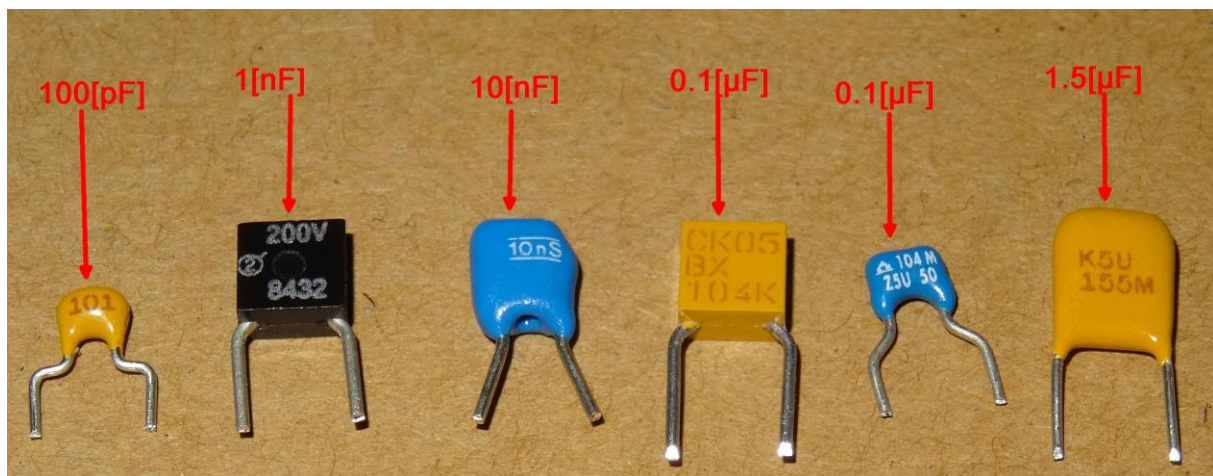


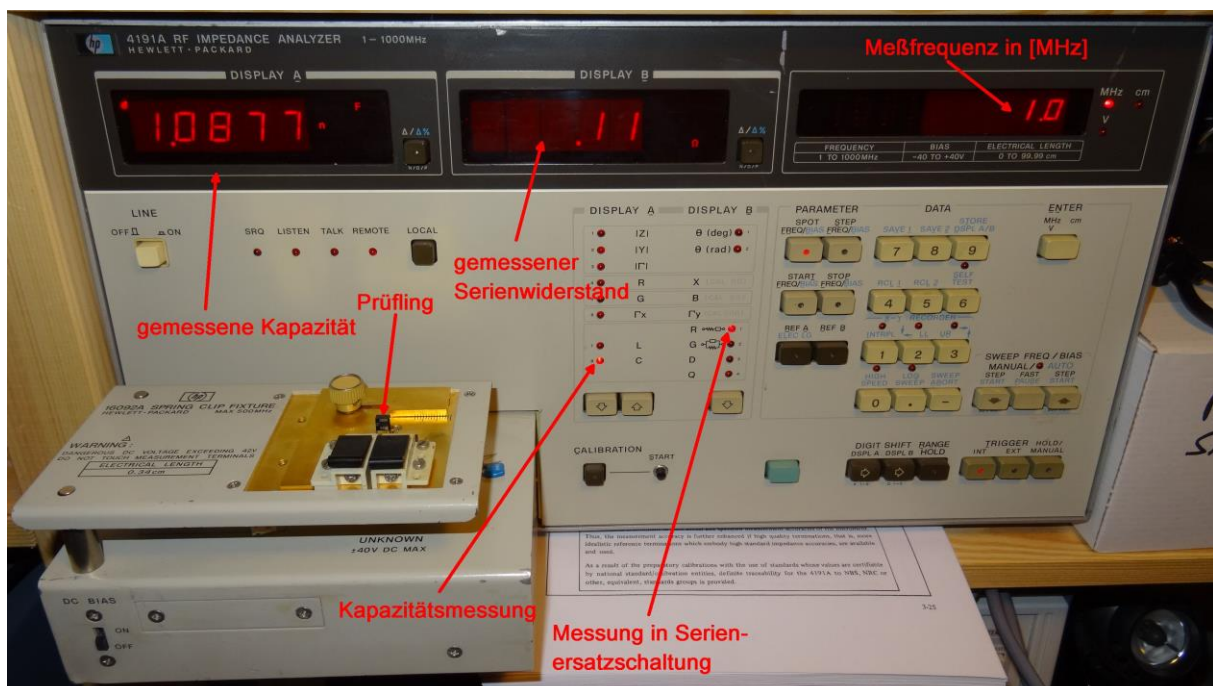
# Bis wann ist ein Kondensator noch ein Kondensator?

Im Zuge von umfangreicheren Impedanzmessungen im EMV-Umfeld bot es sich an, einmal handelsübliche **keramische** Kondensatoren, wie sie zum Verblocken bzw. "Verklatschen" von Betriebsspannungen gerne verwendet werden, einer genaueren meßtechnischen Untersuchung zu unterziehen. Interessiert hat hier insbesondere die Fragestellung, ab wann – d.h. ab welcher Betriebsfrequenz – so ein Kondensator keine sinnvoll in Erscheinung tretende Kapazität mehr hat. Sprich: Ab welcher Frequenz zeigen solche Kondensatoren induktives oder ggf. sonstiges verlustbehaftetes, auf jeden Fall aber kein kapazitives Verhalten mehr?

Folgende "Kandidaten", die so wie sie kamen aus den Bauteileboxen entnommen wurden, wurden am 11. März 2018 als Prüflinge für diese Messungen verwendet (die Bauteileanschlüsse wurden auf das kürzestmögliche Maß gekürzt):



Für die Messungen wurde ein HP 4191A "RF Impedance Analyzer" verwendet, der vorher (samt HP 16092A "Spring Clip Fixture") mit  $0[\Omega]$ ,  $0[S]$  und einem  $49.9[\Omega]$  0805 0.1% SMD-Widerstand 0805 in der Prüflingsaufnahme im HP 16092A im gesamten Frequenzbereich von 1[MHz] bis 1[GHz] kalibriert wurde).



# Bis wann ist ein Kondensator noch ein Kondensator?

## Die Meßergebnisse:

Die im Fettdruck aufgeführten Kapazitätswerte in den beiden Tabellen in der ersten Zeile stellen die jeweiligen Sollkapazitätswerte dar, so wie sie auf den Prüflingen aufgedruckt sind.

### a.) gemessene Kapazitätswerte:

Frequenz	100[pF]	1[nF]	10[nF]	0.1[µF]	0.1[µF]Z5U	1.5[µF]
1[MHz]:	101.3[pF]	1.0877[nF]	9.921[nF]	91.4[nF]	79.6[nF]	3.2[µF]
2[MHz]:	96.9[pF]	1.0829[nF]	9.428[nF]	96.9[nF]	82.9[nF]	-2.1[µF]
5[MHz]:	98.46[pF]	1.0898[nF]	8.73[nF]	194[nF]	112[nF]	
10[MHz]:	100.4[pF]	1.1121[nF]	8.86[nF]	-51.7[nF]	-161[nF]	
20[MHz]:	101.35[pF]	1.190[nF]	12.05[nF]			
50[MHz]:	104.74[pF]	2.329[nF]	-5.78[nF]			
100[MHz]:	118.47[pF]	-973[pF]				
200[MHz]:	246.1[pF]	-146.2[pF]				
500[MHz]:	-38.07[pF]					
1[GHz]:						

### b.) gemessene Werte des Serienwiderstands:

Frequenz	100[pF]	1[nF]	10[nF]	0.1[µF]	0.1[µF]Z5U	1.5[µF]
1[MHz]:	-24[Ω]	110[mΩ]	1.676[Ω]	90[mΩ]	58[mΩ]	36[mΩ]
2[MHz]:	8[Ω]	260[mΩ]	1.210[Ω]	81[mΩ]	82[mΩ]	65[mΩ]
5[MHz]:	600[mΩ]	190[mΩ]	608[mΩ]	-7[mΩ]	23[mΩ]	
10[MHz]:	-390[mΩ]	-124[mΩ]	276[mΩ]	-70[mΩ]	-22[mΩ]	
20[MHz]:	90[mΩ]	-63[mΩ]	219[mΩ]			
50[MHz]:	126[mΩ]	-56[mΩ]	192[mΩ]			
100[MHz]:	156[mΩ]	-59[mΩ]				
200[MHz]:	165[mΩ]	-100[mΩ]				
500[MHz]:	-81[mΩ]					
1[GHz]:						

Rot hinterlegte Meßwerte zeigen induktives Verhalten an (der Kondensator hat also kein kapazitives Verhalten mehr, was durch die negativen Kapazitätswerte ausgedrückt wird); gelb hinterlegte Meßwerte zeigen Anomalien beim Serienwiderstand hin, die ebenfalls auf (beginnende) induktive Komponenten der Impedanz hindeuten können. "Z5U" in einer Tabellenspalte beschreibt eine abweichende Keramikart.

Diese Meßergebnisse traten übrigens mit genau derselben Tendenz auch bei SMD-Kondensatoren auf (Bauformen 0805 / 1206). Die Frequenzgrenzen verschoben sich zwar leicht nach oben – aber **bei weitem(!)** nicht so weit, wie man das aufgrund der nichtbedrahteten Bauform erwartet hätte.

# Bis wann ist ein Kondensator noch ein Kondensator?

---

## Zur Interpretation der Meßergebnisse:

- Negative Kapazitätswerte bedeuten, daß der Kondensator kein kapazitives, sondern nur noch induktives Verhalten hat – d.h. für Abblockzwecke bei dieser bzw. allen darüberliegenden Frequenzen **nicht mehr brauchbar ist** (er verhält sich in der Schaltung so, als wäre er gar nicht vorhanden). Deswegen wurden diese Werte in der Tabelle rot hinterlegt – und nach diesen Werten wurde nicht mehr mit höheren Frequenzen weitergemessen, weil es sinnlos ist.
- Negative Werte des Serienwiderstands deuten ebenfalls auf ein beginnendes induktives Verhalten hin – oder auf andere Verhaltensweisen des Kondensators, die man nicht mehr direkt als normal einstufen würde. Deswegen wurden diese Werte in der Tabelle gelb hinterlegt.

## Schlußfolgerungen:

- Die in der elektronischen Entwicklungspraxis häufig angewendete Technik: *"Da klatschen wir einen 0.1[ $\mu$ F] keramisch an jeden Betriebsspannungsanschluß nach Masse und gut ist es"* kann bei Schaltungen mit höheren Betriebsfrequenzen (z.B. alles schnellere Digitale wie ATmega, MACH, CPLD, FPGA, AHCT, Arduino, Raspberry Pi usw.) absolut unzureichend sein (und zwar sowohl aus Betriebssicherheits- wie auch aus EMV-Gründen).
- Deswegen empfiehlt sich bei solchen Schaltungen – auch wenn sie keine dedizierten HF-Schaltungen sind - (sofern platzmäßig machbar) eine Anwendung von mehreren parallelgeschalteten Kondensatoren, die kapazitätsmäßig in Dekaden gestaffelt sind (also z.B. 0.1[ $\mu$ F] / 10[nF] / 1[nF] etc.).
- Außerdem empfehlen sich bei solchen Schaltungen Multilayerleiterplatten mit möglichst dünnen Zwischenlagen zwischen VCC und GND etc., damit die wirksame Kapazität dort maximal wird.

## Kommentar:

Bekannt und im Hinterkopf schlummernd sind diese Dinge bei Elektronikprofis im Grundsatz alle. Nur ist es dann, wenn man den Dingen mal wirklich auf den Grund geht, erschreckend, wie "früh" (d.h. bei wie niedrigen Frequenzen) solche Kondensatoren schon ihren artgerechten Dienst einstellen – und zwar auch dann, wenn sie (wie in der Test-Fixture des Impedance-Analyzers – mit wirksamen Drahtlängen, die gegen null gehen, kontaktiert sind). Aus den Herstellerdatenblättern – so man die denn überhaupt hat – ist sowas ja nur zum Teil (und mit Mühen) rauszulesen (und im Vergleich schon gar nicht) – und genau deswegen fanden diese Messungen nun mal statt.