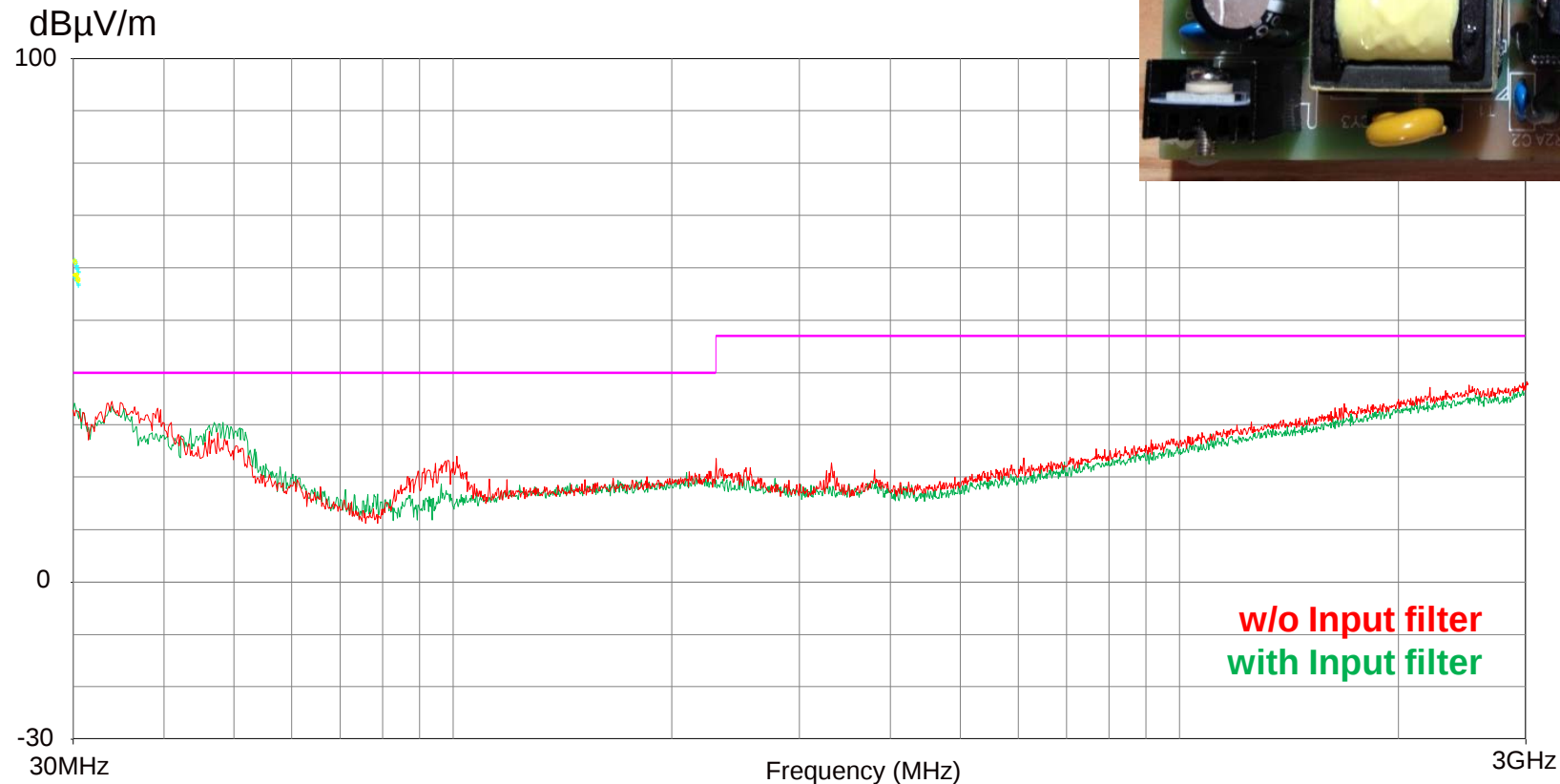


Y- Cap

Abgestrahlte Emissionen aus dem AC/DC-Wandler mit Eingangsfilter & Y-Cap



- U_{in} : 230Vac
 - I_{out} : 1,5A
 - Polarization: Horizontal
 - Norm: EN55022A
- U_{out} : 24Vdc
 f_{sw} : 100kHz

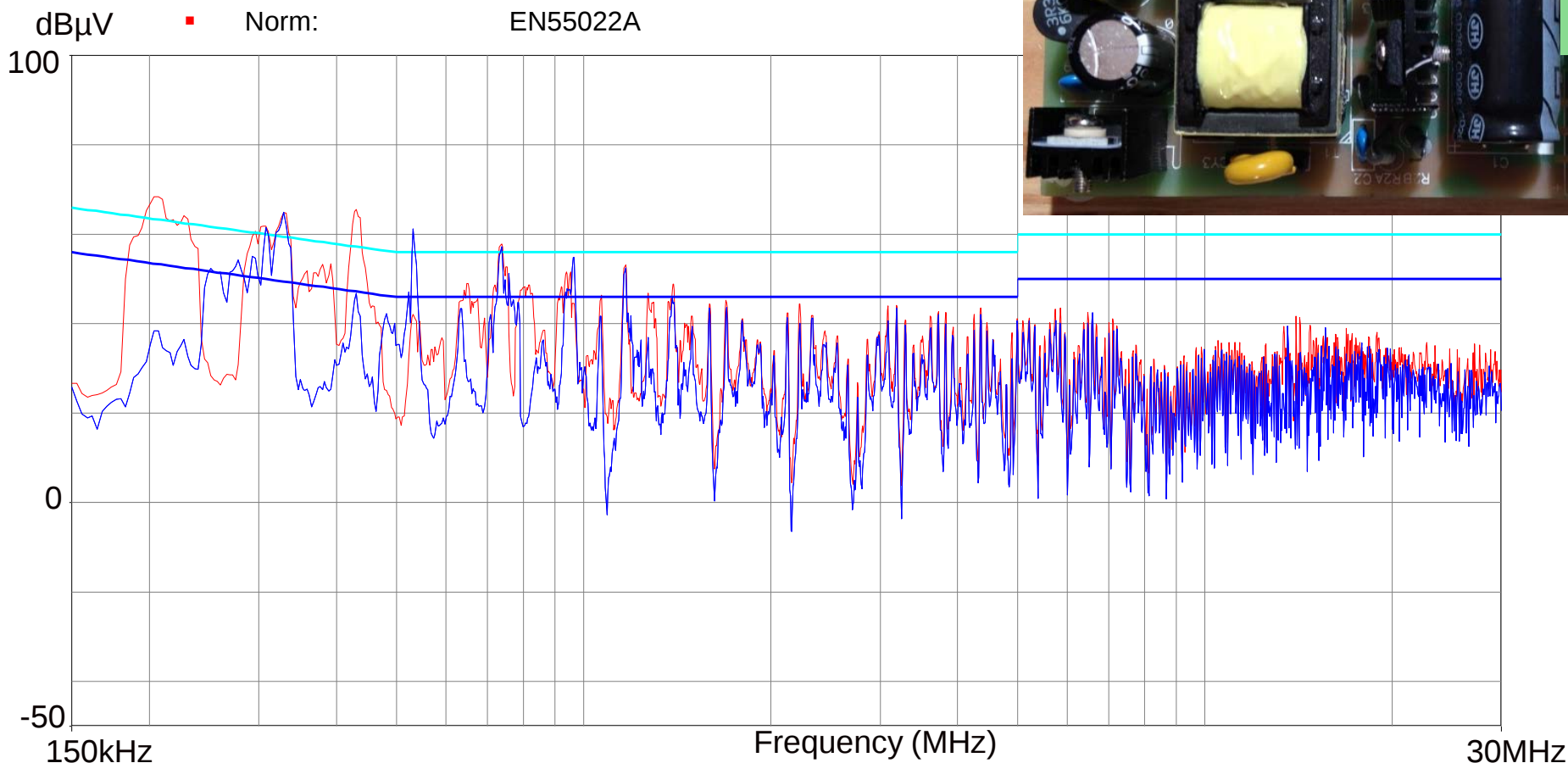


EVB von MPS

Leitungsgeführte Emissionen aus dem AC/DC-Wandler ohne Eingangsfilter mit Y-Kappe



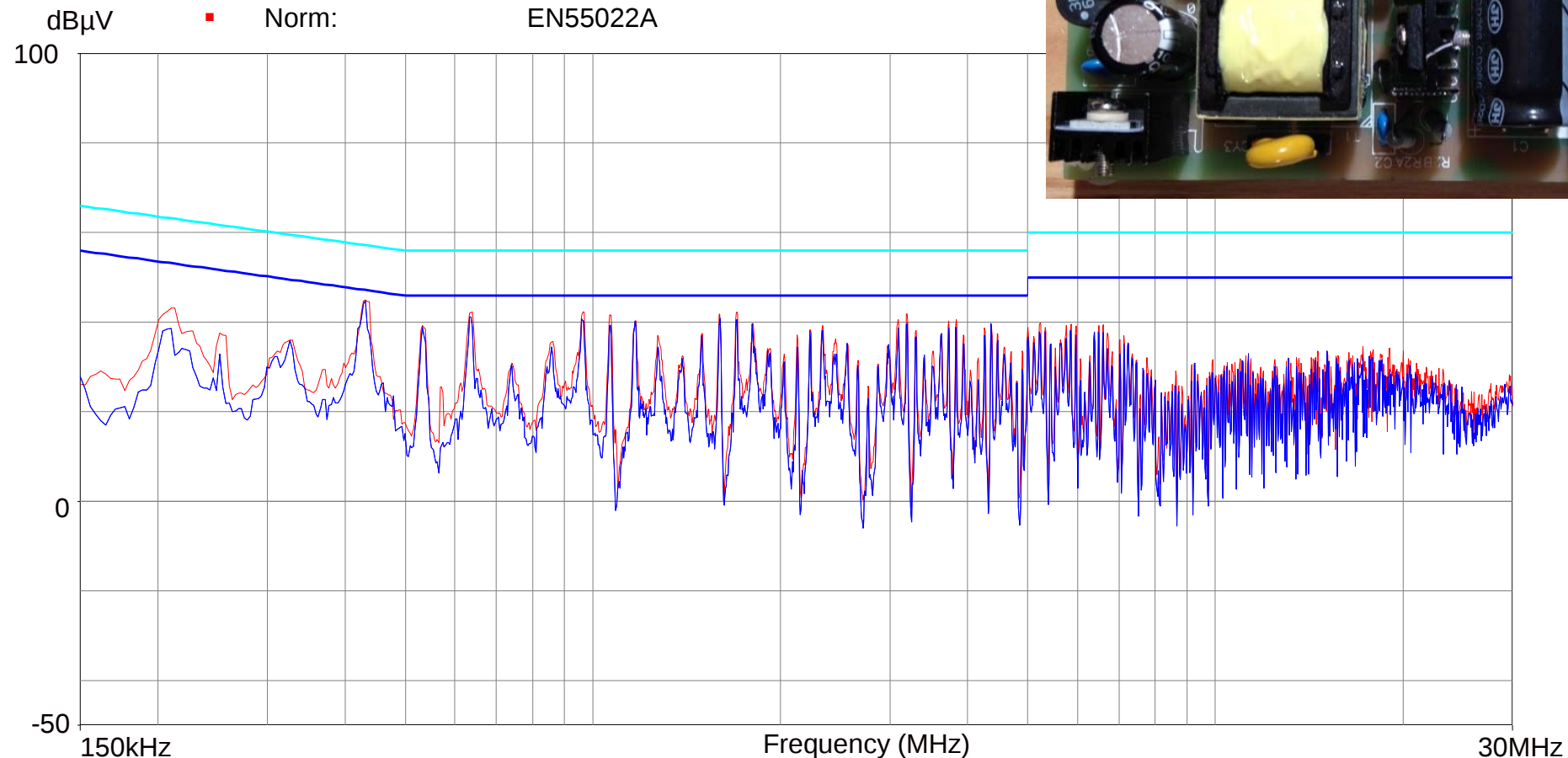
- U_{in} : 230VAC, U_{out} : 24VDC
- I_{out} : 1,5A, f_{sw} : 100kHz
- Measured: L to PE
- Norm: EN55022A



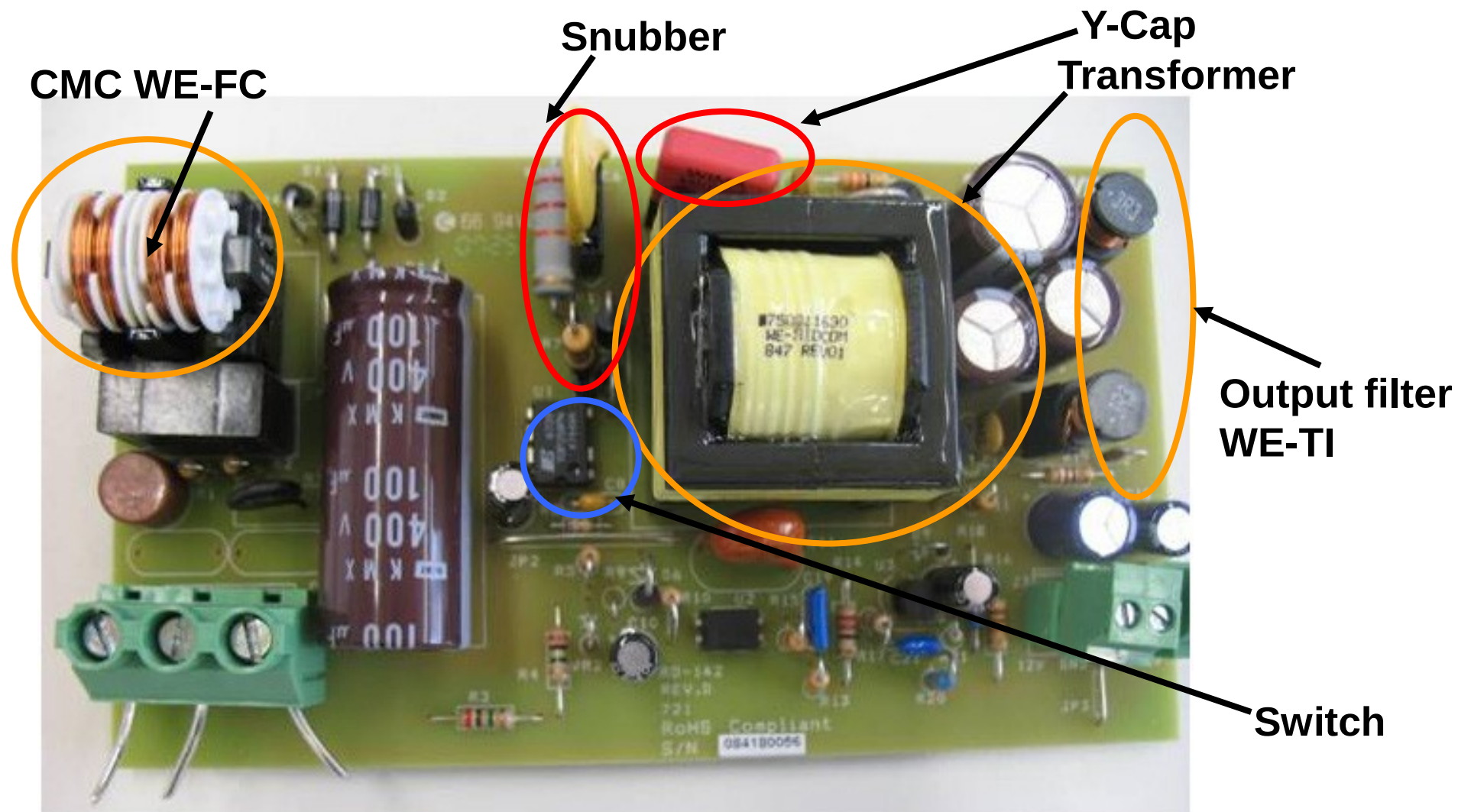
Leitungsgeführte Emissionen aus dem AC/DC-Wandler mit Eingangsfilter & Y-Kappe



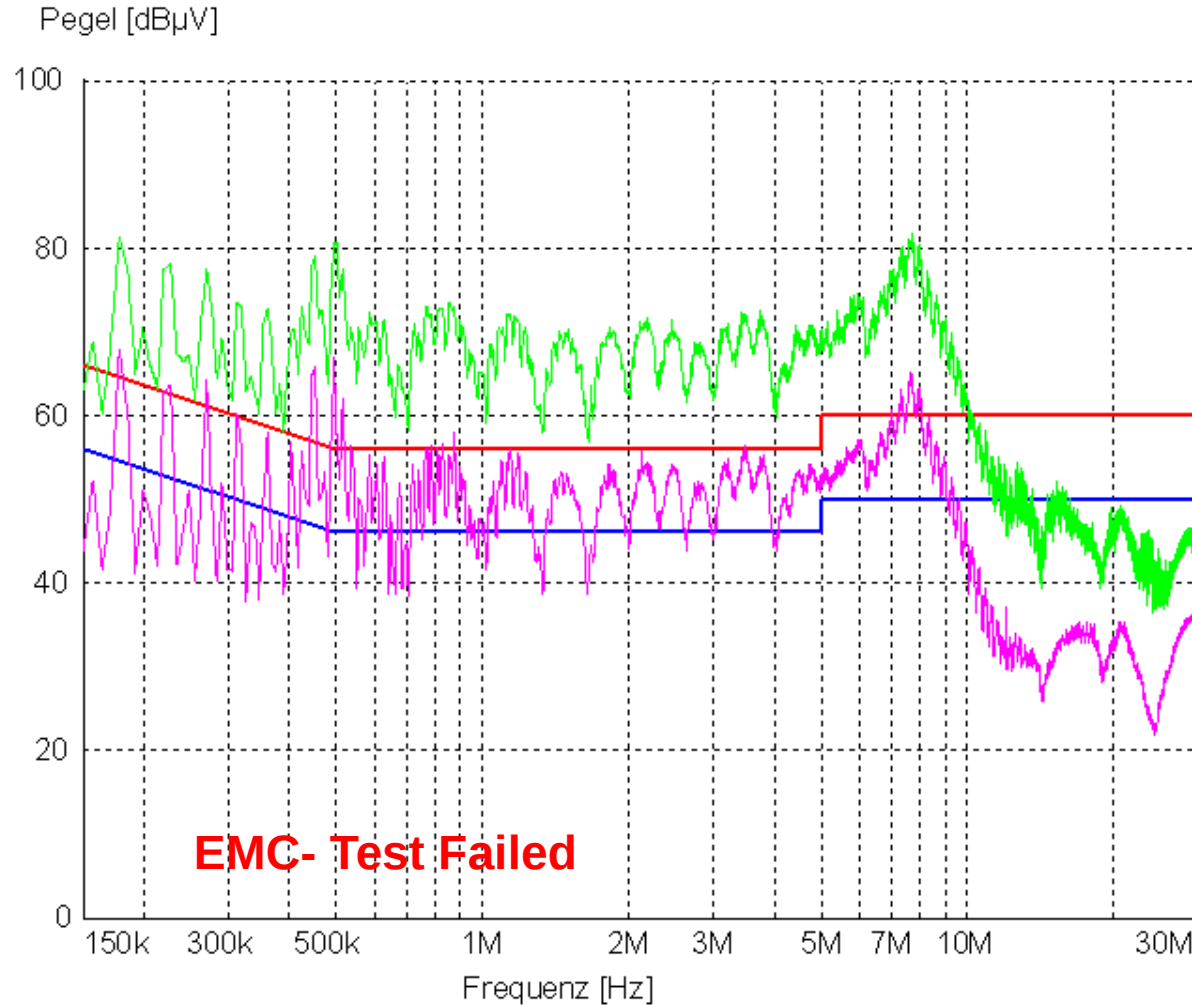
- U_{in} : 230VAC, U_{out} : 24VDC
- I_{out} : 1,5A, f_{sw} : 100kHz
- Measured: L to PE
- Norm: EN55022A



Beispiel AC/DC-Wandler



Beispiel AC/DC-Wandler



- Ohne Gleichtaktdrossel
- Mit angepasster Snubber
- Ohne angepasste Y-Kappe

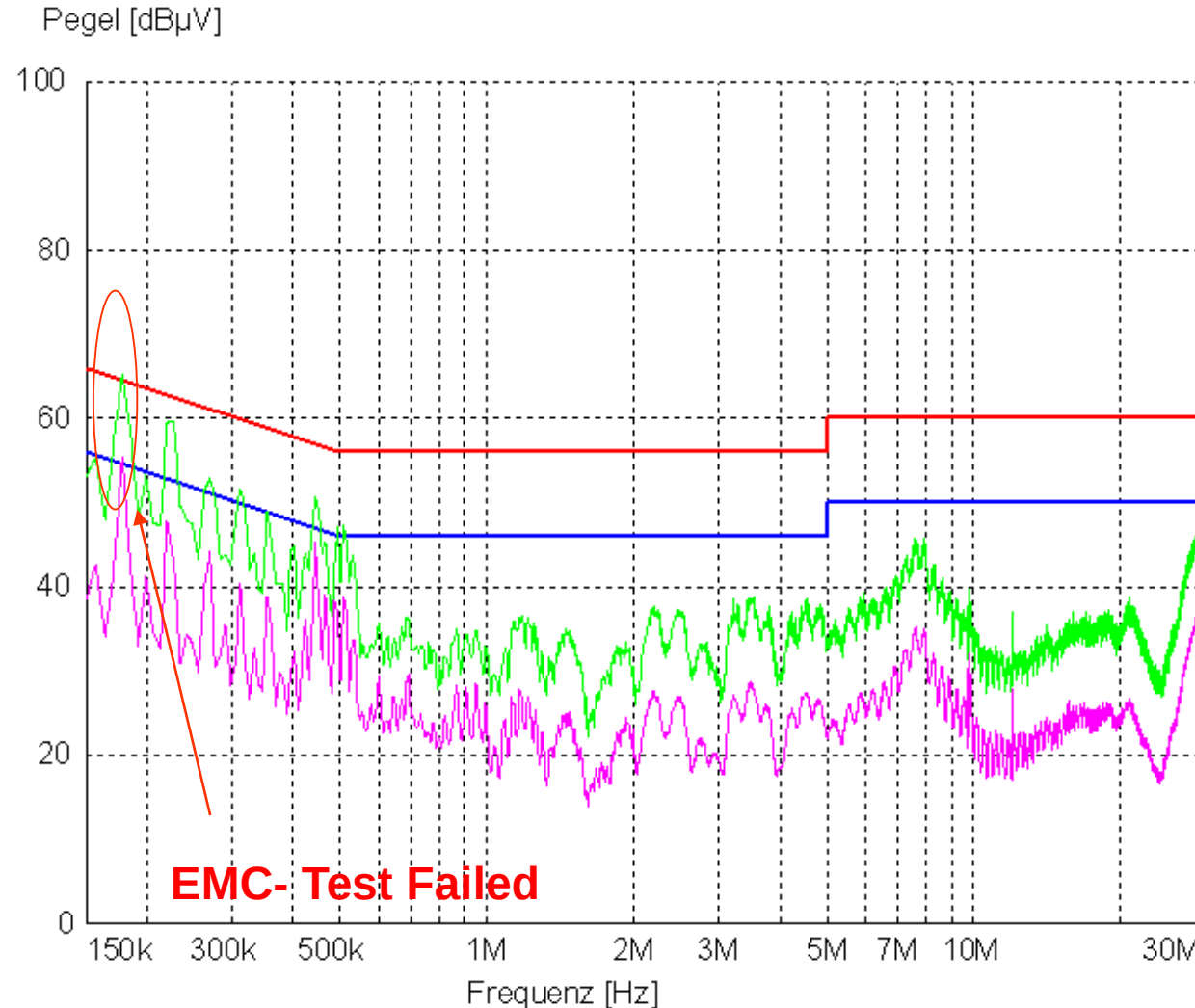
QPeak

Avg.

Peak

Avg.

Beispiel AC/DC-Wandler



- Mit Gleichtaktdrossel
- Mit angepasster Snubber
- Ohne angepasste Y-Kappe

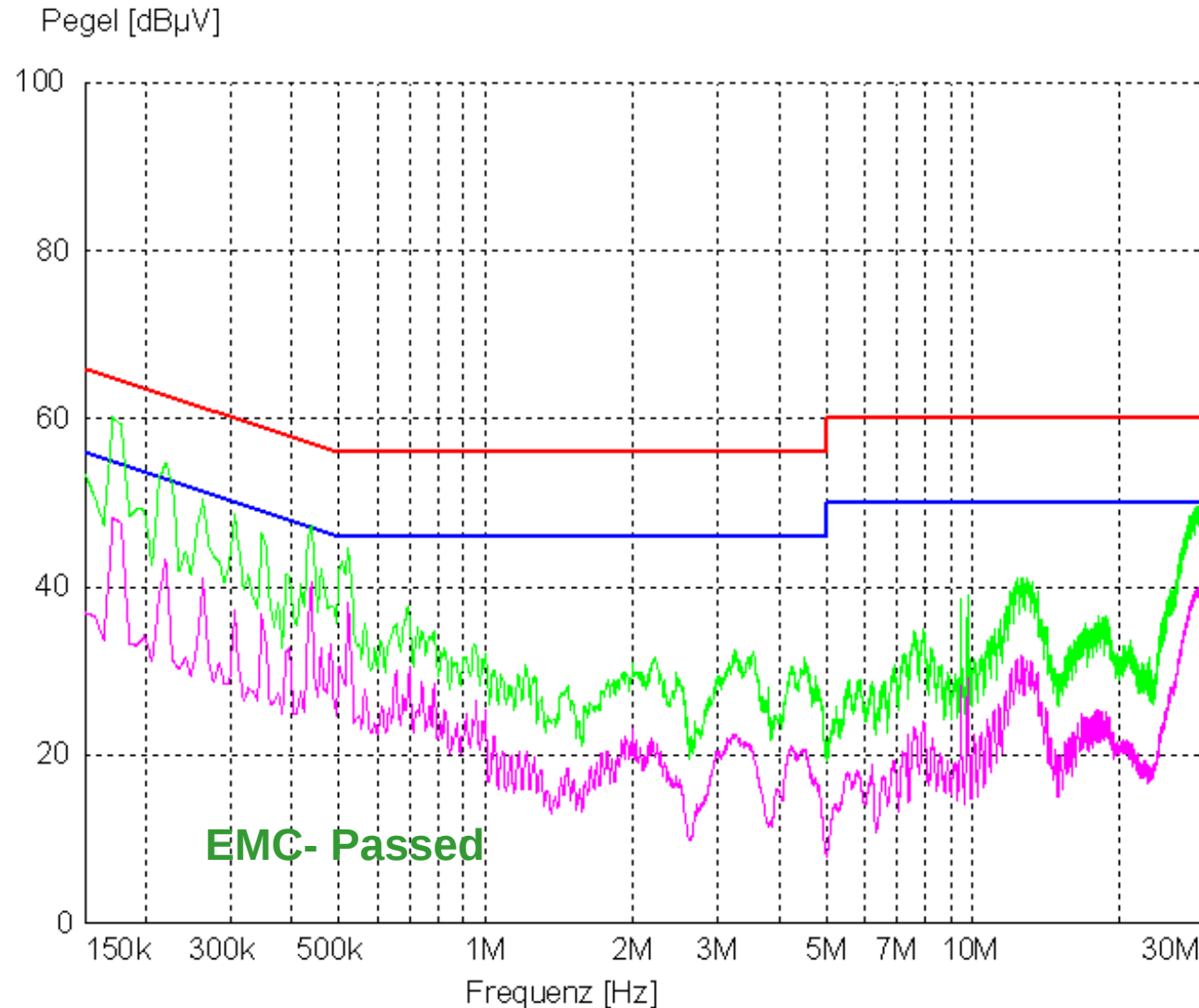
QPeak

Avg.

Peak

Avg.

Beispiel AC/DC-Wandler



- Mit Gleichtaktdrossel
- Mit angepasster Snubber
- Mit angepasstem Y-Cap

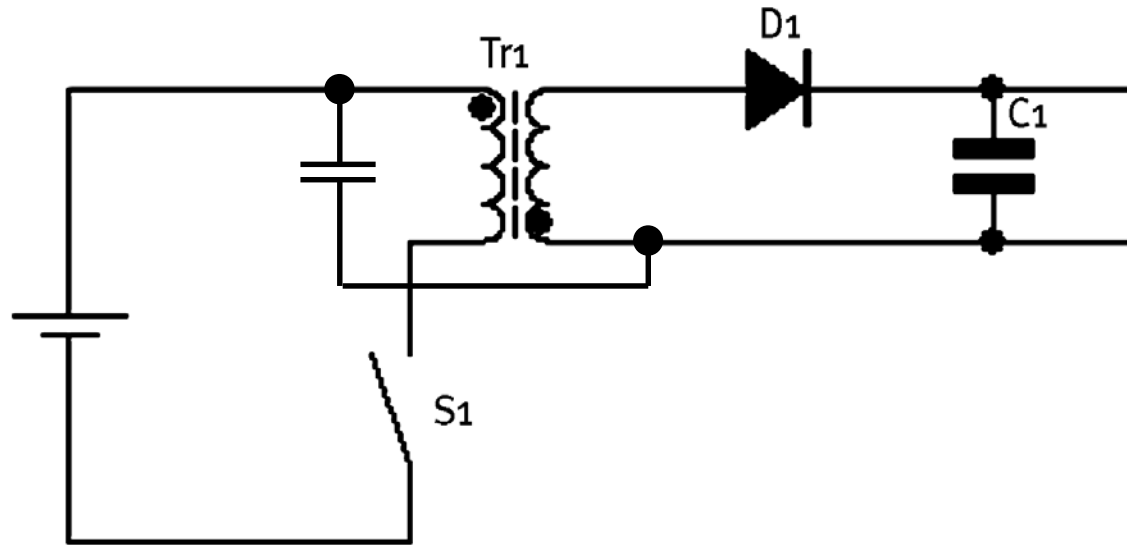
QPeak

Avg.

Peak

Avg.

Beispiel AC/DC-Wandler



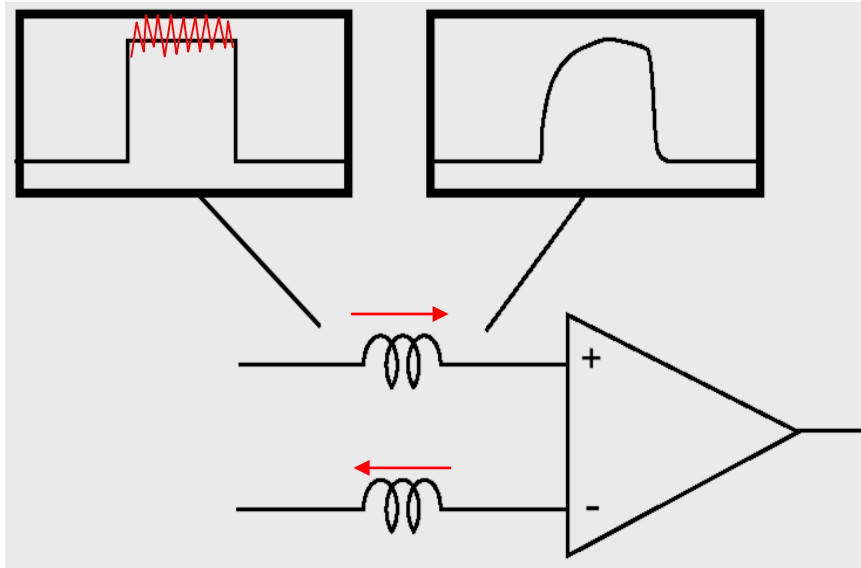
- Rauschunterdrückung durch den Transformator über C_{ww}
 - Rauschen sucht den Weg zum Primärkreislauf
 - Ohne Weg kann es zu Lärmemissionen kommen
- Y-Cap über dem Transformator reduziert Rauschen
 - Den Kondensator auf optimale Dämpfung und Rauschunterdrückung einstellen
 - Kondensator in der Regel im Bereich von 470pF bis 4,7nF
 - Y-Caps zu den Transformatorenklemmen nicht auf Schalter oder Diode schalten
 - So nah wie möglich am Transformator

Gleichtaktdrossel - Vorteile



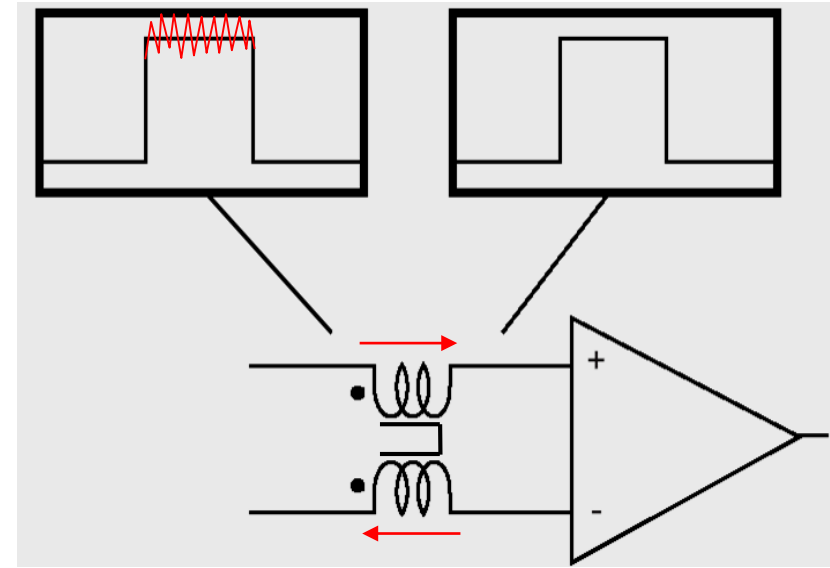
Filter mit zwei Induktivitäten

Filter input Filter output



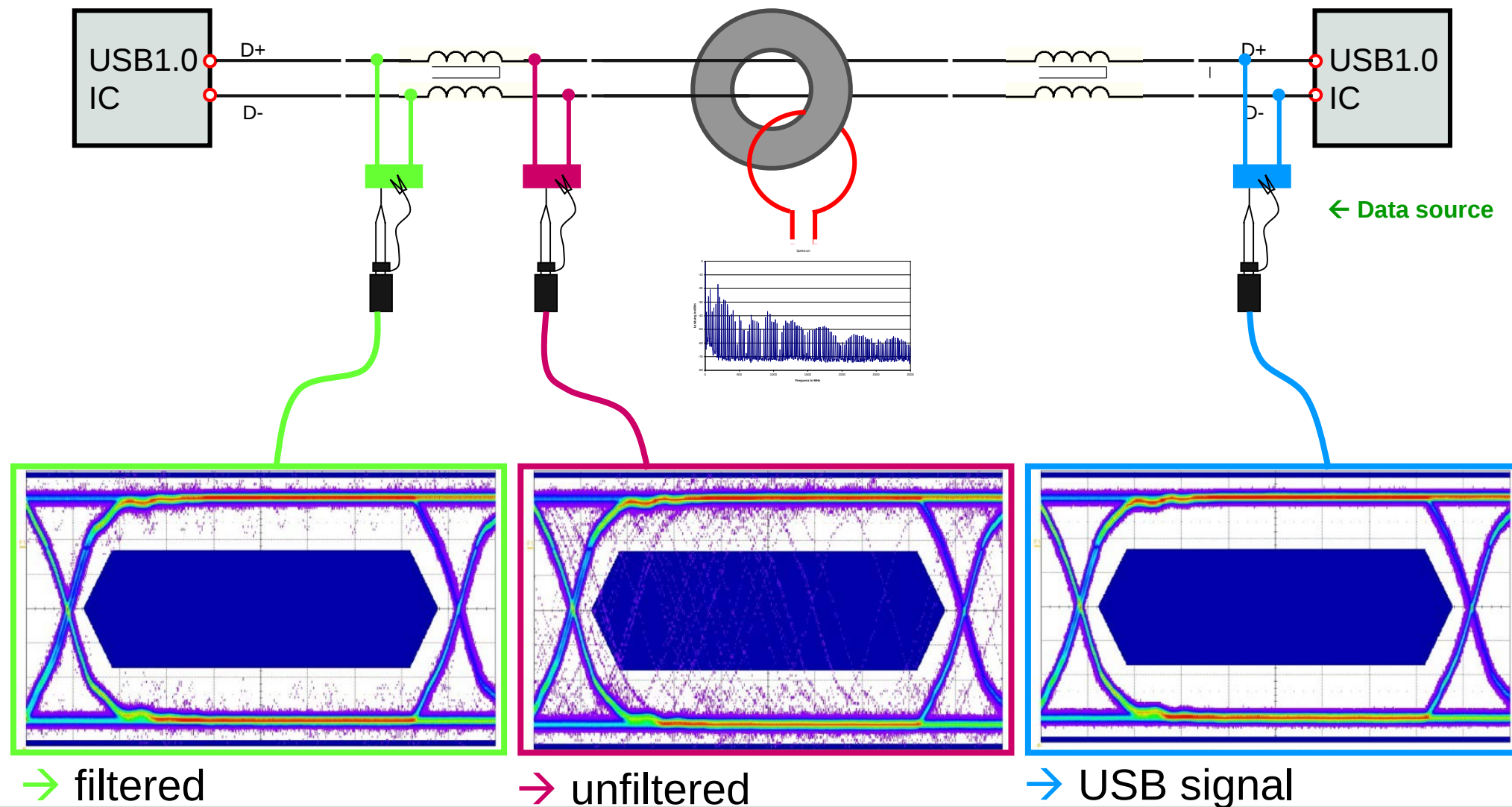
Filter mit Gleichtaktdrossel

Filter input Filter output

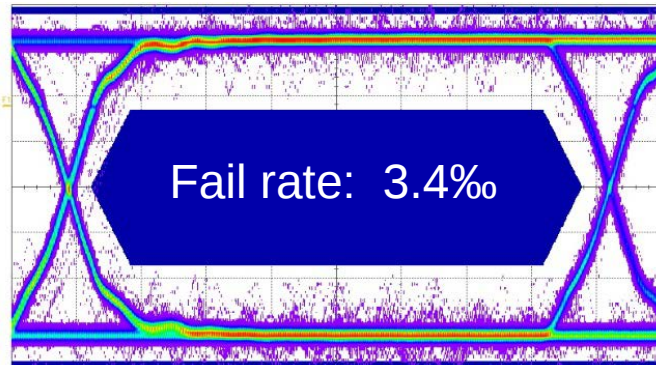


- Signal nicht betroffen
- Geräuschkämpfung auch in der Nähe der Signalfrequenz

Gleichtaktdrossel - Anwendung USB



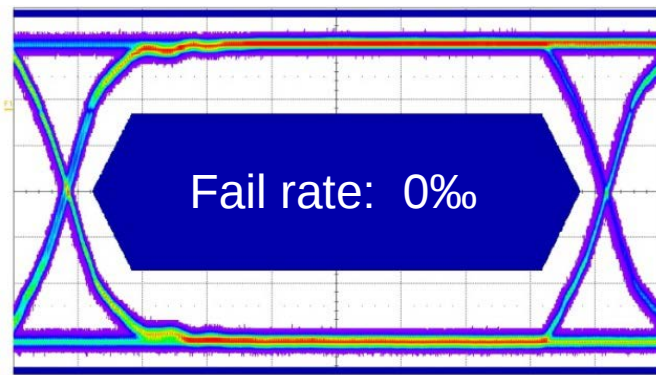
Gleichtaktdrossel - Auswertung



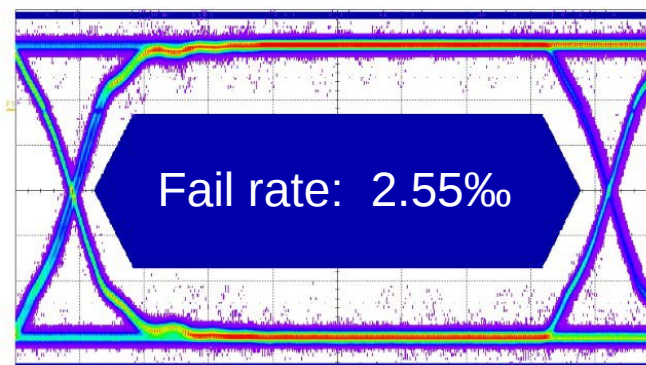
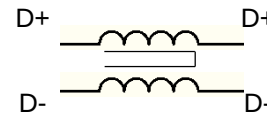
32 Ohm
0.7 Ohm @ 12 MHz

CM →
DM →

CM → 363 Ohm
DM → 1 Ohm @ 12 MHz



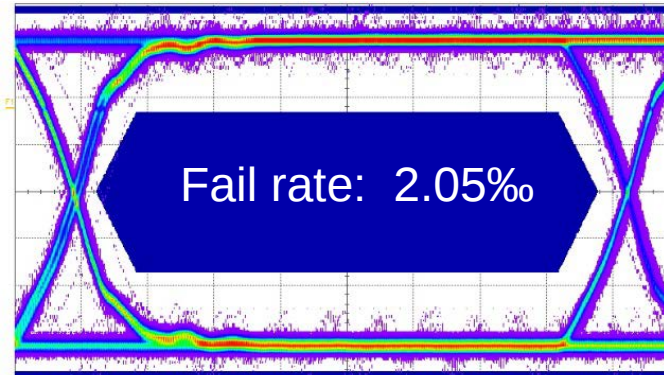
Increase Z



CM → 41 Ohm
DM → 0.7 Ohm @ 12 MHz



CM → 77 Ohm
DM → 1 Ohm @ 12 MHz

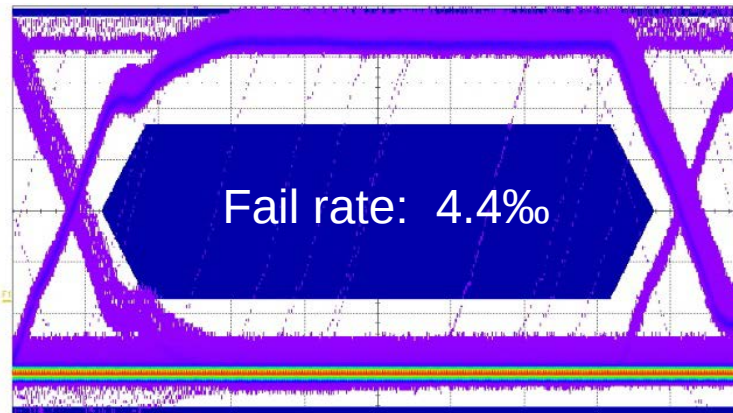


Increase Z

SMD-Ferrit - Anwendung USB

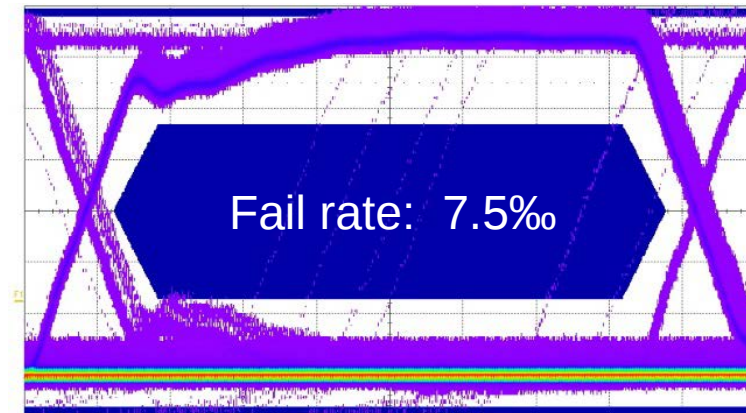


Verwendung eines WE-CBF anstelle einer Gleichtaktdrossel



DM → 35 Ohm @ 12 MHz

Increase Z



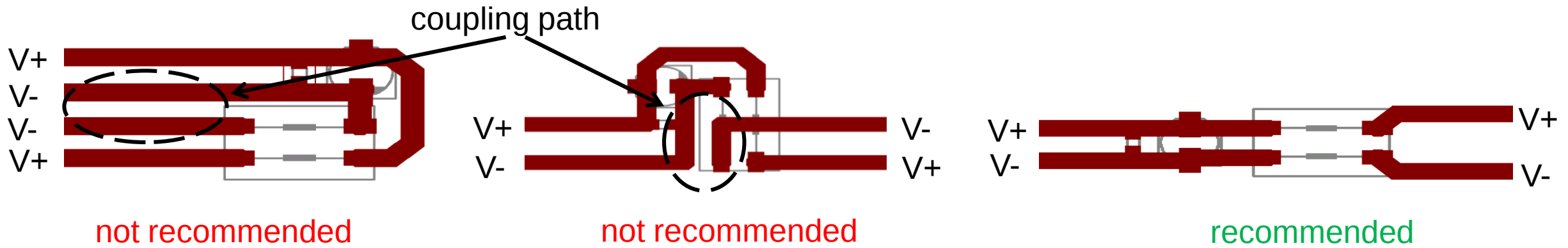
DM → 110 Ohm @ 12 MHz



PCB - LAYOUT EMPFEHLUNGEN

Empfehlungen für das PCB-Layout

Gleichtakt-Rauschfilter



- Vermeiden Sie das indirekte Routing von Leistungsspuren
- Vermeiden Sie jegliche Art von Kopplungen → "kapazitiv" oder "induktiv"
- Der Wechselstrom sollte über die Gleichtaktdrossel fließen
- Leiten von Leistungsspuren auf der Komponentenebene
- Verwenden Sie keine Via's in der Nähe von ungefilterten verrauschten Bereichen

REDEXPERT

www.we-online.com/redexpert

[Start](#) [Würth Elektronik Group](#) [Sign in](#) [English](#)

more than you expect

Inductors **REDEXPERT®**

Buck Converter

PARAMETERS

Input
 $V_{in,min}$ 10 V $V_{in,nom}$ 12 V $V_{in,max}$ 15 V

Output
 V_{out} 5 V I_{out} 2 A

Switch
 f_{sw} 500 kHz

Inductor
 ΔI 40 %

Diode
 V_f 0.3 V

[Display details](#)

Filters: Type = Single $I_R \geq 2.00$ A $I_{sat} \geq 2.40$ A $5.28 \mu H \leq L \leq 9.80 \mu H$

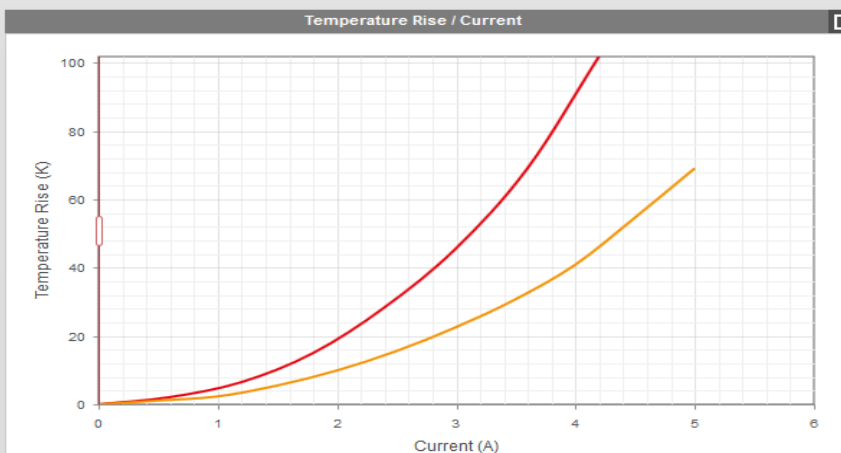
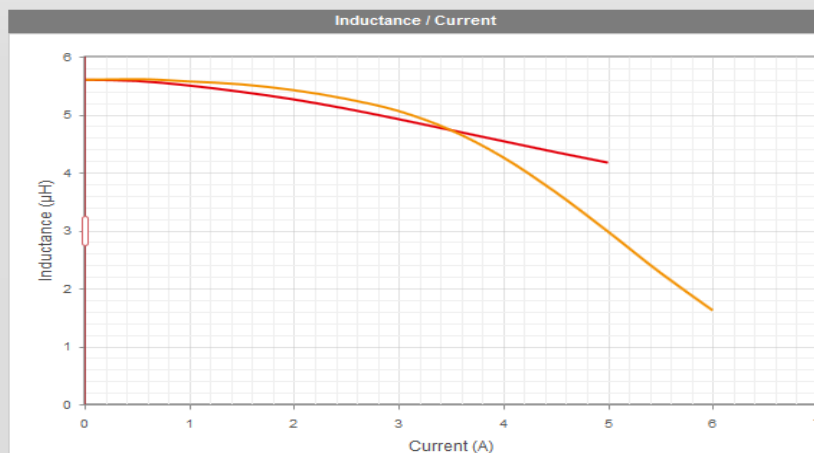
Series	Order Code	Spec	Type	L	R _{DC,typ}	I _R	I _{sat}	Size	Length	Width	H _t
WE-MAPI	74438356056		Single	5.60 μH	68.0 m Ω	2.80 A	4.60 A	4020	4.1 mm	4.1 mm	
WE-TPC	744071056		Single	5.60 μH	20.0 m Ω	4.00 A	4.00 A	8043	8.0 mm	8.0 mm	
WE-TPC	7440650068		Single	6.80 μH	25.0 m Ω	4.20 A	3.60 A	1028	10 mm	10 mm	
WE-TPC	7440650082		Single	8.20 μH	28.5 m Ω	3.80 A	2.80 A	1028	10 mm	10 mm	
WE-TPC	7440660062		Single	6.20 μH	16.5 m Ω	4.30 A	4.50 A	1038	10 mm	10 mm	
WE-SPC	74408943068		Single	6.80 μH	51.0 m Ω	2.00 A	2.70 A	4838	4.8 mm	4.8 mm	

74438356056
 WE-MAPI - Single
 5.60 μH · 68.0 m Ω
 2.80 A · 4.60 A

744071056
 WE-TPC - Single
 5.60 μH · 20.0 m Ω
 4.00 A · 4.00 A

Please, register to add more parts

[Share](#)
[Free Samples](#)
[Tidy Up](#)



Simulation – WEBENCH



- http://www.we-online.de/web/de/electronic_components/toolbox_pbs/webench.php

My Designs/Projects English | 日本語 | 简体中文 | 繁體中文 | 한국어 | Русский Язык | Português | Deutsch Welcome

WE WÜRTH ELEKTRONIK

New Solutions Visualizer Assistant

RECOMMENDED PARTS

Try WEBENCH Visualizer
Compare all designs in seconds

WEBENCH® Optimizer

Lowest BOM Cost
Smallest Footprint
Highest Efficiency

WEBENCH® Visualizer

Switching Regulator LM3102
Open Design

Design Note	High Efficiency
Topology	Buck
Footprint (mm2)	340
Efficiency (%)	87%
Frequency (kHz)	315
BOM Cost	\$4.59

Switching Regulator LM25576
Open Design

Design Note	Fast Transient R...
Topology	Buck
Footprint (mm2)	278
Efficiency (%)	85%
Frequency (kHz)	361
BOM Cost	\$5.69

Switching Regulator LM22670-ADJ
Open Design

Design Note	Adjustable for V...
Topology	Buck
Footprint (mm2)	348
Efficiency (%)	83%
Frequency (kHz)	388
BOM Cost	\$4.51

Switcher Solutions

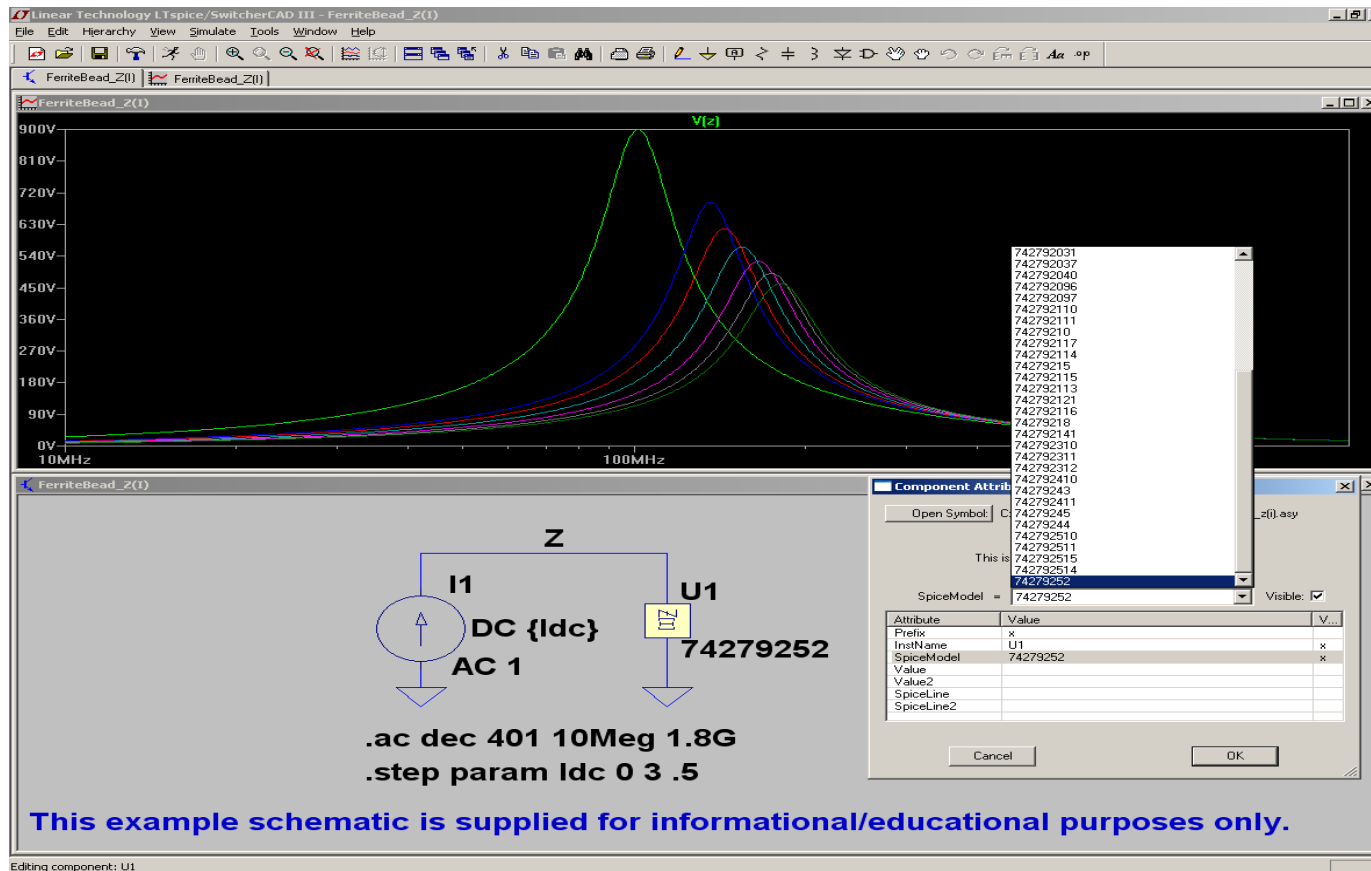
Switcher Solutions: (146 found) ☐ Show All Columns ☐ Show Alternate Topologies ☐ Show Only Modules

Part	Create	WEBENCH® Tools	Topology	Efficiency (%)	Footprint (mm2)	Frequency (kHz)	Vout p-p (mV)	Cross Freq (kHz)	Phase Margin (deg)	BOM Cost	BOM Count	Iout Max (A)	Design Considerations
LM3151-3.3	Open Design		Buck	91%	524	245	6.01	NA	NA	\$5.15	10	12.00	SIMPLE SWITCHER(r) Controller
LM43602	Open Design		Buck	89%	326	350	1.90	14	75	\$4.17	13	2.00	SIMPLE SWITCHER Buck Regulator
LM3150	Open Design		Buck	93%	443	255	5.52	NA	NA	\$5.89	15	15.00	SIMPLE SWITCHER(r) Controller
TPS54339	Open Design		Buck	88%	285	646	4.69	NA	NA	\$2.83	12	3.00	Wide Vin Buck Converter with EcoMode
TPS54239E	Open Design		Buck	88%	285	646	4.72	NA	NA	\$2.73	12	2.00	Wide Vin Buck Converter with EcoMode
TPS54335A	Open Design		Buck	88%	340	270	1.66	16	59	\$3.43	13	3.00	28V, 3A, Low Iq, Synchronous, monolithic buck converter with Eco-mode
LM43603	Open Design		Buck	89%	230	350	3.34	12	74	\$5.53	13	3.00	SIMPLE SWITCHER Buck Regulator

Simulation – LTspice



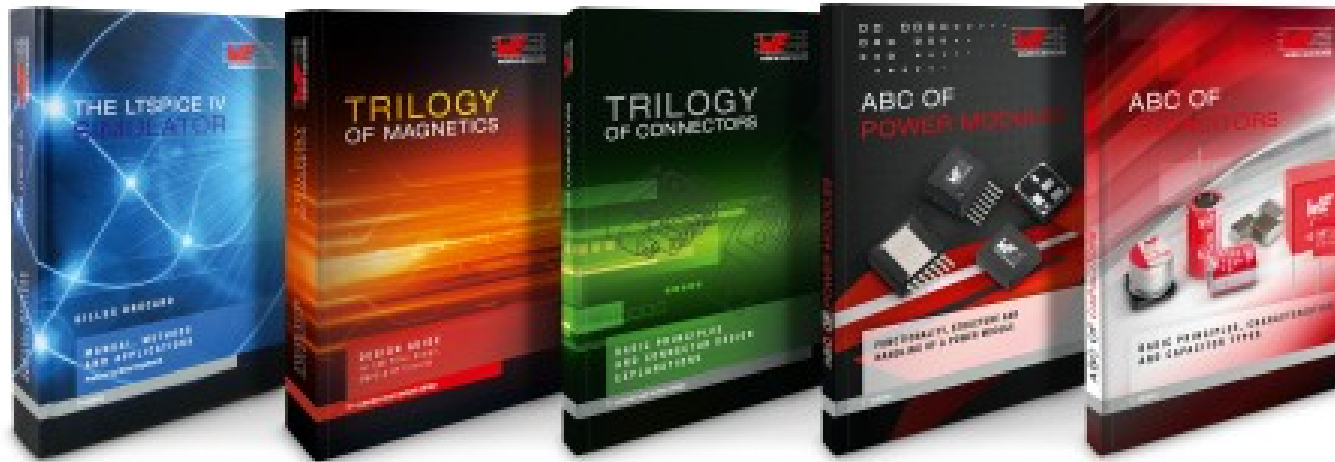
- <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>



Select Stock Inductor

L[μH]	Mfg.	Part No.	Ipk[A]	Rser[Ω]
6.8	Würth Elektronik	744029006 WE-TPC	0.650	0.290
10.0	Würth Elektronik	744029100 WE-TPC	0.500	0.390
1.2	Würth Elektronik	744030001 WE-TPC	1.100	0.088
2.2	Würth Elektronik	744030002 WE-TPC	0.800	0.136
3.3	Würth Elektronik	744030003 WE-TPC	0.720	0.180
4.7	Würth Elektronik	744030004 WE-TPC	0.500	0.230
6.8	Würth Elektronik	744030006 WE-TPC	0.430	0.230
10.0	Würth Elektronik	744030100 WE-TPC	0.350	0.610
22.0	Würth Elektronik	744030220 WE-TPC	0.250	1.150
1.5	Würth Elektronik	744031001 WE-TPC	1.550	0.035
2.5	Würth Elektronik	744031002 WE-TPC	1.250	0.045
3.6	Würth Elektronik	744031003 WE-TPC	1.100	0.065
4.7	Würth Elektronik	744031004 WE-TPC	0.900	0.085
6.8	Würth Elektronik	744031006 WE-TPC	0.750	0.125
10.0	Würth Elektronik	744031100 WE-TPC	0.560	0.165
100.0	Würth Elektronik	744031101 WE-TPC	0.190	2.050
15.0	Würth Elektronik	744031150 WE-TPC	0.450	0.230
22.0	Würth Elektronik	744031220 WE-TPC	0.360	0.360
33.0	Würth Elektronik	744031330 WE-TPC	0.320	0.545
47.0	Würth Elektronik	744031470 WE-TPC	0.250	0.800
1.0	Würth Elektronik	744042001 WE-TPC	2.600	0.020
1.8	Würth Elektronik	7440420018 WE-TPC	2.400	0.050
2.7	Würth Elektronik	7440420027 WE-TPC	2.200	0.050
3.3	Würth Elektronik	744042003 WE-TPC	1.800	0.050
3.9	Würth Elektronik	7440420039 WE-TPC	1.700	0.050
4.7	Würth Elektronik	744042004 WE-TPC	1.650	0.070
5.6	Würth Elektronik	744042005 WE-TPC	1.350	0.080
6.8	Würth Elektronik	744042006 WE-TPC	1.250	0.080
8.2	Würth Elektronik	744042008 WE-TPC	1.100	0.100
10.0	Würth Elektronik	744042100 WE-TPC	1.100	0.130
100.0	Würth Elektronik	744042101 WE-TPC	0.300	1.170
12.0	Würth Elektronik	744042120 WE-TPC	0.950	0.150
15.0	Würth Elektronik	744042150 WE-TPC	0.750	0.190
18.0	Würth Elektronik	744042180 WE-TPC	0.700	0.270
22.0	Würth Elektronik	744042220 WE-TPC	0.600	0.280
1.2	Würth Elektronik	7440430012 WE-TPC	2.800	0.015
1.8	Würth Elektronik	7440430018 WE-TPC	2.450	0.020
2.2	Würth Elektronik	7440430022 WE-TPC	2.350	0.027
2.7	Würth Elektronik	7440430027 WE-TPC	1.950	0.028
3.3	Würth Elektronik	744043003 WE-TPC	1.800	0.030
3.9	Würth Elektronik	7440430039 WE-TPC	1.650	0.050
4.7	Würth Elektronik	744043004 WE-TPC	1.700	0.050
5.6	Würth Elektronik	744043005 WE-TPC	1.300	0.070
6.8	Würth Elektronik	744043006 WE-TPC	1.250	0.080
8.2	Würth Elektronik	744043008 WE-TPC	1.050	0.090
10.0	Würth Elektronik	744043100 WE-TPC	1.000	0.095
100.0	Würth Elektronik	744043101 WE-TPC	0.290	0.550
12.0	Würth Elektronik	744043120 WE-TPC	0.950	0.100
15.0	Würth Elektronik	744043150 WE-TPC	0.750	0.120
18.0	Würth Elektronik	744043180 WE-TPC	0.700	0.150
22.0	Würth Elektronik	744043220 WE-TPC	0.700	0.160
220.0	Würth Elektronik	744043221 WE-TPC	1.008	0.095
33.0	Würth Elektronik	744043330 WE-TPC	0.550	0.183
47.0	Würth Elektronik	744043470 WE-TPC	0.500	0.218
68.0	Würth Elektronik	744043680 WE-TPC	0.400	0.310
1.2	Würth Elektronik	7440520012 WE-TPC	3.500	0.020
1.8	Würth Elektronik	7440520018 WE-TPC	3.000	0.030
2.5	Würth Elektronik	744052002 WE-TPC	2.700	0.040
3.0	Würth Elektronik	744052003 WE-TPC	2.400	0.040
3.9	Würth Elektronik	7440520039 WE-TPC	2.100	0.050

Fachbücher



1. LTspice Fachbuch

→ Anwendungshandbuch für Simulationen in LTspice IV.

2. Trilogie der induktiven Bauelemente

→ Applikationshandbuch für EMV-Filter, getaktete Stromversorgungen & HF-Schaltungen

3. Trilogie der Steckverbinder

→ Applikationshandbuch zur optimierten Steckverbinderauswahl

4. Abc der Power Module

→ Funktionsweise, Aufbau und Handling eines Power Modules

5. Abc der Kondensatoren

→ Grundlagen, Kenngrößen und Kondensatortypen

Fragen?



Rufen Sie uns einfach an. Wir helfen Ihnen!

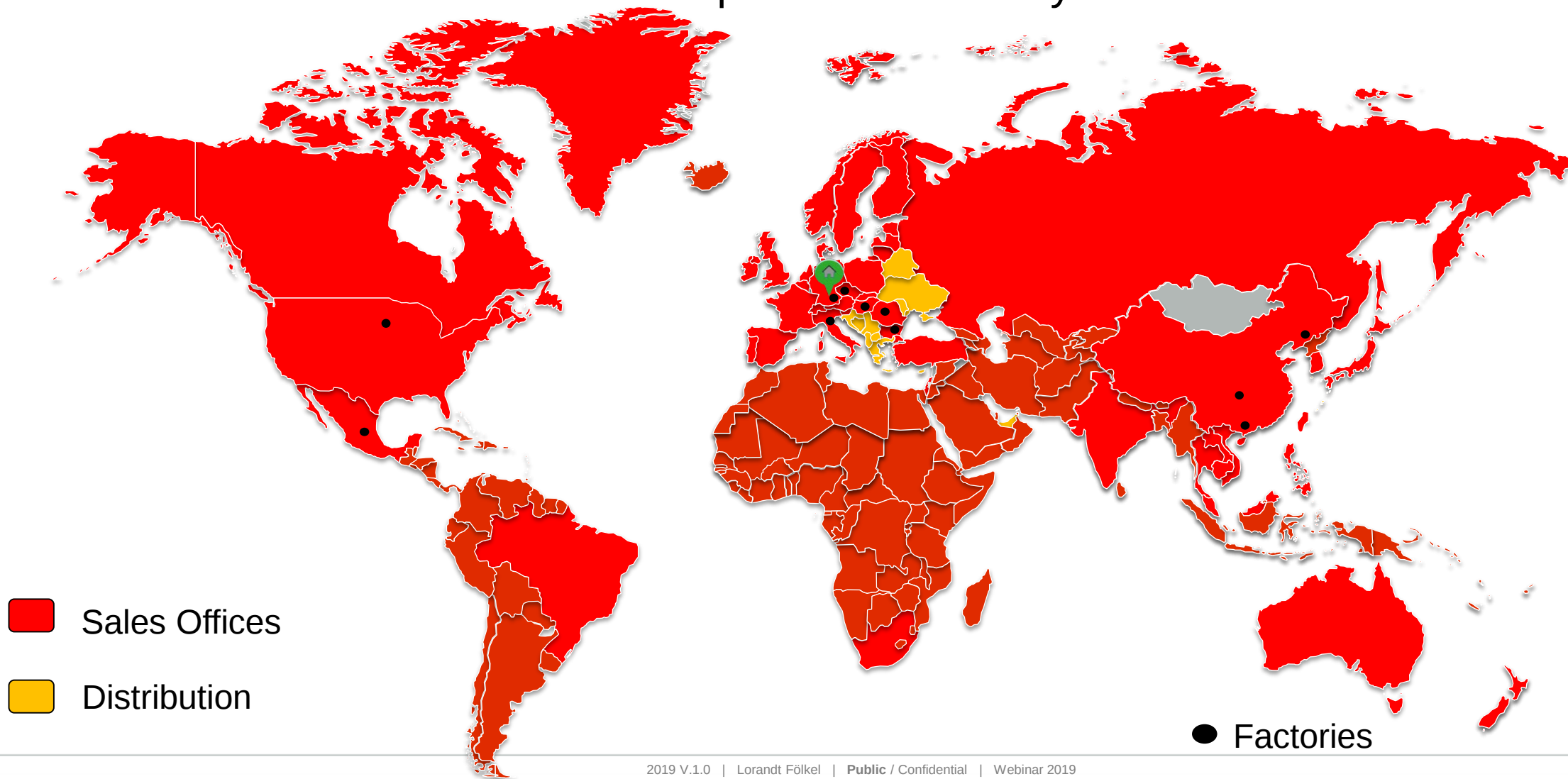
Nicht aufgeben!



Globally available. Locally present!



Headquarter in Germany





Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG



Hier finden Sie uns:

www.we-online.de

Technischer Support nötig?



Follow me on ...



[Twitter.com/askLorandt](https://twitter.com/askLorandt)



we-online.com/youtube



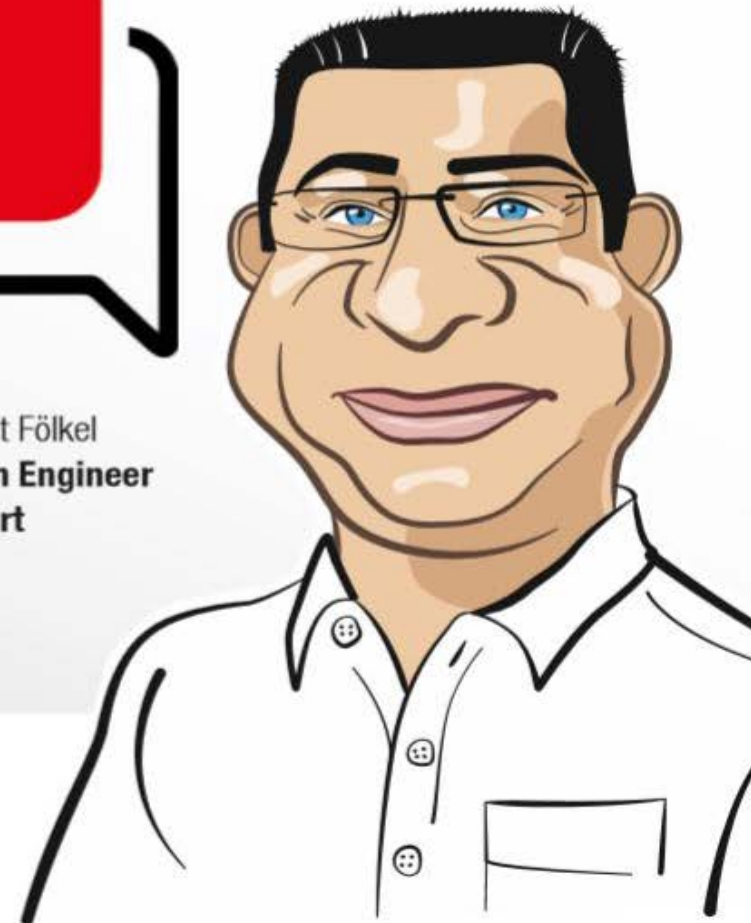
linkedin.com/in/lorandtfoelkel



[We-online.com/askLorandt](mailto:askLorandt@we-online.com)



Lorandt Fölkel
Design Engineer
at heart



or contact me directly:
askLorandt@we-online.com