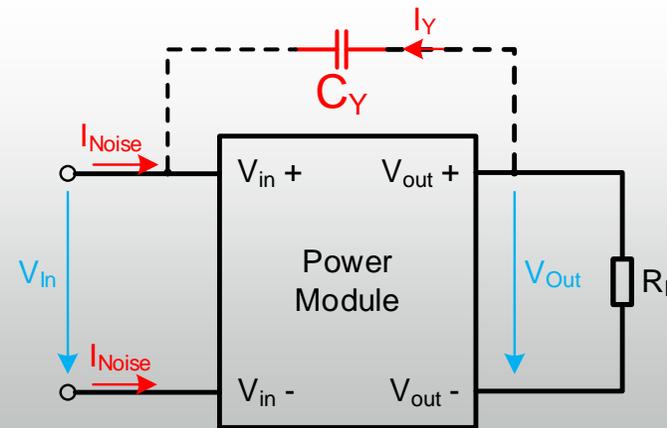
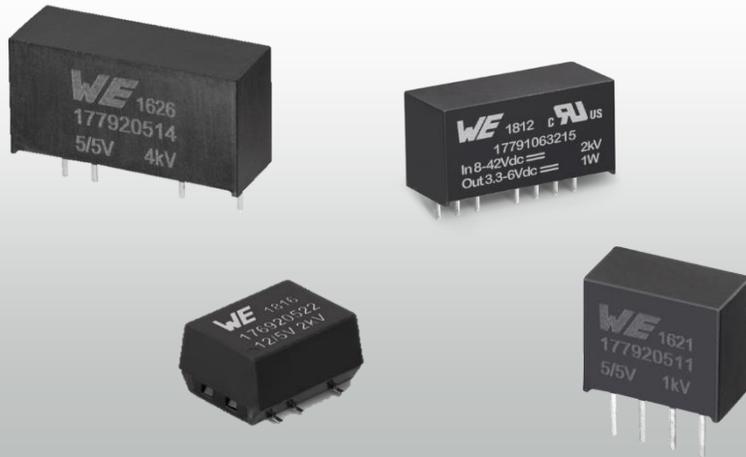


Optimierung der EMV Performance von isolierten Power Modulen durch Brückenkondensatoren.



MagI³C Power Modules

Timur Uludag

Dipl. Ing. (FH)

Senior Technical Marketing Manager

20 October 2021

AGENDA

- Einführung
- EMV Grundlagen
- EMV trifft auf Kirchhoff
- Reale EMV Messung
- Anwendungsspezifische Filter

Einführung

Gleichtakt-Mythen



Mythen rund um Gleichtaktstörungen:

- Gleichtakt Entstörung funktioniert nur mit Gleichtaktdrosseln

- Gleichtakt Entstörung ist eher ein Versuch-und-Irrtum-Prozess

- Gleichtakt Entstörung ist ziemlich schwer zu verstehen

FALSCH!

WAHR!

Gleichtaktentstörung ist keine Raketenwissenschaft,
es geht nur um die Anwendung grundlegender elektrischer Fakten und des
Kirchhoffschen Gesetzes

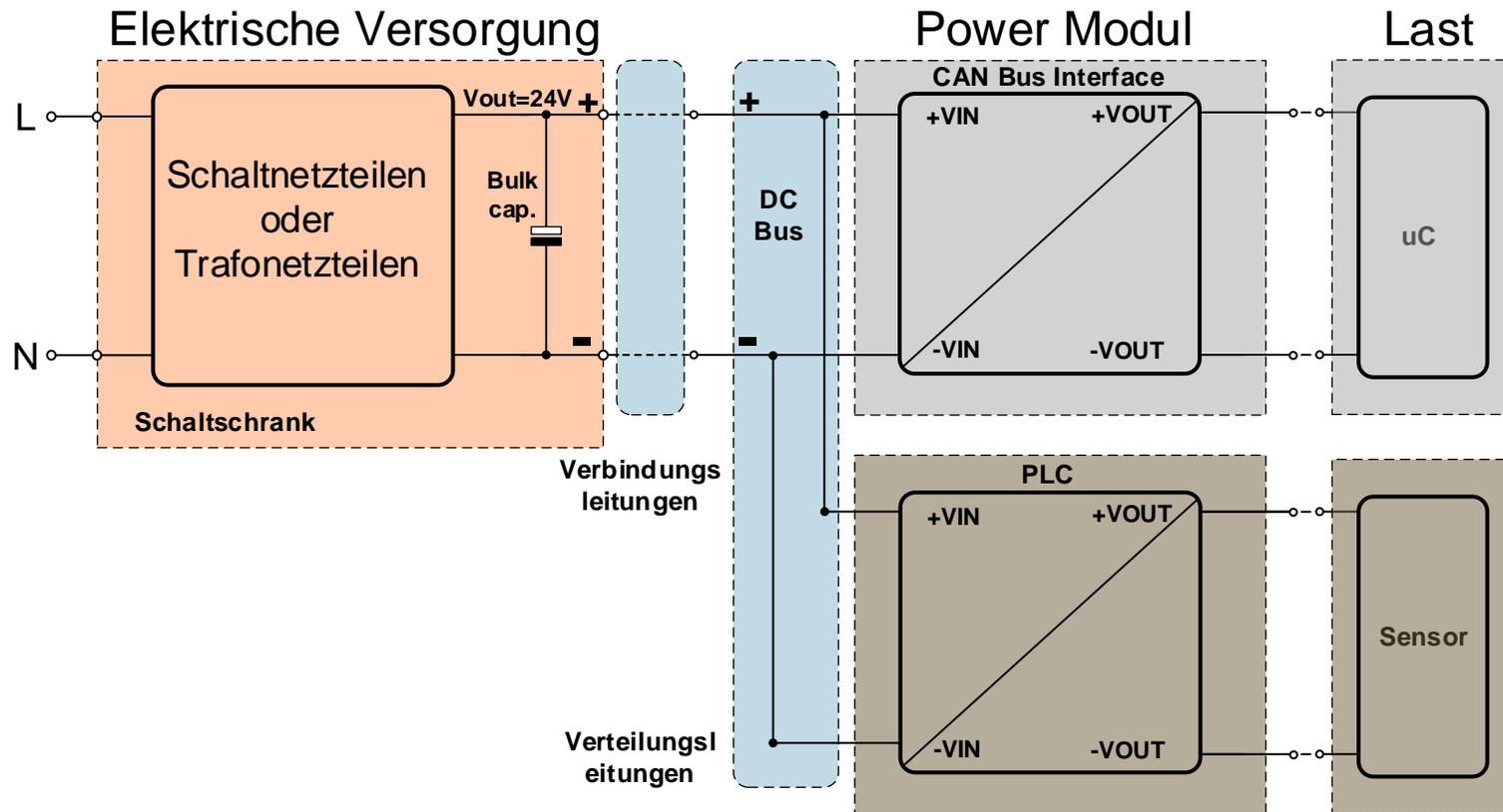
 **Aber wie soll man das realisieren?** 

Mit den richtigen Tools und einer anderen Sichtweise auf die EMV

es ist genauso einfach wie **Fahrradfahren**.....

Einführung

Typische Anwendung in der Automatisierungstechnik



Beschreibung:

- Die elektrische Versorgung erfolgt über Schaltschränke mit Schaltnetzteilen oder Trafonetzteilen
- Die einzelnen Teile der Anwendungen werden über einen Gleichstrombus versorgt
- Vor Ort wird jeder einzelne elektrische Verbraucher über eine Unterverteilung mit 24V angeschlossen

EMV Grundlagen

Gegentakt & Gleichtakt Störungen

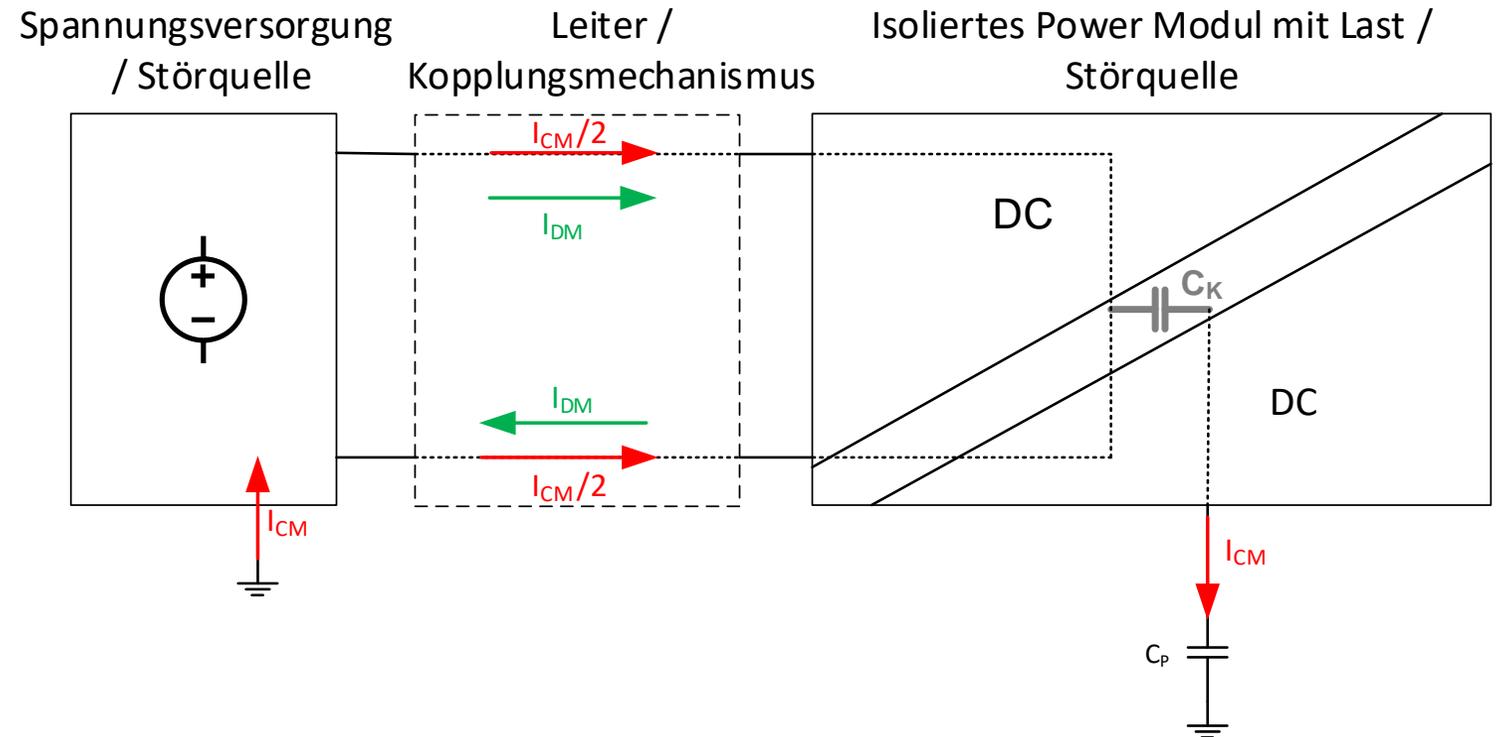


Gegentakt Störungen

- Strom in den Versorgungsleitungen in entgegengesetzter Richtung
- Eingangsstrom vom Power Modul
- Dominant bei nicht isolierten Power Modulen

Gleichtakt Störungen

- Strom in den Versorgungsleitungen in gleicher Richtung
- Hauptsächlich aufgrund eines hohen du/dt der Schaltelemente
- Tritt vor allem bei isolierten Power Modulen auf



EMV Grundlagen

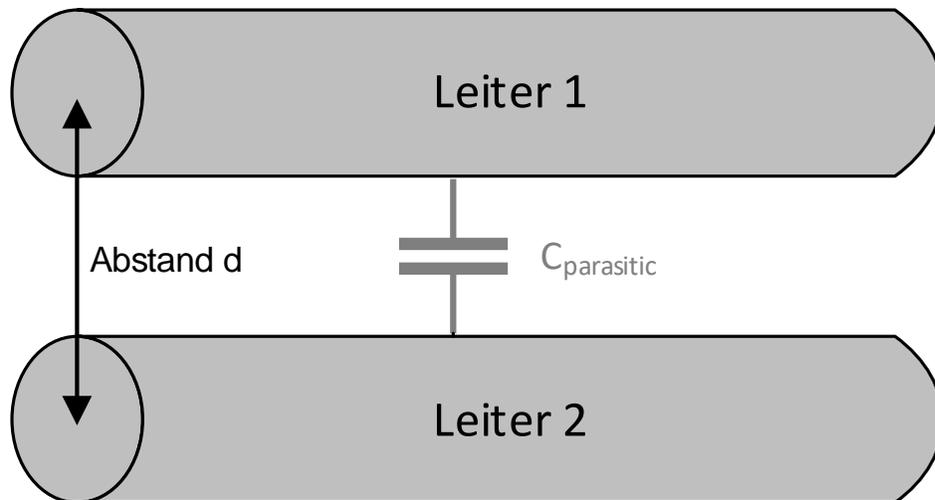
Parasitäre Elemente, Parasitäre Elemente



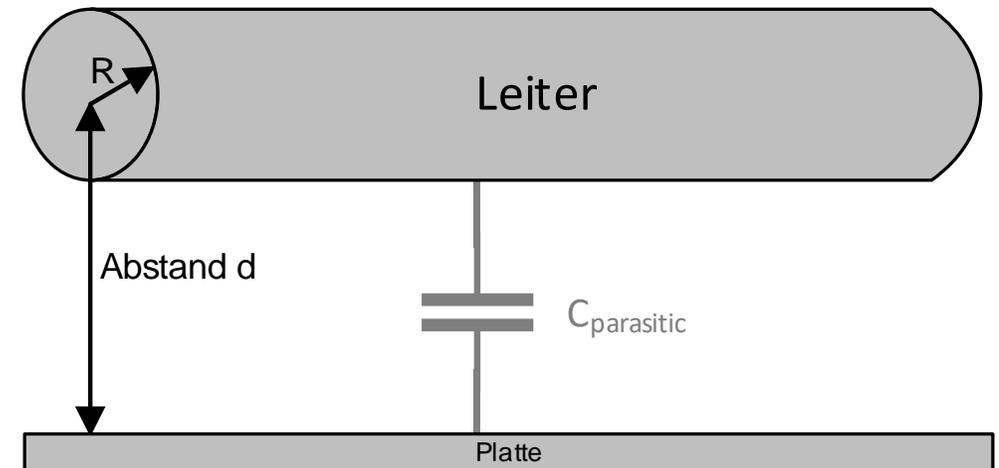
Denken Sie daran:

In jeder Schaltung gibt es parasitäre Kapazitäten zwischen verschiedenen Elementen mit unterschiedlichen Potenzialen.

Beispiel 1: Zwei parallele Leiter



Beispiel 2: Ein Leiter parallel über eine ebene Platte



EMV Grundlagen

Definierter EMV-Testaufbau

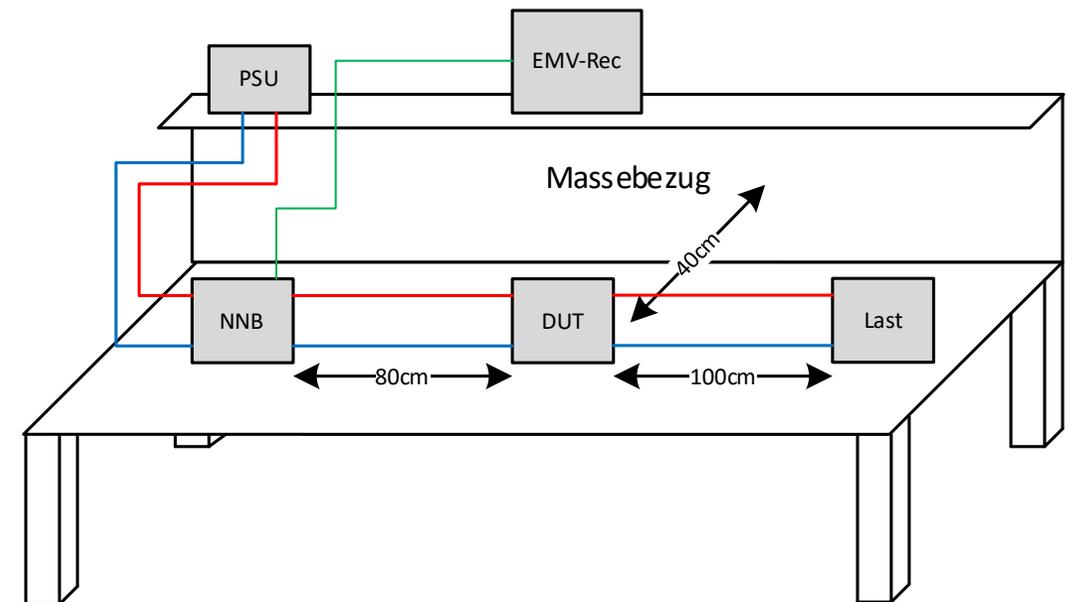


Grundlegende Überlegungen:

- Jede Anwendung mischt die Gleichtaktkarten neu
- Deshalb kann kein allgemeines Rezept funktionieren
- Betrachtung muss vorerst von der Anwendung entkoppelt werden
- Aufbau nach CISPR32 ist ein guter Kompromiss für folgende Überlegungen

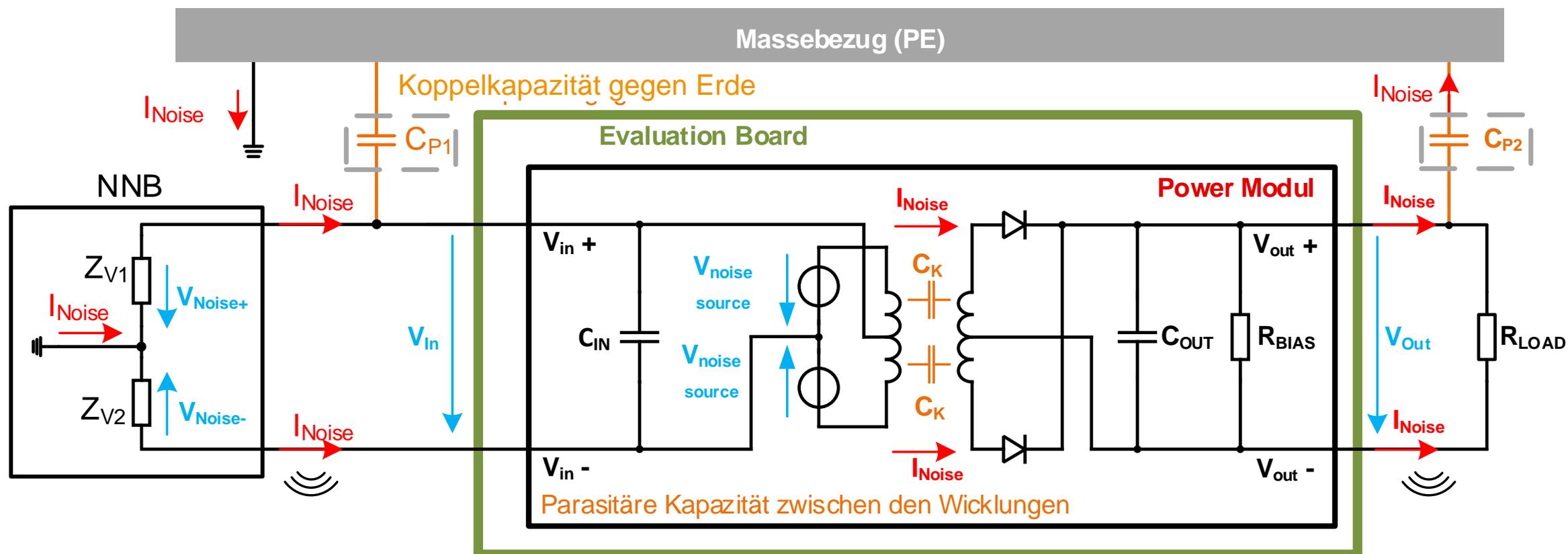
EMV-Prüfaufbau auf der Grundlage von CISPR-32:

- Stromversorgungseinheit (PSU)
- EMV-Empfänger
- Power Modul (DUT)
- Elektrische Last
- Netznachbildung (NNB)



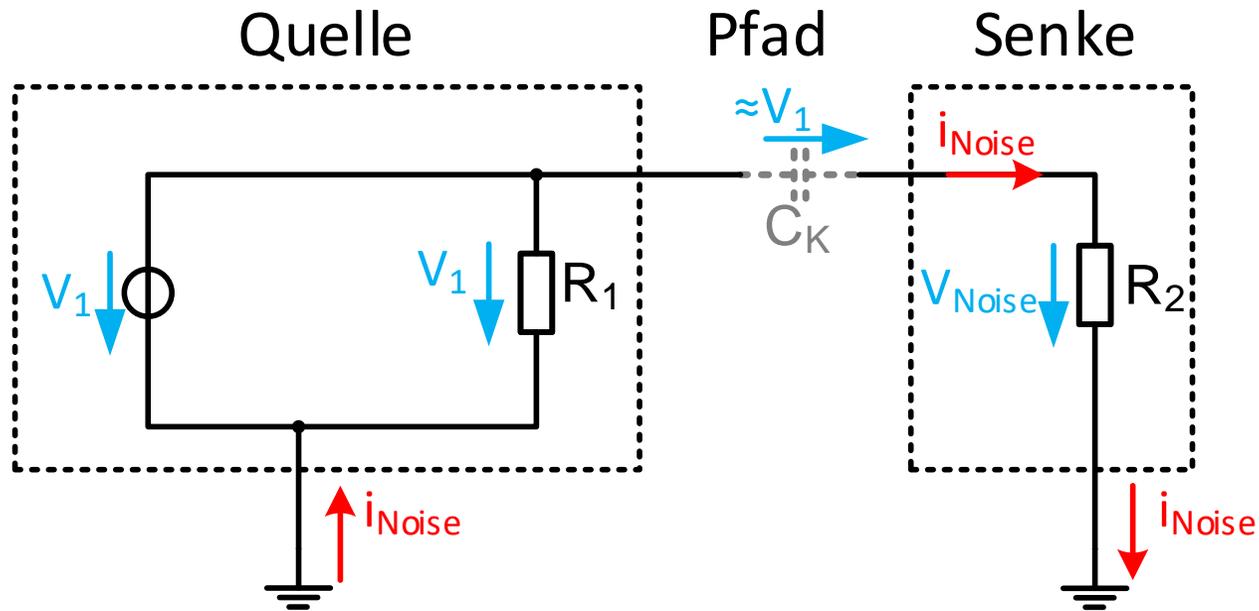
EMV Grundlagen

Störquelle und Störungspfad – Reales Power Modul



EMV Grundlagen

Vereinfachtes elektrisches Ersatzschaltbild - Störung



Gleichung für den Gleichtaktstörstrom:

$$i_{noise} = C_K \cdot \frac{du_1}{dt}$$

i_{noise} hängt ab von:

- Zum Beispiel parasitäre Kapazität zwischen Primär- und Sekundärwicklung

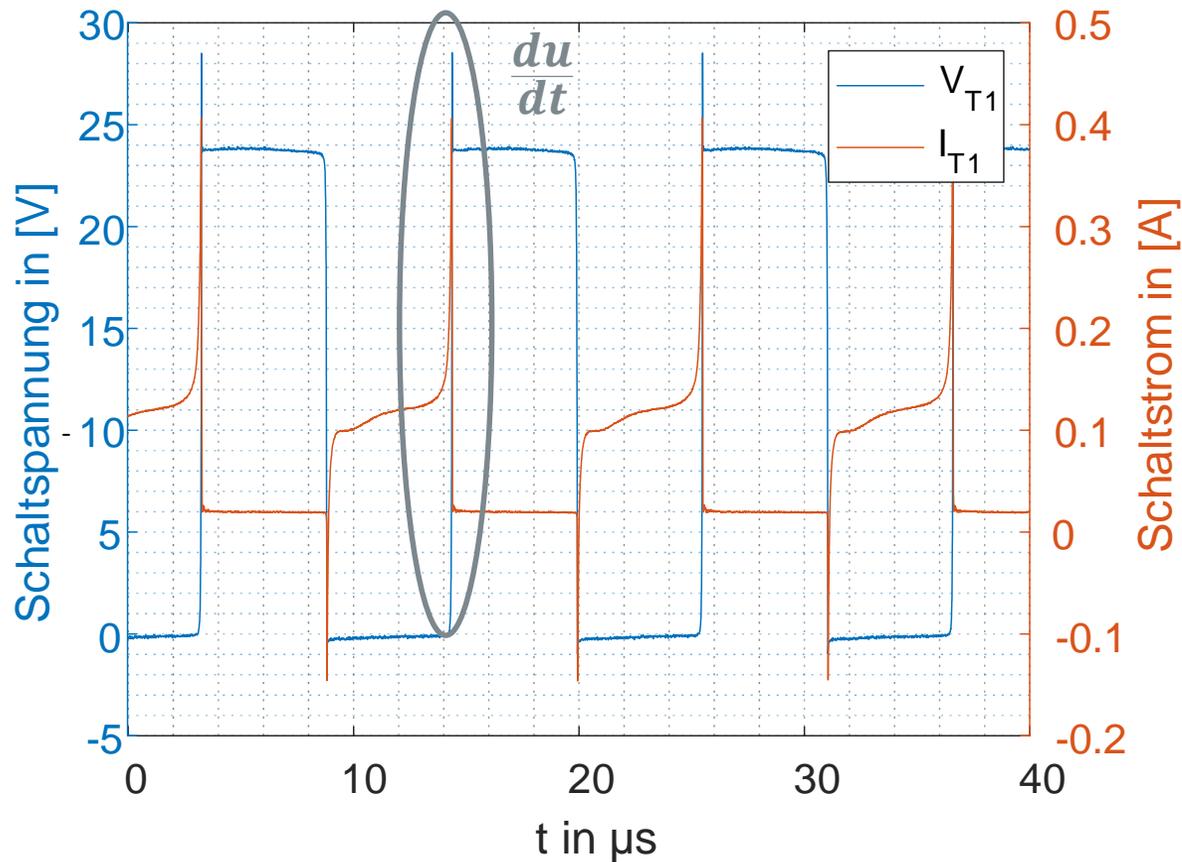
$$C_K$$

- Verhältnis Spannungsänderung über Zeit

$$\frac{du_1}{dt}$$

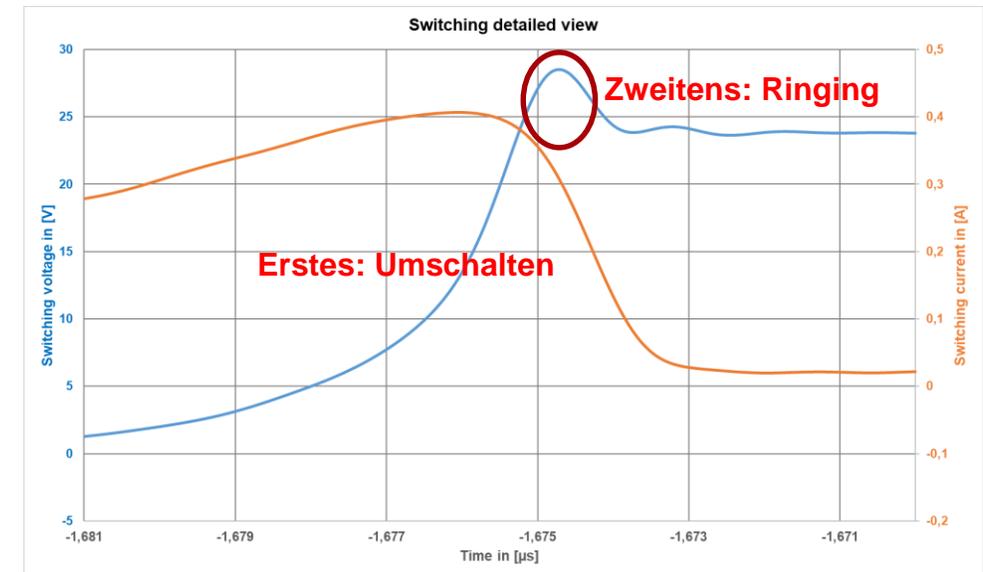
EMV Grundlagen

Störquelle



Beschreibung:

- Selbstschwingende Push-Pull-Topologie
- Das Schalten hängt mit der Sättigung des Transformator-kerns zusammen
- Aufgrund der Schalttopologie hohes $\frac{du}{dt}$
- Ein höheres $\frac{du}{dt}$ führt zu mehr Oberwellen



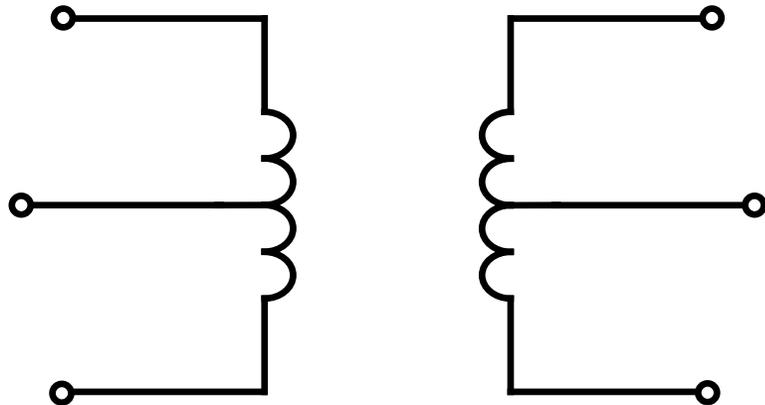
EMV Grundlagen

Störpfade



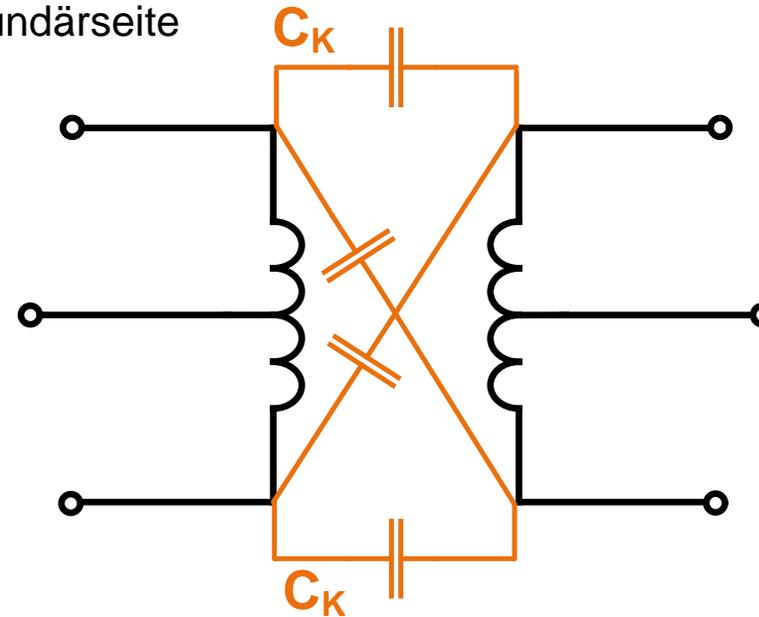
Idealer Transformator:

- Trennung zwischen Primär- und Sekundärseite



Realer Transformator:

- Parasitäre Wickelkapazität zwischen Primär- und Sekundärseite



EMV Grundlagen

Techniken zur Gleichtakt-Unterdrückung



Mögliche Wege, den Gleichtakt auf Leiterplattenebene zu beseitigen:

1. Chip Bead Ferrite - geringe Dämpfung, extrem billig, zusätzliche Serienwiderstandsverluste → Verluste
2. Brückenkondensator - gute Dämpfung, billig → kritisch in Sicherheitsanwendungen
3. Gleichtaktdrossel – hohe Dämpfung, billig → Verluste

Alternative Möglichkeiten auf Systemebene:

1. Klappferrite
2. Ferrite Kerne

EMV Grundlagen

Allgemeine Methoden zum Bestehen des EMV



Lösen Sie das Stör Problem innerhalb des Power Moduls.
→ Transformator-Abschirmschicht für GT-Störungen



Lassen Sie die Störungen nicht bis zur NNB vordringen.
→ Brückenkondensator GT Störungen



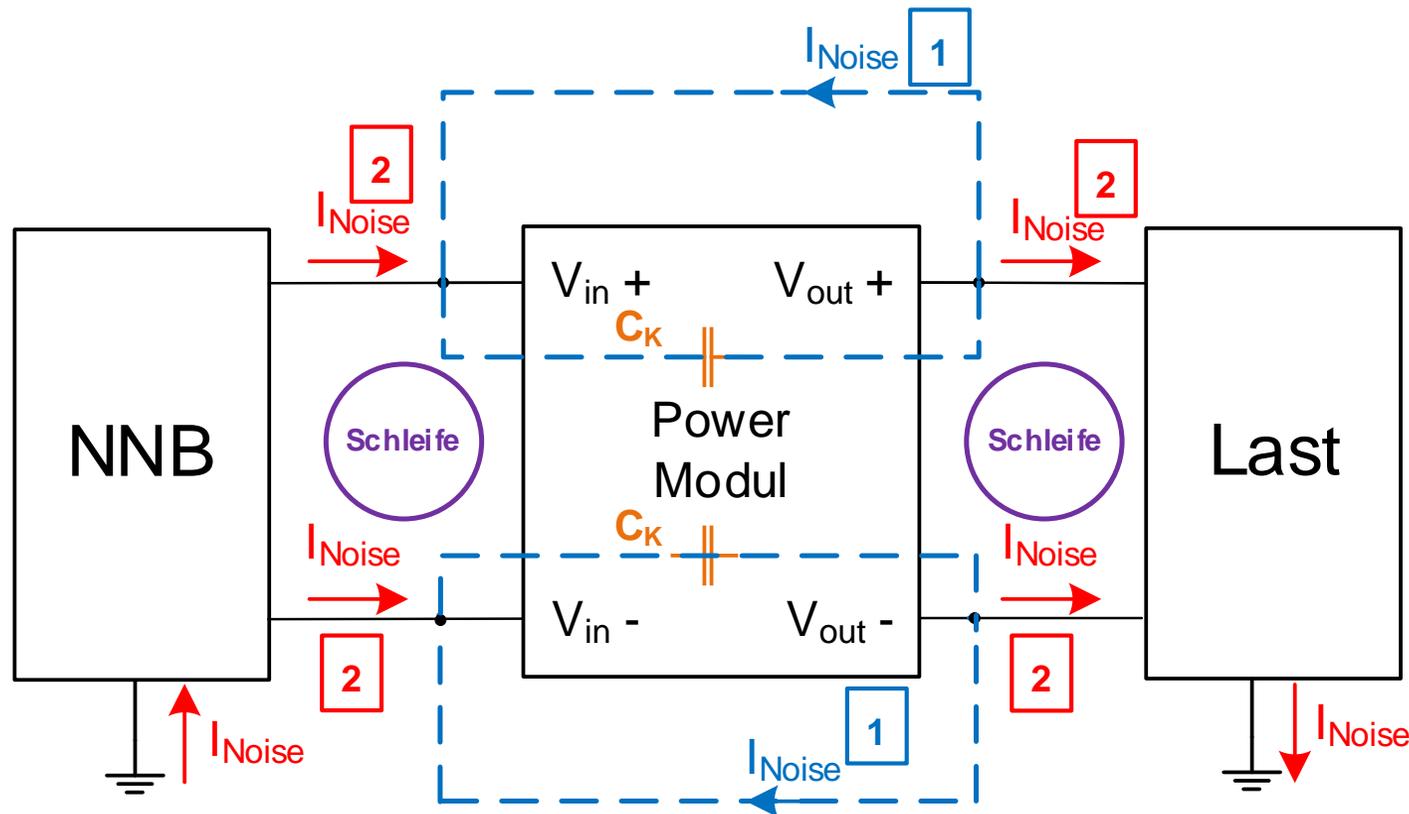
Minimierung der Störungen, die die NNB erreichen.
→ L-C-Filter, Gleichtaktdrossel



EMV Grundlagen

Lassen Sie die Störungen nicht bis zur NNB vordringen.

Vereinfachtes elektrisches Ersatzschaltbild



Schaltungsbeschreibung

- Der Interferenzstrom wird umgeleitet
- Störstrom zirkuliert innerhalb des Power Moduls / durch das Power Modul
- Kein Störstrom durch die NNB bedeutet keine dB μ V
- Kleinere Stromschleife bedeutet weniger Strahlung

1 Gleichtaktstrom mit Abzweigung

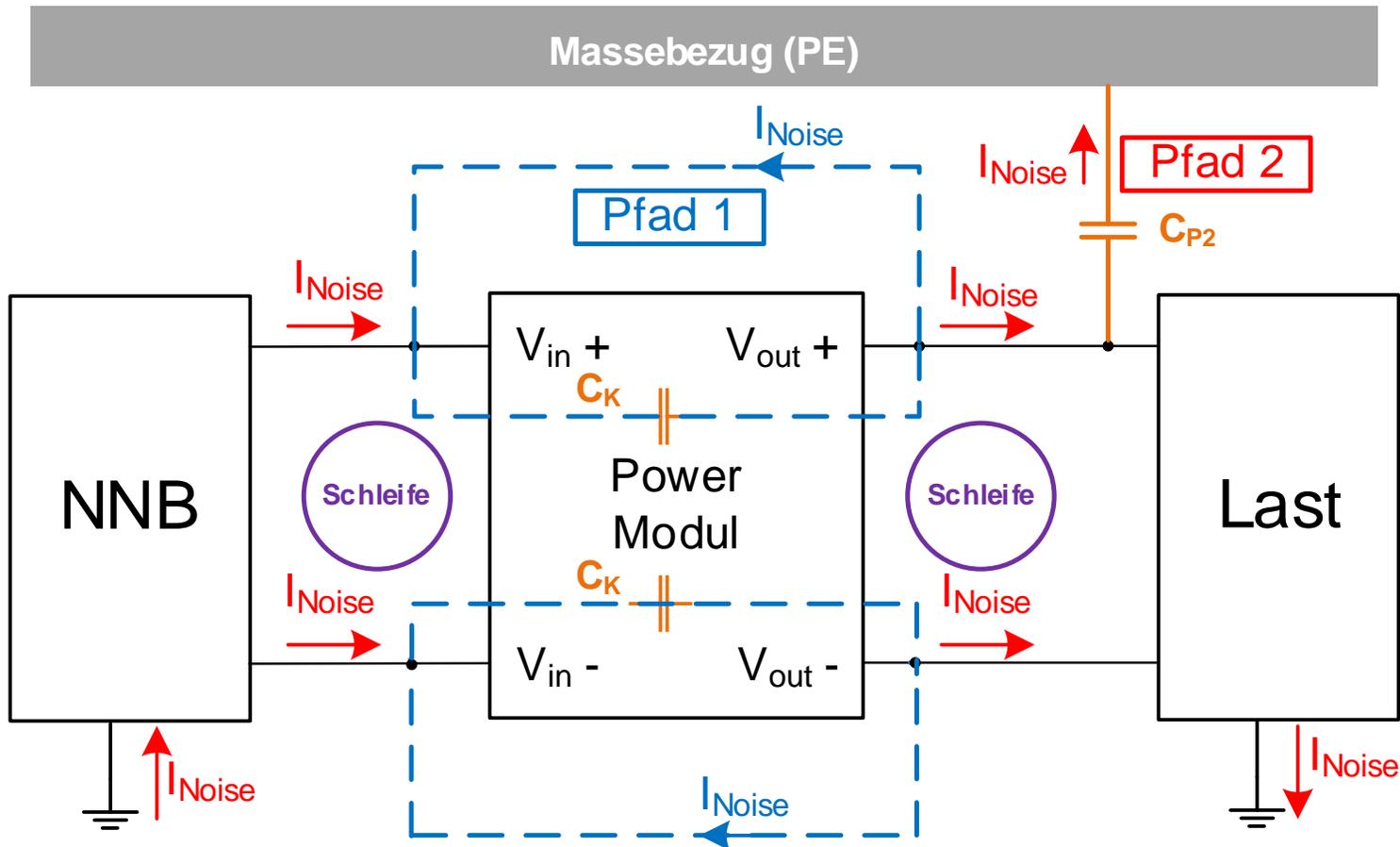
2 Gleichtaktstrom ohne Abzweigung

EMV Grundlagen

Lassen Sie die Störungen nicht bis zur NNB vordringen.



Vereinfachtes elektrisches Ersatzschaltbild



Anforderungen:

- Pfad 1 muss für I_{Noise} attraktiver sein als Pfad 2
- Pfad 1 muss niederimpedanter sein als Pfad 2
- Pfad 1 ist die Störschleife im und um das Power Modul herum

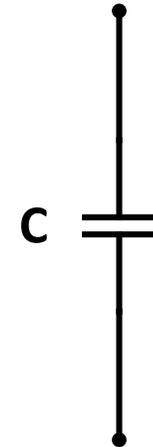
EMV trifft auf Kirchhoff

Elektrisches Äquivalenzschaltbild - vereinfacht



Anforderungen an die Abzweigung:

- Mit zunehmender Frequenz wird sie niederimpedanter
 - Sie muss eine Trennung zwischen Primär- und Sekundärseite gewährleisten
 - Es muss einfach zu implementieren sein
- Die Antwort ist..... ein Kondensator



Gleichung für X_c :

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

EMV trifft auf Kirchhoff

Elektrisches Äquivalenzschaltbild - vereinfacht

Grundlegende Überlegungen zur Dämpfung



In diesem Fall vergleichen wir zwei Systeme:

1st System ohne Brückenkondensator (Dämpfung A1)

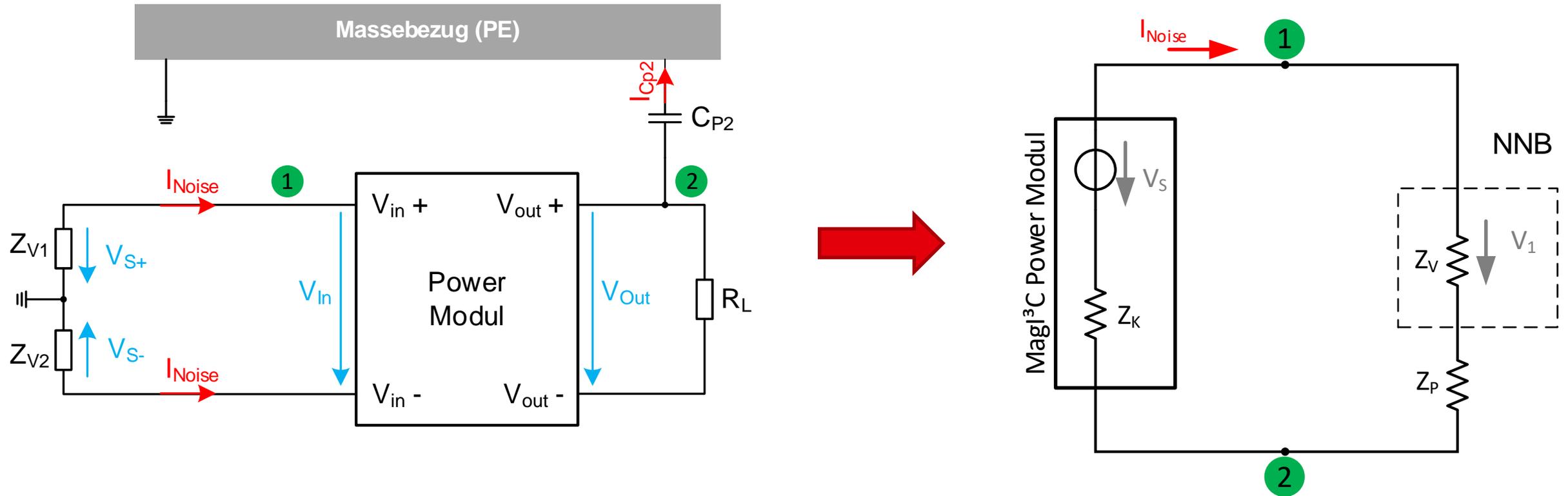
2nd System mit Brückenkondensator (Dämpfung A2)

→ Dämpfung A = A2 – A1

$$\text{Dämpfung } A = 20 \cdot \text{Log} \left(\frac{\text{Spannungsabfall NNB mit Brückenkondensator}}{\text{Spannungsabfall NNB ohne Brückenkondensator}} \right) \text{ dB}$$

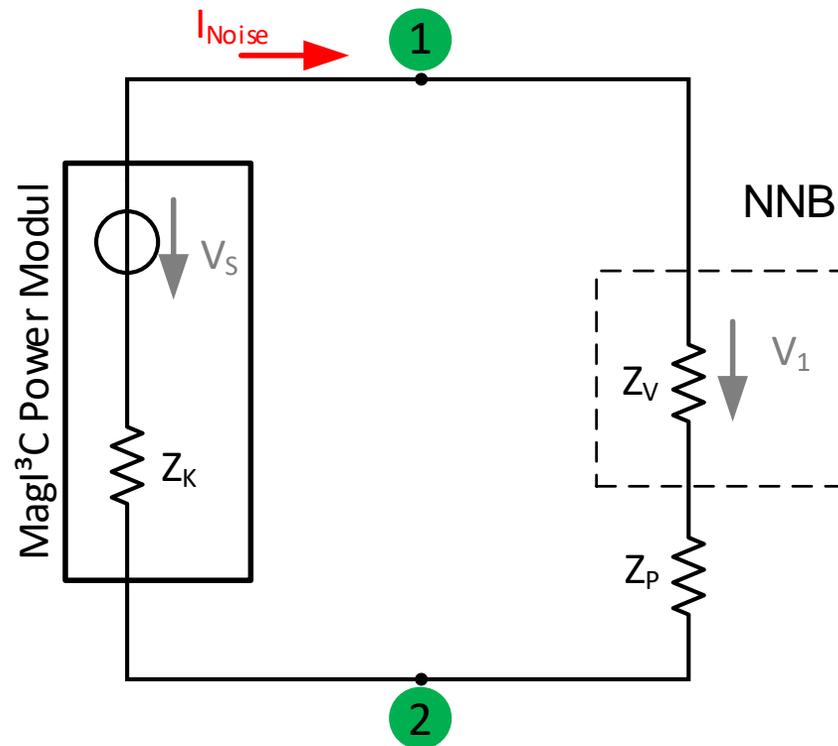
EMV trifft auf Kirchhoff

Elektrisches Äquivalenzschaltbild - vereinfacht



EMV trifft auf Kirchhoff

Elektrisches Äquivalenzschaltbild - vereinfacht



Schaltungsbeschreibung:

$$V_1 = V_S \cdot \frac{Z_V}{Z_K + Z_P + Z_V}$$

V_1 / V_2 – Spannungsabfall NNB

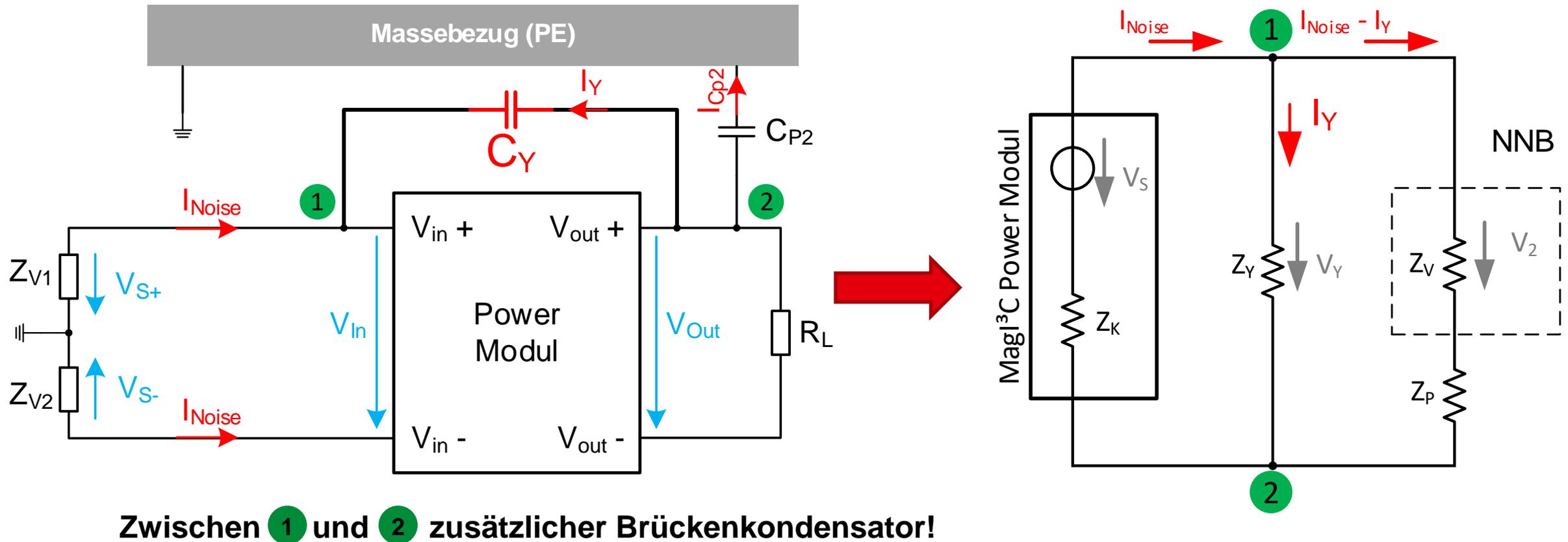
Z_K – Impedanz Wickelkapazität

Z_P – Impedanz parasitäre Kopplungskapazität

Z_V – Impedanz NNB

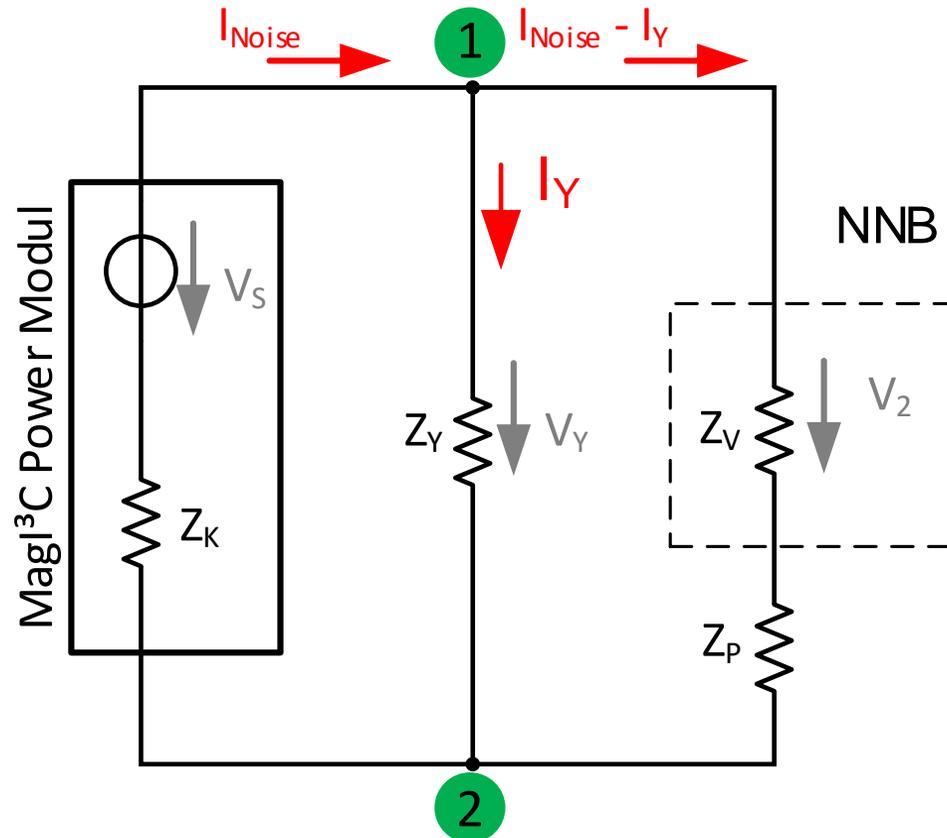
EMV trifft auf Kirchhoff

Elektrisches Äquivalenzschaltbild - vereinfacht



EMV trifft auf Kirchhoff

Elektrisches Äquivalenzschaltbild - vereinfacht



Schaltungsbeschreibung:

$$V_2 = V_S \cdot V_Y \cdot \frac{Z_V}{Z_P + Z_V}$$

$$V_Y = V_S \cdot \frac{Z_Y || (Z_P + Z_V)}{Z_K + Z_Y || (Z_P + Z_V)}$$

V_Y – Spannungsabfall Brückenkondensator

Z_Y – Impedanz Brückenkondensator

Gleichung für die Dämpfung A

$$A = \frac{Z_K + Z_P + Z_V}{Z_K + Z_P + Z_V + \frac{Z_K}{Z_Y} \cdot (Z_P + Z_V)}$$

EMV trifft auf Kirchhoff

Elektrisches Äquivalenzschaltbild - vereinfacht

Beispielrechnung zur Vereinfachung der Gleichung:

$$C_P = 20pF \rightarrow 795\Omega @10MHz$$

$$C_Y = 470pF \rightarrow 34\Omega @10MHz$$

$$C_K = 75pF \rightarrow 212\Omega @10MHz$$

$$Z_V = 25\Omega$$

$$A = \frac{212\Omega + 795\Omega + 25\Omega}{212\Omega + 795\Omega + 25\Omega + \frac{212\Omega}{34\Omega} \cdot (795\Omega + 25\Omega)}$$

$$A = \frac{1032\Omega}{1032\Omega + \frac{212\Omega}{34\Omega} \cdot 820\Omega} = 0.1679 = \mathbf{0.168}$$

Weitere Vereinfachung:

$$A = \frac{\begin{matrix} (\approx 1000\Omega) \\ 1032\Omega \end{matrix}}{\begin{matrix} (\approx 1000\Omega) \\ 1032\Omega + \frac{212\Omega}{34\Omega} \cdot 820\Omega \end{matrix}} = \frac{1000\Omega}{\left(\cancel{1} + \frac{212\Omega}{34\Omega}\right) \cdot 1000\Omega} \approx \frac{34\Omega}{212\Omega} \approx \mathbf{0.16}$$

$$A = 20 \cdot \text{Log}(0.168) = -15.49dB$$

$$A = 20 \cdot \text{Log}(0.16) = -15.91dB$$

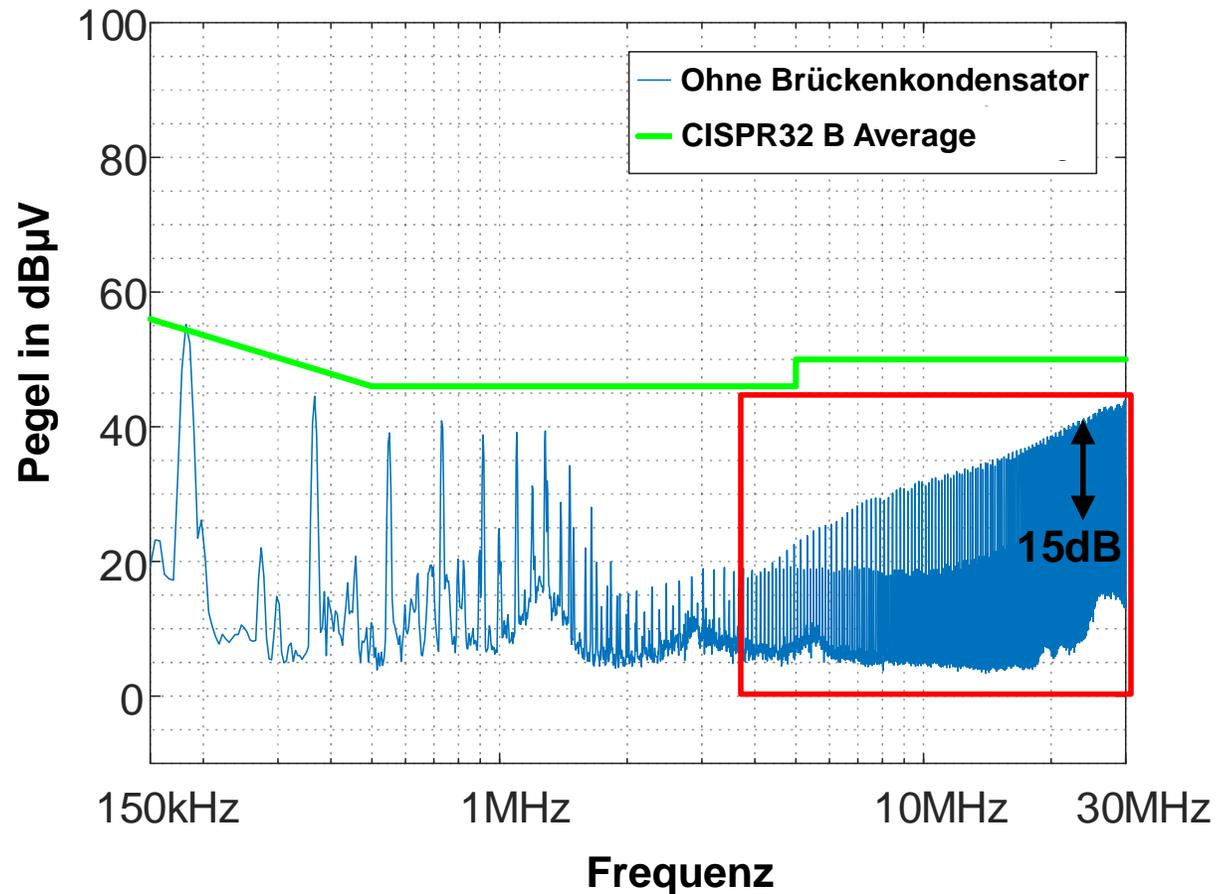
$$\left. \begin{array}{l} \text{Nur} \\ \Delta A = -0.42dB \end{array} \right\}$$

Vereinfachte Gleichung:

$$A = \frac{Z_Y}{Z_K}$$

EMV trifft auf Kirchhoff

Ermittlung guter Startwerte für den Brückenkondensator - Zahlenbeispiel



Bedingungen:

- SIP-4 $V_{IN} = 12V$ $V_{OUT} = 5V$ $I_{OUT} = 0.2A$ (PN:177920521)
- Leitungsgebundene EMV Messung
- Geltungsbereich des Beispiels ist 4MHz bis 30MHz
Spitzenwert bei 30MHz ca. 12 dBµV Abstand zur Klasse B

Schritt 1:

Angestrebte Dämpfung von 4MHz bis 30MHz von 15dB

EMV trifft auf Kirchhoff

Ermittlung guter Startwerte für den Brückenkondensator - Zahlenbeispiel



Schritt 2:

Bestimmung der Koppelkapazität zwischen den Wicklungen des Transformators des Power Moduls.

Auszug Datenblatt SIP-4 $V_{IN} = 12V$, $V_{OUT} = 5V$, $I_{OUT} = 0.2A$ (PN:177920521):

Isolation characteristics						
C_{ISO}	Isolation capacitance		-	-	75	pF
R_{ISO}	Isolation resistance		1	-	-	GΩ

- $C_k = 75pF$ als ein Maximalwert
- Typischerweise gemessen bei 100kHz
- C_k kann als stabil erwartet werden bis in den einstelligen GHz Bereich

EMV trifft auf Kirchhoff

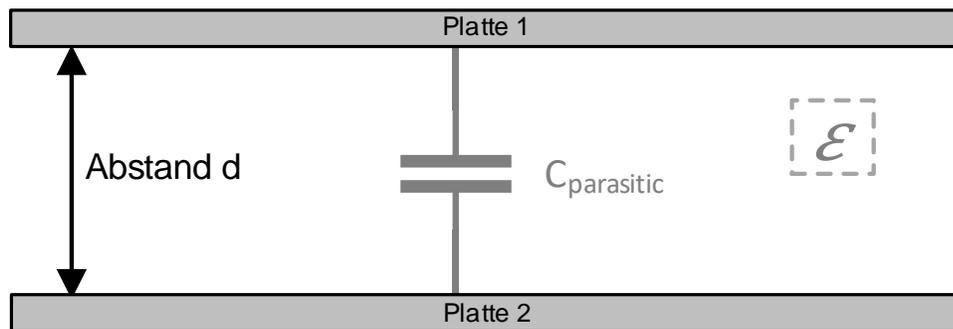
Ermittlung guter Startwerte für den Brückenkondensator - Zahlenbeispiel



Schritt 3:

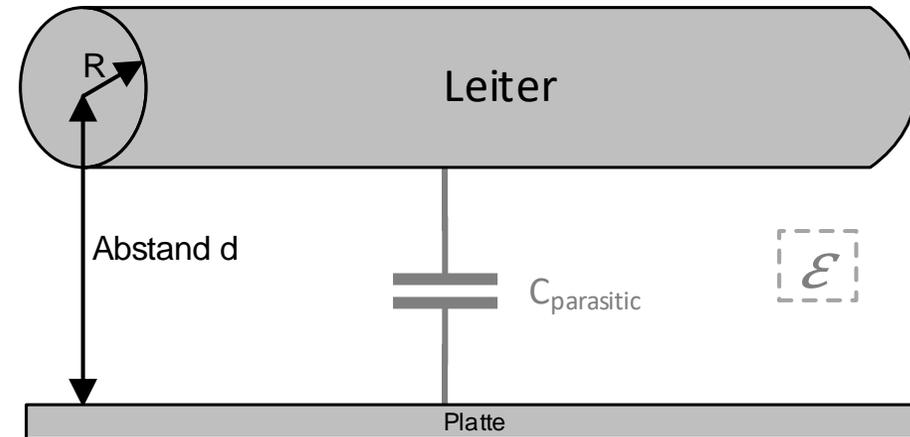
Bestimmung der parasitären Kopplungskapazität C_p des Prüflings mit dem Massebezug

Zwei parallele Platten



$$C_p = \varepsilon \cdot \frac{A}{d} = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{1\text{m}^2}{0.4\text{m}} = 2.2 \cdot 10^{-11}\text{F}$$

Ein Leiter parallel über eine ebene Platte



$$C_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot l}{\operatorname{arcosh}\left(\frac{d}{R}\right)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 0.8\text{m}}{\operatorname{arcosh}\left(\frac{0.4\text{m}}{0.001\text{m}}\right)} = 6.65 \cdot 10^{-12}\text{F}$$

EMV trifft auf Kirchhoff

Ermittlung guter Startwerte für den Brückenkondensator - Zahlenbeispiel



Schritt 4:

Umwandlung von logarithmisch in linear

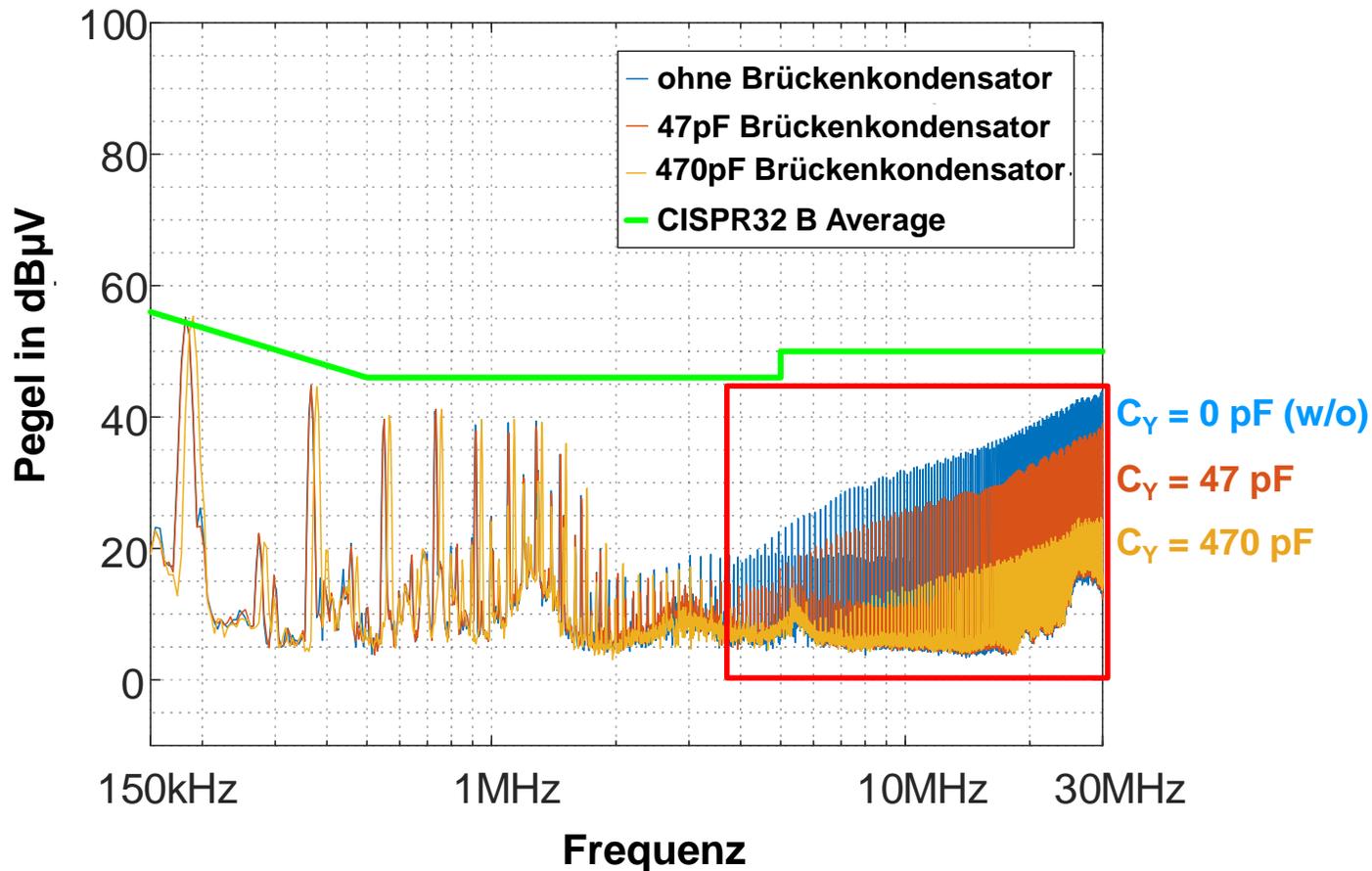
$$A = 10^{\left(\frac{x\text{dB}}{20}\right)} = 10^{\left(\frac{-15\text{dB}}{20}\right)} = \mathbf{0.177}$$

Berechnung des Startwerts für den Brückenkondensator C_Y

$$C_Y = \frac{C_K}{D} = \frac{75\text{pF}}{0.177} = \mathbf{421\text{pF}} \approx \mathbf{470\text{pF}}$$

REALE EMV-MESSUNG

Beispiel SIP-4 12V auf 5V isoliertes Power Modul



Beschreibung der Grafik

Ohne einen y-cap 12 dB to Class B Limit

- Mit 47 pF y-cap nahezu 7 dB Dämpfung
- Mit 470 pF y-cap nahezu 19 dB Dämpfung

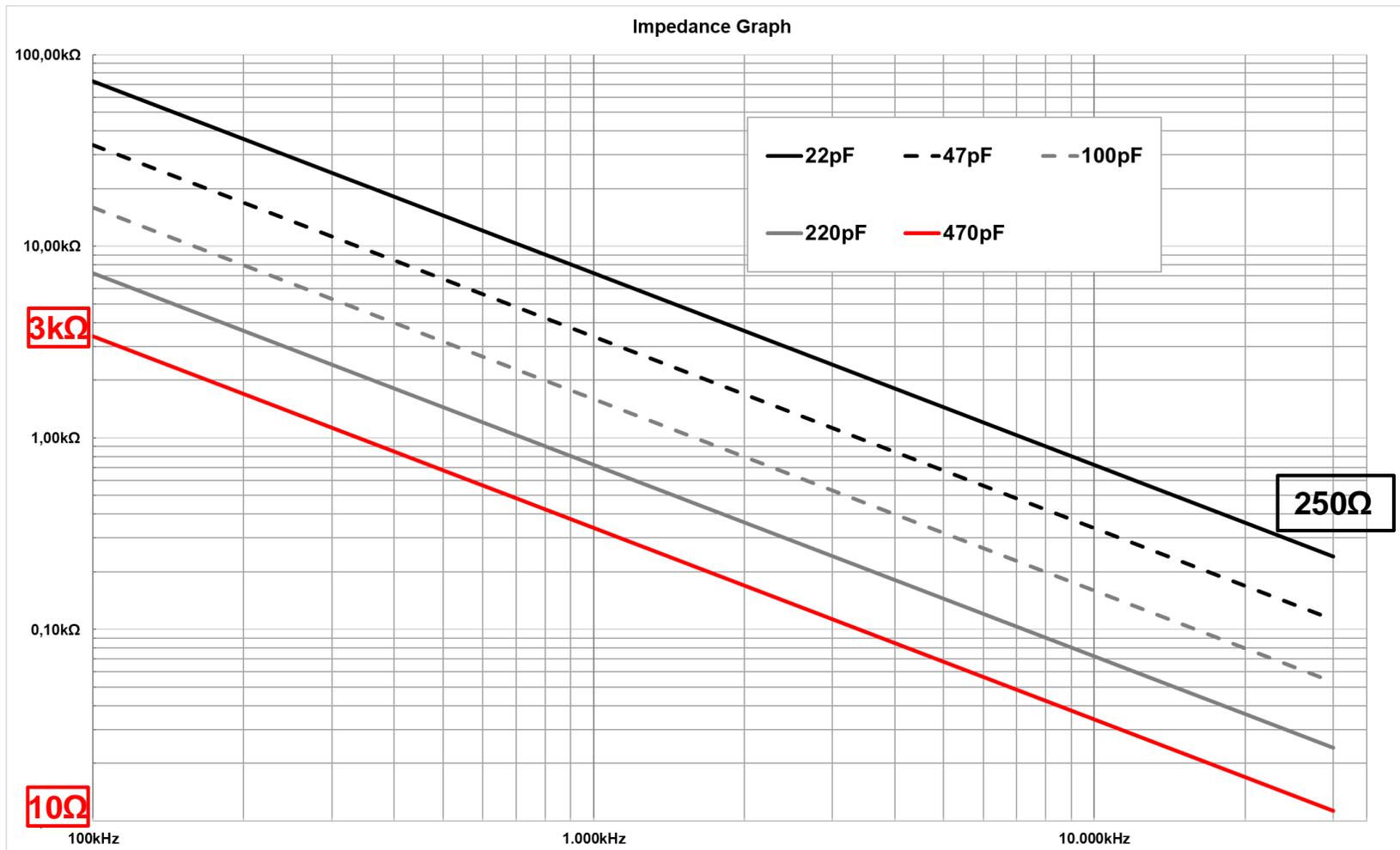
Ergebnis:

Dämpfung mit realer Kapazität ist höher als der berechnete Wert.

- C_k ist kleiner als im Datenblatt angegeben
- 19 dB ergibt sich eine Kapazität von fast 60pF zwischen den Wicklungen statt 75pF laut Datenblatt

REALE EMV-MESSUNG

Impedanz Diagramme für den Brückenkondensator – Ideal

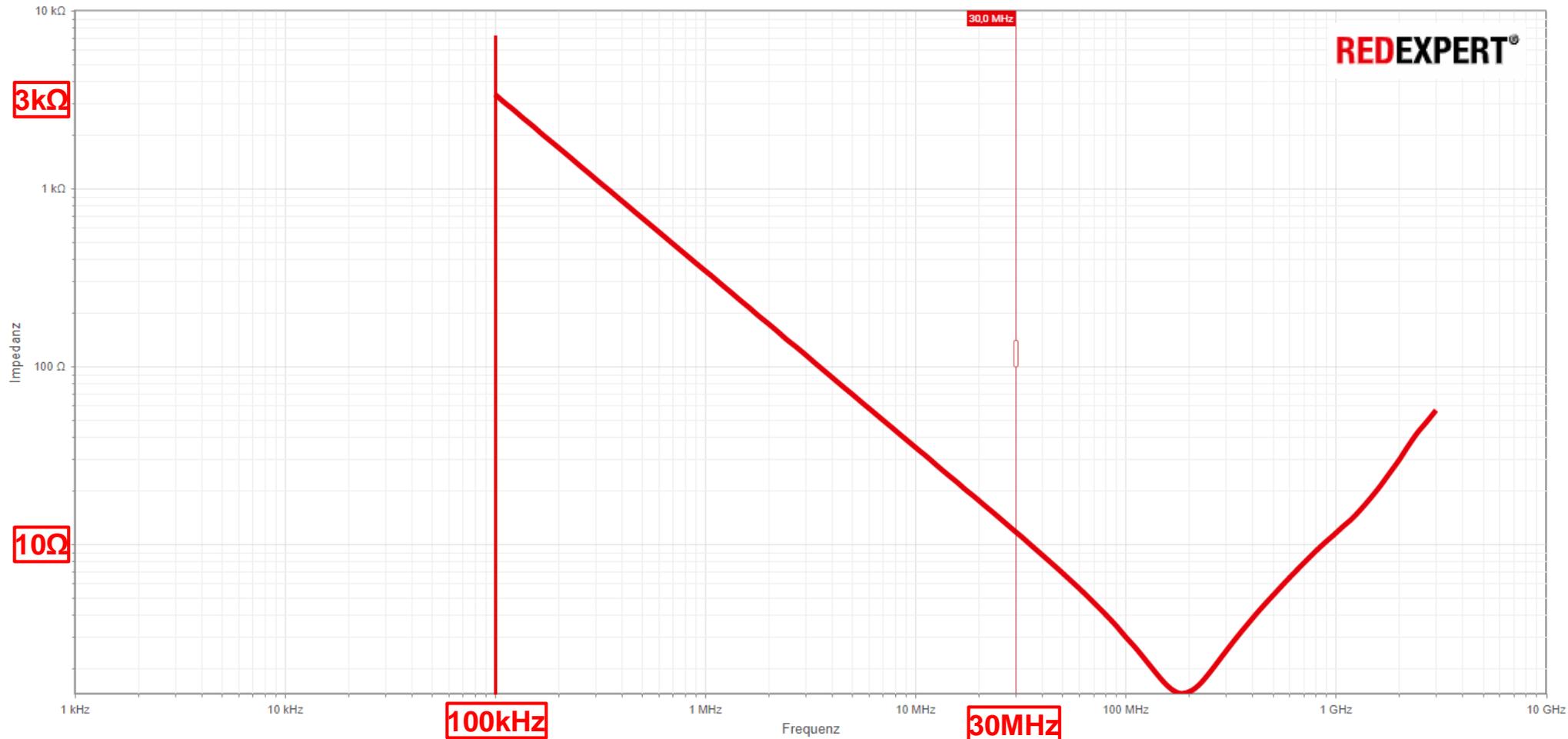


Beschreibung:

- Theoretische Betrachtung ohne induktiven Anteil & ESR
- Hohes Delta der Impedanz

REALE EMV-MESSUNG

Impedanz Diagramme für den Brückenkondensator – Real



Real 470pF MLCC
885362210009
Gute
Übereinstimmung
mit den
berechneten
Werten

— 885362210009

ANWENDUNGSSPEZIFISCHE EMV-FILTER

Service von Magl³C Power Modulen



EMV Filter Support / Filter Tüten



- Separate Teilenummer für Filterbeutel
→ *Einfache Bemusterung*
- Abbildung des Filterbeutels
→ *Eindeutige Visualisierung des Lieferumfangs*
- Eigenschaften und Anwendungen
→ *Fähigkeiten und Einsatzmöglichkeiten*
- Bill of Materials (BOM) mit allen enthaltenen Teilen
→ *zum Kopieren und Einfügen in Anwendungsstücklisten*
- Links zu den entsprechenden Datenblättern der Magl³C-Power Module enthalten
→ *vollständige Beschreibung der Filterimplementierung und Messergebnisse*
- Links zu den Datenblättern aller enthaltenen Filterteile
→ *schneller Zugriff auf die Spezifikation der diskreten Komponenten*

Alle verfügbaren Filter Tüten finden Sie auf https://www.we-online.de/katalog/en/APPLICATION_SPECIFIC_FILTER

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



→ Supportanfrage an unsere Hotline : powermodules@we-online.com

Kontakt :



roland.kratz@we-online.de

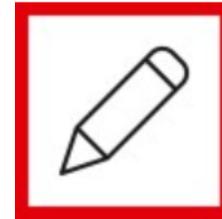


martin.greubel@we-online.de

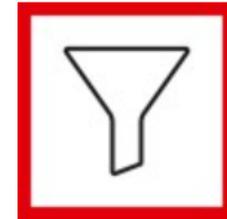


alexander.zeller@we-online.de

Leistungen:



Design-In Support



EMC Filter Design Support



Layout Review Support



Thermal Design Support

Fragen



& Antworten

**Wir sind jetzt für Sie da!
Fragen Sie uns direkt über unseren Chat oder per E-Mail.**

timur.uludag@we-online.com