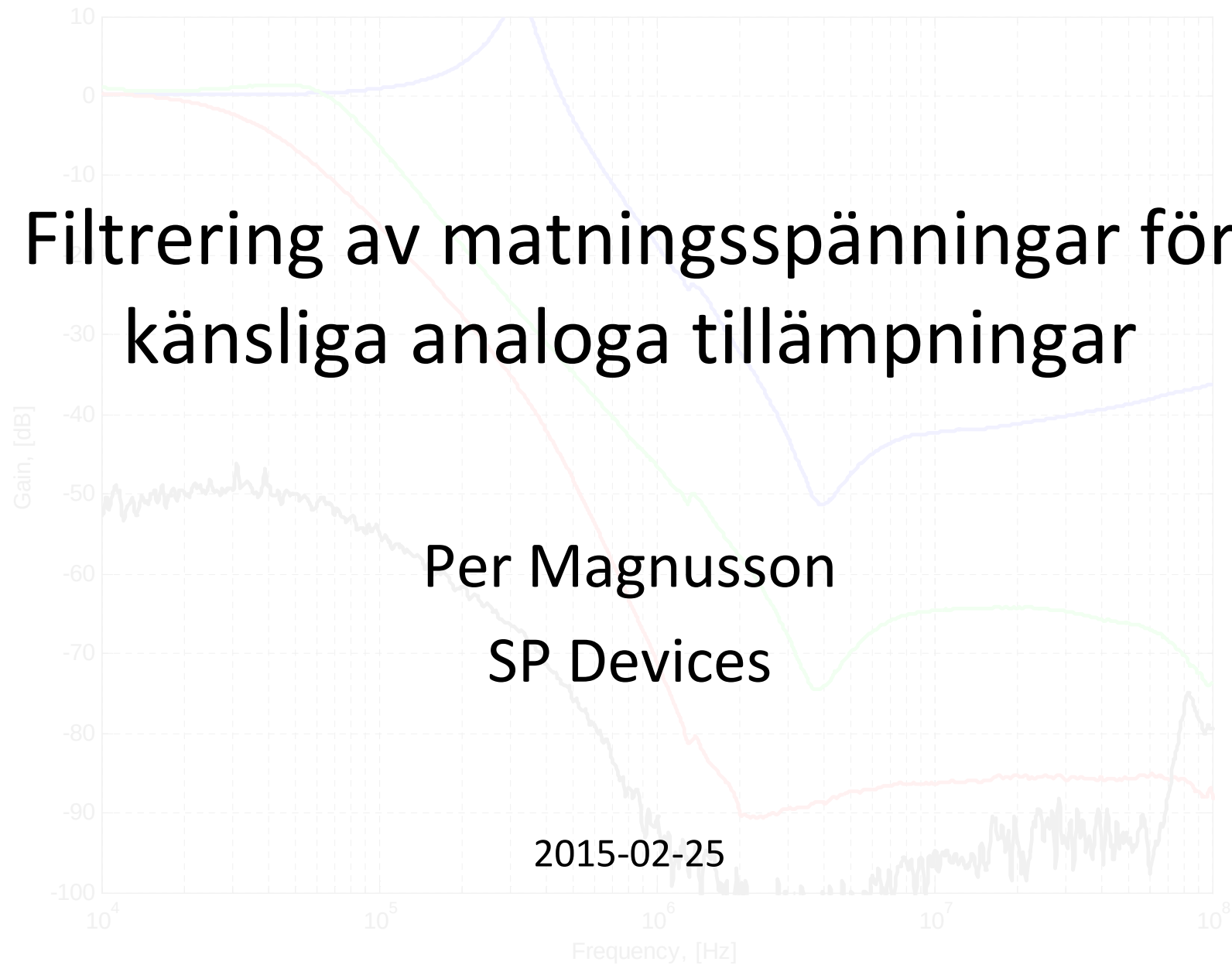


Filtrering av matningsspänningar för känsliga analoga tillämpningar



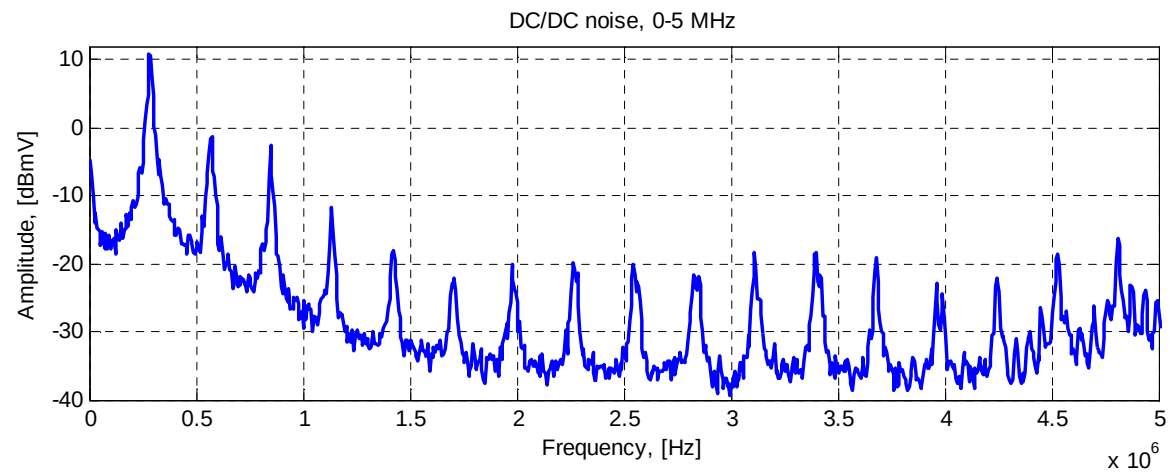
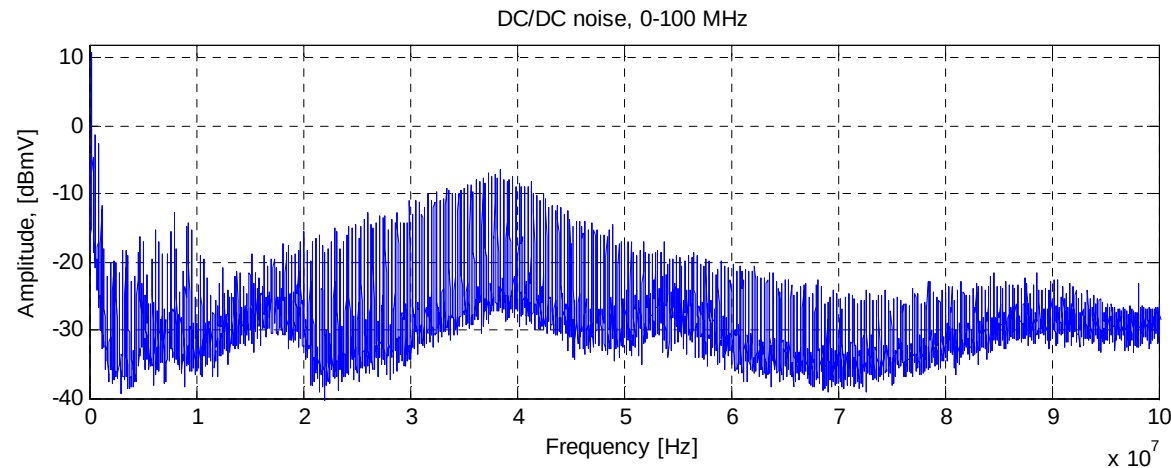
Problemet

- Ibland behöver man en matningsspänning som har extra lite störningar till exempelvis:
 - AD-omvandlare
 - RF-kretsar
 - förstärkare
 - PLL:er
- DC/DC-omvandlare har bra verkningsgrad, men ger störningar
- Linjärregulatorer är renare, men har (oftast) lägre verkningsgrad
- Hur kan man rensa upp en spänning från en DC/DC-omvandlare?
- Exempelkrav: 5V, 400 mA, så ren som möjligt, billigt och gärna ganska litet

Störningarna

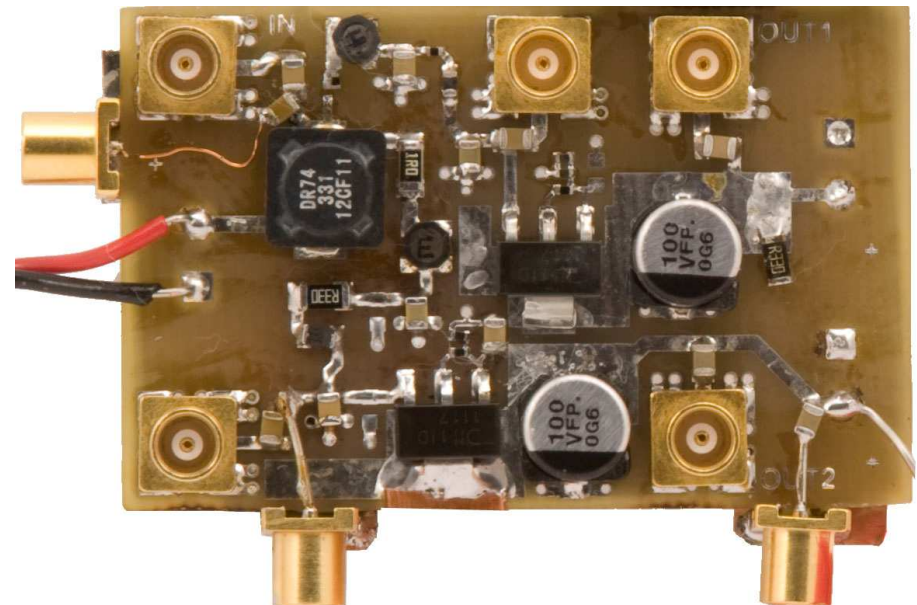
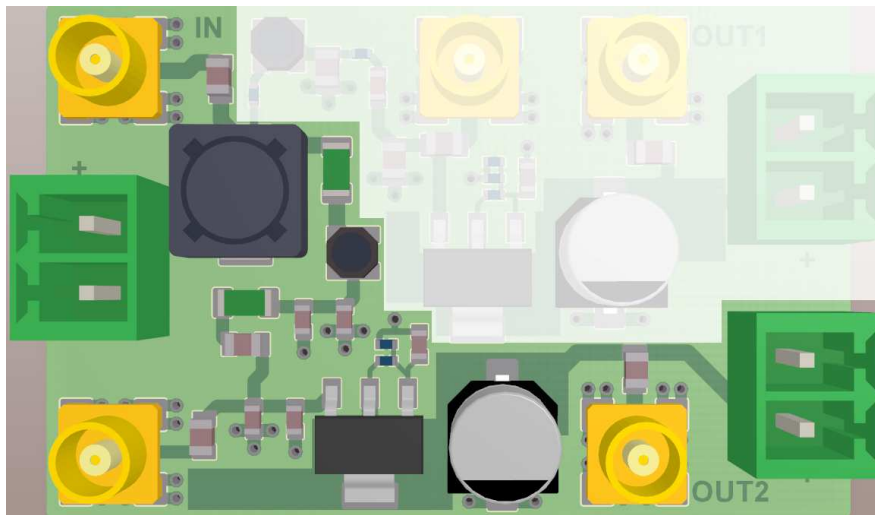
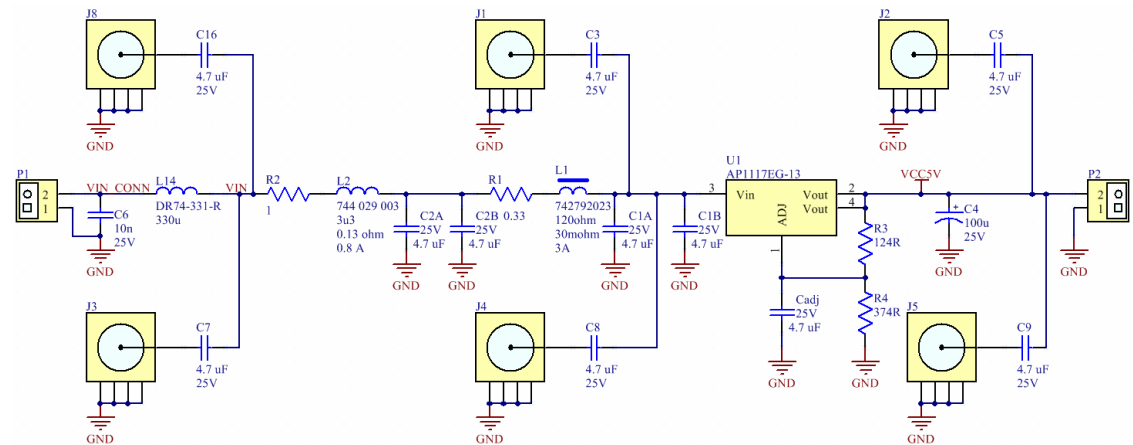
- DC/DC-omvandlare switchar ofta med mellan 200 kHz och 2 MHz och har massor av övertoner
- Andra störningar har lägre frekvens och kan bero på nätspänning, varierande strömförbrukning ($U=IR$) mm
- Störningarna som man vill bli av med kan alltså finnas från nära DC till många MHz

Exempel: Brus från DC/DC (280 kHz)



Testkort

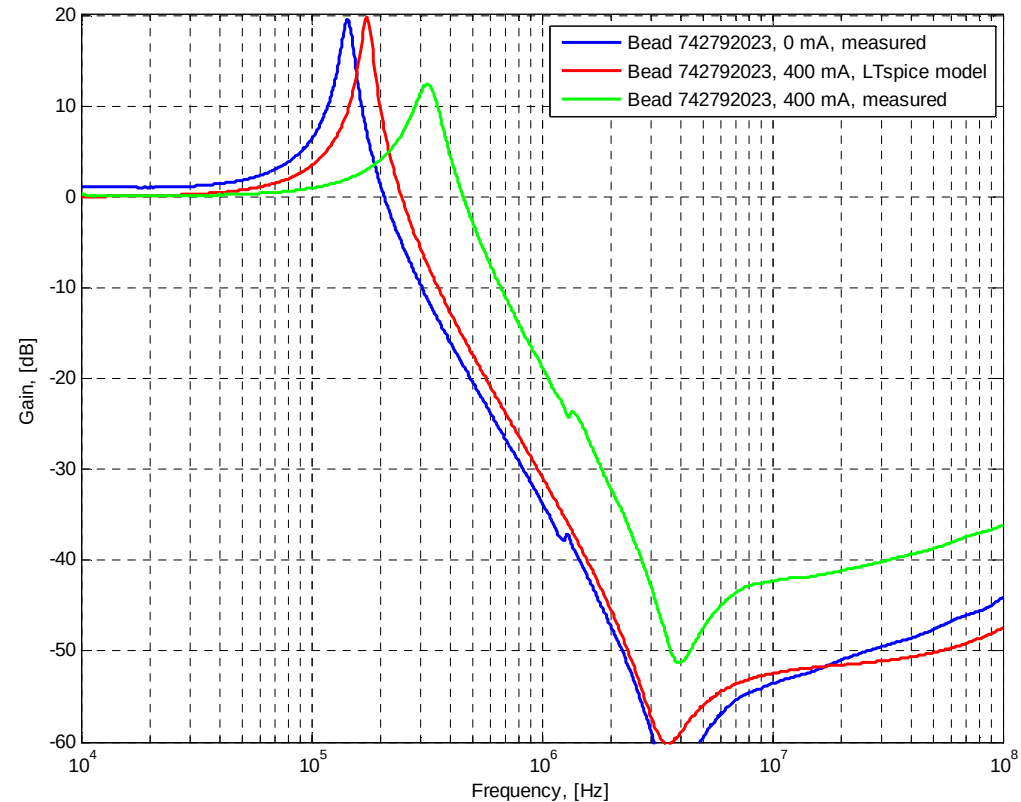
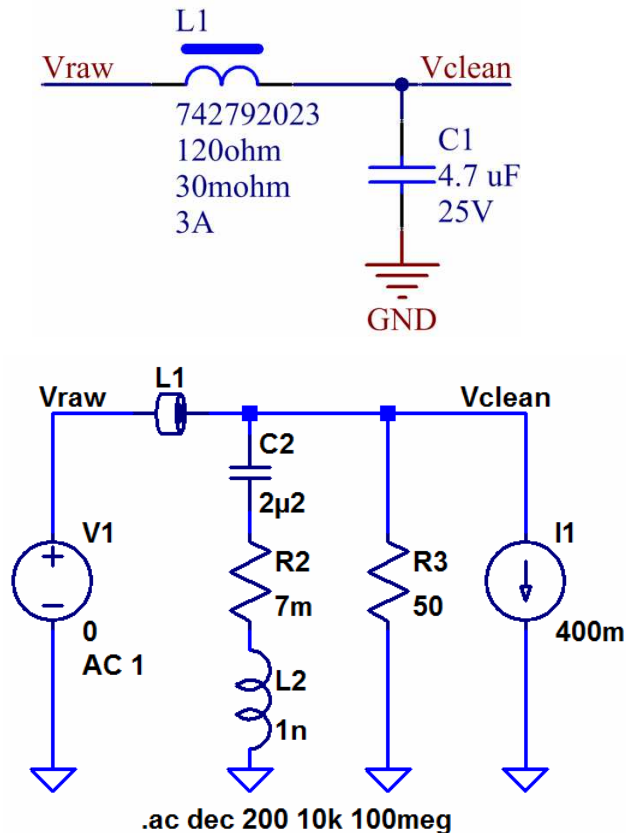
- Ett testkort tillverkades för att kunna prova effektiviteten hos olika filtreringslösningar
- Två steg LC-filter plus linjärregulator
- Testportar för att ansluta nätverksanalysator



Filterstrategi 1 - ferrit

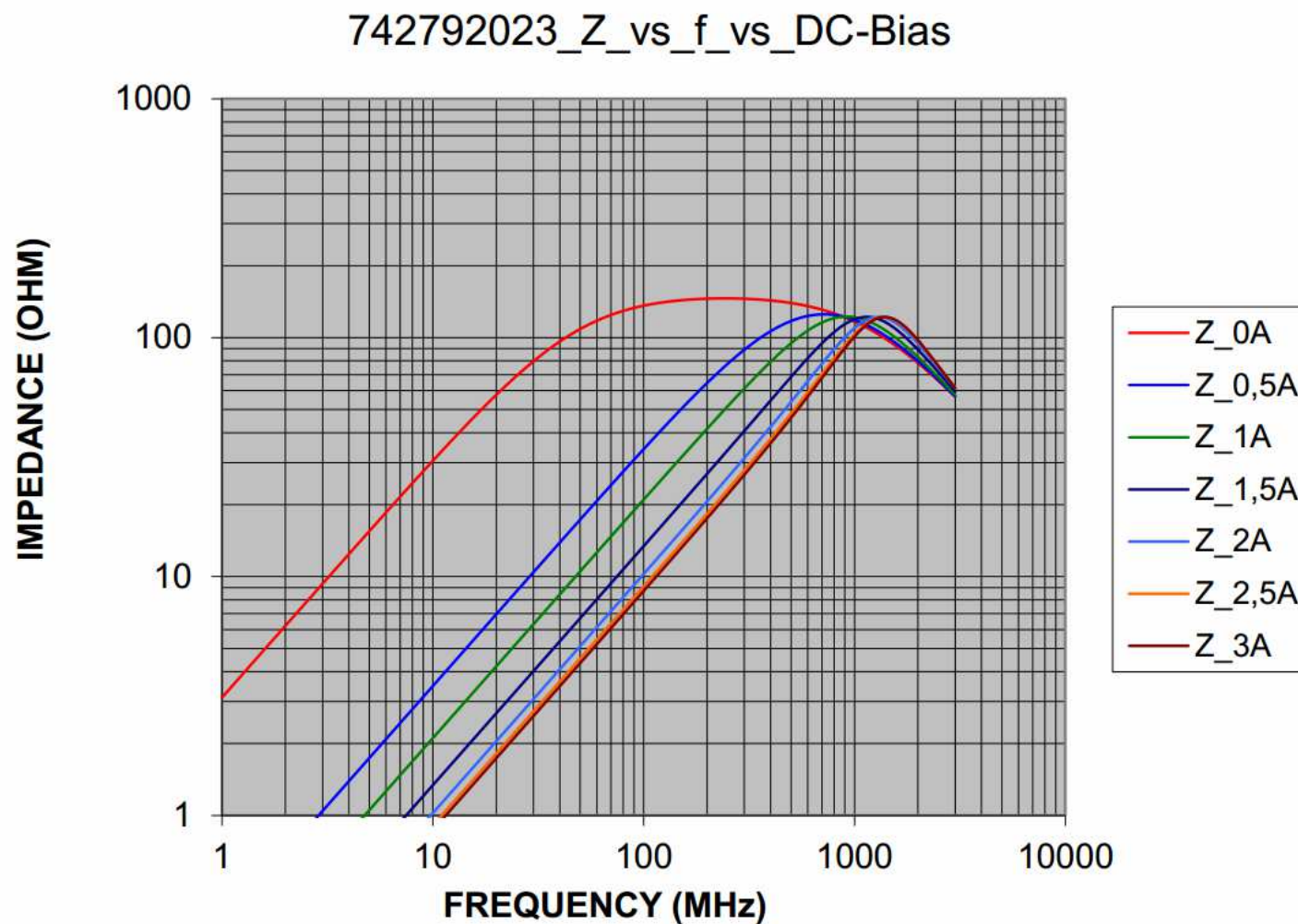
- En ferrit gör väl alltid vad man vill, dvs tar bort allt oönskat och lämnar det man vill ha kvar?
- Würth 742792023 tål 3 A och har ESR = 30 mΩ
- Kombinera med en 4,7 μF, X5R keramisk kondensator (tar liten plats jämfört med en elektrolyt)
- Det finns modeller för Würths ferriter i LTspice
- Simulera och mät för att verifiera

Enkelt ferritfilter, simulerat och uppmätt

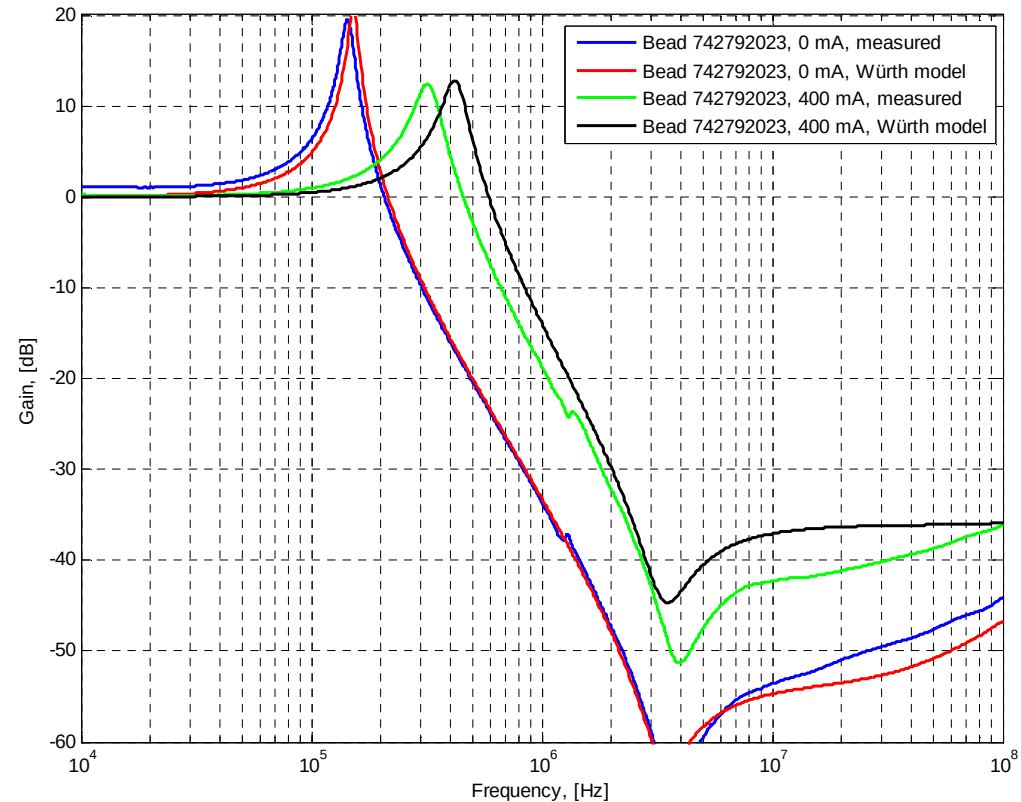
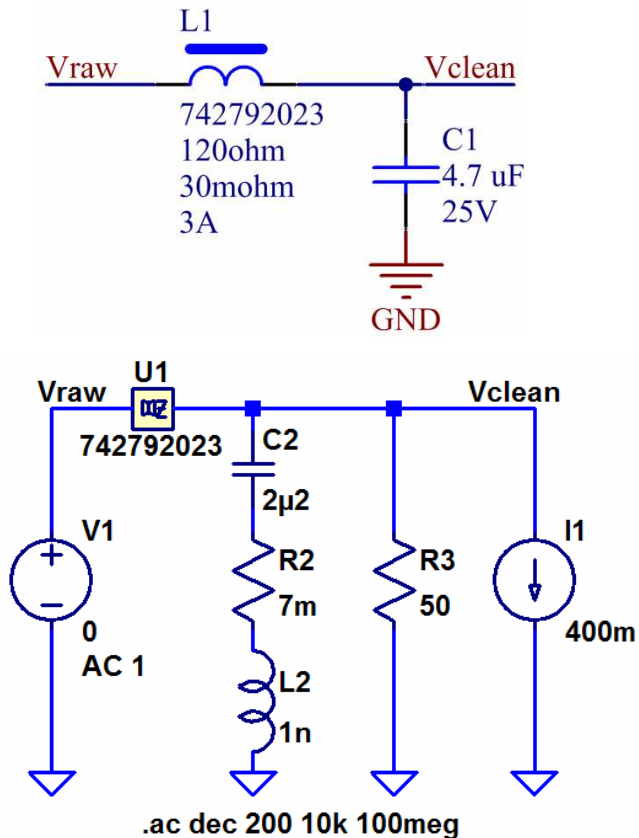


- Det blev en hög topp!
- God överensstämmelse mellan simulering och mätning vid $I = 0$ mA
- Dålig överensstämmelse vid $I = 400$ mA
- Att induktansen minskar med ökad DC-ström framgår alltså ej av LTspice-modellen som följer med när man laddar ned LTspice från <http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice>
- Würth har dock bättre modeller man kan ladda ned från deras hemsida

Hur DC-bias påverkar impedansen hos en ferrit



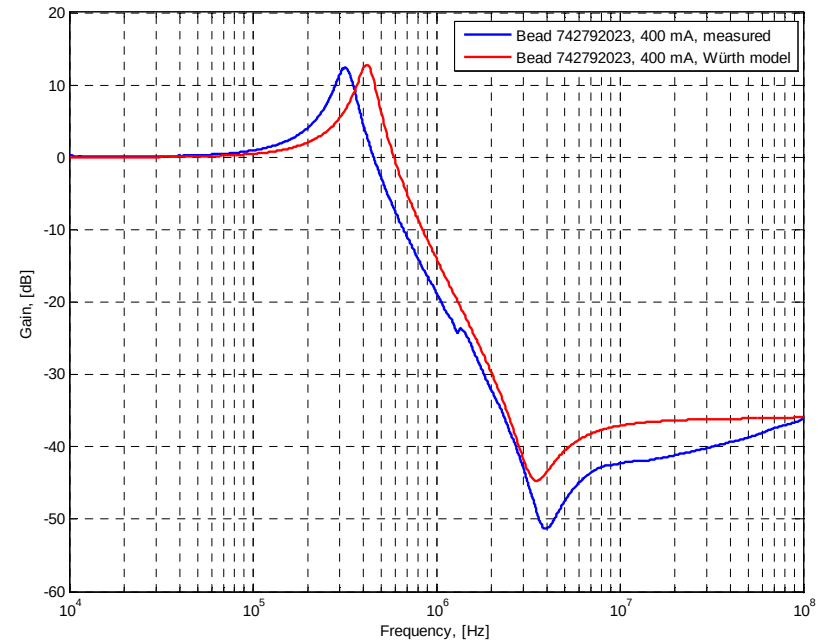
Enkelt ferritfilter, simulerat med Würths modell



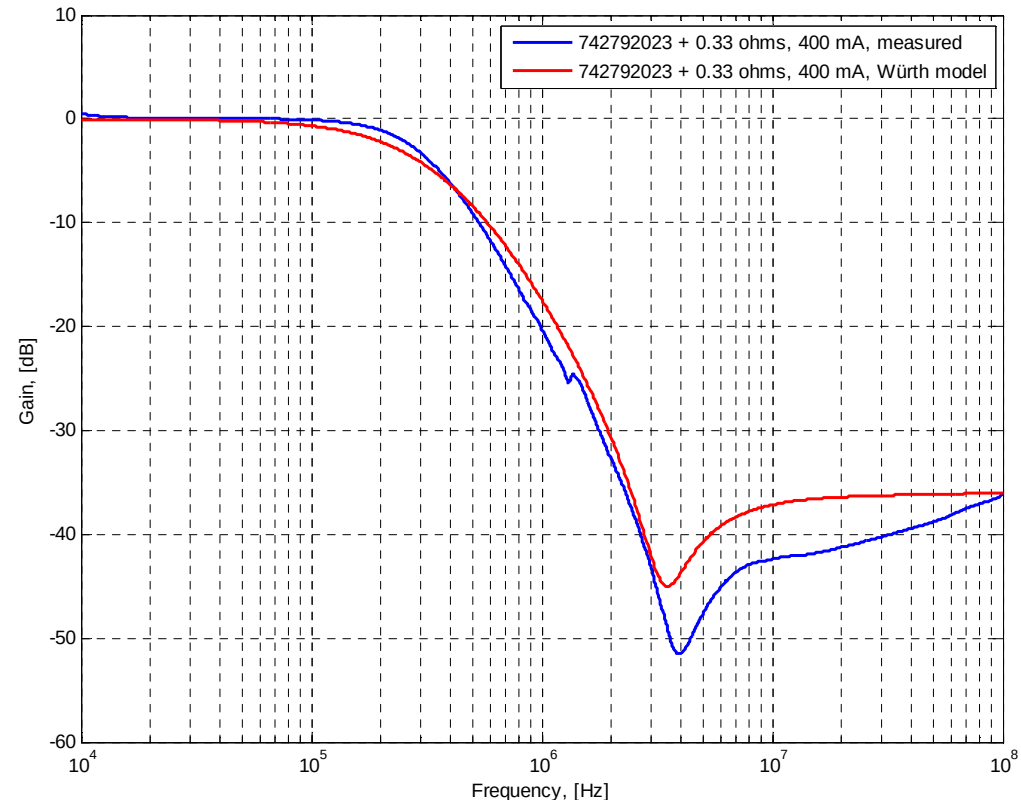
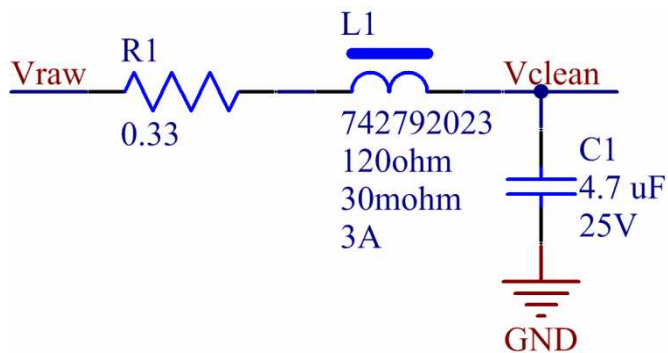
- Modell hämtad från Würths hemsida
http://www.we-online.de/web/en/passive_bauelemente_standard/toolbox_pbs/LTspice_III_IV.php
- Mycket god överensstämmelse mellan simulering och mätning vid $I = 0$ mA
- Nu får vi god överensstämmelse även vid $I = 400$ mA
- Att induktansen minskar med ökad DC-ström framgår alltså av modellen från Würths hemsida
- Det är uppenbarligen viktigt att använda ferritmodeller direkt från Würth om man vill att simuleringarna ska stämma

Enkelt ferritfilter - slutsatser

- Filtret gör ingen nytta under 500 kHz
- Peak ger stor försämring runt 300 kHz (en tänkbar DC/DC-frekvens)
- **Använd inte ferriter utan att simulera (och helst mäta) om de verkligen hjälper**
- Modellen som följer med LTspice visar inte den stora induktansminskning som sker pga DC-bias
- Använd därför modeller direkt från Würth vid simulering
- Fördelen med ferriter är främst förluster (dämpning) i området från ~10 MHz till ~1 GHz (se datablad)
- Under ~10 MHz fungerar en ferrit som en liten spole med ganska låga förluster
- Försök få bort toppen: sätt in ett litet seriemotstånd

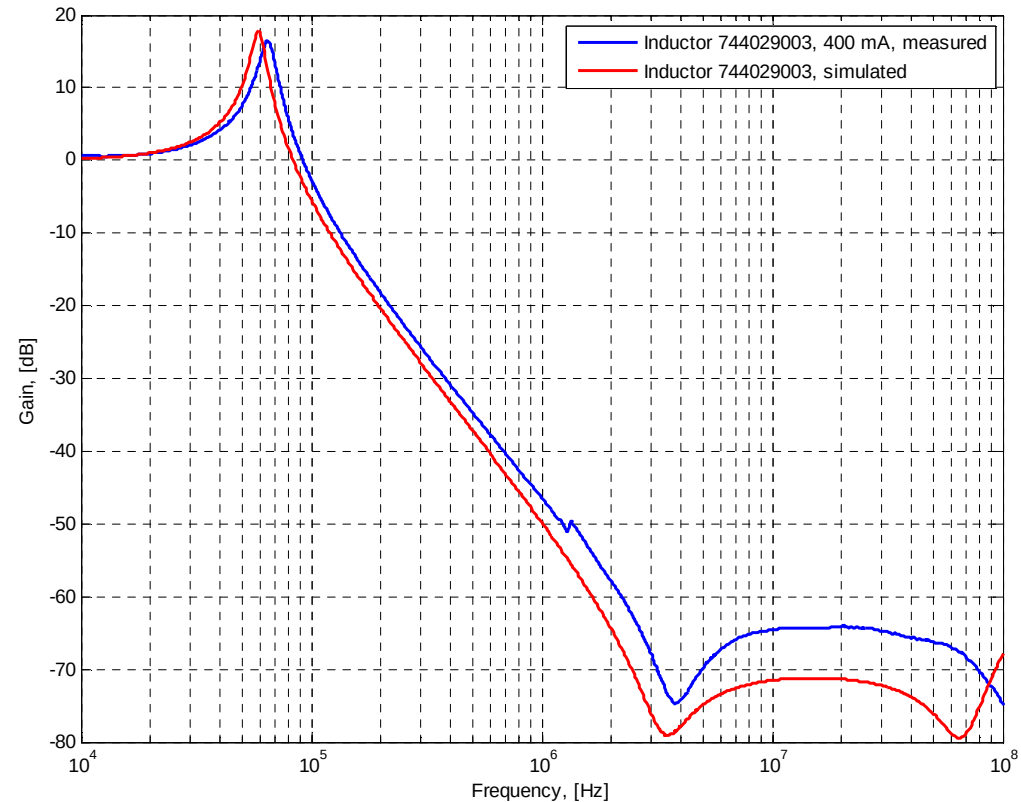
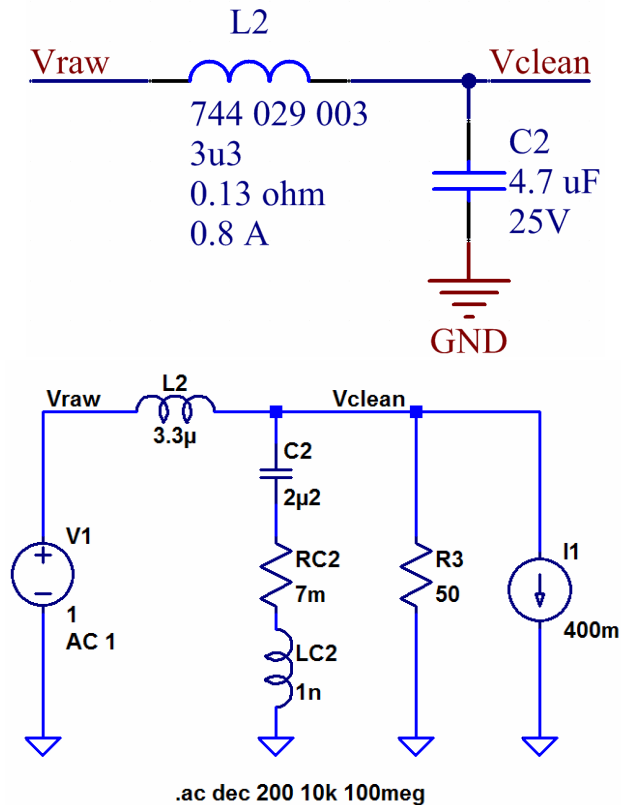


Dämpat ferritfilter, simulerat och uppmätt



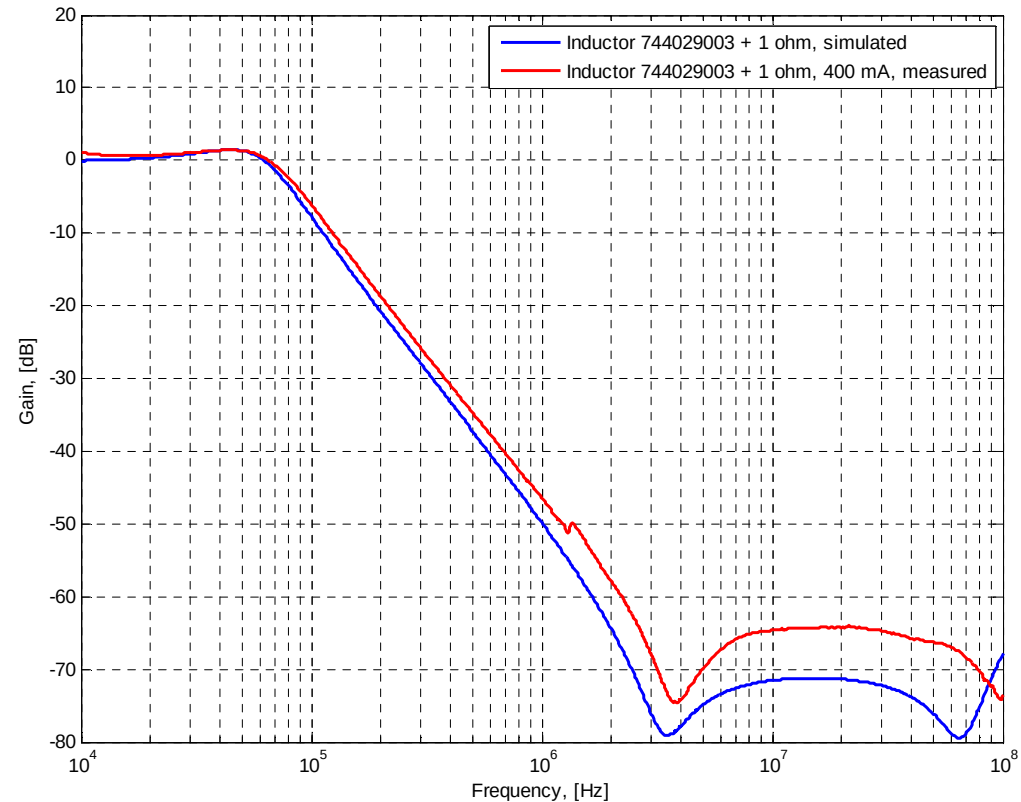
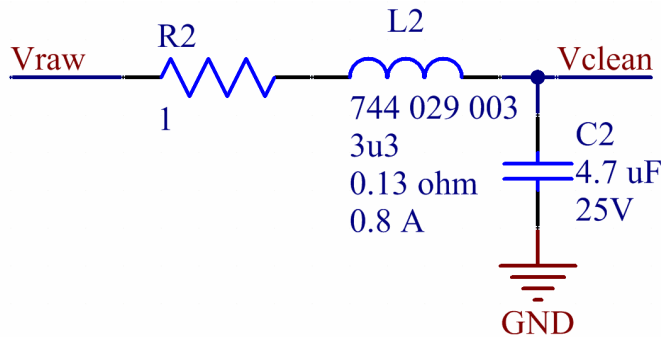
- Toppen dämpades bort
- Nackdel: ökad R ger ökad IR-drop
- Nu gör ferriten i alla fall ingen skada
- Över 1 MHz gör den markant nytta
- Vi måste göra något åt lägre frekvenser och vi önskar mer dämpning även för höga

LC-länk med spole



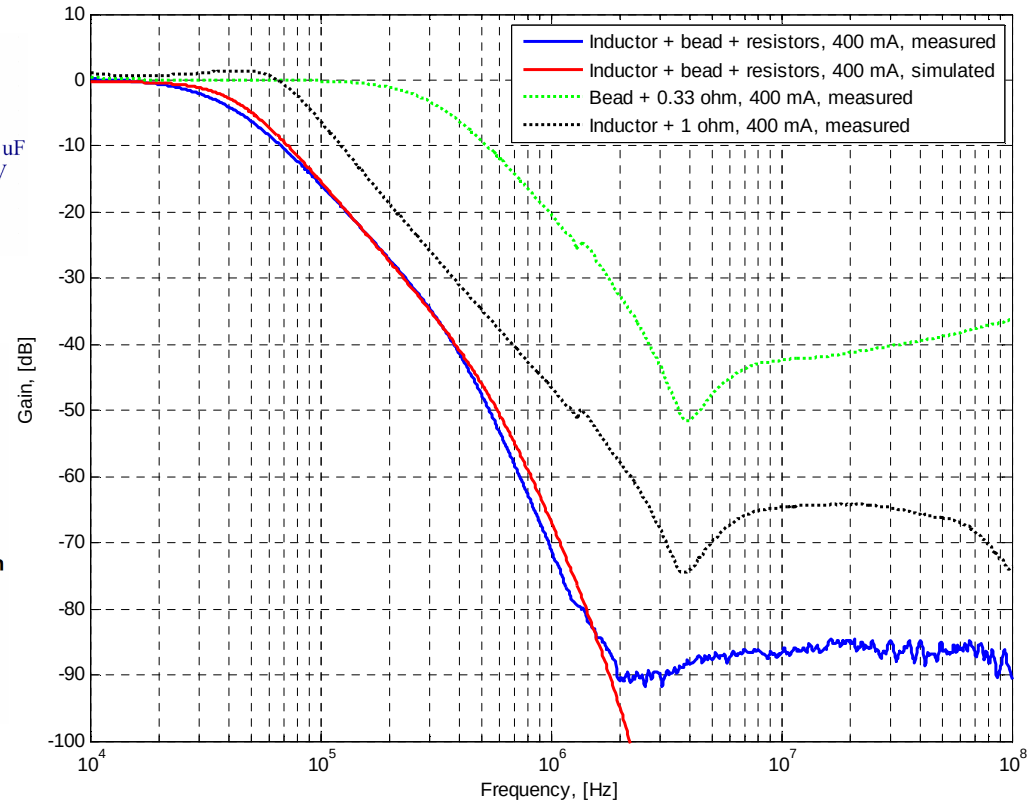
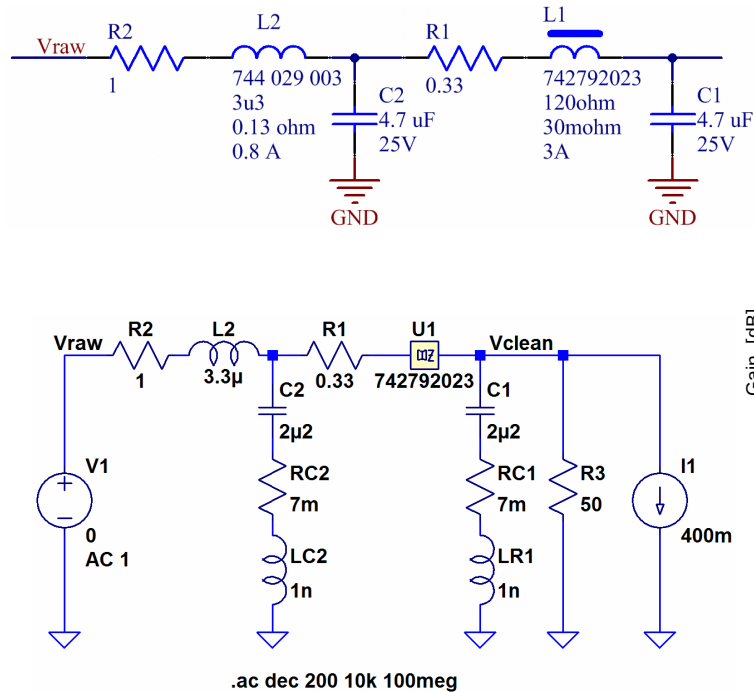
- Rejäl resonanstopp även här
- **Använd inte LC-filter utan att simulera (och helst mäta) om de verkligen hjälper**
- Dämpning från ca 100 kHz
- För denna komponent finns ingen bättre modell från Würths hemsida än i LTspice
- God överensstämmelse mellan simulering och mätning ändå
- Toppen måste bort, prova serieresistans

LC-länk med spole och serieresistans



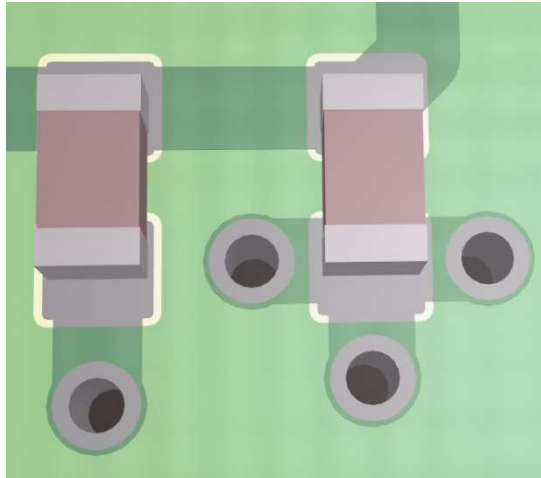
- Toppen nästan borta
- Avvägning mellan dämpning och IR-spänningsfall
- Sätt samman ferrit och LC-filter för extra bra HF-dämpning

Ferrit + LC-länk med serieresistanser

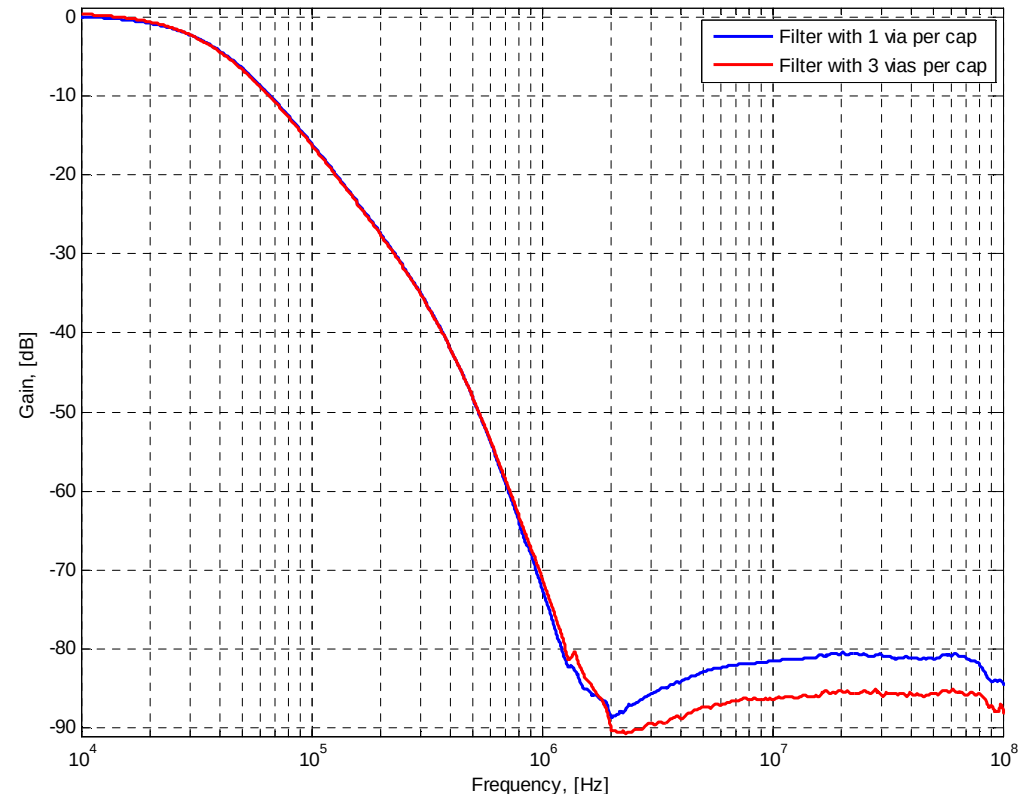


- Mycket bra dämpning över 1 MHz
- Kurvor för ferrit respektive spole plottade som referens

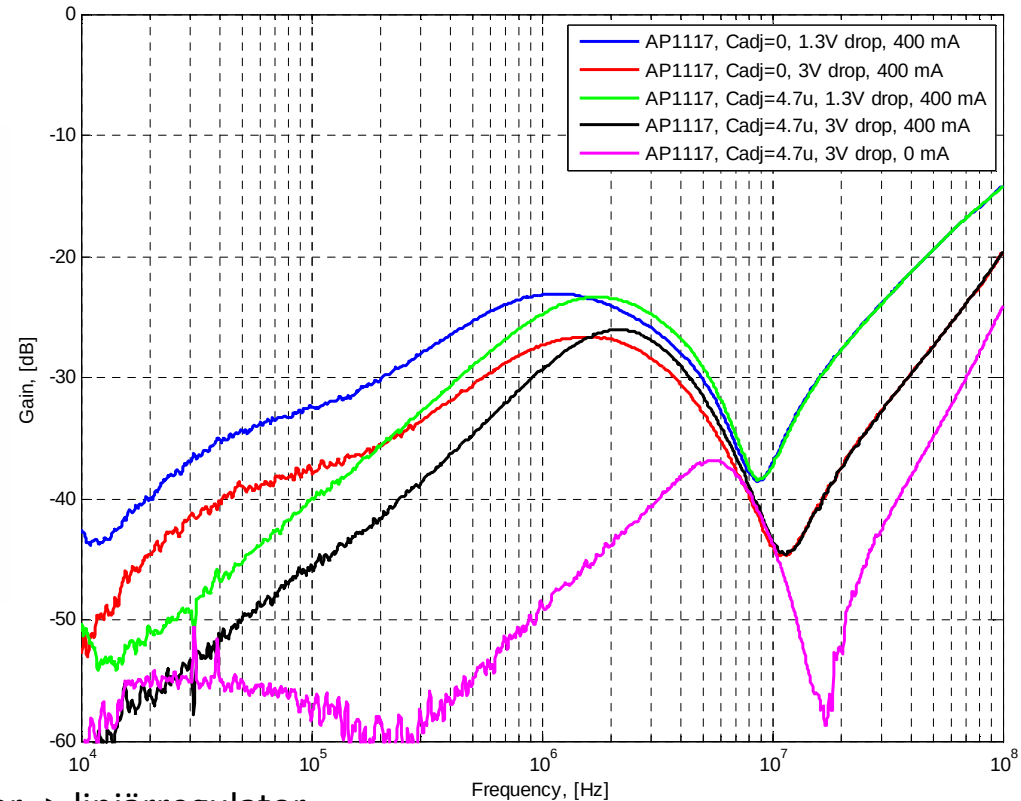
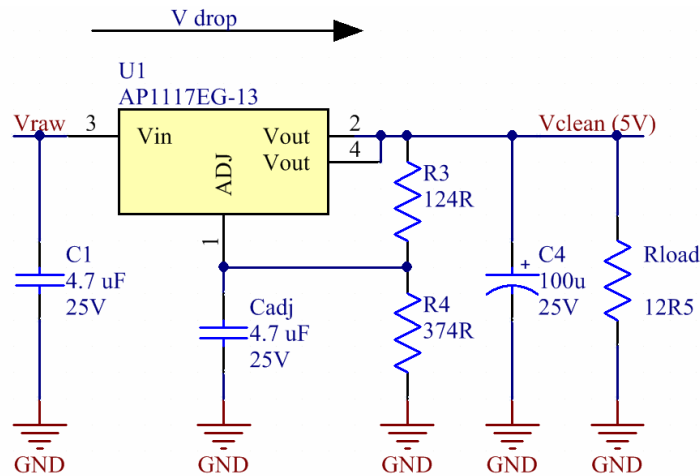
Effekter av layouten



- Två layouter provades för kondensatorerna
- 1 via per kondensator respektive 3 vior per kondensator
- Ovanför kondensatorernas självresonans (~ 2 MHz) ger extra vior (lägre induktans) en mätbar förbättring i dämpningen
- I detta fall var avståndet till jordplanet 1.6 mm. I flerlayerskort är avståndet normalt kortare och effekten av extra vior mindre

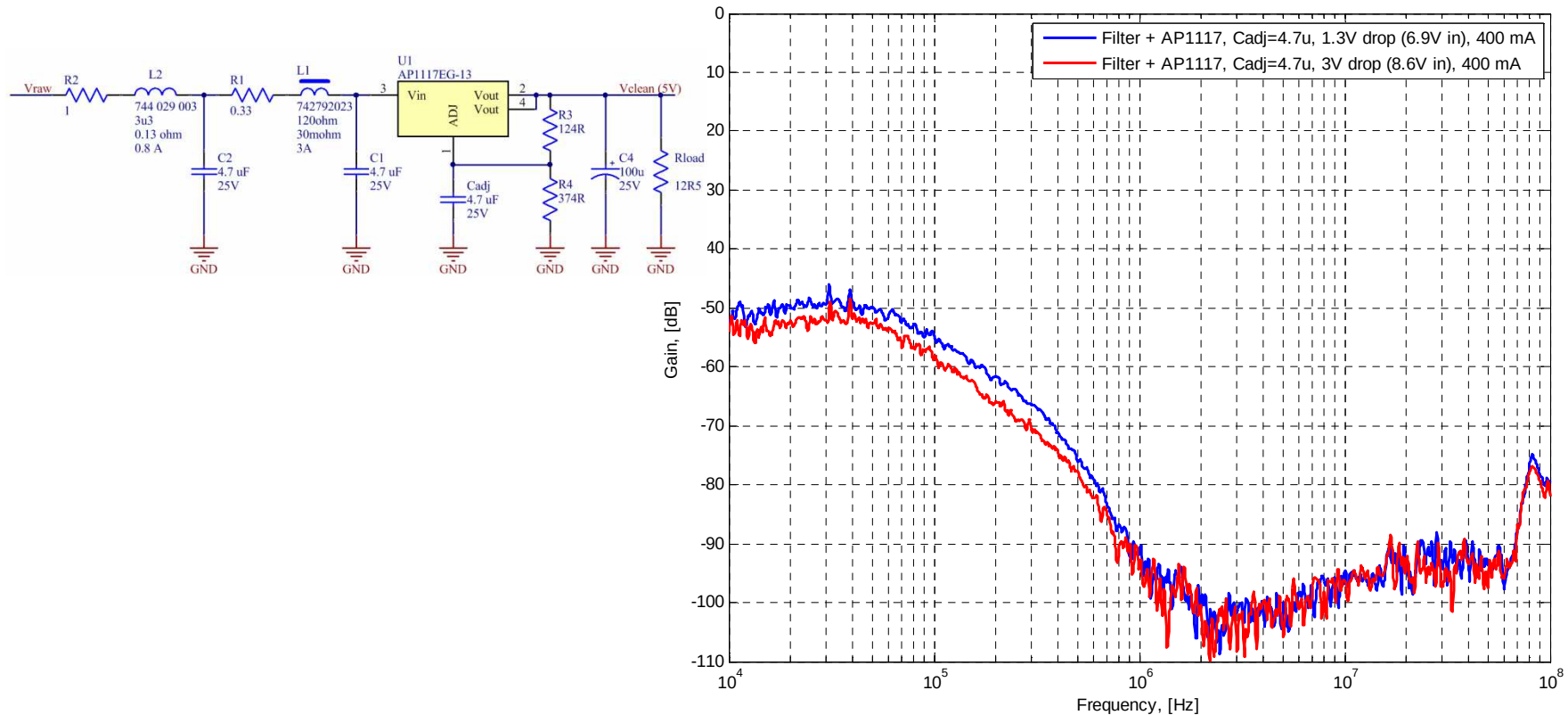


Linjärregulator



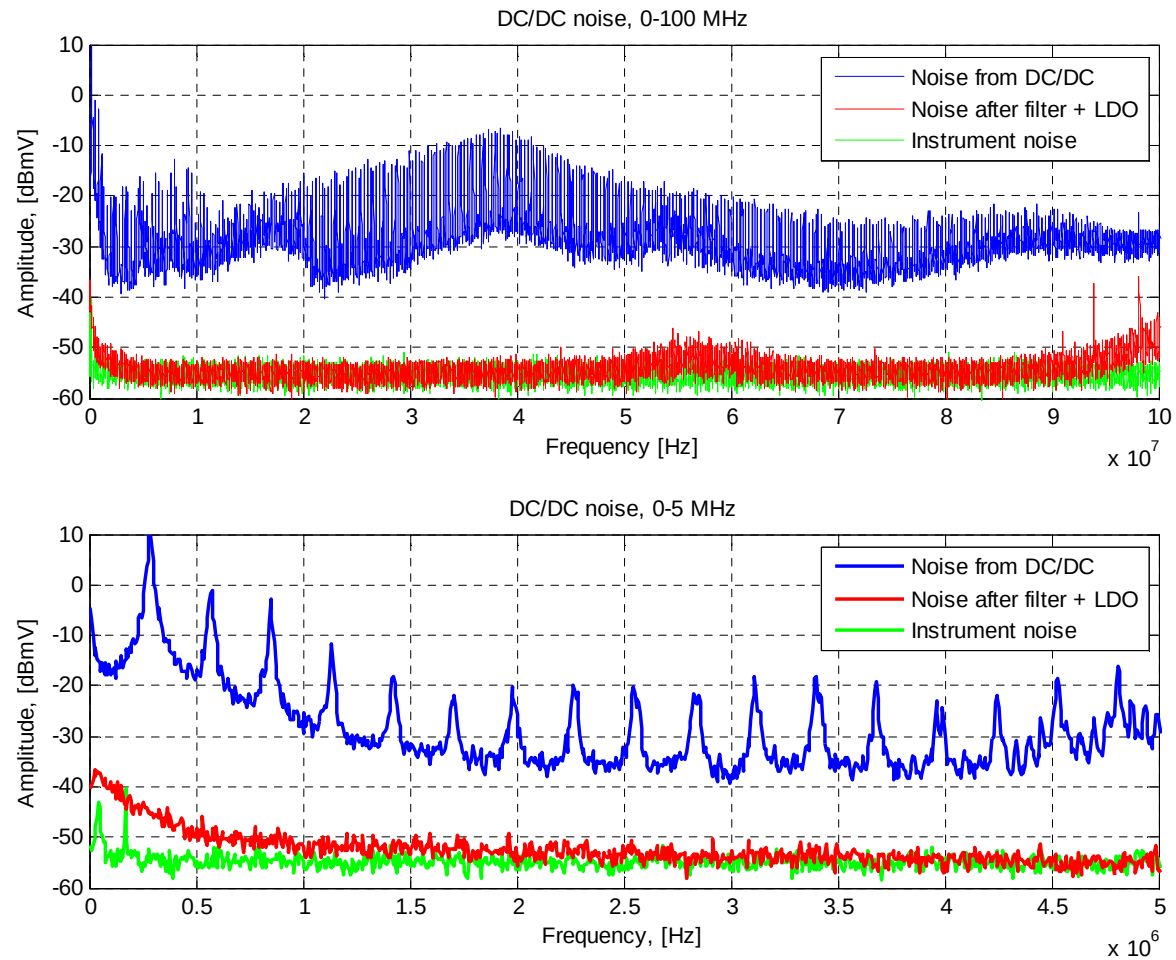
- Dags att ta itu med låga frekvenser -> linjärregulator
- Krav på lågt pris, välj AP1117
- Ingen simuleringsmodell tillgänglig
- Bristfälligt datablad, ingen graf över ripple rejection
- Databladet för "ekvivalenten" LM1117 rekommenderar att C_{ADJ} monteras för lägre brus
- Dämpningen beror på C_{ADJ} , spänningsfall och ström
- Upp till drygt 1 MHz minskar dämpningen med ökad frekvens

Filter + linjärregulator



- Dämpning minst 48 dB från 10 kHz till 100 MHz
- Över 70 dB från 400 kHz till 100 MHz
- Grundton och övertoner på typiska DC/DC-omvandlare dämpas mycket kraftigt
- Verkningsgrad $\sim 5V/6.9V = 72\%$

Filtreringens effektivitet



Slutsatser

- Släng inte slentrianmässigt in en ferrit eller ett LC-filter utan att simulera och helst mäta eftersom det kan försämra situationen
- Det finns modeller i LTspice för många av Würths komponenter, vilket är bekvämt, men för ferriter finns bättre modeller på Würths hemsida
- Om modeller saknas i LTspice kan man ofta göra egna modeller (t.ex. för kondensatorer)
- Validera modellerna med mätningar om det är viktigt att simuleringsresultaten blir korrekta
- Det är lätt och billigt att simulera och med lite möda och erfarenhet kan resultaten bli mycket verklighetsnära